

シグナリング処理負荷を考慮した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の性能評価

阿部 修也[†] 長谷川 剛^{††} 村田 正幸^{†††}

[†] 大阪大学基礎工学部情報科学科 〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

^{††} 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 1-32

^{†††} 大阪大学大学院情報科学研究科 〒560-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

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

あらまし 近年、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、輻輳への対応が課題となっている。加えて、モバイルネットワークの利用形態として M2M や IoT に関わる通信を行う端末の接続が注目されている。本報告では、M2M/IoT 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として、モバイルコアネットワークを構成するノードを仮想化し、かつ、データプレーンと制御プレーンを分離し、一方、あるいは双方をクラウドネットワーク内へ設置するものを探り上げ、性能評価を行う。さらに、クラウドネットワーク内へ設置したノードの処理性能をノード間で融通する場合や、モバイルコアネットワーク内で通常は端末毎に設定されるベアラを集約する場合の性能評価を行い、プレーン分離や処理機能のクラウドネットワーク内への設置、処理能力の融通、及び通信集約の効果を明らかにする。評価の結果、プレーン分離や処理機能のクラウドネットワーク内への設置、処理能力の融通及び通信集約によって M2M/IoT 端末の収容可能台数が約 280%増加することを示す。

キーワード モバイルコアネットワーク、M2M/IoT 通信、Software Defined Networks (SDN)、プレーン分離、通信集約

1. はじめに

モバイルネットワークに接続される携帯電話やスマートフォン等の端末数は著しく増加し、モバイルネットワークにおいて、輻輳への対応が課題となっている。さらに、モバイルネットワークの利用形態として M2M/IoT 端末の接続が着目されており、モバイルネットワークに接続される端末数は今後も増加の一途を辿ると考えられている。M2M/IoT 通信は、携帯電話やスマートフォンなどの従来端末の通信とはその特性が大きく異なり、通信データ量は小さいものの、周期性や間欠性を持ち、さらに端末数が膨大になる。さらに、M2M/IoT 端末の多くは移動性を持たず、データを送信するが受信することは少ないという特徴を持つ。そのため、M2M/IoT 端末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、データの送信に必要なシグナリングに関する通信や処理を行う制御プレーンの輻輳が悪化すると考えられる。

このような問題に対し、Serving Gateway (SGW)、PDN Gateway (PGW) 間に確立されるモバイルコアネットワークベアラを端末固有に設定するのではなくグループで共用することでモバイルコアネットワーク内の資源利用を抑える方法 [1, 2] や、即時性を有するユーザの通信に比べて M2M/IoT 通信の遅延制約が緩いという特徴を用いて、各ノードの処理負荷を軽減するなどの対策 [3] が考えられている。さらに、文献 [4-7] では、モバイルコアネットワークのノードを Software Defined Networks (SDN) 化し、制御プレーンをクラウドネットワーク内に設置することでノードの処理負荷を減少させる方法について検討されている。これらの研究では、モバイルコアネットワークのノードの仮想化や SDN 化によってサーバ資源の利用効率の向上や低コスト化が可能であるとされているが、その具体的な評価は行われていない。また、仮想化及び SDN 化を行

うことによって、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 制御の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、今後膨大な数の M2M/IoT 端末をモバイルコアネットワークに収容し、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、収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。

文献 [8] においては、SDN 化されたモバイルコアネットワークを対象とし、M2M/IoT 端末を収容する際のシグナリングオーバーヘッドやノード負荷を解析的に評価しているが、各ノードにおけるシグナリング処理負荷を、各ノードが送受信するメッセージ数のみに基づいて評価している。また、モバイルコアネットワークのノードの一つである Mobility Management Entity (MME) ノードの仮想化効果を評価した文献 [4] においても、MME が送受信するメッセージ数のみを用いて評価を行っている。また文献 [9] では、メッセージ数ではなく送受信されるメッセージサイズを基に、MME におけるシグナリング負荷の評価を行っている。しかし実際には、シグナリング処理の種類によって異なる処理負荷が発生するため、これらの検討によって得られた結果は必ずしも妥当であるとはいえない。

そこで本報告では、モバイルコアネットワークの各ノードにおけるシグナリング処理負荷を考慮した、モバイルコアネットワークの性能評価を行う。具体的には、シグナリング処理負荷の重みを、各処理に関連する実装コードの命令文数から決定し、その重みをもとにシグナリング処理によって発生する遅延時間を決定することにより、より精度の高い性能評価を行う。そのために、まず 2. 章では、評価の対象とする仮想化かつ SDN 化されたモバイルコアネットワークアーキテクチャについて複数のモデルを検討する。また、2 つの異なる集約手法を用いて通信集約を行うモデルについても検討する。3. 章では、2. 章で検

討したネットワークモデルに基づき、実装コードの命令文数から、待ち行列理論を用いた数学的解析によって各モデルにおけるシグナリングメッセージの総伝搬遅延時間及び各ノードにおける処理遅延時間を導出し、ベアラ確立時間を算出する解析的手法を示す。4. 章では解析結果を用いて、各モデルにおいて収容可能な M2M/IoT 端末数を評価することによって、各モデルの性能評価を行い、プレーン分離や処理性能の融通、また通信集約の有効性を示す。最後に、5. 章でまとめと今後の課題について述べる。

2. 評価対象となるネットワークモデル

文献 [8] において評価対象とされているモデルを参考に、本報告で性能評価を行うモバイルコアネットワークのモデルを検討する。また、User Equipment (UE) と呼ばれる M2M/IoT 端末が通信を開始する際に発生するシグナリング処理の違いや、仮想化及び SDN 化によって新たに発生する SDN 制御メッセージについて、それぞれのモデルを基に検討する。なお、LTE のシグナリング手順については文献 [10] に基づいており、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。

また、各モデルにおいて UE の通信開始の際にノード間で発生するシグナリングメッセージや、各ノード及び UE がシグナリングメッセージを処理するために実行するプログラムの命令文数は、C 言語で書かれた LTE/EPC ネットワークの実装である Open Air Interface (OAI) [11] のソースコードとその命令文数を基にしている。さらに、OAI のネットワーク構成に従い、SGW 及び PGW についてはこれらを一体化した SGW/PGW という単一のノードとしてモデル化を行っている。ただし、OAI では UE-eNodeB 間に設定される Radio resource control (RRC) 接続に関しては省略されている。

2.1 モデル 1: MME をクラウドネットワーク内に設置したモデル

図 1(a) に、制御プレーンのノードである MME、Home Subscriber Server (HSS)、Policy and Charging Rules Function (PCRF) をクラウドネットワーク内に設置した、モデル 1 のネットワーク構成を示す。従来の LTE/EPC ネットワーク構成は本モデルのようになっていると考えられる。

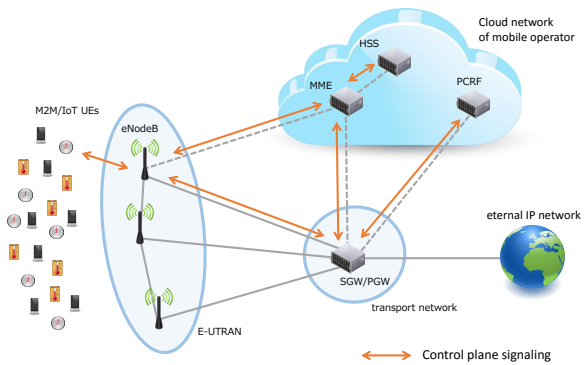
また、図 1(b) に、モデル 1 における、UE がアイドル状態からアクティブ状態になり、通信開始要求を行う際のシグナリング手順とシグナリング経路、各ノード及び UE がシグナリングメッセージを処理するために実行されるプログラムの命令文数を示す。

2.2 モデル 2: SGW/PGW の制御プレーンの機能をクラウドネットワーク内に設置したモデル

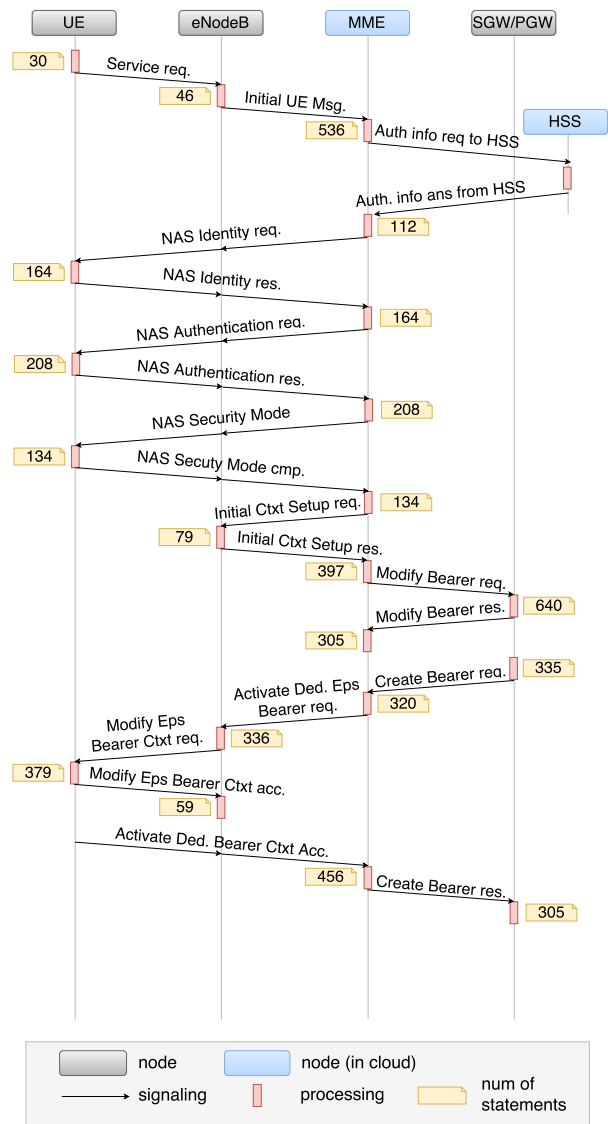
図 2(a) に、SGW/PGW を制御プレーンの機能を持つ SGW/PGWc とデータプレーンの機能を持つ SGW/PGWd に分離し、SGW/PGWc をクラウドネットワーク内に設置したモデル 2 のネットワーク構成及びシグナリングメッセージの流れを示す。このプレーン分離により、ベアラ確立時の制御メッセージの処理に関して MME との伝搬遅延時間が短縮されると考えられる。

本モデルにおいては、ベアラを用いた通信に必要な GPRS Tunneling Protocol (GTP) ベアラのマッチング機能 (GTP モジュール) はクラウドネットワーク内に設置されている。その理由は、現在の OpenFlow の仕様では GTP のヘッダフィールドを用いたパケットのマッチングを行えないため、その機能をコントローラ側で実装することが考えられるためである [8]。そのため、GTP マッチングの処理を行う場合でも SGW/PGWc との間には遅延が発生しない。

しかし、GTP モジュールがクラウドネットワーク内に設置されていることにより、ベアラ確立が完了した後のデータ通信



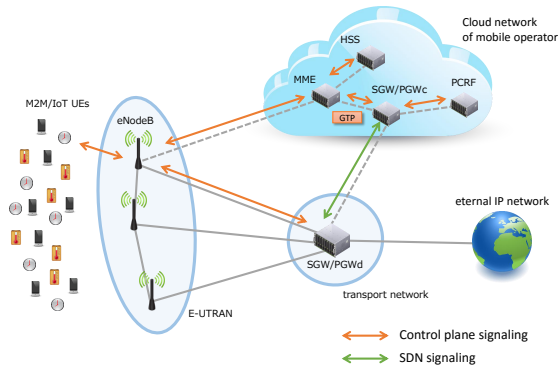
(a) ネットワーク構成



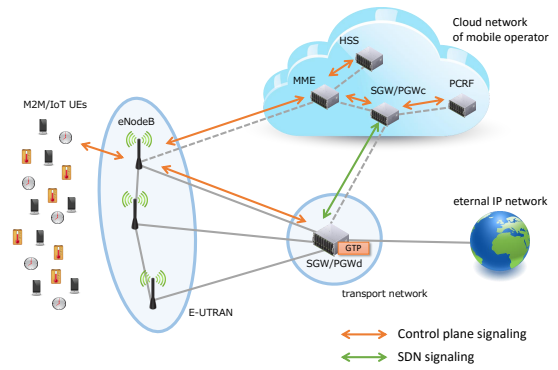
(b) シグナリングの流れと処理命令文数

図 1: ネットワークモデル 1

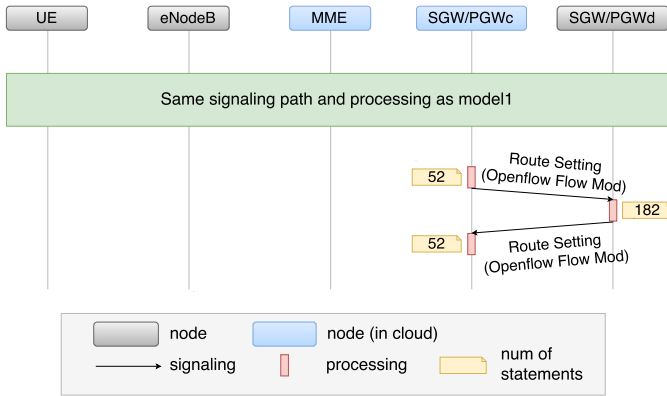
において、データパケットはすべてクラウドネットワーク内を通過する必要がある。そのため、データパケットの通過時には遅延時間の増加やスループットの低下が考えられることから、通信データ量が大きいスマートフォンや携帯電話端末との通信には適さず、M2M/IoT 端末のように、通信データ量に比べてベアラ確立のためのオーバーヘッドが比較的大きい端末の収容



(a) ネットワーク構成

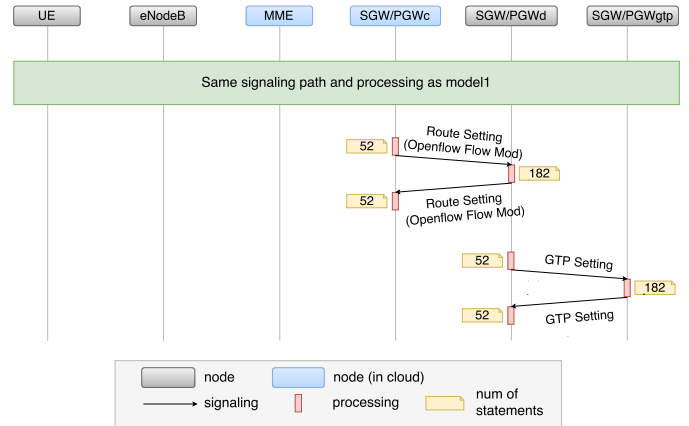


(a) ネットワーク構成



(b) シグナリングの流れと処理命令文数

図 2: ネットワークモデル 2



(b) シグナリングの流れと処理命令文数

図 3: ネットワークモデル 3

に適しているモデルであると言える。

また、図 2(b) に、モデル 2 におけるシグナリング手順とシグナリング経路、各ノード及び UE がシグナリングメッセージを処理するために実行されるプログラムの命令文数を示す。なお、シグナリングの流れのうち、モデル 1 と同じ部分は省略している。図 1(b) と比較すると、ベアラ設定のためのシグナリングが完了した後に、SGW/PGWd に対する OpenFlow のメッセージ交換が追加されている。なお、このメッセージ処理に必要な命令文数は“Modify Bearer Req. / Res.”を参考に設定している。図 2(b) より、モデル 1 では、MME と SGW/PGW の間で行われていたシグナリングメッセージ交換が、クラウドネットワーク内で行われていることがわかる。そのため、モデル 2 はモデル 1 よりもシグナリングメッセージの総伝搬遅延時間が小さくなると考えられる。

2.3 モデル 3: SGW/PGW の GTP モジュールをクラウドネットワーク内に設置したモデル

図 3(a) に、GTP モジュールをハードウェアとして実装、あるいは OpenFlow スイッチにプログラム性を持たせることによりソフトウェアとして実装することを想定した、モデル 3 のネットワーク構成を示す。このモデル 3 は、トランスポートネットワークに設置した GTP モジュールがマッチング処理を行うため、モデル 2 で懸念されていたようなデータパケットの伝搬遅延時間の増加やスループットの低下は避けられると考えられる。

また、図 3(b) に、モデル 3 におけるシグナリング手順とシグナリング経路、各ノード及び UE がシグナリングメッセージを処理するために実行されるプログラムの命令文数を示す。モデル 2 と比較すると、SGW/PGWd に対する OpenFlow のメッセージ交換の後に、GTP モジュールへマッチングのため

の情報を投入するためのメッセージ交換が追加されている。なお、この処理に必要なとなる命令文数は、SGW/PGWd に対する OpenFlow メッセージの処理と同等であると仮定することで決定している。

2.4 通信集約を行うモデル

本報告では、SGW/PGW において UE からの通信を集約する手法 [7,8] の効果についても評価を行う。通信集約は、ベアラ確立時にシグナリング手順そのものを変更することによって実現されるため、上述したネットワークモデルについても適用可能である。

通常、GW 間ベアラと UE は、UE がモバイルネットワークにアタッチされる際に、UE 固有の International Mobile Subscriber Identity (IMSI) によって対応付けられ、MME が IMSI と GW 間ベアラの対応を管理する。文献 [12] においては、MME による IMSI の管理負荷を低減するために、複数の UE で IMSI を共有する手法が提案されている。本報告では、その手法を参考に、以下のような通信集約手法を想定し、評価対象とした。本報告における通信集約手法においては、集約対象となる複数の UE に対して設定する、GW 間ベアラで用いる仮想の IMSI と UE 固有の IMSI とを対応付けるための対応表を MME が管理するものとし、ベアラ確立の際に行われるシグナリング処理において、GW 間ベアラを設定する部分において、UE に対応する仮想 IMSI を用いるものとする。このようにすることで、通信集約を実現するために必要となるシグナリング手順の変更を小さくできると考えられる。

以下では、通信集約において、1 つの GW 間ベアラに集約する UE の台数、すなわち集約度を K と表す。また、通信集約を行う場合は MME が仮想 IMSI のプールを持つことを想定し

ており、 K 台の UE に対して仮想 IMSI を 1 つ払い出す際に、MME は IMSI の対応テーブルを更新し、PCRF へ通知するための新たなシグナリング処理が必要となる。

以下では、本報告において検討した、モデル 3 に対して 2 種類の通信集約手法を適用する場合について説明する。なお、これらのモデルのシグナリングの流れを示す図については、紙面の都合上省略する。

2.4.1 モデル 3-A: UE が用いる GW 間ベアラを事前に決定するモデル

モデル 3-A では、UE に電源が入る時に発生するアタッチ処理の際に、UE 固有の IMSI と仮想 IMSI の対応を決定すると仮定する。そのため、UE 固有の IMSI と仮想 IMSI の対応付けに関する PCRF への通知処理はアタッチ時に発生する。

ある UE が通信を開始する際、その UE と対応付けられた仮想 IMSI に対応する GW 間ベアラが確立されていなければ通常のシグナリングと同様の処理を行い、ベアラをアクティブートして用いる。一方、ある UE が通信を開始する際、UE が対応付けられた仮想 IMSI に対応する GW 間ベアラが既に確立されていた場合は、GW 間ベアラの確立に関するシグナリング処理を省略できる。これにより、通信集約による GW のシグナリング負荷やベアラ維持負荷を低減することができる。

2.4.2 モデル 3-B: UE が用いる GW 間ベアラをオンデマンドに決定するモデル

モデル 3-B では、UE からの通信開始要求が MME に到着した際、MME から GW 間ベアラを設定するためのシグナリング処理を中断し、 K 台の UE からの通信開始要求が到着するまで待機する。ここで、UE のシグナリングを待機させることによって発生し得るタイムアウト処理等は、本報告では考慮していない。 K 台からの通信開始要求が到着した時点で、 K 台の UE が通信時に利用する GW 間ベアラと、それに対応する仮想 IMSI を決定し、GW 間ベアラを確立するためのシグナリング処理を行う。モデル 3-A と異なり、本モデルにおいては、UE 固有の IMSI と仮想 IMSI の対応付けに関する PCRF への通知処理は通信開始時に発生する。

3. 性能解析

本章では、2. 章において検討したモデル及びシグナリング手順を用いて、UE に通信要求が発生してから、すべてのシグナリング処理が終了するまでにかかる時間である、ベアラ確立時間を解析的に導出する。

3.1 変数定義

解析で用いる変数を以下のように定義する。ただし、UE、eNodeB、MME 及び SGW/PGW をそれぞれ U, B, M 、及び G と略記し、それらを総称するためのノードを N と表記する。 N_c, N_d 、及び N_g はそれぞれノード N に対する制御プレーンノード、データプレーンノード、及び GTP モジュールを表す。また、 $\tau_{N1,N2}$ をノード $N1, N2$ 間の伝搬遅延時間とし、 t_N をノード N におけるシグナリングメッセージの平均処理時間、 $C_{N1,N2}$ をノード $N1, N2$ 間のシグナリング伝搬回数、 P_N をノード N におけるシグナリング処理回数とする。ただし、 $N, N1, N2$ はそれぞれ $U, B, M, G, G_c, G_d, B_c, B_d, G_g$ 及び B_g のいずれかである。

3.2 ベアラ確立時間の導出

2. 章で定義したモデル i ($i = 1, 2, 3, 3-A, 3-B$) において、ベアラ確立時間を T_i 、シグナリングの過程で発生するすべてのノードにおける処理遅延時間 t の総和を t_i 、伝搬遅延時間 τ の総和を τ_i とすると、 T_i は以下のように表せる。

$$T_i = \tau_i + t_i$$

構成ノードが UE、eNodeB、MME、SGW/PGW であるモデル 1 のベアラ確立時間 T_1 は、図 1 より以下の式で表される。

$$T_1 = (C_{U,B}\tau_{U,B} + C_{B,M}\tau_{B,M} + C_{M,G}\tau_{M,G}) \\ + (P_U t_U + P_B t_B + P_M t_M + P_G t_G)$$

また、SGW/PGW をプレーン分離し、制御プレーンをクラウドネットワーク内に置いたモデル 2 において、FlowMod による経路設定にかかるメッセージの往復回数を C_{FM} とすると、 T_2 は、図 2 より次式で表される。

$$T_2 = T_1 + (2C_{FM}\tau_{G_c,G_d} + (C_{FM} + 1)t_{G_c} + C_{FM}t_{G_d})$$

モデル 3 においては、SGW/PGWd と GTP モジュールとの間で GTP マッチングのための設定を行うシグナリングが発生する。マッチング設定のために必要なメッセージの往復回数を C_{GTP} 、あるノード N において GTP モジュールで行われる GTP 設定のために必要となる処理時間を t_{N_g} とすると、 T_3 は以下のように表される。

$$T_3 = T_2 + (2C_{GTP}\tau_{G_d,G_g} + (C_{GTP} + 1)t_{G_d} + C_{GTP}t_{G_g})$$

通信集約を行うモデル 3-A 及び 3-B では、 K 台の UE に対して仮想 IMSI を 1 つ払い出す際に、MME は IMSI の対応テーブルを更新し、PCRF へ通知するための新たなシグナリング処理が必要となる。モデル 3-A においては、この PCRF に対するシグナリング処理は、UE に電源が入るときに発生するアタッチ処理の際に行われる。そのため、通信要求が発生する際には、MME が IMSI の対応テーブルを検索する処理のみが追加される。また、モデル 3-A においては、UE の通信要求が MME に到着した際に、対応する GW 間ベアラが既に確立されているか否かによって、ベアラ確立時間が変化する。

一方、モデル 3-B では、PCRF に対するシグナリング処理は、通信要求発生時に行われる。ただし本解析では、このシグナリング処理による MME の処理負荷及び MME-PCRF 間の伝搬遅延時間は考慮しているが、PCRF における処理遅延時間は無視している。さらに、モデル 3-B では、 K 台の UE からの通信開始要求が MME に到着するまでの待機時間が存在するが、本解析においては、1 つの MME が収容する UE 数が、集約度 K に対して十分大きいことを仮定し、その時間はベアラ確立時間に比べて十分小さいものとして無視する。また、通信集約を行うことによって、ベアラ確立後のデータパケットの送信時に発生する遅延時間が大きくなることが考えられる。この点の評価については、本解析においては対象外としているが、今後の課題として挙げられる。

以上のことから、モデル 3-A 及び 3-B におけるベアラ確立時間は、ノード $N1, N2$ 間において集約対象ではないシグナリングメッセージの伝搬回数 $C'_{N1,N2}$ 、ノード N における集約対象ではないシグナリング処理回数 P'_N 、および MME において IMSI の対応を取得する時間 t'_M を用いて以下の式で表される。ただし、 $case1$ は GW 間ベアラが既に確立されている場合、 $case2$ は GW 間ベアラが確立されていない場合を表す。

$$T_{3-A} = \begin{cases} (C_{U,B}\tau_{U,B} + C_{B,M}\tau_{B,M} + C'_{M,G}\tau_{M,G}) \\ + (P_U t_U + P_B t_B + P'_M t_M + t'_M) & (case1) \\ T_3 + t'_M & (case2) \end{cases}$$

$$T_{3-B} = T_3 + t'_M$$

3.3 ノードにおける処理時間の導出

ノード N において必要となる処理時間 t_N は、サーバの並列数が r である 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。

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

t_N の導出にあたっては、ジョブの到着率として、ノード N 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 N のシグナリング処理命令文数分布を用いる。シグナリング処理命令文数分布は、ノードにおいて発生するシグナリング処理に関連するコードの命令文数の分布である。従って、その平均 $E[S]$ はノードにおけるすべてのシグナリング処理に関連するコードの命令文数の平均値となる。従って、ノード N の台数を n_N 、単位時間あたりに処理できる命令文数で表現される処理能力を A_N 、UE の台数を n_U 、通信周期を D 、ノード N で行われるシグナリング処理の平均命令文数を V_N とすると、ノード N における λ 及び $E[S]$ は以下のように導かれる。

$$\lambda = \frac{P_N n_U}{D n_N}, E[S] = \frac{V_N}{A_N}$$

また、通信集約を行う場合には、SGW/PGW 間のベアラを設定するために必要となるシグナリングが、集約を行わない場合に比べて $1/K$ 倍となる。これは、上式における P_N が集約度に応じて小さくなることを意味するため、 λ が小さくなり、シグナリングに関わるノードの負荷が低下する。

4. 性能評価

本章では、3. における解析の数値例を示すことによって、2. で検討したネットワークアーキテクチャの性能評価を行う。

4.1 パラメータ設定

UE の通信周期 D は 600 秒とし、各ノード間の伝搬遅延時間は以下のように決定する。ただし、eUTRAN は図 1(a) 中の eNodeB のみからなるネットワークを、トランスポートネットワークは SGW/PGW で構成されたネットワークを表しており、クラウドネットワーク内ノードはモデル 1 における MME、モデル 2、モデル 3、モデル 3-A、及びモデル 3-B における MME と SGW/PGWc のように、クラウドネットワーク内に設置されたノードを表す。

- UE-eUTRAN 間: 20 msec
- eUTRAN-トランスポートネットワーク間: 7.5 msec
- eUTRAN-クラウドネットワーク間内ノード: 10 msec
- トランスポートネットワーク-クラウドネットワーク内ノード間: 10 msec
- クラウドネットワーク内ノード-クラウドネットワーク内ノード間: 1 msec
- GTP モジュール-データプレーンノード間: 1 msec

また、各ノードのシグナリング処理能力については、文献 [8] 中のノードのシグナリング処理時間の係数及び最大収容端末数から以下のように決定する。

- UE: 3,000 命令文/sec
- eNodeB: 6,000 命令文/sec
- MME: 3,000,000 命令文/sec
- SGW/PGW: 3,000,000 命令文/sec
- GTP モジュール: 600,000 命令文/sec

また、SGW/PGW に関して、制御プレーンとデータプレーンを分離した場合は、それぞれの処理能力は分離前と等しいものとする。

ノードを仮想化してクラウドネットワーク内に設置することで、ノードの処理負荷に応じて処理能力を適応的に増減させることが可能になる。本解析では、モデル 3 において SGW/PGWc と MME の間で、処理性能をその総和を保ったまま融通できると仮定して評価を行う。具体的には、処理性能の融通可能なノードに関して、処理性能の初期値の合計を維持したまま、ノードの使用率がほぼ等しくなるように処理性能を配分する。

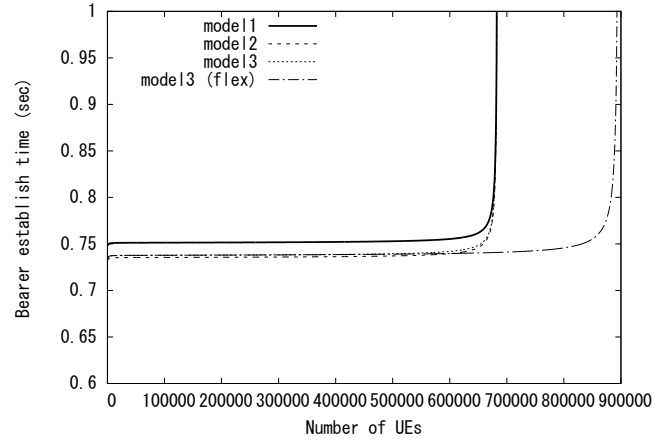


図 4: 各モデルにおける収容 UE 数とベアラ確立時間の関係

4.2 評価結果

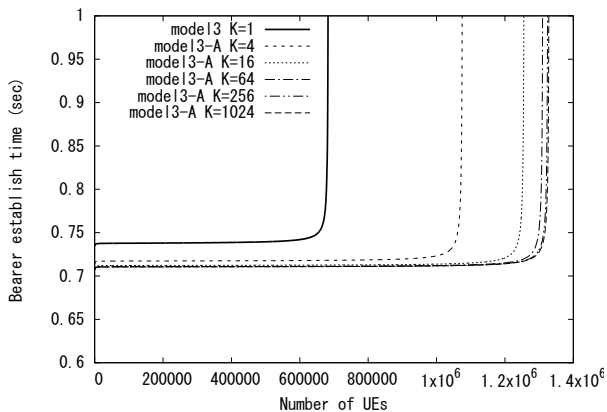
図 4 に、通信集約を行わないモデル 1 (図中の model 1)、モデル 2 (model 2)、モデル 3 (model 3)、及びモデル 3 (model 3 (flex)) において処理性能の融通を行った場合の、収容する UE 数とベアラ確立時間の関係を示す。図より、どの場合においても、UE 数が増加すると、ベアラ確立時間が急激に増加することがわかる。これは、LTE/EPC ノードのいずれかの利用率が高くなり、ノードの処理遅延時間が急増するためである。以降では、ベアラ確立時間が急激に大きくなる直前の UE 数を、そのネットワークにおける収容可能端末数と見なす。

図 4 より、処理性能の融通を行わない場合には、どのモデルにおいても収容可能端末数は等しいことがわかる。これは、モデル 1、モデル 2、及びモデル 3 において、収容する UE 数が増加した際に性能のボトルネックとなるのは MME であり、これら 3 つのモデルにおける MME の処理負荷は等しいためである。

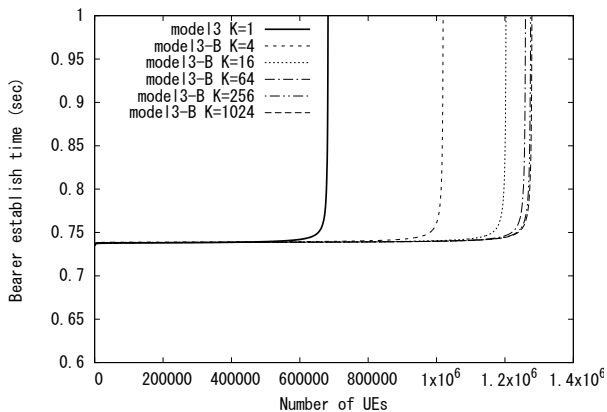
一方、処理性能の融通を行うことで収容可能端末数が増加することがわかる。モデル 3 においては、モデル 1 のシグナリング手順に加え、図 3(b) に示す通り、SDN 化による追加的なシグナリング手順が発生する。そのため、SGW/PGWc における処理負荷はモデル 1 における SGW/PGW の処理負荷よりも大きいが、ボトルネックとなる MME に SGW/PGWc の処理性能の余剰分を融通することによって、MME の処理負荷が軽減されるため、収容可能端末数が増加する。

図 5 に、通信集約を行うモデル 3-A、及びモデル 3-B における、集約度が与える影響の評価結果を示す。図より、いずれの集約方法においても、集約を行わないモデル 3 に比べて収容可能端末数が増加していることがわかる。これは、通信集約によって MME 及び SGW/PGWc のシグナリング頻度が低下することによって、これらのノード負荷が軽減されるためである。また、集約度 K が 64 を超えると収容可能端末数に変化が見られなくなる。これは、集約によって軽減されるシグナリングオーバーヘッドが全体に比べて無視できる程度に小さくなるためであると考えられる。また、モデル 3-A においては、集約度 K の増加に対して、ベアラ確立時間の減少が確認できる。これは、UE の通信要求が発生した際に、対応する GW 間ベアラが既に確立されていれば、ベアラ確立のためのシグナリング手順が省略されるためである。一方、モデル 3-B では、集約によってノードの負荷が小さくなることで、ノードの処理遅延時間が僅かに小さくなるものの、総伝搬遅延時間は変化しないため、ベアラ確立時間はほとんど変化しない。

図 6 に、モデル 3-A、及びモデル 3-B において処理性能の融通を組み合わせた場合の評価結果を示す。この図より、いずれの集約方法を用いた場合でも、処理性能の融通を組み合わせ



(a) モデル 3-A における通信集約手法の効果



(b) モデル 3-B における通信集約手法の効果

図 5: 通信集約の効果

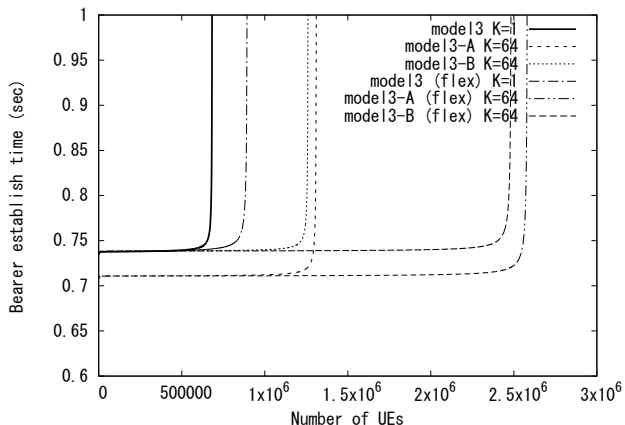


図 6: 通信集約手法と処理性能融通の組み合わせの効果

ることで収容可能端末数が大きく増加していることがわかる。また、この増加量は、処理性能の融通及び通信集約のいずれかを用了場合の収容可能端末数の増加量の和よりも大きい。これは、ノードの仮想化及びプレーン分離だけではノードにおける負荷を大きく減少することはできず、ボトルネックとなる MME に融通できる処理能力は限定的であるが、通信集約との組み合わせにより、各ノードにおける負荷が減少するため、融通できる処理能力の量が増加するためである。

5. まとめと今後の課題

本報告では、モバイルコアネットワークにおける M2M/IoT

通信の収容能力の拡大を目的とし、モバイルコアネットワークを構成するノードのプレーン分離や処理機能のクラウドネットワーク内への設置、処理能力の融通及び通信集約の効果を、数学的解析手法によって評価を行った。評価の結果、従来のモバイルコアネットワークを基にしたモデルにおける M2M/IoT 端末の収容可能台数に比べ、プレーン分離や処理機能のクラウドネットワーク内への設置、処理能力の融通及び通信集約によって、収容可能台数が約 280% 増加することがわかった。

今後の課題としては、シグナリング処理負荷のさらに詳細な評価を行いたい。具体的には、実装コードのコンパイル後の命令数による評価や、実機上で EPC ノードを動作させることによる評価を行いたい。また、本報告では単一の EPC ネットワークを対象に評価を行ったが、これを基に、複数の EPC ネットワークから構成される広域モバイルネットワークを対象にした評価を行いたい。

文 献

- [1] 岩井 孝法, 長谷川 剛, 若宮 直紀, 本吉 彦, 吉川 隆士, “モバイルコアネットワークにおけるトンネル集約方式,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 112, no. 350, pp. 115–120, 2012 年 12 月.
- [2] 櫻井 駿, 長谷川 剛, 若宮 直紀, 岩井 孝法, “モバイルネットワークにおける通信制御コスト削減のための端末集約手法の性能評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 113, no. 56, pp. 193–198, 2013 年 5 月.
- [3] 岩井 孝法, 長谷川 剛, 若宮 直紀, “モバイルコアネットワークへのアクセス負荷を平滑化するためのバックオフ機構の拡張,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 113, pp. 67–72, 2014 年 1 月.
- [4] I. Widjaja, P. Bosch, and H. La Roche, “Comparison of MME Signaling Loads for Long-Term-Evolution Architectures,” in *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1–5, IEEE, Sept. 2009.
- [5] 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 2013 IEEE SDN for Future Networks and Services (SDN4FNS)*, pp. 8–14b, Nov. 2013.
- [6] A. Basta, W. Kellerer, M. Hoffmann, H. J. Morper, and K. Hoffmann, “Applying NFV and SDN to LTE Mobile Core Gateways, The Functions Placement Problem,” in *Proceedings of the 4th Workshop on All Things Cellular: Operations, Applications, & Challenges*, pp. 33–38, ACM New York, NY, USA, Aug. 2014.
- [7] 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, vol. 114, no. 160, pp. 51–56, 2014 年 7 月.
- [8] 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, vol. 114, no. 477, pp. 493–498, 2015 年 3 月.
- [9] M. R. Sama, S. Ben, H. Said, K. Guillaouard, and L. Suci, “Enabling Network Programmability in LTE / EPC Architecture Using OpenFlow,” in *Proceedings of Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt), 2014 12th International Symposium on*, pp. 389–396, IEEE, May 2014.
- [10] V. S. Rao and R. Gajula, “Protocol Signaling Procedures in LTE,” tech. rep., White Paper, Radisys Corporation, Sept. 2011.
- [11] “OpenAirInterface.” available at <http://www.openairinterface.org/>.
- [12] 伊藤 学, 西永 望, 北辻 佳憲, “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,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 311, pp. 83–88, 2015 年 9 月.