

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月21日現在

機関番号：32687

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500074

研究課題名（和文） P2Pシステムのための消費電力低減を考慮した
ピアの発見と選定プロトコルの研究研究課題名（英文） Energy-Efficient Server Selection Algorithm for
Peer-to-Peer (P2P) Systems

研究代表者

榎戸 智也（ENOKIDO TOMOYA）

立正大学・経営学部・教授

研究者番号：10360158

研究成果の概要（和文）：本研究では、システム内で実行されるアプリケーションを計算資源（CPU）、通信資源、および計算資源と通信資源の両方を使用する3種類に分類し、これらのアプリケーションプロセスを実行した場合のコンピュータ（ピア）の計算モデル、ファイル転送モデル、および、消費電力モデルの定式化を行った。また、定義した計算およびファイル転送モデルと消費電力モデルからシステム内で各アプリケーションプロセスが実行された場合にシステム全体の消費電力を低減し、かつアプリケーションプロセスの要求するサービス品質（QoS）を満足するピアの選定アルゴリズムを提案した。

研究成果の概要（英文）：In information systems, it is critical to reduce the total electrical power consumption of computers and networks in order to realize green IT technologies. There are various kinds of applications on distributed systems. In this study, applications are classified into computation, and communication, and general types of applications. In the general type of applications, both of computation and communication modules are performed. We defined the computation model, transmission model, and power consumption models of a computer to perform each type of application process. Based on the models, we proposed algorithms to select one of computers to perform each type of application process so that not only the total power consumption in a system but also response time of each process can be reduced.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：情報システム・情報通信工学・ネットワーク・省エネルギー・アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

現在の情報システムでは、常時接続型のブロードバンド環境の普及、移動体通信技術の

進展にともない、利用者数の増大、利用コンテンツの大容量化、サービスの高度化・多様化が進んでいる。従来の多くの情報システム

は、クライアント・サーバシステムで構築されてきているが、クライアント・サーバシステムでは、アクセスやトラフィックの集中が発生しやすく、サービスの多様化・高度化に対して、システムの拡張性を提供しきれないといった問題がある。このような問題から、現在の情報システムは、クライアント・サーバシステムからコンピュータ(ピア)が対等な関係で相互接続された P2P システムへと変化してきている。P2P システムは完全分散型のシステムであり、各ピアがサーバ機能を分散して維持するため高い拡張性と耐障害性を持つ。さらに、膨大な数(数十～数百万以上)のピアが相互接続される大規模性とシステムの構成が動的に変化するという特徴も持つ。また、P2P システムでは、従来の集中制御は困難であり、各ピアが自律的に処理を行う分散型の新しい構成論、通信制御方式、管理方式が研究されている。P2P システムに関する研究は米国を中心に進められ、これらの研究成果を用いたファイル共有やコンテンツ配信等のアプリケーションが開発されている。国内外の企業でも P2P システムを用いたサービス提供が事業化されている。

一方で、IT 技術の利用の増加に伴う消費電力量の増大が地球環境保護上の問題になっており、情報システムの省電力化が必要となっている。CPU 等のハードウェアの省電力化は、ベンダ各社で研究・開発が進み、省電力製品が提供されている。クライアント・サーバシステムでは、トラフィックをもとに動作させるサーバ数を決定し、不要なサーバを停止することでシステム全体の省電力化を行う制御方式が提案されている。センサーネットワークの分野では、バッテリーの寿命を延ばすための省電力経路決定アルゴリズム等が提案されている。しかし、P2P システムでは、その大規模性、自律性およびシステム構成の動的変化という特徴からクライアント・サーバシステムやセンサーネットワークで提案された省電力化手法を適用できない。また、集中管理が困難であり、電力特性の異なるハードウェアを使用した不特定多数のピアがシステムに参入、離脱するため、P2P システム全体の消費電力制御を行う新たな方式が必要となる。

2. 研究の目的

本研究では、システム内で実行されるアプリケーションを計算資源(CPU)、通信資源、および計算資源と通信資源の両方を使用する3種類に分類する。ここで、計算資源を主に使用するアプリケーションを「計算アプリケーション」、通信資源を主に使用するアプリケーションを「通信アプリケーション」、計算資源と通信資源の両方を使用するアプリケーションを「一般アプリケーション」と

呼ぶ。本研究では、各アプリケーションに対して、システム全体の消費電力を低減し、かつ、アプリケーションの要求するサービス品質(QoS)を満足するピアの選定アルゴリズムを提案することを目的とする。このために以下の(1)、(2)、(3)を実施する。

(1) 計算・ファイル転送モデルの定式化

ピア上で計算、通信、および一般アプリケーションが実行された場合の計算モデルとファイル転送モデルを定式化する。

(2) 消費電力モデルの定式化

ピア上で計算、通信、および一般アプリケーションが実行された場合の消費電力モデルを定式化する。

(3) ピア選定アルゴリズムの提案

(1)および(2)で定義した計算・ファイル転送モデルおよび消費電力モデルをもとに、計算、通信、および、一般アプリケーションに対して、システム全体の消費電力を低減することが可能なピアを選定するアルゴリズムを考案する。

3. 研究の方法

(1) 計算・ファイル転送モデルの定式化

ハードウェア構成の異なるピアを複数台用意し、各ピア上で計算、通信、および一般アプリケーションプロセスを動作させる。この結果から、ハードウェア構成の違いがピア上で各アプリケーションプロセスを実行した場合の計算処理、ファイル転送処理の特性に影響を与えるかを検証する。さらに、各アプリケーションプロセスを実行した場合のピアの計算・ファイル転送モデルを定式化する。このために以下の①、②、③を実施する。

① 計算アプリケーション

ハードウェア構成が異なるピア上で計算アプリケーションプロセスを実行する。このとき、CPU 使用率、クロック周波数、および、プロセスの実行時間を測定する。本研究では、コア数が異なる CPU を搭載した3種類のピアを用いて、計算アプリケーションプロセスの実行を行う。はじめに、各ピア上で計算アプリケーションプロセスを1つのみ実行した場合の CPU 使用率、クロック周波数、および、プロセスの実行時間を測定する。次に、同時実行される計算アプリケーションプロセス数を増やし、同時実行プロセス数と CPU 使用率、クロック周波数、プロセスの実行時間の関係を検証する。この結果から、計算アプリケーションプロセスを実行する場合のピアの計算モデルを定式化する。

②通信アプリケーション

①の測定で用いた各ピア上でファイル転送プロセスを実行する。各ファイル転送プロセスは、指定したサイズのファイルを1つのクライアントに転送する。はじめに、各ピア上で転送プロセスを1つのみ実行する。この測定をピアの総転送レートを100[kbps]から最大総転送レートまで変化させて実施し、各転送レートでのファイル転送時間、CPU使用率等を測定する。次に、同時実行する転送プロセス数を増やし、同時に複数のクライアントにファイル転送を行った場合のファイル転送時間、CPU使用率等を測定する。この結果から、ファイル転送アプリケーションプロセスを実行する場合のピアの転送モデルを定式化する。

③一般的应用アプリケーション

①の測定で用いた各ピア上で一般アプリケーションプロセスを実行する。はじめに、各ピア上で1つの一般アプリケーションプロセスを実行する。このときのCPU使用率、ファイル転送レート、プロセスの実行時間を測定する。次に、同時実行される一般アプリケーションプロセス数を増やし、同時実行プロセス数とCPU使用率、ファイル転送レート、プロセスの実行時間の関係を検証する。一般アプリケーションでは、プロセスが同時実行される場合、異なる2つ以上の計算処理、転送処理、および、計算と転送処理が同時に実行される場合がある。よって、一般アプリケーションを考慮した場合、計算処理とファイル転送処理を統合したモデルが必要となる。本測定を通して、計算処理とファイル転送処理を同時実行した場合に互いのプロセスにどのような影響があるかを検証し、一般アプリケーション向けに計算・ファイル転送の統合モデルを定式化する。

(2)消費電力モデルの定義

(1)の①から③で示した計算・ファイル転送モデルの定式化を行うための測定と同時に、計算、通信、および一般アプリケーションプロセスを各ピア上で実行した場合の消費電力を測定する。はじめに、プログラムが動作していない状況での各ピアの待機電力を測定する。次に、各ピア上で各アプリケーションプロセスを1つ実行した場合の消費電力を測定する。最後に、各アプリケーションプロセスの同時実行数を増やし、同時実行されるプログラム数と消費電力量の関係を検証する。この結果から、計算、通信、一般アプリケーションプロセスを実行した場合のピアの消費電力モデルを定式化する。

(3)選定アルゴリズムの考案

(1)および(2)で定式化した計算・ファイル

転送モデルおよび消費電力モデルをもとに計算、通信、および、一般アプリケーションに対して、システム全体の消費電力を低減することが可能なピアを選定するアルゴリズムを考案する。各ピアは、はじめに必要なとする情報資源を持つピアを発見し、該当するピアの計算モデル、消費電力モデル、負荷状況を取得する必要がある。研究代表者は、現実世界における情報収集が知人間の信頼関係をもとに実現されることに着目し、「ピア間の信頼関係を基にしたP2Pシステムのための効率的な情報資源の検索方式」を提案している。必要とする情報資源を持つピアの発見とピアの計算モデル、消費電力モデル、負荷状況の取得は、当該研究成果を用いることで実現できる。よって、本研究では、必要な情報資源を持つ各ピアの計算モデル、消費電力モデル、および、負荷状況をもとに各ピアで計算、通信、一般アプリケーションプロセスを実行した場合の消費電力と実行時間を推定するアルゴリズムを考案する。次に、計算、通信、一般アプリケーションに対して、推定した消費電力と実行時間の結果から、システム全体の消費電力を低減でき、かつ、要求するサービス品質(QoS)を満たすピアを選定するアルゴリズムを考案する。

4. 研究成果

本研究では、システム内で実行されるアプリケーションを計算、通信、および一般アプリケーションに分類し、アプリケーション毎に定式化した計算・ファイル転送モデルと消費電力モデルをもとにシステム全体の消費電力を低減できるピアを選定するアルゴリズムを提案した。

(1)計算アプリケーション

3(1)、(2)の実験結果から、計算アプリケーションプロセスを実行する場合のピアの計算モデルおよび消費電力モデルとしてSC(simple computation)モデルとSPC(simple power consumption)モデルを定義した。SCモデルでは、時刻 τ でピア上の各プロセスに割り当てられる計算レートは、時刻 τ での同時実行される計算プロセス数に依存する。すなわち、同時実行プロセス数が増加すれば、各プロセスに割り当てられる計算レートが減少する。結果として、各プロセスの実行時間が長くなる。一方で、SPCモデルでは、時刻 τ で少なくとも1つのプロセスが実行される場合、ピアの消費電力レートが最大値となる。さもなければ、ピアの消費電力は、最小値(待機電力レート)となる。SCモデルとSPCモデルをもとに計算アプリケーションでピアを選定するアルゴリズムとして、PCLB(power consumption laxity-based)アルゴリズムを考案した。SCモデルをもとに、新たな計算プ

プロセス cp_i をピアに配置した場合にピア上の全プロセスが完了するまでの総実行時間 T を推定することができる。SPC モデルでは、少なくとも1つの計算プロセスが実行される場合、ピアの消費電力レート $E(\tau)$ が最大値 $maxE$ となる。よって、計算プロセス cp_i をピアに配置した場合の総消費電力量は、 $T \times maxE$ と推定される。PCLB アルゴリズムでは、必要とする情報資源を持つピアの集合の中から総消費電力量が最少となるピアを選択する。評価では、ハードウェア構成の異なる10台のピアに対して、計算量の異なる600個の計算プロセスを割り当てた場合に10台のピアで消費された総電力量と総実行時間をシミュレーションにて測定した。また、ラウンド・ロビン(RR)アルゴリズムで計算プロセスをピアに配置した場合との比較を行った。表1にPCLBとRRアルゴリズムで計算プロセスを配置した場合の総電力量と総実行時間を示す。シミュレーション結果より、PCLBとRRアルゴリズムで実行時間は同一であるが、PCLBアルゴリズムがRRアルゴリズムよりも総消費電力量を削減できていることが分かる。

表1. 総消費電力量と総実行時間

	総消費電力量	総実行時間
PCLB	168 [KW]	1,014 [sec]
RR	191 [KW]	1,014 [sec]

(2) 通信アプリケーション

3(1), (2)の実験結果から、通信アプリケーションプロセスを実行する場合のピアのファイル転送モデルおよび消費電力モデルとしてFT(file transfer)モデルとTPC(transmission power consumption)モデルを定義した。FTモデルでは、時刻 τ でピア上の各転送プロセスに割り当てられる転送レートは、時刻 τ での同時実行される転送プロセス数とクライアントの最大受信レートに依存する。すなわち、同時実行プロセス数が増加すれば、各プロセスに割り当てられる転送レートが減少する。結果として、各プロセスの転送時間が長くなる。一方で、TPCモデルでは、時刻 τ でのピアの消費電力レートは、時刻 τ でのピア総転送レートに比例する。すなわち、ピアの総転送レートが高くなれば、ピアの消費電力レートも高くなる。FTモデルとTPCモデルをもとに通信アプリケーションでピアを選定するアルゴリズムとして、PCB(power consumption-based)アルゴリズムを考案した。FTモデルをもとに新たな転送プロセス tp_i をピアに配置した場合にピア上の全転送プロセスが完了するまでの総転送時間 T を推定することができる。また、総転送時間 T の各時刻 τ での同時実行プロセス数も推定できる。TPCモデルでは、時刻 τ でのピアの

消費電力レート $E(\tau)$ は、時刻 τ でのピア総転送レートに比例する。よって、転送プロセス tp_i をピアに配置した場合の総消費電力量は、総転送時間 T における各時刻 τ での消費電力レートを合算した値として推定できる。PCBアルゴリズムでは、必要とする情報資源を持つピアの集合の中から総消費電力量が最少となるピアを選択する。評価では、ハードウェア構成の異なる5台のサーバピアから最大受信レートの異なる100台のクライアントがファイルをダウンロードした場合に5台のサーバピアで消費された総電力量と総転送時間をシミュレーションにて測定した。また、ラウンド・ロビン(RR)アルゴリズムを用いてダウンロードするサーバピアを選択した場合との比較を行った。表2にPCBとRRアルゴリズムでサーバピアを選定した場合の総消費電力量と総転送時間を示す。シミュレーション結果より、PCBアルゴリズムでサーバピアを選定した場合の総消費電力量および総転送時間がRRアルゴリズムで選定した場合よりも削減されていることが分かる。

表2. 総消費電力量と総実行時間

	総消費電力量	総転送時間
PCB	547 [KW]	28,614 [sec]
RR	1,074 [KW]	43,744 [sec]

(3) 一般アプリケーション

3(1), (2)の実験結果から、一般アプリケーションプロセスを実行する場合のピアの計算・ファイル転送のモデルおよび消費電力モデルとして、ISC-FT(integrated simple computation and file transmission)モデルとMSPC(modified simple power consumption)モデルを定義した。ISC-FTモデルでは、時刻 τ でピア上の計算プロセス cp_i に割り当てられる計算レートは、時刻 τ で計算プロセス cp_i と同時実行される計算プロセスと転送プロセス数に依存する。一方で、時刻 τ でピア上の各転送プロセス tp_i に割り当てられる転送レートは、時刻 τ で転送プロセス tp_i と同時実行される転送プロセス数とクライアントの最大受信レートに依存する。すなわち、計算プロセスと転送プロセスを同時実行した場合、転送プロセスの実行が計算プロセスの計算レートに影響を与えるが、計算プロセスの実行が転送プロセスの転送レートに与える影響はない。MSPCモデルでは、時刻 τ で少なくとも1つ以上の計算プロセス cp_i が実行される場合、時刻 τ でのピアの消費電力レート $E(\tau)$ が最大値 $maxE$ となる。もし、時刻 τ で計算プロセスが実行されてなく、1つ以上の転送プロセスが実行されているならば、時刻 τ でのピアの消費電力レート $E(\tau)$ は、ピアの総転送レートに比例する。さもないければ、時刻 τ でのピアの消費電力レート

$E(\tau)$ は、最小値 $\min E$ (待機電力レート)となる。ISC-FT モデルと MSPC モデルをもとに一般アプリケーションでピアを選定するアルゴリズムとして、EPCLB (extended power consumption laxity-based) アルゴリズムおよび EPCLB アルゴリズムを改良した IEPCLB (Improved EPCLB) アルゴリズムを考案した。ISC-FT モデルをもとに新たな一般プロセス $gp_i (= \{cp_i, tp_i\})$ をピアに配置した場合にピア上の一般プロセスが完了するまでの総実行時間 T を推定することができる。また、総実行時間 T の各時刻 τ で同時実行される計算プロセスおよび転送プロセス数も推定できる。さらに、MSPC モデルをもとに一般プロセス gp_i をピアに配置した場合の総転送時間 T における各時刻 τ での消費電力レートを推定できる。総消費電力量は、総転送時間 T における各時刻 τ での消費電力レートを合算した値として推定できる。EPCLB と IEPCLB アルゴリズムでは、必要とする情報資源を持つピアの集合の中から総消費電力量が最少となるピアを選定する。EPCLB アルゴリズムでは、ピアの総消費電力量を推定するために各クライアントが対象となるサーバピアの計算状況を取得する必要がある。これにより、クライアントとサーバピア間でメッセージ交換にともなうオーバーヘッドが増加する。一方で、IEPCLB アルゴリズムでは、ピアの総消費電力量を推定するために必要な、クライアントとサーバピア間でのメッセージ交換を削減できる。評価では、ハードウェア構成の異なる 10 台のピアに対して、計算量と転送するファイルサイズが異なる一般プロセスを割り当てた場合に 10 台のピアで消費された総電力量と総実行時間をシミュレーションにて測定した。また、ラウンド・ロビン (RR) アルゴリズムで計算プロセスをピアに配置した場合との比較を行った。図 1 は、IEPCLB, EPCLB, および RR アルゴリズムでのクライアント数に対する総消費電力量 [KW] を示す。図 2 は、IEPCLB, EPCLB, および RR アルゴリズムでのクライアント数に対する総実行時間を示す。図 3 は、IEPCLB, EPCLB, および RR アルゴリズム実行中にクライアントとサーバピア間で送受信されるメッセージ数を示す。シミュレーション結果から、IEPCLB アルゴリズムが EPCLB, RR アルゴリズムに比べて、総消費電力と総実行時間を削減できていることが分かる。また、IEPCLB アルゴリズムは、EPCLB アルゴリズムに対して、メッセージ数の削減ができていることが分かる。

本研究では、計算、通信、および一般アプリケーションに対して、アプリケーション毎に定式化した計算・ファイル転送モデルと消費電力モデルを定義した。また、定義したモデルをもとにシステム全体の消費電力を低

減できるピアを選定するアルゴリズムを提案した。

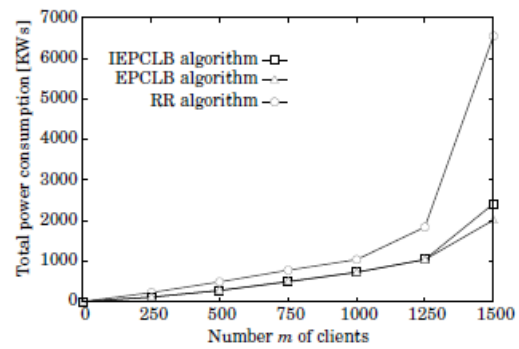


図 1. 総消費電力量 [KW]

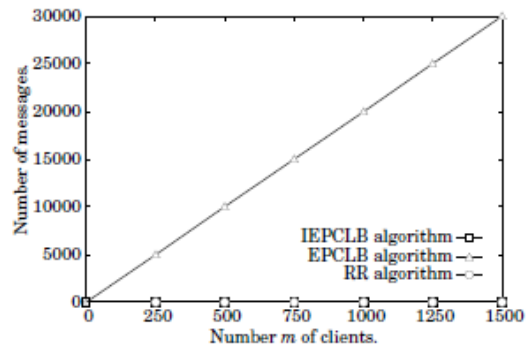


図 2. 総実行時間 [sec]

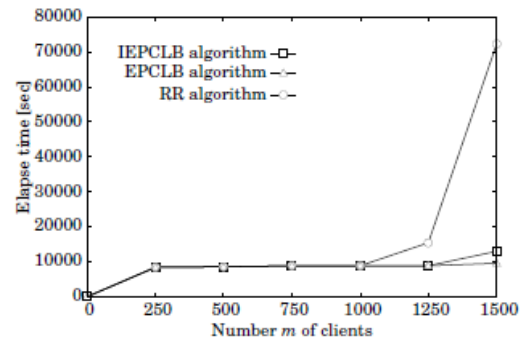


図 3. メッセージ数

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① Tomoya Enokido and Makoto Takizawa, An Integrated Power Consumption Model for Distributed Systems, IEEE Transactions on Industrial Electronics (IEEE TIE), 査読有, Vol. 60, No. 2, 2013, pp. 824-836.
- ② Tomoya Enokido and Makoto Takizawa, The Evaluation of the Extended Transmission Power Consumption (ETPC)

Model to Perform Communication Type Processes, 査読有, Computing, [Online], 2012, pp. 1-9, DOI: 10.1007/s00607-012-0222-z

- ③ Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, Process Allocation Algorithms for Saving Power Consumption in Peer-to-Peer, IEEE Transactions on Industrial Electronics (IEEE TIE), 査読有, Vol. 58, No. 6, 2011, pp. 2097-2105
- ④ Tomoya Enokido and Makoto Takizawa, Purpose-Based Information Flow Control for Cyber Engineering, IEEE Transactions on Industrial Electronics (IEEE TIE), 査読有, Vol. 58, No. 6, 2011, pp. 2216-2225
- ⑤ Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, Computation and Transmission Rate Based Algorithm for Reducing the Total Power Consumption, Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications (JoWUA), 査読有, Vol. 2, No. 2, 2011, pp. 1-18
- ⑥ Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, A Model for Reducing Power Consumption in Peer-to-Peer Systems, IEEE Systems Journal, 査読有, Vol. 4, No. 2, 2010, pp. 221-229.
- ⑦ Tomoya Enokido and Makoto Takizawa, A Purpose-based Synchronization Protocol for Secure Information Flow Control, International Journal of Computer Systems Science and Engineering (JCSSE), 査読有, Vol. 25, No. 2, 2010, pp. 25-32

[学会発表] (計 15 件)

- ① Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, An Energy-Efficient Redundant Execution Algorithm by Terminating Meaningless Redundant Processes, The 27th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA-2013), pp. 1-8, March 25-28, 2013, Barcelona, Spain
- ② Tomoya Enokido and Makoto Takizawa, Transmission Power Consumption Latency-Based (TPCL) Algorithm for Communication Type Applications, The 7th International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2012), pp. 200-207, November 12-14, 2012, Victoria, Canada
- ③ Tomoya Enokido and Makoto Takizawa, The Extended Transmission Power Consumption Model for Communication-Based Applications, The 15th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2012), pp. 112-119, September 26-28, 2012, Melbourne, Australia

[その他]

<http://ktr01.ris.ac.jp/~eno/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榎戸 智也 (ENOKIDO TOMOYA)
立正大学・経営学部・教授
研究者番号: 10360158

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()