

センサネットワークのための 相互補完通信プロトコルの開発と評価

栗山 央^{†1} 澤田 尚志^{†2} 中野 裕貴^{†3}
峰野 博史^{†4} 水野 忠則^{†5} 西垣 正勝^{†4}

我々は、無線通信と電力線通信を相互補完的に利用する通信プロトコル、MCCP を提案した。MCCP は、屋内センサネットワークの構築に適した通信プロトコルである。MCCP を用いることで、センサネットワークを安価に構築でき、センサネットワークの通信信頼性を向上させることができる。MCCP は有線通信と無線通信が混在するネットワークにおいて、最適な経路を決定するための経路探索アルゴリズムを有する。MCCP の経路探索アルゴリズムは、AODV 等の最短経路探索アルゴリズムとは異なり、各中継路における経路情報を保持した形で実行される。これにより、有線通信と無線通信という特徴の異なる経路間の比較が可能となり、最適な経路を選択することができる。

我々は、MCCP ネットワークのプロトタイプを構築し、MCCP の性能を評価した。評価の結果、MCCP はネットワークの通信信頼性を向上させることを確認した。

Evaluation of Mutually Complementary Communication Protocol for Sensor Networks

HIROSHI KURIYAMA,^{†1} HISASHI SAWADA,^{†2}
YUKI NAKANO,^{†3} HIROSHI MINENO,^{†4}
TADANORI MIZUNO^{†5} and MASAKATSU NISHIGAKI^{†4}

We propose the use of a mutually complementary communication protocol (MCCP) for indoor sensor networks based on multi-interface communications. MCCP reduce the constructing cost of sensor networks, and MCCP improves communication reliability on the network. MCCP has the route search algorithm which can select the optimum route in wire and wireless mixed network.

We constructed an actual MCCP prototype network, and we evaluated the performance of MCCP. We confirmed that MCCP can improve communication reliability on the network.

1. 序 論

近年、環境モニタリング¹⁾ やホームネットワーク²⁾、ヘルスケア³⁾ に代表される、種々のアプリケーションに対して、センサネットワークの研究開発が盛んである。センサネットワークは、多数のセンサノードの集合からなるネットワークであり、各センサノードが計測、観測した環境情報あるいは個人情報をネットワークを通じて収集するものである。

ネットワークを構築するための通信媒体として、様々なインタフェースが存在するが、多数のセンサノードを利用するセンサネットワークでは、通信インフラの敷設を必要としない無線通信が通信媒体として採用される傾向にある。しかしながら、無線通信は電波の干渉や、ネットワークトポロジの変化により、通信障害が起こる可能性があり、ネットワークとして通信信頼性を担保することが大きな課題となる。

我々は、この問題を解決するために、複数の異なる通信媒体を相互補完的に利用する通信プロトコルを提案する。異なる通信媒体が複数存在することは、特定のノイズに対する耐性を高めるとともに、通信経路、およびネットワークトポロジの冗長性を高め、ひいてはネットワーク全体の通信信頼性を高めることができる。我々は提案する通信プロトコルを、相互補完通信プロトコル、Mutually complementary communication protocol (MCCP) と呼ぶ。MCCP は、屋内センサネットワークの構築に適した通信プロトコルであり、有線通信と無線通信を相互補完的に利用し、最適な経路を選択するための経路探索アルゴリズムを有する。MCCP を用いることで、センサネットワークを安価に構築でき、またネットワークの通信信頼性を維持、向上させることができる。

本論文の構成を述べる。2章で関連研究について紹介し、3章でMCCPの詳細を記述する。4章では評価ボードを用いたMCCPの評価結果について述べ、5章で結論を述べる。

^{†1} 静岡大学創造科学技術大学院自然科学系教育学部自然科学専攻
Graduate school of Science and Technology, Shizuoka University

^{†2} 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate school of Informatics, Shizuoka University

^{†3} 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

^{†4} 静岡大学情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University

^{†5} 愛知工業大学情報科学部
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

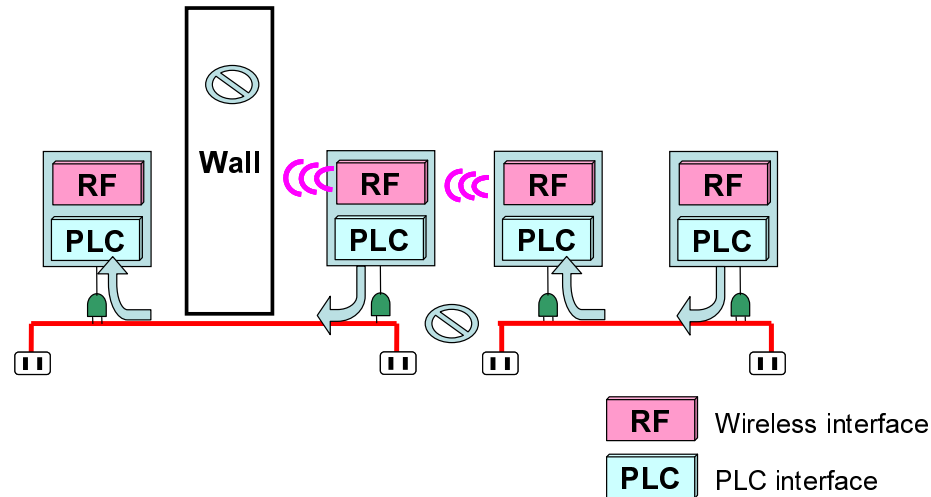


図1 無線通信と電力線通信の相互補完利用例図

2. 関連研究

センサネットワークに適したネットワークプロトコル、ルーティングプロトコルに関する研究は種々存在する⁴⁾⁵⁾⁶⁾。しかしながら、これらのプロトコルの多くは、マルチホップ環境において最短経路を選択するものであり、複数の通信媒体が混在するネットワークにおいては、必ずしも最適とはならない⁹⁾。最短経路アルゴリズムは、目的端末までにかかるホップ数、あるいは距離コストの加算結果をもとに経路選択が行われ、各経路が利用した通信媒体の種類や特徴といった情報は考慮されないためである。

また、有線通信ネットワークをバックボーンとし、無線通信を代替経路として予備することによって、ネットワークの信頼性を向上させる研究が存在する¹⁰⁾。この研究では、無線通信を、有線通信が通信不能となった際の代替経路として利用するのみであるが、我々の提案する MCCP では、有線通信と無線通信の双方の経路品質を比較したうえで、より良い経路を選択可能である。また、MCCP では、これらの経路情報を保持した上で、ネットワーク全体を対象とした経路探索を行うため、ネットワークの状態に合わせて、適切かつ柔軟なルーティングが可能である。

3. Mutually Complementary Communication Protocol (MCCP)

3.1 概要

MCCP は、異なる種類の通信媒体を相互補完的に利用するためのネットワークプロトコルである。MCCP では、通信媒体として有線通信と無線通信、特に有線通信として電力線通信の利用を想定する。

多数のノードの参加を前提とするセンサネットワークでは、無線通信のように、ネットワーク構築に際して、設置場所に制限がなく、また通信インフラの敷設コストがかからない通信媒体を利用することは大きなメリットである。しかしながら、無線通信のみの利用を考えた場合、外来性のノイズ電波や互いの通信電波による干渉、あるいは壁や障害物による電波遮蔽の問題を根本的に解決できない場合が考えられ、ネットワークとしての通信信頼性の確保、ならびに維持が大きな課題となる。

通信媒体として、Ethernet や光ファイバなどの有線通信を考えた場合、それらは専用のケーブルに皮膜され外来ノイズの影響を受けにくくある。また、壁や天井などの遮蔽物が通信に影響を与えることもないため、無線通信では通信できないような、部屋間およびフロア間の通信経路を確保することができる。しかしながら、有線通信では、ネットワーク構築のための通信インフラの敷設に、多大なコストがかかる。有線通信として電力線通信を考えた場合、すでに敷設された電力線を通信に利用するため、通信インフラの敷設コストを考慮する必要がない。一方で、電力線通信では、通信信号のほかに、電力線に接続された電化製品由来のノイズが存在するため、無線通信と同様、通信信頼性の確保、ならびに維持が課題となる。

屋内センサネットワークを構築する上で、無線通信および電力線通信を相互補完的に利用することは、以下の利点を持つ。

- ネットワークを安価に構築できる。無線通信、電力線通信ともに、新規の通信インフラを必要としない
- ネットワーク範囲を拡張できる。無線通信では通信不能となる部屋間、フロア間を電力線通信で補う。あるいは、電力線通信では通信不能となる、相の異なる電力線間の通信を無線通信で補う(図. 1)
- 通信信頼性を向上できる。無線通信、電力線通信ともに、安定的な通信経路ではないが、それぞれの通信障害要因は異なる。そのため、無線通信の通信品質が劣化した場合に電力線によって通信を行う、あるいはその逆を行うことで、

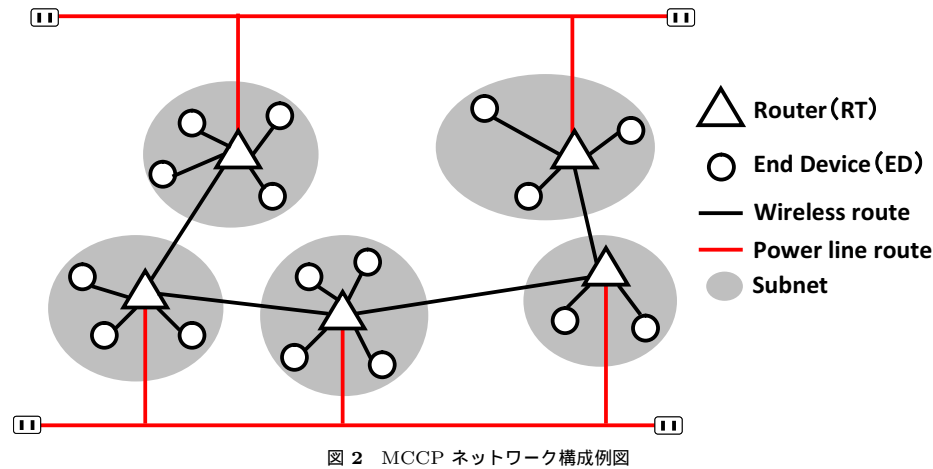


図 2 MCPP ネットワーク構成例図

通信を維持できる可能性が高まる

- ネットワークライフタイムを長期化できる。電力線通信を行うデバイスは常に給電状態にあり、恒常的な動作が可能である。これらのデバイスがネットワークを管理することで、バッテリー駆動デバイスのスリープ時間を長期化することができる。具体的な管理手法については後述する

3.2 MCPP ネットワーク

3.2.1 ネットワーク構成

MCCP のネットワーク構成を図 2 に示す。MCCP は、エンドデバイス、ルータと呼ばれる二つの論理デバイスから構成される。ルータは近隣のエンドデバイスを管理するための局所的なネットワーク、サブネットを構築する。すなわち、ルータとエンドデバイスはスター型のネットワークを構築し、ルータ間はメッシュ型のネットワークを構築する。

ルータは、ネットワーク上のアドレスを管理し、またネットワーク上に流れるパケットを中継する。一方のエンドデバイスは、自身が参加するサブネットを管理するルータに対して、メッセージの送受信のみを行う。

通信インタフェースに関して、ルータは、電力線通信インタフェースと無線通信インタフェースの両方を備え、エンドデバイスは、電力線通信インタフェース、あるいは無線通信インタフェースのどちらか一方を備えることを前提とするが、MCCP の動作としてすべて

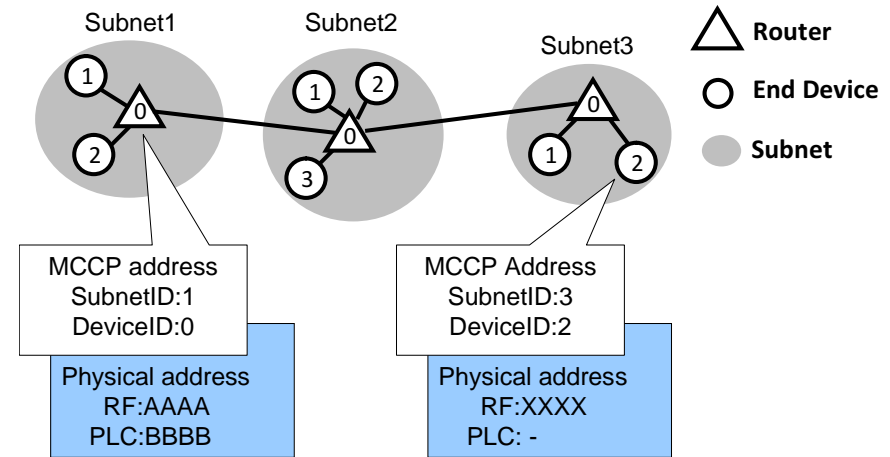


図 3 MCPP ネットワークアドレス例図

のデバイスがそうである必要はない。

MCCP ネットワークでは、エンドデバイスは、アドレスの管理やパケットの中継処理を行わない。これは、エンドデバイスが、大きなメモリ領域や、高度な処理能力を持たなくよいことを意味する。また、パケットの中継処理を行う必要がないため、自身の送受信に必要な時間以外、エンドデバイスは活動を行わなくて良い。MCCP において、エンドデバイスは周期的なスリープが可能であり、エンドデバイスがバッテリー駆動する場合には、駆動時間の長期化が可能となる。

MCCP ネットワークでは、センサネットワーク上に多数存在するセンサノードを、安価かつ長期的にバッテリー駆動可能なエンドデバイスとして動作させることができる。

3.2.2 アドレス体系とルーティング

MCCP ネットワークで利用されるアドレスについて説明する。MCCP では、各論理デバイスに割り当てられる MCCP アドレスのほかに、実際の通信インタフェースが利用する物理アドレスが必要となる。物理アドレスは、利用する通信インタフェースに依存する。なお、ネットワークレイヤより上層では、物理アドレスは隠蔽され、MCCP アドレスのみ用いられる。

MCCP アドレスは、サブネット ID およびノード ID の二つのアドレスからなる。サブネット ID は、MCCP ネットワーク上の各サブネットに対し割り当てられるアドレスであ

り、ノード ID は、サブネットに参加する各ノードに割り当てられるアドレスである。すなわち、サブネット ID は MCCP ネットワーク上でユニークに存在し、ノード ID はサブネット毎に重複したものが利用される。

MCCP ネットワークにおけるアドレス例、および通信例を図 3 を用いて説明する。

- (1) エンドデバイスが、メッセージを自身の参加するサブネットを管理するルータに対して送信する
- (2) メッセージを受信したルータは、宛先サブネット ID を確認する
- (3) 宛先サブネット ID が自身のサブネット ID である場合、ルータは宛先デバイス ID を持つ他のエンドデバイスに対して、メッセージを送信する。なお、ルータからエンドデバイスへの送信は、プッシュ型でなくプル型であってもかまわない
- (4) 宛先サブネット ID が自身のサブネット ID とは異なる場合、ルータはメッセージを、他のサブネットを管理するルータへ転送する
- (5) 各ルータが (4) を繰り返すことで、メッセージは宛先サブネット ID を持つルータへ到達し、サブネット内のエンドデバイスへと配送される

3.2.3 ネットワークテーブルと経路品質

各ルータは、ネットワークを管理し、パケットを中継するために、デバイステーブル、ルーティングテーブルと呼ばれる二つのテーブルを持つ。図 4 にそれぞれのテーブルの構造を示す。

デバイステーブルは、ルータが、自身のサブネットを管理するためのテーブルである。デバイステーブルは、エンドデバイスの MCCP アドレスおよび、物理アドレス情報を保持する。ルーティングテーブルは、ルータが、他のサブネット宛のパケットを中継する際に参照するテーブルである。ルーティングテーブルには、ネットワーク上に存在するサブネットと、各サブネット宛のパケットを中継するサブネット ID、ホップ数、使用する通信インタフェース、物理アドレス、そして Link quality indicator (LQI) を持つ。

LQI とは、1 ホップ近隣にあるルータ間における経路の評価値であり、通信成功率と相関関係を持つ必要がある。経路毎に無線通信経路における LQI (RF-LQI と呼ぶ) と電力線通信経路における (PLC-LQI と呼ぶ) の二つの LQI が存在する。LQI が高いほど通信成功率が高い経路である。

LQI としてどのような情報を利用するかは、実際に利用する通信インタフェースに依存する。無線通信であれば、RSSI などが利用できる。電力線通信であれば、受信信号の電圧や、

SubnetID	DeviceID	RF addr	PLC addr
1	0	AAAA	BBBB
1	1	CCCC	-
1	2	DDDD	-

a) Device table

SubnetID	Relay SubnetID	Hop	IF	RF addr	PLC addr	RF-LQI	PLC-LQI
1	own	0	-	AAAA	BBBB	-	-
2	-	1	RF	EEEE	FFFF	70	50
3	2	2	-	-	-	-	-

b) Routing table

図 4 デバイステーブルおよびルーティングテーブル例図

利用周波数帯におけるノイズトーンの大きさなどが利用できる。LQI は、近隣ルータからパケットを受信した際に、観測、あるいは計算され、ルーティングテーブルに格納される。

3.2.4 経路探索アルゴリズム

MCCP における経路探索アルゴリズムを説明する。MCCP は、リアクティブ型の経路探索アルゴリズムであり、中継すべきパケットの宛先サブネットに対するアドレス情報がルーティングテーブルにない場合、経路探索を実行し、ルーティングテーブルの完成を待つ。経路探索には、経路探索パケット Route request packet (RRP)、経路探索応答パケット Route request reply packet (RRRP) の二種のメッセージが用いられる。

AODV⁸⁾ に代表される多くの無線通信プロトコルでは、ホップ数や、LQI としての RSSI の加算結果が、最終的な経路選択基準となる。しかしながら、MCCP では、複数の通信媒体、特に有線通信と無線通信といった特徴の異なる通信媒体を併用するため、それらの既存手法は、以下の理由から、MCCP に対して適切でないと我々は考える。

- 無線通信では、ホップ数あるいは RSSI が、実際のノード間の距離に対して相応の相関関係を持つが、有線通信では必ずしもそうではない
- 異なる通信媒体において、それぞれの LQI が意味するところは異なり、それらを加算、あるいは比較することが難しい場合がある

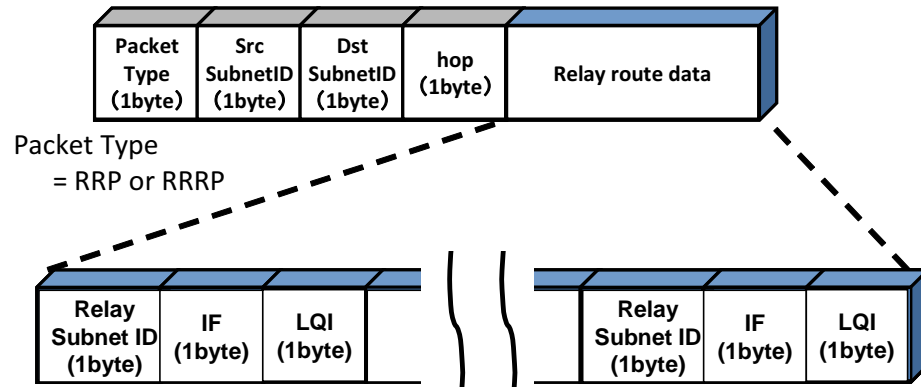


図 5 経路探索パケットフォーマット

- 有線通信と無線通信は、それぞれ通信障害要因が異なるため、通信信頼性を維持するためには、併用して利用すべきであるが、既存方式では経路途中における、それらの経路情報は保持されない

そこで、MCCP では、DSR⁷⁾ のように、RRP が中継されるたびに、中継経路情報、すなわち中継経路のサブネット ID、通信媒体、およびその LQI を、メッセージに追記する。MCCP における、RRP のパケットフォーマットを図 5 に示す。

以下に、MCCP における経路探索アルゴリズムを示す。また、経路探索の例を図 6 に示す。

- 探索元ノードが、RRP を生成し、ブロードキャストする。RRP には、探索元サブネット ID、探索先サブネット ID、ホップ数が含まれる
- RRP を受信したノードは、自身宛か確認する。自身宛でない場合、中継経路情報に自身が含まれているか確認し、含まれている場合、経路が周回したものととしてパケットを破棄する。それ以外の場合は、中継ノードとして、受信した RRP のホップ数をインクリメントし、RRP の最後に、中継経路情報、すなわち送信元サブネット ID、受信通信媒体情報、その LQI を新たに追記し、これをブロードキャストする
- 中継ノードが (2) を繰り返すことで、RRP は探索先ノードに到達する。

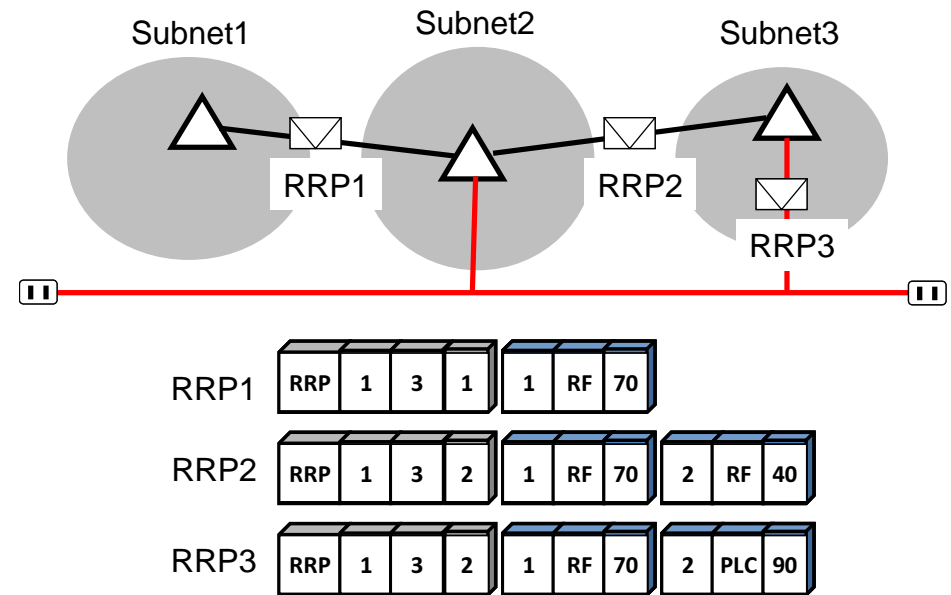
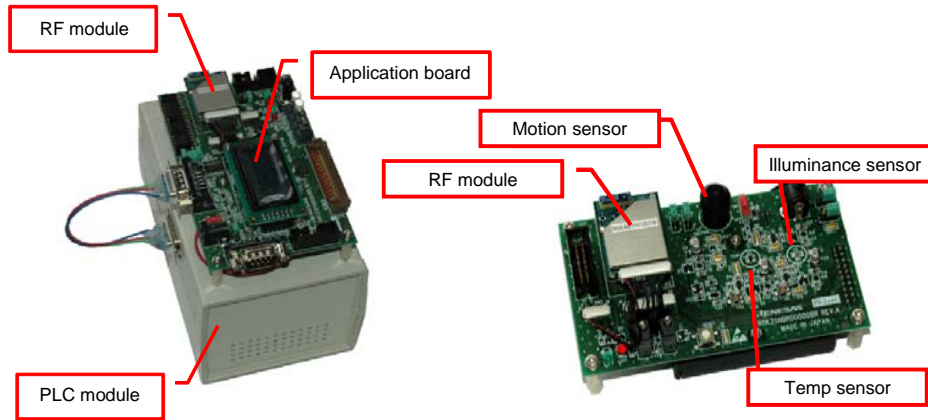


図 6 経路探索例図

探索先ノードは、受信した RRP の探索先サブネット ID を確認することで、自身宛であることを確認できる

- 探索先ノードは、はじめて RRP を受信してから、一定期間の間に受信したすべての RRP に対して経路選択を行い、最適な経路を一つ決定する
- 探索先ノードは、最適な経路情報を含む RRP を、RRRP として、探索元ノードにユニキャストする。探索先ノードから探索元ノードへ RRRP を中継するノードは、RRRP に記録された中継経路情報を後ろからたどることで参照することができる
- RRRP を受信した中継ノードおよび探索元ノードは、RRRP を元に、自身のルーティングテーブルを更新する

探索先ノードの経路選択指標として、到着順序、中継経路数、中継経路情報に含まれる経路媒体情報、LQI などが利用できる。MCCP では、以下の経路選択アルゴリズムを用いて最適経路を決定するものとする。



a) Router evaluation board b) End device evaluation board

図 7 評価ボード外観図

- (1) 各中継経路の LQI において、事前に設定した閾値を下回る経路の数が少ない経路を選択
- (2) (1) が同数の場合、中継経路の数が少ない経路を選択
- (3) (2) が同数の場合、到着順序が早い経路を選択

なお、上述する閾値とは、通信成功率が 90% を下回る場合における LQI 値であり、この閾値の設定には、経験的な事前学習を必要とする。

4. 実装と評価

4.1 評価ボード開発

我々は、本論分で提案する MCCP ネットワークを構築するための評価ボードを開発した。評価ボードの外観を図 7 に示す。

ルータ評価ボードは、制御 MCU に M16C/64 チップを搭載したアプリケーションボードに、RF モジュール、PLC モジュールをシリアルで接続したものである。エンドデバイス評価ボードは、RF モジュールに、人感センサ、温度センサ、照度センサを組み込んだものであり、電池で駆動する。M16C/64 チップ、および RF モジュール、PLC モジュールはすべてルネサスエレクトロニクス株式会社製のものを利用した。

我々は、これらの評価ボードを用いたセンサネットワークのプロトタイプを、研究室内に

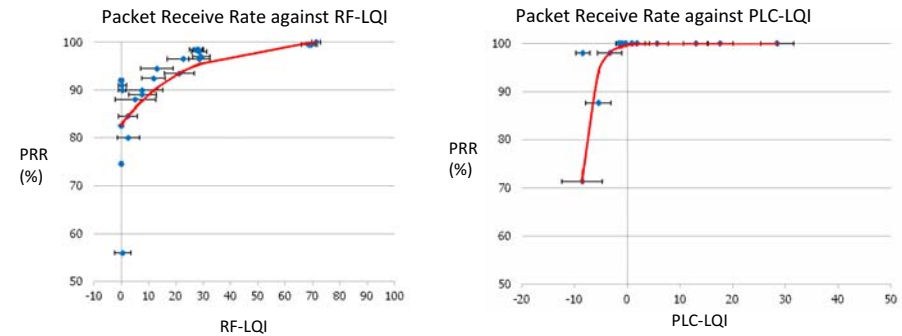


図 8 LQI と通信成功率の評価結果

構築し、運用実験を行っている。収集したセンサデータは、研究室にあるデータベースサーバに格納、精査され、Web サーバを介してブランチング可能である。将来的には、センサネットワークに、機器制御のためのアクチュエ이터ノードを追加し、蓄積したセンサデータから、照明や室温を自動的に調整する、ホームネットワークの実現を目標とする。

4.2 LQI の評価と事前学習

我々は、開発した評価ボードを用いて、無線通信、電力線通信における LQI と通信成功率 Packet Receive Rate (PRR) の相関関係について評価した。評価ボードでは、RF-LQI として RSSI を、PLC-LQI として受信信号電圧を利用した。

評価手法を説明する。無線通信では、送信機と無線機の距離を調整しながら、各距離においてパケットを 200 回連続で送信した場合の、通信成功率と LQI を記録した。電力線通信では、通信経路である電力線に、人為的にノイズを重畳しながら、通信成功率と LQI を記録した。電力線に重畳するノイズ源には、ノート PC や充電器の AC アダプタを利用した。

評価結果を図 8 に示す。図 8 を見ると、無線通信、電力線通信ともに、LQI が小さくなるほど通信成功率が悪くなるのが分かる。図 8 のおける赤線は、LQI の平均値と通信成功率の関係、近似曲線で表したものである。近似曲線はそれぞれ以下の式となった。

$$PRR(RF) = -18.150359 * e^{-0.042263 * RF-LQI} + 100.889814 \quad (1)$$

$$PRR(PLC) = -0.368096 * e^{-0.507550 * PLC-LQI} + 100.0 \quad (2)$$

評価結果から、評価ボードで使用する RF-LQI、PLC-LQI はともに、経路品質を評価する際の指標として利用可能であることが分かった。また、通信成功率が 90% を下回る場合の LQI の閾値を事前学習することができた。

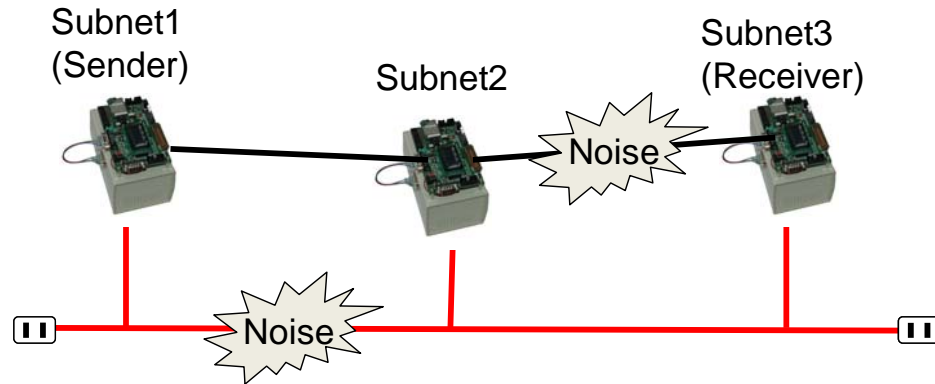


図 9 MCCCP ネットワーク・プロトタイプ

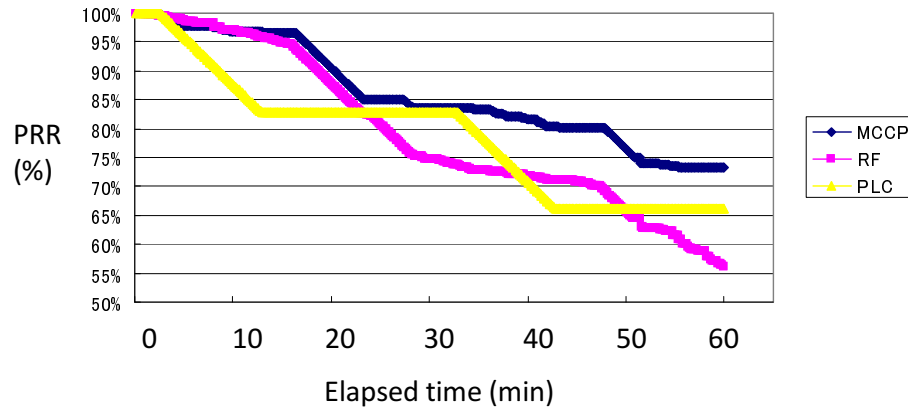


図 10 MCCCP 評価結果 1

4.3 MCCCP の評価

我々は評価ボードに対し、MCCCP のプロトタイプコードを実装し、プロトコルの性能評価を行った。

評価手法を説明する。評価ボードを用いて、図 9 にあるような MCCCP ネットワークのプロトタイプを構築する。なお、各ルータ評価ボードは同一電力線上に存在するが、サブネット 1 からサブネット 3 への通信には、サブネット 2 のルータを中継するよう、電力線通信

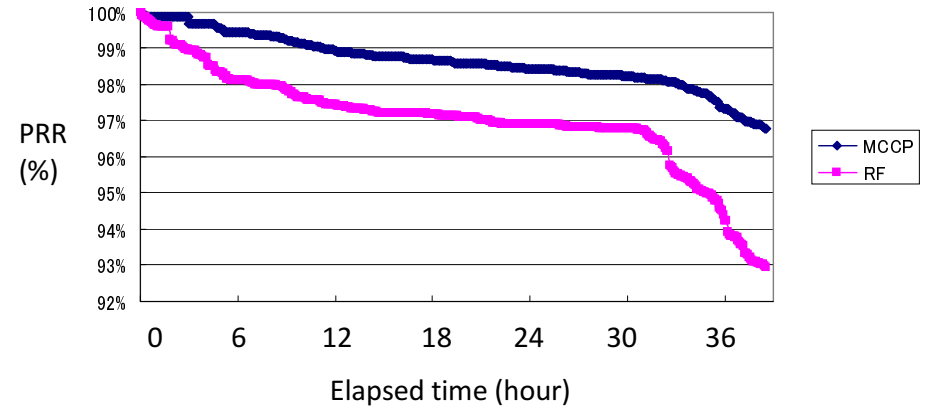


図 11 MCCCP 評価結果 2

出力を調整した。サブネット 1 は、サブネット 3 に対する経路探索を一定周期 (約 4 分) で行い、ルーティングテーブルを定期的に更新する。

評価は、サブネット 1 を送信機、サブネット 3 を受信機として、一定間隔 (約 3 秒) でメッセージを送信し、その通信成功率を記録した。MCCCP プロトコルを利用した通信のほかに、電力線通信のみを利用した通信、無線通信のみを利用した通信を同時に行い、比較対象とした。評価中に、LQI を変化させるため、各通信経路に対し、人為的にノイズを重畳した。無線通信経路におけるノイズとして、遮蔽物の追加、電子レンジや他の無線機器による外来電波を利用した。電力線通信経路におけるノイズとして、ノート PC や充電器の AC アダプタを利用した。

評価結果を図 10 に示す。図 10 を見ると、MCCCP を利用した場合の通信成功率は、電力線通信のみ、無線通信のみを利用した場合よりも良いことが分かる。これは、人為的なノイズにより電力線通信経路、無線通信経路のいずれかの品質を劣化させた場合において、MCCCP が正しくルート探索を行ったことを意味する。ただし、本評価では、ルート探索周期は約 4 分と長く、その間に発生した通信経路の劣化に対して即時的な対応が取れなかったため、MCCCP を利用した場合においても通信成功率はそれほど高くない。この問題に関しては、ルート探索周期を十分に短くする、あるいは送信失敗時にルート探索を行うことで、解決するものと考えられる。

図 11 は、図 9 の MCCCP ネットワークのプロトタイプを研究室内に構築した際の評価結

果である。この評価では、人為的にノイズを重畳することはせず、研究室内の一般的な人的活動、すなわち、扉の開閉や、電化製品の駆動、他の無線機器の利用などをノイズ源とした。図 11 を見ると、前述の評価と同様、MCCP を利用した場合の通信成功率は、無線通信のみを利用した場合よりも良いことが分かる。なお、電力線通信のみを利用した場合の通信成功率は、正常に取得できなかったため、記載しない。

評価結果 1、2 より、MCCP ネットワークのプロトタイプは、無線通信と電力線通信を相互補完的に利用することで、それらを単独で利用した場合と比較して、ネットワークの通信信頼性を維持、向上させることができると結論する。より高度な既存アルゴリズムとの比較は、今後の課題とする。

5. 結 論

我々は、無線通信と電力線通信を相互補完的に利用する通信プロトコル、MCCP を提案した。MCCP は、屋内センサネットワークの構築に適した通信プロトコルである。MCCP を用いることで、センサネットワークを安価に構築でき、センサネットワークの通信信頼性を向上させることができる。

MCCP は有線通信と無線通信が混在するネットワークにおいて、最適な経路を決定するための経路探索アルゴリズムを有する。MCCP の経路探索アルゴリズムは、AODV 等の最短経路探索アルゴリズムとは異なり、各中継路における経路情報を保持した形で実行される。これにより、有線通信と無線通信という特徴の異なる経路間の比較が可能となり、最適な経路を選択することができる。

我々は、MCCP ネットワークを構築するための評価ボードを開発した。また、評価ボードを用いて、MCCP ネットワークのプロトタイプを構築し、MCCP の性能を評価した。評価の結果、MCCP は、電力線通信あるいは無線通信を単独で利用した場合よりも、通信信頼性が高いことが分かった。

本論分で評価した MCCP ネットワークのプロトタイプは、小規模なネットワークであるため、今後、より規模の大きなネットワークを構築し、長期的に運用試験を行う必要がある。また、MCCP における経路選択基準、LQI の閾値の設定方法についてより詳細に検討し、他の既存アルゴリズムと比較評価を行う必要がある。将来的には、研究室内に構築した MCCP を用いたセンサネットワークに対し、アクチュエーターノードを組み込み、センサデータから、照明や空調を自動制御を達成する、ホームネットワークの構築を目標とする。

参 考 文 献

- 1) G. Barrenetxea, F. Ingelrest, G. Schaefer, M. Vetterli, O. Couach, and M. Parlange, "SensorScope: Out-of-the-Box Environmental Monitoring," in Proc. of IPSN '08, pp. 332- 343, Apr. 2008.
- 2) D. Lymberopoulos, A. Bamis, and A. Savvides, "Extracting Spatiotemporal Human Activity Patterns in Assisted Living using a Home Sensor Network," in Proc. of the International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA), 2008.
- 3) S. Jiang, Y. Cao, S. Iyengar, P. Kuryloski, R. Jafari, Y. Xue, R. Bajcsy, and S. Wickler, "CareNet: an integrated wireless sensor networking environment for remote healthcare," in Proc. of ACM BodyNets '08, Mar. 2008.
- 4) A. Ahmed and N. Faisal, "A real-time routing protocol with load distribution in wireless sensor networks," Computer Communications, 31(14), pp. 3190-3203, 2008.
- 5) J. Heo, K. Lee, H. K. Kang, D.-S. Kim, and W. H. Kwon, "Adaptive Channel State Routing for Home Network Systems Using Power Line Communications," IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 53, No. 4, pp. 1410-1418, Nov. 2007.
- 6) Y. Zeng, C. J. Sreenan, and L. Sitanayah, "A Real-Time and Robust Routing Protocol for Building Fire Emergency Applications Using Wireless Sensor Networks," in Proc. of PerCom 2010, PerNEM 2010, pp. 358-363, Mar. 2010.
- 7) D. B. Johnson, D. A. Maltz, and Y.-C. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," Ietf Manet Working Group (Draft 10), 2004.
- 8) C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," in Ietf RFC 3561, Jul. 2003.
- 9) R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks," in ACM Mobicom, 2004.
- 10) C. Alippi and L. Sportiello, "Robust Hybrid Wired-Wireless Sensor Networks," 2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), pp. 462-467, Mar. 2010.