

# 進捗報告資料

安達智哉

to-adachi@ist.osaka-u.ac.jp

2019年6月25日

## 1 MMEにおけるメモリ負荷の算出

OAのソースコードの調査結果と文献 [1] で示されている、RRC Connected Inactive 状態から Connected 状態へ遷移する際のシグナリング図(図1)を参考にすることにより、各状態にある UE が MME に与えるメモリ負荷を推定することができた。結果を表1に示す。

図1を見ると、RRC Connected Inactive 状態から Connected 状態へ遷移する際には UE-RAN 間のシグナリングが5回発生している一方、コアネットワーク側にはシグナリングは発生していないことがわかる。よって RRC Connected Inactive 状態と Connected 状態では MME の状態には変化がなく、メモリ負荷も同じであると言える。

表 1: MME が保持する情報

UE のステート	情報名	情報量 (bit)
Connected	ue_description_s	408
	ue_context_s	17470
Connected Inactive	ue_description_s	408
	ue_context_s	17470
Idle	ue_description_s	408

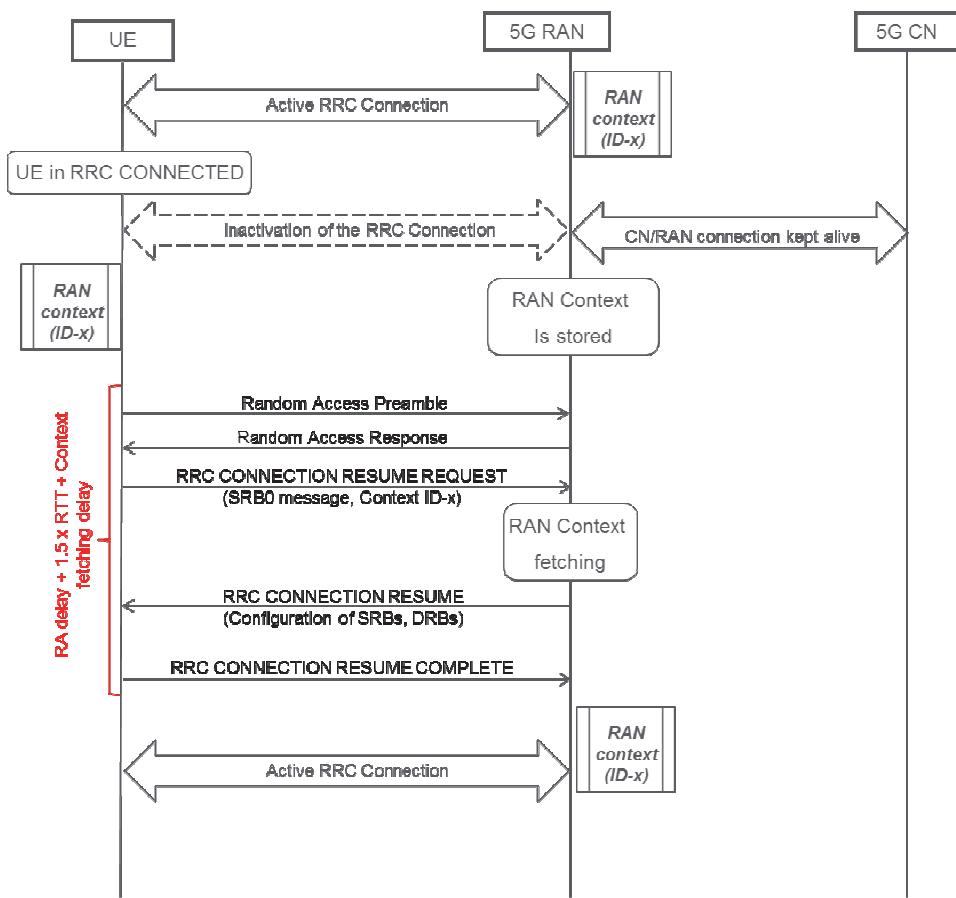


図 1: Signaling for the RRC CONNECTED INACTIVE to RRC CONNECTED transition for the novel state model

## 2 シグナリング数の調査

文献 [2] および [1] を調査することにより、状態遷移に伴うシグナリングの発生数が明らかになった。図 2 に示す状態遷移図と共に、状態遷移に伴って発生するシグナリングに関する情報を、表 2 に示す。

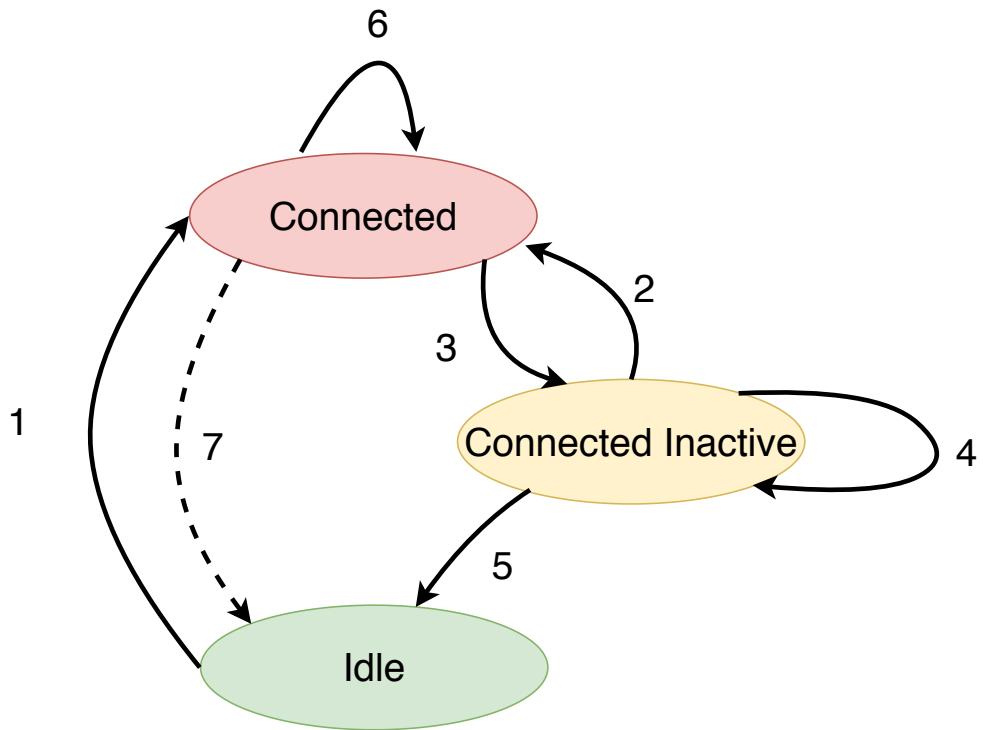


図 2: state transition

表 2: Signaling Load

遷移 ID	シグナリング処理数				遷移条件
	UE	RAN	MME	SGW	
1	9	12	5	2	Packets transmission
2	5	5	0	0	2 or more packets transmission
3	1	1	0	0	Connected timer expiration
4	4	4	0	0	One packet transmission
5	0	3	5	2	Connected Inactive timer expiration
6	0	0	0	0	Packets transmission
7	1	4	5	2	Connected timer expiration



以下の式(2)で表せる。

$$S = \sum_{h=1}^{N_{\text{UE}}} s_h \quad (2)$$

この  $S$  より、CPU にかかる負荷を算出する。

### 3.2 メモリ負荷の算出

まず、UE  $u_h$  が Connected 状態である時間割合を  $p_h^c$ 、Connected Inactive 状態である時間割合を  $p_h^{\text{ci}}$ 、Idle 状態である時間割合を  $p_h^i$  と定義し、これらを求める。これらの値は、 $T_h$  および  $T^i$ 、 $T^{\text{ci}}$  を用いて以下の式(3)、(4)、(5)で表せる。

$$p_h^c = \begin{cases} 1 & \text{if } T_h \leq T^{\text{ci}} \\ \frac{T^{\text{ci}}}{T_h} \cdot d_h + \frac{0}{T_h} \cdot (1 - d_h) & \text{if } T^{\text{ci}} < T_h \leq T^i \\ \frac{T^i}{T_h} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$p_h^{\text{ci}} = \begin{cases} 0 & \text{if } T_h \leq T^{\text{ci}} \\ \frac{T_h - T^{\text{ci}}}{T_h} \cdot d_h + \frac{T_h}{T_h} \cdot (1 - d_h) & \text{if } T^{\text{ci}} < T_h \leq T^i \\ \frac{T^i - T^{\text{ci}}}{T_h} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$p_h^i = \begin{cases} 0 & \text{if } T_h \leq T^{\text{ci}} \\ 0 & \text{if } T^{\text{ci}} < T_h \leq T^i \\ \frac{T_h - T^i}{T_h} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

また、各状態におけるメモリ負荷をそれぞれ表4のように定義すると、UE  $u_h$  が MME に与えるメモリ負荷の平均  $b_h$  は以下の式(6)で表せる。

表 4: 各状態における UE1 台当たりの MME のメモリ負荷

state	load of MME memory
Connected	$m_{\text{MME}}^c$
Connected Inactive	$m_{\text{MME}}^{\text{ci}}$
Idle	$m_{\text{MME}}^i$

$$b_h = m_{\text{MME}}^c \cdot p_h^c + m_{\text{MME}}^{\text{ci}} \cdot p_h^{\text{ci}} + m_{\text{MME}}^i \cdot p_h^i \quad (6)$$

MME に対してネットワーク全体で発生する平均的なメモリ負荷の合計を  $B$  と定義する。 $B$  は  $b_h$  を用いて以下の式(7)で表せる。

$$B = \sum_{h=1}^{N_{\text{UE}}} b_h \quad (7)$$

この  $B$  よりメモリ負荷を算出する。

## 4 MME が単位時間当たりに処理可能なシグナリングの最大数の推定

メモリ負荷に関しては MME に搭載されているメモリのサイズや一般的なサーバに搭載されているメモリサイズなどと比較することにより、どの程度までの負荷が許容されるのかを議論することは容易である。

一方、シグナリング負荷に関しては、シグナリング負荷と CPU 負荷との関係が自明でないため、負荷の許容範囲を明らかにすることは、一般的に容易ではない。そこで、今回は、上野さんの実験結果を参考にしつつ、どの程度までのシグナリング負荷が許容されるのかを推定した。

上野さんの論文 [3] に示されている結果を図 3 および図 4 に示す。図 3 では、128 台の UE が、特定の同期精度でアタッチ処理を開始した時に発生するレイテンシを示している。同期精度は  $T_{expect}$  というパラメータで表現されている。 $T_{expect} = t$  である時は、特定の時刻から  $t$  秒の範囲内でランダムに全 UE がアタッチ処理を開始することを意味する。この図を見ると  $T_{expect}$  の値が 1.6 以下になると、急激にレイテンシが増加していることがわかる。

また、図 4 では、レイテンシの内訳を示している。これを見ると、 $T_{expect}$  の値が 1.6 以下の時は、MME のレイテンシが大幅に増加していることがわかる。また、MME のレイテンシが全体のレイテンシに対して大部分を占めていることもわかる。

以上の理由から、 $T_{expect} 1.6$  以下の時に、128 台の UE がアタッチ処理を開始した場合、MME の処理にかかる遅延が大幅に増加することが分かる。つまり、 $T_{expect} 1.6$  以下の状況で、128 台の UE がアタッチ処理を開始した時に発生する負荷は、MME を過負荷状態にする。

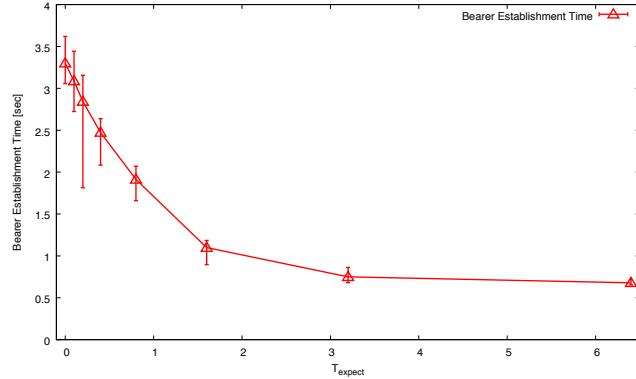


図 3: Relationship between  $T_{expect}$  and bearer establishment time

以上の調査から、毎秒約 80 台の UE がアタッチ処理を実行する際に発生するシグナリング負荷以下ならば、MME は処理可能であると言える。図 5 に示すように、MME は 1 つのアタッチ処理完了するために、15 回のシグナリング処理を行っている。このことから、毎秒約 1200 回のシグナリング負荷以下であれば、CPU は過負荷にならないと推定できる。

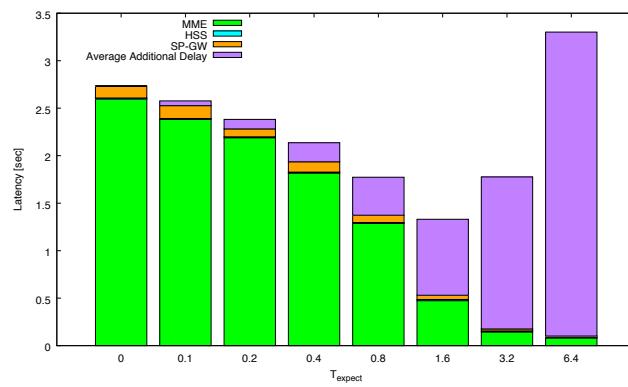
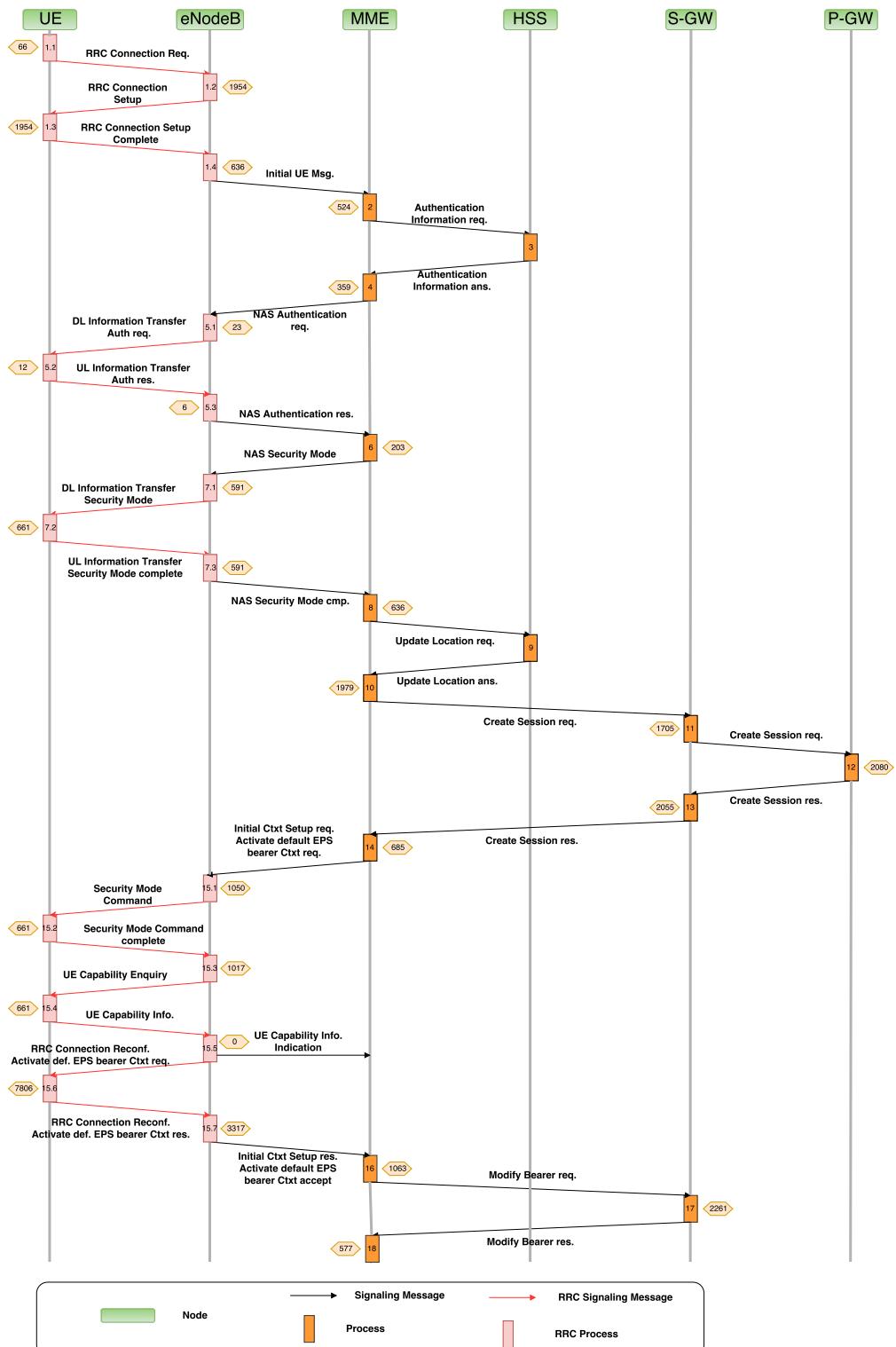


図 4: Relationship between  $T_{expect}$  and signaling processing time on each EPC node



## 5 MME 負荷の試算

第3.2章で調査したメモリ負荷および、第2章で調査したシグナリング負荷を参考にし、第3章で述べた数式を用いることで、MMEに発生する負荷を試算した。

### 5.1 UE の試算 1

以下のように条件やパラメータを仮定した。

- UEごとに通信周期は固定であり、途中で変化することはない。
- 最後の送信が終了したあと、Connected状態のUEがConnected Inactive状態へ遷移するまでの時間( $T^{ci}$ )は全UEで共通かつ不变の値として $T^{ci} = 10s$ とした。
- UEの送信するデータサイズは十分大きいものとする。つまり、データ送信を行うタイミングで必ずConnected状態に遷移するものとする( $d_h = 1$ )。
- UEの通信周期に対するUE台数の分布は以下の図6、図7、図8に示す、3つのデータセットを用意した。それぞれ、ネットワークに存在するUEの台数は17,400台、469,200台、474,600台である。また、通信周期に対してUEの台数は一様分布である。
- データ送信にかかる時間はUEの通信周期と比べて十分小さいものとし、送信が失敗することはないと仮定する。

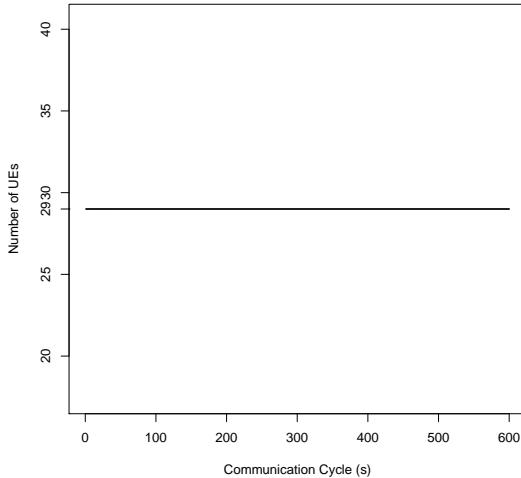


図6: 通信周期に対するUE台数の分布(データセット1)

MMEのシグナリング負荷とMMEのメモリ負荷の関係を示した図を図9に示す。また、この図の全体像を図10に示す。データセット1は、 $T^i$ を最小値(10s)に設定したとしても、シグナリング発生数がMMEが処理可能な限界値(1200回/s)を超えないようなUEの一様分布のうち、最もUE台数が多い分布である。データセット2は、 $T^i$ を最大値(600s)に設定したとしても、メモリ消費量がMMEの限界値(1GB)を超えないようなUEの一様分布のうち、最もUE台数が多い分

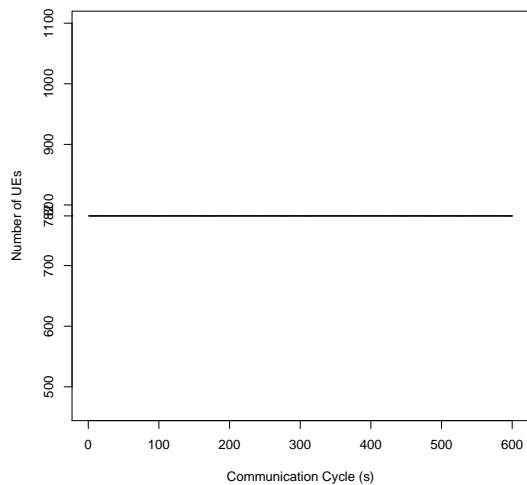


図 7: 通信周期に対する UE 台数の分布 (データセット 2)

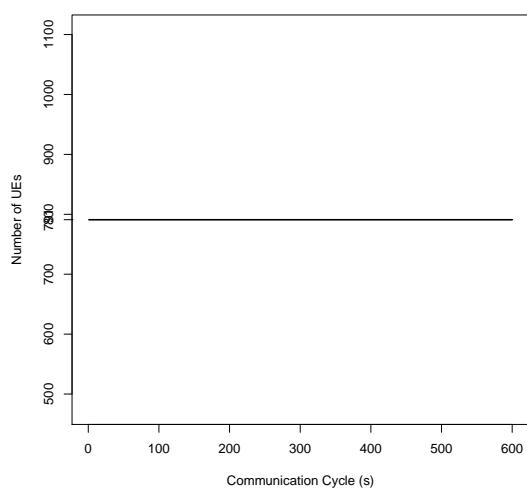


図 8: 通信周期に対する UE 台数の分布 (データセット 3)

布である。データセット3は、 $T^i$ を適切に設定した時には、シグナリング発生数およびメモリ消費量がMMEの限界値を超えないようなUEの一様分布のうち、最もUE台数が多い分布である。

これらの結果を見ると、グラフの傾きが非常に小さい(水平に近い)ことが分かる。このことから、今回の条件においては、メモリ負荷の限界値よりもシグナリング発生数の限界値の方が、制約として厳しいことが分かる。また、シグナリング負荷の制約が相対的に厳しいため、シグナリング負荷を削減し、メモリ負荷にオフロードするようにIdle Timerに大きな値を設定する方が、ネットワーク全体で見た時のUEの収容台数が向上することが分かる。

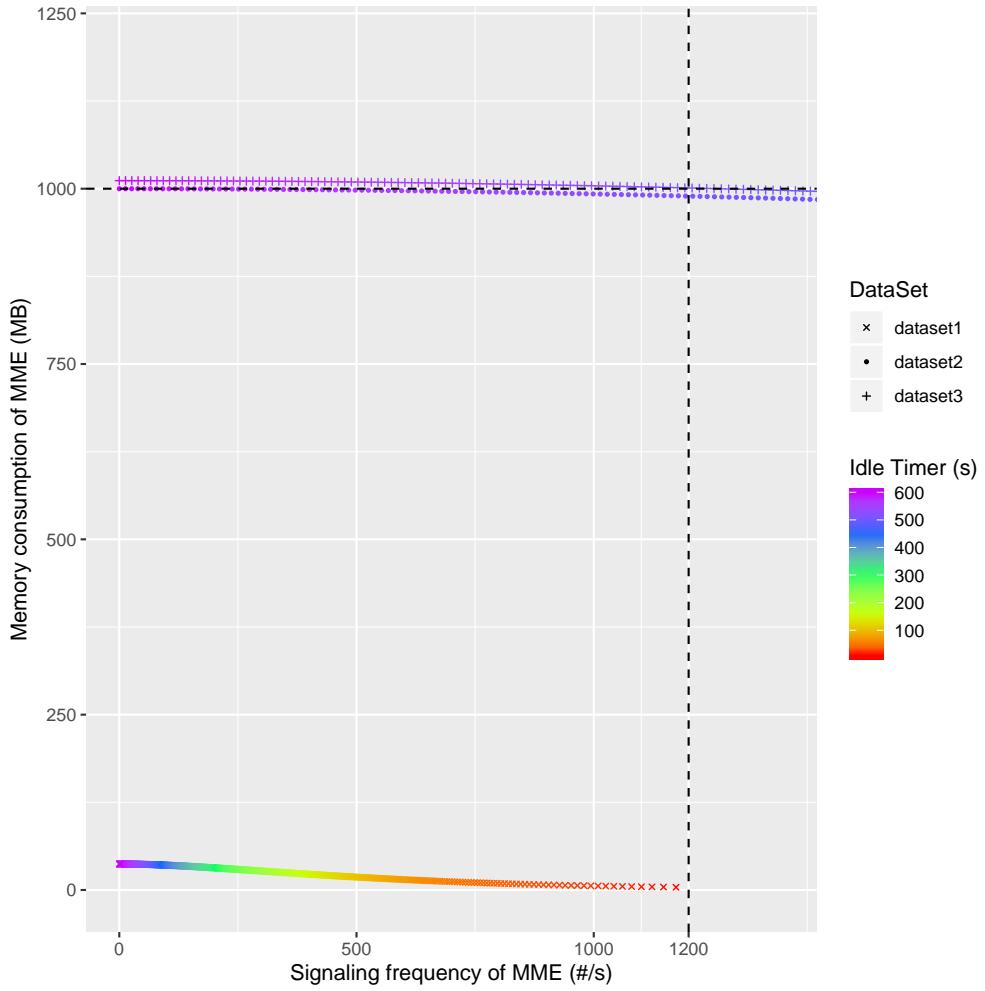


図 9: MMEに対して発生する 1sあたりのシグナリング数に対する MME のメモリ負荷 (データセット 1,2,3)

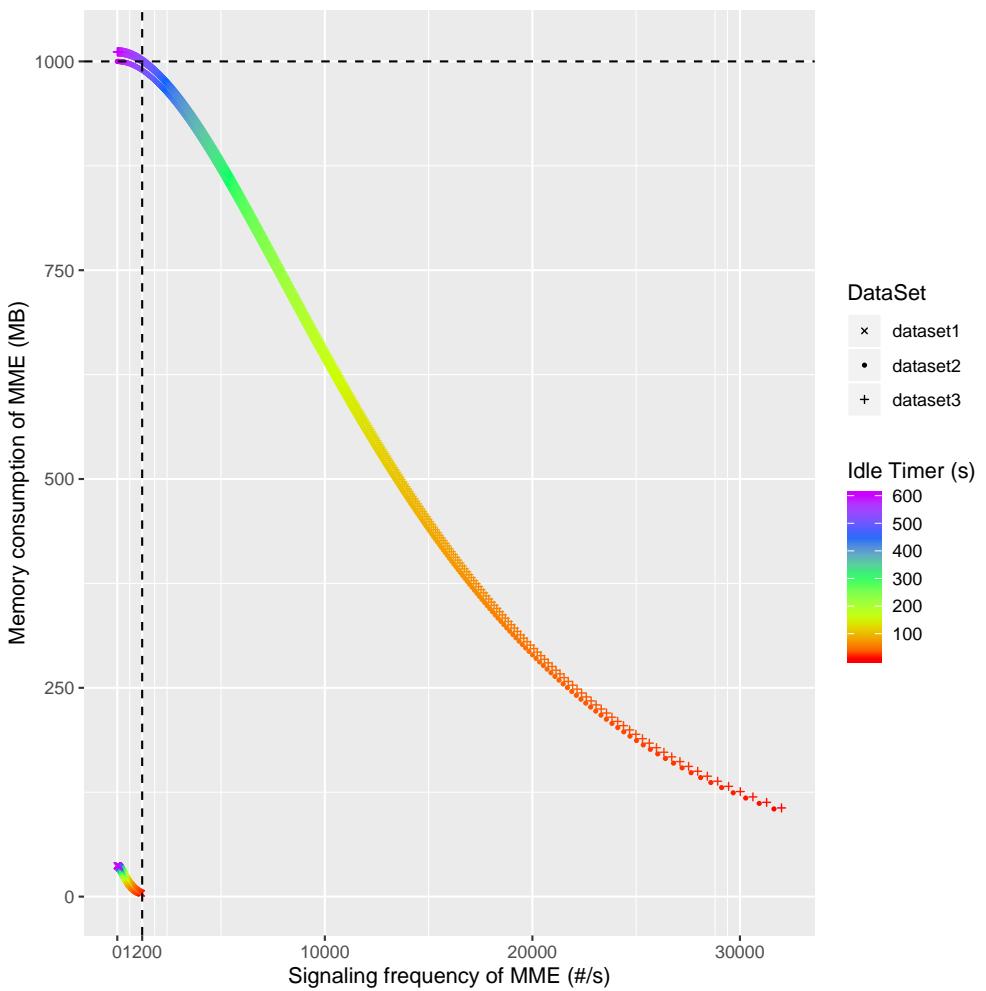


図 10: MME に対して発生する 1s あたりのシグナリング数に対する MME のメモリ負荷の全体像  
(データセット 1,2,3)

## 5.2 UE の試算 2

以下のように条件やパラメータを仮定した。 $d_h = 0$  である点以外は、第 5.1 節の仮定と同じである。

- UE ごとに通信周期は固定であり、途中で変化することはない。
- 最後の送信が終了したあと、Connected 状態の UE が Connected Inactive 状態へ遷移するまでの時間 ( $T^{ci}$ ) は全 UE で共通かつ不变の値として  $T^{ci} = 10s$  とした。
- UE の送信するデータサイズは十分小さいものとする。つまり、Connected Inactive 状態で発生したデータ送信に関しては、Connected 状態への状態遷移を引き起こさないものとする ( $d_h = 0$ )。
- UE の通信周期に対する UE 台数の分布は以下の図 6、図 7、図 8 に示す、3 つのデータセットを用意した。それぞれ、ネットワークに存在する UE の台数は 17,400 台、469,200 台、474,600 台である。また、通信周期に対して UE の台数は一様分布である。
- データ送信にかかる時間は UE の通信周期と比べて十分小さいものとし、送信が失敗することはないと仮定する。

この時の結果は、第 5.1 節に示した結果と全く同じである。なぜなら今回の試算では、 $d_h$  の値が変化しても、メモリおよび CPU の負荷には全く影響が出ないためである。これは、今回の試算では UE の状態が Connected 状態および Connected Inactive 状態である時に MME のメモリに与える負荷は同じでありかつ、Connected 状態と Connected Inactive 状態を遷移する際に MME に発生するシグナリングの数は 0 であることから説明できる。

## 5.3 UE の試算 3

以下のように条件やパラメータを仮定した。

- UE ごとに通信周期は固定であり、途中で変化することはない。
- 最後の送信が終了したあと、Connected 状態の UE が Connected Inactive 状態へ遷移するまでの時間 ( $T^{ci}$ ) は全 UE で共通かつ不变の値として  $T^{ci} = 10s$  とした。
- UE の送信するデータサイズは十分大きいものとする。つまり、データ送信を行うタイミングで必ず Connected 状態に遷移するものとする ( $d_h = 1$ )。
- UE の通信周期に対する UE 台数の分布は以下の図 11、図 12、図 13 に示す、3 つのデータセットを用意した。それぞれ、ネットワークに存在する UE の台数は 108,000 台、468,000 台、660,000 台である。また、通信周期に対して UE の台数は一様分布である。
- データ送信にかかる時間は UE の通信周期と比べて十分小さいものとし、送信が失敗することはないと仮定する。

MME のシグナリング負荷と MME のメモリ負荷の関係を示した図を図 14 に示す。また、この図の全体像を図 15 に示す。データセット 4 は、 $T^i$  を最小値 (10s) に設定したとしても、シグナリング発生数が MME が処理可能な限界値 (1200 回/s) を超えないような UE の一様分布のうち、最

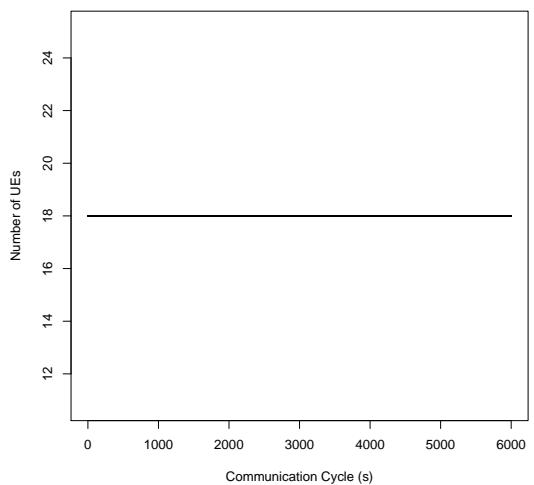


図 11: 通信周期に対する UE 台数の分布 (データセット 4)

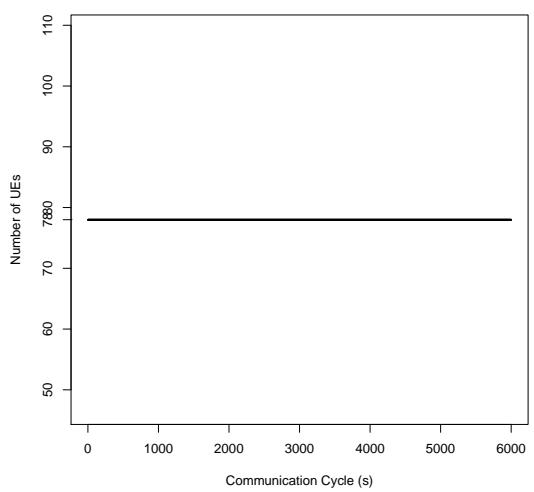


図 12: 通信周期に対する UE 台数の分布 (データセット 5)

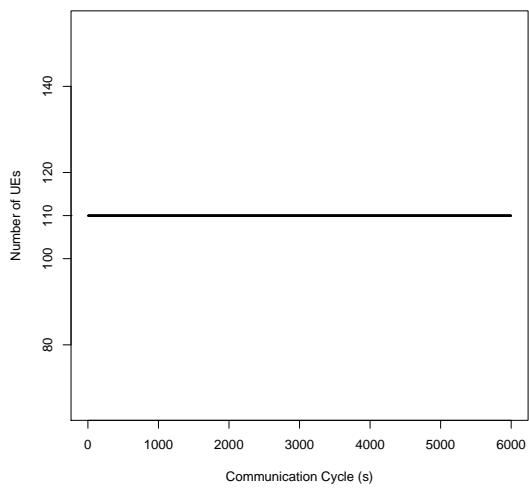


図 13: 通信周期に対する UE 台数の分布 (データセット 6)

も UE 台数が多い分布である。データセット 5 は、 $T^i$  を最大値 (6000s) に設定したとしても、メモリ消費量が MME の限界値 (1GB) を超えないような UE の一様分布のうち、最も UE 台数が多い分布である。データセット 6 は、 $T^i$  を適切に設定した時には、シグナリング発生数およびメモリ消費量が MME の限界値を超えないような UE の一様分布のうち、最も UE 台数が多い分布である。

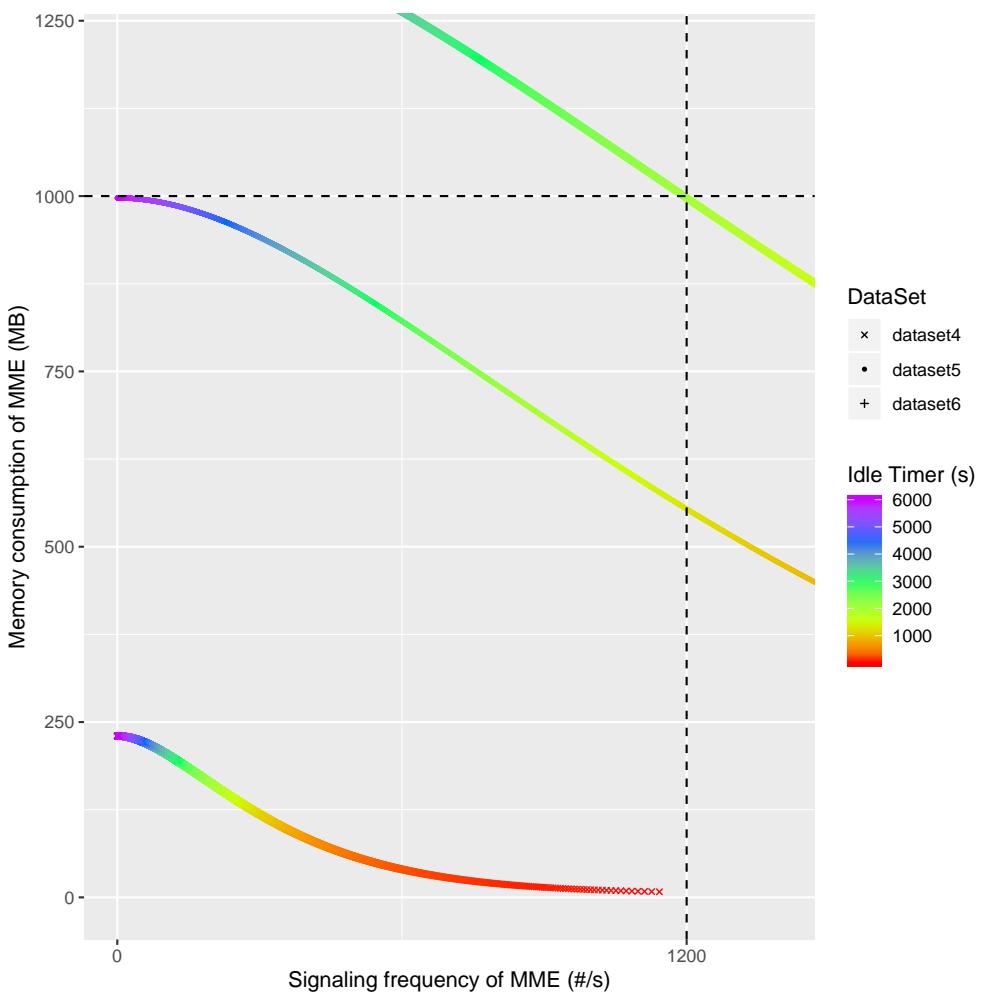


図 14: MME に対して発生する 1sあたりのシグナリング数に対する MME のメモリ負荷 (データセット 4,5,6)

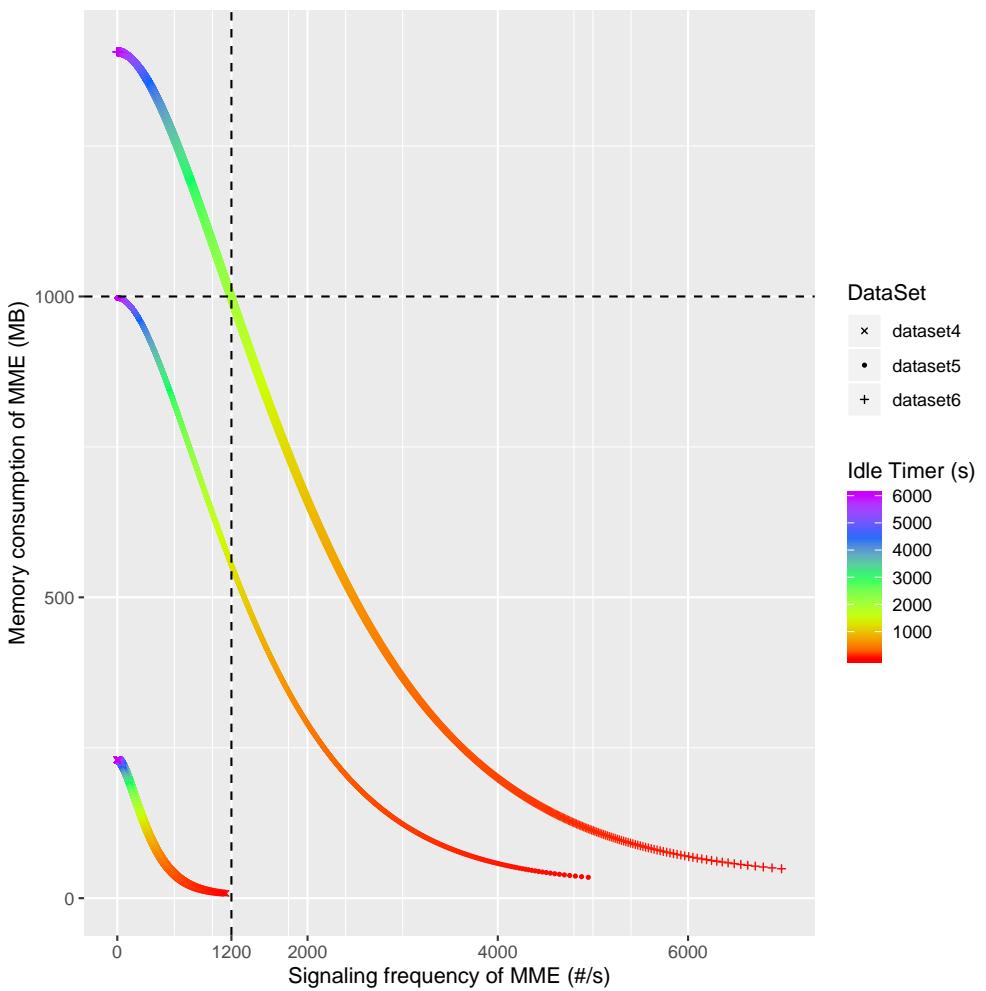


図 15: MME に対して発生する 1sあたりのシグナリング数に対する MME のメモリ負荷の全体像  
(データセット 4,5,6)

## 6 今後の予定

- UE の通信周期の分布やデータサイズなど、様々なパラメータを変化させた場合の試算を行う。
- IdleTimer の設定方法を決める良いアルゴリズムがないか調査する。
- Connected Inactive 状態において “状態遷移を伴わないデータ送信” が可能なデータ量を調査する。

## 参考文献

- [1] I. L. Da Silva, G. Mildh, M. Säily, and S. Hailu, “A Novel State Model for 5G Radio Access Networks,” in *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*, May 2016, pp. 632–637.
- [2] 3GPP, “Study on architecture enhancements for Cellular Internet of Things (CIoT),” 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Report (TR) 23.720, Mar. 2016, version 13.0.0. [Online]. Available: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2894>
- [3] 上野真生, 長谷川 剛, 村田正幸, “多数の M2M/IoT 端末からの集中アクセスを考慮したモバイルコアネットワークの実験評価,” in *Proceedings of 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2018-226)*, Mar. 2019.