

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

町田 樹^{†1} 西岡 哲朗^{†2} 荒井 大輔^{†3} 大岸 智彦^{†3} 峰野 博史^{†1}

スマートフォンの普及に伴うコンテンツの多様化や Internet of Things (IoT) の普及に伴い、モバイルデータ通信の需要は今後も増え続けると予想される。そこで大量のモバイルデータ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。しかし増え続けるモバイルデータトラフィック需要に対して通信インフラの性能を追随させ続けることは難しい。一方で、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、モバイルデータトラフィックの収容効率を高めること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) が提案されている。MDOP は、基地局 (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、端末 (UE) の送信レートを制御することで、モバイルデータ通信の負荷を分散プロトコルである。しかし MDOP の具体的な送信レート制御手法は、明確に定まっておらず、未だ議論が必要な状態である。そこで本稿では eNB の負荷状態、データの遅延耐性を考慮した送信レート制御手法を提案した。評価の結果、提案した送信レート制御手法は、eNB が許容負荷を満たしつつトラフィックを収容する上、UE 毎の送信レートにおけるフェアネスを実現し、遅延耐性切れとなるコンテンツの発生頻度を削減できた。

1. はじめに

昨今、スマートフォンの性能向上に伴う動画の品質向上や、デバイスの小型化、低価格化がもたらした Internet of Things (IoT) の普及に伴い、コンテンツの多様化、大容量化が加速している。特に、IoT などユーザが通信に直接関与しない Machine-to-Machine (M2M) が扱うコンテンツは、一定の遅延を許容して通信の即時性を求めない「遅延耐性データ」であることが多い [1]。また、スマートフォンにおけるコンテンツのリッチ化、IoT の普及に伴うモバイルデータ通信デバイスの増加などが要因となり、モバイルデータ通信のトラフィック量は、2019 年に 2015 年の約 10 倍に達すると予想されており [2]、大量のモバイルデータ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 (モバイルデータトラフィックを以下では、単純にトラフィックと呼ぶ)。トラフィックの特徴として、朝の通勤時間や帰宅時間などの特定の時間帯や、駅やショッピングセンターなど特定の場所にトラフィックが偏る「局所性」が一般に知られている [3][4]。トラフィックを効率的に収容するためには、基地局 (eNB) 等の通信設備の使用率を規定値に保つことが望ましい。しかし通信設備を増強する場合、トラフィックの局所性を考慮して設備性能を決定するため、トラフィック量が少ない場合に設備使用率が悪く、トラフィックの収容効率が低下するという課題がある。

以上の課題を解決するため、遅延耐性データの送信レートを制御して eNB のトラフィック収容効率の向上を図るモバイルデータオフローディングプロトコル (MDOP) が提案されている [5]。MDOP は、特定の時間帯にトラフィックが偏る局所性 (以降、時間的局所性) と、特定の場所に

トラフィックが偏る局所性 (以降、空間的局所性) に着目し、通信設備の使用率が高い場所・時間帯に通信する遅延耐性コンテンツに対して、送信レートを制御する。しかし、コンテンツデータの遅延耐性を考慮しながら eNB の負荷を平滑化するために必要な具体的な送信レート制御手法は、本研究において明確に定まっておらず、未だ議論が必要な状態である。

そこで本稿では、MDOP の機能のうち、トラフィックの時間的局所性の解消を目的とした「時間的オフローディング」における送信レート制御アルゴリズムについて、検討を行う。以下、第 2 章で関連研究について述べ、第 3 章にて MDOP について述べる。第 4 章では MDOP の時間的オフローディングを実行する場合における送信レートの制御手法について述べ、第 5 章にて MDOP の送信レート制御の有効性を評価した後、最後に 6 章で本稿をまとめる。

2. 関連研究

トラフィックを収容する先行研究に、ネットワークの負荷に応じて通信の Quality-of-Service (QoS) を制御する User Place Congestion Management (UPCON) [6]がある。UPCON は、eNB など通信インフラの負荷状況やコンテンツの種類、ユーザの契約状況などを考慮して QoS を制御し、eNB などの通信設備上で発生した過負荷状態を抑制する手法である。一方で、端末 (UE) の移動に伴う通信設備の負荷変動や、コンテンツの遅延耐性については考慮していない。また、UPCON は、過負荷状態を検出する方法や、検出した結果を QoS の制御に反映させる手法について、未だ具体的に決定されておらず、現在も議論が進められている状況である。文献 [7]では、実際に UPCON を模擬し、QoS を調整してデータ到達率を向上する手法が提案されている。

eNB の負荷が目標の帯域使用率になるようにレート制御を行い、データ到達率の向上を目的としている。R を UE のデータ伝送レート、 R_{pre} を従来の時間の UE のレート、 L_{limit}

^{†1} 静岡大学大学院 総合科学技術研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University
^{†2} 静岡大学大学院 情報学研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University
^{†3} KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories

を eNB の許容負荷, L を現在の eNB の負荷とそれぞれ定義すると, UPCON は式(1)に示すように送信レートを制御する. 評価の結果, eNB の負荷, データ到着率の点において, 式(1)を用いた UPCON が目標の帯域利用率の改善に有効であることを示している.

$$R = R_{pre} \cdot \frac{L_{limit}}{L} \quad (1)$$

また文献[8]では, ビデオデータなどの短い遅延が許容可能なデータを要求する各 UE に, 帯域を等しく割り当てること目的とした送信レート割当手法の式(2)を提案している. 式(2)は eNB の許容負荷 L_{limit} までの利用できる帯域を, N 台の UE で均一に分割する手法である. 式(2)の手法を用いることでトラフィックを許容負荷に抑え, ビデオデータの高レート通信が実現可能であると示している.

$$R = \frac{L_{limit}}{N} \quad (2)$$

一方で既存研究[7][8]では eNB の許容負荷にトラフィックを抑えることは実現可能であることを示している. しかし, これらの既存研究では eNB の許容負荷にトラフィックを抑えることを目的とし, コンテンツの遅延耐性を考慮せずに送信レート制御を行うため遅延耐性の異なるコンテンツを扱う MDOP には適していないと考える. コンテンツの遅延耐性を考慮せずに送信レート制御を行う場合には, 遅延耐性時間の短いデータと遅延耐性時間の長いデータに等しく帯域が割り当てられてしまい, 遅延耐性時間の短いデータの遅延耐性時間を超えてしまい, データが破棄されてしまう課題がある. また, ある UE はコンテンツの送信を完了したが, 一方の UE はコンテンツを送りきれず遅延耐性時間を過ぎてしまうといったように, 各 UE の送信レートのフェアネスが保たれない場合がある.

そこで本研究では MDOP のレート制御のポリシーとして eNB の許容負荷を満たしつつトラフィックを收容することに加え, UE 間の送信レートのフェアネス, コンテンツの遅延耐性を考慮した制御手法を提案する.

3. MDOP

3.1 概要

図 1 に MDOP の概要図を示す. MDOP はプロトコルスタックにおいて, アプリケーションレイヤの直下に位置するミドルウェアである. アプリケーションが送受信する遅延耐性データを一時的に蓄積し, ネットワークの状況に応じて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行う. 遅延耐性の度合いは, アプリケーションが遅延耐性データを送受信するときに MDOP へ指示されるものとする. MDOP は, eNB と UE の状況, 送信するデータの種類などを考慮して, 最適な送信レートを計算し, 送信レートを制御する. 本研究では, MDOP で送信レートを制御する方法を, オフローディングポリシーと定義する.

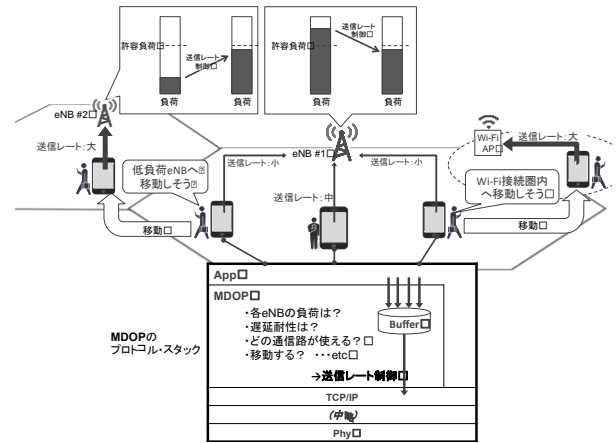


図 1 MDOP の概要

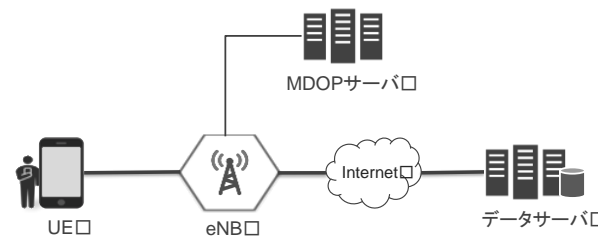


図 2 MDOP のネットワークアーキテクチャ

オフローディングポリシーには, トラフィック全体の削減を行う「通信路的オフローディング」, 空間的の局所性を解消する「空間的オフローディング」, 時間的の局所性を解消する「時間的オフローディング」の3つがある. 上記3つのオフローディングポリシーのなかから, データの遅延耐性や UE と eNB の状態に応じたオフローディングポリシーが1つ選択される.

3.2 ネットワークアーキテクチャ

MDOP のネットワークアーキテクチャを図 2 に示す. MDOP のネットワークアーキテクチャは, UE, データサーバ, MDOP サーバの3種類の端末から構成される. UE は, アプリケーションのコンテンツデータをデータサーバと送受信する. データサーバは, UE からアップロードされたコンテンツデータの受信と, UE から受け取ったリクエストデータに対するコンテンツデータの返信を行う. コンテンツデータを送受信する場合は, 送信側の MDOP が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. ただしデータサーバが UE にコンテンツデータを送信する場合は, MDOP サーバがデータサーバの代わりに送信レートの制御を行う.

3.3 通信フロー

MDOP は, UE と MDOP サーバ間で定期的に制御情報を交換し, UE が eNB の負荷状態や他 UE の状態などの環境情報を共有する. アプリケーションレイヤからデータを受け取ると, 環境情報に基づいた送信レートでコンテンツデ

ータが送信される。制御情報には、UE-beacon と Data-Offloading-Policy (DOP) の2つがある。また、eNB の負荷状態を報告するため、eNB の負荷状態を表す Report Congestion Information (RCI) が、定期的に eNB から MDOP サーバへ送信される。UE-beacon は、UE が自状態を MDOP サーバへ報告するための制御情報であり、UE が抱えている送信待ちコンテンツデータ量や、接続している eNB の情報が含まれる。また DOP は、UE-beacon の送信元 UE に環境情報を知らせるための制御情報であり、eNB の負荷情報、特定の eNB に接続している UE の送信待ちコンテンツデータサイズや遅延耐性時間などの情報が含まれる。DOP に含まれている情報は、送信レートを計算するためのパラメータとなる。

図 3 に、UE と MDOP サーバ間で制御情報を定期的に送受信する時の通信フローを示す。まず UE が定期的に MDOP サーバへ UE-beacon を送信する。MDOP サーバは、受け取った各 UE-beacon に含まれるコンテンツデータ送信量や接続中ネットワークの情報を用いて、UE-beacon の送信元 UE が接続している eNB の負荷状況を推定する。推定した結果をもとに DOP を作成し、UE-beacon の送信元 UE へ返信する。UE は受信した DOP が示す eNB の負荷状態に応じて、アプリケーションデータの送信レートを制御する。

図 4 に、UE がコンテンツデータをデータサーバへアップロードする場合の通信フローを示す。アプリケーションから MDOP に渡されたデータは、MDOP 内のバッファに一旦蓄積され、eNB の負荷状況に基づいた適切な送信レートで送信される。ただし遅延耐性時間を超過するデータは蓄積せず、ただちに送信する。

図 5 に、UE がデータをダウンロードする場合の通信フローを示す。データのダウンロードでは、UE がデータサーバへリクエストデータを送信し、データサーバがリクエストデータに対するコンテンツデータを返信する場合について考える。UE 内の MDOP はアプリケーションからリクエストデータを受け取ると、リクエストデータに「MDOP ヘッド」を付加し、MDOP サーバを経由してデータサーバに送信する。MDOP ヘッドは、リクエストデータに対応するデータ種類とコンテンツデータの遅延耐性時間を示す。MDOP サーバは、MDOP ヘッドからリクエストされたデータの遅延耐性時間を読み取り、送信レートを導出する。送信レートを導出した後、MDOP サーバはリクエストデータをデータサーバへ送信してコンテンツデータを取得し、導出しておいた送信レートでリクエストデータ送信元の UE 宛にコンテンツデータを転送する。

4. 送信レート制御手法

4.1 概要

MDOP の機能の時間的オフローディングの詳細について検討を行う。MDOP は eNB のトラフィック収容効率の向

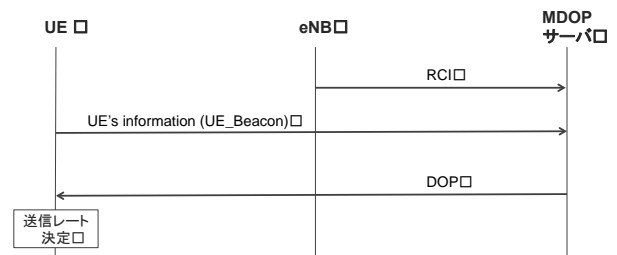


図 3 制御情報の交換

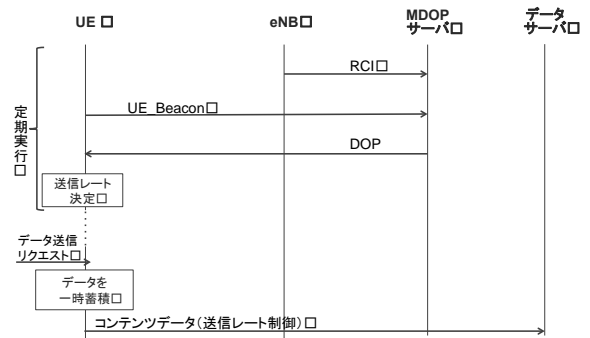


図 4 コンテンツデータのアップロード

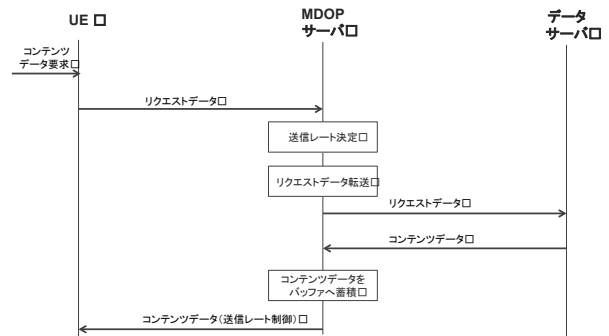


図 5 コンテンツデータのダウンロード

上を目的に、遅延耐性コンテンツに対してレート制御を行い、eNB のトラフィックの収容効率の向上を図るプロトコルである。本稿では MDOP のレート制御手法として、eNB のトラフィックの収容効率の向上を図ることと同時に、UE 間のレートのフェアネス、UE の保持する遅延耐性コンテンツの遅延耐性を考慮したレート制御手法を提案する。

4.2 レート制御アルゴリズム

UE 間の送信レートのフェアネス、コンテンツの遅延耐性を考慮したレート制御アルゴリズムを式(3)に示す。UE の送信レートを R 、eNB の許容負荷を L_{limit} 、遅延耐性コンテンツを持つ UE 数を N 、コンテンツの遅延耐性時間を d とする。対数の底 x については後述する。

$$R = \frac{L_{limit}}{N} \cdot \frac{1}{\log_x d} \quad (3)$$

式(3)は UE 間の送信レートのフェアネスを実現するために既存手法である式(2)を利用する。UE 間の送信レートのフェアネスに加えて、コンテンツの遅延耐性を考慮するため

に式(2)に重み W を掛けることでコンテンツの遅延耐性を考慮したレート制御を実現する. コンテンツの遅延耐性に合わせた重み W を式(4)に示す. 遅延耐性を持つコンテンツには, メールなどの短い遅延耐性のデータから, クラウドとの同期のように長い遅延耐性を持つデータが存在する. これらの遅延耐性を持つコンテンツに対して, 比率で送信レートを割り当てる方法もあるが, 長い遅延耐性を持つデータへ割り当てる送信レートがごくわずかになってしまふ場合がある. そこで, 長い遅延耐性時間をもつデータにも対応するために, 長い遅延耐性時間を持つデータに対しても送信レートを割り当てるのが容易になる対数を利用する.

$$W = \frac{1}{\log_x d} \quad (4)$$

重みづけを考慮したレート制御を行う際に, トラフィック量を eNB の許容負荷 L_{limit} に抑えるために, 式(5)が成立する対数の底 x を求める. 式(5)は各 UE の送信レート R_n (n は識別子) の和が eNB の許容負荷 L_{limit} になる事を示す. 式(5)で対数の底 x を求めることで, 各 UE のコンテンツの遅延耐性時間の分布に合わせて, 重みを動的に変化させることが可能になる.

式(5)は x の n 次方程式となり, 解くためには計算量が大きくなってしまふため, 本稿では式(6)に変換し, 右辺が最も 0 に近くなる整数を x に設定する.

$$L_{limit} = \sum_n^N R_n \quad (5)$$

$$= \sum_n^N \frac{L_{limit}}{N} \cdot \frac{1}{\log_x d_n}$$

$$0 = \sum_n^N \left(\frac{1}{\log_x d_n} \right) - N \quad (6)$$

5. シミュレーション評価

5.1 評価指標

シミュレーションでは帯域の使用率, UE 間の送信レートのフェアネス, 遅延耐性時間切れのデータ量の3つの項目を評価指標とする. 帯域の使用率 U を式(7)で求める. 式(7)を用いることで提案手法のレート制御が MDOP の目的として設定したトラフィックの収容効率の向上を達成できるのか評価する. また, 式(7)は 1 に近い値ほどよいことを示す. 遅延耐性時間切れのデータ量は, 全ての UE の遅延耐性時間切れデータの総量を評価値とする.

$$U = \frac{L}{L_{limit}} \quad (7)$$

5.2 シミュレーション環境・条件

本稿では提案方式の有効性をシミュレーションを用い

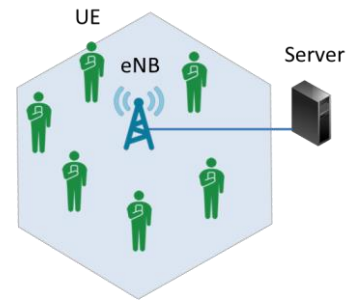


図 6 ネットワークトポロジ

表 1 シミュレーションパラメータ

項目	設定値
UE 送信電力	24dBm
eNB 送信電力	46dBm
UE 移動	なし
ISD (Inter-site Distance)	500m
周波数	2.0GHz
帯域幅	10MHz
パスロス	考慮しない
ノイズ	考慮しない
電波減衰	考慮しない

表 2 コンテンツ生成モデル

項目	設定値
シミュレーション時間	1800 秒
UE 数	6 台
eNB 数	1 基
コンテンツ生成期間	0~1200 秒
データサイズ	300Kbyte
生成間隔	30 秒
遅延耐性時間	120 秒 (UE1~UE3) 6000 秒 (UE4~UE6)

表 3 MDOP の設定値

項目	設定値
UE_Beacon 送信間隔	1 秒
送信レート制御	式(2), 式(3)
eNB 許容負荷	30KByte/s (240Kbps)

て確認する. シミュレータは Scenargie2.0[9] に加え Scenargie の拡張モジュールである LTE-module を利用し, LTE 通信環境でシミュレーションを行う. 通信環境は 3GPP が推奨する設定値[10]を参考にして表 1 のように定める. また, シミュレーションのネットワークトポロジを図 6 に示す. シミュレーションに用いるトポロジは, 一つの eNB と 6 台の UE を設置し, eNB と 6 台の UE の LTE ネットワ

ークを構築する。6 台の UE からのアップロードデータを受信するために eNB と有線接続したサーバを 1 台設置する。

表 2 に UE が送信するコンテンツ生成モデルを示す。コンテンツデータはライブログカメラの画像を想定し、30 秒間隔で 300Kbyte のデータを UE からクラウドサーバへアップロードするシナリオを想定する。コンテンツの遅延耐性を考慮したレート制御を提案するため、コンテンツの遅延耐性時間が 120 秒のデータを発生させる UE1~UE3 と 6000 秒のデータを発生させる UE4~UE6 を設定する。シミュレーション時間は 1800 秒に設定する。コンテンツの生成期間後に、遅延耐性を持つコンテンツが送信されていることを確認するためにコンテンツの生成期間を 0~1200 秒とした。

表 3 に MDOP の設定パラメータを示す。コンテンツの遅延耐性時間を超え、コンテンツの強制送信が発生する環境を模擬するために、コンテンツ生成量 6Kbyte/s の半分のトラフィックである 3Kbyte/s を eNB の許容負荷に設定する。MDOP の送信レートアルゴリズムは、提案手法である式(3)と既存手法である式(2)の二つのシナリオに対しシミュレーションを行い、帯域の使用率、各 UE の送信レートのフェアネス、遅延耐性切れデータの強制送信量の比較を行う。

5.3 シミュレーション結果・考察

シナリオの条件に基づき、既存手法の送信レート制御手法である式(2)を用いたシミュレーションを行った。ネットワークレイヤで計測した eNB の受信量を図 7、ネットワークレイヤで計測した UE1~UE6 の送信量を図 8 に示す。図 7 の結果では、eNB の許容負荷 30Kbyte/s を満たすようにトラフィックを収容できている期間がある。また、図 8 よりこの期間には各 UE で送信レートのフェアネスが実現できている。さらに、UE1~UE3 のコンテンツ送信完了後 (1300s 後) には、UE4~UE6 に許容負荷である 30Kbyte/s 分の送信レートを 10Kbyte/s ずつ平等に割り当てており、コンテンツを持つ UE に合わせて送信レートを割り当てることができている。これらのことから既存手法で目的としている eNB の許容負荷を満たすトラフィックの収容と各 UE の送信レートのフェアネスを確認できた。しかし図 7 の 350 秒付近や 550 秒付近などでトラフィックが瞬間的に増加している。これらの瞬間的に増加するトラフィックは、図 8 の UE1~UE3 が発生させたトラフィックである。このような瞬間的に増加するトラフィックの原因は、UE の持つコンテンツの遅延耐性時間が切れで発生する、データの強制送信が原因である。このようにコンテンツの遅延耐性切れが発生しているため、既存手法である式(2)を用いた送信レート手法では遅延耐性に対応できないことが明らかとなった。

次にシナリオの条件に基づき、提案手法の送信レート制御手法である式(3)を用いたシミュレーションを行った。ネットワークレイヤで計測した eNB の受信量を図 9、UE1~

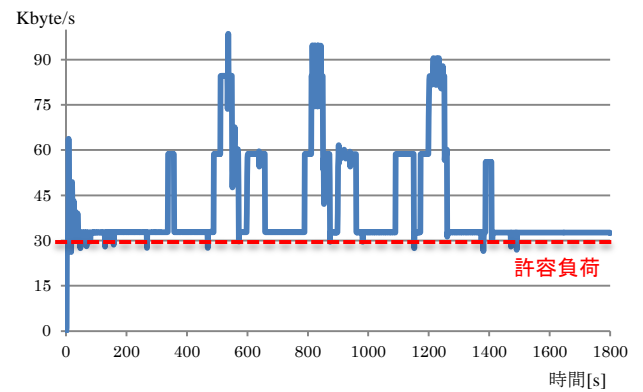


図 7 既存手法の eNB 受信量

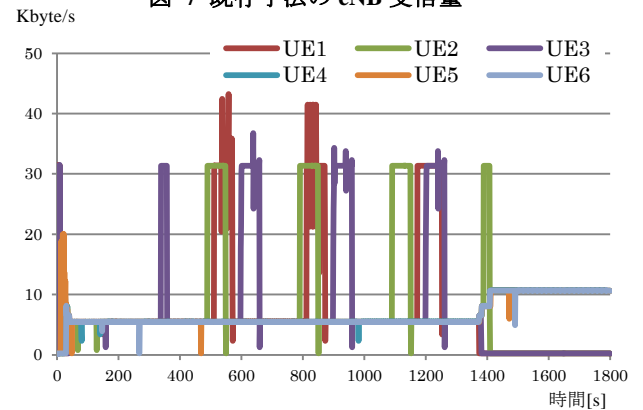


図 8 既存手法の UE1~UE6 送信量

UE6 のネットワークレイヤで計測した送信量を図 10 に示す。また、既存手法と提案手法の eNB の稼働率と、遅延切れデータ量の比較結果を表 4 に示す。図 9 の結果では、図 7 と同様に eNB の許容負荷 30Kbyte/s を満たすようにトラフィックを収容できている期間がある。しかし既存手法を利用した図 7 よりも図 9 の方が許容負荷周辺での受信量のばらつきが多くなる結果となった。受信量がばらつく理由は、コンテンツの遅延耐性時間の変化に伴い、式(6)で求まる対数の底 x が変化し、送信レートの割り当て量が変わったためである。図 8 の各 UE に着目すると遅延耐性時間の異なるコンテンツを持つ UE ごとに送信レートのフェアネスが実現できている。また、遅延耐性時間の違いに着目すると図 10 の結果では遅延耐性時間の短いコンテンツを持つ UE1~UE3 に対して送信レートが多く割り当てられ、遅延耐性時間の長いコンテンツを持つ UE4~UE6 に対しては少ない送信レートが割り当てられていることが確認できる。また、UE1~UE3 のコンテンツ送信完了後 (1300s 後) には、既存手法である図 8 と同様に UE4~UE6 に許容負荷までの送信レートを平等に割り当てていたことが確認できた。これらのことから遅延時間の異なる UE 毎で送信レートのフェアネスを実現することが確認できた。コンテンツの遅延耐性時間に着目して既存研究の結果と提案手法の結果を比較すると、既存手法では図 8 の 300 秒で強制送信が発生しているのに対し、提案手法では図 10 の 800 秒で強制送信が発生している。また、表 4 の遅延耐性切れデータ

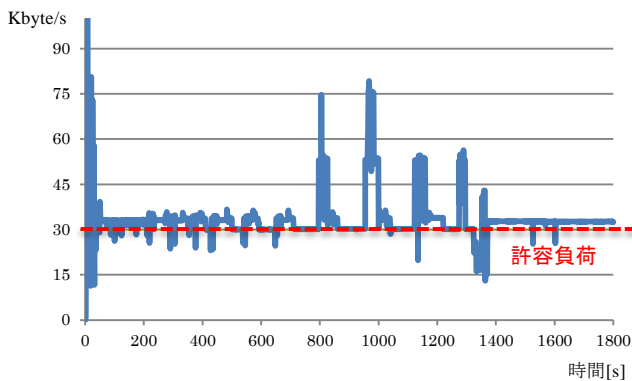


図 9 提案手法の eNB 受信量

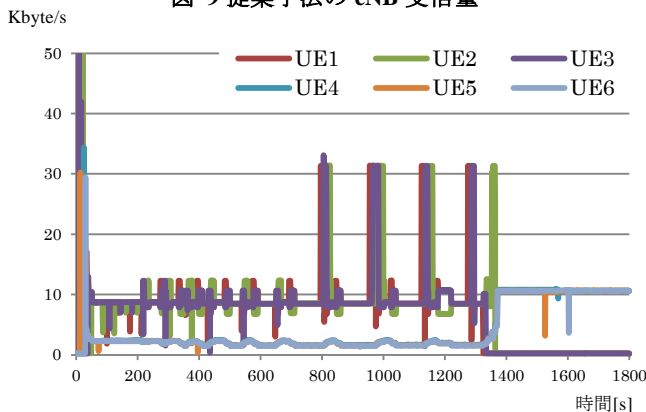


図 10 提案手法の UE1~UE6 送信量

表 4 既存手法と提案手法の比較

評価指標	既存手法(2)	提案手法(3)
eNB 稼働率	1.37	1.12
遅延耐性切れデータ量	18.77MByte	4.62MByte

量を比較すると既存手法の遅延耐性切れデータ量に対して提案手法では、およそ4分の1まで削減できた。このことから、提案手法であるコンテンツの遅延耐性に応じた送信レート制御の利用で、遅延耐性切れとなるコンテンツの発生頻度を削減することが可能となる。

図7～図10の0～50秒で共通に発生する許容負荷を超えるトラフィックは、UE-beaconの送信やDOPの送信で発生する遅延が原因である。UE-beaconの送信やDOPの送信でUEとeNB間で制御情報を交換するが、制御情報の交換は各UEで同期をとっていない。このため、先に制御情報の交換を行ったノードが後の状況を把握せずにデータを送信していることが原因で、許容負荷を超えるトラフィックが発生している。また、図7や図9でトラフィックが安定しているときのeNBの受信量が許容負荷30Kbyteをわずかに超えている理由は、MDOPの制御情報やTCPのヘッダがトラフィックに含まれているためである。

6. おわりに

本研究では、コンテンツの遅延耐性を考慮してUE間における送信レートのフェアネスを実現するMDOPの送信

レート制御手法を提案した。評価の結果、提案した送信レート制御手法は、eNBが許容負荷を満たしつつトラフィックを收容する上、UE毎の送信レートにおけるフェアネスを実現し、遅延耐性切れとなるコンテンツの発生頻度を削減できた。一方、コンテンツの送信を開始してから適切な送信レートを決定するまでの間、eNBの許容負荷を上回るトラフィックが送信されてしまう課題がある。また、現実のトラフィックを想定し、通信の即時性を求めるリアルタイムデータと遅延耐性データが混在した評価シナリオを検討する必要がある。今後はコンテンツの送信開始直後から適切な送信レート制御を行うための手法の検討、またリアルタイムデータが混在するシナリオでの提案手法の評価を行っていく方針である。

7. 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究 (B)「モバイルデータ3Dオフローディングの研究(26280028)」により実施したものである。

参考文献

- [1] Biral, Andrea, et al. "The challenges of M2M massive access in wireless cellular networks." *Digital Communications and Networks*, 1.1, pp.1-19, 2015.
- [2] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2014-2019. Technical report, Cisco, February 2015
- [3] 総務省: "我が国の移動通信トラフィックの現状 (平成27年6月分)." <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/tsushin06.html>
- [4] NTTドコモ: "電波政策ビジョン懇談会 ヒアリング資料 (平成26年3月25日)." http://www.soumu.go.jp/main_content/000282114.pdf
- [5] 西岡 哲朗, et al., "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 (DICOMO2014) シンポジウム論文集, pp. 613-620, July 2014.
- [6] 3GPP TR 23.705 "User Plane Congestion management (Release-12)."
- [7] 鈴木理基, et al., "LTE網におけるサービス単位のトラフィック收容技術の検討" 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム論文集, pp. 1326-1333, July 2014.
- [8] Ylva Timmer, et al., "Network Assisted Rate Adaptation for Conversational Video over LTE, Concept and Performance Evaluation" Proceedings of the 2014 ACM SIGCOMM workshop on Capacity sharing workshop. ACM, 2014.
- [9] Space-Time Engineering, LLC.: Sceanegie, <https://www.spacetime-eng.com/en/products>
- [10] 3GPP TR 25.942 v9.0.0 "Technical Specification Group Radio Access Networks Radio Frequency(RF) system scenarios (Release-9)."