

5G 多層セル環境における端末移動方向・速度を考慮した ハンドオーバー頻度低減方式に関する検討

岸田 朗[†] 森広 芳文 浅井 孝浩 奥村 幸彦
株式会社 NTT ドコモ 〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘 3-6
E-mail: [†] akira.kishida.xm@nttdocomo.com

あらまし 5G 無線アクセスネットワークにおいては、利用周波数帯や無線帯域の異なるセルをオーバーレイ配置した多層セル構成の適用が検討されている。多層セル構成においては、高周波数帯を用いるスモールセルやスポットセル等の小セルを積極的に活用することが通信速度、システム容量改善の鍵となる。しかし、大都市等の実環境下においては利用周波数帯や無線システムに応じてカバレッジやセル置局位置が異なり、また、電波伝搬環境を攪乱する建造物が複雑に立ち並ぶため、セル切替（ハンドオーバー）頻度が増加し、通信品質の不安定化を招く可能性がある。特に移動環境下においては、ユーザの進行方向と反対の方向に存在するセルにハンドオーバーを行う場合、接続セルの受信信号品質が急激に劣化するためセル滞留時間が僅少となり、ハンドオーバー頻度増加の原因となる。この事象は移動速度が速いユーザにおいては特に問題となる。本稿ではこの課題を解決するため、ユーザの移動方向とセルの置局位置との相対関係、及びユーザの移動速度を考慮した接続セル切替方式を考案し、実際の大都市を模擬した計算機シミュレーションによる特性評価を行ったので報告する。

キーワード 5G 無線アクセスネットワーク、セル切替、ハンドオーバー、無線リソースマネジメント、実環境モデル

A Study of Handover Reduction based on Moving Direction and Velocity of Users for 5G Multi-layered Networks

Akira KISHIDA[†] Yoshifumi MORIHIRO Takahiro ASAI and Yukihiro Okumura
NTT DOCOMO, INC., 3-6 Hikari-no-oka, Yokosuka-shi, Kanagawa, 239-8536 Japan
E-mail: [†] akira.kishida.xm@nttdocomo.com

Abstract In forthcoming fifth-generation (5G) radio access networks, Radio Access Technology (RAT) or cell layer, which represents specific mobile communication system with different frequency bands, with various signal bandwidths will be overlaid on each other. Under this deployment, the one of key factors for improvement of high-speed transmission and capacity enhancement of wireless resource is effective utilization of small cells and spot cells which use high frequency band such as Super High Frequency (SHF) or Extremely High Frequency (EHF). However, frequent handovers across cell layers or within the cell layer will be occurred in the deployment if the conventional handover scheme is applied. Especially in actual metropolitan environments, due to the distortion of radio propagation by these buildings, there is possibility that users select a cell which locates in opposite side of user's moving direction for connection. This phenomenon increases the number of handovers in addition to the issue described above. Moreover, users with high velocity suffer these issues more seriously. Therefore, we propose handover scheme considering both user's moving direction and locations of base stations, together with moving velocity. Moreover, the number of handovers and the average flow time characteristics are evaluated by system level simulations and verify the effectiveness of the proposed scheme in this paper.

Keywords 5G Wireless Access Network, Cell Reselection, Handover, Radio Resource Management, Actual Environment

1. はじめに

5G 無線アクセスネットワークにおいては、現行の Long Term Evolution (LTE) - Advanced よりさらなる高速化、大容量化の実現、無線区間の低遅延化、多数の端末との接続、低コスト・低消費電力化をターゲットとしており、これらによるユーザの Quality of Experience (QoE) 向上を目指している。この 5G 無線

アクセスネットワークの早期実現に向けて、移動通信システムの国際標準化組織である 3rd Generation Partnership Project (3GPP) では、5G 無線アクセスネットワークに関する標準規格が検討、策定中であり、2017 年 3 月には 5G-NR (New Radio) の技術検討 (Rel-14) が完了、2017 年 12 月の Non-Standalone 5G-NR の Stage3 仕様化完了に向けた取組みが進められている。

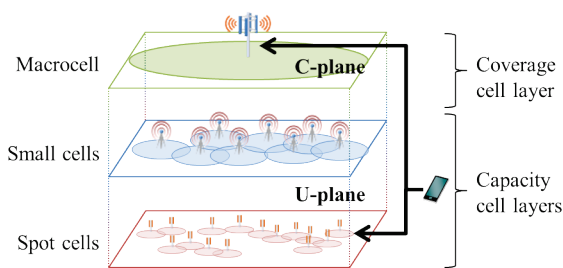


図1 多層セル構成の概念図

5G 無線アクセスネットワークでは、カバレッジセルとして、従来の極超短波 (Ultra High Frequency : UHF) 帯を用いるマクロセルを採用し、キャパシティセルとして準ミリ波 (Super High Frequency : SHF) からミリ波 (Extremely High Frequency : EHF) 帯の周波数を用いるスモールセル、スポットセル等をオーバーレイ配置した多層セル構成が検討されている[1]。以後本稿では、同一の周波数帯を用いるセルの集合体をセルレイヤと呼称する。多層セル構成の概念図を図1に示す。この構成において、従来の最大 Signal-to-Interference plus Noise power Ratio (SINR) に基づくセル切替制御方式[2]を適用した場合、観測した SINR が最も高いセルにセルレイヤ種別を問わず接続を行うため、周波数帯や無線帯域を考慮しない形でセル切替が行われることとなる。また、利用周波数帯による電波伝播特性の違いや、基地局アンテナ高や送信電力に起因するカバレッジの違いにより、最大 SINR を検出したセルが時々刻々と変わり、頻繁にハンドオーバーが生じてしまう課題がある。さらに、実際の大都市モデル[3]においては、道路上を一定の方向に移動しているユーザにおいては、ビルや建造物等による電波伝播の攪乱により、ユーザの進行方向とは逆位置に存在する後方のセルに接続してしまう可能性がある。このような場合、ユーザの移動と共に後方セルの SINR が劣化し、再度接続セル切替を行う必要が生じハンドオーバー頻度が増加してしまうという課題が生じる。この課題はユーザの移動速度が高速になるとより深刻化する。

そこで、本稿ではこれらの課題の解決を目的として筆者らが以前提案した[4]、ユーザの移動方向と接続候補となる周辺セルの位置との相対的な位置関係を考慮した接続セル切替方式を拡張し、ユーザの移動速度を考慮した接続セル切替方式を提案する。提案方式の有効性を確認するため、実際の大都市 (東京都新宿区西新宿) を模擬した多層セル構成モデルにおいて計算機シミュレーション評価を行ったので報告する。

2. 最大 SINR に基づく接続セル切替制御方式

モバイルネットワークでは、ハンドオーバー実施可否のタイミングは、ユーザ端末が基地局に Measurement Report (MR) を送信することを契機として開始される。この代表的な MR 送信イベントとして、A3 イベントが挙げられる[5]。A3 イベントは、「現在の接続セルの受信 SINR にオフセット値を加算した値が、周囲に存在するいずれかのセルの受信 SINR よりも下回り、かつこの事象が一定期間 (Time to Trigger : TTT) 以上継続して生じたとき」に発生し、ユーザ端末はこのイベントを契機に既接続セルに MR を送信しハンドオーバーを行う。ここで、受信 SINR への加算オフセット値による電力的ヒステリシスと、TTT による時間的ヒステリシスにより、既接続セルと周囲に存在する接続候補セルとの間で接続先が頻繁に切り替わるピンポン現象と呼ばれる状況を抑制している。ハンドオーバー実施時、既存の最大 SINR 基準によるセル切替方式では、次式 (1) が最大となるセルに接続する。

$$G_i = \frac{P_i}{\sum_{k=1}^K P_k - P_i + N} \quad (1)$$

ここで、 G_i は i 番目に検出した着目する接続候補セルの受信 SINR、 P_i は着目する接続先候補セルの受信電力、 K は検出した接続候補セルの総数、 P_k は検出した接続先候補セルの受信電力、 N は雑音電力を示す。利用周波数帯やセルのカバレッジ等、特性の異なるセルレイヤが重畳される多層セル構成においてこの最大 SINR に基づく接続セル切替方式を適用した場合、セルレイヤ毎に異なる電波伝播特性、カバレッジエリアにより、ハンドオーバー頻度が増加するという課題がある。これらの課題の解決法として、従来研究では、文献[6]にマルコフ過程を用いた負荷分散最適化手法や、ゲーム理論を用いた接続セル選択手法がまとめられている。また、Cell Range Expansion (CRE) を利用した制御[7]や Mobility Robustness Optimization (MRO) を利用した制御[8]が広く研究されている。その他にも文献[9]では、Q-Learning アルゴリズムを利用してハンドオーバー閾値等のパラメータを最適化し、ハンドオーバーを低減する方式を提案している。これらの方式は、配置されるセル密度が一定である理想環境における検討が詳細に行われ、高いハンドオーバー低減効果が報告されている。しかし、建造物や家屋が立ち並び、ユーザの移動可能範囲が道路や歩道により制約を受ける大都市のような実環境においては、ビルや建造物等による電波伝播の攪乱により、進行方向とは逆位置に存在する後方のセ

ルに接続してしまう可能性がある．このため，ユーザの移動と共に後方セルの SINR が劣化し，再度接続セル切替を行う必要が生じハンドオーバー頻度が増加してしまうという課題が生じる．そこで，筆者らは後方のセルへの接続を抑止することでハンドオーバーを低減する接続セル切替方式を提案し，実際の大都市環境モデル（東京都新宿区西新宿）における評価を行った[4]．この文献[4]の提案方式では，ユーザの移動に伴う後方セルへの不要なハンドオーバーを低減可能であるが，ユーザの移動速度を考慮していないため，高速で移動するユーザの増加に伴いシステム全体のハンドオーバー回数が増加するという課題があった．本稿ではこの方式を拡張し，ユーザの移動速度を考慮した制御により，高速なユーザのハンドオーバー回数をより減少可能な接続セル切替方式を提案する．また実際の大都市環境モデルにおける特性評価を行ったので報告する．

3. 端末移動方向を考慮した接続セル切替方式

提案方式の概念図を図2にそれぞれ示す．提案の概要は，既存の最大 SINR に基づくセル切替制御方式に基づく方式をベースとしつつ，ユーザ端末の移動方向とセル置局位置との相対関係を考慮に入れた制御を加えたものである．具体的には，ユーザ端末の移動方向とは逆方向に存在するセルに接続に不利なパラメータを与えることにより，ユーザの移動に対し後方に位置するセルへの不要なハンドオーバーを抑止する．提案方式による制御は以下の3ステップにより実現される．

まずステップ1として，ユーザ端末の移動ベクトル \mathbf{v}_{MS} を導出する．ある時刻 $t-a$ における端末位置を (x_{t-a}, y_{t-a}) ，時刻 t における端末位置を (x_t, y_t) とすると，時刻 $t-a$ から時刻 t までのユーザ端末の移動軌跡は次の(2)式で表される．

$$\mathbf{v}_{MS} = (x_t - x_{t-a}, y_t - y_{t-a}) \quad (2)$$

ここで，時間 a は端末位置の測定インターバルであり，ユーザ端末の位置情報は Global Positioning System (GPS) や基地局測位，あるいは端末内蔵のジャイロセンサ等を利用して検知する．ステップ1ではこの端末の移動軌跡を端末の移動ベクトル \mathbf{v}_{MS} として定義する．

次にステップ2として，ユーザの移動速度範囲毎に異なる優先接続セル方向角 $\theta_{d,v}$ を一意に決定する．これは，ユーザ端末の移動ベクトル \mathbf{v}_{MS} を 0° 方向としたときの角度である．ここで添字の v はユーザ移動速度範囲を示すインデクスである．

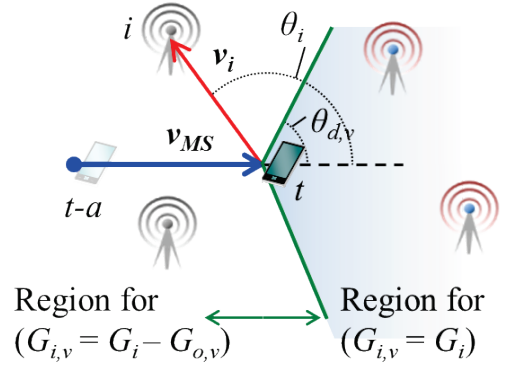


図2 提案方式の概念図

ステップ3では， i 番目の接続候補のセル位置ベクトル \mathbf{v}_i を導出し，ユーザ端末の移動ベクトル \mathbf{v}_{MS} とこの \mathbf{v}_i のなす角をセル存在方向角 θ_i と定義する．接続候補となる i 番目のセルの置局位置を (x'_i, y'_i) とすると， i 番目の接続候補のセル位置ベクトル \mathbf{v}_i 及びセル存在方向角 θ_i は次の式(3)，(4)で与えられる．

$$\mathbf{v}_i = (x'_i - x_t, y'_i - y_t) \quad (3)$$

$$\theta_i = \cos^{-1} \left(\frac{(x_t - x_{t-a}) \times (x'_i - x_t) + (y_t - y_{t-a}) \times (y'_i - y_t)}{|\mathbf{v}_{MS}| |\mathbf{v}_i|} \right) \times \frac{180}{\pi} \quad (4)$$

ここでセル存在方向角 θ_i の絶対値が，優先接続セル方向角 $\theta_{d,v}$ より大きい，すなわちユーザ端末の移動ベクトルに対して優先接続セル方向角 $\theta_{d,v}$ の角度範囲に存在しないセルは，ユーザ端末の「後方」に存在するとみなし，接続セル切替方式の基準パラメータに不利なオフセット値を加える．ここでは，最大 SINR に基づくセル切替制御方式をベースとした場合，式(1)に記載する検出した接続候補セルの受信 SINR G_i に次式(5)の補正を与える．

$$G_{i,v} = \begin{cases} G_i - G_{o,v} & (i \neq I \text{ and } |\theta_i| > \theta_{d,v}) \\ G_i & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (5)$$

ここで， I は時刻 $t-a$ においてユーザ端末が接続していたセル番号を， $G_{o,v}$ は検出した SINR に与える補正值であり，ユーザの移動速度範囲毎に設定する．ここで優先接続セル方向角 $\theta_{d,v}$ と同様，添字の v はユーザ移動速度範囲を示すインデクスである．

以上より提案方式は，ユーザの移動方向より後方に存在し，かつ接続中のセルでないセルの受信 SINR にマイナスの補正を与えることにより，後方のセルに対

する新規のハンドオーバを抑制し、ハンドオーバ頻度の低減を実現する。筆者らの以前の提案方式[4]との差分は、この優先接続セル方向角 $\theta_{d,v}$ と検出 SINR に対する補正值 $G_{o,v}$ をユーザ移動速度範囲毎に異なる値を設定可能とした点にある。これにより、頻繁にハンドオーバを行う高速移動ユーザに対しては、優先接続セル方向角 $\theta_{d,v}$ を鋭角に設定し、移動に伴う受信 SINR 劣化の影響を軽減することが可能となる。

4. 計算機シミュレーションによる評価

4.1. 評価対象モデル

提案方式の有効性を検証するため、システムレベルシミュレーションによる評価を実施した。対象場所は文献[4]と同様に東京都新宿区西新宿の 1km 四方を想定する。ユーザは時速 3km で移動を行う歩行者と時速 40km で移動を行う自動車の 2 種類を想定し、いずれも道路上のランダムな位置に 2 種類のユーザ端末が混在して配置され、路側（歩行者）もしくは道路上（自動車）を一定方向に直進し、交差点においてランダムな方向に転回するものとする。各ユーザは適用する制御アルゴリズムに従っていずれか 1 つのセルレイヤ及びセルを選択し接続を行うものとする。各セルからユーザ端末までの電波伝播環境は、Vertical Plane Launch (VPL) 法[10]を用いて簡易化したレイトレースによる伝搬路モデルを適用する。また、本評価においては、優先接続セル方向角による特性差を検証するため、検出 SINR に対する補正值 $G_{o,v}$ はすべての評価、ユーザの移動速度に関わらず 10 dB として同一の値を設定し、優先接続セル方向角 $\theta_{d,v}$ をパラメータとした場合の特性評価を行った。以上の条件及び表 1~表 4 に示すシミュレーション諸元に従い、従来の最大 SINR に基づく接続セル切替制御方式と提案方式について、レイヤ内/間ハンドオーバ回数特性、ネットワークでデータが発生し、端末が受信完了するまでの End-to-End の通信フロー転送時間の平均値である平均フロー転送時間の特性評価を行った。

4.2. 評価 I：ハンドオーバ回数・平均フロー転送時間特性

はじめに、優先接続セル方向角について自動車を鋭角(60°)に、歩行者を鈍角(120°)に設定したときの特性評価を行う。歩行者、自動車におけるハンドオーバ回数の累積分布関数 (Cumulative Distribution Function: CDF) をそれぞれ図 3, 図 4 に示す。結果より、歩行者において、従来の最大 SINR に基づく接続セル切替制御方式と比較したときの特性改善率は、レイヤ内/間ハンドオーバ回数を合わせた合計値の平均値で約 11% 改善されていることが確認できた。また、自動車にお

表 1 シミュレーション諸元(システムモデル)

パラメータ	
トラヒックモデル	Poisson
平均トラヒック生起間隔[s]	20
生成トラヒック量 [Mbit]	8000

表 2 シミュレーション諸元(ユーザ端末)

パラメータ	歩行者	自動車
移動速度 [km/h]	3	40
端末数	314	315
端末位置観測インターバル[s]	18	1.35
アンテナ数	4	4

表 3 シミュレーション諸元(セル)

パラメータ	Macro	Small	Spot
置局セル数	21 (3 セクタ×7)	30	91
利用周波数 [GHz]	2	3.5	20
送信電力 [dBm]	46	30	30
システム帯域幅 [MHz]	20	100	1000
アンテナ数	1	4	128

表 4 シミュレーション諸元(優先接続セル方向角)

パラメータ	評価 I	評価 II	
		(a)	(b)
歩行者	120°	120°	0°-120°
自動車	60°	0°-120°	0°-120°

いてはハンドオーバ合計回数の平均値で約 28%改善されていることが確認できた。これは、提案方式は優先接続セル方向角度範囲外に存在する既接続セル以外のセルとの接続を確立し難くしていることにより、ユーザの移動による SINR の急激な低下に付随して生じるハンドオーバを抑制可能なためと考えられる。このとき、歩行者と比較して自動車におけるハンドオーバ回数特性の改善率が大きく向上しているが、これは自動車に対する優先接続セル方向角を歩行者よりも鋭角にしているため、検出した SINR にマイナス補正值を与えない接続候補セル数が減少し、結果としてハンドオーバ回数が減少しているためと考えられる。

次に平均フロー転送時間の CDF を図 5 に示す。図より、歩行者、自動車ともに、提案方式では従来方式と比較し、歩行者では平均フロー転送時間の平均値の特性劣化率は約 5%、自動車においては約 10%であり、両者ともハンドオーバ回数特性の改善率に対し平均フロー転送時間特性の劣化は低く抑えられている。理由として、接続セル選択判定時に既接続セルより高い SINR を検出したセルにハンドオーバをせず、既接続セルとの接続を維持する場合、平均フロー転送時間特性は劣化してしまうが、提案方式は後方に存在するセルにハンドオーバを行うことにより、既接続セルを維持

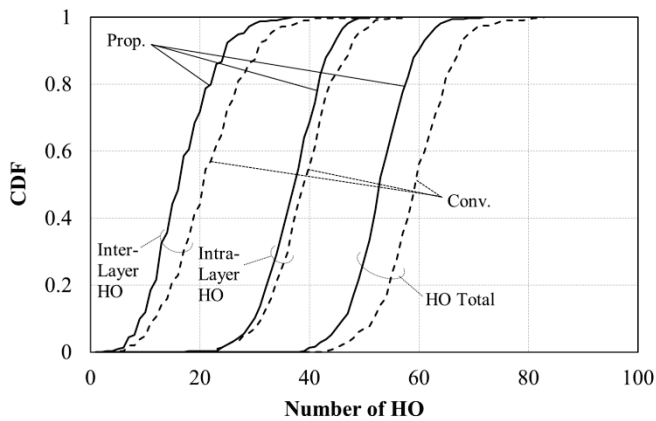


図3 ハンドオーバー回数の累積分布確率(歩行者)

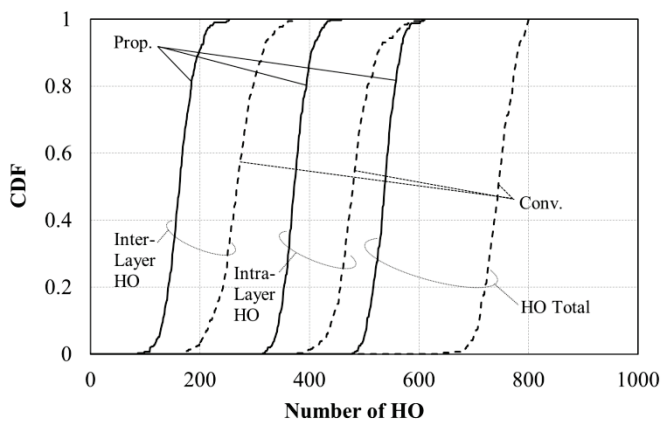


図4 ハンドオーバー回数の累積分布確率(自動車)

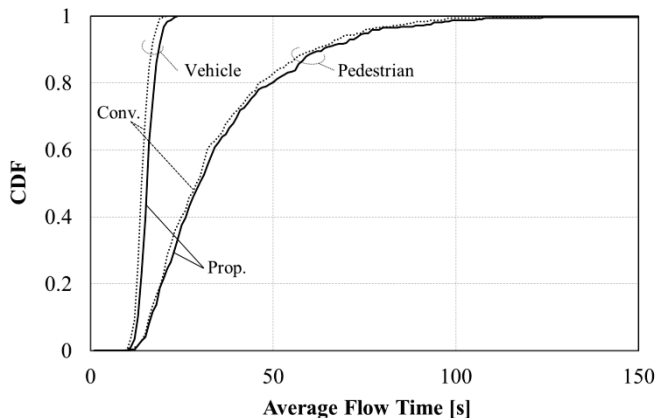


図5 平均フロー転送時間の累積分布確率

した場合よりも通信速度が低下するケースを回避しているためであると考えられる。具体的には、システム帯域幅は広いがカバレッジが比較的狭い後方のスポットセルに接続した場合、ユーザが前方に移動するのに伴い受信 SINR が低下してしまうため、結果として平均フロー転送時間が増加してしまうケース、あるいはシステム帯域幅は狭いがカバレッジが比較的広い後方のマクロセルに接続した場合、前方のシステム帯域幅

が広いスポットセルを活用出来ず、平均フロー転送時間が増加してしまうケースである。

4.3. 評価 II: 優先接続方向角特性

ここでは優先接続セル方向角をパラメータとした場合の特性評価を行う。まず、歩行者の優先接続セル方向角を 120° に固定し、自動車の優先接続セル方向角を 0° から 120° まで変化させたとき (以降、条件(a)とする) のハンドオーバー回数特性、平均フロー転送時間特性を評価する。図6に結果を示す。ここで、図中の縦軸は、従来の最大 SINR に基づく接続セル切替制御方式を適用した場合の結果を基準値としたときの改善率 (Improvement) を示す。結果より、自動車の優先接続セル方向角を鋭角にしていくに従い自動車のハンドオーバー回数特性は改善し、平均フロー転送時間特性は劣化していくが、ハンドオーバー回数特性の改善率に対し平均フロー転送時間特性の劣化率は低く抑えられていることが分かる。これは、前節で述べた通り、ハンドオーバーを行うことにより、既接続セルを維持した場合よりも通信速度が低下するケースを回避しているためであると考えられる。

次に、歩行者、自動車の区別なく、全ユーザの優先接続セル方向角を一律に 0° から 120° まで変化させたとき (以降、条件(b)とする) と、条件(a)との比較評価を行う。条件(b)によるハンドオーバー回数特性、平均フロー転送時間特性の結果を図7に、歩行者と自動車に分計せず、全ユーザのハンドオーバー合計回数の平均値及び平均フロー転送時間の平均値に関して、条件(a)と条件(b)を比較したものを図8に示す。また図中では条件(a)による特性を Group (a)、条件(b)による特性を Group (b)としている。

結果より、提案方式によりユーザの移動速度毎に異なる優先接続セル方向角を設定した Group (a)は、ユーザの移動速度を考慮せず、一律に優先接続セル方向角を設定した Group (b)と比較し、ほぼ同等のハンドオーバー回数特性を獲得しつつ、自動車の優先接続セル方向角を鋭角にするにつれて生じる平均フロー転送時間特性の劣化率を大幅に低減可能であることが確認できる。これは、自動車と比較し低速な歩行者は接続セルの滞留時間が自動車より長く、歩行者の優先接続セル方向角を鈍角に設定することにより、高速・大容量通信が可能なスポットセルを長期間利用可能であること、優先接続セル方向角を一律に鋭角に設定する場合と比較し、ユーザの移動方向に存在するセルに接続が集中し、無線リソースが逼迫するケースを回避可能であることが理由として挙げられる。

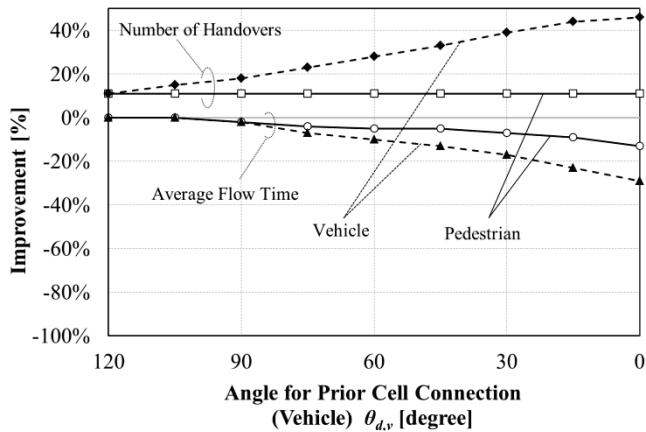


図 6 優位接続セル方向角特性(条件(a))

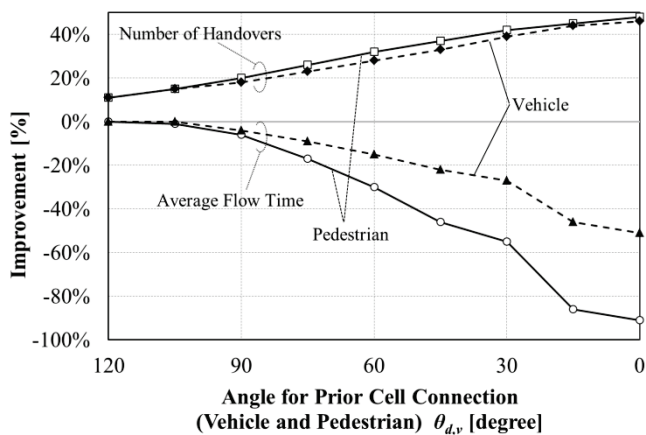


図 7 優位接続セル方向角特性(条件(b))

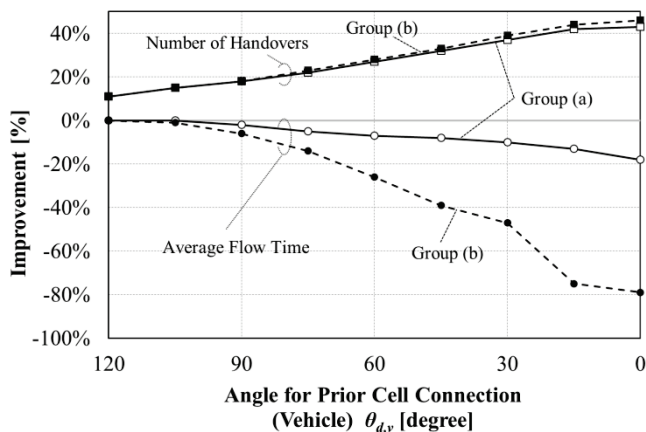


図 8 優位接続セル方向角特性(条件比較)

5. まとめ

本稿では、文献[4]で提案した接続セル切替方式を拡張し、ハンドオーバー頻度低減と通信フロー転送時間の劣化軽減を両立する接続セル切替方式を提案した。提案方式は、ユーザの移動による通信品質の劣化度合いが低い領域として設定される優先接続セル方向角と検出 SINR に対する補正値をユーザの移動速度に応じて制御可能である点を特徴とする。提案方式は従来の最

大 SINR に基づく接続セル切替制御方式及び一律に優先接続セル方向角を設定する場合と比較し、平均フロー転送時間特性を大きく劣化させることなくハンドオーバー回数特性を改善可能である。以上の提案方式の有効性を実際の大都市モデルを適用したシステムレベルシミュレーション評価により確認した。

謝辞

本稿には、総務省からの委託を受けて実施した「第 5 世代移動通信システム実現に向けた研究開発」の成果の一部が含まれています。

文 献

- [1] NTT DOCOMO, “DOCOMO 5G white paper,” https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_5g/DOCOMO_5G_White_Paper.pdf, accessed Feb. 2, 2016.
- [2] 3GPP TS 36.304 V13.1.0, “Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA), User Equipment (UE) procedures in idle mode (Release 13).”
- [3] A. Kishida, et al., “Radio Resource Management Based on User and Network Characteristics Considering 5G Radio Access Network in a Metropolitan Environment,” *IEICE Trans. on Commun.*, Vol. E100-B, No.8, Aug. 2017.
- [4] 岸田 朗他, “端末移動方向を考慮した 5G 多層セル環境におけるハンドオーバー頻度低減方式に関する検討,” *信学技報*, vol.116, MoNA2017-04, pp.223-228, 2017 年 3 月.
- [5] 3GPP TS 36.331 V9.3.0, “Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) radio resource control (RRC) protocol specification (Release 9).”
- [6] Andrews, J. et al., “An overview of load balancing in HetNets: Old myths and open problems,” *IEEE Wireless Commun.*, Vol. 21(2), pp.18-25. April 2014
- [7] Y. Saito, et al., “Performance Investigation on Cell Selection Schemes Associated with Downlink Inter-Cell Interference Coordination in Heterogeneous Networks for LTE-Advanced,” *IEICE Trans. on Commun.*, Vol. E94-B, No.12, pp.3304-3311, Dec. 2011.
- [8] Haijun ZHANG, et al., “Mobility Robustness Optimization in Femtocell Networks Based on Ant Colony Algorithm,” *IEICE Trans on Commun.*, Vol. E95-B, No.4, pp.1455-1458, April 2012.
- [9] Jin Wu, et al., “Dynamic Fuzzy Q-Learning for Handover Parameters Optimization in 5G multi-tier networks,” *Wireless Communications & Signal Processing (WCSP)*, 2015 International Conference on., October 2015.
- [10] G. Liang, et al., “A new approach to 3D ray tracing for propagation prediction in cities,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.46, no.6, pp.853-863, June. 1998.