

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：13801  
研究種目：基盤研究(B) (一般)  
研究期間：2014～2017  
課題番号：26280028  
研究課題名(和文) モバイルデータ3Dオフローディングの研究

研究課題名(英文) A study on mobile data 3D offloading method

研究代表者  
峰野 博史 (Mineno, Hiroshi)  
静岡大学・情報学部・教授

研究者番号：40359740  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,900,000円

研究成果の概要(和文)：遅延耐性のあるモバイルデータ通信に対し、データの送受信タイミングを適切に制御することで、時間的、空間的、通信路的な3次元で空間利用効率を最大化させるモバイルデータ3Dオフローディング手法の確立を目指してMDOPの詳細評価を進めた。詳細分析の結果、高負荷eNBで滞在中UEが多くのデータを送信し、移動UEは低負荷eNBで送信でき、時間的かつ空間的に集中していたeNBの負荷を分散させ、予め設定した許容負荷まで抑えられることを確認した。また、ネットワークシミュレータの端末モデルとして仮想マシンを連携できるHiFEEを研究開発し、Androidアプリケーションの詳細評価可能なことも確認した。

研究成果の概要(英文)：We studied a Mobile Data Offloading Protocol (MDOP) which delays the delay tolerant contents to balance the load of cellular infrastructures. MDOP balances the load in view of time, place and link by considering the load of base station, mobility of the users and delay tolerant of the contents. From the detailed evaluation results, it was confirmed that the time and place-wise offloading was able to send more data by staying user in high load eNBs, send more data at low load eNBs, and peak shift of mobile traffic localities by using delay tolerant data. Regarding evaluation environment for large scale networks, we also developed a high fidelity evaluation environment made by the combination of a network simulator and virtual machines with virtual wireless LAN devices. A network simulator and virtual machines also solve the cost for nodes, the ease of field preparation, and the reproducibility of radio propagation by modeling evaluation environment.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：モバイルネットワーク データオフローディング

## 1. 研究開始当初の背景

スマートフォンの普及や、マルチメディアコンテンツの増加、M2M (Machine-to-Machine) の急成長等に伴い、携帯電話網のトラフィックが増大している。携帯電話キャリアは、携帯基地局の増強や電波資源の有効活用だけでなく、WiFi スポットの増設によって携帯電話基地局へのトラフィックをWiFi スポットにオフローディングすることで、個々の携帯基地局への負荷を低減させている。このようなWiFi スポットによるモバイルデータオフローディングは、先進国の都市部だけでなく、新興国を含め世界的に広がりを見せ始めている[Cisco, 2013]。現在のモバイルデータオフローディング手法は一定の効果をもたらしているものの、空間利用効率の最大化という観点では以下に示すような改善余地が多分にあると言える。

### (1) 時間的, 空間的局所性

研究代表者が 2002 年まで従事した NTT 研でのネットワークトラフィック研究や NTT ドコモ共同研究(2009~2012)に加え、昨今のマイクロジオデータに代表される G 空間情報の分析から、携帯電話網のトラフィックは時間帯や地域で大きな局所性があり、時間的には夜間に、空間的には都市部でトラフィックが集中するという特性に気付いた。一方、非リアルタイム性コンテンツを対象とし、車々間アドホック通信と遅延耐性通信を併用した VDTN (Vehicular Delay Tolerant Network)[E. Baccelli, IEEE Trans. Information Theory, 2011]の研究が出現したが、まだ黎明期であり理論研究の域を脱していない。モバイルデータの時間的, 空間的局所性を考慮して VDTN を適用すれば効果的なデータオフローディングが可能と考えるが、現実の無線通信規格の多様性やプロトコル, 移動経路など複雑な条件まで考慮して評価することが重要と考える。

### (2) モバイルデータのトラフィック特性

昨今のモバイルデータは、ストリーム型データ、OS やアプリケーションの更新データなどのやり取りだけでなく、今後はスマートメータやヘルスケア等の M2M データ、新たなユーザ参加型のモバイルアプリケーションデータといった様々な上下方向のトラフィック交換の増大が見込まれる。WiFi スポットは、携帯電話網に比べ高速に通信可能だが通信可能範囲は狭く、通信ノードの移動速度や WiFi スポットの混雑状況・電波状況によっては、WiFi スポットに接続しない方が安定通信できる場面や、そもそも近隣に WiFi スポットがなくオフローディングできない場面も多い[Y. Li, IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, 2013]。遅延耐性のあるモバイルデータにプライオリティを付け、多種多様なモバイルデータのトラフィック特性に応じた適切な通信路選択とスケジ

ューリングを実現すれば、ヘテロジニアスな通信路を併用した効果的なモバイルデータオフローディングを実現できる。

そこで、モバイルコンピューティングを中心に ITS, DTN に関する予備的な研究成果を多数得ている研究代表者とネットワークシミュレーションやエミュレーションに精通した研究協力者が連携しモバイルデータオフローディングという世界的にますます重要となる課題に取り組むこととした。

## 2. 研究の目的

時間的, 空間的, 通信路的な 3 次元で空間利用効率を最大化させるモバイルデータ 3D オフローディング手法を確立する。携帯電話キャリアは、WiFi スポットの増設や、新たな周波数帯域を併用するなど、マイクロセル化、スモールセル化で携帯電話網の負荷を分散させるモバイルデータオフローディングに力を注ぐが、今後出現するであろうユーザ参加型のストリートビュー型ナビゲーションサービスなど大容量の上下方向トラフィック交換増大に追従させ続けるのは難しい。

本研究では、準仮想化技術を用いたエミュレーションとネットワークシミュレーションを連携させ、実機ベースで開発した試作プロトコルや実移動経路, 地図情報, 発生トラフィック等を、仮想マシン環境へインポートすることでエミュレートしつつ、実機で評価分析するのが困難な広域条件をシミュレーションで設定し What-if 分析することで、より現実に近い評価結果の得られる手法で評価する。また、シミュレータのモデル開発労力を削減しつつシミュレーション結果の精度向上を両立可能な仕組みや、シミュレーション規模に応じて仮想マシンを増減可能な Scalable Emulation-based Simulation を研究開発する。これらにより、より実環境に近い環境で提案手法の詳細評価を実施する。

## 3. 研究の方法

時間的, 空間的, 通信路的な 3 次元で空間利用効率を最大化させるモバイルデータ 3D オフローディング手法は、典型的な組合せ最適化問題であり NP 困難なため、実用的な時間で最適解を算出するのは困難である。そのため、以下の研究課題を通し、仮想世界と実世界をシームレスかつスケラブルに融合させ準最適解を計算するヒューリスティックアルゴリズムを確立し、提案手法の有効性を実証する。

- i) モバイルデータ 3D オフローディング手法の詳細設計 (峰野, 木谷, 檜原)
- ii) Scalable Emulation-based Simulation 環境の構築 (峰野, 猿渡)
- iii) モバイルデータ 3D オフローディング手法の詳細特性評価 (峰野, 猿渡, 水野)
- iv) モバイルデータ 3D オフローディング手法の実証実験 (峰野, 木谷, 猿渡, 檜原)

#### 4. 研究成果

研究代表者らは、モバイルデータ 3D オフローディングの研究を通じて、時間的、空間的、通信路的な 3 次元で空間利用効率を最大化させるモバイルデータ 3D オフローディング手法を研究開発した。

トラフィックの中には遅延をある程度許容するデータ（以下、遅延耐性データ）が存在すると考える。一方、トラフィックの特徴として、特定の時間帯や場所に発生量が偏る「局所性」がある。トラフィックを効率的に收容するためには、携帯電話基地局（eNB: evolved Node B）等の通信設備の使用率（負荷）を規定の許容値に収めつつ、一定以上に保つことが望ましい。しかしトラフィックの局所性を考慮して通信設備を増強すると、トラフィック量が少ない地域や時間帯での設備使用率が低下し、トラフィックの收容効率が悪化するという課題がある。本研究では、トラフィックが特定の時間帯に偏る局所性を「時間的局所性」、特定の場所に偏る局所性を「空間的局所性」と定義する。遅延耐性データの増加とトラフィックの局所性という 2 つの背景を踏まえ、トラフィックの收容効率の向上を目的としたモバイルデータオフローディングプロトコル（MDOP: Mobile Data Offloading Protocol）を研究した。MDOP は、通信設備の負荷が高い時間や地域において、遅延耐性データの送信レートを制御し、時間的局所性や空間的局所性を解消する。

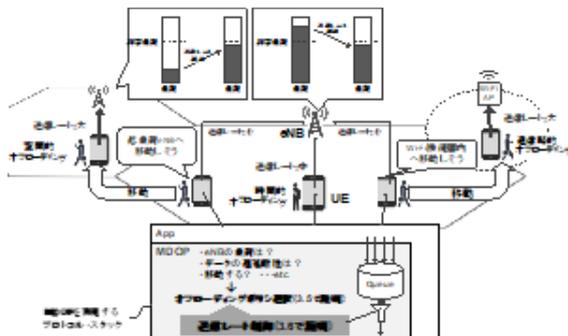


図 1 MDOP の概要

MDOP はアプリケーションレイヤの下位に位置するミドルウェアとして実装し、MDOP 対応アプリケーションが送受信する遅延耐性データの送信レートを制御することで、モバイルデータオフローディングを実現する（図 1）。もちろん、全トラフィックをフィルタリングして遅延耐性時間に合わせて制御できるように下位層で実装する方法も考えられる。送信レートを制御する方法（オフローディングポリシー）には、モバイルデータ通信路上のトラフィックを削減する「通信路的オフローディング」、空間的局所性を解消する「空間的オフローディング」、時間的局所性を解消する「時間的オフローディング」の 3 つを想定している。MDOP は、データの遅延耐性や UE と eNB の状態に応じてオフローディングポリシーを 1 つ選択し、送信レート制御を実行する。

ここで、同一 UE 内で MDOP 対応アプリによる遅延耐性データと MDOP 非対応アプリによる通常通信が混在する場合、遅延耐性データの通信よりもリアルタイム性の求められる一般アプリの通信を優先することとする。

まず、時間的オフローディングに関して、時間的局所性の生じやすい朝方や夕方といった 2 時間程度の通勤時間におけるピークシフト効果を想定した基礎評価的なシナリオを想定し、「局所性シナリオ」、「普及過渡期シナリオ」を用いてシミュレーションを実行し、時間的オフローディングの基礎的な効果を検証した。「局所性シナリオ」では、トラフィックが特定の時間帯に集中する時間的局所性を模擬し、「普及過渡期シナリオ」ではさらに、MDOP を搭載しない UE が混在する環境での時間的局所性を模擬する。ネットワークシミュレータ上で時間的局所性を再現した評価シナリオ（図 2）を評価した結果、時間的に集中していた通信需要を分散させ、空間利用効率を高めることができた（図 3）。また、MDOP 対応 UE のみの環境、MDOP 非対応 UE も混在する環境のどちらの環境においても eNB 負荷の時間的局所性を低減でき、各 UE 間の送信レートのフェアネスも維持できることが確認できた。

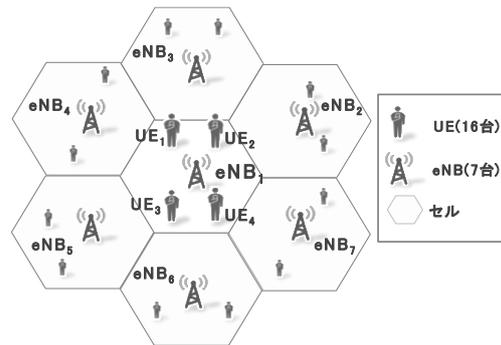


図 2 評価トポロジ（時間的）

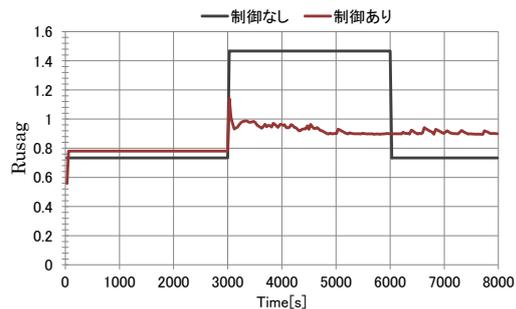


図 3 局所性シナリオ評価結果（時間的）

空間的オフローディングは、モバイルトラフィックの空間的局所性を解消するために、UE の移動や eNB のデータ受信量を考慮して遅延耐性コンテンツの送信タイミングを制御する。具体的には、UE が現在接続している eNB が高負荷でかつ移動予定経路上に低負荷 eNB がある場合、低負荷な eNB に移動してから通信を開始するという遅延送信制御を行うことで、空間的オフローディングを実現す

る。空間的オフローディングでは、UE が将来的に接続する可能性の高い eNB の負荷情報を考慮して送信レート制御を行うことを想定しており、移動予測とともにハンドオーバーの予測精度が重要となるが、様々な移動予測技術によって UE 側で目的地までの移動予定経路を取得できることを想定し、UE が送信する制御情報へ UE の移動予定経路情報も含めて MDOP サーバへ送信することで、移動予定経路上の eNB 情報を考慮した空間的オフローディングを実現することを考えた。

空間的オフローディングは、UE の移動予定経路上に存在する全 eNB を対象として空間的オフローディング可否の判定を行い、移動予定経路上の高負荷な eNB での通信を制限し、低負荷な eNB へ接続してから通信を開始する。ここで MDOP では、突発的なトラフィックの発生時に eNB の許容量を超えてしまってパケットロスが発生する状況を防ぐための「理想負荷」と、eNB が高負荷か低負荷かを判断するための「低負荷閾値」を設けることで、移動予定経路上の eNB を用いた空間的オフローディングを実現する。空間的オフローディングの条件で利用する UE の接続予定 eNB は、RSSI を用いて算出することが理想であるが、UE の移動前に接続予定 eNB との RSSI を予測することは困難なため、まずは UE の移動予定経路情報の座標を用いて、直線距離の最も近い eNB を選択するものとする。

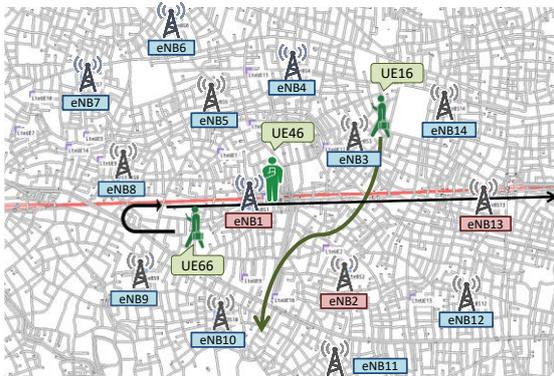


図 4 評価トポロジ (空間的)

実環境を想定したシナリオで空間的オフローディングの有効性について検証を行った (図 4)。具体的には、シミュレーション環境で広域環境や実移動を模擬し、MDOP の制御なし、時間的オフローディング、空間的オフローディングをそれぞれ適用した際の結果を比較することで空間的オフローディングの有効性について分析した。まず実環境の人の移動を模擬するため、UE のモビリティモデルとして、統計データとして公開されているパーソントリップデータからユーザの実際の移動を模擬したモビリティモデルを設定した。特に、実際のユーザの流入出を 80% の精度で再現することができ、eNB 受信量の推移も実環境と類似させることのできた阿佐ヶ谷駅周辺地域を設定することとした。

時間的オフローディングと空間的オフローディングを比較すると、おおよそ各 eNB の受信量は同等であるように見える。そこで、オフローディング手法の違いで各 eNB の受信量にどの程度違いがあるかを確認するため、シミュレーション時間内において各 eNB で受信されたデータのうち MDOP 対象データの総受信量を示す (表 1)。ここで、制御なしの受信量に対する時間的オフローディング適用時の受信量の割合と、制御なしの受信量に対する空間的オフローディング適用時の受信量の割合も併記する。

表 1 各 eNB の受信量比較 (空間的)

(MB)	eNB1	eNB2	eNB3	eNB4	eNB5	eNB6	eNB7
制御なし	2,981	794	1,419	1,900	2,937	3,491	2,189
時間	1,759	804	1,471	1,906	3,176	3,572	2,368
	59%	101%	104%	100%	108%	102%	108%
空間+時間	1,871	776	1,647	1,906	3,233	3,637	2,302
	63%	98%	116%	100%	110%	104%	105%
	eNB8	eNB9	eNB10	eNB11	eNB12	eNB13	eNB14
制御なし	3,431	1,938	2,725	1,974	3,789	1,168	382
時間	3,460	1,933	2,999	1,981	3,797	1,236	388
	101%	100%	110%	100%	100%	106%	101%
空間+時間	3,280	1,927	3,020	1,974	3,708	947	387
	96%	99%	111%	100%	98%	81%	101%

高負荷なバックグラウンド負荷を設定した eNB1, eNB2, eNB13 に関して考察する。eNB13 では、時間的オフローディングの受信量の割合が 106%であったのに対し、空間的オフローディングの受信量の割合が 81%となり、25% の受信量を削減できている。受信量が削減できたのは、eNB13 を通過する移動 UE が、空間的オフローディングを実行したことで高負荷 eNB13 で通信を行わず、低負荷 eNB で通信を行ったためである。低負荷 eNB3 では制御なしに対する時間的オフローディングの受信量の割合が 104%、空間的オフローディングの受信量の割合が 116%となり 12%増加していた。時間的オフローディングでは高負荷 eNB で送信されていたデータが、空間的オフローディングの適用によって高負荷 eNB では送信せず低負荷 eNB3 へ移動後に蓄積された遅延耐性データを送信したためである。つまり、高負荷 eNB では滞在 UE がより多くのデータを送信できることを確認し、ノードのモビリティに着目することで、遅延耐性のあるモバイルデータトラフィックのピークシフト可能であることを確認した。

Scalable Emulation-based Simulation として、シミュレーション規模に応じて仮想マシンの接続台数を増減可能な High Fidelity Emulation Environment (HiFEE) の研究開発を行った (図 5)。HiFEE は、シミュレータの端末モデルとして仮想マシンを使用することで、実機動作に忠実な端末モデルを作成する。加えて、仮想マシンに仮想無線 LAN デバイスを実装することで、OS 標準のドライバで無線 LAN を模擬可能にする。評価では、HiFEE の実機忠実度を TCP, UDP スループットの観点で評価し、それぞれ実機との誤差 6.3%, 1.7% で無線 LAN を模擬可能であることを示した。また、仮想マシン使用可能台数の評価、および HiFEE の実用例も示

した。HiFEE がネットワークシミュレータに比べ、実機に忠実なスループットを実現可能なことを確認した(図6)。さらに、モバイルデータ 3D オフローディングを Android 上で実装し、HiFEE と連携させ動作検証を行うことで、実環境における無線固有の課題を発見できるようにした。HiFEE を用いることで無線固有の課題を発見し考察することが可能であるため、HiFEE はモバイルネットワークの負荷分散手法における検証環境として有用である。

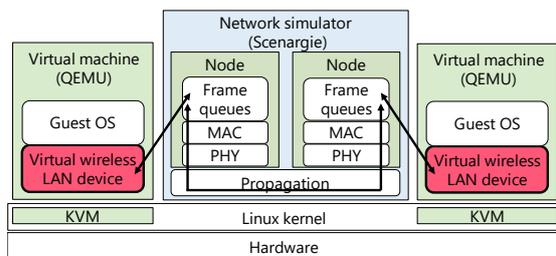


図5 HiFEE のアーキテクチャ

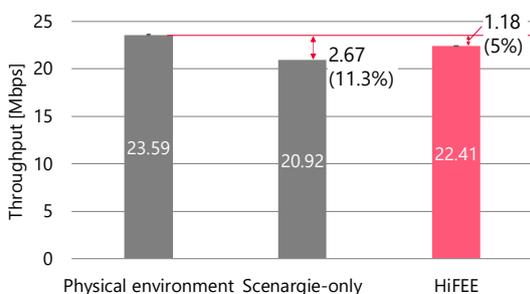


図6 HiFEE 実機比較評価

モバイル端末での利用に即した OS を用いた場合の実機忠実度、実アプリケーションを使った評価のため、仮想マシンにモバイル端末用 OS として広く用いられる Android を採用した場合でも、HiFEE が実機に忠実なネットワークシミュレーションを行えることを検証した。

以上のように、遅延耐性のあるモバイルデータ通信に対し、データの送受信タイミングを適切に制御することで、時間的、空間的、通信路的な 3次元で空間利用効率を最大化させるモバイルデータ 3D オフローディング手法の確立を目指し、MDOP の詳細評価を進めた。特に MDOP の空間的オフローディングにおける具体的な処理、実現可能性について検討し、ネットワークシミュレーションを用いて評価を行った。その結果、高負荷 eNB で滞在中 UE が多くのデータを送信し、移動 UE は低負荷 eNB で送信できており、時間と空間的に集中していた eNB の負荷を分散させ予め設定した許容負荷まで抑えられることを確認した。また、ネットワークシミュレータの端末モデルとして仮想マシンを連携できる HiFEE に関して、Android アプリケーションの詳細評価可能なことを確認した。シミュレーション上にエミュレートしてイ

ンポートしたプログラムは、シミュレーションで分析された結果に基づいて改良・再評価できるため、最終的なプログラムを実機に戻すことで実システム詳細設計の完成度を向上させられる相乗効果を図った。

本研究で研究開発したモバイルデータ 3D オフローディングの課題として、準最適解を導出可能とした一方で、想定される複雑な条件をすべて考慮した多数のシナリオに対して最適化を導出する数理モデルの構築は困難であることがわかってきた。この課題を解決するために、どのような局面で各ノードを制御すれば通信需要を分散できるかについて、深層強化学習を適用し学習させることで空間利用効率を最大化できると考える。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- (1) Takaaki Kawai, Shigeru Kaneda, Mineo Takai, Hiroshi Mineno, A Virtual WLAN Device Model for High Fidelity Wireless Network Emulation, ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS) (2016IF:1.000, Q2), 査読有, Vol. 27, Issue. 3, 2017. (ア) DOI: 10.1145/3067664
- (2) 西岡哲朗, 町田樹, 荒井大輔, 大岸智彦, 峰野博史, モバイルデータトラフィックの時間的局所性を解消するモバイルデータオフローディングプロトコルの提案, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 58, No. 1, 2017, pp. 13-23.
- (3) 遊佐直樹, 峰野博史, IEEE802.15.4 と PLC を用いた相互補完通信向けルーティングメトリクス MCETX の実証実験, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J98-B, No. 7, 2015, pp. 591-600.

[学会発表] (計 24 件)

- (1) 望月大輔, 峰野博史, 町田樹, 強化学習を用いたモバイルデータオフローディング手法自律獲得の検討, 第 79 回情報処理学会全国大会, 2017.
- (2) 恩田康平, 峰野博史, 高忠実度評価環境を用いた Android アプリケーションの評価, 情報処理学会全国大会, 2017.
- (3) Chinchu Viswan, Tatsuki Machida, Hiroshi Mineno, Performance of Mobile Data Offloading with Time Wise Offloading, Int'l Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University, 2017.
- (4) Takuma Tachibana, Tetsuo Furuichi, Hiroshi Mineno, Implementing and Evaluating Priority Control Mechanism for Heterogeneous Remote Monitoring IoT System, MobiQuitous (MUSICAL) (国際学会), 2016.
- (5) 恩田康平, 峰野博史, 高忠実度ネットワークシミュレーションを用いた Android アプリケーション評価環境の検

- 討, Scenargie Workshop, 2016.
- (6) 町田樹, 望月大輔, 峰野博史, Mobile Data Offloading Protocol における空間的オフローディングの評価, Scenargie Workshop, 2016.
- (7) 峰野博史, 次世代IoT向け通信制御手法の研究紹介, 早稲田大学 ACROSS セミナー(招待講演), 2016.
- (8) 橘 拓馬, 古都哲生, 峰野博史, データ量と通信品質を考慮したIoT向け優先度制御手法の実装と評価, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO), 2016.
- (9) 峰野博史, モバイルデータ 3D オフローディングの研究, 電子情報通信学会 情報ネットワーク研(特別講演), 2016.
- (10) 橘拓馬, 古都哲生, 峰野博史, 多様なIoT環境に追従可能な優先度制御機構の検討, 情報処理学会全国大会, 2016.
- (11) 町田達樹, 西岡哲朗, 荒井大輔, 大岸智彦, 峰野博史, モバイルデータオフローディングプロトコル(MDOP)における最適な送信レート制御手法の検討, 情報処理学会 MBL 研究会, 2016.
- (12) Tetsuro Nishioka, Hiroshi Mineno, Basic Evaluation for Time-wise offloading of Mobile Data Offloading Protocol, IEEE Student Branch Young Researcher Workshop (YRW), 2015.
- (13) Tatsuki Machida, Hiroshi Mineno, Evaluation of Mobility Model based on Person Trip Data for Network Simulation, IEEE Student Branch Young Researcher Workshop (YRW), 2015.
- (14) Takaaki Kawai, Shigeru Kaneda, Mineno Takai, Hiroshi Mineno, A Wireless LAN Device Model for High Fidelity Software Emulation, IEEE 4th Conference on Consumer Electronics (GCCE)(国際会議), 2015.
- (15) 西岡哲朗, 荒井大輔, 大岸智彦, 峰野博史, モバイルデータオフローディングプロトコル(MDOP)における時間的オフローディングの基礎評価, 情報処理学会 MBL 研究会, 2015.
- (16) 町田樹, 西岡哲朗, 荒井大輔, 大岸智彦, 西垣正勝, 峰野博史, パーソントリップデータ用いたモバイルデータオフローディングプロトコル(MDOP)評価環境の提案, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO), 2015.
- (17) 河合孔明, 金田茂, 高井峰生, 峰野博史, シミュレータと仮想マシンを連携した高忠実度評価環境の提案, 情報処理学会 MBL 研究会, 2015.
- (18) 町田樹, 荒井大輔, 大岸智彦, 峰野博史, パーソントリップデータを用いた移動モデルの構築と評価, 情報処理学会第77回全国大会, 2015.
- (19) 佐原壮海, 檜原茂, 太田能, 高井峰生, 金田茂, 山口英, 路車間通信を対象としたレートアダプテーション機能の提案と評価, モバイルネットワークとアプリケーション研究会(MoNA), 2015.
- (20) 峰野博史, モバイル 3D オフローディングの研究, 第5回DTNとその未来に関するワークショップ, 2014.
- (21) 佐原壮海, 檜原茂, 山口英, 高速移動環境におけるレートアダプテーションの通信品質, Scenargie Workshop, 2014.
- (22) Takaaki Kawai, Naoki Yusa, Hiroshi Mineno, Implementation and Evaluation of Adaptive Multi-Gateway Mesh Network, Network-Based Information Systems (NBIS)(国際会議), 2014.
- (23) 西岡哲朗, 木谷友哉, 太田剛, 峰野博史, モバイルデータオフローディングプロトコル(MDOP)の提案, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO), 2014.
- (24) 檜原茂, 峰野博史, モバイルデータ 3D オフローディング, 第4回DTNとその未来に関するワークショップ, 2014.
- [その他]  
モバイルトラフィックオフローディンググループ概要  
<http://www.minelab.jp/?p=4682>
- ## 6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
峰野 博史 (MINENO, Hiroshi)  
静岡大学・情報学部・准教授  
研究者番号: 4 0 3 5 9 7 4 0
- (2) 研究分担者  
木谷 友哉 (KITANI, Tomoya)  
静岡大学・情報学部・准教授  
研究者番号: 4 0 4 1 8 7 8 6  
猿渡 俊介 (SARUWATARI, Shunsuke)  
大阪大学・情報科学研究科・准教授  
研究者番号: 5 0 5 0 7 8 1 1  
檜原 茂 (KASHIHARA, Sigeru)  
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教  
研究者番号: 6 0 3 8 0 7 3 9  
水野 忠則 (MIZUNO, Tadanori)  
愛知工業大学・情報科学部・教授  
研究者番号: 8 0 2 5 2 1 6 2
- (3) 研究協力者  
大岸 智彦 (OOGISHI, Tomohiko)  
荒井 大輔 (ARAI, Daisuke)  
西垣 正勝 (NISHIGAKI, Masakatsu)  
太田 剛 (OHTA, Tsuyoshi)  
高井 峰生 (TAKAI, Mineo)  
金田 茂 (KANEDA, Shigeru)  
古都 哲生 (FURUICHI, Tetsuo)  
遊佐 直樹 (YUSA, Naoki)  
山口 英 (YAMAGUCHI, Suguru) 以上