

セルラ通信システムにおける端末間マルチキャスト通信を利用した下りトラヒックオフロード技術の検討

北川幸一郎^{1,a)} 本間寛明^{1,b)} 末柄恭宏^{1,c)} 岸洋司^{1,d)}

セルラ通信システムにおける下りトラヒックを、端末間マルチキャスト通信を用いて低減する検討が行われている。本稿では、端末間マルチキャスト通信を行う端末（代表端末）を選択する手法として、SNR 基準選択手法と受信端末数基準選択手法とを検討し、端末における受信データレートの総和として定義するシステムスループットを評価した結果を報告する。評価結果より得られた知見の一例として、受信端末数基準によれば少ない代表端末数で効率的にシステムスループットを増加させることができ、SNR 基準選択手法よりも 19%高いシステムスループットを達成することを報告する。

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレットなどの高機能通信端末の普及により、モバイルトラヒックが急激に増加している¹⁾。標準化団体 The 3rd Partnership Project (3GPP) においては 2020 年以降の適用を目的に、急増するモバイルトラヒックへの対応などの要件を含んだ次世代通信規格として、第 5 世代移動通信網 (5G) の検討が行われている^{2,3)}。

5G において注目されているユースケースの 1 つに、ユーザが高密度に存在する環境であるスタジアムユースケースがある²⁾。スタジアムにおいては、開催されるイベントの来場人数や、ゴールや優勝の瞬間など、イベント内の出来事により、モバイルトラヒックが特定の時間と場所に集中する場合があることが報告されている⁴⁾。モバイルトラヒックの集中による異常状態に対応するためには、異常状態の負荷にも耐えるようにモバイルインフラを設計しなければならない。この場合、モバイルインフラの設計容量が平常時の多くの場合には余剰となり、効率的でないという課題がある。こうしたモバイルインフラ設置コストを低減するためには、異常状態におけるモバイルトラヒックを他の手段で吸収、または低減することが有効である。このようなモバイルトラヒック低減の一手段として、端末間通信の利用が検討されている⁴⁾。

端末間通信ではセルラの上り周波数帯域を利用し、基地局などのモバイルインフラを介することなく、端末間で直接無線信号を送受信する。端末間通信を用いることで例えば、ある端末がダウンロードしたコンテンツを他の端末との間で共有し、同一コンテンツのセルラ網からのダウンロードを低減することができる (図 1 参照)。これにより、例えば急激な下りトラヒック増加時に端末間通信による上記オフロードを実施することで、セルラ通信に対する負荷を低減することが可能となる。

モバイルトラヒックを削減するための端末間通信の適用は、これまで 1 対 1 の端末間通信 (ユニキャスト通信) に基づくもの⁵⁾と、同一無線信号により複数の端末に対して同時に情報を送信するマルチキャスト通信に基づくもの^{6,13)}が検討されている。ユニキャスト通信に基づくものは主に、任意の地点の端末間でマルチホップしコンテンツを共有する手法について議論したものであり、スタジアムのようにユーザが密集した環境下においては、同一のコンテンツをマルチキャストにより複数ユーザに送達する方が効率的である。本稿ではマルチキャストに基づく端末間通信 (端末間マルチキャスト通信) に着目し、当該技術によるトラヒックオフロード効果について議論する。

端末間マルチキャスト通信においては、ネットワークから指定された任意の端末がコンテンツのマルチキャスト送信を行い、周囲の端末が受信する。(以降、当該のマルチキャスト送信端末を代表端末と呼ぶ。)端末間通信では基地局一端間間の通信 (セルラ通信) と比較して、送信電力が低く、かつアンテナ高が低いことに起因して伝搬特性も悪い。このため、端末間通信の通信可能距離はセルラ通信と比較して短く、1 つの代表端末による端末間マルチキャスト通信で広域をカバーすることは困難である。端末間マルチキ

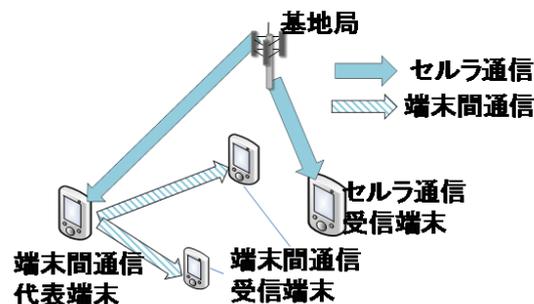


図 1 端末間通信によるデータオフロードの概要
端末間通信の代表端末となる端末が代表してデータをセルラ通信によりダウンロードし、当該データを周辺の受信端末へ送信する。

1 株式会社 KDDI 研究所
2-1-15, Ohara, Fujimino-shi, Saitama, 356-8502, Japan.
a) ko-kitagawa@kddilabs.jp
b) ho-honma@kddilabs.jp
c) ya-suegara@kddilabs.jp
d) kishi@kddilabs.jp

キャスト通信によるトラフィックオフロードを広域にわたり提供するためには、システムをカバーするために必要な代表端末数、および代表端末の選択方法について議論する必要がある。

代表端末の選択方法について、Peng ら⁶⁾ はすべてのチャネル品質を既知とする条件の下、送達遅延時間を低減するマルチキャストクラスタリング手法を提案した。しかしながら、ユーザが高密度に存在するスタジアムなどの場所では、端末間のすべてのチャネル品質情報をネットワーク側に集約することは負荷が高く、実環境において実現することは困難である。そこで本稿では、実環境においても動作に必要な情報量が低いことを期待できる指標に限定し、基礎的な代表端末選択方法について検討を行う。

本稿では代表端末選択方法として、端末間通信信号の信号対雑音比 (Signal-to-Noise Ratio: SNR) に基づく逐次的な代表端末選択方法 (SNR 基準選択手法) と、代表端末からの信号を受信可能な端末数の最大化基準に基づく代表端末選択手法 (受信端末数基準選択手法) とを検討する。これらの手法は、各端末からネットワークに対して1反復あたり1つの受信品質に関する指標を通知することで実現が可能な逐次選択手法であり、従来手法よりもネットワークへのシグナリング負荷観点から効率的である。これら2つの手法を、リファレンスとして代表端末をランダムに選択する手法 (ランダム選択手法) とシステムスループット観点から比較評価した結果を報告する。ここでシステムスループットは、端末における受信データレートの総和により定義される指標であり、これを最大化することによりシステム全体で許容可能な総データ通信量を最大化することができる。評価結果より、受信端末数基準選択手法が SNR 基準選択手法よりも、セル半径 100m の場合において約 19%高いシステムスループットを達成することを確認している。一方で、代表端末数が過剰に設定された場合、端末間通信同士の相互干渉の影響により、受信端末数基準選択手法によるシステムスループットは大きく劣化することも確認している。

本稿は以下のように構成される。まず2節において、本稿で議論する端末間マルチキャスト通信によるトラフィックオフロードの概要を説明する。3節において、SNR 基準選択手法と、受信端末数基準選択手法との詳細を説明し、4節でシミュレーション評価結果を議論する。5節においてまとめと今後の展望を述べる。

2. 端末間マルチキャスト通信によるトラフィックオフロード

2.1 概要

本節にて、図1に示す端末間マルチキャスト通信によるトラフィックオフロードの概要について述べる。システム内

に K 個の端末が存在するとし、 K 個すべての端末において、同一データの受信を完了させることを検討する。データに対して送信する手段として、セルラ下り通信と、代表端末からの端末間通信との2通りの手段を想定する。セルラ下り通信と端末間通信はそれぞれ独立した無線周波数リソースで実施され、端末間通信は上りセルラ周波数帯の一部または全部を利用して実施するものとする。代表端末にはシステム内の任意の端末がなりえるものとし、代表端末となった端末はセルラの下り通信により所望データを受け取り、端末間マルチキャスト通信により周囲の端末へ当該データを送信するものとする。

本稿では上記の想定の下、各端末における受信データレートの総和として計算するシステムスループットを最大化することを目的として、端末間マルチキャスト通信を実施する代表端末の選択を行う。目的関数を式(1)に示す。

$$\text{Maximize}_D \quad \sum_{l \in D} C_l^{\text{DL}} + \sum_{k \in D} C_k^{\text{D2D}}, \quad (1)$$

ここで C_l^{DL} は、端末 l における下りスループット値であり、 D は代表端末を含むセルラ下り通信を実施する端末のインデックス集合である。 C_k^{D2D} は端末間マルチキャスト通信の受信端末 k における端末間通信スループットである。本稿ではセルラ下り通信スループットと端末間通信スループットの合計値である式 (1) を、代表端末の選択を適切に行うことで D を適切に設計し最大化することを目的とする。次節において、代表端末の選択手法の違いによる、目的関数に対する影響を説明する。

2.2 システムスループットに対する影響

本節において、代表端末の選択手法の違いによるシステムスループットに与える定性的な影響を議論する。図2に概要を示す。システムスループットを表す式 (1) のうち、端末 k における端末間通信によるスループット値である C_k^{D2D} は、端末間マルチキャスト通信における信号受信品質

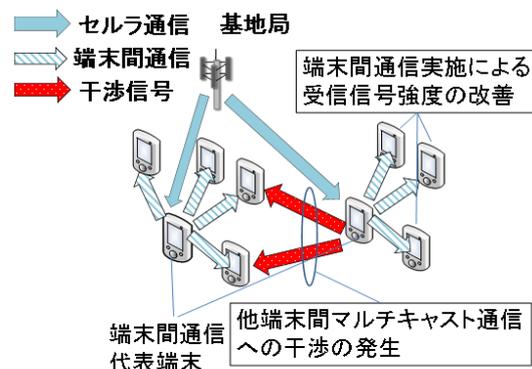


図2 代表端末選択による影響

により影響を受ける。当該端末がセルラ下り通信から端末間マルチキャスト通信に切り替えることで信号受信品質が改善する場合、システムスループットが改善することを期待できる。一方で新たな代表端末の設置は、同一無線周波数リソースで通信を行う他の端末に対する干渉となり、システムスループットを劣化させる要因にもなりえる。このため、システムスループットを増加させるように代表端末を選択するためには、他の端末間マルチキャスト通信に対する干渉と所望信号における受信信号強度を改善可能な端末数を考慮する必要がある。

まず干渉電力の観点について詳細を述べる。端末間通信におけるデータ送信用の無線リソース割当（無線リソーススケジューリング）は、基地局において集約して行われる場合と、端末において自律分散的に行われる場合がある。本稿では基地局における制御負荷の低減のため、端末における自律分散的な無線リソース割当を想定する。この場合、同一の無線リソースにおいて端末間通信のデータ送信が発生しえるため、各代表端末による端末間マルチキャスト通信が互いに干渉となる可能性がある。代表端末の選択は、このような代表端末間の相互干渉を考慮して実施される必要がある。

次に受信信号強度の観点について詳細を述べる。端末間マルチキャスト通信では、代表端末が想定する受信先端末すべてに対して所望の受信信号強度を確保できるよう端末間マルチキャスト用の送信電力を設定することが望ましい。しかしながら大送信電力でのデータ送信は他の代表端末による端末間マルチキャスト通信に対する干渉となり、システムスループットを劣化させる可能性がある。加えて、端末間通信はセルラの上り周波数帯域利用するため、隣接周波数リソースにおける上り通信への帯域内干渉の影響も同時に考慮する必要がある。3GPP においては、D2D 通信向けの最大送信電力をセルラ上り送信電力値未満と設定することで、上り通信への帯域内干渉の低減を実現している⁸⁾。本稿では、代表端末 $l, l = 1, \dots, L$ における、端末間マルチキャスト通信用送信電力 $P_{MC}(l)$ [dBm] を以下の式に基づき決定するものとする。:

$$P_{MC}(l) = \min\{P_{UL}(l), \max\{P_{D2D}(l, k) | k \in K_l\}\}, \quad (2)$$

ここで $P_{D2D}(l, k)$, $k \in K_l$ は、代表端末 l から受信端末 k への通信路の距離減衰値 $PL(l, k)$ [dB] を補償し、ターゲット SNR 値(例えば 10dB)を確保可能な送信電力値であり、 K_l は代表端末 l からのマルチキャスト通信を受信する端末のインデックス集合である。 $P_{UL}(l)$ は代表端末から代表端末の接続基地局への通信路の距離減衰値 $PL(l)$ [dB] を補償し、ターゲット SNR 値を確保可能な送信電力値である。式(1)では、受信端末それぞれに対して必要な送信電力値 $P_{D2D}(l, k)$ の最大値により、端末間マルチキャスト通信の送

信電力値が影響を受ける。1つの代表端末により多くの端末に対してデータを送信する場合、遠方の端末まで接続させるために期待的に $P_{D2D}(l, k)$ の最大値も大きくなる。このため、当該代表端末の近くに別の代表端末が存在する場合、大きな干渉を受ける可能性がある。逆に代表端末ごとの受信端末集合 K_l を小さく設定することで、期待的に端末間マルチキャスト通信間の相互干渉を低減することが可能である。しかしながら受信端末数 $|K_l|$ ($|\cdot|$ は集合 \cdot の要素数を表す) を減少させた場合、当該の端末間マルチキャスト通信によるトラヒックオフロード効果も減少する。このように、端末間マルチキャスト通信間の相互干渉とトラヒックオフロード効果との間のトレードオフ関係を考慮し、可能な限り低い送信電力 $P_{MC}(l)$ の下、受信端末数 $|K_l|$ を最大化可能な代表端末の選択方法を検討する必要がある。

3. 代表端末選択手法

本節において、次節で評価する代表端末選択手法について述べる。前節で述べた通り、代表端末の選択には、端末間マルチキャスト通信間の相互干渉と、各代表端末によるマルチキャスト通信に参加する受信端末数とが重要である。システムスループットを向上可能な代表端末を選択するために適切な指標を検討するため、マルチキャスト通信間の相互干渉の抑制を意図する SNR 基準選択手法と、受信端末数の最大化を意図する受信端末数基準選択手法とを検討する。以下に各選択手法の詳細を述べる。

SNR 基準選択手法

SNR 基準選択手法では、新たな代表端末を選択する際に、既存の代表端末からの伝搬減衰が最も大きく相互干渉の影響が最も小さい端末を逐次的に選択する。これにより新たな代表端末の端末間通信と既存の代表端末の端末間通信との間の相互干渉が低減されることが期待できる。具体的には以下の手続きに従い選択する。

- STEP0:** 代表端末のインデックス集合 D を空集合とする。選択する代表端末の個数 N を外部入力から得る。
- STEP1:** ランダムに全端末のインデックス $k, k=1, \dots, K$ の中から1つのインデックスを選択し D に追加する。
- STEP2:** 各代表端末 $l \in D$ からのリファレンス信号の、非代表端末 $k \notin D$ における受信信号電力値 $RSRP(l, k)$ を評価する。
- STEP3:** $\operatorname{argmin}_k \sum_{l \in D} RSRP(l, k)$ とする k を D へ追加する。
- STEP4:** $|D|$ が N 未満であるなら STEP2 を実行する。 $|D|$ が N に到達したなら、手続きを終了する。

本手法は、実環境においては各端末における端末間マルチ

キャスト通信向けリファレンス信号の受信信号強度に関する指標 $\sum_{l \in D} \text{RSRP}(l, k)$ を各端末から基地局へ報告し、基地局において実施可能である。この場合、端末からのネットワークへの情報通知を目的としたシグナリングの回数は最大で K 回程度であり、通知する情報は1端末あたり信号強度に関する1つの指標で十分となるため、最適化のための情報収集のためのシグナリング負荷は、1端末分の受信信号強度指標の情報量が B [bits] である場合、代表端末の1回選択あたり最大 KB [bits] となる。既存文献⁹⁾で実施されるような全ての信号品質をネットワークへ通知する場合、最適化のための情報収集のためのシグナリング負荷は、 K^2B [bits] となるため、SNR 基準選択手法はシグナリング負荷観点から効率的な手法である。

受信端末数基準選択手法

受信端末数基準選択手法では、新たな代表端末からの端末間マルチキャスト通信の受信端末数が最も大きくなるような代表端末を逐次的に選択する。受信端末として、期待的な受信品質の算出結果に基づき、一定の信号品質以上であるものを選択する。本手法により、端末間マルチキャスト通信によるセルラ下り通信からのオフロード効果を高めることが期待できる。具体的には以下の手続きにより代表端末を逐次的に選択する。

STEP0: 代表端末のインデックス集合 D を空集合とする。選択する代表端末の個数 N を外部入力から得る。

STEP1: ランダムに全端末のインデックス $k, k=1, \dots, K$ の中から1つのインデックスを選択し D に追加する。

STEP2: 各代表端末 $l \in D$ のリファレンス信号の各端末 $k \notin D$ における受信電力値を $R(l, k)$ とする。各端末が端末間通信の送信端末となった場合式(2)に従い送信電力を決定した際の最大値 $P_{UL}(l)$ を用いて、端末 $k \notin D$ が代表端末となった場合の他の受信端末 $k' \notin D, k' \neq k$ における疑似 SINR 値を以下の式により算出する。

$$\text{SINR}_{D2D}(k, k') = \frac{P_{UL}(l) - PL(k, k')}{\sum_{l \in D} R(l, k') + W} \quad (3)$$

ここで、 W は白色ガウス雑音 [W] である。

STEP3: $\text{SINR}_{D2D}(k, k')$ が所定閾値以上である端末 k' の数が最も大きい端末 k を D に加える。

STEP4: $|D|$ が N 未満であるなら STEP2 を実行する。 $|D|$ が N に到達したなら、手続きを終了する。

上記手順は非代表端末において、式 (3) の計算結果の報告を基地局に対して行うことで実現可能である。受信端末数基準選択手法においても、各端末が1つの受信品質情報をネットワークに対して通知することで実現可能である。最適化のための情報収集のためのシグナリング負荷は、受信品質情報の情報量が受信信号強度指標の情報量と同一である場合、1回の代表端末選択あたり最大 KB [bits] となり、既存手法よりもシグナリング負荷観点から効率的であるこ

とがわかる。

また、上記2つの代表端末選択手法に対するリファレンスとして、代表端末をランダムに選択する、ランダム選択手法を併せて評価する。

次節において、上記3手法により達成可能なシステムスループットをシステムレベルシミュレーションにより評価する。シミュレーション評価では、代表端末数の変化に応じたシステムスループットの変化を評価し、各手法により達成可能なシステムスループットを考察し、適切な代表端末設定方法について議論する。

4. シミュレーション評価

4.1 評価条件

本節において、システムレベルシミュレーションの評価条件を説明する。表1にシミュレーション諸元を示す。本稿では単一セル構成のシステムにおいて、端末がランダムに配置される環境下を想定する。図3にセル半径が100mである場合の端末分布例を示す。端末は設定されたセル半径円内にランダムに配置される。以降のシミュレーション結果は、端末分布をランダムに10回生成し、得られた結果の平均化を行ったものである。

伝搬路モデルは、セルラ通信に関しては3GPP case 1⁹⁾に従い、端末間通信伝搬路に関しては、文献 TR36.843¹²⁾に従い模擬を行った。トラフィックとしてセルラ下り通信と端末間通信とで共に Full buffer を想定した。その他、記載のないシミュレーション諸元については、文献9、文献11に記載の条件に従って行った。また、端末間通信における無線リソーススケジューリングをランダムスケジューリングとした。ランダムスケジューリングでは端末間通信の無線リソースをランダムに選択する。複数の代表端末による端末間マルチキャスト通信が、同一の無線周波数領域で発生し得るため、端末間マルチキャスト通信間で相互干渉が発生する。

以降の代表端末選択手法の評価においては、セル半径として、100m, 250m, 500m の3通りを想定し、それぞれ評価する。セル半径が大きい条件下では、端末分布が疎となり、代表端末から端末間通信により接続可能な受信端末数が期

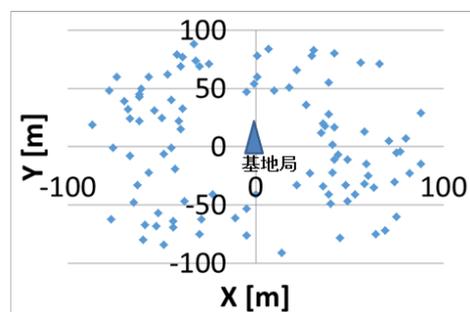


図3 端末レイアウトの例、セル半径100mの場合

表 1 シミュレーション諸元

パラメータ	値
基地局レイアウト	単一基地局, オムニアンテナ
セル半径[m]	100, 250, 500
端末数	100
端末分布	ランダム
基地局送信電力 [dBm]	46
端末最大送信電力 [dBm]	23
パシロス/シャドウイング	セルラ通信: 3GPP case 1 ⁹⁾ 端末間通信: Winner II-B1 ¹⁰⁾
瞬時フェージング	セルラ通信: 3GPP caes 1 ⁹⁾ 端末間通信: ITU-R IMT UMi ¹¹⁾
端末速度	3km/h, 移動方向はランダムに決定
周波数帯/帯域幅	セルラ通信: 3.5GHz, 10MHz 帯域幅. D2D通信: 2GHz, 10MHz 帯域幅
トラフィックモデル	セルラ下り通信: Full buffer 端末間通信: Full buffer
無線リソーススケジューリング	セルラ通信: round robin 端末間通信: ランダムスケジューリング
端末間通信とセルラ通信の切替基準	端末間通信の受信 SINR 値が 19[dB]以上: 端末間通信 上記以外: セルラ通信

待的に減少し、また同時に、代表端末における端末間通信間の相互干渉の影響も減少することが予想される。異なるセル半径における評価を通じて、端末間通信間の相互干渉の影響の差異から、各代表端末選択手法の達成する性能の変化を考察する。

4.2 評価結果

本節において、シミュレーション評価結果について議論する。まず、ランダム選択手法に基づくシステムスループットの評価結果を図4に示す。図4の代表端末0におけるシ

ステムスループットが端末間通信無しの場合のシステムスループットである。例えばセル半径 100m の場合には、代表端末を1つ設置することで、端末間通信側へ 100Mbps 以上のトラフィックをオフロードしており、その結果システムスループットが大きく増加している。紙面の都合上割愛するが、当該の1つ目の代表端末の位置により、特にセル半径 100m の場合においてシステムスループット値に最大で 100Mbps 程度の大きなばらつきがでていることを確認している。これは端末密度が高い場合において、接続可能な受信端末数が多い代表端末を選択することが特に重要であることを示している。ランダム選択手法では、既存の代表端末の位置や周辺の受信端末の位置を考慮しない。このため端末間通信の間の相互干渉の影響で、代表端末数の増加に対して単純にシステムスループットが増加していないことも確認できる。代表端末数が2以上の場合にシステムスループットが減少している場合があるのは、追加された代表端末からの干渉により端末間通信が不可能となった受信端末が存在するためである。通信が不可能となった受信端末は端末間通信によりオフロードしていたトラフィックをセルラ通信に切り替えて処理する。このため、端末間通信により処理されるスループット総量が減少し、かつセルラ通信側は Full buffer 状態であるため総スループットが変化しない。このため、システムスループットが減少する。セル半径 100m の場合、代表端末数 4 で最も高いシステムスループットを達成しているが、セル半径 250m の場合では代表端末数 5 において最大となり、セル半径 500m の場合では代表端末数 15 において、システムスループットが最大となっている。これは、セル半径の増大に伴い端末がより広範囲に分布するため、セルエリア内全体をカバーするために多くの代表端末が必要となるためである。

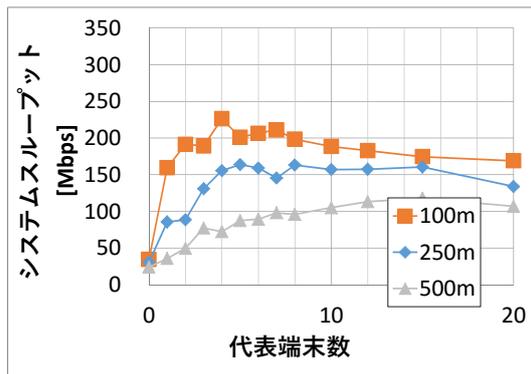


図 4 ランダム選択手法に基づくシステムスループット。凡例 x [m]がセル半径 x[m]の結果に対応する。

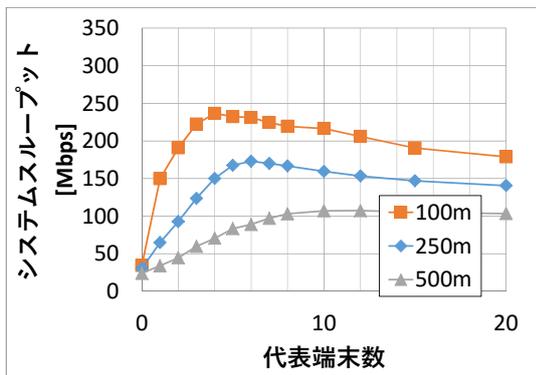


図 5 SNR 基準選択手法に基づくシステムスループット

次に、SNR 基準選択手法を用いた場合の結果を図 5 に示す。ランダム選択手法の場合のシステムスループットと比較した場合、達成可能な最大システムスループットに関しては、セル半径 100m の場合で約 4% 程度の改善が確認できる。また、代表端末数の増加に対して、システムスループットを最大とする代表端末数を極大点として単調に増加、または減少していることがわかる。これは SNR 基準選択手法における代表端末選択が、端末間通信間の相互干渉を低減するように実施されることから、少ない代表端末数において相互干渉による劣化が起きにくいためと考えられる。また、システムスループットが最大となる代表端末数については、セル半径 100m では 4、セル半径 250m において 6、セル半径 500m においては 10 となり、セル半径の増加に伴い必要な代表端末数も増加していることが確認できる。

次に受信端末数基準選択手法を用いた場合の結果を図 6 に示す。セル半径 100m の場合、代表端末数 2 において最大のシステムスループットを達成しており、ランダム選択手法と SNR 基準選択手法よりも少ない代表端末数で高いトラフィックオフロード効果を実現可能であることがわかる。一方で、受信端末数基準選択手法は端末間通信間の相互干渉を考慮しないため、代表端末数 3 以降においては、システムスループットが大きく劣化していることが確認できる。端末間通信間の相互干渉の影響による劣化は、セル半径 100m において最も顕著であるが、セル半径の増加に伴い、劣化割合は低減していることが確認できる。

表 2 に、各手法の達成する最大のシステムスループットを示す。受信端末数基準選択手法が、表 2 より全てのセル半径において最も高いシステムスループットを達成し、例えば半径 100m の場合においてはランダム選択手法と比較して約 30% のシステムスループットの向上を達成可能であることが確認できる。システムスループットの向上効果はセル半径が大きい場合においても確認できる。セル半径が 500m の場合においても約 27% のシステムスループット拡

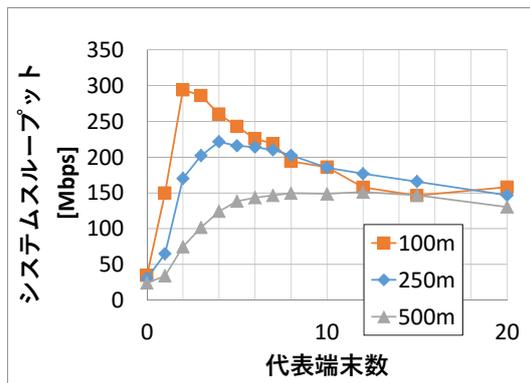


図 6 受信端末数基準選択手法に基づくシステムスループット

表 2 最大システムスループット [Mbps]

セル半径 [m]	100	250	500
ランダム選択手法	226	164	118
SNR 基準選択手法	237	173	107
受信端末数基準選択手法	294	222	151

張効果がランダム選択手法と比較して確認できる。

一方で SNR 基準選択手法は、セル半径 100m と 250m の場合においては、ランダム選択手法とほぼ同等なシステムスループットを達成するが、セル半径 500m の場合には、ランダム選択手法よりも約 10% 程度システムスループットが劣化していることが確認できる。これは、セル半径の増加に伴い端末密度が疎となるため、受信可能な端末数を考慮せずに代表端末を決定するだけでは、効率的に端末間マルチキャスト通信にトラヒックを収容することができないことを示唆している。

以上の評価結果から、適切な代表端末選択手法について述べる。評価結果より、受信端末数基準選択手法が SNR 基準選択手法よりも、セル半径 100m の場合において約 19% 高いシステムスループットを達成することを確認した。一方で受信端末数基準選択手法では、最大のシステムスループットを達成した後さらに代表端末を追加した場合、端末間マルチキャスト通信間の相互干渉に起因するシステムスループット劣化が、特に端末が高密度に配置される小さいセル半径において激しい。このため、システムスループット拡大観点からは受信端末数基準に基づき適切な代表端末を選択するのが適切である一方で、高密度に端末が配置される状況においては、SNR 基準により相互干渉を低減可能な端末を優先的に選択することが好ましいと考えられる。

5. まとめ

本稿では、端末間マルチキャスト通信による、セルラ下り通信からのオフロードをユースケースとして想定し、周辺端末へ端末間マルチキャスト通信を行う代表端末の選択手法について議論した。シミュレーション評価結果より、端末間マルチキャスト通信間の相互干渉を考慮して代表端末を設置する SNR 基準選択手法よりも、端末間マルチキャスト通信の受信端末数を大きくする受信端末数基準選択手法の方が、半径 100m セルにおいては約 19%高いシステムスループットを達成することが確認できた。一方で受信端末数基準選択手法は、最大値を達成する代表端末数よりも多くの代表端末を配置する場合、特に高密度に端末が配置される状況においては大きくシステムスループットが劣化することも確認している。このことから、システムスループットを効率的に拡大するためには、受信端末数基準に基づき適切な代表端末を選択するのが適切である一方で、高密度に端末が配置される状況においては、SNR 基準により相互干渉を低減可能な端末を優先的に選択することが好ましいと考えられる。

本稿では代表端末選択基準として SNR 基準と受信端末数基準とを基礎評価した。得られた知見を基に、異なるセル半径や端末分布に対応した代表端末選択手法を検討することや、端末における消費電力量を加味した代表端末における受信端末数設計を今後行う。

加えて端末間通信によるトラヒックオフロード技術の実用化のためには、社会的観点からの課題も存在する。具体的には、通信の秘匿性や、課金方式観点の課題が挙げられる。まず、ユーザのデータを代表端末が中継するため、代表端末におけるユーザデータの秘匿性をいかに担保するかを検討する必要がある。また代表端末においては他のユーザの通信を目的とした通信が発生するため、従来のような単純なデータ通信量に基づく課金方式をそのまま適用することは困難であり、新たな方法を検討する必要がある。これら社会的観点からの課題についても、今後検討していく。

謝辞

本研究は総務省受託研究「第5世代移動通信システム実現に向けた研究開発」の成果の一部である。

参考文献

- 1) Cisco, "Cisco Visual Networking Index : 全世界のモバイル データ トラフィックの予測、2015 ~ 2020 年アップデート," available at http://www.cisco.com/web/JP/solution/isp/ipngn/literature/white_paper_c11-520862.html
- 2) Next Generation Mobile Networks, "NGMN 5G WHITE PAPER," available at <https://www.ngmn.org/5g-white-paper.html>,
- 3) NTT Docomo, "New SID Proposal: Study on New Radio Access Technology," RP-160671, 3GPP RAN plenary meeting,#71, Mar. 2016,
- 4) British Telecom, "2012 年ロンドン五輪 Wi-Fi アクセス," available at

[http://www.globalservices.bt.com/jp/ja/casestudy/london_2012_wi-fi-access](http://www.globalservices.bt.com/jp/ja/casestudy/london_2012_wi-fi_access)

- 5) J. Seppälä, T. Koskela, T. Chen and S. Hakola, "Network controlled Device-to-Device (D2D) and cluster multicast concept for LTE and LTE-A networks," *2011 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Cancun, Quintana Roo, 2011, pp. 986-991,
- 6) D. Munir, J. Gu and M. Y. Chung, "Selection of UE relay considering QoS class for public safety services in LTE-A network," *The 20th Asia-Pacific Conference on Communication (APCC2014)*, Pattaya, 2014, pp. 401-405. (Ref:Qos)
- 7) B. Peng, T. Peng, Z. Liu, Y. Yang and C. Hu, "Cluster-Based Multicast Transmission for Device-to-Device (D2D) Communication," *2013 IEEE 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall 2013)*, Las Vegas, NV, 2013, pp. 1-5.
- 8) 3GPP, TS36.213, v12.5.0, Mar., 2015
- 9) 3GPP, TR36.814, v9.0.0, Mar., 2013
- 10) WINNER II Channel Models, D1.1.2 V1.2., available at <http://www.cept.org/files/1050/documents/winner2%20-%20final%20report.pdf>
- 11) Draft new Report ITU-R M.[IMT.EVAL] "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced", Document 5/69-E.
- 12) 3GPP, TR36.843, v12.0.1, Mar., 2014
- 13) Z. Liu and D. Zhang, "Policy-Based Clustering Multicast Routing Algorithm of Ad Hoc Networks," *2010 3rd International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems (ICINIS)*, Shenyang, 2010, pp. 482-485.