

マルチホップ・マルチセル無線ネットワークのための下位レイヤー技術の研究 (032106001)

Cross-layer protocol design in multihop/multicell wireless networks

岡田 啓 名古屋大学工学研究科

Hiraku Okada Graduate School of Engineering, Nagoya University

和田 忠浩[†] 大内 浩司^{††} 齋藤 将人^{†††}Tadahiro Wada[†] Kouji Ohuchi^{††} Masato Saito^{†††}[†]静岡大学工学部 ^{††}静岡大学電子科学研究科 ^{†††}奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科[†]Department of Electrical and Electronic Engineering, Shizuoka University^{††}Graduate School of Electronic Science and Engineering, Shizuoka University^{†††}Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

研究期間 平成 15 年度～平成 17 年度

概要

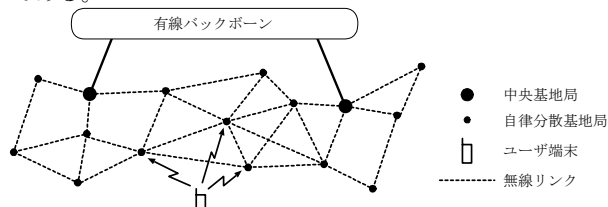
今後の移動体通信システムで要求されている 100Mbit/s～1Gbit/s の伝送速度を実現するためには、セル半径が数十 m の極小セルを用いる必要がある。このような場合、従来のような一つの基地局がそのセル全体を支配するセルラシステムを構築するのはほぼ不可能である。そこで、マルチホップ・マルチセル無線ネットワークを構築することを検討する。これは中央基地局と自律分散基地局から成り、中央基地局は無線ネットワークから有線バックボーンへの橋渡しを、自律分散基地局ではアドホックで無線によるインフラを構築する。この無線ネットワークでは、ユーザはどれかのセルに属するという概念はなくなり、複数の基地局にアクセスすることが可能となる。また、有線バックボーンへの経路も複数取ることが可能である。本研究プロジェクトでは、これらの特徴を最大限に利用した誤り訂正技術、無線アクセス技術といった下位レイヤー技術の確立を目指す。

Abstract

For the next generation mobile communications, high channel capacity is required to realize high data rate transmission for large number of users. One way to achieve high channel capacity is to use small cell size such as pico cells. It is, however, difficult to install large number of wired base stations for a small cell environment. One useful way to enhance the channel capacity without any substantial infrastructure increase is to realize a multihop/multicell wireless network. In this project, we focus on a cross-layer protocol design such as error control technique, wireless access technique and route control technique for the multihop/multicell wireless network.

1. まえがき

今後の移動体通信システムで要求されている 100Mbit/s～1Gbit/s の伝送速度を実現するためには、セル半径が数十 m の極小セルを用いる必要がある。さらに言えば、その地域、場所に依り、半径を数 m～数 km と自由に設定できる可変セルが設置できることが望ましい、このような場合、従来のような一つの基地局がそのセル全体を支配するセルラシステムを構築するのはほぼ不可能である。



そこで、上図のような階層構造を持つマルチホップ・マルチセル無線ネットワークを構築することを検討する。中央基地局では無線ネットワークから有線バックボーンへの橋渡しを行う。自律分散基地局は、それぞれは自律的に動作し、アドホックで無線によるインフラを構築する。このため、簡易に多数設置することができ、電車等移動体に自律分散基地局を設置することも可能である。このような無線ネットワークでは、ユーザはどれかのセルに属するという概念はなくなり、複数の基地局にアクセスすることが可能となる。また、有線バックボーンへの経路も複数取る

ことが可能であり、アップリンク、ダウンリンクで別の経路を通ることも考えられる。

本研究プロジェクトでは、マルチホップ・マルチセル無線ネットワークについて、誤り訂正技術、無線アクセス技術といった下位レイヤーからの実現を目指すものである。

2. 研究内容及び成果

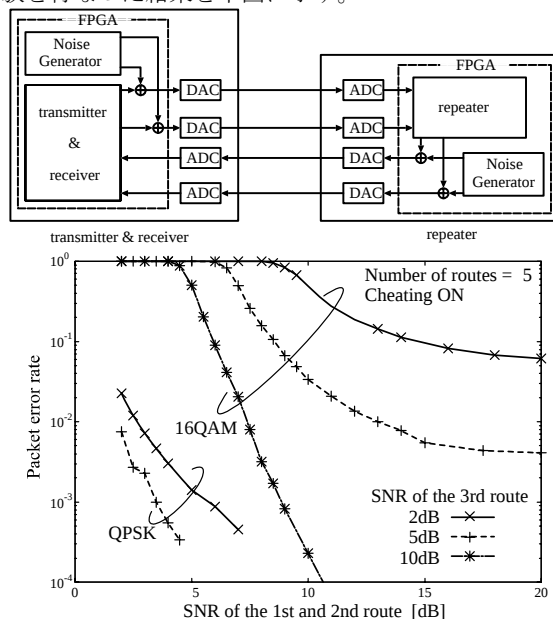
2.1. マルチホップ・マルチセル無線ネットワークを利用した誤り訂正技術

マルチホップ・マルチセル無線ネットワークでは、ユーザから有線バックボーンへのアクセスは複数の経路を使うことが可能である。それぞれの経路は独立にフェージング等の外乱を受けるため、複数の経路から送られて来たパケットを合成することでダイバシチ効果を得ることができる。しかし、無線ネットワークを経由して届いたパケットは各基地局で再生中継されたものであり、言わば硬判定された信号に対してダイバシチ合成を行わなければならない。そこで本研究サブテーマでは硬判定に基づく誤り訂正技術や繰り返し復号可能なダイバシチ合成の原理を使うことで、無線ネットワークでの誤り訂正技術について検討した。

本研究サブテーマにおいて、複数経路を用いたダイバシチ合成・誤り訂正手法をいくつか提案したが、そのうちの一つであるターボ符号を用いた経路間の符号化方式を紹介する。本方式では、送信元ノードでデータをターボ符号化し、スクランブル器で符号化された系列をスクランブルし、経路数に応じたパケットを出力する。これを各経路で

送信する。宛先ノードでは、複数の経路から受信したパケットをデスクランブルした後、復号器によって復号され、データを決定する。復号時に各経路の信頼度情報を用いることで、優れたパケット誤り率特性を得ることができた。また、ターボ符号では受信機において繰り返し復号を行っており、この操作においてマルチホップ伝送で問題となる消失パケットによる影響を軽減できることも示した。

そして、本提案方式の送信元ノード、中継ノード、宛先ノードを FPGA ボードを用いて試作し、伝送実験を行なった。試作では、2 枚の FPGA ボードを用いた。1 枚目のボードに送信元ノードの送信機、宛先ノードの受信機およびノイズ発生器を実装し、2 枚目のボードに中継ノードの中継器とノイズ発生器を実装した。なお、経路毎に異なる伝送品質を実現する為、FPGA 内で各経路に対して強度の異なる雑音を加えてから中継ノードに送信した。伝送実験を行なった結果を下图に示す。



上記のターボ符号を用いた経路間符号化方式では、復号に用いる各経路の信頼度情報が非常に重要となる。そこで、パスメトリックを利用した信頼度情報の推定手法、パリティ検査符号を利用した信頼度情報の推定手法、および繰り返し復号時に信頼度情報そのものも更新する手法について検討した。これらの推定手法により、各経路の信頼度情報を得ることができ、経路間符号化方式の特性を高く維持できることを確認した。

2.2. マルチホップ・マルチセル環境でのマルチメディア通信に適した無線アクセス技術

マルチホップ・マルチセル無線ネットワークでは、複数のセルが重なりあい、複数の経路が存在するため、それぞれのセルおよび経路での無線通信路の状態や伝送されているトラヒックの統計的性質が異なる。さらに、先に述べたように複数の経路を使ったネットワークレベルでのダイバシチ合成を行うことも可能である。このようなマルチホップ・マルチセル無線ネットワークにおいてマルチメディア通信を行うには、無線ネットワークの状態も考慮に入れた上でアクセス制御やフロー制御、経路制御、再送制御を行わなければならない。本研究サブテーマでは、上記事項を考慮した無線アクセス技術について検討した。

経路間符号化方式は、伝送される経路数、ホップ数などにより、その性能が左右される。そこで、中継ノードの密度などをパラメータとし、複数の無線局上のネットワーク上の経路を統計的に評価した。その結果、接続可能経路数

の平均値は中継ノードの密度に依存せず、中継ノードの間隔に依存することがわかった。これは間隔が大きいほど中継局の配置に偏りが少ないためと考える。また、間隔が大きいほどホップ数の平均が大きくなるのは、先の理由により、より遠くの基地局まで接続しやすくなるためと考える。

一般にリアルタイム通信では、パケット伝送の遅延による制限が厳しいため、パケットの再送が行われない。しかし、この場合、通信路の影響により引き起こされるパケット伝送誤りが、送信情報の損失に直接つながるため、通信品質への影響を抑制する手法が必要となる。複数経路を用いたダイバシチ合成・誤り訂正手法を用いたとき、利用する経路数を増やすことで、パケット誤り率をより向上させることができる。しかし、送信される複製パケットの増加はネットワーク上のトラヒック量が増加するため、各複製パケットが伝送されるのにより長い時間が必要となる。そこで、マルチホップ無線ネットワークを待ち行列理論を用いてモデル化することで、各経路の遅延時間分布を解析的に導出し、複数経路を用いたダイバシチ合成・誤り訂正手法の性能を時間関数として導出することで、その性能を明らかにした。

また、マルチホップ・マルチセル無線ネットワークではユーザと自律分散基地局との通信、自律分散基地局と中央基地局との通信というように 2 つの異なる性質を持つ階層的な構造になっている。そこで、この階層的構造を利用することで経路構築に必要な制御パケットの量を抑制することを検討した。その結果、本研究プロジェクトで提案している経路間の符号化方式の特性を高く保ちつつ、制御パケットの大幅な削減を図ることができた。

3. むすび

本研究プロジェクトでは、マルチホップ・マルチセル無線ネットワークについて、特に複数経路に着目した誤り訂正技術とこれを最大限に生かす無線アクセス技術について検討した。本研究のように下位レイヤーから捉えたマルチホップ・マルチセル無線ネットワークの検討は本システムを最大限に利用するためには必要であるにもかかわらず、あまりなされてこなかった。このため、本研究結果が当分野の研究開発に与える波及効果は大きいと言える。

【誌上発表リスト】

- [1] Y. Hirayama, H. Okada, T. Yamazato, M. Katayama, "Time-dependent analysis of the multiple-route packet combining scheme in wireless multihop networks," International Journal of Wireless Information Networks, vol. 12, no. 1, pp. 35-45 (2005 年 1 月)
- [2] T. Wada, A. Jamalipour, K. Ohuchi, H. Okada, M. Saito, "Effect of unequal power allocation in turbo coded multi-route multi-hop networks," Journal of Telecommunications and Information Technology, pp.46-53 (2006 年 1 月)
- [3] H. Okada, N. Nakagawa, T. Wada, T. Yamazato, M. Katayama, "Multi-route coding in wireless multi-hop networks," IEICE Transactions on Communications, vol.E89-B, no.5, pp.1620-1626 (2006 年 5 月)

【申請特許リスト】

- [1]岡田啓、山里敬也、片山正昭、鯉江尚央、中川信之、マルチホップ無線ネットワーク、日本、アメリカ、カナダ、2004 年 2 月 20 日

【ホームページによる情報提供】

<http://www.katayama.nuee.nagoya-u.ac.jp/works/MMWN/>