6P-4

PLC と ZigBee を併用した相互補完ネットワークにおける信頼性評価

金山隆志 † 山田圀裕 ‡ 峰野博史 † 水野忠則 †

† 静岡大学情報学部 ‡ ルネサス ソリューションズ

1 はじめに

近い将来，PC だけでなく家電機器も含めたホームネットワークが一般化すると考えられる．ホームネットワーク構築において新規にケーブルを敷設するには，壁に穴を開けて配線する等，高額な施設コストがかかるため，配線工事なしでホームネットワーク構築可能な通信媒体が要求される．

本稿では，配線工事なしでホームネットワーク環境の構築に適用できる有線・無線通信媒体と，それらが持つ通信品質の課題について分析し，異なる特徴を持つ通信媒体を併用することで通信の信頼性 [1] を解決する通信方式を検討する．

2 ホームネットワーク用通信媒体

2.1 有線通信媒体

新規配線が不要な有線通信媒体として既に宅内に配線されてる電話線，TV の同軸ケーブル，そして電力線が挙げられる．電話線や同軸ケーブルは HomePNA(Home Phoneline Networking Alliance)[2] や DigitalWay[3] で使用されている．これらは高速通信が可能であるが，ノード間やインターネットとの通信を中継する装置を設置する必要がある．PLC(Power Line Communication) で電力線以外のネットワークと通信したい場合にも中継装置が必要となるが，PLC モジュール同士の通信であれば中継装置は必要ない．さらに電力線は宅内に張り巡らされており，PLC のインタフェースであるコンセントは宅内に多数用意されている．日本の電波法の規制下では PLC の通信速度は 10kbps 以下と低速であるが，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，電力線の使用は有効であると考える．

図 1 に実際の家屋における PLC の通信性能を確認するために行った到達性試験の結果を示す．3 階建ての家庭にあるコンセント 20 個の組合せ 190 通りについて，DigitalStream 社の PCC-SE を使用して 100 パケットの通信試験を行い調査した．到達率 95%以上の経路が全経路中の 70%を占めており，全く通信不能な経路が 10%存在した．通信不能な理由は電力線に接続されている機器や相の違いが原因である．相間コンデンサを分電盤に装着することでこの問題を改善することが可能であるが，低コストで容易にホームネットワーク構築する指針に反するため，相間コンデンサの装着は行わないものとする．

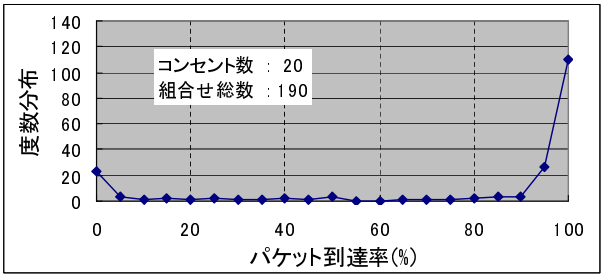

図 1: パケット到達率に対する経路数の分布

表 1: ホームネットワーク向け無線通信規格の特徴

	IEEE802.11b/a/g	Bluetooth	ZigBee
速度	11 / 54 / 54 Mbps	1Mbps	250kbps
距離	150 / 30 / 100 m	10m	30m
価格	約8ドル	約3ドル	約3ドル
消費電力	約1000mW	約100mW	約30mW

2.2 無線通信媒体

新規配線が不要なホームネットワーク構築に適用可能な無線通信の規格として，802.11b/a/g/n，Bluetooth，802.15.4 ZigBee，UWB(Ultra Wide Band) が挙げられる．表 1 に無線通信規格の特徴を示す．ここで 802.11n と UWB はまだ標準化中であるためここでは言及しない．Bluetooth と ZigBee は共に低価格であるが，ZigBee はチップ 1 ドルを目指しており，今後さらに低下すると考えられる．ホームネットワークには電源の確保できない場所で使用するセンサも参加すると予測されるため，消費電力はより少ないことが望まれる．ZigBee の通信範囲は約 30m であるが，屋内で使用する場合には十分であり，また低ビットレートであるという欠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と考えられる．従って ZigBee は低コストなホームネットワーク構築に有効である．ただし，ZigBee は他の無線通信と同様に金属や強化コンクリートなどの障害物

Evaluation of reliability in mutual supplementation network using PLC and ZigBee simultaneously

Takashi Kaneyama†, Kunihiro Yamada‡, Hiroshi Mineno†and Tadanori Mizuno†

†Faculty of Information, Shizuoka University

‡Renesas Solutions Corporation

表 2: 提案する通信方式の特徴

	ブロードキャスト	中継確認	テーブル作成
方式I	○		
方式II	○	○	
方式III		○	○
方式IV		○	○（OLSR使用）

の影響を受け易く，安定した通信ができない場合もある．[1] では一般家庭における ZigBee の信頼性試験によって，異なるフロア間の通信において通信品質が低下することも指摘されている．

3 相互補完ネットワーク

3.1 通信方式

低コストかつ容易にホームネットワークを構築するには，通信媒体として PLC や ZigBee の利用が適している．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．本稿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な部分を補うことで信頼性を向上させる通信方式を検討する．各通信ノードは両通信媒体を利用できるインタフェースを持つものとし，各インタフェースには IP アドレスのような識別子がそれぞれ設定され，各ノードのインタフェースを一意に識別可能であるものとする．

異なる特徴を持つ二つの通信媒体を使用して目的地へメッセージを到達させる通信方式について以下 4 つの方式を提案する．表 2 に各方式の特徴をまとめる．メッセージを目的地または中継ノードへ送信する際にブロードキャストを使うか，中継させるかどうかの確認を行うか，通信可能なノードのテーブルを作成するかという項目で示している．以下各方式の詳細を記す．

3.2 ブロードキャスト方式 (方式 I)

送信者は PLC と ZigBee で同時にブロードキャストする．受信したノードが宛先ノードではなく，既に同じメッセージ ID を受信していなければ，送信者と同様にブロードキャストを行い中継ノードとして働く．これを繰り返すことで目的地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という利点がある一方，ブロードキャストストームが発生しやすいという欠点がある．

3.3 中継確認方式 (方式 II)

送信者は最初に PLC と ZigBee で宛先ノード宛にユニキャストし，宛先ノードからの応答を待つ．応答がなければ送信失敗となり，中継ノードへ PLC でブロードキャストする．受信したノードは送信者と同様にまずユニキャストして，タイムアウトしたら中継ノードへのブロードキャストを行う．ただし PLC で受信した後ならば，次のブロードキャストは ZigBee で行うというったように，異なる媒体で交互に送信する．こうすることにより通信不能な部分を補う効率が上がり，さらにブロードキャストストームを抑えられると考えられる．この方式は，宛先ノードへ送信不能な場合のみ中継するため無駄な帯域消費を抑えることができるが，宛先ノードへの送信失敗はタイムアウトによって判断するため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を持つ．

3.4 テーブル生成方式 (方式 III)

この方式では全てのノードは Hello パケットをやり取りして，PLC で通信可能なノードと ZigBee で通信可能なノードのテーブルをそれぞれ作成する．送信者は PLC と ZigBee のテーブルを確認し，目的地が見つかれば送信する．目的地がなければそれぞれのテーブルを比較して，PLC でしか送信できないノード，ZigBee でしか送信できないノードを検出し，そのノードを中継ノードとする．これにより少ないホップ数で目的地へ到達できると考えられる．ブロードキャストを使用せず，選択された中継ノードへのみ送信するので無駄な帯域消費を抑えることができるが，定期的なテーブルの更新により帯域と電力を消費してしまう．

3.5 ルーティング方式 (方式 IV)

方式 III と同様に Hello パケットを使って PLC と ZigBee のテーブルを作成する方式であるが，ZigBee のテーブルには MANET ルーティングアルゴリズムの 1 つである OLSR(Optimized Link State Routing)[4] プロトコルを用いることで，ルーティングテーブルを作成する．ルーティングテーブルで目的地が見つかった場合には，必要な中継ノードの経由のみで目的地へ到達することができ，さらにブロードキャストも行わないため帯域の消費を抑えられる．しかしルーティングテーブルの更新には，Hello パケット以外のパケットを流す必要があり，方式 III 以上に帯域と電力の消費が想定される．

4 まとめ

本稿では，低コストでホームネットワークを構築するために，PLC と ZigBee を併用することで信頼性の問題を解決する通信方式を提案した．

現在，PLC と ZigBee の通信が可能な通信モジュールをマイコンで開発中である．今後，3 章で検討した通信方式の検討を深め，開発中の通信モジュールに実装する．その後，相互補完ネットワークによる通信品質の向上を確認する実験を行い，各通信方式の詳細を評価する．

参考文献

[1] K. Yamada, etc. “Dual Communication System Using Wired and Wireless Correspondence in a Small Space, *KES2004*, Proc.-II, pp.898–904.

[2] HomePNA, http://www.homepna.org/.

[3] Digital Way, http://www.langate.co.jp/jp/.

[4] OLSR.ORG, http://www.olsr.org/.