

情報爆発時代のセンサネットワーク通信基盤技術 6LoWPANの実装と評価

佐藤 貴彦[†]島田 秀輝[†]藤川 和利[†]砂原 秀樹[†]奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科[†]

1 はじめに

機器の高性能化や小型化, 電力性能の向上が進み, 通信機能を備えたセンサデバイスによる自律分散ネットワークである, センサネットワークが注目されている。

センサネットワークでは, 乏しい計算資源や電力といった制約のため, 各機器に特化した専用無線通信規格を用いるのが主だった。その中, 省電力を特徴としたワイヤレスセンサ向けの標準通信規格として, IEEE802.15.4[1]が登場した。この規格は固定電源を必要とせず, 電池のみで数ヶ月からの動作をするように作られている。

IEEE802.15.4 はリンク層のプロトコルだが, 代表的な上位層プロトコルとして ZigBee[6] と呼ばれる非 IP 規格が存在する。しかし既存の IP ネットワークとの親和性を求め, IPv6 を利用した上位層プロトコルとして, 6LoWPAN[3] が RFC として勧告された。

IEEE802.15.4 は Ethernet などのリンクプロトコルと違い, そのまま IPv6 を用いることはできない。6LoWPAN ではこの差異を吸収する層として, Adaptation Layer を定義している。しかし実装面において詳細な議論はされておらず, 性能評価は不十分な点が多い。

本稿では, 実際の IEEE802.15.4 センサボードを用いて 6LoWPAN の実装を行い, 評価及び考察を行った。2 章では 6LoWPAN の概要について, 3 章では設計と実装, 4 章では評価, 5 章でまとめを述べる。

2 6LoWPAN

6LoWPAN[3] とは, IETF ワーキンググループの一つである IPv6 over Low power WPAN で議論されているプロトコルで RFC4944 として勧告された。6LoWPAN は IEEE802.15.4 上で IPv6 を利用するためのプロトコ

ルだが, 主な機能として, Adaptation Layer, Header compression, Address autoconfiguration などがある。

Adaptation Layer とは, IPv6 のネットワーク層と IEEE802.15.4 のリンク層の間に定義された層である。これは IPv6 が IEEE802.15.4 のような制限の厳しいリンクを想定して設計されていないため, リンク層とネットワーク層の差異を埋めるために用意されている。IEEE802.15.4 の最大フレーム長は 127 オクテットに対し, IPv6 は MTU が 1280 オクテット以下のリンクの使用を禁止している。よって 1 フレームに収まらないパケットは, リンクレベルでフラグメントされ転送される。

6LoWPAN では主に UDP/IPv6 の利用を考えているが, IEEE802.15.4 のサイズが 127byte であるのに対し, フレームのオーバーヘッドが 25byte, IPv6 ヘッダは 40byte, UDP ヘッダは 8byte 必要であり, この時点でペイロードはフレームサイズの半分以下になる。よってペイロード節約のため, IPv6 ヘッダ及び UDP ヘッダの圧縮を規定している。不必要なヘッダフィールドの削減と, 同一リンク内通信での IPv6 アドレスフィールド削減を行い, これらを制御するエンコーディングヘッダからなる。

Address autoconfiguration は, IPv6 のアドレス自動生成機構に相当するもので, IEEE802.15.4 デバイスのショートアドレス, PAN ID から IPv6 アドレスのサフィックスを自動生成するものである。

3 設計と実装

今回, 6LoWPAN スタック及び外部ネットワークと接続するゲートウェイを実装した。ネットワーク構成を図 1 に示す。

6LoWPAN スタックの実装には, Jennic 社の JN5139 IEEE802.15.4 Evaluation Kit というセンサボードを使用した。センサボードの仕様は, プロセッサに 32bit の RISC, 96kbyte の RAM, 192kbyte の ROM, 2.4GHz の IEEE802.15.4 モジュール, 2つの UART と様々なセンサなどから構成される。IEEE802.15.4 ネットワーク

Info-plosion: Implementation of 6LoWPAN for Sensor Network and its Evaluation

Takahiko Sato[†], Hideki Shimada[†], Kazutoshi Fujikawa[†], Hideki Sunahara[†]

[†]Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

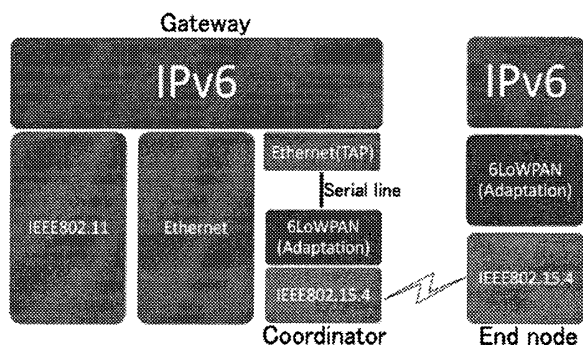


図 1: ゲートウェイ及びセンサの構成とスタック

ではコーディネータとエンドデバイスの2種類のノードがあり、1つのコーディネータに複数のエンドデバイスが接続する形をとる

内部のフラグメント制御では、動的メモリ割り当て及びコピーによるオーバーヘッドを低減させるために、102byteの固定長バッファを作成した。この固定長バッファはFreeListで構成されたメモリプールとして初期化しており、必要に応じて取り出される。リンクフラグメント発生時には、取り出したバッファでリストを構成し、パケットの断片を保持する仕組みになっている。またIPv6スタックの実装について、本来であればIPv6のフル機能を実装すべきであるが、センサで利用する機能は限られるため、今回はIPv6の必須機能であるNeighbor Discoveryを中心に、ICMPの一部を実装した。

ゲートウェイとなるPCとコーディネータの接続にはシリアル接続が用いられている。シリアルライン上でIPパケットの通信を行うために、今回はSLIP[4]を利用する。

4 評価

今回評価として、pingによる通信を行った。図1のゲートウェイPCからエンドノードに向かって、パケットサイズを変えながら通信を行い、そのRTTを計測した。図2に、pingによるRTTのグラフを示す。3つのグラフは、(1)ゲートウェイとエンドノード間のRTT、(2)ゲートウェイとコーディネータ間であるシリアル部分のRTT、そして(1)から(2)を引いた(3)コーディネータとエンドノード間のRTTをあらわしている。

今回用いたIEEE802.15.4のセンサボードとゲートウェイとなるPCの間では、シリアルケーブル上にSLIPを使ってIPv6パケットをやり取りしている。そのため、シリアル部分のオーバーヘッドが非常に大きくなっている。

IEEE802.15.4のペイロードは102オクテットなので、これより大きいサイズのパケットを送信した場合にはリンクフラグメントが発生する。このため100byteおきにリンクフラグメントが発生しオーバーヘッドになると考

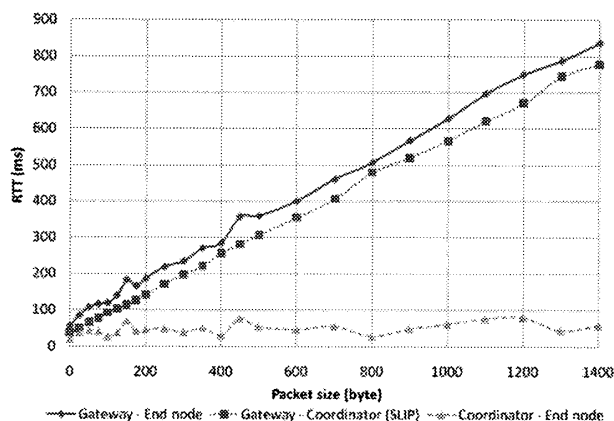


図 2: PingによるRTT計測

えられる。今回pingのデータサイズを1400byteまで増加させて計測したが、フラグメントの処理による顕著なオーバーヘッドは見られなかった。また、既存の実装報告[2]などでは、リンクフラグメントが増えるとパケットロスが大量に発生したとあるが、本実装では目立ったパケットロスは起こらなかった。

5 まとめ

今回実際のIEEE802.15.4機器を用いて、6LoWPANの実装・通信評価を行った。送信パケットのサイズを変えながらリンクフラグメントを発生させて通信を行ったが、リンクフラグメントによって通信性能が著しく低下するといったことはなく、IPを用いても、問題なく通信が行えることを確認した。

今回は1対1での通信を行ったが、1対多で通信を行った場合や、メモリ資源がさらに限られた機器では、通信が集中した場合、メモリ不足がさらに深刻化すると考えられる。今後の課題としては、最適な固定長バッファサイズの検討や、バッファオーバーフローをどのようにして回避するかなどを考えている。

参考文献

- [1] IEEE802.15.4-2003 “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)”, IEEE Computer Society, May 2003
- [2] Matus Harvan: “Connecting Wireless Sensor Networks to the Internet - a 6lowpan Implementation for TinyOS 2.0”, Master’s Thesis Jacobs University, May 2007
- [3] “Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks”, RFC4944, Sep 2007
- [4] “A NONSTANDARD FOR TRANSMISSION OF IP DATAGRAMS OVER SERIAL LINES: SLIP”, RFC1055, June 1988
- [5] Jennic, <http://www.jennic.com/>
- [6] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org/>