

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6月19日現在

機関番号：21201

研究種目：基盤研究費（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500071

研究課題名（和文）ポスト4Gへ向けた利用者の自律・適応的行動理解モデル開発と新世代移動通信網の研究

研究課題名（英文）Autonomous User-adaptive Mobility Pattern Modeling for Efficient Communication in Post 4-G Mobile Network

研究代表者

ゴウタム チャクラボルティ (Goutam Chakraborty)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・教授

研究者番号：50250840

研究成果の概要（和文）：本申請研究では、携帯電話などの移動端末における効率的な位置管理手法、および、ページング手法を提案した。提案手法は、既存の distance based update 手法に基づいているが、その登録エリアは必ずしも円ではなく、端末の移動特性に応じて、動的に変化する。これにより、着信頻度が増えた場合であっても、その通信コストを低く抑えることができ、また、その接続遅延も改善することが確認された。特に、着信頻度が高く、登録エリアが広い場合、提案手法が有効であった。登録エリアの直径が9で、1時間あたりの平均着信数が10のとき、コストの削減率はほぼ100%に達した。さらに、接続遅延も25%改善することができた。これは、スマートフォンを使用した新しいアプリケーションのために重要である。

研究成果の概要（英文）：

In this work, we have presented a mobile host's (MH's) location update and paging protocol to reduce wireless signaling cost necessary for location management, to access mobile device when a call is received. The protocol is based on distance based, but the registration area is not circular, and adaptively changes shape with MH's mobility pattern. The proposed protocol is more effective with increasing incoming call rate, and larger registration area, when the signaling cost gets improved. For distance base diameter of 9 and 10 incoming calls (I/C) per hour, the cost gain is almost 50%. Moreover, the connection delay is improved by 25%. This is important for new applications using smart phone where wireless band requirement is high.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

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：モバイルネットワーク技術

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究に関連する国内・国外の研究動向及び位置づけ

近年のモバイル通信機器の普及・高性能化によるユーザ需要の多様化および量的拡大などから、国内外において次世代モバイルコミュニケーションのさらなる発展が期待されている。具体的には、IMT-Advancedで示される第4世代移動通信(4G)システムによる、移動通信のブロードバンド化、ネットワークの総IP化などが挙げられる。現在、海外ではIMT-Advancedについて2010年以降の商用化を目指した国際標準化が進められており、国内でもその動向に注目が集まっている。なかでも、無線通信のブロードバンド化は、「いつでも」、「どこでも」、「誰とでも」、さらに「いくらでも」コミュニケーションを可能とし、ユビキタス情報社会の実現において重要な要素であるといえる。4Gシステムにおける高速・広帯域の移動通信を実現するために、伝送技術および回路技術の高性能化が進められている。しかし、4Gシステムにおける高速通信の要求条件から、セル半径を縮小し、基地局の数を増やすことで1人あたりの高速通信を保証するマイクロセル化が必要であるとされている。その際に、利用者の位置管理に伴う制御トラフィックが増大し、無線帯域の圧迫、接続遅延によるQoSの低下など、4Gシステムにおける要求の障害となる可能性が高い。

また、利用者のニーズ・ライフスタイルの多様化から、制御トラフィックの特性は爆発的に増加しかつ流動的なものとなり、その管理にかかる複雑さは今後さらに増大すると考えられる。このような背景から、4Gシステムの実現、さらにはポスト4Gにおいて、爆発的に増加する制御トラフィックを削減し、無線リソース(チャネル)を最適化する手法の確立が重要な課題となっている。

本申請研究では、ポスト4Gへ向けてこの課題を解決するため、まず利用者の行動履歴の特性を抽出・分析・蓄積し高度な行動理解を実現する自律・適応的アルゴリズムを開発することで無線リソースの最適化を行う自律・適応的移動通信システムを提案し、その基盤技術を研究開発する。次にこれらの基盤技術を用いてプロトタイプシステムを構築し現状の技術と比較を行い、提案システムを評価しその有効性を示す。

(2) 着想に至った経緯

申請者はこれまで、セルラーネットワークにおけるチャネル割り当て問題等について、画期的な基本アルゴリズムを考案・提案しIEEE Transactionなどの著名な国際論文誌に多くの論文を発表してきている。具体的

は、有限の資源である無線リソースを有効利用するためには、要求の度合いによりその配分をコントロールすることが重要となる。申請者は、この知見からリソース使用の要求は、ユーザの行動に大きく関係していると考え、その行動予測による無線リソース節約の効果を研究により明らかにした。また、会社員や学生など、現在における一般的な利用者は、1週間のうち5日程度は同じ目的地と自宅間を往復している。その特徴は、多くの場合においてあるパターンを持っているといえる。また、休日には平日とは異なる行動を取る場合がある。このような利用者独自の行動特性を携帯端末が高度に学習・認識する自律・適応的アルゴリズムを考案することにより、従来よりも位置管理にかかる制御トラフィックを大幅に削減できる可能性を明らかにした。さらに、利用者の行動履歴から特徴的な移動パターンを携帯端末内で抽出し、その情報をユーザ位置の管理に利用することで、システム側の負荷となる位置登録、ページング、ハンドオフの制御トラフィックを大幅に削減する知識的手法を用いた位置管理システムの重要性を示唆し、シミュレーションによりその有効性を示した。

本申請研究は、以上のこれまでの理論的およびシミュレーションによる研究成果を効果的に組み合わせ発展させることにより、実際のプロトタイプシステムを構築し評価するために、利用者の行動履歴を実測し、現実のユーザの情報を知識として獲得・蓄積・利用することで、無線リソースの大幅な節約を行うことにより、ポスト4Gへ向けて、具体的な自律・適応的移動通信システムの実現が可能となる見通しが得られている。このような見通しから、提案システムにより次世代無線通信においてより高効率なサービスを提供することが可能になるという着想に至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ポスト4Gに向けた自律・適応的移動通信システムを実現することである。

3. 研究の方法

平成20年度はポスト4Gへ向けた、3つの基盤技術について以下の計画・方法に従って研究を進めた。平成21年度以降は、基盤技術の開発と同時に実環境における運用を想定した(1)シミュレーションによる総合性能の評価、(2)テストベッドを用いた実験用ネットワークによる運用試験を行い、提案システムの有効性を検証した。具体的には、以下のとおりである。

(1) 利用者の行動特性と行動モデルの構築

・現実の端末移動データ収集と行動データ生成エンジンの構築

申請者は2001年から現在まで、セルラーネットワークにおける移動端末の行動予測・移動パターンを用いた位置管理手法に関する研究を続けてきた。それらの従来研究を進展させ、以下の研究に取り組んだ。

a) 移動端末利用者の行動特性実測とその評価

学生・教員および一般の被験者を募り、GPSを数ヶ月間携帯し、その実測データを取得した。実測データを地図上に設定した仮想セルラーネットワーク上にトレースし、マイクロセル化による行動特性の粒度の変化について評価し、基地局の通信範囲・セルの重なりによるトラフィック特性を検討した。

b) 利用者の行動特性のモデル化・クラスタリングによる分類・分析

申請者はこれまでの研究において、自宅・オフィス間の日常的な移動を表現する新しいOffice worker's モビリティモデルを提案し開発している。さらに、より多くの利用者の行動特性を位置管理技術に有効利用するために、収集した実測データから、従来のクラスタリング手法を発展させた新しいデータマイニング手法を開発し、利用者の行動特性の分類・分析を行った。

(2) 利用者の行動特性に基づいた位置管理技術

・端末の移動特性を利用した特徴抽出技術
省電力・高速かつ高精度な行動特徴抽出システムについて研究した。具体的には、利用者の行動特性を考慮した位置管理技術に必要な、利用者の日常の行動パターンを端末自身に認識させる技術、取得したパターンの変化に対応する自律・適応的システムの設計について、以下の項目により検討した。

a) 端末に保存した行動情報からの特徴的パターン抽出

行動モデルからの出力・実測によるデータをそれぞれ入力し、時間・位置・速度など複数の要素を持つ行動情報から特徴的パターンを抽出した。毎日の移動情報を保存し、特徴を抜き出すためには、携帯端末で計算を行うには高速かつ効率的なアルゴリズムが必要となる。本申請研究では特徴抽出に統計的手法および人工知能を用いた、新しいハイブリッド特徴抽出システムを開発した。

b) 利用者の行動の変化に対応した柔軟なパターン更新技術

端末が取得したパターンは、新たな入力により常に更新される可能性がある。現在保持しているパターンと異なる行動情報が入力された場合、そのデータの扱いは提案位置管理システムにおいて重要な要素であるため、常に信頼性の高い行動パターンに更新できる、フレキシブルなアルゴリズムを開発した。

c) 学習による移動方向・登録エリア推定技

術

端末に登録されている登録エリア情報の中から、端末が次に移動する方向を推定し、適切な位置登録情報をシステムに送信する技術の開発を行った。具体的には、過去の移動履歴を学習し、推定位置登録エリアを出力するシステムを開発した。

(3) 利用者の行動特性に関わるセキュリティ技術
・計算負荷の低い強靱なセキュリティ認証とプロトコルの開発

IMT-Advanced において既に想定されているセキュリティ上の課題、ポスト 4G へ向けて検討すべき課題と、自律・適応的位置管理システムとの関係を検討し、以下の項目に基づいてセキュリティ技術の開発を行った。

a) バイオメトリクス認証を用いた行動パターンの保護・暗号化技術

端末内のセキュリティに、バイオメトリクス(指紋・虹彩等)認証を用い、携帯端末に特化した行動パターンの、新しい保護・暗号化技術を開発した。具体的には、ファジィ、ニューラルネットワークを用いた計算負荷の少ないアルゴリズムを端末に実装し、その有効性を評価した。

b) 行動パターン情報の端末・システム間でのセキュリティプロトコルの開発

行動パターン情報は、物理層、ネットワーク層、アプリケーション層など、複数のレイヤーでやりとりが行われる。そのために、認証にかかる負荷を軽減するためのマルチレイヤー・オーバーレイ・セキュリティプロトコルの開発を行った。

(4) 実環境における運用を想定した自律・適応的位置管理システムの評価実験

① 自律・適応的位置管理システムのシミュレーションによる総合性能評価

平成 20 年度の研究成果に基づき、以下の項目について位置管理システムのシミュレーションを行った。

a) 自律・適応的位置管理手法の制御トラフィック削減効果の評価

開発した新たな行動モデルと、現在までの研究成果により開発したセルラーネットワークシミュレータを用い、自律・適応的位置管理手法の性能評価を行った。この際に、位置登録・ページング・遅延による制御コストを、従来の制御手法と比較し、提案手法の性能・妥当性を評価した。

b) 多様な行動パターンを用いた、自律・適応的位置管理提案システムの柔軟性の評価

移動情報の経時変化・通信障害によるデータの部分破損など、実用化において想定される入力データの変化による、システムの耐性・柔軟性をシミュレーションにより評価し、自律・適応的位置管理システムの性能保障範囲を明らかにした。

② テストベッドの開発とそれを用いた環境における自律・適応的位置管理システムの評価

シミュレーションによる評価と課題を再検討したうえで、現実のネットワークを用いて自律・適応的位置管理システムの評価を行った。大学構内に無線 LAN を用いた実験用基地局、サーバ、PDA を用いたテストベッドを設計し、その中で提案システムの実装・評価を行った。この際、通信半径が数 10 メートルとなるピコセル環境を用いることで、ユーザは狭い範囲の移動においても多くの基地局を通過することになる。そのため、限定された空間である大学構内においても、行動の多様性による制御トラフィックの増加が発生し、結果的にマイクロセルとほぼ同等の実験環境を構築することが可能となった。このテストベッドを用いた実環境における実験結果と、シミュレーションによる評価を整理・分析し、セキュリティを含めた自律・適応的位置管理システム実用化に向けた有効性を総合的に検証した。

4. 研究成果

本申請研究においては、次世代移動通信システムを視野に入れた、マイクロセル構成のネットワークについて、現実的なユーザの振舞いから想定される boundary stay problem と、効率的な位置管理手法の必要性について検討を行った。次世代移動通信システムでは、動的かつ導入が容易な位置管理手法が求められるため、ページング時の接続遅延情報を利用した、簡潔なアルゴリズムである triggered update を提案した。提案手法の有効性を示すため、日常的な端末の行動パターンを考慮した office worker's mobility model を定義し、シミュレーションによる評価を行った。シミュレーションの結果、提案手法を用いることで着信時の接続遅延を減少させ、blanket polling をページング手法に用いた場合と比較して、最大で 45% のトータルコスト削減率を得ることができた。また、想定しない行動パターンを持つ移動端末に対する提案手法の性能を確認するため、random waypoint モデルを用い、異なる pause time を設定しシミュレーションを行った。その結果、短い pause time に設定した場合の端末に対し提案手法を適用した場合、selective paging を用いた従来手法と比較して性能の向上は見られなかったが、著しく性能が悪化する結果とはならなかった。これらの結果から、個々の振舞いに着目した端末主導による動的な位置管理手法の有効性を示すことができた。

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 7 件)

① Jagdish C. Patra, Pramod K. Meher, Goutam Chakraborty, ``Development of Laguerre Neural-Network-based Intelligent Sensors for Wireless Sensor Networks'', *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 60, No. 3., March 2011, pp. 725-734. (査読あり)

② Goutam Chakraborty, Sagar Naik, D. Chakraborty, N. Shiratori and David Wei, ``Analysis of the Bluetooth Device Discovery Protocol'', *Wireless Networks*, Springer, Vol. 16, issue. 2, pp. 241-256, February, 2010. (査読あり)

③ Md. Abdullah-al Mamun, Yuji koi, Naoshi Nakaya and Goutam Chakraborty, "A Novel Integrated Wireless Sensor Network Architecture for Disaster Prevention" *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, Vol. 2, No. 2, June 2009. (査読あり)

④ Jagdish C. Patra, Goutam Chakraborty, Pramod K. Meher, ``Neural Network-based Robust Linearization and Compensation Technique for Sensors under Nonlinear Environmental Influences'', *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, Vol. 55, No. 5, pp. 1316-1327, June 2008. (査読あり)

⑤ Jagdish C. Patra, Goutam Chakraborty and Subhas Mukhopadhyay, ``Functional Link Neural Network-based Intelligent Sensors for Harsh Environments'', *Sensors & Transducers Journal*, Vol. 90, April 2008, pp. 209-220. (査読あり)

⑥ Daisuke Senzaki, Goutam Chakraborty, M. Matsuhara and H. Mabuchi, ``An Efficient Location Management Based on Delay Information for Mobile Communication'', *Journal of Information Processing Society of Japan*, Vol. 49, No. 1, pp. 322-334, Jan, 2008. (in Japanese). (査読あり)

⑦ Daisuke Senzaki and Goutam Chakraborty, ``An Improved Distance Based Location Management Strategy for Next Generation Cellular Mobile Communication Networks'', *International Journal of Computers, Information Technology and Engineering*, Vol. 1, No. 2, pp. 93-103, December, 2007, Serials Publications. (査読あり)

[学会発表] (計 10 件)

① Md. Abdullah-al MAMUN, Yuji koi, Naoshi Nakaya, Yukari Hagihara, and Goutam Chakraborty, "HEHC: Heterogeneous-Aware Enhanced Hierarchical Clustered Scheme for Wireless Sensor Networks", Proceedings of the SICE Conference, Sept 13-18, 2011, Waseda University, Japan (査読あり)

② Goutam Chakraborty, Somnath Mukherjee and Kohei Chiba, "Synthesis of Passive RFID from Backscatter Using Soft-Computing Techniques", Proceedings of the Second International Conference on Emerging Applications of Information Technology (EAIT 2011), pp. 325-328, February 18-20, 2011, Kolkata, India. (査読あり)

③ Goutam Chakraborty, "Optimum Cluster Size for Cluster Based Communication in Wireless Sensor Network", Proceedings of the Fourth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM 2010), pp. 328-333, October 25-30, 2010, Florence, Italy. (査読あり)

④ Somnath Mukherjee and Goutam Chakraborty, "Chipless RFID using Stacked Multilayer Patches", Proceedings of the IEEE international conference on Applied Electromagnetics, December 14-16, 2009, Kolkata, India (査読あり)

⑤ Kanitsorn Suriyapaiboonwattana, Chotipat Pornavalai and Goutam Chakraborty, "An Adaptive Alert Message Dissemination Protocol for VANET to Improve Road Safety", Proceedings of the IEEE international conference on Fuzzy Systems, pp. 1639-1644, 20-24 August, 2009, Jeju Island, Korea. (査読あり)

⑥ Akadet Mathurapoj, Chotipat Pornavalai and Goutam Chakraborty, "Fuzzy-Spray: Efficient Routing in Delay Tolerant Ad-hoc Network Based on Fuzzy Decision Mechanism", Proceedings of the IEEE international conference on Fuzzy Systems, pp. 104-109, 20-24 August, 2009, Jeju Island, Korea. (査読あり)

⑦ Jagdish C. Patra, Cedric Bornand and Goutam Chakraborty, "Hermite Neural Network-based Intelligent Sensors for Harsh Environments", Proceedings of the IEEE international Joint conference on Neural Networks, pp. 2439-2444, 14-19 June, 2009, Atlanta, Georgia, USA. (査読あり)

⑧ Daisuke Senzaki and Goutam Chakraborty, "Mobility Management using Movement Feature for Next Generation Cellular Networks", Proceedings of 2008 IEEE 8th International Conference on Computer and Information Technology pp 682-687, 8-11 July 2008. Sydney, Australia (査読あり)

⑨ Jagdish Chandra PATRA, Pramod Kumar MEHER, G CHAKRABORTY, "Development of Intelligent Sensors using Legendre Functional-Link Artificial Neural

Networks", Proceedings of IEEE international conference on System, Man and Cybernetics, pp. 1140-1145, October 13-15, 2008, Singapore. (査読あり)

⑩ Jagdish Chandra PATRA, Wei Chiat CHIN, Pramod Kumar MEHER, G CHAKRABORTY, "Legendre-FLANN (Functional-Link Artificial Neural Networks) based Nonlinear Channel Equalization in Wireless Communication System", Proceedings of IEEE international conference on System, Man and Cybernetics, pp. 1826-1831, October 13-15, 2008, Singapore. (査読あり)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

Goutam Chakraborty (ゴウタム チャクラボルティ)
岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・教授
研究者番号: 50250840

(2) 研究分担者

馬淵 浩司 (マブチ ヒロシ)
岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・准教授
研究者番号: 20281545

松原 雅文 (マツハラ マサフミ)
岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・講師
研究者番号: 70363728

Basabi Chakraborty (バサビ チャクラボルティ)
岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・准教授
研究者番号: 90305293