

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500088

研究課題名(和文)大容量コンテンツ配信のための自律分散型システムの構築に関する研究

研究課題名(英文)Construction of autonomous distributed system for large capacity content delivery

研究代表者

菅原 一孔 (SUGAHARA, Kazunori)

鳥取大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90149948

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：モバイルエージェントシステムは、モバイルエージェントと呼ばれるソフトウェアが自律的に計算機間を移動・協調しながら、特定の処理を行うシステムである。本研究計画では、“キャッシュ”と呼ばれる概念をシステム内に実装し、一度いずれかの計算機に転送されたエージェントプログラムは、その計算機内に記憶し、その後の移動するたびに転送しなくてもよい手法を考案した。このような効率的な移動手法を利用しながら、同時にコンテンツのバックアップを担うエージェントの生成とその実現のための機能分担、ならびに端末計算機の機能に応じた役割分担を自動的に判別してシステム全体を構成する手法を実装し、実験により上記の有用性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Mobile agent system is a system which is constructed with programs called as mobile agent. Mobile agents execute certain data processing with migrating among server computers. In this research, we propose fast migration technique called "cash". By using cash technique, agents programs and their data should not transfer each migration. Only one transfer of them is enough and our proposed technique enabled faster agent migrations. In this research, back up method of agent systems and system configuration method according to computer execution abilities are also discussed. Effectiveness of proposed methods are confirmed by several experiments.

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：モバイルエージェント キャッシュ機構 マルチメディアデータ システムのバックアップ

1. 研究開始当初の背景

ネットワークを介した多様なコンテンツ配信は、近年急速に高速化・大容量化が進むネットワーク環境を背景に、実用化の要求が高まっている代表的なサービスの1つである。これまでいろいろな場面で話題として取り上げられた動画のオン・デマンド配信サービスや、ネットワーク環境を積極的に利用したeラーニングサービスなどはその代表的なものである。

現状ではこれらのサービスを提供するには、サーバと呼ばれる高速大容量の計算機にすべてのコンテンツを格納し、これを高速なネットワークを介して、クライアントと呼ぶ端末計算機からコンテンツを呼び出す、いわゆるクライアント・サーバ型の構成をとるしか実現する方法がなかった。

この構成法では、サーバ上にすべてのコンテンツが集約されているため、その読出しの負荷やネットワークによるデータ転送のための通信負荷がサーバに集中してしまう問題が指摘されてきた。また、サーバ計算機が何らかの不具合により停止してしまうと、すべての配信機能が停止してしまうことも運用上の重大な問題点であった。

一方、ネットワークに接続されている計算機間を実際に移動しながら、その先方で定められた機能を果たすモバイルエージェント技術も提案されているが、コンテンツの配信という目的で開発を目指した例は、国内外を問わずこれまでにない。ここでモバイルエージェントとは、与えられた機能を遂行するためのプログラムと、それが利用するデータが対になり、ネットワークを介して移動し、移動先の計算機上で実際に処理を行うものである。この点、1つの計算機上のプログラムがネットワークを介して、他の計算機とデータの授受を行いながら処理を進めるシステムとはまったく異なる構成であることに注意が必要である。

我々は従来からモバイルエージェント技術に関する研究を積極的に進めており、その研究成果は学術論文として、あるいは国際会議などの場を通して多数報告し、その独創性ならびにそれが単なる考え方にとどまらず現実のシステムとして稼働している点に対して高い評価を得ている。

これまでに実施してきた研究により、モバイルエージェント技術を積極的に利用したコンテンツ配信システムの有用性は確認している。すなわち複数の計算機にコンテンツを分散配置することで、一部の計算機に負荷が集中することなくコンテンツ配信を行なうことができること、ならびに一部の計算機に不具合が生じてもシステム全体が停止してしまうことなくコンテンツ配信サービスを提供し続けるシステム構成が実現可能であることなどを確認している。

このような我々が提案するモバイルエージェント技術を積極的に利用したシステム

では、コンテンツを単なるデータではなくエージェントとして実現することで、エージェント群が複数の計算機に自律的に分散配置する機能や、エージェント間の通信により利用者が望むコンテンツを保持するエージェントを探索する機能をエージェント自身に実装している。

しかし、大容量のコンテンツを配信するシステムを実現するためには、以下で述べる幾つかの課題が残されていることも、明らかとなっていた。本研究計画では、これらの課題の解決を目的とし、その成果は単に今回念頭に置いているコンテンツ配信技術に新しい知見を与えるだけでなく、モバイルエージェント技術に格段に広範な応用分野を提供するものと考えている。

2. 研究の目的

本研究計画は、これまで研究を進めてきたモバイルエージェント技術に関する研究成果をもとに、動画像などの大容量のコンテンツを配信するための、高速なエージェントの移動を提供するフレームワークを開発することが目的であり、同時に、システムを構成する一部の計算機に不具合が発生した際にも、自動的に、自律的にシステム全体が復旧する仕組みの開発も行った。自律分散型コンテンツ配信システムでは、サーバ計算機に極集中していた負荷を分散させることが可能となり、耐障害性や柔軟性に富むシステムを安価に構築することも目的とした。

3. 研究の方法

本研究の遂行に際しては、研究代表者と研究分担者は緊密な連携を取りながらそれぞれの分担に関する研究を進めた。研究を分担して進めるのは、研究を迅速に進めることが主たる目的ではあるが、関連する研究内容を担当とは異なる観点から相互に確認しあうことで、より充実したシステムの開発が可能であると考えからである。開発は以下の項目について順に研究を進めた。

1. 高速なモバイルエージェントの移動を提供するフレームワークの実現
2. 障害発生時のエージェントの復旧に関する仕組みの確立
3. 接続されているネットワーク環境に応じて、端末計算機の機能を選定する仕組みの開発

平成 23 年度

本研究計画の1年目に当たる平成 23 年度には上記の項目のうち、最初の項目である 障害発生時にエージェント群が自律的にシステムの復旧に当たる仕組みの開発 について研究を進めた。

開発を目指したシステムでは、従来のサーバ・クライアント型の構成のシステムとは異なり、すべてのコンテンツがシステムに属する多数の計算機上に分散配置されることを想定した。しかも、これらの計算機は自由に

システムに参加したり、離脱したりする。そのような状況下でコンテンツを保持するエージェントが自律的にその配置を決定したり、利用者の要求に応じて必要なエージェントを探索したりできるところに本システムの最大の特徴がある。

このようなシステム構成においては、システムを構成する計算機の数が多くなるにつれ、いずれかの計算機に障害が発生する可能性は多くなると考えざるを得ない。その場合には、一度にすべてではないにしろコンテンツの一部を失ってしまうことになる。しかも、複数の計算機上に多数のエージェントが分散配置されているため、どのようなコンテンツが消失したのかを知ることさえ容易なことでない。

本研究計画では、計算機の故障など障害発生時にもコンテンツの消失を防ぐ仕組みについても研究を行った。コンテンツの消失を防ぐためには、原コンテンツに対応して、そのバックアップ・エージェントを生成しこれもコンテンツ・エージェントと同様にシステムに参加している計算機上に分散管理しておく。システムに参加している計算機はその近傍の計算機との間で一定の間隔ごとに生存メッセージの交換をしておき、障害の発生はそれが途絶えることで検知する手法を考案した。

障害がひとたび検知されると、障害が発生した計算機の近傍の計算機が、一時的にその領域を生成し、対応する領域のバックアップ・エージェントを保持する計算機からこれらを受け取る。その後は、上述した正規の計算機の離脱処理と同様に、ここで生成した一時的な領域に対し離脱処理を行うことで、さも障害が発生した計算機が正常にシステムから離脱した状態を作り出すことができる。

平成 24 年度

研究計画 2 年目の平成 24 年度には、2 番目の項目に挙げた

計算機間をモバイルエージェントが高速に移動する仕組みの実現

に関する研究を進めた。

これは言い替えると、高速なモバイルエージェントの移動を提供するフレームワークの開発を目指したものである。上述のとおり、複数の計算機上にコンテンツを分散管理することで、1つの計算機への負荷の集中を避けることができる。しかし、動画像などの大容量コンテンツの場合には、たとえそれを複数のエージェントに分割しても、1つ1つのエージェントのサイズは大きくなってしまふ。このため、各エージェントの移動の高速化が望まれる。本研究課題では、この問題に対しては、エージェントフレームワークへエージェントのキャッシュ機能を導入することで解決を図る。キャッシュ機能として一般によく知られているものに、計算機システムが補助記憶装置との間でデータの授受を行なう際のものがある。しかしエージェントシ

ステムに同種の機構を導入することが可能とは限らず、ここではエージェント独自のキャッシュ機構の考案を図る。その際に、エージェントの保持内容の変化に伴ったキャッシュ内容の更新や、キャッシュの保持期間の設定がシステム全体の特性への影響が大きいと考えられることから、この点を念頭に置いた開発となった。

この研究成果は結果的にシステム全体としての通信量の低減にもつながり、モバイルエージェント技術への大きな知見を与えることができたと考えている。

平成 25 年度

研究計画最終年度の平成 25 年度には、それまでの 2 年間の研究をもとに、3 番目の項目である

接続されているネットワーク環境に応じて、端末計算機の機能を選定する仕組みの開発

について研究を進め、最終的にシステムの完成を目指した。

1. と 2. の項目については、上述した研究内容の仕上げを行うものである。3. の項目については、高速化とともに大容量化が進むネットワーク環境であっても、必ずしも同一の環境とはいえない状況下で、いかに個々の計算機がシステム全体の役割を分担するかという点に関する研究といえる。現在考察中の一つの解決策として、その計算機が置かれているネットワーク環境に応じて、コンテンツ配信の機能は実装せず、コンテンツの受信のみ行なう機能を実装した端末の参加を許すなど、様々な環境に応じた端末の混在も可能とする方法を検討しその実装を進めた。

上記各年度における研究は、研究代表者と研究分担者が緊密な連携の下で遂行した。研究代表者と研究分担者は同じ組織に所属しており、従来から密に連絡を取りながら研究を実施しており、本研究の遂行にあたっても同様に実施できた。

上記研究計画はこれまでのモバイルエージェントに関する研究の成果を活用することで、十分遂行可能であったが、想定外のこととして、多数のエージェントが同時に参加離脱を行う際など、多数のエージェントが発するメッセージの授受のタイミングに関するものがあつた。この点に関して、従来から進めてきた研究でその解決の糸口は把握していたので、解決することができた。

4. 研究成果

上述のとおり、モバイルエージェントシステムは、モバイルエージェントと呼ばれるソフトウェアが自律的に計算機間を移動・協調しながら、特定の処理を行うシステムであり、特に分散システムを構成するための一つの有効な手法である。ここでいう、分散システムとは、様々な機能を1つの大規模な計算機で実現するのではなく、複数の計算機に分散し、

結果として目的の機能を実現しようとするものを指す。このような分散システムをサーバ・クライアント型で構成することと比較すると、モバイルエージェントシステムによる構成方法では、その設計、実装が容易になるだけでなく、その保守や構成変更などが比較的簡単にできる特徴を持つ。

しかし、逆にモバイルエージェントシステムでは、エージェントが計算機間を移動する際に、特定の処理内容が記述されたプログラムコードを持ち運ぶことで、移動先の計算機で柔軟な処理を行うことができる。しかしソフトウェアの規模や保持するデータの量が大きい場合、モバイルエージェントの移動時に転送されるプログラムコードの数やデータのサイズが大きくなるため、モバイルエージェントの移動時間が増加しシステムの性能が低下してしまう問題がある。特に、本研究課題で対象としている、大容量のコンテンツを保持するエージェントの移動には多くの転送時間が必要となり、解決が迫られ問題であった。

本研究計画では、“キャッシュ”と呼ばれる概念を、エージェントの移動の際に採用し、移動作業の効率化を図る。このキャッシュという概念は、例えばハードディスクドライブとCPUの間でのデータ転送に用いられることでよく知られている。本研究計画では、エージェントの移動の際、この概念を利用しようとするものであり、一度いずれかの計算機に転送されたエージェントプログラムは、その計算機内に記憶しておくことで、その後の移動の際に、改めて転送しなくてもよい手法である。ただし、ハードディスクドライブとCPU間で行われているキャッシュではプログラムあるいはファイル単位でキャッシュが構成されていることに対して、本システムではプログラムを構成する関数単位でキャッシュを行うおうとしたことに特徴がある、と言える。

さらに、本研究計画では、同時集中移動しようとする各々のエージェントが同じプログラムコードを持っている場合に、組み合わせ最適化問題の一種である一般化割当問題 (Generalized Assignment Problem: GAP) として各々のプログラムコードの転送元ノードを決定する方式を考案した。本方式により、各々のプログラムコードの転送元ノードをいずれか1つに決定して転送することで、同じプログラムコードの重複した転送を抑制できるため、高速なエージェントの計算機間の移動手法を提案することができた。

このような効率的なエージェント移動手法を利用しながら、3. で述べたとおり、コンテンツのバックアップを担うエージェントの生成とその実現のための機能分担、ならびに端末計算機の機能に応じたシステム中での役割分担を自動的に判別してシステム全体を構成する手法を実装し、その動作の確認を行い有用性を確認した。

まず、バックアップ・エージェントに関しては、同一の内容を持つエージェントを2つ

実現しそれを分散ハッシュテーブルの中心に対して点対称の位置に配置することで、同時に1つの端末計算機が破損する場合には、バックアップ機能が実現できることを確認した。また端末の能力に応じてシステム内の機能の分担を自動的に判別する手法では、あらかじめネットワークの容量やCPUの動作速度などを知り、

- ・システム内でのエージェントを管理する機能を持つ端末や、
- ・エージェント配置機能を持たせるがそれらの管理機能を持たせない端末、
- ・あるいはエージェント配置機能も持たず単なる通信端末としての機能しか持たない端末など

を用意して、その計算機の能力に応じて機能を分担する手法を考案しその動作を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

1. GAP を用いたキャッシュによるエージェントの同時集中移動時における通信量の削減, 東野 正幸, 高橋 健一, 川村 尚生, 菅原 一孔, コンピュータソフトウェア, 査読あり, (2014). (採録決定).
2. Management of Streaming Multimedia Content using Mobile Agent Technology on Pure P2P-based Distributed e-Learning System, Masayuki Higashino, Tadafumi Hayakawa, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, International Journal of Grid and Utility Computing, 査読あり, Vol. 5, No. 3, pp. 198-204 (2014).
3. Evaluation of Program Code Caching for Mobile Agent Migrations, Masayuki Higashino, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Computer Technology and Application, 査読あり, Vol. 4, No. 7, pp. 356-363 (2013).
4. キャッシュによるエージェントの移動効率化
東野 正幸, 高橋 健一, 川村 尚生, 菅原 一孔, 電子情報通信学会論文誌, 査読あり, Vol. J96-D, No. 7, pp. 1576-1584 (2013).
5. A Construction Method for Automatic Human Tracking System with Mobile Agent Technology, Hiroto Kakiuchi, Koza Tanigawa, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Recent Developments in Video Surveillance, 査読あり, pp. 21-38 (2012).
6. Verification of Detection Methods for Robust Human Tracking System, Hiroto Kakiuchi, Takao Kawamura, Toshihiko Sasama, Kazunori Sugahara, International Journal on Advances in Security, 査読あり, Vol. 4, No. 1 & 2, pp. 34-43 (2011).

[学会発表](計12件)

1. Meeting Scheduling System using Unpleasant Notification, Tomoyuki Mishima, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, International Conference on IT Convergence and Security, pp. 43-46 (2013/12/17). Macau, China.
2. Implementation of Logging for Information Tracking on Network, Akihiko Maeta, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, International Conference on IT Convergence and Security, pp. 392-395 (2013/12/16). Macau, China.
3. Debugging Mobile Agent Systems, Masayuki Higashino, Shin Osaki, Shinya Otagaki, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Proceedings of the 15th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services (iiWAS 2013), pp. 667-670 (2013/12/4). Vienna, Austria (Acceptance Rate: 30.22%).
4. Development of Monitoring and Simulation System of Human Tracking System Based on Mobile Agent Technologies, Kozo Tanigawa, Toshihiko Sasama, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Proceedings of the International Conference on Mobile Communications, Networking and Applications (ICMCNA 2013), pp. 311-316 (2013/7/8). Prague, Czech Republic.
5. Management of Streaming Multimedia Content using Mobile Agent Technology on Pure P2P-based Distributed e-Learning System, Masayuki Higashino, Tadafumi Hayakawa, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Proceedings of the 27th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2013), pp. 1041-1047 (2013/3/28). Barcelona, Spain (Acceptance Rate: 28%).
6. Effective Mobile Agent Migration Mechanism on Load Distribution System Masayuki Higashino, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Proceedings of the 2nd International Conference on Electrical Engineering and Computer Sciences (ICEECS 2013), pp. 653-660 (2013/3/16). Tokyo, Japan.
7. Multimedia Streaming with Caching on Pure P2P-based Distributed e-Learning System using Mobile Agent Technologies, Masayuki Higashino, Tadafumi Hayakawa, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Proceedings of the 2nd International Conference on Electrical Engineering and Computer Sciences (ICEECS 2013), pp. 661-669 (2013/3/16). Tokyo, Japan.
8. Neighbor Camera Node Determination Algorithm for Automatic Human Tracking System based on Mobile Agent Technologies, Kozo Tanigawa, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Proceedings of the International Conference on Software Engineering and Applications (ICSEA 2012) (2012/11/15). Venice Italy.
9. Mobile Agent Migration Based on Code Caching, Masayuki Higashino, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA 2012), pp. 651-656 (2012/3/28). Fukuoka, Japan.
10. Management of Multimedia Data for Streaming on a Distributed e-Learning System, Tadafumi Hayakawa, Masayuki Higashino, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA 2012), pp. 1282-1285 (2012/3/27). Fukuoka, Japan.
11. DATA TRAFFIC REDUCTION FOR MOBILE AGENT MIGRATION, Masayuki Higashino, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Proceedings of the 4th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2012), Vol. 2, pp. 351-354 (2012/2/8). Vilamoura, Portugal.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅原 一孔 (SUGAHARA Kazunori)
鳥取大学・工学研究科・教授
研究者番号：90149948

(2) 研究分担者

川村 尚生 (KAWAMURA Takao)
鳥取大学・工学研究科・教授
研究者番号：10263485

笹間 俊彦 (SASAMA Toshihiko)
鳥取大学・工学研究科・助教
研究者番号：80362896