

C-006

ユーザーの快適さを考慮した情報機器の動的電源制御

岩澤直弘*

薦田登志矢*

三輪忍*

中田尚*

中村宏*

1 はじめに

近年、様々な電子機器が普及しているが、その一方で環境問題や発電施設の問題などの観点から、省電力の必要性が高まっている。省電力手法の一つとして、動的電源制御 (DPM : Dynamic Power Management) という手法が盛んに研究されている [1]。これは、情報機器のシステムを構成するコンポーネントにおいて、システムの動作中に生じるリクエストを観測することで、その使用頻度やワークロードの量に応じて各コンポーネントを低電力状態や電源遮断状態に移行させるという制御手法である。情報機器は、ディスプレイ、HDD、無線 LAN カードなど様々なコンポーネントの組合せからなる。これらは、デバイスごとに消費電力の特性や使用頻度が様々であり、一律な制御は難しい。そこで、個々のコンポーネントに応じた制御手法の開発が必要とされている。しかし省電力のみに焦点を当てた場合、ユーザーがリアルタイムで頻繁に使用するコンポーネントの過剰な状態遷移は、ユーザーの作業効率に悪影響を与えてしまうという課題への対策がなされてこなかった。そこで、作業効率を落とさずに電力消費を最大限に抑える DPM が求められている。本研究では無線 LAN カードの DPM において快適さを損なわずに省電力を実現するため、ユーザーの意図的な使用に関連するパケット転送量とリクエスト間隔を検証した。

2 ユーザーの快適さを損なわない DPM 手法の開発

2.1 DPM 手法の概要

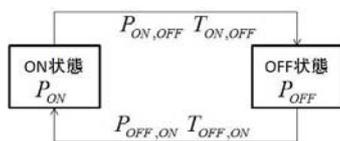


図 1 2 状態遷移における動的電源制御例 [1]

図 1 のような、電力がオンまたはオフの 2 段階の状態遷移が可能なコンポーネントの DPM を考える [1]。\$P_{ON}, P_{OFF}\$ が各状態の消費電力、\$P_{ON,OFF}, P_{OFF,ON}\$ が状態遷移での消費電力、\$T_{ON,OFF}, T_{OFF,ON}\$ が状態遷移にかかる時間を表

す。リクエストとリクエストの間隔をアイドル時間と呼ぶ。OFF 状態で電力削減が見込まれる最少の継続時間を \$T_{BE}\$ とする。電源オフである非アクティブ状態への入出にかかる時間及び平均電力を \$T_{TR}, P_{TR}\$ とすると

$$T_{TR} = T_{ON,OFF} + T_{OFF,ON} \quad (1)$$

$$P_{TR} = \frac{T_{ON,OFF}P_{ON,OFF} + T_{OFF,ON}P_{OFF,ON}}{T_{TR}} \quad (2)$$

この下で、\$T_{BE}\$ は以下のように計算される。

$$T_{BE} = T_{TR} + T_{TR} \frac{P_{TR} - P_{ON}}{P_{ON} - P_{OFF}} \text{ if } P_{TR} > P_{ON} \quad (3)$$

$$T_{BE} = T_{TR} \text{ if } P_{TR} \leq P_{ON} \quad (4)$$

タイムアウト手法では、この \$T_{BE}\$ より長いアイドル時間が見込まれる場合、状態を省電力モードへと移行し電力を削減する。

ここで省電力モードが複数段階あるとし、ある省電力状態 \$S\$ があるとする。上の式 3 と 4 を用いて、状態 \$S\$ において平均的に節約される電力 \$P_{saved,S}\$ は、平均的アイドル時間 \$T_{idle}^{avg}\$ が状態 \$S\$ を用いる場合の損益分岐アイドル時間である \$T_{BE,S}\$ より長いと仮定した場合に、アイドル時間の確率分布 \$F\$ を用いて

$$P_{saved,S} = (P_{ON} - P_S) \frac{T_{idle}^{avg} - T_{BE,S}}{T_{idle}^{avg}} \cdot (1 - F(T_{BE})) \quad (5)$$

と表せる。

2.2 従来の DPM 手法の問題点

上記以外にも、過去のリクエストからリクエスト間隔を逐次的に予測していく手法なども考案されている [2]。しかし、恒常的に処理を行う情報機器ではなくユーザーの使用を考慮した DPM 手法においては、パターンの学習が困難であることが予想される。また、ユーザーによる機器へのリクエストからの機器の反応の遅延を DPM におけるユーザーの快適さ度合いとすると、リクエスト到着後にアクティブ状態に移行した場合ユーザーは機器の起動を待つ必要があるため、ユーザーの快適さを大きく損なうことが考えられる。

2.3 無線 LAN におけるデータ送受信の概要

1 章で述べたように、DPM は各コンポーネントに対して個別に考案する必要がある。また、無線 LAN カードは起動

* 東京大学



図 2 パケット送受信量の推移

オーバーヘッドが大きくリクエストも継続的に生じるため、省電力の効率化及び快適さの向上という DPM の課題がより顕著に表れる無線 LAN カードにおいて DPM 手法を検討することとした。

無線 LAN カードは電力消費が多く起動に時間がかかる一方で、近年のラップトップ型コンピュータにおけるユーザー使用頻度の高さが特徴である。またネットワークにおいて、データはパケットという単位に分割され送受信されるが、ユーザーの意図的なコンピュータの使用に伴うパケットの送受信と、ユーザーが意図しなくとも行われている動作に伴うパケット送受信が存在する。

3 実験

式 5 で示されたように、 $P_{Saved,S}$ を求める上でリクエスト間隔の分布関数を知ることが重要である。また、前節で示したように、ユーザーの快適さ向上のために、ユーザーの意図的な使用に伴うパケット送受信を分離して解析する必要性がある。そこで、実際にラップトップコンピュータをユーザーが使用中に無線 LAN における 1 秒あたりのパケットの送受信総量の推移を計測し分析した。実験環境は表 1 の通りである。ネットワーク監視ソフトである WireShark を用いて計測した。計測時間は 3971(s) であった。

PC	LENOVO ThinkPad T400s
LAN カード	Intel 5100 AGN 1x2 HMC Wireless WiFi Adapter(Lenovo-MOW2)
CPU	Intel Core 2 Duo SP9400 (2 Cores)
OS	Windows Vista

表 1 実験環境

図 2 では、取得されたデータのうちの 1 つを示す。これらのデータにはブロードキャストまたはマルチキャスト送信による自機以外の IP アドレス向けに送信されたパケットや、ユーザーの意図とは無関係に生じているパケット通信も含ま

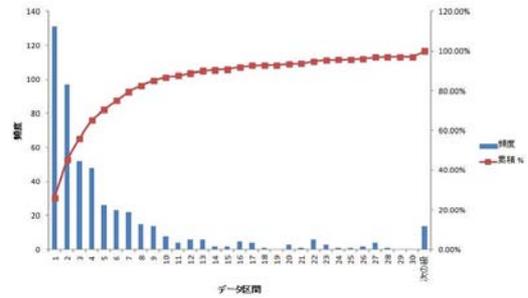


図 3 得られたデータを自身の IP アドレスかつポート番号が 80 でフィルタリングし、データリクエスト間隔の累積確率を、リクエスト間隔ごとにプロットした。

れる。そこで今回は、ユーザーの意図的な使用により生じる通信の 1 つである、ウェブブラウザの使用に関わるパケットをフィルタリングすることとした。ここで、ネットワークにおけるリクエスト間隔はその長さに応じ指数分布やパレート分布に従う [3] ことが知られている。条件を満たすパケット到着に対し、図 3 を作成した。

4 考察と課題

ユーザーの意図的な使用に伴うパケット転送の抽出がまだ不十分なため、ユーザーの操作に起因するリクエスト取得と分析の精度を向上させ、快適さを損なわないアルゴリズムを開発しシミュレーターでの実験を行う。アルゴリズムの評価のために、プリウェイクアップに失敗した場合のユーザーへの影響の定量化、スリープによる省電力量が必要となる。このため、実験で使用している無線 LAN カードの状態遷移にかかる時間や電力の取得も必須である。今後はアルゴリズムをシミュレーターに実装し、省電力量およびユーザー快適さの両方を向上できるように実験を進める。

参考文献

- [1] Benini et al. A survey of design techniques for system-level dynamic power management. *IEEE Transactions on VLSI*, Vol. 8, No. 3, pp. 299–316, 2000.
- [2] Srivastava et al. Predictive system shutdown and other architectural techniques for energy efficient programmable computation. *IEEE Trans. on Very Large Scale Integr. Syst.*, Vol. 4, No. 1, pp. 42–55, 1996.
- [3] Tajana Simunic et al. Event-driven power management. *IEEE TRANS. COMPUTER-AIDED DESIGN*, Vol. 20, No. 7, pp. 840–857, 2001.