

学 位 論 文 題 名

パケット移動通信制御の高度化に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、デジタル移動通信は量、質ともに大きく拡大、発展している。量としての加入者数の拡大はもちろん、質という面では電子メールや Web ブラウジング、音楽ダウンロードなどのマルチメディアサービスの発展、それらのトラヒックの拡大は目覚ましい。それらのサービスを提供するインフラシステムとしてパケット移動通信は、ますます重要となっている。本論文においては、将来に向けたさらなる高速・大容量化、さまざまなサービス品質要求 (QoS, Quality of Service) への対応、ネットワークの IP(Internet Protocol)化、端末の小型化・多様化により、移動マルチメディアサービスのより一層の発展を目指したパケット移動通信制御の高度化に向けた研究について述べる。

移動端末から基地局への上りランダムアクセス伝送チャネル高効率化のための制御の高度化、マルチメディア移動通信に必須である多様な QoS の提供を前提とした無線リソースマネジメントの高度化、バッテリーセービング方法の高度化、また、モバイルネットワークの IP 化に対応した高度化として、IP ベース移動通信アーキテクチャ及びその制御技術について述べる。

第 1 章では、パケット移動通信制御の高度化の研究の背景として、移動通信発展の歴史、現状と未来の方向性について示すとともに、研究の目的について述べた。

第 2 章では、研究対象であるパケット移動通信における制御方式を説明するため、典型的な移動通信システムとして PDC(Personal Digital Cellular)方式を例にとり、基本的なシステム構成、無線チャネル構成、主要なシステム構成技術、無線リソースマネジメントについて述べた。

第 3 章では、デジタル移動通信における上り競合無線チャネルにおいて、可変長パケットデータを高効率に伝送可能とするランダムアクセス伝送制御の高度化について、部分エコー付空線制御ランダムアクセス方式 (ICMA-PE, Idle signal Casting Multiple Access with Partial Echo) を提案し、基本的特性を理論検討および計算機シミュレーションを用いて評価、有効性を明らかにした。まず方式の特徴、信号構成、基地局、移動局の動作、制御手順について述べ、次に、TDMA(Time Division Multiple Access)での可変長信号伝送を前提としてモデル化を行い、陸上移動フェージングを考慮した時の伝送不完了率、スループット特性を理論解析、シミュレーションの両面より評価した、その結果、提案方式は従来方式に比べ、最大スループットで 20%程度の改善が得られ有効であることを明らかにした。さらに、再送時の特性改善及び複数メッセージ長信号の混在伝送時においても高スループットが得られることを示し、提案方式がパケット移動通信における信号伝送の高効率化に有効であることを明らかにした。

第4章では、マルチメディア移動通信に必須である、多様なユーザ要求 QoS を満足する伝送と、移動端末のバッテリーセービングを両立させる適応バッテリーセービング制御方式 (ABCM, Adaptive Battery Conservation Method)、及びそれを高効率化したエンハンスト方式を提案し、基本特性を理論検討及び計算機シミュレーションで評価し有効性を明らかにした。ABCM 方式およびエンハンスト ABCM 方式は、移動端末の常時接続環境において、より低いバッテリー消費に抑えつつ、遅延特性等のユーザ要求 QoS を満足させる方法であり、後者は、効果を高めるために、要求 QoS に応じて複数の BSM サブモードを適用する。遅延に対してセンシティブなリアルタイム通信のセッションに対しては、アイドル状態へ遷移させるスリープタイマを長くし、間欠受信におけるページング間隔を短くすることが必須である。他方、非リアルタイム通信においては、より効果的なバッテリーセービングのために、短いスリープタイマと長いページング間隔が適することを示した。エンハンスト ABCM 方式においては、複数の BSM サブモード間を比較的短いタイマで遷移させることが、効果的であることを明らかにした。

第5章では、無線リソースの高効率利用を目的として適応変調を用いたシステム／無線環境の下で、ユーザ要求 QoS と無線状況に応じたパケットの受付制御を適用するとともに、要求 QoS に応じたスケジューリング及び無線リソース割り当てを行うことにより、要求 QoS を満足しつつ高効率なパケット伝送を実現する、Wireless QoS (W QoS) 制御法を提案し、計算機シミュレーションを用いて特性評価を行い有効性を明らかにした。提案 WQoS 制御方式は、MAC(Media Access Control)層および RRC(Radio Resource Control)層に制御機能を備えているとともに、IP-QoS と親和性の高いものとなっている。無線状況を意識した受付制御 RAC (Radio Admission Control) と、パケット優先度考慮のマルチステージスケジューリングを適用した無線リソース割り当て RARMS(Resource Allocation Reflected Multistage Scheduling)の2つの制御要素を提案、評価した。無線状況を意識した受付制御 RAC の適用により、移動端末の無線セル内での位置による干渉の変化にかかわらず、品質保証されたサービスをリアルタイムユーザに提供することができることを明らかにした。さらに、マルチステージスケジューリングを適用した無線リソース割り当て RARMC により、リアルタイムユーザに対しては伝送レートを保証し、ベストエフォートサービスユーザに対しては、高い無線リソース利用効率を実現できることを示した。その結果、提案 WQoS 方式の適用により、パケットベース移動通信ネットワークにおいて、様々な要求 QoS に対応したサービスをユーザに提供できることを明らかにした。

第6章では、将来システムに向けた制御方法の高度化の検討のため、将来システムとして第4世代移動通信システム (4G システム) を想定し、その要求条件、想定される構成を示し、次にその実現のための IP ベース移動通信システムの要求条件、制御方式を提案、定性／定量的に評価し有効性を述べた。まず4G システムの要求条件、設計目標、技術課題、システム構成法の基本的考え方を示し、それを実現する IP ベース移動通信システムの要求条件、アーキテクチャ、制御機能について、複数アクセスの切替制御、端末の移動に伴う移動制御として通信中制御、待ち受け状態での制御を提案した。提案方法が要求条件を満足することを定性／定量的の両面から考察、確認し、将来システムの構築に有効であることを示した。

以上、本論文では、パケット移動通信制御の高度化へ向けた、ランダムアクセス伝送制御技術、多様な QoS の提供を前提とした無線リソースマネジメント、バッテリーセービング方法、

IP ベース移動通信アーキテクチャ及び制御方式は有効であり、今後のパケット移動通信の発展に寄与できるものであると結論する。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 小 川 恭 孝
副 査 教 授 宮 永 喜 一
副 査 教 授 野 島 俊 雄
副 査 教 授 小 柴 正 則

学 位 論 文 題 名

パケット移動通信制御の高度化に関する研究

我が国のセルラ移動通信は、1979年12月の自動車電話の商用化以来、携帯電話の普及により社会生活の中で欠く事ができない重要な存在となっている。近年では量としての加入者数の拡大はもちろん、質という面では Web ブラウジングなどのマルチメディアサービスの発展は目覚ましく、それらのサービスを提供するインフラシステムとしてパケット移動通信は、ますます重要となっている。

本論文では、さらなる高速・大容量化、さまざまなサービス品質要求(QoS, Quality of Service)への対応、ネットワークのIP化、端末の小型化・多様化により、移動マルチメディアサービスのより一層の発展を目指したパケット移動通信における制御の高度化に向けた技術について提案している。その有効性を明らかにすることを目的として、上りランダムアクセス伝送チャネル高効率化のための制御の高度化、マルチメディア移動通信に必須である多様な QoS の提供を前提とした無線リソースマネジメントの高度化、バッテリーセービング方法の高度化、さらには、IP ベース移動通信アーキテクチャとその制御技術について述べている。

本論文は以下の7章から構成されている。

第1章では、移動通信発展の歴史、現状と未来の方向性について示し、本研究の対象であるパケット移動通信制御の高度化の研究背景を明らかにするとともに研究の目的について述べている。

第2章では、パケット移動通信における制御方式を説明するため、PDC(Personal Digital Cellular)方式を例にとり、基本的なシステム構成、無線チャネル構成、主要なシステム構成技術、無線リソースマネジメントについて述べている。

第3章では、ディジタル移動通信における上り競合無線チャネルにおいて、可変長パケットデータを高効率に伝送可能とするランダムアクセス伝送制御の高度化について、部分エコー付空線制御ランダムアクセス方式(ICMA-PE, Idle signal Casting Multiple Access with Partial Echo)を提案し、基本的特性を理論検討および

計算機シミュレーションを用いて検証している。理論解析、シミュレーションの両面よる評価の結果、提案方式は従来方式に比べ、最大スループットで 20%程度の改善が得られ有効であることを明らかにしている。さらに、再送時の特性改善及び複数メッセージ長信号の混在伝送時においても高スループットが得られることを示し、提案方式がパケット移動通信における信号伝送の高効率化に有効であることを述べている。

第4章では、マルチメディア移動通信に必須である、多様なユーザ要求 QoS を満足する伝送と、移動端末のバッテリー消費の低減を両立させる適応バッテリーセービング制御方式 (ABCM, Adaptive Battery Conservation Method)、および、それを高効率化したエンハンスド方式を提案し、基本特性を理論検討と計算機シミュレーションにより評価し、それらの有効性を明らかにしている。

第5章では、無線リソースの高効率利用を目的として、適応変調を用いたシステム/無線環境の下で、ユーザ要求 QoS と無線状況に応じたパケットの受付制御を適用するとともに、要求 QoS に応じたスケジューリング、および、無線リソース割り当てを行うことにより、要求 QoS を満足しつつ高効率なパケット伝送を実現する Wireless QoS (W QoS) 制御法を提案し、計算機シミュレーションを用いて特性の検証を行っている。その結果、提案方式により、パケットベース移動通信ネットワークにおいて、様々な要求 QoS に対応したサービスをユーザに提供できることを明らかにしている。

第6章では、将来システムに向けた制御方法の高度化の検討のため、第4世代移動通信システムを想定し、その要求条件、想定される構成を示し、次に、その実現のための IP ベース移動通信システムの要求条件、および、制御方式を提案している。定性的考察、および、定量的考察により、提案方式が将来システムの構築に有効であることを示している。

第7章は結論であり、本論文の概要、および、本研究で得られた主要な成果を述べている。

これを要するに、著者は今後のパケット移動通信の発展に重要な、ランダムアクセス伝送制御技術、多様な QoS の提供を前提とした無線リソースマネジメント、バッテリーセービング方法、IP ベース移動通信システムの要求条件と制御方式等の提案を行ったものであり、無線通信工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。