セルラシステムと無線 LAN 間の連携技術

山田 暁 Akira Yamada (株) NTT ドコモ
野島大輔 Daisuke Nojima (株) NTT ドコモ

1 はじめに

近年のスマートフォンやタブレットの普及に伴い、モバイル利用時のトラフィック増大が顕著である。特に無線 LAN (Local Area Network) はセルラシステムの通信容量を緩和・解消するためのトラフィックオフロード用途として様々な場面で利用されるようになり、トラフィックが大幅に増大している⁽¹⁾。また、訪日外国人の増加に伴い、通信事業者による訪日外国人向け無線 LAN サービスや、観光地または自治体により無料で利用可能な無線 LAN ホットスポットの設置が進んでいる⁽²⁾。

一方、セルラシステムとは異なり、無線 LAN が利用できる面的なエリアは一般的に限定されており、無線 LAN が利用できないエリアにてスマートフォンによる通信を行う場合はセルラシステムに切り換える必要がある。また、都心部の無線 LAN ホットスポット等では Access Point (AP) が乱立することで快適な無線 LAN の利用が困難なエリアも数多く存在する⁽³⁾。

セルラシステムと無線 LAN の間の切り換えにはユーザ体感品質の低下や通信接続断を防ぐための様々な技術が標準化・実用化されている。更に、昨今はセルラトラフィックの大幅な増大に伴い、セルラシステムの通信容量を拡大する手段として、セルラシステムにて使用されている無線局免許を必要とする周波数帯域 (ライセンスバンド) と無線 LAN にて使用されている無線局免許を必要としない周波数帯域 (アンライセンスバンド) を同時に利用する様々な技術が議論されている。

本稿では上記で述べた状況を鑑み、セルラシステムと無線 LAN 間を連携させるための技術について解説を行う。

2 連携技術の整理

2.1 切換と同時利用

スマートフォン等において、セルラシステムと無線

LAN の両方が同時に利用可能なエリアに存在する場合、各々のインタフェースの切換 (図 1) と、両方のインタフェースの同時利用 (図 2 及び図 3) の、2 通りの利用方法が想定される。

例えば帰宅後、自宅に設置された無線 LAN AP のエリア内に長時間滞在する場合はセルラシステムと無線 LAN 間の“切換”が必要となる。

一方、移動時に無線 LAN エリアへの出入りを繰り返す場合は、無線 LAN エリアの通信品質低下をセルラシステムにて補完することができる“同時利用”が望ましい。更に、無線 LAN エリアとセルラシステムの両方が

図 1 セルラシステムと無線 LAN の切換

図 2 セルラシステムと無線 LAN の同時利用 (通信品質の相互補完の場合)

図 3 セルラシステムと無線 LAN の同時利用 (通信容量を拡大する場合)

安定的に利用できる場合は“同時利用”により、通信容量の拡大が可能となる。

2.2 連携技術の目的

セルラシステムと無線 LAN 間を連携させる技術は、以下のとおり連携させる目的ごとに整理できる。それぞれ、多数の技術が標準化・実用化されている。

①無線区間での同時利用

セルラシステムにて用いられるライセンスバンドと、無線 LAN にて用いられるアンライセンスバンドを同時に利用することで通信品質の安定化や通信容量の拡大を実現する技術。

②ユーザ体感品質の向上

ユーザの手を煩わさず、自動的にセルラシステムと無線 LAN 間を切り換える、または同時利用させる技術。

③セルラのコアネットワークでの無線 LAN トラヒックの収容

LTE (Long Term Evolution) を収容するコアネットワークである Evolved Packet Core (EPC) にて無線 LAN を扱うための技術。

本稿では切換・同時利用それぞれについて、上記①～③について説明する。

3 無線区間での連携

アンライセンスバンドで利用する通信方式や、周波数の組合せにより複数の方式が標準化・実用化されている。

3.1 端末内ソフトウェアでの同時利用

端末内のアプリケーション層にてセルラシステムと無線 LAN を同時利用が実現可能である。例えば、LTE と無線 LAN の両方を利用可能としている端末にて、Hypertext Transfer Protocol (HTTP) のレンジリクエストにより、LTE と無線 LAN で異なるデータレンジをコンテンツサーバから取得し、端末内部でコンテンツ

図4 端末内ソフトウェアでの同時利用

の結合を行う。この方式では、端末内部のソフトウェアの追加のみで実現が可能であり、コンテンツサーバ側への機能追加は不要であり、簡易に実現可能であることから、各社で実用化が行われている^{(4), (5)}。一方で、無線区間を考慮した高精度なスケジューリングは困難であり、またソフトウェアでの処理を行うため、パフォーマンスは相応のものとなる(図4)。

3.2 Multi-Path TCP (MPTCP)

LTE 及び無線 LAN のそれぞれについて、Transmission Control Protocol (TCP) セッションを確立するプロトコルであり、トランスポート層での同時利用を実現する技術である。

Internet Engineering Task Force (IETF) にて標準化が完了しており、端末 OS やコンテンツサーバ側への対応が進んでいる⁽⁶⁾。また、コンテンツサーバ側にて MPTCP へ対応していない場合であっても、通信経路の途中に MPTCP セッションを中継するプロキシサーバを配置することで、MPTCP での通信を行うことが可能となる。

現在、韓国オペレータを中心に商用化されており⁽⁷⁾、今後の世界的な普及が見込まれる。また、iOS については iOS7 以降にて MPTCP が実装されている⁽⁸⁾。

3.3 LTE-WLAN Aggregation (LWA)

LWA はライセンスバンド側では LTE を使い、アンライセンスバンド側では無線 LAN (IEEE802.11) 上で LTE の上位層である Packet Data Convergence Protocol (PDCP) 層のパケットを送信し、同時に使用することで、ユーザスループットの向上を実現する技術である。すなわち、アンライセンスバンド側での物理層 / Medium Access Control (MAC) 層は IEEE802.11 パケットそのものであり、同一周波数帯域に複数システムが共存する際の問題は発生しない。

LWA では、コンテンツサーバから流れるトラヒックは LTE の基地局（以下、eNB）にて LTE 側と無線 LAN 側へ分離される。3GPP では、eNB と無線 LAN 間のインタフェース (Xw インタフェース) が規定されている⁽⁹⁾。

Licensed-Assisted Access (LAA) 同様 Rel-13 にてダウンリンクを中心に標準化が完了し、Rel-14 にてアップリンクを含めた標準化が完了している⁽⁹⁾。また、eNB や端末、AP について LWA に対応する必要がある。

3.4 Licensed-Assisted Access (LAA)

LAA はライセンスバンドではセルラシステムシステム、アンライセンスバンド側では無線 LAN にて利用さ

図5 ライセンスバンドとアンライセンスバンドの連携方式比較

れる 5 GHz 帯域を用いる技術であり、3GPP にて国際標準化が行われている。アンライセンスバンドでは LTE を改良した伝送方式が用いられる。LAA は複数バンドを同時に用いる Carrier Aggregation (CA) においてセカンダリセルにアンライセンスバンドを用いる方式であり、主に無線帯域を拡大することでユーザースループットを向上させることを目的としている。セカンダリセルで使用するアンライセンスバンドは無線 LAN など他システムと同一の周波数帯域を共有することから、無線 LAN と同等のキャリヤセンスを行った後に送信するメカニズムである Listen-Before-Talk (LBT) が新たに規定されている⁽¹⁰⁾。Rel-13 にてダウンリンクを中心に標準化が完了し、Rel-14 にてアップリンクを含めた標準化が完了している。

基地局や端末は LAA に対応する必要があるが、無線に最も近いレイヤにてスケジューリングを行うことから、無線区間における通信品質を考慮した効率的なスケジューリングが可能となる。LAA については各社で屋外トライアルが実施されている。

図5に上記4方式についての比較を示す。(1)~(4)に向け、結合・分離を行うレイヤはより物理層に近づき、同時利用時のスループット特性は向上することが期待される。一方、結合・分離を行うレイヤがアプリケーション層に近づくほど、ソフトウェアでの実装が可能となり、安価に実装することが可能となる。そのほか、LTE をアンライセンスバンドのみで利用可能とする技術である MulteFire⁽¹¹⁾ や、アンライセンスバンド側にて LBT を行わない LTE-U⁽¹²⁾、IP 層にてライセンスバンドとアンライセンスバンドのシステムを結合する LTE WLAN Radio Level Integration with IPsec Tunnel (LWIP) などが議論されている。また、IEEE

表1 連携方式の整理

周波数の組み合わせ		
アンライセンスバンド で使用する通信方式	ライセンスバンド と アンライセンスバンド 両方を使用	アンライセンスバンド のみを使用
	セルラ系	MulteFire
	無線LAN系	IEEE802.11

1932.1⁽¹³⁾ と呼ばれる標準化グループが新たに立ち上がっている。これは、ライセンスバンドとアンライセンスバンドを同時に動作する通信システムにおいてメカニズムを規定する予定である。表1に3.にて述べた連携方式の一覧を示す。

4 ユーザ体感を向上させるための技術

4.1 Access Network Discovery & Selection Function (ANDSF)

ANDSF は 3GPP にて標準化が行われた、効率的にセルラシステムと無線 LAN 間の切替を実現する技術である⁽¹⁴⁾。

図6に ANDSF の概要を示す。オペレータネットワーク等に配置された ANDSF サーバは、接続されている端末向けに HTTP 上において Extensible Markup Lan-

guage (XML) フォーマットで記載されたポリシーの配信を行う。このポリシーには、無線 LAN や LTE/3G 等へ切換を行う場所や時刻、アクセス先のアドレス情報、SSID 等が記載されており、端末はそのポリシーに応じて利用する端末を切り換えて使用する。多数のソフトウェアベンダが ANDSF のクライアント/サーバを開発しており、一部オペレータにて商用導入が行われている⁽¹⁵⁾。

4.2 ホットスポットへの接続操作の簡易化

スマートフォン等が無線 LAN ホットスポットに接続する際は、接続するごとに適切なネットワーク (SSID) の選択、ユーザ名やパスワード、暗号化鍵の設定、規約への合意など、様々な操作が求められる。これらの操作の簡易化のため、Wi-Fi Alliance (WFA) では Passpoint と呼ばれる技術の規格化が行われ、多数の機器が認定を取得している。図 7 に Passpoint の概要を示す。Passpoint では、Release1 と Release2 の 2 段階の認定プログラムを策定している。Release1 では、最適なネットワークの自動検出と自動選択及びセキュアな接続をサポートしている。また、Release2 では、契約を持たないユーザでもその場で簡単にアカウントを作成できるオンラインサインアップ (OSU: Online Signup) 機能や、プロフィールを自動的にダウンロー

ドすることにより簡易設定を実現する機能をサポートしている。Passpoint により、スマートフォンでの無線 LAN の利便性がセルラシステムと同等になることが期待できる (図 8)。

また、通信キャリアで展開している無線 LAN ホットスポットに求める品質や機能の要件である“Wi-Fi Vantage”の認定が開始されている⁽¹⁶⁾。“Wi-Fi Vantage”では、上記で述べた Passpoint や IEEE802.11ac などが利用可能であることが機器認定取得のための条件となっている。

また、無線 LAN キャリヤの団体である Wireless Broadband Alliance (WBA) では、通信キャリアによる無線 LAN ホットスポットの高度化を目的とした議論が進められている。

事業者間ローミングの仕組みを規定する認定プログラムである NGH (Next Generation Hotspot) Program では、国際ローミング環境下でも無線 LAN 利用時のユーザの利便性をセルラシステムと同等レベルまで高めることを目的とした仕様の策定を行っている。具体的には、WBA で規定した事業者間相互接続のための技術仕様とローミング精算を規定している Wireless Roaming Inter-

図 6 ANDSF の概要

図 7 Passpoint の概要

通常の公衆Wi-Fi		Passpoint	
Passpoint非対応		Passpoint対応	
ユーザでAP選択、接続設定を行う必要あり		AP自動通知、ユーザ登録から接続設定を全て自動化	
① AP検索	手動でAPを選択する必要がある	最適なAPを自動通知してくれる	
② ユーザ登録	悪意のあるユーザに傍受されることがある	正当性を証明するため、傍受されない	
③ 端末設定	ID/パスワード入力の必要あり	ID/パスワード入力の必要なし	
④ 安全な接続	盗聴される恐れがある	セキュアな認証方式で、盗聴の恐れがない	

図 8 Passpoint の利点

mediary eXchange (WRIX) と、上述の Passpoint を適用している。WBA では、NGH の認定プログラムの策定にあたり、多数のオペレータにより相互接続試験を行う“NGH Trial” が 1~2 年ごとに実施されている。

4.3 モバイルコアネットワークへの無線 LAN の収容

3GPP では、無線 LAN のトラヒックをセルラシステムのコアネットワークである EPC にて収容可能とする技術が規定されている。図 9 に収容方法の一例を示す^{(17), (18)}。図中、上部は既存のモバイルコアネットワーク、下部は主に SIM カードを用いた認証／暗号化等が行われる信頼できるセルラシステム以外の非 3GPP 無線アクセス（以下、Trusted Non-3GPP Access）、または暗号化技術である IP Security Architecture (IPsec) 等により通信路の暗号化が別途必要となる信頼できないセルラシステム以外の非 3GPP 無線アクセス（以下、Untrusted Non-3GPP Access）である。

Trusted Non-3GPP Access とコア NW 間はユーザデータを転送する S2a と呼ばれるインターフェースで接続される。S2a インタフェースで接続された無線 LAN サービスではネットワークを高度化することにより、S2a Mobility Over GTP (SaMoG) と呼ばれる、無線

LAN とセルラシステム間で同一の IP アドレスを利用することでシームレスなハンドオーバーを実現することが可能となる。

一方、Untrusted Non-3GPP Access では、端末と ePDG の間に IPSec による暗号化を行い、ePDG とコアネットワーク間でユーザデータを転送する S2b と呼ばれるインターフェースで接続される。

4.4 無線 LAN による音声通話サービス “Wi-Fi Calling”

Wi-Fi Calling は主にアメリカのモバイルオペレータ (AT&T, T-Mobile, Sprint 等) から提供される、セルラシステム用の電話番号で無線 LAN 上での通話を可能とする VoIP サービスである。例えば、セルラシステムのエリア外であっても、自宅または無線 LAN ホットスポットエリアであれば携帯電話番号による音声通話の発着信が可能となるサービスである。

Wi-Fi Calling の一般的なネットワーク構成を図 10 に示す。Wi-Fi Calling では、無線 LAN での接続を 3GPP にて規定されている “Untrusted Non-3GPP Access” とみなし、S2b インタフェース接続により、セルラシステムのコアネットワークへ音声データを収容している。

図 9 モバイルコアネットワークへの無線 LAN の収容

図 10 Wi-Fi Calling の網構成

端末側には IPsec クライアントの実装、コアネットワーク側には enhanced Packet DataGateway (ePDG) の設置が必要となる。

5 むすび

本稿ではセルラシステムと無線 LAN 間の連携技術について述べた。近年のスマートフォンの普及に伴い、セルラシステムと無線 LAN の間を連携させる際のユーザの体感品質を向上させるための様々な技術が実装・導入されている。今後も各オペレータ・ベンダによる技術導入や、5G 時代における無線 LAN との連携技術の発展に大きく期待している。

文献

- (1) Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper, Nov. 2017.
- (2) “整備促進に関する取組の説明について,” 総務省/観光庁 無料公衆無線 LAN 整備促進協議会第 4 回幹事会, 2017 年 2 月.
- (3) Y. Inoue, Y. Takatori, Y. Asai, M. Mizoguchi, M. Cheong, and J. Sung, “Beyond 802.11ac—A very high capacity WLAN,” IEEE802.11-13/0287r3, March 2013.
- (4) Samsung Download Booster, <http://www.samsung.com/uk/support/skp/faq/1061358>
- (5) 安田浩人, 森岡康史, 森広芳文, 奥村幸彦, “セルラ及び Wi-Fi の同時利用による Web 体感品質向上の検討,” 信学技報, CQ2013-42, pp.85–89, Sept. 2013.
- (6) A. Ford, C. Raiciu, M. Handley, and O. Bonaventure, “TCP extensions for multipath operation with multiple addresses,” IETF RFC6824, Jan. 2013.
- (7) S.H. Seo, J. Ryu, J. Kim, S. Min, C. Oh, and J. Hyun, “KT’s MPTCP proxy experiences deployment and testing considerations,” IETF 91-MPTCP WG, Nov. 2014.
- (8) Apple, “Use Multipath TCP to create backup connections for iOS,” [https://support.apple.com/](https://support.apple.com/en-us/HT201373)

- (9) 3GPP TS 36.300, “Radio access network (E-UTRAN) overall description stage 2 (Release 14),” Sept. 2017.
- (10) 3GPP TS 36.213, “Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); Physical layer procedures,” Sept. 2017.
- (11) MulteFire, <http://www.multeFire.org/>
- (12) “LTE-U Technical Report,” LTE-U Forum, Dec. 2015.
- (13) IEEE 1932.1 Standard, <http://sites.ieee.org/sagroups-1932-1/>
- (14) 3GPP TS 24.312, “Access network discovery and selection function (ANDSF) management object (MO),” June 2017.
- (15) ANDSF : Access Network Discovery and Select Function, <http://en.eluon.com/c/216>
- (16) <http://www.wi-fi.org/ja/discover-wi-fi/wi-fi-variantage>
- (17) 3GPP TS 24.302, “Access to the 3GPP evolved packet core (EPC) via non-3GPP access networks; Stage 3,” Sept. 2017.
- (18) 3GPP TS 23.402, “Architecture enhancements for non-3GPP accesses,” Sept. 2017.

山田 曉 (正員)

2000 東工大大学院理工学研究科修士課程了。同年 (株) NTT ドコモ入社。以降、公衆無線 LAN サービス開発, 3G/LTE 装置開発, IEEE802.11 標準化, 3GPP 標準化, ARIB 標準化等に従事。現在, NTT ドコモ先進技術研究所。

野島大輔

2012 九工大大学院電子情報工学分野修士課程了。同年 (株) NTT ドコモ入社。以降、公衆無線 LAN サービス開発, 3G/LTE 装置開発, Wireless Broadband Alliance 活動等に従事。現在, NTT ドコモ先進技術研究所。