

空間的オフローディングを用いた モバイルデータオフローディングプロトコルの評価

町田 樹¹ 望月 大輔¹ 安孫子 悠² 大岸 智彦³ 峰野 博史^{1,a)}

受付日 2017年3月23日, 採録日 2017年10月3日

概要: 今日のモバイルデータ通信は時間帯や地域によって通信インフラの負荷が偏り, モバイルデータトラフィックの収容効率が低下するという課題がある. そこで遅延耐性のあるモバイルデータトラフィックを適切に遅延させ, 通信インフラの負荷を分散してモバイルデータ通信の空間利用効率を高めるモバイルデータオフローディングプロトコル (MDOP) を提案してきた. この MDOP は, eNB の負荷状態, モバイル端末の移動, データの遅延耐性を考慮し, トラフィックの送信レートを制御することで, 時間的, 空間的, 通信路的の 3 つの次元でモバイルデータ通信の負荷を分散させる通信プロトコルである. 本稿では特に, MDOP の空間的オフローディングを実現する具体的な処理を検討し, ネットワークシミュレーションによって評価した. 実際の人の移動を再現したシナリオで詳細評価した結果, 高負荷な基地局では滞在中のユーザが多くのデータを送信できること, 移動ユーザは低負荷な eNB で多くのデータを送信できることで, 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なことを確認した.

キーワード: オフローディング, モバイルデータ, 遅延耐性データ, ユーザモビリティ

Evaluation of Mobile Data Offloading Protocol with Place Wise Offloading

TATSUKI MACHIDA¹ DAISUKE MOCHIZUKI¹ YU ABIKO² TOMOHIKO OGISHI³
HIROSHI MINENO^{1,a)}

Received: March 23, 2017, Accepted: October 3, 2017

Abstract: The demand for mobile data communication is increasing rapidly. Furthermore, as a feature of the traffic, there are two localities “temporal locality” and “regional locality”. In order to solve these localities of the traffic, we have proposed Mobile Data Offloading Protocol (MDOP). MDOP controls the delay tolerant data such as the data of cloud sync storage and uploading the data of drive recorder and so on. Furthermore, MDOP balances the load of eNBs using three offloading methods of time-wise offloading, place-wise offloading and link-wise offloading. MDOP has not yet solved regional locality problems; hence we propose the place-wise offloading in MDOP. We evaluated the performance through network simulation with mobility scenario based on real world user’s mobility. From these results, it was confirmed that the 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.

Keywords: offloading, mobile data, delay tolerant data, user mobility

¹ 静岡大学大学院総合科学技術研究科
Graduate School of Integrated Science and Technology,
Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka 432–8011, Japan
² 静岡大学情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University, Hamamatsu,
Shizuoka 432–8011, Japan
³ 株式会社 KDDI 総合研究所
KDDI Research, Inc., Fujimino, Saitama 356–8502, Japan
a) mineno@inf.shizuoka.ac.jp

1. はじめに

スマートフォンの性能向上やモバイルネットワークを利用する Machine-to-Machine (M2M) の登場で, モバイルデータ通信の需要が急速な勢いで増加している [1]. このため, 今後ますます大量のモバイルデータトラフィック (以下, トラフィック) を効率的にネットワークへ収容するこ

とが重要となる。特に M2M では、定期的に撮影した画像データや動画データをクラウドサーバへアップロードするライブログカメラやドライブレコーダ、クラウド上のデータとの同期など、マイクロ SD カードなどのローカルストレージを保持することを想定し 1 日程度の遅延耐性を持つアプリケーションは少なくない。このように、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 [2]。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 [3], [4]。トラフィックを効率的に収容するためには、携帯電話基地局（eNB: evolved Node B）など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、トラフィックの収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。

以上に示した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 つの背景をふまえ、トラフィックの収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）が提案されている [5]。MDOP は、通信設備の負荷が高い時間帯や地域において、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の解消を目的とする。本稿では特に、空間的局所性を解消する「空間的オフローディング」に焦点を絞り基礎検討と評価を実施した。

以下、本稿の構成を述べる。2 章で関連研究、3 章で MDOP の空間的オフローディング手法の詳細を説明し、4 章で基礎評価、5 章で応用評価の結果を述べ、6 章で本稿をまとめる。

2. 関連研究

ここでは、eNB 間の負荷のばらつきを抑えて空間的局所性を解消する手法に焦点を絞って関連研究を整理する。主な手法として、異なる半径を持つ eNB を重ねて設置し、動的に接続する eNB を変更することで空間的に負荷を分散させる Heterogeneous Network (HetNet) [6] が提案されている。HetNet では、1 つのセル範囲が広域のエリアをカバーするマクロセルに、カバー範囲が狭域なフェムトセルやピコセルなどを重ね合わせることで、UE の移動状況や電波の強度に応じて使用する LTE ネットワークを選択する。選択可能な eNB 台数が増加するため、トラフィックの空間的局所性を複数の eNB に分散できる。一方、同一周波数を使用するセルどうしの重なりで干渉が発生するため、各 eNB の位置や設定に十分注意しなければ能力を活用しきれない。

HetNet を実現する具体的な技術として、Self-Organizing

Network (SON) [7] がある。SON は、自動構成、自動最適化、自動修復といった機能を持ち、eNB などの通信設備を追加する際の作業効率向上を目的として、すでにいくつかの通信キャリアが導入を進めている。SON の技術の中で特に自動最適化の機能として負荷分散の最適化手法を実現する Mobility Load Balancing (MLB) [8] がある。MLB は、UE が接続している eNB の負荷状況と、隣接する eNB の負荷状況を比較し、高負荷な eNB に接続している UE を、低負荷な eNB にハンドオーバーさせ、空間的な eNB 負荷の偏りを解消する。ユーザの移動特性にも依存するが、現実的な移動を模擬したネットワークシミュレーション評価で、MLB 適用による空間的局所性の解消を確認できている。

その他の空間的局所性を解消する手法として、Load balancing, with the consideration of different QoS requirements and channel state services (LBQC) [9] が提案されている。LBQC は、QoS 要求を持つ UE、QoS 要求を持たない UE など、UE ごとに異なる QoS 要求に対して、eNB の負荷状況と異なる QoS を考慮し、ハンドオーバーとネットワークリソースの割当てを行う手法である。ただし、コンテンツデータの遅延耐性に着目した処理は行っていないため、今後普及が見込まれる M2M でやりとりするデータの遅延耐性を活かした通信の高効率化も可能であると考えられる。また、UE の将来の移動も未考慮のため、移動ノードであれば将来接続する eNB への負荷分散も可能と考える。

一方、遅延耐性データを前提とし固定通信網へ迂回するアプローチとして、遅延耐性通信 (Delay Tolerant Network: DTN) を用いる手法がある [10], [11]。DTN では、宛先端末とただちに通信できない遅延耐性データをいったんローカルストレージに蓄積し、送信先デバイスとの通信が可能になったら蓄積しておいた遅延耐性データの送信を再開する手法である。コンテンツデータをいったん蓄積することで、通信路が一時的に断絶されるような場合でもデータ到達率を向上させられる。この遅延耐性通信を用いて空間的局所性を解消するためには、接続中の eNB と他の eNB の将来負荷状況などを考慮した制御を検討する必要がある。

本研究では、UE の接続予定 eNB や eNB 負荷状況などを考慮し、遅延耐性データを用いて eNB の空間的局所性の解消を行う空間的オフローディングの制御手法を検討する。

3. MDOP: Mobile Data Offloading Protocol

3.1 概要

MDOP [5] は、マイクロ SD カードなどのローカルストレージを保持する M2M デバイスを想定し 1 日程度の遅延耐性を持つ遅延耐性データに対して、将来の接続予定 eNB の情報やコンテンツの遅延可能時間、将来接続可能な Wi-Fi AP の情報を用いて送信レート制御することで、通信の時間的局所性と空間的局所性の解消を目指す。MDOP

は、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送信レート制御できるようプロトコルスタックの下位層で実装することもできるが、本稿では議論を容易にするために、まずはアプリケーション層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信する遅延耐性データの送信レートを制御することでオフローディングを実現する方法を想定する。MDOP では 3 種類のオフローディング手法を想定しており、LTE や 5G, WiFi といった異種モバイル通信路の切替えによってモバイル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」によって、通信路・空間・時間の順にオフローディング条件を確認し送信レートを調整する。実行可能なオフローディング手法がない場合や、遅延耐性データが遅延耐性時間を超過した場合は、MDOP 対象データも通常データとして扱いその時点の最大送信レートで通信する。

MDOP は、LTE の既存ネットワークアーキテクチャ [12] における Core Network (CN) へ MDOP サーバを追加し集中制御型にすることで、既存の仕組みに容易に導入できる。UPCON [13] の制御方法と同様に、定期的に eNB の負荷情報 (RCI: RAN user plane Congestion Information) を CN 内の MDOP サーバが収集することで、MDOP サーバは RCI から得られる eNB 負荷情報と UE から定期的に届く制御情報 (UE-beacon) を集約し、UE やデータサーバへ制御情報を提供することで、データ送信側で送信レート制御が可能となる (詳細は文献 [5])。本稿では、ローカルストレージを持つドライブレコーダなどで撮影された動画像を MDOP によって周期的にクラウドサーバへバックアップするような用途を想定して、空間的オフローディング手法の有効性を検討する。

図 1 に MDOP のアップロード時のフローを示す。たとえば、UE 内のアプリケーション層の下位に実装された MDOP は、まずアプリケーション層で生成された MDOP の制御対象のコンテンツデータを受け取った際に、コンテンツデータを一時的に MDOP 専用のコンテンツキューへ蓄積する。ここで、MDOP の制御対象でない通常データの場合、コンテンツキューに蓄積せず即座に下位層へ送信する。MDOP 専用のコンテンツキューへの蓄積と並行して、送信元アドレス・ポート、接続 eNB、コンテンツの遅延耐性時間、コンテンツの蓄積量、現在の送信レートの情報を含めた UE の「端末情報」を生成し、MDOP サーバへ周期的に送信する。この周期が長ければ送信レート制御に使用する情報の正確性にタイムラグが生じ、短ければ MDOP サーバの負荷が増大するが、適切な周期については今後の課題とする。

端末情報を受け取った MDOP サーバは、他の UE から送られてきた全端末情報と、並行して収集している全 eNB

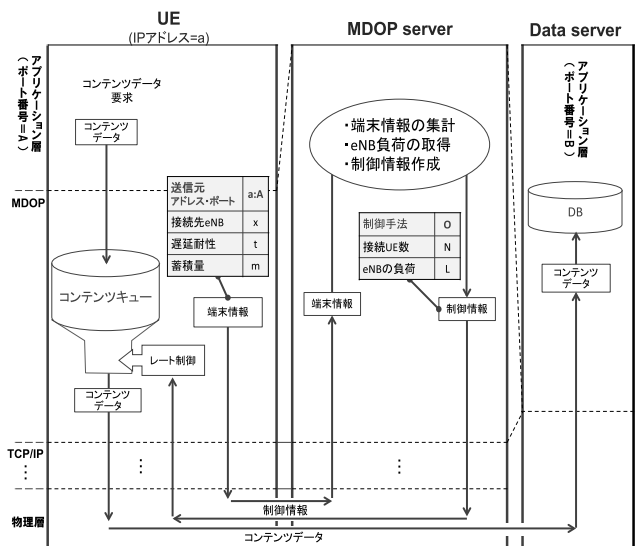


図 1 アップロード時の動作フロー
Fig. 1 Processing flow of contents uploading.

の負荷情報を集約するものとする。MDOP サーバは、これらの情報をもとに各 UE のオフローディング手法を決定し、オフローディング手法、接続している eNB の接続 UE 数、eNB の負荷を「制御情報」として各 UE へ送信する。各 UE は、MDOP サーバから受け取った制御情報をもとに送信レートを決定し、コンテンツキューからトランスポート層へコンテンツデータを送出する。ここで、MDOP のダウンロード時を考えると、MDOP サーバの機能は全データサーバに搭載されることが理想的であるが、MDOP サーバの機能を通信キャリアの管理が及ばない全データサーバへ対応させるのに期間を要する。そこで、UE が MDOP に対応していないデータサーバとの通信を行う MDOP 普及の過渡期は、MDOP サーバがプロキシサーバのように通信を仲介し、データサーバの代わりに MDOP サーバが送信レート制御を行うものとする。MDOP サーバの負荷集中に関しては、階層型システム構造による対応を想定しているが、詳細な実現方法は今後の課題とする。

時間的オフローディングでは、eNB の負荷が理想負荷を超過する過負荷状態の eNB に対して、MDOP が対象とする遅延耐性コンテンツデータを遅延送信することで、接続している過負荷状態の eNB 負荷をピークシフトする。文献 [5] では、eNB 負荷を理想負荷に近い状態に抑制するだけでなく、送信レートの急激な変化を抑える送信レート制御手法を提案し評価した。また文献 [14] では、複数 UE 間の送信レートのフェアネスや、コンテンツの遅延耐性を考慮した時間的オフローディングの送信レート制御手法を提案し、UE 間のフェアネスを考慮しつつ遅延耐性切れとなる遅延耐性データの発生頻度を抑える手法を検討した。

3.2 空間的オフローディング

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。将来のユーザ移動を予測する手法として、決定論的モデルと確率論的モデルを用いる手法[15]や、ユーザの緯度・経度に加え、曜日や気象状況、時刻などの環境情報を考慮して、ユーザの移動モデルを作成する手法[16]が提案されている。また昨今の自動運転技術の研究開発によって、目的地を設定すれば自動運転で移動する技術[17]の確立が期待できる。そこで、以上のような移動予測技術や自動運転技術の利用を想定し、目的地までにUEがどのeNBと接続する可能性が高いのか移動予定経路が判明していることを前提とすることで、本稿ではまずは遅延耐性コンテンツデータを用いた空間的オフローディング手法自身の効果がどの程度ありうるかの基礎検討に焦点を絞った。

つまり、以上のよう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、図1中の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る。ここで、接続予定eNBの算出には、UE位置情報とeNB位置情報を用いることとし、一定時間ごとのUE位置情報(時刻, X座標, Y座標)を列挙したものを移動予定経路情報とする。

3.3 送信レート制御アルゴリズム

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、

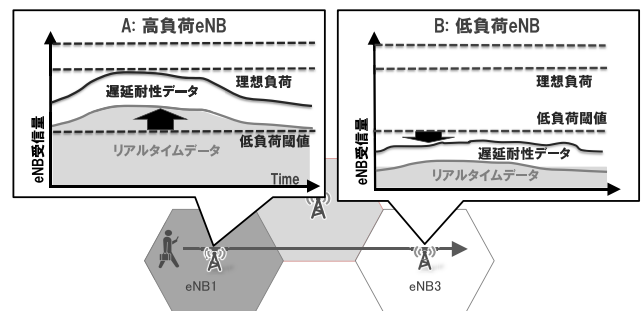


図2 空間的オフローディング実施の条件
Fig. 2 Conditions of place-wise-offloading.

直線距離の最も近いeNBを選択するものとする。

図2に空間的オフローディング実施の条件を示す。空間的オフローディングでは、図2左に示すような接続中eNBが高負荷であるという条件Aと、図2右に示すような接続予定eNBが低負荷であるという条件Bの両方を満たしたときに、UEが現在接続している高負荷eNBで通信を行わず、接続予定の低負荷eNBに接続してから通信する。高負荷eNBを示す条件Aでは、遅延耐性のないリアルタイムデータを低負荷閾値と比較し、接続中eNBのリアルタイムデータが低負荷閾値を超えていた場合は、接続中eNBを高負荷eNBと判断する。一方、条件Bでは、接続予定eNBにおいて、MDOP対象の遅延耐性データと遅延耐性のないリアルタイムデータの合計受信量が低負荷閾値を下回っていた場合に低負荷なeNBであると判断する。移動予定経路上のすべての接続予定eNBが高負荷である場合は、空間的オフローディングの条件Bを満たすeNBが存在しないため時間的オフローディングを適用する。

単純な条件の中で空間的オフローディングがどの程度有効なのかを検証するため、データの優先度や蓄積時間などは考慮せず単にUE間で平等に通信リソースを分け合うような単純な送信レート制御式を考える。時間的オフローディング時の送信レート制御式(1)では、 UE_i の送信レート r_i 、eNBの理想負荷 T_{Ideal} 、eNBのリアルタイムデータの受信量 L_{real_time} 、時間的オフローディングのUE数 N とし、 $T_{Ideal} - L_{real_time}$ で理想負荷までの遅延耐性データが占有できる通信量を求め、通信するUE数 N で割る手法である。一方、空間的オフローディング時の送信レート制御式(2)は、高負荷eNBでの通信を抑制するため、 UE_i の送信レート r_i は0とする。

$$r_i = \frac{T_{Ideal} - L_{real_time}}{N} \tag{1}$$

$$r_i = 0 \tag{2}$$

4. 基礎評価

4.1 実験環境

基礎評価では、ネットワークシミュレータ上で実装したMDOPの空間的オフローディング手法が正しく動作する

表 1 MDOP の設定値

Table 1 Parameters of MDOP.

項目	設定値
UE-beacon 送信間隔	1 s
移動経路の座標間隔	60 s
データの最大蓄積量	無限大
eNB の最大受信量	2.7 Mbyte/s
理想負荷	2.16 Mbyte/s (最大受信量の 80%)
低負荷閾値	1.35 Mbyte/s (最大受信量の 50%)

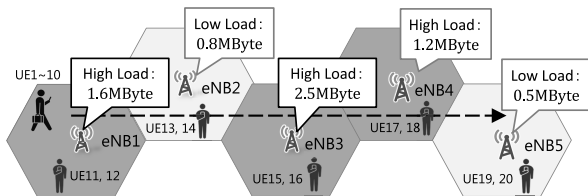


図 3 基礎評価のトポロジ

Fig. 3 Topology for basic evaluation.

かの検証を行った。検証は LTE モジュールを搭載したネットワークシミュレータ Scenargie [18] 上で実施した。空間的オフローディングの検証を行うために、UE が高負荷な eNB を経由し、低負荷な eNB へ移動する単純なシナリオを設定した。なお、本稿では時間的と空間的オフローディングで得られる効果について焦点を絞った評価を目的とし、すでに実環境で活用されている通信路的オフローディングについては実装していない。

表 1 に本基礎評価で設定した MDOP の設定値を示す。UE-beacon の送信間隔は RCI の送信間隔と同じ 1 秒に設定した。また、移動経路の座標取得間隔は、接続予定 eNB を検出できる頻度にする必要があるため、今回設定したシナリオで移動する UE が 1 つの eNB を通過するのに要する時間 240 s 以下となる 60 s に設定した。UE の生成データの最大蓄積量は、オフローディング手法と送信レート制御の動作を確認しやすくするため、UE 上の MDOP アプリケーションの記憶容量不足でデータが消えないよう無限大に設定した。eNB の最大受信量は、UE の最大送信量の 10 倍の 2.7 Mbyte/s を暫定的に設定し、理想負荷と低負荷閾値を、それぞれ eNB の最大受信量の 80% である 2.16 Mbyte/s と 50% である 1.35 Mbyte/s とした。

図 3 に基礎評価のトポロジ、表 2 に基礎評価シナリオの設定値を示す。基礎評価シナリオでは MDOP を搭載した 10 台の UE が、eNB1 から eNB5 まで移動する。10 台の UE それぞれの移動開始タイミングは、3 台、4 台、3 台の順に 30 秒間隔で移動開始し、各 UE の移動速度は 5 km/h で 1 つのセルを 240 秒かけて通過するものとする。通過する各 eNB では、遅延耐性のないリアルタイムトラフィックとして文献 [19] に示すバックグラウンド負荷のトラフィックを設定した。空間的オフローディングが適用されるバックグラウンド負荷として、eNB1 は 1.6 Mbyte/s、eNB3 は

表 2 基礎評価シナリオの設定値

Table 2 Parameters for basic scenario.

項目	設定値
シミュレーション時間	1800 s
MDOP 対象の UE 数	全 20UE
移動 UE : UE1~UE10	10 台
滞在 UE : UE11~UE20	10 台
移動速度	5 km/h
UE の最大送信レート	270 Kbyte/s
データサイズ	2.7 Mbyte
データ生成間隔	30s
eNB 数 : eNB1~eNB5	5 台
バックグラウンド負荷	(Mbyte/s)
eNB1, eNB2, eNB3	1.6, 0.8, 2.5
eNB4, eNB5	1.2, 0.5

表 3 通信環境の設定値

Table 3 Parameters of communication.

項目	設定値
TCP	New Reno
LTE	UPLINK: LTE-Macro DOWNLINK: LTE-Macro
周波数帯	2.0 GHz
UE 送信電力	24 dBm
eNB 送信電力	48 dBm

2.5 Mbyte/s、eNB4 は 1.2 Mbyte/s を設定することで高負荷 eNB とし、eNB2 は 0.8 Mbyte/s、eNB5 は 0.5 Mbyte/s を設定することで低負荷 eNB とした。また、MDOP を搭載した移動しない滞在 UE が時間的オフローディングを適切に実施し、送信レートを適切に制御できているか確認するため、各 eNB (eNB1~eNB5) に 2 台ずつ移動しない滞在 UE (UE11~UE20) を設置した。UE で動作させる MDOP 対応アプリケーションとして、500 万画素のデータを定期的に生成するライフログカメラ [19] を想定し、30 秒ごとに 2.7 Mbyte のデータを生成するようにした。また、MDOP によって蓄積されたコンテンツが送信される際、連続したデータ送信を確認するため、データを 10 秒で送りきれるよう UE の最大送信レートを 270 Kbyte/s とした。

表 3 に通信環境の設定値を示す。TCP のフロー制御は Scenargie に実装されているデフォルト設定値の New Reno [20] を採用した。また、LTE 環境のような広域エリアアップリンクでのオフローディングを想定しているため、Scenargie に実装されている LTE-Macro を利用し、実際にアップリンクで割り当てられている周波数帯や 3GPP 推奨値 [21] を参考に周波数帯、UE、eNB 送信電力を設定した。

4.2 実験結果

ネットワークシミュレータへ実装した MDOP の空間的オフローディングが問題なく動作するか検証するため、MDOP の制御によって高負荷 eNB のデータ受信量を理想負荷以下に抑えられるか、また UE の送信量を前節で示した送信レートに従って制御できているか、MDOP の制御なしと、MDOP の空間的オフローディングの結果を比較

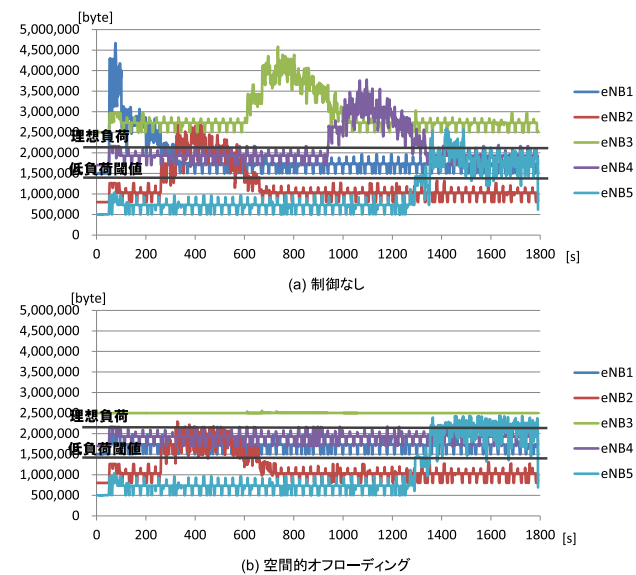


図 4 各 eNB のネットワーク層における受信量
Fig. 4 Received data at each eNB's network layer.

した。

図 4 に各 eNB のネットワーク層でのデータ受信量の制御なしの結果 (a) と、空間的オフローディングの結果 (b) を示す。制御なしの結果 (a) から、移動 UE が高負荷な eNB に接続している時間帯である eNB1 の 0s~400s, eNB3 の 600s~1,000s, eNB4 の 1,000s~1,400s では、データ受信量が理想負荷を大きく上回っており、eNB1, eNB3, eNB4 では eNB 負荷受信量が表 1 の設定値で想定した単位時間あたりの eNB 最大受信量 2.7Mbyte/s を上回っている高負荷 eNB であることが確認できる。一方、空間的オフローディングの結果 (b) では、バックグラウンド負荷で理想負荷を上回ってしまっている eNB3 を除き、高負荷だった eNB1 と eNB4 は理想負荷 2.16 Mbyte/s 内に抑えられている。また、0.8 Mbyte/s と 0.5 Mbyte/s というバックグラウンド負荷を設定した低負荷 eNB2 と eNB5 では、移動 UE が接続する時間、つまり eNB2 では 500s~700s, eNB5 では 1,500s~1,800s で eNB の受信量が若干増加し、おおむね理想負荷付近まで MDOP 対象のデータ受信に割り当てられていることが確認できる。本基礎評価では、UE のデータ最大蓄積量を無限大とするだけでなく遅延耐性切れも生じない条件で空間的オフローディングの基本的な動作検証を実施した。そのため、制御なしの結果 (a) で遅延耐性データによって eNB の最大受信量 2.7Mbyte/s を超過していたトラフィックは、空間的オフローディングの結果 (b) で示されるシミュレーション時間 1,800s 内ですべて受信しきれないが、全トラフィックをシミュレーション時間内に送信できることが MDOP の目的ではなく、移動予定経路上の低負荷 eNB へ空間的に負荷分散させることが目的であり、空間的オフローディングを実現する送信レート制御の実装に問題ないことを確認できた。本研究で想定

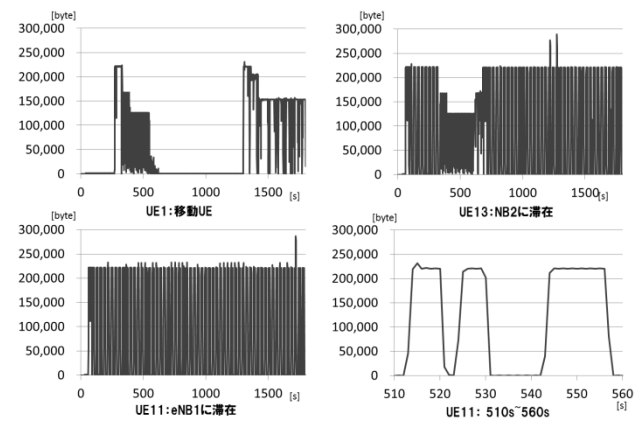


図 5 UE のネットワーク層における送信量
Fig. 5 Sent data at UE's network layer.

する 1 日程度の遅延耐性を持つ遅延耐性データに対して、時間的・空間的オフローディングによって蓄積された遅延耐性データを遅延耐性時間内にすべて送信しきれない状況は、その残量を許容できるように eNB の増設で対応すべき状況といえるため本研究の対象外とする。

図 5 に UE のネットワーク層における送信量を示す。移動 UE1 では、高負荷 eNB に接続している時間の 0s~250s, 600s~1,300s では通信を行わず、低負荷 eNB に接続している時間の 250s~600s, 1,300s~1,800s で通信を行っていることが分かる。250s~600s で低負荷 eNB 接続中に送信量が変化するのは、10 台の移動 UE が異なるタイミングでハンドオーバーし、接続中の UE 数に合わせて送信レートを算出しているためである。図 5 の左下に示す高負荷 eNB1 に接続している滞在 UE11 の結果では、高負荷 eNB1 に接続されている移動 UE の移動経路上に低負荷 eNB があるため空間的オフローディングが移動 UE で適用され、eNB1 と通信する UE は滞在 UE11 と UE12 のみとなる。そのため、移動 UE が eNB1 に接続中の 0s~250s では移動 UE は通信を行わず、滞在 UE11 が時間的オフローディングの送信レート制御によって eNB1 へ最大送信レートで送信していることが確認できる。また、図 5 の右上に示す低負荷 eNB2 に接続している滞在 UE13 も移動しないため、時間的オフローディングのみが適用され、データ送信可能なときに eNB2 へ最大送信レートで送信している。ただし、250s~600s の時間帯では移動 UE が eNB2 に移動して接続するため、接続している移動 UE 数に合わせて滞在 UE13 のデータ送信量が制御されていることが確認できる。

図 5 で示した各 UE の送信量が頻繁に大きく増減している原因に関して分析する。例として、図 5 の右下に高負荷 eNB1 に接続する滞在 UE11 の送信量について 510s~560s を拡大したものを示す。滞在 UE11 の 545s~555s にかけての送信量の推移から、545s にデータが生成され、10 秒かけて生成された全データを送信し、555s からは 30 秒

間隔で生成されるデータを待っていることが分かる。また、滞在 UE11 の 520s で発生している送信量の一次的な大幅な減少は、各 UE がハンドオーバーのチャネルスキャンのために受信チャネルを他のチャネルに切り替えている最中に TCP の ACK を受け取ることができないというネットワークシミュレータの仕様によるパケットロスと、隣接する eNB 間に存在する複数 UE の通信時の電波干渉によるパケットロスが原因であった。使用したネットワークシミュレータにおけるハンドオーバー処理の改良は今後の課題とする。

5. 応用評価

5.1 実験環境

応用評価では、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。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文献 [22] で提案評価した手法を用いて、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。図 6 にネットワークシミュレータへ設定した阿佐ヶ谷駅周辺のトポロジを示す。このエリアは、中央の赤い線が電車の路線であり、各 eNB は分析しやすいよう約 1000m ごとに設置することとした。トポロジは、Scenargie の GIS インポート機能を利用し Open Street Map [23] で提供されている阿佐ヶ谷の GIS データをインポートすることで、UE は GIS 上の道路に沿って移動可能となる。空間的オフローディングの効果を分析するため、UE のモビリティモデルは、駅周辺から郊外への移動が多く再現できていた 18 時から 19 時までの 1 時間の帰宅時間を設定することとした。

モビリティモデルの詳細を表 4 に示す。本エリア内に滞在する滞在 UE を全 UE の約 75% とし、初期位置として本エリア内に一様分布で配置した。移動する UE は、エリア内や東西に設定した発着点からシミュレーション時間のランダムな時刻に移動を開始し、エリア内のランダムな場所または東西の発着点まで移動し、目的地に到着後はシミュレーションが終わるまでその場に滞在するよう設定した。

表 5 に応用評価のシナリオ設定値を示す。アプリケーションのモデルと UE の最大送信レートは基礎評価で使用した表 2 の設定値を用いた。eNB の最大受信量は文献 [24] で示されている Uplink のセルスループット 0.74b/sec/Hz/cell において、60 MHz 分の帯域を利用すると仮定して算出し

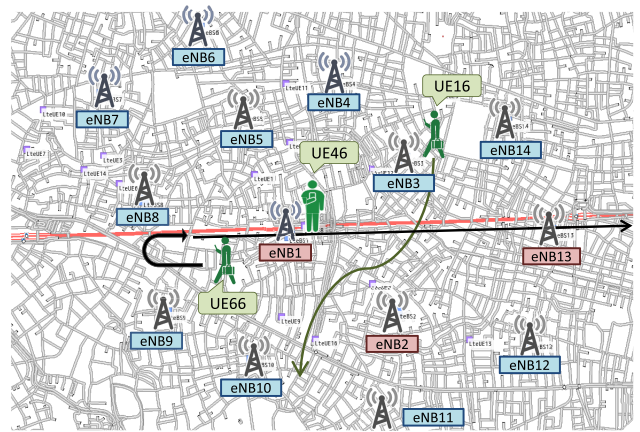


図 6 応用評価のトポロジ

Fig. 6 Topology for applied scenario.

表 4 モビリティモデル

Table 4 Mobility model.

項目	設定値
滞在 UE	75 %
東・西から流入	15 %
東・西へ流出	5 %
エリア内での移動	5 %
電車の速度	40 km/h
徒歩の速度	4 km/h

表 5 応用評価のシナリオ設定値

Table 5 Parameters for applied scenario.

項目	設定値
シミュレーション時間	3600 s
MDOP 対象の UE 数	90 台
滞在 UE 数, 移動 UE 数	68 台, 22 台
UE の最大送信レート	270 Kbyte/s
データサイズ	2.7 Mbyte
データ生成間隔	30s
eNB 数: eNB1~eNB14	14 台
eNB の最大受信量	5.6 Mbyte/s
バックグラウンド負荷	(Mbyte/s)
eNB1, eNB2, eNB3, eNB4	4.3, 4.1, 3.1, 3.0
eNB5, eNB6, eNB7, eNB8	2.9, 2.9, 3.2, 3.2
eNB9, eNB10, eNB11	1.8, 1.5, 0.6
eNB12, eNB13, eNB14	3.3, 4.3, 2.5

た 5.6 Mbyte/s を設定した。UE 数は、エリア全体の eNB の最大受信量の 1 割に相当するデータを想定し 90 台を設定した。この 90 台の UE のモビリティモデルは、実環境のユーザのモビリティと同様な表 4 の割合に従って、約 75% の滞在 UE として 68 台、残り 22 台を移動 UE として設定した。通信環境は、基礎評価で使用した表 3 の設定値を用いた。また、リアルタイムトラフィックを想定したバックグラウンド負荷を、MDOP 搭載の UE が生成するトラフィックとは別に eNB へ設定した。具体的には、表 5 のモビリティモデルで事前に実行したシミュレーションで得られた各 eNB の平均負荷を、各 eNB のバックグラウンド負荷とした。

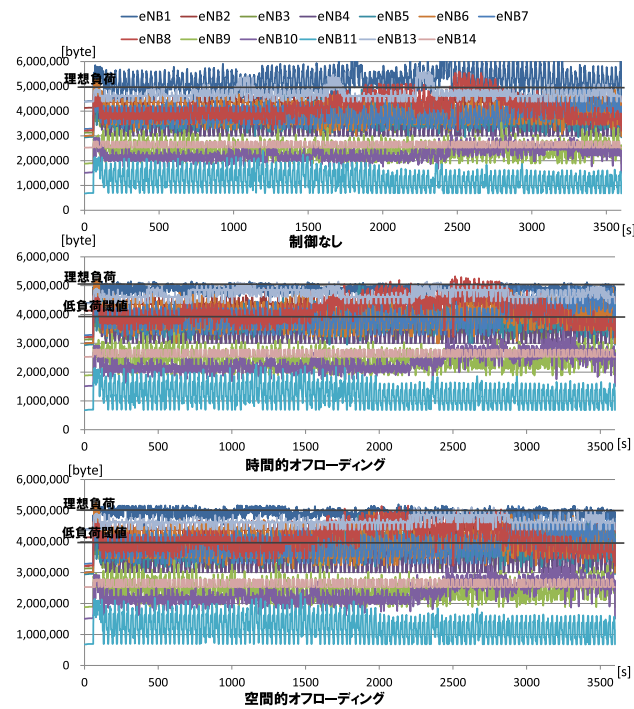


図 7 各 eNB の受信量 (応用評価)

Fig. 7 Receive data at each eNB (applied scenario).

MDOP の設定値は、表 1 で示した値を用いたが、MDOP の制御閾値における理想負荷は、多くのトラフィックを収容できるように eNB の最大受信量の 90%、低負荷閾値は駅前に設置されている eNB1, eNB2, eNB13 が高負荷となるよう eNB の最大受信量の 70% に設定した。eNB の負荷の状態は、図 6 で赤く示した eNB1, eNB2, eNB13 が高負荷 eNB、青で示した残りの eNB が低負荷 eNB である。

5.2 実験結果

制御なしの結果、時間的オフローディングの結果、空間的オフローディングの結果として、各 eNB のネットワーク層の受信量の推移を図 7 に示す。制御なしと時間的と空間的オフローディングの結果を比較すると、制御なしでは 5 Mbyte に設定した理想負荷を上回るトラフィックが発生しているのに対し、時間的と空間的オフローディングでは理想負荷に受信量を抑えられていることが確認できる。

また、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表 6 に示す。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した。

まず、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

表 6 各 eNB の受信量の比較

Table 6 Comparison of received data among eNBs.

(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%

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。一方、高負荷 eNB1 と eNB2 のデータ受信量が時間的オフローディング (各 1,759 MB, 804 MB) と空間的オフローディング (各 1,871 MB, 776 MB) であまり変化しなかった理由は、空間的オフローディングの実行で削減されたデータ受信量を、時間的オフローディングを行う滞在 UE が使用したためである。また、高負荷 eNB1 で制御なしのデータ受信量 2,981 MB に対して、時間的オフローディングのデータ受信量が 1,759 MB となり 59%まで削減でき、空間的オフローディングのデータ受信量も 1,871 MB となり 63%まで大きく削減された理由は、制御なしでは eNB1 のデータ受信量が理想負荷を上回っていたが、MDOP のピークシフト制御によってデータ受信量を理想負荷内に抑えることができた結果である。ここで、制御なしのシミュレーションで生成された全遅延耐性データは、時間的および空間的オフローディングの適用によってピークシフト制御されるだけであり、本シミュレーション時間内ですべてのトラフィックを送信しきれていない。MDOP の目的は、1 日程度の遅延耐性を持つ遅延耐性データを用いて時間的もしくは空間的に日変動内で低負荷となる eNB を効果的に用いたピークシフト制御によって、eNB を増設しなくても既存インフラ内でトラフィックを収容できるようにすることである。蓄積された遅延耐性データを 1 日程度の遅延耐性時間内ですべて送信しきれない状況は、その残量を許容できるよう eNB の増設で対応すべき状況のため本研究の対象外とする。

次に低負荷なバックグラウンド負荷を設定した低負荷 eNB について考察する。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。図 8 に時

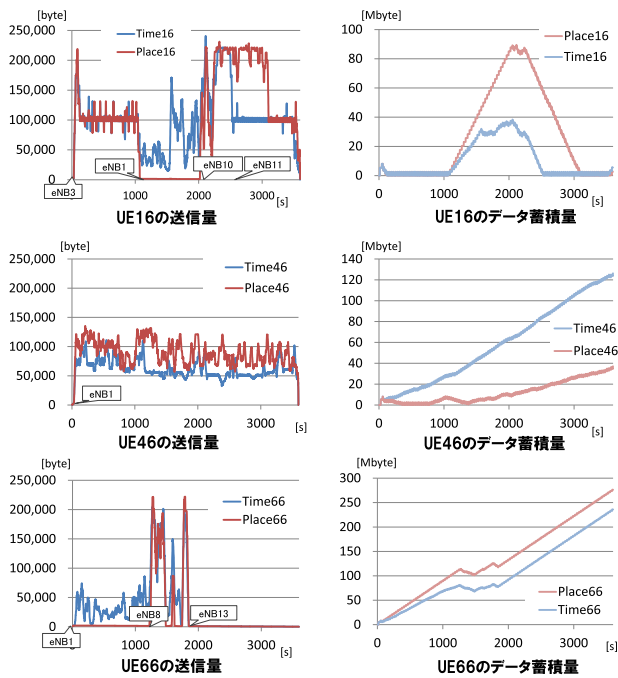


図 8 UE の送信量と蓄積データ量
Fig. 8 Amount of Sent data and stored data.

間的オフローディングと空間的オフローディングにおいて特性の分かりやすかった代表的な UE16, UE46, UE66 の送信量とデータ蓄積量を示す. ここで, 前述のハンドオーバー時のパケットロスで各 UE の送信量を分析しにくかったため, 30 秒の移動平均でグラフ化することとし, 時間的オフローディングのグラフを青色 (Time xx), 空間的オフローディングのグラフを赤色 (Place xx) とした. また, UE16, UE46, UE66 の移動概要を図 6 に示す.

まず低負荷 eNB3 から高負荷 eNB1 と高負荷 eNB2 を通過して低負荷 eNB10 に接続する UE16 に着目する. 0s~1,000s の期間では, 低負荷 eNB3 に接続しているため, Time 16, Place 16 とともに時間的オフローディングが適用され低負荷 eNB3 の接続 UE 数に合わせた送信レート制御が行われた. 1,000s~2,000s の間は, 高負荷 eNB1 と高負荷 eNB2 を通過している期間であり, UE16 は将来的に低負荷 eNB10 に接続するため, Place 16 は空間的オフローディングによって通信が抑制され, UE16 のデータ蓄積量が徐々に増加していることが分かる. 一方, Time 16 は, 式 (1) で算出した送信レート式を適用しながら時間的オフローディングによる通信を継続している. その後, 2,000s 以降の低負荷 eNB10 に接続した後は, Place 16 は送信を再開し, 3,000s までの間, Time-16 よりも高い送信レートで蓄積された遅延耐性データを送信している. データ蓄積量も Place 16 は 2,000s 以降にデータ蓄積量が減少し, 3,000s には蓄積した遅延耐性データを送信し終えていることが分かる. 以上から, UE16 に関しては, 時間的および空間的オフローディングとともに最終的な総送信データ量は等しいが, 時間的オフローディングでは低負荷 eNB で将来

的に送信が可能にもかかわらず高負荷 eNB で送信を行っているのに対し, 空間的オフローディングでは高負荷 eNB での送信を抑制し移動後の低負荷 eNB へピークシフト制御が行われている. このことから, 高負荷 eNB を経由して低負荷 eNB へ移動する移動 UE に対しては空間的オフローディングが有効であり, 空間的局所性を解消できることが分かる.

次に, 高負荷 eNB1 で滞在している滞在 UE46 に着目し考察する. 送信量を比較すると Place 46 が Time 46 を若干上回っており, シミュレーション時間内で蓄積された遅延耐性データ量も Place 46 の方が Time 46 に比べて少ないことから, 空間的オフローディングの方が時間的オフローディングに比べて多くの遅延耐性データを送信できているといえる. 時間的オフローディングでは, 遅延耐性データに使用可能な通信量を等分割で送信レート制御するのに対し, 空間的オフローディングでは高負荷 eNB1 を通過する移動 UE が高負荷 eNB1 での通信を抑制する空間的オフローディングを行うため, 低負荷 eNB へ移動予定の移動 UE が使用していた送信レートの分だけ, eNB1 に滞在している滞在 UE に割り当てられたことで空間的オフローディングの方が時間的オフローディングに比べて送信量が多くなり, 最終的に蓄積したデータ量が少なくなったといえる. このことから, 空間的オフローディングによって高負荷 eNB に滞在している滞在 UE は, 低負荷 eNB へ移動予定の移動 UE の影響を受けなくなり, 時間的オフローディングに比べて多くのデータを送信可能になることが分かった.

最後に, 高負荷 eNB1 から低負荷 eNB8 を通過して高負荷 eNB1, eNB2, eNB13 を通過する UE66 に着目して考察する. 0s~1200s の期間は, 高負荷 eNB1 に接続しているが, 将来的に低負荷 eNB8 と eNB3 に接続予定であるため, 空間的オフローディングを示す Place 66 は送信を行っていないことが確認できる. 1200s~2000s の期間では, 移動 UE66 は低負荷 eNB8, eNB3 に接続するため, Time 66, Place 66 とともに通信を行っている. 一方, 2000s 以降では, 移動後に接続する高負荷 eNB1, eNB2, eNB13 が理想負荷を超えているため, Time 66, Place 66 とともに通信を行わず, UE66 の遅延耐性データのデータ蓄積量が徐々に増加している. Place 66 の方が若干多くの遅延耐性データを蓄積しているのは, 低負荷 eNB3 に短い時間しか滞在することができず, 低負荷 eNB3 接続中に蓄積したデータの送信を完了することが困難だったためである. つまり, 本稿で提案した空間的オフローディング手法の送信レート制御では, UE66 のように低負荷 eNB に短い時間しか接続せず, 蓄積したデータ量が低負荷 eNB 接続中に送信しきれない状況には, 時間的オフローディングに比べて, 遅延耐性データの蓄積量が多くなるという課題が明らかとなった.

以上から, 空間的オフローディングの有効な UE の状況

に関して検証することができた。ただし、エリア内での空間的オフローディングの有効性に関して、本シナリオでは移動する UE が 22 台であり、空間的オフローディングの条件を満たす UE が数台のため、空間的オフローディングの効果は大きくないと考える。MDOP 対象の移動 UE 数を増加させれば、高負荷 eNB での通信を抑制し、低負荷 eNB で通信を行う移動 UE 数が増加するため、空間的オフローディングの効果をさらに期待できる。一方で、現時点での送信レート制御手法は空いている通信量を全接続 UE 数で等分割するため、接続 UE 数が増加することで各 UE に割り当てられる通信量が少なくなり、滞在 UE が遅延耐性時間内にデータ送信を行うことが困難な状況が考えられる。そのため、空間的オフローディングの効果が高くなる移動 UE のモビリティモデルや、遅延耐性データの割合やトラフィックモデルなど様々な条件で詳細な検証を行う必要がある。これら複雑シナリオでの評価は今後の課題とする。

6. おわりに

本研究では、遅延耐性データを用いてトラフィックの収容効率向上を実現する MDOP において、空間的局所性を解消する空間的オフローディングの具体的な処理、送信レート制御手法を検討し、通信端末の移動を考慮したモバイルデータオフローディング手法を提案した。空間的オフローディングでは、UE の移動予定経路上の各 eNB の負荷に応じて遅延耐性データの送信レート制御を行う。

MDOP における空間的オフローディングの有効性を検証するため、8 割の UE が滞在し、2 割の UE が移動する実環境のモビリティを再現したネットワークシミュレーションで評価を行った。分析の結果、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、移動 UE は低負荷 eNB で通信するピークシフト制御できることが確認できた。今後、空間的オフローディングが実環境に対して有効であることを示すために、移動 UE の流入出だけでなく効果の高いモビリティモデル、遅延耐性データの割合や遅延耐性時間、異なる特性を持った遅延耐性データといった多様なトラフィックモデル、MDOP 普及過渡期を想定した MDOP 対象 UE の割合の影響など様々な条件で詳細な検証を進める。さらに、今回の応用評価で明らかとなった低負荷 eNB への接続時間を考慮した空間的オフローディングのための送信レート制御手法などアルゴリズムの改良を進める。

謝辞 本研究は、科研費基盤研究 B (26280028, 17H01730) により実施したものである。

参考文献

- [1] Cisco: Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021, available from (<http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/>
- service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.pdf) (accessed 2017-07-21).
- [2] Biral, A., Centenaro, M., Zanella, A., Bangelista, L. and Zorzi, M.: The challenges of M2M massive access in wireless cellular networks, *Digital Communications and Networks*, Vol.1, No.1, pp.1–19 (2015).
- [3] 総務省:平成 27 年度版情報通信白書 | 電気通信の利用状況, 入手先 (<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/nc372220.html>) (参照 2017-07-21).
- [4] 総務省:電波政策ビジョン懇談会ヒアリング資料 (NTT ドコモ), 入手先 (http://www.soumu.go.jp/main_content/000282114.pdf) (参照 2017-07-21).
- [5] 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, Vol.58, No.1, pp.2–12 (2017).
- [6] 3GPP: TR36.839 v11.1.0, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Mobility enhancements in heterogeneous networks (Release 11) (2012).
- [7] 3GPP: TR 36.902 v9.3.1, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-configuring and self-optimizing network (SON) use cases and solutions (Release 9) (2011).
- [8] Hahn, S., Rose, D.M. and Kürner T.: Mobility Load Balancing—A Case Study: Simplified vs. Realistic Scenarios, *Proc. European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research (EURO-COST)*, IC1004 TD (14) 10030 (2014).
- [9] Li, Z., Wang, H., Pan, Z., Liu, N. and You, X.: QoS and channel state aware load balancing in 3GPP LTE multi-cell networks, *Science China Information Sciences*, Vol.56, No.4, pp.1–12 (2013).
- [10] Hoteit, S., Secci, S., Pujolle, G., Wieltholter, S., Wolisz, A., Ziemlicki, C. and Smoreda, Z.: Quantifying the achievable cellular traffic offloading gain with passpoint hotspots, *Proc. ACM International Workshop on Wireless and Mobile Technologies for Smart Cities*, pp.19–28 (2014).
- [11] Mayer, C.P. and Waldhorst, O.P.: Offloading infrastructure using delay tolerant networks and assurance of delivery, *Proc. IFIP Wireless Days (WD)*, pp.1–7 (2011).
- [12] 3GPP: TS 36.300 v9.4.0, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description Stage 2 (2010).
- [13] 3GPP: TR 23.705, Study on system enhancements for user plane congestion management (Release 12) (2015).
- [14] 町田 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, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム, Vol.2016-UBI-49, No.17, pp.1–6 (2016).
- [15] Liu, T., Bahl, P. and Chlamtac, I.: Mobility modeling, location tracking, and trajectory prediction in wireless ATM networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vo.16, No.6, pp.922–936 (1998).
- [16] Kim, J.M., Baek, H. and Park, Y.T.: Probabilistic graphical model based personal route prediction in mobile environment, *Appl. Math. Inf. Sci.*, Vol.6, No.2S, pp.651S–659S (2012).
- [17] Ayed, M.B.: System for automatically dispatching taxis to client locations, U.S. Patent, No.6,756,913 (2004).

- [18] Space Time Engineering: Products, available from <https://www.spacetime-eng.com/en/products> (accessed 2017-07-21).
- [19] Narrative: The World's Most Wearable Camera, available from <http://getnarrative.com/> (accessed 2017-07-21).
- [20] Floyd, S., Henderson, T. and Gurtov, A.: The New Reno modification to TCP's fast recovery algorithm, RFC 2582 (1999).
- [21] 3GPP: TR 25.942 v9.0.0, Technical Specification Group Radio Access Networks Radio Frequency (RF) system scenarios (Release 9) (2009).
- [22] 町田 樹, 西岡哲朗, 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, 情報処理学会シンポジウムシリーズマルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2015) 論文集, pp.1800–1806 (2015).
- [23] Haklay, M. and Weber, P.: Openstreetmap: User-generated street maps, *IEEE Percasice Computing*, Vol.7, No.4, pp.12–18 (2008).
- [24] Lee, D., Seo, H., Clerckx, B., Hardouin, E., Mazzaresse, D., Nagata, S. and Sayana, K.: Coordinated multipoint transmission and reception in LTE-advanced: deployment scenarios and operational challenges, *IEEE Communications Magazine*, Vol.50, No.2 (2012).



大岸 智彦 (正会員)

1992年東京大学工学部電気工学科卒業。同年国際電信電話株式会社入社。以来、通信システムの試験、IPネットワークの運用管理、IoT・センサの運用管理、コネクティッドカーの研究に従事。現在、(株)KDDI総合研究所コネクティッドカー2グループリーダー。1998年本学会大会奨励賞受賞。博士(工学)。



峰野 博史 (正会員)

1999年静岡大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。NTTサービスインテグレーション基板研究所を経て、現在、静岡大学情報学部准教授。JST さきがけ研究者。知的IoTシステムに関する研究に従事。2012年度本学会長尾真記念特別賞受賞。電子情報通信学会、IEEE、ACM各会員。博士(工学)。



町田 樹 (学生会員)

2015年静岡大学情報学部情報科学科卒業。同年静岡大学大学院総合科学技術研究科情報学専攻入学。モバイルデータ通信に関する研究に従事し、2017年同大学院修了。現在、KDDI株式会社勤務。



望月 大輔 (学生会員)

2017年静岡大学情報学部情報科学科卒業。同年静岡大学大学院総合科学技術研究科情報学専攻入学。強化学習を用いたモバイルデータ通信に関する研究に従事。



安孫子 悠

2018年静岡大学情報学部情報科学科卒業予定。同年静岡大学大学院総合科学技術研究科情報学専攻進学予定。モバイルデータ通信に関する研究に従事。