

進捗報告資料

安達智哉

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

平成 31 年 1 月 4 日

1 CPU とメモリ間で負荷をオフロードするモデル

1.1 概要

MME および SGW、PGW などの EPC ノードは、主なリソースとして CPU とメモリを持っている。CPU は、アタッチやデタッチなどのシグナリング処理を実行するために必要とされるリソースである。一方メモリは、ベアラなどのセッション情報を保持するために必要とされるリソースである。これらのリソースは、モバイルネットワークにおける通信を可能にするために必須であるため、ネットワーク事業者は、どちらのリソースも枯渇することがないように、CPU とメモリをバランスよく割り当てる必要がある。

その一方で、近年は M2M/IoT 端末の急激な増加が注目されている。M2M/IoT 端末は通信特性において従来の端末 (携帯電話やスマートフォン) とは大きく異なり、データの送信に周期性や間欠性を持つという特徴がある。また、M2M/IoT 端末は消費電力を抑えることを目的に、データの送信ごとにデタッチ処理を実行し、セッションを解放する特徴がある。この点においても、ネットワークから切り離されるまで、セッションを維持し続ける従来の端末とは異なる。

上述の M2M/IoT 端末の特性は、CPU とメモリのバランスの良い割り当てを難しくすると考えられる。なぜなら、M2M/IoT 端末はその通信特性から、多くのアタッチ処理およびデタッチ処理を引き起こし、CPU 負荷のみを増加させるため、従来の端末と比較すると、CPU とメモリに与える負荷の割合が異なるからである。また、IoT 端末の接続台数の予測が難しいこともリソースの割り当てを難しく一因である。IoT 端末は、スマートフォンのような従来の端末とは異なり、家電や自動車、電気メーター、センサーなど様々な場所、様々な用途で利用される可能性があり、端末の台数およびその分布を予測することは困難であると考えられる。このように、通信特性が異なり、接続台数の予測が難しい IoT 端末の普及により、今後のネットワーク事業者は、CPU とメモリのバランスの良い割り当てがより難しくなると予想される。

上述のようなネットワーク (CPU とメモリのリソース消費の予測が難しく、変動が激しいネットワーク) において、収容可能な端末の増加を目的とした既存研究には、スケールアウトの考え方を採用したものが多い。これらの研究では主に稼働するサーバやインスタンスの数をリソースの需要に応じて変動させることにより、ネットワークの変動に対応している。しかし、この方法では、本来必要とされているリソース量 (需用量) よりも多くのリソースが供給される、リソースの過剰分配が発生する問題がある。なぜなら、これらの研究では、サーバやインスタンス一台あたりのリソース量は一定であることが前提の研究が多く、細かい粒度でリソースを制御できないためである。また、必要とされる CPU とメモリのリソース比はあらかじめ分かっている前提の研究が多

く、必要とされるリソース比が未知の場合はリソースの効率的な利用ができないからである。例えば、CPU のリソース不足を解消するためにケールアウトを行った場合、CPU リソースと同時にメモリリソースも増加する。しかし、メモリは元々ボトルネックにはなっていないため、新たに追加されたメモリは過剰分配されたことになる。

このような背景から、CPU とメモリのリソース消費の予測が難しような状況や変動が大きいような状況においても、どちらかがボトルネックにならずに、効率的にリソースを活用するアーキテクチャを考えることは重要である。実際、CPU とメモリのリソースを効率よく活用する研究は、データセンターなどの分野では行われている。しかし、モバイルネットワークに特化した研究は行われていない。そこで、私はモバイルネットワークに特化した、CPU とメモリのリソースのオフロードを可能にする仕組みを考えた。この方法により、CPU が過負荷である場合は、メモリの負荷を増加させる代わりに CPU の負荷を削減することが可能である。またその逆に、メモリが過負荷である場合は、CPU の負荷を増加させることによりメモリの負荷を削減できる。この仕組みにより、CPU とメモリのリソース消費の予測が難しい場合や、変動が激しいネットワークであっても、CPU およびメモリ双方のリソース利用率の向上が期待でき、収容可能な端末の増加が期待できる。

1.2 負荷について

1.2.1 CPU 負荷

CPU 負荷は、主にアタッチやデタッチなどのシグナリング処理を各ノードで実行する際に発生する。時間当たりのシグナリング処理の実行回数の増加に伴い、負荷が増加する。CPU 負荷の増加は、各ノードにおける処理時間の増大を引き起こす。また、CPU が過負荷状態になると、それ以上のシグナリング処理の実行が困難になる。

1.2.2 メモリ負荷

メモリ負荷は、主にベアラなどのセッションを維持するために必要な情報 (ベアラ識別子、UE 情報、ステート情報など) を保持する際に発生する。維持するベアラの増加に伴い、負荷が増加する。メモリが過負荷状態になると、新しくベアラを確立するために、古いベアラを解放する必要がある。

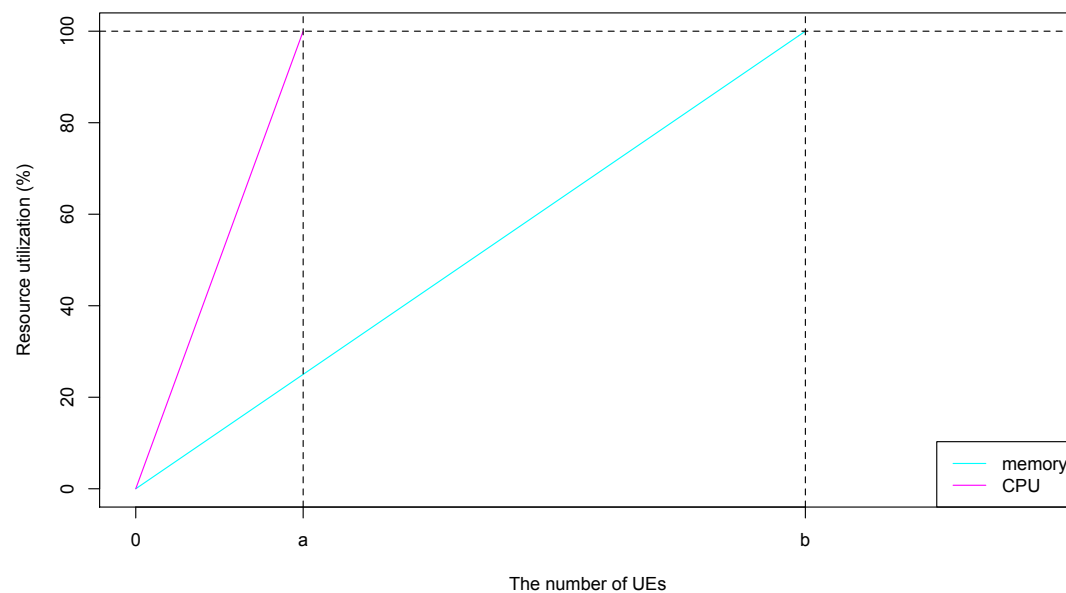
1.2.3 負荷のオフロードについて

負荷のオフロードに関するイメージ図を図 1 および図 2 に示す。各図は端末台数と CPU およびメモリリソースの使用率の関係をそれぞれ赤および青の線で示している。端末台数とは、システムが収容している UE の数である。リソースの使用率とは、システムが利用できるリソースの最大値 (物理的な性能の限界値や、事前にオペレータが設定した閾値などが想定される) に対して、UE を収容するために割り当てる必要のあるリソース量の割合である。一台あたりの UE を収容するために必要なリソース量の平均値はグラフの傾きに表れており、この値は UE の通信特性に応じて変化する。

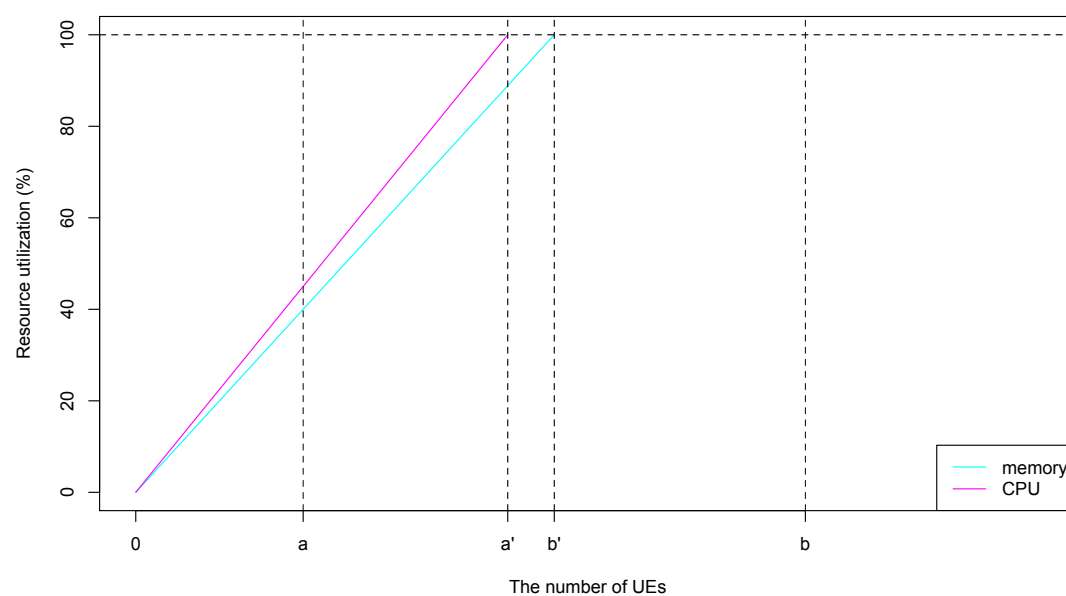
図 1 は、メモリリソースと比較して CPU リソースを大きく消費するような通信特性を持つ UE を収容した場合のグラフである。図 1(a) を見ると、端末台数が a 台の時点で CPU 使用率が 100%

に達していることがわかる。そのため、収容可能な UE の台数は a 台である。一方、図 1(b) では、第 1.3 節で述べる方法により、一台あたりの UE を収容するために必要なリソース量を変化させた場合のモデルである。この図の例では、ボトルネックであった CPU の負荷をメモリにオフロードすることにより、収容可能な端末台数が a 台から a' 台に増加している。このように、CPU リソースが不足し、メモリリソースが余っているような場合においては、CPU の負荷をメモリにオフロードすることにより収容可能な UE の台数が増加する可能性がある。

同様に CPU リソースが余っている状態で、メモリが枯渇した場合においては、メモリから CPU へ負荷をオフロードすることにより、収容可能な UE の台数が増加する (図 2)。

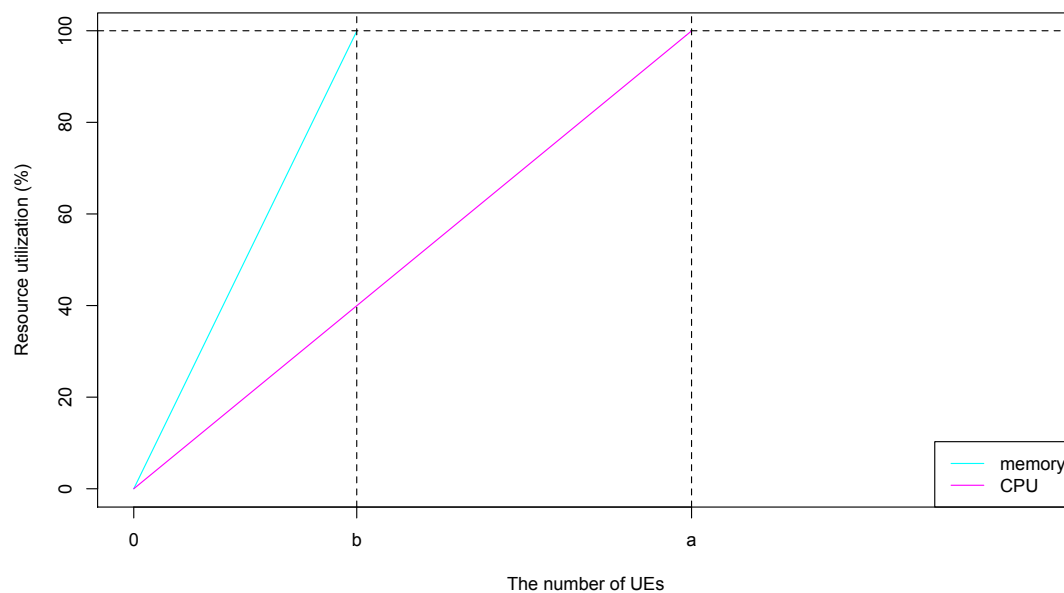


(a) オフロードを行わない場合

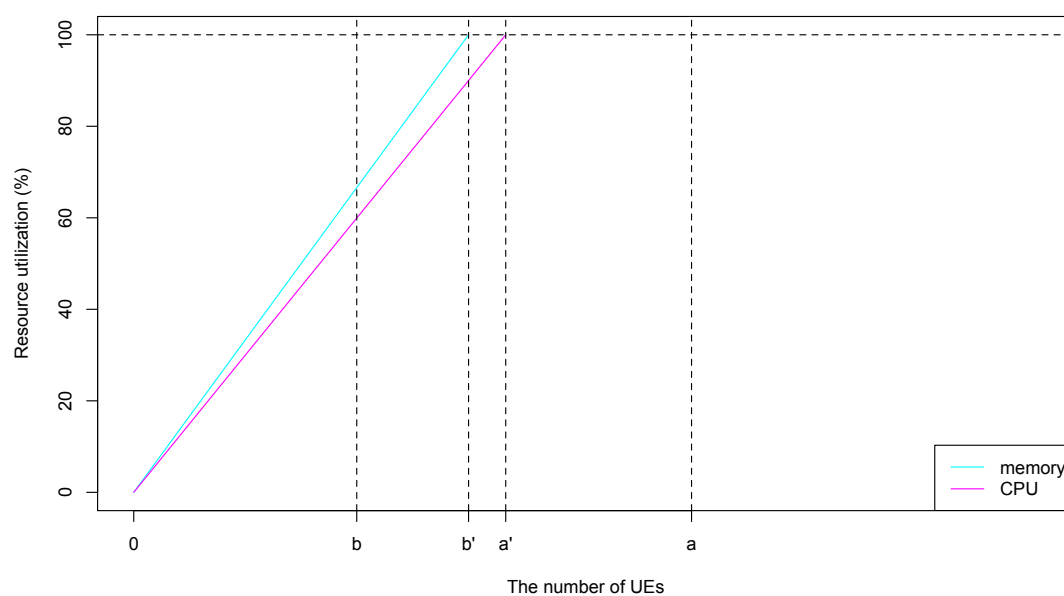


(b) オフロードを行った場合

図 1: CPU 負荷をメモリへオフロード



(a) オフロードを行わない場合



(b) オフロードを行った場合

図 2: メモリ負荷を CPU へオフロード

1.3 負荷のオフロード方法

通常、UE がネットワークから切り離されたあと、デタッチ処理が行われるまでの時間 (t) は一定である。私は、この t を変化させることによって、CPU とメモリの間で負荷をオフロードできるのではないかと考えた。図 3 は、M2M/IoT 端末が最初にネットワークに接続した際の様子を示したものである。通常通り、アタッチの処理を行い、ベアラを確立する。図 4 は、M2M/IoT 端末がネットワークから切断された際の様子である。通常は、数秒後にデタッチ処理が行われ、ベアラは全て解放されるが、このモデルでは、 t を非常に長く設定している。そのため、デタッチ処理が行われないため、ベアラはそのまま維持される (UE-eNodeB 間の無線帯域は解放する)。図 5 は M2M/IoT 端末が再びネットワークに接続した時の様子を示す。この場合、以前使用したベアラが残っているため、M2M/IoT 端末は無線部分以外のアタッチ処理をスキップしてデータの送受信を開始できる。結果的に、EPC ノードで行うアタッチ処理およびデタッチ処理の回数が削減されるため、CPU に与える負荷が削減される。一方、ネットワークに接続されていない M2M/IoT 端末のセッション情報を保持する必要があるため、メモリが圧迫されることが予想される。

逆もまた同様であり、メモリリソースが不足した場合は、 t を短く設定することにより、セッション情報を保持する時間を短くすることができ、メモリの負荷を削減できる。一方、アタッチおよびデタッチ処理が頻発するため、CPU 負荷が増加することが予想される。

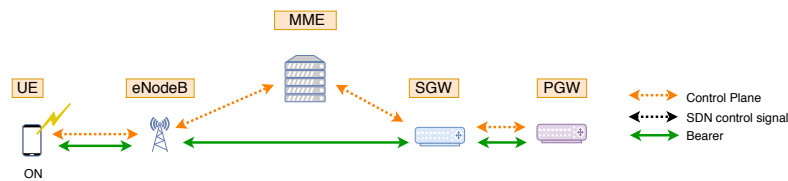


図 3: 端末が最初にネットワークに接続した時と処理

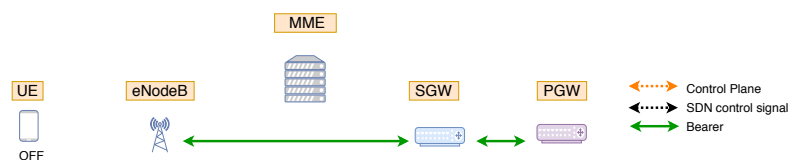


図 4: 端末がネットワークから切り離された時の処理

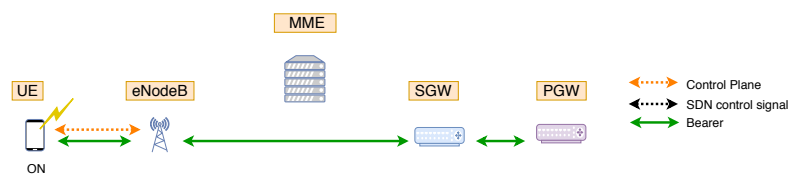


図 5: 端末が 2 回目以降にネットワークに接続した時の処理

2 今後の研究について

2.1 ネットワークモデル

これまでは、広域モバイルネットワークを対象とした評価を行ってきたが、今回は (まずは) 単一の EPC で構成されるモバイルネットワークを対象とした評価を行うことを考えている。

2.2 CPU 負荷について

CPU にかかる負荷はこれまで行ってきた研究と同様に、アタッチ処理のプログラム行数に基づく待ち行列理論で求めようと考えている。待ち行列理論によって導出される処理遅延時間が一定の閾値を超えた場合に、CPU リソースが不足したとみなす。

2.3 メモリ負荷について

メモリの負荷に関しては、確立しているベアラの数に比例した負荷がかかると仮定する。ベアラの数が閾値を超えた場合に、メモリリソースの不足が発生するものとする。

3 今後の課題

第 1.1 節で述べた内容の根拠を示す参考文献を探す。