

[招待講演] IoT/M2M 通信を収容するための モバイルコアネットワークアーキテクチャ

長谷川 剛[†] 村田 正幸^{††}

[†] 大阪大学 サイバーメディアセンター 〒 560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-43

^{††} 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

E-mail: †hasegawa@cmc.osaka-u.ac.jp, ††murata@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 一度の通信量が小さく、間欠的あるいは周期的に通信を行うような IoT/M2M 端末を、既存のセルラネットワークに大量に収容すると、モバイルコアネットワークのコントロールプレーン負荷が増大する。本報告では、多量かつ多様な IoT/M2M 通信を収容するための、モバイルコアネットワークアーキテクチャに関する近年の研究開発動向を紹介する。また、著者らの研究グループで進めている、NFV や SDN 技術を適用したモバイルコアネットワークの性能評価モデルの確立、及びコントロールプレーン負荷を軽減するための通信集約手法の概要について述べる。

キーワード モバイルコアネットワーク、IoT (Internet of Things)、Machine-to-Machine (M2M) 通信、Software Defined Networks (SDN)、プレーン分離

[Invited Talk] Mobile core network architecture for accommodating IoT/M2M communications

Go HASEGAWA[†] and Masayuki MURATA^{††}

[†] Cybermedia Center, Osaka University

1-43, Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan

^{††} Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

E-mail: †hasegawa@cmc.osaka-u.ac.jp, ††murata@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract When the existing mobile core network accommodate many IoT/M2M terminals that makes a small data transmission intermittently or in regular intervals, the control plane load on the network becomes serious problem. In this report, the existing research and development activities on mobile core networks for accommodating IoT/M2M communications are summarized. Then we introduce the recent research results by the authors' group on mathematical evaluation framework for the performance of mobile core networks with NFV/SDN technologies, and on bearer aggregation methods that aims to decrease the control plane load.

Key words Mobile core networks, Machine-to-Machine (M2M) Communication, Software Defined Networks (SDN), plane separation

1. はじめに

携帯電話加入者数の増加や高機能なスマートフォン等の普及により、3G や LTE などのモバイルネットワークにおいて、データプレーンとコントロールプレーンの双方において発生する輻輳への対応が課題となっている。ユーザトラフィックの増大にともなうデータプレーンの輻輳に対しては、WiFi 等の他ネットワークへのトラフィックオフロードが研究・実用とも進んでいる [1-5]。しかし、このようなトラフィックオフロードはコントロールプレーンの負荷軽減にはほとんど寄与しない。また、ス

マートフォンの常駐アプリケーションが定期的に発生させる制御メッセージの通信がモバイルネットワークを圧迫していることが大きな問題となっている。加えて、モバイルネットワークの新たな需要拡大を伴う通信形態として、Machine-to-Machine (M2M) 通信や、IoT (Internet of Things) に関わる通信が着目されている。M2M 通信は、従来端末のとはその通信特性は大きく異なり [6]、通信データ量は小さいが、端末数が膨大になるとされている。そのため、M2M/IoT 通信を行う端末 (以下では M2M/IoT 端末と呼ぶ) を従来の携帯電話端末と同じ方式でモバイルネットワークに接続すると、特にコントロールプレーンの輻輳が悪化すると考えられる。M2M/IoT 通信の輻輳問題に

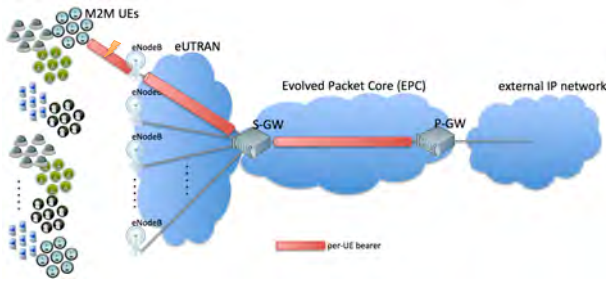


図1 ネットワークモデル

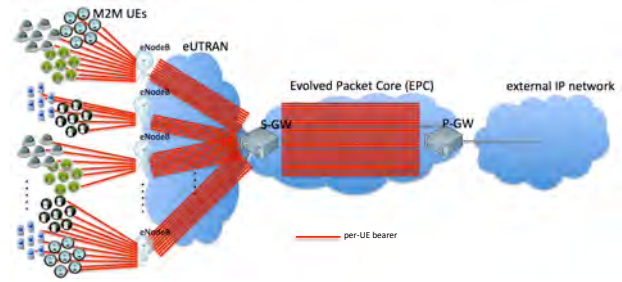


図2 端末の増加に伴うベアラ数の増大

については[7, 8] などでも検討が行われている。そこで本報告では、まず、IoT/M2M 通信を収容するためのモバイルコアネットワークアーキテクチャに関する近年の研究動向の概要を述べる。

一方、このような問題に対し我々の研究グループでは、Device-to-Device (D2D) 通信などの[9] や近距離無線通信などを用いた端末のグループ化や、モバイルコアネットワーク内のベアラ集約によって、モバイルコアネットワークのコントロールプレーン負荷を軽減する手法に着目し、数学的解析手法によってその性能評価を行った[10]。また、コントロールプレーンの負荷を軽減させる手法として、通信集約手法を提案し、その有効性を評価している[11]。本報告では、これらの研究成果の概要を述べる。

本報告の構成は以下の通りである。2. 章では、モバイルコアネットワークの概要を、3. 章では、IoT/M2M 通信を収容するためのモバイルコアネットワークアーキテクチャに関する近年の研究動向の概要を述べる。4. 章では、我々の研究グループの研究成果の概要を述べる。最後に 5. 章で本報告のまとめと今後の課題について述べる。

2. モバイルコアネットワーク

本稿で対象とするモバイルコアネットワークと接続される端末を含んだネットワークモデルを図1に示す。ネットワークモデルは、通信を行う M2M 端末群 (M2M UEs)、無線ネットワーク、端末が接続する基地局と端末のモビリティ管理のためのアンカーポイントとなる Serving GateWay (S-GW) を接続する evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (eUTRAN)、S-GW と外部ネットワークとの接続点となる Packet data network GateWay (P-GW) を接続する Evolved Packet Core (EPC) と呼ばれるコアネットワークから構成される。図中には示していないが、EPC には Mobility Management Entity (MME) や Policy and Charging Rules Function (PCRF) などのノードも存在する。一般には S-GW 及び P-GW はネットワーク中に複数存在し、端末の設定内容によって接続される S-GW 及び P-GW が決定される。

図1には、1 台の端末が通信を行うために設定されるベアラの様子をあわせて示している。端末からの通信が発生すると、端末はまず eNodeB との間に無線接続を確立する。その後、eNodeB は MME などが保有する端末情報に基づいて、その端末の通信に用いる S-GW および P-GW を決定し、無線ベアラを S-GW との間に確立する。さらに、S-GW は P-GW との間にベアラを確立し、端末に払い出される IP アドレスを取得する。これにより、端末が外部の IP ネットワークに到達可能となる。

ベアラは端末毎に設定され、通信の有無やその量に関係なく維持される。そのため、図2に示すように、モバイルネットワークに接続される端末数が増加すると、ネットワーク内のベアラ数が増加し、それにとまらぬシグナリントラヒックの処理負荷が増大する。特に、M2M 端末はその数が膨大であるため、M2M 端末をモバイルネットワークに収容するためには、ネットワークの処理負荷を軽減することが重要である。

3. IoT/M2M 通信を収容するためのモバイルネットワークアーキテクチャに関する研究動向

3.1 IoT/M2M 端末の通信によるモバイルセルラネットワークの輻輳

文献[7]では、LTE ネットワークに MTC (Machine Type Communications) を収容する際の輻輳問題について議論している。まず、M2M アプリケーションの特性として、H2H (Human to Human) 通信との違いを、以下のように説明している。

- 接続されるデバイス数が非常に多く、設置密度が高い場合と、設置範囲が大きい場合がある。
- 送受信されるデータが小さい。通信頻度はアプリケーションによって異なる。
- モビリティは小さいか、全く無い場合が多い。
- 1つのデバイスに大きなコストを掛けることができない。
- デバイスはセルラネットワークに接続される前にグループ化されることがある。
- 低消費電力性が求められる。
- 通信の遅延に対する許容範囲は大きい場合がある。
- 周期的な通信やスケジュールされた通信などの場合には、データ送受信のための時間が限定される。
- デバイスとサーバ間で高いセキュリティが求められる場合がある。

このような M2M アプリケーション端末がモバイルセルラネットワークに大量に接続された場合に発生する問題として、(1) 基地局と端末間の無線区間に大量の端末が存在するため、無線ネットワーク資源が不足して輻輳が発生する (2) モバイルコアネットワークを構成する EPC (Evolved Packet Core) ノードのうち、特に MME (Mobility Management Entity)、S-GW (Serving Gateway)、P-GW (Packet Data Network Gateway) が輻輳する (3) 端末が登録されている HSS (Home Subscription Server) への負荷が高まる (4) 端末と P-GW の間に設定されるベアラの確立及び維持のためのオーバーヘッドが増大する、等を挙げている。特に、本報告では、特にコントロールプレーンの輻輳として、(4)に着目している。

文献[12]では、大量の M2M 通信を LTE ネットワークに収容するために、無線通信部分のプロトコルの簡素化を行うことで、端末の低コスト化を図ることが検討されている。具体的には、モビリティの内端末が、数ビットのような小さなデータを送信する場合には、RRC コネクションの確立を省略し、シグナリング通信にデータを混在させて送信する手法がある。

また、端末を直接モバイルセルラネットワークに接続するのではなく、プロキシ端末が複数の端末からデータを収集し、モバイルセルラネットワークへ接続して送信することで、モバイルセルラネットワークの負荷を軽減できることを述べている。このような手法は、LTE を用いた端末間の直接通信を実現する LTE D2D (Device to Device) のような手法を用いることでも実現可能である。

3.2 DCN (Dedicated Core Network)

3GPP Release 13 において仕様化された DCN (Dedicated Core

Network) は、端末のトラヒック特性に応じて、個別にモバイルコアネットワークを用意し、端末が接続する際のシグナリングによって、接続先を端末に適したコアネットワークに振り分ける手法である。この手法は、従来の端末の実装変更が必要は手法とは異なり、コアネットワーク側で HSS に格納された加入者情報に基づいて接続先を決定できるため、既存端末を含めた接続先の制御が可能となる。著者らの提案している通信集約手法は、従来の端末が接続される際に発生するシグナリング手順の変更が必要となるため、DCN のような技術を利用し、専用のモバイルコアネットワークへ接続させることを前提としている。

3.3 CIoT (Cellular IoT) 向けのコアネットワーク最適化

既存のセルラネットワークを利用して断続的かつ小容量なデータ通信を実現する CIoT のための無線技術仕様として、NB-IoT カテゴリ等がある。さらに、CIoT の通信を効率的に收容するためコアネットワークの最適化が検討されている。具体的には、データ通信のためのユーザプレーンのベアラを確立せず、コントロールプレーンのメッセージにアプリケーションデータをカプセル化し、送信することで、ベアラの確立・維持コストを低減するものである。

さらには、S-GW をアンカーとしてモビリティを制御し、ベアラを用いてデータ送受信を行うのではなく、SDN 技術を応用し、アンカーレスな通信を可能とする手法も検討されている。

4. モバイルコアネットワークアーキテクチャの性能評価と通信集約手法

上述したような問題を解決し、モバイルコアネットワークが IoT/M2M 端末を効率的に收容するための手法として、モバイルコアネットワークを仮想化し、コントロールプレーンとデータプレーンを分離するアーキテクチャが提案されている [13]。また、モバイルコアネットワークを Software Defined Networks (SDN) 化することによって、資源利用効率の向上や制御の柔軟性を高めることが検討されている [14-16]。これらの検討においては、コントロールプレーンの機能をクラウド環境に設置することで、サーバ資源の利用効率の向上、低コスト化が可能となるとされている。

しかし、そのようなネットワークアーキテクチャにおいてモバイルネットワークを運用すると、モバイルコアネットワークにおける従来のシグナリング処理に加えて、仮想化された機能モジュール間のシグナリング処理や、SDN を制御するためのシグナリング処理が増加することが考えられる。特に、今後需要が拡大すると考えられる、M2M/IoT 端末をそのようなモバイルコアネットワークで收容し、端末からの周期的な通信が集中的に発生すると、仮想化及び SDN 化によって増加したシグナリングオーバーヘッドが原因となり、收容可能な端末数の減少や、通信に発生する遅延時間が増大することが考えられる。[13] においてはそのことを考慮し、モバイルコアネットワークを仮想化する場合に考えられる複数のシナリオを提案しているが、シグナリング負荷の増大に関する定量的な評価には至っていない。

我々の研究グループでは、上述のようなノード仮想化及びプレーン分離を適用したモバイルコアネットワークを対象に、端末收容効率の数学的解析を行い、ノード仮想化、プレーン分離、および通信集約が与える影響を評価している [17, 10]。これらの検討においては、研究では 1 つの EPC (Evolved Packet Core) のノードのみを対象としていた。しかし、データセンタなどのクラウド環境へのノードの集約を考慮すると、複数の EPC から構成され、日本全土に展開されるような広域モバイルコアネットワークを対象とすることで、ネットワークアーキテクチャの妥当性をより現実的に評価することができると考えられる。

そこで本章では、複数の EPC が存在する広域かつ大規模なモバイルコアネットワークを対象とし、EPC ノードに対してノード仮想化およびプレーン分離を適用し、少数データセン

タへ配置することで、コストを抑えながら M2M/IoT 端末の收容効率を向上できることを、数学的解析手法によって示す。

4.1 ネットワークモデル

[13] において提案されているモバイルコアネットワークの機能のモジュール化、及び各機能の設置方法に関する複数のシナリオを参考に、モバイルコアネットワークを SDN 化する場合の 4 種類のネットワークアーキテクチャを提案する。また、それらを用いて M2M/IoT 端末が通信を開始しようとする際に、それぞれの方法において発生する追加的なシグナリング処理や SDN 制御メッセージについて検討する。なお、LTE のシグナリング手順については [18] を参考にしており、SDN 化を行った際の仮想ネットワーク制御には OpenFlow を用いることを想定している。

4.1.1 ノード仮想化を適用したネットワークモデル

図 3(a) に、コントロールプレーンのノードとなる MME、Home Subscriber Server (HSS)、及び Policy and Charging Rules Function (PCRF) を仮想化し、クラウドネットワーク (図中の Cloud network) に設置した場合における、モバイルコアネットワークにおける Evolved Packet Core (EPC) のネットワーク構成及びシグナリングメッセージおよびデータパケットの流れを示す。以下では、本モデルをネットワークモデル 1 と呼ぶ。従来の EPC はほぼこのような構成であると考えられる。集中管理が行われる MME や PCRF と、基地局である Evolved Node B (eNodeB) や、トランスポートネットワーク (図中の transport network) に存在する SGW、及び PDN Gateway (PGW) との間の遅延時間が大きい。

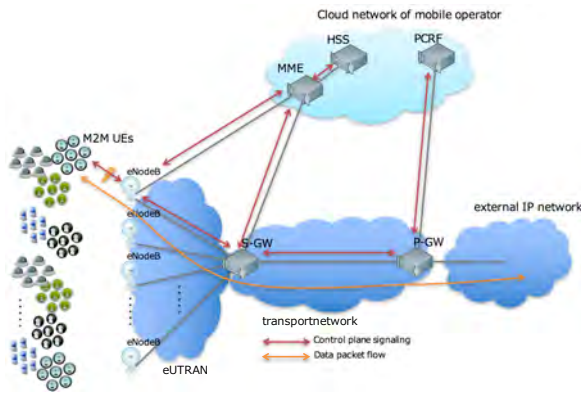
また、図 3(b) に、この場合におけるシグナリング手順と、User Equipment (UE) と呼ばれる端末から発生したデータパケットが EPC ノードを通過する経路を示す。なお、シグナリング手順における青線及び青字は、遅延時間の大きなトランスポートネットワークとクラウドネットワーク間の通信、黒線及び黒字は遅延時間の小さなクラウドネットワーク内通信、トランスポートネットワーク内通信、及び UE と基地局間の通信を表している。MME のみがクラウドネットワークに配置されているため、シグナリング手順全体に占める、遅延時間の大きな通信の割合が大きいことがわかる。

4.1.2 プレーン分離を適用したネットワークモデル

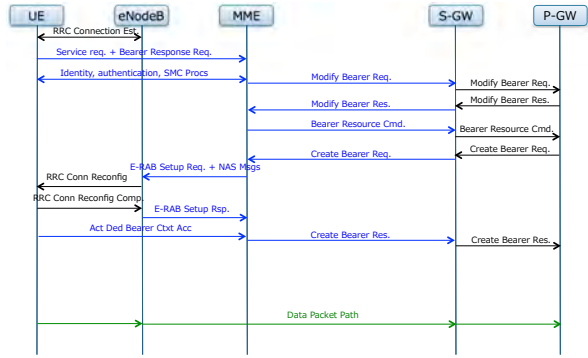
図 4(a) に、トランスポートネットワークに存在するゲートウェイノード (S-GW 及び P-GW) にプレーン分離を適用し、データプレーンノードをトランスポートネットワークに配置し、コントロールプレーンノードをクラウドネットワークへ移動させたネットワークアーキテクチャを示す。以下では、本モデルをネットワークモデル 3 と呼ぶ^(注1)。ゲートウェイノードのコントロールプレーン機能には、データパケットが通過するベアラ (トンネル) の対応を取り、適切に中継する GTP トンネルマッチング機能が含まれる。本機能をクラウド環境へ設置すると、ベアラ確立後の通信において、全てデータパケットが、ゲートウェイノードへ到着した際に、一旦クラウドネットワークへ転送され、トンネルマッチング処理を行った後に、再びトランスポートネットワークへ転送される。これは、データパケットの伝播遅延時間を悪化させる要因となる。そこで本ネットワークモデルにおいては、GTP トンネルのマッチング機能のみをトランスポートネットワークに残している。文献 [13] においては、GTP トンネルのマッチング機能をハードウェア実装で実現する、あるいは、OpenFlow スイッチにプログラム性を持たせ、ソフトウェア実装によって実現することが提案されている。また、[14] では、SDN 化によって SDN コントローラのオーバーヘッドが増大するため、複雑でない機能をエージェントとして SDN スイッチ上に実装することが提案されている。本モデルはそのような場合に相当する。

また、図 4(b) に、この場合におけるシグナリング手順と、UE から発生したデータパケットが EPC ノードを通過する経

(注1)：文献 [17] との整合性を考慮して命名した

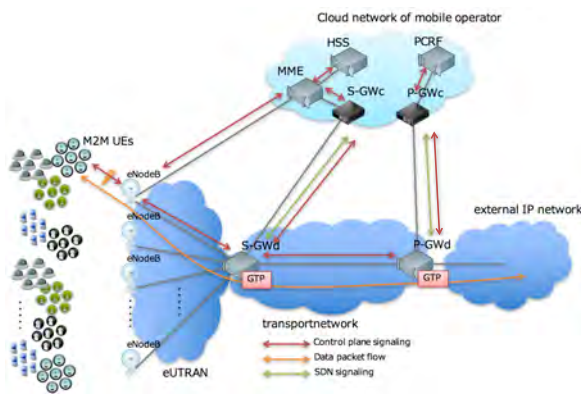


(a) ネットワークモデル

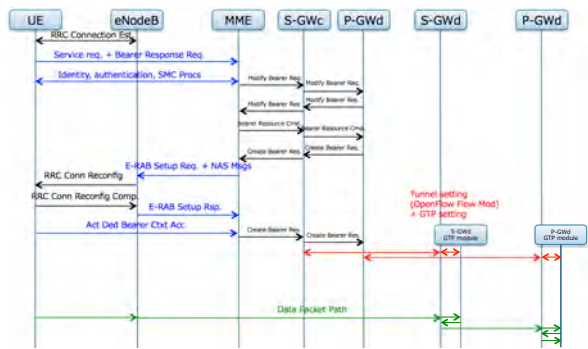


(b) シグナリングとデータパケット経路

図3 ネットワークモデル 1: ノード仮想化を行い、MME をクラウドネットワークに設置する場合



(a) ネットワークモデル



(b) シグナリングとデータパケット経路

図4 ネットワークモデル 3: プレーン分離を適用した場合

路を示す。なお、シグナリング手順における赤線及び赤字は OpenFlow を用いて制御を行うことを想定した、プレーン分離が適用されたネットワークスイッチとコントローラ間の通信を表す。これは、ゲートウェイノード (S-GW、P-GW) におけるベアラ設定の際に S-GWc、P-GWc と GTP マッチング機能との間に発生する通信である。これらはトランスポートネットワークとクラウドネットワーク間の通信となり、伝播遅延時間が大きい。一方で、ゲートウェイノードのコントロールプレーンがクラウドネットワークに配置されるため、ネットワークモデル 1 に比べて、遅延時間の小さなシグナリングの割合が大きくなり、特に MME と SGW、及び SGW と PGW 間のトンネル設定の手順の通信遅延時間が短くなっていることがわかる。また、トランスポートネットワークにおけるゲートウェイノード (SGWd、PGWd) への通信はコントロールプレーンにおいてトンネル設定が終了してから一括で行うことができるため、遅延時間の大きな通信が全体に締める割合は、ネットワークモデル 1 に比べて小さくなる。

一方、ゲートウェイノードにおける GTP マッチング処理を、トランスポートネットワークに設置された GTP モジュールを用いて行うため、ベアラ確立後のデータ通信においては、ゲートウェイノードと GTP モジュール間で設定のための通信が発生するが、その遅延時間はクラウドネットワークとの通信と比較すると無視できるほど小さい。

4.2 通信集約手法

文献 [19] においては、S-GW において端末が通信のために用いるベアラ (トンネル) を集約し、ゲートウェイノード間のベアラ (S5/S8 ベアラ) を複数の端末で共有する手法を提案し

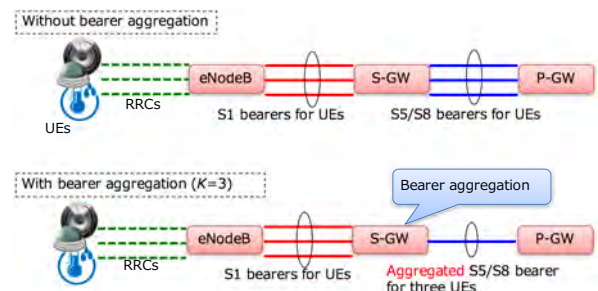


図5 通信集約手法

ている。図5にその概要を示す。本手法により、ゲートウェイノードにおけるベアラ管理負荷が低減されるとともに、ベアラ確立の際のシグナリングメッセージ数の低減が実現されるため、M2M/IoT 端末の収容効率の拡大が期待される。

我々の研究グループでは、通信集約を実現する手法として、端末固有の識別子である IMSI (International Mobile Subscriber Identity) と、集約された通信に対応する識別子である仮想 IMSI とを対応付けるための表を MME が管理し、データ通信に必要なベアラの設定に関するシグナリング処理において、端末に対応する仮想 IMSI を用いることで、通信集約を実現する手法を提案している。具体的には文献 [20] を参照されたい。

4.3 遅延時間解析

本章では、前章で示した2つのネットワークモデルにお

る、端末の通信開始時のベアラ確立にかかる時間 T を数学的解析手法によって導出する。

4.3.1 変数定義

シグナリングメッセージが各ノード間を伝播するためにかかる伝播遅延時間を、 $\tau_{\text{NODE1,NODE2}}$ の形で表記する。ただし、NODE1, NODE2 は、LTE の EPC ノードである UE, eNodeB, MME, SGW, PGW, SDN 化によって SGW, PGW、および eNodeB のコントロールプレーンとデータプレーンを分離した場合のノードである SGWc, SGWd, PGWc, PGWd, eNodeBc, eNodeBd、及び、GTP モジュールである SGWgtp, PGWgtp, eNodeBgtp のいずれかである。これらの値はネットワーク構成によって決定される。

また、各ノードで1つのシグナリングメッセージを処理にすることにかかる処理時間を、 t_{NODE} の形で表記する。ただし、NODE は $\tau_{\text{NODE1,NODE2}}$ における NODE1, NODE2 と同様である。これらの値は各ノードの処理能力と処理負荷によって決定される。決定方法は後述する。

4.3.2 シグナリング手順に基づくベアラ確立時間の導出

ネットワークモデル 1 (図 3) の場合、ネットワークモデル 1 において、ベアラ確立のために必要な時間 T_1 を、シグナリング手順に基づいて導出する。具体的には、図 3(b) に示した手順に基づき、シグナリングの伝播のためにかかるノード間の伝播遅延時間 τ 、及びノードでの処理時間 t を総和する。

具体的な導出方法は紙面の都合上省略するが、ネットワークモデル 1 において、通信時のベアラ確立にかかる時間 T_1 は下記のように導出される。

$$T_1 = L_{\text{RRC}} + (6t_{\text{UE}} + 4t_{\text{eNodeB}} + 9t_{\text{MME}} + 5t_{\text{SGW}} + 3t_{\text{PGW}}) + (10\tau_{\text{UE,eNodeB}} + 10\tau_{\text{eNodeB,MME}} + 5\tau_{\text{MME,SGW}} + 5\tau_{\text{SGW,PGW}})$$

ただし、 L_{RRC} は UE と eNodeB の間で RRC コネクションを確立するのにかかる時間を表す。

ネットワークモデル 3 (図 4) の場合は、ネットワークモデル 2 の場合に加えて、SGWd 及び PGWd とそれぞれの GTP モジュールとの間で GTP 設定のためのシグナリングが発生する。そのために必要なメッセージの往復回数を N_{GTP} とすると、ネットワークモデル 3 において、通信時のベアラ確立にかかる時間 T_3 は下記のように導出される。

$$T_3 = L_{\text{RRC}} + (6t_{\text{UE}} + 4t_{\text{eNodeB}} + 9t_{\text{MME}} + 5t_{\text{SGWc}} + 3t_{\text{PGWc}}) + (10\tau_{\text{UE,eNodeB}} + 10\tau_{\text{eNodeB,MME}} + 5\tau_{\text{MME,SGWc}} + 5\tau_{\text{SGWc,PGWc}}) + \max(2N_{\text{FM}}\tau_{\text{SGWc,SGWd}} + (N_{\text{FM}} + 1)t_{\text{SGWc}} + N_{\text{FM}}t_{\text{SGWd}} + 2N_{\text{GTP}}\tau_{\text{SGWd,SGWgtp}} + (N_{\text{GTP}} + 1)t_{\text{SGWd}} + N_{\text{GTP}}t_{\text{SGWgtp}}, 2N_{\text{FM}}\tau_{\text{PGWc,PGWd}} + (N_{\text{FM}} + 1)t_{\text{PGWc}} + N_{\text{FM}}t_{\text{PGWd}} + 2N_{\text{GTP}}\tau_{\text{PGWd,PGWgtp}} + (N_{\text{GTP}} + 1)t_{\text{PGWd}} + N_{\text{GTP}}t_{\text{PGWgtp}})$$

4.3.3 ノードにおける処理時間

各ノードにおいて必要となる処理時間 t_{NODE} は、並列数 r の M/G/1/PS 待ち行列モデルを用いて導出する。M/G/1/PS 待ち行列モデルにおいて、ジョブの到着率を λ 、ワークロード分布を $S(x)$ 、その平均を $E[S]$ 、システム利用率を $\rho = \lambda \cdot E[S]$ とすると、リクエストがサーバに到着してから、サービスが終了するまでの平均系内時間 $E[R]$ は、以下のように表される。

$$E[R] = \frac{\rho^r}{1 - \rho} \frac{E[S^2]}{2E[S]} + \frac{1 - \rho^r}{1 - \rho} E[S]$$

ジョブの到着率として、ノードのシグナリング処理頻度を用いる。また、ワークロード分布にはノードのシグナリング処理時間分布を用いるが、以降の数値例では簡単のために、全てのシグナリング処理にかかる時間が指数分布に従うとし、その平均値はノードの処理能力に応じて決定する。これによって得られる平均系内時間 $E[R]$ を、ノードにおける処理時間とする。

4.3.4 通信集約手法による負荷軽減

通信集約手法を適用することにより、ベアラ確立処理における MME, SGW、及び PGW のシグナリングメッセージ処理回

数が削減される。ここでは、集約度が K となるような通信集約を行った場合に、 K 台の端末の通信に対して1回のシグナリングメッセージ処理が発生するものに関しては、1台あたり $1/K$ 回のシグナリングメッセージ処理が発生すると考える。

上述の解析においては、1台の端末の通信に対して、MME, SGW のコントロールプレーン、PGW のコントロールプレーンはそれぞれ 9、6、3 回のシグナリングメッセージ処理を行うとしていた。集約度 K の通信集約により、これらの処理が、それぞれ $6.5 + 2.5/K$ 、 $1 + 4/K$ 、 $3/K$ 回となる。すなわち、集約度 K が大きくなるにつれて、MME, SGW のコントロールプレーン、PGW のコントロールプレーンの処理負荷は低下するため、遅延時間が発散することなく収容できる端末数が大きくなることが期待される。また、特に SGW のコントロールプレーン、PGW のコントロールプレーンの処理負荷の低下が大きいため、余剰となったこれらのノードの処理能力が、ボトルネックである MME へ融通されることで、さらに収容端末数が大きくなると考えられる。

4.4 数値評価例

本節では、数値評価例を示す。図 6 に、本研究における性能評価で用いるネットワークモデルを示す。本ネットワークモデルは、日本の学術情報ネットワークである SINET [21] を参考にしたものである。コアネットワークは青で示された、札幌、仙台、東京、名古屋、金沢、大阪、広島、福岡に存在する 8 つのコアノード (Core network node) から構成されており、それぞれのコアノードにはデータセンタが存在し、EPC のノードを設置することができるものとする。東京のノードに接続されたデータセンタノードは、遠隔地に存在するデータセンタの環境を模擬するために仮想的に設置しているノードであり、東京のノードとの間の距離を変化させることで、遠隔地にある 1 箇所のデータセンタに全ての EPC ノードを設置する場合の評価を行った。他のパラメータ設定等については紙面の都合



図 6 ネットワークモデル ([21] の Web ページの図を基に作成)

上省略する。

4.4.1 通信集約手法の効果

図 7 に、通信集約手法を適用した場合の評価結果を示している。図の横軸はシステムに収容する端末数であり、縦軸はベアラ確立時間である。図より、通信集約手法を適用することによって、適用しない場合に比べて、最大で収容可能な端末を約 80% 拡大できることがわかる。これは、通信集約を適用することによって、SGW や PGW の処理負荷が軽減されるため、負荷が高い MME へ処理性能を融通することによって、収容可能な端末数が拡大するためである。また、各 EPC ノードの処理能力を初期値のままにした場合には、収容可能な端末数は約 850 万台であることから、その場合と比較すると、収容可能な端末

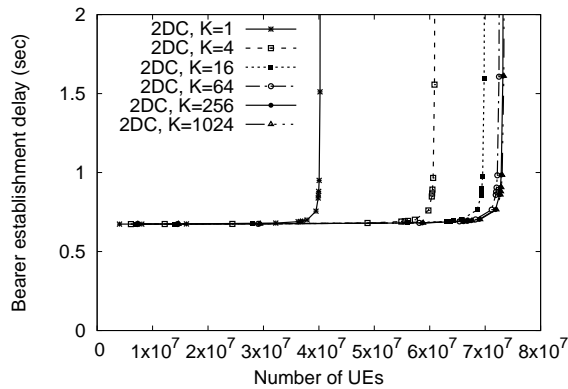


図7 通信集約手法の効果

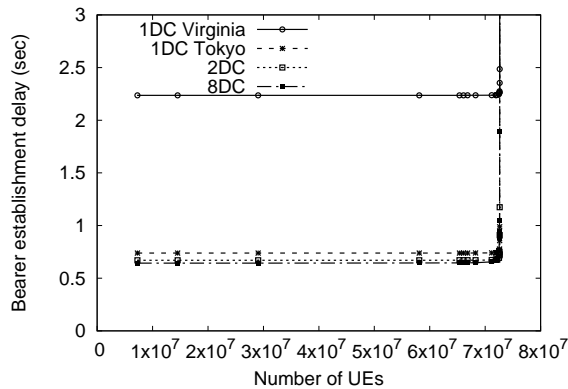


図8 データセンタの設置場所の影響

数を 8.5 倍に拡大できることがわかる。

4.4.2 データセンタの設置場所の影響

最後に、図 8 に、EPC ノードを設置するデータセンタを東京ノードに接続されたデータセンタノードの 1 つのみとし、そのノードの東京ノードからの距離を変化させた場合の結果を示す。図には、データセンタノードを、東京から最も遠くなる場合と想定される、米国バージニア州に設置した場合(距離は約 11,000 km となる)を示している。図より、データセンタの距離が大きくなることによって、収容端末数が小さい場合においても、ベアラ確立時間が非常に大きくなり、2 秒以上となっていることがわかる。M2M/IoT 通信の場合には、この程度の遅延時間は許容される場合もあると考えられる。そのため、特に発展途上国などに M2M/IoT 端末を設置して情報収集などを行うことを想定すると、その通信を収容するための EPC ノードをそれらの国に設置せずに、データセンタ施設が充実している近隣国に設置しても、遅延時間が許容される場合があることがわかる。

5. まとめと今後の課題

本稿では、IoT/M2M 通信の収容能力の拡大を目的とした、モバイルコアネットワークアーキテクチャに関する研究開発動向を説明した。また、著者らの研究グループで進めている、NFV や SDN 技術を適用したモバイルコアネットワークの性能評価モデルの確立、及びコントロールプレーン負荷を軽減するための通信集約手法の概要について述べた。

文 献

[1] A. de la Oliva, C. J. Bernardos, M. Calderon, T. Melia, and J. C. Zuniga, "IP flow mobility: Smart traffic offload for future wireless networks," *IEEE Communication Magazine*, vol. 49, pp. 124–132, Oct. 2011.

[2] Cisco Systems, Inc., "Architecture for mobile data offload over Wi-Fi access networks," Available from http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/service-provider-wi-fi/white_paper_c11-701018.pdf.

[3] 3GPP TS 24.312, "Access network discovery and selection function (ANDSF) management object (MO)," 2014.

[4] A. Balasubramanian, R. Mahajan, and A. Venkataramani, "Augmenting mobile 3G using WiFi," in *Proceedings of MobiSys 2010*, pp. 209–222, June 2010.

[5] K. Lee, I. Rhee, J. Lee, S. Chong, and Y. Yi, "Mobile data offloading: How much can WiFi deliver?," in *Proceedings of CoNEXT 2010*, Nov. 2010.

[6] M. Z. Shafiq, L. Ji, A. X. Liu, J. Pang, and J. Wang, "A first look at cellular machine-to-machine traffic - large scale measurement and characterization," in *Proceedings of ACM SIGMETRICS 2012*, June 2012.

[7] D. Bouallouche, "Congestion control in the context of machine type communications in 3GPP LTE networks," *Master thesis internship report*, University of Rennes, Aug. 2012.

[8] R. Vaidya, C. Yadav, J. Kunkumath, and P. Yadati, "Network congestion control: Mechanisms for congestion avoidance and recovery," in *Proceedings of ACWR 2011*, Dec. 2011.

[9] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. B. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-Advanced networks," *IEEE Communication Magazine*, vol. 47, pp. 42–49, Dec. 2009.

[10] Go Hasegawa and Masayuki Murata, "Joint bearer aggregation and control-data plane separation in LTE EPC for increasing M2M communication capacity," in *Proceedings of IEEE GLOBECOM 2015*, December 2015.

[11] Shuya Abe, Go Hasegawa and Masayuki Murata, "Design and performance evaluation of bearer aggregation method in mobile core network with C/U plane separation," in *Proceedings of IFIP Networking 2017*, May 2017.

[12] Yu Chen and Wei Wang, "Machine-to-machine communication in LTE-A," in *Proceedings of VTC 2010-Fall*, May 2010.

[13] A. Khan, D. Jurca, K. Kozu, W. Kellerer, and M. Yabusaki, "The reconfigurable mobile network," in *Proceedings of ICC 2011*, pp. 1–5, June 2011.

[14] L. E. Li, Z. M. Mao, and J. Rexford, "Toward software-defined cellular networks," in *Proceedings of EWSDN 2012*, pp. 7–12, Oct. 2012.

[15] A. Khan, W. Kellerer, K. Kozu, and M. Yabusaki, "Network sharing in the next mobile network: TCO reduction, management flexibility, and operational independence," *IEEE Communication Magazine*, vol. 49, pp. 134–142, Oct. 2011.

[16] A. Basta, W. Kellerer, M. Hoffmann, K. Hoffmann, and E.-D. Schmidt, "A virtual SDN-enabled LTE EPC architecture: A case study for S-/P-gateways functions," in *Proceedings of SDN4FNS 2013*, pp. 8–14b, Nov. 2013.

[17] 長谷川剛, 村田正幸, "M2M 通信収容のための仮想モバイルコアネットワークアーキテクチャに関する一検討," *電子情報通信学会技術研究報告* (NS2014-261), vol. 114, pp. 493–498, March 2015.

[18] V. S. Rao and R. Gajula, "Protocol signaling procedures in LTE," *White Paper*, Radisys Corporation, Sept. 2011.

[19] 長谷川剛, 村田正幸, "モバイルコアネットワークにおける M2M 通信集約手法の解析的評価," *電子情報通信学会技術研究報告* (MoNA2014-25), vol. 114, pp. 51–56, July 2014.

[20] 阿部修也, 長谷川剛, 村田正幸, "C/U 分離を適用したモバイルコアネットワークにおける通信集約方式の性能評価," *電子情報通信学会技術研究報告* (NS2016-122), vol. 116, pp. 25–30, December 2016.

[21] 国立情報学研究所 (NII), "学術情報ネットワーク (SINET, サイネット・フォー)," Available from <http://www.sinet.ad.jp/>.