

氏名	かわもと やすたか 川本 康貴
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博甲第893号
学位授与の日付	平成30年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 電子システム工学専攻
学位論文題目	モノのインターネット実現に向けた無線通信プロトコルの研究
審査委員	(主査)教授 門 勇一 教授 大柴小枝子 教授 梅原大祐 准教授 島崎仁司

論文内容の要旨

我が国では少子高齢化に伴う生産年齢人口減少が懸念されている。今後、少ない労働力でこれまで以上の生産性を発揮するために、情報通信技術 (ICT) の活用が進むと予想される。ICTの中で、特に活用が期待されている技術はセンサ機器と無線通信技術を活用したモノのインターネット (Internet of Things、以下 IoT と略す) がある。今後、IoT システムを使って物理空間から収集した大量のデータをサイバー空間で人工知能処理し、物理空間へフィードバックすることにより生産性改善や省エネルギー化など様々な社会課題を解決することが期待されている。

この IoT システムを構成する基本要素として、実空間情報を読み取るセンサ、機器を動作させるアクチュエータ、他の機器と連携するためのネットワーク、情報処理のためのコンピュータ機能がある。この内、センサ機器等が利用するネットワークに関しては、無線通信が有望視されている。なぜなら前 IoT 機器の設置数は非常に多くなるので、有線通信を利用したネットワークの構築は非現実的であるからである。

1990 年後半以降、様々な IoT システム応用を狙った無線通信技術が考案されてきており、技術的には IoT システムの構築は可能である。しかし、現実的に産業界に受け入れられるためには、今まで考案されてきた無線通信技術に「標準準拠」、「調達容易性」及び「低エンジニアリングコスト」といった観点から通信方式を新たに検討する必要がある。本論文では IoT システムを実現するための無線通信方式である「NES-MAC : 長期間連続動作して多量のデータを収集するための省電力 MAC プロトコル」及び「NES-SOURCE : 遅延の少ないデータ通信が可能な軽量リアルタイムネットワークプロトコル」を考案し、設計・実装し、通信実験で性能を評価している。また、設計に際しては、前述の 3 つの観点を特に考慮に入れて検討している。本論文は 5 章で構成されている。

第 1 章「序論」では社会課題解決のための IoT システム普及の鍵となる無線通信技術の通信プロトコルの課題を述べている。

第 2 章「通信に対する要求」では無線通信の MAC プロトコルに対する要求仕様をインフラ監視システムと制御システム応用の観点から明らかにしている。

第 3 章「NES-MAC : モニタリング向け超省電力 MAC プロトコル」では従来の Low power

listening (LPL)システムについてクロック誤差等の観点から課題を明らかにしている。それを踏まえて、NES-MAC の設計を行い、無線システムへの実装と評価を行っている。その結果、NES-MAC は温度変化が激しい屋外インフラ監視アプリケーションに使用できることを示し、NES-MAC を用いた場合、2 個の CR123A 型電池で約 10 年間の連続運転が可能であることを明らかにしている。以上から、NES-MAC で実装された同期 CSL 方式は、データ主導社会を実現するために必要な 3 つの要件を満たし、最も現実的で優れた省電力 MAC プロトコルであると結論付けている。

第 4 章「NES-SOURCE：制御向け低遅延かつ軽量ネットワークプロトコル」では、遅延保証が求められる制御無線ネットワークに関連する既存の開発例の問題点を明らかにしている。更に、パケットロスを低減するために必要な機能を考察し、コリジョン発生確率について予備実験を行い、NES-SOURCE の設計に反映させている。次に、設計した NES-SOURCE の PHY/MAC 層及びネットワーク層について解説している。無線システムへの実装を行い、通信路の環境が人の出入りにより頻繁に変化する環境で実験を行った。NES-SOURCE の高速パス切り替え機能が効果的に機能することを確認し、NES-SOURCE の通信障害検出とパス切り替えが高速であり、通信遅延が一般的な制御無線の要求を満足することを示している。

第 5 章「結言」では、NES-MAC および NES-SOURCE は通信技術として求められる機能に加え、「標準準拠」、「調達容易性」及び「低エンジニアリングコスト」といった、IoT システム実現に必須となる条件も満たしており、今後、NES-MAC および NES-SOURCE はデータ主導社会実現のために様々な局面で利用されると総括している。

論文審査の結果の要旨

本学位申請論文はデータ主導社会を実現するための Internet of Things (IoT) 無線通信方式に好適な通信プロトコルについて、注目されているインフラ監視システムと制御システムへのユースケースを想定して課題を考察し、それぞれのケースについて「NES-MAC」及び「NES-SOURCE」と呼ぶ新たな通信プロトコルを新たに提案している。

「NES-MAC」はモニタリング向け超省電力 MAC プロトコルであり、温度変化が激しい屋外インフラ監視に使用できることを示し、2 個の CR123A 型電池で約 10 年間の連続運転が可能であることを明らかにしている。NES-MAC で実装された同期 CSL 方式は、データ主導社会を実現に必要な「標準準拠」、「調達容易性」及び「低エンジニアリングコスト」の要件を満たし、最も現実的で優れた省電力 MAC プロトコルの 1 つになると期待される。

「NES-SOURCE」は制御向け低遅延かつ簡易ネットワークプロトコルである。設計したプロトコルを無線システムに実装し、通信路の環境が人の出入りにより頻繁に変化する環境で実験を行い、NES-SOURCE の通信障害検出とパス切り替えが高速であり、一般的な制御無線システムにおける制御遅延要求を満足することを示している。制御無線システムのアクセス方式として調達が容易でメンテナンスやカスタマイズにかかるエンジニアリングコストが低い CSMA/CA 方式と組み合わせると実用性の高い無線システムになると期待される。

本論文の基礎となっている学術論文は、査読制度の確立した学術雑誌に記載された 2 編と、査読制度の確立した国際会議の Proceedings に記載された 2 編であり、全て申請者が筆頭著者であ

る。

1. Yasutaka Kawamoto, Makoto Kubomi, and Yuichi Kado, "Compact wireless control network protocol with fast path switching." *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. Vol.2 (3), pp. 1350-1357 (2017), DOI: 10.25046/aj0203170.
2. Yasutaka Kawamoto, Toshihiko Matsunaga, and Yuichi Kado, "MAC protocol with clock synchronization correction for a practical infrastructure monitoring system." *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol.14 (4) (2018), DOI: 10.1177/1550147718773243.
3. Yasutaka Kawamoto, Toshihiko Matsunaga, and Yuichi Kado, "Clock adjustment for a low power listening wireless infrastructure monitoring system." *Proceedings of IEEE International Conference on Internet of Things and Applications* (2016), DOI: 10.1109/IOTA.2016.7562695.
4. Yasutaka Kawamoto, and Yuichi Kado, "NES-SOURCE: Indoor small-scale wireless control network protocol that has a communication failure point avoidance function." *Proceedings of IEEE TRON Symposium* (2016), DOI: 10.1109/TRONSHOW.2016.7842884.