

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26280113

研究課題名(和文) コンテキストアウェア・ネットワークアウェアWBANに関する研究

研究課題名(英文) Research on context aware/network aware WBAN

研究代表者

高橋 豊 (Takahashi, Yutaka)

京都大学・情報学研究科・名誉教授

研究者番号：00135526

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では無線ボディアリアネットワーク(WBAN)をはじめとする近距離無線ネットワークの医療分野へのさらなる活用を図るべく、送信されるデータの緊急度と重要性に柔軟に対応したネットワークデザイン論を構築した。すなわち、収集データのコンテキストアウェアで、無線ネットワークにおける消費エネルギーと送信遅延・パケットロス確率などの通信品質を考慮したネットワークアウェアな、高効率・高信頼なネットワーク運用を目標とし、MAC層とアプリケーション層のクロスレイヤ・デザインの方法論を考察した。さらにその性能評価のために数理モデルを提案し、その解析手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：In this research, in order to further utilize near field wireless networks including wireless body area networks (WBAN) in the medical field, we constructed network design methodology that flexibly responds to the urgency and importance of transmitted data. That is, with the context awareness of collected data, we aimed for highly efficient and highly reliable network operation with network awareness considering QoS in wireless networks such as energy consumption, transmission delay, packet loss probability etc., and investigated the methodology of cross layer design for MAC layer and application layer. Furthermore, we proposed mathematical models for performance evaluation of proposed network architectures and developed analytical methods to derive performance measures.

研究分野：情報システム

キーワード：待ち行列 モデル化 性能解析 ネットワーク 情報システム

1. 研究開始当初の背景

我が国の医療費は既に年間30兆円を超え、政府予算においても関連経費は大きな負担になっている。さらに医師・看護師など医療従事者の不足も深刻な問題である。内閣府の予測では65歳以上の高齢者人口は2015年には3395万人、2025年には3657万人、2042年には3878万人になると報告されており、医療費と医療関係従事者不足の問題は喫緊の重要な政策課題のひとつである。

一方でヘルスケア・システムでは、侵襲型、非侵襲型およびウェアラブルなセンサーの技術開発が急速に進みつつあり、今後は各種センサーを活用し、生死に関わるバイタル情報から健康エクササイズ運動量に至るまで多様な情報が無線機器を介して収集可能になるうとしている。加えてインターネットを介した在宅医療、病後の経過観察、リハビリにも大きな貢献が期待される。その結果、重篤な患者に即応した医療体制、24時間の安心できる見守り体制および入院期間の短縮によるQoL(Quality of Life)高維持体制の構築が図れ、疾病への早期の対応による医療費の削減、医療従事者の業務の軽減も見込まれる。

上記目的の実現には各種センサーを近接するコーディネータ・ノードを経由してサーバに接続する無線ボディアエリアネットワーク(WBAN)が重要な役割を果たす。これらセンサーは可動性と小型軽量が求められるため、極小のバッテリーで駆動する必要がある。また侵襲型の場合には充電のみならず交換も困難であり、長時間駆動も重要な条件である。

従って低消費電力でかつ高効率・高信頼な運用を目指すWBANを含む近距離無線通信ネットワークの開発が最重要課題であり、そのためのシステムデザイン論を構築することが求められる。

センサー群を有機的に繋ぐネットワーク基盤に関しては、無線センサーネットワーク(WSN)における通信方式としてIEEE802.15.4が既に開発されており、物理層とMAC層の企画化が進んでいる。MACプロトコルは競合型とスケジュール管理型に大別され、前者ではCSMA/CAが代表的であり、自律分散的でノード数の増大に対する柔軟性がある。後者ではTDMAが代表的であり、集中管理型で同時送信による衝突が回避でき、エネルギーの無駄な消費が抑制される。WSNに関するこれまでの研究は、主に消費電力の低減に注力され、低遅延・高信頼性は2次的であった。しかしバイタルな情報を送る近距離無線ネットワークでは、遅延と信頼性は最も重視すべき性能評価量であり、新たな視点での研究が必要である。

本研究代表者を中心とする研究グループは従来、情報ネットワークのモデル化と性能評価に関して研究を行い、査読付き論文誌および国際会議会議録に200編を超える論文を

発表しているが、近年はマルチホップ無線ネットワークのモデル化と性能評価に焦点をあて精力的な研究活動を行っている(文献[1]参照)。

2. 研究の目的

本研究では無線ボディアエリアネットワーク(WBAN)をはじめとする近距離無線ネットワークの医療分野へのさらなる活用を通して、医療の質の向上、医療費の削減、さらにはQoL(Quality of Life)の改善を図るべく、近距離無線ネットワークのシステムデザイン論の構築を目指した。特に人体周りおよび人体内に配置された各種センサーから送信されるデータの緊急度と重要性に柔軟に対応したネットワーク設計を目的とした。すなわち、収集データのコンテキストウェア、消費エネルギーと送信遅延・パケットロス確率などの通信品質を考慮したネットワークウェアな最適なトレードオフを保ち、無線ネットワークの高効率・高信頼な運用を目標とし、MAC層とアプリケーション層のクロスレイヤ・デザインの方法論を開発することが目的であった。

3. 研究の方法

本研究では、ネットワークのQoS(通信品質)だけを重視するのではなく、センサーなどが収集した情報の中身に応じたコンテキストウェアな通信制約を満たすために、通信環境に適應したネットワークデザイン論を考察した。さらにその性能評価のために数理モデルを提案し、その解析手法を開発した。

4. 研究成果

主要な成果は次の通りである。

センサー取得データの重要度に応じたトラヒックの分別とそれに対応した優先的送信を実現するWBANを検討した。具体的には定期的に収集するデータ送信に関してはTDMAに代表される非競合方式を採用し、異常時あるいは突発的に送信されるデータ送信にはCSMAに代表される競合方式を併用するハイブリッド方式を考察し、各種トラヒック量に適應すべく、両方式の性能評価を行い最適スケジューリングを議論した。またセンサーが移動する場合および電源が間欠的に切断される場合についても検討を行った。解析に基づく数値結果から、非定期的送信データの平均送信遅延を所与の値以下に保つためにはセンサー群の数、非定期的送信のトラヒック量、電源のON/OFF時間間隔などに依存して2方式間の適切な送信切り替えが必要であり、それを明らかにする方法論を確立した。

遠隔で多数の機器から定期的な情報収集のための通信と緊急時などの非定期的な通信が混在する環境下では、これらを統合する

ためのハイブリッド通信方式が重要になる。所与のQoSを満たしながら最適な設計を行い、收容される機器数に関するスケラビリティを議論するための数理モデルを提案し、併せてその性能解析手法の開発を行った。次にこれらの機器が移動する場合、および省電力のために間欠的に電源をONにする場合を考慮した数理モデルを考察し、その性能評価を行った。

患者、医療機器などの所在・位置情報把握のためにICタグを取り付けたシステムが医療の質および信頼度の向上に結び付くと期待される。このシステムでは情報収集を担うリーダが周辺のタグすべてからID情報を読み取る時間が重要な性能評価量になる。リーダは未知タグからパッシブな通信方式で送信を受けるため、コリジョンは回避できず、この解決のためのAnti-Collisionプロトコルが重要な役割を果たす。本研究ではBFSA (Basic Framed Slotted ALOHA)方式とDFSA (Dynamic Framed Slotted ALOHA)方式に着目し、この数理モデルを提案し、その性能解析手法の開発を行った。さらにより一層の効率化を目指して、空きスロットとコリジョンスロットの時間長を短縮した場合につき両方式の性能解析を行った。その結果、フレーム長を適応的に変化させることとスロット長を可変にすることでタグ読み取り時間が大きく短縮され、ICタグ読み取りシステムの効率化が図れることが判明した。

センサー、スマートメータなど多数の省電力無線機器から定期的な情報収集のための通信と緊急時など非定期的な通信が混在する環境下では、これらヒラヒックの特性を適応的に收容するハイブリッド通信方式が重要である。定期的な通信にはポーリング方式で、非定期通信にはランダムアクセス方式に従い、これら機器がマルチホップでパケット転送するシステムの数理モデルを開発し、その性能解析を行った。解析結果を基にマルチホップネットワークのトポロジがスループットに与える影響を考察した。トポロジによりゲートウェイに至るまでのホップ数が変わるが、平均ホップ数とネットワーク・スループットの定量的な関係が示された。

ICタグなどから無線で情報を収集するシステムでは、マスターノードからの指令を受け、各ノードが自律分散的に情報伝送を行うがノード数が増えるに伴い、複数のノードが同時に伝送することで引き起こされる衝突の頻度が高くなり、全ノードからの情報収集に要する時間は非線形的に増大する。この頻度を低減し、システム性能の安定化を実現するプロトコルを提案し、その性能評価のための数理モデルを構築し、理論的解析を行った。併せて従来方式も同じく、統一的な視点から数理モデルに基づく性能解析を行った。全ノ

ードからの情報収集時間を性能評価量にとり、その確率母関数が満たす関係式を導出し、平均収集時間の比較検討を行い、各プロトコルのノード数に対する性能特性を明らかにした。

WBANにおいては各種センサーなどの周辺機器が取得した情報をスマートフォンなどのローカル端末あるいはベースステーションなどのネットワークエッジサーバの処理能力がシステム全体の性能を大きく左右するが、扱う処理要求は多様であり、またそのトラヒック特性も複雑である。この性能評価を行うために一般的な到着過程と処理過程に従う汎用的なGI/G/1タイプの待ち行列モデルが有用であるが、その状態確率が導出できるのは限られたモデルについてである。本研究ではモデルを限定せず、一般的な場合につき、状態確率の漸近的特性を導出した。

WBANにおいては、ネットワークエッジにおける無線帯域がシステム性能のボトルネックになるため、その有効活用を図る必要がある。一次利用に割り当てられた各無線帯域の空きを二次利用の通信が活用するコグニティブ無線ネットワークを考察し、その性能評価を行った。具体的には数理モデルとしてバケーション期間のある優先権付き待ち行列モデルを提案し、解析を行った。その結果、スループット、ブロッキング確率などの性能評価量の導出が可能になった。

センサー、メータなどがマルチホップ無線通信でサーバノードに情報集約するシステムにおいてモビリティがネットワーク性能に及ぼす影響を考察するために、数理モデルを構築し、その性能解析を行った。解析結果を基に送信遅延、スループット、パケット廃棄確率などの性能評価量を導出した。

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9件)

Kyosuke Hashimoto, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Effect of deadline time on job completion time for backup-task scheduling in cloud computing," Journal of Industrial and Management Optimization, 査読有, vol. 11, no. 3, pp. 867-886, 2015.

Masataka Kato, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Effect of energy-saving server scheduling on power consumption for large-scale data centers," Journal of Industrial and Management Optimization, 査読有, vol. 12, no. 2, pp. 667-685, 2016.

Shunsuke Matsuzawa, Satoru Harada,

Kazuya Monden, Yukihiro Takatani, and Yutaka Takahashi, "Mathematical model and performance evaluation of AMI applied to mobile environment," Queueing Theory and Network Applications (Advances in Intelligent Systems and Computing), Do, T.V., Takahashi, Y., Yue, W., Nguyen, V.-H. (Eds.), Springer, 査読有, 127-142(2016)

Tuan Phung-Duc, Wouter Rogiest, Yutaka Takahashi, Herwig Bruneel, "Retrial queues with balanced call blending: analysis of single-server and multiserver model," Annals of Operations Research, 査読有, 239, pp.429-449(2016).

Tsuguhito Hirai, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Performance analysis of task replication in large-scale parallel-distributed processing: an extreme value theory approach," Journal of the Operations Research Society of Japan, 査読有, vol. 59, no. 2, pp. 174-194, April 2016.

小笠原翔太、原田諭、門田和也、高谷幸宏、高橋豊「ハイブリッド通信方式を有するAMIの数理モデルと性能解析」電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J99-D, No. 7, pp.353-362, July (2016).

Tsuguhito Hirai, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Performance optimization of parallel-distributed processing with checkpointing for cloud environment," Journal of Industrial and Management Optimization, Journal of the Operations Research Society of Japan, 査読有, vol. 59, no. 2, pp.174 ~ 194, 2016.

Shunsuke Matsuzawa, Satoru Harada, Kazuya Monden, Yukihiro Takatani, and Yutaka Takahashi, "Effect of Mobility of Smart Meters on Performance of Advanced Metering Infrastructure," Journal of Industrial and Management Optimization, 査読有, vol. 13, no. 3, pp. 1495-1510, 2017.

Tatsuaki Kimura, Hiroyuki Masuyama, and Yutaka Takahashi, "Light-tailed asymptotics of the stationary distributions of GI/G/1-type Markov chains," Journal of Industrial and Management Optimization, 査読有, vo. 13, no. 4, pp. 2093-2146, 2017.

〔学会発表〕(計7件)

Shunsuke Matsuzawa, Satoru Harada, Kazuya Monden, Yukihiro Takatani, and Yutaka Takahashi, "Mathematical Model and Performance Evaluation of AMI Applied to Mobile Environment," Proc. of the 10th

International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2015), Hanoi and Ha Long, Vietnam, August 17-20, 2015, 査読有.

Yuki Goto, Hiroyuki Masuyama, Bryan Ng, Winston K.G. Seah and Yutaka Takahashi, "Queueing Analysis of Software Defined Network with Realistic OpenFlow-based Switch Model," IEEE MASCOTS 2016, September 19-21, Imperial College, London, UK(2016), 査読有.

Shota Ogasawara and Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of Traffic Classification in an OpenFlow Switch," Prod. of International Conference on Cloudification of the Internet of Things, November 23-25, 2016, Paris.(2016), 査読有.

Shunsuke Matsuzawa and Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of Advanced Metering Infrastructure with Multihop Hybrid Communication System," Proc. of the 11th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2016), December 13 - 15, 2016, Wellington, New Zealand. (2016), 査読有.

Hiroki Morii and Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of Server Operation with Block Hiring Policy in Cloud Services," Proc. of the 11th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2016), December 13 - 15, 2016, Wellington, New Zealand.(2016), 査読有.

Haixing Wu, Shunfu Jin, Wuyi Yue and Yutaka Takahashi, "Performance Evaluation for a Registration Service with an Energy Efficient Cloud Architecture," to be presented at The 13th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2018), July 25-27, 2018, Tsukuba, 査読有.

Wenbo Wang, Zhanyou Ma, Wuyi Yue and Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of a Dynamic Channel Vacation Scheme in Cognitive Radio Networks," to be presented at The 13th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2018), July 25-27, 2018, Tsukuba, 査読有.

〔図書〕(計1件)

Tien Van Do, Yutaka Takahashi, Wuyi Yue, Viet-Ha Nguyen, Queueing Theory and Network Applications, Springer, 2015.

〔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

高橋 豊 (TAKAHASHI, Yutaka)
京都大学・情報学研究科・名誉教授
研究者番号：0 0 1 3 5 5 2 6

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

笠原 正治 (KASAHARA Shoji)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技
術研究科・教授
研究者番号：2 0 2 6 3 1 3 9

増山 博之 (MASUYAMA Hiroyuki)
京都大学・情報学研究科・准教授
研究者番号：6 0 3 7 8 8 3 3

遠藤 慶一

愛媛大学理工学研究科・講師
研究者番号：1 0 4 6 7 8 4 7

フندوقク トゥアン (PHUND-DUC Tuan)
筑波大学・情報工学研究科・助教
研究者番号：5 0 2 3 4 1 7 5

(4) 研究協力者（2 名）

AL AGHA Khaldoun
フランス・パリ第 11 大学・教授

SEAH Winston
ニュージーランド国ビクトリア大学・教授