

通信規格の進化による通信デバイスの非互換を回避するための異種無線規格変換システムの提案

神田隆史^{†1} 神武直彦^{†2}

概要: モバイルネットワークは、ユーザ要求の多様化に対応するために新しい通信規格の採用が定期的に行われている。しかし、異なる通信規格間の接続性は担保されていない。その結果、技術進化への追従が難しい地域では利用できる通信デバイスに制限が発生している。本研究では、通信規格の進化による通信デバイスの非互換の問題を背景に、異なる通信規格を変換するシステムを提案する。本システムは、新しいノードを設けることにより既存システムの変更が不要であり、通信規格への追従を高めるため無線機能にソフトウェアを利用する。本稿では、無線機能にオープンソースソフトウェアを用いた変換システムのプロトタイプでの検証までの成果について報告する。

キーワード: モバイルネットワーク、ルーラルエリアネットワーク、GSM、Software Defined Radio、オープンソース

Proposal of Heterogeneous Wireless Standard Conversion System to Avoid Incompatibility of Transmitting and Receiving Terminals due to Evolution of Communication Standard

TAKASHI KANDA^{†1} NAOHIKO KOHTAKE^{†2}

Abstract: Mobile networks are regularly adopting new communication standards to cope with diversification of user demands. However, connectivity between different communication standards is not secured. As a result, restrictions are imposed on transmitter / receiver devices that can be used in areas where it is difficult to follow technology evolution. In this research, we propose a system that converts different communication standards against the background of incompatibility of transmitting and receiving devices due to evolution of communication standards. In this system, it is unnecessary to change the system by existing y providing a new node, and software is used for the wireless function to enhance tracking to the communication standard. In this paper, we report on prototype verification of conversion system using open source software for wireless function.

Keywords: Mobile Network, Rural Area Network, GSM, Software Defined Radio, Open Source

1. はじめに

2015年9月に国連サミットで合意された「2030 Agenda for Sustainable Development」にて記載された持続可能な開発目標(SDGs)は、持続可能な世界を実現するための17のゴール・169のターゲットから構成され、地球上の誰一人として取り残さない (leave no one behind) ことを宣言している。いくつかのターゲットは情報通信技術 (ICT) 技術であり、「ICTの普及と世界的な相互接続性は、人間の進歩を加速し、デジタル格差を解消し、知識社会を発展させる大きな可能性を秘めている」と記載されている[1]。ICTにより、開発途上国は、産業育成、貧困削減、健康などの主要な開発課題に取り組むことができ、国際社会は、ICTを水、電気、輸送と同等の優先度の高いインフラとして認識している。

2016年には開発途上国におけるモバイルネットワークの人口カバー率は88%[2]となり、農業、健康、金融サービスなどの分野で新たな発展の機会をもたらしている。最も成功したモバイルサービスとアプリケーションの共通点は、

フューチャーホンや2Gネットワーク (GSM) を利用している[3]。

モバイルネットワークは、概ね10年ごとに通信技術が大きく進化し、新産業の創出や社会的課題の解決に貢献し、今後も期待されている。超高速で大量の情報をやりとりできる次世代のモバイルネットワーク通信規格5Gは、商用化に向け、日本をはじめ各国で技術開発を急いでいる。一方、経済的な理由により新しい通信技術のネットワーク導入を控えている発展途上国や地域では5Gが普及する2025年においても、GSMと呼ばれる通信規格が使い続けられる可能性が報告されている[4]。ことから、先進国と開発途上国の間には、モバイルネットワークの通信技術の格差が生まれており、今後更に広がる可能性がある。

モバイルネットワークの通信規格は互換性がないため、異なる通信規格間の接続性は担保されていない。その結果、モバイルネットワークの技術進化により2つの事象が発生する (図1)。ひとつは、ネットワーク側の進化により現在使用している通信デバイスが使えなくなる。開発途上国では経済的や技術的な理由により新しい通信デバイスの普及

^{†1†2} 慶應義塾大学 システムデザイン・マネジメント研究科
Graduate School of System Design and Management, Keio

が遅く、ネットワーク側の進化に通信デバイスの導入が追従でき無い場合、古い通信規格を利用したシステムやサービスはネットワークから切断される。2 つ目の事象は、通信規格の進化により古い通信規格の通信デバイスの需要が少なくなり、入手が困難となり新しい接続機会を失う。この結果、開発途上国では通信規格の進化が経済発展へ悪影響を及ぼす可能性がある。

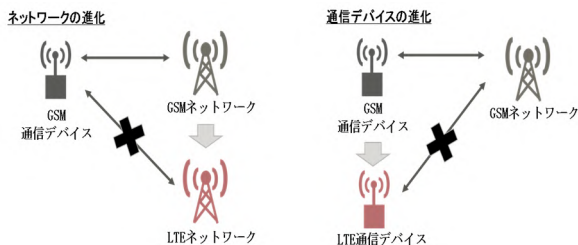


図 1 ネットワーク技術の進化による問題事象

本研究では、通信事業者が提供する通信方式と異なる方式の通信デバイスの接続を実現する異種無線規格変換システムを提案する。

本稿では、開発途上国での普及率が高い通信規格 GSM を利用したネットワークと連携して動作する LTE ネットワークを提供し、LTE 通信デバイスを GSM ネットワーク経由でインターネットへ接続を可能とするアーキテクチャを示す。また、既存の GSM ネットワークへの変更は行わず本システムの導入を可能とし、LTE 通信デバイスも特別な設定は行わず市販の通信デバイスが利用できるアーキテクチャとする。

本システムは、LTE ネットワークに必要な機能を一つのボックスに統合する。本システムは LTE 通信デバイスの接続が必要な場所に LTE 通信エリアを提供し、モバイルネットワークに対応した通信デバイスのインターネットへの接続環境を提供する。概念図を図 2 に示す。

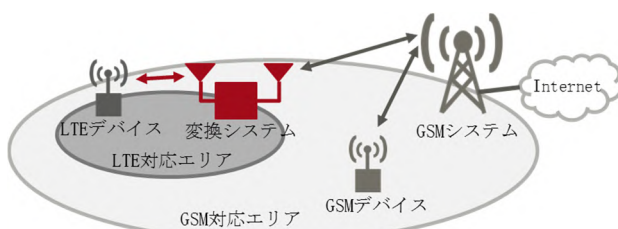


図 2 システムの概要

本システムは、移動しない通信デバイスと限られたエリアに特化する。OpenCellular[5]などのオープンソースを利用したワイヤレスシステムでは、開発途上国の農村全体など広域なエリアを対象としている。広域なエリアにモバイルネットワークを提供する場合、ハードウェア・ソフトウェアに要求される性能、電源の確保などの課題がある。本

システムは、家庭や畑など限られたエリアに通信環境を提供し、要求される性能や電源容量の課題を解決する。また、通信エリアを小さくし、接続される通信デバイスの接続数を制限することによりデータ通信容量を少なくし、バックホールは既存のモバイルネットワークを利用可能とする。LTE ネットワークと GSM ネットワーク比較した場合、GSM ネットワークの性能は低い。本システムにおいて、バックホールに GSM ネットワークを利用する場合、GSM ネットワークの性能を考慮する必要がある。本課題に取り組むために、本提案システムのプロトタイプを実験室に構築し、その性能を評価した。GSM ネットワークの性能を模擬し、本システムが提供する通信速度、遅延量、ネットワークへの負荷の分析結果は、本システムが通信事業者の提供する通信方式と異なる方式の通信デバイスの接続を可能とするシステムであることを示す。

2. 関連研究

2.1 複数無線方式への対応を目指した研究

複数の無線技術に対応することを目指した研究としては、クラウド上に複数の方式に対するネットワークをソフトウェアにて実現する方法と端末側で複数の通信方式に対応する方式がある。IF Akyildiz[6] らは、SoftAir と呼ばれるソフトウェアアーキテクチャにより、クラウド上に仮想(または論理)ネットワークを作成するように設計し、複数の無線アクセス技術などの異なる技術の共存を可能とするアーキテクチャを提案している。V.Rakovic[7] らは、Software Defined Radio (SDR) の設計に基づき、オープンソースソフトウェアを使用して複数の無線方式に対応した基地局のプラットフォームを提案している。このプラットフォームは、仮想化された GSM および LTE 機能を備えている。

2.2 ローカルエリアのネットワーク提供を目指した研究

A.Anand[8] らは、VillageCell と呼ばれる低コストの GSM システムは、VoIP (Voice over IP) を統合したローカライズされたモバイルネットワークを提供するためのアーキテクチャの提案と実験室にて評価を行っている。この研究は、OpenBTS[9] と呼ばれるオープンソースソフトウェアを実装している。OpenBTS は GSM 方式で信号を送受信し、ローカルの GSM 基地局として機能する。バックホールに電話回線や無線 LAN を利用し、低コストなモバイルネットワークの提供を可能にしている。Zheleva[10] らは、ザンビアでの地域内の音声通話のためにバックホールに無線 LAN を利用し、同様のシステムを導入した。

複数の無線技術に対応することを目指した研究では、モバイルネットワークのハードウェアまたは通信デバイスにて複数の無線技術に対応する機能を割り当てることを前提

している。そのため、既存のモバイルネットワークまたは通信デバイスの変更が必要となる。ローカルエリアのネットワーク提供を目指した研究では、バックホールに電話回線などの利用を前提としている。そのため、バックホール用の回線が整っている環境であることが前提となっている。本研究では、既存システムの変更を不要とし、バックホールには既存の GSM ネットワークを利用するアーキテクチャを実現する。

3. 提案システム

本研究では、通信事業者が提供する通信方式と異なる方式のデバイスの接続を実現する異種無線規格変換システムを提案する。本章では、LTE 対応エリアを提供し、LTE 通信デバイスと GSM 基地局間の無線インタフェースの変換を行い、LTE デバイスと GSM システムの接続を実現するシステムについて説明する。

本システムは、以下の目標を念頭において設計を行った。

- ・既存のネットワーク・通信デバイスに変更は行わない
- ・既存のネットワーク性能を考慮し、必要なシステムコンポーネントのレイアウトを設計する
- ・低コストで導入が簡単なシステムを開発する

3.1 アーキテクチャの概要

提案システムの機能ブロックを図 3 に示す。提案システムは、技術進化の早い無線インタフェース着目し、LTE 通信デバイスと GSM 基地局間のインタフェースの変換を行う。本システムは LTE 信号を受信し、復調し、LTE 通信デバイスから送信されるデータをパケットに変換する。また、GSM 基地局からの信号を受信、復調し、GSM 基地局からの信号に含まれるインターネットからの信号を LTE 信号に変換する。本システムの主なサブシステムは、基地局、パケットコア、バックホールとなる。基地局の主なコンポーネントは、無線機能 (RF) とベースバンド機能 (BB)、パケットコアの主なコンポーネントは、移動性を管理あるいは制御する機能 (Mobility Management Entity, MME)、端末のモビリティのためのアンカーポイント機能 (Serving Gateway, SGW)、外部ネットワークとの接点・IP アドレス管理・パケットフィルタリング機能 (Packet Data Network Gateway, PGW)、端末の加入者情報管理機能 (Home Subscriber Server, HSS) である。

本システムは、LTE ネットワークに必要な機能の一つのボックスに統合し、通信デバイスの近くに設置することにより、LTE ネットワークに必要な機能を通信事業者のネットワークに実装する必要がなく、既存の GSM ネットワークへの変更は行わず本システムの導入を可能とする。また、LTE 通信デバイスは、商用の LTE ネットワークと同じ動作となるため、特別な設定は行わず市販のデバイスが利用可

能なアーキテクチャである。

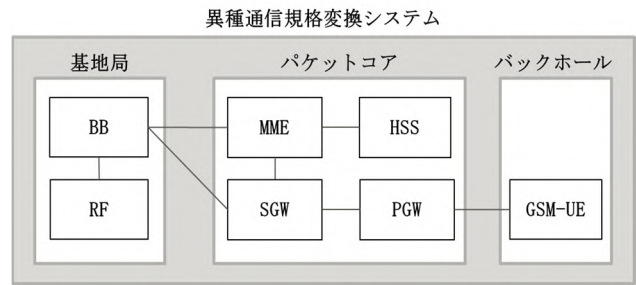


図 3 システムの機能ブロック図

通信事業者が提供する LTE ネットワークでは、基地局とパケットコアは、別々の場所に設置され、パケットコアは複数の基地局と接続される(図 4)。基地局とパケットコアは、常に接続されている必要があり、ハートビートと呼ばれるメッセージを基地局とパケットコア間で定期的を送受信を行い、接続が有効であることを確認する。基地局とパケットコアを分離した場合、通信デバイスが通信していない場合においても、基地局間とパケットコア間に信号が流れる。提案のシステムは、基地局とパケットコアは同一のハードウェアに実装され、ハートビートの信号は、バックホールに流れない。これにより、LTE と比較し周波数の利用効率が低く、通信速度が低い GSM ネットワークの負荷の軽減を可能とする。しかし、基地局とパケットコアを同一のハードウェアに実装する場合、システム設置ごとにパケットコアが必要となり、コストの課題がある。

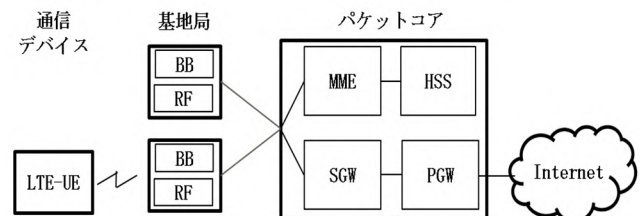


図 4 パケットコア分離型ネットワーク構成

本システムのうちサブシステムの基地局とパケットコアは、OpenAirInterface (OAI) [11]と呼ばれる LTE プロトコルスタックの無料のオープンソースソフトウェアを利用し、コストの課題を解決する。OAI は、基地局とパケットコアを実現し、無線機能 (RF) とバックホールのインタフェースを確立する。OAI の重要機能の 1 つは、LTE データと IP パケットの相互変換である。OAI は LTE 信号を受信し、復調し、LTE 通信デバイスから送信されるデータを IP パケットに変換する。また、バックホールの GSM 通信デバイス (GSM-UE) からの IP パケット信号を LTE 信号に変換する。もう一つの重要な機能は、LTE 通信デバイスと本システム間の通信を確立するための制御を行う。LTE デバイスからの通信要求に応じ、LTE デバイスへの接続許可・

パラメータの通知，基地局へのパラメータ設定，LTE デバイスの接続状態管理を行う。無線機能 (RF) は，OAI に対応する市販のソフトウェア無線用ハードウェア BladeRF[12]を利用し，設定した周波数にて送受信を行う。このアーキテクチャはサブシステム，コンポーネント単位に簡易に拡張出来る。

本アーキテクチャにより，LTE 通信デバイスは，標準規格 3GPP に準拠した通信プロトコルで本システムを経由し GSM ネットワークへ接続され，インターネットにつながる。LTE 通信デバイスとインターネット間のデータ経路を図 5 に示す。

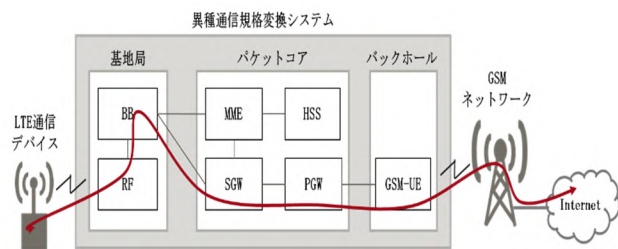


図 5 通信デバイスデータの経路

4. 評価

プロトタイプによる，通信速度，遅延量とバックホールのデータ量を測定し，提案システムの効果，既存ネットワークへの影響と性能を評価した。バックホールは，日本国内の携帯電話事業者の商用ネットワークを利用した。現在，日本では通信規格 GSM の運用は，行われていないため，バックホール用のコンポーネントを WCDMA (第 3 世代通信規格) 通信デバイス (WCDMA-UE) に変更した。今回のプロトタイプは，市販品で簡単に入手可能なハードウェアを利用し，本システムに必要なコンポーネントを実装した。

基地局とパケットコアは，インテルベースの Linux を実行する市販のノートパソコンに，OAI の BB, MME, SGW, PGW, HSS のコンポーネントを実装した。無線機能は，OAI に対応する市販のソフトウェア無線用ハードウェア BladeRF を利用し，ノートパソコンに USB で接続した。評価では，多くの LTE デバイスが対応している周波数 1800MHz 帯を使用した。バックホール用の WCDMA 通信デバイスは，市販のスマートフォンを利用し，ノートパソコンとは USB インタフェースにて接続した。評価構成を図 6，ソフトウェアとハードウェアの構成概念図を図 7 に示す。プロトタイプに設定を行った主なパラメータを表 1 に示す。

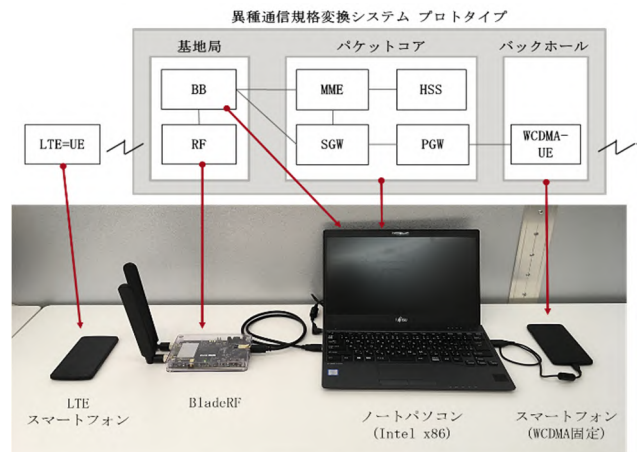


図 6 プロトタイプを使った評価の構成

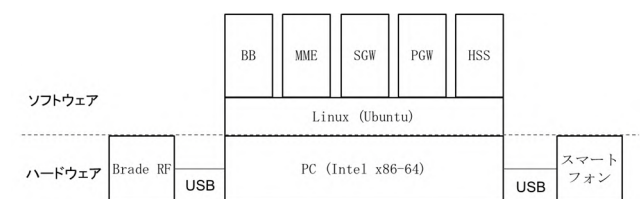


図 7 プロトタイプ構成概念図

表 1 プロトタイプの主なパラメータ設定値

| パラメータ名 | 設定値 |
|--------|----------------|
| 通信方式 | FDD-LTE |
| 周波数 | Band3(1800MHz) |
| 周波数帯域幅 | 5MHz |
| 送信モード | Model1(SISO) |

4.1 データ送受信性能評価

LTE スマートフォンをプロトタイプと通信を行い，通信速度，遅延量とバックホールのデータ量を測定し，評価を行った。

4.1.1 構成

評価で使用する LTE スマートフォンは，OpenSignal が提供するスピード測定アプリケーション OpenSignal 3G/4G[13]をインストールした。バックホールのスマートフォンは，Android OS の設定にて通信方式を WCDMA に固定し，通信事業者が運用する WCDMA ネットワークへ接続した。GSM ネットワークへの接続を模擬するため最大通信速度 400kbps に設定された通信回線を利用した。

4.1.2 測定方法

LTE スマートフォン上のスピード測定アプリケーション OpenSignal 3G/4G を利用し，LTE スマートフォンの受信 (インターネット→LTE スマートフォン) の通信速度，LTE スマートフォンの送信 (LTE スマートフォン→インターネット) の通信速度，LTE スマートフォンとインターネット間

の往復遅延量を測定した。画面イメージを図 8 に示す。全 10 回測定を行った。

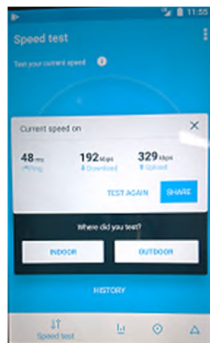


図 8 測定アプリケーション画面

4.1.3 評価結果

測定結果を表 2 に示す。LTE スマートフォンの受信速度の測定結果を図 9 に示す。LTE スマートフォンの送信速度の測定結果を図 10 に示す。LTE スマートフォンとインターネット間の往復遅延量を図 11 に示す。

表 2 データ送受信測定結果

| パラメータ名 | 最大値 | 最小値 | 平均値 | 標準偏差 |
|---|-----|-----|-----|------|
| LTE スマートフォン 受信速度 (kbps) | 408 | 247 | 307 | 40 |
| LTE スマートフォン 送信速度 (kbps) | 404 | 207 | 318 | 68 |
| LTE スマートフォン とインターネット間の 往復遅延量 (ms) | 148 | 96 | 114 | 14 |

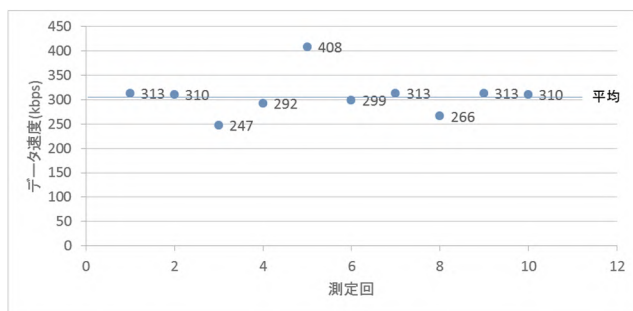


図 9 LTE スマートフォン受信速度

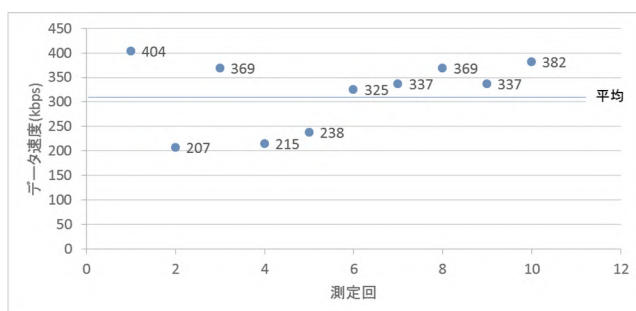


図 10 LTE スマートフォン送信速度

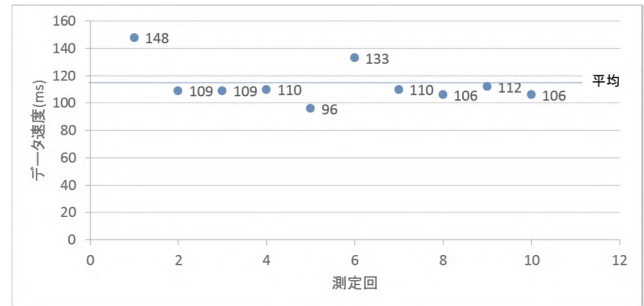


図 11 LTE スマートフォン-インターネット間遅延量

4.2 バックホール性能評価

本プロトタイプで利用したバックホール用スマートフォンの通信速度、遅延量とバックホールのデータ量を測定し、評価を行う。

4.2.1 構成

バックホールに使用するスマートフォンの通信方式を WCDMA に固定し、商用ネットワークに接続、最大通信速度 400kbps に設定された通信回線を利用した。スピード測定は、アプリケーション OpenSignal 3G/4G を利用した。

4.2.2 測定方法

LTE スマートフォン上のスピード測定アプリケーション OpenSignal 3G/4G を利用し、バックホール用スマートフォン (インターネット→スマートフォン) の通信速度、バックホール用スマートフォン (スマートフォン→インターネット) の通信速度、スマートフォンとインターネット間の往復遅延量を測定。全 10 回測定を行った。

4.2.3 評価結果

測定結果を表 3 に示す。バックホール用スマートフォンの受信速度の測定結果を図 12 に示す。バックホール用スマートフォンの送信速度の測定結果を図 13 に示す。スマートフォンとインターネット間の往復遅延量を図 14 に示す。

表 3 バックホール性能測定結果

| パラメータ名 | 最大値 | 最小値 | 平均値 | 標準偏差 |
|--|-----|-----|-----|------|
| バックホール用スマートフォン の受信速度 (kbps) | 308 | 230 | 265 | 22 |
| バックホール用スマートフォン の送信速度 (kbps) | 563 | 230 | 368 | 108 |
| スマートフォン (WCDMA 固定) とインターネット間の 往復遅延量 (ms) | 67 | 48 | 55 | 6 |

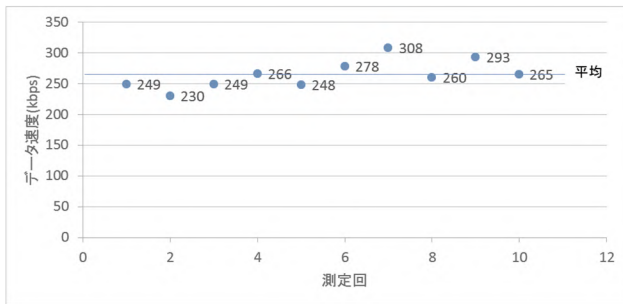


図 12 バックホール用スマートフォン受信速度

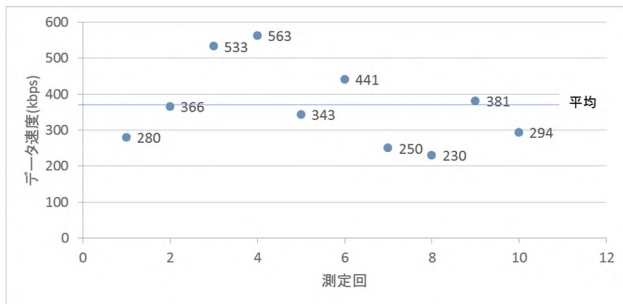


図 13 バックホール用スマートフォン送信速度

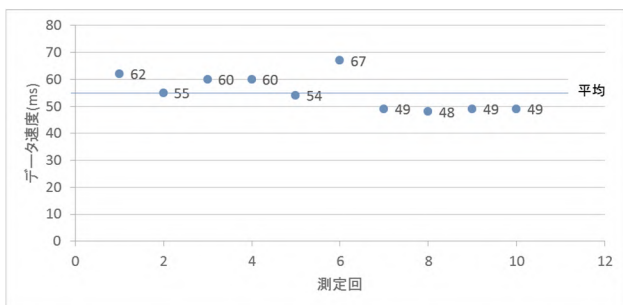


図 14 バックホールの遅延量

4.3 パケットコア一体型の評価

本システムは、パケットコアを基地局と同一のハードウェアに実装する。基地局とパケットコア間およびパケットコアとバックホール間の IP パケットデータを取得し、一体型のバックホールへの負荷を評価する。

4.3.1 構成

評価構成を図 15 に示す。基地局、パケットコアの設置場所を分けた分離型タイプは、基地局とパケットコア間に IP スイッチと IP パケット取得用パソコンを設置した。基地局とパケットコアを同一のハードウェアに実装した一体型は、インターネット間のインタフェースに IP スイッチと IP パケット取得用パソコンを設置した。

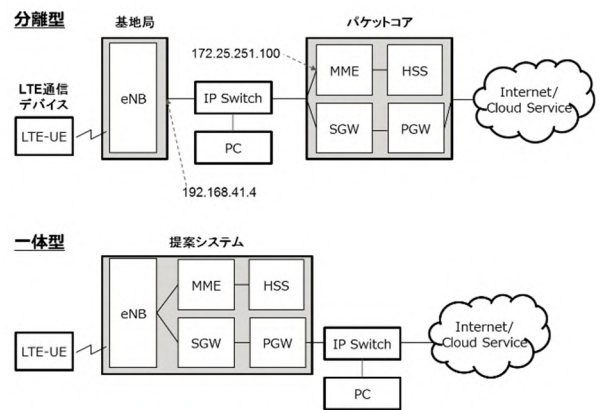


図 15 パケットコアレイアウト評価構成

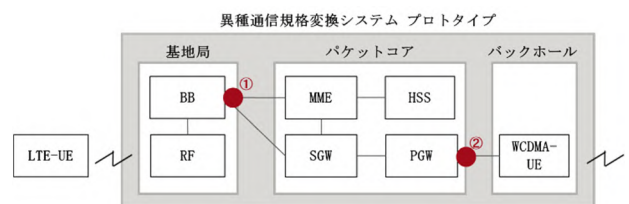


図 16 一体型 IP パケットデータ取得箇所

4.3.2 測定方法

分離型は、LTE 通信デバイスの通信が行われていない状態で基地局とパケットコア間の IP パケットの取得を行い、パケット解析ツール Wireshark で基地局とパケットコア間の通信を確認した。

一体型は、ネットワーク通信のデータを取得し、その結果を出力するツール tcpdump を利用し、ノートパソコンに実装した基地局とパケットコア内の IP パケットを取得した。LTE スマートフォンの電源がオフで通信を行っていない状態から電源をオンし、通信を行うまで取得した IP パケットを解析ツール Wireshark で基地局とパケットコア間(図 16①)、パケットコアとバックホール間(図 16②)にフィルタリングした。

4.3.3 測定結果

LTE スマートフォンの電源オフ状態にて分離型で取得した IP パケットデータの結果を図 17 に示す。LTE スマートフォンが通信を行っていない状態においても、基地局とパケットコア間で双方にハードビート信号の送受信を定期的に行っている。

一体型で取得した基地局とパケットコア間(図 16 ①) IP パケットを図 18 に示す。LTE スマートフォンが通信を行っていない状態においても、基地局とパケットコア間で双方にハードビート信号の送受信を定期的に行っている。パケットコアとバックホール間(図 16 ②)の IP パケットは、発生していなかった。

LTE スマートフォンの電源オンし、インターネットに接

続する直前までの IP パケットを図 19 に示す。LTE 通信デバイスが必要な制御信号が基地局とパケットコア間で送受信されている。パケットコアとバックホール間(図 16 ②)の IP パケットは、発生していなかった。

| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
|-----|------------|----------------|----------------|----------|--------|---------------|
| 5 | 2.708324 | 172.25.251.100 | 192.168.41.4 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |
| 6 | 2.708644 | 192.168.41.4 | 172.25.251.100 | SCTP | 98 | HEARTBEAT_ACK |
| 45 | 16.303105 | 192.168.41.4 | 172.25.251.100 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 46 | 17.084558 | 172.25.251.100 | 192.168.41.4 | SCTP | 94 | HEARTBEAT_ACK |
| 106 | 33.976962 | 172.25.251.100 | 192.168.41.4 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |
| 107 | 33.977272 | 192.168.41.4 | 172.25.251.100 | SCTP | 98 | HEARTBEAT_ACK |
| 173 | 47.662115 | 192.168.41.4 | 172.25.251.100 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 174 | 47.662116 | 172.25.251.100 | 192.168.41.4 | SCTP | 94 | HEARTBEAT_ACK |
| 214 | 64.648305 | 172.25.251.100 | 192.168.41.4 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |
| 215 | 64.648718 | 192.168.41.4 | 172.25.251.100 | SCTP | 98 | HEARTBEAT_ACK |
| 282 | 80.300959 | 192.168.41.4 | 172.25.251.100 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 283 | 80.301076 | 172.25.251.100 | 192.168.41.4 | SCTP | 94 | HEARTBEAT_ACK |
| 369 | 96.036898 | 172.25.251.100 | 192.168.41.4 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |
| 370 | 96.037054 | 192.168.41.4 | 172.25.251.100 | SCTP | 94 | HEARTBEAT_ACK |
| 457 | 112.939946 | 192.168.41.4 | 172.25.251.100 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 458 | 112.939947 | 172.25.251.100 | 192.168.41.4 | SCTP | 94 | HEARTBEAT_ACK |
| 539 | 126.827349 | 172.25.251.100 | 192.168.41.4 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |
| 540 | 126.827538 | 192.168.41.4 | 172.25.251.100 | SCTP | 98 | HEARTBEAT_ACK |
| 663 | 145.658735 | 192.168.41.4 | 172.25.251.100 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 664 | 145.658911 | 172.25.251.100 | 192.168.41.4 | SCTP | 94 | HEARTBEAT_ACK |
| 711 | 158.014765 | 172.25.251.100 | 192.168.41.4 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |

図 17 分離型 IP パケットデータ結果

| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
|-----|-----------|------------|-------------|----------|--------|---------------|
| 19 | 6.077613 | 127.0.0.20 | 127.0.0.1 | SCTP | 100 | HEARTBEAT |
| 20 | 6.077663 | 127.0.0.1 | 127.0.0.20 | SCTP | 100 | HEARTBEAT_ACK |
| 25 | 8.125611 | 127.0.0.1 | 127.0.0.20 | SCTP | 100 | HEARTBEAT |
| 26 | 8.125624 | 127.0.0.20 | 127.0.0.1 | SCTP | 100 | HEARTBEAT_ACK |
| 28 | 10.173646 | 127.0.0.1 | 127.0.0.20 | SCTP | 100 | HEARTBEAT |

図 18 電源オフ状態 基地局とパケットコア間データ

| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
|-----|-----------|------------|-------------|--------------|--------|-------------------------------|
| 47 | 13.593128 | 127.0.0.1 | 127.0.0.20 | S1AP/NAS-EPS | 208 | InitialUEMessage, Attach req |
| 48 | 13.594291 | 127.0.0.20 | 127.0.0.1 | S1AP/NAS-EPS | 112 | DownlinkNASTransport, Identif |
| 51 | 13.621013 | 127.0.0.1 | 127.0.0.20 | S1AP/NAS-EPS | 148 | UplinkNASTransport, Identity |
| 62 | 13.623929 | 127.0.0.20 | 127.0.0.1 | S1AP/NAS-EPS | 144 | DownlinkNASTransport, Authen |
| 67 | 13.801998 | 127.0.0.1 | 127.0.0.20 | S1AP/NAS-EPS | 148 | UplinkNASTransport, Authenti |
| 68 | 13.803246 | 127.0.0.1 | 127.0.0.1 | S1AP/NAS-EPS | 124 | DownlinkNASTransport, Securi |
| 71 | 13.822205 | 127.0.0.1 | 127.0.0.20 | S1AP/NAS-EPS | 136 | UplinkNASTransport, Security |
| 88 | 13.828859 | 127.0.0.1 | 127.0.0.1 | S1AP/NAS-EPS | 276 | InitialContextSetupRequest, |
| 90 | 13.880140 | 127.0.0.1 | 127.0.0.20 | S1AP | 164 | UECapabilityInfoIndication, |
| 92 | 14.081650 | 127.0.0.1 | 127.0.0.20 | S1AP/NAS-EPS | 184 | InitialContextSetupResponse, |

図 19 LTE スマートフォンの電源オン時のデータ

5. 考察

評価の結果、LTE と WCDMA 間の異なる通信規格の変換が実現できていることが確認された。提案のアーキテクチャでは、パケットコアとバックホール間のインターフェースは、IP パケットとしているため、バックホールの通信モジュールを GSM へ変更した場合もアーキテクチャの変更は不要である。今回の評価結果から LTE と GSM 間の異なる通信規格の変換においても本提案システムで実現できる可能性が高い。

バックホールの最大速度が 400kbps 以下のネットワークにおいて、今回利用した LTE 通信デバイスは、受信速度 307kbps、送信速度 318kbps でインターネットと正常に通信できていることを確認できた。現在普及している GSM の最大速度は 480kbps 以下のため、現在の GSM 通信エリアで利用されているインターネットサービスと同等のサービスを提供できる可能性が高い。

LTE 通信デバイスの往復遅延量の平均値 55ms およびバックホール用スマートフォンで測定した往復遅延量の平均

値 114ms から、本プロトタイプのシステム内の往復遅延量は約 59ms と推定する。今後、通信規格の変換に伴う遅延による現地で利用されるサービスへの影響を検証する必要がある。

サブシステムのパケットコアを基地局と一体化した構成においては、LTE デバイスが通信を行っていない場合、パケットコアの分離型と比較して GSM ネットワークの負荷低減を確認できた。この結果からバックホールのネットワーク性能が低い通信環境においては、基地局とパケットコアの一体型が有効であると言える。

以上の結果から、提案システムは、バックホールに GSM ネットワークを利用した場合においても、ネットワークの負荷を低減し、LTE に対応した通信デバイスが正常に通信出来る可能性が高いと推測される。

6. おわりに

本稿では、通信規格の進化による送受信デバイスの非互換の問題の解消を目的に、異なる通信規格を変換するシステムを提案した。実験室環境でのプロトタイプの結果、本システムが異なる通信デバイスの接続を可能とするシステムであることを示した。パケットコアを基地局と同じハードウェアで実現するネットワークレイアウトへ変更したときのパフォーマンスの変化から本システムが既存のネットワークへの負荷を軽減することを示した。オープンソースと市販品を利用し、本提案システムが実現できることを示した。

今回の評価では、GSM ネットワークの代わりに WCDMA ネットワークを利用した。今後、GSM ネットワークが運用されている地域において、検証と妥当性確認を行う必要がある。提案システムをフィールドに展開する場合、ステークホルダーのニーズに柔軟な対応が必要である。そのため、既存の制限を考慮する必要がある。例えば、周波数ライセンスは、通常、大規模な通信事業者に対しては付与される。しかし、小規模な会社や個人が提案システムを利用する場合、使われる国の規則に従う必要がある。現在、無線 LAN のように自由に使える周波数において LTE を提供する研究も行われている[14]。現地の制度に合わせ利用する周波数を選択する仕組みが必要である。

参考文献

- [1] United Nations (UN). 2015. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development
- [2] ITU. 2018, Achieving universal and affordable Internet in the least developed countries
- [3] ITU, Harnessing the Internet of Things for Global Development
- [4] GSMA. 2018. The Mobile Economy 2018
- [5] <https://www.telecominfraproject.com/opencellular-wireless-access-platform-design/> (2018/11/7 アクセスを確認)
- [6] AKYILDIZ, Ian F.; WANG, Pu; LIN, Shih-Chun. SoftAir: A

- software defined networking architecture for 5G wireless systems. *Computer Networks*, 2015, 85: 1-18.
- [7] RAKOVIC, Valentin, et al. Analysis of virtual resource allocation for cloud-ran based systems. In: *Innovations in Clouds, Internet and Networks (ICIN)*, 2017 20th Conference on. IEEE, 2017. p. 60-64.
- [8] ANAND, Abhinav, et al. VillageCell: Cost effective cellular connectivity in rural areas. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Information and Communication Technologies and Development*. ACM, 2012. p. 180-189.
- [9] <http://openbts.org/> (2018/11/7 アクセスを確認)
- [10] ZHELEVA, Mariya, et al. Kwiizya: local cellular network services in remote areas. In: *Proceeding of the 11th annual international conference on Mobile systems, applications, and services*. ACM, 2013. p. 417-430.
- [11] <http://www.openairinterface.org/> (2018/11/7 アクセスを確認)
- [12] <https://www.nuand.com/> (2018/11/7 アクセスを確認)
- [13] <https://opensignal.com/> (2018/11/7 アクセスを確認)
- [14] ZHANG, Ran, et al. LTE-unlicensed: the future of spectrum aggregation for cellular networks. *IEEE Wireless Communications*, 2015, 22.3: 150-159.