

博士論文概要

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

2013年12月

1970～80年代のTCP/IPを用いたパケット通信に基づくインターネットアーキテクチャの登場及び初期普及時は、主として学術ネットワークとして利用されるものであり、営利目的ではなかった。一方、そのアーキテクチャの有する柔軟性や拡張性の高さ故に、インターネットは爆発的に世界中へ広がり、ビジネス化していった。一般に、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ることとなり、ユーザー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ーニーズの一つに、“いつでも・どこでも”インターネットへアクセスをしたい、というものがあり、それまではユーザーの通信端末（パーソナルコンピュータ等）に対して有線にて提供されていたインターネットへのアクセス手段の無線化が急速に進んだ。この無線化の実現へ向け、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、ユーザー視点が忘れ去られがちとなる。そこで、本論文では、ユーザー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、ユーザー視点に基づくモバイルネットワーク技術について論じる。

まず、第一章では、研究背景や本論文の目的等についてまとめる。

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する。アクセス手段の無線化を低コストに実現するためには、ユーザーの通信端末間を無線で数珠つなぎに連結させて無線アクセスポイントまで接続させたり、無線アクセスポイント間を無線にて数珠つなぎに接続し、有線回線を有する無線アクセスポイントまでつなげるマルチホップ無線ネットワークが、無線アクセスポイント設置コストや有線回線整備コストを抑制可能となり、好適である。しかしながら、マルチホップ無線ネットワークでは、有線回線を有す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が生じるという課題がある。つまり、有線回線を有する無線アクセスポイントまでの無線ホップ数の大きいユーザーは、十分な品質の通信サービスを楽しむことができない可能性が生じる。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する。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)プロトコルへの変更を必要とせず、ユーザーの通信端末や無線アクセスポイント内のパケットスケジューリング方法のみを変更することにより、その効果を得ることが可能となる。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、ユーザー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す。

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する。インターネットへのアクセス手段の無線化が急速に進んだことを背景に、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られる異種無線ネットワーク形態が考案された。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、従来研究では、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実行時において、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。しかしながら、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利用しているサービスに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、利用しているサービス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、一般的に高いサービス品質レベルを要求され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する。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、無線ネットワーク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へ提案方式を実装し、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、提案方式によりユーザへ表示されるテレビ電話のデコードフレームの連続性が垂直ハンドオーバー前後でも保たれ、ユーザ目線でのシームレスなサービス継続が可能であることを示す。一方、比較として、従来手法では、垂直ハンドオーバー前後で、IP パケットレベルでは連続性が保たれるが、テレビ電話のデコードフレームでは途切れが生じることも示す。

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する。これまでは、“いつでも・どこでも”通信を可能にすることを目的に通信技術が発展し、通信の仕組みも、ネットワークへアクセス可能であることを前提としたものであった。一方、実際は、ネットワークへのアクセス手段の提供には、時間的・空間的な制限がある。そこで、発想を転換し、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ユーザ通信端末でのデータの「蓄積」と、空間的制限に対応する

ためのユーザ通信端末によるデータの物理的な「運搬」、そしてデータを別のユーザ通信端末へ送信する「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する。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す。

第五章では、本論文の総括と、今後の課題についてまとめる。

以上で述べたように、本研究では特にユーザ視点に基づいて、三つのネットワーク形態における課題を取り上げ、各課題について解決方法を提案した。社会インフラ化した通信技術では、効率化・低コスト化のみを追求するのではなく、ユーザ視点に基づいた検討を行うことが肝要である。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 泉川 晴紀 印

(2013年11月現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
○論文	泉川 晴紀, 甲藤 二郎, RoCNet: 蓄積運搬転送パラダイムに基づく空間的なセルラトラヒックオフロード, 信学論(D), Vol. 97-D, No. 3, Mar. 2014 (採録決定) .
○論文	Haruki Izumikawa, Tadayuki Fukuhara, Yoji Kishi, Takashi Matsunaka, and Keizo Sugiyama, User-centric Seamless Handover Scheme for Real-time Applications in Heterogeneous Networks, IEICE Trans. Commun, Vol. E92-B, No. 3, pp. 867-877, Mar. 2009.
○論文	泉川 晴紀, 杉山 敬三, 松本 修一, マルチホップ無線ネットワークにおけるユーザ間の公平性を考慮したスケジューリング手法, 信学論(B), Vol. J89-B, No. 6, pp. 897-908, 2006年6月.
論文	松中 隆志, 泉川 晴紀, 杉山 敬三 シームレスハンドオーバーにおける安全性を考慮した効率的な認証方式の提案, 情報処理, Vol. 49, No. 1, 2008年1月.
○国際会議	Haruki Izumikawa, and Jiro Katto, RoCNet: Spatial Mobile Data Offload with User-behavior Prediction through Delay Tolerant Networks, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2013), Apr. 2013.
○国際会議	Haruki Izumikawa, Suphakit Awiphan, and Jiro Katto, Spatial Uplink Mobile Data Offloading Leveraging Store-carry-forward Paradigm, The first ACM International Workshop on Practical Issues and Applications in Next Generation Wireless Networks (PINGEN 2012), Aug. 2012.
○国際会議	Haruki Izumikawa, Takashi Matsunaka, Yoji Kishi, Retarding Application Idle Timer Expiration for Service Resumption in Challenged Network, IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS 2011), Nov. 2011.
○国際会議	Haruki Izumikawa, Mikko Pitkanen, Joerg Ott, Andreas Timm-Giel, and Carsten Bormann, Energy-Efficient Adaptive Interface Activation for Delay/Disruption Tolerant Networks, IEEE International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT 2010), Feb. 2010.

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
○ 国際会議	<u>Haruki Izumikawa</u> , Dirk Kutscher, Andreas Timm-Giel, and Carsten Bormann, RACING: Rate Control for Enhancing Intermittent Networking Performance for Mobile Users, IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2009), Nov. 2009.
○ 国際会議	<u>Haruki Izumikawa</u> , Yoji Kishi, and Riichiro Nagareda, Novel WLAN Coverage Area Estimation Leveraging Transition of Cellular Signal using Multi-mode Mobile Terminal for Heterogeneous Networks, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2009), Apr. 2009.
○ 国際会議	<u>Haruki Izumikawa</u> , Tadayuki Fukuhara, Takashi Matsunaka, and Keizo Sugiyama, User-centric Seamless Handover Scheme for Realtime Applications, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2007), Sep. 2007.
○ 国際会議	<u>Haruki Izumikawa</u> , Kenji Saito, Naoki Fuke, Tetsuro Ueda, and Keizo Sugiyama, MAP Multiplexing in IEEE 802.16 Mobile Multi-hop Relay, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2006), Sep. 2006.
○ 国際会議	<u>Haruki Izumikawa</u> , Keizo Sugiyama, and Hideyuki Shinonaga, Scheduling Algorithm for Fairness Improvement among Users in Multihop Wireless Networks, International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2005), Sep. 2005.
○ 国際会議	<u>Haruki Izumikawa</u> , Ichiro Yamaguchi, and Jiro Katto, An Efficient TCP with Explicit Handover Notification for Mobile Networks, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2004), Mar. 2004.
標準化寄書	Saverio Niccolini, Stefano Salsano, <u>Haruki Izumikawa</u> , Ross Lillie, Luca Veltri, and Yoji Kishi, Requirements for vertical handover of multimedia sessions using SIP, Internet Draft, IETF, Jul. 2008.
標準化寄書	<u>Haruki Izumikawa</u> , and Ross Lillie, SIP-based Bicasting for Seamless Handover between Heterogeneous Networks, Internet Draft, IETF, Feb. 2008.

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
研究会	<u>Haruki Izumikawa</u> , Hidenori Konishi, and Jiro Katto, A Study of Mobile Performance Prediction to Control Wasteful Video Delivery toward GreenICN, 電子情報通信学会 NS 研究会, NS2013-131, 2013 年 11 月.
研究会	<u>Haruki Izumikawa</u> , and Keizo Sugiyama, re-GPS: Repositioning with Move-out Estimation in Minimization of Drive Tests, 電子情報通信学会 MoNA 研究会, MoNA2013-8, 2013 年 5 月.
研究会	<u>Haruki Izumikawa</u> , Ryuichi Yasunaga, Katsuhiro Kujirai, Shigeyuki Terachi, Yoshikazu Shirai, Nao Kobayashi, and Keizo Sugiyama, QoE-based Log Collection in Minimization of Drive Tests, 電子情報通信学会 NS 研究会, NS2012-227, 2013 年 3 月.
研究会	<u>Haruki Izumikawa</u> , Suphakit Awiphan, and Jiro Katto, RoCNet: Robust Cellular Network for Disaster Communication and Traffic Offloading, 電子情報通信学会 NS 研究会, NS2011-176, 2012 年 1 月.
研究会	<u>Haruki Izumikawa</u> , Takashi Matsunaka, and Yoji Kishi, Statistical Estimate in Position of Coverage Holes in Minimization of Drive Tests, 電子情報通信学会 NS 研究会, NS2011-175, 2012 年 1 月.
研究会	<u>Haruki Izumikawa</u> , Shinobu Nanba, and Yoji Kishi, Efficient Construction of Coverage Map Avoiding Positional Gaps, 電子情報通信学会 NS 研究会, NS2011-19, 2011 年 5 月.
研究会	<u>Haruki Izumikawa</u> , and Yoji Kishi, GREEN-CANES: Adaptive Activation Controls of Macro/Femtocell Base Stations for Energy Savings, 電子情報通信学会 NS 研究会, NS2009-257, 2010 年 3 月. ほか
講演	<u>Haruki Izumikawa</u> , Takashi Matsunaka, and Yoji Kishi, Clustering Measured Positions in MDT for Detecting Coverage Holes, 電子情報通信学会 春季全国大会, BS-3-19, 2012 年 3 月
講演	<u>Haruki Izumikawa</u> , Takashi Matsunaka, and Yoji Kishi Service Resumption Extending Idle Timeout for Applications in Challenged Network, 電子情報通信学会 秋季全国大会, BS-6-20, 2011 年 9 月
講演	<u>Haruki Izumikawa</u> , Shinobu Nanba, and Yoji Kishi, Efficient Construction of Coverage Map Avoiding Positional Gap, 電子情報通信学会 春季全国大会, BS-4-29, 2011 年 3 月 ほか