

氏名	関口 克己
学位名	博士（システム情報科学）
学位記番号	第11号
学位授与年月日	平成21年3月19日
学位論文題目	次世代モバイルインターネットアクセスにおけるトランスポートプロトコルに関する研究
論文審査委員	主査 高橋 修 副査 小西 修 副査 佐藤 仁樹 副査 三木 信弘 副査 渥美 幸雄（専修大学 教授）

論文要旨

日本国内における移動通信サービスは、1990年代に第2世代携帯電話システムの展開とともに爆発的に普及し、2001年の第3世代携帯電話システムであるIMT-2000のサービス開始を経て2007年には携帯電話契約数が1億台を突破した。1999年、第2世代携帯電話システムのパケット交換方式であるPDC-Pを基盤に、携帯電話向けのiモードがサービスを開始した。iモードは、移動通信網とアプリケーションサーバー群およびインターネットを相互接続し、携帯電話上でE-Mail、Webブラウジング等のインターネットアプリケーションに加え、Push型情報配信、リバース課金等、移動通信網独自のサービスの利用を可能とした。2001年には、無線帯域幅が下り最大384kbpsに拡大されたIMT-2000のパケット交換においてiモードが利用可能となり、携帯電話で利用されるコンテンツの多様化、大容量化が進展した。

IMT-2000では、大容量マルチメディアコンテンツの高信頼・高効率な伝送に対応するため、インターネット標準として幅広く利用されているTCPがトランスポートプロトコルとして採用された。移動通信網にTCPを始めとするインターネット標準技術を取り込むことで、移動通信網とインターネットの相互接続性の向上、低コストかつ迅速なシステム構築や新サービスの導入等が可能となった。しかし、移動通信網とインターネットの基盤となる無線回線と固定回線の伝送特性は大きく異なり、インターネット標準技術をそのまま移動通信網に適用しただけでは、十分な性能を維持できないという問題が発生する。この問題の要因の1つとして伝送路の帯域幅および伝送遅延の特性の違いがある。伝送路の特性を

示す指標の1つとして、帯域幅と伝送遅延の積である帯域幅遅延積がある。無線回線の帯域幅遅延積は同程度の帯域幅を持つ固定回線より10倍程度大きな値になることに加え、移動端末の移動に伴い動的に変動するという特徴を持っている。この無線回線の特性によって、トランスポートプロトコルとして用いられるTCPにおいて、広帯域な無線帯域幅を有効に活用できず伝送効率が低下する**広帯域高遅延の伝送路の問題**に加え、無線回線の品質劣化によってパケットロスが発生した場合、再送効率が大きく低下する**パケットロスの問題**が発生する。これらの問題に対応するトランスポートプロトコルにおける改善技術として、移動通信向けに最適化されたTCPのプロファイルセットであるW-TCPが考案されIETFにおいてRFC3481として規格化されている。W-TCPは、インターネット標準技術を活用した移動通信向けのTCPの最適化指針を示した規格であり、標準的なTCPに対して(1)最大ウィンドウサイズの拡大、(2)初期ウィンドウサイズの拡大、(3)SACKの適用、(4)MTU拡大等の技術を適用することにより、無線回線におけるTCPの伝送効率低下を最小化することが可能となる。

近年、第3世代携帯電話システムであるIMT-2000のサービス提供エリアの充実や、第3.5世代携帯電話システムと位置付けられるHSDPAの普及によって、移動通信サービスの利用形態および利用可能な無線システムの多様化し、W-TCPを適用したにも関わらず伝送効率が低下する状況が増加することが想定される。例えば、高速道路や鉄道などの動線上のサービス提供エリアが整備されたことで、移動端末が高速な移動手段においてハンドオーバーを繰り返しながら連続的に通信を行うことが可能となる。この場合、無線回線は、移動速度、電波伝搬環境、無線チャネル制御によって無線帯域幅と伝送遅延が激しく変動する。また、HSDPAでは無線帯域幅が拡大した一方で、共有チャネルの採用によって、TCPのパケット送信制御および再送制御が伝送路の動的な特性変動に対して適切に追従できず、スループット低下や再送効率の低下が発生する**伝送特性の変動の問題**が発生する。

そこで、本研究では、第3.5世代携帯電話システム以降の次世代携帯電話システムを対象に、**伝送特性の変動の問題**による伝送効率の低下を回避するトランスポートプロトコルの改善技術の検討を行う。トランスポートプロトコルとしては、RFC3481で規格化されたW-TCPを基盤として、次世代モバイルインターネットアクセス向けのW-TCPの拡張技術を検討する。本研究において提案した技術は、市中のOS向けに実装を行い、シミュレーション実験により基本的な特性を明らかにすることに加え、IMT-2000の実網での移動環境での性能評価測定を行い、実際の移動通信サービスの利用状況に近い環境での有効性を明らかにする。

本論文は第1章において、近年の移動通信サービスの発展を、モバイルインターネットアクセス技術の特徴とともに述べた上で、次世代モバイルインターネットアクセスにおけるトランスポートプロトコルに関する課題について述べる。第2章では、携帯電話システムのシステム構成と、無線回線の伝送特性によって生じるTCPの伝送効率低下の問題について述べ、W-TCPの概要と次世代モバイルインターネットアクセス向けのW-TCP拡張について

述べる。第3章では、スプリアタイムアウトを考慮したTCP再送方式として、無線区間の再送制御の挙動に着目したRTO再送パラメータの最適化手法と、スプリアタイムアウト対策技術を用いた再送方式の提案を行う。第4章では、伝送遅延変動が大きい高速移動通信向けのTCP再送方式として、独自のタイムアウト再送タイマ更新アルゴリズムと指数バックオフの改善を組み合わせた再送方式について提案を行う。第5章では、帯域幅遅延積の変動が大きい高速移動通信向けのTCPの輻輳制御方式として、Flight Size Auto Tuningの提案を行う。第6章では、本研究の実施内容についてまとめと考察を行う。

審査結果の要旨

本学位論文では、最初に移動体通信技術の動向や次世代（3.5G以降）のモバイルインターネットアクセス環境におけるトランスポートプロトコル（TCP）の性能に関する課題を抽出し、研究目標を明らかにした。設定した目標を達成するために、移動体通信網の帯域幅・伝送遅延の変動がTCPの性能に与える問題に着目し、関連研究との関係を明確にした上で、TCPの改善方式を提案している。更に、提案方式の有効性を実測評価することによって実証した。提案方式は、実際の事業にも導入されており、国際標準化にも貢献している。これらの内容は、学位論文として十分であり、かつ纏め方も適切であると考えられる。また、本研究の成果は、情報処理学会論文誌1件、査読付き国際会議論文2件に採録されている。

これらは、システム情報科学分野の学位論文として十分な学術的成果を有していると認められ、「合」と判定する。