

博士論文審査報告書

論 文 題 目

ユーザ視点に基づくモバイルネットワークに
関する研究

Research on Mobile Network on the Basis
of a User's View Point

申 請 者

泉川	晴紀
Haruki	IZUMIKAWA

情報理工学専攻 画像情報研究

2014 年 2 月

1970～80年代のTCP/IPを用いたパケット通信に基づくアーキテクチャの登場時は、インターネットは主として学術ネットワークとして利用され、営利目的ではなかった。一方、現在ではインターネットは爆発的に世界中へ広がり、ビジネス化が進んだ。一般的に、ビジネス化すると、サービスのマネタイズに主眼が置かれ、ユーザニーズを満たしながら如何にコストを下げ、効率化するか、という観点での検討が行われる。ここで、インターネットに対するユーザニーズの一つに、“いつでも・どこでも”インターネットへアクセスをしたいというものが、インターネットアクセス手段の無線化も急速に進み、低コスト化・高効率化を目的とした多様なネットワーク形態が次々に出現している。その際、サービスの収益化に主眼が置かれ、時としてユーザ視点が忘れ去られがちとなる。そこで、本論文では、ユーザ視点に立った研究開発が重要との立場から、大きく三つのネットワーク形態において、ユーザ視点に基づくモバイルネットワーク技術について論じている。

第一章では、研究背景や本論文の目的等についてまとめている。

第二章では、ネットワーク形態の一つとして、通信装置間を無線で接続してネットワークを構築するマルチホップ無線ネットワークに着目している。アクセス手段の無線化を低コストで実現するためには、ユーザ通信端末間や無線アクセスポイント間を無線で数珠つなぎに接続するマルチホップ無線ネットワークが好適である。しかし、マルチホップ無線ネットワークでは、有線回線に接続している無線アクセスポイントまでの無線ホップ数によってスループットに差異(不公平性)が生じるという課題がある。そこで本章では、マルチホップ無線ネットワークにおいて、ホップ数の違いによるスループット差異を低減するためのパケットスケジューリングアルゴリズムを提案している。提案アルゴリズムは、複雑な計算処理や新たなシグナリングメッセージの導入、既存MAC(Media Access Control)プロトコルの変更を必要とせず、ユーザの通信端末や無線アクセスポイントのパケットスケジューリングを変更するだけで効果を得ることが可能である。シミュレーションによる性能評価を実施し、提案するスケジューリングアルゴリズムにより、ユーザの通信端末間のスループット差異を低減することができ、提案アルゴリズムの適用前後で通信端末間スループットの公平性が最大で10倍程度向上することを示している。

第三章では、別のネットワーク形態として、モバイルWiMAXやセルラシステム、無線LAN等の複数の異なる通信システムを組み合わせるネットワークを構築する、異種無線ネットワークに着目している。

インターネットアクセスの無線化のための数多くの無線通信システムが登場しているが、それぞれのシステムはユニークな特徴を有する。例えば、セルラシステムは広いカバーエリアを有する一方、無線 LAN は高速な通信を提供する。単一のシステムで全ての用途をカバーするためには莫大なコストが必要となることから、用途に応じて異なる通信システムを使い分ける異種無線ネットワーク形態が考案されている。現在、すでに多くの携帯型通信端末（携帯電話、スマートフォン等）が複数の通信システムをサポートしており、異種無線ネットワークはユーザにとっても一般的なネットワーク形態となっている。このような異種無線ネットワークに対し、従来は、接続する通信システムを切り替える垂直ハンドオーバーにおいて、ネットワークレベルでの指標に着目し、IP パケット損失数低減やハンドオーバー遅延時間短縮を目的としていた。しかし、ユーザ視点で見ると、接続する通信システムを切り替えても途切れ等が生じずサービス利用を継続できるとともに、高速な通信システムへ切り替わった場合は、利用サービスの品質が向上するなど、切り替えによるメリットを享受できることが重要である。そこで本章では、高いサービス品質レベルを要求する双方向リアルタイムアプリケーションを対象に、異種無線ネットワークにおける、ユーザ視点に基づく SIP ベースのシームレスハンドオーバー方式を提案している。提案方式を利用することで、例えばユーザが移動しながら IP テレビ電話アプリケーションを利用しても、垂直ハンドオーバーによるサービスの途切れが発生せず、かつ切り替え先の通信システムに応じたテレビ電話品質に自動的に変更される。本方式は、異なるストリームのバイキャストイング手法と、遅延差吸収手法から構成される。異種無線ネットワーク環境では、無線システム毎に伝送速度や通信遅延時間が異なるため、両手法によりその差を吸収し、ユーザには連続したサービスを提供する。パーソナルコンピュータに提案方式を実装し、ネットワークエミュレータを利用した実機評価を通して、シームレスなサービス継続が可能であることを示している。

第四章では、第三のネットワーク形態として、遅延／切断耐性ネットワークに着目している。ネットワークへのアクセスには時間的・空間的な制限があり、遅延が極めて大きい状況や、ネットワークとのリンクが切断しても、ネットワークと非同期で情報伝達を実現できる遅延／切断耐性ネットワーク形態が考案された。遅延／切断耐性ネットワークでは、時間的制限に対応するためのデータの「蓄積」、空間的制限に対応するためのデータの物理的な「運搬」、データを別のユーザへ送信する「転送」からなる、蓄積運搬転送と呼ばれる中継技術が用いられる。遅延／切断耐性ネットワークは、深宇宙や海上、深海といっ

た劣悪な通信環境のみならず、災害等で一時的に通信インフラが利用不可になった場合にも活用でき、特に後者に関して、一般ユーザの立場からも非常に有用であることは、2011年3月に発生した東日本大震災の経験からも明らかである。ところが、現実には遅延／切断耐性技術は研究レベルに留まっており、実用化の方向が見えていない。この要因は、遅延／切断耐性ネットワーク形態のマネタイズの難しさ、つまり遅延／切断耐性ネットワークを導入することによる通信オペレータのメリットを見出しづらいことにあると考えられる。そこで、本章では、災害時以外の当該技術の用途として、蓄積運搬転送をセルラネットワークへ適用することで、最繁時間帯のセルラ基地局負荷を低減するとともに、データ配送率を向上することができる手法を提案している。提案手法では、セルラ基地局のトラヒック負荷状態は空間的に一様ではなく、ユーザ行動の影響により大きく差異があるというトラヒックの空間的不均一性に着目し、トラヒック負荷の高いエリアのトラヒックを、蓄積運搬転送を用いてトラヒック負荷の低いエリアへ分散させることで、トラヒック負荷の空間的な平滑化を行うものである。提案手法では、パーティクルフィルタを用いることで、ユーザ毎に過去の状態履歴に基づいて低トラヒックエリアへの移動可能性を予測し、トラヒックを「運搬」するユーザ通信端末を決定する。シミュレーションによる性能評価を実施し、提案手法を用いることで、トラヒック集中エリアから周囲の低トラヒックエリアへのトラヒック分散・平滑化が行われ、高トラヒックエリアの基地局の最繁時トラヒック量を約2割抑制できることを示している。

第五章では、本論文の総括と、今後の課題についてまとめている。

以上を要するに、本論文では、三つのネットワーク形態（マルチホップ無線ネットワーク、異種無線ネットワーク、遅延／切断耐性ネットワーク）におけるユーザ指向のサービス提供に関わる課題を取り上げ、各課題に対する解決方法を提案している。これらの研究成果は、将来的なモバイルネットワークの発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は、博士（工学）早稲田大学の学位論文として価値あるものと認める。

2014年2月

審査員

主査	早稲田大学教授	博士（工学）（東京大学）	甲藤 二郎
	早稲田大学教授	博士（工学）（早稲田大学）	前原 文明
	早稲田大学教授	Ph.D.（Univ. of Illinois）	中里 秀則