

クラウドコンピューティング環境における電力使用量削減策の提案

栗野 勇輝*¹, 栗林 伸一*²

Reducing power consumption in cloud computing environments

Yuuki AWANO*¹ and Shin-ichi KURIBAYASHI*²

(Received March 1, 2012)

1. はじめに

ネットワーク上に分散した膨大なコンピューティング・リソースを所在や内部構造を意識することなく、必要な時に必要な分だけあらゆる端末から利用できるクラウドコンピューティングサービスが急速に広がりつつある。クラウドコンピューティングサービスを提供するシステム（以後、クラウドコンピューティング環境）は、非常に多くのサーバやネットワーク機器を利用することから、その省エネ対策が重要な課題の1つとなっている。

本論文では、クラウドコンピューティング環境における省エネ対策として、通信リンクの転送レートを調整すること、ならびにWAN高速化機能をクラウド資源の1つとして用意し積極的にそれを利用すること、によりクラウド環境を構成するICT機器の電力使用量を削減する方式を提案する。

なお、本速報は2011年度特別研究費を用いた研究結果の一部をとりまとめたものである。

2. 通信リンクの転送レート調整による電力使用量の削減方法

2.1. 通信リンクの転送レートを一時的に高速化する方法

ネットワークの消費電力削減策として、トラフィック量が少なくなったらリンクの転送レートを落とすこと（ALR: Adaptive Link Rate 技術）が従来から提案されている^{[1][5]}。これは、リンク速度が速いほど消費電力が大きいことが前提となっている。例えば、10Mb/sで0.1W、1Gb/sで3.6Wなら^[4]、消費電力を最大で約4割削減することができる。

しかし、ファイル転送のようなアプリケーション（大量のデータを連続して転送、リアルタイム性が求められる）では、転送レートを逆に高く設定し通信時間を短縮した方がトータルの電力使用量（電力容量ではない）を少なくできる可能性がある。つまり、高速で転送した場合の通信時間を T_h 、低速で転送した場合の通信時間を T_l 、高速で転送した場合の消費電力を P_h 、低速で転送した場合の消費電力を P_l 、とすると、一般に

$$T_h/T_l > P_h/P_l \quad (1)$$

が成り立つ。そのため、高速の場合と低速の場合の総電力使用量を比較すると、

$$T_h * P_h (\text{高速}) < T_l * P_l (\text{低速}) \quad (2)$$

となり、高速で送った方が総消費電力量を少なくできる。ファイルデータを低速の一定速度で転送し続ける場合と、一定のデータ量を高速でまとめて転送した後に通信時間を削減した分だけ機器本体も含めスリープする場合、を比較したものを図1に示す。この例では、高速配送することにより、約9割の電力使用量を削減することができる。ただし、IEEE802.3azのLPIモード^[2]使用時はここまでの効果は期待できない^[3]。

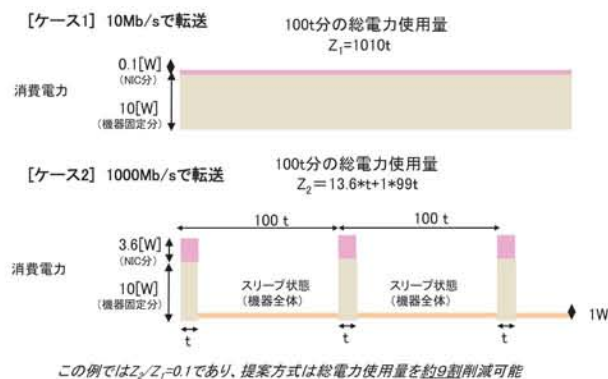


図1 リンク速度による総電力使用量の比較例

*¹: 情報科学科4年生

*²: 情報科学科教授 (kuribayashi@st.seikei.ac.jp)

また、高速転送の場合には、通信リンクの電力使用量

を少なくできるだけでなく、通信を早く終了することでリンクをスリープにできる時間も長くでき、さらに電力使用量を削減できる。さらに、收容リンクがすべてスリープ状態になる確率が高まれば、ノード自体もスリープにできる可能性も高まり、より一層電力使用量の削減が期待できる。

2.2. 実行スループットに合わせて通信リンク速度を一時的に減速する方法

ネットワークでは特定の通信リンクがボトルネックになって全体のスループットが一定以下に抑えられることが知られている^{[6][7]}。これは、他の通信リンクをいくら高速にしてもボトルネックリンクによりスループットは向上しないことを意味する。つまり、ボトルネック以外の通信リンクの性能をボトルネックリンクと同程度に落としても全体のスループットは低下しないし、電力消費量の削減も期待できる。

図2を用いて具体的な実現法の一案を説明する。まず、通信開始後(①)にエンドツーエンドのスループットを実測する(②)。次に実測したスループット値を通信経路上の各ノードに通知する(③)。各ノードは通知されたスループット値を踏まえ、リンク速度を調整する(④、⑤)。これには、レイヤ4以上の上位層とレイヤ1の連携を必要とする。ただし、ボトルネックになっているリンクは除外する。

図3に示すように、複数の通信が同じリンクを利用するため、図2の④、⑤では単一の通信だけでなく、そのリンクを通る全ての通信の総スループットを考慮する必要がある。そして、総スループット値(Ts)が現在のリンク速度よりも大幅に小さい時には、リンク速度をTs程度まで下げることが考えられる。このリンク速度ダウンによりリンクの電力使用量が削減が図られる。この効果は通信時間が長いほど大きくなる。ただし、リンク速度を一度減速したリンクをそのままにしておくこと自体がボトルネックになる可能性もあるため、一定時間後には元の速度に戻す、一定比率だけ速度アップする、などの対処が必要となる。詳細な手順は今後の課題である。

3. WAN高速化機能導入による電力使用量の削減

クラウドコンピューティング環境では、全てのサービスをネットワーク経由で実現し、かつ集約された遠隔のサーバにアクセスすることが多くなる。このため、距離による遅延時間増や回線の混雑など性能やユーザの使い勝手を犠牲にする可能性もある。その対策として、WA

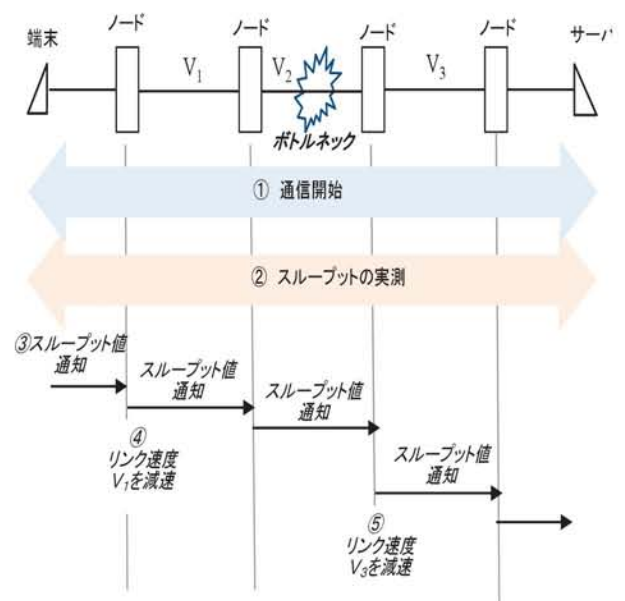


図2 実行スループット測定を用いたリンク速度調整イメージ

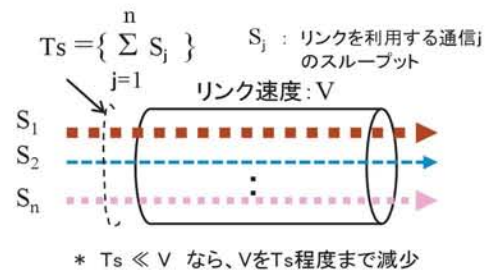


図3 リンク速度の調整アルゴリズム

N高速化装置(WANアクセラータ)^{[8][9]}の導入が広がっている。

ここでは、遅延時間増や回線混雑の対策として導入されるWAN高速化装置を、2章と同様にICT機器の電力使用量削減対策に利用することを提案する。具体的には、WAN高速化機能を積極的に利用することで通信時間を大幅に短縮し、短縮した時間分一部のサーバやネットワーク機器をスリープ状態にしたり、処理負荷を減らすことで電力使用量を削減する。なお、全てのアプリケーションが対象ではなく、ファイル転送など非リアルタイムで大量のデータを転送するようなアプリケーションが対象となる。

図4は、実機を用いてネットワーク遅延時間とWAN高速化装置導入による通信時間の短縮効果を測定した結果の一例を示す。この例は、FTP手順を用いてファイルデータを転送するのにかかった時間を測定したものである。縦軸の比率Aは、WAN高速化装置導入前に比べて、導入後にどれだけ転送時間が短縮されたかの割合を

示す。例えば、Aが0.5なら所要時間が半分になったことを意味する。図4の例では、ネットワーク遅延時間が500msであれば転送時間は約1/10に短縮され、それにより使用するICT機器の電力使用量も最大で1/10程度に削減できる可能性があることがわかる。ただし、ネットワークの混雑状態などを踏まえた適用が必要である。

さらに、上記を実現するためにユーザ毎にWAN高速化装置を導入する形態も考えられるが、文献[9]のようにWAN高速化機能そのものをクラウド資源として時間貸したり、ネットワーク側でユーザに透過的に適用する、などの利用法が有効と考えられる。

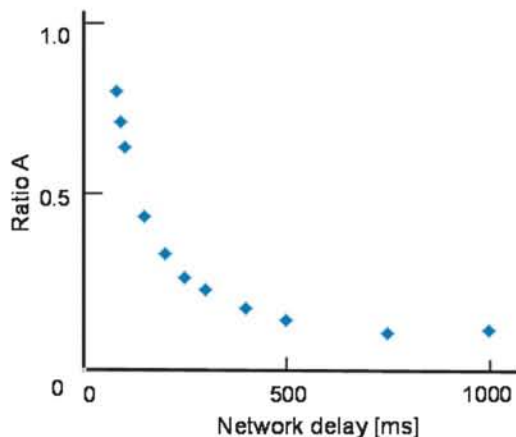


図4 WAN高速化装置導入によるデータ転送時間短縮効果測定例（FTP手順を用いた測定）

4. むすび

クラウドコンピューティング環境における省エネ対策として、通信リンクの転送レートを調整すること、ならびにWAN高速化機能をクラウド資源の1つとして用意し積極的にそれを利用すること、によりクラウド環境を構成するICT機器の電力使用量を削減する方式を提案した。今後、提案した方式の有効性の定量化、ならびに具体的な実現法（WAN高速化機能のネットワークへの配置法、適用条件も含む）の明確化が必要である。

参考文献

- [1] C. Gunaratne, K. Christensen, B. Nordman and S. Suen, "Reducing the Energy Consumption of Ethernet with Adaptive Link Rate (ALR)," IEEE Trans. On computers, Vol.57, No.4, Apr. 2008.
- [2] IEEE802.3az仕様
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3az-2010.pdf>

- [3] P. Reviriego, K. Christensen, J. Rabanillo and J. A. Maestro, "An Initial Evaluation of Energy Efficient Ethernet," IEEE Communications Letters, Vol. 15, No. 5, pp. 578-580, May 2011.
- [4] 富原、田村、福田、川原、尾家：“LANスイッチ省電力化における切り替え時間を考慮したリンク速度動的切替方式”、電子情報通信学会 IN 研究会 IN2009-173 (2010.3)
- [5] 今泉：“グリーンインターネットに向けた技術動向”、電子情報通信学会 AN 研究会 AN2010-9 (2010.5)
- [6] 村山、西田、尾家：“トランスポートプロトコル”、岩波書店
- [7] 今井、安達、市野、小松：“パケット対の RTT に着目したネットワーク帯域測定手法に関する研究”、電子情報通信学会 NS 研究会 NS2011-155 (2012.1)
- [8] “WAN 高速化措置ベンダの特徴と適用領域”、ITmedia 記事
<http://techtarget.itmedia.co.jp/it/news/0807/04/news01.html>
- [9] “Optimization for the Public Cloud” Riberbed 社
http://www.riverbed.com/us/products/cloud_products/cloud_steelhead.php