

機関番号：15101

研究種目：基礎研究（C）

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20500067

研究課題名（和文）自律分散型コンテンツ配信システムに関する研究

研究課題名（英文）On the distributed autonomous content delivery system

研究代表者

菅原 一孔（SUGAHARA KAZUNORI）

鳥取大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90149948

研究成果の概要（和文）：

従来、サーバ・クライアント型のような、いわゆる集中型システム構成により実現されてきたコンテンツ配信システムを、本研究ではモバイルエージェント技術を積極的に利用して、分散型構成により実現する手法を開発した。開発したシステム構成によると、種々のモバイルエージェントが自律的に、複数の計算機上に分散配置されることにより、たとえシステムを構成する一部の計算機に不具合が生じた場合にでも、システム全体を停止する必要はなく、サービスを提供し続けるなど様々な特徴がある。

研究成果の概要（英文）：

In this research, the system construction method for the contents delivery system is developed. The developed method is based on the mobile agent techniques and enables us to realize the distributed autonomous system. The conventional similar systems stop the whole functions even if a part of the computer in the system stops. On the other hand, the developed system is able to continue to provide the system functions in the similar cases.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：モバイルエージェントシステム，自立分散型システム，コンテンツ配信

1. 研究開始当初の背景

近年の目覚ましいネットワーク環境の整備を背景に、ネットワークを介した多様なコンテンツ配信は実用化の要求が高まっているサービスの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上に配置した上で、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の方法がなかった。その中にはプロキシと呼ばれる技術により、サーバ機能を複数の計算機で構成することで、より高速・大容量のものを実現する構成もある。しかし、いずれにせよ実用に耐えられる内容を、実用に耐えられる速度で配信するためには、機材的あるいは人的に高価なものとなら

ざるを得なかった。これらの大きな要因としては、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がサーバに集中することである。また、サーバあるいはプロキシを担当する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。

一方で、定められた機能を利用者から独立して遂行するエージェント技術と呼ばれるプログラミング技術が進展し、現在様々な場面で実用化されている。このエージェント技術をネットワーク上に拡張し、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、その先々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。しかし、コンテンツの配信という目的で実際の場面で応用された例は、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、実際に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動している点に対して高い評価を得ている。開発したシステムでは、一部の計算機に不具合が生じてシステム全体が停止してしまうことなくサービスを手供し続ける仕組みを構築した。さらに、コンテンツを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持たせることができる。このように本研究の成果はコンテンツの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られる。

2. 研究の目的

モバイルエージェント技術を利用してコンテンツの配信を実現するために、以下の機能を実現する方法の確立を目指した。

- i コンテンツをエージェントとして実現する技術
- ii 実現したエージェントに課金情報などの

ユーザ情報を記録する機能や、特に e-ラーニングシステムの場合には利用者の解答を採点する機能など、エージェント自身の機能を持たせる技術

iii エージェント群が自律的に複数の計算機に分散し管理され、分散管理されたエージェント群から、利用者が望むコンテンツを保持するエージェントを探し出す仕組み

iv システムを構成する計算機の故障などの障害発生時でも、その計算機上で管理されているコンテンツが消失することを防ぐバックアップ機能

i および ii の技術の確立には、従来、我々が研究を進めてきた、モバイルエージェントのための実行環境である Maglog フレームワークを利用した。Maglog により、計算機間のエージェントの移動や、それが持つフィールドと呼ばれる独自の記憶領域を介してエージェント間およびエージェント-計算機間のデータ通信を行う機能を柔軟に実現することが可能となった。

iii は本研究課題の中心的な研究対象であり、自由にシステムへ参加や離脱を繰り返す複数の計算機上にエージェント群が自律的に分散し、その上で管理されてゆく仕組みの実現に関する課題である。それに加えて、分散管理されているコンテンツ群から利用者が必要とするコンテンツを保持するエージェントを探し出すための技術である。これは、計算機が参加や離脱を繰り返すたびに、情報交換を行い知らせあうことを前提とする場合には実現は容易である。しかし、情報交換に要する通信量は本来のコンテンツ配信を行う観点からは必要ではないものであるだけでなく、計算機の数が多くなるにつれ指数関数的に増加してゆくことになる。このため本研究では1つの計算機はごく限られた計算機にのみ参加・離脱の情報を伝えるだけで、システム全体としては整合性の取れた動作をする独自の方式を考案した。

システムを構成する計算機の数が増大になると、その中で故障などの障害が発生する危険性も増大する。iv ではこの様な障害発生時でも、コンテンツのバックアップをエージェントとして持ち合い、障害発生時には自律的にシステムを復旧する手法を構築した。この場合にも、原コンテンツを分散管理し、通信量や負荷の分散を狙う本研究の目的を消失しないよう、バックアップのためのエージェントも自律的に分散管理される手法を考案した。

本研究は、従来クライアント・サーバ方式でしか実現されてこなかったコンテンツの配信サービスを、モバイルエージェント技術を積極的に導入して実現しようとする点が学術的な特徴でもあり、独創的な点である。従来のクライアント・サーバ方式では、必然

的にサーバに配信負荷や通信量の集中が生じてしまうため、システムの構築には高速大容量の計算機や通信環境の整備が不可欠であった。さらにはサーバが何らかの原因で停止するとすべての機能が停止してしまうため、その構成ならびにその管理には機材的にも人的にも膨大なコストがかかっていた。本研究ではこれらの問題点を、モバイルエージェント技術を導入することで解決し、柔軟な配信システムを安価に提供できるようになった。

構築したシステムでは計算機が参加してきた場合や、逆に計算機が離脱する場合でもエージェントの近隣の計算機間の移動により、コンテンツがシステム内の計算機群に自律的に分散管理される仕組みを確立した。また、エージェント間の通信により、利用者が希望するコンテンツを保持するエージェントをシステム内から探し出す仕組みも実現した。この際、計算機が参加離脱を繰り返す際に、それぞれの計算機が管理しているコンテンツ情報をすべての計算機間で交換するなど、無駄な通信が増大する事を避ける独自の仕組みを考案した。併せて、システムに参加している計算機の故障などによる障害発生時にも、バックアップとしてお互いに分散管理しているエージェントにより、原コンテンツを消失することない手法を開発した。以上、本研究で開発を行ったモバイルエージェント技術に基づくコンテンツ配信システムは、単に新しいコンテンツ配信システムとしての特徴があるだけでなく、これまで実用化が進まなかったモバイルエージェント技術そのものに対して新しい知見を与えるものである。

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たのは、研究を迅速に進めることが主たる目的であったが、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たからである。開発は以下の項目について研究を進めた。

1. モバイルエージェントのためのフレームワークの実現
2. エージェント群の自律的な分散管理手法の確立
3. 分散管理されているエージェント群から、所望のコンテンツを保持するエージェントの探索手法の確立
4. 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
5. ビデオ映像などの大量のコンテンツを管理する場合に適した、1つのコンテンツを

複数のエージェントに分割して管理する手法の開発

平成 20 年度

本研究計画の1年目に当たる平成 20 年度には上記の項目のうち、1, 2, 3 について研究を進めた。

- ・研究代表者は、エージェント群が自律的に分散管理する仕組みの実現に関する研究、および、必要に応じて所望のコンテンツを探索する仕組みの実現に関する研究
- ・研究分担者は、モバイルエージェントを実現するためのフレームワークの構築に関する研究

研究代表者が開発を進めたシステムは、コンテンツを保持するコンテンツ・エージェント、そのバックアップを保持するバックアップ・エージェント、利用者へコンテンツを表示したり利用者からの要求を受け取ったりするユーザインターフェイス、およびユーザインターフェイス-コンテンツ・エージェント間のデータの授受を行うユーザエージェントにより構成した。その際、ユーザインターフェイス-エージェント間、あるいはエージェント間の情報のやり取りは、Maglog フレームワークが持つフィールドと呼ばれる環境を経て行うこととした。

コンテンツ・エージェント群が自律的にシステムに参加している複数の計算機上に分散配置する具体的な仕組みとして、以下を考えた。すなわち、コンテンツの名前からそれぞれのハッシュ値を求め、2次元の領域に配置する。初期状態としてシステムに1台の計算機のみ参加している状態を考え、コンテンツを配置した2次元領域のすべてをその計算機が管理しているものとする。その後1台ずつ計算機がシステムに参加してくるたびに、2次元領域を分割しながらその分割領域に配置されたコンテンツ・エージェントを受け取る動作を繰り返す。一方、システムに参加していた計算機がシステムから離脱する際には、その計算機が管理する領域と同じ形状の領域を管理する計算機を探索し、それと領域を結合させながらコンテンツ・エージェントを引き渡す動作を行う。以上の動作により、システムへの計算機の参加離脱が繰り返された場合でも、コンテンツ・エージェントを自律的に分散管理することができる。

利用者が希望するコンテンツを保持する計算機を探索する際には、希望するコンテンツの名前からハッシュ値を求め、ネットワーク上の近傍の計算機に探索メッセージを配信する。探索メッセージを受け取った計算機は、それ自身が該当するコンテンツを保持する場合にはそれを返信し、もし該当するコンテンツを保持しない場合には、さらにその近傍の計算機に探索メッセージを転送する。こ

の探索メッセージの転送は、それぞれの計算機自身が管理する領域から探索目的のコンテンツが配置されている領域方向にのみ行えばよいので、メッセージの転送のための通信量が爆発的に増大することはないと考えている。

研究分担者が研究を進めるモバイルエージェントを実現するためのフレームワークとは、システムに参加する計算機上で常に実行されているプログラムであり、エージェントが計算機間を移動したり、エージェントと他のプログラム、あるいはエージェントとエージェントの間でデータの授受を行ったりするフィールドと呼ばれる環境を提供する。エージェントは、Prolog 言語が持つ論理関係の記述性からこれにより記述するが、これを通信機能が充実した Java 言語に変換した。

平成 21 年度

研究計画 2 年目の平成 21 年度には、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を研究代表者と研究分担者は協力して研究を進めた。コンテンツの消失を防ぐために、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ようにした。

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た。

平成 22 年度

平成 21 年度までは、コンテンツが 1 つのエージェント内に格納できる程度の比較的小さな容量のものについて研究を進めた。研究計画の最終年度に当たる平成 22 年度には、動画配信の場合のようにコンテンツ自身が相当量の容量をもつものへの対応を考えた。基本的な考えとしては、容量が大きなコンテンツでもそれをいくつかの小さなデータに分割し、それぞれを 1 つのエージェントとして実現することで、上述のシステムにより自律的な分散管理ができるものと考えた。ただ、大きな容量のコンテンツを分割した場合には、それが配信される順が定まっていることや、途中で配信が中止されたときへの対応を

考慮したエージェント化が必要であった。これらの点はそれまでのコンテンツのエージェント化に関する研究成果より解決した。

大きな容量のコンテンツの配信は、それが必要とする高速かつ膨大な通信量を見ても、配信を行う計算機に対する負荷の重さが分かる。これを 1 つのサーバ計算機で実現することと比較して、提案システムのようにそれを分散管理することで個々の計算機にかかる負荷が分散されることが期待でき、このような大きな容量のコンテンツ配信こそ、提案システムの真価が発揮できるものと考えている。

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もので遂行した。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。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問題点もあったが、従来からの研究を進める上でその解決の糸口は把握しており、それらをもとに解決した。

4. 研究成果

開発したシステムは、コンテンツを保持するコンテンツ・エージェント、そのバックアップを保持するバックアップ・エージェント、利用者へコンテンツを表示したり利用者からの要求を受け取ったりするユーザインターフェイス、およびユーザインターフェイス-コンテンツ・エージェント間のデータの授受を行うユーザエージェントにより構成した。その際、ユーザインターフェイス-エージェント間、あるいはエージェント間の情報のやり取りは、Maglog フレームワークが持つフィールドと呼ばれる環境を経て行うこととした。

コンテンツ・エージェント群が自律的にシステムに参加している複数の計算機上に分散配置する具体的な仕組みとして、以下を考案した。すなわち、コンテンツの名前からそれぞれのハッシュ値を求め、2次元の領域に配置する。初期状態としてシステムに1台の計算機のみ参加している状態を考え、コンテンツを配置した2次元領域のすべてをその計算機が管理することとした。その後1台づつ計算機がシステムに参加してくるたびに、2次元領域を分割しながらその分割領域に配置されたコンテンツ・エージェントを受け取る動作を繰り返す。一方、システムに参加していた計算機がシステムから離脱する際には、その計算機が管理する領域と同じ形状

の領域を管理する計算機を探索し、それと領域を結合させながらコンテンツ・エージェントを引き渡す動作を行う。以上の動作により、システムへの計算機の参加離脱が繰り返された場合でも、コンテンツ・エージェントを自律的に分散管理することが可能となった。

コンテンツ・エージェント群が自律的にシステムに参加している複数の計算機上に分散配置する具体的な仕組みを元に、具体的なシステムの開発を試みた。すなわち、モバイルエージェント技術の特徴を積極的に利用した e-Learning システムと人物追跡システムである。このような動作は、モバイルエージェント技術特有の性質を利用したものであり、システム自身の新規性とともモバイルエージェント技術に対する新しい知見を与えるものと考えている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 13 件)

- ① Hiroto Kakiuchi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Bypass methods for constructing robust automatic human tracking system, Integrated Computer-Aided Engineering, 査読有, No.17, 2010, pp.41-58
- ② Hiroto Kakiuchi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Bypass methods for constructing robust automatic human tracking system, Integrated Computer-Aided Engineering, 査読有, No.17, 2010, pp.41-58
- ③ Kazunari Meguro, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Backup and Recovery Scheme for Distributed e-Learning System, IPSJ Journal, 査読有, No.50, 2009, pp.2710-2716
- ④ 平田 崇, 川村 尚生, 菅原 一孔, 分散型 e-Learning システムにおける教師用機能の開発, 情報科学技術レターズ, 査読有, No.4, 2009, pp.49-52
- ⑤ 山本 大介, 川村 尚生, 菅原 一孔, 分散型 e-Learning システムにおけるマルチメディアコンテンツの利用, 情報科学技術レターズ, 査読有, No.4, 2009, pp.53-56
- ⑥ 岩崎 慎弥, 川村 尚生, 菅原 一孔, モバイルエージェントを用いた人物追跡システムのモニタとシミュレータの開発, 情報科学技術レターズ, 査読有, No.4, 2009, pp.43-48
- ⑦ Kazunari Meguro, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Backup and Recovery Scheme for Distributed e-Learning System, IPSJ Journal, 査読有, No.50, 2009, pp.2710-2716
- ⑧ 平田 崇, 川村 尚生, 菅原 一孔, 分散型 e-Learning システムにおける教師用機能の開発, 情報科学技術レターズ, 査読有, No.4, 2009, pp.49-52
- ⑨ 山本 大介, 川村 尚生, 菅原 一孔, 分散型 e-Learning システムにおけるマルチメディアコンテンツの利用, 情報科学技術レターズ, 査読有, No.4, 2009, pp.53-56
- ⑩ 岩崎 慎弥, 川村 尚生, 菅原 一孔, モバイルエージェントを用いた人物追跡システムのモニタとシミュレータの開発, 情報科学技術レターズ, 査読有, No.4, 2009, pp.43-48
- ⑪ Kazunori Toshioka, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Web Application to Generate Route Bus Timetables, Proc. of the Third International Conference on Internet and Web Applications and Services, 査読有, 2008, pp.109-114
- ⑫ Kazuo Kuramochi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, NAT Traversal for Pure P2P e-Learning System, Proc. of the Third International Conference on Internet and Web Applications and Services, 査読有, 2008, pp.358-363
- ⑬ Shinichi Motomura, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Persistency for Java-based Mobile Agent Systems, Proc. of the Third International Conference on Internet and Web Applications and Services, 査読有, 2008, pp.470-475

[学会発表] (計 12 件)

- ① Kazunari Meguro, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, OnePort RMI: RMI Protecting Integrity and Confidentiality for Mobile Agents, Proceedings of the IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems, 2009/11/5, Cambridge, MA, USA
- ② Kazunari Meguro, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Toward the Marriage of XML and Mobile Agents - Utilizing XML-RPC as a Migration Media -, Proceedings of the IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems, 2009/11/3, Cambridge, MA, USA
- ③ Hiroto Kakiuchi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Bypass Method Based on Neighbor Node Determination Algorithm for Automatic Human Tracking System, Proceedings of the IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems, 2009/11/3, Cambridge, MA, USA
- ④ Kazunari Meguro, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, On the Continuous Service of Distributed e-Learning System, International Conference on Computer,

Electrical, and Systems Science, and Engineering, 2009/7/30, Oslo, Norway

- ⑤ Kazunari Meguro, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Distributed e-Learning System with Client-Server and P2P Hybrid Architecture, International Conference on Computer, Electrical, and Systems Science, and Engineering, 2009/7/30, Oslo, Norway
- ⑥ Hiroto Kakiuchi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, An Algorithm to Determine Neighbor Nodes for Automatic Human Tracking System, Proceedings of IEEE International Conference on Electro/Information Technology, 2009/6/8, Windsor, Canada
- ⑦ Kazunari Meguro, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, OnePort RMI: RMI Protecting Integrity and Confidentiality for Mobile Agents, Proceedings of the IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems, 2009/11/5, Cambridge, MA, USA
- ⑧ Kazunari Meguro, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Toward the Marriage of XML and Mobile Agents - Utilizing XML-RPC as a Migration Media -, Proceedings of the IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems, 2009/11/3, Cambridge, MA, USA
- ⑨ Hiroto Kakiuchi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Bypass Method Based on Neighbor Node Determination Algorithm for Automatic Human Tracking System, Proceedings of the IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems, 2009/11/3, Cambridge, MA, USA
- ⑩ Kazunari Meguro, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, On the Continuous Service of Distributed e-Learning System, International Conference on Computer, Electrical, and Systems Science, and Engineering, 2009/7/30, Oslo, Norway
- ⑪ Kazunari Meguro, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Distributed e-Learning System with Client-Server and P2P Hybrid Architecture, International Conference on Computer, Electrical, and Systems Science, and Engineering, 2009/7/30, Oslo, Norway
- ⑫ Hiroto Kakiuchi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, An Algorithm to Determine Neighbor Nodes for Automatic Human Tracking System, Proceedings of IEEE International Conference on Electro/Information Technology, 2009/6/8,

Windsor, Canada

[その他]
ホームページ等

<http://www.keisana.ike.tottori-u.ac.jp/?Publications>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

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