

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24年6月3日現在

機関番号：15101
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22500886
 研究課題名（和文） 多様なネットワーク環境で利用できる分散型 e-Learning システムの開発
 研究課題名（英文） Development of Distributed e-Learning System for Various Network Environments
 研究代表者
 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

研究成果の概要（和文）：

高価なサーバ機や大容量ネットワーク設備への投資を行うことなく、多数の学生が同時に利用できる分散型 e-Learning システムの開発を行なっている。本システムでは学生のコンピュータは問題を解くための端末として使われるだけでなく、問題提供機能も分担する。本研究では、学生が自宅から利用することを想定し、多様なネットワーク、すなわち、低速、低信頼性、プライベートアドレスを利用するネットワークへの対応手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a distributed e-learning system. While a user uses the e-learning system, his/her computer is a part of the system. Namely, it receives some number of exercises in them from another computer when it joins the system and has responsibility to send appropriate exercises to requesting computers. In this study, the e-learning system has been improved for various networks, such as slow networks, unreliable networks, and private networks.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	400,000	120,000	520,000
2012年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学，教育工学

キーワード：分散協調教育システム，モバイルエージェント

1. 研究開始当初の背景

現在利用されている WWW を利用する e-Learning システムは、すべて学習者が Web ブラウザから単一の Web サーバにアクセスするものであり、典型的なクライアントサーバシステムである。しかし、一般にクライアントサーバシステムでは、サーバに要求が集中するため、以下のような問題が生じる。

- (1) サーバの性能が固定されているため、クライアントが多数になるとサーバの負荷増大に伴って学習者の要求への応答時間が長くなる。
- (2) サーバが、故障やメンテナンスなど、何らかの原因で停止した場合、システム全体がまったく利用できなくなる。e-Learning システムに限らず、一般にクラ

クライアントサーバシステムでは、高機能かつ高価なサーバ機を導入せずにこれらの問題に対処するために、複数のサーバを用意してプロキシを導入する方法が利用される。プロキシはクライアントから要求を受けると、適当なサーバを選んで以後の処理を任せる。このとき、負荷が均等になるようにサーバを選択することで、サーバのCPUに対する負荷集中には対処できる。しかしサーバ群の属するネットワークへの負荷集中は軽減されない。また、プロキシという集中的要素がシステムに導入されているため、(2)の問題は残されている。すべてのサーバが同時に停止しない限りサービスは提供できるので、サーバの停止に対する耐性は有しているが、今度はプロキシが停止した場合にシステム全体が利用できなくなってしまう。

研究代表者らは、これまでに、集中的要素を持たず、上記(1)、(2)の問題を両方解決する分散型e-Learningシステムを開発した。このシステムでは、学習者が使用するコンピュータは、ブラウザ上に問題を表示して学習者に解答させるだけではなく、システム内に存在する問題のうち一定量を預かり、他の学習者からの要求に応じて送り出す責任を負う。そして、学習者が自習を終えたとき、預かっていた問題を他の学習者のコンピュータに渡す。すなわち、システムを利用中の学習者のコンピュータはすべて、クライアントであると同時にサーバでもある。このシステムは、利用者の増減に応じてサーバ台数が増減するので応答時間が増大しないことが期待でき、一部のサーバが故障しても、残ったサーバによってサービスが継続提供されるので信頼性が高い。すなわち、分散型e-Learningシステムは上記(1)、(2)の問題を両方解決したシステムと言える。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高価なサーバ機や大容量ネットワーク設備への投資を行うことなく、多数の学生が同時に利用できるe-Learningシステムを開発することである。

これまでに、分散型e-Learningシステムの基礎的な部分は開発済みで、研究代表者の属する大学の計算機実習室において、情報処理技術者試験の過去問題を、最高80名程度の学生に学習させる実証実験を行い、良好な結果を得ている。しかし、分散型e-Learningシステムを学生が自宅から利用するためには、以下の2つの課題が残されている。

(1) 多様なネットワーク環境への対応(以後、目標1)

学生の自宅におけるネットワークは、光ファイバー、ADSL、携帯電話回線など様々な種類が用いられている。当然、回線速度も多様である。したがって、システム全体の応答速度

を高めるためには、すべての学生のコンピュータが平等にサーバ機能を分担するのではなく、回線速度に応じた分担が必要である。さらに、まったく分担しないコンピュータの存在も許容する必要がある。

(2) 回線断による学習コンテンツ消失への対処(以後、目標2)

これまでも、学習コンテンツの二重化は実現しているが、信頼性が低いネットワーク環境での利用を考慮すると、データベース装置を利用した、より確実なバックアップ手法が必須となる。

3. 研究の方法

最初に、(1)実験環境の構築、(2)アルゴリズム開発、(3)並列計算機上での実験を行う。

目標1を達成するための研究を実施するには、回線速度が異なる多様なネットワーク環境が必要だが、実際にそのような実験環境を用意することは極めて困難である。そこで、8ノードのBeowulf型並列計算機と、各ノードが利用できる回線帯域を制限することで、任意の回線速度を作り出せる回線帯域制限装置を中核とした、ネットワーク実験用システムを構築する。また、目標2に関する研究を行うために、信頼性の高いストレージと、それを駆動するデータベースサーバを中心とした学習コンテンツ保存用システムを構築する。

目標1については、まず回線速度を検出する手法を開発し、学習コンテンツを表現するモバイルエージェントに組み込む。次いで、派遣するエージェント数を動的に増減する手法を開発する。そして、全体の応答速度を高めるためには、回線速度に応じて学習コンテンツをどのように分布させるべきかを検討する。

目標2については、エージェントをメモリ上で動作している状態のままビットの集合として表現する手法、ビット集合に変換されたエージェントをデータベースに格納する手法、データベースからビット集合に変換されたエージェントを取り出し、メモリ上に復元する手法をそれぞれ開発する。

開発したアルゴリズムを上記の実験環境に組み込み、回線速度を変化させることでエージェントの分布がそれに応じて変化すること、および、ネットワークケーブルを外すなどにより人為的なネットワーク断を起こし、学習コンテンツが消失しないことを確認するための実験を行う。この実験を行うためには、実問題を多数用意しなければならない。そこで、情報処理推進機構が実施している情報技術者試験の過去問題を利用する。学生アルバイトを雇用し、Web上で公開されているPDF形式の問題から、開発システムが利用できるXML形式の問題を作成し、システムに登

録する。

次いで、開発したシステムを、多数のコンピュータがネットワークで結合された分散環境へ展開する。これは、以下のように2つのフェーズに分けて行い、段階的に進める。

① フェーズA

すべてのノードが同一セグメントに属し、ルータを介さずにパケットの送受信ができるものとする。これは、計算機実習室のような場所にシステム全体が設置されることを想定している。

② フェーズB

ノードが複数のセグメントに分散しており、ノードはプライベートアドレスを持つ場合があるものとする。これは、学習者が自宅から開発システムを利用することを想定している。現在、事業所や家庭ではプライベートアドレスを用いてLANを構築し、NAT機能を持つルータによって外部と接続することが一般的に行われている。このような状況で分散型 e-Learning システムを利用するためには、外部からはプライベートアドレスが割り振られた複数の機器の区別がつかないという問題を解決する必要がある。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

本研究では、分散型 e-Learning システムの多様なネットワークへの対応(目標1)と、データのバックアップ手法の開発(目標2)を目指した。

目標1、すなわち、LANではなくインターネットに広がった本格的な分散環境にシステムを展開させるために、低速なネットワークを考慮すること、プライベートアドレスを用いたノード間でエージェントを移動させる仕組みを開発した。

低速なネットワークの考慮は本研究の主要な成果であるが、このために、従来、分散型 e-Learning システムの各ノードはサーバとクライアントの機能を兼ねるもののみであったが、本研究において、従来のタイプに加えて、サーバ機能を持たないクライアントノードを実現した。クライアントノードは、採点も自ノードでは行わないものと、自分が学習している問題の採点を行うが、他の学習者向けの問題エージェントを引き受けて、他のノードに対してサービスする機能は提供しないものに分類できる。すなわち、ノードには3種類のタイプが存在する。これによって、ネットワークの回線速度やノードの性能に応じて適切なノードタイプを選ぶことができるようになった。

ノードに種類を設けたのは、低速なノードにシステム全体の律速となるような仕事を与えないようにしてシステムの応答速度を高めるのが目的であったが、それだけでは十

分な応答速度が得られない場合があることがわかった。特に問題となる、動画などのマルチメディアコンテンツに関しては、適切なサイズに問題エージェントを分割し、それらをシステム全体に分散配置することで性能向上をはかった。また、エージェントのキャッシュ手法を開発することにより、同じ問題を復習する場合など、一度学習者のクライアントノードに移動したことがある問題エージェントを再度移動させないようにすることで、全体的な応答速度を向上させた。

目標2については、問題エージェントをビット列に変換し(シリアライズ)、ファイルに格納する手法と、ファイルから読み込んだビット列をエージェントに再構成し(デシリアライズ)、シリアライズした直前から動作を再開させる手法を開発した。シリアライズした問題エージェントは、データベースサーバに格納される。エージェントが変化した際には、差分のみがデータベースサーバに格納される。これにより、回線断などによる学習コンテンツの消失が起こった際、データベースサーバから問題エージェントを再生することができるようになった。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

一般的な e-Learning システムでは、1台のサーバ機のみがすべての問題の提供と採点を行うので、同時に学習する学生が増えるほどサーバ機の負荷が増大し、応答速度が低下してしまう。その点、提案する分散型 e-Learning システムでは、学生が増えることはサーバ機能を分担するコンピュータが増えることを意味し、コンピュータ1台あたりの負荷は少なくなる。通常とは逆に、多人数が使えば使うほど応答速度が高まるのが本システムの優れた点である。これまでに、様々な e-Learning システムが開発されているが、分散型システムとして実用化されているものは未だ存在していない。本研究の成果は、分散型 e-Learning システムを実用化する場合に有効な知見であると考えている。

(3) 今後の展望

本システムは、大学のような公的教育機関だけでなく、学習塾や予備校などの教育産業での利用も想定している。そのような場で、授業を補完するための自宅学習をサポートすることは高いニーズを持つ。本研究の成果は、多額の設備投資が不可能な、地方の教育産業界において福音となるものであり、本研究が実用化された場合、地域の教育産業の活性化につながる可能性を有している。

今後は、同時利用する学生数を現実的な規模にした実証実験による性能確認や、問題の不正コピー対策、学生の成績情報流出防止対策など、セキュリティ面での強化が課題として残されている。

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9件)

- ① 東野 正幸, 高橋 健一, 川村 尚生, 菅原 一孔, キャッシュによるエージェントの移動効率化, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J96-D, No. 7, 2013, 採録決定
- ② Masayuki Higashino, Tadafumi Hayakawa, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Management of Streaming Multimedia Content using Mobile Agent Technology on Pure P2P-based Distributed e-Learning System, Proceedings of The 27th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 査読有, 2013, pp. 1041-1047
- ③ Masayuki Higashino, Tadafumi Hayakawa, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Multimedia Streaming with Caching on Pure P2P-based Distributed e-Learning System using Mobile Agent Technologies, Proceedings of The 2nd International Conference on Electrical Engineering and Computer Sciences, 査読有, 2013, pp. 661-669.
- ④ Masayuki Higashino, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Effective Mobile Agent Migration Mechanism on Load Distribution System, Proceedings of The 2nd International Conference on Electrical Engineering and Computer Sciences, 査読有, 2013, pp. 653-660.
- ⑤ Masayuki Higashino, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, DATA TRAFFIC REDUCTION FOR MOBILE AGENT MIGRATION, Proceedings of the 4th International Conference on Agents and Artificial Intelligence, 査読有, Vol. 2, pp. 2012, 351-354.
- ⑥ Tadafumi Hayakawa, Masayuki Higashino, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Management of Multimedia Data for Streaming on a Distributed e-Learning System, Proceedings of 26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 査読有, 2012, pp. 1282-1285.

- ⑦ Masayuki Higashino, Kenichi Takahashi, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Mobile Agent Migration Based on Code Caching, Proceedings of 26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2012, 査読有, pp. 651-656.
- ⑧ Kazunari Meguro, Daisuke Yamamoto, Shin-ichi Motomura, Toshihiko Sasama, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara, Management of Multimedia Contents for Distributed e-Learning System, Proceedings of International Conference on Computer, Electrical, and Systems Science, and Engineering, 査読有, No. 66, 2010, pp. 1430-1435.

[学会発表] (計5件)

- ① 早川 匡史, 東野 正幸, 高橋 健一, 川村 尚生, 菅原 一孔, 分散型 e-Learningシステムの運用とその評価, 電気・情報関連学会中国支部第63回連合大会講演 2012年10月20日, 島根大学.
- ② 早川 匡史, 東野 正幸, 高橋 健一, 川村 尚生, 菅原 一孔, モバイルエージェントを用いたP2Pシステムにおけるマルチメディアコンテンツのストリーミング配信手法, 第13回IEEE広島支部学生シンポジウム 2011年11月12日, 広島大学.
- ③ 東野 正幸, 高橋 健一, 川村 尚生, 菅原 一孔, WebSocketを用いたエージェントの移動プロトコルの提案, 電気・情報関連学会中国支部第62回連合大会 2011年10月22日, 広島工業大学.
- ④ 早川 匡史, 東野 正幸, 川村 尚生, 菅原 一孔, 分散型e-Learningシステムにおける断片化された動画コンテンツのスムーズなストリーミング配信手法の提案, 電気・情報関連学会中国支部第62回連合大会, 2011年10月22日, 広島工業大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

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