

## 相互補完ネットワークにおける高信頼通信方式の検討

金山 隆志<sup>†1</sup> 峰野 博史<sup>†2</sup> 山田 園裕<sup>†3</sup>  
古村 高<sup>†4</sup> 水野 忠則<sup>†2</sup>

将来、ホームネットワークでは、No New Wire を実現する PLC(Power Line Communication) や、コピキタスセンサネットワークを効率的に構築する ZigBee が利用され、情報家電の制御や管理が行われると考えられる。しかし、情報家電を制御するコマンドの通信には高い信頼性が要求され、PLC における到達率や ZigBee における通信品質低下は大きな問題である。この問題を解決するために、PLC と ZigBee を併用することで通信不能部分を互いに補い信頼性を向上させる相互補完ネットワーク環境を想定し、これまでに到達率を向上させる通信方式について検討してきた。提案方式を ns2 で動作させ性能比較を行い、ノード数の多い状態では RC 方式が高信頼性であることを示した。

### Study of High-Reliability Communication Method for Mutual Complementary Network

TAKASHI KANEYAMA,<sup>†1</sup> HIROSHI MINENO,<sup>†2</sup> KUNIHIRO YAMADA,<sup>†3</sup>  
TAKASHI HURUMURA<sup>†4</sup> and TADANORI MIZUNO<sup>†2</sup>

In the future home network, information appliances will be controlled, and be managed by use of PLC (Power Line Communication) that realizes No New Wire and ZigBee that efficiently constructs ubiquitous sensor network. However, the arrival rate in PLC and the communication quality debasement in ZigBee are big problems because high reliability is required for the communication of the command that controls information appliances. To solve these problems, we have examined the communication methods that improves the arrival rate in the mutual complementary network environment. These methods improve reliability by mutually complementing, which uses PLC and ZigBee, the place that is impossible to communicate through only one interface. Performance comparison of these proposed methods through ns-2 shows that Relay Confirmation Method is able to achieve heigher reliability than Broadcast Method with dense node distribution.

#### 1. はじめに

近年、冷蔵庫の大型化や各居室へのエアコンの設置などが一般化しつつあり、各家庭におけるエネルギー消費は増加し続けている。これらの家電機器を家庭内で総合的に管理することは、エネルギーの節約や、さらには家庭内のセキュリティ強化にも繋がる。従って一般家庭における家電機器の統合管理は将来的に重要視され、家電機器を繋ぐネットワークが必要になると考えられる。

一方、インターネットの普及に伴い、一般家庭の PC 保有率は急増した。情報化が進んだことで、宅内や宅外から家電機器を遠隔制御したいという要求も高まっている。PC やその周辺機器だけでなく家電機器を含めたホームネットワークの構築は、家電機器の統合管理や遠隔制御といったニーズを受け、近い将来一般化する。

ホームネットワークの普及に関しては、白物家電機器が

ら情報家電機器への買い替えにかかるコストの問題が懸念されており、同様に問題となるのがホームネットワーク環境の構築にかかるコストである。オフィス向けの LAN としては一般的に Ethernet が普及しているが、宅内で使用するためには新たに配線が必要となり、壁に穴を開けて配線する等、高額な施設コストがかかってしまう。従って、新規配線を不要とする No New Wire でのホームネットワーク環境の構築が望ましい。

既に宅内に敷設されている電力線、そして無線通信である ZigBee<sup>1)</sup> が低コストなホームネットワークの構築に適しているが、通信の信頼性に問題がある。本研究ではホームネットワークで高信頼な通信を実現することを目標とし、低信頼な通信媒体を併用することで到達性を向上させる通信方式の提案を行う。

以下、2 章で異なる特徴を持つ通信媒体を併用した相互補完ネットワークの必要性について述べ、3 章では通信の信頼性を向上させる通信方式について説明する。そして提案方式をシミュレータ上で動作させた結果の評価・検討を 4 章で行い、5 章でまとめと今後の課題について述べる。

†1 静岡大学大学院情報学研究所

Graduate School of Infomatics, Shizuoka University

†2 静岡大学情報学部

Faculty of Infomatics, Shizuoka University

†3 東海大学情報メディア学科

Department of Information Media Technology, Tokai University

†4 株式会社ルネサスソリューションズ

Renesas Solutions Corporation

表 1 有線と無線の規格

有線規格	HomePNA 3.0	c.LINK	HomePlug 1.0
帯域	5.5~9.5MHz	770~1030MHz	4.3~20.9MHz
伝送速度	128Mbps	270Mbps	13.75Mbps
通信媒体	電話線 同軸ケーブル	同軸ケーブル	電力線

無線規格	IEEE802.11b / a / g	Bluetooth	ZigBee	UWB
帯域	2.4 / 5 / 5 GHz	2.4GHz	2.4GHz	3.1~10.6GHz
伝送速度	22 / 54 / 54 Mbps	1Mbps	250kbps	110 / 480 Mbps
通信距離	100 / 50 / 100 m	10m	70m	10 / 3m
価格	約8ドル	約3ドル	約3ドル	—
消費電力	約1000mW	約100mW	約30mW	約200mW

## 2. 相互補完ネットワークの必要性

### 2.1 有線

ホームネットワークを実現するためには、宅内での通信基盤の整備が必要である。しかし新規ケーブルの導入には、配線工事によるコストがかかるという課題がある。従ってホームネットワークでは、既に宅内に敷かれているケーブルを使用することが望まれる。宅内に存在するケーブルは電話線、TV の同軸ケーブル、そして電力線がある。これらの通信媒体を利用する有線通信規格として、HomePNA<sup>2)</sup>、c.Link<sup>3)</sup>、HomePlug<sup>4)</sup> があり、特徴を表 1 に示す。

電話線、同軸ケーブル、電力線について、それぞれ導入に関しては容易であることから、ユーザにとっての手間は少ない。しかし宅内に多数存在する家電機器をネットワークに接続しようとした場合に、電話線と同軸ケーブルのインタフェースが家電機器の近辺にあるとは限らない。さらに電話や TV で既にそのインタフェースを使用中である場合には、分波器が必要となってしまう。一方、電力線は宅内に張り巡らされており、ほとんどの家電機器は電源コンセントに接続されているので、ホームネットワークの通信媒体として電力線は適していると言える。PLC(Power Line Communication) は日本の電波法の規制下では 10~450kHz の周波数帯のみ使用が許可されており、10kbps 以下と低速である。しかし、家電の制御コマンドや状態情報などの通信であれば低ビットレートで十分であるため、PLC の利用が有効であると考えられる。

### 2.2 無線

ホームネットワークの構築に適用可能な無線通信の規格として、802.11b/a/g/n、Bluetooth、ZigBee、UWB(Ultra Wide Band) があり、これらについて検討を行う。各無線規格の特徴を表 1 に示す。

ホームネットワークには電源の確保できない場所を使用するセンサも参加すると予測されるため、通信での消費電力はより少ないことが望まれる。また通信範囲については、宅内において利用できる距離ならば十分であると考えられる。この条件から選定すると家電制御目的のホームネットワーク構築であれば ZigBee が適している。ZigBee

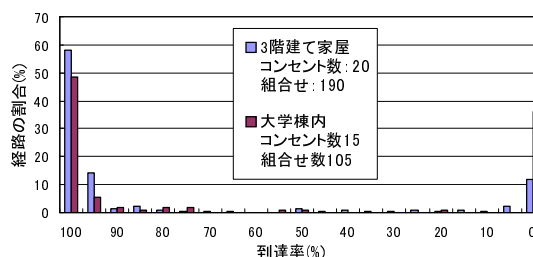


図 1 PLC 到達率調査結果

の通信範囲は約 30m であるが、部屋内で使用する場合には十分である。また 250kbps と低ビットレートであるという点も情報家電との制御情報のやりとりであれば問題ない。未だ ZigBee は少数しか市場に出ていないためチップ価格は 3 ドル程度であるが、今後の ZigBee の一般化による低価格化も考慮すると、低消費電力である ZigBee が低コストなホームネットワーク構築に有効であると考えられる。

### 2.3 PLC と ZigBee の問題点

他のネットワークと同様に、ホームネットワークにおいても制御コマンドの到達性に関し、高い信頼性が要求される。しかし PLC では、異相による影響や、機器間に存在する低インピーダンスな家電機器による信号の減衰で到達性の低下が発生する。実際に 3 階建て家屋と大学棟内において PLC で通信するノード間の全組合せにより到達率調査を行った結果を図 1 に示す。これより、PLC は到達率が 100% もしくは 0% となるコンセントの組が存在するという通信特性を持っていることが確認できた。

また ZigBee についても、障害物、伝送距離、ノイズにより通信品質の低下を招いてしまう<sup>5)</sup>。

### 2.4 相互補完ネットワーク

ホームネットワークにおいて情報家電を制御するコマンドの通信には高い信頼性が要求され、PLC における到達率や ZigBee における通信品質低下は大きな問題である。本研究ではこの問題の解決法として、PLC と ZigBee を併用して互いの通信不能部分を補うことで、信頼性を向上させる相互補完ネットワーク環境を想定する。

図 2 に相互補完ネットワークのモデルを示す。電力線には二つの相が存在し、異相間の通信では到達率が著しく低下するので、図では異相間の通信は不可能なものとして仮想的に電力線を 2 本の線で表している。また電力線に接続されている機器の影響により通信不能になる場所が存在することがあり、その様子を相 A の電力線上に示している。番号を付けて図示しているものが通信ノードであり、各通信ノードは PLC と ZigBee のインタフェースを持っている。PLC では同相であるノード 1-2 間もし

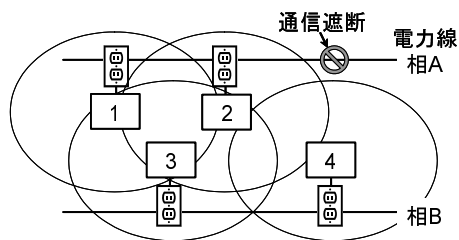


図2 ネットワークモデル

くはノード3-4間のみ通信が可能であり，ZigBeeでは電波の届く範囲にいるノード間で通信が可能である．

### 2.5 関連研究

有線・無線通信を使用したデュアル通信システム<sup>5)</sup>では，屋内に適した設置の容易なネットワークを提案している．このネットワークは，通信環境条件の向上や技術者による補助は望ましくないという市場の要求を満たすものであり，これを実現する有線媒体と無線媒体を組み合わせることで，媒体の持つ通信品質の問題を解決する方法を提案している．デュアル通信システムで信頼性の向上が可能だということを確認統計的に示しており，簡単なルーティングについても検討がなされているが<sup>6)</sup>，ルーティング機能を持った通信ノードを用いての信頼性向上に関してまで確認できていない．そのため通信方式を検討し実装をすることで，実際の通信における信頼性向上を確認することが必要である．

## 3. 相互補完ネットワーク用通信方式

### 3.1 前提条件

本研究では，PLCとZigBeeを併用することでホームネットワーク環境構築に掛かるコストの問題を解決し，特性の異なる媒体を併用して到達率を向上させる効率の良い相互補完ネットワーク用通信方式を検討する．以下，本稿で提案する通信方式の説明を行う．

まず前提として，説明に用いる通信ノードはPLCとZigBeeを用いた通信が可能のように2つのネットワークインタフェースを持っているとする．各インタフェースにはそれぞれ異なるIDが設定され，各ノードのインタフェースを一意的に識別可能とする．また，各ノードはネットワークに存在する他ノードのインタフェースIDを知っていることとし，目的ノードのIDを指定可能であるとする．扱うデータは制御情報など1メッセージで送信可能なものを想定している．

### 3.2 BC (BroadCast) 方式

この方式は，メッセージを受信したノードがPLCとZigBeeの両方で同時にブロードキャストを繰り返し，目的ノードまでメッセージを伝播させるという単純な方式

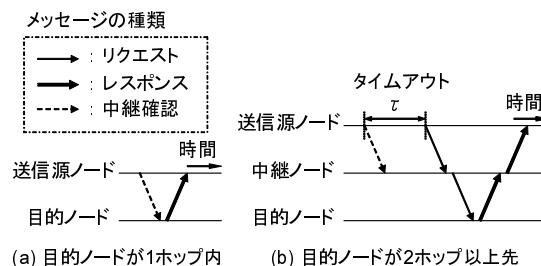


図3 RC方式のメッセージ転送順序

である．まず送信源ノードはPLCとZigBeeで同時にブロードキャストする．メッセージを受信したノードが目的ノードならば応答を返す．受信したノードが目的ノードではなく，且つ既に同じIDのメッセージを受信していないならば中継ノードとして動作し，送信者と同様にブロードキャストを行う．これを繰り返すことで目的ノードへメッセージを届ける．

短時間で確実に目的地へメッセージを届けることができる利点がある一方，ブロードキャストストームが発生してしまい，他ノードで発生する通信を妨害する可能性があるという欠点がある．

### 3.3 RC (Relay Confirmation:中継確認)方式

この方式は，メッセージ転送を行う際にまず1ホップ以内に目的ノードがあるかどうかを調べ，中継してメッセージを転送する必要があるか確認を行う．もし目的ノードが1ホップ以内に確認できなければ，メッセージを中継させて目的ノードへ届ける．

RC方式でのメッセージの流れを図3に示す．図3(a)より，目的ノードが1ホップ内に存在する場合は中継確認メッセージ送信後に目的ノードから応答が返ってくる．図3(b)より，目的ノードが2ホップ以上離れている場合には中継確認に対する応答は無く，タイムアウト時間だけ待った後にリクエストメッセージの転送を行う．

次にノードの処理手順について述べる．まず送信源ノードはPLCとZigBeeで目的ノード宛にユニキャストし，目的ノードからの応答を待つ．タイムアウト時間内に応答があった場合は，送信源ノードの通信可能な範囲に目的ノードが存在しており，無事にメッセージが到達したことがわかるため，通信を完了する．応答が無くタイムアウトした場合は，PLCでリクエストメッセージのブロードキャストを行い中継させる．送信源ノードが最初にPLCでブロードキャストすることで，同相の電力線に接続されているすべての機器にメッセージを中継させ，早い段階で異相のノードへメッセージを届けることができると考える．中継ノードは中継確認を行うことなくブロード

キャストを行い、目的ノードへメッセージを到達させる。ただし中継ノードが次のノードへ送信を行う場合、PLCで受信した後ならば、ZigBeeでブロードキャストを行うというように、異なる媒体で交互に送信する。このように異なる媒体で交互に送信することで、通信不能部分を補いながらブロードキャストストームの発生を抑えることができる。と考える。

RC方式は、目的ノードへ送信不能な場合にのみ中継するため余分なトラフィックによる帯域消費を抑えられる。しかし、目的ノードへの送信失敗をタイムアウトで判断するので、ホップ数が多くなると目的地への到達時間が増加するという特徴がある。

### 3.4 OLSR 準拠方式

MANET(Mobile Ad-hoc Networks)は移動端末で自律的に構成されるネットワークであり、IETFのMANET WGではMANETを実現するルーティングプロトコルについて議論している。MANET WGで検討されているルーティングアルゴリズムを採用する場合、想定しているネットワークは家電機器などで構成される静的なネットワークであるため、事前にテーブルを作成するProactiveなアルゴリズムが適している。そのため、MANETルーティングアルゴリズムの一つであるOLSR(Optimized Link State Routing)<sup>7)</sup>プロトコルの適用が考えられる。

OLSRにはHello, TC(Topology Control), MID(Multiple Interface Declaration), HNA(Host and Network Association)の4種類のメッセージがある。Helloは各ノードの持つ情報の配信、TCはネットワークトポロジを配信するという役割を持ち、MIDはインタフェースアドレスを通知するメッセージである。HNAはOLSRネットワークに外部ネットワークの情報を取り込むために発行されるが、相互補完ネットワークは外部ネットワークとの直接的な接続は現段階では考慮していないため、HNAは使用しない。

OLSR準拠方式では、ルーティングテーブルを作成するためのパケット交換を定期的に行うため、消費電力とトラフィックが増加する。そのためテーブルの更新頻度についての検討が必要である。

### 3.5 各方式の比較

本節では検討した3つの通信方式についての定性的に比較を行う。

各方式を数値的に比較可能な形にするために、発生パケット数についてのみであるが定式化を行う。ノード数をN、目的ノードまでのホップ数をHとしたとき、1回の通信要求で発生するパケット数をTとすると、各方式

表2 方式の比較

	到達性	到達時間	パケット削減
ブロードキャスト方式	◎	◎	×
中継確認方式	○	△	○
OLSR準拠方式	◎	○	◎

(良い) ◎ ○ △ × (悪い)

のパケット発生数  $T_{bc}$ ,  $T_{rc}$ ,  $T_{olsr}$  は以下ようになる。

$$T_{bc} = 2(N - 1) + H \quad (1)$$

$$T_{rc} = N + H + 1 \quad (2)$$

$$(if H=1 then T_{rc} = 3)$$

$$T_{olsr} = 2H \quad (3)$$

次に、各方式を定性的に評価した結果を表2にまとめる。目的ノードへの到達性、到達時間、無駄なパケットを削減できているかの各項目に関して ~ × の4段階で評価している。パケットの削減については上記の式(1)~(3)を参考にして比較した。パケットが削減されれば衝突によるパケット損失を防止できるため、パケット削減ができる。であるOLSR準拠方式を使用することで、本研究の目的である信頼性の高いホームネットワーク環境を構築できると考える。

## 4. シミュレーション

### 4.1 シミュレーション環境

本章では、前章での定性的比較結果が妥当であるかを確認するために、本研究で検討している相互補完ネットワーク用の通信方式をネットワークシミュレータ ns-2<sup>8)</sup>でモデル化し評価した。現在のところBC方式とRC方式の実装が完了しており、これら2つの方式についてシミュレーション評価を行う。

全ての通信ノードは有線と無線の2つのインタフェースを持っており、有線インタフェースはPLCを想定し、無線インタフェースはZigBeeを想定した。実環境で利用を想定しているMicrosoft社で開発されたホームネットワーク用通信プロトコルSCPはCSMA/CAを採用しているが、LANを構成する必要があるため、有線インタフェースのMAC層にはEthernet(IEEE802.3)を使用し、bit rateを7.5kbpsに設定してPLCを模擬する。一方、無線インタフェースでは、ZigBeeでCSMA/CAを利用しているためMAC層を802.11, bit rateを250kbps, 屋内の部屋間での通信を考慮して伝送距離を12mに設定した。各ノード間でやり取りする制御情報のサイズは、SCPを参考に30bytesとした。またRC方式の中継確認で利用するタイムアウト時間を200msに設定した。

### 4.2 各方式の一般的特性評価(シミュレーション1)

本節では図4に示すような20×20の格子状上ヘランダムにノードを配置することで、各方式の一般的特性の

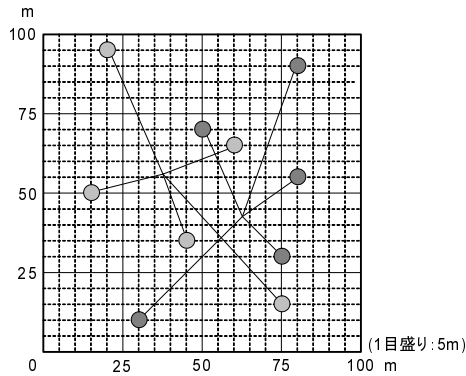


図4 ランダム配置での評価用トポロジ例

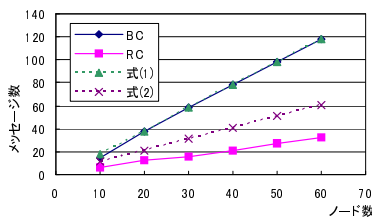


図5 sim1: ノード数に対する発生メッセージ総数

評価を行う。他の評価の指標として利用するために、特定のノード配置ではなくランダムなノード配置にすることで、ノード数の変化に対する提案方式の一般的な特性を調査する。格子上にランダムに配置されたノードをランダムに2つのグループに分け、それぞれのグループでLANを形成する。この2つのLANは、異相間での通信が不可能である電力線ネットワークを仮想的に模擬している。その後、送信源ノードと目的ノードをランダムに決定し、メッセージ送信を行う。ノード数を10~60台まで10台ずつ増加させた場合のそれぞれについて100回のメッセージ送信を行い、評価を行った。

#### 4.3 シミュレーション1の結果

1回のメッセージ送信においてPLCとZigBeeで発信されるメッセージ数の平均値を図5に示す。図5中には、参考として式(1)と式(2)による算出値も示している。ここでいうメッセージ数とは、リクエスト、レスポンス、中継確認メッセージをカウントしており、MAC層で送信するメッセージに関しては考慮していない。図5より、BC方式は式(1)で示した通り、ノード数に比例して増加している。一方のRC方式では、中継確認メッセージが目的ノードへ到達することがあるため、式(2)による算出値よりも小さくなっている。ここで、格子点の間隔が5mである20×20の格子上に配置されたノードの中から、伝送距離12mの無線で送信源ノードと目的ノードが通信可能な範囲に選ばれることは低確率であるため、中継確認メッセージが目的ノードへ届くのは送信源ノードと目

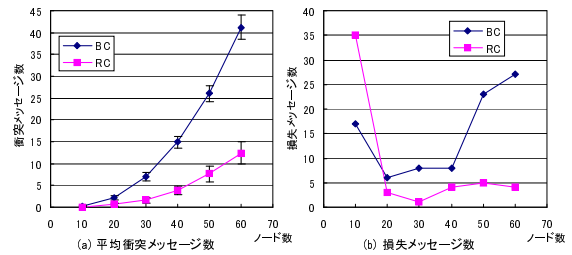


図6 sim1: ノード数に対する衝突数, 損失数

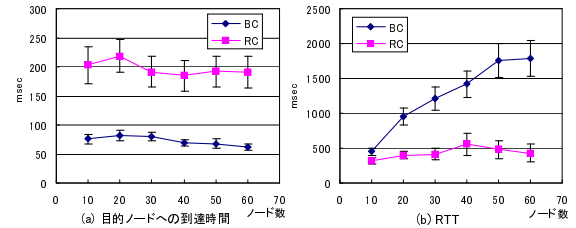


図7 sim1: ノード数に対する到達時間, RTT

的ノードが同相の電力線に接続されている場合が大部分を占める。つまり中継確認メッセージが目的ノードへ届く確率は約50%となり、図5のRC方式の発生メッセージ数は、式(2)による算出値と、ホップ数1の場合である3との平均 $\{(式(2)+3)/2\}$ とほぼ一致する。

1回のメッセージ送信において全体で発生する衝突メッセージ数の平均を図6(a)に示す。衝突が発生したのは無線のみであるが、ノード数の増加に伴って衝突数が増加していることがわかる。

100回のメッセージ送信中に到達経路が無かった、もしくは衝突によりメッセージが損失し確認応答が送信源ノードまで返らなかった回数を図6(b)に示す。ノード数10では、BC方式とRC方式のどちらも損失メッセージ数が多い。これは配置するノード数が少ないと、異相の電力線に接続されたノードが無線通信可能な範囲に配置されることが少ないためである。特にRC方式では、すべての中継ノードが無線でブロードキャストを行うわけではないため、損失メッセージ数が多くなっている。ノード数20以上では、BC方式ではノード数の増加に伴って衝突メッセージ数が急増するため、応答メッセージの衝突による損失メッセージ数も増加している。一方RC方式では、PLCとZigBeeを交互にブロードキャストする方式であるため衝突メッセージ数が少なく、損失メッセージ数も少ない。さらに上述したように中継確認メッセージが目的ノードへ届くのは約50%、つまり約50%の確率で衝突も損失も起こらないままメッセージ転送を終了するので、全体として損失メッセージ数は少ない。

次に目的ノードへの到達時間の平均値のグラフを図7(a)

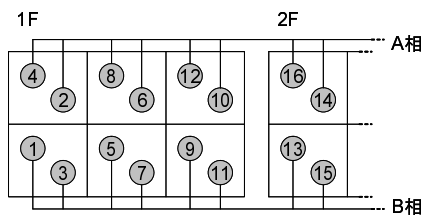


図 8 家屋を想定した評価用トポロジ

に示す．図 7(a) より，BC 方式のほうがノード数に関係なく到達時間が短いことがわかる．これは RC 方式では，メッセージの中継処理を 200ms のタイムアウト後に実行しているからである．ノード数が増加するにつれて到達時間が短くなっているのは，ノード密度が上がることで無線の届く範囲にノードが配置される確率が高くなり，異相のノードへメッセージを転送するのに要する時間が短縮されるからであると考えられる．またノード密度の増加によって，PLC よりもビットレートの高い無線通信だけでメッセージを目的ノードへ転送できる配置が構成されることも要因の一つであると考えられる．

送信源ノードへ応答メッセージが返ってくる応答時間 (Round Trip Time) の平均値を図 7(b) に示す．図 7(a) に示されるように，目的ノードへの到達時間では BC 方式の方が小さかったが，RTT では RC 方式の方が小さい．これは発生メッセージ数の多い BC 方式では CSMA/CA で衝突回避が頻発するからである．

以上の結果より，ノード数の少ない場合には BC 方式が適しており，ノード数の多い場合には RC 方式が適している．

#### 4.4 家屋を想定した評価 (シミュレーション 2)

本節では，図 8 に示すような家屋を想定したトポロジを使用し，提案方式の動作を確認する．このトポロジでは各階には 6 部屋あり，各部屋には図のような 2 次元平面で左上と右下に 2 つのノードが存在する環境を想定している．各部屋内の左上のノードが無線で通信可能なノードは，同じ部屋内に存在するノード，左の部屋の右側に存在するノード，上の部屋の下側に存在するノードの 3 つとする．例えば図 8 のノード 5 が無線で通信可能なノードは 7, 3, 6 である．各部屋内の右下のノードが無線で通信可能なノードは，同じ部屋内に存在するノード，右の部屋の左側に存在するノード，下の部屋の上側に存在するノードの 3 つである．例えば図 8 のノード 6 が無線通信可能なノードは 8, 12, 5 である．また，図 8 の上段の部屋にあるノードはすべて電力線 A 相に接続され，下段の部屋にあるノードはすべて電力線 B 相に接続されているとする．このトポロジにおいて送信源ノードと目的

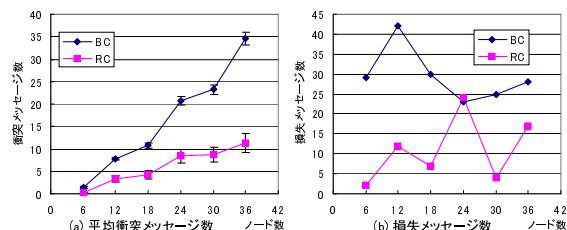


図 9 sim2: ノード数に対する衝突数，損失数

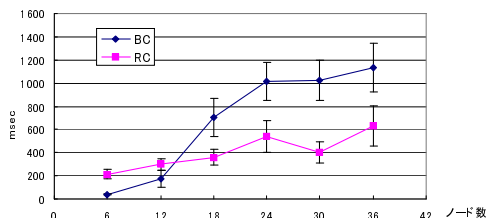


図 10 sim2: ノード数に対する RTT

ノードをランダムに決定し，100 回のメッセージ送信を行い，ノード数を 6~36 台まで 6 台ずつ増加させ，3 階建ての家屋について評価した．

#### 4.5 シミュレーション 2 の結果

1 回のメッセージ送信で発生する衝突メッセージ数の平均を図 9(a) に，100 回のメッセージ送信で発生する損失メッセージ数を図 9(b) に示す．図 6(a) と図 9(a) を比較すると，図 9(a) のほうが衝突メッセージ数が多いことがわかる．さらに図 9(b) に注目すると全体的に多くのメッセージ損失が発生し，特に BC 方式での損失メッセージ数が多い．BC 方式と RC 方式のどちらも損失メッセージ数が多いのは，隠れ端末の影響を受けているためであると考えられる．図 8 のトポロジでは，同相の電力線に接続されているノードは隣り合ったノードと通信することができるが，その先に接続されているノードには電波が届かないため通信できない．このような環境で方式が動作しているため，電波的に互いが見えないノード同士で干渉が起きるといふ隠れ端末問題が発生し，損失メッセージが多くなっている．例えば，PLC で送信されたメッセージを電力線に接続されているすべてのノードが受け取り，それらのノードが同時に無線通信を行う状況が容易に想定できる．

RTT の平均を図 10 に示す．BC 方式ではノード数が 12 以内，すなわち 1 階だけにノードが存在する場合に RTT は短くなっている．これは PLC に比べてビットレートの高い ZigBee のみを使用して目的ノードへ到達できているからである．しかし無線のみに頼っているため衝突によるメッセージ損失が発生していることを図 9(b) から推測できる．

総発生メッセージ数はノード数に関係するので得られ

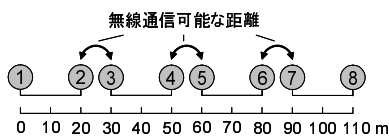


図 11 ホップ数重視トポロジ

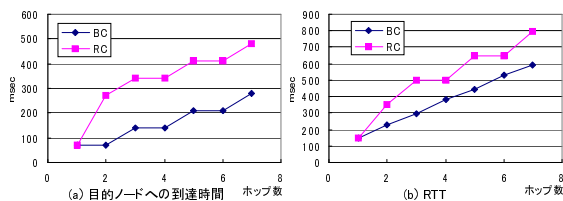


図 12 sim3:ホップ数に対する到達時間, RTT

るグラフは前節のものとはほとんど変化は無いが、その他のデータについては特徴の異なるグラフが得られている。本節で使用したトポロジは整列したノード配置であったため、規則的な衝突が確認できた。従ってさらに異なった環境を想定したトポロジでのシミュレーションも必要であると考えられる。また、隠れ端末についての対処も考慮する必要がある。

#### 4.6 ホップ数を重視した評価 (シミュレーション 3)

本節では、図 11 に示すような特殊な環境を想定し、ホップ数の増加による影響を調査する。PLC では電力線に接続されている機器の影響により信号が減衰して通信不能に陥る場合があり、図 11 のような状況は実際に発生しうると考えられる。ここではノード 1 を送信源ノードとし、目的ノードを変更してホップ数を変化させることで評価を行う。

#### 4.7 シミュレーション 3 の結果

目的ノードへの到達時間のグラフを図 12(a) に示す。ホップ数 1 の場合には、RC 方式は中継確認メッセージが目的ノードへ到達するため、目的ノードへの到達時間は BC 方式とほぼ同じ時間になる。しかしホップ数 2 以上の場合には、RC 方式では中継確認のタイムアウトが発生するので、BC 方式での到達時間に 200ms を加えた時間が RC 方式での到達時間となっている。

RTT のグラフを図 12(b) に示す。図 11 で動作させたトポロジでは中継を行うノード以外に余分なノードを配置していないので、衝突による遅延やメッセージ損失は発生せず、方式別の特徴は特に見出すことは出来なかったが、図 11 のようなトポロジであっても応答が返ることを確認できた。

#### 4.8 考 察

図 6 と図 9 より、BC 方式と RC 方式のうち信頼性の高い方式を選択するならば全体的に損失の少なかった RC 方

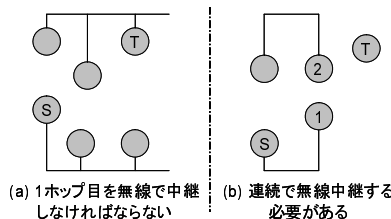


図 13 RC 方式で目的ノードへ到達不能な状況

式である。しかし、RC 方式であっても損失は発生しており、高信頼性と呼ぶことはできない。さらに RC 方式では図 13 で示すような到達性の問題を持っている。図 13(a) は送信源ノード S から目的ノード T へメッセージを転送する状況を表しているが、RC 方式では最初に PLC でブロードキャストを行うため目的ノード T へ到達不可能である。図 13(b) では、無線インタフェースのみを持った目的ノード T へメッセージを転送したい状況を表しており、この場合 1 → 2 → T のように中継を行う必要がある。しかし RC 方式では ZigBee と PLC で交互に送信するため、単一媒体で連続して中継することができず、目的ノード T にメッセージを届けることができない。

このように现阶段の BC 方式と RC 方式では高信頼な通信が実現できていない。従って、BC 方式と RC 方式については衝突を軽減する手法を考察し、OLSR 準拠方式との比較・評価を行う必要である。

## 5. おわりに

本稿では、異なる特徴を持つ通信媒体を併用した相互補完ネットワークの必要性について述べ、通信の信頼性を向上させる通信方式について説明した。その後、提案方式をシミュレータ上で動作させた結果の評価・検討を行った。

今後は OLSR 準拠方式をシミュレータ上に実装して評価を行い、BC 方式と RC 方式についても引き続き検討を行う。また実環境での PLC と ZigBee の併用による到達率の向上を確認するために、通信方式をマイコンで実装して動作させる予定である。

### 参 考 文 献

- 1) ZigBee Alliance Website, <http://www.zigbee.org/>.
- 2) HomePNA, <http://www.homepna.org/>.
- 3) MoCA, <http://www.mocalliance.org/>.
- 4) HomePlug Power line Alliance, <http://www.homeplug.org/>.
- 5) K. Yamada, etc. : Dual Communication System Using Wired and Wireless Correspondence in Home Network, KES2005, LNAI 3681, pp.438-444 (2005).
- 6) K. Yamada, etc. : Dual Communication System Using Wired and Wireless with the Routing Consideration, KES2005, LNAI 3681, pp.1051-1056 (2005).
- 7) OLSR RFC, <http://hipercom.inria.fr/olsr/rfc3626.txt>.
- 8) The Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.