

加入者識別子 (IMSI) の共用による セルラーIoT 端末群の通信回線集約に関する検討

伊藤 学^{†,‡} 西永 望[†] 北辻 佳憲[§] 村田 正幸[‡]

[†] 国立研究開発法人 情報通信研究機構 ネットワーク研究本部 〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

[‡] 大阪大学大学院情報科学研究科 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

[§] 株式会社 KDDI 研究所 モバイルネットワークグループ 〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原 2-1-15

E-mail: [†] {mn-ito, nisinaga}@nict.go.jp, [‡] {mn-ito, murata}@ist.osaka-u.ac.jp, [§] kitaji@kddilabs.jp

あらまし モバイルコア (EPC) では、端末がデータを送信していなくともその接続状態情報を保持し続ける必要がある。このため、大規模に IoT 端末を收容する際には、膨大な量の情報保持のために多くの計算資源が必要となる。本稿では、IoT 端末を対象として、EPC 内に保持される情報を削減する通信制御手法を提案する。提案手法は、同一周期で通信する IoT 端末群に対して、同じ加入者識別子 (IMSI: International Mobile Subscriber Identity) を割り当て、順番に通信するように制御する。提案手法により、1つの IMSI (通信回線) で 100 台以上の IoT 端末が通信できることを報告する。

キーワード IoT, Evolved Packet Core (EPC), International Mobile Subscriber Identity (IMSI), 通信回線集約

A Study of Aggregating Cellular Communication Lines for IoT Devices by Sharing IMSI

Manabu ITO^{†,‡} Nozomu NISHINAGA[†] Yoshinori KITATSUJI[§] and Masayuki Murata[‡]

[†] Network Research Headquarters, National Institute of Information and Communications Technology,
4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo, 184-8795, Japan

[‡] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University,
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871, Japan

[§] Mobile Network Laboratory, KDDI R&D Laboratories, Inc. 2-1-15 Ohara, Fujimino-shi, Saitama, 356-8502, Japan

E-mail: [†] {mn-ito, nisinaga}@nict.go.jp, [‡] {mn-ito, murata}@ist.osaka-u.ac.jp, [§] kitaji@kddilabs.jp

Abstract To provide cellular communication for a large number of IoT devices, a large number of servers are needed to increase the amount of computational resources in mobile core networks (EPC). This is because the EPC needs to keep state information of the devices even if they do not send data. This paper proposes a method for reducing the state information of IoT devices. The proposed method assigns the same international mobile subscriber identity (IMSI) to multiple IoT devices, which upload data with the same cycle, and manage them to upload data with different timings. This paper shows that the proposal can provide cellular communication lines for one hundred or more IoT devices by using only the single IMSI.

Keyword IoT, Evolved Packet Core (EPC), International Mobile Subscriber Identity (IMSI), Cellular-communication-line aggregation

1. はじめに

モノのインターネット (IoT: Internet of Things) の通信を支えるモバイルネットワーク技術の1つとして、広範囲のエリアをカバーしつつ、端末が低消費電力・低コスト (低端末コスト, 低接続コスト) で利用できる技術が期待されている[1]。このような要件が求められる IoT サービスとして、電源接続のないガスや水道のメーター監視, 物流コンテナ・自動車・自転車・ペット等のトラッキング等が挙げられる。

既に広範囲に展開されているセルラー網では、IoT サービスのために低消費電力・低コストの通信を提供するための取り組みがされている。端末の低消費電力化については、PSM (Power Saving Mode) [2]と呼ばれるスリープ状態 (ネットワークからの呼び出しに反応

しない状態) を端末へ導入することで、単三電池 2 本で 10 年程度のバッテリー持ちが達成できる試算がされている[3]。端末の低コスト化については、狭帯域・低速通信で十分である IoT の通信要件を考慮して、シングルアンテナ化や半二重通信を採用することで、RF ハードウェアをシンプル化したモジュールの開発がされている[4]。一方、接続サービスの低コスト化については、仮想化技術を利用したハードウェア資源有効活用や IoT の通信特性を考慮した制御処理最適化による CAPEX/OPEX の削減に向けた研究開発が行われている[5]が、十分に達成できているとは言えない。

セルラー網のコアネットワークである EPC (Evolved Packet Core) では、端末毎にデータ通信路 (ベアラ) の制御を行う。EPC では、端末が無通信であってもそ

の端末の接続状態情報（以下、ステート情報）を保持し続ける必要があることから、大規模な IoT 端末を収容する際には膨大な量のステート情報を保持する必要があり、多くの計算資源が必要となる。計算資源の急増は、CAPEX/OPEX 削減の面で問題となることが多い。つまり、収容する端末数の増加に伴うステート情報を削減できることは重要となる。

ステート情報の削減に大きく寄与できる既存研究には、ゲートウェイとなる端末を設定して複数の端末を束ね、EPC 内にベアラを確立する端末を削減する手法[6]がある。しかし、IoT サービスを広範囲に展開する際、ステート情報を多く削減するためには、複数ゲートウェイの適切な設定エンジニアリングが必要となる。移動端末の存在や端末密度を考慮する必要がある。

本稿では、端末/アクセス網側でのエンジニアリングを必要とすることなく、EPC 内に保持されるステート情報を大きく削減する通信制御手法を提案する。提案手法は、同一周期で通信する IoT 端末群を前提に、同じ加入者識別子（IMSI: International Mobile Subscriber Identity）を割り当て、順番に通信するように制御する。EPC からすると一台の端末が移動と通信を周期的に繰り返しているだけとなる。端末通信タイミングの重複を防ぐために、EPC 内部にタイムスロットを一定間隔で設け、ランダムに電源 ON する IoT 端末の登録処理のタイミングを制御することで、登録後の IoT 端末の通信タイミングの制御を実現する。また本稿では、提案手法により、1つの IMSI で 100 台以上の IoT 端末が通信できることを示す。

以降、2章では EPC 内のステート情報の削減を可能とする関連研究について述べる。3章では IoT 端末が EPC を介してデータ送信する際の動作概要を説明する。4章では IMSI を共用した通信制御を提案する。5章ではシミュレーションによる基本性能の評価を示す。最後に 6章でまとめとする。

2. 関連研究

EPC 内のステート情報を削減できる手法として、EPC に対応する手法、端末/アクセス網側での接続形態により対応する手法の 2 種類に分類することができる。

EPC 側で対応する手法として、標準機能拡張、C-plane/U-plane 分離実装の利用、新規アーキテクチャによる手法が挙げられる。標準機能拡張による手法[7][8]では、EPC 内に常時確立されているトンネル（一般的には、端末の通信状態に関わらず端末毎に常時確立される）の数を削減している。端末が無通信状態の時にはトンネルを解放し、データ送受信時のみオンデマンドに確立している。C-plane/U-plane 分離実装による手法[9][10]では、トンネルを用いずにデータの経路制御を実施している。これら手法では、トンネル数を削減することによるステート情報削減の効果は U-plane に限られ、C-plane の機能に保持されている情報は削減されない。新規アーキテクチャによる手法[11]では、C-plane の情報の削減も実現している。汎用スイッチとミドルボックスを利用した SDN（Software

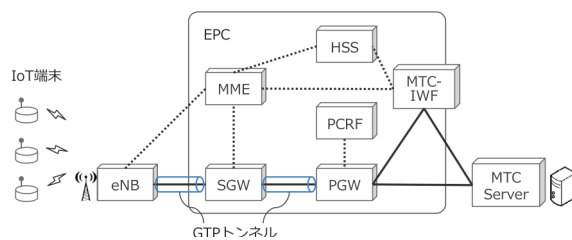


図 1 セルラー網の構成

Defined Network) ベースの経路制御を採用し、トンネルを利用しないことに加えて、経路制御ルール数の集約と類似ルールのスイッチ内自律生成により、コアネットワーク全体の情報量の削減を実現している。

端末/アクセス網側により対応する手法[6]では、ゲートウェイとなる端末が D2D (Device-to-Device) 接続により、複数の端末を終端することで、EPC 内にベアラを確立する端末を削減している。しかし、端末間の通信距離の制限や、ゲートウェイでの収容端末数の制限により、IoT サービスを広範囲に展開するためには、複数ゲートウェイの適切な選択エンジニアリングが必要となってしまう。柔軟な選択設計のために、端末間でのマルチホップ通信の併用も考えられるが、端末側で複雑な処理（経路制御や輻輳制御）が必要となることから、省電力化の観点でバッテリーのみの端末での利用には不利となる。さらに、移動する端末に対しての対応が必要となる。提案手法は、同じ IMSI を割り当てた端末が順番に通信するように制御することで、ゲートウェイ端末を用いずに EPC 内に確立されるベアラ数を削減することができる。

3. セルラー網を利用する IoT 通信

3.1. EPC における動作概要

図 1 に、IoT 端末（以後、明示的に区別しない限り IoT 端末を単に「端末」と呼ぶ）を扱うために追加された機能とともに、EPC の構成を示す。IoT のような MTC (Machine Type Communication) のために、アプリケーションが実装される MTC サーバと、EPC との仲介を行う MTC-IWF (Inter Working Function) が機能要素として追加された[12]。MTC-IWF により、MTC サーバでは端末の IMSI や IP アドレス等の管理が不要となる。端末の識別及び呼び出し(デバイストリガー)には、新しく規定された識別子である EID (External Identifier) が用いられる。基地局 (eNB : eNodeB) に接続された端末が MTC サーバと送受信するパケットは、eNB-SGW (Serving Gateway) 間、SGW-PGW (Packet data network Gateway) 間で確立した GTP (GPRS Tunneling Protocol) トンネルを利用して配送され、経路制御とポリシー制御が実施される。SGW は端末に対して eNB 間シームレスハンドオーバーを提供するアンカーポイント、PGW は外部ネットワークとのゲートウェイとして機能する。GTP トンネルは、移動管理とユーザ認証を司る MME (Mobility Management Entity)、PGW に対して QoS 設定を行う PCRF (Policy and Charging Rules Function)、加入者情報の管理と EID/IMSI 対応を保持している HSS (Home Subscriber

Server) と協調することにより設定される。

端末は電源 ON 後、自らを EPC に登録する (Attach)。この Attach の手順の中で、EPC は、端末の位置登録及び IP アドレス割当、ベアラの確立を行う。この結果、IMSI に紐付けられて端末の IP アドレス、在圏情報、ベアラ ID、外部ネットワーク情報、QoS 情報等が複数の機能要素上で管理される。端末がデータ送信後に無通信状態となると、基地局-SGW 間のトンネルは解放され、端末は Idle (待機) 状態へと遷移する。また IoT 端末では、低消費電力化のために、ネットワーク側からの呼び出しに反応しないスリープ状態に遷移する PSM (3.2 節で説明する) が利用されることが多い。PSM から復帰すると、端末は位置登録エリア更新 (TAU: Tracking Area Update) を実施する。このタイミングで、EPC から呼び出し (ページング) があった場合には、端末は基地局-SGW 間のベアラを再確立し、データを送信する。

3.2. Power Saving Mode

PSM では、端末が無線モジュールの電源を OFF にすることで、ページングに反応しない状態となる。端末は 2 つのタイマー値を用いて PSM への遷移制御を行う。これらのタイマー値は、Attach や TAU の際に EPC から得る。1 つ目のタイマー値 (T3324) は、端末が Idle 状態に留まる時間を制御する。二つ目のタイマー値 (T3412) は、位置登録エリアの更新タイマーであり、このタイマーが満了時、端末は TAU を実施する。これら二つのタイマーは、EPC が無線区間と基地局-SGW 間のトンネルを解放すると、開始される。T3324 のタイマー満了時までには、端末は Idle モードであることから、EPC からのページングに反応できる。このタイマーが満了すると、端末は PSM へと遷移し、T3412 が満了するまで継続する。PSM から復帰には、タイマー満了によるものか、アプリケーションレイヤからのデータ送信要求がある。

4. 提案手法

ゲートウェイ端末を設けずに EPC における通信回線を集約するために、複数端末が 1 つの通信回線を時分割で利用することを提案する。一定周期で通信する IoT 端末を前提に、複数の端末に同じ IMSI を割り当て、順番に通信するよう (通信タイミングが重複しないように) 制御する。EPC からすると 1 つの端末が移動と通信を周期的に繰り返しているように見えるだけとなり、管理する端末の削減につながる。

本提案手法では、IMSI を共用する端末群は、同一サービスで利用される、つまり通信ポリシー (通信周期、通信量) が同じことを想定する。電源 ON 時に EPC への Attach 完了後、定期的な通信をするものとする。

本章では、通信タイミングの重複を防ぐための制御手法を述べる (4.1 節)。また、IMSI を共用する端末群が PSM に対応している場合に限られるが、デバイストリガーの機能を提供するための拡張を述べる (4.2 節)。さらに、標準アーキテクチャをベースに提案手法を実

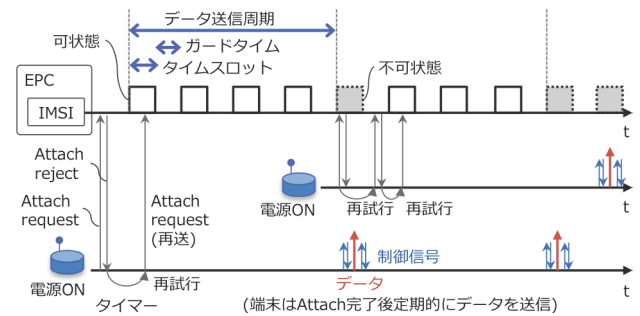


図 2 通信タイミング制御手法

現するために必要な機能追加と手順を述べる (4.3 節)。

4.1. 通信タイミング制御手法

無線アクセス網や EPC 内では負荷変動が存在するため、通信タイミングの重複を防ぐためには、タイミング間隔がある程度空くように制御する必要がある。このため、EPC に保持される IMSI に、登録 (Attach) 処理を受け付けることができるタイムスロットを一定間隔で設け、ランダムに電源 ON する端末からの Attach 処理間隔を制御する。図 2 に概要を示す。データ送信周期は端末がデータをアップロード周期であり、この周期に含まれるタイムスロットの数は、1 つの IMSI を共用できる最大端末数に等しい。タイムスロット間にはガードタイムを挿入する。データ送信周期、タイムスロット、ガードタイムの長さは IoT サービスに依存するが、その値は EPC 若しくは MTC サーバによって制御される (4.3 節で述べる)。タイムスロットは、Attach 処理を受け付ける「可状態」と拒否する「不可状態」の 2 つの状態を持つ。「可状態」の場合のみ Attach 処理を受け付け、そのスロットは以後「不可状態」とする。「不可状態」の場合には、再試行タイマーを含む登録拒否信号 (Attach Reject) を返答する。再試行タイマーの値は、その管理の簡単化のためランダム値を与えてもよいし、次の空きスロットまでの時間を与えてもよい (この場合、空きスロットの管理と再試行タイマー値の計算が必要になる)。端末は、タイマー満了後に再度 Attach を試みる。また、タイムスロット間のガードタイム時にも、再試行タイマーを含む Attach Reject を返答する。このようにして、端末が電源 ON 後の Attach 処理をスロットに当てはめていくことで、複数の端末からの通信タイミングの重複を防ぐ。

4.2. PSM を利用したデバイストリガー手法

端末アプリケーションの挙動変更や信頼性向上 (何らかの不具合で停止したアプリケーションの再起動) のため、端末と MTC サーバ間でアプリケーションレベルでの接続性がない状態でも MTC サーバ主導による要求により端末のアプリケーションを起動できる必要がある。本節では、このようなデバイストリガーを提供できるようにするための方法について述べる。

通常、複数の端末に同一 IMSI を割り当てることをすると、デバイストリガーの提供が困難になる。これは、同一 IMSI の端末群が同じページングエリア (EPC が端末呼び出しをかける範囲であり、複数 eNB で形成

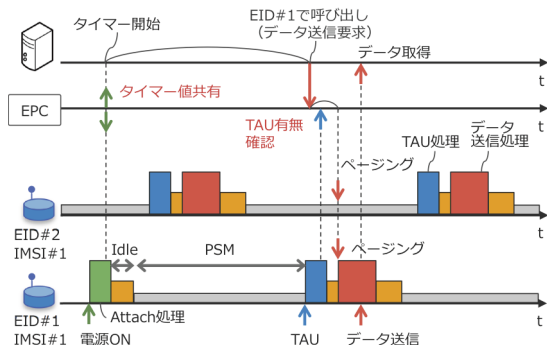


図3 PSMにおけるデバイストリガー制御

される)内に存在する場合には、複数の端末がページングに反応してしまうためである。しかし、PSMに対応しているIoT端末の場合、この限りではない。PSMに遷移している端末はページングに応じることがないため、たとえページングエリア内に同一IMSIの端末が複数存在していても、通信可能タイミング(非PSM)が重複していなければ、1台のみが反応するためである。提案手法では、非PSMタイミングとサーバからの呼び出しを同期するために、Attach時に端末に通知するタイマー(3.2節のT3324)をサーバ側へも通知する。また、タイミングのズレを吸収する機能も導入する。図3に概要を示す。MTCサーバでは、通知されたタイマー満了後、データ送信要求を送信する。この要求を受信したEPCは、対応するIMSIを特定し、該当のIMSIからのTAUの有無を確認する。直近でTAUがない場合には、要求をバッファする。TAUがある場合には、この要求を送信するために、ページングを行う。このページングは、同じIMSIを共用している端末群へ到着するが、非PSM状態である端末のみが反応する。端末はEPCと通信経路を確立し、サーバからのデータ送信要求を受信する。この受信を契機に、端末は保持してあるセンシングデータをサーバへ送信する。

4.3. 標準への機能追加による提案手法適用

3.1節で紹介した標準アーキテクチャへ機能を追加することによって、提案手法を実現することを検討する。EPCにおいては、HSS、MME、MTC-IWFへ機能追加が必要となる。また、MTCサーバ側においても、提案手法のための機能が必要になる。EPC内でのタイムスロットに関する管理を簡易にするため、MTCサーバ主導で管理することを検討する。MTCサーバはEIDの割り当てが可能な期間を一定間隔で設け、またEIDを順番に変更していく。MTCサーバはこの期間のみ、HSS内のIMSIを「可状態」へと変更する。EIDが端末に割り当てられると、MTCサーバはこのEIDの期間にはIMSIを「不可状態」のままとする。これにより、HSSではMTCサーバからの要求に応じてIMSIの状態を変更するだけとなり、タイムスロットと各EIDの管理をする必要がなくなることから、HSSで保持すべき情報の増加を抑制することができる。

図4にAttach時の信号シーケンスを示す(標準からの拡張部分を赤で記している)。MTCサーバは、MTC

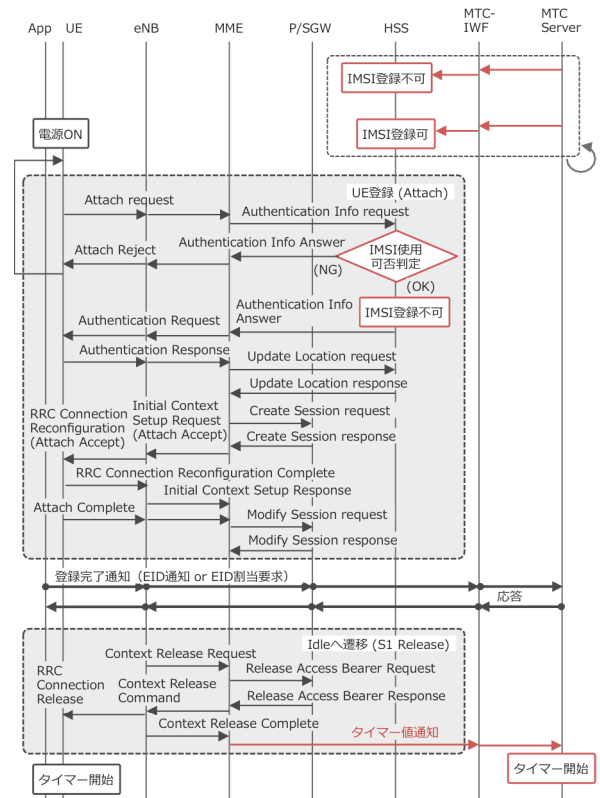


図4 Attach時の信号シーケンス

-IWFを介してHSSに保持されているIMSIの状態(登録可能かどうか)を定期的に更新する。端末は電源ON後、Attach RequestをEPCへ送信する。HSSでは、IMSIの有効性を検査し、「登録不可」の場合、Attach Rejectが端末に回答として送信される。これには、再試行タイマーが含まれる。端末は、このタイマー満了後に再度Attachを実施する。「登録可」の場合は、別端末からのAttachを拒否できるよう、IMSIの状態を変更する。Attach完了後、端末のアプリケーションは、MTCサーバに対して、登録完了通知を送信する。この際、端末側に静的にEIDが設定済みであればEIDを通知し、未設定であれば動的な割り当てを要求する。MTCサーバでは、タイムスロットとEIDの対応を登録する。通信路の解放後、MMEはMTCサーバへ端末に通知したタイマー(T3324)を通知する。MTCサーバはこのタイマー満了時に、先ほど登録したEIDの呼び出しを行う。また、登録済みのEIDのタイムスロットには、HSSへの状態更新を停止する。

図5にMTCサーバからのデバイストリガーを利用する場合のデータアップロード時の信号シーケンスを示す。MTCサーバには、EID毎にタイマーを管理しており、タイマーが満了すると、該当EIDの端末に対してデータ送信要求をMTC-IWFへ送信する。MTC-IWFはこの要求に含まれるEIDに対応するIMSIをHSSから取得する。HSSでの情報削減のため、EIDはグループIDと端末IDから構成し、HSSではIMSIとグループIDのみの対応を保持する。これにより、HSSでは複数のEIDを保持する必要がなくなる。IMSIの取得後、

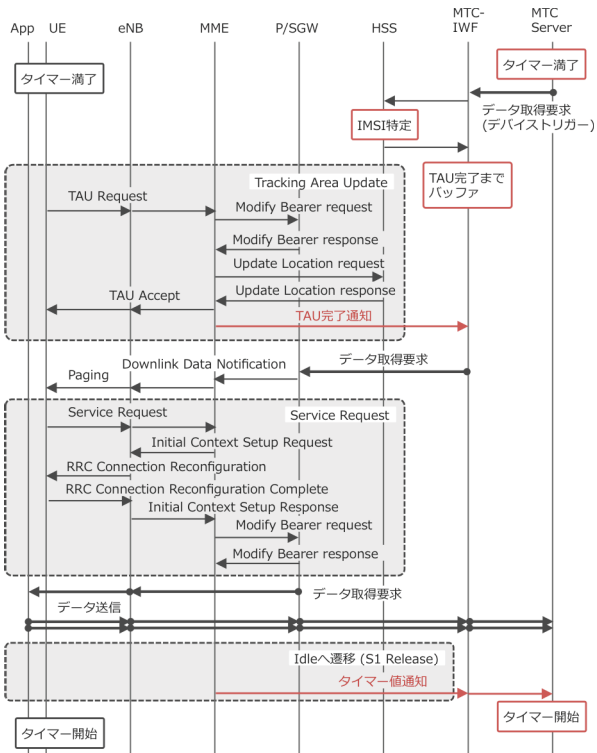


図 5 データアップロード時の信号シーケンス

MTC-IWF では、該当 IMSI から位置登録エリア更新 (TAU) が直近でなければ、データ送信要求をバッファする。一方で、端末から TAU が実施されると、MME は TAU の完了を MTC-IWF へ通知する。通知を受信した MTC-IWF は、バッファしていたデータ送信要求を PGW へ送信する。この要求を端末へ配送するため、MME はページングを実施する。ページングを受信した端末は、無線区間、eNB-SGW 間のベアラを再確立し、MTC サーバから送信されたデータ送信要求を受信する。この受信を契機に、端末のアプリケーションは保持してあったセンシングデータをアップロードする。データアップロード後、通信路は再度解放される。この動作が定期的に繰り返される。

5. シミュレーションによる性能評価

提案手法では、再試行タイマー値によって、Attach の再試行回数が増加し、Attach 完了までにかかる時間、EPC 内への負荷影響も変化する。本稿では、このタイマー値に関してのアルゴリズム検討は行わずに、簡易的に特定範囲内の一様乱数値 (標準に規定されている動作) とした場合の、提案手法の基本的な性能をシミュレーションによって評価した。評価した性能は、IMSI を共用する端末が Attach 完了までにかかる最大時間、Attach Reject の単位時間当たりの数である。

5.1. シミュレーション方法

イベント駆動型の待ち行列システムのシミュレーションを作成した。図 4, 5 に示した信号シーケンスによる処理を模擬した。ネットワーク構成は、簡単のため、1 つの基地局にすべての端末が接続されるものとした。端末の通信パターンとして、IoT サービスとし

表 1 シミュレーションのパラメータ値

Parameters	Values	
端末数	50 - 180	
再試行タイマー [s]	uniform(0s, 60s), uniform(0s, 120s)	
電源 ON 期間 [s]	60, 1800	
シミュレーション回数	1000	
処理時間 [s]	C-plane	U-plane
端末	0.004	0.004
eNB	0.004	0.0015
MME	0.004	-
SGW, PGW	0.004	0.001
HSS	0.004	-
MTC-IWF	0.004	0.001
MTC サーバ	-	0.004
転送遅延 (無線部分) [s]	0.001	
転送遅延 (eNB-SGW 間) [s]	0.0075	
転送遅延 (EPC 内) [s]	0.001	
転送遅延 (EPC-MTC サーバ間) [s]	0.001	

ては高頻度な通信を想定し、端末は 1 秒毎にセンサー情報 (100 byte) を記録し、30 分の周期でサーバへデータをアップロードするものとした。データの通信速度を 1Mbps とし、データ送信完了までに 1.5 秒程度かかるものとした。データ送信前後の通信路確立にかかる時間を考慮したとしても、端末が IMSI を占有する時間は数秒程度で十分だが、余裕をもたせ、タイムスロットを 5 秒とした。またスロット間のガードタイムについても 5 秒とした。以上のことから、1 つの IMSI を 30 分 (1800 秒) の周期で、各端末が 10 秒ずつ占有すると見なせるため、最大で 180 台で時間分割して IMSI を利用できる。

電源 ON する端末の数 (IMSI を共用する端末数) を変え、各端末が電源 ON してから Attach 完了までにかかる時間、単位時間当たりの Attach Reject の数を測定した。Reject に含まれる再試行タイマー値及び電源 ON する端末のタイミングをそれぞれ 2 パターン設定し、合計で 4 通りのパターンでシミュレーションを行った。再試行タイマー値は、特定の範囲内から一様乱数で与えるものとし、その範囲として [0, 60s] 若しくは [0, 120s] を想定した。電源 ON するタイミングは、一度に電源 ON する (60 秒の間にランダムに電源 ON) 場合と、ある程度時間的に分散して電源 ON する (30 分の間にランダムに電源 ON) 場合を想定した。

各シナリオにおいて、各端末数につき 1000 回シミュレーションを行った。ノード処理時間等を含め、シミュレーションに用いたパラメータを表 1 に示す。

5.2. 共用端末数に対する登録完了時間の評価

図 6 に、Attach 完了最大時間を示す。各試行回における最大時間の分布を箱ひげ図で表記し、箱はデータの 25~75% 値を示し、箱の中の太い線は中央値を、棒の上下はデータの 95% 点および 5% 点を示している。パターンによって異なるが、最大共用可能数 (180 台) に対する共用端末数の割合が高くなると、Attach 完了最大時間が急激に増加している。また、一度に電源 ON する状況では、Attach 完了最大時間が長くなっている。再試行タイマー値の範囲を小さくすることで、この時

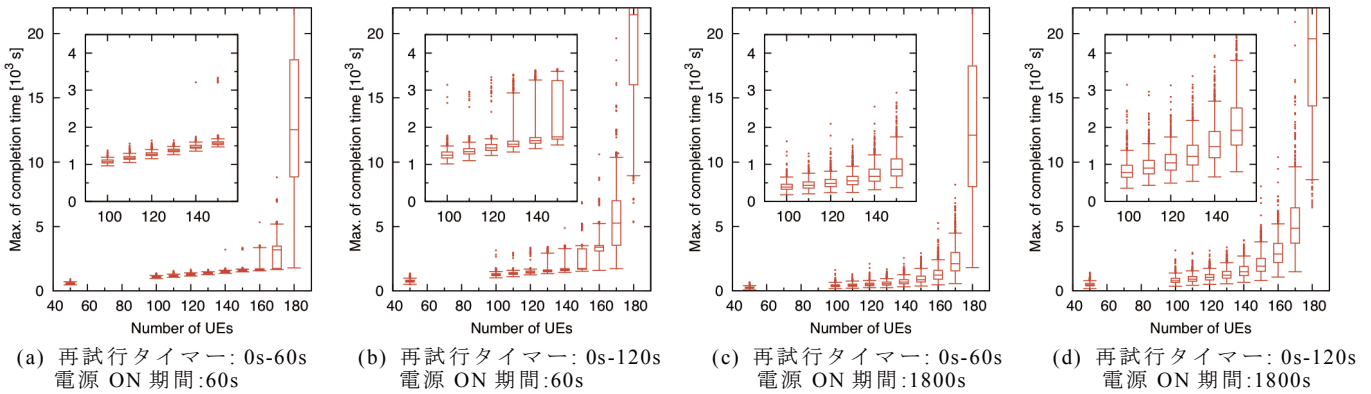


図 6 Attach 完了最大時間

間を短くすることができるが、状況によっては EPC に対する負荷を増加させてしまう (5.3 で示す)。

端末の消費電力を考慮すると、早めに Attach 完了後の PSM に遷移できることが望ましく、例えば 30 分 (1800 秒) とすると、120 台程度で 1 つの IMSI を共用する場合であれば、どのパターンでも満たすことができる。提案手法により、EPC 内で保持する状態情報量を 2 桁削減することが可能となる。

5.3. EPC への負荷影響の評価

図 7 に、IMSI を共用する端末数を 120 台としたときの単位時間当たりの Attach Reject 数を示す。電源 ON 期間が長い状況 (power-on period: 1800s) では、再試行タイマーの範囲は Attach Reject 数にほぼ影響を与えないことがわかる。一方で、電源 ON 期間が短い状況 (power-on period: 60s) では、再試行タイマーの範囲を短くすると Attach Reject 数が増加することがわかる。

再試行タイマーの範囲を適切に設定することで Attach Reject 数の発生をある程度抑制することはできるが、EPC 内への影響をできるだけ小さくするためにも、単純な一様乱数値でない再試行タイマーを与えるアルゴリズムの検討が必要である。

6. おわりに

本稿では、端末/アクセス網側はシンプルなままで、通信回線集約の効果を得るべく、複数の IoT 端末へ同じ IMSI を割り当て、通信タイミングの重複を回避させる通信制御手法を提案した。シミュレーションの結果、1 つの IMSI で 100 台以上の端末が通信できる見通しを得た。

今後は、無線アクセス網や EPC 内の負荷変動に対する耐性の確認を実施する。また、EPC 内の影響を抑制するための再試行タイマー決定アルゴリズムの検討を行い、IMSI 共用による有効性を高める。

文 献

[1] T. Rebeck, M. Mackenzie, and N. Afonso, "Low-powered wireless solutions have the potential to increase the M2M market by over 3 billion connections Key messages Overall LPWA opportunity," Analysys Mason Limited, London UK, 51774 72, 2014.

[2] "Architecture enhancements to facilitate communications with packet data networks and applications," 3GPP TS 23.682 V12.0.0, 2013.

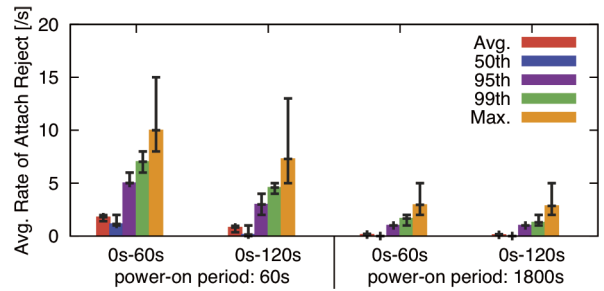


図 7 単位時間当たりの Attach Reject 数

[3] "Nokia LTE M2M Optimizing LTE for the Internet of Things," Nokia, Helsinki, Finland, C401-01 085-WP-201409-1-EN, 2014.

[4] "LTE Release 13," Ericsson, Stockholm Sweden, Uen 284 23-8267, 2015.

[5] V.-G. Nguyen, T.-X. Do, and Y. Kim, "SDN and Virtualization-Based LTE Mobile Network Architectures: A Comprehensive Survey," *Wireless Personal Communications*, Aug. 2015.

[6] K. Samdanis, A. Kunz, M. I. Hossain, and T. Taleb, "Virtual bearer management for efficient MT C radio and backhaul sharing in LTE networks," *Proc. IEEE 24th Int. Symp. on PIMRC*, pp.2780-2785, Sept. 2013.

[7] S. Sakurai, G. Hasegawa, N. Wakamiya, and T. Iwai, "Performance evaluation of a tunnel sharing method for accommodating M2M communication to mobile cellular networks," *Proc. IEEE Globecom Workshops*, pp.157-162, Dec. 2013.

[8] Y. Kitatsuji and H. Yokota, "On-demand session establishment for All IP-based mobile networks," *Proc. 6th EURO-NF Conf. on Next Generation Internet*, pp.1-8, June 2010.

[9] J. Kaippallimalil and H. A. Chan, "Network virtualization and direct Ethernet transport for packet data network connections in 5G wireless," *Proc. IEEE Global Comm. Conf.*, pp. 1836-1841, Dec. 2014.

[10] S. Matsushima and R. Wakikawa, "Stateless user-plane architecture for virtualized EPC (vEPC)," *Work in Progress, draft-matsushima-stateless-uplan e-vepc-04* (2015).

[11] X. Jin, L. E. Li, L. Vanbever, and J. Rexford, "SoftCell: scalable and flexible cellular core network architecture," *Proc. 9th ACM Conf. on Emerging networking experiments and technologies*, p.p.163-174, Dec. 2013.

[12] "Architecture enhancements to facilitate communications with packet data networks and applications," 3GPP TS 23.682 V12.2.0, 2014.