

エンドシステムとネットワークの連携による電力 使用量削減策の提案

畠山 賢一[†] 長名 保範[†] 栗林 伸一[†]

[†] 成蹊大学・理工学部 〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1

あらまし 情報通信機器ならびにネットワーク機器の電力使用量の大幅な増大が今後想定され、その削減は重要な課題である。従来は、サーバとネットワーク機器の電力使用量削減策は個別に検討されることが多かった。本稿では、サーバなどのエンドシステム側とネットワーク側で連携することによりトータルの電力使用量を大幅に削減できる可能性を示し、その連携方法を明らかにする。次に、ネットワーク電力使用量の利用ユーザへの按分法について検討し、時間帯ごとに測定する交流トラフィック量と定期的に調査するパケット転送経路情報をもとに、ユーザ毎の電力使用量を簡易に按分する手法を提案する。

Reducing network energy consumption method by cooperating with energy-efficient control of endsystem

Kenichi Hatakeyama[†], Yasunori Osana[†], Shin-ichi KURIBAYASHI[†]

[†] Seikei University, 3-3-1 Kichijoji-kitamachi Musashino-Shi, Tokyo, 180-8633 Japan

Abstract The conventional measures against energy saving of a server and network were based on working on individually in many cases. This paper indicates that total amount of the electric power used could be reduced much by cooperating with the end system (such as servers and client PCs) and the network system. Next, the effective cooperation method among the end system and the network is proposed. Then, this paper discusses the method of dividing the total network electric power used, and proposes the possible technique of dividing proportionally the amount of the total network electric power used to each user, which is based on the amount of exchange traffic measured, and the packet transmission route information investigated periodically in the network.

1. まえがき

国の試算では、2025年には国全体の電力消費量に占めるIT機器消費電力量の割合は20%程度に達する見込みである。これを受け、グリーンIT化に向けた取り組みが活発化している⁽¹⁾⁻⁽³⁾。これには、IT機器への省エネ技術導入、データセンタの省電力化、などが含まれ、従来はサーバやデータセンタに対する省エネ技術に対する検討が多い^{(4), (5)}。サーバの電力量削減対策としては、機器への省エネ技術の導入、機器の仮想化だけでなく、サーバ使用率が低い時にクロック数を落とす、サーバ台数を削減(一部サーバの電源 OFF または休止(スリープ)状態とする)、などが提案されている。また、バッテリー起動が前提となる無線 LAN(IEEE802 無線)やセンサネットなどにおいても電力量削減対策技術が従来から盛んに検討され、無線アクセス手順に反映されている(PS-POLLやAPSDなど)^{(6), (7)}。

ネットワークに関連した電力量削減対策の検討も文献(8)を始めとして検討が進められている⁽⁸⁾⁻⁽¹⁵⁾。それらの概要は文献(14)や文献(15)などにまとめられており、サーバと同様に、使用しない機器を休止状態(sleeping)に設定、プロセスクロック数の調整、回線速度の調整(rate-adaptation)、実使用回線数の調整(link aggregation)、などがその主な対策である。

ところで、従来の電力量削減対策の検討はサーバ、ネットワーク別々に実施されることが多い。このため、例えば電力量削減対策省としてサーバの処理速度を低下させると処理時間が長くなり、その結果ネットワーク帯域の確保時間も長くなり、ネットワーク側は逆に電力使用量が増加してしまう可能性がある。逆に、サーバ側の処理速度を高めて処理時間を短くすることによりサーバ側の電力使用量は多くなるが、ネットワーク側の電力使用量が減少し、トータルで電力使用量を削減できる可能性がある。このように、サーバやクライ

アントPCなどのエンドシステム側とネットワーク側で連携して電力量削減対策を検討することが重要である。なお、国際情報ネットワークなどは複数のネットワークを経由するため、エンドシステム側とだけでなく、複数ネットワーク間でも同様の連携を考える必要がある。

また、ネットワークの電力量削減のためには、ネットワーク機器全体の電力使用量を正確にかつ簡単に計測する手法が必要である。文献(16)は機器出荷量などからブロードバンドネットワークの総電力使用量を推定する手法を提案しているが、省エネ法の導入などによりユーザ毎のネットワーク電力使用量を把握し排出CO₂量を求めるにはより精度の高い推定が求められる。しかし、物流⁽¹⁷⁾のように、パケット毎にカーボンフットプリントを付けるのは非現実的であり、例えばネットワーク機器全体の電力使用量とトラフィック交流情報などから推定する簡易手法が求められる。

以上から、グリーンIT化推進のため、エンドシステム側とネットワーク側で連携した電力使用量削減方式、ネットワーク電力使用量の簡易測定法およびそのユーザへの按分法、を明らかにすることが本稿の目的である。

2章では、サーバやクライアントPCなどのエンドシステム側とネットワーク側で連携した電力使用量削減策を新たに提案する。3章では、ネットワーク機器全体の電力使用量を簡易に推定する方式ならびにそれをユーザへ簡易に按分する手法を提案し、その具体的な算出フローを明らかにする。さらに、4章では他のネットワーク電力使用量削減策の例を紹介する。5章はむすびである。

2. ネットワーク側とエンドシステム側で連携した電力使用量削減策

2-1. ネットワーク側とエンドシステム側で連携する必要性

まず、本稿で使用するネットワークモデルを図1に示す。これを前提に、サーバ、ネットワークで別々に電力量削減対策を実施した場合に発生する問題例を図2に示す。図2(ケース1)はネットワーク側で電力量削減対策、例えば回線速度を低下させた場合の例を示す。ネットワーク側は電力量を削減できる反面、回線速度が低速化したためにエンドシステム側のデータ転送時間が増加し、その分エンドシステム側の処理時間が増加し、エンドシ

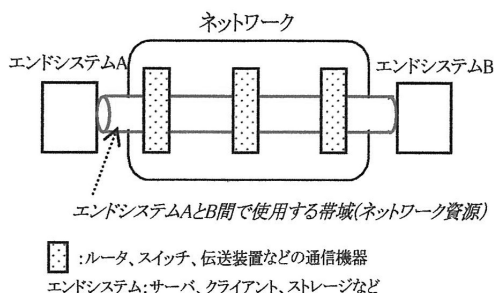


図1. 前提とするネットワークシステム構成

ステム側の電力使用量が逆に増加する可能性がある。逆に、図2(ケース2)はエンドシステム側で電力量削減対策、例えばプロセッサクロック周波数を低下させた場合の例を示す。図2(ケース1)とは逆に、エンドシステム側の電力使用量は減少する反面、計算処理時間が長くなるため帯域の保留時間も長くなり、その分ネットワーク側の電力使用量が逆に増加する可能性がある。

ところで、国際情報ネットワークなどは複数のネットワークを経由するため、エンドシステム側とだけでなく、複数ネットワーク間でも同様の連携が必要となるが、本稿では1つのネットワークを前提に以下議論する。

2-2. 電力量削減対策の実施条件

2-1の議論から、電力量削減対策の実施条件を明らかにする。

まず、X1 をネットワーク側の電力量削減対策で削減できる総電力量、Y1 をそのために増加するエンドシステム側の総電力増加量(エンドシステムは1ペアだけでなく、そのネットワーク省エネ対策で影響の出る全てのペアが対象)、とすると、

$$X1 > Y1 \quad (1)$$

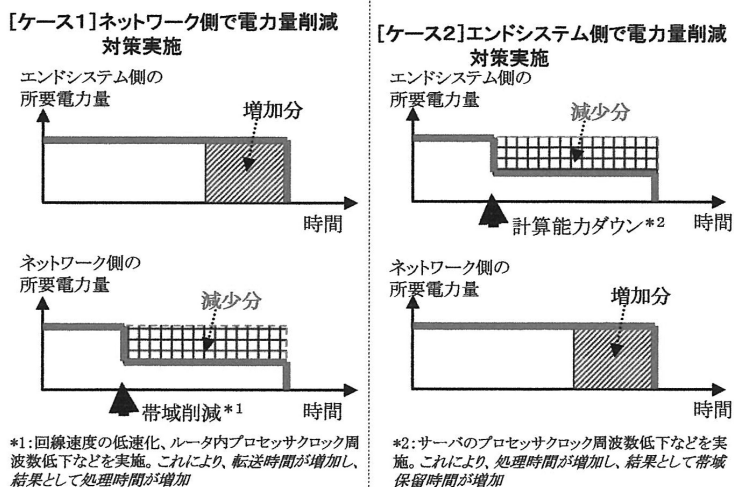


図2. ネットワーク側の電力量削減対策とエンドシステム側の電力量削減対策の競合例

の場合だけネットワーク側の電力量削減対策を実施すべきということになる。同様に、X2をエンドシステム側（エンドシステムは1ペアだけでなく対象となる複数ペア）の電力量削減対策で削減できる総電力量、Y2をそのために増加するネットワーク側の総電力量、とすると、

$$X2 > Y2 \quad (2)$$

の場合だけエンドシステム側の電力量削減対策を実施すべきということになる。

さらに、ネットワーク側で回線速度を低下させる場合に同時にエンドシステム側のプロセッサクロック周波数を低下させた方がさらに電力量が削減できる場合には、両側で省エネ対策を同時実施する必要がある。

ところで、上記議論を発展させると、ネットワーク側とエンドシステム側で連携した省エネ対策も考えられる。例えば、一方の側ではあえて電力量が増加する対策を実施し、他方でそれ以上に電力量を削減する方策も考えられる。例えば、エンドシステム側のプロセッサクロック数を高く設定することにより処理時間を短縮し、その結果帯域保留時間も短くなりネットワーク側の使用電力量を削減することが可能である(図3)。

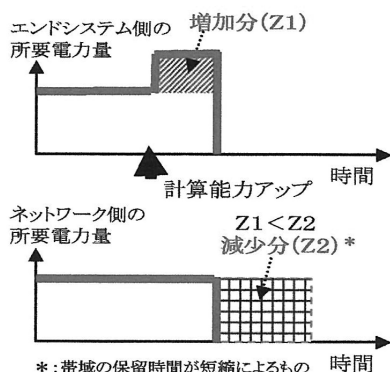


図3. ネットワーク側とエンドシステム側で連携した電力量削減対策を実施した例

2-3. 想定電力使用量情報を収集法

2-2で説明した判断を行うためには、ネットワーク側とエンドシステム側の想定電力使用量に関する情報が必要となる。その収集法として以下の4案が考えられる。

案1. 要求アプリケーション種別 (VoIP、Web アクセス、ファイル転送など) だけで、エンドシステムとネットワークの単位時間当たりの想定電力使用量をシステムとして固有に規定

案2. 使用帯域だけで、エンドシステ

ムとネットワークの単位時間当たりの想定電力使用量をシステムとして固有に規定

案3. 使用帯域、発信側と着信側の通過ノード数でネットワークの単位時間当たりの想定電力使用量をシステムとして固有に規定。エンドシステムの単位時間当たりの想定電力使用量は契約時などにユーザに申告してもらった値を使用

案4. 単位時間当たりの想定電力使用量をサービス要求毎に推定し、それをコネクション確立時にエンドシステムとネットワーク間で交換する。接続シーケンス例を図4に示す。

正確な情報取得と処理の複雑化はトレードオフであり、現実的には案3あたりが現実的な解と考えられる。詳細は今後の課題である。

3. ネットワーク機器の電力使用量測定とそのユーザ毎按分法

改正省エネ法に関連して、輸送にかかわる燃料使用量(又はエネルギー消費量)の荷主への按分法は文献(17)などに紹介されている。具体的には、複数の荷主が同一の車両に荷物を混載して輸送している場合には、関与した荷主間で燃料使用量を按分する必要がある。このような按分は通常荷主単独では行えないため、荷主から提供される輸送トンキロに係るデータに基づき、輸送事業者が行う。また、荷主は輸送事業者から按分された結果としての燃料使用量(又はエネルギー消費量)を入手する。

ネットワークでは送信単位がパケットやフローであり、物流のようにパッケージ毎に無線タグなどを付与して電力使用量を積み上げることは実現困難である。また、物流で議論されているカーボンフットプリント(どこでど

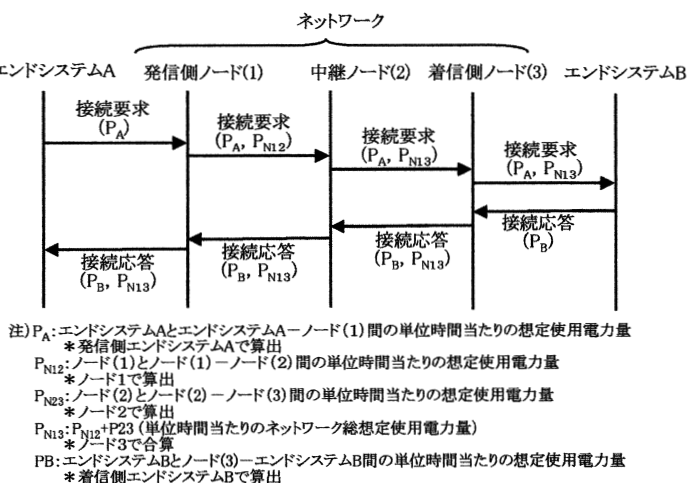


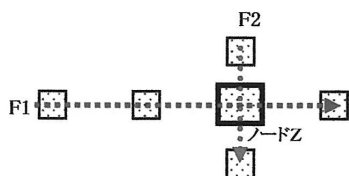
図4. 単位時間あたりの想定電力使用量を知する案4のシーケンス例

れだけのCO2を使用したかの履歴・総和)をパケット毎やフロー毎に管理することも実現困難である。さらに、文献(18)のように、サーバなどへのコネクション接続の度にネットワーク電力使用量を計測し管理センタに送信する方式は、処理が非常に大きく実現が容易ではない。

そのため、ネットワーク内に設置したプローブなどを用いて時間帯ごとの交流トラフィック量を計測し、その量に基づきネットワーク電力使用量を各ユーザへ按分することを考える。ネットワーク全体の電力使用量は機器の電力状態を取得するための管理 MIB⁽¹⁹⁾を新たに規定し、それら周期的に収集するシステムを構築し測定する。具体的な電力状態を取得するための管理 MIB についての詳細は今後検討する必要がある。また、時間帯ごとのパケット転送経路も電力量按分のために必要な情報であり、そのため全てのエッジノード間で経路計測パケット(Tracert)などを使って定期的にユーザパケットの転送経路を特定し、その経路上のネットワーク機器の電力使用量を以下のように按分する(時間帯ごとに計算。図5に例を示す)。

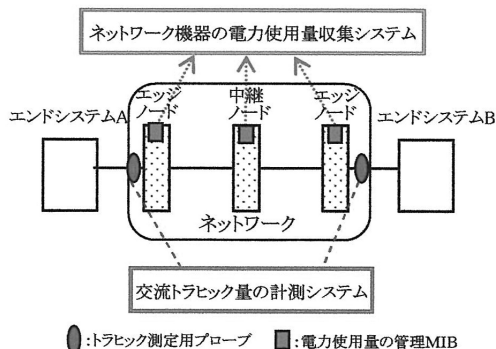
$$\left[\frac{\text{対象トラフィック量}}{\text{該当ノードを通過する総トラフィック量}} \times \text{[該当ノードの総電力使用量]} \right] \quad (3)$$

提案する全体のシステムイメージを図6に示す。今後、上り方向トラフィック量と下り方向トラフィック量のアンバランス(片方向通信も含む)を考慮した按分法、マルチ



ノードZの使用電力量はトラフィック量に比例してフローF1とフローF2に按分する(時間帯毎、地域毎に実施)

図5. ネットワーク機器の使用電力量の按分法の一例



●: トラフィック測定用プローブ ■: 電力使用量の管理MIB

図6. ネットワークの総電力使用量とエッジノード間交流トラフィック量の測定イメージ

ポイント接続時などの按分法、などについても検討が必要である。

4. 他のネットワーク電力使用量削減策

(1) コネクション接続時に各端末の残りバッテリー量を申告してもらい、それが許容値を超えている場合にはその端末の処理を優先させる。これにより、残バッテリー量の少ない端末の通信を確保しやすくなることが可能となる。図7にイメージを示す。このためには、コネ

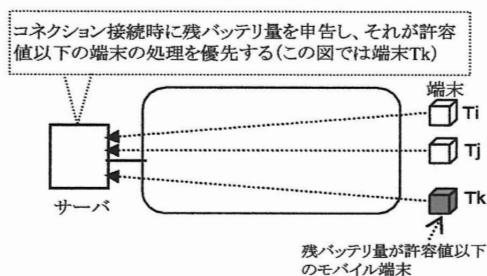


図7. 新たなネットワーク省エネ対策の例

クション接続時または通信時に各端末が自身の残バッテリー量を申告する手順が必要になる。

(2) QoS(優先、非優先など)と同様に、‘使用電力量指標’を導入する。例えば、超省エネ、省エネ、通常、効率(非エネ)。これら指標を各パケットヘッダに格納し、各ノードにおける経路選択の際にそれを参考に経路を決定することが考えられる。そのための経路選択プロトコルの拡張法は今後の課題である。

5. むすび

本稿では、エンドシステム側とネットワーク側で連携することでトータルの電力使用量を大幅に削減できることを示し、その連携方法を明らかにした。国際情報ネットワークなどは複数のネットワークを経由するため、エンドシステム側とだけでなく、複数ネットワーク間でも同様の連携を実施する必要があるが、本稿で提案した考え方を同じように適用可能である。

次に、時間帯ごとに測定する交流トラフィック量と定期的に調査するパケット転送経路情報をもとに、ユーザ毎の電力使用量を簡易に按分する手法を提案した。今回は1:1接続形態を前提とする。

今後は、提案方式の具体的実現方法、ネットワーク機器の電力状態を取得するための管理 MIB の規定、ならびに上り方向トラフィック量と下り方向トラフィック量のアンバランス(片方向通信も含む)な形態、マルチポイント接続形態、複数ネットワーク経由形態などにおけるユーザへの電力使用量の按分法、などを検討する予定である。

＜参考文献＞

- (1) 経済産業省、“グリーン IT イニシアティブ”、平成19 年1 2 月6 日
- (2) ITU Symposium on “ICTs and Climate Change” Summary Report, Kyoto, April 15&16,2008
- (3) ITU Symposium on “ICTs and Climate Change” Summary Report, London, June 17&18,2008
- (4) 西村、“サーバーの省電力技術”,日経 ITPro 連載記事 http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20070820/279862/?ST=green_it
- (5) VMware の DPM(分散型電源管理)機能 <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/2007128/288193/>
- (6) 平野、大森、“IEEE802 無線における省電力標準化とQoS、その実装”、2008年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会 BT-1-2、2008. 9
- (7) B.Hohlt, L.Doherty and E.Brewer, “Flexible power scheduling for sensor networks”, IEEE and ACM Third International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, April 2004.
- (8) M.Gupta and S.Singh, “Greening of the Internet”, Proc.of ACM SIGCOMM’03, pp.19-26, Aug. 2003.
- (9) Bruce Nordman, “ Networks, Energy, and Energy Efficiency”, Geni-engineering-conference, October 2007.
- (10) S.Nedevski, L.Popa and G.Iannaccone, “Reducing network energy consumption via sleeping and rate-adaptation”, Proc. 5th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation”, April 2008.
- (11) C. Gunaratne, K. Christensen, S. Suen, and B. Nordman, “Reducing the Energy Consumption of Ethernet with an Adaptive Link Rate (ALR),” IEEE Transactions on Computers, Vol. 57, No. 4, pp. 448-461, April 2008
- (12) 相原、福田、川原、尾家、“リンク集約技術を利用したスイッチ省電力化手法”、電子情報通信学会 IN 研究会 IN2006-147.
- (13) アラクサラネットワークス、“グリーン IT に向けた省電力技術への取り組み”、Interop Tokyo 2008 プレスセミナー資料
- (14) 南、“グリーンネットワークアーキテクチャへの挑戦”、2008年電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会 BT-1-3、2008. 9
- (15) 福田、尾家、“省エネを考慮したネットワーク技術の研究動向”、2008年電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会 BS-13-4、2008. 9
- (16) 由比藤、西、“ブロードバンドネットワークの電力消費量の試算”、2008年電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会 BS-13-5、2008. 9
- (17) 改正省エネ法「輸送に係わる措置の創設」 <http://www.eccj.or.jp/law/pamph/amend060401/04.html>
- (18) グェンミントゥン、荒木、森川、“NGN を用いたテレワーク向け電力使用量管理システムの実装”、2008年電子情報通信学会総合大会 B-7-93、2008. 3
- (19) F.Blanquicet and K.Christensen, “Managing energy use in a network with a new SNMP power state MIB”, IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN) 2008, April 2008.