



センサーネットワークにおけるIPv6に関する標準化動向

坂根昌一

IoTインキュベーションラボ

シスコシステムズ合同会社

IPv6 Summit in Tokyo 2013, 2013年11月25日

内容

- センサー網におけるIP技術の課題
- IEEE802.15.4とギャップ
- 6LoWPANと応用



センサー網におけるIP技術の主な5つの課題

■ 動作条件の厳しい通信機器の存在

- 省電力
- 物理的サイズ(5mm~)
- 低CPU性能(8 or 16-bit, 低クロック 8~16MHz)
- 少ないメモリ(~128 KB)
- スリープモード

■ 通信条件の厳しいネットワークの存在

- 多数のノード(~数千ノード)
- 低通信帯域(~250kbps)
- 高パケット損失性
- 厳しい動作環境条件

Challenge Areas

新しいリンクに対応する技術の標準化

耐障害性経路制御プロトコルの標準化

LLN向け汎用アプリケーションプロトコルの標準化

LLN向け機器の実装ガイド

LLN向け機器管理・セキュリティ技術の標準化

センサー網におけるIP技術の主な5つの課題

- 動作条件の厳しい通信機器の存在
 - 省電力
 - 物理的サイズ(5mm~)
 - 低CPU性能(8 or 16-bit, 低クロック 8~16MHz)
 - 少ないメモリ(~128 KB)
 - スリープモード
- 通信条件の厳しいネットワークの存在
 - 多数のノード(~数千ノード)
 - 低通信帯域(~250kbps)
 - 高パケット損失性
 - 厳しい動作環境条件

6LoWPAN技術

新しいリンクに対応する技術の標準化

耐障害性経路制御
プロトコルの標準化

LLN向け汎用アプリケーション
プロトコルの標準化

LLN向け機器の
実装ガイド

LLN向け機器管理・
セキュリティ技術
の標準化

IETF “6lowpan” WG

- IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks
- Co-chairs:
 - Carsten Borman (Bremen Univ.)
 - Geoff Mulligan (Proto6, Consultant)
- Mission & Status
 - IEEE 802.15.4-basedネットワークに対する、IPv6 Adaptation Layerの策定とIPv6仕様の拡張
 - ほぼ一通りの作業が完了している。
 - “6lo-WG” に引き継がれた。

Challenge Areas

新しいリンクに対応する技術の標準化

耐障害性経路制御
プロトコルの標準化

LLN向け汎用アプリケーション
プロトコルの標準化

LLN向け機器の
実装ガイド

LLN向け機器管理・
セキュリティ技術
の標準化

IETF “6lo” WG

- IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes
- Co-chairs
 - Ulrich Herberg (Fujitsu Lab.)
 - Samita Chakrabarti (Ericsson)
- Problem
 - 6lowpan WGがクローリング・フェイズになっている。
 - 6LoWPANベース技術の受け皿がない。

e.g.

 - IPv6 over Foo
 - ✓ BT, G.9959(subset of Z-Wave), DECT ULE, RS485, etc..
 - ヘッダ圧縮の最適化手法
 - 6LoWPANベース機器のMIB

Challenge Areas

新しいリンクに対応する技術の標準化

耐障害性経路制御プロトコルの標準化

LLN向け汎用アプリケーションプロトコルの標準化

LLN向け機器の実装ガイド

LLN向け機器管理・セキュリティ技術の標準化

6LoWPANとIEEE 802.15.4

■ IEEE802.15.4

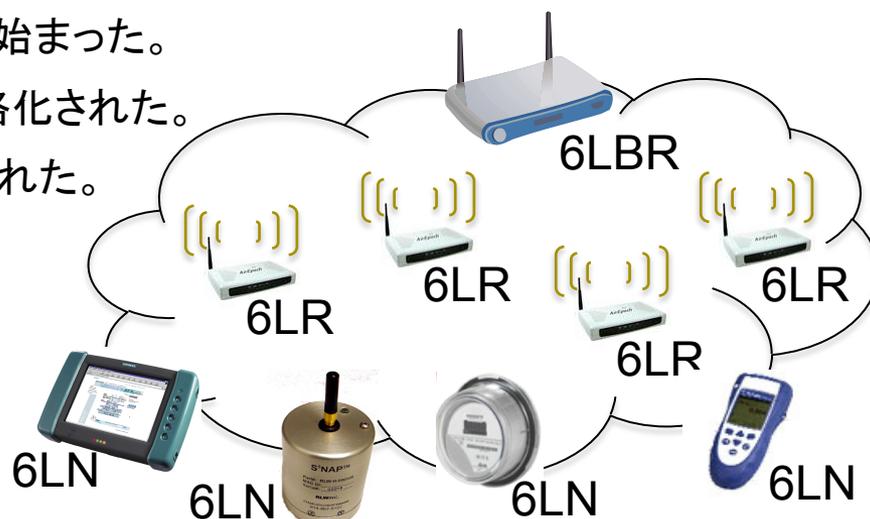
- 省電力、低コスト、省スペース
- 特徴: 低CPUクロック、小メモリ、電池駆動、スリープ、メッシュ
- Zigbee, ISA100.11a, WiHART, etc.

■ 経緯

- 2003年: IEEE802.15.4-2003が規格化された。
- 2004年: IETFでIPv6のための適合層の検討が始まった。
- 2006年: IEEE802.15.4-2006が規格化された。
- 2007年: RFC4944が発行された。
- 2008年: new HCとND最適化の議論が始まった。
- 2011年: IEEE802.15.4-2011,e,gが規格化された。
- 2012年: RFC6282, RFC6775が発行された。

■ 何が課題だったのか？

- PHYフレームサイズ
- IPv6 ND(マルチキャスト)
- L2メッシュ



What are “6LoWPAN” protocols ?

- 802.15.4ベースのL2リンクとTCP/IP技術のギャップを埋める。
 - 当初は、802.15.4-2006が対象だった。
 - 現在は、IEEE 1901.2や ECHONET-Lite等への応用も検討中。
- What's new ?
 - Fragmentation and Reassembly (FAR)
 - IPv6 Header compression (HC)
 - ✓ スタック全体で冗長なフィールドを削除
 - ヘッダーチェーン Chained header by a dispatch field.
 - 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
 - ND Optimization
 - ✓ multicast packet の抑制
 - ✓ L2網の情報の伝達
 - border routerのアドレス
 - header compressのための情報

IEEE802.15.4とIPv6の主なギャップ

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.➤ Multicast for ND

IEEE802.15.4フレームと6LoWPAN

- LOWPAN_IPHC (1B)

- IPv6ヘッダ圧縮方法を指定する。



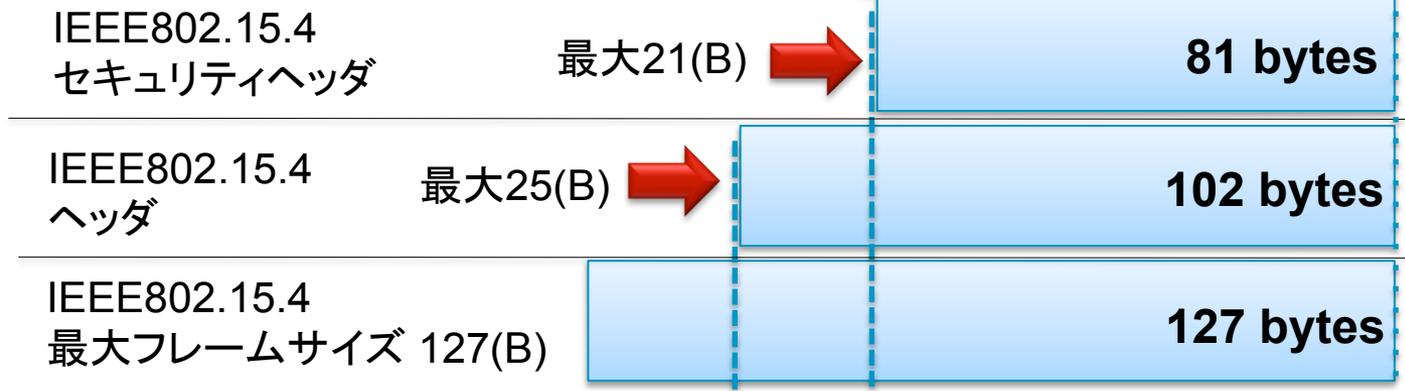
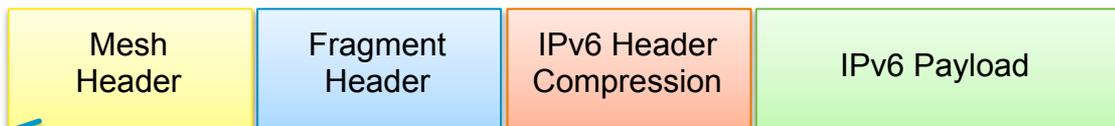
- Fragment Header (4B or 5B)

- 81バイトに収まらない場合に使用する。



- Mesh Header (5B ~ 17B)

- mesh-underの場合に使用する。



6LoWPAN: Header Compression

Best case: 4 B + UDP payload size (77 B for APP.)

Link local addresses + Compressed IPv6/UDP header

e.g. FE80::0217:3B00:1111:2222 -> FE80::0217:3B00:3333:4444

DSP + LoWPAN_IPHC (2 bytes)	LoWPAN_NHC (1 byte)	UDP ports (4 bits SRC, 4 bits DST) (1 byte)
-----------------------------------	------------------------	---

Multicast: 16 B + UDP payload size (65 B for APP.)

Multicast Address Compression, Compressed UDP ports

e.g. FE80::0217:3B00:1111:2222 -> FFxx::00xx:xxxx:xxxx

DSP + LoWPAN_IPHC (2 bytes)	Hop Limit (1 byte)	Destination Multicast Address (6 bytes)	LoWPAN_NHC (1 byte)	UDP ports SRC & DST (4 bytes)	UDP Checksum (2 bytes)
-----------------------------------	-----------------------	--	------------------------	-------------------------------------	------------------------------

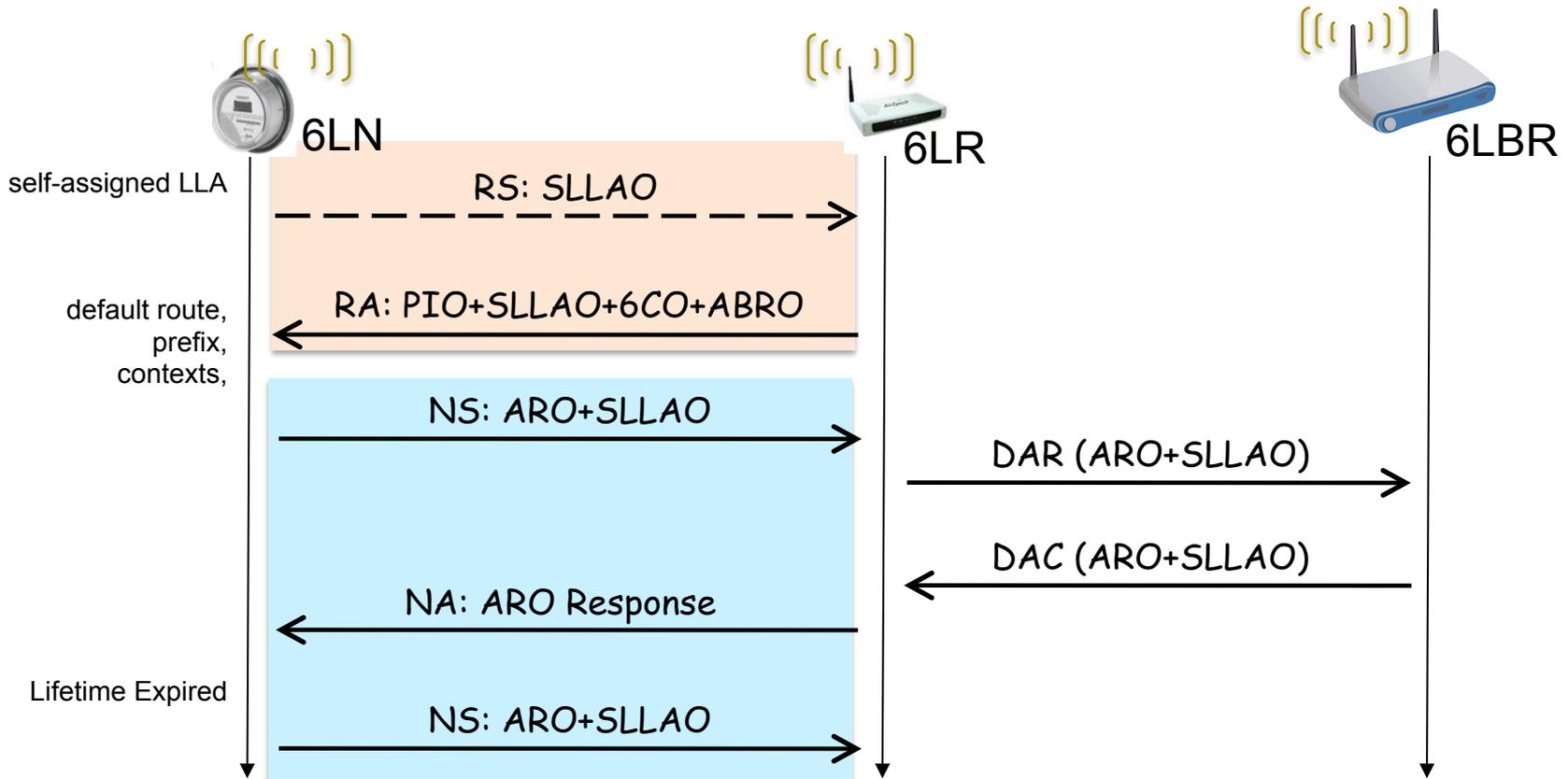
Multiple IP Hops: 42 B + UDP payload size (39 B for APP.)

Full IPv6 Address, Compressed UDP ports

e.g. 2001:0db8:cafe:cafe:0217:3B00:1111:2222 -> 2001:0db8:beef:beef: :68

DSP + LoWPAN_IPHC (2 bytes)	Hop Limit (1 byte)	Source Address (16 bytes)	Destination Address (16 bytes)	LoWPAN_NHC (1 byte)	UDP ports SRC & DST (4 bytes)	UDP Checksum (2 bytes)
-----------------------------------	-----------------------	---------------------------------	--------------------------------------	------------------------	-------------------------------------	------------------------------

6LoWPAN: ND Message Exchange



- 3つのIPv6 ND optionと、2つのICMPv6 typeを定義
- RS以外は、**ユニキャスト**で実現する。

6LoWPANの応用の検討

- DECT ULE (Digital Enhancement Cordless Telecommunications Ultra Low Energy)
 - DECTは、デジタルコードレス電話の通信規格。
 - 使用例: ホームセキュリティ・センサー、ヘルスマonitoring
- MS/TP (Master-Slave / Token-Passing)
 - RS-485を使用したBACnetのデータリンク規格の1つ。
 - 使用例: ビルディングオートメーション
- ITU-T G.9959
 - Z-WAVEのMACの規格
 - 使用例: ホームオートメーション
- BT-LE (Bluetooth Low Energy)
 - 低消費電力版Bluetooth
 - 使用例: ヘルスマonitoring、環境センサ

低消費電力、低CPUパワー、小メモリ、低通信レート
のいずれか、または全てに当てはまる。

6LoWPANの応用の検討/まとめ

	DECT ULE	MS/TP	Z-WAVE	BT-LE
Topology	Star	Bus or Line	Star	Star
MPDU Size (B)	38	1501 [審議中]	12~40 (*R1,R2) 130~158 (*R3)	19~27
FAR	Supported (~65535)	Supported	Supported (~1350)	Supported
L2 Multicast	Not supported	Not supported	Supported	Not supported
L2 Broadcast	Not supported	Supported	Not supported	Not supported
L2 Address	40-bit (IPIE,TPUI) 20-bit(RFPI) 48-bit (EUI-48)	8-bit	8-bit NodeID	48-bit IEEE802-2001

各プロトコルにおける6LoWPAN技術の実装要求

	FAR	HC	ND Opt.	Mesh	M/B-cast
DECT ULE	x (*1)	x	x	no	TBD
MS/TP	no	x	x	no	no
Z-WAVE	no	x	x (*2)	no	
BT-LE	no	x	x	no	no

- *1: FARは必須ではないため。
- *2: AROは条件的。DADはしない。

References

- RFC 4944: Transmission of IPv6 Packets over IEEE802.15.4 Networks
- RFC 6282: Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE802.15.4-Based Networks
- RFC 6775: Neighbor Discovery Optimization for 6LoWPANs
- [Transmission of IPv6 over MS/TP Networks](#)
- [Transmission of IPv6 Packets over DECT Ultra Low Energy](#)
- [Transmission of IPv6 packets over ITU-T G.9959 Networks](#)
- [Transmission of IPv6 Packets over BLUETOOTH Low Energy](#)

まとめ

- IEEE802.15.4ベースのセンサーネットワークにおけるIPv6の使用が検討されてきた。
 - IETF 6lowpan-WG
 - 6LoWPAN
- パケットサイズ、マルチキャスト問題等を解決するための技術が標準化された。
 - RFC4944
 - RFC6282(6LoWPAN-HC)
 - RFC6775(6LoWPAN-ND)
- IEEE802.15.4以外のリンク技術への応用が検討されている。
 - IETF 6lo-WG
 - DECT ULE, MA/TP, Z-WAVE, BT-LE



CISCO