

## 電力ベースサンプリングシステム PARITS の評価

三輪 真弘 平井 聡 佐藤 充 久門 耕一

(株)富士通研究所

## 1. はじめに

われわれは、ソフトウェアの観点からサーバの消費電力を分析するためのシステム PARITS [1]を構築している。本発表では、PARITS の精度を以下の 2 つの項目で評価した。

(1) **電力差評価** PARITS で得られる結果は消費電力をどの程度反映しているか

(2) **分解能評価** PARITS はどの程度の時間粒度まで電力消費したプロセス・関数の切り替えに対応可能であるか (PARITS の時間分解能)

評価の結果、(1) は測定器を用いた実測電力値に対し誤差 1.5 % と高精度な結果が得られた。(2) は、70us までは誤差 8%以内という結果が得られた。

## 2. 背景

近年、社会の環境に対する意識が高まっている。情報処理分野においては、サーバの電力消費が注目され、サーバの省電力化が重要課題となっている。われわれは、ソフトウェアの挙動とサーバ電力消費の関係分析のためのシステム PARITS を構築している [1]。

PARITS はプログラムの消費電力を関数・命令単位で計測することを目標としているが、PARITS がどの程度の時間粒度まで計測できるかなど、その精度については評価が行われていない。そこで PARITS の精度について評価を行った。本発表ではその結果について報告する。

## 3. 評価実験

## 3.1. 環境

表 1. PARITS 計測環境

CPU	Intel Xeon5570 2.93GHz
Memory	12GB
OS	CentOS 5.4

PARITS の計測環境を表 1 に示す。CPU コアは、1 コアのみ ON にしている。PARITS の観測ポイントは、CPU コアに入力される電源 1 つを用いた。CPU 動作周波数は 2.93GHz で固定している。

## 3.2. 評価項目と方法

評価項目は以下の 2 つである。PARITS のデータ集計時間は 10 秒間である。結果は 3 回測定を求めた。

(1) **電力差評価** 算術演算を繰り返し行う実行状態と pause 命令を繰り返し行う非実行状態の各状態の電流値を、測定器による測定と PARITS による計測を行う。このとき測定する電流は CPU コアに入力される電流である。この実験により、PARITS で得られる割り込み回数の差異が、実際の電流値の差異を反

映しているかを明らかにする。CPU 動作周波数は固定してありコア電圧は一定であるので、電流値の比が電力の比となる。

(2) **分解能評価** 実行・非実行を繰り返す周期実行プログラム (図 1) の動作中に PARITS による計測を行う。実行・非実行の時間制御は TSC による高精度な制御をしている。実行・非実行の周期は、2s から 200us までは周期の 1/10 倍刻み、200us から 20us までは 20us 刻みとした。周期実行プログラムにおいて、PARITS の計測時間が一定であり、かつ、周期の整数倍であれば、実行部と非実行部の実行時間は等しい。したがって、実行部 (非実行部) の割り込み回数はその周期において実行部 (非実行部) のみを繰り返した場合に取得される割り込み回数の 1/2 の値になることが期待される。その周期を短くしていったとき、どの周期まで正しく割り込みが取得されるかを評価し、PARITS の分解能を明らかにする。

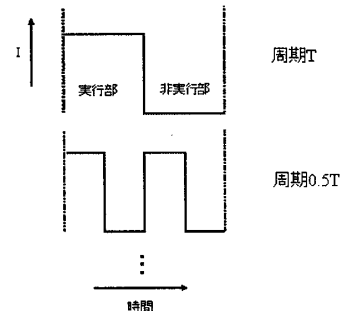


図 1. 周期実行プログラム

## 4. 評価結果

## 4.1. 電力差評価結果

測定器による各状態の電流比は 2.63 倍となった (表 2)。これに対し割り込み回数の比は 2.59 倍であり、PARITS で得られた結果の比は実測電流の比に対し誤差 1.5 % と高精度な結果が得られた。

表 2. 電流比と割り込み回数比

実行状態	1.63 A	6565 回
非実行状態	0.62 A	2533 回
比	2.63 倍	2.59 倍

## 4.2. 分解能評価結果

周期と割り込み回数の関係を図 2, 3 に示す。図 2, 3 の縦軸は取得されるべき割り込み回数 (期待値) を 100 % としたときの各周期における実行部、非実行部の割り込み回数の、期待値に対する増減割合を表している。実行部 (非実行部) における期待値とは、各周期において実行 (非実行) を繰り返したときに得られる割り込み回数の 1/2 の値である。電力を消費する実行部での割り込み回数は周期 140us までは期待値に対し誤差 8%以内となった。実行部は周期の 1/2 の 70us であるので、PARITS は 70us までは誤差

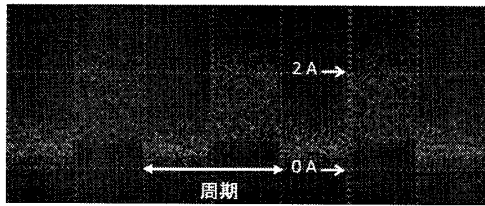


図 4. 周期 2msec 電流波形

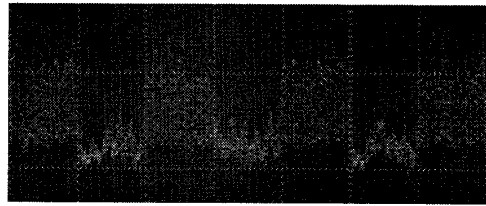


図 5. 周期 200us 電流波形

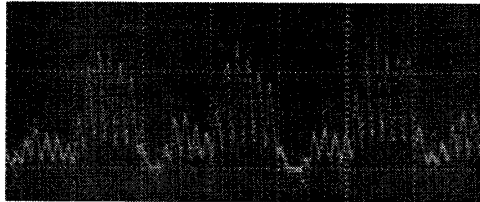


図 6. 周期 40us 電流波形

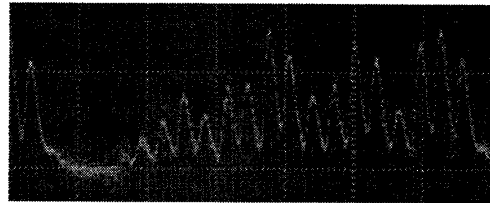


図 7. 周期 20us 電流波形

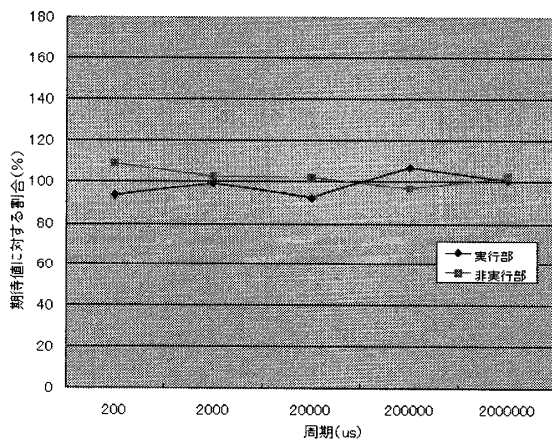


図 2. 周期と割り込み回数 (周期 200us まで)

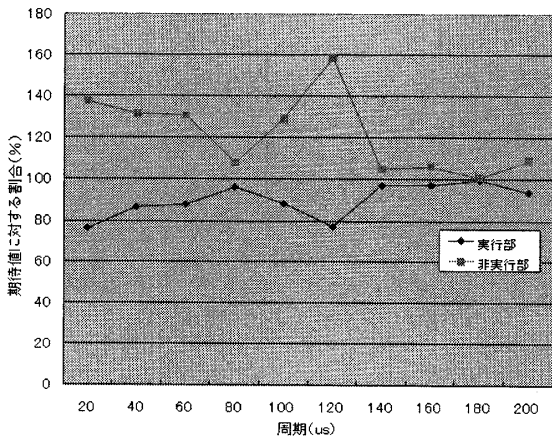


図 3. 周期と割り込み回数 (周期 200us 以下)

8%以内の分解能を持つことがわかった。周期が 120us 以下では実行部の割り込み回数は期待値に対し 20%を超える誤差も見られ、精度が下がる。

周期が小さくなるにつれ、割り込み回数が正しく取得されない原因として以下の 2 つが挙げられる。

(a) 実行・非実行の電流としての反映がうまく行われなくなること

(b) CPU から CPU へのフィードバックに生じる遅延 (a) について、図 4~7 は周期実行プログラムの動作中にオシロスコープでコアに入力される電流を観測

したものである。図 4 を見ると電流値の高い部分と低い部分に分かれている。実行部のみを繰り返したときに観測される波形は電流値の高い部分の波形を繰り返したものであり、電流値の高い部分が実行部と推定される。同様に、低い部分が非実行部と推定される。周期を短くするほど実行部・非実行部の区別が電流として反映されにくくなる。周期 20us では実行部・非実行部の区別がつかない。

(b) について、PARITS は CPU で実行する命令が電流として反映され、その電流によりカウンタアップが行われ、カウンタのオーバーフローするたびに発生する割り込みが CPU へ通知されるというフィードバックの構造を持っている。CPU から CPU へのフィードバックには遅延がある。その 1 つとして、割り込みが CPU へ通知されるまでの割り込み遅延がある。この遅延により本来取得すべき命令と異なる命令を取得する可能性がある。周期実行プログラムにおいては、実行部の終了間際に割り込みが上がった場合、電力消費した関数として実行部と取得すべきところを非実行部と誤って取得される可能性がある。周期が小さいほど実行・非実行の繰り返し回数が多くなるため、実行部としてカウントすべき割り込みが非実行でカウントされる可能性が高くなり、その影響も含まれると考えられる。

## 5. おわりに

電力ベースサンプリングシステム PARITS の精度評価を行った。電力差評価については、測定器による実測値の比 2.63 倍に対し、PARITS では 2.59 倍と誤差 1.5 % の高精度な結果が得られた。分解能評価では、70us までは誤差 8%以内で電力を消費した関数の補足ができた。

今後は、PARTIS を用いて実際にアプリケーションの電力ボトルネックの特定を試み、今回得られた精度でどの程度電力ボトルネックの解析が行えるかを明らかにしていく。

## 参考文献

- [1] 平井 聡, 三輪 真弘, 佐藤 充, 久門 耕一, “電力ベースサンプリングシステム PARITS の提案”, 情報処理学会第 72 回全国大会 4A-1, 2010.