

## 有線/無線相互補完通信のための ハイブリッドルーティングプロトコルの実装と評価

中野 裕 貴<sup>†1</sup> 澤田 尚 志<sup>†2</sup> 栗山 央<sup>†3</sup>  
峰野 博 史<sup>†2</sup> 水野 忠 則<sup>†4</sup>  
齋藤 義 仰<sup>†1</sup> 村山 優 子<sup>†1</sup>

近年，各種 HEMS(Home energy management system) 技術が注目されている．HEMS に用いるネットワークには様々な通信が存在するが，本稿では有線通信の PLC(Power Line Communication) と無線通信の IEEE802.15.4 を使用する有線/無線相互補完通信プロトコルに注目した．現在，有線/無線相互補完通信プロトコルにはルーティングプロトコルとしてプロアクティブ方式とオンデマンド方式が実装されている．この 2 つの方式は遅延や通信の信頼性が異なるプロトコルである．本稿では上り通信と下り通信で 2 つの方式を使い分けるハイブリッド方式を実装，評価した．

### Implementation and evaluation of Hybrid routing protocol for wired/wireless mutually complementary communication protocol

YUKI NAKANO,<sup>†1</sup> HISASHI SAWADA,<sup>†2</sup>  
HIROSHI KURIYAMA,<sup>†3</sup> HIROSHI MINENO,<sup>†2</sup>  
TADANORI MIZUNO,<sup>†4</sup> YOSHIYA SAITO<sup>†1</sup>  
and YUKO MURAYAMA <sup>†1</sup>

In recent years, technologies of HEMS (Home energy management system) are studied by many researchers. There are various protocols to build a network for HEMS. We focus on a wired/wireless mutually complementary communication protocol which uses PLC for wired communications and IEEE802.15.4 for wireless communications. The protocol is currently implemented as on-demand or proactive routing protocols. These two methods have different communication delay and reliability. In this paper, we implemented and evaluated a hybrid routing protocol which used the on-demand one for uplink communication and the proactive one for downlink communication.

### 1. はじめに

現在，京都議定書や地球温暖化の問題によって，エネルギー消費に関して取り沙汰されている．資源エネルギー庁「日本のエネルギー 2009」では，エネルギー消費に関して民生・運輸が大幅に増加していることを指摘している<sup>1)</sup> 特に，家庭内での消費電力は快適さ・利便性を求め，第一次オイルショック (1973 年) より 2.6 倍ものエネルギー消費の伸びがある．これらの家庭内の消費エネルギーを抑制するためにセンサネットワークを構築し，住宅のエネルギー消費機器 (家電機器，給湯器など) を自動制御・間接制御，エネルギーの見える化を行う各種 HEMS(Home energy management system) 技術が近年では注目されている．

HEMS 等に用いられるネットワーク通信では，既存の構造物に対して新しく線を引くことなくネットワーク構築できること，様々な環境とその変化に対応できる信頼性，そして広範囲なエリアをカバーする必要がある．有線通信では PLC や Ethnet，無線通信では IEEE802.15.4 や IEEE802.11 と様々なものが存在するが，本稿では有線通信の PLC と無線通信の IEEE802.15.4 を用いた有線/無線相互補完通信プロトコル<sup>2)</sup> に注目した．有線/無線相互補完通信プロトコルでは，有線通信と無線通信の課題を双方が補い合うことで解決し，No NewWire で，高信頼・広範囲な通信を構築するものである．

有線/無線相互補完通信のルーティングプロトコルとしてプロアクティブ方式<sup>3)</sup> とオンデマンド方式<sup>4)</sup> があり，それぞれ遅延や通信の信頼性が異なるプロトコルである．この 2 つの方式を単独で用いるより，利用シーン，本稿では上り通信と下り通信，によって使い分けることでより高信頼で即時性のあるプロトコルができ，HEMS 等のセンサネットワーク構築に役立つと考えた ..

本稿では，有線/無線相互補完通信のルーティングプロトコルとしてプロアクティブ方式とオンデマンド方式を組み合わせたハイブリッド方式を提案する．遅延が少ないほうがよい

<sup>†1</sup> 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科  
Graduate School of Software and Information science, Iwate Prefectural University

<sup>†2</sup> 静岡大学大学院情報学研究科  
Graduate School of Informatics, Shizuoka University

<sup>†3</sup> 静岡大学創造科学技術大学院  
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

<sup>†4</sup> 愛知工業大学情報科学部情報科学科  
Department of Informatics, Faculty of Informatics, Aichi Institute of Technology

上り通信ではプロアクティブ方式、通信の信頼性が必要な下り通信ではオンデマンド方式で実装を行い、遅延や信頼性の観点から実験・評価した。

## 2. 関連研究

### 2.1 相互補完通信プロトコル

既存のネットワークと相互補完通信に関してまとめたものを(表 1)に示す。

一般的に用いられる有線通信と無線通信には課題がいくつか存在する。有線通信では、Ethernet は PC で用いられる一般的な通信規格で設置コストや消費電力は高いが速度や信頼性が高く、PLC はコンセントによる容易な設置が可能だが速度が遅く、電等のノイズに弱い。無線通信に関しては、IEEE802.11 は PC で用いられる一般的な通信規格で設置コストは低い消費電力が有線通信より低く、速度も PLC 以上に速く、IEEE802.15.4 は安価で一般の無線通信より低消費電力なつくりであるが、速度が遅い。無線通信全般にいえることは、障害物による電波途絶への対処や機器相互間の電波干渉で通信が安定しない課題がある。それぞれ課題として、Ethernet では設置コストが高く、PLC(電力線通信)では家電等のノイズに弱いこと、無線通信では障害物による電波途絶への対処や機器相互間の電波干渉で通信が安定しないことが挙げられる。そこで、有線通信の PLC、無線通信の IEEE802.15.4、二つの通信を用いた有線/無線相互補完通信プロトコルというものの研究されている。これは、設置コストが低く、消費電力も Ethernet ほど高くなく、2 つの通信を切り替えることで干渉耐障害性を上げ、信頼性を向上させたものである。例えば、既存の無線通信では干渉や壁によって電波が遮断される場合には通信が行えない。住宅内では各部屋や各階を跨ぐ場合に、通信が行えなくなる可能性がある。この場合は PLC による通信を行うことで課題を解決する。PLC を用いた場合では、家庭内のコンセントを用いて電力線通信を行う特性上、家電のノイズに弱い課題が挙げられる。PLC のみではノイズによって通信が行えず、コンセントがある場所でないといけない。この場合には無線通信を行うことで課題を解決する。本稿ではこの有線/無線相互補完通信プロトコルに着目する。

### 2.2 MANET ルーティングプロトコル

相互補完通信プロトコルを用いてネットワークを確立する方式として、MANET で提唱されている既存のアドホックネットワーク向けルーティングプロトコルをベースに、プロアクティブ型とオンデマンド型の研究を進めているまた、本稿では MANET で提唱されているハイブリッド方式の概念を用いて設計実装を行っている。それぞれ 3 つの方式の特徴と各方式の代表的なルーティングプロトコルがどのようなものなのか以下に述べる。

表 1 屋内向けネットワーク

| カテゴリ           | 名称           | 特徴                  | 設置コスト | 消費電力 | 耐障害 | 速度 | 信頼性 |
|----------------|--------------|---------------------|-------|------|-----|----|-----|
| 有線通信           | Ethernet     | PC 等で利用             | ×     | ×    |     |    |     |
|                | PLC          | 電力線通信               |       |      |     |    |     |
| 無線通信           | IEEE802.11   | PC 等で利用             |       | ○    | ×   |    |     |
|                | IEEE802.15.4 | 安価<br>低消費電力         |       |      | ×   | ×  |     |
| 有線と無線<br>組み合わせ | Ethernet     | PLC<br>IEEE802.15.4 |       | ○    |     |    | ○   |

#### 2.2.1 プロアクティブ方式

プロアクティブ方式とは OLSR(Optimized Link State Routing)<sup>5)</sup> のようにルーティングテーブルに経路情報を保持する方式である。ルーティングテーブルを保持するため即時性が高い特徴がある。しかし、Hello パケットによって周期的に通信経路を保持するため通信量が多くなる傾向にある。この方式は、ノードポロジや通信品質が大きく変化しない状況に適している。

#### 2.2.2 オンデマンド方式

オンデマンド方式とは DSR(Dynamic Source Routing)<sup>6)</sup> のようにデータ通信の必要時に、ルート探索パケットを発行し、ルートを発見後にデータ通信を開始する方式である。通信量が少なく、信頼性のある通信が行える特徴がある。しかし、経路決定を逐次行うので即時性は低い課題が存在する。この方式は、信頼性のある確実な通信を行う必要がある状況に適している。

#### 2.2.3 ハイブリッド方式

ハイブリッド方式とは ZRP(Zone Routing Protocol)<sup>7)</sup> のようにプロアクティブ方式とオンデマンド方式を使い分ける方式である。2 つの方式の良いところをとれるという特徴がある。しかし、課題として、どのように方式を適用するかが重要となってくる。ZRP ではゾーン内ではプロアクティブ方式、ゾーン外ではオンデマンド方式を用いる。

#### 2.2.4 ま と め

MANET のルーティングプロトコルの名称と特徴をまとめたものを(表 2)に示す。プロアクティブ方式の遅延の少なさとオンデマンド方式は通信の遅延の少なさが特徴としていえる。また、ハイブリッド方式はその環境の適した方式を適用すればより効率よく運用できるといえる。現状の相互補完通信プロトコルではプロアクティブ方式、もしくはオンデマンド

方式どちらかの方式によるネットワークを構築するにとどまっているが、HEMS の環境に合わせてハイブリッド方式を適用できれば、ネットワーク構築後を考慮した、より効率的な運用ができるプロトコルになると考える。

表 2 MANET におけるプロトコル

| 方式      | 名称   | 方式概要                                 | 比較               | 即時性 | 信頼性 |
|---------|------|--------------------------------------|------------------|-----|-----|
| プロアクティブ | OLSR | ルーティングテーブルを保持<br>Hello パケットによりテーブル更新 | 即時性に特化           | 高   | 低   |
| オンデマンド  | DSR  | 目的ノードに対して<br>通信することに経路決定             | 確実な通信            | 低   | 高   |
| ハイブリッド  | ZRP  | 2 つの方式を状況に応じ適用                       | 両方式の良い<br>ところとれる | 中   | 中   |

3. 設計実装

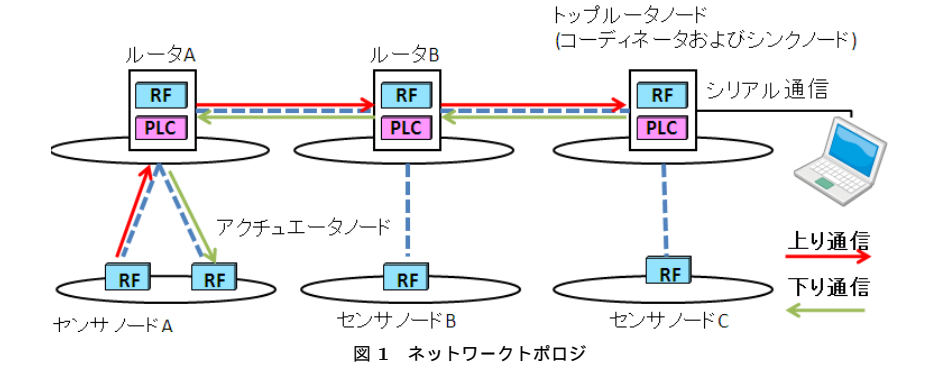
3.1 想定環境

本稿の相互補完通信通信を利用する環境として、家庭内にネットワークを構築し、家電を制御、表示するシステムである HEMS を挙げられる。HEMS で構築するネットワークボロジは図 1 で示すように以下の構成からなる。

(1) コーディネータノード (トップルータノード): ネットワークの制御、構築する。(2) シンクノード (トップルータノード): 各センサノードのデータを収集する。(3) ルータノード: ネットワーク内のデータ中継を行う。(4) エンドノード: センシングを行うセンサノード、機器を制御するアクチュエータノードなどが存在する。

相互補完通信通信はトップルータノード (コーディネータノードおよびシンクノード) とルータノードで適用される。HEMS で用いる場合、トップルータノードが 1 台とルータノードが 6~8 台程度、そしてエンドノードは規模にもよるが 50 台程度で構築される。

ネットワーク構成の中で相互補完通信通信の利用シーンは、センサノードの収集したセンサデータをシンクノードまで到達させる上り通信、コーディネータノードからアクチュエータノードへ制御命令を到達させる下り通信が利用シーンとして想定される。上り通信はエンドノードからルータノードへ、さらにルータノードからシンクノードへセンサのモーション・照度・温度情報等を送信する。今回の想定する環境ではセンサノード群からの大量のデータが送信されることが考えられる。それによって、送信されるデータの遅延や遅延に



よるパケットの損失が考えられる。下り通信ではコーディネータノードからエンドノードのアクチュエータノードに対して命令を発行し機器を制御する通信が主である。この場合、送信される回数は少ないが、機器に対して確実に命令を送ることが重要になってくる。

本稿では利用シーンで挙げた上り通信時と下り通信に相互補完通信で用いられるプロアクティブ方式とオンデマンド方式を適用したハイブリッド方式を提案する。適用する方式は、上り通信時には遅延が少なく済むプロアクティブ方式を、下り通信時には確実な通信が行えるようにオンデマンド方式を適用する。

3.2 設計

まず、相互補完通信におけるプロアクティブ方式とオンデマンド方式のアルゴリズムを説明し、次に、それを適用したハイブリッド方式のアルゴリズムを説明する。

3.2.1 プロアクティブ方式

プロアクティブ方式では、(図 2) のように、スター型のサブネット構成をし、他のサブネットとはクラスタ型で通信する。相互補完通信ではトップルータとルータに分けられ、起動時、サブネット 0 がトップルータとして機能する。トップルータに対してルータがネットワーク参加をしていく。各ルータの下にエンドノードが接続される。

ネットワーク参加には (1) 近隣のルータ (トップルータ) に対してブロードキャスト通信を行う (2) トップルータに最も近い (ホップ数が少ない) ルータに対して通信を確立する (3) トップルータまでの経路のルータに対してネットワークを通知し、ルーティングテーブルに登録する、という手順を踏む。

送信には、ルーティングテーブルを参照して、目的のルータやデバイスに近い方へデータを転送していく。

### 3.2.2 オンデマンド方式

オンデマンド方式では、(図 3) に示すようにその都度、経路決定をしてから送信を行う。経路決定には、(1) 近隣ルータに対してブロードキャスト通信する (2) それぞれの経路を通して目的のノードに向かう (3) 目的ノードでは一定時間待ってホップ数、信号強度 (RSSI 値、LSI 値)、通信経路等のいずれかの観点から経路を一意に決定する (任意に変更可能) (4) 目的ノードの決定した経路に対して開始したノードに対して遡って送信を行う (5) 開始ノードに経路決定が通知される、という手順を踏む。

経路決定がされたら、送信処理が行われ、決定した経路を通してデータを送信する。

### 3.2.3 ハイブリッド方式

ハイブリッド方式ではオンデマンド方式とプロアクティブ方式を切り替えて使用するために、ルーティングテーブルや送受信の処理を行う下位層の相互補完通信プロトコル層と上り通信と下り通信での 2 つの方式の切り替えやトップルータとルータの機能の切り替えを行う上位層のアプリケーション層の 2 つに分けた。

まず、相互補完通信プロトコル層ではルーティングテーブルを 2 つ用意し、1 つはプロアクティブ方式の経路情報を常に保持するもの、もう 1 つはオンデマンド方式での経路情報を一時的に保持するものを用意する。上位層のアプリケーション層の送受信によってテーブルを変えることで通信方式の切り替えを行う。有線/無線相互補完通信のプロトコルでは図 4 に示すように、送信先としてサブネット ID とデバイス ID を指定して送信を行う。各サブネットを形成するルータノード (もしくはトップルータノード) はデバイス ID 0x00 が割り当てられる。上り通信時には必ずトップルータノードのサブネットの ID 0x00 が指定される。また、下り通信時には必ず ID 0x00 以外のエンドノードが指定されることになる。なので、送信時、ID 0x00 が指定されればプロアクティブ方式のルーティングテーブルを参照し、ID 0x00 以外が指定されればオンデマンド方式のルーティングテーブルを参照するようにする。

次に、アプリケーション層のフローチャートを図 5 に示す。ここではトップルータノード、ルータノードの機能を割り当てる。基盤上の上記 2 つの機能を変更するようにする。基盤上のプッシュスイッチによって、0 を選択した場合はトップルータノードとして、それ以外はルータノードとして機能するようにする。トップルータとルータの違いはトップルータノードにはゲートウェイのやりとりとエンドノードに制御信号を送ることがあるという点

だけである。トップルータでは受信したセンサデータ受信し、ゲートウェイに送信する機能と、ゲートウェイから来た制御信号を送信する機能を盛り込む。

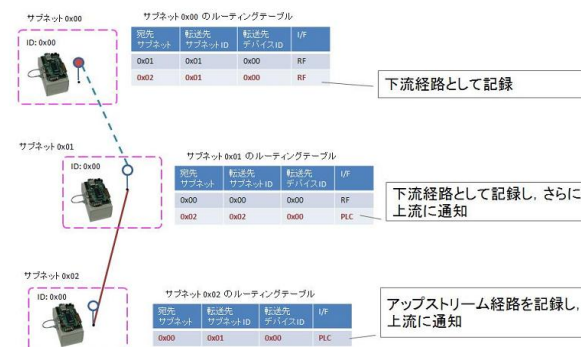


図 2 プロアクティブ方式

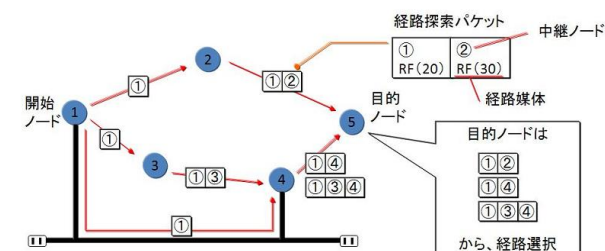


図 3 オンデマンド方式

## 3.3 実装

本プロトコルを株式会社ルネサスソリューションズ製のアプリボードに実装した。アプリ

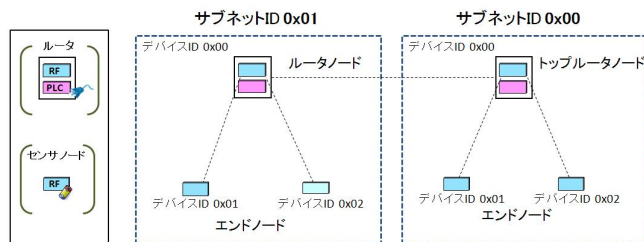


図 4 ネットワーク内構成

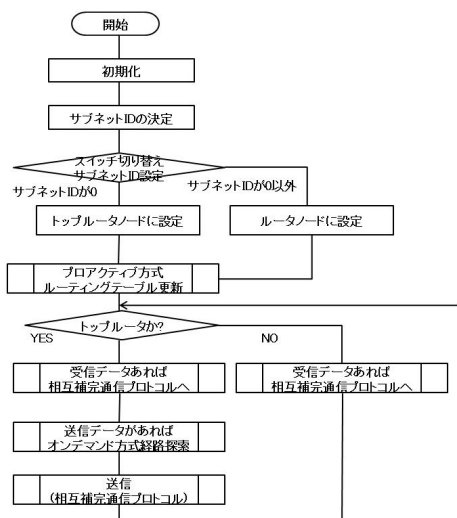


図 5 アプリケーション層:フローチャート

リケーションボードは中速 PLC モデムと IEEE802.15.4 モジュールによって通信が行えるものである。アプリケーションボードを図 6 に示す。

起動時のアプリケーションボード上の LCD 表示の下段にサブネットを入力している。左プッシュスイッチによって自サブネットの任意の数値を指定し、右プッシュ



図 6 実機

スイッチによって決定する。

また、サブネット決定後にトグルスイッチによって上り通信と下り通信でプロアクティブ方式とオンデマンド方式のどちらを用いるのか変更できるように実装した。左トグルスイッチが上り通信時、右トグルスイッチが下り通信時の方式を決定し、下がってあればプロアクティブ方式で上がってあればオンデマンド方式である。

## 4. 評価実験

### 4.1 遅延測定

実験環境として、図 7 に示すように峰野研究室の南側を用いてエンドノード (ED) → ルータノード 1 台もしくは 2 台 (RT1, RT2) → シンクノード (SINK) → ゲートウェイ (GW) とつなぐトポロジを構成した。また、それぞれのルータ間の距離は約 1m 程度である。

まず、上り通信の遅延測定方法を述べる。エンドノードがゲートウェイへ送信を行ったと同時にタイマを開始して時間を測定する。送信と同時にエンドノードは、タイマを開始して時間を測定する。エンドノードであるセンサノードがセンシング情報をルータノードを介してシンクノードに伝え、シンクノードはシリアル通信でゲートウェイにセンサ情報を伝える。ゲートウェイにデータが到着すると、ゲートウェイはエンドノードにシリアル通信で直接データが到着したことを伝え、エンドノードはタイマで測定した時間をゲートウェイに伝える。

次に、下り通信の遅延測定方法を述べる。ゲートウェイはデータをエンドノードに送信す

る．送信と同時に，シリアル通信で直接エンドノードにデータを送信したことを伝え，エンドノードはタイマを開始し時間を測定する．エンドノードにデータが到着すると，測定した時間をゲートウェイに伝える．

最後に往復通信の遅延測定法を述べる．これは，エンドノードがゲートウェイへ送信を行ったと同時にタイマを開始して時間を測定する．ゲートウェイで折り返しエンドノードに送信し，エンドノードにデータが到着したら測定した時間をゲートウェイに伝える．

図 8 に示すように，実験 1 ではルータノードの台数 1 台，実験 2 では 2 台用いて実験を行っている．上り通信ではプロアクティブ方式を用いて，下り通信ではオンデマンド方式を用いて，図示されたルートでパケット（センサデータ）を送信する．

送信されるセンサデータの中身を表 3 に示す．それぞれ，センサノード固有のノード ID，モーション検知かタイマ検知の判定，温度センサの値（2 種類），センサノードのバッテリー電圧，湿度，照度である．

今回の実験では，送信パケット数は 100 個として平均時間（秒）を上り通信と下り通信，および往復通信遅延のそれぞれを，ルータ台数が 1 台（実験 1）と 2 台（実験 2）の場合で測定した．

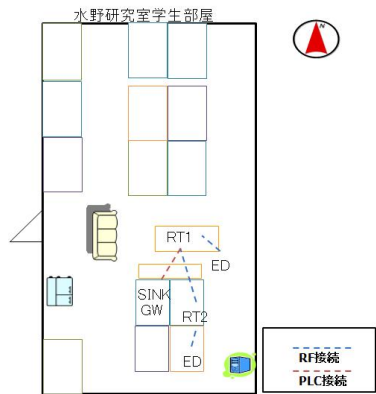


図 7 実験環境

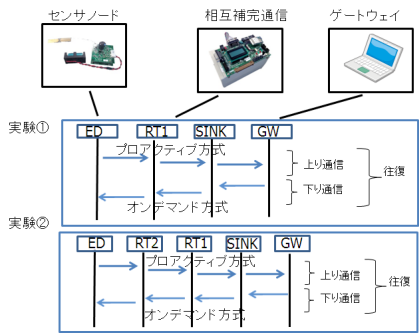


図 8 シーケンス図

表 3 送信データ列内約

| データ名   | データ型   | 説明              |
|--------|--------|-----------------|
| AddrID | int    | センサノード固有 ID     |
| T1     | double | 温度 1(セ氏)        |
| T2     | double | 温度 2(セ氏)        |
| M      | int    | モーション検知，タイマ検知判定 |
| B      | double | バッテリー電圧 (V)     |
| H      | double | 湿度 (%)          |
| L      | int    | 照度 (ルクス)        |

4.2 遅延測定結果

実験結果のグラフを図 9 に，表を表 4 に示す．上り通信（プロアクティブ方式）はルータが 1 台の場合 0.422 秒，ルータが 2 台の場合 0.713 秒である．下り通信（オンデマンド方式）はルータが 1 台の場合 1.091 秒，ルータが 2 台の場合 1.346 秒である．また，往復遅延は，ルータが 1 台の場合 1.55 秒，ルータが 2 台の場合 2.054 秒である

上り通信（プロアクティブ方式）は遅延が少なく，下り通信（オンデマンド方式）では遅延が大きかったことがわかった．下り通信が遅延している理由は推測するに 2 つほど考えられる．1 つ目は通信経路と確立するための通信と実際と送信処理で 2 往復分の通信時間がかかってしまうことが挙げられる．2 つ目は，エンドノードが同期（syn）パケットをルータが送信す

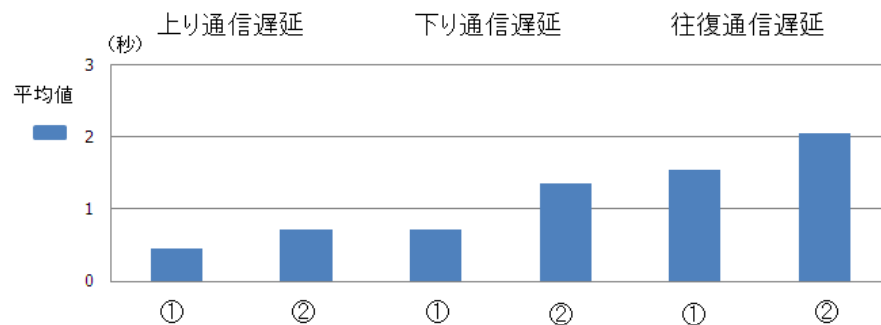


図 9 実験結果

表 4 実験結果

| ルータ数 | 上り通信遅延<br>平均値 (秒) |
|------|-------------------|
| 2    | 0.422             |
| 3    | 0.713             |
| ルータ数 | 下り通信遅延<br>平均値 (秒) |
| 2    | 1.091             |
| 3    | 1.346             |
| ルータ数 | 往復通信遅延<br>平均値 (秒) |
| 2    | 1.55              |
| 3    | 2.054             |

るまではルータノードからエンドノードへは通信を行わない仕様があるため遅延が発生していることが考えられる。これは、スリープしているエンドノードに対して送信処理をしてしまうと、通信が行えないことを回避するための処理である。今回はエンドノードが絶えず 0.1 秒間隔で同期パケットを送っている。

結果として、プロアクティブ方式を用いた場合ではオンデマンド方式を用いた場合より通信遅延が少なく済む。利用シーンとして、上りの通信では遅延を少なくすることが達成できたといえる。

#### 4.3 信頼値測定

実験環境として、図 10 に示すように村山研究室の講座研究室 5 を用いてシンクノード (SINK) → ルータノード (RT2) → ルータノード (RT1) と繋ぎ、また、もう一台ルータノードを準備し、シンクノード (SINK) → ルータノード (RT3) と繋がるトポロジを構成した。ルータノード (RT3) はルータノード (RT1) とシンクノード (SINK) の間に位置する。それぞれのルータ間の距離は約 1m 程度である。

シンクノードからルータノード (RT1) に対して 100 パケット、制御命令を送信する。制御命令はエンドノードの赤外線命令コマンドに則し「IRTX 0 1」とする。まず、プロアクティブ方式とオンデマンド方式による通信でシンクノードからルータノード (RT2) に 100 パケット送信を 5 回行いその平均値を算出した (実験 1)。次に、ルータノード (RT2) の RF チップに設定する送信出力値を落として、プロアクティブ方式とオンデマンド方式でシンクノードからルータノード (RT2) に 100 パケット送信を 5 回行い、その平均値を算出した (実験 2)。送信出力値は通常が 0dBm で送信出力値を落とした場合は、-3dBm で実験を行った。ルータノード (RT2) の RF の送信出力値を落とした場合というのは、干渉等がおき、通信が不安定になった場合を想定したものである。

本実験では図 11 に示すようなルートでパケットが送信される。ただし、プロアクティブはルートが固定させているが、実験 2 のようにオンデマンド方式はルートを送信の度に決定するため、ルータノード (RT2) を経由するのか、ルータノード (RT3) を通るのかは決定していない。

#### 4.4 実験結果

実験結果の表を表 5 に示す。プロアクティブ方式のパケット到達率は送信出力値 0dBm の場合のパケット到達率は 100.0 %、送信出力値 -3dBm の場合のパケット到達率は 65.0 %であった。オンデマンド方式のパケット到達率は送信出力値 0dBm の場合のパケット到達率は 100.0 %で、送信出力値 0dBm の場合のパケット到達率は 100.0 %であった。

オンデマンド型では不安定になった場合でもパケット到達が安定している。これは、ルータノード (RT3) を通り、安定したルートで通信が行えているためである。プロアクティブ方式ではシンクノード (SINK) → ルータノード (RT2) → ルータノード (RT1) のルートが決定しているため、安定した通信が行えなかったといえる。下り通信では、オンデマンド方式を用いることで信頼性のある通信が行えるといえる。

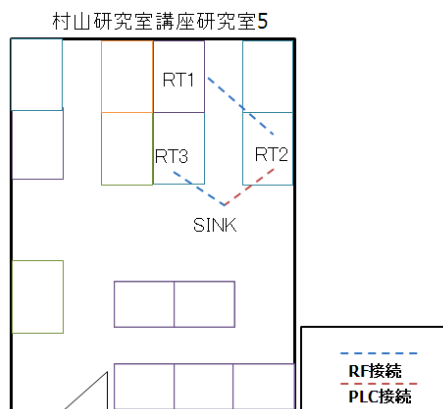


図 10 実験環境

| 表 5 実験結果       |             |
|----------------|-------------|
| 送信出力値 0dBm(通常) | パケット到達率 (%) |
| プロアクティブ方式      | 100.0       |
| オンデマンド方式       | 100.0       |
| 送信出力値 -3dBm    | パケット到達率 (%) |
| プロアクティブ方式      | 65.0        |
| オンデマンド方式       | 100.0       |

## 5. おわりに

HEMS 等のセンサネットワークの通信構築として有線/無線相互補完通信におけるプロアクティブ方式とオンデマンド方式を組み合わせたハイブリッド方式の実装を行った。実験評価によって、上り通信にはプロアクティブ方式を利用し、遅延を少なくすることができた。また、下り通信にはオンデマンド方式を利用し、通信の信頼性を向上させることができた。今回の実装により、上り通信にはプロアクティブ方式を利用し、迅速にデータを送ること、下り通信ではオンデマンド方式を利用して、確実な通信経路を決定した後に通信を行うことを実現した。これにより HEMS 等の実環境ではデータ収集では迅速な、機器制御では確実な通信が可能となる。

今後は、実環境に即した長期的なデータ収集による遅延や信頼性の測定が考えられる。

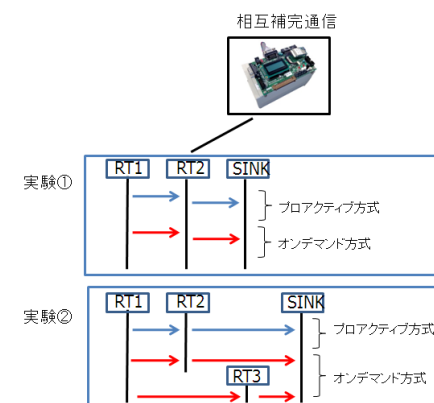


図 11 シーケンス図

## 参 考 文 献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：日本のエネルギー 2010：  
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/energy-in-japan/energy2010.pdf>.
- 2) N. Kushiro, T. Higuma, M. Nakata, H. Kubota and K. Sato: Practical Solutions for Constructing Ubiquitous Network for Building and home control system, *Consumer Electronics 2007, ICCE 2007* (2007).
- 3) 澤田尚志, 栗山央, 安部恵一, 峰野博史, 水野忠則：有線/無線相互補完通信を用いたセンサ/アクチュエータネットワーク, *DICOMO2010*, pp.2091-2095 (2010).
- 4) 栗山央, 澤田尚志, 小幡憲司, 峰野博史, 水野忠則：有線/無線相互補完通信プロトコルの開発と評価, *DICOMO2010*, pp.769-777 (2010).
- 5) T. Clausen, P. Jacquet and Project Hipercom: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), *IETF Request For Comment (3626)* (2003).
- 6) David B. Johnson, David A. Maltz and Yih-Chun Hu: The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR), *IETF Request For Comment (4728)* (2004).
- 7) Zygmunt J. Haas, Marc R. Pearlman and Prince Samar: The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks, *IETF Internet Draft* (2002).