

基地局協調伝送システムの開発

Development of Multi-Base-Station Cooperative Transmission System

齋藤 昭裕
Akihiro Saito

木村 亮介
Ryosuke Kimura

関 裕太
Yuta Seki

松尾 英範
Hidenori Matsuo

庄子 竜也
Tatsuya Shoji

外山 隆行
Takayuki Sotoyama

要 旨

LTE (Long Term Evolution) - Advanced 技術の一端として、セルエッジに存在する移動端末のスループットの改善を図り、システム全体の周波数利用効率を改善するCoMP (Coordinated Multi-Point transmission) 技術が3GPP (3rd Generation Partnership Project) にて議論されている。当社はCoMP技術の一方式であるJT (Joint Transmission) を用いた実証システム開発をソフトバンクモバイル(株)と行っている。本稿では、分散MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 技術の1つであるCoMP-JTを適用した本システムの特徴である、1) CoMP-JT伝送アルゴリズム、2) ユーザーデータを制御データと対してX2インターフェースを介して異なる基地局へ転送する手法、3) 異なる基地局間での同期送信方法に関して説明する。そして、本方式によって移動端末のスループットをセルエッジで約15倍改善した実証結果について報告する。

Abstract

As part of Long Term Evolution (LTE) - Advanced technology, Coordinated Multi-Point transmission (CoMP) technology for improving the throughput of User Equipment (UE) existing at cell edges and overall system frequency usage efficiency was discussed at 3rd Generation Partnership Project (3GPP). We have developed a substantiation system based on Joint Transmission (JT) categorized as CoMP technology jointly with Softbank Mobile Corporation. In this paper, we explain the characteristics of this system: firstly, the CoMP-JT algorithm, one kind of distributed Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) technology; secondly, the method of user data and control signal forwarding using X2 interface; and lastly, the technique of synchronized transmission among multiple Base Stations (BS). Then, we reported that UE throughput using this system for terminals existing at cell edges improves by approximately 15 times as compared to existent LTE system.

1. はじめに

近年、移動通信や無線LANサービスで実用化されているMIMO技術に関して、さらなる周波数利用効率の向上を目的として、分散した複数の基地局、端末間で連携しながらシステムを運用する分散MIMO技術を適用する取り組みが進んでいる[1]。

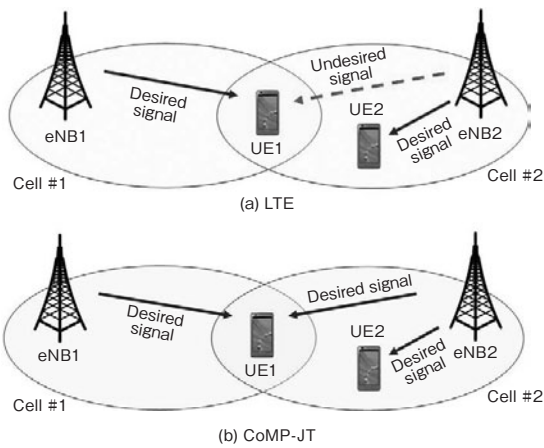
これらは、(1)式にあるように、異なる基地局(Cell)間で送信時 W_t 、受信時 W_r またはその両方で重み付けを行い、所望信号を伝送する技術である。受信アンテナ $Rx1$ と $Rx2$ が単一移動端末上に存在する場合、シングルユーザーMIMO、異なる移動端末上の場合、マルチユーザーMIMO技術と呼ばれる。また、 $Rx1$ が移動端末、 $Rx2$ がほかの無線システムの場合、異種無線システム同士が同一地域、同搬送波周波数帯を共有することも可能になる。このように、分散した基地局と端末間でMIMO伝送を行うことを一般に分散MIMOまたはネットワークMIMO技術などと呼ぶ。

$$W_r \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{Cell1} & \mathbf{H}_{Cell2} \\ h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \end{bmatrix} \cdot W_t^H \cdot \begin{bmatrix} Cell1Tx_1 \\ Cell1Tx_2 \\ Cell2Tx_3 \\ Cell2Tx_4 \end{bmatrix} \cdot W_t^H = \begin{bmatrix} Rx1 \\ Rx2 \end{bmatrix} \dots (1)$$

筆者らは、IMT (International Mobile Telecommunication)

システムとFSS (Fixed Satellite Service) システムを同一搬送波周波数、同一地域にて共存させるために、分散MIMO技術を適用し、異システム間への干渉を緩和する技術を開発した。そして、電気通信分野における国際連合の専門機関であるITU-R (International Telecommunication Union-Radio communications sector) へ干渉低減技術としての有効性に関する提案[2]や、遍在した基地局間での同期送信手段の検討、最適なアンテナの構成の検討[3]など、分散MIMOに関する技術開発をこれまで継続して取り組んできた。今回それら技術の実用展開として、ソフトバンクモバイル(株)と共同で、移動通信システムにおけるCoMP-JT (Coordinated Multi-Point-Joint Transmission) 評価試作機の開発を行ったので報告する。

LTEセル間で同一の搬送波周波数の共用や基地局セル半径の小型化、屋内基地局の設置数の増加による、基地局間境界(セルエッジ)が増えており、第1図(a)に示すように、セルエッジに存在する移動端末は他セルからの送信信号(干渉信号)による受信品質の劣化が発生する。移動体通信システムの標準化団体である3GPPでは、LTE-Advancedの規格化にて、移動体通信システムにおける課題の1つとして挙げられ、この課題を解決するために、CoMP-JT技術が提案された[4]。CoMP-JTは、第1



第1図 CoMP-JT概念図
Fig. 1 Basic concept of CoMP-JT

図 (b) に示すように本来干渉波となるような他セルからの信号を地理的に離れた複数の基地局から協調して送信することによって、移動端末の受信品質を改善しユーザースループットを向上させる、分散MIMO技術の1つである。

本方式の実現にあたり、主要技術課題の抽出と技術検討、および実証実験が進められている[5]。本稿では、基地局協調伝送システム実現に向けた主要技術課題として、下記の3点の解決手段について説明する。

- (1) 周波数利用効率、送信電力などの既存無線リソースを犠牲にしない基地局間協調送受信方式の確立
- (2) 複数基地局間制御の複雑性を最小化する協調制御アーキテクチャとのデータ共有手段の確立
- (3) 分散した複数の基地局間で同時送信を実現するための高精度同期方法の確立

さらに、2基地局、1移動端末の条件にて、実証実験によりセルエッジ下のユーザースループットを、適用前に比べて約15倍の改善が確認できたので報告する。

2. 基地局間協調送受信方式

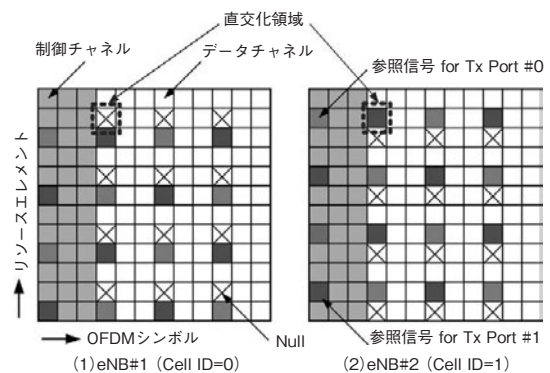
他セルからの干渉信号電力を軽減するための最も簡単な方法は、移動端末が被る干渉量を考慮し、協調する基地局間で被干渉移動端末のスケジューリング情報を共有し、与干渉側基地局が被干渉移動端末で利用する無線リソースを使用しないことである。しかし、これでは本来利用可能な与干渉側の無線リソースを有効活用することができない。

そのため本システムでは、分散した複数の基地局のアンテナでMIMO送信を行い、与干渉基地局のアンテナリソースおよび送信電力リソースを有効活用できるように

する。加えて、空間多重および送信ダイバーシチ技術を適用することで、セルエッジの移動端末に対して周波数利用効率を保ちながら受信品質の改善を実現する方法を検討した。

現行のLTE仕様[6][7]を逸脱せず、分散した基地局間のMIMO伝送を実現するため、LTE-MIMOの単独基地局における2送信2受信MIMOを、2つの基地局のアンテナリソースを用いたMIMOへ拡張する。本方式を適用すると、単独基地局の最大4送信2受信MIMOを適用する場合と等価になり、無線リソースおよび送信電力を有効に活用しながら移動端末の受信品質を改善することができる。

複数のセルにまたがる無線リソース（周波数と時間）をLTE同様に利用する場合、協調する基地局間のセル固有参照信号とデータ信号のリソースエレメント間で干渉が発生し、移動端末の受信品質を劣化させる要因となる。そのため、第2図に示すような無線リソース配置を採用し、おのおのの基地局から送信するセル固有参照信号が干渉することがないように、当該サブキャリアに対してデータを多重しない（直交化）領域を準備する。このリソース配置を採用することによって、高精度な伝送路推定の実現と、データ用のリソースエレメントに対するセル固有参照信号起因の干渉回避を実現した[5]。この場合の移動端末の受信処理は、送信側で多重されるリソースエレメントマッピングの逆処理の操作以外、現行のLTE動作と変更はなく、軽微な修正にて実現が可能である。



第2図 CoMP-JTにおける干渉低減方法 [5]
Fig. 2 Method of interference reduction for CoMP-JT [5]

3. 協調制御アーキテクチャとデータ共有方法

3.1 協調制御アーキテクチャの検討

独立した複数の基地局間で協調送信を実現する場合、基地局間で無線リソースの競合が発生しない仕組みを構築する必要がある。そこで、本システムでは複数の基地局を単独ノードが集中制御するホスト方式で課題とな

る，処理負荷の一極集中と制御複雑性を軽減するため，任意の基地局がマスターノードとなって協調ノードを制御する分散型方式を採用した。

協調開始までのネゴシエーションの流れを，第3図上部に基づいて説明する[8]。本方式では，協調する複数の基地局間で，制御を主導する基地局（マスター基地局）を決定する。マスター基地局は，定期的に移動端末から報告される受信品質情報（1. Measurement report）に基づき，協調動作の必要な条件を検出（2. CoMP start decision）した場合に，協調基地局に対して協調動作要求（3. CoMP request）を送出する。協調先基地局では，自局の空きリソースから協調動作可否を判断（4. Resource check）し，マスター基地局へ通知（5. CoMP response）する。マスター基地局はその結果に基づきマスター基地局が協調相手より利用可能な無線リソースを譲り受け（6. Resource agreed），協調スケジューリングを行い，協調開始指示を協調基地局に対して送し協調動作を実施（7, 8. CoMP start notification）する。

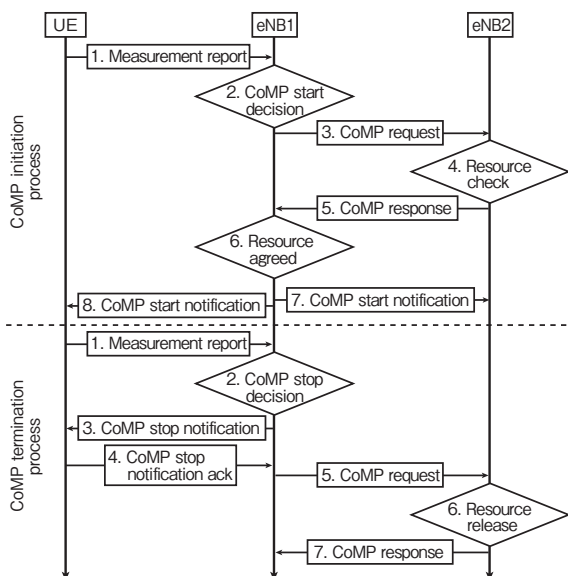
続いて，協調動作から協調終了までの流れを，第3図下部に基づいて説明する。協調動作中，マスター基地局は移動端末から報告される受信品質情報（1. Measurement report）を基に，一定周期で協調動作終了判定を行う。終了条件を満たした場合（2. CoMP stop decision）は，マスター基地局から移動端末に対して協調動作停止を指示し（3. CoMP stop notification），移動端末からの終了応答を受領する（4. CoMP stop notification ack）。その後，マスター基地局から協調基地局に対して

協調動作の終了を通知し（5. CoMP request），協調基地局では予約していたリソースを開放（6. Resource release）後，マスター基地局に対して終了応答を送出する（7. CoMP response）。

3.2 基地局間データ共有方法

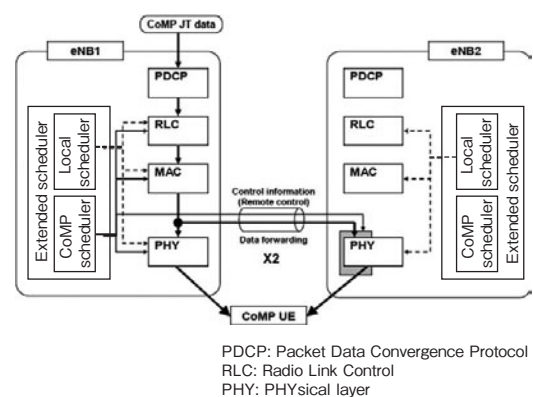
協調動作時におけるユーザーデータの一連の流れを，第4図に示す[8]。分散型制御方式では，双方の基地局でユーザーデータおよび制御情報の重複管理を回避するため，協調無線リソースの管理をマスター基地局が行う特徴を利用する。MAC（Medium Access Control）層のユーザーデータMAC-PDU（Protocol Data Unit）とLTEで規定されるHARQ（Hybrid ARQ）再送制御および適応変調などの管理，送信タイミング情報などの制御パラメータについて，マスター基地局が管理を担当する。そして，ユーザーデータと制御パラメータは3GPPで規定されるX2インターフェースと呼ばれるIP（Internet Protocol）回線にて，マスター基地局から協調基地局へ送る。協調基地局では，マスター基地局より通知された情報に従って同一タイミングでユーザーデータを送信する。

既存のLTEシステムに対してCoMP技術を展開する場合，X2インターフェースを用いる制御を適用することによって，公衆IP網を使用して安価にCoMPシステムの導入が実現できる。さらに，マクロセルとピコセルやフェムトセルを共存させるHetNet（Heterogeneous Network）[9]などへのCoMP技術の応用展開も，基地局間通信を実現する専用回線を設置することなく，公衆IP網を使用することによって実現できるなど，基地局協調システムの構築が比較的容易に可能となる。



第3図 CoMPシーケンスフロー [8]

Fig. 3 CoMP sequence flow [8]



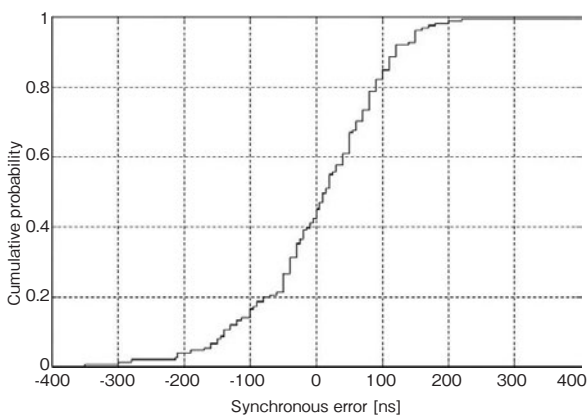
第4図 協調ユーザーデータの分配 [8]

Fig. 4 Distribution of cooperative user data [8]

4. 基地局間高精度同期方法

LTE通信において、下りリンクの変調方式で用いられるOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) はCP (Cyclic Prefix) と呼ばれる冗長データ系列をシンボルの先頭に付加し、伝搬遅延多重波対策を行っている。一方、CoMP-JTを実現する場合、マスター基地局と協調基地局間の送信遅延差と伝搬遅延の両方がCP区間以内に収まり、かつ送信遅延差が伝搬遅延推定処理で補償可能な時間差となる必要がある。また、基地局間の遅延差が大きいほど伝搬遅延に対するロバスト性が減少することとなるため、高精度な基地局間同期は必須である。

本システムではGPS (Global Positioning System) を用いて指定時刻に一斉同期できる基地局間同期方式を開発し、搭載をしている[10][11]。第5図は、2つの基地局で30sごとに一斉同期を繰り返す行い、基地局間のフレーム同期タイミング差を累積確率分布で示した結果である。同図より、両基地局間の同期誤差は±400 ns以内である。この数値は、現行LTE仕様[6]にて規定されるCP長より十分に短く、かつ同期分解能 (= 0.52 μs) より短いため、本システムの基地局は高精度な同期が実現できていると言える。よって、本システムで協調送信を実現するマスター基地局と協調基地局がGPSによって高精度に同期が可能であり、3.2節に示すような送信タイミング情報をマスター基地局から協調基地局へ通知することで、地理的に離れた複数の基地局から同一タイミングで所望信号を送信することができる。



第5図 同期誤差の累積確率分布
Fig. 5 Cumulative probability distribution of synchronous error

5. CoMPシステム評価

5.1 システム諸元

本システムの主要諸元を、第1表に示す。本システムは既にサービスされているLTEシステム (Release-8 [6]) をベースに前項までに説明した方式へ拡張した構成となっている。

第1表 主要システム諸元
Table 1 Major system specifications

無線アクセス方式	Downlink	OFDMA
	Uplink	SC-FDMA
キャリア周波数	3 GHz帯	
占有周波数帯域幅	10 MHz	
Cyclic Prefix	Extended	
サブキャリア間隔	15 kHz	
アンテナ構成	Downlink	2Tx antennas 2Rx antennas
	Uplink	1Tx antenna 2Rx antennas
基地局数	最大4	
移動端末数	最大4	

5.2 評価シナリオと実験結果

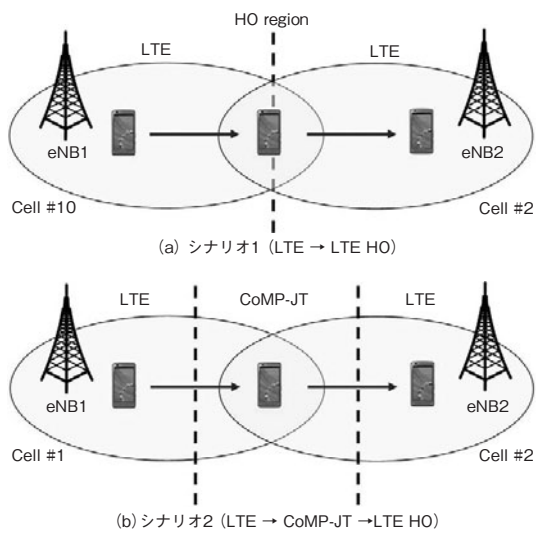
実験諸元を第2表、実験シナリオを第6図に示す。移動端末が等速度で、一方の基地局からセルエッジに移動し、隣接セルへ到達する場合のユーザスループットについて、通常のLTE動作とCoMP-JT動作の比較を行う。なお、本評価ではセル半径を700 m、走行速度を23 km/hとして片道60 sの通過時間を条件としている。

シナリオ1および2における測定結果を、第7図に示す[12]。シナリオ1について、移動端末が在圏している基地局から遠ざかる0 sから25 sの領域では、移動端末の受信品質が低下し、ユーザスループットが徐々に低下していく。そして、25 sから35 sのセルエッジ領域では、ユーザスループットが著しく低下していることがわかる。また、隣接セルへのHO完了後、移動先の基地局に近づ

第2表 実験諸元
Table 2 Experiment specifications

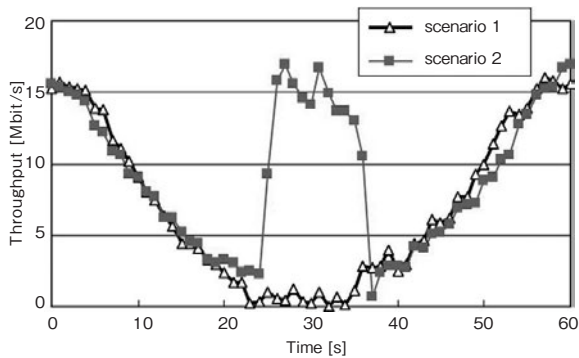
基地局数	2
移動端末数	1
HARQ	あり
適応変調	あり
伝搬路	Extended vehicular A model, doppler frequency=70 Hz
Downlink アンテナ構成	2×2MIMO
協調開始条件	マスター基地局と協調基地局のRSRP差が3 dB
ハンドオーバー開始条件	マスター基地局と協調基地局のRSRP差が-1 dB

RSRP : Reference Signal Received Power



第6図 実験シナリオ

Fig. 6 Experiment scenario

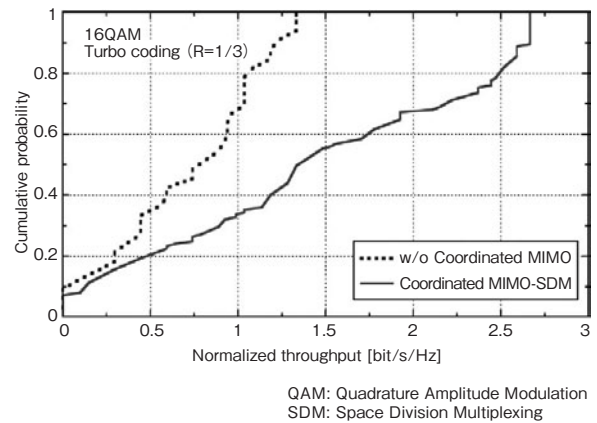


第7図 ユーザースループット特性 [12]

Fig. 7 User throughput performance [12]

く35 sから60 sでは、移動端末の受信品質が改善し、ユーザースループットが徐々に改善していく。一方、シナリオ2では、シナリオ1と比較して、セルエッジ環境下の移動端末のスループットを約15倍に改善できることがわかる。

シナリオ1および2について、セル全体の正規化スループットに対する累積確率分布特性を、第8図に示す[5]。累積確率が0.5となる正規化スループットに着目しCoMP-JT無し (w/o Coordinated MIMO) とCoMP-JT (Coordinated MIMO-SDM) で比較をすると、おおよそのスループットが0.8 bit/s/Hz, 1.3 bit/s/Hzとなり、CoMP-JTを適用することにより約1.6倍の周波数利用効率の向上が実現され、システム全体のスループットを大幅に改善できることがわかる。



第8図 累積確率分布 [5]

Fig. 8 Cumulative probability distribution [5]

6. まとめ

本稿では、LTE-Advancedの要素技術の1つであるCoMP-JTを適用した基地局協調伝送システムの開発について紹介し、その適用効果について明らかにした。本方式は、X2インターフェースを用いることによって、公衆IP網を使用して安価にCoMPシステムの導入が実現できる。また、本方式はLTE-Advancedにて検討されている、HetNetに対するCoMP技術の適用のひとつの実現方法として期待ができる。本システムを用いて引き続きフィールドテストを継続し[13]、商用化に向けて技術蓄積とシステムの有用性を検証するとともに、HetNetを用いたシステムサービスに展開するための技術開発を進める予定である。

本開発機会を頂き、有益な多くのご指導を頂きましたソフトバンクモバイル(株)技術統括ワイヤレスシステム研究センター、藤井輝也センター長をはじめ、研究員の皆様方に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] N. Kusashima et al., "Dynamic fractional base station cooperation using shared distributed remote radio units for advanced cellular networks," IEICE TRANS. COMMUN., vol. E94-B, no.12, pp.3259-3271, Dec. 2011.
- [2] "Sharing studies between IMT-Advanced systems and geostationary satellite networks in the fixed-satellite service in the 3 400-4 200 and 4 500-4 800 MHz frequency bands," ITU-R M.2109.
- [3] 中道一 他, "フィードバック誤差に耐性のあるマルチユーザー MIMOのためのアンテナ構成に関する研究," 信学技報, A・P2011-199, Mar. 2012.
- [4] TR 36.814 V9.0.0, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects," 3GPP, 2010.
- [5] M. Mikami et al., "Field evaluations on a prototype system of cooperative multi-cell MIMO transmission for asynchronous inter-site base station networks," Proc. IEEE, VTC, 2011.
- [6] TS 36.300 V8.12.0, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN) overall description," 3GPP, 2010.
- [7] TS 36.211 V8.9.0, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); Physical channels and modulation," 3GPP, 2009.
- [8] T. Okamawari et al., "Design of control architecture for downlink CoMP joint transmission with inter-eNB coordination in next generation cellular system," Proc. IEEE, VTC, 2011.
- [9] 丹野元博 他, "LTE-Advancedにおけるヘテロジニアスネットワーク," IEICE, Tech. Report, RCS2009-317, pp.345-350, Mar. 2009.
- [10] 宮島春弥 他, "次世代移動通信ネットワークにおける協調同期システムの開発と評価," IEICE, Tech. Report, NS2008-133, pp.373-378, Mar. 2009.
- [11] H. Miyajima et al., "A prototype system for evaluating multi-cell cooperative transmission in asynchronous mobile radio networks," Proc. IEEE, VTC, 2011.
- [12] 岡廻隆生 他, "LTE-Aに向けたX2インターフェースを用いた基地局間協調送信装置の開発," B-5-70, IEICE, 信ソ大会, 2012.
- [13] プレスリリース, URL : http://www.softbankmobile.co.jp/ja/news/press/2012/20120522_01/, ソフトバンクモバイル (株), 2012.

執筆者紹介



齋藤 昭裕 Akihiro Saito
システムコミュニケーションズ社 パナソニック
モバイルコミュニケーションズ (株)
System & Communications Company, Panasonic
Mobile Communications Co., Ltd.



木村 亮介 Ryoosuke Kimura
システムコミュニケーションズ社 パナソニック
モバイルコミュニケーションズ (株)
System & Communications Company, Panasonic
Mobile Communications Co., Ltd.



関 裕太 Yuta Seki
システムコミュニケーションズ社 パナソニック
モバイルコミュニケーションズ (株)
System & Communications Company, Panasonic
Mobile Communications Co., Ltd.



松尾 英範 Hidenori Matsuo
R&D本部 事業開発推進室
Business Development Promotion Office, R&D
Div.



庄子 竜也 Tatsuya Shoji
(株) パナソニック モバイル開発研究所
Panasonic Mobile Communications R&D Lab.
Co., Ltd.



外山 隆行 Takayuki Sotoyama
システムコミュニケーションズ社 パナソニック
モバイルコミュニケーションズ (株)
System & Communications Company, Panasonic
Mobile Communications Co., Ltd.