

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500099

研究課題名(和文) 広域移動を隠蔽する仮想シングルセル構成

研究課題名(英文) Construction of Virtual Single Cell Network that Covers Fast Moving in Wide Area

研究代表者

西村 俊和 (NISHIMURA, Toshikazu)

立命館大学・情報理工学部・准教授

研究者番号：00273483

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：仮想シングルセル(VSC)ネットは、在圏端末があたかも一つのセルに滞留しているように円滑にパケット転送を行えるスモールセルの無線網である。道路に沿って連続配置されたスモールセルをPON (Passive Optical Network) で結合し、対象端末の在圏セルとその隣接セルの集合体を論理マクロセル(LMC)とし、端末移動に合わせてLMCをハンドオーバー(HO)する。本研究では3G-LTEのプロトコルを利用したVSC HO拡張手法を検討した。HOに必要な資源をあらかじめ端末に与えて、移動先基地局にHO実行を端末から直接割り込みで通知すれば、パケット転送サイクル程度の短時間でHOが可能となる。

研究成果の概要(英文)：The virtual single cell net means a small cell net which allows smooth packet transfer to moving terminals as if they stayed in a single cell. Small cells are contiguously deployed over roads, and connected with backhaul using PON (Passive Optical Network) drawing large latency. Each terminal is closed in an LMC (Logical Macro Cell) which consists of a few numbers of adjacent cells around the cell with the target terminal, and LMC is handed over to follow moving terminal. This research examines handover the 3G-LTE based procedures for the small cell net. Taking advantage of LMC, some information like an identifier for interruption to the target base station for handover is prepared before the handover action. If a terminal notifies directly handover to the target base station using requesting interrupt at the instance of the handover necessity, the interruption due to handover is very small, and comparable to the packet transfer cycle.

研究分野：モバイルネットワーク技術

キーワード：スモールセル 仮想シングルセル 3G-LTE PON ハンドオーバー

1. 研究開始当初の背景

スマートフォンの普及とさらなるスマートデバイスの開発・利用の拡大が予想される。移動通信の packet 通信のトラフィックが今後とも増大する[1]。電波という限られた自然資源でトラフィック増大に対処するには無線資源の空間的再利用が必要である。筆者等は small cell を利用した第3の無線 IP アクセス網に位置する small cell ネットの検討を行った[2]。マクロセル中心の広域移動通信網、WiFi 単独 small cell に次ぐものである。複数の small cell を結合し、マクロセルを超える移動追随性を指すもので、VSC (Virtual Single Cell)-net と名付けた研究である[3]。

VSC-net では、以下の理由により 3G-LTE の利用が望ましい。提案ネットワークは屋外利用が中心であり、また広域制御ネットワークとして 3G-LTE ネットワークとの連携が有効である。無線帯域も 3G-LTE が想定する 5GHz 以上の帯域利用を想定し、実用の観点からは無線インタフェースの部品流用の可能性もある。

VSC-net では HO(ハンドオーバー)の高速化が必須である。small cell 間を移動すると高頻度で HO が発生する。VSC-net には単一セルに滞留するような滑らかな packet 転送の実現を目指すもので、中断時間のない HO 実現が求められる。このため、本研究では 3G-LTE 型の HO を提案網に適用した場合の問題を示し、高速 HO の解決策を提案する。

2. 研究の目的

(1) 対象とする通信網

提案する VSC-net は、図 1 に示すように 100m 規模の small cell を主要道路沿いに連続配置し、バックホール網で密に結合して一体運用することで HO 中断を無くし、滑らかな移動通信環境を提供する。端末には仮想的に単一セルに滞留しているように見せる。セル径 100m を時速 100km で通過するとセル通過時間は僅か 3.6 秒である。従来の 500ms 程度の HO 手法では対応困難である。VSC-net ではバックホール網に PON (Passive Optical Network) の利用が必須である。セル径が小さいためバックホール網には膨大な数の基地局を結合する経済性が必要である。PON は光通信路を共有して経済性が高い反面、遅延が大きい問題がある。下りは放送型転送で、上りは TDM (Time Division Multiplexing) で転送を行う。通信路共有のため通信権利を得ないと通信できない。特に上りでは上位から可変通信スロットを指定されて初めて通信可能となる。

(2) 3G 移動通信ネットワークとの関係

VSC-net の無線通信プロトコルには 3G-LTE の極力の利用を前提とするが、3G-PP (将来に渡る移動通信仕様を構築するコンソーシアム) 仕様そのままでは提案の VSC-net には対応できない。3G-PP でも 3G-LTE を拡張した small cell が検討されているが、本

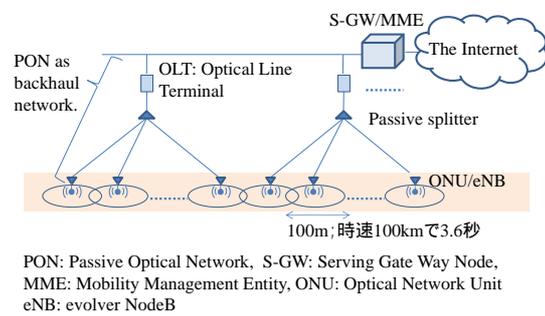


図 1 検討対象のネットワークイメージ

研究の提案とは異なり、トラフィックが集中する任意の位置に配置するため広い条件設定となっている。VSC-net では隣接するセルが密に結合し、この条件を有効に利用し、性能・経済性・効率性の達成を狙っている。VSC-net では隣接セルとの連携が重要であるが、3G-LTE の仕様にはこの連携の仕様を強制できず、むしろマクロセル内への small cell 重複配置が重要である。また、バックホールは高速回線を前提としており、遅延の大きな PON の利用を想定していない。

(3) 3G-LTE の HO 遅延分析

本研究では、VSC-net の HO 手順は 3G-LTE 仕様の修正を想定している。その修正検討の大前提として PON による遅延の配慮が必要である。隣接 eNB 間の連携にバックホール網として PON を利用を考えると、eNB 設置の ONU (Optical Network Unit) から基幹の OLT (Optical Line Terminal) に一旦通信データが上がり、さらに隣接 eNB の ONU に降りてくるという往復通信となる。この経路の上りでは TDM のスロット待ち、下りでは放送用スロット待ちが生じる。

参考文献[4, 5]に基づく 3G-LTE 仕様 HO 手順をもとに、PON による通信遅延を追加したものを図 2 に示す。文献[4]の図では原典[5]の信号種を示す図の線種が正しく反映されていない点に注意が必要である。

3G-LTE 仕様では現用の eNB が主体となって HO を進める。現用 eNB から移動先(対象)eNB の電波測定を指示されると、UE (端末)は指定上り PUSCH を利用して測定結果を報告する。HO 基準に達していると現用 eNB は対象 eNB に HO 要求を出し、対象 eNB は受け入れ UE 向けのランダムアクセスの識別子などを準備し、現用 eNB に送付する。PON ではこの 2 回の通信に対して ms オーダの遅延が生じる。入手情報などを現用 eNB は下り PDSCH 経由で UE に HO 指示として送る。UE は得た識別子を基に対象 eNB に RACH (Random Access CHannel) を使い、ランダムアクセスで同期をとる。3G-LTE は最大 100km 規模のマクロセルをも対象としており、UE-eNB の距離差による遅延のばらつきがあるため、移動先 eNB には RACH による同期がまず必要である。一方、VSC-net では径 100m 規模のセルであり、eNB 間のシンボル時間差は OFDM サイクリックプリアンブル内の差程度であるので、後

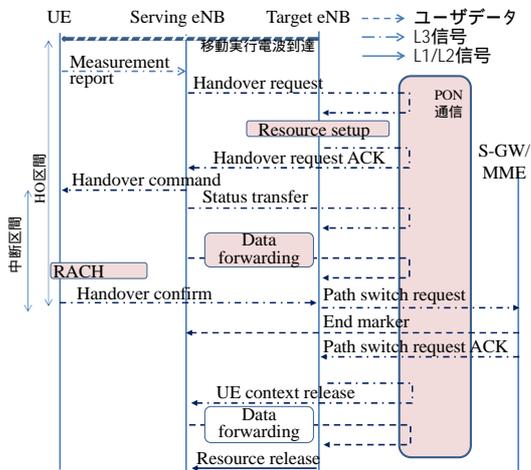


図 2 3G-LTE X2 インタフェースハンドオーバー

(1) ハンドオーバー高速化の対策

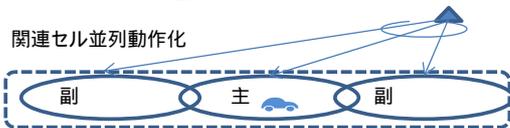
遅延の原因

- バックホール通信
 - HO通知
 - SN通知
- 移動先での処理
- 残留パケット転送
- ランダムアクセス

遅延の原因

- セル間並列動作
- HO事前準備
- HO端末・移動先直接通信

関連セル並列動作化



(2) 高速化後のハンドオーバーシーケンス

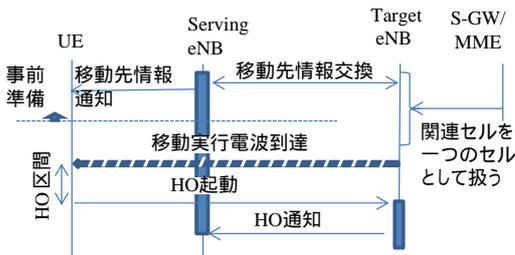


図 3 ハンドオーバー高速化の方針

述するように RACH の省略が可能である。3G-LTE ではこの RACH 遅延が HO 遅延の大きな要因であるので RACH は 10ms のフレームに 1 回割り当てられていたが、3G-LTE advanced では 5ms 周期に短縮されている[4]。また、通常の RACH では識別子の競合しうるが、HO のための RACH では予め HO 指示で識別子を与えるため複数 UE 間の競合は生じない。

HO 後、現用 eNB から対象 eNB への残留パケット転送する必要がある。3G-LTE は高速のバックホール網を仮定しているため、RACH が HO のクリティカルパスと考えられて、残留パケット転送は重要視されていない。一方、図 2 の手順を VSC-net で適用すると転送量によっては PON による遅延が RACH 遅延を超える可能性がある。以降、PON による遅延について考察を進める。

3. 研究の方法

(1) 高速化の対策

3G-LTE では上記の手順が電波検出以降、直列

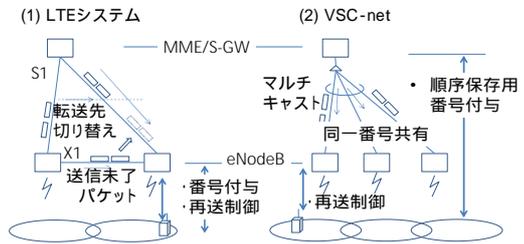


図 4 ハンドオーバーとシーケンスの維持

に逐次処理されて処理期間が延び、HO による中断が生じる。一方 VSC-net では隣接セルと連携をとるという制約を利用して HO 高速化を図る。図 3 に HO 高速化の対策を示す。これは現用 eNB を中心とした隣接 eNB のグループ化によるグループ内 eNB の並列動作と、グループ化による移動先を想定した事前設定である。HO 実行後、次の HO に備えて新たなグループを準備しておく。グループは見掛け上一つのセルのように扱えるようにする。これを論理マクロセル (LMC: Logical Macro-Cell) と呼ぶ。各 eNB は隣接 eNB 情報をあらかじめ備えていて各 eNB は所属論理マクロセルは既知とする。下流パケットは S-GW (Serving Gate Way) から図 4 のように在圏セル eNB だけでなく、対象 LMC に PON マルチキャストし、転送に備えて蓄積をしておく。このマルチキャストは PON の放送機能を利用しており、1 回の転送で LMC 内全 eNB に到達する。LMC マルチキャストの宛先は中心となる eNB を宛先識別子としておけばよい。ある LMC に属する eNB は、この識別子をもとに自 LMC 宛と認識して取り込む。シーケンス番号は LMC 内で共有しておくものとする。バックホール網を通した共有も不可能ではないが、PON の遅延が大きいいためこの手法は有効でない可能性がある。これについては後に議論する。3G-LTE ではシーケンス付与と再送制御は eNB 毎に行っているため、そのまま適用はできない。

HO の事前準備は前回の HO 実行後、LMC の再構成に合わせて行う。移動先での使用識別子などを予め準備し、現用 eNB を経て UE に通知しておく。この処理は次の HO までのセル滞留時間内に行えば良い。3G-LTE のように現用 eNB、対象 eNB 双方と通信可能な期間限定というクリティカルな処理にはならず、十分な準備期間がある。

VSC-net では UE はあらかじめ識別子などの資源を得ているので現用 eNB から移動先 eNB への HO 通知は不要で、直接 UE から移動先 eNB に HO 完了を送ることができる。

なお、図 3 (1) では VSC-net 方式では RACH を省略しているが、ここでは全 eNB は同期がとれ、UE は RACH での同期なしで未連携の eNB と通信可能と仮定している。すなわち、現用 eNB の信号処理を行いながら直交する他のセルの信号処理を行える。本研究でいう各基地局の同期とは、図 5 のように各 eNB のシンボルの変動が CP (サイクリックプリフィックス) 以内であることを意味する。CP 長は 5 μ

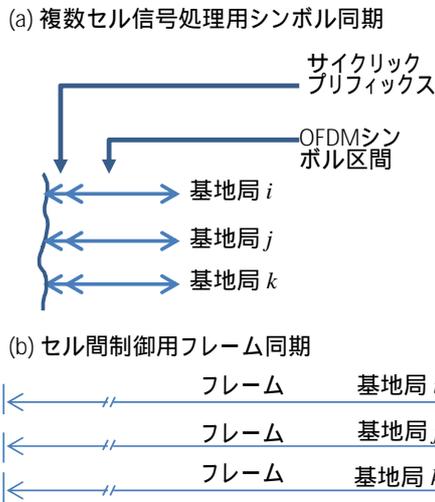


図 5 eNB 間の同期

秒程度、光速で 1500m の距離なので、径 100m のスモールセルでのこの区間を超える変動は考えにくい。また、eNB が同期するならフレーム同期（サブフレーム番号）も VSC-net 内での一致運転も可能と考えられる。

(2) 高速化後の HO と連続化

図 3 (2) に上記議論をまとめた HO 手順を示す。HO を予め準備しておき、移動 eNB から十分な無線電力を検出したとき UE から直接移動 eNB に HO 実施を通知する。通知を受信した新 eNB は図 6 のように自 eNB を中心とした LMC を新たに構成する。次の HO に備えた資源を準備し、UE に通知する。この動作により対象 UE は LMC の外に出ることがなく、継続したパケット転送が可能である。UE はあたかも単一セルに滞留するよう見える。

次の課題は待機 eNB がどのような動作をし、HO の起動をどのように受け取るかである。

(3) LMC 内待機 eNB の運転法

主セルと待機セルの連携方法を検討する。システムの現用・待機の二重系と捉えると、運転法は図 7 のように 両者の並列運転による熱予備 待機側が現用移行をモニタする温予備 待機側を必要時に呼び出す冷予備の 3 案である。なお、この現用・待機は特定端末への動作であり、待機局でも在圏他端末には現用局として動作するため、待機処理が生じれば性能への悪影響は大きい。

対案 1 は熱予備の並列動作型で主セル（現用）と副セル（待機）が同じ動作を行うものである。動作としてのパケット転送は同じであるが両者の負荷が異なり、実行するタイミングは異なるものとする。転送制御動作で待機局は現用局と同様に PDCCH で通信資源を UE に知らせようとするが、応答はない。UE が移動してくると待機 eNB に応答が生じ現用局での応答はなくなる。現用 eNB が待機 eNB となり、待機 eNB が現用 eNB となる。HO 中断は生じないが、現用と予備で資源を 2 倍使うことになる。

対案 2 は温予備の Look-in 型で待機 eNB は積極的に UE の待機セルへの到来をモニタする

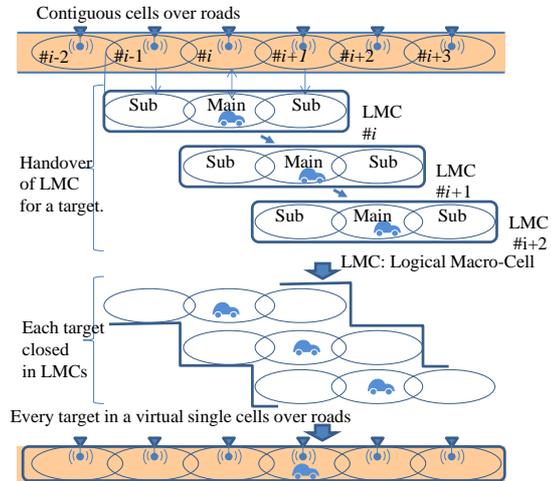


図 6 論理マクロセルのハンドオーバー

ものである。待機 eNB は定期的に PDCCH で PUSCH のリソースを対象 UE に与え、応答を待つ。UE は現用 eNB 通信の空き時間に待機局の電波を監視し、HO を判断したら待機局の PDCCH をモニタする。待機 eNB は HO 準備として PUSCH にシーケンス情報などの端末情報を送る。UE が待機セルに移動すると指定された PUSCH に対象 UE の応答が来る。平均 HO 中断時間は PDCCH の発出周期の 1/2 である。なお、モニタ用 PDCCH に合わせて応答用の PUSCH の資源も準備しておく必要がある。また、在圏していなくても PDCCH 送信処理が必要で、資源が無駄である。

対案 3 は冷予備の割り込み型で UE が副セルに到達して待機 eNB の電波が十分と判断すると直接待機 eNB に通知するものである。スケジュールなしに UE が自律的に待機 eNB に通知するため、同時に複数 UE からの通知が生じる可能性があり、直交情報による割り込みが必要である。資源利用の観点、処理量の観点から割り込み法が望まれる。副セルとしての処理動作は在圏 UE にとっては有効動作でなく、待機処理が不要な割り込み型が望ましいと考える。

(4) 割り込み型に関する通信法

割り込み型 HO では現用 eNB との関係を保ちながらそれまで通信対象でなかった新たな eNB と通信を始める。図 8 に通信開始起動法とタイミングを示した。(1)RACH 法と(2)SR 法がある。これらはイベント起動であり、必要な情報はその後の PDCCH での上りチャネル割り付け、これに応答して PUSCH でシーケンス情報などを基地局に伝えると HO が完了できる。HO 後に転送再開するには現用 eNB と移動 eNB 間でシーケンス番号の継続が必要であるが、PON ではすでに議論したように遅延が大きいいためバックオール網経由は授受は不利である。端末が保持する情報を利用するのがよいであろう。また、VoIP の場合はシーケンス番号の代わりに VoIP を指定し位置固定型の資源割り付けも必要になる。

RACH 資源を用いた割り込み法

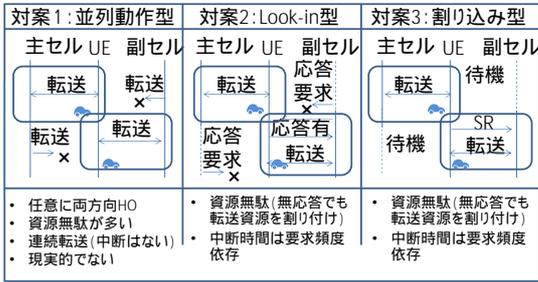


図 7 副セル動作の対案

これは起呼登録など各種ランダムアクセスと共通利用の、プリアンブルと呼ばれる直交信号を用いる。個別にプリアンブルが与えられる場合は、他と同時にアクセスされても競合は生じない。登録などの一般用途には共通プリアンブルを用いるため、同じプリアンブルを複数 UE が利用した場合は論理的に競合整理が行われる。本研究の HO では時間重視で競合が生じないプリアンブルを用いる。3G-LTE では HO 実行の短時間だけ RACH を用いるため問題とならないが、VSC-net のように競合のないプリアンブルを待機中保持し続けると資源枯渇が懸念される。また、プリアンブル受信後に eNB が端末を特定するには RACH フレーム間隔での送受信が必要となるが、現在の仕様ではこれが 5ms 周期と長く、迅速な HO の妨げとなる。

SR 起動型の HO 動作

パケット転送休止から再起動するとき、UE から SR (Schedule Request) を発して通信要求 (HO) を eNB に知らせる。SR 信号はキャリアの位相と直交符号の組み合わせで同時に複数 UE が送っても識別でき、1 単位 24 個の SR 信号が別々に識別できる。RACH による割り込みと異なり、UE に個別に SR 符号を与えておけば直ちに HO 要求端末を識別できる。

SR 符号法では待機局に直接割り込みを起こす。SR 符号は PUCCH 毎に 24 程度とされ、数に限りがあるが、必要な場合は PUCCH 数を増設可能である。増設はデータ転送用資源を圧迫するが、100m 規模の道路上セルなら在圏する UE は数個程度であるので、増設 PUCCH は 2 個程度で資源圧迫は問題とならない。

SR 符号節約の別対策は、複数の端末で同一の SR 符号を共有し、サブフレームで端末を識別することである。個別割り込み不能なので、HO 中断時間が増大する。

これらの案は拮抗しないので、ハイブリッド型の解決策も可能である。すなわち、高速移動で短い中断時間が必要な応用や端末は、端末申告や網契約内容に応じて VSC-net の資源多用型高速 HO を行い、一方歩行者などの低速移動端末では 3G-LTE の資源節約型瞬時動作直列の HO で対応する。使用資源の多少によって高速移動対応可否やオプション通信料金の設定が可能である。

4. 研究成果

スモールセルを道路に沿って連続的に配置したスモールセルネットの HO の高速化を検討した。遅延の大きい PON によるバックホー

(a) UEからの通知法の対案



(b) 通知手段のタイミング関係

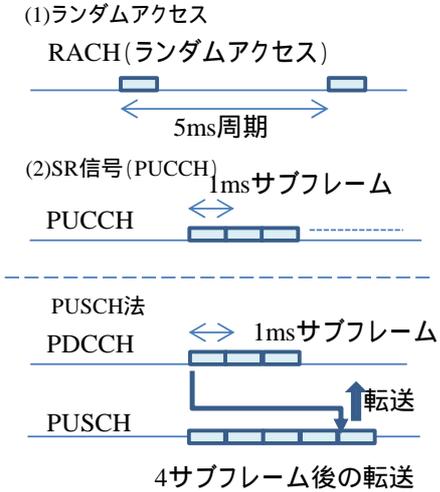


図 8 UE から移動先 eNB への通信手段

ル網、全セルの同期がとれているという条件で 3G-LTE 仕様の HO 手順をスモールセル網に適合化した。隣接するスモールセルをグループ化し、この中であらかじめ HO 制御情報を予約して対象端末に知らせておき、HO 必要時に端末から移動先基地局に直接 HO 実行を通知する。パケット転送サイクルと同程度の時間で HO を完了できる。

< 引用文献 >

- [1] 無線通信システム研究会 2013 年 12 月研究会 無線アクセスネットワーク連携技術特集セッション 3 GPP SON、など。
- [2] 山田喬彦, 西村俊和, “ 仮想シングル制御用に関する一検討, ” 信学技報 RCS2013-352, 2014 年 3 月。
- [3] 山田喬彦, 西村俊和, “ 仮想シングルセル用 PON アーキテクチャ, ” 信学技報 RCS2013-251, 2013 年 12 月。
- [4] Sassan Ahmadi, LTE-Advanced A practical Systems Approach to

Understanding the 3GPP LTE Release 10 and 11 Radio Access Technologies, Academic Press, Oxford, UK, 2014.

[5] 3GPP TS 33.401, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Overall description, Stage 2 (Release 11), December 2012.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 19 件)

1. Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Hot spots evolution to a new wireless LAN with mobility support, Proc. IEICE 10th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT 2015), 査読有, IEICE, 2015, (掲載確定).
2. Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Another cell size reduction of LTE network, Proc. IEICE Information and Communication Technology Forum 2015, 査読有, IEICE, 2015, (掲載確定).
3. Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Virtual-Single-Cell wireless networks with 3G-LTE-based protocol and PON for backhaul network, Proc. the 21st IEEE International Workshop on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN 2015), 査読有, IEEE, 2015, (掲載確定).
4. Phan Thanh-Hoa, Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Adaptability of EPON to a virtual single cell network, Proc. the International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2014), 査読有, IEEE, 2014, pp. 686-690, DOI: 10.1109/ATC.2014.7043475.
5. Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Covering from Spot to Belt: Virtual Single Cell Network for the 3rd Wireless Access Means, Proc. World Telecommunications Congress 2014 (WTC 2014), 査読有, VDE(ドイツ電気技術協会), 2014, 1-6.
6. Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Possibility of a new type of wireless network - Connected small cells with 3G-LTE signaling primitives and PON for the backhaul -, Proc. 16th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium (Networks 2014), 査読有, IEEE, 2014, pp. 1-6, DOI: 10.1109/NETWORKS.2014.6958527.

〔学会発表〕(計 19 件)

1. Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Hot spots evolution to a new wireless LAN with mobility support, IEICE 10th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT

2015), 2015 年 8 月 7 日, Cinnamon Lakeside Colombo (Colombo, Sri Lanka).

2. Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Another cell size reduction of LTE network, IEICE Information and Communication Technology Forum 2015, 2015 年 6 月 5 日, Manchester Metropolitan University Business School (Manchester, United Kingdom).

3. Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Virtual-Single-Cell wireless networks with 3G-LTE-based protocol and PON for backhaul network, The 21st IEEE International Workshop on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN 2015), 2015 年 4 月 24 日, Tsinghua University (Beijing, China).

4. Phan Thanh-Hoa, Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Adaptability of EPON to a virtual single cell network, The International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2014), 2014 年 10 月 17 日, Hilton Hanoi Opera (Hanoi, Viet Nam).

5. Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Possibility of a new type of wireless network - Connected small cells with 3G-LTE signaling primitives and PON for the backhaul -, 16th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium (Networks 2014), 2014 年 9 月 18 日, Vidamar Resort (Funchal, Portugal).

6. Takahiko Yamada and Toshikazu Nishimura, Covering from Spot to Belt: Virtual Single Cell Network for the 3rd Wireless Access Means, World Telecommunications Congress 2014 (WTC 2014), 2014 年 6 月 2 日, Deutsche Telekom AG Hauptstadtrepräsentanz (Berlin, Germany).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 俊和 (NISHIMURA, Toshikazu)
立命館大学・情報理工学部・准教授
研究者番号: 00273483

(2) 研究分担者

山田 喬彦 (YAMADA, Takahiko)
立命館大学・理工学部・非常勤講師
研究者番号: 00268161