

“モノ”のインターネットへのつながり方 L3 より下層について

坂根 昌一

イノベーションセンター
シスコシステムズ合同会社

“INTERNET” of Things, はじめませんか～これからはIPv6で！～

Internet Week 2016

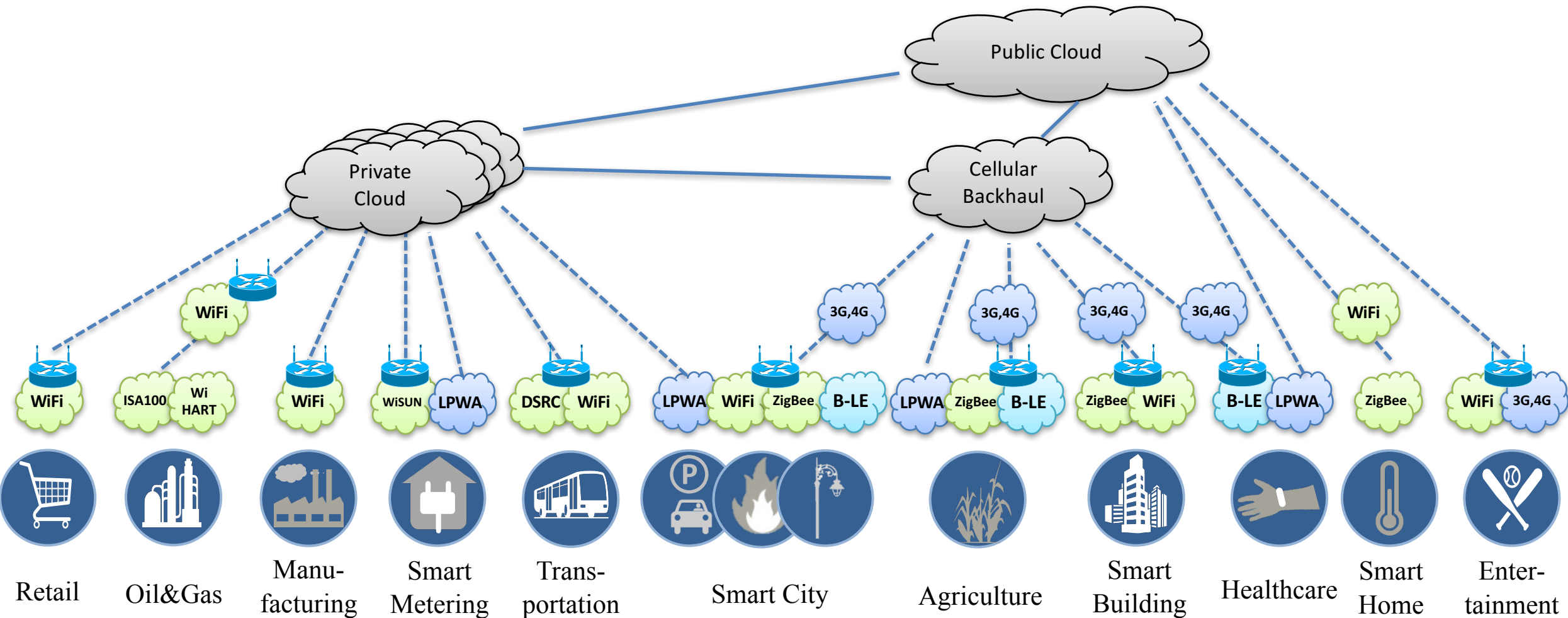
2016年11月30日

はじめに

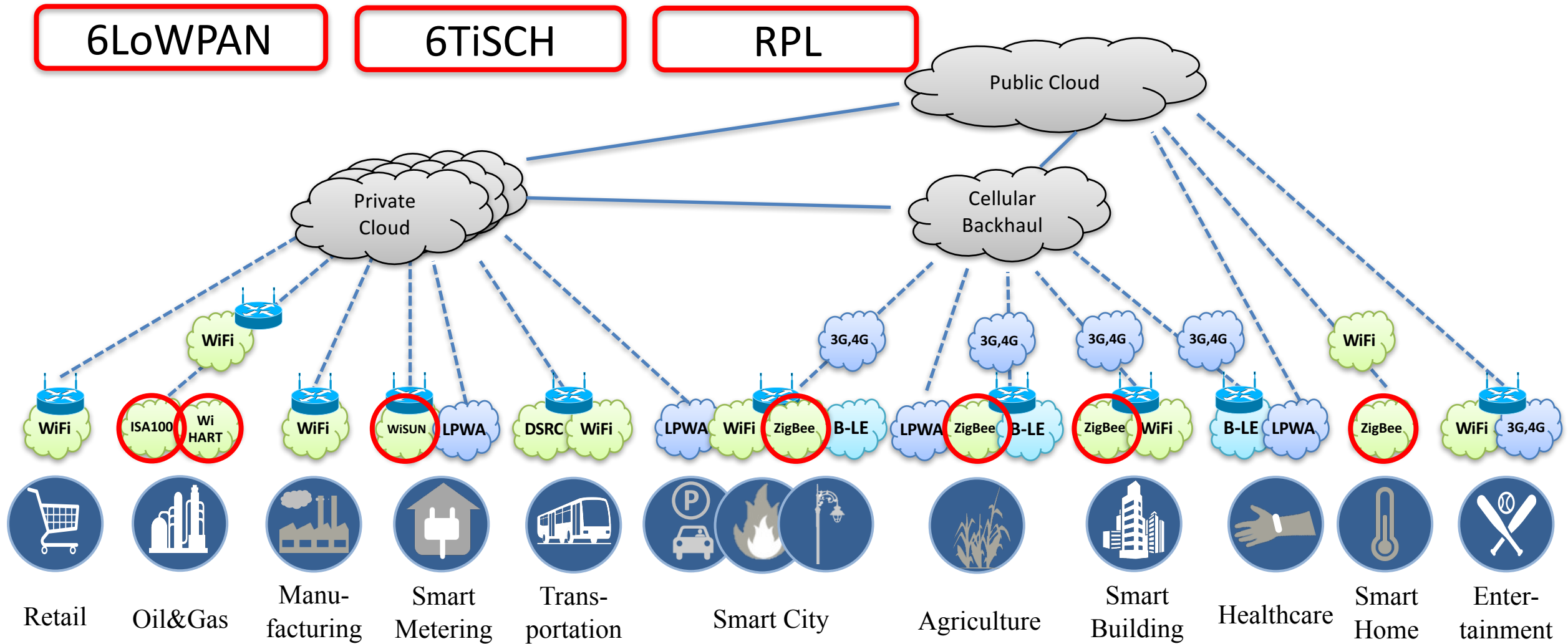
本発表に含まれる内容は、坂根昌一が個人的にリサーチしたものであり、所属する組織の見解とは関係のないことをご留意下さるようお願いいたします。

- ”モノ”をつなぐ技術の一例の紹介
- IETFにおける”モノ”をつなぐ技術の動向

“モノ”のつながりの例



”モノ”をつなぐ技術の一例の紹介



What are “6LoWPAN” protocols ?

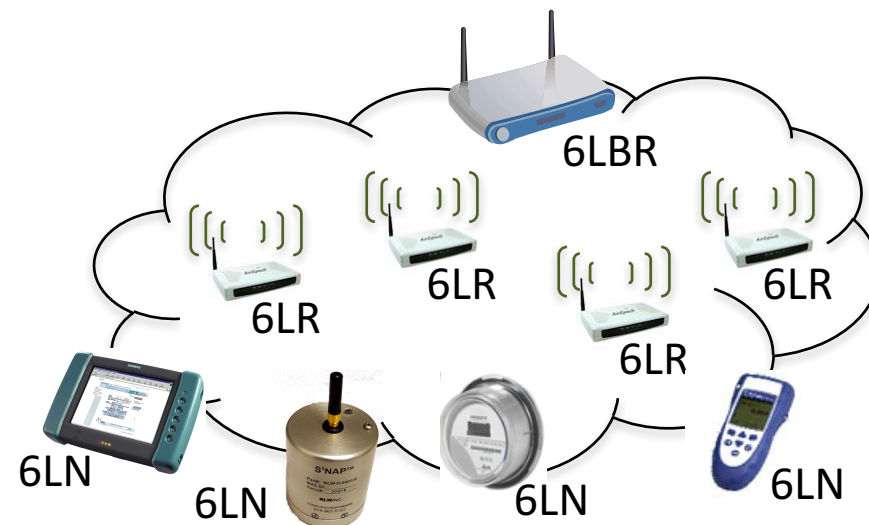
フレームサイズが小さく省電力を目的としたリンク技術とTCP/IP技術のギャップを埋める技術。

IEEE802.15.4	IPv6
<ul style="list-style-type: none">➤ 127B frame size.➤ Data Rate: 20~250Kbps➤ Maximize battery life.	<ul style="list-style-type: none">➤ 40B Header (Min.)➤ 1280B MTU.➤ ND in multicast.

IPv6 Adaptation Layerとして、様々なリンク技術に応用されている。当初は、IEEE 802.15.4-2006を対象として設計されていたため、現在は 6lo WGで様々なリンク技術への応用方法が検討されている。

技術のポイント

- ✓ IPv6 Header Compression
- ✓ IPv6 ND Optimization
- ✓ Fragmentation
- ✓ Mesh Header



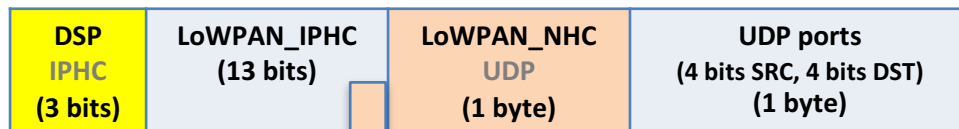
IPv6 Header Compression

6LoWPAN-HC

- ✓ スタック全体で冗長なフィールドを削除
 - リンクヘッダから取れる情報 e.g. EUI-64
 - ネットワークの設定から読み取れるもの e.g. prefix, version
- ✓ Dispatch Field によるヘッダーチェーンの表現

Best case: (48 B → 4 B)

Link local addresses + Compressed IPv6/UDP header
 e.g. FE80::0217:3B00:1111:2222 -> FE80::0217:3B00:3333:4444

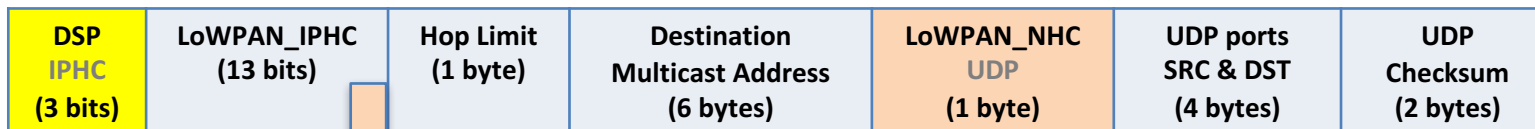


Dispatch Field

以降のフィールドに何かあるかをビットで表現。

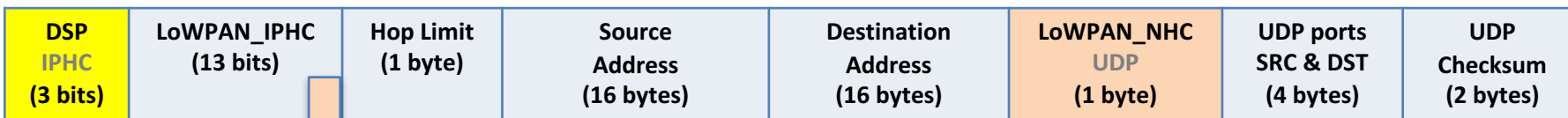
Link-local Multicast: (48 B → 16 B)

Multicast Address Compression, Compressed UDP ports
 e.g. FE80::0217:3B00:1111:2222 -> FFxx::00xx:xxxx:xxxx



IP Hops : (48 B → 42 B)

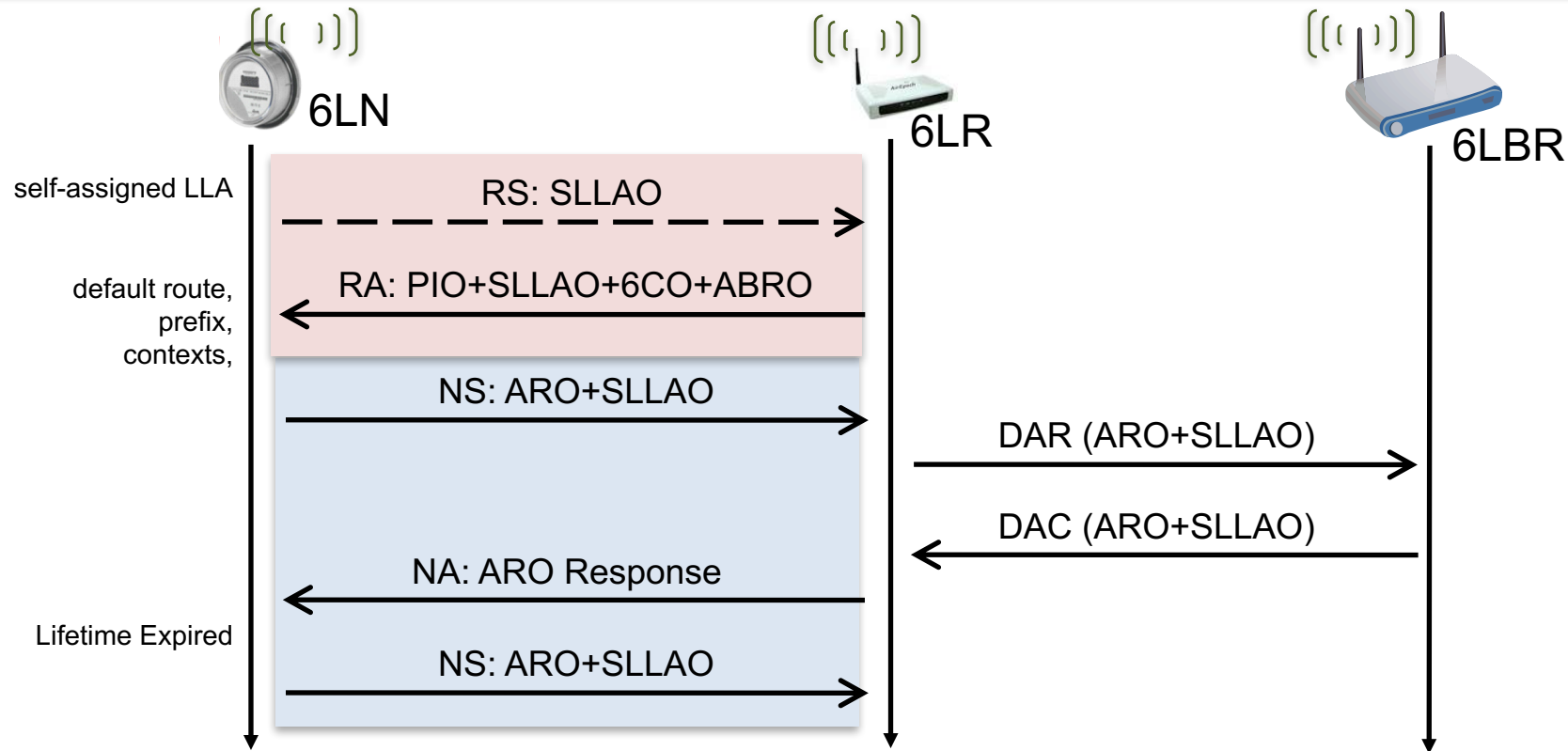
Full IPv6 Address, Compressed UDP ports
 e.g. 2001:0db8:cafe:cafe:0217:3B00:1111:2222 -> 2001:0db8:beef:beef: :68



IPv6 Neighbor Discovery Optimization

6LoWPAN-ND

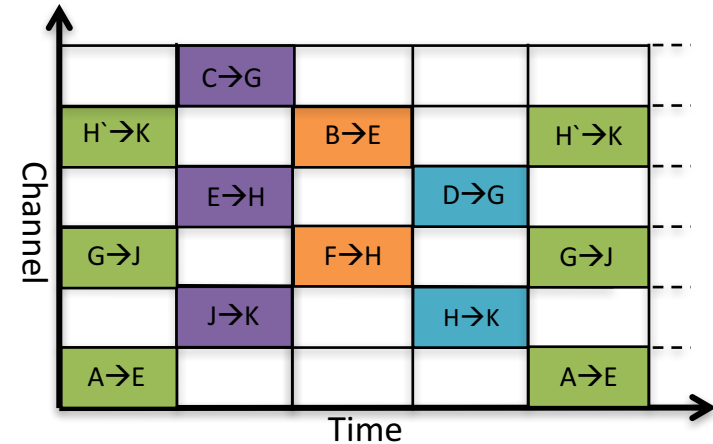
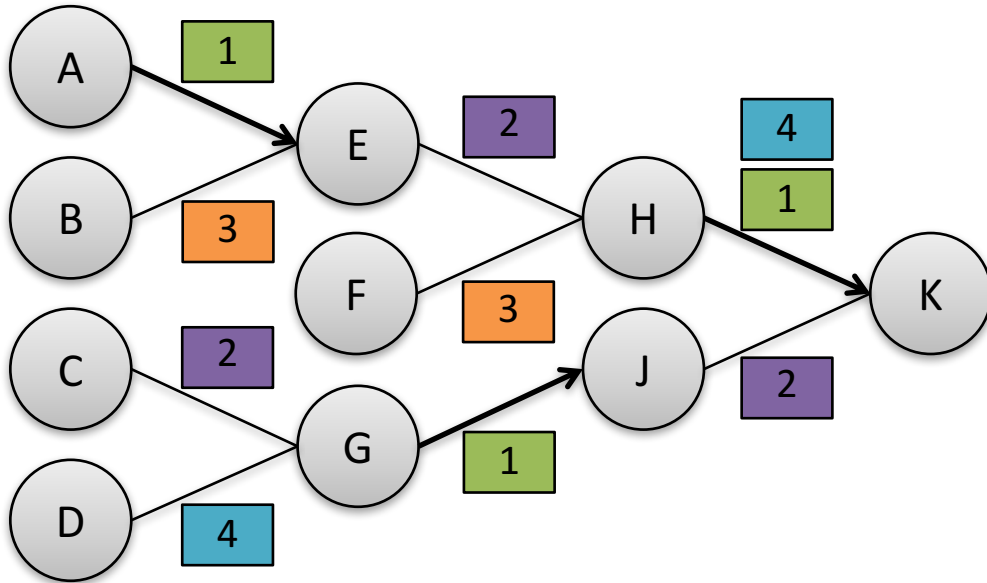
- ✓ IPv6マルチキャスト・パケットの抑制
- ✓ 6LoWPANネットワーク情報の通知 (6LBRのアドレス, ヘッダ圧縮のための情報)



- 3つのIPv6 ND optionと、2つのICMPv6 typeを定義
- 6LRから、6lowpan context (6CO), Authoritative Border Router (ABRO)を通知。
- 6LRから、Address Registration (ARO)を使用した6LBRへの登録とDADの実施。
- DA Request/Confirmationを使用した、6LBRでのDADの実施。

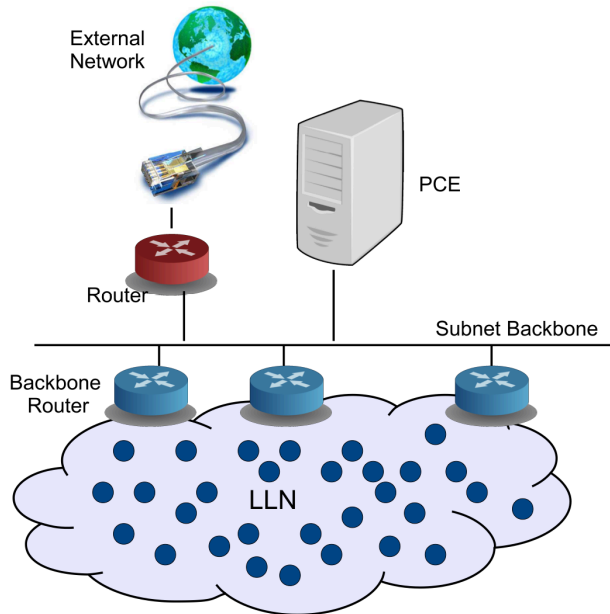
IEEE 802.15.4 TSCH と課題

- ✓ IEEE 802.15.4 Time Slotted Channel Hopping は、プロセスオートメーション等の通信のスケジューリングに対する要件が厳しい工業用無線技術(例: ISA100.11a, WirelessHART)で使用が検討されている。
- ✓ しかし、スケジューリングするためのパラメータの取得方法や、スケジュールの設定方法は IEEE 802.15.4 仕様の範囲外になっている。



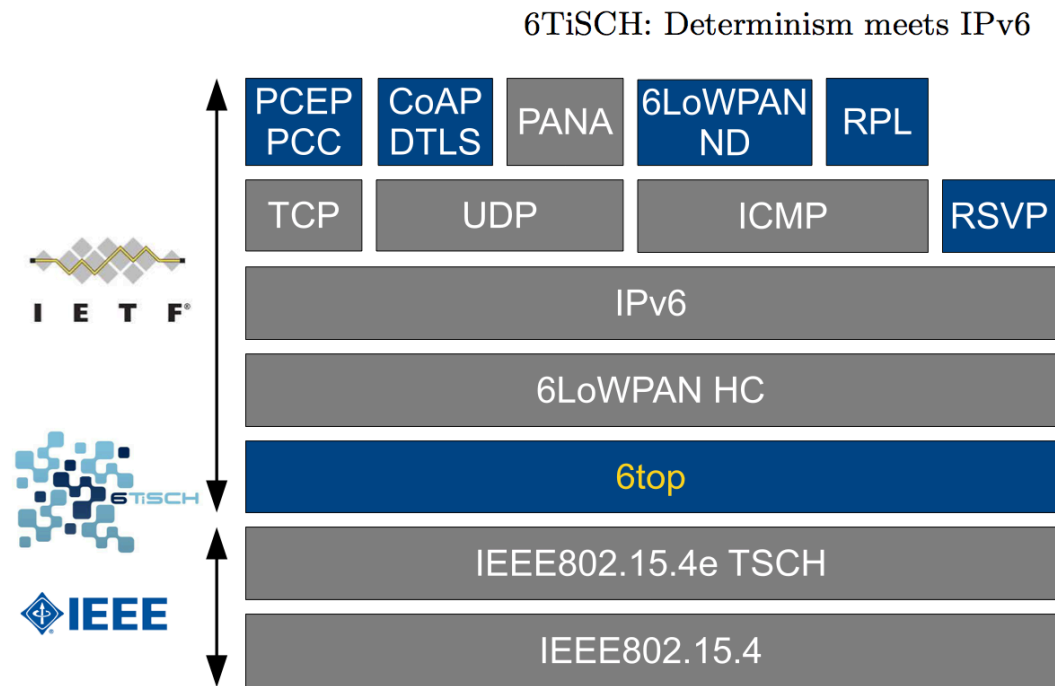
6TiSCH

- ✓ Low Power and Lossy Network (LLN) において、IEEE802.15.4e TSCH modeのスケジューリングに必要なパラメータの収集と設定を行う技術として、主にIETFで策定が進んでいる。
- ✓ アーキテクチャは、集約型(Centralized)と分散型(Decentralized)の両方が対象だが、現在のところは集約型がフォーカスされている。



集約型の例

Path Computation Element (PCE) がスケジュールに必要な情報を集め、計算して、各ノードに CoAPを使って配布する。スケジュールの管理は、各ノードに実装された6TiSCH Operation Sublayer (6top) が行う。



6TiSCH for LLNs プロトコルスタック

What is “RPL” ?

Routing over low Power Lossy networks



ripple [rípl]

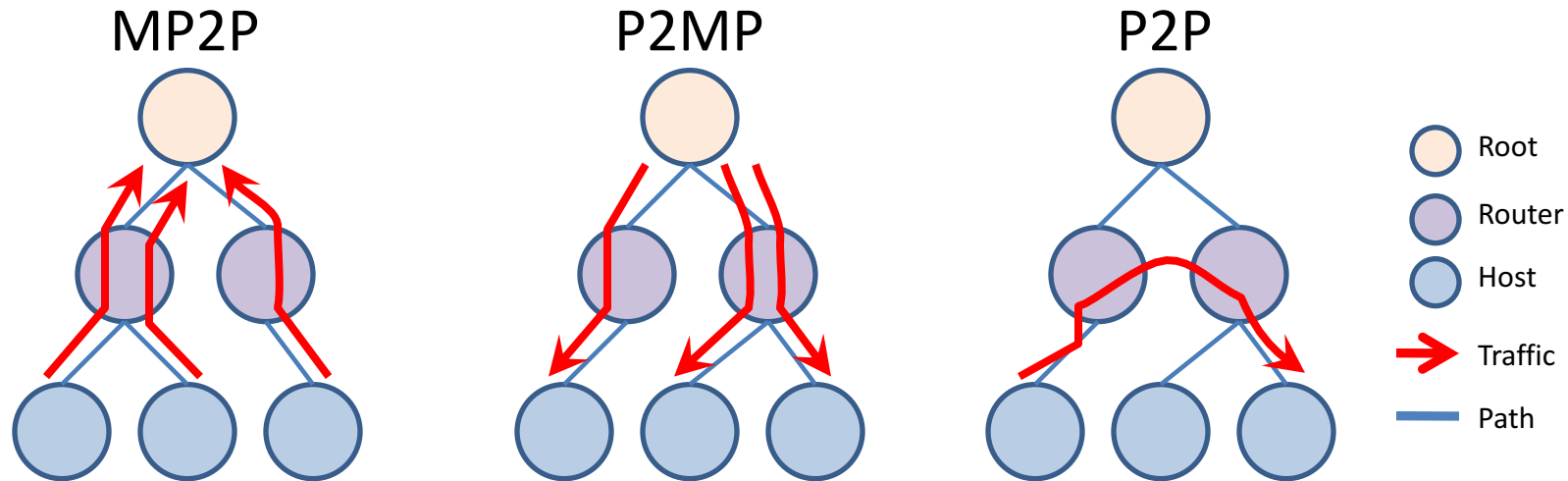
- 多様なLLN向けアプリケーションの要求を元に設計
 - Urban, Industrial, Home Automation, Building Automation.

DODAG: Destination Oriented Directed Acyclic Graph

- 物理的に同じリンク上に複数のツリーを構築可能
- DODAGを構築する複数のメトリックを指定可能。
 - メトリック: node state, energy, hop-count, throughput, link reliability
- LLN向けのパス構築機構
 - 近隣状態に応じて制御情報の送出間隔を変化させる。→ *Trickle Timer*
 - メモリが少ないノードでもパケット転送できる。→ *Non-Storing Mode*
 - 2つのパス再構築機構
 - Global Repair*: 全体を再構築する機構 (DODAGのメトリックが変わった場合等)
 - Local Repair*: 部分的に自動修復する機構 (リンクの状態が変化した場合等)

→ 同じ物理リンク上に、異なるアプリケーションの要求に応じた最適なパスを構築できる。

RPLの制御メッセージとデータパス



- ICMPv6 type (155): RPL Control Messages

- DIS / DIO for MP2P
- DAO / DAO-ACK for P2MP
- DIO+RDO / DRO+RDO / DRO-ACK for P2P

DIS: DODAG Information Solicitation
DIO: DODAG Information Object
DAO: Destination Advertisement Object
DRO: Discovery Reply Object
RDO: Route Discovery Option

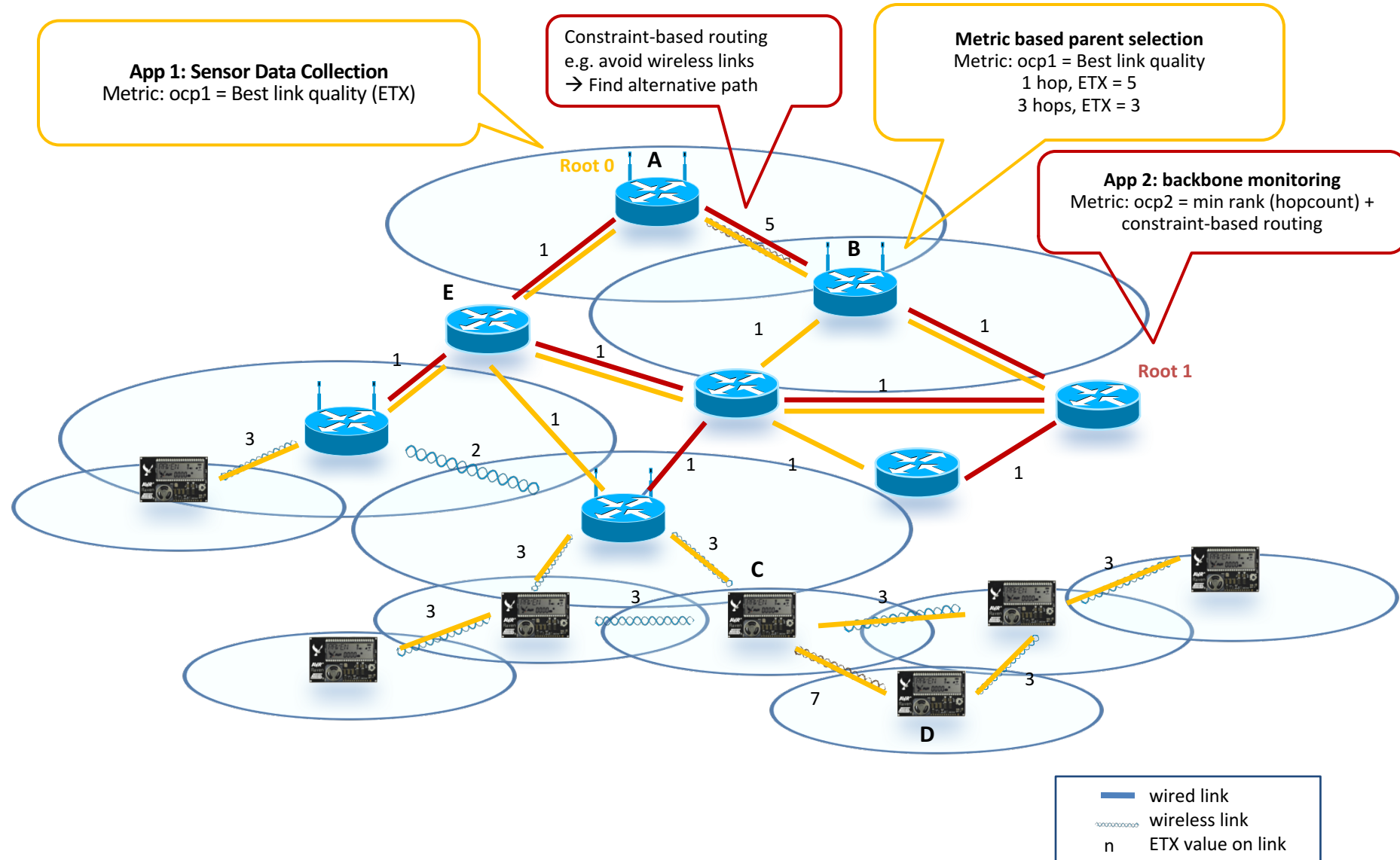
- 2 IPv6 Extensions

- RPL SRH in Routing Header: transmission b/w RPL routers.
- RPL Option for HbH Options Header: exchanging RPL information b/w RPL routers.

- ICMPv6 Destination Unreachable

- Code (7) Error in Source Routing Header

RPLのパス構築手順イメージ



IETFにおける”モノ”をつなぐ技術の動向

6lo WG

IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes

(6LoWPAN over Foo)

- IPv6 Adaptation Layer の策定とIPv6仕様の拡張。
- “モノ”をつなぐネットワークの基本技術として注目されている。
- 6lowpan WGを引き継ぐ形で、IETF87(2013年8月)で第1回WG会議が行われた。
- ミッション
“Resource-constrained Nodes”のネットワークで IPv6を使うための技術の標準化を行う。
→ 6LoWPANの応用と拡張とIPv6仕様への反映。

Internet Area

Chairs

- Samita Chakrabarti
- Gabriel Montenegro, Microsoft

RRC7388: MIB for 6LoWPAN, Oct-2014

RFC7400: 6LoWPAN-GHC, Nov-2014

RFC7428: IPv6 over ITU-T G.9959, Feb-2015

RFC7668: IPv6 over BTLE, Oct-2015

RFC7973: Assignment of an Ethertype for 6LoWPAN

Active/Related Documents

2016年11月時点

✓ 応用

- IPv6 over MS/TP ([In Last Call](#))
- IPv6 over DECT-ULE ([In Last Call](#))
- IPv6 over NFC
- IPv6 over BLE Mesh Networks

✓ セキュリティ

- Diet-IPsec/ESP
- 6lo Address Protected ND
- Designating 6LBR for IID Assignment

✓ サプリメント

- Privacy Considerations for 6Lo ([In Last Call](#))
- Use case

✓ 拡張

- Paging Dispatch ([AUTH48](#))
- IANA Reg. for ESC Dispatch CP ([In Last Call](#))
- IEEE 802.15.4 IE allocation ([Individual](#))
- 6LoWPAN Backbone Router
- 802.15.4 IE encapsulation of ICMPv6 RA
- A 6loRH for BitStrings
- Packet Expiration Time in 6lo Routing Header
- Optimized 6LoWPAN Fragment Header
- LLN Fragment Forwarding and Recovery
- An Update to 6LoWPAN ND

6tisch WG

IPv6 over the Time Synchronous & Channel Hopping mode of IEEE 802.15.4e

- IEEE802.15.4eのTSCHモードを使ったネットワーク構成方法や管理技術の標準化を行う。
- IEEE802.15.4e TSCH
 - 時刻同期によるスロット(時間・周波数分割)の同期
 - Predictable power consumption
- IETF88(2013年11月)で第1回WG会議が行われた。

Internet Area

Chairs

- Pascal Thubert, Cisco
- Thomas Watteyne, INRIA

RFC 7554: Problem Statement

Active/Related Documents

2016年11月時点

➤ WG Documents

- 6top Protocol (6P)
- 6TiSCH 6top Scheduling Function Zero (SF0)
- An Architecture for IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4 ([Dead](#))
- Minimal 6TiSCH Configuration ([AD Eval.](#))

✓ Related I-Ds

- 6tisch Secure Join protocol
- Scheduling Function One (SF1) for hop-by-hop Scheduling in 6tisch Networks
- Minimal Security Framework for 6TiSCH

roll WG

Routing over Low power and Lossy Networks

- RCNとLLNを含むネットワークにおける経路制御技術の標準化を行う。
- IETF71(2008年3月)で第1回WG会議が行われた。
- 今回(IETF95)、リチャータの検討が始まった。

RFC 6206: RPL, Trickle Algorithm, Mar-2011

RFC 6550: RPL, Core specification, Mar-2012

RFC 6551: RPL, Routing Metrics, Mar-2012

RFC 6552: RPL, Objective Function Zero, Mar-2012

RFC 6553: IPv6 Hop-by-Hop Option for RPL, Mar-2012

RFC 6554: IPv6 Routing Header Option for RPL, Mar-2012

RFC 6719: RPL, MR-HOF, Sep-2012

RFC 6997: P2P-RPL, Reactive Discovery of P2P Routes, Aug-2013

RFC 6998: P2P-RPL, Mechanism to measure the metrics, Aug-2013

RFC 7731: MPL: core specification, Feb-2016

RFC 7732: MPL: Forwarder Policy with Admin-Local Scope, Feb-2016

RFC 7774: MPL: Parameter Configuration Option for DHCPv6

Internet Area

Chairs

- Peter van der Stok, Consultant
- Ines Robles, Ericsson

その他

Requirements for Urban, IA, HA, BA
Applicability in HA, BA
Terminology
Security Thread Analysis

Active/Related Documents

2016年11月時点

- WG Documents
 - 6LoWPAN Routing Header
 - When to use RFC 6553, 6554 and IPv6-in-IPv6

LPWAN

転送レートを低くして低消費電力で遠距離通信を可能にする無線技術の総称。
LoRaWAN, Sigfox, Weightless, NB-IOT, LTE-MTC など

Pros.

- ✓ 低消費電力
- ✓ スター型 (運用性の向上)
- ✓ 低価格 (デバイス、導入コスト)

- 電池駆動で最大20年動作するデバイスもある。
- 到達距離は最大で数10マイルを想定している。
- ISM帯やライセンスを必要としない帯域を使用している。

Cons.

- ✓ 低データレート (50 bps ~ 200 kbps)
- ✓ 干渉 (密集、ISM)
- ✓ 低duty cycle

2023年、LPWAデバイスの接続数は約30億になると予想。

Machina Research, Feb-2015

<https://machinaresearch.com/news/with-3-billion-connections-lpwa-will-dominate-wide-area-wireless-connectivity-for-m2m-by-2023/>

2020年、サービスの収益は約64兆円になると予想。

New Electronics, Machina Research, Dec-2015

<http://www.newelectronics.co.uk/electronics-news/mobile-industry-agrees-on-technology-standards-for-global-lpwa-market/111777/>

LPWAN技術の例

名称	SIGFOX (Ultra Narrow Band)	LoRaWAN	Wi-Fi HaLow	Wi-SUN	RPMA	Flexnet	NB-IoT
推進団体、企業	仏SIGFOX	LoRa Alliance	Wi-Fi Alliance	Wi-SUN Alliance	米Ingenu (旧米On-Ramp Wireless)	米Sensus	3GPP
電波免許	免許不要帯を利用					免許帯域を利用	
利用周波数帯	サブGHz帯 (欧州868MHz、北米915MHz、日本920MHzなど)				2.4GHz帯	280MHz帯	LTE帯域
通信速度	約100ビット/秒	約250~50kビット/秒	約150kビット/秒	約50k~400kビット/秒	約40kビット/秒	約10kビット/秒	約100kビット/秒
最大伝搬距離	50km程度	15km程度	1km程度	1km程度	20km程度	20km程度	20km程度
備考	仕様はクローズ。事業者による通信サービスを提供するビジネスモデル	仕様はオープン。誰もがネットワークを展開可能で、欧州や米国、ロシア、韓国でサービス開始	仕様はオープン。2018年頃からWi-Fi Allianceによる認証が始まる見込み	仕様はオープン。日本のスマートメーター向け通信方式の一つとして採用	仕様はクローズ。プライベートネットワーク向け技術から、IoT向け通信サービス (Machine Networkという名称) の提供にビジネスモデルを転換	仕様はクローズ。欧州や米国でスマートメーター向け通信方式として採用	仕様はオープン。2016年6月に標準化が完了。2016年後半から携帯電話事業者を中心に採用が始まる見込み

日経BP社: IoT向け通信に価格破壊をもたらす「LPWA」, 2016年7月25日

<http://itpro.nikkeibp.co.jp/atcl/column/16/071500148/072000003/>

LPWAN技術の例

- **Haystack**, a DASH7 Mode 2 development framework for low power wireless networks by Haystack Technologies.^[3]
- LoRaWAN,^[4] Long Range Wide Area Network (WAN), from the LoRa Alliance. On 16 June 2015 version 1.0 of the LoRaWAN specification was released.^[5]
- NarrowBand IoT, (NB-IOT), standardization effort by 3GPP for a LPWAN used in cellular networks,^[6] that evolved from Huawei's NB-CIoT effort.^[7]
- LTE Advanced for Machine Type Communications (LTE-MTC), an evolution of LTE communications for connected things by 3GPP.^[8]
- NB-Fi Protocol, from **WAVIoT**.^{[9][10]}
- NWave, proprietary technology that also forms the basis of the Weightless protocols^{[11][12]}
- RPMA, Random Phase Multiple Access, technology from Ingenu,^[13] formerly known as On-Ramp Wireless.
- Senet, public LoRaWAN provider in North America.^[14]
- **Symphony Link**, LoRa-based platform from Link Labs.^[15]
- Sigfox, UNB-based technology and French company.
- ThingPark Wireless, platform from Actility (based on LoRaWAN specification).^[16]
- LoRa, proprietary, CSS modulation technology used for LPWAN patented by Semtech by LoRa Alliance used by LoRaWAN and Symphony Link.^[17]
- **Weightless**, a set of communication standards from the Weightless SIG.
- UNB, Ultra Narrow Band, modulation technology used for LPWAN by various companies including Telensa,^[18] NWave,^[19] Weightless-N^[20] and Sigfox.^[21]

Ipwan WG

Low Power Wide Area Network

- 課題

- ✓ 要件が似ている市場に同様の多くの技術が乱立している。
 - サイロ化される。
 - 機器管理、ネットワーク管理が複雑になる。
- ✓ インターネットとの相互運用を前提に設計されていない。
 - データの相互利用が難しくなる。
 - 運用が複雑になる。

Referred to IETF95 – LPWAN BOF, Alexander Pelov (a@ackl.io)

- ミッション

- ✓ IPv6 over LPWAN の技術仕様検討と策定
 - WGの対象は SIGFOX, LoRa, WI-SUN, NB-IOT

- 2016年11月 IETF97 Seoul で第1回WGミーティングが開催された。

Internet Area

Chairs

- Pascal Thubert, Cisco
- Alexander Pelov, Acklio

2017年4月: LPWAN specification

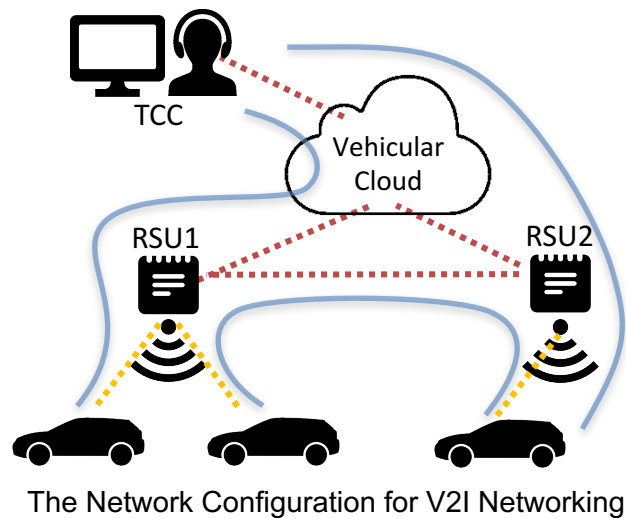
2017年5月: IP/UDP compression and fragmentation mechanism

2017年7月: CoAP compression mechanism

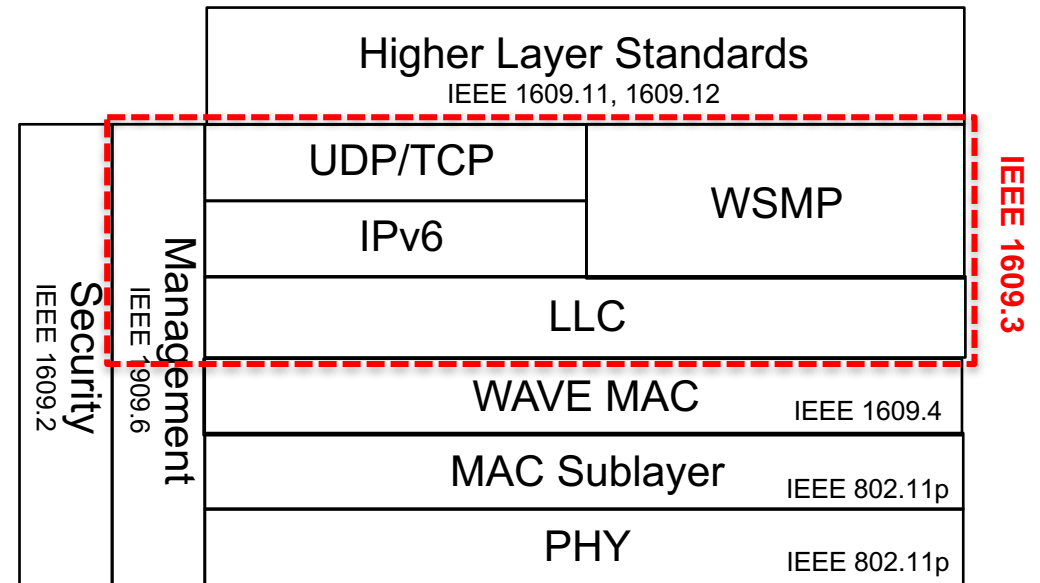
WAVE

Wireless Access in Vehicular Environments

- ✓ V2V, V2I を実現するための通信規格。
- ✓ 基本的には IEEE 802.11p と IEEE 1609 で構成されている。
- ✓ 2016年4月にIEEE1609.3-2016 WAVE Networking Services が発行された。
- ✓ ネットワークは IPv6、リンク技術は IEEE 802.11 OCB を採用している。



- Wired
- Wireless
- e.g.
 - 802.11-OCB
 - 802.15.4
 - 802.11ad
 - VLC
 - IrDA
 - LTE-D
 - LP-WAN



WAVE Reference Model, IEEE 1609.3-2016

ipwave WG

IP over Wireless Access in Vehicular Environments

- 背景
 - ✓ 2012年7月から非公式、公式BoFを数回開催し、10月にWGに承認された。
- 課題
 - ✓ IEEE 1609.3 で指定された IPv6ベースの通信手順の詳細が定義されていない。
- ミッション
 - ✓ IETFの視点からV2V, V2I の課題を明らかにする。
 - ✓ IPv6 over IEEE 802.11 OCB に必要な技術・手順を検討・策定する。
- IETF97 Seoul で、第1回目のWGミーティングが開催された。

Internet Area

Chairs

- Carlos Bernardos, UC3M
- Russ Housley, Vigil Security

2017年05月: Submit "IPv6 over 802.11-OCB" to IESG

2017年10月: Submit "ITS General Problem Area" to IESG

2018年05月: Submit "Problem Statement" to IESG

ipwave WG

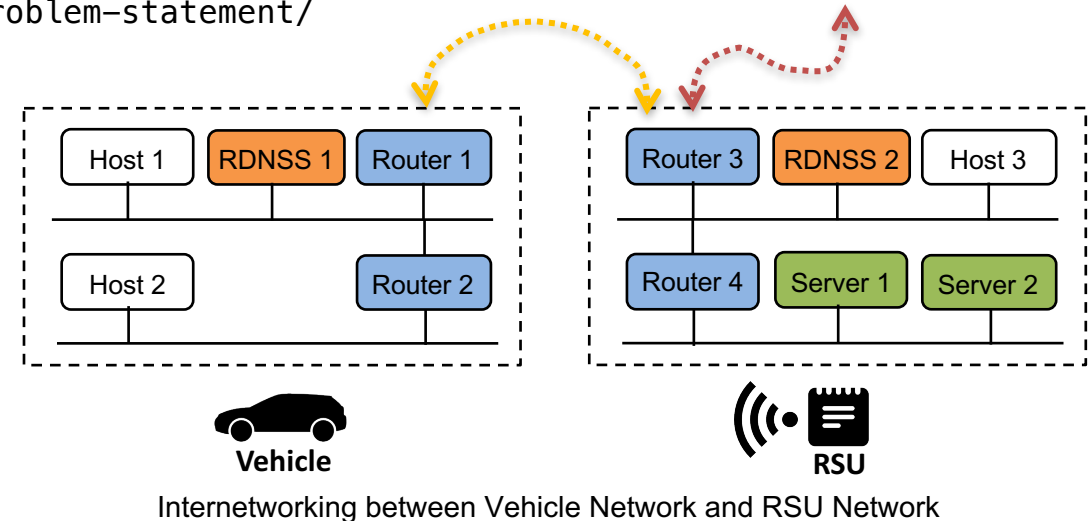
IP over Wireless Access in Vehicular Environments

[Problem Statement for Vehicle-to-Infrastructure Networking](https://datatracker.ietf.org/doc/draft-jeong-its-v2i-problem-statement/)

<https://datatracker.ietf.org/doc/draft-jeong-its-v2i-problem-statement/>

- ✓ IPv6 Addressing
- ✓ Neighbor Discovery
- ✓ IP Address Autoconfiguration
- ✓ DNS Naming Service
- ✓ IP Mobility Management
- ✓ Service Discovery
- ✓ Security

2018年5月にIESGに投稿する予定。



[Transmission of IP Packets over IEEE 802.11 in mode Outside the Context of a Basic Service Set](https://datatracker.ietf.org/doc/draft-petrescu-ipv6-over-80211p/)

<https://datatracker.ietf.org/doc/draft-petrescu-ipv6-over-80211p/>

2017年5月にIESGに投稿する予定。

Authors:

Alexandre Petrescu, CEA, France

Nabil Benamar, Moulay Ismail University, Morocco

Jerome Haerri, Eurecom, France

Christian Huitema

Jong-Hyoun Lee, Sangmyung University, South Korea

まとめ

- ”モノ”をつなぐ技術の一例の紹介
 - 6LoWPAN
 - 6TiSCH
 - RPL
- IETFにおける”モノ”をつなぐ技術の動向
 - 6lo WG
 - 6tisch WG
 - roll WG
 - lpwan WG
 - ipwave WG

Q&A