

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 24 年 5 月 24 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500069

研究課題名（和文）無線メッシュネットワークにおけるスループットの最大化とフローの公平性に関する研究

研究課題名（英文）Research on the throughput maximization and the flow fairness for wireless mesh communication networks.

研究代表者

張 勇兵（ZHANG YONGBING）

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：80242353

研究成果の概要（和文）：無線ルータや無線センサーなどの移動端末からなる大規模無線メッシュネットワークにおいて、移動端末と他のネットワークへのゲートウェイとの間を流れるトラフィック量が多く、また、移動端末の位置情報を管理するためのメッセージ数が膨大になることがある。本研究では、近隣の端末をクラスター化し、さらにこれらのクラスターを階層化した上で、データ通信スループットの向上や位置情報管理負荷の分散、通信資源利用の均等化などを図る方法を提案し、その性能評価を行った。

研究成果の概要（英文）：A wireless mesh communication network can be composed of a large number of wireless routers or wireless devices like sensors, and the traffic from the wireless devices (nodes) to the other network via the gateway and the traffic for managing the wireless devices' positions may overwhelm the network. In this research, we propose to group the neighboring nodes into clusters and furthermore construct them into a hierarchical topology, and propose mechanisms to increase the network throughput, balance the message processing loads among the nodes, and equalize the resource utilization among the nodes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：情報通信ネットワーク

科研費の分科・細目：情報学、計算機システム・ネットワーク

キーワード：無線メッシュネットワーク、クラスターリング、無線資源割当て、ルーティング、負荷の均等化、トポロジーの再構築

1. 研究開始当初の背景

無線通信技術の進歩に伴い、ネットワークバックボーンを無線ルータで構築することにより従来の無線LAN (Local Area Network) の

カバー範囲を拡張できるのみでなく、設置条件に対する制限が少ないことから「どこでも」、「いつでも」ネットワークに接続できるユビキタス情報基盤を構築できることが期待され

ている。また、無線センサーにルータ機能を持たせることにより、マルチホップ型メッシュネットワークを構築し、安価でかつ、広範囲にわたる状態監視や情報取得を可能にし、災害対策や危険状態把握など多くの分野での応用が期待されている。

しかし、移動端末の位置情報を管理するための通信メッセージ数が多く、また、移動端末が他のネットワーク（例えば、インターネット）上の端末とのデータ通信は、ネットワークゲートウェイを経由する必要があるため、ゲートウェイ付近のトラフィック量が膨大になり、ネットワークスループットが著しく低下する可能性がある。また、ネットワーク内においては、移動端末からゲートウェイまで流れるトラフィックが一部の端末に偏ってしまう可能性があり、移動端末を流れるフローに不均衡が生じ、希少な無線通信資源を公平に使用できないことがある。

2. 研究の目的

本研究は、大規模無線メッシュネットワークにおいて、移動端末の位置情報を管理するメッセージの伝送および移動端末と他のネットワークに接続されるゲートウェイとの間を流れるトラフィックを制御することにより、ネットワークスループットの向上を図り、また、各ノードを流れる通信フローを制御することにより、通信資源利用の公平性を向上させることを目的とした。

具体的には、(1) 無線メッシュネットワークを構築する無線ルータ、または、無線センサーのクラスタリングおよびネットワークの階層化手法の提案、(2) 移動端末の位置情報を管理する仕組み並びに位置情報トラフィックの制御法の提案、(3) 無線センサーとゲートウェイからなるネットワークトポロジーの構築法並びにセンサーからゲートウェイまでのトラフィック制御法の提案と、それらの性能評価を研究した。

3. 研究の方法

本研究で用いられる無線メッシュネットワークモデルの構築およびシミュレーション実験は研究代表者張が担当し、研究分担者高木がモデルの理論的検証を行った。また、

指導する大学院生はシミュレーションプログラムの開発などを行った。具体的には、次のような方法で行った。

(1) 無線ルータから構成するネットワークでは、地理的に隣接している地点の無線ルータをクラスター化し、さらにネットワークにあるクラスターを階層化することにより、階層化されたネットワークトポロジーを用いた。また、端末の移動特性により、特定のクラスターにその端末のホームクラスターとし、ホームクラスターのサーバにより移動端末の位置情報を管理するようにした。このような階層モデルにおいては、通信トラフィックがクラスター内、クラスター間、また、上位・下位クラスター間を流れるものに分類することができる。

無線センターからなるネットワークでは、無線センサーの通信範囲内にある隣接センサーからクラスターを構成し、各クラスター内のリーダーセンサーよりゲートウェイを最上位とする階層化されたネットワークトポロジーを構築することにした。クラスター内のリーダーセンサーがクラスター内のセンサーから情報を集め、ゲートウェイに送るため、自分より上位にある複数のクラスターリーダーセンサーを経由することを考えた。階層モデルの特徴としては、通信路は通信木ではなく、下位層のノードが複数の上位層ノードを経由してよいところである。

(2) 移動端末の滞在が最も長い領域を管理するクラスターをその端末のホームクラスターとし、当該端末の位置情報を常に把握することにした。ただし、他のクラスター領域に移動した場合、必要に応じて詳細程度の異なる位置情報を保管する方式を考えた。また、各クラスターのサーバは当該管理クラスター内を移動する端末の位置情報を管理するようにし、クラスター領域から出ない限り、端末の位置情報を更新しない仕組みにした。このように、ネットワーク内の位置情報管理メッセージ数を抑えることにより、ネットワークスループットを向上させ、また、位置情報の管理負荷がネットワーク内で

分散されることになる。移動端末のホームクラスターのサーバがネットワーク内の他のクラスターサーバとの協調により移動端末の位置情報を管理する手法を提案し、各方式の時間的計算量を評価することにした。

- (3) 各クラスターのリーダーセンサーはゲートウェイへの通信フローを複数の上位クラスターに分散するモデルを考え、通信フローを制御する負荷分散問題に形式化した。その解により、センサー間を流れるフローの均等化が図れるのみでなく、各通信フローの使用できる無線資源の公平化を実現することができ、また、電力容量の限られる移動端末の消費電力を均等化し、ネットワーク全体の寿命を延ばすことが可能である。提案手法の性能評価はシミュレーション実験を通じて行った。

4. 研究成果

下記のような成果が得られた。

- (1) ネットワークのクラスター化およびクラスターの階層化により、移動端末の位置情報メッセージの伝送が滞在しているクラスター内、または、限られる隣接クラスターの階層内に制限されることが確認できた。また、位置情報の管理負荷がネットワーク全体に均等に分散されているため、スケーラビリティが向上されることがわかった。シミュレーション実験の結果より、提案方式における位置情報の管理メッセージ数は中央管理方式より著しく少なく、また、ネットワークが階層化される場合は、フラットネットワーク構成よりさらに位置情報の管理メッセージ数を抑制できることが分かった(図1)。
- (2) ユーザの必要とする位置情報への精度要求に従って、異なる精度の位置情報を提供することにより、ネットワーク全体を流れる位置情報の管理メッセージ数をさらに減らすことができ、ネットワークのスループットを向上させることがわかった。これにより、提案方式は大規模な位置情報ネットワークに適用するのが容易であり、ネットワーク環境

の混雑状況やユーザの異なる要求に柔軟に対応可能であることがわかった。一方、移動端末の位置情報を取得するための時間計算量は中央管理方式と大差がないことがわかった。

- (3) 各クラスターリーダーセンサーからゲートウェイまでの経路決定問題を複数の上位センサーへの通信フロー分配問題に帰着することにより、各センサーが独自に通信フローを均等に分けることができた。これにより、センサー間の負荷を均等化できるのみでなく、センサーの消費電力を減らし、ネットワーク全体の寿命を延ばすことができ、さらに各通信フローに公平に無線資源を使用できるようにつなげることがわかった。図2は提案方式FBRとその他の従来方式を用いる場合のネットワーク全体寿命の比較を示している。

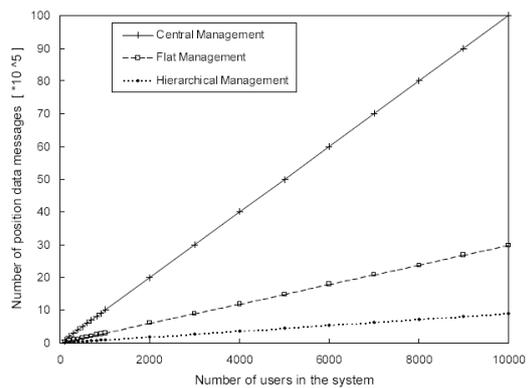


図1 位置情報トラフィック

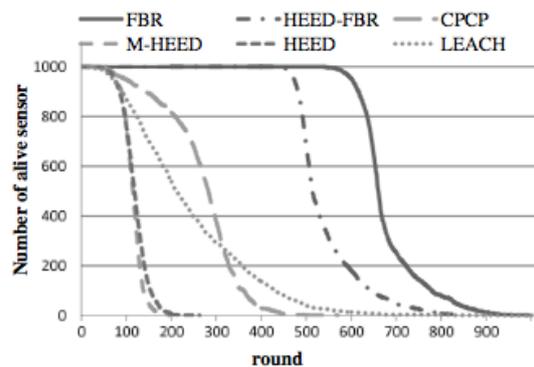


図2 無線センサーの寿命

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5件)

- ① 高木英明、菱沼千明: コールセンターのキャパシティマネジメント、電子情報通信学会、査読無、Vol. 94, pp. 767-772 (2011).
- ② Y. Inoue, Y. Zhang, and Y. Ji: Data Management for Large-scale Position-tracking Systems, 査読有、Vol. E94-B, p. p. 45-54 (2011). DOI: 10.1587/transcom.E94.B.45
- ③ Y. Imasaki, Y. Zhang, and Y. Ji: Secure and Efficient Data Transmission in RFID Sensor Networks, *Int. J. Security and Networks*, 査読有、Vol. 5, Nos. 2/3, pp. 119-127, (March, 2010). DOI: 10.1504/IJSN.2010.032210
- ④ R. M. Rodriguez-Dagnino and H. Takagi: Application of Renewal Theory to Call Handover Counting and Dynamic Location Management in Cellular Mobile Networks, *European Journal of Operational Research*, 査読有、Vol. 204, pp. 1-13 (2010). DOI: 10.1016/j.ejor.2009.07.015
- ⑤ T. Orawiwattankul, Y. Ji, Y. Zhang, and J. Li: Fair bandwidth allocation in optical burst switching networks, *IEEE/OSA J. of Lightwave Technology (JLT)*, 査読有、Vol. 27, No. 16, pp. 3370-3380 (August 2009). DOI: 10.1109/JLT.2009.2014971

〔学会発表〕 (計5件)

- ① 高木英明・根本達哉: Littleの定理の大きな応用、日本OR学会2012年春季研究発表会、防衛大学校、神奈川県、査読無、2012年3月27-28日
- ② 宮原直紀、張勇兵、繁野麻衣子、塚本一也: GPSタクシー配車履歴データの可視化およびその分析、情報処理学会情報システムと社会環境研究発表会、専修大学、東京都、査読無、2012年3月15日
- ③ Y. Tao and Y. Zhang: Hierarchical Flow Balancing Protocol for Data Aggregation in Wireless Sensor Networks, *Proc. IEEE Computers, Communications and IT Applications Conf. (ComComAp 2012)*, 査読有、6 pages, Hong Kong, China (Jan. 10-14, 2012).
- ④ 田口悠太郎、高木英明: オペレータの後処理があるコールセンターの待ち行列モデルの解析、待ち行列シンポジウム、京都市、査読無、2011年1月17-19日。
- ⑤ H. Wang, L. Sun, J. Yong, and Y. Zhang: privacy Preserving on Radio Freque-

ncy Identification Systems, *Proc. IEEE E 13th Int. Conf. CSCW in Design (CSCWD2009)*, 査読有、Santiago, Chile, (Apr. 2009).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

張 勇兵 (ZHANG Yongbing)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号: 80242353

(2) 研究分担者

高木 英明 (TAKAGI Hideaki)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号: 30260467