

モバイルエージェントに基づく P2P 型 e-Learning システム

川村 尚生[†] 菅原 一孔[†]

非同期の Web ベーストレーニングのための分散型システムを提案する。提案システムは、1) P2P ネットワークによって学習コンテンツを交換し、拡張性や耐故障性に優れている、2) 学習コンテンツが単なるデータではなくモバイルエージェントであり、答案を採点し、正解や解説を示すことができる、という特徴を持つ。提案システムを、モバイルエージェントシステム構築用プラットフォーム Maglog を用いて構築し、実験によって性能を評価した。

A Mobile Agent-based P2P e-Learning System

TAKAO KAWAMURA[†] and KAZUNORI SUGAHARA[†]

In this paper, we present a novel framework for asynchronous Web based training. The proposed system has two distinguishing features. Firstly, it is based on P2P architecture for scalability and robustness. Secondly, all contents in the system are not only data but also agents so that they can mark user's answers, tell the correct answers, and show some extra information without human instruction. We also present a prototype implementation of the proposed system on Maglog that is a Prolog-based framework for building mobile multi-agent systems we have developed. Performance simulations demonstrate the effectiveness of the proposed system.

1. はじめに

e-Learning とは、コンピュータを利用した学習の総称であり、使用するメディアの違い、複数の学習者がいっせいに同期的に学習するか、あるいは非同期的に学習するか、教師がシステム中に存在するか否かといった点から様々な分類できる。本論文では、このうち、非同期型 Web ベーストレーニング（以後、WBT と略す）と呼ばれるものを対象とする。WBT では、学習者は自分の好きな時間にネットワークを通じて配信される問題に取り組み、その場で採点を受け、正解や解説を得ることができる。WBT に関しては、これまでに様々な研究が報告されているが^{1),2)}、それらはすべて、学習者が Web ブラウザから Web サーバにアクセスするものであり、クライアントサーバモデルに基づいている。しかし、クライアントサーバモデルは、サーバへ負荷が集中することから、拡張性や頑健性に問題がある。非同期型 WBT においても、システムを使う可能性のある学習者が多数存在する場合、シ

ステムを同時に使用する人数も多くなり、サーバへの負荷集中が問題になる。最近、サーバへの負荷集中を避けるために、すべてのクライアントがサーバの役割も兼ねる P2P システムの研究がさかんになってきている^{3)~5)}。

本論文では、P2P 型の WBT システムを提案する。学習者のコンピュータ（以後、ノードと呼ぶ）がシステムに接続すると、学習コンテンツの何分の 1 が他のノードから移動してくる。そして、各ノードはクライアントとしてだけでなく、他のノードへ適切な学習コンテンツを送り出すサーバとしても機能する。提案システムのもう 1 つの特徴は、学習コンテンツが単なるデータではなくエージェントであり、答案を採点し、正解や解説を示すことができることである。

以下、我々の開発しているエージェントシステム構築用プラットフォーム Maglog⁶⁾ を用いて構築した提案システムを説明し、実験による性能評価を示す。

2. 提案システム

2.1 概要

学習者は任意の時間に自分が使用するノードを提案システムに接続し、送られてくる問題を解くことによ

[†] 鳥取大学工学部

Faculty of Engineering, Tottori University

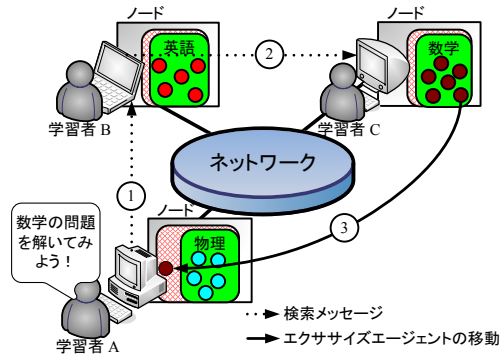


図 1 提案 e-Learning システム
Fig. 1 Proposed e-Learning system.

り自習を行う。システム内にはカテゴリに分類された問題が多数存在しており、学習者はカテゴリを指定することで、そのカテゴリの問題を次々に得られる。また、学習者は個々の問題について、答案の採点および正解や解説の表示を求めることができる。システムに接続している間、ノードはいくつかのカテゴリを担当する。すなわち当該カテゴリに属するすべての問題を保持しており、他のノードからの求めに応じて適切な問題を送り出す責任を負う。ここで重要な点は、各ノードが担当しているカテゴリは、そのノード上で学習者が解いている問題のカテゴリとは無関係であるということである。図 1 は、物理を担当しているノード上の学習者が数学の問題を解こうとしている様子を示している。どのノードがどのカテゴリを担当しているかは各ノードにとっては未知であり、この例においては、一度英語を担当しているノードに送られた要求が、数学を担当しているノードに転送されている。

2.2 P2P 型システムとしての側面

システムが最初に起動したときには、単一の初期ノードがすべてのカテゴリを担当している。新しいノードは、システム内のある 1 つのノードに対して参加要求を行い、そのノードが担当しているカテゴリのうち約半数を受け取る。ノードがシステムから離脱するときは、隣接ノードのいずれかに担当していたカテゴリを渡す。このようにして、カテゴリはシステムに参加しているノード間で動的に分散される。カテゴリの授受には、そのカテゴリに属している問題の授受も含まれる。

Napster, Gnutella, Freenet などの既存の P2P 型ファイル共有システムは、各ノードが所有しているファイルを共有することが目的であり、ファイルは元々分散しているのに対し、提案システムにおいては、カテゴリが最初は単一ノードに集中管理されていること

は注意を要する。つまり、提案システムでは新規参加ノードに対して担当すべきカテゴリの位置情報だけを渡すのでは不十分で、カテゴリそのものを問題ごと渡さなければならない。この点を考慮すれば、提案システムの P2P ネットワークは分散ハッシュテーブルの一種である、Content-Addressable Network³⁾ (以後、CAN と略す) を用いて構築することができる。

CAN では (キー, 値) のペアを格納するための仮想座標空間がいくつかのゾーンに分割され、ゾーンはノードによって所有される。 (K_1, V_1) を格納する際には、ハッシュ関数によってキー K_1 に対応する点を求め、その点が含まれるゾーンを担当しているノードに (K_1, V_1) を格納する。キー K_1 を持つ値を取り出すときも同じハッシュ関数によって対応する点を求め、その点が含まれるゾーンを担当しているノードから値を取り出す。提案システムでは、カテゴリをキーとし、そのカテゴリに属する問題の集合を値とする。また、CAN では、値として実際のデータの位置情報を使用するのが一般的だが、提案システムでは先に述べたように、位置情報ではなく、問題集合そのものを値とする。

2.3 モバイルエージェントシステムとしての側面

WBT システムを分散システムとして実現するには、問題を分散させるだけでは不十分で、その問題に対する答案の採点機能、正解や解説の表示機能も分散させる必要がある。したがって、提案システムでは、問題を単なるデータではなく、データに関連したプログラムを持ち、ノード間を移動するモバイルエージェントとする。加えて、カテゴリもモバイルエージェントとすることで、カテゴリをノード間で受け渡すことをカテゴリに対応するエージェントの移動で実現できる。

3. 実 装

提案システムを Maglog 上に実現した。ノードは下記のエージェントおよびユーザインタフェースプログラムから構成される。

ノードエージェント 各ノードに 1 つ存在し、CAN のゾーン情報を管理する。

カテゴリエージェント カテゴリごとに存在し、エクササイズエージェントを管理する。

エクササイズエージェント 問題ごとに存在し、問題データと、その採点を行い、正解や解説を表示するプログラムからなる。問題や解説などのデータは HTML で保持されている。

インタフェースエージェント 各ノードに 1 つ存在し、ユーザインタフェースプログラムと他のエージェント間の通信を実現する。

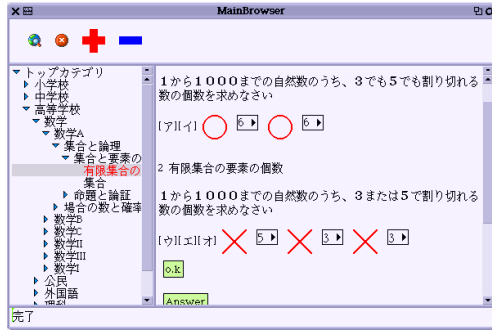


図 2 答案の採点

Fig. 2 User's answers are marked as correct or incorrect by clicking the submit button.

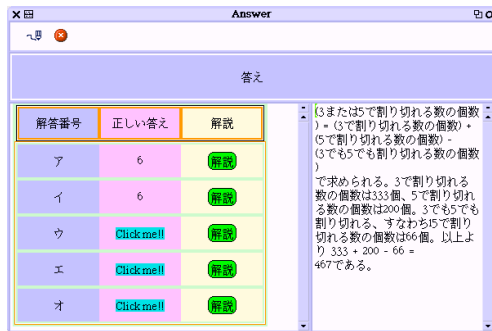


図 3 正解と解説の表示

Fig. 3 Correct answers and extra information are shown by clicking the answer button on the screen shown as Figure 2.

ユーザインタフェースプログラムは Squeak 上で動作する Web ブラウザ Scamper を拡張して実現した。

各エージェントおよびユーザインタフェースプログラムは Maglog の提供する「フィールド」によって通信する。フィールドはここでは優先順位付き待ち行列と見なすことができる。各エージェントは自分用のフィールド経由で受信したメッセージを実行する動作を繰り返す。また、ユーザインタフェースプログラムは XML-RPC によってフィールドを読み書きできる。

図 2 と図 3 は提案システムを使用している様子を示している。学習者はカテゴリをマウスの右ボタンでクリックすることで、そのカテゴリに属する問題を要求する。いずれかのノードからエクササイズエージェントが来て問題が表示されるので、問題に取り組んだ後、図 2 のように採点を受けたり、図 3 のように正解や解説を見たりすることができる。

4. 性能評価

Pentium4 2.4GHz, メモリ 512MB のコンピュータ

8 台を 100Mbps のイーサネットに接続した実験環境で、実装したシステムの性能評価を行った。

表 1 に示す実験条件の下、各ノードがランダムに選んだカテゴリの問題を同時に検索する場合における検索時間を調べた。600 秒間のシミュレーションを 10 回繰り返し、その平均をとって 1 回あたりの検索時間を求めた結果を図 4 に示す。図 4 中の分散システムとは、各ノードが 1 カテゴリずつ保持した場合で、提案システムにおいて理想的にカテゴリが分散された状況に相当する。また、集中システムとは 1 つのノードだけがすべてのカテゴリを保持した場合である。これは既存のクライアントサーバモデルと同一ではないが、負荷が集中した際の振舞いに関して同傾向を持つと考えられるので比較対象とした。検索頻度が増えるに従って検索時間は増大するが、図 4 は、集中システムに比べ分散システムでは増加の割合いはるかに低く、学習者が増加した場合の性能低下が抑えられること、すなわち拡張性に優れていることを示唆している。

表 1 実験条件

Table 1 Experimental conditions.

ノード数	8
カテゴリ数	8
1 カテゴリあたりの問題数	50
検索頻度 [回/sec]	$\frac{1}{12}, \frac{1}{6}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}$

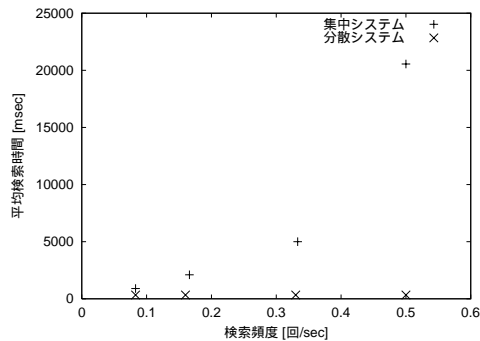


図 4 分散システムと集中システムにおける検索時間

Fig. 4 Comparison of concentrated and distributed systems in searching latency.

5. 関連研究

エージェントシステムのプラットフォームに関する研究はこれまでに多数報告されているが^{(7)~(9)}, P2P ネットワークを構築するための機能を提供するものはない。したがって、エージェントを用いた P2P 型のシステムはまだほとんど存在していない。PeerDB⁽⁴⁾ は

数少ない例外の1つであるが、エージェント技術はユーザからのデータベースへの問合せを支援することにのみ使われている。一方、提案システムではエージェント技術は採点等の対話機能だけでなく、システムそのものを動的に分散させるためにも使われている。

Edutella⁵⁾はRDF形式で表現された学習コンテンツに関する情報を交換するためのP2Pネットワークである。コンテンツの配布にP2Pネットワークを用いる点で提案システムと共通しているが、学習者に問題を解かせて答案を採点するといった対話性を持たない点で提案システムとは異なる。

6. おわりに

既存のWBTシステムはクライアントサーバモデルに基づいているため、拡張性や頑健性に問題がある。この問題を解決するために、P2Pネットワークとエージェント技術を用いた分散型WBTシステムを提案し、モバイルエージェントシステム構築用プラットフォームMaglog⁶⁾を用いて実現した。

実験結果は提案システムが既存のクライアントサーバモデルよりも拡張性があることを示唆しているが、これを実証するためには、台数を増やした場合や、検索条件を変えた場合など、様々な条件の下でさらに実験を行わなければならない。また、頑健性の検証、カテゴリの分散具合や移動シーケンス、学習者の主観評価といった観点から提案システムを評価することも今後の課題である。

謝辞 鳥取大学工学部の中谷亮介氏に感謝します。

参 考 文 献

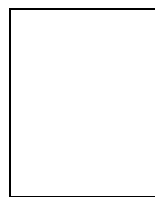
- 1) Helic, D. et al.: Implementing Project-Based Learning in WBT Systems, *World Conf. on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education*, pp. 2189–2196 (2003).
- 2) Homma, H. and Aoki, Y.: Creation of WBT Server on Digital Signal Processing, *Proc. of 4th Int. Conf. on Information Technology Based Higher Education and Training* (2003). Marrakech, Morocco.
- 3) Ratnasamy, S. et al.: A Scalable Content-Addressable Network, *Proc. of the 2001 Conf. on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, ACM Press, pp. 161–172 (2001).

- 4) Ng, W.S. et al.: PeerDB: A P2P-based System for Distributed Data Sharing, *Proc. of the 19th Int. Conf. on Data Engineering*, IEEE Computer Society, pp. 633–644 (2003).
- 5) Nejdil, W. et al.: EDUTELLA: A P2P Networking Infrastructure Based on RDF, *Proc. of the Eleventh Int. Conf. on World Wide Web*, ACM Press, pp. 604–615 (2002).
- 6) Kawamura, T. et al.: A Logic-based Framework for Mobile Multi-Agent Systems, *Proc. of Int. Conf. on Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems*, pp. 754–759 (2003). Boston, Massachusetts, USA.
- 7) Lange, D. B. and Oshima, M.: *Programming and Deploying Java Mobile Agents with Aglets*, Addison-Wesley (1998).
- 8) Tarau, P.: Inference and Computation Mobility with Jinni, *The Logic Programming Paradigm: a 25 Year Perspective*, Springer, pp. 33–48 (1999).
- 9) Satoh, I.: MobileSpaces: A Framework for Building Adaptive Distributed Applications using a Hierarchical Mobile Agent System, *Proc. of IEEE Int. Conf. on Distrib. Computing Systems*, IEEE Press, pp. 161–168 (2000).

(平成 16 年 9 月 15 日受付)

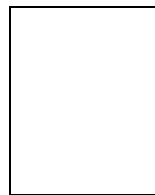
(平成 16 年 11 月 1 日採録)

川村 尚生 (正会員)



昭和 40 年生。平成 6 年神戸大学大学院自然科学研究科知能科学専攻博士課程単位取得退学。同年鳥取大学工学部知能情報工学科助手、現在、同学科助教授。エージェントシステムに関する研究に従事。博士(工学)。電子情報通信学会、ソフトウェア科学会、人工知能学会各会員。

菅原 一孔 (正会員)



昭和 31 年生。昭和 56 年東京工業大学大学院理工学研究科電子物理工学専攻修士課程修了。同年神戸市立工業高等専門学校電気工学科講師。同校助教授を経て、平成 6 年鳥取大学工学部電気電子工学科助教授、現在、同学部知能情報工学科教授。計算機工学に関する研究に従事。工学博士。IEEE、電子情報通信学会各会員。