

進捗報告資料

安達智哉

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

2020年1月8日

1 Idle タイマの制御方法

本節では、UE の強制的な状態変化を引き起こさないことを前提にする。つまり、Idle タイマが切れていない UE を強制的に Idle 状態へ遷移させることはないとする。また、Idle タイマの更新は、UE がデータ送信を行うタイミングで実行するものとする。MME は UE を収容するために使用されている CPU およびメモリリソース量を観測できるものとする。つまり、UE の収容とは無関係な処理によって発生する負荷を取り除いた CPU 負荷およびメモリ使用量を知ることができるとする。

突発的な負荷の増加に対応するという観点から、現在収容している UE に加え、最も多くの UE を収容できるような Idle タイマの値が最適と考える。具体的には、現在収容している UE と同じ通信周期を持つ UE がネットワークに参加すると仮定し、収容可能な UE 台数が最大となる Idle タイマの値を最適と定義する。また、CPU およびメモリのどちらも過負荷状態でないことは、UE を収容可能であることの必要十分条件であるとする。

まず、現在収容している UE 台数を N_{UE} とする。UE 台数が N_{UE} 、Idle タイマが T の時に観測される、CPU およびメモリの使用量をそれぞれ $C_{N_{\text{UE}}}(T)$ 、 $M_{N_{\text{UE}}}(T)$ とする。

Idle タイマを T とした時に、収容可能な UE の総数を $N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T)$ とすると $N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T)$ は、 $C_{N_{\text{UE}}}(T)$ 、 $M_{N_{\text{UE}}}(T)$ 、 C^{\max} および M^{\max} を用いて、以下の式 (1) で表せる。ここで、 C^{\max} 、 M^{\max} はそれぞれシグナリング処理および UE のセッション情報を保持するために使用可能な CPU リソース量およびメモリリソース量である。

$$N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T) = \lfloor N_{\text{UE}} \cdot \min\left\{\frac{C^{\max}}{C_{N_{\text{UE}}}(T)}, \frac{M^{\max}}{M_{N_{\text{UE}}}(T)}\right\} \rfloor \quad (1)$$

Idle タイマを制御するまでの目的関数を以下の式 (2) に示す。

$$\text{maximize : } N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T) \quad (2)$$

$N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T)$ を最大化する Idle タイマの値が明らかである場合は、その値を Idle タイマに設定すれば良い。しかし一般的に、UE の台数や通信周期は未知であり時間的に変動するため、 $N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T)$ を最大化する Idle タイマの値をすることは難しい。そのような場合は、 $N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T)$ を最大化するよう、Idle タイマを適応的に制御する必要がある。具体的には、各リソースの使用量を観測して、 $N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T)$ を大きくする向きに Idle タイマを変化させる。このステップを複数回繰り返すことにより、Idle タイマを制御する。

この時、1 ステップごとの Idle タイマの変化量を考える必要がある。この値を小さく設定すると、最適な値に到達するまでに大きな時間がかかる場合がある。逆に Idle タイマの変化

量を大きく設定すると、Idle タイマが発振する可能性もあり、制御が不安定になる。また、UE の通信周期によって、Idle タイマが変化した時に各リソースの負荷の変化量が異なる点も考慮する必要がある。つまり、ネットワークの変化に短い時間スケールで対応しつつ、安定した制御を実現するためには、ネットワークの環境に応じて Idle タイマの変化量を制御する仕組みが必要である。このような制御には様々な手法が考えられるが、本報告では動作がシンプルであり、汎用性が高い PID 制御を用いる。

まず、PID 制御における出力値 $y(t)$ および目標値 $r(t)$ を設定する。以前の評価より、CPU 使用量は Idle タイマの値に対して広義単調減少でありかつ、メモリ使用量は Idle タイマの値に対して広義単調増加であることがわかっている。このことから、式 (1) を確認すると、 $\frac{C^{\max}}{C_{N_{\text{UE}}}(T)}$ は広義単調増加でありかつ、 $\frac{M^{\max}}{M_{N_{\text{UE}}}(T)}$ は広義単調減少であることがわかる。ここで、以下の式 (3) を満たすような T の集合を \mathbf{T} とし、 $N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T)$ を最大化するような T の集合を $\mathbf{T}_{\text{optimal}}$ とすると、 $T \in \mathbf{T}$ であることは $T \in \mathbf{T}_{\text{optimal}}$ であるための十分条件になる。

$$\frac{C^{\max}}{C_{N_{\text{UE}}}(T)} = \frac{M^{\max}}{M_{N_{\text{UE}}}(T)} \quad (3)$$

以上の議論のイメージを図 1、図 2a および図 2b に示す。図 1 は UE 台数が 500,000 台、UE ごとの通信周期は 10 s から 6,000 s の範囲で一様分布とした時の、Idle タイマと各リソース負荷の関係を示したものである。図 2a は図 1 と同じ UE を収容した時の、Idle タイマと $N_{\text{UE}} \cdot \frac{C^{\max}}{C_{N_{\text{UE}}}(T)}$ と $N_{\text{UE}} \cdot \frac{M^{\max}}{M_{N_{\text{UE}}}(T)}$ との関係を示している。また、図 2b は図 1 と同じ UE を収容した時の、Idle タイマと $N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T)$ との関係を示している。図 2b を見ると、 $N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T)$ を最大化する Idle タイマの値と $\frac{C^{\max}}{C_{N_{\text{UE}}}(T)} = \frac{M^{\max}}{M_{N_{\text{UE}}}(T)}$ となる時の Idle タイマの値が一致していることが確認できる。

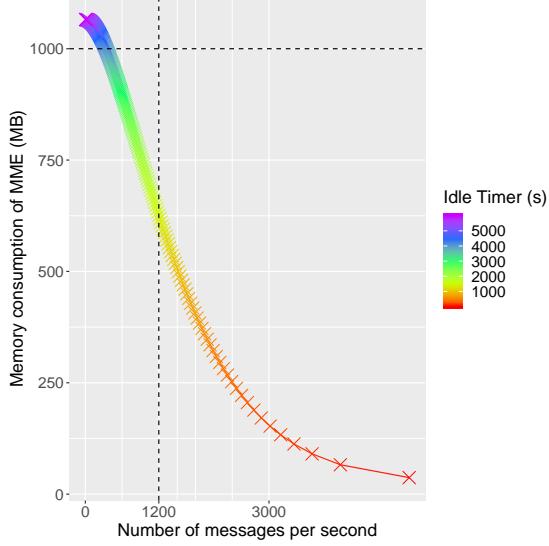
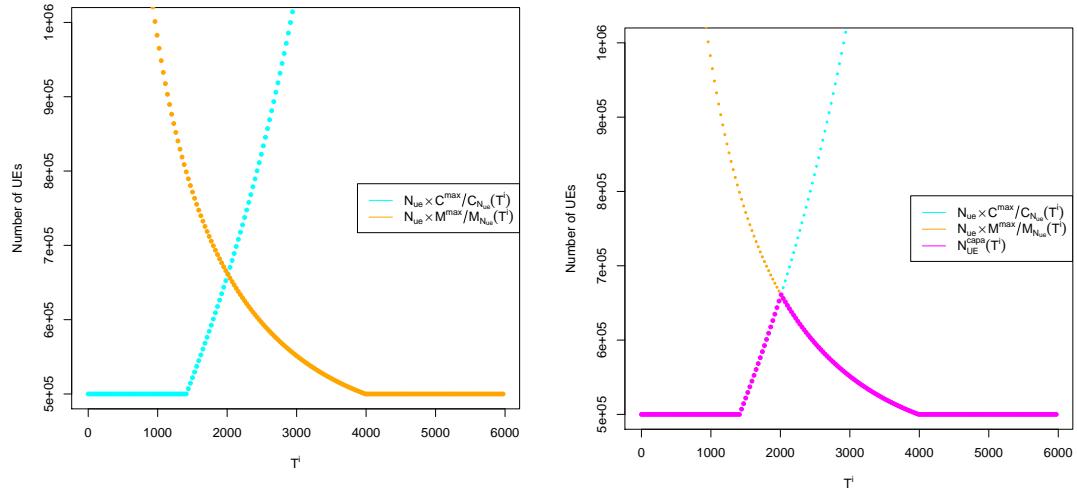


図 1: Idle タイマに対する、メッセージ処理頻度とメモリ使用量の関係

式 (3) は分母と分子を入れ替えても成り立つことを考慮し、PID 制御における出力値 $y(t)$ および目標値 $r(t)$ を以下の式 (4)、(5) のように定義する。 t は時刻を表す変数である。

$$y(t) = \frac{C_{N_{\text{UE}}}(T)}{C^{\max}} - \frac{M_{N_{\text{UE}}}(T)}{M^{\max}} \quad (4)$$

$$r(t) = 0 \quad (5)$$



(a) Idle タイマと $N_{\text{UE}} \cdot \frac{C^{\max}}{C_{N_{\text{UE}}}(T^i)}$ と $N_{\text{UE}} \cdot \frac{M^{\max}}{M_{N_{\text{UE}}}(T^i)}$ の関係

(b) Idle タイマと $N_{\text{UE}}^{\text{capa}}(T^i)$ の関係

図 2

時刻 t における $y(t)$ と $r(t)$ の差を $e(t)$ として以下の式 (6) ように定義すると、PID 制御における操作量 ($u(t)$) は以下の式 (7) で表せる。

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (6)$$

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

ここで、 K_p 、 K_i および K_d はそれぞれ、比例ゲイン、積分ゲインおよび微分ゲインと呼ばれる定数である。これらの定数は、 $e(t)$ およびその積分値、微分値が $u(t)$ にどの程度寄与するのかを決定する。

2 数値評価

2.1 評価シナリオ

UE 台数が途中で増加した場合の評価結果を以下に示す。変化前の UE 台数は 180,000 台であり、UE の持つ通信周期とそれぞれの通信周期を持つ UE の割合は表??の通りである。十分な時間経過させ Idle タイマが収束している状態において、新たに特定の通信周期の UE がネットワークに接続され、一定期間後にネットワークから切り離される場合の評価を行う。

シナリオ 1 では、新たに接続する UE の台数は 400,000 台であり、それらの通信周期は 100 s である。これらの UE は毎秒 25 台づつネットワークに接続し、16,000 s かけて全 UE がネットワークに接続する。また、ネットワークに接続した UE は 80,000 s 後にネットワークから切り離される。

シナリオ 2 では、新たに接続する UE の台数は 400,000 台であり、それらの通信周期は 6,000 s である。これらの UE は毎秒 25 台づつネットワークに接続し、16,000 s かけて全 UE がネットワークに接続する。また、ネットワークに接続した UE は 80,000 s 後にネットワークから切り離される。

表 1: UE の通信周期の分布

	通信周期					合計
	100 s	200 s	300 s	…	6000 s	
UE 台数の割合	$\frac{1}{60}\%$	$\frac{1}{60}\%$	$\frac{1}{60}\%$	…	$\frac{1}{60}\%$	100%
UE 台数	4000	4000	4000	…	4000	240,000

2.2 評価結果

2.2.1 シナリオ 1

UE 台数が途中で増加した場合の評価結果を以下に示す。タイムステップ 40,000 から Idle タイマの制御を行う。タイムステップ 120,000 から UE がネットワークに接続し始める。タイムステップ 200,000 から UE がネットワークから切り離され始める。

計算より、UE が増加した後における、Idle タイマの最適値は 291 s から 331 s の間である。図 3 および図 4 を見ると、UE の増加に伴い、Idle タイマが減少し、290 s 近くに収束していることがわかる。一方で、図 5 では、微分制御を用いているため、Idle タイマの変動の幅が大きい。そのため、最適値に収束しているとは言えない。また、増加した分の UE がネットワークから切り離されると Idle タイマは、UE の増加前の水準に戻ることも確認できる。

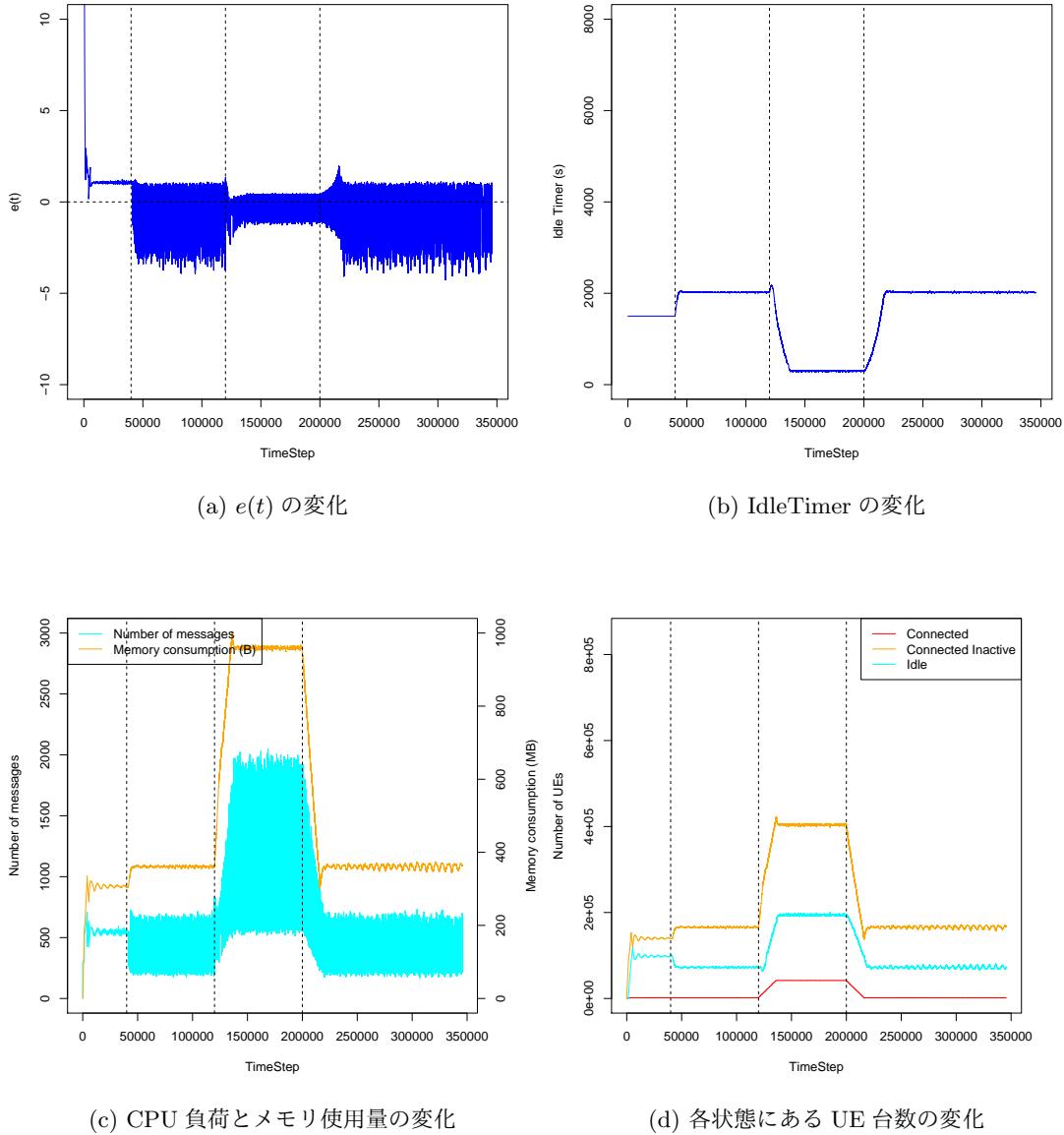


図 3: 理想 PID($K_p = 1.5, K_i = 0, K_d = 0$)

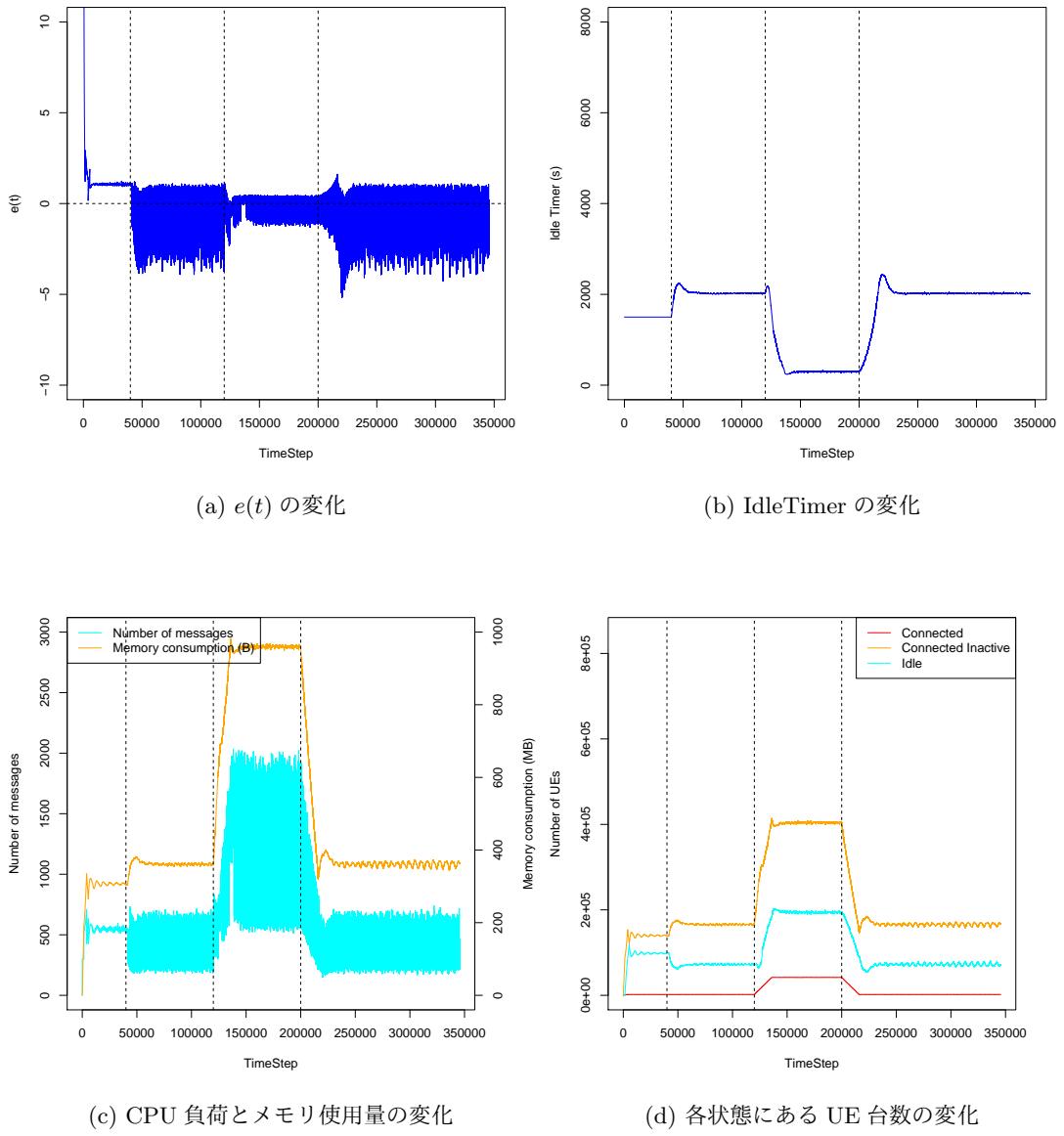


図 4: 理想 PID($K_p = 1.35, K_i = 0.000203, K_d = 0$)

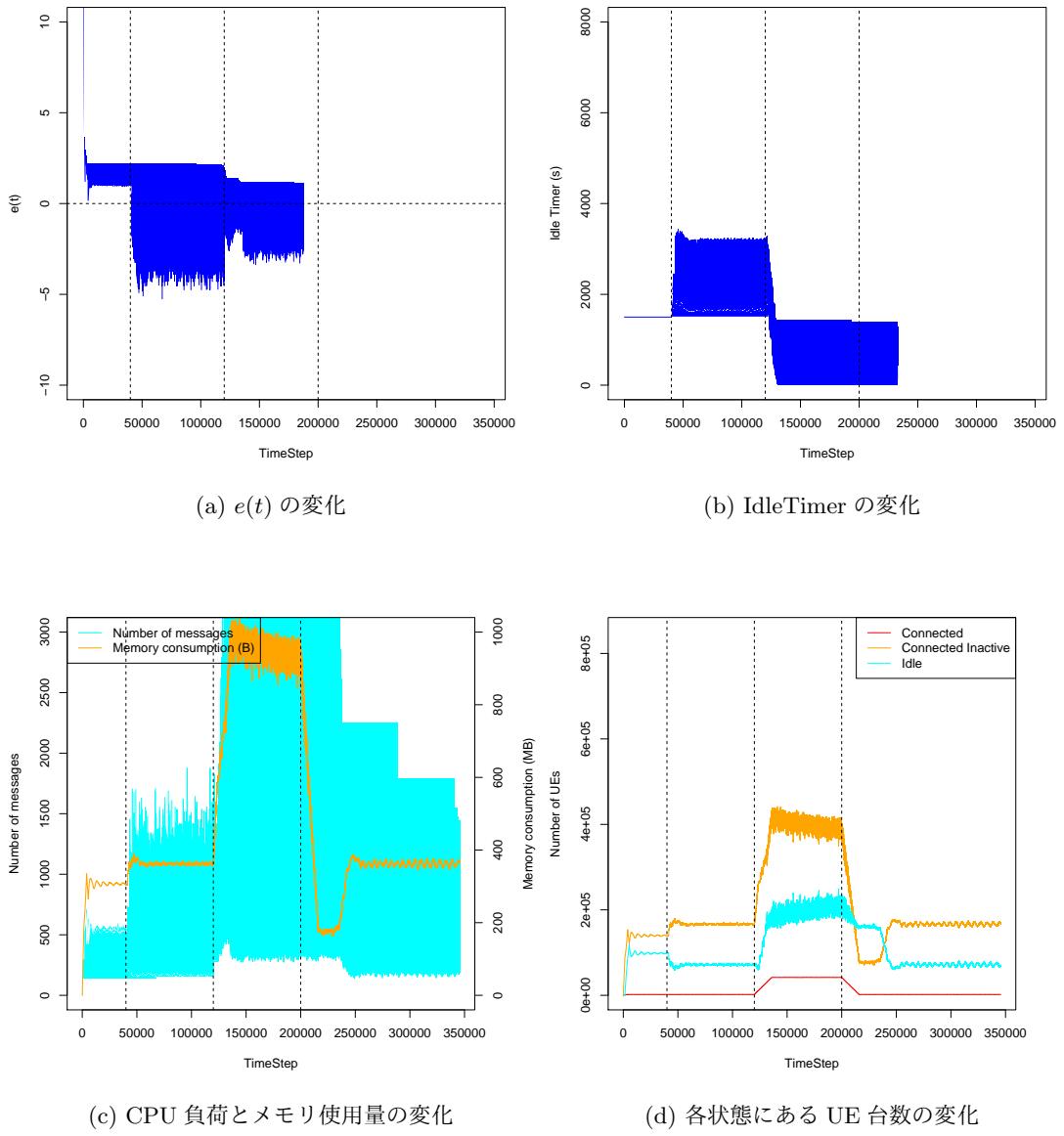


図 5: 理想 PID($K_p = 1.8, K_i = 0.00045, K_d = 1800$)

2.2.2 シナリオ 2

UE 台数が途中で増加した場合の評価結果を以下に示す。タイムステップ 40,000 から Idle タイマの制御を行う。タイムステップ 120,000 から UE がネットワークに接続し始める。タイムステップ 200,000 から UE がネットワークから切り離され始める。

計算より、UE が増加した後における、Idle タイマの最適値は 2691 s から 2743 s の間である。図 6 および図 7 を見ると、UE の増加に伴い、Idle タイマが増加していることが確認できる。また、若干の変動がみられるが、2670 s から 2770 s に収束していることがわかる。一方で、図 8 では、微分制御を用いているため、Idle タイマの変動の幅が大きい。そのため、最適値に収束しているとは言えない。

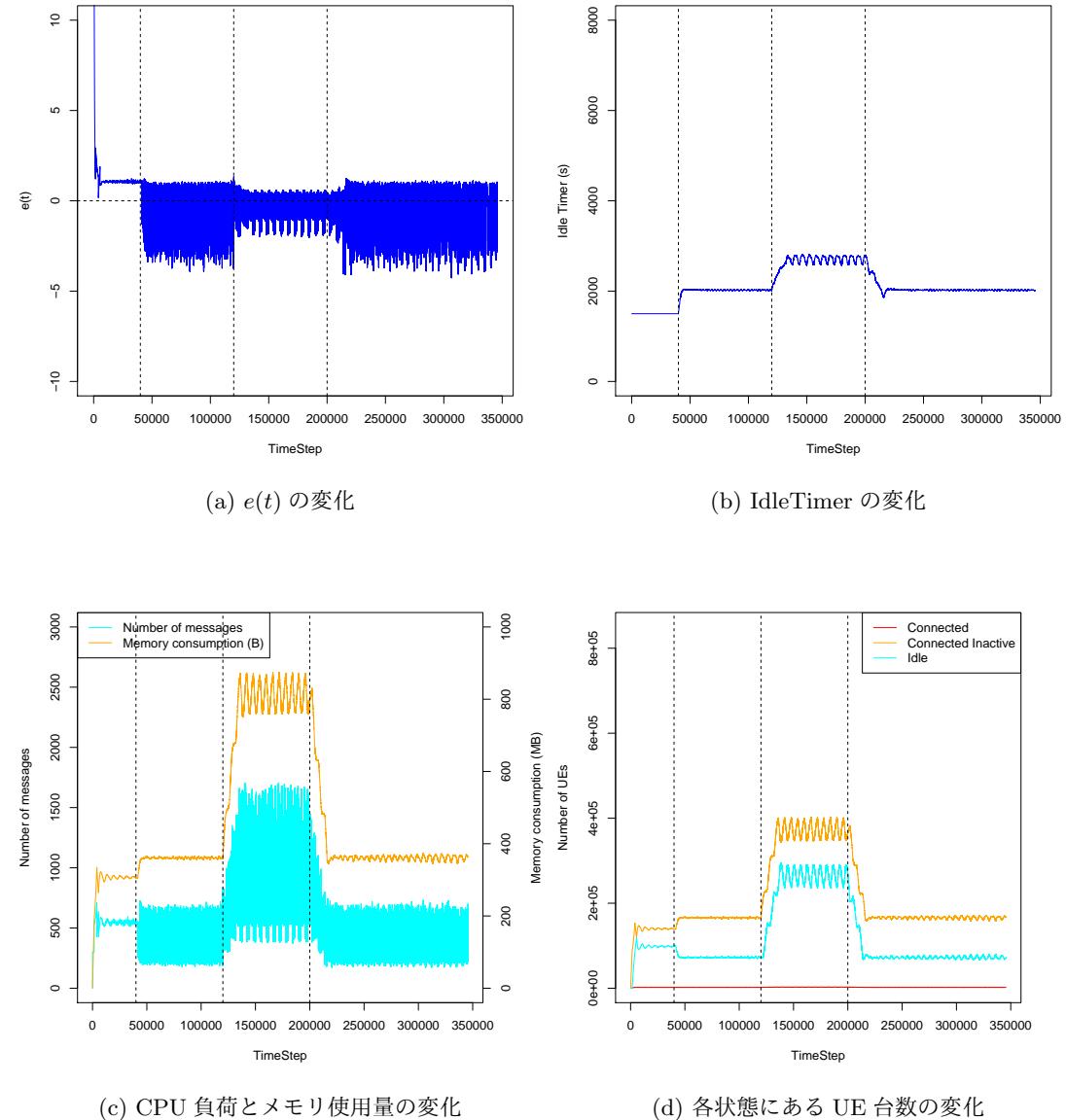


図 6: 理想 PID($K_p = 1.5, K_i = 0, K_d = 0$)

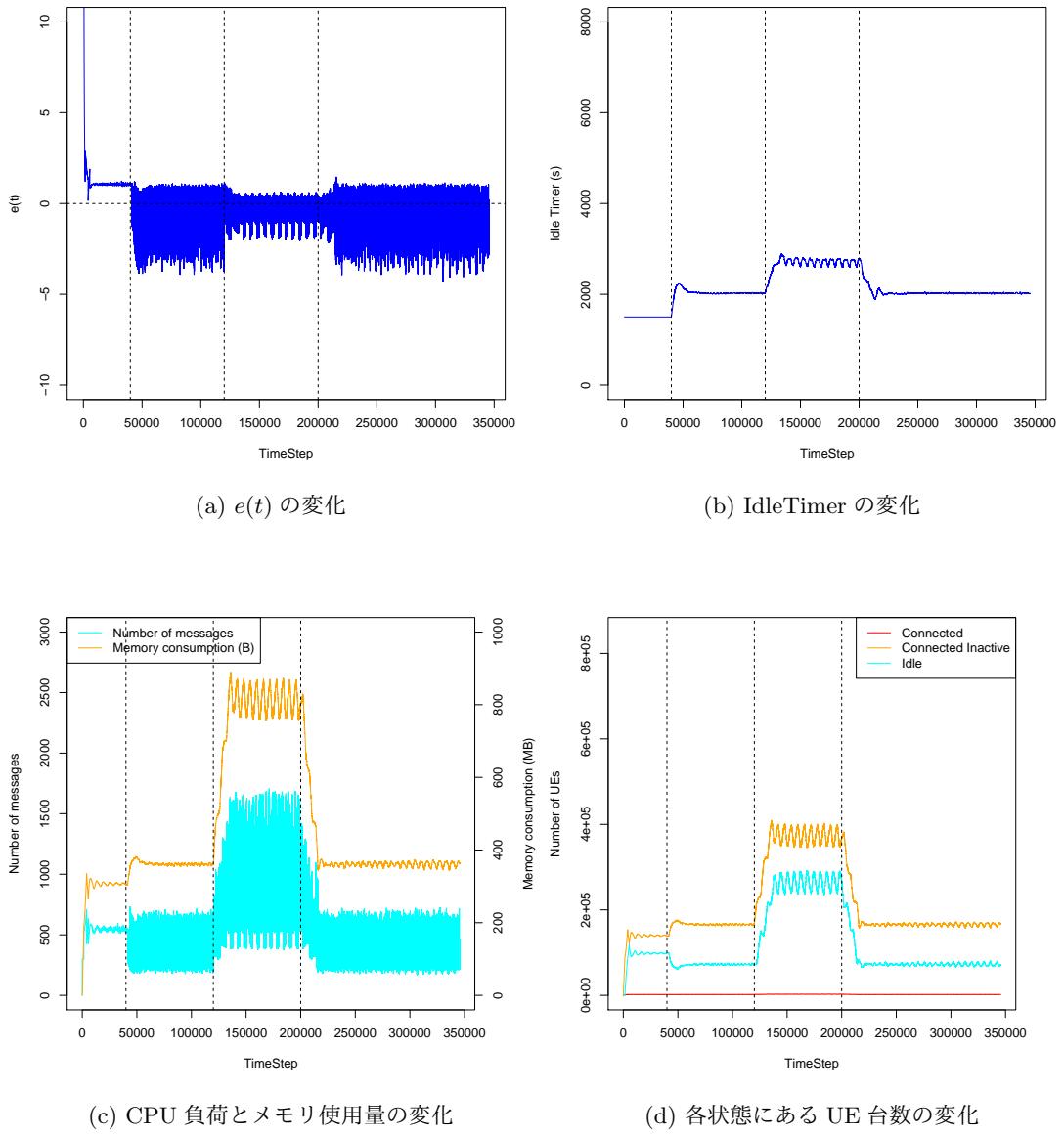


図 7: 理想 PID($K_p = 1.35, K_i = 0.000203, K_d = 0$)

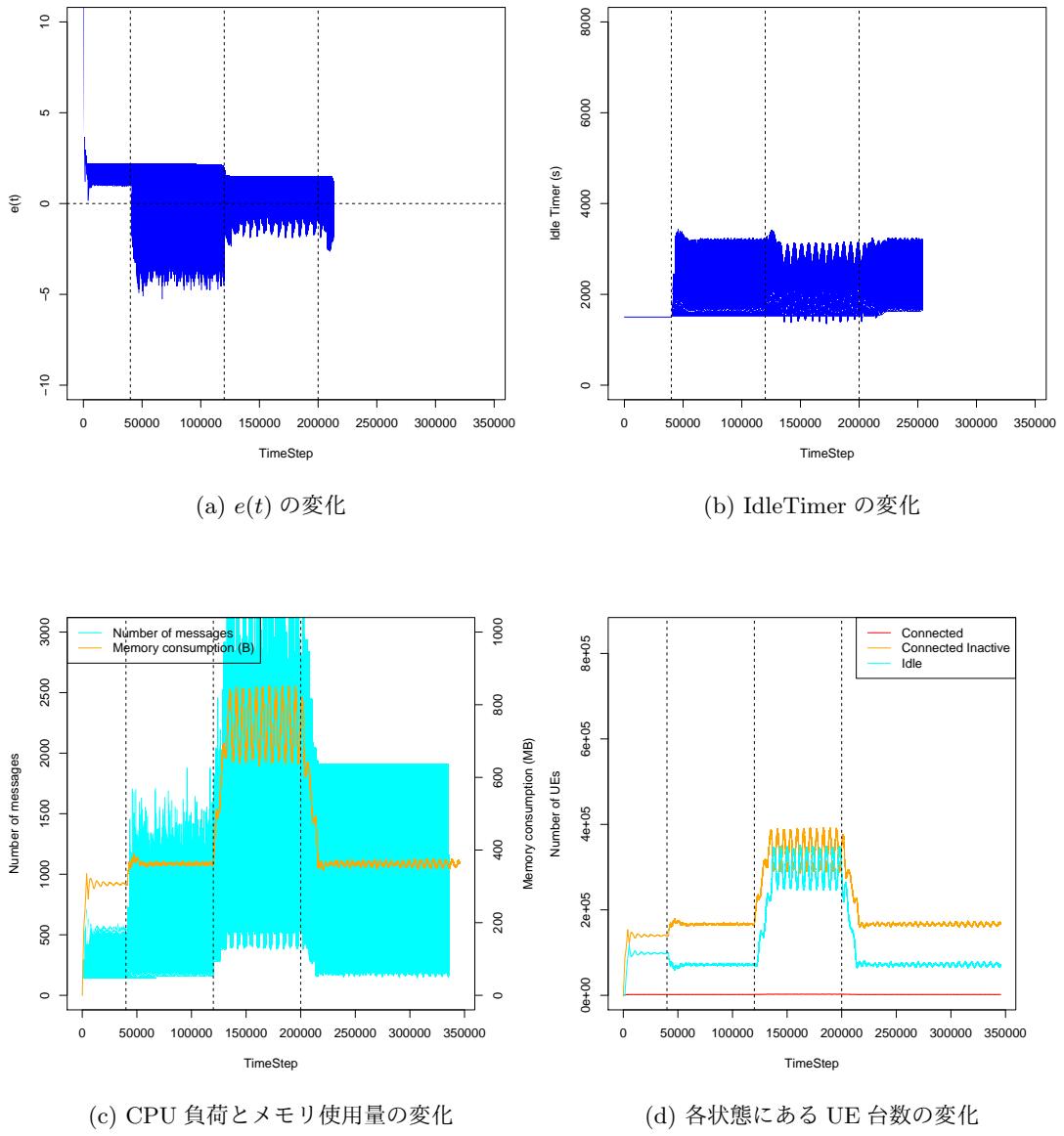


図 8: 理想 PID($K_p = 1.8, K_i = 0.00045, K_d = 1800$)

3 研究会の原稿のタイトル案

負荷の時間的変動に合わせた適応的シグナリング制御によるモバイルコアノードの資源利用の効率化

4 今後の予定

- PID 制御の出力値 ($y(t)$) に関する式を変更した上で、これまで行っていた一連の評価結果を差し替える (次回の報告まで)
- 制御の安定性と制御方式の関係について整理する
- リソースが不足した際の制御を考える

1/10 CQ 研究会のタイトル及び著者、概要を決定し、発表申し込み

1/12 両論文の目次案策定

1/12 研究と並行して、概要やイントロなどの書ける部分から論文の執筆を行う

1/30 CQ 研究会の原稿の執筆完了

2/7 修士論文の執筆完了

2/10 発表資料の作成完了

2/12 修士論文の提出と発表

2/29 CQ 研究会の発表資料の作成完了

3/5、6 CQ 研究会での発表

参考文献