

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：12608

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24860028

研究課題名(和文)高信頼な階層型制御ネットワークの構築

研究課題名(英文)Design of hierarchical control network with high reliability

研究代表者

タン ザカン(Tran, Gia Khanh)

東京工業大学・理工学研究科・助教

研究者番号：80599340

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：制御のための通信ネットワークでは、制御安定性を確保するために遅延をある範囲内に納める必要があり、かつ末端ノード数に対するスケーラビリティも確保する必要がある。本研究の成果として初年度ではQualNetシミュレータを用いて、従来規格の悪いスケーラビリティ特性を示した。そこで、電力需給バランス制御を実現する階層型分散制御回線を提案した。二年度目では基幹回線のための有効な集中型および分散型リソース最適化アルゴリズムを提案した。そして、末端ノードの消費電力まで考慮した準最適な中継ノードの配置方法を検討した。スケーラビリティを有する高信頼な階層型制御ネットワークの基礎を実現した。

研究成果の概要(英文)：In the communication network for control it is necessary to guarantee the scalability with respect to the number of end nodes, and communication delay to ensure control stability. As a result of the study, in the first year, we used QualNet simulator to show poor scalability characteristics of conventional standards. Accordingly, we proposed an hierarchical distributed control network to realize the power supply and demand balance. In the second year, we proposed an effective centralized and distributed resource optimized schemes for control backhaul. We furthermore considered a suboptimal method of arranging relay node which reduces the power consumption of the end nodes. In summary, bases for a reliable hierarchical control network with scalability had been investigated.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：通信・ネットワーク工学

キーワード：無線 制御 最適化

1. 研究開始当初の背景

近年、制御ネットワークの需要が高まっている。制御ネットワークとは温度、照度、加速度、湿度、電力、ガスなどのセンシングデータを取得する多数のセンサーや制御指令に基づいて動作する多数のアクチュエータから無線で構築される無線センサーネットワーク (Wireless Sensor Network: WSN) 及びそれらの無線センサーネットワークの入出力トラヒックを集約・中継する基幹回線ネットワークから構成されている。制御ネットワークの例としては BEMS (Building and Energy Management System) やスマートグリッド等のアプリケーションが挙げられる。BEMS は WSN を用いて業務用ビル、工場または地域冷暖房などのエネルギー設備全体における省エネ監視・省エネ制御を自動化するシステムである。一方、スマートグリッドは BEMS よりも市町村単位の大きな地域の電力供給や消費システムの制御ネットワークである。具体には発電所から需要家まで電気を送り届ける送電線、配電線及び発電設備、需要設備などすべての機器を電氣的にも情報的にも接続させる高度化された統一の電力制御ネットワークであり、電力の需要と供給バランスの調整によって安定なエネルギー供給の保証に期待されている。

しかし、現状の制御ネットワークを支える基幹回線は IP ネットワークプロトコルを採用する従来のインターネット回線、あるいは IEEE で策定されたセンサーネットワークの通信プロトコルである 802.15.4g しか挙げられない。しかし、IP は膨大なネットワーク上の情報の流通性を重視し、設計されたプロトコルであるものの、アプリケーションデータを意識しないため、ベストエフォート (best effort) 型である。そのため、IP ネットワークを介して中継された制御信号パケットの配達を厳密に保証することは難しい。特に上記で説明したように、今後の制御ネットワークの需要増大に伴い、IP ネットワーク上に流れる制御信号トラヒック増加が発生し、パケットロスによって制御対象の目的達成が更に遠ざかると予想している。一方、提案者は今まで 1 次元 MIMO 無線メッシュネットワークに関する研究を行って来た。1 次元 MIMO 無線メッシュネットワーク (1D-MWMN, 提案法) とは複数アンテナを備えた各無線端末が鎖状の様に無線リンクで接続される無線基幹回線のことである。この基幹回線におけるマルチホップ中継によって双方向の情報フローのエンド・ツ・エンド伝送が可能となる。提案法は従来の CSMA/CA に基づくメッシュプロトコルよりも優れた中継スループット特性やパケット中継遅延特性の改善が得られた。言い換えれば、提案法によって高速伝送・高信頼性の 1 次元無線基幹回線を実現することができた。

2. 研究の目的

そこで、本研究では制御の安定性を確保するために通信遅延をある範囲内に納めると同時にセンサーやアクチュエータなどの末端ノード数に対するスケラビリティも確保することを目的として、制御ネットワークのために保証される (guaranteed) 階層型無線基幹回線の構築を図る。具体的には IEEE802.15.4g を採用した無線制御ネットワークを想定し、それを高度化するための基幹ノードの物理レイヤ、アクセス制御レイヤ、および制御プロトコルを設計し、制御ネットワーク全体の性能評価を行うことで提案手法の有効性を証明したい。本研究の利点は次のように考えられる。基幹回線を無線で構築することにより、設置環境 (既存ネットワークの存在、構造物や壁の存在等) に依存しない柔軟なネットワークを構築できる。制御過程を意識した階層型ネットワーク構成により制御信号のやり取りに関する情報量の削減を図れる。独自のネットワークプロトコルの設立により、既存 IP-based ネットワークと異なって guaranteed ネットワークの構築を図る。また、提案する無線基幹回線を既存ネットワークとの親和性をもたらすことによって制御ネットワークの基幹回線に適した既存ネットワークを強化することも可能となる。

3. 研究の方法

本研究課題では、制御ネットワークを支える階層型無線基幹回線を構築することを目的とし、現存する一次元 MIMO メッシュネットワークを拡張し、階層型無線基幹回線の高度化や制御ネットワーク動作を保証するスマートな階層型無線回線の構築を図る。検討する課題は以下の様に示す。

課題 - 階層型無線基幹回線の高度化
+ 柔軟な同期技術を含むレイヤ横断設計された高効率な無線基幹回線の構築
+ 自律分散制御による無線基幹回線の適応型最適化

課題 - 制御ネットワーク動作を保証するスマートな階層型無線回線の構築
+ 制御信号を意識した無線基幹回線におけるスマートな情報中継方式

4. 研究成果

課題 - 階層型無線基幹回線の高度化
+ 柔軟な同期技術を含むレイヤ横断設計された高効率な無線基幹回線の構築
スマートグリッドの代表的な標準規格とされる IEEE802.15.4g を実装される QualNet ネットワークシミュレータを用いて、非同期型の CSMA/CA 方式を用いる従来規格の特性評価を行った。その結果、ネットワークサイズの増大に伴い、パケット衝突によって希望ネットワーク特性が得られないことが確

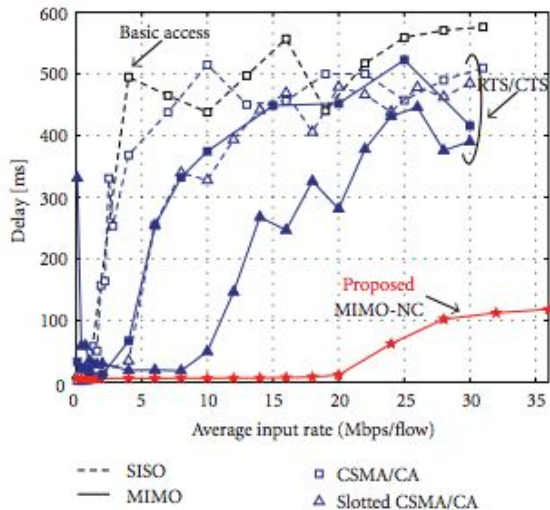


図 1 - 同期型基幹回線の優れた遅延特性

認できた。提案手法の同期型基幹回線は上記の問題を解決できる(図1)。

+ 自律分散制御による無線基幹回線の適応型最適化

無線基幹回線において、時間、周波数、空間、中継経路や配置を含む各種通信リソースに対する集中型及び分散型最適化アルゴリズムを提案し、数値解析結果により、中継容量の増加など、その有効性を示した(図2)。

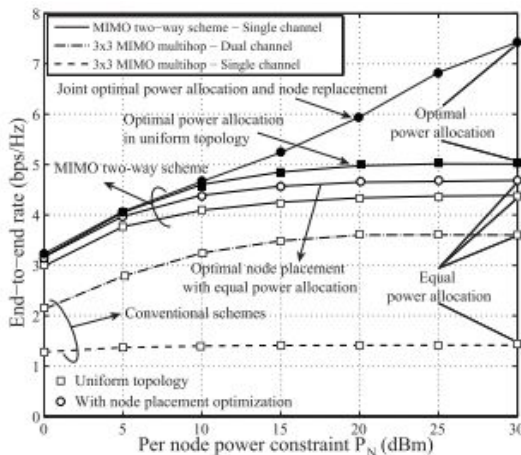


図 2 - リソース最適化による中継容量改善

課題 - 制御ネットワーク動作を保証するスマートな階層型無線回線の構築

+ 制御信号を意識した無線基幹回線におけるスマートな情報中継方式

電力の需給バランス制御をアプリケーションとした階層型分散制御回線を提案した。従来の集中制御では各スマートメータからコントローラへのアクセスにかかる遅延時間が長いので、安定した制御を行うことができない。そこで、制御対象をクラスター化し、サブコントローラで制御させ、そのサブコントローラを上位のコントローラが制御するという階層型制御を導入する。数値

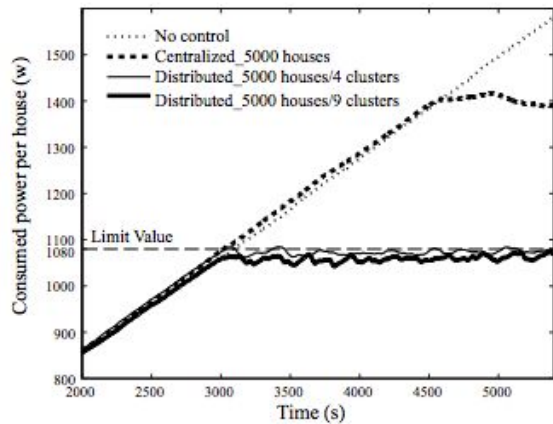


図 3 - 分散電力制御による需給バランス

結果により階層型分散制御の効果として5000世帯まで電力の需給バランス制御が可能となることを証明した。また、中継回線において末端デバイスの消費電力や中継時間を低減する様に設置場所の準最適化やルーティングプロトコルの改良も行った。(図3)

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3件)(すべて査読有)

[1] N. Lertwiram, G. K. Tran, K. Sakaguchi, K. Araki, "An Efficient Relay Node Placement Scheme for Two-way MIMO Multi-hop Networks in Practical Indoor Environments," IEEE Transaction on Wireless Communications, Vol. 12, No. 6, pp. 2977-2987, Jun. 2013.

[2] G. K. Tran, R. Rindra, K. Sakaguchi, K. Araki, "An efficient relay placement method with power allocation for MIMO two-way multi-hop networks," IEICE Trans. Commun., Vol. E96-B, No. 5, pp. 1176-1186, May. 2013.

[3] K. Sakaguchi, V. K. Nguyen, Y. Tao, G. K. Tran, K. Araki, "Distributed Power Control Network and Green Building Test-bed for Demand Response in Smart Grid," IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E96-A, No. 5, pp. 896-907, May. 2013.

[学会発表](計4件)

[1] タン, 岩田, 阪口, 荒木, "MIMO空間周波数共用ネットワークの研究開発," 電子情報通信学会, SR研究会, 信学技報, 2014-03-RCS-SR-SRW, 早稲田大学, 2014年3月3日.

[2] ナム, タン, 阪口, 荒木, "工場環境下における無線マルチホップネットワークの設計法," 電子情報通信学会, SR研究会, 信学技報, 2013-07-ASN-RCS-NS-SR, アクティティ浜松, 2013年7月18日.

[3] キー, 九鬼, ユタオ, タン, 荒木, 阪口, 三瓶, “ピーク電力制御用のマイクログリッドデモ,” 電子情報通信学会, RTRC 研究会, 信学技報, RTRC2012, 横浜国立大学, 2013年1月11日.

[4] キー, 九鬼, ユタオ, タン, 荒木, 阪口, 三瓶, “ホームゲートウェイを活用した分散型電力制御ネットワーク,” 電子情報通信学会, RTRC 研究会, 信学技報, RTRC2012, 福岡大学, 2012年10月18日.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

タン ザカン (Tran, Gia Khanh)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 80599340