

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22760264

研究課題名（和文）リアルタイム無線通信システムの設計と実装に関する研究

研究課題名（英文） A Study on Design and Implementation of Real-time Wireless Systems

研究代表者

猿渡 俊介 (Shunsuke Saruwatari)

静岡大学・情報学部・テニュアトラック助教

研究者番号：50507811

研究成果の概要（和文）：本研究では、ファクトリオートメーション用フィールドネットワークなどの制御用ネットワークの無線化を実現するリアルタイム無線通信システムの実現を目指した。これに向け、無線全二重通信を用いた方式や重畳符号化を用いた方式が無線 LAN を制御用ネットワークで利用できるくらいに高速化することが可能であることを示した。電力の無線化の観点からは、超低消費電力で受信待ち受けが可能なウェイクアップ型無線通信方式が有効であることを示した。

研究成果の概要（英文）：This study has focused on real-time wireless networks for networked control system such as field networks in factory automation. To this end, we have proposed high-speed wireless LAN, which uses wireless full-duplexing and superposition coding. In view of wireless power line, we have proposed a wake-up communication system, which enables wireless listing with few energy.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：制御用ネットワーク / 通信方式

## 1. 研究開始当初の背景

ファクトリオートメーション用フィールドネットワークなどの制御用ネットワークの無線化を実現することで、工場における生産ラインを柔軟に組み変えることが容易となり、商品の生産性を飛躍的に高めることができる。

## 2. 研究の目的

ファクトリオートメーション (FA), プロ

セスオートメーション (PA) への応用を目指した無線制御用ネットワークの開発を目的とする。

## 3. 研究の方法

ファクトリオートメーションなどで利用できるほどの無線通信を実現するためには、往復遅延時間の削減が必要となる。このような観点から、無線 LAN の伝送効率を限界まで高めることができるような無線 LAN 方式の研

究を行った。また、機器間の通信を無線化するだけでなく、電力の伝送線も無線化する必要がある。このような観点から、超低消費電力で無線通信できる方式の研究も行った。

#### 4. 研究成果

無線 LAN の伝送効率を高める方式として、重畳符号化を用いた方式、無線全二重通信方式、マルチホップ通信を検討した。

無線資源を効率的に利用する技術の 1 つとして、1 回の送信で 2 端末に異なるデータを送信できる重畳符号化に着目し、重畳符号化を想定した無線通信メディアアクセス制御プロトコル TSPC-MAC (Traffic-aware Superposition Coding Medium Access Control) を提案した。重畳符号化では、一方の端末に対するデータをファーストレイヤ、もう一方の端末に対するデータをセカンドレイヤと呼ぶ。重畳符号化を用いた TSPC-MAC では、L2 バッファのデータ量に基づいてファーストレイヤとセカンドレイヤに電力を割り当てる。さらに、トラフィックに応じて L2 バッファの待機時間を変更して、ユニキャスト通信と重畳符号化通信を切り替える。シミュレーション評価を行い、TSPC-MAC が、動的に電力を割り当てない既存方式と比較して約 1.87 倍のスループットを実現することが分かった。

無線全二重通信を用いて同じチャネルで同時に送受信することで、無線マルチホップネットワークの end-to-end のスループットを向上させることができる。これに向け、マルチホップネットワークにおける全二重通信 MAC プロトコルである Relay Full-Duplex MAC (RFD-MAC) を提案した。RFD-MAC はプライマリ送信とセカンダリ送信を用いる非同期型の全二重通信 MAC プロトコルである。RFD-MAC は傍受したフレームに含まれる次に送るべき後続フレームを保持しているかどうかの 1 ビットの情報を基にセカンダリ送信の送信元ノードを選択することで、全二重通信の機会を増加させる。計算機シミュレーションにより、RFD-MAC のスループットが、Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) に比べて最大で約 60%、Full-Duplex MAC+ (FD-MAC+) に比べ約 41%、Multi-hop Full-Duplex MAC (MFD-MAC) に比べ約 28% 向上することが分かった。

マルチホップネットワークに無線全二重通信を適用することで無線通信性能が向上するものの、セカンダリ送信衝突問題という無線全二重通信方式特有の問題が発生する。セカンダリ送信衝突問題を解決するために指向性アンテナを利用した DAFD-MAC (Directional Asynchronous Full Duplex Medium Access Control) を提案した。DAFD-MAC では、セカンダリ送信の宛先ノード

がデータフレームを受信しながら、指向性アンテナと無線全二重通信を用いて通信中のノードと反対方向に NAV (Network Allocation Vector) を通知して近隣ノードの通信を延期することで衝突を抑制する。計算機シミュレーションにより end-to-end スループットを評価した結果、提案方式 DAFD-MAC は、既存方式である CSMA/CA と比較して最大約 72%、FD-MAC+ と比較して最大約 106%、MFD-MAC と比較して最大約 110% のスループットが向上することが分かった。

リアルタイム無線通信方式の実現に向けて自動車や自動販売機などの機器内に存在するセンサノードの省電力化が重要となる。このような観点から、ワイヤレスハーネスへのウェイクアップ通信技術の適用を検討した。これに向け、ワイヤレスハーネスにおけるウェイクアップ通信の実現に向けた 2 進 MDS-ID マッチングを提案した。2 進 MDS-ID マッチングでは、ハミング距離の離れた ID である 2 進 MDS-ID を使い、ハミング距離に基づいて ID マッチングを行う。回路実装とシミュレーション評価を行い、2 進 MDS-ID マッチングを用いたウェイクアップ通信が、遅延を増加させることなく小規模な回路で高いエラー耐性を実現できることが分かった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

① Ari Raptino H., Shunsuke Saruwatari, Masaki Bandai, and Takashi Watanabe, Rate and Relay Diversity in Temporal Spectrum Sharing, International Journal of Computer System Science and Engineering, 査読有, 2013 (accepted)

② Wuyungerile Li, Shunsuke Saruwatari, Masaki Bandai, Takashi Watanabe, "Discussions on Tradeoffs of Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," International Journal of Computer System Science and Engineering, 査読有, 2013 (accepted).

③ 杉山 佑介, 玉置 健太, 猿渡 俊介, 渡辺 尚, マルチホップ無線全二重通信における指向性メディアアクセス制御方式, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J96-B, No. 7, 2013 (accepted)

- ④石田 繁巳, 瀧口 貴啓, 猿渡 俊介, 森川 博之, ワイヤレスハーネスのための2進MDS-IDマッチング型ウェイクアップ通信, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J96-B, No. 6, 2013, pp. 1-13
- ⑤黒岩 拓人, 鈴木 誠, 猿渡 俊介, 長山 智則, 森川 博之, 無線センサネットワークを用いた構造モニタリングのためのマルチチャネル利用型並列一括収集機構, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J96-B, No. 2, 2013, pp. 114-123
- ⑥山本 享弘, 猿渡 俊介, 森川 博之, Lightweight Lower than Best Effort: 携帯電話センシングのための軽量な低優先度通信機構, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 53, No. 7, 2012, pp. 1863-1874
- ⑦Shunsuke Saruwatari, Makoto Suzuki, and Hiroyuki Morikawa, PAVENET OS: A Compact Hard Real-Time Operating System for Precise Sampling in Wireless Sensor Networks, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 5, No. 1, 2012, pp. 24-33
- ⑧猿渡 俊介, 高木 潤一郎, 川島 英之, 倉田 成人, 森川 博之, センサデータベースマネージャにおける問合せ処理とデータ圧縮の同時最適化, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 53, No. 1, 2012, pp. 320-335
- ⑨山本 享弘, 猿渡 俊介, 南 正輝, 森川 博之, Piggyback Transport Protocol: Participatory Sensingにおける低消費電力なアップロードエンジン, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 53, No. 1, 2012, pp. 274-285
- ⑩石田 繁巳, 瀧口 貴啓, 猿渡 俊介, 南 正輝, 森川 博之, ブルームフィルタを用いたウェイクアップ型通信システム, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J94-B, No. 10, 2011, pp. 1397-1407
- ⑪猿渡 俊介, ヨハン イェルム, 小田 稔周, 森川 博之, DLNA Probe: DLNA

デバイスの操作履歴取得システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 4, 2011, pp. 1693-1705

- ⑫ Hua Si, Shunsuke Saruwatari, Masateru Minami, and Hiroyuki Morikawa, A Ubiquitous Power Management System to Balance Energy Saving and Response Time based on Device-level Usage Prediction, Journal of Information Processing, Vol. 18, 2010, pp. 147-163

[学会発表] (計 76 件)

- ①Kenta Tamaki, Yusuke Sugiyama, Ari Raptino H., Masaki Bandai, Shunsuke Saruwatari, Takashi Watanabe, Full Duplex Media Access Control for Wireless Multi-hop Networks, Proceedings of the IEEE 77th Vehicular Technology Conference (IEEE VTC2013-Spring), 査読有, 2013年6月2日~2013年6月5日, International Congress Center Dresden (Germany)
- ②Shigemi Ishida, Takahiro Takiguchi, Shunsuke Saruwatari, Masateru Minami, and Hiroyuki Morikawa, Evaluation of a Wake-up Wireless Module with Bloom-Filter-Based ID Matching, Proceedings of 8th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT2010), 査読有, 2010年6月15日~2010年6月18日, Damai Beach Resort (Malaysia)
- ③Shunsuke Saruwatari, Invited Talk: Real-time Wireless, The 3rd Asia-Europe Workshop on Ubiquitous Computing 2010 (AEWUC'10), 2010年5月16日, University of Helsinki (Finland)
- ④猿渡 俊介, 渡辺 尚, 多数の基地局・中継局連携による無線LAN技術の課題, 電子情報通信学会技術研究報告, 知的環境とセンサネットワーク研究会, 2013年5月16日~2013年5月17日, 熊本大学(熊本)
- ⑤青木 勇太, 猿渡 俊介, 渡辺 尚, 重畳符号化を用いた無線通信における転送量に基づく電力割当方式, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会, MBL-64-22, 2012年

11月15日～2012年11月16日，北海道大学（北海道）

〔その他〕

ホームページ等

<http://aurum.cs.inf.shizuoka.ac.jp/user/saru>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

猿渡 俊介 (Shunsuke Saruwatari)  
静岡大学・情報学部・テニユアトラック助教  
研究者番号：50507811

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし