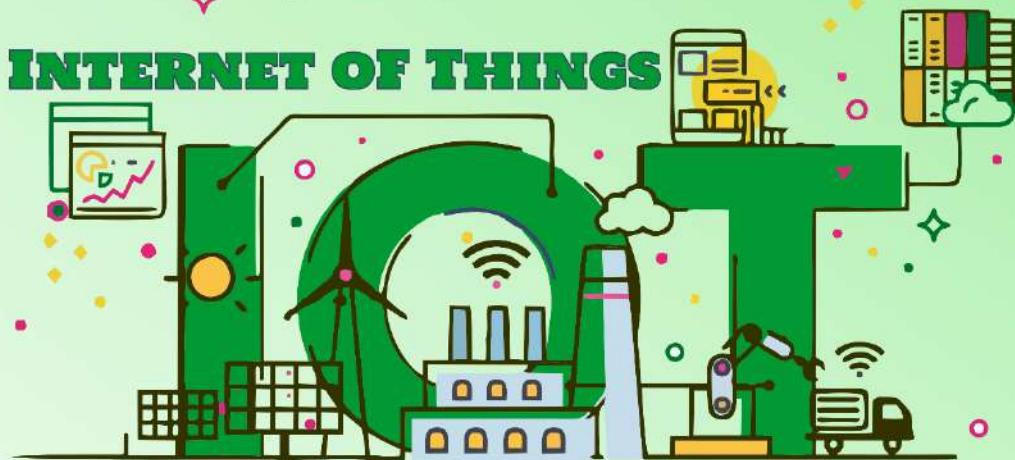


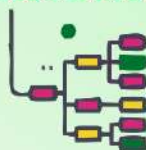


**UNIVERSITAS
ISLAM RIAU**

INTERNET OF THINGS



MENHUBUNGGKAN OBJEK KE WEB



ISBN: 978-623-6598-94-8

UIR PRESS

Dr. Evizal, ST, M.Eng

Daftar Isi	1
Kata Pengantar	xiii
BAB I PENGANTAR INTERNET OF THINGS	1
1.1. Pengantar	1
1.2. Sejarah IoT	3
1.3. Tentang objek/benda di IoT	8
1.4. Pengidentifikasi di IoT	11
1.5. Mengaktifkan teknologi IoT	15
1.5.1. Teknologi identifikasi	18
1.5.2. Teknologi penginderaan dan penggerak	21
1.5.3. Teknologi lainnya	22
1.5.4. Komunikasi objek yang terhubung	22
1.5.4.1. Objek ke objek	22
1.5.4.2. Objek atau jaringan objek ke jaringan lain	23
1.6. Tentang Internet di IoT	24
BAB 2 IKHTISAR TEKNOLOGI IDENTIFIKASI FREKUENSI RADIO	38
2.1. Pengantar	38
2.2. Prinsip RFID	39
2.3. Komponen sistem RFID	45
2.3.1. Pembaca	45
2.3.2. Label RFID	49

2.3.3. RFID middleware	51
2.3.3.1. Antarmuka perangkat	52
2.3.3.2. Antarmuka pemrosesan inti	53
2.3.3.3. Antarmuka aplikasi	54
2.4. Masalah	54
BAB 3 JARINGAN SENSOR NIRKABEL TINJAUAN TEKNOLOGI	60
3.1. Sejarah dan konteks	60
3.1.1. Dari debu pintar hingga tanaman pintar	60
3.1.2. Persyaratan aplikasi di WSN modern	62
3.1.2.1. Jumlah, geometri dan topologi	63
3.1.2.2. Aliran data	64
3.1.2.3. Keandalan terbatas latensi	65
3.1.2.4. Seumur hidup, biaya dan ukuran	66
3.1.2.5. Keamanan	67
3.2. The simpul	67
3.2.1. Komunikasi	68
3.2.2. Komputasi	70
3.2.3. Penginderaan	71
3.2.4. Energi	72
3.3. Menghubungkan node	72
3.3.1. Dasar-dasar radio	72
3.3.2. Kesalahpahaman umum	74

3.3.3. Komunikasi yang andal dalam praktiknya perpindahan saluran	75
3.4. Node jaringan	79
3.4.1. Kontrol akses sedang	80
3.4.1.1. Pembukaan protokol pengambilan sampel	81
3.4.1.2. Protokol MAC berbingkai	85
3.4.2. Perutean multi-hop	91
3.4.2.1. IETF MANET: warisan yang kompleks	92
3.4.2.2. Perutean geografis	94
3.4.2.3. Perutean gradien	96
3.5. Mengamankan komunikasi	100
3.6. Standar dan Fora	102
3.7. Kesimpulan	104

BAB 4 IKHTISAR TEKNOLOGI KOMUNIKASI SALURAN LISTRIK

4.1. Pengantar	105
4.2. Ikhtisar teknologi dan standar PLC yang ada	105
4.2.1. Sejarah teknologi PLC	107
4.2.2. Berbagai jenis teknologi PLC di rumah	108
4.2.2.2. Teknologi PLC di rumah dengan bit rate rendah	116
4.2.2.3. Topologi jaringan yang berbeda	119
4.2.3. Keamanan	119
4.2.4. Performa teknologi PLC	121

4.2.5. Standar dan normalisasi	124
4.3. Arsitektur untuk aplikasi jaringan rumah	126
4.3.1. Arsitektur untuk aplikasi jaringan rumah berkecepatan bit tinggi	126
4.3.2. Arsitektur untuk aplikasi jaringan rumah bit-rate rendah	130
4.4. Internet hal-hal menggunakan teknologi PLC	133
4.4.1. Menghubungkan objek di lingkungan dalam ruangan	134
4.4.2. Interoperabilitas dari menghubungkan benda-benda di dalam rumah lingkungan	137
4.5. Kesimpulan	140

BAB 5 Aplikasi RFID dan Masalah Penelitian Terkait

Error! Bookmark not defined.

5.1. Pengantar	Error! Bookmark not defined.
5.2. Konsep dan terminologi	Error! Bookmark not defined.
5.2.1. Identifikasi frekuensi radio	Error! Bookmark not defined.
5.2.2. Kelas transponder (tag)	Error! Bookmark not defined.
5.2.2.1. Tag pasif	Error! Bookmark not defined.
5.2.2.2. Tag semi-pasif	Error! Bookmark not defined.
5.2.2.3. Tag aktif	Error! Bookmark not defined.

- 5.2.3. Standar **Error! Bookmark not defined.**
- 5.2.4. Arsitektur sistem RFID **Error! Bookmark not defined.**
- 5.2.5. Teknologi terkait lainnya **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.2.5.1. Komunikasi jarak dekat **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.2.5.2. Nano-RFID **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.2.5.3. Debu Pintar **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.2.5.4. Sensor RFID **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.2.5.5. Contactless Smart Card **Error! Bookmark not defined.**
- 5.3. Aplikasi RFID **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.3.1. Logistik dan rantai pasokan **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.3.2. Produksi, pemantauan dan pemeliharaan **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.3.3. Keamanan, kualitas, dan informasi produk **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.3.4. Kontrol akses dan pelacakan dan penelusuran individu **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.3.5. Loyalitas, Keanggotaan, dan Pembayaran **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.3.6. Rumah Tangga **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.3.7. Aplikasi Lainnya **Error! Bookmark not defined.**

5.4. Penelitian yang Sedang Berlangsung Proyek **Error! Bookmark not defined.**

5.4.1. Masalah Perangkat Keras **Error! Bookmark not defined.**

5.4.1.1. Riset Terkait Pembaca **Error! Bookmark not defined.**

5.4.1.2. Tag **Error! Bookmark not defined.**

5.4.1.2.1. Keping **Error! Bookmark not defined.**

5.4.1.2.2. Antena **Error! Bookmark not defined.**

5.4.2. Protokol **Error! Bookmark not defined.**

5.4.2.1. Keamanan **Error! Bookmark not defined.**

5.4.2.2. Tabrakan **Error! Bookmark not defined.**

5.5. Ringkasan dan Kesimpulan **Error! Bookmark not defined.**

BAB 6 Penerapan RFID untuk Manajemen Lokasi dan Mobilitas di Internet **Error! Bookmark not defined.**

6.1. Pengantar **Error! Bookmark not defined.**

6.2. Latar belakang dan pekerjaan terkait **Error! Bookmark not defined.**

6.2.1. Lokalisasi **Error! Bookmark not defined.**

6.2.1.1. Triangulasi **Error! Bookmark not defined.**

6.2.1.2. Analisis adegan **Error! Bookmark not defined.**

6.2.1.3. Kedekatan **Error! Bookmark not defined.**

6.2.2. Manajemen Mobilitas **Error! Bookmark not defined.**

6.2.2.1. MIP **Error! Bookmark not defined.**

6.2.2.2. Serah terima lapisan tautan **Error! Bookmark not defined.**

6.2.2.3. Serah terima lapisan jaringan **Error! Bookmark not defined.**

6.2.2.4. Proses Deteksi Gerakan**Error! Bookmark not defined.**

6.3. Lokalisasi dan Manajemen Serah Terima
Mengandalkan RFID **Error! Bookmark not defined.**

6.3.1. Ikhtisar Teknologi RFID **Error! Bookmark not defined.**

6.3.2. Bagaimana RFID Dapat Membantu Pelokalan
dan Manajemen Mobilitas **Error! Bookmark not defined.**

6.3.2.1. Lokalisasi Berkemampuan RFID **Error! Bookmark not defined.**

6.3.2.2. Deteksi Gerakan Berkemampuan RFID **Error! Bookmark not defined.**

6.3.3. Kerangka konseptual **Error! Bookmark not defined.**

6.3.3.1. Fase Pelatihan**Error! Bookmark not defined.**

6.3.3.2. Fase Waktu Nyata **Error! Bookmark not defined.**

- 6.3.3.3. positioning algoritma **Error! Bookmark not defined.**
- 6.3.3.4. Fungsi keputusan **Error! Bookmark not defined.**
- 6.4. Pertimbangan teknologi **Error! Bookmark not defined.**
 - 6.4.1. Model kehilangan jalur **Error! Bookmark not defined.**
 - 6.4.2. Pola radiasi antena **Error! Bookmark not defined.**
 - 6.4.3. Tabrakan beberapa tag-ke-pembaca **Error! Bookmark not defined.**
 - 6.4.3.1. Algoritma anti-tabrakan **Error! Bookmark not defined.**
 - 6.4.4. Beberapa tabrakan pembaca-ke-tag **Error! Bookmark not defined.**
 - 6.4.4.1. Probabilitas Tabrakan Pembaca **Error! Bookmark not defined.**
 - 6.4.5. Interferensi Pembaca-ke-pembaca **Error! Bookmark not defined.**
 - 6.4.5.1. Baca Pengurangan Jangkauan **Error! Bookmark not defined.**
 - 6.4.6. Gangguan dari Bahan Tertentu **Error! Bookmark not defined.**
- 6.5. Evaluasi kinerja **Error! Bookmark not defined.**
 - 6.5.1. Pengaturan simulasi **Error! Bookmark not defined.**

6.5.2. Hasil Kinerja **Error! Bookmark not defined.**

6.5.2.1. Akurasi Lokalisasi **Error! Bookmark not defined.**

6.5.2.2. Latensi Deteksi Gerakan **Error! Bookmark not defined.**

6.6. Ringkasan dan Kesimpulan **Error! Bookmark not defined.**

BAB 7 Internet of Things – Menetapkan Standar **Error! Bookmark not defined.**

7.1. Pengantar **Error! Bookmark not defined.**

7.2. Standarisasi IoT **Error! Bookmark not defined.**

7.2.1. Mengapa Standarisasi? **Error! Bookmark not defined.**

7.2.2. Apa yang Perlu Distandarisasi? **Error! Bookmark not defined.**

7.3. Memanfaatkan Potensi RFID **Error! Bookmark not defined.**

7.3.1. Spesifikasi Teknis **Error! Bookmark not defined.**

7.3.2. Spektrum Radio dan Kompatibilitas Elektromagnetik **Error! Bookmark not defined.**

7.4. Identifikasi di IoT **Error! Bookmark not defined.**

7.4.1. Berbagai Format Data **Error! Bookmark not defined.**

7.4.2. Menemukan Semuanya: Alamat IPv6 **Error! Bookmark not defined.**

7.4.3. Memisahkan pengidentifikasi dan pencari di IP: HIP **Error! Bookmark not defined.**

7.4.4. Di luar tag: akses informasi multimedia **Error! Bookmark not defined.**

7.5. Mempromosikan Jaringan Dimana Saja Dan Kapan Saja **Error! Bookmark not defined.**

7.5.1. Jaringan Sensor Nirkabel **Error! Bookmark not defined.**

7.5.2. Jaringan Rumah **Error! Bookmark not defined.**

7.5.3. Jaringan Generasi Berikutnya **Error! Bookmark not defined.**

7.6. Menjaga Data dan Privasi Konsumen **Error! Bookmark not defined.**

7.7. Kesimpulan **Error! Bookmark not defined.**

BAB 8 Tata Kelola Internet of Things **Error! Bookmark not defined.**

8.1. Pengantar **Error! Bookmark not defined.**

8.1.1. Pengertian Pemerintahan **Error! Bookmark not defined.**

8.1.2. Aspek Pemerintahan **Error! Bookmark not defined.**

8.2. Badan-Badan Yang Tunduk Pada Prinsip-Prinsip Pemerintahan **Error! Bookmark not defined.**

8.2.1. Gambaran **Error! Bookmark not defined.**

8.2.2. Organisasi Swasta **Error! Bookmark not defined.**

- 8.2.2.1. EPCglobal **Error! Bookmark not defined.**
- 8.2.2.2. VeriTanda **Error! Bookmark not defined.**
- 8.2.2.3. Kerja Mandiri **Error! Bookmark not defined.**
- 8.2.3. Regulator dan Pengawas Internasional **Error! Bookmark not defined.**
- 8.2.3.1. Teori Latar Belakang Konseptual **Error! Bookmark not defined.**
- 8.2.3.2. Organisasi Yang Baru Didirikan **Error! Bookmark not defined.**
- 8.2.3.3. Komite Baru Organisasi Perdagangan Dunia **Error! Bookmark not defined.**
- 8.2.3.4. Komite Baru OECD **Error! Bookmark not defined.**
- 8.3. Prinsip-Prinsip Substantif Untuk Tata Kelola IoT **Error! Bookmark not defined.**
- 8.3.1. Legitimasi dan Inklusi Pemangku Kepentingan **Error! Bookmark not defined.**
- 8.3.2. Transparansi **Error! Bookmark not defined.**
- 8.3.3. Akuntabilitas **Error! Bookmark not defined.**
- 8.4. Tata Kelola Infrastruktur IoT **Error! Bookmark not defined.**
- 8.4.1. Kekokohan **Error! Bookmark not defined.**
- 8.4.2. Ketersediaan **Error! Bookmark not defined.**
- 8.4.3. Keandalan **Error! Bookmark not defined.**
- 8.4.4. Interoperabilitas **Error! Bookmark not defined.**

8.4.5. Mengakses	Error! Bookmark not defined.
8.5. Governance Lanjut Masalah	Error! Bookmark not defined.
8.5.1. Implikasi Praktis	Error! Bookmark not defined.
8.5.2. Implikasi Hukum	Error! Bookmark not defined.
8.6. Pandangan	Error! Bookmark not defined.
KESIMPULAN	142
6.7. Bibliografi	166

Kata Pengantar

Layanan yang dirancang melalui internet berkembang seiring dengan kebutuhan yang diidentifikasi dari interaksi antarmanusia, seperti email atau layanan telepon untuk memenuhi interaksi lainnya, seperti antarmanusia dan mesin, mesin dan manusia, serta, yang terbaru, antarmesin tanpa keterlibatan Manusia. Hal ini membentuk dasar bagi perkembangan komputasi yang meresap ke berbagai lapisan kehidupan. dengan tujuan untuk mengotomatisasi tugas dan menciptakan dunia yang lebih cerdas. Pengenalan teknologi identifikasi radio-frequency (RFID) dalam membangun layanan baru melalui jaringan telah mendorong lahirnya konsep "Internet of Things" (IoT) sebagai titik temu antara dunia fisik dan dunia maya, terutama ketika digabungkan dengan teknologi lain seperti sensor atau komunikasi bergerak.

Internet of Things (IoT) tampaknya menjadi langkah lebih maju dalam evolusi menuju komputasi yang meresap di segala tempat. Ini dapat terwujud melalui pengenalan teknologi RFID atau sensor, bersama dengan teknologi canggih lainnya seperti robotika, nanoteknologi, dan berbagai inovasi lainnya. Teknologi-teknologi ini membentuk dasar bagi layanan IoT yang menjadi bidang interdisipliner, di mana indera-indera manusia dapat direproduksi dan digantikan di dunia maya.

Jadi, apa yang dimaksud dengan Internet of Things (IoT)? Dari perspektif ekonomi, ini berkaitan dengan merancang layanan baru dan menghasilkan aliran pendapatan baru dalam rantai nilai komunikasi. Namun, implementasinya tidak langsung, karena banyak masalah teknis yang harus diatasi sebelum layanan yang diimajinasikan dapat diterapkan secara efektif.

Layanan yang dibayangkan. Dari sudut pandang teknis, ini adalah tentang menghubungkan perangkat baru, yang disebut objek atau benda, dan menyelidiki masalah yang terkait dengan menghubungkan objek-objek ini dengan jaringan untuk

mengembangkan aplikasi yang dapat dieksploitasi. Untuk mengatasi masalah ini, penting untuk memahami apa arti Internet dan hal-hal di IoT, mengetahui bahwa, tergantung pada komunitas riset, makna dan masalah terkait mungkin berbeda.

Sesuatu atau objek di IoT digambarkan sebagai item apa pun dari kehidupan kita sehari-hari yang ditingkatkan dengan beberapa kemampuan komputasi dan/atau komunikasi. Misalnya, item atau objek dengan teknologi RFID atau sensor akan menjadi objek yang terhubung. Objek-objek ini, tergantung pada aplikasinya, dapat berkisar dari ukuran sekecil atom atau sebesar bangunan; mereka mungkin tetap atau bergerak, seperti mobil; mereka mungkin mati atau bernyawa, seperti hewan atau manusia. Objek-objek ini bergabung dengan layanan IoT akan memiliki identifikasi elektronik, seperti RFID. Objek atau benda juga merupakan perangkat elektronik baru yang berinteraksi dengan lingkungan dunia nyata, seperti sensor.

Perangkat komunikasi konvensional, seperti laptop, komputer, dan telepon dapat dianggap sebagai objek. Dalam buku kami, kami mengecualikan perangkat klasik ini dari daftar objek karena mereka tidak secara langsung mengaktifkan interaksi dengan lingkungan dunia nyata. Objek lain, seperti produk elektronik konsumen seperti TV atau lemari es telah diperkenalkan dalam rantai komunikasi melalui teknologi lain, seperti teknologi komunikasi saluran listrik. IoT jelas harus memungkinkan konektivitas sejumlah besar dan berbagai jenis objek. Ini berarti bahwa ia harus menghadapi heterogenitas dan skalabilitas kerangka komunikasi untuk membangun aplikasi yang dibayangkan. Aplikasi ini akan mengatur fungsionalitas baru terkait lingkungan nyata untuk mengidentifikasi, menemukan, merasakan, dan bertindak, sehingga membangun otomatisasi tugas dan pemantauan tugas lingkungan yang diharapkan oleh IoT.

Saat ini teknologi RFID dan teknologi sensor menjanjikan, aplikasi yang sangat dekat dengan pasar, karena masing-masing

menawarkan fungsionalitas baru untuk mengidentifikasi dan merasakan. Sensor teknologi dan jaringan sensor untuk pemantauan fenomena telah menarik minat komunitas riset telekomunikasi lebih awal dari teknologi RFID, yang berkembang dalam rantai produk ritel untuk pelacakan produk dan baru saja bergabung dengan rantai nilai telekomunikasi. Beberapa contoh terbaru menunjukkan pengembangan sistem berbasis RFID untuk membantu orang dengan gangguan penglihatan untuk dipandu di bus dan meningkatkan kunjungan museum dengan ponsel pintar dan RFID. Menggabungkan RFID, sensor, dan komunikasi seluler tampaknya sangat menjanjikan dan akan memungkinkan lebih banyak aplikasi untuk berkontribusi dalam membangun IoT. Meskipun sudah digunakan, teknologi ini perlu ditingkatkan dari sudut pandang keamanan, privasi, kinerja, dan skalabilitas.

Di sisi lain, Internet di IoT mungkin juga memiliki interpretasi yang berbeda. Interpretasi yang jelas, yang lebih langsung, mengacu pada Internet saat ini yang disesuaikan dengan kebutuhan konektivitas objek baru ini. Internet saat ini adalah node yang terhubung menggunakan tumpukan protokol TCP/IP (internet protocol suite) dengan pengalamatan IP dan kemampuan perutean. Biasanya, model Internet menjalankan tumpukan TCP/IP di perangkat yang terhubung atau menawarkan kemungkinan merancang gateway yang sesuai ke node atau jaringan tertentu.

Menghubungkan objek ke Internet saat ini melibatkan adaptasi tumpukan TCP/IP ke sumber daya objek. Inilah yang diusulkan oleh Internet Engineering Task Force dengan tumpukan protokol 6LoWPLAN untuk jaringan sensor. Ini juga berarti merancang gateway yang menghubungkan objek ke Internet, seperti yang mungkin dilakukan dengan menghubungkan objek RFID ke Internet melalui gateway.

Pandangan lain tentang IoT melibatkan perancangan model komunikasi baru, berbeda dari TCP/IP. Ini akan menjadi

Internet baru, juga disebut Internet masa depan, di mana dimungkinkan untuk mengadaptasi model komunikasi dengan konteks, kendala lalu lintas, keterbatasan sumber daya dan sebagainya. Perhatikan bahwa merancang jaringan masa depan (atau Internet masa depan) adalah salah satu tujuan penelitian utama dari komunitas penelitian jaringan saat ini, di mana adaptasi jaringan yang lebih baik dari Internet saat ini diharapkan.

Dalam jangka panjang, IoT tampaknya menjadi salah satu jalan utama menuju tujuan ini karena menantang model Internet saat ini dengan kebutuhan konektivitas objek yang baru seperti identifikasi, penamaan dan pengalamatan, skalabilitas, heterogenitas, keterbatasan sumber daya, pemodelan lalu lintas baru dll.

Sambil menunggu Internet masa depan, operator Internet saat ini menunjukkan minat yang besar pada konkretisasi layanan IoT tanpa batas. Mereka menyambut setiap layanan internet baru dan menarik yang menghasilkan lalu lintas baru untuk diangkut oleh Internet atau jaringan all-IP yang telah menawarkan satu model jaringan untuk dukungan multilayanan, seperti layanan suara, data, dan multimedia.

Merancang layanan yang melibatkan interaksi dan komunikasi benda dan objek dunia nyata melalui Internet oleh karena itu sangat dianjurkan dalam kondisi menyelesaikan semua masalah terkait keamanan dan privasi dan menghubungkan miliaran objek ke Internet secara langsung atau melalui gateway. Gateway ini dapat berupa gateway sederhana atau cerdas, yang mampu menginterpretasikan kebutuhan lalu lintas di pintu masuk jaringan.

Sumber daya objek saat ini seperti memori, pemrosesan, dan baterai dalam objek kecil sangat terbatas dan tidak dapat menjalankan model komunikasi Internet saat ini yang berarti bahwa objek ini akan menggunakan versi model Internet yang diadaptasi, sistem komunikasi berpemilik yang akan dilihat sebagai yang heterogen dari Internet, dan dengan demikian

membutuhkan gateway untuk mendapatkan keuntungan dari penerusan lalu lintas.

Tentu saja trafik yang akan dihasilkan oleh aplikasi berbasis objek ini akan memiliki ekspektasi yang berbeda dari jaringan. Bahkan, sampai sekarang suara dianggap sebagai objek yang paling sulit untuk ditransportasikan karena digunakan melalui sistem penerusan circuit-switched yang dirancang untuk memenuhi harapannya. Sekarang lalu lintas yang dihasilkan oleh aplikasi IoT spesifik ini harus dimodelkan dan harus dipenuhi, mungkin sebagian oleh Internet saat ini dan seluruhnya oleh Internet masa depan. Misalnya, jika "aktuasi" dipesan dari jarak jauh melalui jaringan, prioritas lalu lintas harus sesuai dengan keadaan darurat ini tindakan. Juga ukuran paket harus disesuaikan dengan jenis informasi baru ini. Sama halnya dengan aplikasi suara, dengan lalu lintas yang dihasilkan IoT, desain paket dan prioritas paket harus ditentukan agar sesuai dengan kebutuhan lalu lintas.

Jelas bahwa banyak masalah teknis, penelitian, ekonomi, dan sosial berkorelasi dengan IoT. Dalam buku *The Internet of Things*, kami telah mencoba menyatukan pengetahuan terkini yang terkait dengan apa arti objek yang terhubung, apa arti Internet di IoT, dan apa tantangan teknisnya (lihat Bab 1) dengan lebih tampilan terkait jaringan.

Buku tersebut, juga menjelaskan apa saja teknologi yang memungkinkan dari IoT; yang paling dekat dengan pasar dijelaskan secara rinci. Ini terutama RFID (Bab 2) untuk mengidentifikasi dan melacak objek, dan sensor (Bab 3) untuk merasakan lingkungan dan menggerakkan. Baik teknologi RFID dan sensor menggunakan konektivitas nirkabel.

Buku ini juga menjelaskan teknologi komunikasi saluran listrik (Bab 4) yang digunakan untuk jaringan rumah. Ini menerapkan ide membangun rumah pintar dengan menghubungkan benda-benda pintar di rumah, seperti kulkas dan TV. Ide ini muncul sebelum kami mulai menggunakan terminologi IoT, yang lebih didorong dengan objek yang

terhubung dengan RFID. Layanan yang dikembangkan di jaringan rumah juga merupakan bagian dari layanan IoT, tetapi tidak memiliki masalah konektivitas yang sama seperti RFID atau sensor, yang merupakan perangkat kecil dengan sumber daya terbatas, terutama daya baterai.

Buku ini, membahas aplikasi dan masalah penelitian yang terkait dengan RFID (Bab 5). Ini juga mengusulkan untuk melihat penggunaan teknologi RFID lainnya dalam meningkatkan beberapa fungsi terkait jaringan, seperti lokasi dan mobilitas (Bab 6). Terakhir, pengaturan standar dan tata kelola IoT dibahas dalam Bab 7 dan 8.

Kami tidak mengabaikan isu-isu lain yang berkaitan dengan IoT, seperti kebutuhan untuk kinerja tinggi komputasi wajah skalabilitas, kebutuhan untuk lebih cepat memproses dan batas-batas fisika komponen dalam meningkatkan pada kecepatan dari prosesor, untuk menghadapi para diharapkan miliar objek yang terhubung menghasilkan lalu lintas dalam jaringan. Selain itu, disiplin penelitian harus bekerja dan berinteraksi dengan komunitas jaringan untuk membangun komputasi di mana-mana dan merancang layanan dan jaringan IoT.

Evizal
Februari 2024

BAB I

PENGANTAR INTERNET OF THINGS

1.1. Pengantar

Internet of Things (IoT) adalah merupakan jalan utama menuju dunia cerdas dengan komputasi dan jaringan di mana-mana. Ini bertujuan untuk membuat tugas yang berbeda lebih mudah bagi pengguna dan memberikan tugas lain, seperti pemantauan mudah dari berbagai fenomena di sekitar kita. Dengan komputasi di mana-mana, komputasi akan tertanam di mana-mana dan diprogram untuk bertindak secara otomatis tanpa pemicu manual; itu akan ada di mana-mana.

Di IoT, item lingkungan dan kehidupan sehari-hari, juga disebut "benda", "objek", atau "mesin" ditingkatkan dengan teknologi komputasi dan komunikasi dan bergabung dengan kerangka komunikasi. Dalam kerangka ini, teknologi nirkabel dan kabel sudah menyediakan kemampuan komunikasi dan interaksi, memenuhi berbagai layanan berdasarkan interaksi orang-ke-orang, orang-ke-mesin, mesin-ke-orang, mesin-ke-mesin, dan sebagainya. .Mesin atau objek/benda yang terhubung ini akan menjadi pengguna Internet atau jaringan baru dan akan menghasilkan lalu lintas data di Internet saat ini atau yang baru muncul.

Menghubungkan objek mungkin nirkabel, seperti dengan identifikasi frekuensi radio (RFID), atau teknologi sensor radio yang menawarkan, masing-masing, identifikasi item dan penginderaan lingkungan. Sambungan dapat menggunakan kabel, seperti halnya komunikasi saluran listrik PLC. PLC menawarkan transportasi data melalui media listrik dan telah memelopori konektivitas jaringan di rumah dari perangkat konsumen elektronik yang juga kami beri nama "objek" seperti lemari es pintar, TV pintar, pemanas pintar, dll.

Layanan berbasis IoT akan memberikan lebih banyak otomatisasi berbagai tugas di sekitar orang dan objek yang terhubung untuk membangun dunia cerdas tidak hanya di industri manufaktur tetapi juga di kantor, di rumah, dan di mana saja. Sebagian besar layanan ini juga akan bergantung pada lokasi yang mudah dan pelacakan objek yang terhubung. Layanan lain – layanan berorientasi objek – akan muncul misalnya dalam konteks tujuan planet hijau. Di sinilah aplikasi khusus akan memantau lingkungan dan secara otomatis bereaksi, misalnya, untuk meminimalkan pemborosan energi atau menghindari bencana alam.

Di IoT, mengidentifikasi, merasakan, dan secara otomatis memutuskan dan menggerakkan akan menjadi fungsi baru utama yang akan memungkinkan komputasi dan jaringan di mana-mana. Oleh karena itu, sensor dan RFID, di antara teknologi lainnya, akan semakin banyak digunakan dan dengan demikian akan memungkinkan integrasi lingkungan dunia nyata dalam layanan jaringan. Faktanya, miliaran tag dan sensor RFID diharapkan dapat menghubungkan miliaran item/objek/benda ke jaringan di tahun-tahun mendatang. Identifikasi yang dapat diskalakan, penamaan dan pengalamatan ruang dan struktur, resolusi nama yang dapat diskalakan, transfer data yang dapat diskalakan dan aman, semuanya menjadi perhatian utama. Teknologi pendukung lainnya untuk layanan jaringan dunia nyata ini termasuk nanoteknologi, pemrosesan otomatis dan robotika, dan mungkin teknologi baru yang memungkinkan dunia cerdas yang dibayangkan menjadi nyata.

IoT akan menghubungkan perangkat heterogen dan akan sangat padat, menghubungkan miliaran objek. Model berbasis Internet, IP- (Internet Protocol) atau TCP/IP (Transport Control Protocol/Internet Protocol) berdiri di tengah IoT. Ini adalah salah satu solusi INTERNETworking yang mungkin untuk menyembunyikan heterogenitas yang terus meningkat dari teknologi jaringan dan sistem komunikasi dimana-mana

lingkungan yang dibayangkan. IP mungkin tidak, bagaimanapun, mendukung keterbatasan sumber daya dan skalabilitas jaringan.

IP atau Internet pasti akan mendukung aplikasi IoT yang dekat dengan pasar, tetapi pengembangan penelitian IoT diharapkan juga akan datang dengan model dan arsitektur komunikasi INTERNETworking yang baru. Ini akan lebih mendukung persyaratan baru dari heterogenitas objek, skalabilitas (dari miliaran objek yang diharapkan), sumber daya terbatas untuk menghubungkan objek dan persyaratan yang terkait dengan layanan dan aplikasi baru yang akan dirancang di dunia nyata yang terhubung ini. Tepatnya berada di bawah era pasca-IP atau Internet masa depan [EUR 08, GEN 10, FIN 10], di mana beberapa proyek penelitian sedang membangun model dan arsitektur komunikasi baru yang lebih adaptif dengan persyaratan jaringan tertentu.

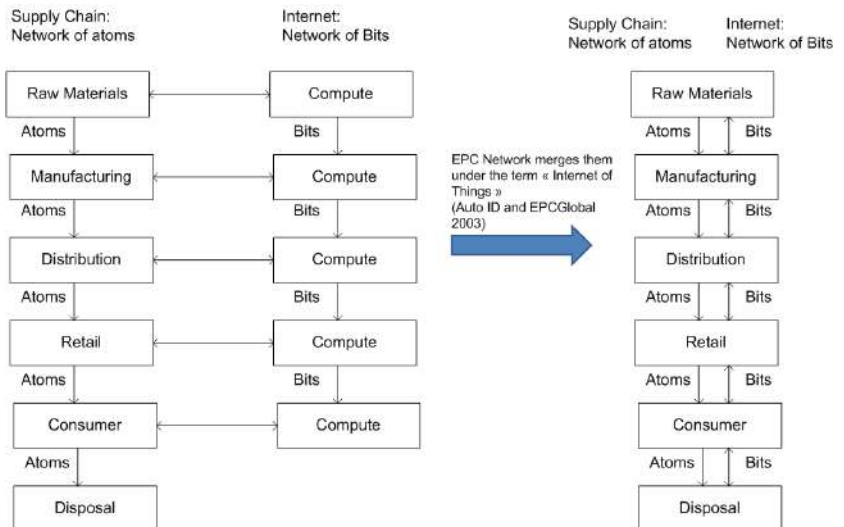
IoT adalah salah satu jaringan dengan persyaratan baru terkait pengenalan node/objek tersebut dengan teknologi baru dalam jaringan. Model TCP/IP yang ada mungkin kompatibel dengan model Internet pasca-IP atau masa depan yang muncul. Saat mencari desain jaringan dan layanan IoT, pemikiran ulang tentang konsep dasar akan muncul terkait dengan pengalamatan, perutean, penskalaan, jaminan kualitas layanan, keamanan, mobilitas, dll. Proyek penelitian ini saat ini didukung oleh jaringan all-IP, di mana model TCP/IP packet-switching telah mengambil alih model circuit-switching telekomunikasi klasik. Berkat upaya konvergen, Internet sudah menjadi model umum dalam telekomunikasi untuk menawarkan layanan yang berbeda.

1.2. Sejarah IoT

IoT awalnya diperkenalkan oleh pusat penelitian Auto-ID di MIT (Massachusetts Institute) [AUT] di mana upaya penting dilakukan untuk mengidentifikasi produk secara unik. Hasilnya diberi nama EPC (electronic product code), yang kemudian

dikomersialkan oleh EPCglobal. EPCglobal diciptakan untuk mengikuti tujuan AutoID di industri, dengan EAN.UCC (European Article Numbering – Uniform Code Council), sekarang disebut GS1, sebagai mitra untuk mengkomersialkan penelitian Auto-ID, terutama EPC.

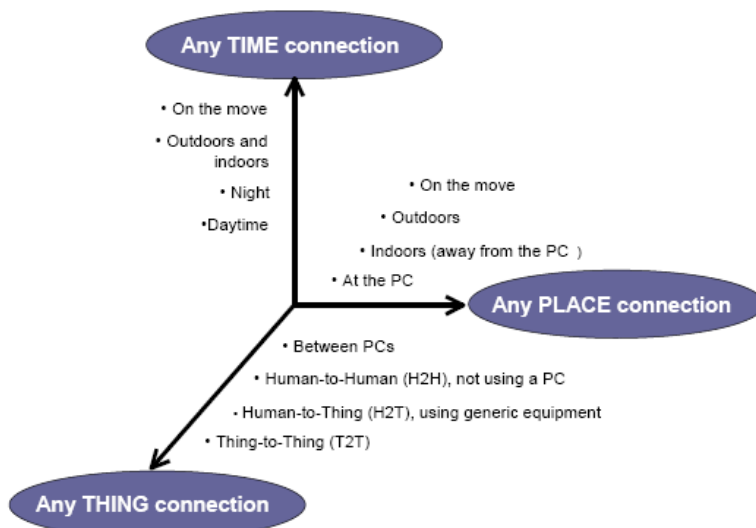
Sebuah "benda" atau "objek" adalah setiap item yang mungkin di dunia nyata yang mungkin bergabung dengan rantai komunikasi. Seperti yang disajikan oleh [HOD 01], tujuan utama awal IoT adalah untuk menggabungkan kemampuan komunikasi yang ditandai dengan transmisi data. Ini dipandang sebagai Internet, juga dikenal sebagai jaringan bit yang mewakili "dunia digital". Proses otomasi dipandang sebagai menghubungkan dunia nyata atau fisik, yang disebut “jaringan atom” yang ditandai dengan komponen terkecil, yaitu atom, ke dunia digital, yang disebut “jaringan bit”, yang ditandai dengan komponen terkecil. , yang sedikit.



Gambar 1. 1 Asal usul IoT [HOD 01]

Pada tahun 2005, ITU (Unit Telekomunikasi Internasional) menunjukkan minat pada kemungkinan bisnis telekomunikasi baru yang dapat dibangun ke dalam layanan di sekitar konektivitas baru objek lingkungan ke jaringan. ITU menghasilkan laporan komprehensif tentang IoT dari pandangan teknis, ekonomis dan etis [IoT 05]. Ini memperkenalkan sumbu baru di jalur jaringan di mana-mana untuk melengkapi konektivitas "di mana saja" dan "kapan saja" yang ada. Ini adalah sumbu konektivitas "apa saja" di mana interaksi benda-ke-benda atau mesin-ke-mesin ditambahkan untuk melengkapi interaksi antar manusia yang ada dan interaksi orang-ke-mesin dalam kerangka konektivitas yang memungkinkan. Ini jelas membuka peluang layanan baru.

Gambar 1.2 menyajikan tampilan ITU dari jaringan di mana-mana, menambahkan "koneksi apa saja" ke konektivitas di mana saja dan kapan saja.

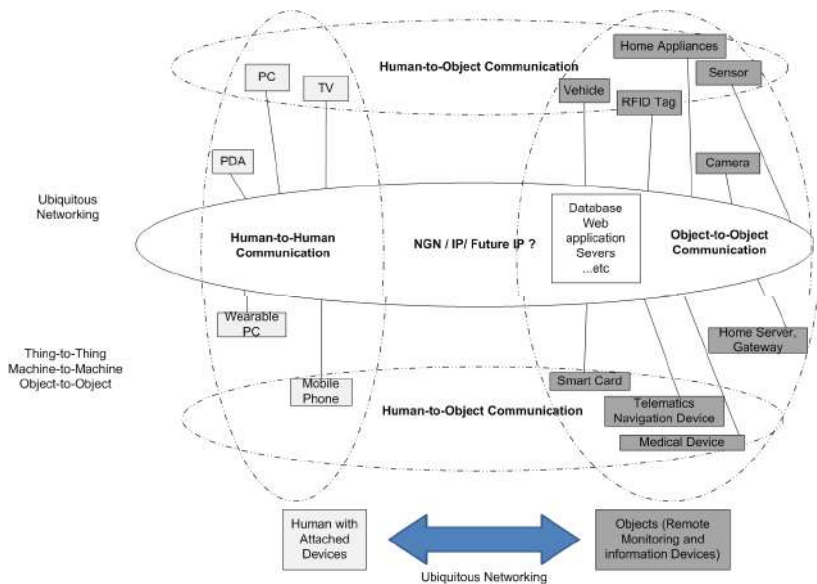


Gambar 1. 2 ITU di mana saja, kapan saja, dan apa saja visi [IoT 05]

Dengan menambahkan sumbu koneksi "apa saja", sumber informasi baru diperkenalkan di jaringan yang terhubung dan ini memungkinkan layanan baru mengeksploitasi informasi yang baru diperkenalkan di jaringan. Layanan ini akan dirancang untuk menawarkan jaringan dimana-mana yang diharapkan, di mana lingkungan dunia nyata mungkin bereaksi dan beradaptasi dengan situasi yang berbeda untuk membuat hidup manusia lebih mudah dan lebih nyaman. Menghubungkan objek-objek baru ini jelas akan menimbulkan banyak pertanyaan seperti:

- teknologi penghubung dari apa yang disebut objek
- interoperabilitas antar objek
- model komunikasi dari objek- objek yang terhubung ini
- kemungkinan interaksi dengan model yang ada, seperti Internet
- pilihan model transportasi
- pengalamanan, pengidentifikasian dan penamaan
- keamanan dan privasi
- dampak ekonomi dan evolusi rantai nilai telekomunikasi.

Faktanya, sebagian besar layanan Internet dirancang untuk memenuhi interaksi orang-ke-orang, seperti email dan layanan telepon. Lalu lintas yang diangkut melalui Internet saat ini dihasilkan oleh orang-orang baik suara maupun data. Layanan baru kemudian dikembangkan di sekitar interaksi antarmanusia dan mesin, mesin dan manusia, seperti layanan video-on-demand atau distribusi konten. Akhirnya, untuk memberikan tugas dan otomatisasi proses, layanan baru akan dikembangkan di sekitar mesin dan manusia, mesin-ke-mesin atau benda-ke-benda dan interaksi lain yang mungkin dalam apa yang disebut jaringan dimana-mana, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.3.



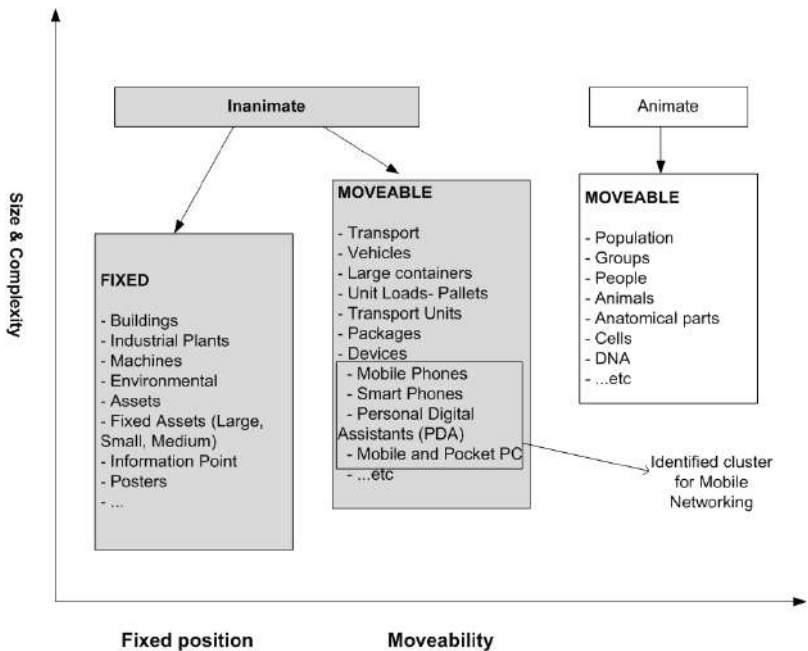
Gambar 1. 3 Jaringan di mana-mana [IoT 05]

IoT akan menghubungkan objek untuk menawarkan layanan baru di sekitar orang dan objek; kita juga bisa menyebutnya "Jaringan Benda/Objek". IoT mungkin menyarankan bahwa model Internet harus disesuaikan untuk mendukung konektivitas dan transportasi lalu lintas layanan baru berdasarkan objek yang terhubung. Perlu juga disebutkan bahwa "Web of Objects" adalah istilah lain yang digunakan untuk merujuk pada IoT. Karena Web adalah aksesibilitas layanan utama ke node yang terhubung ke Internet saat ini, IoT juga dilihat sebagai aksesibilitas layanan utama ke objek jaringan dan terhubung. Juga, di IoT, resolusi penamaan pengidentifikasi ke alamat Web diperlukan untuk menangani korespondensi pengidentifikasi yang diperkenalkan oleh teknologi RFID dan ONS (layanan nama objek) telah diperkenalkan untuk itu – sebagai layanan serupa dengan DNS internet (layanan nama domain). "Web of Objects" memiliki

lebih banyak makna dari sudut pandang aplikasi, tanpa secara tidak langsung menyiratkan perluasan model komunikasi Internet ke objek baru yang terhubung ini, seperti yang mungkin disarankan oleh "IoT".

1.3. Tentang objek/benda di IoT

Apa sebenarnya benda atau benda yang menghubungkan atau terhubung itu? Dalam aplikasi IoT yang dekat dengan pasar, tag dan sensor RFID menghubungkan objek mati dan membangun hal-hal aktual yang memungkinkan layanan IoT pertama. Mengikuti deskripsi pusat penelitian American Auto ID tentang IoT dan terminologi proyek penelitian CASAGRAS Eropa [CAS 08], "benda" atau "objek" digambarkan sebagai satu set atom. Atom adalah objek terkecil di IoT; seperti yang dapat dilihat oleh nanoteknologi, yang merupakan salah satu teknologi yang memungkinkan dari IoT. Jaringan atom yang digabungkan dengan jaringan bit jatuh ke dalam apa yang disebut IoT. Ini akan mengumpulkan satu set objek yang terhubung ke jaringan untuk membantu dalam pelaksanaan layanan baru yang memungkinkan dunia pintar. Jadi dengan atom, sebagai objek terkecil, dimungkinkan untuk mengklasifikasikan objek berdasarkan ukuran dan kompleksitasnya, aspek Bergeraknya dan apakah benda itu hidup atau mati, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.4 [CAS 08].



Gambar 1. 4 Klasifikasi objek [CAS 08]

Dalam terminologi ini, perangkat klasik seperti PC dan ponsel sudah menjadi objek yang terhubung menggunakan komunikasi kabel atau nirkabel. IoT akan memperluas konektivitas dan interworking objek yang ada saat ini dengan objek baru yang terhubung melalui penginderaan radio atau teknologi pengidentifikasi, seperti sensor atau jaringan RFID, yang memungkinkan pengembangan layanan baru yang melibatkan informasi dari lingkungan. Informasi ini dapat berupa pengidentifikasi sederhana, seperti pada RFID, atau informasi yang ditangkap, seperti pada sensor. Dalam terminologi lain, perangkat jaringan umum seperti PC, laptop, dan ponsel tidak dianggap sebagai objek.

Hanya perangkat kecil, seperti sensor, aktuator, dan RFID yang ditambahkan ke objek yang dianggap sebagai benda atau objek yang terhubung. Selain itu, mesin yang diidentifikasi dalam jaringan rumah (perangkat elektronik konsumen yang terhubung, seperti TV pintar, lemari es, lampu, dll.) juga merupakan objek yang terhubung. Dalam buku ini, yang dimaksud dengan "benda" atau "objek" adalah kehidupan sehari-hari dan benda-benda di sekitarnya yang terhubung menggunakan konektivitas radio, seperti sensor, RFID, atau komunikasi kabel seperti PLC. Teknologi ini memungkinkan pengembangan layanan baru, mengatur informasi dunia nyata melalui objek yang terhubung .

Teknologi yang berbeda dapat digunakan untuk menghubungkan objek. Perhatikan bahwa menghubungkan objek, seperti elektronik konsumen, misalnya kulkas pintar atau pemanas pintar, telah dimulai dengan jaringan rumah di mana peralatan konsumen terhubung melalui teknologi kabel, seperti PLC, yang memungkinkan komunikasi melalui saluran listrik. Sejumlah organisasi standarisasi dan industri menangani berbagai masalah teka-teki jaringan rumah.

Aplikasi jaringan rumah saat ini tidak mengalami keterbatasan sumber daya. Objek yang terhubung (kulkas pintar, TV pintar, dll.) dapat dengan mudah menerapkan model komunikasi yang ada, seperti model TCP/IP, untuk memungkinkan transmisi data. Mereka lebih dipengaruhi oleh masalah interoperabilitas. Hal ini berbeda dengan isu aplikasi baru IoT yang mengandalkan sensor dan RFID di mana sumber daya objek yang terhubung melalui radio dibatasi oleh energi, memori, dan kemampuan pemrosesan.

Kekhawatiran lain adalah bagaimana mendukung konektivitas objek heterogen, ketika sejumlah besar objek/benda ini akan dihubungkan oleh tag atau sensor. Jaringan sensor telah digunakan dalam kontrol proses industri. Mereka telah memungkinkan otomatisasi proses penginderaan dan penggerak untuk melakukan kontrol

otomatis, pemeliharaan, dan operasi pengumpulan data. Sejumlah besar aplikasi pemantauan lingkungan potensial untuk RFID dan jaringan sensor masih akan datang. Di jaringan rumah, aplikasi baru yang menggunakan sensor dan teknologi RFID akan memungkinkan kontrol otomatis dari proses tertentu, sehingga meminimalkan intervensi manusia.

1.4. Pengidentifikasi di IoT

Alamat IP mengidentifikasi node di Internet dan berfungsi sebagai pelacak untuk perutean. IPv6 memungkinkan ruang alamat yang lebih besar dari IPv4. Di IoT, ruang identifikasi yang besar akan diperlukan untuk mencakup identifikasi sejumlah besar objek yang terhubung. Semantik spesifik dari pengidentifikasi ini akan mengikuti kebutuhan aplikasi. Di IoT, di mana objek dialamatkan melalui pengidentifikasi yang disimpan ke dalam tag dan diinterogasi oleh pembaca jaringan, pertanyaan tentang penyatuan dan standarisasi ukuran dan struktur pengidentifikasi sangat penting untuk memungkinkan besar penyebaran layanan yang mengandalkan objek baru yang terhubung ini. Karena teknologi RFID secara alami digunakan untuk identifikasi, standarisasi pengenalan yang disimpan dalam RFID menjadi perhatian IoT saat ini. Pertanyaan yang sama diajukan untuk setiap skema pengalamatan yang digunakan dalam jaringan objek. Dalam kasus berbasis IP, masalahnya akan lebih banyak tentang semantik pengidentifikasi, skalabilitas ruang pengalamatan dan batasan ukuran memori perangkat yang ditangani oleh ruang alamat/pengidentifikasi yang dipilih.

Istilah "pengidentifikasi" mirip dengan istilah "nama". Nama tidak berubah dengan lokasi, berbeda dengan "alamat", yang dimaksudkan untuk digunakan untuk merujuk ke lokasi sesuatu. Alamat IP digunakan untuk merutekan paket antar sistem akhir. Penyedia layanan IoT yang sedang berkembang berharap untuk mengandalkan ruang pengenalan yang nyaman untuk layanan yang dibayangkan, mengetahui

bahwa apa pun dapat diberi pengenalan – objek fisik, orang, tempat, atau objek logis. Berbagai macam layanan dan aplikasi dapat dipertimbangkan setelah memungkinkan untuk memberikan informasi yang terkait dengan pengidentifikasi tag dalam berbagai bentuk (teks, audio, atau gambar). Misalnya, di museum, pengenalan pada label yang dilampirkan pada lukisan dapat digunakan untuk menemukan informasi lebih lanjut tentang lukisan dan artisnya. Di toko kelontong, pengenalan pada paket makanan dapat digunakan untuk memeriksa apakah makanan tersebut aman untuk dimakan dan bukan anggota sampel yang ditemukan terkontaminasi dalam beberapa cara. Area lain di mana akses informasi yang dipicu oleh pengenalan dapat menjadi berharga adalah di:

- obat/farmasi;
- pertanian;
- perpustakaan;
- perdagangan eceran ;
- industri pariwisata ;
- logistik; dan
- manajemen rantai pasokan [MAI 10].

Jadi, masalah utama untuk memulai dengan memaksimalkan kesuksesan adalah standarisasi untuk memastikan interoperabilitas dari yang terhubung objek dan node di IoT. Seperti yang akan disajikan dalam Bab 7 buku ini, masalah ini terkenal di bidang komunikasi, tetapi lebih buruk di IoT karena miliaran objek diperkirakan akan terhubung. Oleh karena itu penting untuk membakukan pengenalan objek karena objek dalam jaringan akan ditangani oleh pengenalan unik yang mirip dengan IP alamat node yang terhubung di Internet.

EPCglobal pertama-tama menstandarisasi pengenalan EPC, diikuti oleh Organisasi Standardisasi Internasional (ISO). Selain ISO dan EPCglobal, Pusat ID di mana-mana (uIDcenter) telah menetapkan pengenalan generik yang disebut "ucode", yang tidak hanya dimaksudkan untuk

mengidentifikasi objek fisik tetapi juga diperluas ke tempat dan informasi digital. ISO telah mengatasi masalah pengenalan standar dengan mempertimbangkan proposal kepemilikan, seperti EPCglobal dan uIDcenter, tetapi juga menawarkan kesempatan untuk menentukan pengenalan lain yang sesuai dengan rekomendasi ISO.

Misalnya, jika kita menggunakan ruang alamat IP untuk identifikasi, dan jika perangkat/benda memiliki memori yang cukup, kita dapat mempertimbangkan ruang alamat IPv6 untuk digunakan sebagai ruang pengenalan objek, karena ruang alamat IPv6 seharusnya cukup besar untuk ditawarkan. hingga 2²²³ alamat dalam satu meter persegi. Sayangnya, mendefinisikan pengidentifikasi tidak hanya tentang skalabilitas ruang pengidentifikasi tetapi juga tentang struktur dan makna/semantik pengidentifikasi. Penting bahwa pengidentifikasi hanya memainkan peran identifikasi, sehingga meskipun objek yang diidentifikasi bersifat mobile, pengidentifikasi tetap sama. Dalam model komunikasi IP, alamat IP memainkan dua peran dari sudut pandang jaringan, mereka bertindak sebagai pelacak untuk perutean dan dari sudut pandang aplikasi, mereka mengidentifikasi host selama sesi komunikasi. Peran ganda ini terlihat bermasalah karena meningkatnya tuntutan mobilitas dan multi-homing sistem akhir.

Untuk alasan ini, Internet Research Task Force (IRTF) dan Internet Engineering Task Force (IETF) telah mengembangkan protokol identitas host (HIP), yang mendefinisikan pengidentifikasi host yang dapat melakukan peran pengenalan alamat IP. Ini meninggalkan alamat IP untuk bertindak semata-mata sebagai pelacak untuk perutean. Pengidentifikasi host protokol HIP ini berpotensi digunakan sebagai jenis pengidentifikasi lain di IoT dengan syarat mereka menghormati standar ISO dan mampu membawa semantik pengenalan yang dibutuhkan oleh aplikasi IoT yang dimaksud. Misalnya, pengidentifikasi EPCglobal berisi informasi tentang produk itu

sendiri, pabrikan, dll. Alamat IPv6 memberi tahu kami tentang awalan jaringan dan alamat node. Ini tidak mengandung semantik yang diharapkan oleh pengidentifikasi baru. Pemetaan antara alamat IP dan pengidentifikasi hal-hal akan dimungkinkan jika jaringan IP digunakan untuk menghubungkan objek yang diidentifikasi dan terhubung ini ke Internet.

Seperti disebutkan sebelumnya, mengidentifikasi, menangani, dan memberi nama objek dalam layanan IoT sangat penting. Sedangkan untuk perangkat berbasis IP, pengalamanan dan penamaan IP digunakan untuk mengaktifkan perutean dan lokasi sumber daya jaringan dalam jaringan. Protokol resolusi alamat dan resolusi nama menggunakan layanan nama domain IP (DNS) digunakan dalam jaringan IP untuk menawarkan layanan yang berbeda, seperti World Wide Web, email, transfer file, voice over IP, dll. Beberapa layanan IP yang ada, seperti DNS, dipertimbangkan dalam menangani resolusi pengenalan ke nama di layanan IoT tertentu. Layanan ini mencakup pelacakan produk, di mana pengidentifikasi elektronik produk akan memanggil halaman web produsen dan riwayat pembuatan dan pengiriman produk ini. Layanan ini diberi nama oleh EPCglobal ONS.

Untuk menggunakan ONS untuk semua layanan IoT yang muncul yang mengatur pengidentifikasi, masalah tertentu, seperti skalabilitas layanan penamaan ini, juga harus diatasi karena kami mengharapkan miliaran objek untuk ditandai dengan pengidentifikasi. Isu nonteknis lainnya terkait ONS, seperti tata kelola ONS ini, juga penting. Adapun root DNS, yang di-host di Amerika Serikat, sistem ONS juga akan memiliki root ONS, yang ingin di-host di Eropa [BEN 09]. Menggunakan pendekatan DNS dalam layanan IoT tertentu telah menyebabkan World Object Web, aplikasi yang berjalan melalui jaringan atau web objek, mirip dengan World Wide Web yang berjalan melalui jaringan node

IP; Internet. Gambar 1.4 menunjukkan contoh penggunaan ONS untuk mengambil halaman web produsen .

Contoh penggunaan ONS untuk aplikasi IoT selain pelacakan produk dipresentasikan dalam konferensi IoT pada tahun 2008 [IoT 08]. Itu tentang membantu orang buta membaca buku secara otomatis yang ditandai dengan RFID di mana dia dapat meletakkannya di pembaca yang terhubung ke komputer.

Segera setelah pembaca mendapatkan pengidentifikasi buku yang diberi tag, halaman web muncul di layar dan mulai membaca buku. Ini adalah aplikasi yang dikembangkan dan dijalankan di sisi Internet. Sebagian besar aplikasi berbasis RFID saat ini akan dikembangkan di sekitar aplikasi sentuh-tag-dan-pemicu-ini, mengandalkan resolusi pengidentifikasi objek RFID melalui ONS [FLO 08].

1.5. Mengaktifkan teknologi IoT

Sebagaimana dinyatakan oleh laporan ITU [IoT 05], komersialisasi skala penuh dari banyak teknologi yang terkait dengan IoT mungkin memerlukan beberapa waktu untuk membuahkan hasil. Perkembangan awal telah menghasilkan banyak aplikasi inovatif yang mungkin ada dimana-mana dalam kehidupan sehari-hari di rumah, di tempat kerja, di pertanian, di rumah sakit, di toko, di jalan, dan bahkan di dalam tubuh.

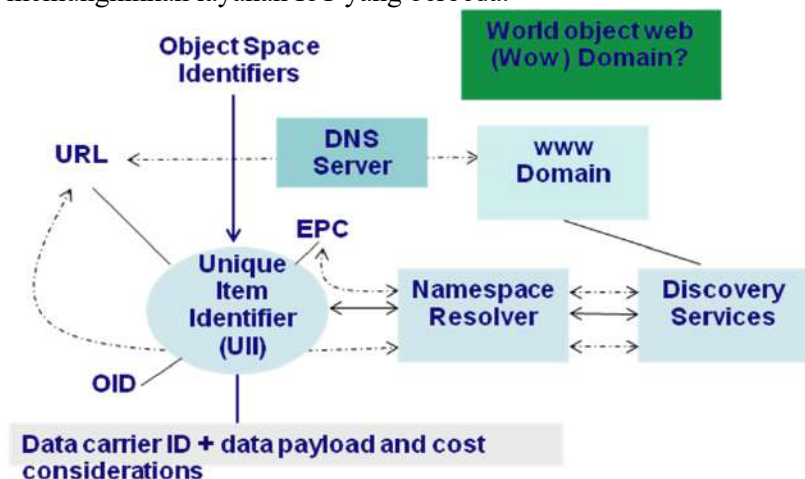
Penandaan dan identifikasi berbasis item akan membawa komunikasi kapan saja dan di mana saja ke tingkat berikutnya dalam jaringan "komunikasi apa pun". Memberdayakan hal-hal untuk mendeteksi dan memantau lingkungan mereka melalui sensor akan memungkinkan jaringan untuk merasakan, bereaksi dan menanggapi rangsangan eksternal. Kecerdasan yang tertanam di tepi jaringan akan semakin meningkatkan kemampuan jaringan untuk merespons [IoT 05].

Layanan IoT akan menghadirkan fungsionalitas baru dalam jaringan yang memungkinkan informasi lingkungan nyata

untuk diproses oleh beberapa aplikasi IoT. Fungsi-fungsi ini antara lain akan mengidentifikasi, merasakan dan menggerakkan di samping kemampuan komunikasi atau transportasi informasi.

Semakin banyak teknologi akan terhubung ke jaringan yang ada dan masa depan untuk berinteraksi dengan dunia nyata, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.5 untuk memungkinkan aplikasi yang berbeda di sekitar pengguna layanan IoT. Aplikasi lain akan melibatkan lebih banyak komunikasi objek-ke-objek untuk berbagai jenis layanan IoT yang lebih erat kaitannya dengan lingkungan dunia nyata.

Teknologi utama IoT yang memungkinkan pertama-tama adalah teknologi identifikasi elektronik seperti RFID dan teknologi penginderaan dan penggerak seperti sensor/aktuator. Teknologi komunikasi dari objek-ke-objek dan dari jaringan objek ke jaringan yang ada, seperti jaringan komunikasi kabel dan nirkabel dan teknologi lain seperti nanoteknologi, teknologi pintar, robotika, lokasi, dll juga akan memungkinkan layanan IoT yang berbeda.



Gambar 1. 5 Arsitektur ONS [CAS 08]

Layanan IoT berbasis nirkabel menjadi lebih populer sejak RFID dan sensor telah mampu memberikan informasi melalui antarmuka radio. Komunikasi kabel antar objek terutama akan menjadi PLC, karena peralatan elektronik rumah yang dianggap sebagai objek akan memanfaatkan komunikasi listrik untuk juga mengirim informasi. Ketika aplikasi jaringan rumah dimulai pada saat yang sama dengan pengembangan PLC, aplikasi ini diberi nama "aplikasi jaringan rumah". Dengan pengenalan RFID nirkabel dan sensor, aplikasi baru dapat dikembangkan di jaringan rumah tetapi juga di mana-mana yang melibatkan objek dunia nyata. Inilah saatnya istilah IoT lebih baik untuk mencakup semua layanan dan aplikasi yang ada dan muncul yang berinteraksi dengan dunia nyata. Dalam buku ini, kami menjelaskan teknologi RFID (Bab 2) dan teknologi sensor (Bab 3) karena mereka memungkinkan objek atau benda untuk terhubung ke jaringan dan menawarkan kemungkinan untuk mengembangkan layanan baru berdasarkan komunikasi nirkabel. Buku ini mencakup bab tentang teknologi PLC

(Bab 4) karena ini menyediakan koneksi alami ke jenis objek lain, seperti peralatan elektronik rumah, dan menunjukkan aplikasi IoT lainnya di jaringan rumah menggunakan tautan kabel, seperti PLC. Ini sebenarnya adalah aplikasi baru dibandingkan dengan aplikasi klasik yang kita dapatkan melalui komputer atau telepon menggunakan teknologi klasik, seperti komunikasi tetap atau seluler. Teknologi komunikasi lainnya – seperti Ethernet, teknologi komunikasi nirkabel dan seluler – menghubungkan perangkat seperti komputer atau telepon (tetap atau seluler) tetapi kami memilih untuk tidak menganggap perangkat ini sebagai objek atau benda karena tidak digunakan secara khusus untuk mengembangkan layanan IoT baru. Teknologi ini membentuk jaringan pendukung untuk mengangkut informasi layanan IoT, seperti informasi pengenalan dan penginderaan. Informasi akan diproses dalam aplikasi yang

berjalan di suatu tempat di jaringan seluler atau tetap di mana jaringan objek terhubung.

1.5.1. Teknologi identifikasi

Teknologi identifikasi awalnya dicapai dengan barcode sederhana yang secara unik mengidentifikasi item untuk dilacak. Barcode berevolusi menjadi barcode 2D untuk memuat lebih banyak informasi atau lebih banyak pengenalan dalam ruang 2D yang sama. Akhirnya, pengkodean batang elektronik dengan pengenalan RFID akan memungkinkan kita untuk menyimpan pengidentifikasi dalam memori tag RFID. Di IoT, teknologi RFID dianggap sebagai salah satu teknologi yang memungkinkan untuk membangun layanan baru melalui jaringan, yang disajikan dalam Bab 2 buku ini. Teknologi RFID akan mengidentifikasi, melacak lokasi, dan menyediakan aplikasi IoT tertentu ke objek. Ini terutama menjawab pertanyaan "Apa, yang mana, di mana?", sedangkan sensor menjawab pertanyaan "Bagaimana?" [IOT 05]. Sistem RFID terdiri dari empat komponen utama :

- transponder atau tag untuk membawa data:
 - tag bisa pasif, semi-pasif atau aktif, berdasarkan sumber dayanya dan cara penggunaannya, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.1;
 - antena atau kumparan gelombang mikro dan data microchip yang terletak pada objek yang akan diidentifikasi;
 - seorang interogator atau pembaca . Dibandingkan dengan tag, pembaca lebih besar, lebih mahal, dan haus kekuasaan:
 - yang dapat menjadi read-only, read/write atau read/write/re-write, tergantung pada bagaimana data mereka dikodekan;
 - middleware , yang meneruskan data ke sistem lain, seperti database, komputer pribadi, atau sistem kontrol robot, tergantung pada aplikasinya.

Tabel 1. 1 Teknologi tag RFID [YAN 08]

RFID pasif	Tidak perlu daya tertanam Melacak inventaris Nomor identifikasi unik – Lebih dipublikasikan (Wal-Mart, Metro, Departemen Pertahanan, dll.) <i>Peka terhadap interferensi (logam, kebisingan, dll.)</i>
RFID semi-pasif	Memberi kekuatan pada microchip dari tag Kurang sensitif terhadap interferensi dibandingkan tag pasif (logam)
RFID aktif	Daya tertanam:berkomunikasi melalui jarak yang lebih jauh Unik identifier Perangkat lain (misalnya sensor) Lebih baik daripada tag pasif <i>dengan adanya logam</i>
RFID semi-aktif	Daya pemancar bagian – Lebih baik daripada pasif dan semi-pasif di <i>lingkungan yang bising</i>

Aplikasi yang berbeda dimungkinkan dengan teknologi RFID, seperti yang disajikan dalam Bab 5; pelacakan item seperti produk dalam rantai ritel dan pelacakan hewan. Sistem komunikasi RFID dapat menempuh jarak yang jauh, seperti pada aplikasi pelacakan hewan yang jarak bacanya beberapa kilometer.

Near field communication (NFC) adalah teknologi nirkabel jarak pendek yang memungkinkan interaksi yang mudah dan nyaman antar perangkat. NFC akan menggunakan sistem

komunikasi RFID tetapi membatasi jangkauan pembacaan hingga beberapa sentimeter. Ini dapat digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan proses pembacaan RFID yang aman. Ini juga merupakan perpanjangan dari teknologi proximity-card (ISO 14443) tanpa kontak. Ini menggabungkan antarmuka kartu pintar dan pembaca dalam satu perangkat. Teknologi NFC memungkinkan solusi RFID reader-only, tag-only, dan smart-card-only. Ini dioptimalkan untuk penemuan dan inisiasi layanan di mana middleware di sisi jaringan ditentukan, seperti arsitektur Nokia Field Force Solution.

Perangkat seluler dengan teknologi NFC yang diaktifkan sudah ada di pasaran dan menawarkan akses ke berbagai aplikasi, seperti tiket seluler di transportasi umum, pembayaran seluler, poster pintar, tiket elektronik, uang elektronik, dll. Ini dilihat sebagai peluang bagi operator jaringan seluler menjadi antarmuka untuk mengakses berbagai layanan IoT melalui ponsel berkemampuan NFC.

Aplikasi IoT yang berbeda sekarang tersedia, misalnya antarmuka NFC di beberapa ponsel memungkinkan kita membaca tag RFID dan memicu aplikasi atau layanan tertentu, seperti pembayaran otomatis melalui ponsel [TOU]. Lebih banyak aplikasi dan layanan akan muncul dengan memanfaatkan teknologi RFID dan lebih banyak upaya penelitian saat ini sedang berlangsung di bidang RFID. Misalnya, dalam [PAP 09] penulis memperkenalkan kemungkinan penggunaan teknologi RFID untuk meningkatkan posisi nirkabel dalam ruangan. Dalam [PAP 10], penulis mengusulkan untuk meningkatkan mobilitas IP dengan meningkatkan deteksi gerakan mobile node menggunakan teknologi RFID. Bab 5 memberikan lebih banyak contoh peluang RFID dan masalah penelitian.

1.5.2. Teknologi penginderaan dan penggerak

Seperti disebutkan sebelumnya, RFID terutama menjawab pertanyaan "apa, yang mana, di mana?" sedangkan sensor menjawab "bagaimana?". Sensor adalah perangkat elektronik yang mendeteksi indera atau mengukur rangsangan fisik dari lingkungan dunia nyata dan mengubah sinyal dari rangsangan ke dalam bentuk analog atau digital. Beberapa sensor juga menyediakan fungsionalitas aktuasi; ini diberi nama sensor/aktuator.

Sensor dapat diklasifikasikan menurut parameter yang mereka ukur [IoT 05]:

- mekanis (misalnya posisi, gaya, tekanan, dll.);
- termal (misalnya suhu, aliran panas);
- medan elektrostatik atau magnet;
- intensitas radiasi (misalnya elektromagnetik, nuklir);
- bahan kimia (misalnya kelembaban, ion, konsentrasi gas);
- biologis (misalnya toksisitas, keberadaan organisme biologis), dll.;
- militer – pelacakan musuh atau pengawasan medan perang .

Banyak kelompok ilmiah dan penelitian bekerja untuk mengembangkan jaringan sensor yang lebih efisien dan layak. Kendala teknis utama adalah:

- daya, ukuran, memori, dan kapasitas penyimpanan
- trade-off antara kekuatan dan ukuran
- interferensi, model komunikasi
- lingkungan di mana sensor ditempatkan (bawah air, lapangan darat, dll.).

Banyak aplikasi sensor, seperti yang dijelaskan dalam Bab 3, dapat dibayangkan dalam domain yang berbeda lingkungan militer, perawatan kesehatan, konstruksi, aplikasi komersial, pemantauan suhu produk dari jarak jauh, aplikasi rumah seperti rumah pintar, dan sebagainya. Bab 3 memberikan gambaran umum tentang teknologi sensor.

1.5.3. Teknologi lainnya

Teknologi yang muncul akan membawa lebih banyak kemungkinan untuk mengembangkan aplikasi IoT baru yang melibatkan lebih sedikit pengguna dan menjadi lebih banyak objek-sentris atau otonom. Berikut beberapa di antaranya yang dapat kami sebutkan:

- teknologi pintar: teknologi berpikir dan memutuskan berdasarkan penginderaan dan informasi yang diterima membangun komunikasi otonom.

- otomatisasi proses dan robotika: menjalankan aktuasi dan membangun komunikasi otonom.

- nanoteknologi: atom adalah objek, objek terkecil di IoT.

Layanan IoT yang lebih mungkin akan didasarkan pada jenis bahan baru, kain perasa, lukisan dinding yang disesuaikan, dll. mendorong jaringan di mana-mana banyak objek kehidupan sehari-hari [IoT 05].

1.5.4. Komunikasi objek yang terhubung

1.5.4.1. Objek ke objek

Dalam komunikasi objek-ke-objek, interoperabilitas sangat penting dan membangun jaringan objek dengan komunikasi ujung ke ujung merupakan tantangan. Misalnya, pembaca RFID ke tag RFID akan menggunakan model komunikasi ISO standar bernama ISO 18000, di mana komunikasi serial digunakan pada beberapa kilobit per detik dan dalam beberapa teknologi hingga satu megabit per detik. Berikut ini adalah komunikasi point-to-point .

Dalam komunikasi sensor-ke-sensor, teknologi nirkabel yang berbeda dimungkinkan dan IEEE 802.15.4 atau Zigbee adalah salah satu teknologi nirkabel yang dipromosikan untuk membangun jaringan sensor nirkabel. Dalam skenario jaringan rumah dan kabel, objek mungkin berkomunikasi dengan objek lain menggunakan PLC.

Menggunakan model IP dalam jaringan objek yang muncul, komunikasi mungkin dimungkinkan dalam kondisi tertentu yang terkait dengan sumber daya node, pengalamatan, penamaan dan identifikasi node, ukuran jaringan dan kepadatan node, dll. Saat ini, model IP dimungkinkan sebagai fungsi aplikasi IoT jaringan hosting dan menggunakan gateway khusus untuk menghubungkan objek atau jaringan objek ke Internet.

1.5.4.2. Objek atau jaringan objek ke jaringan lain

Layanan IoT generasi pertama yang dekat dengan pasar akan mengandalkan objek baru ini yang terhubung ke jaringan melalui teknologi, seperti RFID (NFC untuk aplikasi pembacaan jarak pendek yang aman) dan sensor untuk memperkenalkan informasi dunia nyata ke dalam jaringan. Informasi ini akan diproses oleh aplikasi baru ini. Dalam hal ini, sebagian besar upaya interkoneksi akan berada di titik gateway yang menghubungkan objek ke jaringan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.6.

Gateway ini dapat dihubungkan baik dengan sistem komunikasi kabel atau nirkabel/seluler. Teknologi lain yang sudah digunakan untuk aplikasi yang berbeda mungkin teknologi untuk layanan IoT baru untuk menghubungkan objek ke jaringan. Contohnya termasuk kartu pintar untuk pembayaran otomatis, teknologi lokasi (sistem lokasi waktu nyata, sistem penentuan posisi global atau GPS, dll.). Teknologi tersebut memungkinkan layanan dan pelacakan berbasis lokasi, kode batang (2D) untuk pelacakan barang, dll.



Gambar 1. 6 Contoh teknologi terkini untuk layanan IoT [CAS 08]

1.6. Tentang Internet di IoT

Menghubungkan objek dengan teknologi yang berbeda dan model komunikasi yang berbeda menimbulkan pertanyaan tentang komunikasi ujung ke ujung antara sistem yang heterogen. IP di masa lalu telah menjawab pertanyaan ini ketika menghubungkan jaringan heterogen dengan lapisan fisik dan tautan yang berbeda, mengangkut berbagai jenis lalu lintas melalui lapisan jaringan/IP dengan memperkenalkan ruang pengalamatan baru; skema pengalamatan dan perutean IP yang memungkinkan kita menjangkau setiap simpul yang terhubung ke jaringan IP selama ia memiliki alamat IP yang dapat dirutekan. Di IoT ada lebih banyak masalah daripada heterogenitas dalam menghubungkan objek baru dan menghubungkan jaringan objek ke jaringan yang ada. Untuk alasan ini, kita perlu :

- merancang atau mengadaptasi model komunikasi yang sesuai untuk mengatur jaringan objek;
- merancang atau mengadaptasi konektivitas jaringan objek ini ke Internet saat ini di mana beberapa fungsi IoT akan di-host, seperti database informasi, aplikasi, perintah aktuasi, dll.

Untuk model komunikasi untuk mengatur jaringan objek, beberapa masalah perlu dipertimbangkan. Masalah penting adalah sumber daya yang tersedia yang ditawarkan oleh objek, seperti baterai, memori, dan kemampuan pemrosesan. Misalnya, objek kecil seperti sensor atau RFID memiliki sumber daya yang terbatas. Namun, objek lain di aplikasi jaringan rumah, seperti smart TV atau kulkas pintar, mungkin memiliki sumber daya yang cukup. Biasanya bila ada sumber daya yang cukup, pengalamatan IP dan model perutean dapat dianggap sebagai model komunikasi untuk menyiapkan jaringan objek, asalkan memenuhi persyaratan lalu lintas aplikasi.

Masalah lainnya adalah heterogenitas objek penghubung. Sekali lagi, model IP dapat dipertimbangkan untuk menangani konektivitas node dan jaringan yang heterogen, tetapi ini hanya akan mungkin jika ada sumber daya yang cukup. Objek kecil, seperti sensor, RFID, dll. dengan jelas menunjukkan keterbatasan model IP saat ini, terutama dengan konsumsi energi. Oleh karena itu, adaptasi baru dari model ini telah dirancang di IETF di mana model IP dapat digunakan untuk menghubungkan beberapa objek di IoT, seperti sensor di bawah kondisi tertentu.

Parameter. Faktanya, kelompok kerja IETF 6LoWPAN telah menghasilkan model berbasis IPv6 untuk memenuhi persyaratan lingkungan sensor melalui IEEE 802.15.4 [IET 08]. Kelompok kerja ROLL telah melihat bagaimana mengadaptasi proses perutean ke lingkungan baru ini dan menghasilkan protokol RPL (pemuatan program jarak jauh) [IET 08b]. Aliansi IP for Smart Objects (IPSO), yang merupakan kelompok lebih dari 100 industri, juga melihat adaptasi IP ke perangkat pintar dan kecil [IPS] ini.

Perhatikan bahwa jaringan sensor mendapatkan perhatian yang meningkat dari industri karena mereka dapat membantu dalam membangun layanan dan aplikasi baru di berbagai domain, seperti kesehatan, pertanian, dan transportasi, di mana

saja, sehingga menciptakan pendapatan baru. Sama halnya dengan teknologi RFID. Namun, sebelum mengembangkan lebih banyak aplikasi dan mempertimbangkan lebih banyak objek, perlu untuk menghindari masalah seperti skalabilitas, kompleksitas, dan heterogenitas dalam komunikasi. Model Internet (saat ini / masa depan) dianggap sebagai kerangka komunikasi yang mungkin untuk layanan berbasis IoT yang muncul, setidaknya dalam jangka pendek dan menengah. Agar lebih umum, kita harus mempertimbangkan kata Internet di "IoT" sebagai INTERNETworking of objects, artinya:

- kemampuan transportasi ;
- manajemen heterogenitas ;
- manajemen jaringan objek yang mudah ;
- pengembangan layanan yang mudah; dan
- kemampuan penyebaran .

Ini dapat diwujudkan dengan versi model IP yang diadaptasi atau model komunikasi yang sama sekali baru, yang diharapkan oleh inisiatif Future Internet/Network di seluruh dunia [EUR 08, FIN 10]. Interkoneksi jaringan objek ke jaringan lain, seperti Internet yang ada, akan tergantung pada tujuan interkoneksi. Kita tahu bahwa aplikasi IoT akan mengatur fungsionalitas dari jaringan Internet saat ini untuk memungkinkan pengangkutan lalu lintas yang dihasilkan pada node IoT dan juga memungkinkan jaringan lokal dan jarak jauh.

Akses layanan. Fungsionalitas lain terkait dengan pengelolaan jaringan objek dengan alat sederhana dan dikenal secara lokal atau jarak jauh. Akibatnya, jaringan objek yang menggunakan model IP atau model komunikasi lainnya dalam jaringan objek harus terhubung ke Internet melalui beberapa gateway tertentu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.12. Hal ini memungkinkan komunikasi antara jaringan objek dan Internet di seluruh dunia dan memungkinkan kita mendapatkan manfaat dari alat, transportasi data, dan manajemen yang ada. Gateway akan dekat dengan pembacaan

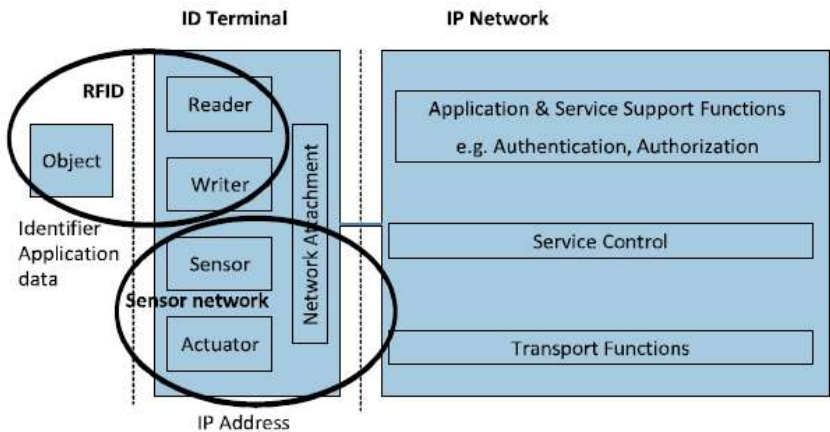
tag atau sensor untuk menangani pengangkutan informasi ini di sisi IP. Misalnya, beberapa perintah dapat dikirim dari simpul Internet ke jaringan objek. Dalam hal ini, model Internet harus disesuaikan untuk mendukung properti dari lalu lintas baru yang datang dari, dan menuju, jaringan objek ini.

Untuk memahami properti lalu lintas baru, penting untuk melihat fungsionalitas yang dibutuhkan oleh layanan IoT. Layanan yang muncul ini bermaksud untuk memperkenalkan informasi dari lingkungan dunia nyata dalam jaringan untuk diproses dan kemudian mengotomatiskan beberapa tugas di dunia nyata; mengidentifikasi, merasakan, dan menggerakkan adalah blok bangunan utama dari layanan berbasis IoT. Semua fungsi ini akan menghasilkan lalu lintas yang perlu diangkut dari satu titik ke titik lain di jaringan. Misalnya, proses pengidentifikasian akan menghasilkan informasi pengidentifikasi menggunakan teknologi pengidentifikasi saat ini; RFID akan digunakan oleh layanan aplikasi yang terletak di jaringan. Pembaca RFID dapat langsung terhubung ke jaringan atau multi-hop jauh dari itu.

Saat menggunakan sensor, informasi penginderaan dihasilkan oleh sensor dan harus diangkut ke proses aplikasi melalui sensor lain; model transport multi-hop atau satu hop dari node yang menjalankan aplikasi. Proses aktuasi mungkin dipicu secara lokal atau jarak jauh melalui jaringan dan akan membutuhkan transportasi jaringan yang efisien untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas layanan aktuasi. Bagaimanapun, ada kebutuhan untuk transfer informasi yang efisien dengan mempertimbangkan sumber daya yang terbatas dari teknologi objek saat ini, seperti tag RFID dan sensor nirkabel.

Arsitektur pertama yang diusulkan oleh ITU ditunjukkan pada Gambar 1.6 di mana jaringan IP dipilih untuk mengangkut identifikasi atau merasakan informasi di tepi Internet. Ini menunjukkan kebutuhan akan antarmuka untuk pesawat transportasi dan layanan Internet atau NGN (jaringan generasi

berikutnya). Jaringan IP tidak akan menjadi satu-satunya kemungkinan untuk mendukung pengangkutan informasi yang dihasilkan oleh layanan berbasis IoT baru ini. Ini adalah pandangan jangka pendek dan menengah dari aplikasi IoT yang dekat dengan pasar. Model jaringan masa depan mungkin muncul untuk menangani persyaratan baru layanan IoT dan transportasi lalu lintas berdasarkan perangkat kecil ini yang mengalami kekurangan energi, memori, dan sumber daya pemrosesan. Lebih banyak adaptasi dan perilaku otonom akan dimasukkan dalam model komunikasi baru .



Gambar 1. 7 Model referensi ITU IoT [IoT 05]

Seperti yang disebutkan oleh ITU pada Gambar 1.6, industri sedang mempertimbangkan IP dan NGN dalam jangka pendek dan menengah sebagai dukungan jaringan untuk layanan IoT. Hal ini dilihat sebagai langkah maju yang alami untuk proses konvergensi dalam telekomunikasi mencari model semua IP. Berdasarkan fakta ini, layanan IoT tertentu mungkin diterapkan dengan sangat cepat segera setelah masalah terkait keamanan diselesaikan, seperti privasi yang terkait dengan penerapan RFID. Layanan dekat-ke-pasar ini menggunakan

Internet untuk menjalankan aplikasi yang mengatur objek yang terhubung ke node jaringan yang ada. Dalam konteks ini, antarmuka pengguna ke layanan baru ini akan terkait dengan jaringan tetap atau seluler. The aktuasi Proses mungkin akan dipicu lokal

Jika diprogram untuk melakukannya, atau dari jarak jauh melalui jaringan tertentu berdasarkan terminal tertentu. Misalnya, aktuasi mungkin melalui ponsel yang terhubung ke jaringan 4G yang muncul atau jaringan nirkabel atau seluler lainnya. Ini telah menarik minat khusus dari operator jaringan seluler dan produsen perangkat seluler yang merancang ponsel pintar dengan kemampuan pembaca RFID. Faktanya, ponsel yang muncul dapat digunakan untuk memicu beberapa layanan IoT dari jarak jauh, dan juga berinteraksi secara lokal melalui antarmuka pembacaan baru dengan objek yang ditambahkan ke lingkungan nyata.

Mengikuti pendekatan industri di mana konvergensi ke semua IP berlanjut dengan layanan IoT baru, penting untuk mengingatkan pembaca tentang jalur konvergensi ke semua IP. Seperti yang dirangkum dalam Gambar 1.7, konvergensi dalam telekomunikasi dapat dilihat dari berbagai sudut. Para peserta rantai nilai; awalnya telekomunikasi, internet dan operator penyiaran masing-masing menawarkan layanan suara, data, dan media tertentu. Konvergensi akan menyebabkan operator khusus ini menawarkan ketiga layanan secara bersamaan di jaringan yang sama. Faktanya, konvergensi dalam telekomunikasi akan berakhir pada desain wadah, yang disebut paket IP, untuk mengangkut berbagai informasi (suara, data, dan media) dalam jaringan yang sama, yang sekarang dikenal sebagai jaringan IP. Informasi yang diangkut ini memiliki sifat spesifik yang dipenuhi oleh jaringan yang sesuai sebelum konvergensi dan oleh jaringan IP setelah konvergensi. Ini karena IP dengan arsitektur kualitas layanan dapat menawarkan beberapa layanan ini dalam jaringan packet-switched yang sama .

Akibatnya, konvergensi juga berdampak pada pasar komunikasi, informasi, dan hiburan terkait. Akhirnya, konvergensi berdampak pada desain perangkat atau antarmuka ke layanan terkait – terminal (telepon), komputer, dan peralatan elektronik konsumen rumah (misalnya TV). Ini akan mendorong industri untuk merancang perangkat all-in-one untuk mengakses semua layanan ini, tidak peduli jaringan fisik mana yang terhubung dengan kita, tetap atau seluler.

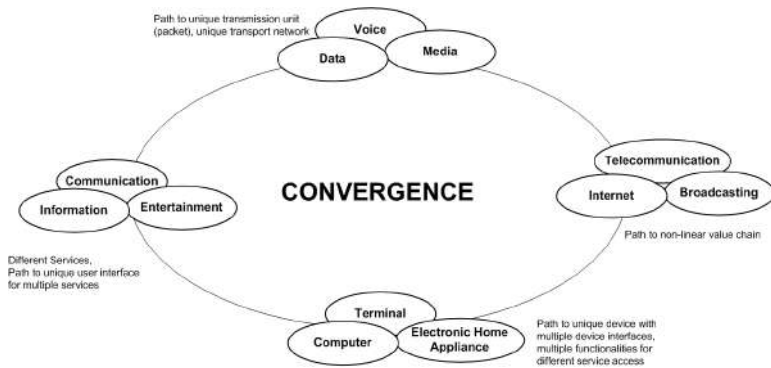
Hal ini juga berdampak pada manajemen layanan dari sisi jaringan. Konvergensi dalam telekomunikasi datang dengan pendekatan berorientasi layanan, di mana lapisan abstraksi layanan diperkenalkan dan akses ke layanan harus transparan dari transportasi fisik informasi yang dihasilkan oleh layanan ini. Subsistem multimedia IP (IMS) dan konvergensi seluler tetap adalah contoh yang baik dari lapisan abstraksi layanan. Dimungkinkan untuk mendapatkan layanan (misalnya telepon) tidak peduli jaringan fisik mana yang terhubung dengan pengguna berkat pensinyalan SIP (protokol inisiasi sesi) yang memperkenalkan pengenalan pengguna baru untuk dipetakan dengan lokasi pengguna kapan saja dan di mana saja.

Semua IP yang merupakan salah satu jawaban konkrit kebutuhan konvergensi dalam telekomunikasi, dimulai dengan kebutuhan untuk mengoptimalkan sumber daya jaringan jaringan telepon tetap berbasis model circuit switching. Awalnya, ada jaringan khusus dan khusus dengan node tertentu dan teknologi penghubung untuk menawarkan satu layanan tertentu. Padahal, jaringan pertama yang dirancang hanya dimaksudkan untuk digunakan untuk telepon. Ini adalah jaringan telekomunikasi tetap. Jaringan transportasi data datang terutama dengan jaringan Internet dan akhirnya aplikasi televisi disebarkan di jaringan tertentu lainnya, jaringan siaran TV. Merancang jaringan tertentu untuk layanan tertentu jelas tidak mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Menggunakan sirkuit fisik ujung-ke-ujung hanya

untuk satu komunikasi, bahkan jika tidak ada suara yang diangkut, tidak mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya .

Salah satu revolusi besar dalam jaringan adalah perpindahan dari jaringan circuit-switched ke jaringan packet-switched, juga dikenal sebagai jaringan IP, Internet, jaringan TCP/IP, jaringan data atau jaringan paket. IP menjadi protokol de facto untuk interkoneksi jaringan heterogen, dengan satu set tambahan protokol lain untuk kontrol dan manajemen, menjadikannya vektor konvergensi dalam sistem telekomunikasi yang berkembang. IP terancam pada waktu yang berbeda, pertama oleh ATM, jaringan packet-switching yang terlalu kompleks dan mahal, kemudian switch Ethernet tetapi tidak terukur. IP menang karena kesederhanaannya, persyaratan investasi yang lebih rendah, skalabilitas dan kemampuan untuk membawa layanan yang berbeda bergantung pada switching sirkuit virtual melalui jaringan packet-switching. Konvergensi ke apa yang disebut semua IP kemudian dapat dilihat pada lapisan yang berbeda transportasi, manajemen, kontrol dan pengembangan aplikasi. Hal ini memungkinkan semua IP untuk memaksimalkan pendapatan perusahaan telekomunikasi dalam rantai nilai.

Rantai nilai juga terpengaruh dalam jalur konvergensi ini, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.8. Awalnya linier, di mana setiap industri dalam rantai nilai memiliki perkembangan dan pasarnya sendiri. Setelah konvergensi, rantai nilai menjadi non-linier dan sebagian besar industri bergerak ke arah pendekatan yang berpusat pada pengguna ini, di mana semuanya tentang merancang layanan baru untuk diangkut oleh jaringan yang unik dan stabil ini semua IP.

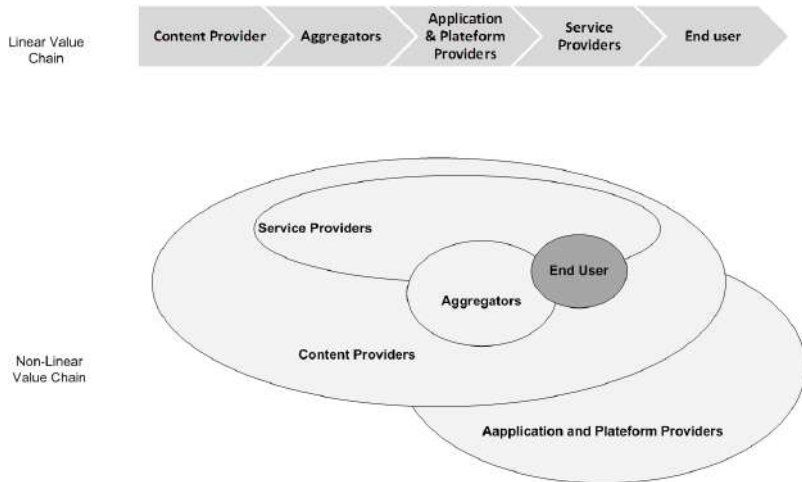


Gambar 1. 8 Konvergensi dalam telekomunikasi [CHA 09]

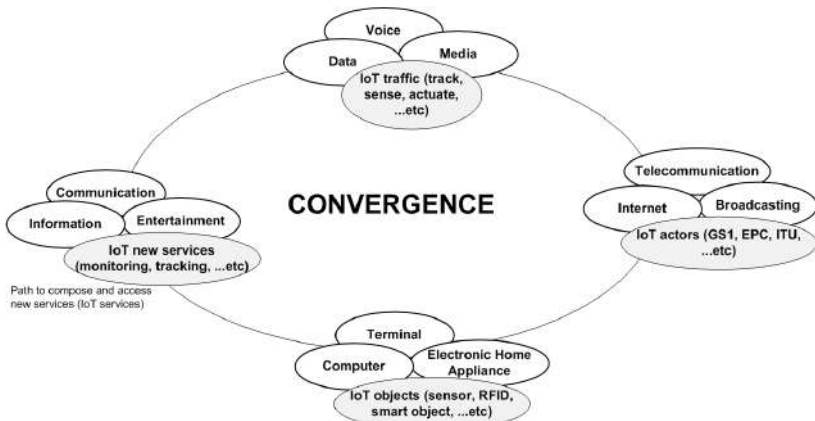
Layanan baru akan muncul dengan IoT dan juga akan berdampak pada rantai nilai di mana beberapa layanan akan menjadi objek-sentris, artinya interaksi layanan baru ini akan berbasis dari objek ke objek tanpa interaksi manusia. Lalu lintas yang dihasilkan oleh layanan berorientasi objek ini perlu mencocokkan model bisnis tertentu dengan peserta baru.

Jalan menuju konvergensi berlanjut dengan IoT, dan menimbulkan pertanyaan apakah IP akan diadopsi sepenuhnya untuk mendukung layanan IoT, atau hanya akan digunakan sebagian. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.9, IoT akan berdampak pada konvergensi telekomunikasi di berbagai sudut.

Menambahkan layanan IoT ke jaringan pertama-tama akan berdampak pada rantai nilai, karena aktor baru akan diperkenalkan di telekomunikasi rantai. Misalnya aktor identifikasi produk karena teknologi RFID adalah bagian dari teknologi yang memungkinkan IoT. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.10, desainer penginderaan dan penggerak, pengembang proses otomatisasi akan bergabung dengan rantai nilai telekomunikasi yang ada dengan penyedia komunikasi kabel dan nirkabel untuk mengembangkan layanan IoT.



Gambar 1.9 Evolusi rantai nilai telekomunikasi [CHA 09]



Gambar 1.10 IoT di jalur konvergensi [CHA 09]

Dengan memperkenalkan IoT di jalur konvergensi, itu akan berdampak pada pemilihan wadah informasi, yang akan mengangkut informasi yang dihasilkan dalam jaringan konvergensi IoT. Mengetahui bahwa layanan IoT akan memperkenalkan sebagian besar fungsi baru – mengidentifikasi, merasakan, dan menggerakkan – kita perlu mengajukan dua pertanyaan tentang menjaga IP sebagai vektor konvergensi. Pertama, apa yang menarik dari IP yang bisa digunakan di IoT? Model Internet dapat dipertimbangkan segera dalam menghubungkan objek (dengan sumber daya yang cukup) karena mampu :

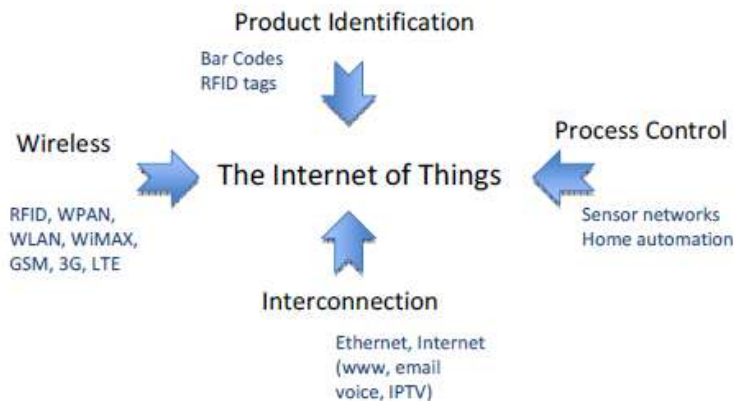
- penamaan dan pengalamatan;
- rute;
- skalabilitas;
- penyebaran dan manajemen yang mudah ;
- pengembangan aplikasi yang mudah ;
- penamaan, pengalamatan, nama dan resolusi alamat yang mudah;
- dll [IPS].

Kedua, apa batasan dalam menggunakan IP untuk layanan IoT? Dalam teknologi objek saat ini, ada batasan sumber daya objek berikut: baterai, memori, dan pemrosesan. Juga, IP harus mendukung properti lalu lintas dari fungsionalitas yang diperkenalkan, terutama mengidentifikasi, merasakan, dan menggerakkan.

Pada Gambar 1.9, kami menambahkan "informasi IoT" di sebelah "suara, data, media". Mengetahui bahwa informasi yang dihasilkan IoT dapat berupa pengidentifikasi, informasi penginderaan, urutan aktuasi, dll., jenis informasi ini mungkin memiliki properti QoS yang berbeda. Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk mempelajari model lalu lintas dari jenis informasi baru ini dan menganalisis apakah IP seperti saat ini dapat mengangkut informasi ini dengan menghormati properti lalu lintas. Misalnya, aktuasi jarak jauh mungkin memiliki

prioritas lebih tinggi daripada lalu lintas suara yang ada karena karakter mendesak dari aplikasi IoT tertentu .

Untuk aplikasi delay-toleran IoT, pertanyaan akan lebih tentang yang biaya overhead dari para IP model yang dibandingkan dengan yang IoT yang dihasilkan data. Oleh karena itu penting untuk mengetahui apakah model IP dapat digunakan dari ujung ke ujung, artinya menangani objek menggunakan IP dan kemudian memanfaatkan penerusan lalu lintas IP, atau hanya menggunakan model IP untuk gateway yang menghubungkan jaringan objek ke jaringan. Internet, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.11.



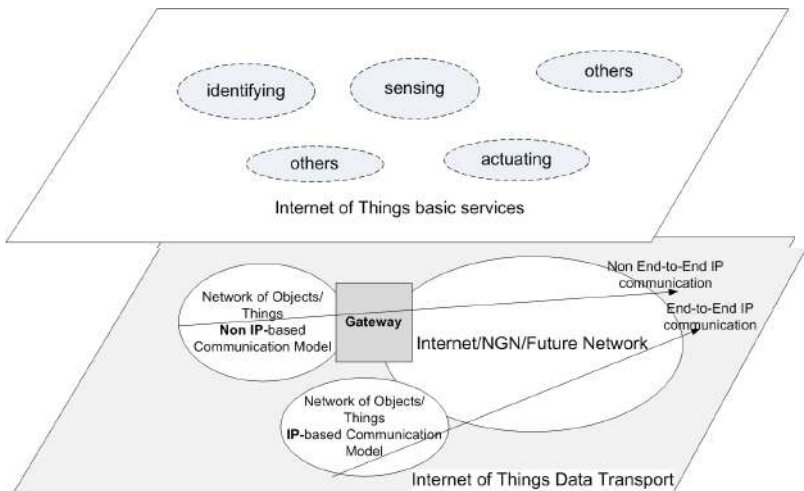
Gambar 1. 11 Peserta baru dalam rantai nilai IoT [MAI 10]

Menambahkan layanan IoT dalam gambaran besar konvergensi akan berdampak pada desain perangkat. Desain akan membutuhkan antarmuka untuk mengakses layanan IoT dan akan menggabungkan semua IP dalam pendekatan satu perangkat, kemungkinan besar perangkat pintar seluler (ponsel). Operator telepon seluler sangat tertarik dengan layanan IoT yang baru muncul ini.

Mengikuti jalur konvergensi pada Gambar 1.9, dari sudut pandang akses layanan, kita mungkin mengikuti pendekatan

berorientasi layanan di mana layanan IoT harus independen dari bagian transportasi jaringan. Ini berarti di mana jaringan transport berubah, layanan akan selalu dapat diakses, seperti dalam pendekatan subsistem IP-multimedia (IMS).

Ini mungkin terdengar seperti langkah baru dalam konvergensi jaringan ke konvergensi all-IP, di mana pendekatan berorientasi layanan diikuti untuk mendapatkan layanan, apa pun transportasi jaringannya. Penting untuk menghapus tanggung jawab untuk pengembangan layanan IoT dari jaringan transportasi, sehingga mereka independen. Ini berarti bahwa layanan akan independen apakah jaringan tetap atau seluler, IP-, pasca-IP-atau berbasis jaringan masa depan. Penting untuk memastikan bahwa layanan IoT yang dikembangkan mampu diterapkan melalui jaringan transportasi apa pun dan bahwa layanan tersebut ditawarkan terlepas dari jaringan transportasi mana yang digunakan oleh jaringan objek. Pandangan kami tentang pendekatan berorientasi layanan IoT ditunjukkan pada Gambar 1.11.



Gambar 1. 12 Tampilan abstrak IoT

Terakhir, jalan menuju konvergensi ini tentunya akan dimulai dengan mempertimbangkan IP atau versi IP yang diadaptasi untuk menangani layanan IoT generasi pertama yang masih user-centric. Penyebaran besar-besaran layanan IoT ini dalam jangka pendek dan menengah terutama akan diizinkan oleh penerimaan masyarakat terhadap teknologi baru, seperti RFID dengan masalah privasi. Ini akan memungkinkan teknologi yang menarik layanan IoT dengan pendapatan baru yang menjanjikan untuk memasuki rantai nilai yang berpusat pada pengguna .

Dalam jangka panjang, model komunikasi baru mungkin akan muncul mengikuti perkembangan internet/jaringan pasca IP dan masa depan. Generasi berikutnya dari layanan IoT kemudian akan digunakan secara alami, yang berpusat pada pengguna tetapi sebagian besar berpusat pada objek. Jaringan skalabilitas kebutuhan akan meningkat untuk menggabungkan miliaran dari objek yang terhubung dan diatur oleh aplikasi IoT. Penelitian lebih berfokus pada upaya meningkatkan gaya hidup masyarakat dengan menambahkan lebih banyak otomatisasi tugas dan menghormati lingkungan dunia nyata dengan menerapkan layanan untuk memantau atau bertindak untuk mengurangi kerusakan pada planet ini.

BAB 2

IKHTISAR TEKNOLOGI IDENTIFIKASI FREKUENSI RADIO

2.1. Pengantar

Identitas memainkan peran penting dalam menulis kisah sukses Internet of Things (IoT). Beberapa pendekatan tradisional untuk mengumpulkan identitas adalah karakter yang dapat dibaca mesin, MICR (magnetic ink character recognition), kode batang, kartu pintar, strip magnetik, pemindaian wajah dan retina (khususnya untuk manusia), dll. Beberapa di antaranya adalah kontak tipe, di mana objek yang menyimpan informasi identitas harus melakukan kontak fisik dengan pembaca, dan yang lainnya adalah tipe kedekatan. Sebagian besar teknik berbasis kedekatan membutuhkan jalur line-of-sight yang jelas untuk identifikasi yang berhasil. Ini bisa menjadi masalah utama di beberapa aplikasi. Misalnya, jika tujuannya adalah untuk mengidentifikasi objek yang disimpan di palet, hampir tidak mungkin untuk mengeluarkan setiap kotak dari palet, menunjukkannya kepada pembaca, dan menyimpannya kembali di palet. Dalam situasi seperti itu, akan diinginkan untuk memiliki sistem yang dapat mengumpulkan identitas setiap kotak tanpa memerlukan garis pandang yang jelas. Aplikasi menarik lainnya adalah mengidentifikasi barang-barang yang mudah rusak yang disimpan di kompartemen freezer. Idealnya kita akan ingin untuk mengetahui ui dengan berakhirnya tanggal dari masing-masing item tanpa membuka kompartemen freezer. Teknik seperti barcode, yang membutuhkan garis pandang yang jelas untuk mendapatkan identitas, hampir tidak akan berguna dalam skenario seperti ini, kecuali item ditumpuk sehingga setiap barcode terlihat oleh

pembaca. Sistem identifikasi frekuensi radio (RFID) mampu mengatasi sebagian besar kesulitan ini sampai batas tertentu.

Sistem RFID terdiri dari sebuah tag (juga dikenal sebagai transponder) yang melekat pada objek yang diidentifikasi. Tag biasanya terdiri dari sirkuit terpadu dan antena. Modul penting lainnya dalam sistem adalah pembaca. Pembaca menanyakan tag menggunakan gelombang frekuensi radio (RF), dan mendapatkan identitas tag melalui gelombang RF. Sistem RFID beroperasi di berbagai pita frekuensi. Beberapa frekuensi yang paling populer adalah:

- 125 kHz hingga 134,2 kHz (LF: frekuensi rendah);
- 13,56 MHz (HF: frekuensi tinggi);
- 860 hingga 915 MHz (UHF: frekuensi ultra-tinggi); dan
- 2,45 GHz hingga 5,8 GHz (frekuensi gelombang mikro).

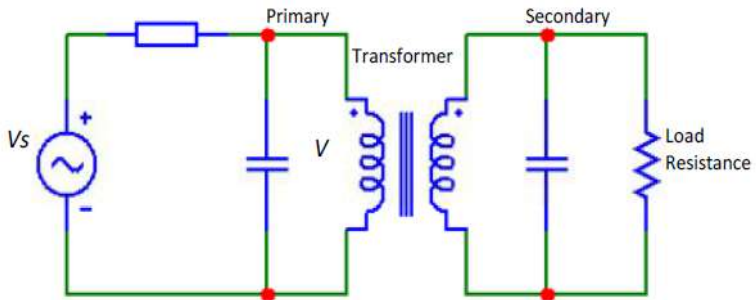
Sistem RFID yang beroperasi di pita LF adalah yang pertama digunakan di pasar untuk aplikasi industri jarak pendek bervolume tinggi dan perangkat immobilizer mobil. Sistem ini menarik dalam sistem di mana kecepatan data tidak terlalu tinggi. Sistem RFID HF mampu menangani kecepatan data yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sistem LF, dan antena tag jauh lebih kecil. Sistem HF memiliki jangkauan baca yang lebih panjang dibandingkan dengan sistem LF. Sistem RFID UHF memiliki jangkauan baca yang lebih panjang dan kecepatan data yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sistem LF dan HF. Namun, sistem UHF tidak bekerja dengan baik dengan adanya benda logam, air, dan tubuh manusia, dibandingkan dengan sistem LF.

2.2. Prinsip RFID

Pertimbangkan sebuah kumparan yang terbuat dari kawat tembaga yang melaluinya arus bolak-balik mengalir. Kumparan menawarkan impedansi ke sumber dan tegangan berkembang di terminalnya. Hal ini dimungkinkan

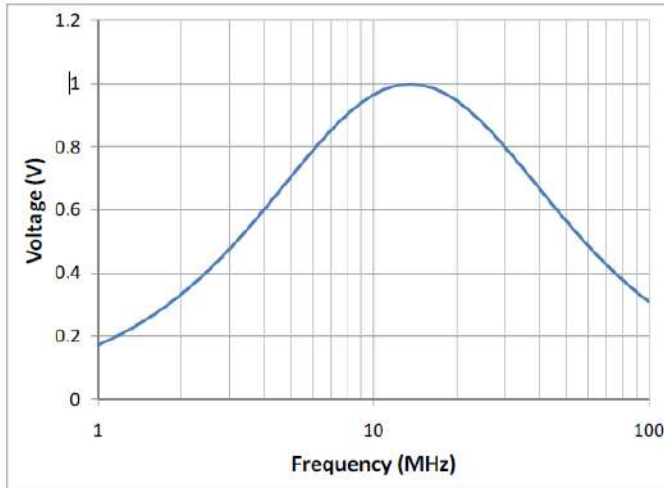
untuk meningkatkan tegangan dengan menghubungkan kapasitor secara paralel dengan kumparan. Mari kita sebut ini koil "primer". Sekarang kita membawa kumparan lain, yang disebut kumparan "sekunder", dekat dengan yang pertama. Karena induksi elektromagnetik, tegangan muncul di terminal kumparan sekunder. Amplitudo tegangan tergantung pada ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi kumparan sekunder. Jika kita menghubungkan resistor (juga dikenal sebagai beban) melintasi terminal kumparan sekunder, arus mengalir melaluinya. Kekuatan arus yang mengalir melalui kumparan sekunder tergantung pada beban. Fenomena yang menarik adalah bahwa arus yang mengalir pada kumparan sekunder menginduksi tegangan kembali ke kumparan primer, yang sebanding dengan kekuatannya. Tegangan induksi, juga dikenal sebagai ggl balik (gaya gerak listrik), dapat dengan mudah dirasakan dengan menggunakan elektronik yang sesuai. Oleh karena itu, dengan mengamati tegangan pada primer, dimungkinkan untuk memperkirakan apa yang terhubung ke kumparan sekunder [FIN 03, PAR 05].

Skema rangkaian pengaturan ditunjukkan pada Gambar 2.1. Dua kumparan dan kopling di antara mereka telah dimodelkan sebagai transformator. Koefisien kopling digunakan untuk menentukan seberapa erat kedua kumparan digabungkan satu sama lain. Nilai yang lebih besar menunjukkan kopling yang lebih erat, yaitu kedua kumparan saling berdekatan. Sistem dieksitasi oleh sumber sinusoidal. Kapasitor dihubungkan di kedua kumparan primer dan sekunder, membentuk rangkaian resonansi paralel. Sebuah hambatan beban juga dihubungkan secara paralel dengan kumparan sekunder .



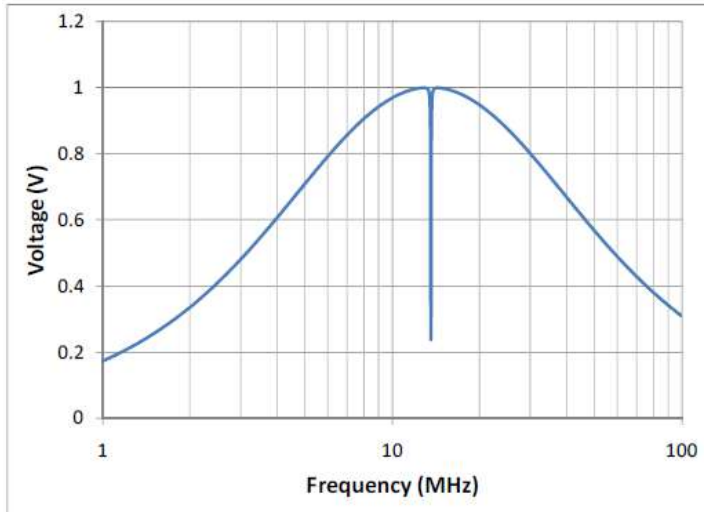
Gambar 2. 1 Skema rangkaian dua kumparan yang berinteraksi secara elektromagnetik satu sama lain

Tegangan V , yang dikembangkan pada terminal kumparan primer, versus frekuensi eksitasi diplot pada Gambar 2.2. Ketika frekuensi sumber meningkat, tegangan juga meningkat, mencapai maksimum, dan kemudian menurun. Frekuensi yang sesuai dengan tegangan maksimum dikenal sebagai frekuensi resonansi. Sekarang, jika resistansi beban diubah, tegangan pada primer yang sesuai dengan frekuensi resonansi turun tajam (lihat Gambar 2.3).



Gambar 2. 2 Tegangan melintasi kumparan primer sebagai fungsi frekuensi

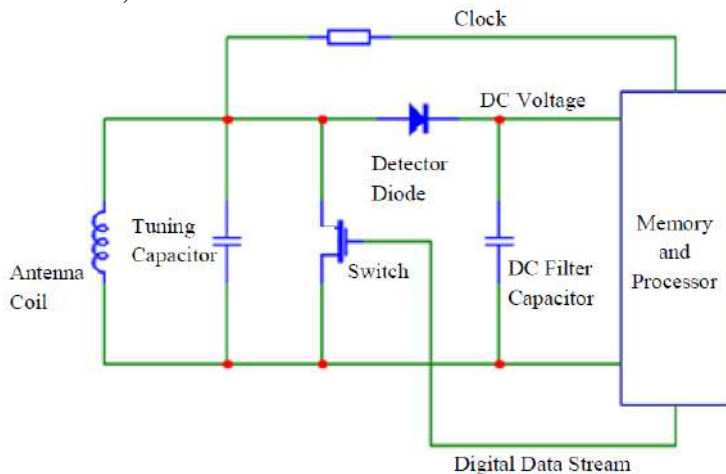
Dari sini, kita dapat menyimpulkan bahwa adalah mungkin untuk mengubah (atau memodulasi) tegangan pada primer dengan mengubah beban yang terhubung ke sekunder. Ini dikenal sebagai "modulasi beban". Penting untuk diingat bahwa kumparan primer dan sekunder tidak secara fisik bersentuhan satu sama lain, tetapi berinteraksi melalui kopling elektromagnetik.



Gambar 2. 3 Tegangan melintasi kumparan primer sebagai fungsi frekuensi untuk nilai resistansi beban yang berbeda

Kumparan primer dapat dianggap sebagai pembaca sistem RFID, dan kumparan sekunder sebagai transponder atau tag. Tag dapat menyampaikan pesan apa pun kembali ke pembaca menggunakan sinyal RF, cukup dengan mengubah beban yang terhubung ke terminalnya. Hal ini dapat dicapai dengan beralih beban untuk mewakili keadaan logis 1 dan melepas beban untuk mewakili keadaan logis 0. Menggunakan modulasi beban, sebuah tag dapat berkomunikasi dengan pembaca dan mentransfer identitasnya tanpa benar-benar menggunakan pemancar. Informasi identitas disimpan dalam chip memori yang terletak di tag. Prosesor (juga dikenal sebagai mesin negara) membaca informasi ini dan memodulasi beban dengan mengoperasikan sakelar. Dua bahan lagi diperlukan untuk mengoperasikan seluruh sistem: daya dan jam. Cukup mudah untuk memiliki baterai pada tag yang memasok daya dan osilator yang menghasilkan sinyal clock. Ini akan membuat tag menjadi besar dan mahal. Dalam

kelas tag, yang disebut tag tanpa baterai, energi untuk mengoperasikan tag dipasok oleh pembaca itu sendiri. Dioda dalam tag digunakan untuk memperbaiki energi RF dan mengubahnya menjadi arus searah, yang digunakan untuk memberi daya pada elektronik di tag. Tidak sulit untuk menyediakan jam dari pembaca itu sendiri. Dengan pengecualian kumparan antena, semua lainnya komponen termasuk dalam sirkuit terpadu yang terletak pada tag (lihat Gambar 2.4).



Gambar 2. 4 Skema tag RFID

Modulasi beban adalah prinsip yang digunakan untuk membangun komunikasi antara pembaca dan tag yang beroperasi di pita LF dan HF. Tag RFID yang beroperasi di pita UHF dan gelombang mikro menggunakan metode hamburan balik untuk berkomunikasi dengan pembaca. Di pita UHF, sinyal dari pembaca dipancarkan oleh antena dan tag ditempatkan jauh (juga dikenal sebagai wilayah medan jauh) dari antena.

Jika D adalah dimensi terbesar dari antena operasi pada panjang gelombang sebuah λ , jarak melampaui

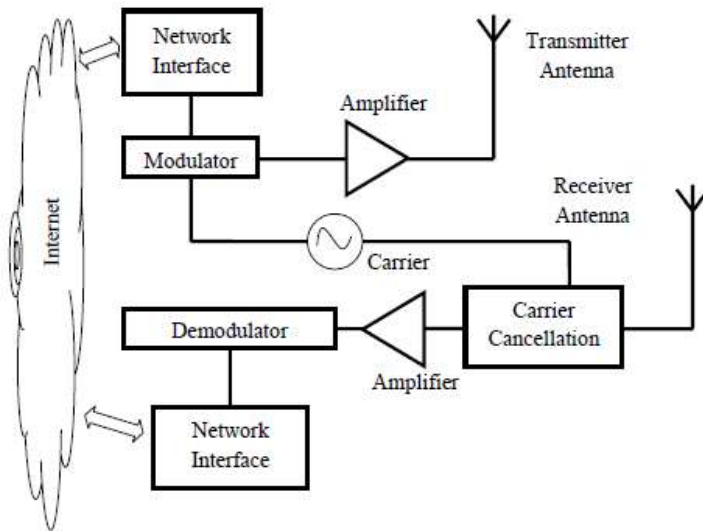
$2D/2\lambda$ dikenal sebagai daerah medan jauh dari antena. Ketika energi elektromagnetik jatuh pada antena yang terpasang pada tag, sebagian energi tersebut dihamburkan kembali. Jumlah energi hamburan balik tergantung pada beban yang terhubung ke antena tag. Oleh karena itu, dengan memodulasi beban menurut data, dimungkinkan untuk mengubah kekuatan sinyal hamburan balik dari antena. Sinyal backscattered dirasakan oleh pembaca dan mampu mengekstrak informasi yang dibawa olehnya.

2.3. Komponen sistem RFID

Sejauh ini kita telah membahas masalah membangun komunikasi antara tag dan pembaca. Pembaca dan tag merupakan dua komponen penting dari sistem RFID. Pembaca mendapatkan informasi identitas yang disimpan dalam tag. Sebuah sistem RFID, secara umum, dapat memiliki beberapa pembaca dan tag. Seorang pembaca akan dapat "melihat" beberapa tag, dan secara sistematis membaca identitas masing-masing tag. Pembaca mampu menyimpan informasi ke dalam tag serta mengubah status tag. Informasi yang dikumpulkan oleh pembaca tidak terlalu berguna kecuali tersedia untuk server jaringan. Oleh karena itu, dua komponen lagi juga masuk ke dalam sistem: server dan jaringan.

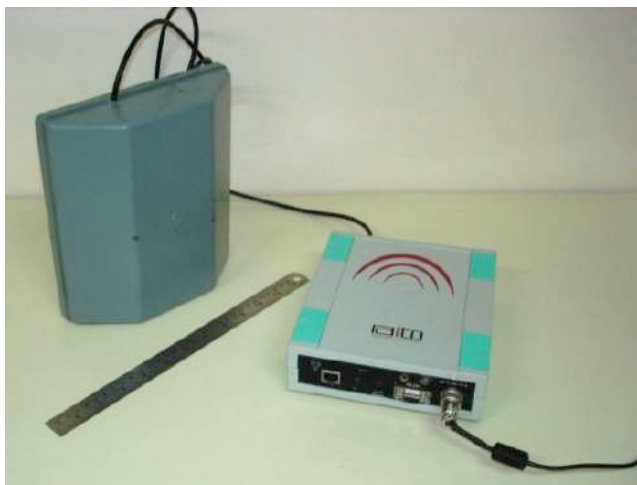
2.3.1. Pembaca

Skema blok fungsional dari pembaca RFID ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pembawa RF dimodulasi sesuai dengan informasi yang akan dikirimkan ke tag. Pembawa termodulasi diperkuat dan dipancarkan keluar dari antena. Pembaca juga menerima gelombang elektromagnetik yang dihamburkan kembali oleh tag, memperkuat sinyal yang diterima, dan mendemodulasi untuk mengekstrak informasi.



Gambar 2. 5 Blok skema pembaca RFID

Komponen penting dari reader adalah antena. Antena umumnya merupakan komponen terbesar dan paling terlihat dari sistem RFID. Ukuran antena tergantung pada frekuensi operasi. Ukuran antena pembaca biasanya dari urutan panjang gelombang. Misalnya, ukuran antena pembaca dalam sistem UHF (frekuensi operasi 865 MHz) adalah sekitar 200 hingga 300 mm (lihat Gambar 2.6). Antena pembaca sistem HF dapat berukuran sebesar satu meter.

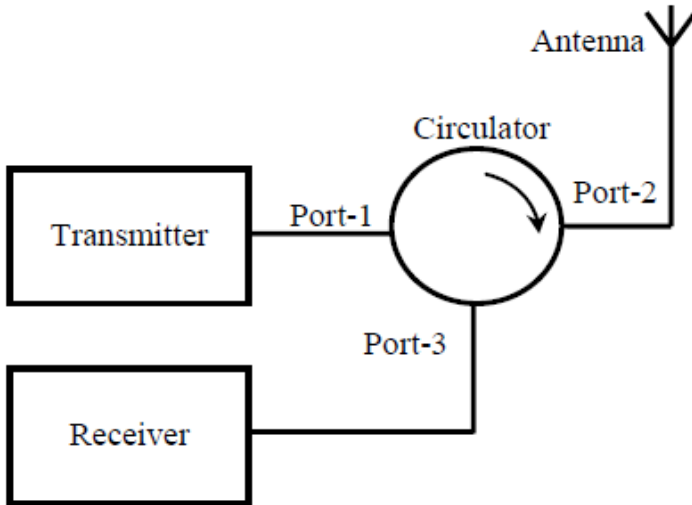


Gambar 2. 6 Foto pembaca RFID UHF dengan antenanya
(Gambar milik Iaito Infotech Pvt. Ltd., IIT Kanpur, India)

Pembaca RFID UHF dapat dirancang untuk beroperasi dengan satu atau dua antena. Sistem yang menggunakan dua antena dikenal sebagai “bistatic”. Satu antena digunakan untuk mengirimkan sinyal RF, dan antena lainnya digunakan untuk menerima sinyal yang dihamburkan balik oleh tag (lihat Gambar 2.5). Kedua antena ditempatkan secara fisik berjauhan untuk memberikan isolasi yang cukup antara pemancar dan penerima. Ini diperlukan untuk memastikan bahwa sinyal pemancar tidak menjenuhkan atau membebani penerima. Ada cara lain untuk menyediakan isolasi antara pemancar dan penerima. Salah satu tekniknya adalah dengan menggunakan dua antena dengan polarisasi linier ortogonal (misalnya horizontal untuk transmisi dan vertikal untuk menerima), dan menggunakan tag yang memiliki antena terpolarisasi sirkular. Solusi seperti itu jauh lebih kompleks dan mahal dibandingkan dengan solusi sebelumnya.

Dimungkinkan juga untuk merancang pembaca dengan antena tunggal. Sistem seperti itu dikenal sebagai

"monostatik". Dalam desain ini, antenna tunggal mentransmisikan dan menerima sinyal RF. Directional coupler dan circulators digunakan untuk memisahkan, mengirim dan menerima sinyal. Ujung depan sistem monostatik dengan isolator ditunjukkan pada Gambar 2.7. Isolator memiliki tiga port. Pemancar terhubung ke port 1, antenna ke port 2, dan penerima ke port 3. Sinyal dari pemancar mengalir dari port 1 ke port 2 dan tidak ada yang masuk ke port 3. Demikian pula sinyal backscattered yang diterima antenna masuk ke circulator di port 2 dan terus mengalir keluar dari port 3. Dengan cara ini, circulator mampu mengisolasi, mengirim dan menerima sinyal.



Gambar 2. 7 Ujung depan RF dari pembaca RFID monostatik

Beberapa skema modulasi telah diusulkan untuk melapisi informasi ke pembawa. Skema yang paling populer adalah penguncian pergeseran amplitudo. Dalam skema ini, amplitudo pembawa diubah antara dua tingkat, katakanlah A_0 dan A_1 , di mana A_0 mewakili salah satu keadaan logis dan A_1 mewakili keadaan logis lainnya. Indeks modulasi adalah parameter yang menunjukkan perubahan tingkat amplitudo antara dua keadaan.

Misalnya, indeks modulasi nol menunjukkan tidak ada perubahan level, sedangkan indeks modulasi satu menunjukkan bahwa amplitudo salah satu sinyal, katakanlah, A0 sama dengan nol. Menggunakan lebih besar indeks modulasi memperkenalkan perbedaan besar antara yang dua tingkat, dan karenanya membuat para sistem yang lebih kebal terhadap kebisingan. Namun, jika salah satu level mendekati nol, sangat sedikit energi yang ditransfer ke tag selama periode ini. Ini menimbulkan beberapa tantangan pada desain dan pengoperasian tag itu sendiri. Oleh karena itu, nilai indeks modulasi yang cukup tinggi digunakan untuk aplikasi RFID, terutama jika tag tidak memiliki sumber daya sendiri dan diberi energi oleh pembaca.

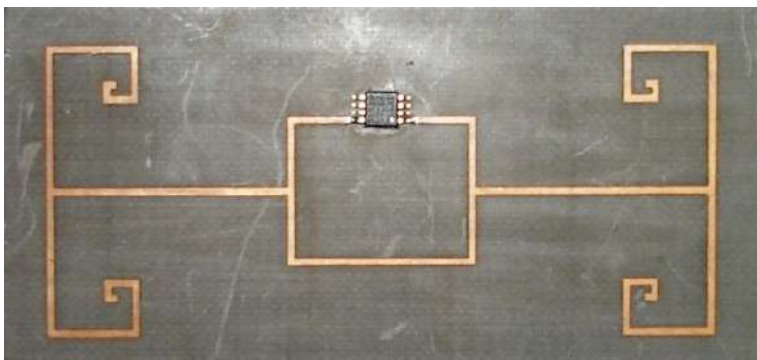
2.3.2. Label RFID

Tag RFID dalam bentuk dasarnya dapat dibuat dari induktor sederhana yang paralel dengan kapasitor. Ini dapat dengan mudah dirancang untuk beroperasi di pita HF. Induktansi dan kapasitansi dipilih sedemikian rupa sehingga membentuk rangkaian resonansi yang beresonansi pada 13,56 MHz. Ketika tag ini didekatkan ke antena pembaca, tag menginduksi ggl balik ke antena pembaca, yang dapat dirasakan oleh pembaca. Dengan cara ini, pembaca mengetahui ada tidaknya tag tersebut. Ini disebut tag “1-bit”, dan digunakan dalam pengawasan artikel elektronik untuk melindungi barang di toko. Salah satu masalah utama dengan sistem ini adalah pemicu palsu. Setiap artikel yang memiliki karakteristik resonansi yang mirip dengan tag, misalnya seikat kabel listrik, berpotensi memicu sistem dan menghasilkan alarm palsu. Namun, kesederhanaan dan biaya telah membuat sistem ini sangat populer.

Dimungkinkan untuk mengurangi tingkat alarm palsu dengan memasukkan dioda ke dalam tag. Dioda adalah elemen non-linear dan karenanya mampu menghasilkan frekuensi harmonik. Pertimbangkan dioda kapasitansi yang terhubung ke

antena. Ketika tag ini terkena pembawa RF di 2,45 GHz, dioda menghasilkan harmonik kedua pada 4,9 GHz. Sinyal ini dapat dengan mudah ditangkap oleh penerima yang disetel ke 4,9 GHz. Alih-alih mengirim pembawa murni, dimungkinkan untuk memodulasi amplitudo atau frekuensinya. Harmonik yang dihasilkan oleh tag juga mengandung modulasi yang sama, dan karenanya dapat digunakan untuk membedakan sinyal yang dihasilkan oleh tag dan interferensi apa pun. Ini mengurangi kemungkinan alarm palsu. Ini, sekali lagi, adalah tag 1-bit dan memiliki aplikasi terbatas.

Dimungkinkan untuk membuat tag sedikit lebih canggih dan menyimpan lebih banyak informasi. Ini dicapai dengan memasang sirkuit terpadu (IC) ke terminal antenna. Sebuah tag UHF dengan antenna dan IC ditunjukkan pada Gambar 2.8. Geometri antenna dipilih sehingga impedansi terminal antenna sama dengan konjugat kompleks impedansi terminal IC. Dengan cara ini, daya RF maksimum dikirimkan ke IC. IC terdiri dari tahap detektor yang memperbaiki sinyal RF yang masuk, dan kapasitor bertindak seperti filter yang menghilangkan riak darinya. Sinyal yang diperbaiki dan disaring digunakan untuk menyalakan elektronik, yang menanggapi permintaan yang dikirim oleh pembaca dengan menghasilkan aliran bit. Ini digunakan untuk memodulasi beban yang terhubung secara shunt dengan antenna dan karenanya mengubah sinyal hamburan balik dari antenna.



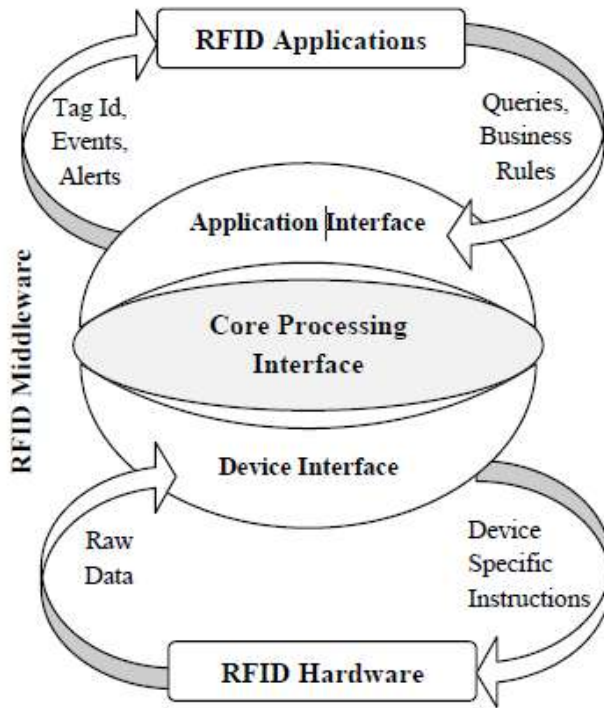
Gambar 2. 8 Foto tag RFID UHF yang menunjukkan antena dan sirkuit terpadu

2.3.3. RFID middleware

Sebuah sistem RFID khas dapat memiliki beberapa pembaca dan tag (beroperasi di pita frekuensi yang berbeda dan menggunakan berbagai protokol), dan beberapa aplikasi mengakses tag ini melalui pembaca. Penting untuk menyediakan konektivitas tanpa batas antara perangkat keras RFID dan aplikasi dengan mengisolasi aplikasi dari perangkat keras RFID. Dalam sistem dengan sejumlah besar data RFID mentah yang dihasilkan di ujung pembaca, perlu untuk melakukan semacam pra-pemrosesan data sebelum informasi diteruskan ke aplikasi. Tugas tersebut dilakukan oleh subsistem perangkat lunak yang dikenal sebagai middleware.

Arsitektur middleware umum terdiri dari tiga komponen (lihat Gambar 2.9):

- antarmuka perangkat ;
- antarmuka pemrosesan inti ;



Gambar 2. 9 Arsitektur middleware RFID

2.3.3.1. Antarmuka perangkat

Antarmuka perangkat menyediakan fungsionalitas yang diperlukan untuk membuat koneksi antara antarmuka pemrosesan inti dan perangkat keras RFID. Ini membentuk salah satu komponen perifer middleware dan juga dikenal sebagai edgeware. Antarmuka ini memungkinkan sistem RFID untuk menemukan, mengelola, dan mengontrol pembaca dan tag. Di sebuah penyebaran besar sistem RFID yang terdiri dari beberapa perangkat keras dengan merek dan jenis yang berbeda, menemukan dan mengonfigurasinya bisa menjadi

tugas yang membosankan. Jarak fisik juga bisa menambah dimensi lain pada masalah.

Antarmuka perangkat memungkinkan komunikasi antara pemrosesan inti dan perangkat keras RFID dengan berfungsi sebagai penyangga di antara mereka dan melindungi satu dari yang lain. Dengan cara ini, perbedaan antara pembaca menjadi tidak terlihat oleh fungsi dan aplikasi antarmuka pemrosesan inti. Antarmuka perangkat juga bertanggung jawab untuk mengarahkan data ke pembaca yang benar. Jika perangkat keras baru ditambahkan ke sistem yang ada, yang perlu dilakukan hanyalah memodifikasi antarmuka perangkat sehingga sistem dapat mengenali dan berkomunikasi dengan perangkat keras baru.

2.3.3.2. Antarmuka pemrosesan inti

Komponen pengambilan keputusan dari middleware adalah antarmuka pemrosesan inti. Antarmuka pemrosesan inti mendapatkan data mentah RFID dari perangkat keras RFID. Antarmuka pemrosesan inti mengelola dan memanipulasi sejumlah besar data mentah RFID sebelum meneruskannya ke antarmuka aplikasi. Pemrosesan juga kadang-kadang disebut sebagai penyaringan. Ini termasuk penghapusan sebagian, salah, duplikat atau data yang berlebihan. Biasanya aplikasi memiliki kontrol yang cukup atas cara antarmuka pemrosesan inti menyaring data mentah. Proses penyaringan mengurangi jumlah data yang mengalir ke antarmuka aplikasi .

Aliran informasi juga terjadi dalam urutan terbalik, yaitu dari aplikasi ke perangkat keras RFID. Unit pemrosesan inti mengubah aturan bisnis yang berasal dari aplikasi menjadi instruksi perangkat yang sesuai dan kemudian meneruskannya ke antarmuka perangkat, yang kemudian meneruskan instruksi ini ke perangkat yang sesuai.

2.3.3.3. Antarmuka aplikasi

Komponen terakhir dari middleware adalah antarmuka aplikasi. Antarmuka aplikasi membentuk batas antara antarmuka pemrosesan inti dan aplikasi perusahaan (seperti manajemen gudang, perencanaan sumber daya perusahaan, dan rantai pasokan manajemen, dll). Ini juga merupakan bentuk edgeware yang bertanggung jawab untuk mengirimkan data RFID ke dan dari aplikasi perusahaan. Komunikasi antara antarmuka aplikasi dan antarmuka pemrosesan inti berlangsung menggunakan format yang seragam. Namun, antarmuka aplikasi berinteraksi dengan berbagai jenis aplikasi, dan karenanya menggunakan format yang kompatibel dengan masing-masing aplikasi. Oleh karena itu, salah satu tugas penting dari antarmuka aplikasi adalah mengubah data dari format khusus aplikasi menjadi format umum yang digunakan oleh antarmuka pemrosesan inti. Keuntungan dari desain ini adalah, jika aplikasi baru perlu diintegrasikan ke dalam sistem RFID yang ada, cukup untuk memodifikasi antarmuka aplikasi. Arsitektur dasar dari beberapa solusi middleware yang diterbitkan kurang lebih serupa. Di setiap solusi middleware, nama-nama komponen berbeda tetapi fungsi yang disediakan oleh mereka hampir sama.

2.4. Masalah

Sistem RFID memiliki keandalan yang tinggi saat beroperasi dalam kondisi yang terkendali. Misalnya, pertimbangkan pembaca yang mencoba membaca tag, ketika tag dan antena pembaca ditempatkan di ruang kosong. Selama tag berada dalam jarak tertentu dari antena pembaca, pembaca akan dapat membaca tag. Dalam skenario praktis, tag dilekatkan pada objek yang sifat kelistrikannya berbeda dengan ruang bebas. Ini umumnya menurunkan kinerja tag (dalam keadaan luar biasa dapat meningkatkan kinerja). Selanjutnya, mungkin ada beberapa tag yang mencoba berkomunikasi dengan pembaca dan beberapa pembaca mencoba membaca

beberapa tag secara bersamaan. Ini menghasilkan tabrakan data yang ditransfer antara pembaca dan tag. Algoritma untuk menghindari tabrakan telah diusulkan dan berhasil digunakan untuk memecahkan beberapa masalah ini .

Pertimbangkan sebuah tag yang mencoba berkomunikasi dengan pembaca menggunakan modulasi beban atau hamburan balik ketika beberapa tag lain hadir di lingkungannya. Tag tetangga tidak mungkin mendeteksi komunikasi yang terjadi antara tag dan pembaca. Oleh karena itu, skema yang digunakan dalam sistem komunikasi standar untuk multi-akses tidak dapat digunakan di sini. Skema anti-tabrakan, sangat spesifik untuk sistem RFID, telah diusulkan dan sangat efektif dalam memungkinkan beberapa tag untuk berkomunikasi dengan pembaca.

Algoritma pencarian biner adalah salah satu skema anti-tabrakan paling populer yang digunakan dalam sistem RFID. Algoritma ini bergantung pada fakta bahwa pembaca mampu mendeteksi tabrakan ketika beberapa tag merespons secara bersamaan. Hal ini dimungkinkan saat menggunakan pengkodean Manchester untuk mengirimkan data [FIN 03]. Mari kita anggap ada beberapa tag di sekitar pembaca, dan masing-masing tag memiliki nomor seri yang unik. Jika pembaca mengeluarkan perintah yang meminta tag untuk merespons kembali dengan nomor seri mereka, semua tag yang menerima perintah ini akan merespons kembali dengan nomor seri masing-masing, menyebabkan tabrakan. Sekarang pembaca mengeluarkan perintah permintaan dengan parameter, meminta tag yang nomor serinya kurang dari atau sama dengan parameter untuk merespons. Dengan demikian pembaca dapat memilih sekelompok tag yang akan merespons perintah tersebut. Jika tidak ada tabrakan, pembaca mendapatkan nomor seri dari satu-satunya tag di sub-grup, dan memilih tag dengan mengeluarkan perintah pilih dengan nomor seri sebagai parameter. Pembaca dapat melakukan operasi baca dan tulis pada tag yang dipilih. Jika ada tabrakan, pembaca

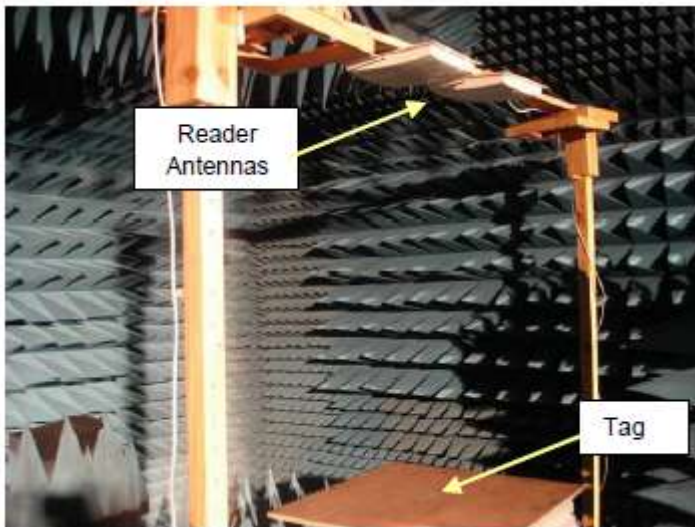
mengeluarkan perintah permintaan lain dengan menurunkan nilai parameter, sehingga menargetkan kelompok tag yang lebih kecil untuk merespons.

Jika ada beberapa pembaca yang beroperasi di ruang yang sama, mereka menghindari tabrakan satu sama lain dengan prosedur yang dikenal sebagai mendengarkan-sebelum-bicara. Dalam skema ini, pembaca selalu mendengarkan ruang udara untuk transmisi apa pun dari pembaca lain sebelum mengirim.

Perambatan gelombang elektromagnetik dipengaruhi oleh lingkungan. Oleh karena itu, jumlah energi yang mencapai antena tag tergantung pada interaksi gelombang dan lingkungan di mana pembaca dan tag ditempatkan. Misalnya, tag yang ditempatkan di depan konduktor listrik besar setara dengan arus (yang dipasang pada tag) dan bayangannya memancar ke ruang bebas. Jika total lapangan karena tag saat ini dan gambar adalah nol pada antena reader, yang tag tidak dapat dapat dibaca. Karena untuk para interaksi dari para lingkungan dengan medan elektromagnetik yang dipancarkan oleh pembaca, mungkin ada daerah medan nol. Menempatkan tag di wilayah tersebut tidak akan menggairahkan tag, dan karenanya tidak dapat dibaca.

Perilaku tag yang menempel pada lembaran dielektrik, seperti papan kayu atau lembaran kaca, tergantung pada permitivitas Material, ketebalan material dan lokasi tag itu sendiri. Misalnya, tidak cukup intuitif untuk memprediksi kinerja tag karena ketebalan material meningkat, perubahan permitivitas, atau jika tag ditempatkan sedemikian rupa sehingga pelat itu sendiri menghalangi jalur pandang. Pertimbangkan label yang dipasang pada papan kayu dan ditempatkan pada jarak sekitar satu meter dari antena pembaca (lihat Gambar 2.10). Daya transmisi pembaca ditingkatkan dalam langkah 0,1 dB dan upaya dilakukan untuk membaca tag. Daya transmisi terendah di mana tag dibaca, yang dikenal sebagai "daya ambang", dicatat. Daya ambang batas adalah

daya transmisi terkecil yang diperlukan untuk mendeteksi (membaca) tag dengan semua parameter lainnya tetap konstan. Dimungkinkan juga untuk mengukur daya ambang untuk menulis data ke dalam tag. Biasanya saat menulis ke dalam tag, tag ditempatkan di lingkungan yang terkendali, yang kurang menantang. Oleh karena itu, daya ambang untuk menulis tag biasanya tidak terlalu penting.

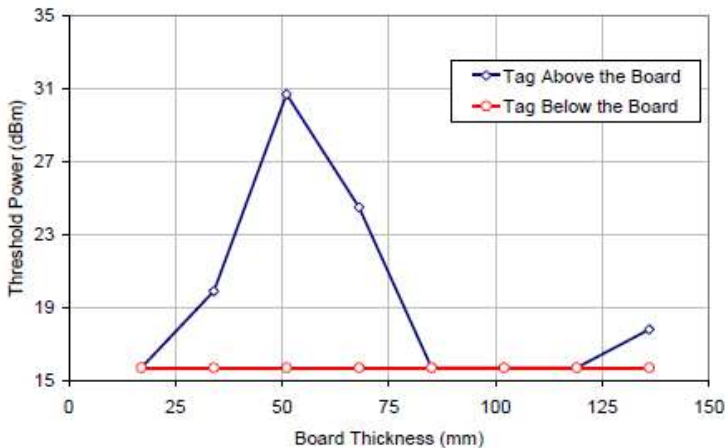


Gambar 2. 10 Foto pengaturan pengukuran yang ditempatkan di dalam ruang anechoic RF

Daya ambang batas dapat digunakan untuk membandingkan kinerja tag yang ditempatkan di lingkungan yang berbeda. Daya ambang yang lebih tinggi menunjukkan penurunan kinerja sistem. Parameter lain yang juga dapat digunakan untuk ini adalah "rentang baca". Rentang baca adalah jarak terjauh yang memungkinkan sebuah tag dapat dibaca dengan semua parameter lainnya tetap konstan. Daya

ambang batas yang lebih rendah sesuai dengan rentang baca yang lebih panjang.

Pertimbangan tag yang ditempatkan di atas papan kayu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Antena pembaca ditempatkan pada ketinggian sekitar 1 m dari permukaan papan. Pengukuran dilakukan di dalam ruang anechoic RF terlindung sehingga gangguan dari sinyal eksternal dan refleksi dari anggota struktural diminimalkan. Daya ambang terukur sebagai fungsi dari ketebalan papan (d) ditunjukkan pada Gambar 2.11. Papan kayu yang digunakan dalam penelitian ini tebalnya 17 mm. Ketebalan nol menunjukkan bahwa pengukuran dilakukan tanpa papan apa pun. Saat ketebalan papan meningkat, daya ambang meningkat, dan mencapai maksimum ketika $d = 51$ mm, menunjukkan penurunan kinerja tag. Peningkatan lebih lanjut dalam hasil ketebalan dalam peningkatan kinerja tag .



Gambar 2. 11 Daya ambang batas untuk tag yang ditempatkan di papan kayu (jarak antara antena pembaca dan tag: 119 cm)

Eksperimen serupa telah dilakukan dengan tag yang ditempatkan di bawah papan. Dalam konfigurasi ini, tag terdeteksi dengan transmisi listrik set ke 15,7 dBm, daya transmisi terendah yang yang pembaca dapat dapat diatur untuk. Ini adalah ditunjukkan oleh para datar baris di Gambar 2.11. Ketika tag ditempatkan di bawah papan, papan kayu menghalangi garis pandang antara pembaca dan tag. Terlepas dari garis pandang yang diblokir, kinerja tag telah meningkat. Privasi data yang disimpan dalam tag menjadi masalah jika dikaitkan dengan orang. Misalnya, di sektor ritel, dimungkinkan untuk menautkan produk (melalui data yang disimpan dalam tag yang terlampir) dan orang yang membelinya (melalui nomor kartu kreditnya). Jika sebuah tag dapat dikaitkan dengan seseorang (melalui tag yang ditempelkan di baju yang dikenakan orang tersebut), sistem RFID yang menggunakan kumpulan pembaca stasioner dapat digunakan untuk melacak pergerakan orang tersebut [GAR 06]. Keamanan informasi yang disimpan pada tag juga memainkan peran penting dalam beberapa aplikasi. Masalah seperti merusak data yang disimpan dalam tag, mengubah hubungan antara tag dan produk, mengumpulkan data terkait keamanan yang tersimpan di tag, dll. telah mendorong desainer untuk menerapkan teknik enkripsi untuk mengamankan informasi pada tag itu sendiri.

BAB 3

JARINGAN SENSOR NIRKABEL TINJAUAN TEKNOLOGI

Wireless Sensor Networks (WSNs) dimulai sebagai ide akademis liar yang berubah menjadi teknologi yang sangat relevan secara komersial. Kelas jaringan nirkabel ini telah menerima perhatian yang signifikan dalam dekade terakhir karena kondisi operasional yang belum pernah terjadi sebelumnya yang ditawarkannya. Dari sejumlah demonstrasi pembuktian konsep, WSN telah berkembang menjadi teknologi komersial yang sangat andal. Dari hanya merasakan lingkungan, WSN telah berkembang menjadi semakin terintegrasi dengan Internet. Tumpukan komunikasi berbasis standar yang lengkap muncul, yang memungkinkan perangkat nirkabel kecil membentuk jaringan komunikasi dengan andal, dengan protokol yang berjalan pada jaringan ini memungkinkan konektivitas IP ujung ke ujung. WSN adalah teknologi yang memungkinkan yang akan membantu membentuk seperti apa Internet of Things (IoT) masa depan.

3.1. Sejarah dan konteks

Sejarah WSN sangat menarik dari ilmuwan yang sangat pintar memecahkan masalah yang membenturkan kepala, hingga orang-orang pemasaran menunjukkan sekali lagi bahwa (menipu) solusi sederhana adalah solusi yang memiliki potensi komersial paling besar.

3.1.1. Dari debu pintar hingga tanaman pintar

Konsep debu pintar, proyek Defense Advanced Research Projects Agency yang didanai pada tahun 1997, dimulai dari keinginan untuk membuat robot mikro menggunakan teknologi sistem elektro-mekanis mikro (MEMS). Pada tahun 1992, jelas bahwa tiga teknologi berbeda mengikuti kurva eksponensial hingga biaya nol penginderaan (didorong oleh revolusi

MEMS); perhitungan (mengikuti hukum Moore); dan komunikasi. Demikian pula, jelas pada saat itu bahwa ukuran dan kekuatan perangkat tersebut akan mengikuti tren yang sama dengan biaya semua yang Anda butuhkan untuk membangun node sensor nirkabel berkurang dalam ukuran, daya, dan biaya. Itu adalah benih dari ide debu pintar.

Konsep smart dust bergema dengan seluruh komunitas orang. Pada tahun 2001, di forum pengembangan Intel, 800 mote Berkeley ditempatkan di auditorium utama, satu di bawah setiap kursi. Perhatikan bahwa istilah "mote", yang didefinisikan sebagai "setitik debu", telah menjadi sinonim dengan sensor nirkabel. Pada sesi keynote keesokan paginya, peserta diminta untuk mengeluarkan motes. Motes membentuk infrastruktur komunikasi multi-hop, muncul secara real-time di layar utama. Penyembuhan diri ditunjukkan dengan menarik keluar baterai dari mote yang dipilih secara acak, dan melihat bahwa jaringan direorganisasi di sekitar mote yang tersisa. Ini adalah kelahiran jaringan nirkabel multi-hop, pengorganisasian diri dan penyembuhan diri.

Dalam demonstrasi tonggak lain pada tahun 2001, sensor nirkabel ditempatkan di bawah sayap kendaraan udara tak berawak, yang diprogram untuk menjatuhkan sensor di sepanjang jalan. Setelah dikerahkan, motes, dilengkapi dengan magnetometer, mencatat waktu perjalanan kendaraan. Pesawat terbang bolak-balik di sepanjang jalan, menanyakan setiap sensor pada lintasannya dan melaporkan waktu lintasan kendaraan kembali ke stasiun pangkalan. Analisis komersial pada tahun 2003, melihat keberhasilan demonstrasi akademis ini, mulai melihat potensi komersial dalam teknologi ini. Alasan untuk antusiasme yang berkelanjutan ini adalah karena WSN, sebuah teknologi di mana sensor berbiaya rendah dapat diletakkan di mana saja dan mulai melaporkan data tanpa harus memasang kabel, dapat digunakan hampir di mana saja. Ruang aplikasi mencakup berbagai bidang seperti otomatisasi bangunan (keamanan, pemanas-ventilasi-AC

(HVAC), Pembacaan Meter Otomatis (AMR), kontrol pencahayaan, kontrol akses), pemantauan industri (manajemen aset, kontrol proses, lingkungan dan energi manajemen), jaringan sensor tubuh (pemantauan pasien, kebugaran), elektronik rumah (TV, VCR, DVD/CD, konsol game), antarmuka komputer (mouse, keyboard, joystick), aplikasi energi (irigasi halaman dan taman, pemantauan energi, permintaan - sistem respons, jaringan pintar), dll.

Sebagai tanggapan, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) mulai melihat masalah tersebut, dan pada tahun 2003 muncul dengan versi pertama dari standar IEEE 802.15.4. Standar ini mendefinisikan lapisan komunikasi akses fisik dan menengah. Konsorsium industri ZigBee berkumpul untuk membangun seperangkat standar di atas IEEE 802.15.4; mereka menghasilkan set draft pertama mereka pada tahun 2004. Minat yang kuat ini, dan pemodal ventura mulai memasukkan uang ke dalam lapangan.

3.1.2. Persyaratan aplikasi di WSN modern

WSN mampu mencapai titik panas dalam pengembalian investasi yang tidak dapat dicapai oleh jaringan sensor kabel. Sementara hukum Moore memprediksi bagaimana perangkat keras menjadi lebih murah, biaya pemasangan dan terutama pemasangan kabel yang terkait dengan pemasangan jaringan sensor kabel terkadang menjadi penghalang. Pikirkan misalnya sebuah kilang minyak dengan beberapa tangki yang saling berhubungan dengan pipa bermil-mil, menjalankan proses industri yang kompleks. Akan ada ribuan sensor yang memantau tekanan, suhu, laju aliran, ketinggian tangki, kesehatan katup, dll. Semuanya siap untuk dihubungkan ke stasiun pemantauan pusat. Sementara yang lebih penting memang terhubung, sebagian besar sensor yang tersedia bukan karena biaya pemasangan kabel yang mahal. Menggunakan WSN menghilangkan sebagian besar overhead instalasi jaringan dapat digunakan dalam hitungan jam daripada minggu

dan itu mengatur sendiri untuk menyediakan stasiun pemantauan pusat dengan data real-time pada set sensor yang jauh lebih besar yang ada di pabrik. Tantangan nyata yang dihadapi oleh WSN modern adalah menyediakan keandalan seperti kabel menggunakan teknologi bebas kabel.

3.1.2.1. Jumlah, geometri dan topologi

Visi awal debu pintar membuat orang berpikir bahwa debu itu akan tersebar di seluruh lingkungan kurang lebih secara acak. Beberapa penerapan melakukan ini, tetapi untuk sebagian besar aplikasi jaringan sensor saat ini, sensor dipasang secara individual di tempat yang dibutuhkan. Beberapa sistem dipasang oleh teknisi terlatih dan lainnya oleh mahasiswa doktoral, kedua kelompok yang dapat diandalkan memiliki beberapa kecanggihan dan kemampuan. Tetapi sebagian besar jaringan dipasang oleh orang-orang yang mungkin tidak memiliki latar belakang teknis apa pun.

Saat ini, sebagian besar jaringan sensor tidak terhubung ke Internet. Jalur akses umumnya dicolokkan ke sistem yang menggunakan data secara lokal, dan arus informasi dalam jaringan tidak melampaui jaringan sensor itu sendiri. Ini kemungkinan akan berubah secara dramatis selama dekade berikutnya, di mana jaringan sensor berbasis IP kemungkinan akan lepas landas. Banyak jaringan sensor masih tidak akan terhubung ke Internet, bagaimanapun, karena tradisi, politik atau kekhawatiran atas keamanan.

Motes melaporkan data yang dirasakan dari lingkungan mereka; maka tidak masuk akal untuk tidak tahu di mana sensor yang dilaporkan berada. Pikirkan sebuah gudang tempat ribuan barang disimpan dan dipindahkan dengan forklift. Bayangkan sekarang masing-masing barang ini dilengkapi dengan motes yang mampu menentukan lokasinya di dalam gudang. Tidak hanya tidak mungkin lagi kehilangan barang, tetapi pengawas gudang dapat mengajukan pertanyaan langsung ke gudangnya

untuk mengetahui dengan tepat berapa banyak barang yang dikandungnya, dan di mana masing-masing berada.

Seperti di GPS, sistem lokalisasi menggunakan beberapa bentuk triangulasi, di mana sebuah node mengukur jaraknya ke satu set node referensi yang sadar lokasi. Masalah dasar dengan lokalisasi adalah bahwa mulai, yaitu mengukur jarak antara dua node, adalah masalah non-sepele. Teknik seperti kekuatan sinyal yang diterima berkinerja buruk, terutama di dalam ruangan. Dalam beberapa tahun terakhir, teknik yang disebut waktu penerbangan frekuensi radio (RF) telah terbukti mengungguli teknik sebelumnya. Idenya adalah untuk mengukur waktu yang dibutuhkan paket RF untuk melakukan perjalanan dari pengirim ke penerima dan kembali. Meskipun ini umumnya digunakan dalam sistem pita ultra lebar (UWB), menerapkan teknik ini ke IEEE. Radio 802.15.4 (dengan hanya saluran selebar 2 MHz) sangat menantang. Pembaca yang tertarik dirujuk ke [LAN 09].

3.1.2.2. Aliran data

Ada berbagai macam aplikasi jaringan sensor yang hampir semua jenis aliran data dapat dianggap berasal dari beberapa jenis jaringan, nyata atau dugaan. Di sini, kami menjelaskan contoh yang paling umum, dan mengikuti notasi dari [RPL 10]. Di sebagian besar jaringan, setidaknya ada satu “node khusus”, yang akan kita sebut node sink, yang terhubung ke beberapa sistem informasi lain. Sebagian besar pelaporan dalam jaringan sensor bersifat periodik. Periodenya dapat bervariasi dari milidetik hingga hari, tetapi titik panas untuk teknologi saat ini berkisar dari detik hingga menit. Peristiwa dapat memicu aliran data dalam aliran multipoint-to-point (MP2P), seperti dalam sistem alarm rumah di mana pintu atau jendela terbuka menyebabkan paket dikirim ke kotak kontrol alarm. Kondisi kesalahan pada mote, atau bukti serangan keamanan, juga dapat menghasilkan paket untuk dikirim ke sink. Beberapa sistem menggunakan laporan dengan

pengecualian, di mana data diambil sampelnya secara berkala, tetapi hanya dilaporkan jika berada di luar rentang yang ditentukan .

Sejauh ini aliran data yang paling umum dalam jaringan sensor yang ada adalah pengumpulan data secara teratur dari banyak titik ke satu titik pengumpulan, atau MP2P. Ini adalah aliran yang umum sehingga kami akan menganggapnya sebagai dasar dalam semua diskusi kami, dan menunjukkan ketidakhadirannya dalam kasus-kasus langka di mana tidak muncul. Dalam pemantauan farmasi, misalnya, data suhu dari lusinan atau ratusan sensor dikirim kembali ke pencatat data yang terpasang pada simpul wastafel. Jaringan, lebih banyak kesehatan dan informasi status sering dikirim ke sink, baik untuk mengaktifkan kontrol jaringan di jaringan yang dikelola secara terpusat atau untuk tujuan diagnostik dalam sistem manajemen terdistribusi. Perintah broadcast dari sink ke beberapa atau semua nodes di jaringan digunakan untuk pemrograman over-the-air, mengubah parameter jaringan seperti kunci ID dan data-link-layer, dan perintah sampling atau aktuasi sinkron. Arus lalu lintas ini disebut point-to-multipoint.

Akhirnya, lalu lintas point-to-point antara nodes terjadi dalam aplikasi kontrol. Sakelar lampu yang mengirim paket ke lampu adalah contoh kontrol loop terbuka. Sensor level tangki yang mengirim paket ke katup adalah contoh kontrol loop tertutup. Sebagian besar arus ini pendek secara geografis.

3.1.2.3. Keandalan terbatas latensi

Satu-satunya tujuan dari bagian jaringan WSN adalah untuk mengirimkan data. Keandalan pengiriman pada setiap aliran data adalah yang menetapkan sebagian besar persyaratan di jaringan. Keandalan adalah bagian dari paket yang diperkenalkan ke jaringan yang berhasil sampai ke tujuannya. Untuk beberapa aplikasi, keandalan 90% mungkin dapat diterima. Bagi yang lain, kemungkinan bahwa bahkan satu paket hilang dari jutaan yang dikirim harus menjadi

sebagian kecil dari persen. Biasanya, jika seseorang memberi tahu Anda bahwa keandalan tidak penting bagi mereka, maka mungkin ada peluang untuk mendefinisikan kembali aliran data dengan cara yang lebih dapat diterima. Jika keandalan 50% dapat diterima pada aliran satu paket per detik, maka aplikasi mungkin akan sama senangnya dengan satu paket setiap dua detik dengan keandalan 99,9%. Untuk sebagian besar aliran data, keandalan terkait langsung dengan latensi. Sebagian besar aplikasi tidak akan mentolerir jaringan yang mengirimkan 100% paket setelah penundaan satu tahun. Beberapa aplikasi akan sensitif terhadap latensi rata-rata, dan yang lain akan lebih peduli dengan latensi terburuk. Misalnya, orang bersedia mentolerir sesekali waktu respons yang lama selama rata-ratanya cukup rendah, sedangkan sistem kontrol umpan balik mungkin tidak peduli dengan rata-rata selama latensi kasus terburuk dibatasi.

3.1.2.4. Seumur hidup, biaya dan ukuran

Dengan WSN tidak ada kabel, jadi energi adalah komoditas yang langka. Untuk topologi, aliran, radio, dan protokol tertentu, masa pakai mote terkait dengan jumlah energi yang dapat disimpan atau diambilnya. Penyimpanan dan pemulungan membutuhkan biaya dan ukuran. Di sebagian besar aplikasi, biaya adalah pendorong daripada ukuran. Misalnya, jika baterai sel-C gratis, sebagian besar aplikasi jaringan sensor akan menggunakannya meskipun agak canggung. Secara umum, alasan orang menginginkan baterai kecil adalah karena harganya lebih murah. Mengingat pilihan antara baterai sel C dan sel koin dengan biaya yang sama, keputusan kemungkinan akan dibuat pertama berdasarkan masa pakai, dan akhirnya ukuran. Jika sel koin hanya bertahan seumur hidup yang diperlukan dalam 80% dari penerapan yang diinginkan, maka sel C yang lebih besar kemungkinan akan digunakan. Hanya ketika masa pakai dan biaya keduanya terpenuhi, ukuran mungkin menjadi faktor

penentu. Jelas, ada pengecualian untuk ini. Jika baterai mobil gratis, mereka akan terlalu besar untuk sebagian besar aplikasi. Untuk sensor medis yang dikenakan di tubuh, sel C tidak dapat diterima untuk hampir setiap aplikasi.

3.1.2.5. Keamanan

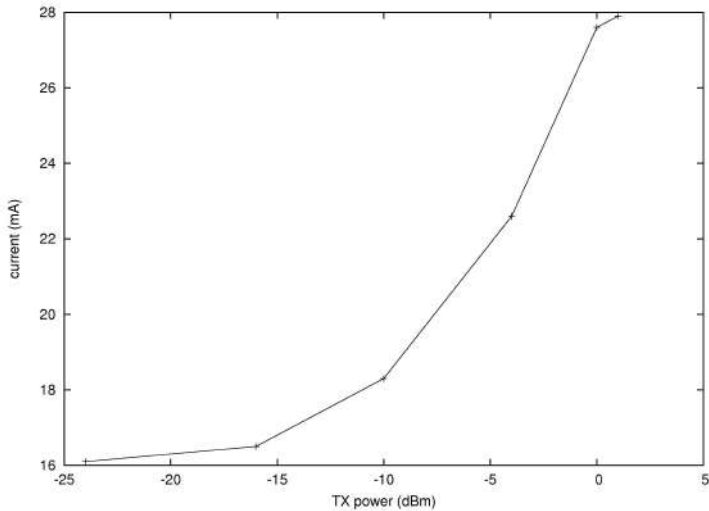
Kebanyakan orang tidak memiliki watak jahat yang diperlukan untuk benar-benar menghargai kebutuhan akan rasa aman. Orang-orang keamanan cenderung berpikir dalam kerangka skenario terburuk, dan bagaimana memanfaatkan kelemahan dan kejadian yang tidak mungkin. Para teknolog dan pengusaha secara alami cenderung memikirkan manfaat teknologi mereka. Rangkullah itu, dan bayangkan bahwa aplikasi Anda sangat sukses, dan bahwa orang-orang menggunakannya dengan cara yang melampaui apa yang bahkan Anda pikirkan sebelumnya. Sayangnya, bahkan orang bodoh pun menggunakan teknologi dengan cara yang mungkin seharusnya tidak digunakan. Sekarang cobalah berpikir seperti penjahat, peretas, teroris. Bayangkan Anda memiliki banyak sumber daya di belakang Anda, dan cobalah untuk membuat serangkaian skenario terburuk.

3.2. The simpul

Sebuah mote nirkabel berisi sejumlah kecil sirkuit terpadu, atau "chip", yang terhubung bersama ke papan sirkuit dan ditenagai oleh baterai. Inti dari mote adalah mikrokontrolernya prosesor kecil tempat semua chip lainnya terhubung. Mikrokontroler biasanya mengoordinasikan pengambilan sampel chip sensor dan komunikasi melalui chip radio. Chip radio mengirimkan paket yang diterimanya dari mikrokontroler ke antena. Chip sensor datang dalam berbagai ukuran, paket dan jenis, dan mengirimkan data yang dirasakan baik melalui port digital (sebagai rangkaian 0s dan 1s) atau analog (sebagai tegangan).

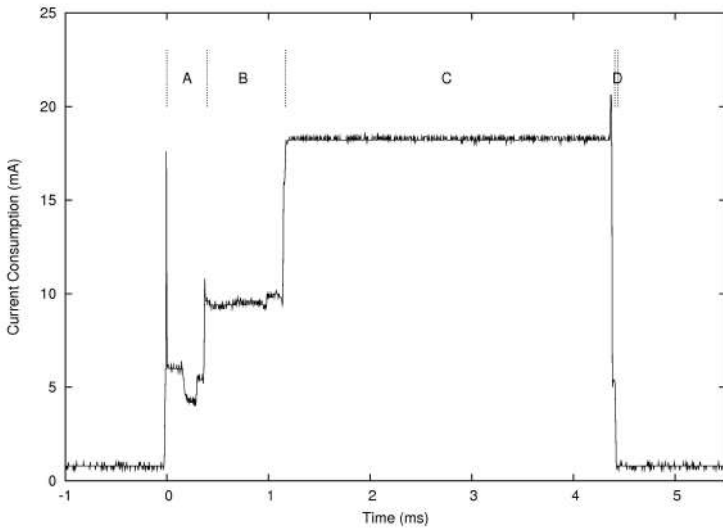
3.2.1. Komunikasi

Daya transmisi tipikal (daya yang sebenarnya dipancarkan antena sebagai energi RF) berada dalam kisaran 1 hingga 10 mW. Radio yang menghasilkan daya transmisi ini dapat dianggap memiliki dua bagian modulator, yang mengubah bit menjadi tegangan yang berubah-ubah waktu (RF) yang sesuai, dan penguat daya yang meningkatkan sinyal dan mengirimkannya ke antena. Di radio berdaya rendah, modulator sering membakar lebih banyak daya daripada penguat daya. Dengan power amplifier mati, pada dasarnya tidak ada daya yang keluar dari antena, jadi ada arus “overhead” minimum dari catu daya hanya untuk menghasilkan tegangan yang sesuai. Sulit untuk merancang penguat daya yang efisien pada rentang daya keluaran yang luas, dan penguat daya umumnya dirancang agar paling efisien mendekati kemampuan keluaran daya maksimumnya. Efisiensi penguat daya biasanya antara 10% dan 80%, dan ujung bawah kisaran itu paling umum untuk chip berdaya rendah. Hasilnya adalah pengurangan 10 kali dalam daya keluaran radio jarang digabungkan dengan pengurangan arus radio yang sesuai. Meskipun sebagian besar radio jaringan sensor memiliki beberapa jenis kontrol daya transmisi, seringkali lebih dari dua kali lipat atau lebih, perbedaan arus radio jarang lebih besar dari dua kali.



Gambar 3. 1 Daya keluaran pemancar versus arus masukan

Sebagai contoh, lakukan pengukuran yang disajikan pada Gambar 3.1, yang diperoleh dari papan eZ430-RF2500 yang dilengkapi dengan radio CC2500. Perhatikan bagaimana kira-kira 300 kali mampir daya transmisi (dari 1 dBm = 1,25 mW ke -24 dBm = 0,004 mW) diterjemahkan ke dalam hanya 42% penurunan dari para radio saat ini konsumsi (dari 27,9 mA ke 16,1 mA). Radio hanya dapat menerima informasi jika sinyal yang diterima cukup kuat. Level sinyal minimum yang dapat dideteksi untuk radio disebut sensitivitasnya. Angka khas untuk radio lebih banyak adalah sebagian kecil dari apicoWatt (sensitivitas dari -90 dBm hingga -100 dBm adalah tipikal). Rasio daya transmisi ke sensitivitas penerima disebut margin link. Untuk pemancar yang mengeluarkan beberapa miliWatt, dan penerima dengan sensitivitas beberapa persepuluh picoWatt, margin tautannya sekitar 10 miliar! Dalam praktiknya, terkadang sulit untuk menerima pesan dari mote yang jaraknya hanya beberapa meter.



Gambar 3. 2 Radio saat ini selama startup dan TX. Hasil rata-rata lebih dari 128 sampel

Sebelum bit pertama dapat dikirim atau diterima di radio, rangkaian peristiwa yang panjang biasanya harus terjadi di dalam radio. Dari keadaan tidur nyenyak, ini memerlukan antara lain menyalakan pengatur tegangan, menunggu osilator kristal stabil, dan menunggu osilator radio menetap (menyetel) ke frekuensi yang tepat, antara lain. Gambar 3.2 menunjukkan bagaimana radio CC2500 membutuhkan waktu sekitar 1 ms untuk beralih antara mode OFF dan RX. Fase beranotasi adalah startup radio (A), kalibrasi frekuensi radio (B), mode penerimaan (C) dan memasuki mode tidur (D).

3.2.2. Komputasi

Mikroprosesor berdaya rendah biasanya beroperasi dengan jumlah data 8-, 16-, atau 32-bit. Biasanya, lebar instruksi sama dengan lebar data, meskipun sekarang ada keluarga prosesor

32-bit dari ARM yang menggunakan set instruksi 16-bit. Secara umum, semakin lebar jalur data dan instruksi, semakin banyak yang dapat Anda lakukan dalam satu instruksi dan satu siklus clock. Jadi prosesor 8-bit 20 MHz akan jauh lebih lambat daripada prosesor 32-bit 20 MHz (kadang-kadang lebih dari 10 kali), dan ukuran kode untuk prosesor 8-bit akan lebih besar daripada untuk prosesor 32-bit (mungkin beberapa lusin persen).

Program biasanya disimpan dalam memori flash atau ROM. Keduanya tidak mudah menguap, artinya tidak hilang saat daya dimatikan. ROM dan flash keduanya memiliki densitas yang sangat tinggi (kira-kira 1 Mb/mm² dalam 0,18 μ m semikonduktor logam-oksida komplementer, CMOS). Data variabel disimpan dalam SRAM (memori akses acak statis), yang kepadatannya sekitar sepuluh kali lebih rendah daripada flash atau ROM, jadi biasanya jumlahnya jauh lebih sedikit pada mikroprosesor. SRAM bersifat fluktuatif, jadi ketika sisa chip tertidur, Anda masih harus tetap mengaktifkan SRAM jika Anda ingin menyimpan informasi apa pun di dalamnya. Untungnya, itu tidak membakar banyak daya ketika hanya duduk di sana menyimpan informasi, karena itu hanya kebocoran melalui semua transistor. Beberapa A adalah tipikal.

Mayoritas prosesor mote menghabiskan sebagian besar waktu mereka untuk tidur. Perangkat lunak bangun secara berkala karena gangguan pengatur waktu, misalnya sensor sampel dan mengirim atau menerima paket, dan ketika ini selesai, perangkat lunak kembali tidur. Menggunakan prosesor yang secara efisien berpindah antara kondisi tidur dan bangun adalah penting untuk pengoperasian dengan daya rendah.

3.2.3. Penginderaan

Ada ribuan jenis sensor yang berbeda, masing-masing dengan spesifikasi antarmukanya sendiri. Bahkan satu perusahaan, menjual satu jenis dari sensor, mungkin memiliki puluhan dari berbagai ver

si dari yang sensor dengan kinerja yang berbeda , antarmuka, pengemasan, toleransi suhu , dll. Tidak ada yang namanya antarmuka sensor umum. Semakin banyak, sensor telah terintegrasi elektronik, sehingga mereka dapat menyajikan baik antarmuka digital atau output tegangan impedansi rendah, keduanya relatif mudah untuk antarmuka ke mikrokontroler.

3.2.4. Energi

Kimia anoda dan katoda baterai menentukan tegangan rangkaian terbuka segar (pra-pengosongan) serta kisaran suhu untuk operasi normal. Baterai lithium memiliki profil pelepasan yang datar, artinya voltasenya tetap konstan selama sebagian besar masa pakainya. Baterai alkaline memiliki penurunan tegangan linier karena kapasitasnya terkurus. Baterai lithium umumnya memiliki umur simpan yang lebih lama karena kebocoran internal yang lebih rendah. Konsumen membayar harga yang jauh lebih tinggi untuk baterai lithium daripada alkaline. Baterai lithium tionil klorida adalah yang paling mahal dari semuanya, dan memiliki kinerja tertinggi. Selain arus yang Anda keluarkan dari baterai, itu juga akan habis sendiri. Ini membatasi masa pakai untuk level arus rendah. Pada arus tinggi, resistansi internal baterai, antara lain, mengurangi jumlah daya yang tersedia untuk aplikasi. Kapasitas baterai yang berguna adalah fungsi kuat dari suhu, arus rata-rata, dan profil arus.

3.3. Menghubungkan node

3.3.1. Dasar-dasar radio

Jika radio mentransmisikan nada terus menerus, maka tidak ada informasi yang tersedia untuk penerima selain frekuensi transmisi. Untuk mengkomunikasikan informasi, pemancar harus mengubah beberapa aspek dari gelombang yang ditransmisikan. Ini disebut modulasi. Bentuk modulasi yang paling sederhana adalah dengan menghidupkan dan mematikan

nada, yang dikenal sebagai on-off keying, atau OOK. Seringkali nada tidak dimatikan sepenuhnya, tetapi amplitudo yang digunakan agak berbeda. Ini adalah dikenal sebagai penguncian pergeseran amplitudo, atau ASK. Jika pemancar memodulasi frekuensi gelombang yang dipancarkan dan bukan amplitudonya, ini disebut modulasi frekuensi. Bentuk paling sederhana dari modulasi frekuensi ini adalah frequency shift keying, atau FSK. Radio siaran dalam apa yang disebut pita FM (88 – 107 MHz) menggunakan metode ini. Dalam penguncian fase pergeseran, atau PSK, sinyal ditransmisikan dengan memodulasi fase pembawa. Dalam kuadratur PSK (QPSK), fase bergerak antara {0, 90, 180, 270} derajat. Ini sesuai dengan transmisi gelombang sinus (0 atau 180 derajat) dan gelombang kosinus (90 dan 270 derajat). Sebagian besar energi dalam gelombang yang ditransmisikan terletak pada pita frekuensi yang sama dengan dua kali jumlah deviasi frekuensi dan frekuensi data termodulasi.

Sinyal yang keluar dari antena mengandung banyak komponen lain selain daya yang diterima dari pemancar. Sebagian besar komponen ini berasal dari transmisi radio yang tidak diinginkan, yang akan kita sebut interferensi. Beberapa di antaranya berasal dari sumber buatan manusia lainnya, seperti distribusi tenaga listrik dan bunga api listrik pada peralatan yang berputar seperti motor listrik dan busi. Beberapa kebisingan berasal dari sumber alami, seperti kilat dan semburan matahari. Sensitivitas radio adalah daya sinyal minimum yang diterima yang diperlukan untuk mencapai tingkat kesalahan bit atau tingkat kesalahan paket yang ditentukan. Daya sinyal yang diperlukan tergantung pada jumlah noise yang ada, dan pada rasio sinyal-ke-noise minimum (SNR), yang dibutuhkan oleh konverter analog-ke-digital dan elektronik digital. SNR minimum tergantung pada tingkat kesalahan yang ditentukan, modulasi yang digunakan, algoritma yang digunakan untuk demodulasi dan decoding, dan kualitas implementasi algoritma itu. Link margin adalah ukuran

berapa banyak daya yang bisa hilang antara pemancar dan penerima. Untuk radio WSN biasa, daya transmisi antara 1 dan 10 mW, dan sensitivitasnya antara -90 dan -100 dBm, memberikan margin link antara 90 dan 110 dB.

3.3.2. Kesalahpahaman umum

Kesalahpahaman umum tentang komunikasi nirkabel adalah bahwa area komunikasi dari sebuah node adalah disk sempurna dengan radius R . Menurut model ini, semua node yang lebih dekat dari R dapat mendengar node dengan sempurna; node lebih jauh dari R tidak bisa mendengarnya sama sekali. Ini mungkin benar dalam kasus teoritis ruang bebas tak terbatas di mana radio dengan daya transmisi deterministik sempurna dan sensitivitas berkomunikasi menggunakan antena isotropik sempurna. Pada kenyataannya, tidak ada klaim seperti itu yang dapat dibuat, terutama karena fenomena RF, seperti interferensi eksternal dan multi-path fading. Fenomena-fenomena ini, yang lebih banyak hadir di dalam ruangan, dirinci di bagian selanjutnya.

Perhatikan bahwa pengamatan ini memiliki dampak besar pada desain protokol. Misalnya, tidak mungkin merancang protokol menggunakan asumsi geometris; ini, sayangnya, terjadi di banyak protokol perutean geografis. Juga tidak mungkin untuk menyetel jarak komunikasi sebuah node secara deterministik; banyak protokol yang dirancang dengan buruk, misalnya mengandalkan kemampuan beberapa node untuk mentransmisikan "dua kali lebih jauh" dari yang lain. Kesalahpahaman umum kedua berkaitan dengan energi. Aturan praktis yang sederhana adalah bahwa radio yang menyala mengkonsumsi jumlah energi yang hampir sama baik untuk transmisi, penerimaan, atau mendengarkan. Protokol hemat energi karenanya harus memaksimalkan waktu radio dimatikan daripada, misalnya, mengurangi jumlah paket yang ditransmisikan.

Kesalahpahaman umum ketiga terkait dengan kemampuan jangkauan menggunakan kekuatan sinyal yang diterima. Sebagian besar radio, setelah menerima sebuah paket, menunjukkan pada daya apa paket itu diterima. Sangat menggoda untuk mencoba menghubungkan kekuatan ini dengan jarak transceiver. Untuk alasan yang disebutkan sebelumnya (multi-jalur, indeterminisme di radio), asumsi ini tidak berlaku.

3.3.3. Komunikasi yang andal dalam praktiknya perpindahan saluran

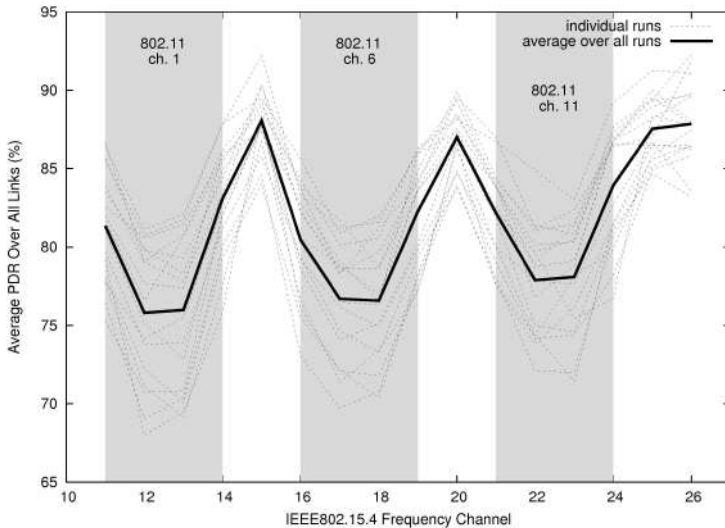
WSN menghadapi tantangan untuk memastikan komunikasi yang andal melalui tautan yang secara inheren tidak dapat diandalkan. Berita buruknya adalah bahwa gangguan eksternal dan multi-path fading menyebabkan kualitas link nirkabel berubah secara dramatis, dengan cara yang tidak terduga. Kabar baiknya adalah bahwa fenomena ini berubah tergantung pada frekuensi node berkomunikasi. Channel hopping adalah teknik yang terbukti efisien memerangi sifat teknologi nirkabel yang tidak dapat diandalkan. Mari kita ambil contoh dunia nyata. Jejak konektivitas dikumpulkan oleh Ortiz dan Culler di ruang kantor University College Berkeley (jejak konektivitas tersedia di <http://wsn.eecs.berkeley.edu/connectivity/>). 46 Mote TelosB yang sesuai dengan IEEE802.15.4 disebar di lingkungan dalam ruangan berukuran 50 m kali 50 m dan terus-menerus mendengarkan paket. Satu demi satu, setiap mote mentransmisikan ledakan 100 paket, dengan waktu antar paket 20 ms dan daya transmisi 0 dBm, pada masing-masing dari 16 saluran frekuensi yang menjangkau pita 2,4-2,485 GHz. Timer digunakan untuk memastikan bahwa semua node berpindah saluran secara bersamaan. Perhatikan bahwa, karena semburan dikirim secara berurutan, tidak ada tabrakan. Semua node non-transmitting mencatat cap waktu paket yang diterima, alamat sumbernya, dan saluran frekuensi paket diterima. Setelah 46

node mengirimkan burst, setiap node melaporkan paket mana yang telah diterimanya. Proses ini diulang dalam 17 run. Satu putaran selesai dalam 13 menit. Beberapa jam memisahkan perjalanan berikutnya .

Dengan jejak ini di tangan, kita dapat memplot keandalan tautan tergantung pada frekuensinya. Keandalan secara sederhana dapat dinyatakan sebagai rasio pengiriman paket (PDR): rasio antara jumlah paket yang diterima dan jumlah paket yang dikirim. PDR satu menunjukkan tautan yang sempurna. Gambar 3.3 memplot keandalan rata-rata semua tautan, tergantung pada frekuensinya. Sementara pada beberapa frekuensi (misalnya saluran 26, atau 2,480 GHz) PDR sekitar 87%, turun mendekati 75% pada frekuensi lain (misalnya saluran 12, atau 2,415 GHz). Ternyata orang-orang yang bekerja di ruang kantor itu terhubung ke Internet secara nirkabel menggunakan stasiun pangkalan IEEE802.11 (WiFi) yang beroperasi pada saluran IEEE802.11 1, 6 dan 11. Saat merencanakan frekuensi yang digunakan oleh saluran tersebut pada Gambar 3.3, menjadi jelas bahwa gangguan WiFi eksternal sangat mempengaruhi keandalan WSN. Apakah ini berarti kita harus menyetel WSN agar hanya beroperasi pada, misalnya saluran 20? Bagaimana jika administrator jaringan kemudian menginstal jaringan WiFi keempat yang beroperasi pada frekuensi yang sama? Jelas, alokasi saluran statis bukanlah jawabannya.

Di lingkungan dalam ruangan, setiap dinding, orang, dan perabot bertindak sebagai reflektor sinyal RF. Akibatnya, di atas sinyal yang mengikuti jalur direct line-of-sight (LOS), sebuah node menerima beberapa gema yang telah memantul dari elemen terdekat. Jalur yang diikuti gema harus lebih panjang dari jalur LOS sehingga mereka tiba sedikit lebih lambat, biasanya dalam beberapa nanodetik. Ini adalah fenomena yang tidak diinginkan, terutama dalam komunikasi pita sempit. Jika sinyal yang berbeda diberi fase yang tepat, mereka dapat mengganggu secara destruktif dan penerima tidak

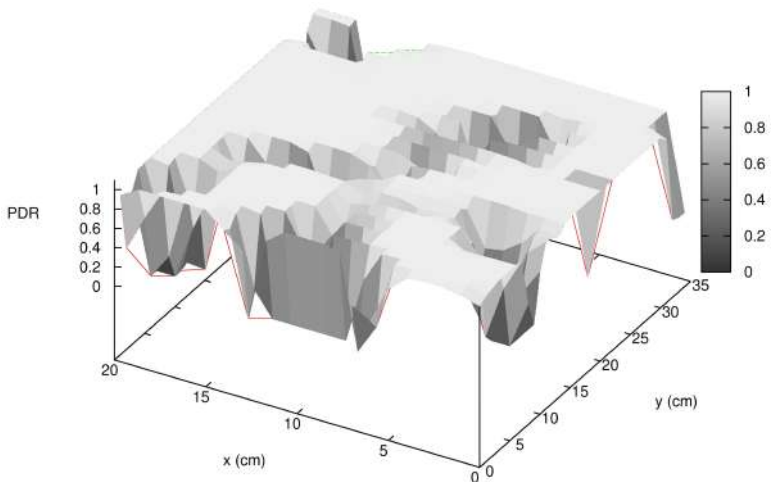
dapat memecahkan kode sinyal bahkan ketika secara fisik dekat dengan pemancar.



Gambar 3. 3 Radio saat ini selama startup dan TX. Hasil rata-rata lebih dari 128 sampel

Mari kita ambil hasil yang dikumpulkan dari eksperimen dunia nyata yang diambil dari [WAT 09]. Komputer terhubung ke penerima tetap; mote pemancar dipasang pada lengan bermotor. Pada awal pengukuran, lengan dipindahkan ke lokasi tertentu. Pemancar kemudian mentransmisikan 1.000 paket sepanjang 29 byte pada frekuensi yang diminta. PDR ditentukan oleh penerima sebagai fraksi paket yang berhasil diterima. Masing-masing dari 1.000 paket membutuhkan 2,3 ms untuk dikirim; satu pengukuran (termasuk gerakan lengan) membutuhkan waktu 4 detik. Pengukuran ini diulang untuk lokasi pemancar yang berbeda di dalam bidang 20 cm kali 34 cm; dengan langkah 1 cm di kedua arah, yaitu 735 titik data diperoleh.

Gambar 3.4 menggambarkan plot 3D yang dihasilkan dari PDR versus lokasi pemancar, ketika pemancar dan penerima dipisahkan oleh (hanya) 1 m. Angka dramatis ini menunjukkan beberapa berita buruk. Sementara di sebagian besar lokasi konektivitas baik dengan PDR melayang sekitar 100% (ingat bahwa pemancar dan penerima hanya berjarak 1 m, jadi hasil ini diharapkan), di beberapa lokasi PDR turun hingga 0%. Lebih buruk lagi, hal itu terjadi setelah pemancar dipindahkan hanya 2-3 cm.



Gambar 3. 4 Menyaksikan multipath fading.

Hasil yang diperoleh untuk komunikasi pengirim dan penerima pada saluran IEEE 802.15 pada 20 (2.450 GHz) dipisahkan oleh 1 meter. Bagi seorang desainer jaringan, ini memang berita buruk. Multi-path fading tergantung sepenuhnya pada lingkungan, sehingga tidak dapat diprediksi tanpa pengetahuan yang tak terbatas dari lokasi objek, orientasi dan karakteristik reflektif. Saat menambahkan fakta bahwa orang berjalan-jalan, dan pintu dibuka dan ditutup, memprediksi lokasi deep fades (lokasi di mana PDR mencapai

0%) tidak mungkin dilakukan. Namun fenomena ini tergantung pada frekuensi. Mengulangi pengukuran yang sama untuk saluran frekuensi yang berbeda memang menunjukkan bahwa "topografi" Gambar 3.4 berubah secara signifikan dari satu saluran ke saluran lainnya. Faktanya, untuk pemancar dan penerima yang dipisahkan oleh beberapa meter atau lebih, dampak dari frekuensi operasi sedemikian rupa sehingga pergeseran frekuensi hanya 5 MHz (satu saluran dalam standar IEEE802.15.4) mengarah ke topografi yang sama sekali berbeda. Jadi apa yang diperlukan untuk sistem komunikasi? Jawabannya adalah channel hopping harus digunakan. Dalam sistem hopping saluran, paket-paket berikutnya dikirim pada frekuensi yang berbeda, mengikuti pola hopping pseudo-acak. Artinya, jika transmisi gagal, transmisi ulang akan terjadi pada frekuensi yang berbeda. Ini berarti bahwa transmisi memiliki peluang lebih besar untuk berhasil daripada jika transmisi ulang terjadi pada saluran yang sama karena frekuensi yang berbeda berarti efek multi-path fading dan interferensi yang berbeda.

3.4. Node jaringan

Banyak hal yang perlu terjadi di dalam sebuah node agar dapat berkomunikasi melalui jaringan multi-hop. Perangkat lunak yang berjalan pada node perlu menjawab banyak pertanyaan. Pada jam berapa sebuah node harus mengirim pesan? Pada frekuensi berapa? Jika sebuah node ingin melaporkan pengukuran ke node yang jauh, ke tetangga mana ia harus mengirim pesannya? Apa yang harus dilakukan ketika transmisi gagal? Mengirim ulang? Buang paketnya? Ubah tujuannya?. Seorang insinyur jaringan mengimplementasikan program khusus yang berjalan di tempat. Meskipun perangkat lunak, biasanya disebut "firmware" karena tidak seharusnya diinstal oleh pengguna akhir. Sama seperti saat kamu membeli

mesin cuci, ia datang dengan beberapa firmware yang bereaksi terhadap Anda menekan tombol pada mesin.

Tidak seperti mesin cuci, bagaimanapun, kode yang berjalan pada perangkat yang berkomunikasi cukup kompleks karena perlu menangani banyak hal yang berbeda. Mengakui kompleksitas ini, pada tahun 1977 Organisasi Internasional untuk Standardisasi mendefinisikan cara umum untuk menggambarkan sistem komunikasi apa pun. Model ini, yang disebut model referensi interkoneksi sistem terbuka tujuh lapis, telah terbukti cukup umum sehingga sebagian besar sistem komunikasi mengikutinya. Lapisan komunikasi adalah konsep kunci dari sistem komunikasi; semua orang yang bekerja pada sensor nirkabel jaringan harus memiliki pemahaman yang sangat baik tentang konsep terkait, seperti enkapsulasi, pertukaran lapisan atau antarmuka. Jika Anda tidak terbiasa dengan konsep tersebut, silakan merujuk ke [TAN 02].

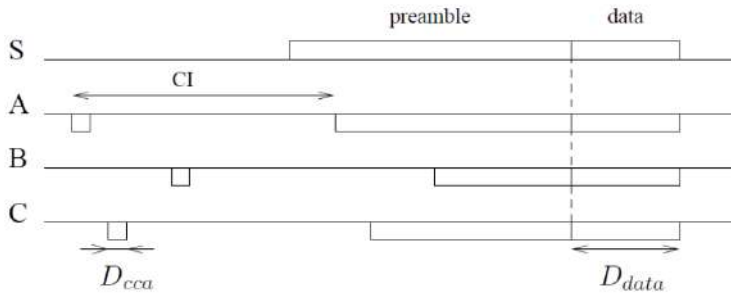
3.4.1. Kontrol akses sedang

Lapisan kontrol akses menengah (MAC), karena berhubungan dengan dua kendala utama, bisa dibilang sangat penting dalam arsitektur komunikasi WSN [LAN 05, DEM 06]. Pertama, ia mengontrol status chip radio, oleh karena itu siklus tugas dan efisiensi energi node. Kedua, karena media nirkabel disiarkan secara alami, ia bertanggung jawab untuk menyelesaikan setiap perselisihan yang timbul, sambil memperhitungkan pemutusan tautan dan perubahan topologi karena munculnya node (dis) ke dalam akun. Oleh karena itu ada minat yang tumbuh dalam memahami dan mengoptimalkan protokol MAC WSN dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian didorong terutama untuk mengurangi konsumsi energi karena sumber daya yang terbatas dan terbatas pada perangkat nirkabel. Semua protokol MAC hemat energi mematikan radio untuk menghemat energi, sambil menyalakannya sesekali untuk berkomunikasi. Pendekatan yang berbeda telah diambil, yang kami klasifikasikan ke dalam dua keluarga besar protokol

pengambilan sampel pendahuluan dan protokol terjadwal berbasis bingkai [BAC 09].

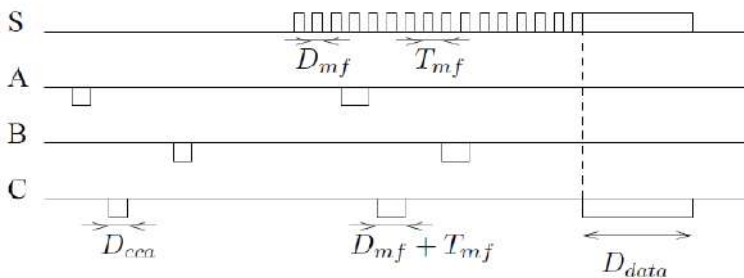
3.4.1.1. Pembukaan protokol pengambilan sampel

Node yang menggunakan preamble-sampling mendengarkan secara berkala untuk waktu yang sangat singkat (disebut clear-channel-assessment, atau CCA) untuk memutuskan apakah transmisi sedang berlangsung. Interval pemeriksaan (CI) adalah jumlah waktu sebuah node menunggu antara dua CCA berturut-turut. Pengirim perlu memastikan node penerima terjaga sebelum mengirim data; dengan demikian preamble (panjang) untuk datanya. Dengan memiliki pembukaan sekurang-kurangnya selama periode bangun, pengirim yakin penerima akan mendengarnya dan terjaga untuk menerima data. Perhatikan bahwa teknik ini telah dirujuk dalam literatur sebagai penerima siklus [LIN 04], mendengarkan daya rendah [POL 04], polling saluran [YE 06], dan pengambilan sampel pembukaan. Gambar 3.5 sampai 3.7 adalah kronograf yang menggambarkan keadaan radio node S dan tiga tetangganya A, B dan C, untuk varian preamble-sampling yang berbeda. Sebuah kotak di atas/di bawah garis vertikal berarti radio node memancarkan/menerima, masing-masing. Tidak ada kotak berarti radio mati. Semua node mengambil sampel saluran selama D cca detik setiap CI detik. Gambar 3.5 menggambarkan fungsi preamble-sampling dasar node S mengirimkan preamble terus menerus dengan panjang $CI + D$ cca. Ketika node A, B dan C sampel saluran, mereka tetap terjaga sampai pesan data panjang D Data yang dikirim.



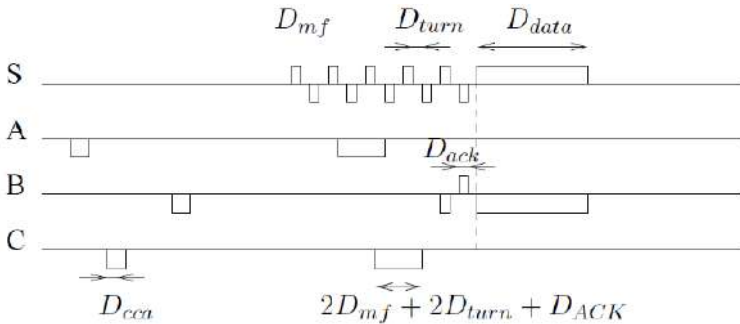
Gambar 3.5 Pembukaan dasar-sampling

Pembukaan sampel dasar membutuhkan A, B dan C untuk mendengarkan sisa pembukaan, yang membutuhkan energi. Pembukaan bingkai mikro (MFP) [BAC 06] memotong pembukaan menjadi serangkaian bingkai mikro (lihat Gambar 3.6). Setiap bingkai mikro berisi penghitung yang menunjukkan berapa banyak bingkai mikro yang masih tersisa. Sebuah mikro-frame dikirim setiap T_{mf} detik, dan berlangsung selama D_{mf} . Setelah mengambil sampel saluran, a node tahu berapa banyak mikro-frame yang masih harus dikirim, dan karenanya dapat kembali tidur sampai data aktual dikirim.



Gambar 3.6 Pengambilan sampel pendahuluan bingkai mikro

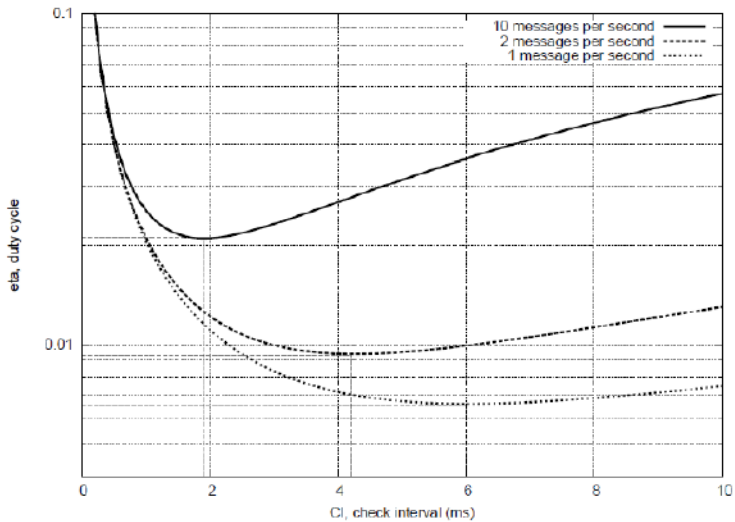
Salah satu kelemahan utama dari preamble-sampling adalah pembukaan yang panjang, yang menghabiskan energi dan meningkatkan kemungkinan tabrakan. Teknik telah diusulkan untuk mengatasi masalah ini.



Gambar 3. 7 X-MAC, MFP dengan mendengarkan di antara mikro-frame

X-MAC [BUE 06] menggunakan konsep yang mirip dengan MFP. Pengirim S memotong pembukaan menjadi bingkai mikro, dan mendengarkan di antara setiap bingkai mikro (lihat Gambar 3.7). Perhatikan bahwa S membutuhkan waktu T giliran untuk beralih antara penerimaan dan transmisi mode. Ketika itu tujuan node (di sini B) mendengar pembukaan, menjawab dengan pesan pengakuan panjang D_{ack} . Hal ini menyebabkan panjang pembukaan rata-rata menjadi setengah dari MFP. Ada nilai optimal untuk CI di mana node menghabiskan lebih banyak energi dalam transmisi daripada menghemat dalam penerimaan. Menemukan nilai optimal ini terutama tergantung pada beban lalu lintas pada jaringan. Sebagai contoh, mari kita pertimbangkan 10 node yang semuanya berada dalam jangkauan komunikasi, dan sampel saluran untuk 200 s setiap CI. Tanpa trafik, duty cycle rata-rata adalah $(200,10^{-6})/CI$, jadi semakin besar CI, semakin hemat energi protokol tersebut. Dengan asumsi bahwa sebuah pesan yang dikirim

antara 10 node per detik, kita dapat dengan mudah menghitung siklus digambarkan pada Gambar 3.8 untuk beberapa beban. Semakin besar beban, semakin kecil siklus kerja yang seharusnya.



Gambar 3. 8 Dalam preamble sampling, interval pemeriksaan yang optimal sangat bergantung pada beban jaringan

Pembukaan-sampling menghilangkan kebutuhan untuk lalu lintas kontrol. Ini menawarkan abstraksi "selalu aktif" yang elegan yang agak menyederhanakan interaksi dengan lapisan atas, karena komunikasi lintas lapisan tidak diperlukan. Pembukaan sampling, bagaimanapun, menderita dari dua masalah utama. Yang pertama adalah, dengan menambahkan pembukaan, paket menjadi lebih panjang dan karenanya lebih rentan terhadap tabrakan. Ini berarti bahwa preamble-sampling perlu digunakan hanya untuk jaringan dengan throughput rendah. WSN paling padat di node sink, karena semua lalu lintas menyatu ke jaringan itu. Aturan praktisnya adalah bahwa preamble sampling hanya efisien

ketika node sink menerima kurang dari satu paket per detik. Dalam kasus ketika lalu lintas meningkat di atas ambang itu (pikirkan WSN deteksi kebakaran hutan di mana kebakaran dimulai, semua node mulai menghasilkan pesan alarm), jaringan dikatakan "runtuh". Ketika ada banyak paket, kemungkinan tabrakan tinggi, dan karenanya sebagian besar paket perlu ditransmisikan ulang, yang menambah beban lebih banyak lagi. Hal ini menyebabkan sangat sedikit paket yang berhasil mencapai sink, meskipun node dalam jaringan terus-menerus mencoba untuk berkomunikasi. Contoh eksperimental dari fenomena ini disajikan pada Gambar 3.9. Masalah kedua adalah bahwa kelincahan frekuensi sulit dipasangkan dengan preamble sampling. Kelincahan frekuensi adalah kemampuan jaringan untuk berkomunikasi pada saluran yang berbeda, untuk memerangi gangguan eksternal dan multi-path fading. Seperti yang akan kita lihat di bagian berikutnya, protokol MAC berbingkai lebih mampu mengatasi masalah ini.

3.4.1.2. Protokol MAC berbingkai

Protokol MAC berbingkai membuat jadwal yang diikuti semua node. Mereka juga disebut sebagai protokol time division multiple access (TDMA). Jadwal adalah suksesi slot yang membentuk bingkai yang terus berulang dari waktu ke waktu. Perhatikan bahwa slot dapat digeneralisasi untuk mempartisi sumber daya (saluran) yang tersedia sepanjang waktu, frekuensi sumbu kode, atau kombinasinya. Ketika sebuah node perlu mengirim pesan, ia menunggu slot di mana ia tahu tidak ada node lain yang sedang melakukan transmisi. Pendekatan ini menarik karena begitu jadwal diatur, secara signifikan dapat mengurangi jumlah tabrakan, jumlah mendengarkan dan mendengar yang mengganggu. Pendekatan ini menawarkan Batasan latensi, keadilan, dan throughput yang baik dalam kondisi lalu lintas bermuatan, dengan mengorbankan kemampuan beradaptasi terhadap lalu lintas variabel.

Data dapat dijadwalkan dengan cara yang berbeda ke dalam slot. Ketika tautan komunikasi dijadwalkan, pasangan pengirim-penerima tertentu ditugaskan ke slot yang diberikan. Ini menghindari baik pendengaran dan tabrakan, tetapi dapat menurunkan throughput jaringan jika lalu lintas bervariasi. Slot dapat diberikan ke pengirim selama slotnya, sebuah node diberi kesempatan untuk mengirimkan ke tetangganya, mengharuskan semua tetangganya untuk mendengarkan. Kebalikannya juga mungkin (yaitu menjadwalkan penerima), dalam hal ini beberapa node mungkin berakhir bersaing untuk mengirim, membutuhkan teknik resolusi pertentangan. Gateway MAC [BRO 06] memilih node yang bertindak sebagai gateway untuk waktu tertentu, dan kemudian memutar node untuk menyeimbangkan beban. Kerangka TDMA dari gateway MAC berisi tiga periode periode pengumpulan, periode indikasi lalu lintas, dan periode distribusi.

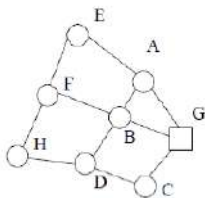
Selama periode pengumpulan, node bersaing untuk saluran dan mengirim paket yang mengekspresikan kebutuhan lalu lintas masa depan mereka. Pada periode indikasi lalu lintas, semua node bangun dan mendengarkan saluran untuk menerima pesan indikasi lalu lintas gateway. Pesan indikasi lalu lintas gateway mempertahankan sinkronisasi antar node dan memberikan slot ke node. Protokol akses media adaptif lalu lintas [RAJ 03] menentukan penjadwalan bebas tabrakan dan melakukan penetapan tautan sesuai dengan lalu lintas yang diharapkan. Protokol berisi dua fase pembentukan topologi lokal dan akses saluran terjadwal. Akses saluran terjadwal memungkinkan setiap node untuk bangun hanya untuk mengirim atau menerima, yang mengurangi mendengarkan mengganggu dan mendengar ke nol. Masalah utama dengan protokol akses media adaptif lalu lintas adalah kompleksitasnya dan asumsi bahwa node disinkronkan di seluruh jaringan. Y-MAC [KIM 08] terutama dirancang untuk mengurangi latensi. Node disinkronkan dan slot penerimaan ditetapkan ke

setiap node pada saluran dasar yang sama. Dalam kasus di mana beberapa paket perlu dikirim antara node tetangga, paket berturut-turut dikirim, masing-masing pada frekuensi yang berbeda mengikuti urutan hopping yang telah ditentukan. Urutan hopping ini dimulai pada saluran dasar. Akibatnya, semburan pesan riak di seluruh saluran, secara signifikan mengurangi latensi. Hasil implementasi yang disajikan berfungsi sebagai bukti konsep untuk pendekatan MAC multi-saluran .

Time-synchronized mesh protocol (TSMP) [PIS 08] berbasis TDMA dan karenanya memerlukan sinkronisasi seluruh jaringan. Akses dikendalikan melalui sejumlah slot waktu yang dapat diatur yang membentuk bingkai. Protokol dirancang agar sebuah node dapat berpartisipasi dalam beberapa frame sekaligus, memungkinkannya memiliki beberapa kecepatan refresh untuk tugas yang berbeda. Selain itu, TSMP menggunakan frequency division multiple access (FDMA) dan frequency hopping. Tautan yang berbeda menggunakan slot frekuensi yang berbeda dan hop tautan yang sama selama masa pakainya di slot frekuensi yang berbeda. Ini menghasilkan ketahanan yang tinggi terhadap gangguan pita sempit dan gangguan saluran lainnya .

Pendekatan tradisional untuk memfasilitasi sinkronisasi adalah beaconing. Bingkai yang lebih panjang mengurangi kecepatan penyegaran sinkronisasi dan konsumsi daya; frame yang lebih pendek memanggil yang sebaliknya. Node TSMP mempertahankan rasa waktu dengan bertukar pesan sinkronisasi ulang selama periode aktif bersama dengan data biasa dan paket pengakuan; ini memanggil overhead yang dapat diabaikan. Node TSMP aktif di tiga status: 1) mengirim paket ke tetangga; 2) mendengarkan tetangga berbicara; dan 3) berinteraksi dengan komponen perangkat keras tertanam . Durasi periode aktif, yaitu duty cycling, sangat fleksibel di TDMA; aplikasi khas membutuhkan siklus tugas rata-rata kurang dari 1%.

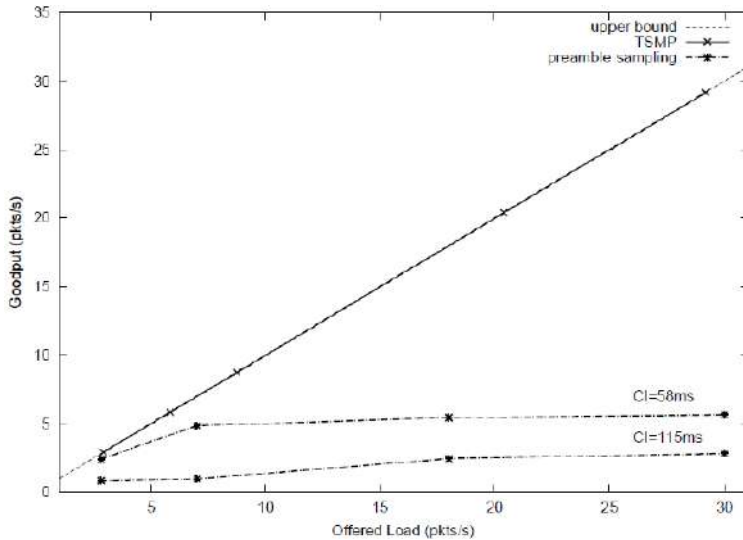
Saat diterapkan, sink biasanya mengambil daftar node, tetangganya, dan persyaratannya dalam hal pembuatan lalu lintas. Dari informasi ini, ia membangun tabel penjadwalan baik dalam waktu dan frekuensi. Saat menerapkan TSMP pada perangkat keras IEEE802.15.4-2006 [802.15.4], tersedia 16 saluran frekuensi. Dicontohkan oleh tabel penjadwalan pada Gambar 3.9, aturan pembentukan dan pemeliharaan tautan TSMP sederhana jangan pernah menempatkan dua transmisi dalam slot waktu/frekuensi yang sama; pada waktu tertentu, diberikan node tidak boleh menerima dari dua tetangga atau harus mengirim ke dua tetangga. Dengan asumsi bahwa slot memiliki panjang 10 ms dan node H mengirimkan paket mengikuti rute H – F – B – G, kemudian H mengirim ke F di slot [t5, bab.6], setelah itu F – B di [t10, bab.11] , lalu B – G pada [t8, bag.8]. Latensi dalam hal ini dapat dikurangi menjadi tiga slot atau 30 ms. Gambar 3.9 menunjukkan bahwa paket-paket yang berurutan berjalan di antara dua node dikirim menggunakan frekuensi yang berbeda, mengikuti urutan hopping yang telah ditentukan sebelumnya.



ch.15									E->A	
ch.14	A->G			G->C						
ch.13						D->H				
ch.12		F->E					B->A			
ch.11					C->D				F->B	
ch.10				G->B						
ch.9										
ch.8	E->F					G->A		B->G		
ch.7				D->B					A->E	
ch.6						H->F				
ch.5		D->C					C->G			
ch.4								B->D		
ch.3										
ch.2	H->D						B->F			
ch.1			F->H							
ch.0				A->B						
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10

Gambar 3. 9 Contoh (naif) dari tabel penjadwalan TSMP untuk grafik yang digambarkan di sebelah kiri

TSMP menggunakan multi-saluran bukan untuk meningkatkan throughput jaringan, tetapi untuk meningkatkan ketahanan terhadap gangguan pita sempit. Gambar 3.9 menunjukkan bahwa paket-paket yang berurutan berjalan di antara dua node dikirim menggunakan frekuensi yang berbeda, mengikuti urutan hopping yang telah ditentukan sebelumnya. [DOH 07] menyajikan hasil eksperimen di mana 44 node dikerahkan menjalankan TSMP, termasuk mekanisme transmisi ulang, selama 28 hari di fasilitas pencetakan. Rasio pengiriman lebih dari 99,999% dilaporkan. Gambar 3.10 menunjukkan keunggulan protokol MAC berbingkai pada beban tinggi. Hasil diperoleh secara eksperimental dari TinyOS Implementasi kami 2.1 pada mote TelosB (kode sumber lengkap tersedia di <http://wsn.eecs.berkeley.edu/>). Kami menyebutnya jumlah paket berhasil diterima per detik di dalam wastafel “goodput”. Itu idle duty cycle adalah bagian dari waktu sebuah node memiliki radio aktif ketika tidak ada lalu lintas di jaringan. Dalam pengaturan eksperimental, node yang menjalankan TSMP memiliki siklus kerja idle sebesar 2%. Untuk perbandingan yang adil, kami menetapkan interval pemeriksaan pengambilan sampel pendahuluan ke 58 ms, yang menghasilkan siklus kerja idle yang sama. Perhatikan bahwa hasil untuk preamble sampling lebih buruk pada siklus kerja idle yang lebih rendah.



Gambar 3.10 Membandingkan goodput TSMP dan preamble sampling menunjukkan nilai yang lebih besar dari yang pertama pada beban tinggi high

Kami menggunakan topologi bintang sederhana, di mana node sink memiliki tujuh tetangga yang terus-menerus mengirim data ke sana. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10, ketika kami menaikkan beban jaringan, protokol MAC sampling preamble dengan cepat mencapai sekitar tiga hingga lima paket per detik; TSMP, sebaliknya, mampu mendukung beban di atas 30 paket per detik. Secara umum, TSMP mencapai throughput yang jauh lebih tinggi, konsumsi energi yang lebih rendah, dan latensi hop tunggal rata-rata yang lebih kecil daripada pengambilan sampel pendahuluan, pada berbagai beban yang ditawarkan.

3.4.2. Perutean multi-hop

Dalam jaringan besar, sumber data mungkin tidak mencapai sink yang diinginkan dalam satu hop, sehingga memerlukan lalu lintas untuk dirutekan melalui beberapa hop. Pilihan yang dioptimalkan dari jalur perutean seperti itu diketahui secara signifikan meningkatkan kinerja jaringan tersebut. Oleh karena itu ada minat yang tumbuh dalam pemahaman dan pengoptimalan routing WSN dan protokol jaringan dalam beberapa tahun terakhir. Sumber daya yang terbatas dan terbatas di sini telah mendorong penelitian untuk mengurangi konsumsi energi, kebutuhan memori, dan kompleksitas fungsi perutean. Untuk tujuan ini, protokol berbasis banjir dan hierarkis awal telah bermigrasi dalam dekade terakhir ke solusi perutean berbasis koordinat geografis dan pengorganisasian sendiri. Yang pertama terinspirasi oleh pendekatan tipe MANET (Mobile Ad-hoc NETWORK); yang terakhir saat ini sedang menemukan jalan mereka menuju standardisasi. Berkat karya beberapa generasi peneliti yang mengerjakan masalah ini, pendekatan yang berbeda telah berkontribusi pada kumpulan pengetahuan yang sekarang solid. Bidang tersebut telah mencapai keadaan matang yang memungkinkan organisasi standardisasi untuk menggabungkan beberapa elemen dari badan itu ke dalam standar. Salah satu organisasi standardisasi ini adalah Internet Engineering Task Force (IETF), yang ada di mana-mana dalam protokol Internet saat ini.

Penelitian tentang jaringan nirkabel multi-hop terus berlanjut selama beberapa era. Awalnya, jaringan ini dibayangkan terdiri dari node yang sangat mobile (misalnya mobil, perangkat genggam, dll.) yang ingin bertukar data dalam jumlah besar tanpa masalah energi yang nyata. Kelompok kerja MANET IETF dengan demikian diciptakan pada tahun 1998. Evolusi kebutuhan dan fakta bahwa piagam MANET bertujuan untuk memecahkan masalah yang sangat kompleks telah menyebabkan visi awal berubah. Sebagian besar jaringan

nirkabel multi-hop sekarang dilihat sebagai terdiri dari sensor nirkabel yang sangat dibatasi energi dan statis yang mentransmisikan data dalam jumlah yang sangat kecil. Pada tahun 2008, perutean IETF melalui jaringan daya rendah dan jaringan lossy (ROLL) dibuat untuk menstandarisasi protokol perutean untuk WSN semacam itu. Dalam 10 tahun memisahkan kedua visi tersebut, kebutuhan jaringan telah berkembang ke titik di mana solusi untuk jaringan tipe MANET tidak lagi berlaku untuk WSN. Protokol berbasis banjir dan hierarkis (dikembangkan oleh MANET) digantikan oleh solusi perutean berbasis koordinat geografis dan swakelola. IETF ROLL sedang dalam tahap akhir standarisasi solusi yang pada dasarnya didasarkan pada sistem koordinat yang mengatur sendiri, yang disebut RPL (IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy networks) [RPL 10].

3.4.2.1. IETF MANET: warisan yang kompleks

Secara historis, protokol perutean yang dikembangkan untuk jaringan ad hoc seluler telah disesuaikan dengan kebutuhan baru WSN. Protokol-protokol ini sangat menarik untuk mengkoordinasikan kelompok-kelompok kecil dari mobile node. Mereka mengirimkan data tanpa memerlukan algoritma perutean dan pemeliharaan topologi. Ini terjadi pada harga setiap node sensor yang menyiarkan paket data ke semua tetangganya, dengan proses ini berlanjut hingga paket tiba di tujuan atau jumlah hop maksimum untuk paket tercapai. Banyak varian protokol ini telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi energi. Ini telah dibahas dalam [LEV 09, ALK 04]. Perutean sumber dinamis (DSR) [JOH 07] melakukan pencarian rute berdasarkan permintaan dan perutean sumber paket. Ini mempertahankan rute sumber untuk semua tujuan. Rute ke tujuan dipelajari setelah fase penemuan dimulai oleh sumber yang membanjiri paket permintaan rute di jaringan. Setiap node yang dilintasi menambahkan pengenalnya ke paket dan terus meneruskannya ke semua

tetangganya, hingga paket mencapai node tujuan. Node tujuan kemudian mengirimkan pesan balasan rute yang mengikuti jalur kebalikan dari permintaan (disimpan dalam paket). DSR tidak memerlukan nomor urut atau mekanisme lain untuk mencegah loop perutean karena tidak ada masalah tabel perutean yang tidak konsisten.

Ad hoc on demand vector routing (AODV) [PER 03] adalah protokol vektor jarak yang ditujukan untuk MANET. AODV sesuai permintaan sehingga hanya mempertahankan rute untuk node aktif. Seperti di DSR, ketika satu node AODV membutuhkan rute ke node lain, itu membanjiri jaringan dengan permintaan untuk menemukan rute. AODV memilih rute yang memiliki hop minimum menghitung. Jika paket permintaan rute mencapai node yang memiliki rute ke tujuan (atau tujuan itu sendiri), maka node tersebut mengirimkan balasan sepanjang rute sebaliknya. Semua node di sepanjang rute sebaliknya dapat menyimpan rute tanpa perlu menyertakan status perutean di header paket. Saat rute terputus karena perubahan topologi, AODV membanjiri pesan kesalahan dan mengeluarkan permintaan baru. Perutean berdasarkan permintaan seluler dinamis (DYMO) [CHA 08] adalah evolusi dari AODV. Fungsionalitas dasarnya sama, tetapi memiliki format paket dan aturan penanganan yang berbeda, dan mendukung akumulasi jalur. Akumulasi jalur memungkinkan permintaan rute tunggal untuk menghasilkan rute ke semua node di sepanjang jalur ke tujuan itu. Seperti AODV, DYMO menggunakan jumlah hop sebagai metrik perutean, tetapi DYMO dapat menetapkan biaya yang lebih tinggi dari satu tautan ke tautan. Seperti AODV, pada pemutusan tautan, DYMO mengeluarkan pesan permintaan rute baru dengan nomor urut yang lebih tinggi sehingga node tidak merespons dari cache rute mereka tetapi membanjiri paket ke dalam jaringan.

Dengan mengacu pada batasan yang dibahas di atas, protokol routing berbasis flooding jelas tidak melayani routing

yang dibatasi parameter karena kelas protokol yang ada membutuhkan pengeluaran energi yang besar, meskipun rendah dengan memori dan sedikit kompleksitas komputasi. Juga tidak dioptimalkan untuk pola lalu lintas konvergen-cast atau skalabel. Selain itu, karena tidak ada upaya yang dilakukan untuk menghitung jalur perutean terpendek atau optimal, latensi jelas menjadi masalah. Juga, untuk menerapkan langkah-langkah keamanan yang layak menggunakan protokol yang memakan energi seperti itu tampaknya tidak realistis. Kelas protokol, bagaimanapun, beradaptasi dengan sangat cepat untuk setiap link yang tidak dapat diandalkan atau dinamika jaringan. Akhirnya, itu tidak memerlukan intervensi manusia dalam bentuk apa pun dan karenanya memfasilitasi operasi jaringan otonom. Seperti yang ditekankan oleh [DOL 07], sementara WSN dan jaringan ad hoc keduanya merupakan jaringan multi-hop nirkabel, mereka berbeda dalam tiga aspek: 1) efisiensi energi adalah tujuan utama WSN; 2) di sebagian besar aplikasi yang dibayangkan, jumlah data yang diangkut oleh WSN rendah; dan 3) semua informasi mengalir menuju sejumlah tujuan yang terbatas di WSN. Protokol perutean yang dirancang untuk jaringan ad hoc tidak memadai dalam jaringan sensor yang besar dan padat [LEV 09].

3.4.2.2. Perutean geografis

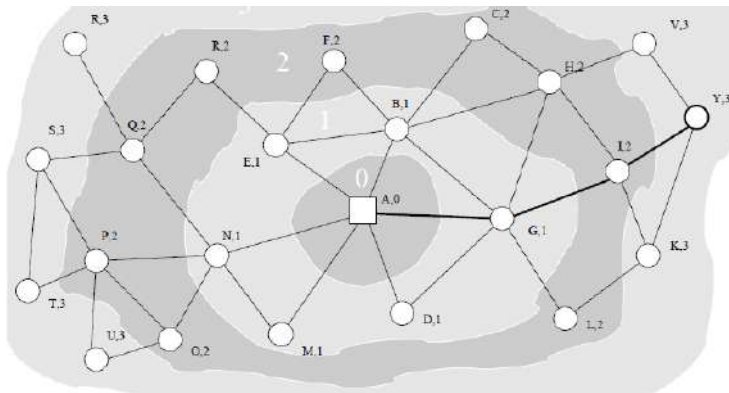
Banyak aplikasi WSN (misalnya melacak lokasi singa di taman nasional) membutuhkan semua node untuk mengetahui di mana mereka berada. Dalam aplikasi luar ruangan, ini dapat dicapai melalui GPS, tetapi metode lain apa pun dimungkinkan. Dengan aplikasi yang membutuhkan kesadaran lokasi, tidak ada biaya tambahan untuk menggunakan kembali informasi lokasi ini untuk tujuan komunikasi. Ini adalah filosofi di balik perutean geografis, yang menggunakan pengetahuan tentang posisi node bersama dengan posisi tetangganya dan node sink untuk memilih hop berikutnya.

Perutean geografis serakah adalah bentuk paling sederhana dari perutean geografis [STO 05, FIN 87]. Ketika sebuah node menerima sebuah pesan, node tersebut akan menyampaikan pesan tersebut ke tetangga yang secara geografis paling dekat dengan sink. Terlepas dari definisi kedekatan, perutean serakah bisa gagal ketika sebuah node tidak memiliki tetangga yang lebih dekat dari dirinya sendiri ke tujuan.

Protokol perutean geografis yang lebih maju menjamin pengiriman dengan asumsi tautan dan simpul yang andal. Ide kunci dari protokol ini adalah untuk beralih di antara dua mode. Mode default menggunakan pendekatan serakah yang dijelaskan di atas. Jika mode ini gagal, mode kedua digunakan untuk mengelilingi area kosong. Begitu berada di sisi lain area kosong ini, mode serakah dilanjutkan. Bose dkk . mengusulkan perutean serakah-wajah-rakus [BOS 99], yang menggunakan prinsip ini. Greedy-face-greedy beralih dari mode serakah ke mode wajah ketika kekosongan terpenuhi. Mode wajah digunakan untuk mengelilingi kekosongan menggunakan aturan tangan kanan. Ketika node saat ini lebih dekat ke tujuan daripada node yang awalnya memulai mode wajah, protokol kembali ke mode serakah. Salah satu aspek penting agar ini berfungsi adalah bahwa, dalam mode wajah, protokol hanya harus mempertimbangkan tepi antara dirinya dan tetangganya yang ada di subgraf planar. Planaritas dicapai dengan menghilangkan tepi yang bersilangan secara virtual dari grafik konektivitas. Teknik mengandalkan semata-mata pada pertimbangan geometris, seperti grafik Gabriel [GAB 69] transformasi, menderita dari fakta bahwa mereka menganggap wilayah komunikasi dari node adalah disk yang sempurna, yang telah kita lihat tidak tahan. Teknik yang dapat benar-benar dapat dilaksanakan kaleng hanya dibuat untuk bekerja pada overhead yang cukup besar [KIM 05]. Meskipun protokol perutean geografis hampir tidak praktis, mereka telah membuka jalur ke protokol berbasis gradien.

3.4.2.3. Perutean gradien

Konsep gradien sangat berguna untuk jaringan konvergen-cast, seperti WSN. Dalam skenario pengumpulan paling sederhana, semua lalu lintas dikirim ke node sink tunggal. Dalam hal ini, satu gradien – berakar pada node sink – dibangun dan dipelihara dalam jaringan. Gambar 3.11 menggambarkan topologi di mana node diberi ketinggian yang dihitung sebagai fungsi dari jumlah hop. Ketika node Y pada ketinggian 3 mengirim pesan, Y mengirim pesan ke tetangga terpendeknya dengan ketinggian I; sama halnya node I menyampaikan pesan ke G, dan G ke A. Perutean berbasis gradien [SCH 01] adalah protokol perutean gradien kanonik. Di atas ide dasar yang dijelaskan di atas, skema berbasis energi dapat digunakan sebagai teknik penyebaran data, di mana sebuah node meningkatkan ketinggiannya ketika energinya turun di bawah ambang batas tertentu sehingga sensor lain tidak disarankan untuk mengirim data ke sana.



Gambar 3. 11 Ilustrasi perutean gradien. Node dilampirkan [Id,Height]

Siaran gradien (GRAB) [YE 05] meningkatkan keandalan pengiriman data melalui keragaman jalur. GRAB membangun dan memelihara gradien, memberikan setiap sensor arah untuk

meneruskan data penginderaan. Namun, tidak seperti semua pendekatan sebelumnya, GRAB meneruskan data sepanjang pita interleaved mesh dari setiap sumber ke penerima. Untuk mengumpulkan laporan data, sink pertama-tama membuat gradien dengan menyebarkan paket iklan di jaringan. Ketinggian pada sebuah node adalah overhead energi minimum yang diperlukan untuk meneruskan paket dari node ini ke sink di sepanjang jalur; node lebih dekat ke wastafel memiliki biaya yang lebih kecil. GRAB membuat asumsi bahwa setiap node memiliki sarana untuk memperkirakan biaya pengiriman data ke node terdekat, misalnya melalui pengukuran SNR dari transmisi tetangga. Setiap node menyimpan biaya penerusan paket dari dirinya sendiri ke sink. Karena hanya penerima dengan biaya yang lebih kecil yang dapat meneruskan paket pada setiap hop, paket diteruskan oleh node yang berurutan untuk mengikuti arah penurunan biaya menuju bagian bawah bidang biaya, yaitu sink.

Beberapa jalur penurunan biaya bisa ada dan saling menyisip untuk membentuk jaring penerusan. Untuk membatasi lebar mesh ini untuk menghindari redundansi yang berlebihan dan pemborosan sumber daya, sumber memberikan kredit ke paket yang dihasilkan. Kredit adalah anggaran tambahan yang dapat digunakan untuk meneruskan paket. Jumlah kredit dan biaya sumber adalah total anggaran yang dapat digunakan untuk mengirim paket ke sink di sepanjang jalur. Sebuah paket dapat mengambil jalur apapun yang membutuhkan biaya kurang dari atau sama dengan total anggaran. Beberapa node di mesh melakukan upaya kolektif untuk mengirimkan data tanpa bergantung pada node tertentu. Analisis kinerja GRAB menunjukkan keunggulan mesh interleaved dibandingkan beberapa jalur paralel dan menunjukkan bahwa GRAB dapat berhasil mengirimkan lebih dari 90% paket dengan biaya energi yang relatif rendah, bahkan di bawah kondisi kegagalan node dan kehilangan pesan tautan yang merugikan.

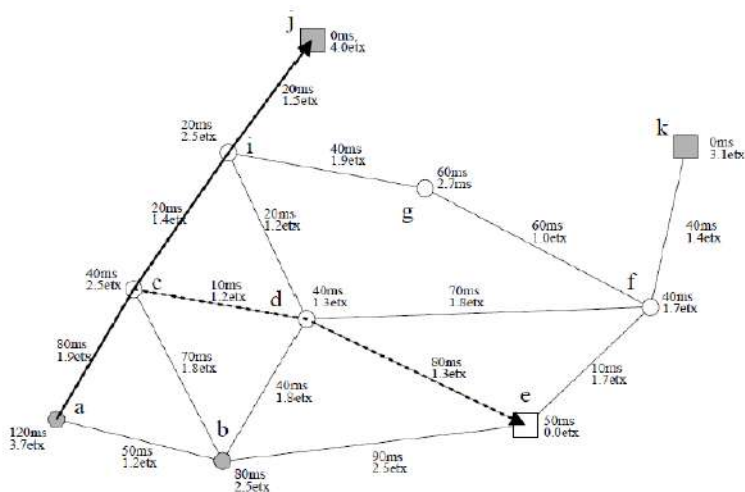
Protokol pohon koleksi (CTP) [GNA 09] menggunakan jumlah transmisi yang diharapkan (ETX) sebagai metrik tautan untuk menyiapkan gradien. Menggunakan ETX, ketinggian sebuah node menunjukkan berapa kali pesan yang berasal dari node tersebut ditransmisikan sebelum mencapai sink. Ini transmisi termasuk hop dari node ke node, serta transmisi ulang yang diperlukan pada kegagalan link. CTP membonceng informasi pengaturan gradien dalam pesan suar, dan menggunakan algoritme tetesan [LEV 04] untuk mengatur interval suar. Dengan tidak adanya perubahan topologi, interval ini secara teratur digandakan hingga mencapai nilai maksimum yang memicu hanya beberapa suar per jam. Setelah perubahan topologi, interval dikurangi untuk memungkinkan konvergensi ulang gradien cepat. Hasil eksperimen pada 12 testbed yang berbeda menunjukkan bahwa CTP membutuhkan beacon 73% lebih sedikit daripada solusi dengan interval beacon tetap 30 detik, untuk siklus kerja idle 3%.

IETF, melalui kelompok kerja ROLL-nya, telah mengidentifikasi perutean gradien sebagai sangat cocok untuk WSN. Ini adalah standarisasi protokol routing IPv6 untuk jaringan berdaya rendah dan lossy (RPL, diucapkan "riak") [RPL 10], yang menangkap sebagian besar ide yang dieksploitasi oleh proposal akademik yang tercantum di atas. RPL mewakili, sepengetahuan kami, state-of-the-art dalam perutean gradien untuk koleksi WSN. Dalam RPL, gradien (disebut grafik asiklik berarah) didefinisikan oleh empat elemen berikut: 1) satu set node sink; 2) kumpulan metrik atomik yang dikumpulkan pada setiap tautan (misalnya bandwidth, rasio pengiriman paket, dll.); 3) bagaimana metrik atom ini digabungkan untuk mendapatkan biaya tautan (dengan menambahkan, mengalikan, dll. metrik atom); dan 4) bagaimana biaya tautan digabungkan untuk membentuk biaya jalur multi-hop (dengan menambahkan, mengalikan, dll. biaya tautan).

Jaringan tertentu dapat berisi beberapa gradien. Sebagai contoh, digambarkan pada Gambar 3.12, pertimbangkan sebuah bangunan yang dilengkapi dengan WSN di mana beberapa node (diwakili oleh disk putih) memantau konsumsi daya peralatan di dalam gedung. Node ini melaporkan ke satu meter e dengan cara untuk memperpanjang masa pakai jaringan. Ini diterjemahkan ke dalam batasan gradien berikut: itu didasarkan pada simpul e, ETX adalah biaya tautan, dan setiap simpul menghitung ketinggiannya sebagai minimum di antara tetangganya dari ETX tetangga itu, ditambah ETX dari tautan ke tetangga itu. Node lain (diwakili oleh disk yang diarsir) dipasang ke detektor asap, dan melaporkan alarm ke salah satu dari dua hub pemantau kebakaran j dan k. Komunikasi antara detektor asap dan hub perlu terjadi dengan latensi serendah mungkin. Jaringan tertentu dapat berisi beberapa gradien. Sebagai contoh, digambarkan pada Gambar 3.12, pertimbangkan sebuah bangunan yang dilengkapi dengan WSN di mana beberapa node (diwakili oleh disk putih) memantau konsumsi daya peralatan di dalam gedung. Node ini melaporkan ke satu meter e dengan cara untuk memperpanjang masa pakai jaringan. Ini diterjemahkan ke dalam batasan gradien berikut: gradien didasarkan pada node e, dan ETX digunakan untuk biaya tautan.

Node lain (diwakili oleh disk yang diarsir) dipasang ke detektor asap, dan melaporkan alarm ke salah satu dari dua hub pemantau kebakaran j dan k. Komunikasi antara detektor asap dan hub perlu terjadi dengan latensi serendah mungkin. Ini diterjemahkan ke dalam batasan gradien berikut: gradien didasarkan pada node j dan k, dan latensi digunakan untuk biaya tautan. Pada Gambar 3.12, metrik latensi dan ETX dilampirkan ke setiap tautan; ini digunakan untuk menghitung latensi dan ketinggian ETX dari setiap node. Ketika node a harus mengirimkan paket alarm yang ditujukan untuk j atau k, node tersebut memilih tetangganya dengan

tinggi latency terendah (di sini node c); dengan mengulangi proses ini pada setiap hop, paket mengikuti jalur a – c – i – j. Demikian pula, paket yang dikirim oleh node c mengikuti gradien ETX, yaitu urutan c – d – e. RPL sangat sesuai dengan arsitektur IPv6; semua pensinyalan yang digunakan untuk mengatur dan memelihara gradien dibawa sebagai opsi untuk iklan router (RAs) paket IPv6. Paket-paket ini secara berkala dipertukarkan antara tetangga dalam jaringan. Untuk menghindari pertukaran lalu lintas pemeliharaan yang tidak perlu saat gradien stabil, periode RA diatur oleh algoritma tetesan dengan cara yang mirip dengan CTP [GNA 09].



Gambar 3. 12 WSN yang memantau gedung biasa yang menjalankan protokol RPL IETF ROLL

3.5. Mengamankan komunikasi

Kerahasiaan dan integritas data di WSN paling sering menggunakan teknologi enkripsi kunci simetris yang sama (cipher standar enkripsi lanjutan (AES) dalam mode CCM*)

seperti yang biasa ditemukan di sistem yang jauh lebih besar. Dengan dukungan perangkat keras bawaan untuk AES, sebagian besar mote dapat melakukan operasi keamanan pada seluruh paket dengan energi yang lebih sedikit daripada biaya pengiriman satu bit melalui radio. Otentikasi, pengikatan, dan pertukaran kunci bisa lebih menantang. Pertimbangkan tantangan memasang sakelar lampu nirkabel baru ke jaringan kontrol pencahayaan nirkabel yang ada di tempat kerja Anda.

Idealnya perangkat baru akan menemukan jaringan, bergabung, dan mengambil perannya dalam jaringan dengan minimal interaksi manusia. Ini bukan tugas yang mudah. Pertama, gedung Anda memiliki sistem keamanan nirkabel, pelacakan aset nirkabel, dan alarm kebakaran nirkabel, semuanya menjalankan protokol serupa. Profil peran dapat membantu mengatasi masalah ini, sehingga sakelar lampu Anda mengetahui bahwa itu adalah sakelar lampu, dan jangan mencoba berbicara dengan pemadam kebakaran. Karena sifat nirkabel, bagaimanapun, sakelar Anda dapat mendengar empat jaringan kontrol pencahayaan yang berbeda jaringan Anda, jaringan di lantai atas dan bawah jaringan Anda, dan jaringan di seberang jalan. Dengan asumsi sakelar dapat memilih jaringan yang tepat, ia perlu bertukar beberapa informasi penting. Ini tidak bisa disampaikan dengan jelas, karena mahasiswa telah menulis makalah tentang "sniffernet", dan mereka akan mengambil alih lampu gedung Anda di malam hari dan membuat pertunjukan cahaya. Akhirnya, setelah bahan kunci ditukar, Anda memerlukan cara untuk memberi tahu sakelar lampu baru Anda bahwa itu seharusnya mengontrol lampu di atas meja Anda, dan bukan lampu rekan kantor. Ada banyak solusi cerdas untuk semua masalah ini, tetapi sejauh ini tidak ada solusi umum yang menjangkau semua domain aplikasi. Infrastruktur kunci publik adalah alat yang sangat kuat yang sering digunakan di Internet yang lebih luas untuk tujuan serupa. Sementara kunci publik, atau kunci asimetris, algoritma secara substansial lebih

menantang daripada algoritma kunci simetris, mereka masih dapat digunakan bahkan pada platform sensor nirkabel terkecil [GUR 04].

3.6. Standar dan Fora

Sementara Bab 7 membahas standardisasi dengan sangat rinci, kami ingin menunjukkan bagaimana standardisasi akan memainkan peran penting di masa depan WSN sebagai teknologi yang memungkinkan untuk IoT. Berkat kematangan lapangan dan kondisi operasi yang ditawarkan WSN yang belum pernah terjadi sebelumnya, badan standardisasi berikut telah mulai bekerja pada jaringan ini. Yayasan Komunikasi HART menstandarkan solusi jaringan tertanam lengkap untuk aplikasi industri. Ekstensi nirkabel mereka, yang disebut WirelessHART [wHA 08], menggunakan pengontrol pusat untuk menjadwalkan komunikasi. Ia menggunakan radio IEEE802.15.4 untuk naik ke 15 saluran frekuensi di pita 2,4 GHz. Berdasarkan TSMP, keandalan ditingkatkan dengan membuat setiap node mempertahankan konektivitas ke setidaknya dua node induk dalam grafik perutean, memungkinkan jaringan untuk menahan kegagalan tautan. Selain itu, daftar putih adalah fitur pengontrol yang dapat dikonfigurasi pengguna, berdasarkan kedekatan jaringan nirkabel lain yang berada di lingkungan fisik yang sama.

International Society of Automation telah menciptakan standar serupa, ISA100.11a. Standar ini juga didasarkan pada TSMP, namun memiliki banyak mekanisme channel-hopping menarik yang berbeda. Saluran berturut-turut dalam pola hopping dapat dengan setidaknya 15 MHz (tiga saluran IEEE802.15.4). Ketika transmisi ulang terjadi, mereka tidak akan menemui atau menyebabkan gangguan pada saluran IEEE802.11 (Wi-Fi) yang sama. Selain itu, daftar putih membatasi operasi ke subset saluran. Pada lingkup global, manajer sistem dapat memblokir saluran radio tertentu yang tidak berfungsi dengan baik atau dilarang oleh kebijakan

lokal. Pada lingkup lokal, lompatan saluran adaptif memungkinkan daftar putih berdasarkan tautan demi tautan. Lapisan MAC dari sebuah node melarang saluran yang dianggap bermasalah karena riwayat konektivitas yang buruk, berpotensi dengan granularitas saluran tertentu yang digunakan untuk berkomunikasi dengan tetangga tertentu .

Demikian pula, IETF telah mulai bekerja pada WSN, menstandarisasi kabel/tautan dan aplikasi. Kelompok kerja yang paling menarik adalah:

- IETF ROLL, yang menstandarkan RPL protokol routing yang dijelaskan di bagian sebelumnya ;

- IETF 6LoWPAN, yang menstandarkan mekanisme paket IPv6 untuk melakukan perjalanan melalui jaringan perangkat yang berkomunikasi menggunakan radio IEEE802.15.4 ;

- IETF 6LowApp, yang mempelajari solusi protokol aplikasi untuk transfer konteks tertanam menggunakan model interaksi yang sesuai dan format biner kompak yang kompatibel dengan UDP.

Akhirnya, IEEE, yang menstandarisasi lapisan fisik pemancar dan aturan protokol MAC, mengembangkan standar berikut yang berlaku untuk IoT:

- IEEE802.15.4 [802.15.4], teknologi yang digunakan oleh ZigBee, Wireless HART, ISA100.11a, dan IETF 6LoWPAN; dan sejauh ini teknologi lapisan tautan paling populer yang diadopsi untuk WSN;

- pada tingkat lebih rendah, IEEE802.15.1 [802.15.1], teknologi yang digunakan oleh konsorsium Bluetooth ;

- pada tingkat lebih rendah, IEEE802.11 [802.11], teknologi yang digunakan oleh WiFi.

Perhatikan bahwa revisi berikutnya dari standar IEEE802.15.4 akan mendefinisikan kembali lapisan kontrol akses menengah untuk memungkinkan komunikasi multi-hop dan daya rendah yang benar-benar andal. Solusi yang sedang diselesaikan, yang disebut hopping saluran tersinkronisasi waktu, didasarkan pada lapisan MAC TSMP, sehingga

menawarkan ketahanannya terhadap gangguan eksternal dan multipath fading yang persisten. Implementasi sumber terbuka TSCH untuk mote TelosB di TinyOS tersedia di <http://wsn.eecs.berkeley.edu/>.

3.7. Kesimpulan

WSN telah menyaksikan peningkatan yang luar biasa dalam beberapa tahun terakhir, baik di dunia akademis maupun industri; ini terutama disebabkan oleh kondisi operasi yang belum pernah terjadi sebelumnya dan berbagai aplikasi komersial yang layak. Jaringan tersebut dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pertahanan dan pengawasan hingga rumah kesehatan dan cerdas. Tantangan nyata yang dihadapi oleh WSN modern adalah menyediakan keandalan seperti kabel menggunakan teknologi nirkabel, sambil tetap menggunakan daya rendah untuk memastikan masa pakai yang memadai untuk perangkat yang dioperasikan dengan baterai ini. Protokol komunikasi telah cukup matang sehingga badan standardisasi mulai bekerja di lapangan. Standar adalah langkah penting menuju adopsi skala besar, dan dengan standar mendatang yang diselesaikan pada pertengahan 2010, WSN menjadi teknologi pendukung utama yang akan membantu IoT menjadi benar-benar ada di mana-mana.

BAB 4

IKHTISAR TEKNOLOGI KOMUNIKASI SALURAN LISTRIK

4.1. Pengantar

Jaringan di mana-mana di lingkungan rumah sekarang memperluas konektivitas ke perangkat elektronik konsumen, yang kami sebut "benda" atau "objek", dari mana kami membangun layanan jaringan rumah. Koneksi dapat berupa hal-ke-hal atau hal-ke-gateway untuk mencapai server di jaringan. Server ini, yang diluncurkan oleh berbagai utilitas atau penyedia layanan, kemudian dapat menyimpan data untuk referensi silang, kompilasi, dan optimalisasi layanan (konsumsi listrik, perawatan kesehatan rumah jarak jauh, sensor rumah, dll.). Untuk membuat jaringan di mana-mana ini tersedia di rumah, berbagai media dan teknologi jaringan sedang dikembangkan di lapisan fisik, tautan data, dan jaringan yang disebut interkoneksi sistem terbuka atau model OSI [COM 06].

Komunikasi saluran listrik (juga dikenal sebagai PLC) [PLC 09] telah membuktikan dalam beberapa tahun terakhir bahwa ini adalah kandidat yang baik untuk jenis jaringan ini, dengan tingkat teknologi yang matang, stabil, dan aman. PLC digunakan dalam aplikasi bit-rate tinggi dan rendah yang memberikan konektivitas lapisan IP atau media access control (MAC) ke sensor, benda atau perangkat di rumah. Bab ini bertujuan untuk menyajikan teknologi PLC terancang untuk jaringan rumah dari standar yang ada (kecepatan bit rendah dan tinggi) hingga penggunaan dan integrasi dalam arsitektur "hal-hal yang terhubung" yang lengkap.

4.2. Ikhtisar teknologi dan standar PLC yang ada

Pada bagian ini kami menyajikan berbagai teknologi PLC [PLC 09] yang digunakan untuk mengirimkan sinyal komunikasi pada bit rate tinggi dan rendah, pada dukungan listrik dari apa yang disebut lingkungan "dalam ruangan" atau

"dalam rumah", dengan kata lain , Teknologi PLC di jaringan listrik "pribadi" mana pun sebagai lawan dari jaringan listrik yang menggunakan tegangan menengah atau tinggi dan dioperasikan oleh penyedia tenaga listrik. Jaringan listrik swasta ditemukan di berbagai lingkungan, seperti rumah, apartemen, bangunan tempat tinggal, bangunan layanan (kantor, rumah sakit, hotel, dll.), bangunan industri (pabrik, telepon, dll.) dan kemungkinan jaringan listrik lainnya (pesawat, kapal, mobil, dll).

Berbeda dengan jaringan listrik publik, jaringan PLC "dalam ruangan" tidak tunduk pada peraturan dan memungkinkan insinyur jaringan untuk mengatur jaringan komunikasi menggunakan kabel listrik sebagai pendukung. Keuntungan besar dari teknologi PLC terletak pada kesederhanaan implementasinya, karena mereka menggunakan jaringan listrik yang ada. Tidak perlu memasang kabel baru untuk jaringan PLC, yang memungkinkan fleksibilitas tinggi dalam menerapkan aplikasi yang memerlukan transfer data penting, seperti multimedia, atau untuk penggunaan yang memerlukan sedikit bandwidth, seperti otomatisasi rumah. Teknologi ini telah berkembang secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir dengan keberhasilan penawaran akses Internet, seperti paket kombinasi layanan (Internet, telepon, dan TV) dan penyediaan "kotak Internet" oleh penyedia layanan Internet (ISP). Kotak internet membutuhkan teknologi "dalam ruangan" untuk terhubung ke jaringan.

Tampaknya sekarang teknologi PLC telah mencapai tingkat kematangan yang memadai untuk menyediakan peralatan yang andal untuk penggunaan broadband domestik dan otomatisasi rumah. Masih belum ada standar untuk teknologi PLC, tetapi kelompok industri seperti HomePlug Aliansi telah membantu untuk mengembangkan standar antara yang berbeda produk, mempromosikan kompatibilitas antara peralatan yang memiliki spesifikasi yang sama. Selain itu, teknologi ini dapat digunakan selain standar jaringan rumah

saat ini, seperti Digital Living Network Alliance (DLNA) dan Universal Plug and Play (UPnP) [MIL 01] untuk menghubungkan perangkat heterogen melalui jaringan listrik pribadi. Akhirnya, karena sebagian besar perangkat rumah membutuhkan daya listrik, jelas bahwa teknologi PLC ditempatkan dengan baik untuk menciptakan jaringan objek dalam ruangan di mana-mana, di mana perangkat apa pun dapat berkomunikasi dan mendapatkan daya melalui jaringan listrik.

4.2.1. Sejarah teknologi PLC

Teknologi PLC bukanlah hal baru. Penyebaran pertama yang diketahui dimulai di Inggris pada tahun 1838 oleh Edward Davy, yang mengusulkan solusi untuk mengukur level baterai dari jarak jauh melalui jalur listrik antara London dan Liverpool. Pada tahun 1897, ia mempresentasikan paten pertama (paten Inggris no. 24833) dari teknik pengukuran untuk mengukur meteran listrik dari jarak jauh melalui kabel listrik. Dinamakan kontrol riak, sistem PLC pertama dikembangkan pada jaringan listrik tegangan menengah dan rendah pada tahun 1950. Frekuensi pembawa kemudian antara 100 Hz dan 1 kHz. Tujuannya adalah untuk membangun komunikasi melalui kontrol satu arah menggunakan sinyal jarak jauh untuk penyalan dan pemadaman penerangan umum atau untuk mengubah kecepatan. Sejak itu, produsen dan distributor listrik telah menggunakan jaringan listrik untuk memantau dan mengendalikannya dari jarak jauh dengan bit rate yang rendah. Sistem industri pertama muncul di Perancis pada tahun 1960 dengan nama Pulsadis.

Setelah ini, sistem PLC pertama yang menggunakan apa yang disebut pita Cenelec (Komite Eropa untuk Standardisasi Elektroteknik), mulai dari 3 hingga 148,5 kHz, diperkenalkan. Sistem Pulsadis dan Cenelec memungkinkan komunikasi dua arah pada kabel listrik tegangan rendah. Aplikasinya berkisar dari membaca meteran listrik

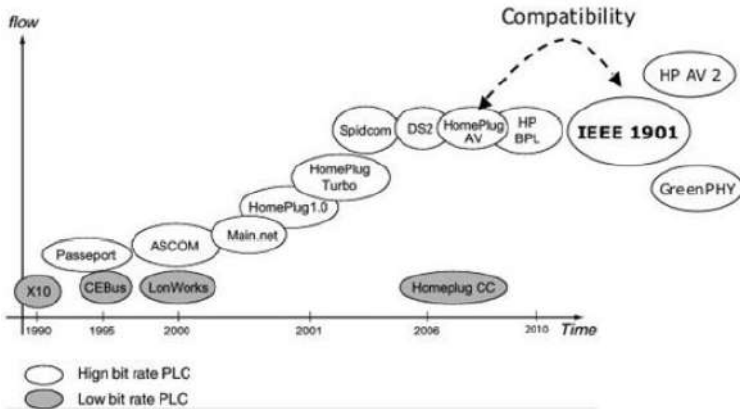
hingga otomatisasi rumah (alarm penyusup, deteksi kebakaran, deteksi kebocoran gas, dll.). Kekuatan yang disuntikkan jauh lebih kecil dari pendahulunya, karena direduksi menjadi orde mili-watt. Baru-baru ini, munculnya teknologi untuk akses broadband telah mendorong perkembangan teknologi PLC untuk menawarkan layanan terintegrasi dengan sistem yang andal dan kuat pada lapisan fisik dan data link model OSI. Meskipun kurangnya standarisasi untuk produk PLC, konsorsium industri, seperti HomePlug Alliance, telah membantu menentukan standar untuk kompatibilitas tertentu antara produk PLC. Oleh karena itu, rangkaian lengkap peralatan PLC dapat menawarkan segala jenis layanan jaringan modern melalui sistem tenaga. Saat ini teknologi PLC telah mencapai kematangan tertentu, memungkinkan mereka untuk bersaing secara langsung dengan teknologi jaringan lainnya. Oleh karena itu mereka diposisikan dengan baik untuk membuat jaringan rumah di mana-mana untuk segala jenis perangkat komunikasi.

4.2.2. Berbagai jenis teknologi PLC di rumah

Teknik utama yang digunakan untuk mengangkut sinyal PLC melalui media listrik adalah dengan menambahkan sinyal termodulasi dengan amplitudo rendah ke sinyal listrik tegangan rendah di sekitar frekuensi pembawa pusat. Ada dua jenis teknologi PLC "dalam ruangan" yang memberikan kecepatan berbeda tergantung pada pita frekuensi yang digunakan. Teknologi "kecepatan bit rendah" PLC menggunakan pita frekuensi 3-148 kHz dan terutama digunakan untuk aplikasi yang memerlukan transfer data rendah (<50 Kbit/dtk), seperti otomatisasi rumah dan jaringan sensor. Teknologi PLC "Broadband" atau "kecepatan tinggi" menggunakan pita frekuensi 1-30 MHz. Mereka dapat memberikan kecepatan data mulai dari 1 hingga 200 Mbit/s, tergantung pada standar yang digunakan. Mereka sangat cocok untuk penyebaran jaringan

yang membutuhkan bandwidth tinggi dan kualitas layanan yang tinggi.

Tidak seperti media komunikasi lainnya, seperti kabel Ethernet, koaksial, serat optik, dll. Transmisi data bukanlah fungsi utama dari kabel listrik. Data transportasi harus ditambahkan ke kabel listrik untuk memasok energi listrik (200V/50 Hz di Eropa dan, 100V/60 Hz di Amerika Serikat dan Jepang). Selain itu, kabel listrik adalah media bersama dan sensitif terhadap kebisingan radio. Dengan demikian, berbagai teknologi PLC telah mendapat manfaat dari kematangan teknis modulasi dan pengkodean. Mereka memiliki kontrol yang lebih baik terhadap akses ke fisik media dan memberikan sinyal yang kuat sehubungan dengan lingkungan kebisingan elektromagnetik. Seperangkat mekanisme telah terintegrasi pada lapisan fisik dan data link untuk meningkatkan transmisi data dan akses media.



Gambar 4. 1 Berbagai generasi teknologi PLC untuk bit-rate tinggi dan rendah

Gambar 4.1 menunjukkan generasi yang berbeda dari teknologi PLC bit-rate tinggi dan rendah dengan dua kategori (bit-rate tinggi dan bit-rate rendah) yang akan dijelaskan di bagian selanjutnya. 4.2.2.1. Teknologi PLC berkecepatan

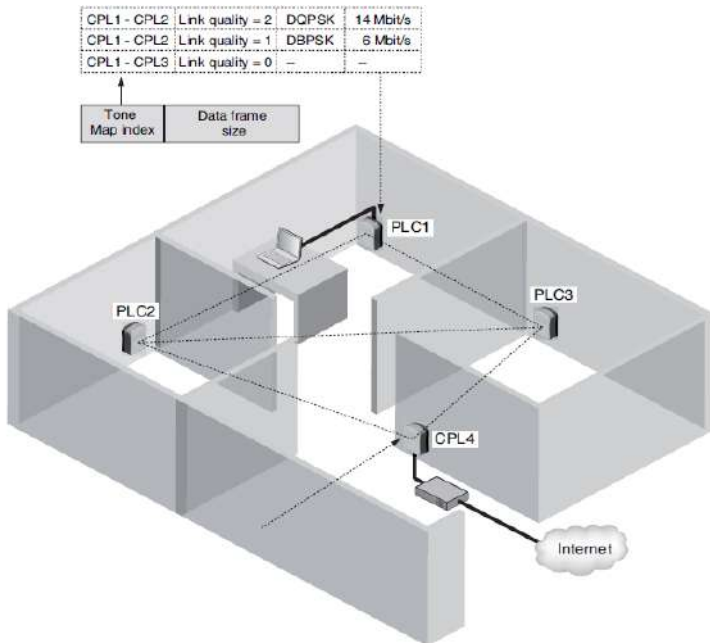
tinggi/broadband di rumah (dengan bit rate tinggi) Perangkat PLC sekarang banyak digunakan dan bit-rate tinggi sering dibundel dalam penawaran ISP (seperti saluran pelanggan digital, atau DSL, penyedia di Eropa atau penyedia kabel di AS) sebagai kebutuhan bit rate di rumah. dan stabilitas menjadi penting untuk layanan streaming video definisi tinggi.

Karena kabel listrik adalah media bersama dan peka terhadap gangguan radio, data yang dikirimkan oleh teknologi PLC dapat mengalami benturan atau kehilangan sinyal pada kabel. Dengan mempertimbangkan kendala ini, berbagai teknologi PLC broadband telah mengintegrasikan serangkaian mekanisme pada lapisan fisik dan data link untuk meminimalkan risiko tabrakan dan memastikan transportasi data yang andal. Mekanisme ini menyediakan aliran yang memadai untuk menerapkan aplikasi jaringan yang membutuhkan penggunaan bandwidth tinggi, seperti voice over IP (VoIP), streaming video, berbagi file, dll. Kecepatan teoretis yang diusulkan dapat mencapai 200 Mbps untuk standar HomePlug AV (audio dan visual) dan 14 Mbps untuk HomePlug 1.0 standar. Menurut teknologi PLC yang digunakan, sinyal dimodulasi dalam amplitudo, frekuensi atau fase di sekitar frekuensi pembawa.

Untuk mengirimkan sinyal kuat yang tahan terhadap gangguan eksternal, standar HomePlug yang berbeda menggunakan teknik modulasi yang disebut OFDM (multiplexs pembagian frekuensi ortogonal) pada lapisan fisik. Teknik ini memungkinkan pita frekuensi untuk dipecah menjadi strip sempit, masing-masing membawa sebagian dari informasi biner. Pita tidak tergantung pada frekuensi dan tidak saling mengganggu. Untuk memberikan kualitas kecepatan optimal pada setiap tautan PLC, teknologi HomePlug menawarkan beberapa mode modulasi yang berbeda untuk simbol OFDM pada setiap sub band. Misalnya, mode yang berbeda dapat bervariasi dari penguncian pergeseran fasa biner, atau BPSK, pengkodean 1 bit per simbol dan per frekuensi,

hingga 1024-QAM (modulasi amplitudo kuadratur), pengkodean 10 bit per simbol dan frekuensi. Setiap stasiun PLC HomePlug yang terhubung ke jaringan listrik mengevaluasi kualitas saluran transmisi dari tautan ke stasiun lain untuk mengoptimalkan pengkodean dan modulasi dan menggunakan stasiun terbaik untuk kualitas transmisi saat ini.

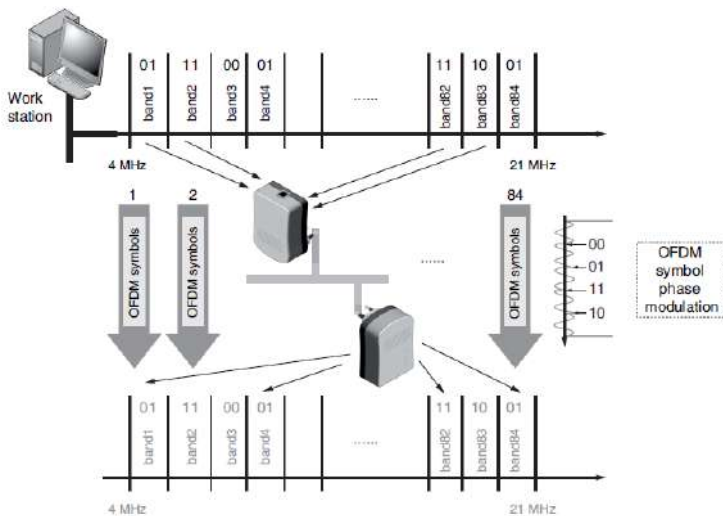
Informasi ini disimpan dalam tabel, yang disebut ToneMap, di setiap perangkat. Selain itu, teknik OFDM memungkinkan beberapa sub-band dinonaktifkan untuk menghormati teknologi RF lain yang menggunakan sub-band yang sama. Teknik ini disebut "notching" dan dapat secara dinamis menghidupkan dan mematikan beberapa sub-band, dengan menghormati teknologi RF seperti radio amatir dan DSL bit-rate sangat tinggi yang akan datang. Gambar 4.2 mengilustrasikan nilai tabel modulasi berbeda yang disimpan dalam memori setiap peralatan PLC di jaringan. Tabel ini digunakan untuk memilih modulasi terbaik untuk berkomunikasi dengan pasangan PLC di jaringan sesuai dengan evolusi jaringan.



Gambar 4. 2 Ilustrasi ToneMap yang tersimpan di setiap perangkat PLC

Dalam spesifikasi HomePlug 1.0, pita frekuensi dibagi menjadi 84 sub-band, dan HomePlug AV menggunakan 917 sub-band di tingkat fisik. Gambar 4.3 di bawah ini mengilustrasikan gagasan ini. Dalam sistem PLC, seperti halnya sistem radio, transmisi mencegah stasiun mendengarkan dan mengirimkan aliran secara bersamaan pada frekuensi transmisi. Akibatnya, stasiun tidak dapat mendengar tabrakan. Untuk mengurangi tabrakan antar paket dan meningkatkan akses media, teknologi HomePlug 1.0 menggunakan metode yang disebut CSMA/CA (carrier sense multiple access/collision avoidance). Namun, karena algoritme CSMA/CA tidak menjamin penundaan transmisi minimum, standar HomePlug AV mengusulkan alokasi slot waktu, yang

disebut TDMA (akses ganda pembagian waktu) untuk transmisi data pada media. Ini memberikan kualitas layanan yang lebih baik dibandingkan dengan teknologi HomePlug 1.0, meningkatkan tingkat jaminan bandwidth, latency dan jitter. Selain itu, slot waktu ini disinkronkan dengan nol persimpangan arus listrik, memungkinkan sinkronisasi deterministik peralatan PLC tanpa jam tertentu.

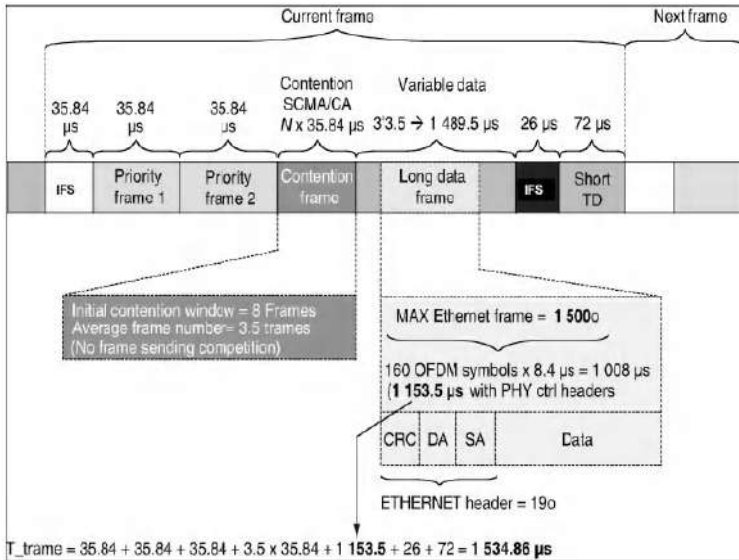


Gambar 4. 3 Penggunaan sub-band di HomePlug 1.0

Teknologi PLC HomePlug menggunakan format dua bingkai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Bingkai panjang terdiri dari bingkai pembatas awal, bagian data (Payload) dan bingkai pembatas akhir. Kemudian, frame pendek memiliki pembatas respons yang digunakan oleh proses permintaan ulang otomatis. Dengan demikian, kerangka respons yang dikirimkan oleh stasiun penerima dapat menentukan apakah data telah diterima dengan benar dengan mengirimkan pengakuan positif ke stasiun pengirim. Namun pengakuan negatif dikirim jika data rusak atau salah dan akan

mengakibatkan pengiriman ulang data. Dalam standar AV HomePlug, respons tambahan, pengakuan selektif, ditambahkan untuk mengimbangi fakta bahwa stasiun PLC antara dua stasiun tidak selalu simetris dalam hal dari kecepatan data. Jika bingkai melampaui ukuran maksimumnya (160 simbol OFDM untuk data dalam standar HomePlug 1.0), mekanisme fragmentasi dan reassembly diterapkan.

Selanjutnya, akses media dikendalikan melalui mekanisme akses media antara dua frame yang disebut inter-frame spacing (IFS). IFS berbeda tergantung pada transmisi atau penerimaan. Selain IFS, periode penahanan dan resolusi prioritas digunakan. Periode penahanan memungkinkan setiap stasiun untuk menghitung waktu acak, yang disebut waktu mundur, yang mengurangi risiko bahwa stasiun mentransmisikan pada waktu yang sama. Untuk menjamin kualitas layanan sesuai dengan prioritas masing-masing stasiun, ditambahkan periode prioritas resolusi (PRP1 dan PRP2) pada waktu tunggu. Gambar 4.4 mengilustrasikan pertukaran frame antara dua stasiun PLC pada lapisan data link. Informasi yang berkaitan dengan akses prioritas ke saluran ditunjukkan oleh lapisan yang lebih tinggi menggunakan header yang ditentukan dalam jaringan area lokal virtual (VLAN) IEEE 802.1Q, disajikan pada Tabel 4.1.



Gambar 4. 4 Ilustrasi frame yang dipertukarkan antara dua stasiun PLC pada lapisan data link

Tabel 4. 1 Prioritas dalam perangkat PLC berdasarkan bidang VLAN

Prioritas	Nilai bidang VLAN	Kelas aplikasi
Prioritas 3	7.6	VoIP (waktu transmisi kurang)
Prioritas 2	4,5	VoIP (waktu transmisi kurang)
Prioritas 1	2.3	Transmisi data mentah
Prioritas 0	0.1	Komunikasi data terbatas

Selanjutnya, penggunaan tag VLAN memungkinkan pembuatan jaringan virtual di berbagai tingkat lapisan OSI (jaringan virtual PLC, VLAN, overlay MAC, dll.). Dengan demikian, tag VLAN dapat digunakan untuk mengimplementasikan sejumlah layanan IP untuk berbagai tingkat lalu lintas data dan aplikasi, seperti RSVP (ReSerVation Protocol), DiffServ untuk lalu lintas multimedia, IEEE 802.1D,

dll. Terakhir, HomePlug 1.0 dan AV terlihat pada antarmuka sebagai Ethernet IEEE 802.3. Pilihan ini menyederhanakan integrasi perangkat yang ada, karena Ethernet digunakan secara luas. Karena standar PLC ini dapat dilihat sebagai teknik enkapsulasi MAC, berbagai mode transmisi frame MAC, apakah unicast, multicast atau broadcast, diizinkan. Selain itu, banyak protokol jaringan yang berada di atas lapisan MAC model OSI, seperti mekanisme perutean tingkat IP, protokol IPv6, transmisi protokol kontrol transmisi (TCP)/protokol datagram pengguna (UDP), dll. Dapat ditambahkan ke stasiun PLC yang sesuai dengan standar HomePlug 1.0 dan AV .

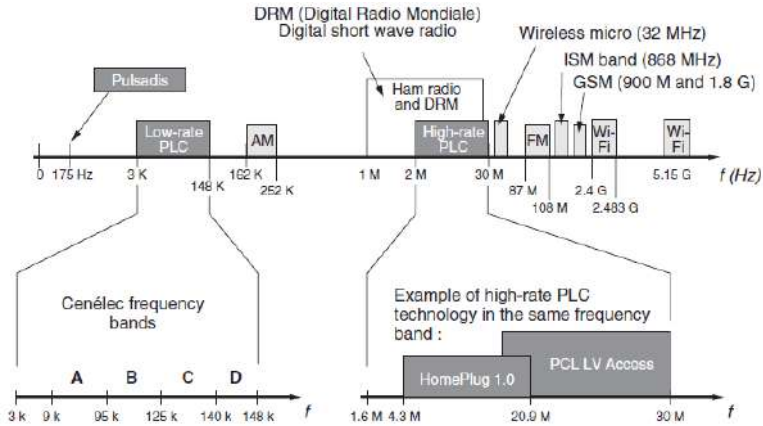
4.2.2.2. Teknologi PLC di rumah dengan bit rate rendah

Teknologi PLC kecepatan rendah terutama digunakan untuk otomatisasi layanan rumah yang memerlukan sedikit transfer informasi. Frekuensi yang digunakan adalah 1 – 175 kHz, yang memungkinkan kecepatan data di bawah 50 Kbit/s. Spektrum penggunaan otomatisasi rumah di lingkungan dalam ruangan sangat luas. Ini membentangi ke aplikasi seperti peralatan otomatisasi, dari pusat kendali hingga interkoneksi sensor dan aktuator yang berkomunikasi melalui jaringan listrik. Aplikasi otomatisasi rumah memperluas dengan cepat untuk membantu membuat peralatan listrik “pintar” dan memberikan supervisi dari real-time informasi tentang itu Internet. Gambar 4.5 mengilustrasikan penggunaan frekuensi spektrum untuk berbagai kategori teknologi PLC, yaitu:

- kecepatan bit rendah antara 3 kHz dan 148 kHz;
- kecepatan bit tinggi antara 1 MHz dan 30 MHz.

Untuk teknologi kecepatan bit rendah, HomePlug CC mendukung struktur regional yang berbeda seperti Komisi Komunikasi Federal di AS, Asosiasi Industri dan Bisnis Radio untuk Jepang dan Komite Eropa untuk Standardisasi Elektroteknik (CENELEC) A dan B untuk Eropa. Pita

CENELEC A dan B masing-masing berada pada pita frekuensi 20-80 kHz dan 95-125 kHz. Pita Komisi Komunikasi Federal adalah 120-400 kHz untuk lapisan MAC HomePlug CC.



Gambar 4. 5 Spektrum frekuensi untuk teknologi PLC

Teknologi PLC kecepatan rendah menerapkan mekanisme transfer data dan akses media yang kurang efektif dibandingkan teknologi broadband karena cenderung menyediakan bandwidth yang minimum. Namun, beberapa protokol, seperti X10 [ADA 01], HomePlug CC atau PLCBUS, terbukti cukup untuk digunakan dalam otomatisasi rumah yang diterapkan untuk jaringan rumah. X10 adalah protokol PLC yang dikembangkan pada tahun 1975. Ini terutama didedikasikan untuk memantau dan mengendalikan modul elektronik yang terhubung ke jaringan listrik. Modul dapat digunakan untuk peredup sederhana atau sensor yang lebih canggih. Sinyal perintah yang dikirim oleh modul pemancar menghasilkan sinyal gelombang persegi yang sesuai dengan sinyal saat ini. Tegangan transmisi kira-kira 2,5 V, dan waktu transmisi sekitar 1 ms. Selain itu, X10 memberikan tingkat redundansi

tertentu untuk mengkompensasi kehilangan atau distorsi data karena interferensi.

Untuk memastikan kecepatan transfer yang lebih baik, informasi dikirim tiga kali dalam frekuensi gelombang setengah sinusoidal 120 kHz, masing-masing melewati arus nol. Bingkai protokol dipotong menjadi dua bagian. Yang pertama adalah pengidentifikasi klien, yang kedua mengidentifikasi pesanan. Setiap modul memiliki kode ID pelanggan yang ditetapkan ke kode "rumah" empat bit. Ada total 16 kode rumah, mulai dari A hingga P, dan setiap kode rumah memiliki 16 modul yang dapat menghubungkan lebih dari 256 perangkat berbeda dengan memberi mereka pengenalan unik. Kode "urutan" diatur ke lima bit dan dapat mengirim perintah ke penyalaan atau pemadaman, untuk menambah dan mengurangi intensitas atau mengukur nilai pemulihan.

Untuk keamanan, sinyal X10 dihentikan oleh pemutus sirkuit rumah yang menghilangkan masalah menerima instruksi dari apartemen tetangga. Namun X10 menghadapi beberapa masalah dengan gangguan dan kelambatan pada fasilitas yang diperluas. PLC-BUS merupakan peningkatan dari X10 dengan ketahanan yang lebih baik terhadap interferensi dan dapat mengkodekan hingga 64.000 alamat berbeda. Selain perintah dan kontrol khusus standar, HomePlug Powerline Alliance (HomePlug CC) menawarkan tarif standar rendah untuk rumah yang tetap kompatibel dengan perangkat HomePlug berkecepatan tinggi lainnya.

HomePlug CC berasal dari draf proposal dari perusahaan chip PLC Yitran dan mengimplementasikan lapisan PHY/MAC yang dekat dengan lapisan MAC IEEE 802.15.4 yang digunakan untuk ZigBee. HomePlug didasarkan pada frame MTU 127-byte dan nodeID dan networkID untuk pengalamatan. Homeplug CC memungkinkan ko-eksistensi dengan X10 dengan menggunakan deteksi operator.

4.2.2.3. Topologi jaringan yang berbeda

Jenis jaringan dapat ditentukan berdasarkan teknologi PLC atau pada topologi jaringan listrik yang digunakan, tetapi juga berdasarkan mode manajemen. Ada tiga jenis jaringan yang digunakan oleh teknologi PLC:

- Mode master-slave adalah ilustrasi perilaku master dan slave dari teknologi PLC dibandingkan dengan topologi master-slave jaringan listrik .

- Mode peer-to-peer memungkinkan semua peralatan PLC dalam jaringan untuk memainkan peran yang sama pada tingkat hierarki yang sama. Perangkat ini dapat bertukar informasi satu sama lain tanpa dikendalikan oleh peralatan utama. Mode ini banyak digunakan oleh standar HomePlug 1.0, karena memungkinkan kita membuat jaringan dengan cepat.

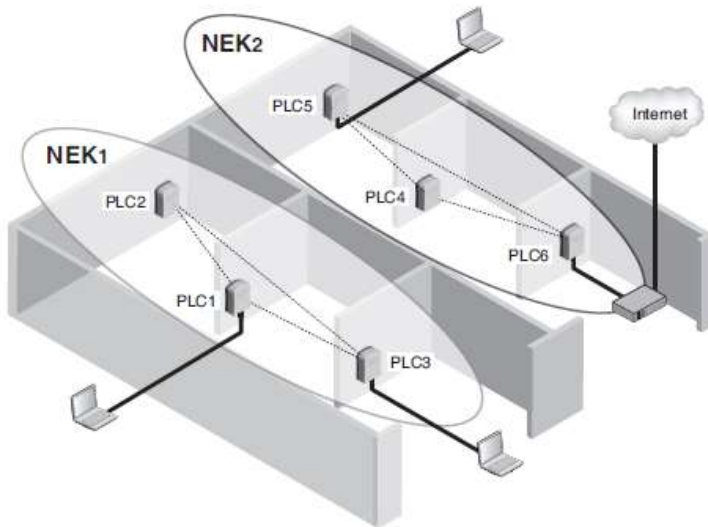
- Mode terpusat adalah campuran dari dua mode sebelumnya, di mana sebuah peralatan bertanggung jawab untuk memusatkan manajemen jaringan dan pertukaran antara peralatan PLC lainnya. Peralatan lain juga dapat bertukar informasi satu sama lain tanpa harus melalui peralatan terpusat. Peralatan ini mengatur alokasi akses media ke berbagai fasilitas PLC yang ingin berkomunikasi satu sama lain. Mode jaringan ini banyak digunakan di HomePlug AV.

4.2.3. Keamanan

Karena dukungan listrik adalah media bersama, ia dapat menyampaikan informasi di luar jaringan rumah, sehingga menciptakan peluang untuk mendengarkan komunikasi atau memungkinkan intrusi. Akses ke media fisik jauh lebih sulit daripada teknologi nirkabel, karena kabel listrik berpotensi menimbulkan risiko keamanan yang berbahaya. Untuk mengurangi serangan atau penyadapan pada jaringan PLC, perlu untuk menetapkan kebijakan keamanan yang memperhitungkan enkripsi data, otentikasi, dan integritas peralatan kontrol data. Untuk meningkatkan keamanan jaringan, standar HomePlug memungkinkan kita untuk

membuat jaringan pribadi berdasarkan kunci enkripsi PLC untuk peralatan PLC yang diizinkan di jaringan ini.

Misalnya, dalam standar HomePlug 1.0 ada dua kunci enkripsi, NEK (kunci enkripsi jaringan) dan DEK (kunci enkripsi default). Kunci NEK dikodekan dengan algoritma standar enkripsi data 56-bit yang berasal dari kata sandi yang dimasukkan oleh pengguna dan yang dapat bervariasi dari empat hingga 24 karakter. Kunci ini akan mengenkripsi data yang dipertukarkan di jaringan dan mengotentikasinya di antara berbagai peralatan PLC. Untuk mengaktifkan pertukaran data yang aman antara perangkat jaringan PLC yang termasuk dalam jaringan area lokal yang sama, NEK (kunci enkripsi jaringan) bersama digunakan pada setiap peralatan. Untuk mengkonfigurasi NEK pada semua peralatan PLC jarak jauh yang terhubung ke jaringan listrik, setiap stasiun PLC dapat menggunakan DEK (kunci enkripsi default) yang memungkinkan kami untuk mendistribusikan informasi konfigurasi, seperti login dan kata sandi, dalam cara yang aman. Selain itu, penggunaan kunci ini dapat melatih beberapa jaringan pada satu kabel PLC, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Jaringan PLC logis

4.2.4. Performa teknologi PLC

Seperti yang ditunjukkan pada bagian sebelumnya, setiap tautan PLC dapat mengalami berbagai kendala, seperti melemahnya karena interferensi, multi-jalur pada kabel atau efek antar kabel terhadap crosstalk. Kendala ini memiliki efek mengurangi dan mengurangi sinyal, yang tidak lagi memungkinkan PLC untuk mengeluarkan informasi terikat dengan benar. Misalnya, redaman minimum semua meter/sirkuit pemutus adalah 30 dB untuk perangkat yang memancarkan sinyal pada frekuensi di atas 20 MHz. Kami menganggap sinyal PLC pada frekuensi tinggi dilemahkan rata-rata setengah dari nilainya ketika melampaui 100 m. Untuk meningkatkan kinerja akibat redaman, coupler PLC dapat digunakan untuk mengurangi redaman sebesar 10 hingga 15 dB pada frekuensi tertentu .

Selain interferensi elektromagnetik, jaringan PLC mengalami kendala terkait dengan teknologi itu sendiri. Tarif

yang diiklankan tidak sesuai dengan yang diharapkan. Misalnya, perangkat HomePlug AV menawarkan throughput teoritis 10 hingga 200 Mbit/dtk untuk kecepatan data masing-masing 5 hingga 60 Mbit/dtk. Perbedaan ini dijelaskan terutama oleh ukuran header bingkai yang digunakan di HomePlug, dan oleh jumlah mekanisme yang digunakan untuk transmisi yang andal di lingkungan listrik. Beberapa data ditransmisikan ke mekanisme kontrol dan manajemen transmisi dan hanya sebagian kecil dari aliran yang dipancarkan oleh peralatan yang cocok dengan transportasi data itu sendiri.

Selain itu, ketika jumlah stasiun meningkat, throughput menurun dengan latensi tambahan yang ditambahkan oleh periode pertengahan atau periode prioritas. Ketika jaringan terdiri dari beberapa stasiun, kita dapat memperkirakan kapasitas throughput setiap stasiun hampir sama dengan throughput maksimum yang berguna dibagi dengan jumlah stasiun dalam jaringan. Terlepas dari keterbatasan ini, teknologi PLC sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kecepatan tinggi, seperti VoIP, streaming audio dan video, dll. Selain itu, teknologi ini sangat kompetitif dalam hal teknologi pesaing, seperti WiFi atau Ethernet. Tabel 4.2 merangkum berbagai teknologi yang berkaitan dengan throughput teoritis dan praktisnya.

Tabel 4. 2 Ringkasan teknologi PLC yang berbeda

Teknologi lapisan 2	Throughput teoritis maksimum (Mbit/s)	Throughput nyata maksimum (Mbit/dtk)
Ethernet 10M	10	8.08
Ethernet 100M	100	90,06
BerandaPlug 1.0	14	5.1
BerandaPlug Turbo	85	40
BerandaPlug AV	200	150

Tabel 4.3 menyajikan teknologi bit-rate rendah dan tinggi dan karakteristik utamanya.

Tabel 4.3 Throughput maksimum untuk berbagai teknologi

PLC keluarga	Teknologi	Karakteristik (throughput, PHY, dalam/luar ruangan)	Vendor
Kecepatan bit rendah	X10	Throughput < 10 Kbit/s	Power House Thomson
	BerandaPlug CC	Throughput < 50 Kbits/s Lapisan MAC khusus dalam dan luar ruangan	Yitran, Renesas, Kontrol Ar diane
	Eselon	Throughput < 10 Kbits/s Hanya di luar ruangan	Renesa
Kecepatan bit tinggi	BerandaPlug AV	Throughput 200 Mbit/s pada PHY Maks. TCP throughput 60 Mbit/s Biasa digunakan untuk aplikasi di rumah	Intellon, Devolo, Motorola, Linksys
	UPA	Throughput 200 Mbit/dtk pada PHY MAX TCP throughput 60 Mbit/dtk Penggunaan di luar ruangan	DS2, Corinex, Netgear
	CEPCA	Throughput 220 Mbit/s pada PHY MAX TCP throughput 70 Mbit/s Penggunaan di rumah di Jepang	Panasonic

4.2.5. Standar dan normalisasi

Teknologi PLC memancarkan gelombang radio pada pita frekuensi tertentu dan rentan terhadap interferensi. Banyak badan standardisasi, standar telekomunikasi dan teknik elektro telah menetapkan aturan yang mengatur batas gangguan yang diizinkan untuk mengoptimalkan saluran transmisi dan teknik pemrosesan sinyal yang akan diterapkan. Di antara organisasi yang bekerja pada standar kelistrikan adalah Cenelec dan International Electrotechnical Commission. Telekomunikasi Eropa Standards Institute sedang merumuskan standar di bidang telekomunikasi. Sebagai bagian dari kekebalan elektromagnetik, peralatan PLC harus memenuhi kompatibilitas elektromagnetik dan persyaratan tegangan rendah. Selain organisasi dan institusi di atas, beberapa asosiasi dan konsorsium berperan dalam “pra-standardisasi” atau standardisasi PLC. Untuk teknologi dan standar PLC di lingkungan dalam-pintu, ada tiga kelompok teknologi utama, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4. 4 Badan standarisasi untuk teknologi PLC bit-rate tinggi

Teknologi atau standar	Konsorsium industri	Teknologi
colokan rumah	Konsorsium HOMEPLUG (AS) Pemimpin: INTELLON	HomePlug 1.0, Turbo (throughput 14 dan 85 M) HomePlug AV Teknologi: OFDM, CSMA/CA
UPA	Pemimpin Konsorsium UPA (UE): DS2	UPA (throughput 45 M) UPA HD (throu OFDM, CSMA/CA

CEPCA	Pemimpin Konsorsium CEPCA (Jepang): PANASONIC	Teknologi HD-PLC (throughput 220 M)
IEEE	IEEE P1901 WG	Draf standar berdasarkan HomePlug AV

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4, beberapa tahun terakhir telah terlihat perkembangan beberapa teknologi PLC (HomePlug, UPA dan CEPCA), dengan munculnya pasar standar mengingat peralatan yang saat ini digunakan di seluruh dunia. Misalnya, dengan HomePlug, lebih dari 20 juta produk telah terjual pada akhir tahun 2009. Ketiga teknologi ini tidak dapat dioperasikan dan menjadi penting bagi pasar PLC untuk menetapkan standar internasional, yang harus independen dari konsorsium industri tertentu. Untuk mengelola ko-eksistensi teknologi PLC, aliansi CEPCA telah mengembangkan proposal teknis berdasarkan fungsi koordinasi yang terdistribusi secara umum yang memungkinkan kita untuk mengelola ruang waktu dan frekuensi antara teknologi yang berbeda. Alokasi ini didasarkan pada elemen-elemen berikut:

- pengelolaan akses hibrid antara akses berganda divisi frekuensi dan TDMA;
- manajemen kualitas layanan melalui sistem berdasarkan slot waktu TDMA, seperti pada HomePlug AV untuk aplikasi video definisi tinggi.

Kedua prinsip ini harus menghindari saling interferensi dan memaksimalkan penggunaan media jaringan komunikasi. Sebuah kelompok kerja di badan standarisasi AS IEEE, yang telah menetapkan jaringan utama dan standar telekomunikasi yang saat ini digunakan sebagai Wi-Fi (berdasarkan standar IEEE 802.11), sedang mengerjakan implementasi standar IEEE untuk teknologi PLC yang disebut IEEE 1901. Standar IEEE 1901 didasarkan pada draf standar HomePlug-Panasonic-HiSilicon In-Home yang diusulkan bersama oleh konsorsium

HomePlug dan CEPCA Alliance. Standar IEEE 1901 dapat dioperasikan dengan peralatan HomePlug AV yang sudah digunakan di pasar karena menggabungkan spesifikasi standar AV HomePlug. Namun, standar HomePlug AV tidak kompatibel dengan HomePlug 1.0 tetapi menawarkan beberapa mekanisme koeksistensi antara teknologi ini yang bersifat wajib atau opsional. Pada bagian 4.2, kami mengusulkan mekanisme interkoneksi yang ada untuk teknologi PLC dianalisis dan kami menyarankan beberapa solusi untuk menyatukan berbagai teknologi untuk menghubungkan objek di lingkungan rumah.

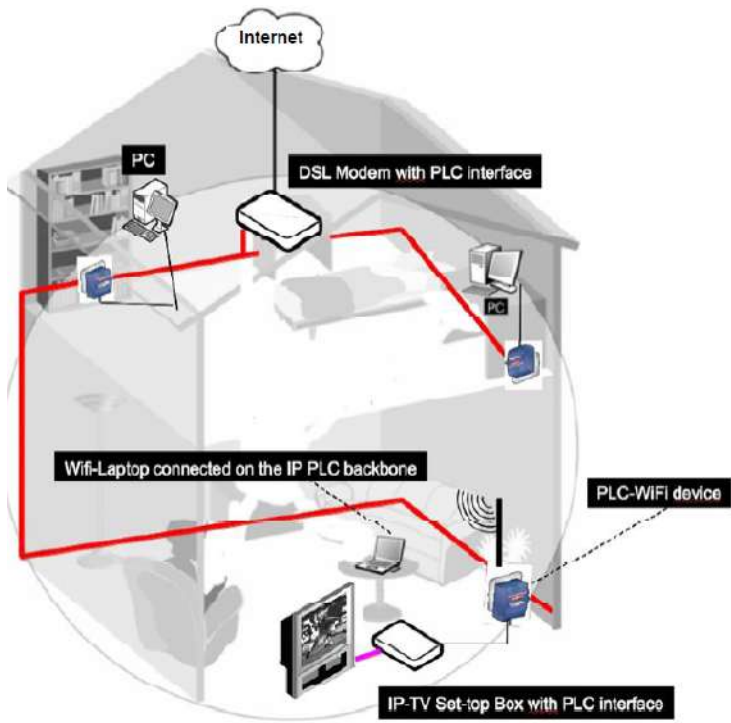
4.3. Arsitektur untuk aplikasi jaringan rumah

Meningkatnya permintaan otomatisasi rumah oleh banyak rumah tangga di dunia telah menyebabkan penciptaan layanan rumah baru, seperti VOIP, berbagi data multimedia (gambar, video), telecare untuk orang tua, sistem keamanan, sensor dan aktuator untuk otomatisasi rumah, dll. Dalam konteks ini, teknologi PLC sangat cocok untuk menyebarkan jaringan rumah di mana-mana. Keuntungan utama mereka adalah kemampuan untuk menyediakan panel besar fasilitas jaringan hanya dengan menggunakan jaringan listrik. Pada bagian ini, kami menyajikan berbagai jenis arsitektur PLC untuk menerapkan aplikasi jaringan rumah mulai dari teknologi bit rate tinggi hingga teknologi bit rate rendah. Kami juga menjelaskan bagaimana teknologi PLC dapat saling berhubungan untuk membentuk lingkungan jaringan rumah yang kompleks.

4.3.1. Arsitektur untuk aplikasi jaringan rumah berkecepatan bit tinggi

Saat ini, munculnya akses jaringan berkecepatan tinggi di rumah telah memberikan bandwidth dan layanan berkualitas tinggi kepada pengguna akhir. Sebagian besar layanan ini bergantung pada akses Internet yang disediakan oleh ISP

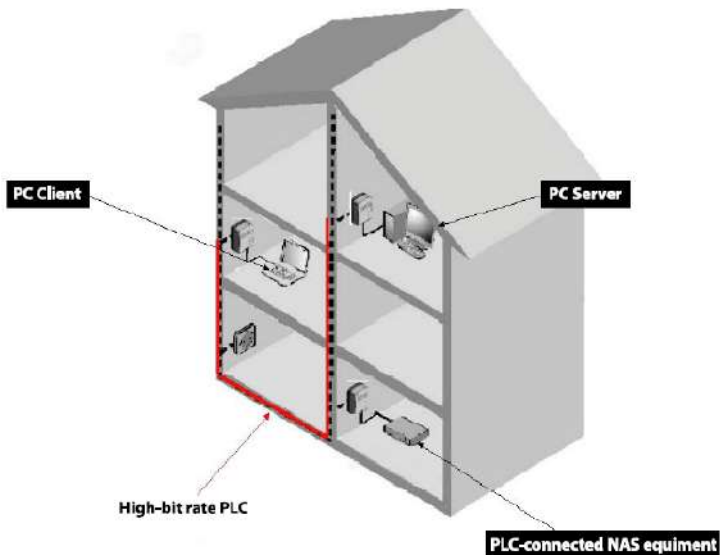
melalui modem atau kotak Internet yang lebih kompleks. Saat ini, keragaman teknologi terkait PLC dapat memenuhi harapan tersebut. Memang, teknologi PLC saat ini menawarkan kecepatan data yang cukup untuk menyebarkan layanan broadband menggunakan media listrik yang ada. Dengan demikian, koneksi sederhana penutup PLC melalui soket memungkinkan jaringan listrik menciptakan jaringan komunikasi yang kuat dan aman. Misalnya, teknologi ini (HomePlug 1.0, HomePlug AV, dll.) memungkinkan siaran konten audio dan video, atau menyediakan kemampuan untuk berbagi koneksi Internet dengan kualitas layanan yang optimal. Seperti yang disajikan pada Gambar 4.7, arsitektur khas untuk jenis aplikasi bandwidth tinggi ini bergantung pada koneksi modem DSL (kotak Internet) dengan antarmuka PLC ke colokan listrik. Dengan demikian, akses modem DSL diperluas ke jaringan listrik rumah yang berfungsi sebagai tulang punggung akses Internet rumah dan steker listrik apa pun dapat digunakan untuk mendapatkan akses ke layanan yang diberikan oleh kotak tersebut. Antarmuka nirkabel yang tertanam dengan perangkat PLC tersedia saat ini. Dengan demikian jaringan listrik dapat berfungsi untuk memperluas konektivitas Internet dengan titik akses nirkabel dengan koneksi sederhana ke steker listrik di rumah. Sangat menarik untuk dicatat bahwa perangkat PLC-WiFi tersebut mendapat manfaat dari mendapatkan energi dan konektivitas Internet dalam satu kabel yang dapat memanfaatkan penyebarannya dalam instalasi di dalam ruangan.



Gambar 4. 7 Arsitektur skenario 1 menggunakan perangkat PLC kecepatan bit tinggi

Contoh kami pada Gambar 4.7 menggambarkan skenario seperti di mana set-top box IP-TV, perangkat PLC-WiFi dan beberapa komputer memiliki akses ke layanan bandwidth tinggi melalui perangkat PLC. Selain arsitektur yang dijelaskan di atas, teknologi PLC berkecepatan tinggi dapat digunakan tanpa konektivitas Internet untuk memberikan layanan untuk penggunaan internal. Dengan demikian jaringan listrik rumah dapat berfungsi sebagai saluran transmisi untuk berbagai aplikasi seperti berbagi file multimedia, sistem telekomunikasi internal, streaming video waktu nyata, dll. Gambar 4.8

menggambarkan penggunaan semacam ini di mana server dan peralatan penyimpanan yang terhubung ke jaringan terhubung ke jaringan listrik rumah melalui perangkat PLC dan menyediakan akses ke konten multimedia yang berbeda secara bersamaan ke klien PC yang terhubung ke jaringan listrik rumah melalui perangkat PLC.



Gambar 4. 8 Arsitektur PLC bit-rate tinggi yang khas di rumah

Meskipun kemudahan penerapan yang ditawarkan oleh teknologi PLC di lingkungan rumah, beberapa faktor penting mengenai kinerja dan keamanannya harus diperhitungkan. Pertama, seperti yang dinyatakan dalam bagian 4.2, bandwidth yang dikirimkan melalui teknologi PLC berkurang seiring dengan panjang perambatan sinyal dan jumlah perangkat PLC yang terhubung ke jaringan listrik. Oleh karena itu, penting untuk merancang infrastruktur PLC

sehubungan dengan faktor-faktor ini dengan menambahkan repeater sinyal PLC. Selain itu, karena sinyal PLC dapat melewati meteran listrik dari instalasi individual, penting untuk melindungi jaringan PLC yang digunakan dengan mekanisme keamanan yang dijelaskan di bagian 2.3. Menambahkan filter sinyal ke meteran listrik juga merupakan solusi yang baik untuk menghentikan sinyal PLC dari instalasi pribadi.

4.3.2. Arsitektur untuk aplikasi jaringan rumah bit-rate rendah

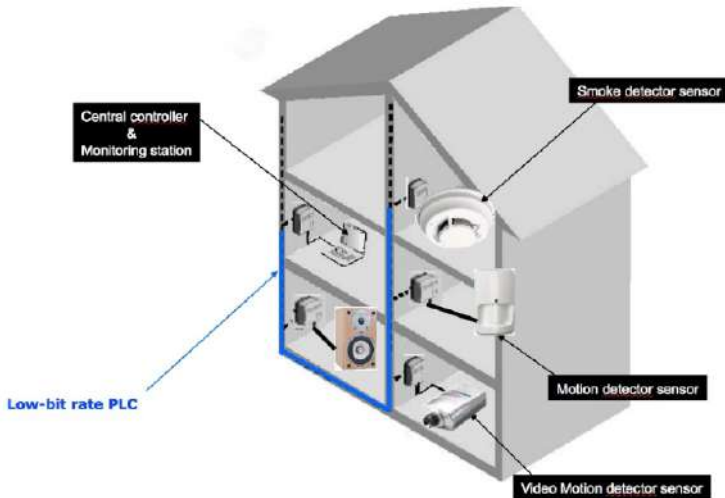
Dalam konteks lingkungan jaringan rumah, teknologi PLC bit-rate rendah sebagian besar digunakan untuk aplikasi otomatisasi rumah yang memerlukan tingkat transfer data yang rendah. Aplikasi ini bergantung pada penyebaran berbagai set sensor (detektor asap, detektor gerakan inframerah atau video, dll.), aktuator (saklar listrik, motor listrik, sistem pencahayaan, dll.) dan pengontrol (perangkat yang dapat diprogram perangkat lunak atau perangkat keras, pengelolaan jarak jauh monitor, dll.) yang dapat berkomunikasi satu sama lain melalui jaringan listrik rumah. Kami dapat menyebutkan beberapa penggunaan umum untuk otomatisasi rumah, seperti kontrol pencahayaan, pemantauan alat, diagnostik keamanan rumah, sistem penyiraman otomatis, jaringan pintar, deteksi intrusi, manajemen energi, layanan kesehatan pribadi, dll.

Sejak penerapan awal otomatisasi rumah setelah Perang Dunia I, sistem ini telah berubah secara radikal di akhir tahun 70-an dengan munculnya spesifikasi X10. Saat ini, teknologi otomatisasi rumah berbasis PLC telah mencapai tahap matang dan sejumlah besar solusi dan teknologi tersedia di pasar, seperti X10, PLC BUS, 1-Wire, INSTEON, dll. Karena sebagian besar teknologi ini tidak kompatibel satu sama lain, pada bagian 4.2 kami menyajikan beberapa solusi interkoneksi yang dapat mengatasi masalah ini.

Solusi otomatisasi rumah dengan teknologi PLC bit-rate rendah dapat diterapkan berdasarkan tiga arsitektur berbeda

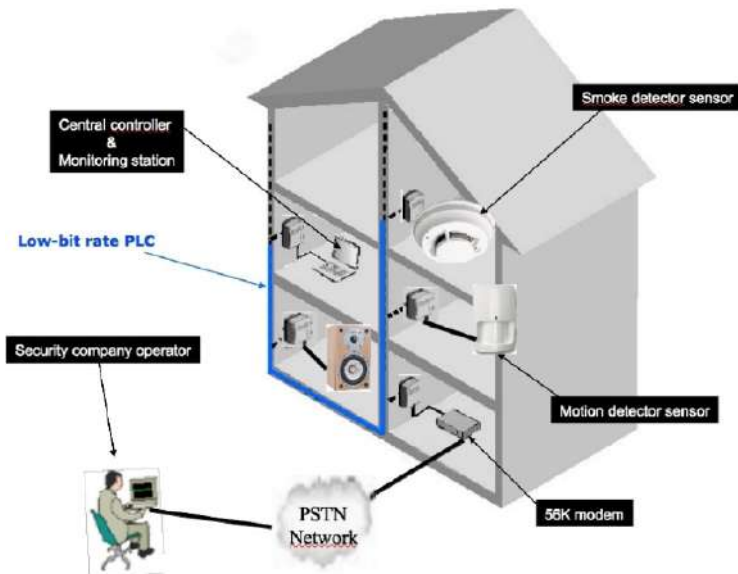
yang akan kami sajikan di bawah ini. Arsitektur terpusat didasarkan pada pengontrol pusat yang memiliki peran ganda mengumpulkan informasi yang berasal dari berbagai sensor dan mengirimkan sinyal pemicu ke aktuator. Pengguna memiliki kesempatan untuk memprogram pengontrol untuk melakukan tindakan tertentu berdasarkan informasi sensor yang diproses. Arsitektur ini adalah yang paling umum dan termurah karena hanya mengandalkan satu pengontrol pusat yang dapat mengatur berbagai sensor dan aktuator. Arsitektur terdistribusi memungkinkan setiap modul yang merupakan sensor atau aktuator untuk menerima, mengirim dan mengelola informasi di antara semua modul yang terhubung ke jaringan listrik yang sama. Oleh karena itu, modul harus menanamkan sistem canggih untuk mencapai perannya dan umumnya lebih mahal daripada sensor atau aktuator biasa.

Arsitektur campuran adalah kombinasi dari arsitektur terpusat dan terdistribusi. Arsitektur ini lebih fleksibel daripada yang lain karena modul tambahan dapat diintegrasikan dengan mudah dalam penerapan otomatisasi rumah yang ada. Untuk mengilustrasikan penerapan otomatisasi rumah dengan kecepatan bit rendah, kami menyajikan skenario berdasarkan arsitektur terpusat pada Gambar 4.9. Dalam skenario ini, detektor asap dan detektor gerakan video dihubungkan ke jaringan listrik rumah melalui perangkat PLC. Sensor ini mengirimkan informasinya ke pengontrol pusat yang memproses informasi yang masuk dan mengirimkan sinyal ke aktuator jika kebakaran atau gangguan di rumah terdeteksi. Aktuator adalah speaker sederhana yang menghasilkan suara berbeda tergantung pada peristiwa yang terdeteksi.



Gambar 4. 9 Arsitektur khas dengan teknologi PLC bit-rate rendah untuk aplikasi di rumah

Skenario yang disajikan sebelumnya dapat diperluas dengan modem untuk menawarkan akses jarak jauh ke penerapan otomatisasi rumah. Fitur ini biasanya digunakan untuk menyediakan layanan jarak jauh untuk keamanan rumah, bantuan kesehatan pribadi, pemantauan instalasi rumah, dll. Gambar 4.10 menggambarkan jenis instalasi yang diterapkan untuk layanan keamanan rumah. Penerapan otomatisasi rumah didasarkan pada arsitektur terpusat di mana detektor asap dan detektor gerakan mengirimkan informasinya ke pengontrol, yang juga berfungsi untuk memantau pemasangan. Modem 56 K terhubung ke pengontrol melalui jaringan listrik rumah dan mengkomunikasikan aliran datanya ke operator jarak jauh melalui jaringan telepon umum lokal. Dengan demikian, operator jarak jauh dapat diberi tahu tentang berbagai peristiwa dan dapat bereaksi sesuai dengan itu.



Gambar 4. 10 Contoh aplikasi teknologi PLC bit-rate rendah

4.4. Internet hal-hal menggunakan teknologi PLC

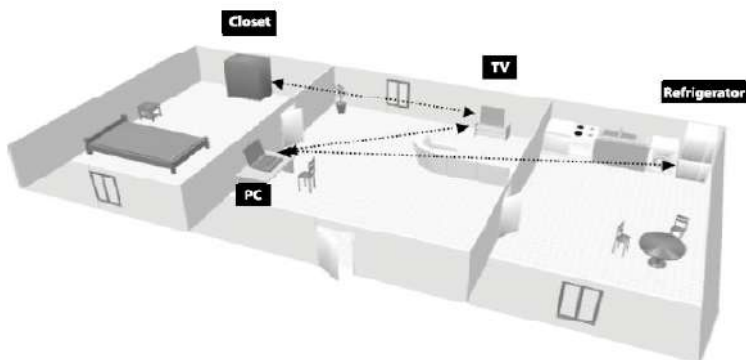
Saat ini banyak sistem yang berbeda harus berkomunikasi di rumah; sistem komputer, telekomunikasi, elektronik, otomatisasi rumah, semuanya menyatu menjadi dunia yang disebut "konvergensi digital". Konsep konvergensi digital terkait dengan rumah digital dan berkembang sebagai layanan penting yang diberikan kepada pengguna oleh ISP dan industri. Akses mobilitas melalui penyebaran teknologi nirkabel dan pengembangan chip radio frequency identification (RFID) akan segera memungkinkan terciptanya "Internet of Things" (IoT) untuk menemani pengguna dalam setiap aktivitas domestik mereka. Teknologi PLC ditempatkan dengan baik untuk berfungsi sebagai jaringan di mana-mana untuk menyebarkan layanan IoT di rumah, karena objek apa pun dapat menggunakan colokan listrik untuk berkomunikasi.

4.4.1. Menghubungkan objek di lingkungan dalam ruangan

Baru-baru ini, kita telah melihat munculnya objek dengan fasilitas komunikasi tertanam, yang memungkinkan mereka untuk berkomunikasi melalui koneksi Internet, atau untuk berbagi informasi melalui berbagai teknologi yang ada (X10, IEEE 802.15.4, IEEE 802.11, dll.) dan protokol (IPv4, IPv6, dll.). Selain itu, adopsi standar RFID secara luas telah memunculkan skenario penggunaan baru karena semakin banyak objek yang akan ditandai dan diidentifikasi. Dalam konteks lingkungan jaringan rumah, keluarga objek komunikasi yang kita bayangkan sangat besar; misalnya kita dapat mengutip benda-benda yang berkomunikasi, seperti peralatan rumah tangga (kulkas, oven, penyedot debu, dll.), barang habis pakai (botol, kemasan makanan, dll.), furnitur (bingkai digital, lemari, dll.), robot (robot memasak), robot pembersih, dll.), dan seterusnya. Daftar objek yang dapat berkomunikasi tampaknya tidak terbatas karena penggunaannya. Seperti yang dinyatakan sebelumnya, teknologi PLC menyediakan solusi jaringan yang ideal untuk lingkungan rumah dan terletak dengan baik untuk penyebaran objek komunikasi di rumah. Penerapan tersebut dapat memaksimalkan aplikasi kenyamanan rumah dengan penawaran otomatisasi rumah yang lebih luas, yang akan mendorong munculnya solusi rumah pintar [HAR 03]. Jadi di bawah ini kami menyajikan beberapa kemungkinan skenario dan arsitektur untuk menangani koneksi objek di lingkungan dalam ruangan.

Skenario pertama yang kami usulkan adalah skenario hal-ke-hal di mana setiap objek dapat berkomunikasi dengan objek lain melalui jaringan listrik sebuah rumah. Arsitektur yang mendasarinya harus dekat dengan arsitektur orang-ke-orang yang dijelaskan di bagian 4.2 di mana setiap perangkat yang terhubung bertanggung jawab atas manajemen komunikasi. Selain itu, skenario ini harus digunakan dengan

interkoneksi mekanisme yang kami sajikan di bagian 4.2 untuk memfasilitasi interaksi berbagai objek heterogen dengan protokol komunikasi tertanam yang berbeda. Pada Gambar 4.11, kami menyajikan contoh skenario hal-ke-hal, di mana semua objek dapat berkomunikasi satu sama lain melalui jaringan listrik rumah. Dalam contoh ini, lemari es menyimpan inventaris produk yang dikonsumsi dan lemari mencantumkan sisa produk yang saat ini disimpan berkat tag RFID dan rak pintar. Kemudian informasi ini dikirimkan ke komputer yang menyediakan informasi statistik berbeda tentang konsumsi makanan dan status penyimpanan produk. Pengguna juga dapat melihat informasi konsumsi makanan yang ditampilkan di televisi rumah.

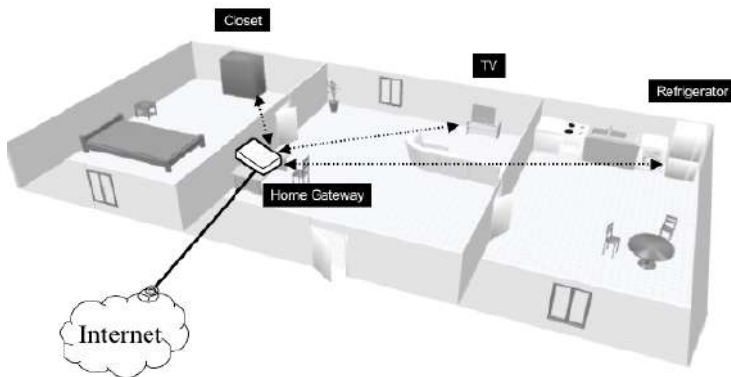


Gambar 4. 11 Contoh skenario hal-ke-hal di lingkungan rumah

Secara tradisional, modem broadband (modem kabel dan modem DSL) hanya memungkinkan koneksi satu PC ke Internet melalui antarmuka USB atau Ethernet. Operator telah memperluas penawaran mereka dengan koneksi tiga layanan (Internet, TV, dan telepon) dan modem broadband telah berkembang menjadi modem generasi baru dengan beberapa antarmuka Ethernet atau dengan modem/router berkemampuan nirkabel. Sejauh ini, inisiatif gerbang rumah [HGI 06] telah

mempromosikan solusi dan kasus penggunaan yang berpusat pada "gerbang rumah" yang akan menjadi elemen komunikasi pusat rumah. Dengan demikian, kita juga mengusulkan skenario lain yang kami sebut skenario hal-ke-gateway. Dalam skenario ini, gateway dapat berupa kotak Internet pintar yang memungkinkan objek berkomunikasi dengan objek eksternal atau dengan layanan jarak jauh (server web, ONS [ONS 08], telepon 3G, dll.). Gateway juga akan bertugas mengelola, mengontrol, dan mengautentikasi objek yang digunakan di rumah.

Gambar 4.12 menyajikan skenario hal-ke-gerbang di mana lemari es menyimpan inventaris produk yang dikonsumsi dan mencantumkan produk yang tersisa berkat tag RFID. Saat lemari es menjadi kosong, kulkas akan menghubungi server pengelola rumah dan mengambil daftar belanja berdasarkan instruksi pengguna. Kemudian pesanan dapat dibuat dan dikirim ke pusat perbelanjaan berbasis web untuk mengirimkan produk yang diinginkan pada waktu yang ditentukan. Server pengelola rumah juga dapat mengambil informasi tentang jumlah produk yang disimpan di lemari berkat tag RFID dan mengirimkan informasi ini ke televisi rumah .



Gambar 4. 12 Contoh skenario hal-ke-gateway di lingkungan rumah

Di sini kami telah menyajikan dua skenario berbeda yang menggunakan teknologi PLC untuk menghubungkan objek di lingkungan rumah. Skenario ini mengikuti upaya berkelanjutan untuk membangun kecerdasan ambien [LES 99, REM 05] atau rumah pintar [HAR 03]. Sebagai semakin banyak objek yang berkomunikasi akan segera tersedia di lingkungan rumah, skenario ini telah menunjukkan bahwa teknologi PLC terletak dengan baik untuk mendukung penyebaran jaringan objek di lingkungan rumah.

4.4.2. Interoperabilitas dari menghubungkan benda-benda di dalam rumah lingkungan

Salah satu masalah terbesar dari teknologi baru adalah interkoneksi berbagai bahan atau teknologi yang tidak dirancang untuk kompatibel. Ini adalah kasus ketika menghubungkan antara berbagai jenis teknologi PLC atau objek komunikasi berbeda yang dimiliki oleh konstruktor yang berbeda. Untuk menghadapi tantangan ini, Konsorsium Aliansi Jaringan Kehidupan Digital dibentuk di AS. Saat ini, ia menyatukan sekitar 200 anggota termasuk perusahaan terkemuka yang terlibat dalam produksi elektronik, perangkat seluler, dan komputer pribadi. Tujuannya adalah untuk mempromosikan standar umum dan interoperabilitas antara produk dari perusahaan yang berbeda untuk membuat jaringan perangkat elektronik di rumah. Meski standarnya masih dalam tahap pengembangan, sertifikasi Digital Living Network Alliance sudah tersedia.

Contoh lain dari upaya interoperabilitas adalah Universal Plug and Play (UPnP) [MIL 01] yang merupakan protokol jaringan yang kompatibel dengan TCP/IP dan UDP. Ini mengusulkan adalah untuk mendorong komunikasi antara sejumlah perangkat di jaringan area lokal. UPnP menggunakan arsitektur terbuka, memungkinkan independensi vis-à-vis media yang digunakan. Layanan UPnP bekerja dengan memasukkan daftar tindakan yang ditanggapi oleh layanan dan

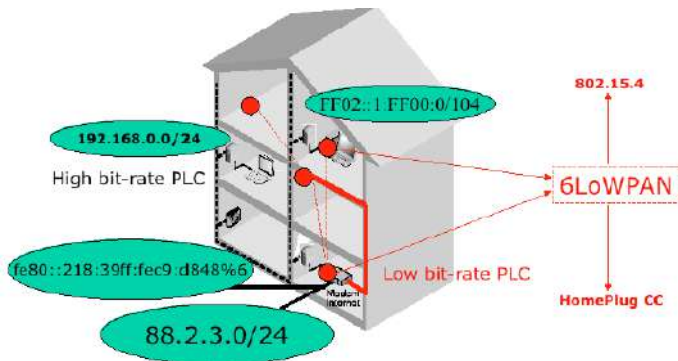
kemudian menghasilkan daftar variabel yang mencirikan kinerja layanan. Setiap perangkat dapat secara dinamis bergabung dengan jaringan, mendapatkan alamat IP, mengumumkan namanya, menentukan opsi berdasarkan permintaan, dan menanyakan perangkat lain tentang keberadaan dan kemampuannya. Dengan demikian, interkoneksi objek komunikasi yang berbeda yang menghormati protokol UPnP dapat dengan mudah dicapai di lingkungan rumah menggunakan teknologi PLC .

Koeksistensi antara teknologi jaringan yang berbeda, baik kabel atau nirkabel, dapat menciptakan gangguan kritis . Untuk contoh, propagasi sinyal PLC pada kabel daya menciptakan medan elektromagnetik yang dapat mengganggu tidak hanya sistem komunikasi lain, seperti jaringan radio, tetapi juga berbagai teknologi PLC itu sendiri. Namun, kohabitasi antara PLC dan teknologi kabel (kabel Ethernet, serat optik, TV kabel, kabel telepon, dll.) tidak menimbulkan gangguan karena pita frekuensi yang digunakan oleh teknologi ini semuanya terletak di luar frekuensi yang digunakan oleh teknologi PLC.

Seperti yang disajikan sebelumnya, teknologi PLC bit-rate tinggi dan rendah dapat digunakan secara independen di lingkungan rumah. Namun, menggabungkan teknologi ini dalam arsitektur penerapan tunggal harus memungkinkan pengguna mendapatkan manfaat dari berbagai fasilitas dan penggunaan yang lebih luas. Misalnya, harus dimungkinkan untuk mengizinkan penyebaran jaringan sensor bit-rate rendah yang dapat berinteraksi dengan server konten pada jaringan bit-rate tinggi. Tidak ada masalah kohabitasi antara teknologi PLC bit-rate rendah dan tinggi karena mereka mentransmisikan pada dua pita frekuensi yang berbeda. Namun, perangkat teknologi tidak dapat berkomunikasi satu sama lain. Jadi, menggunakan perangkat yang sesuai dengan protokol Aliansi Jaringan Hidup Digital atau UPnP harus memungkinkan penyebaran teknologi lintas-PLC semacam ini.

Koeksistensi PLC dan teknologi nirkabel juga dimungkinkan, karena pita frekuensi yang digunakan berbeda. Teknologi PLC bit-rate tinggi beroperasi di pita 1 hingga 30 MHz dan berbagai IEEE 802.11 standar dalam 2,4 dan 5 GHz. Selain itu, beberapa peralatan PLC/WiFi hybrid sudah tersedia di pasaran, seperti peralatan NetPlug Turbo Thesys yang menyediakan outlet listrik dengan antarmuka Ethernet dan antena untuk IEEE 802.11. Dengan demikian dimungkinkan untuk menyebarkan jaringan hybrid yang menggunakan teknologi PLC bit-rate tinggi untuk membuat tulang punggung Ethernet melalui jaringan listrik rumah (di mana setiap outlet listrik dapat digunakan dengan peralatan PLC/WiFi hybrid untuk menyediakan konektivitas nirkabel). Selain itu, penerapan hybrid ini dapat memberikan kinerja dan jangkauan yang optimal ke berbagai objek komunikasi di rumah.

Aplikasi masa depan akan menggunakan protokol lapisan jaringan IPv4 dan IPv6 pada teknologi bit-rate rendah dan tinggi. Misalnya, beberapa tumpukan IP ringan telah dikembangkan untuk mendukung bit-rate rendah aplikasi, seperti 6LoWPAN [RFC 07a, RFC 07a] yang mengimplementasikan tumpukan IPv6 ringan melalui lapisan data-link IEEE 802.15.4 [CAL 02].



Gambar 4. 13 Contoh kohabitasi IPv4 dan IPv6 untuk aplikasi jaringan rumah

Gambar 4.13 menyajikan contoh aplikasi jaringan rumah hybrid dengan konfigurasi IPv4 dan IPv6 pada jaringan yang sama. Karena teknologi PLC banyak digunakan untuk penggunaan di rumah, kami ingin mengatasi beberapa tantangan kritis untuk penerapannya oleh penerapan IoT di masa depan di lingkungan rumah:

- Heterogenitas : Menyatukan teknologi yang heterogen atau memungkinkan perangkat yang berbeda untuk berkomunikasi adalah fitur utama, karena penyebaran IoT di masa depan harus agnostik teknologi .
- IPV6: Penerapan protokol IPv6 yang akan datang harus diperhitungkan dengan segala jenis dukungan komunikasi .
- Skalabilitas: Solusi baru harus dipertimbangkan untuk menskalakan jaringan rumah untuk mendukung pertumbuhan cepat perangkat yang terhubung .
- Keamanan: Protokol otentikasi yang lebih baik dan konektivitas terenkripsi yang aman harus ditujukan untuk menghindari intrusi atau serangan yang tidak diinginkan .
- Layanan: Layanan generasi berikutnya harus memerlukan perangkat yang lebih fungsional, seperti “gerbang rumah” yang harus aman dan mudah digunakan.

4.5. Kesimpulan

Dalam bab ini, kami telah menjelaskan berbagai teknologi PLC dan standar saat ini. Kami telah merinci berbagai kemungkinan penggunaan teknologi PLC dalam arsitektur IoT. Pada tahun 2009, teknologi PLC kecepatan bit tinggi biasanya digunakan untuk tautan Ethernet lokal di rumah. Dengan penawaran layanan gabungan dari ISP tertentu di seluruh dunia, teknologi ini akan memajukan penggunaan umum dalam aplikasi bit-rate rendah (jaringan sensor, deteksi

gerakan, pengukuran cerdas, colokan listrik pintar di rumah, dll.).

Selain itu, kita telah melihat bahwa teknologi PLC dapat berfungsi sebagai tulang punggung rumah di mana-mana untuk mendukung berbagai teknologi lainnya, seperti IEEE 802.11, IEEE 802.15.4, inframerah, dll. Dengan demikian, steker listrik apa pun dapat berfungsi sebagai saluran komunikasi untuk objek apa pun yang perlu menyampaikan. Dengan perkembangan teknologi jaringan rumah, kita akan melihat peningkatan jumlah perangkat yang terhubung di rumah dan teknologi PLC ditempatkan dengan baik untuk mengimplementasikan IoT masa depan ini di lingkungan rumah. Tantangan masa depan untuk meningkatkan heterogenitas dan mekanisme interoperabilitas di antara teknologi PLC tentu akan berperan dalam adopsi mereka di lingkungan rumah.

Akhirnya, karena sebagian besar perangkat elektronik perlu dihubungkan ke catu daya, jaringan listrik rumah dapat memiliki peran ganda; menyediakan energi dan konektivitas jaringan secara bersamaan. Fitur ini juga harus berarti bahwa teknologi PLC menjadi kandidat yang tak terbantahkan untuk penerapan IoT di masa depan di lingkungan rumah .

KESIMPULAN

Era digital merevolusi masyarakat manusia selama abad terakhir. Faktanya, proses digitalisasi informasi telah mengarah pada desain komputer, telepon, dan mesin lain yang menawarkan sejumlah besar aplikasi yang berjalan pada mesin komputasi mandiri. Kemudian transportasi informasi digital dikembangkan. Ini telah memperkenalkan komunikasi dan jaringan digital di mana mesin terhubung untuk membentuk jaringan yang sangat besar dan menawarkan aplikasi jarak jauh. Mesin-mesin yang terhubung ke jaringan ini menciptakan peluang untuk menyebarkan layanan yang berbeda, baik dalam komunikasi suara, transfer data atau hiburan, seperti TV, dan telah mengarah pada masyarakat digital ini.

Masyarakat kita sekarang sepenuhnya bergantung pada jaringan terbesar yang pernah ada, Internet; salah satu penemuan manusia yang utama dan paling menakjubkan. Dalam jaringan ini, sebagian besar lalu lintas informasi dibuat dan dihasilkan oleh orang-orang melalui e-mail, web, dan layanan pengguna lainnya. Sekarang, setelah digitalisasi informasi, transportasi dan komunikasi, komputasi di mana-mana muncul. Itu bergantung pada informasi digital yang berasal dari lingkungan dunia nyata, dan memungkinkan kami membangun lebih banyak otomatisasi tugas untuk berinteraksi lebih baik dengan lingkungan dunia nyata. Komputasi di mana-mana, komputasi pervasif, dan kecerdasan ambien baru-baru ini tampaknya menjadi tujuan paling menantang dan utama dari proses digitalisasi. Proses otomatis diharapkan ada di sekitar kita untuk membangun apa yang disebut "dunia pintar", di mana yang nyata dan dunia maya hidup berdampingan. Di sini bukan hanya orang yang berkomunikasi melalui jaringan tetapi setiap objek atau hal yang terhubung yang terlibat dalam proses tertentu, dengan dan

tanpa campur tangan manusia, akan berkomunikasi dan menghasilkan lalu lintas di jaringan. Komputasi di mana-mana menjadi tertanam di mana-mana dan diprogram untuk bertindak secara otomatis tanpa pemicu manual; itu hanya ada di mana-mana.

Internet of Things (IoT) entah bagaimana merupakan jalan terdepan menuju dunia pintar dengan komputasi dan jaringan di mana-mana untuk memudahkan berbagai tugas di sekitar pengguna dan menyediakan tugas lain, seperti pemantauan mudah berbagai fenomena di sekitar kita. Dalam IoT, lingkungan dan barang-barang dari kehidupan sehari-hari, yang disebut "benda", "benda", atau "mesin" ditingkatkan dengan teknologi komputasi dan komunikasi. Mereka bergabung dalam kerangka komunikasi, memenuhi berbagai layanan berdasarkan interaksi orang-ke-orang, orang-ke-mesin, mesin-ke-orang, dan mesin-ke-mesin menggunakan komunikasi kabel dan nirkabel. Mesin atau objek/benda yang terhubung ini akan menjadi pengguna Internet atau jaringan baru dan akan menghasilkan lalu lintas data dari IoT yang muncul. Mereka akan melakukan layanan baru yang akan dilakukan oleh Internet saat ini atau masa depan .

Fungsionalitas baru, sebagian besar terinspirasi oleh indra manusia, akan diperkenalkan di jaringan, seperti mengidentifikasi, menemukan, merasakan, memutuskan, menggerakkan dan bertindak, membangun lebih banyak otomatisasi tugas dan membentuk dunia virtual di seluruh dunia nyata. Ini akan dimungkinkan dengan pengenalan teknologi seperti RFID atau sensor tetapi juga teknologi lain, seperti robotika, nanoteknologi, dan lainnya. Teknologi ini menjadikan layanan IoT sebagai bidang interdisipliner di mana sebagian besar indera manusia entah bagaimana direproduksi dan diganti di dunia virtual ini.

Banyak masalah teknis, penelitian, ekonomi, dan sosial terkait dengan IoT. Dalam buku ini *The Internet of Things* kami telah mengambil lebih banyak "pandangan terkait

jaringan", untuk menyatukan pengetahuan terkini yang terkait dengan apa arti objek yang terhubung; apa arti Internet dalam IoT; masalah standardisasi dan tata kelola IoT dijelaskan; apa teknologi IoT yang memungkinkan (yang paling dekat dengan pasar dijelaskan secara rinci, terutama RFID untuk mengidentifikasi dan melacak objek, sensor untuk merasakan lingkungan dan menggerakkan). Teknologi RFID dan sensor keduanya menggunakan konektivitas nirkabel.

Kami juga telah menjelaskan teknologi komunikasi saluran listrik yang digunakan untuk jaringan rumah, di mana ide membangun rumah pintar dengan menghubungkan objek pintar di rumah, seperti kulkas pintar, TV pintar, dll. muncul sebelum kami mulai menggunakan terminologi IoT. Layanan yang dikembangkan di jaringan rumah juga merupakan bagian dari layanan IoT, tetapi tidak memiliki masalah konektivitas yang sama seperti RFID atau sensor, yaitu perangkat kecil dengan sumber daya terbatas (memori, prosesor, dan yang terpenting, baterai). Kami tidak mengabaikan masalah lain yang terkait dengan IoT, seperti kebutuhan komputasi berkinerja tinggi, kebutuhan pemrosesan yang lebih cepat, dan keterbatasan fisika komponen dalam meningkatkan kecepatan prosesor, dll. untuk menghadapi miliaran objek yang diharapkan terhubung dan menghasilkan lalu lintas dalam jaringan. Disiplin penelitian lain harus bekerja dan berinteraksi dengan komunitas jaringan untuk membangun komputasi di mana-mana dan merancang layanan dan jaringan IoT.

Penting untuk mengklarifikasi pada tahap ini apa objek dan apa itu Internet di IoT, karena pandangan yang berbeda ada di komunitas (lihat Bab 1). Sebenarnya, sebuah objek atau sesuatu dalam apa yang disebut IoT memiliki interpretasi yang berbeda, tetapi terutama itu berarti produk atau item apa pun yang ditingkatkan dengan teknologi komunikasi, seperti RFID atau sensor, atau teknologi komunikasi lain yang muncul. Itu juga bisa merujuk ke perangkat klasik, seperti komputer atau telepon.

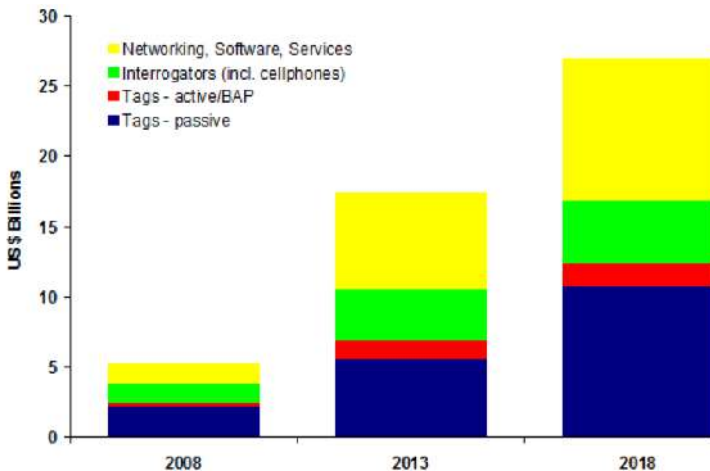
Namun, dalam buku ini, kami menggunakan istilah objek atau benda yang tidak termasuk kategori ini, karena perangkat ini memiliki sumber daya komputasi yang cukup dan sudah menjalankan Internet sebagai model komunikasi untuk berbagai layanan yang tidak secara otomatis menyertakan informasi dari dunia nyata. Sebuah objek, seperti yang dijelaskan dalam buku ini, dapat berkisar dari ukuran yang sangat kecil, seperti atom, hingga sebesar bangunan; itu bisa juga hidup dan bergerak, seperti binatang, atau tidak hidup, seperti benda apa pun dalam kehidupan sehari-hari (meja, buku, pena, pohon, dll.). Layanan yang ditawarkan bervariasi tergantung pada ukuran objek, apakah itu statis atau bergerak, hidup atau mati. Ini ditingkatkan dengan konektivitas dan/atau beberapa kemampuan intelijen dan bergabung dengan komunikasi jaringan memungkinkan informasi lingkungan dunia nyata untuk diproses oleh layanan IoT.

Adapun objek atau benda, Internet di IoT saat ini memiliki interpretasi yang berbeda. Kita dapat menganggap jaringan Internet saat ini sebagai jaringan yang mendukung transportasi lalu lintas jarak jauh yang dihasilkan oleh objek yang terhubung atau jaringan objek dari layanan IoT melalui gateway khusus. Kita juga dapat melihatnya sebagai model komunikasi IP yang diadaptasi untuk menangani komunikasi antar objek dalam jaringan objek, seperti pada jaringan sensor. Contoh adaptasi IP ke jaringan dengan kebutuhan yang berbeda adalah IPv6, yang disesuaikan dengan perangkat kecil dengan keterbatasan sumber daya, khususnya keterbatasan energi, seperti yang dijelaskan dalam Bab 3.

Kita juga dapat melihat IoT sebagai bagian dari beberapa fungsi yang dikembangkan oleh komunitas Internet, seperti layanan resolusi penamaan; server nama domain) yang dapat berfungsi untuk menyelesaikan korespondensi pengenalan objek (misalnya identifikasi frekuensi radio) ke alamat tertentu dalam jaringan yang mungkin memicu aplikasi atau layanan tertentu. Kita bisa melihatnya hanya sebagai kata buzz,

mengacu pada konektivitas objek tetapi tidak pada model IP atau jaringan internet saat ini. Dalam hal ini IoT dapat disebut jaringan objek karena konektivitas dapat mengikuti model komunikasi yang ada atau yang akan datang. Interpretasi lain mungkin ada, tetapi penting untuk menghindari panggilan aplikasi apa pun yang mengatur teknologi baru, seperti RFID, sensor, robotika, dll. IoT tanpa dukungan apa pun dari fungsi kerja Internet saat ini atau di masa mendatang, seperti pengalaman terukur atau perutean antara node yang terhubung.

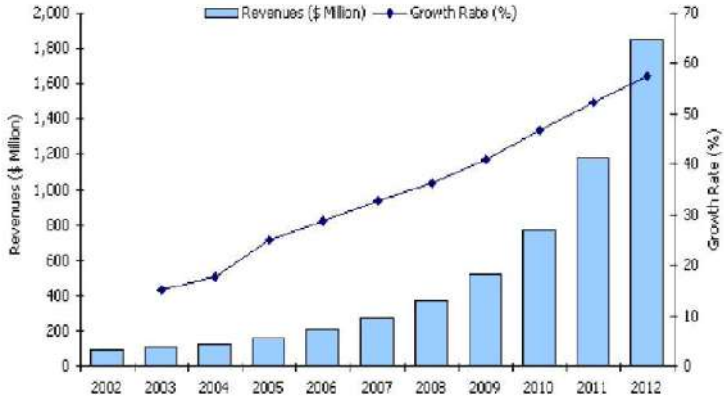
Penting juga untuk mengingatkan diri kita sendiri bahwa pada awalnya visi IoT muncul dalam proses membawa otomatisasi yang lebih besar dalam rantai pasar produk menggunakan RFID, dan komunitas lain menjadi tertarik dengan teknologi ini, seperti komunitas telekomunikasi. Faktanya, teknologi RFID (lihat Bab 2), yang diperkenalkan untuk menggantikan kode batang, memiliki perkiraan pasar yang sangat menjanjikan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar C.1.



Gambar C.1. Ramalan pasar RFID

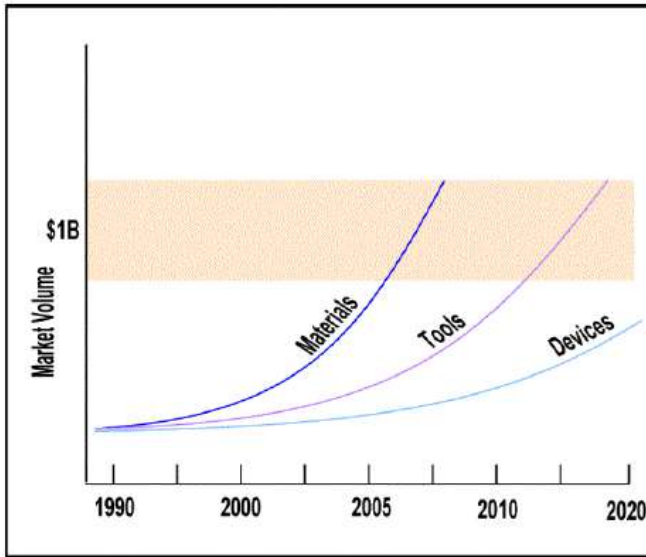
Berdasarkan prediksi pasar RFID yang menjanjikan, operator jaringan, baik tetap maupun bergerak, kami telah memperkirakan minat untuk menggunakan teknologi tersebut dalam rantai komunikasi dengan memperkenalkan objek terhubung baru yang dapat berinteraksi dengan objek yang sudah ada, seperti ponsel. Ini akan memungkinkan pengembangan layanan baru; sehingga menghasilkan aliran pendapatan baru dengan lalu lintas yang diangkut oleh jaringan ini. Masalah teknis yang terkait dengan pengintegrasian teknologi ini dalam jaringan yang ada (misalnya Internet), seperti pengalamatan, identifikasi, perutean, pengamanan, dll. telah diserahkan kepada komunitas penelitian. Pada titik ini beberapa aplikasi dapat muncul sebagai tag sentuh dengan ponsel dan pemicu yang mendukung pembaca RFID. Beberapa hal, seperti Internet saat ini, membuat model jaringan tidak berubah, sehingga kita belum menghadapi masalah skalabilitas dan heterogenitas dalam menghubungkan miliaran objek berbeda seperti yang diharapkan oleh IoT.

Bahkan, di IOT diharapkan, akan ada lebih banyak benda terhubung daripada orang, dan lalu lintas yang dihasilkan oleh layanan IOT perlu harus ditangani mengikuti suatu tertentu bisnis model yang. Itu rantai nilai telekomunikasi harus berkembang untuk memasukkan peserta baru, seperti identifikasi, penginderaan, dan otomatisasi proses. Di antara mereka, produsen RFID, sensor, robotika, dan barang-barang nanoteknologi terdaftar sebagai teknologi pendukung utama di IoT dan akan bergabung dengan rantai nilai. Sekali lagi, ramalan pasar untuk teknologi ini sangat menjanjikan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar C.1 untuk RFID, Gambar C.2 untuk sensor dan Gambar C.3 untuk nanoteknologi dan robotika. Nanoteknologi dan robotika tidak disajikan dalam buku ini karena kami telah memilih untuk menggambarkan teknologi terkait IoT yang paling dekat dengan pasar, seperti RFID dan sensor.

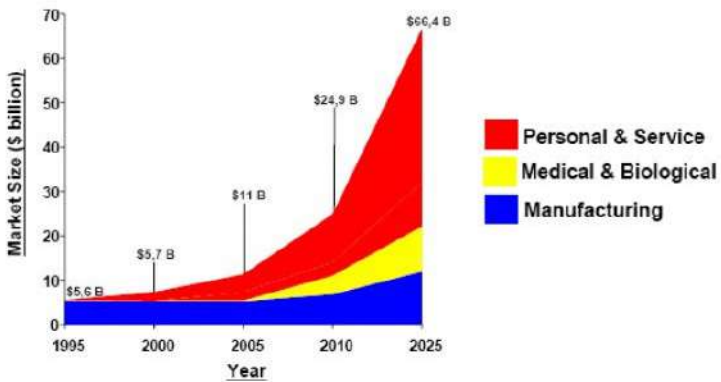


Gambar C.2. Prakiraan pasar sensor

Berdasarkan perkiraan pasar ini, telah ditetapkan bahwa mengintegrasikan teknologi ini untuk membangun layanan IoT layak secara ekonomi. Inilah sebabnya mengapa perusahaan telekomunikasi yang berbeda, seperti perancang ponsel, tertarik untuk berpartisipasi dalam integrasi teknologi yang berbeda, seperti RFID dan sensor, untuk menyediakan layanan yang memungkinkan akses ke layanan IoT baru.



(a)



(b)

Gambar C.3. Prakiraan pasar teknologi baru lainnya:
(a) nanoteknologi; dan (b) robotika

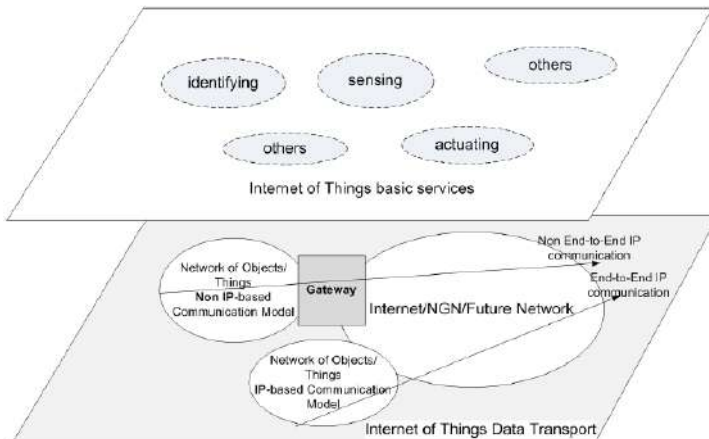
Perhatikan bahwa, bahkan jika beberapa masalah penelitian terkait dengan pengenalan teknologi ini di jaringan, seperti pengalamatan objek, kinerja dan skalabilitas, keamanan, privasi, tata kelola, dan standarisasi, layanan IoT generasi pertama sangat dekat dengan pasar. Layanan ini terutama didasarkan pada teknologi RFID dan aplikasi sentuh dan pemicu. Jenis aplikasi ini terutama didukung oleh operator telepon seluler di mana telepon adalah integrator RFID dan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Contoh aplikasi semacam itu adalah pembayaran otomatis di ponsel. Dengan touch-a-tag, berbagai aplikasi dapat dikembangkan yang meningkatkan otomatisasi dalam kehidupan kita sehari-hari, membuat segalanya lebih mudah bagi pengguna.

Menggabungkan fasilitas jaringan, seperti komunikasi jaringan seluler dengan objek yang terhubung untuk menawarkan layanan tertentu, menunjukkan bahwa Internet saat ini dan masa depan akan berfungsi sebagai jaringan transportasi untuk layanan baru ini. Layanan baru, seperti layanan IoT, akan ditambahkan ke layanan yang sudah ada (suara, data, dan video). Untuk menambahkan lalu lintas layanan IoT di jaringan ini, properti lalu lintas harus diidentifikasi dan kemudian dipenuhi oleh model komunikasi, seperti model Internet atau IP. Oleh karena itu jelas ada kebutuhan untuk pemodelan lalu lintas IoT selain bagaimana objek yang terhubung melakukan identifikasi dan pengalamatan, dan skalabilitas dan kompleksitas model, seperti yang disajikan dalam pengantar buku ini .

Karena salah satu tujuan dari konvergensi telekomunikasi ke semua IP adalah untuk meminimalkan biaya operator dan memaksimalkan pendapatan; pendekatan berorientasi layanan, seperti di IMS (subsistem multimedia IP), menarik untuk mengembangkan peluang baru, seperti layanan IoT. Dengan mengadopsi pendekatan berorientasi layanan, layanan akan dapat diakses oleh pengguna atau objek melalui teknologi akses apa pun. Ini adalah lapisan abstraksi layanan yang memberikan

lebih banyak fleksibilitas kepada pengguna. Dalam kasus IoT, seperti yang ditunjukkan pada Gambar C.4, kita perlu memasukkan fungsionalitas baru di lapisan abstraksi layanan dan memanfaatkan jaringan transportasi apa pun di Internet saat ini atau jaringan apa pun yang dapat mengangkut lalu lintas yang dihasilkan.

Terakhir, jalan menuju konvergensi ini akan dimulai dengan mempertimbangkan IP atau versi IP yang diadaptasi untuk menangani layanan IoT generasi pertama yang masih berpusat pada pengguna. Penyebaran besar-besaran dalam jangka pendek dan menengah dari layanan IoT ini akan dimungkinkan oleh penerimaan masyarakat terhadap teknologi baru, seperti RFID (yang merupakan salah satu teknologi yang memungkinkan untuk sebagian besar layanan IoT yang menarik) dengan masalah privasi dan dengan teknologi baru yang menjanjikan. pendapatan dalam rantai nilai yang berpusat pada pengguna.



Gambar C.4. Pendekatan berorientasi layanan IoT

Dalam jangka panjang, model komunikasi baru mungkin akan muncul mengikuti perkembangan Internet/jaringan pasca-

IP dan masa depan. Layanan IoT generasi berikutnya akan secara alami digunakan, menjadi berpusat pada pengguna tetapi sebagian besar berpusat pada objek di mana kebutuhan skalabilitas jaringan akan meningkat. Diharapkan lebih dari satu miliar objek akan terhubung dan diatur oleh aplikasi IoT, dengan fokus pada peningkatan otomatisasi tugas dan pemantauan lingkungan dunia nyata untuk meningkatkan kehidupan manusia.

Kami menyimpulkan buku ini dengan mengatakan bahwa setelah identifikasi teknologi, masalah, dan tantangan utama yang mendukung IoT, langkah selanjutnya adalah desain arsitektur jaringan dan kerangka kerja untuk mendukung aplikasi IoT masa depan secara efisien. Ini akan membentuk konsep jaringan masa depan dan fungsionalitas Internet masa depan. Hanya masa depan yang akan menunjukkan betapa suksesnya layanan IoT! Sementara itu, masyarakat tidak terlalu menyambut layanan IoT tertentu, terutama yang mengusulkan untuk menggunakan teknologi RFID untuk tugas otomatis tanpa pandangan yang jelas tentang bagaimana melindungi privasi seseorang, melindunginya dari pelacakan, dan mengelola informasi terkait privasi lainnya. Ini masalah perlu untuk harus ditangani sebelum seperti layanan menjadi digunakan di situasi sehari-hari. Namun, layanan IoT lainnya sangat dekat dengan pasar, seperti aplikasi touch-a-tag dan layanan pemantauan berbasis sensor atau jaringan rumah .

Daftar Pustaka

[AUT] AUTO-ID LABS, “Architecting the Internet of Things”, tersedia di: <http://www.autoidlabs.org/>, diakses 19 Februari 2010.

[BEN 09] BENHAMOU B., “Internet of Things. Tantangan teknologi, ekonomi dan politik”, *Revue ESPRIT*, hlm. 1-14, 2009.

[CAS 08] Laporan sementara proyek CASAGRAS . September 2008 , proyek EU Framework 7, 2008. (Tersedia di: <http://www.rfidglobal.eu/userfiles/documents/CASAGRAS%20Report.pdf>, diakses 19 Februari 2010.)

[CHA 09] CHAOUCHI H., “Internet of Things, the path to convergence continue”, Makalah Undangan pada Sesi Khusus tentang Internet of Things Diselenggarakan bersama dengan Konferensi Internasional IFIP WMNC 2009 , Gdansk, 2009.

[EUR 08] EURESCOM, “Portal internet masa depan Eropa”, Eurescom GmbH, 2008. (Tersedia di: <http://www.future-internet.eu/>, diakses 19 Februari 2010.)

[FIN 10] YAYASAN ILMU NASIONAL, “FIND – NSF NeTS FIND Initiative”, University of Minnesota, 2010. (Tersedia di: <http://www.nets-find.net/>, diakses 19 Februari 2010.)

[FLO 08] FLOERKEMEIER C., dkk . “Internet of Things”, Prosiding Konferensi Internasional Pertama , LNCS 4952, IoT 2008, Zurich, Maret 2008, hlm. 1-377, 2008.

[GEN 10] GENI, “Menjelajahi jaringan masa depan”, BBN-Technologies, 2010. (Tersedia di: <http://www.geni.net/>, diakses 19 Februari 2010.)

[HOD 01] HODGES S., Auto-ID: Penggabungan Atom dengan Bits di Seluruh Dunia , Institute for Manufacturing, 2001. (Tersedia di: <http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/automation/>, diakses 19 Februari 2010.)

[IET 08] SATGAS TEKNIK INTERNET (IETF), “status 6 rendah halaman”, 1 September 2008. (Tersedia di: <http://tools.ietf.org/wg/6lowpan/>, diakses 19 Februari 2010.)

[IET 08b] SATGAS TEKNIK INTERNET (IETF), “Gulung halaman status”, 15 Februari 2008. (Tersedia di: <http://tools.ietf.org/wg/roll/>, diakses 19 Februari 2010.)

[IoT 05] ITU, Internet of Things, Unit Strategi dan Kebijakan (SPU) ITU, November 2005.

[IoT 08] INTERNET OF THINGS, “Konferensi Internasional untuk Industri dan Akademisi” (situs web), ETH Zurich 2008. (Tersedia di: <http://www.iot2008.org/>.)

[IPS] IPSO ALLIANCE, “IPSO Alliance: mempromosikan penggunaan IP untuk objek pintar”, 2009. (Tersedia di: <http://www.ipso-alliance.org>, diakses 19 Februari 2010.)

[ISO] ORGANISASI INTERNASIONAL UNTUK STANDARDISASI.

<http://www.iso.org> (diakses 19 Februari 2010).

[PAP 09] PAPAPOSTOLOU A., CHAOUCHI H., "Mengeksploitasi multi-modalitas dan keragaman untuk peningkatan lokalisasi: WiFi & RFID usecase", IEEE PIMRC, Tokyo, Jepang, 2009.

[PAP 10] PAPAPOSTOLOU A., CHAOUCHI H., “Pertimbangan RFIC untuk IP peningkatan mobilitas”, Konferensi Komunikasi & Jaringan Nirkabel, Sydney, Australia, 18-21 April 2010.

[TOU] TOUCHATAG, situs web, tersedia di: <http://www.touchatag.com>, diakses 19 Februari 2010.

[YAN 08] YAN L., et al., Internet of Things, Dari RFID ke Sistem Jaringan Pervasif Generasi Berikutnya, Publikasi Auerbach, 2008.

[FIN 03] Finkenzeller K., RFID Handbook, 2 nd edition, John Wiley and Sons, 2003.

[GAR 06] GARFINKEL S., ROSENBERG B. (eds), Aplikasi RFID, Keamanan dan Privasi, Addison-Wesley, 2006.

[PAR 05] PARET D., RFID dan Aplikasi Kartu Pintar Tanpa Kontak, John Wiley & Sons, 2005.

[ALK 04] AL-KARAKI JN KAMAL AE, “Teknik perutean dalam jaringan sensor nirkabel Sebuah survei”, IEEE Wireless Communications, vol. 11, tidak. 6, hal. 6–28, 2004.

[BAC 06] BACHIR A., BARTHEL D., HEUSSE M., DUDA A., “Micro-frame pembukaan MAC untuk jaringan sensor nirkabel multihop”, Konferensi Internasional tentang Komunikasi (ICC), Istanbul, Turki, IEEE, 2006.

[BAC 09] BACHIR A., DOHLER M., WATTEYNE T., LEUNG KK, “MAC penting untuk jaringan sensor nirkabel”, IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2010 mendatang.

[BOS 99] BOSE P., MORIN P., STOJMENOVIC I., URRUTIA J., “Perutean dengan jaminan pengiriman dalam jaringan nirkabel ad hoc”, Lokakarya Internasional ACM ke-3 tentang Algoritma dan Metode Diskrit untuk Komputasi dan Komunikasi Seluler (DIAL), hlm. 48–55, Seattle, WA, AS, ACM, 1999.

[BRO 06] BROWNFIELD MI, MEHRJOO K., FAYEZ AS, DAVIS NJI, “Protokol MAC adaptif energi jaringan sensor nirkabel”, Konferensi Komunikasi dan Jaringan Konsumen (CCNC), hal. 778–782, IEEE, 2006.

[BUE 06] BUETTNER M., YEE, GARY V., ANDERSON E., HAN R., “X-MAC: A pembukaan protokol MAC singkat untuk jaringan sensor nirkabel duty-cycled”. Konferensi Internasional ke-4 tentang Sistem Sensor Jaringan Tertanam (SenSys), Boulder, Colorado, AS, ACM, 2006.

[CHA 08] CHAKERES I., PERKINS C., “Dynamic MANET on-demand (DYMO) perutean”, draft-Internet, IETF MANET, draft-ietf-manet-dymo-16., 2008.

[DEM 06] DEMIRKOL, I., ERSOY, C., ALAGOZ, F., "protokol MAC untuk jaringan sensor nirkabel survei", IEEE Communications Magazine, vol. 6, hal. 115-121, 2006.

[DOH 07] DOHERTY L., LINDSAY W., SIMON J., “Data jalur jaringan sensor nirkabel khusus saluran”, Konferensi Internasional ke-16 tentang Komunikasi dan Jaringan Komputer (ICCCN), hlm. 89–94, Resor Teluk Penyau, Honolulu, Hawaii, AS, IEEE, 2007.

[DOL 07] DOHLER M., BARTHEL D., MARANINCHI F., MOUNIER L., AUBERT S., DUGAS C., BUHRIG A., PAUGNAT F., REN AUDIN M., DUDA

A., HEUSSE M., VALOIS F., "Proyek ARESA: memfasilitasi penelitian, pengembangan, dan komersialisasi WSN", Konferensi Masyarakat Komunikasi IEEE Tahunan ke-4 tentang Komunikasi dan Jaringan Sensor, Mesh dan Ad Hoc (SECON), hal. 590–599, San Diego, CA, AS, 2007.

[FIN 87] FINN GG, “Perutean dan pengalaman masalah dalam pekerjaan Internet skala metropolitan besar”, Laporan Teknis ISI/RR-87-180, Institut Ilmu Informasi, 1987.

[GAB 69] GABRIEL K., SOKAL R., "Pendekatan statistik baru untuk analisis variasi geografis", Zoologi Sistematis, vol. 18, hal. 259–278, 1969.

[GNA 09] GNAWALI O., FONSECA R., JAMIESON K., MOSS D., LEVIS P.,

“Protokol pohon koleksi”, Konferensi ACM ke-7 tentang Sistem Sensor Jaringan Tertanam (SenSys), Berkeley, CA, AS, ACM, 2009.

[GUR 04] GURA N., PATEL A., WANDER A., EBERLE H., SHANTZ SC,

“Membandingkan kriptografi kurva eliptik dan RSA pada CPU 8-bit”, *Cryptographic Hardware and Embedded Systems (CHES)*, hal. 119-132, 2004.

[802.15.4] IEEE, “Bagian 15.4: Spesifikasi Wireless Medium Access Control (MAC) dan Physical Layer (PHY) untuk Jaringan Area Pribadi Nirkabel Tingkat Rendah (WPAN), ” Standar IEEE untuk Teknologi Informasi – Telekomunikasi dan Pertukaran Informasi Antar Sistem – Jaringan Area Lokal dan Metropolitan – Persyaratan khusus, IEEE, 2006.

[802.15.1] IEEE, “Bagian 15.1: Spesifikasi Wireless Medium Access Control (MAC) dan Physical Layer (PHY) untuk Jaringan Area Pribadi Nirkabel (WPAN)”, Standar IEEE untuk Teknologi Informasi – Telekomunikasi dan Pertukaran Informasi Antar Sistem – Lokal dan Jaringan area metropolitan – Persyaratan Khusus, 2005.

[802.11] IEEE, “Bagian 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) spesifikasi”, IEEE Standard for Information Technology – Telekomunikasi dan Pertukaran Informasi Antar Sistem – Local and Metropolitan area Networks – Specific Requirement, IEEE, 2007.

[ISA 09] International Society of Automation, ISA-100.11a-2009: Sistem Nirkabel untuk Otomasi Industri: Kontrol Proses dan Aplikasi Terkait, IHS, 2009.

[JOH 07] JOHNSON D., HU Y., MALTZ D., “Protokol Perutean Sumber Dinamis (DSR) untuk Jaringan Ad Hoc Seluler untuk IPv4”, RFC 4728, IETF, 2007.

[KIM 05] KIM Y.-J., GOVINDAN R., KARP B., SHENKER S., “Perutean geografis

dibuat praktis”, 2nd Symposium on Networked Systems Design & Implementation (NSDI), hlm. 217–230, Boston, MA, AS, ACM, 2005.

[KIM 08] KIM Y., SHIN H., CHA H., “Y-MAC: Protokol MAC multialuran hemat energi untuk jaringan sensor nirkabel

padat”, Konferensi Internasional tentang Pemrosesan Informasi di Jaringan Sensor (IPSN) , hlm. 53–63, St. Louis, Missouri, AS, IEEE, 2008.

[LAN 05] LANGENDOEN K., HALKES G., “Kontrol akses media hemat energi”, Buku Pegangan Sistem Tertanam , CRC press, hal. 1-31 2005.

[LAN 09] LANZISERA S., “Rentang RF untuk kesadaran lokasi”, tesis PhD, University of California, Berkeley, 2009.

[LEV 04] LEVIS P., PATEL N., DAVID C., SHENKER S., “Trickle: A self-

mengatur algoritma untuk propagasi dan pemeliharaan kode dalam jaringan sensor nirkabel”, Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI) , San Francisco, CA, USA, 2004.

[LEV 09] LEVIS P., TAVAKOLI A., DAWSON-HAGGERTY S., “Ikhtisar

protokol routing yang ada untuk jaringan berdaya rendah dan lossy”, draft IETF, IETF ROLL. draft-ietf-rollprotocols-survey-07 (sedang berlangsung), 2009.

[LIN 04] LIN E.-Y., RABAEY J., WOLISZ A., "Skema pertemuan hemat daya untuk jaringan sensor nirkabel padat", Konferensi Internasional IEEE tentang Komunikasi , vol. 7, hal. 3769–3776, Paris, Prancis, 2004.

[PER 03] PERKINS C., BELDING-ROYER E., DAS S., “Ad hoc sesuai permintaan

perutean vektor jarak (AODV), RFC 3561, IETF, 2003.

[PIS 08] PISTER K., DOHERTY L., "TSMP: Protokol mesh sinkronisasi waktu", Komputasi dan Sistem Paralel dan Terdistribusi (PDCS), Orlando, Florida, AS, 2008.

[POL 04] POLASTRE J., HILL J., CULLER D., “Akses media berdaya rendah serbaguna untuk jaringan sensor nirkabel”, Konferensi ACM Kedua tentang Sistem Sensor Jaringan Tertanam (SenSys) , hlm. 95–107, Baltimore, MD, AS, 2004.

[RAJ 03] RAJENDRAN V., OBRACZKA K., GARCIA-LUNA-ACEVES J.,

“Kontrol Akses Medium Hemat Energi, Bebas Tabrakan untuk Jaringan Sensor Nirkabel”, SenSys , Los Angeles, CA, AS, ACM, 2003.

[RPL 10] “RPL: Protokol perutean IPv6 untuk jaringan berdaya rendah dan lossy”, RPL, akan datang.

[SCH 01] SCHURGER C., SRIVASTAVA MB, “Perutean hemat energi dalam jaringan sensor nirkabel”, Military Communications Conference (MILCOM) , vol.1, hal. 357–361, McLean, VA, AS, IEEE, 2001.

[STO 05] STOJMENOVIC I., OLARIU S., "Perutean geografis dan sadar energi dalam jaringan sensor", Buku Pegangan Jaringan Sensor: Algoritma dan Arsitektur , John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, hal. 381–416, 2005.

[TAN 02] Tanenbaum AS, Jaringan Komputer , 4 th edition, Prentice Hall, 2002.

[WAT 09] WATTEYNE T., LANZISERA S., MEHTA A., PISTER K., Mitigasi

Multipath Fading melalui Channel Hopping di Jaringan Sensor Nirkabel , sedang ditinjau, 2009.

[wHA 08] HART, Spesifikasi Protokol Komunikasi Lapangan HART, Revisi 7.1, Spesifikasi DDL, HART 2008.

[YE 05] YE F., ZHONG G., LU S., ZHANG L., “GRADient Broadcast: Protokol pengiriman data yang kuat untuk jaringan sensor skala besar”, ACM Wireless Networks, vol. 11, hal.285–298, 2005.

[YE 06] YE W., SILVA F., HEIDEMANN J., “MAC siklus tugas sangat rendah dengan polling saluran terjadwal”, Konferensi ACM ke-4 tentang Sistem Sensor Jaringan Tertanam (SenSys) , hlm. 321–334, Boulder, Colorado, AS, ACM, 2006.

[ADA 01] ADAIR M., Proyek Easy X10 untuk Membuat Rumah Pintar , Technica Pacifica, 2005.

[CAL 02] CALLAWAY E., GORDAY P., HESTER L., GUTIERREZ JA, NAEVE

M., HEILE B., BAHL V., "Jaringan rumah dengan IEEE 802.15.4: standar pengembangan untuk jaringan area nirkabel tingkat rendah", *Majalah Komunikasi IEEE* , vol. 40, hal. 70-77, 2002.

[COM 06] COMER DE, *Internetworking Dengan TCP/IP Volume 1: Protokol Prinsip , dan Arsitektur (edisi ke- 5)* , Pearson Prentice Hall, 2006.

[COO 03] COOK D., YOUNGBLOOD M., HEIERMAN E., GOPALRATNAM K.,

RAO S., LITVIN A., KHAWAJA F., *MavHome: Rumah Cerdas Berbasis Agen , Komputasi dan Komunikasi Pervasif (PerCom 2003)*, hlm. 521-524, 2003.

[HAR 03] HARPER R., *Di dalam Rumah Pintar* , Springer, 2003.

[HGI 06] HOME GATEWAY INISIATIF, *Persyaratan Teknis Home Gateway : Rilis 1* , HGI, 2006. (Tersedia di: <http://www.homegatewayinitiative.org/>, diakses 22 Februari 2010.)

[LES 99] LESSER V., ATIGHETCHI M., BENYO B., HORLING B., RAJA A.,

VINCENT R., WAGNER T., PING X., ZHANG SX, "Testbed rumah yang cerdas", *Prosiding Lokakarya Perangkat Lunak Kontrol Otonomi* , 1999.

[MIL 01] MILLER BA, NIXON T., WOOD C., "Jaringan rumah dengan plug and Play universal", *Majalah Komunikasi IEEE* , vol. 39, hlm. 104-109, 2001.

[ONS 08] GS1, *EPCGLOBAL OBJECT NAME SERVICE (ONS)*, 2008. (Tersedia

di: <http://www.epcglobalinc.org>, diakses 22 Februari 2010.)

[PLC 09] CARCELLE X., *Komunikasi Powerline dalam Praktek* , ArtechHouse, 2009.

[RFC 07a] KUSHALNAGAR N., MONTENEGRO G., SCHUMACHER C., *IPv6*

melalui Jaringan Area Pribadi Nirkabel Berdaya Rendah (6LoWPANs): Gambaran Umum, Asumsi, Pernyataan Masalah, dan Tujuan, Satuan Tugas Teknik Internet, 2007.

[RFC 07b] MONTENEGRO G., KUSHALNAGAR N., HUI J., CULLER D.,

Transmisi Paket IPv6 melalui Jaringan IEEE 802.15.4, Satuan Tugas Teknik Internet, September 2007.

[REM 05] REMAGNINO P., FORESTI GL, "Ambient intelligence: a new multidisciplinary paradigm", IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, vol. 35, no.1, hlm. 1-6, 2005.

[AUT 09] AUTOIDLABS, "Architecting the Internet of Things", 2009. (Tersedia di <http://www.autoidlabs.org/>, diakses 22 Februari 2010.)

[BIO 09] BIOMARK, "RFID for animal", 2009. (Tersedia di <http://www.biomark.com>, diakses 22 Februari 2010.)

[BUR 09] BURKE P., "Menuju sistem RFID implan chip tunggal: apakah radio sel tunggal mungkin?", Departemen Teknik Elektro dan Ilmu Komputer, University of California, Irvine, Biomed Microdevices, diterbitkan online, 24 Januari 2009. (Tersedia di: <http://nano.ece.uci.edu/papers/BurkeRFID.pdf>, diakses 22 Februari 2010.)

[CAE 09] CAEN, RFID semi-pasif dengan sensor suhu, CAEN, 2009. (Tersedia di: <http://www.caen.it>, diakses 22 Februari 2010.)

[CHE 09] CHEN S., "Desain antena tag RFID miniatur untuk aplikasi objek logam", Antena IEEE dan Surat Propagasi Nirkabel, vol. 8, hlm. 1043-1045, 2009.

[CHI 09] CHIA M., CHEE P., LOKE W., YIN JC, ANG K., LEONG S., CHEE K.,

PEH A., "Electronic beam-steering IC for multimode and multiband RFID", Transactions on Microwave Theory and Techniques , vol. 57, tidak. 5, 1310-1319, 2009.

[DES 09] DESTRONFEARING, "RFID for animal tracking", 2009. (Tersedia di: <http://www.destronfearing.com/cattle.php>, diakses 22 Februari 2010.)

[DIM 05] DIMITRIOU T., "Protokol RFID ringan untuk melindungi dari keterlacakan dan serangan kloning", Konferensi IEEE Pertama tentang Keamanan dan Privasi untuk Area Berkembang di Jaringan Komunikasi (SecureComm '05), Athena, Yunani, September 2005.

[DU 09] DU C., HAN S., Mengintegrasikan Jaringan EPCglobal dengan Layanan Web, Sekolah Manajemen, Universitas Xiamen Xiamen, 361005, PR China, IEEE, 2009.

[EPC 09] EPCGLOBAL, 2009. (Tersedia di <http://www.epcglobalinc.org>, diakses 22 Februari 2010.)

[FLO 08] Floerkemeier C., "Internet of Things", Konferensi Internasional Pertama , IoT 08, LNCS 4952 Prosiding , Zurich, Swiss, 26-28 Maret 2008.

[FUT] PORTAL INTERNET MASA DEPAN EROPA , tersedia di:

<http://www.future-internet.eu/activities.html>, diakses 22 Februari 2010. [GEN] GENI, tersedia di: <http://www.geni.net/>, diakses 22 Februari 2010.

[HAR 09] HARTMANN P., "Sistem RFID pasif berbasis SAW untuk digunakan pada persenjataan", Konferensi Internasional IEEE tentang RFID, 27-28 April 2009, Orlando FL, USA, hal. 291-297, 2009.

[ISO 09] ISO , tersedia di: <http://www.iso.org>, diakses 22 Februari 2010.

[ITU 09] ITU, ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things Executive Summary , International Telecommunication Union (ITU), Jenewa, 2005.

[KIM 07] KIM K., SONG L., KIM D., HU H., PARK L., “Tag RFID berbentuk garpu antena yang dapat dipasang pada permukaan logam,” *Electron. Lett.* , vol. 4, tidak. 25, hal. 1400-1402, 2007.

[KLA 09] KLAIR K., CHIN K., RAAD R., Survei dan Tutorial Protokol Anti- Tabrakan RFID, Survei dan Tutorial Komunikasi IEEE, 31 Januari 2009.

[KWO 05] KWON H., LEE B., "Tag RFID F-F-F RFID dengan slot slot yang ringkas dapat dipasang pada benda logam", *Electron. Lett.*, vol. 41, tidak. 24, hal. 1308-1310, 2005.

[LAW 00] HUKUM C., LEE K., SIU K., “Protokol tanpa memori yang efisien untuk identifikasi tag”, Lokakarya Internasional ke-4 tentang Algoritma dan Metode Diskrit untuk Komputasi dan Komunikasi Seluler , (Toronto, CA), hlm. 75–84, Agustus 2000.

[MET 09] METRO RFID <http://www.future-store.org/>, 2009.

[MIF 09] MIFARE, <http://mifare.net/>, diakses 22 Februari 2010.

[MIL 08] MILES SS, SARMA E., WILLIAMS J., Teknologi RFID dan Aplikasi , Institut Teknologi Massachusetts, Cambridge University Press, hal. 23, 2008.

[MOD 09] MODY A., AKRAM M., RONY K., AMAN M., KAMOUA R.,

Meningkatkan Pengalaman Pengguna di Museum menggunakan Ponsel Pintar dengan RFID , IEEE, 2009.

[NOK 09] NOKIA, <http://europe.nokia.com/find-products/devices/nokia-6212-classic/specifications>, diakses 22 Februari 2010.

[ODI 09] Teknologi ODIN, Panduan Harga Tag RFID . Mei 2009. (Tersedia di: <http://www.odintechnologies.com>, diakses 22 Februari 2010.)

[PAN 09] PAN Y., WANG Z., HU Q., “Integrasi teknik RFID dan logistik e-commerce”, Konferensi Internasional tentang Jaringan dan Masyarakat Digital , Sekolah Logistik Central-South University of Forestry and Technology Changsha, Cina , 2009.

[PAR 09] PARK C., CHOI G., CHAE J., KIM B., A Design for Passive RFID System on a Chip , Electronics and Telecommunications Research Institute, Chungnam National University, 15-18 Februari 2009.

[QIU 09] QIULING Z., CHUN Z., ZHONGQI L., JINGCHAO W., FULE L.,

ZHIHUA W., Sistem Identifikasi Frekuensi Radio yang Kuat yang Ditingkatkan dengan Spread Spectrum , Institute of Microelectronics, Tsinghua University, Beijing, China, IEEE, 2009.

[RFI 09] Jurnal RFID , <http://www.rfidjournal.com/expert/entry/4855/>, 2009.

[RID 09] RIDA A., YANG L., VYAS R., TENTZERIS M., “Inkjet konduktif

antena tercetak pada substrat berbasis kertas yang fleksibel dan murah untuk aplikasi RFID dan WSN”, IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 51, tidak. 3, hal. 13-23 2009.

[SHR 09] SHRESTHA S., BALACHANDRA MN, AGARWAL M., PHOHA V.,

VARAHRAMYAN K., “Sistem sensor RFID tanpa chip untuk aplikasi pemantauan cyber centric”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 57, tidak. 5, hal. 1303-1309, 2009.

[SON 07] SON H., CHOI G., "Antena patch yang digabungkan secara ortogonal untuk tag RFID pasif pada permukaan logam", Microw. Memilih. teknologi. Lett ., vol. 49, tidak. 3, hal.715-717, 2007.

[SUI 09] SUICA (informasi di Wikipedia di: <http://en.wikipedia.org/wiki/Suica>, diakses 22 Februari 2010).

[TSI 09] ALANCO TECHNOLOGIES, TSIPRISM, <http://www.tsiprism.com/>, diakses 22 Februari 2010.

[TOU] TOUCHATAG, <http://www.touchatag.com>, diakses 22 Februari 2010.

[VER] <http://www.verichipcorp.com/>, diakses 22 Februari 2010.

[WAN 09] WANG C., DANESHMAND M., SOHRABY K., LI B., Pertunjukan Analisis Protokol RFID Generasi-2, IEEE, 2009.

[WAR 01] WARNEKE B., LAST M., LIEBOWITZ B., PISTER K., “Smart dust: berkomunikasi dengan milimeter kubik”, Computer, vol. 34, hal. 44-51, 2001.

[WEI 03] WEIS S., Keamanan dan privasi dalam perangkat identifikasi frekuensi radio, tesis master, Mass. Inst. Teknologi (MIT), Mei 2003.

[WIE 08] WIEBKING L., METZ G., KORPELA M., NIKKANEN M., PENTTILA

K., Peta Jalan untuk Aplikasi dan Teknologi RFID, Mengkoordinasikan Upaya Eropa untuk Mempromosikan Rantai Nilai RFID Eropa (CE RFID), 12 Agustus 2008. Tersedia di: <http://www.rfid-in-action.eu/public/> hasil, diakses 22 Maret 2010.

[YAN 08] YAN L., ZHANG Y., YANG LT, NING H., Internet of Things.

Dari RFID ke Sistem Jaringan Pervasif Generasi Berikutnya, Auerbach, 2008.

[YAN 09] YANG L., ZHANG R., STAICULESCU D., WONG C., TENTZERIS M.,

“Modul berkemampuan RFID konformal baru yang memanfaatkan antena cetak inkjet dan nanotube karbon untuk

aplikasi pendeteksian gas”, Antena IEEE dan Surat Propagasi Nirkabel , vol. 8, hlm. 653-656, 2009.

[ZIK 09] ZIKRUL M., NOOR H., ISMAIL I., SAAID M., Alat Deteksi Bus untuk

Tunanetra Menggunakan Aplikasi RFID , Fakultas Teknik Elektro Universiti Teknologi MARA, Malaysia, IEEE, 2009.

6.7. Bibliografi

[BAH 00] BAH L P., PADMANBHAN VN, RADAR: In-Building RF-based

Lokasi Pengguna dan Sistem Pelacakan , vol. 2, IEEE INFOCOM, hal 775-784, 2000.

[BAU 05] BAUDIN M., Aplikasi RFID di bidang Manufaktur, MMTI – Manajemen Manufaktur & Institut Teknologi, 2005.

[BEK 07] BEKKALI A., SANSON H., MATSUMOTO M., “RFID indoor

penentuan posisi berdasarkan peta RFID probabilistik dan penyaringan Kalman”, 3rd IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications , IEEE WiMob, 2007.

[BOU 08] BOUET M., PUJOLLE G., "Metode pelokalan 3-D bebas jangkauan untuk tag RFID berdasarkan landmark virtual", Simposium Internasional ke-19 tentang Komunikasi Radio Dalam Ruangan dan Seluler Pribadi, IEEE, PIMRC, 2008.

[BUR 04] BURDET LA, Metode Akses Ganda RFID, Laporan Teknis , ETZ Zurich, 2004.

[CAM 02] CAMP T., BOLENG J., DAVIES V., "Sebuah survei model mobilitas untuk penelitian jaringan ad hoc", Komunikasi Nirkabel dan Komputasi Seluler , vol. 2, tidak. 5, hal. 483-502, 2002.

[CAR 03] LIEBSCH M., SINGH A., CHASKAR H., FUNATO D., Akses Kandidat

Penemuan Router , draft-ietf-seamoby-card-protocol-01.txt, sedang dalam proses, Maret 2003.

[EPC 05] EPCGLOBAL, 2005, tersedia di: <http://www.epcglobalinc.org>, diakses 22 Februari 2010.

[FIK 01] FIKOURAS NA, GÖRG C., “Perbandingan kinerja metode deteksi gerakan berbasis petunjuk dan iklan untuk hand-off IP seluler”, Jaringan Komputer , vol. 37, tidak. 1, hal. 55-62, 2001.

[HIG 00] HIGHTOWER J., BORRIELLO G., SpotON: Lokasi 3D Dalam Ruangan

Teknologi Penginderaan Berdasarkan Kekuatan Sinyal RF , UW-SCE 00-02-02 2000, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle, WA, Februari 2000.

[HIG 01] HIGHTOWER J., BORRIELLO G., "Sistem lokasi untuk komputasi di mana-mana", IEEE Computer , vol. 34, tidak. 8, hal. 57-66, 2001.

[IEE 99] IEEE. Bagian 11: Spesifikasi Lapisan Kontrol Akses Menengah (MAC) dan Fisik (PHY) LAN Nirkabel , Standar IEEE 802.11, 1999.

[ING 04] INGRAM SJ, HARMER D., QUINLAN M., “UltraWideBand indoor

sistem penentuan posisi dan penggunaannya dalam keadaan darurat”, Konferensi IEEE tentang Lokasi Posisi dan Simposium Navigasi , hal.706-715, Monterey, AS, April 2004, 2004.

[ISO] ISO, ISO/IEC 18000-6:2003(E), Bagian 6: Parameter untuk Komunikasi Antarmuka Udara pada 860-960 MHz, ISO, 26 November 2003.

[JOH 08] JOSHI GP, KIM SW, “Survei, nomenklatur dan perbandingan protokol anti-tabrakan pembaca di RFID”, Tinjauan Teknis IETE, vol. 25, tidak. 5, hal. 285-292, 2008.

[KAP 05] KAPLAN ED, *Pengertian GPS: Prinsip dan Aplikasi*, Artech House, 2005.

[KEN 99] KEN H., MIKE S., “Perangkat input penginderaan sentuh”, *Prosiding Konferensi IGCHI tentang Faktor Manusia dalam Sistem Komputasi*, hal. 223-230, Pittsburgh, Pennsylvania, AS, 15-20 Mei 1999.

[KIN 06] KING T., KOPF S., HAENSELMANN T., LUBBERGER C.,

EFFELSBURG W., *COMPASS: Sistem Penentuan Posisi Dalam Ruang Probabilistik Berdasarkan 802.11 dan Kompas Digital*, hal. 24-40, WinTeck, 2006.

[KLA 09] KLAIR D., CHIN KW, RAAD R., “Pada konsepsi energi dari protokol anti-tabrakan berbasis aloha murni dan slotted”, *Computer Communications*, vol. 32, hal. 961-973, 2009.

[KOO 05] KOODLI R., *Fast Handovers for Mobile IPv6 Internet Engineering Task Force (IETF), Request for Comments (RFC) 4068*, IETF, Juli 2005.

[LEE 04] LEE J. et al., “Analisis penundaan handoff untuk IPv6 seluler”, *Surat Komunikasi IEEE*, vol. 4, hal. 2967-2969, 2004.

[MIS 03] MISHRA A., SHIN M., ARBAUGH W., "Analisis empiris dari proses handoff lapisan IEEE 802.11 MAC", *SIGCOM Comput, Commun Rev*, vol. 33, tidak. 2, hal. 93-102, 2003.

[NI 04] NI LM, LIU Y., LANDMARC, “Penginderaan lokasi dalam ruangan menggunakan RFID aktif”, hal. 701-710, *Jaringan Nirkabel*, vol. 10, tidak. 6, hal. 701-710, 2004.

[PAH 05] PAHLAVAN K., Levesque AH, *Informasi Jaringan Nirkabel*, 2 nd edition, John Wiley & Sons, New York, 2005.

[PAP 09a] PAPAPOSTOULOU A., CHAOUCHI H., *WIFE: Wireless Indoor*

Positioning Berdasarkan Evaluasi Sidik Jari, *IFIP Networking*, 2009.

[PAP 09b] PAPAPOSTOLOU A., CHAOUCHI H., “Mengeksploitasi multi-modalitas dan keragaman untuk peningkatan pelokalan: WiFi & RFID usecase”, Simposium Internasional ke-20 tentang Komunikasi Radio Dalam Ruangan dan Seluler Pribadi, IEEE, PIMRC, Tokyo, Jepang, September 2009.

[PAP 10] PAPAPOSTOLOU A., CHAOUCHI H., “Manajemen handoff mengandalkan teknologi RFID”, Konferensi Komunikasi dan Jaringan Nirkabel IEEE, IEEE WCNC, Sydney, Australia, April 2010.

[PER 96] PERKINS C., Dukungan Mobilitas IP, Satuan Tugas Teknik Internet (IETF), Permintaan Komentar (RFC) 2002, IETF, Oktober 1996.

[PRI 00] PRIYYANTHA NB, CHAKRABORTY A., BALAKRISHNAN H., “The Sistem Pendukung Lokasi Kriket”, Prosiding MOBICOM ACM Internasional ke-6, Agustus 2000.

[RAP 02] RAPPAPORT T., Wireless Communications: Prinsip dan Praktek, 2 nd edition, Prentice Hall, 2002.

[SCH 98] SCHWARTZ M., Pemodelan dan Analisis Protokol Jaringan Telekomunikasi, Addison-Wesley, AS, 1988.

[UBI] UBISENSE, <http://www.ubisense.net/en/products>, diakses 22 Maret 2010.

[WAN 07] WANG C., WU H., TZENG NF, Skema Penentuan Posisi 3-D berbasis RFID, IEEE INFOCOM, hal. 1235-1243, 2007.

[WAN 92] WANT R., HOPPER A., FALCAO V., GIBBONS J., “Lencana aktif sistem lokasi”, Transaksi ACM pada Sistem Informasi, vol. 40, tidak. 1, hal. 91-102, 1992.

[WAN 06] WANT R., “Pengenalan Teknologi RFID”, IEEE Pervasive Computing, vol. 5, tidak. 1, hal. 25-33, 2006.

[YAM 04] YAMANOI K., TANAKA K., HIRAYMA M., KONDO E., KIMURO Y.,

MATSUMOTOTI M., “Self-localization of mobile robots with WID system with using support vector machine”, Prosiding Konferensi Internasional IEEWRSI 2004 tentang Robot dan Sistem Cerdas , Sendai, Jepang, 2004.

[ANDA 05] YOUSSEF M., AGRAWALA A., Sistem Penentuan Lokasi Horus , ACM MOBISYS, hal. 205-219, 2005.

[BAS 02] BASSHAM L., POLK W., HOUSLEY R., Permintaan Komentar 3279:

Algoritma dan Pengenal untuk Internet X.509 Profil Sertifikat dan Daftar Pencabutan Sertifikat Infrastruktur Kunci Publik (CRL) Internet X.509, IETF, 2002.

[CER 08] CE RFID, Mengkoordinasikan Upaya Eropa untuk Mempromosikan Rantai Nilai RFID Eropa – Laporan tentang Standar RFID dan Peraturan Radio , CE RFID, 2008.

[COM 09] KOMISI MASYARAKAT EROPA, Komisi Rekomendasi 12.5.2009 tentang Penerapan Prinsip Privasi dan Perlindungan Data dalam Aplikasi yang Didukung oleh Identifikasi Frekuensi Radio , CEC, 2009. (Tersedia di: <http://www.ifap.ru/ofdocs/eu/eu0001.pdf>, diakses 23 Februari 2010.)

[DOH 09] DOHLER M., WATTEYNE T., WINTER T., BARTHEL D., IETF

Request for Comments 5548: Persyaratan perutean untuk jaringan berdaya rendah dan lossy perkotaan , IETF, 2009. (Tersedia di: <http://tools.ietf.org/html/rfc5548>, diakses 23 Februari 2010.)

[EPC 08] EPCGLOBAL, Tag Data Standards Versi 1.4 , EPCglobal, Juni 2008. [EUP 95] EU

PARLIAMENT, Directive 95/46/EC of the European Parliament and of

yang Council of 24 Oktober tahun 1995 di dalam Perlindungan dari Individu dengan Regard untuk

Pemrosesan Data Pribadi dan Pergerakan Bebas Data tersebut . Parlemen Uni Eropa, 1995. (Tersedia di http://ec.europa.eu/justice_home/fsj/privacy/docs/95-46-ce/dir1995-46_part1_en.pdf, diakses 23 Februari 2010.)

[EUP 02] PARLEMEN UE, Arahan 2002/58/EC Parlemen Eropa dan Dewan 12 Juli 2002 Tentang Pemrosesan Data Pribadi dan Perlindungan Privasi di Sektor Komunikasi Elektronik (Petunjuk tentang privasi dan komunikasi elektronik). Parlemen Uni Eropa, 2002. (Tersedia di: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:201:0037:0047:EN:PDF>, diakses 23 Februari 2010 .)

[HOU 02] HOUSLEY R., Permintaan Komentar 3280: Profil Sertifikat Infrastruktur Kunci Publik dan Daftar Pencabutan Sertifikat (CRL) Internet X.509, IETF, 2002. (Tersedia di: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3280.txt>, diakses 23 Februari 2010.)

[IEE 06] Spesifikasi IEEE, IEEE 802.15.4 Wireless Medium Access Control (MAC) dan Physical Layer (PHY) untuk Jaringan Area Pribadi Nirkabel Tingkat Rendah (WPAN) , IEEE, 2006.

[ITU 05] Rekomendasi ITU-T, ITU-T Y.2002: Gambaran Umum Jaringan Ubiquitous dan Dukungannya di NGN, ITU-T, 2005.

[ITU 08] ITU-T, ITU-T Rekomendasi Y.2213: Persyaratan dan kemampuan layanan NGN untuk aspek jaringan aplikasi dan layanan menggunakan identifikasi berbasis tag, ITU, 2008.

[ITU 08a] Rekomendasi ITU-T, ITU-T X.668/ISO/IEC 9834-9: Prosedur OID untuk pengoperasian Otoritas Registrasi OSI: Registrasi busur pengenalan objek untuk aplikasi dan

layanan menggunakan identifikasi berbasis tag , ISO/ IEC, 2008.

[ITU 08b] ITU-T, ITU-T Rekomendasi X.509: Direktori: Kunci publik dan kerangka kerja sertifikat atribut , ITU, 2008.

[ITU 08c] Rekomendasi ITU-T, ITU-T F.771: Deskripsi Layanan dan Persyaratan untuk Akses Informasi Multimedia yang Dipicu oleh Identifikasi Berbasis Tag, ITU-T, 2008.

[ITU 08d] Rekomendasi ITU-T, ITU-T H.621: Arsitektur Sistem untuk Akses Informasi Multimedia yang Dipicu oleh Identifikasi Berbasis Tag, ITU-T, 2008. (Tersedia di : <http://itu.int/rec/T-REC-H.621>, diakses 23 Februari 2010.)

[ITU 08e] Rekomendasi ITU-T, ITU-T G.9970: Arsitektur Transportasi Jaringan Rumah Generik , ITU-T, 2008.

[ITU 09] Rekomendasi ITU-T, ITU-T G.9960: Pemancar Jaringan Rumah Berbasis Kabel Kecepatan Tinggi Terpadu – Foundation , ITU-T, 2009.

[MON 07] MONTENEGRO G., Permintaan Komentar 4944: Transmisi Paket IPv6 melalui Jaringan IEEE 802.15.4 , IETF, 2007. (Tersedia di: <http://www.rfc-archive.org/getrfc.php?rfc=4944>, diakses 23 Februari 2010.)

[SRI 05] SRIVASTAVA L., ITU Internet Reports: The Internet of Things , ITU, 2005. (Tersedia di www.itu.int/internetofthings, diakses 23 Februari 2010.)

[SRI 07] SRIVASTAVA L., “RFID: di mana-mana untuk kemanusiaan”, INFO , vol. 9, tidak. 1, hal. 4-14, 2007.

[SRI 09] SRIVASTAVA L., Kehidupan Mandiri Nirkabel untuk Populasi yang Beruban , Penerbit Sungai, 2009.

[AND 05] ANDERSON K., “Resensi Buku: Mengkuadratkan Lingkaran? Rekonsiliasi Kedaulatan dan Tata Kelola Global melalui Jaringan Pemerintah Global”, Harvard Law Review, vol. 118, hal. 1255-1312, 2005.

[BEN 04] BENZ A., “Einleitung: Governance – Modebegriff oder nützliches sozialwissenschaftliches Konzept?”, dalam: Arthur Benz (ed.), Governance – Regieren in komplexen Regelsystemen, Wiesbaden 2004, hlm. 11-28.

23 Untuk detail lebih lanjut tentang hambatan IoT, lihat [WEB 10].

[BEN 07] BENHAMOU B., Perspektif Tata Kelola Eropa tentang Layanan Penamaan Objek , Tata Kelola Sumber Daya, 2007 (tersedia di ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ch1-lisbon-20071215_en.pdf, diakses 23 Februari 2010).

[BIR 07] BIROLINI A . , Reliability Engineering , edisi ke- 5 , Berlin, Springer, 2007. [BUC 06] BUCHANAN A., KEOHANE RO, “The legitimacy of global governance institusi”, Etika dan Hubungan Internasional , vol. 20, hal. 405-437, 2006.

[CAS 09] CASAGRAS, Laporan Akhir, RFID dan Model Inklusif untuk Internet of Things , Nomor Proyek UE 216803, Forum Global RFID, London, 2009.

[DEU 09] Deutsches Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Dokumentation No. 581, Internet der Dinge [Departemen Ekonomi dan Teknologi Federal Jerman, Dokumen No. 581, Internet of Things] 2009 (tersedia di: <http://www.vdivde-it.de/publikationen/dokumente/doku-581-internet-der-dinge.pdf>, diakses 23 Februari 2010.)

[FAB 08] FABIAN B., Layanan nama aman untuk Internet of Things, tesis PhD, Berlin, 2008.

[GRE 99] GREWLICH KW, Tata Kelola dalam “Cyberspace”: Akses dan Kepentingan Publik dalam Komunikasi Global, Den Haag, Kluwer Law International, 1999.

[GRI 03] GRINGRAS C., The Laws of Internet , 2 nd edition, London, Butterworth, 2003.

[HAL 09] HALLER S., KARNOUSKOS S., SCHROTH CH., “Internet of Things

dalam Konteks Perusahaan”, dalam: Domingue J., Fensel D., Traverso P. (eds), *Internet Masa Depan – FIS 2008*, Berlin, hal. 14-28, 2009.

[JAC 94] JACOBS S., “Mengapa pemerintah harus bekerja sama”, *The OECD Observer*, vol. 186, hal. 13-16, 1994.

[JON 08] JONES A., SUFRIN B., *EC Hukum Persaingan*, 3 rd edition, Oxford, Oxford University Press, 2008.

[KEN 09] KENNEDY D., “Lima aturan dasar untuk Internet of Things”, *EURESCOM mess@ge*, vol. 2, 2009. (tersedia di: http://www.eurescom.eu/~pub/about-eurescom/message_2009_02/Eurescom_message_02_2009.pdf, diakses 23 Februari 2010.)

[LAN 04] LANGE S., SCHIMANK U., “Governance und gesellschaftliche Integration”, dalam: Lange, S., Schimank, U. (eds), *Governance und gesellschaftliche Integration*, Wiesbaden, VS Verlag für Sozialwissenschaften, hal. 9-44, 2004.

[03 MEI] MAYER-SCHÖNBERGER V., "Bentuk pemerintahan: menganalisis dunia regulasi Internet", *Virginia Journal of International Law*, vol. 43, hal. 605-673, 2003.

[PER 00] PERRITT H., “Internet mengubah sistem hukum internasional publik”, *Kentucky Law Journal*, vol. 88, hal. 885-955, 1999-2000.

[REI 97] REINICKE WH, “Kebijakan publik global”, *Luar Negeri*, vol. 76, hal. 127-138, 1997.

[RUG 04] RUGGIE JG, “Merekonstitusi domain publik global – isu, aktor dan praktik”, *European Journal of International Relations*, vol. 10, tidak. 4, hal. 499-531, 2004.

[SCH 05] SCHERER J., *Hukum Telekomunikasi di Eropa*, edisi ke- 5, Haywards Heath, Tottel Publishing, 2005.

[SCH 01] SCHULZ R., *Der Zugang zum “blanken Draht” im Telekommunikationsrecht: Wettbewerb im Netz oder Wettbewerb zwischen Netzen?*, München, Beck, 2001.

[SLA 04] SLAUGHTER A., *Tatanan Dunia Baru*, Princeton, Princeton University Press, 2004.

[STA 03] STAVROULAKIS P. (ed.), *Keandalan, Kelangsungan Hidup dan Kualitas Sistem Telekomunikasi Skala Besar*, Chichester, Wiley, 2003.

[TWO 07] TWOMEY P., "Effect of Multilingualism on the Internet", NSF/OECD Workshop, 31 Januari 2007, (tersedia di: <http://www.oecd.org/dataoecd/12/18/38014552.pdf>, diakses 23 Februari 2010.)

[VAN 05] VAN DER TOGT R., VAN LIESHOUT EJ, HENSBROEK R., BEINAT

E., BINNEKADE JM, BAKKER PJM, "Interferensi elektromagnetik dari identifikasi frekuensi radio yang menginduksi insiden yang berpotensi berbahaya pada peralatan medis perawatan kritis", *JAMA*, vol. 24, tidak. 299, hal. 2884-2890, 2005.

[WEB 03] WEBER RH, *Menuju Kerangka Hukum untuk Masyarakat Informasi*, Zurich, Schulthess, 2003.

[WEB 07] WEBER RH, GROSZ M., "Tata kelola internet – dari ide yang kabur hingga implementasi yang realistis", *Medialex*, no. 3, hal. 119-135, 2007.

[WEB 09a] WEBER RH, *Membentuk Tata Kelola Internet: Tantangan Regulasi*, Zurich, Schulthess, 2009.

[WEB 09b] WEBER RH, WEBER R., "Inklusi masyarakat sipil dalam tata kelola internet. Dapatkah pelajaran diambil dari kerangka hukum lingkungan?", *Computer Law Review International*, vol. 1, hal. 9-15, 2009.

[WEB 09c] WEBER RH, "Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN)", dalam: Tietje/Brouder (eds), *Buku Pegangan Rezim Tata Kelola Ekonomi Transnasional*, Leiden, Martinus Nijhoff, hlm. 603-619, 2009.

[WEB 10] WEBER RH, WEBER R., *Internet of Things*, Zurich, Schulthess, 2010.



978-623-6598-94-8

