

学 位 論 文 題 名

クライアント・サーバ型学習支援システムにおける 効果的知識利用法の研究

学位論文内容の要旨

計算機を用いた学習支援システムは計算機科学の歴史の上でも古くから研究が行われている研究分野である。近年では、計算機とネットワーク双方の技術の進歩から、それらを用いた学習支援システムの研究が盛んに行われている。計算機とネットワークを用いた学習支援システムの形態としては、教官-学習者間または学習者-学習者間のコミュニケーションを支援するシステム等の応用分野もあるが、本論文では計算機ソフトウェアによって学習者を指導する CAI や ITS 等と呼ばれるシステムにネットワークを利用する場合を対象とする。

CAI や ITS 等の学習支援システムは、人工知能研究の一分野である知識工学と密接に関わりがある。知識工学は計算機推論に必要な知識を推論アルゴリズム (推論エンジン) と分離した知識ベースとすることにより、複雑な問題解決システムを容易に構築するための技術である。学習支援システムにおける学習教材、あるいは学習者を評価するための診断知識は知識工学における知識とみなすことができ、学習支援システムは、知識工学的アプローチを用いた「知識処理システム」として構築することにより、より柔軟な学習支援を行うことが可能となる。さらにこのような学習支援システムにネットワークの適用を組み合わせた場合、複数の学習者に対する同時支援や、遠隔地の学習者に対する支援を行なえるなどの可能性が広がる。

ネットワークで結ばれた複数の計算機で 1 つの知識処理システムを構成する場合、知識をどのように配置・共有するべきかが重要な問題となる。本論文では、クライアント・サーバ型のネットワーク構成を対象とし、具体的な 4 つの学習支援システムの試作例を通して、運用効率・学習効果の双方の観点から効果的に働く知識の構築法について論じる。

まず、最初にプログラミング演習用流れ図作成支援システムにおける知識構造について報告する。このシステムでは、知識管理を容易にするため、流れ図の診断機能を「表記法診断」「論理性診断」「正解性診断」の 3 つに分類し、診断知識が課題の内容に依存する正解性診断のみをサーバ計算機に配置するサーバ・クライアント型としている。さらに、課題内容に依存する診断知識を特別な形式ではなく教官の扱いやすい流れ図そのものの形式で与えられるよう動的診断法を考案し、これを正解性診断に導入した。動的診断法は正解となる流れ図と学習者の流れ図を実際に行い、主要変数の値の変化を比較する診断アルゴリズムで、流れ図表記上の小さな差異の影響を受けにくい比較法である。この動的診断法の診断性能の評価を、実際の演習授業において学習者が提出したレポートを用いて行った。その結果、1 つの正解例流れ図を与えることで、大半の正解流れ図を診断することが可能であり、学生を指導する教官の労力軽減に有効であることが確認された。一方この実

験によって、現在の動的診断法による誤り原因の推定は不正確であり、今後原因推定のアルゴリズムを改良していく必要があることも明らかとなった。

次に、知識ベース仮想実行環境制御 (VEEC) 向けの知識ベース構築法について報告する。VEEC とは通信路による応答遅延を軽減させる遠隔知識ベース実行方式である。VEEC では、知識ベースを独立実行可能な部分知識ベース「ソース」の集合として構築し、これをサーバ計算機からクライアント計算機へ順次転送し、クライアント計算機上で中断なく実行することにより 1 つの知識ベースとして動作させる。利用者の思考時間を利用して次に実行される可能性のあるソースを予めクライアント計算機に先取り転送することで、クライアント・サーバ間が衛星通信のような遅延の大きな通信路である場合の応答性能の低下を軽減することができる。この方式で知識ベースを実行するためには、知識ベースを VEEC 上で実行可能なソース群として構築する必要がある。本論文では、一般的な VEEC 非対応知識ベースからルールの実行順序を記述するルール探索グラフを生成し、得られたルール探索グラフを元に知識ベースのソース分割を行うアプローチを取った。ルール探索グラフ生成に対しては、知識ベースのインタフェース部分と推論エンジンを探索グラフ生成用のモジュールと置き換えることにより、人手によらず計算機上で自動的にルール探索グラフを生成する方法を検討し、プロトタイプシステムにより、実際にルール探索グラフが得られることを確認した。次に、知識ベースをソース分割する手法に対しては、まずインタフェースルールを中心に最小のソース「単位ソース」を生成する手法を検討し、さらにより効果的に VEEC が動作するよう知識ベースの利用状況に応じてグループ化することを確認した。そして、実際に作成されたソースを衛星通信を用いた実験によって評価を行い、グループ化の有効性を確認した。

3 番目に、VEEC の先取り転送制御を WWW アクセスに応用した簡易システムである WWW 仮想アクセスについて報告する。まず、WWW アクセスに対して先取り転送を適応するための方法を検討し、実際の衛星通信を用いた評価実験を行い、応答性能が向上することを確認した。さらに、先取りの効率を高めるために、WWW ページを利用状況に応じて参照頻度の高い WWW ページを優先的に先取りを行う頻度優先戦略による知的先取り制御について検討を行い、実際の衛星通信を用いた性能評価により、その効果を確認した。

最後に、VEEC を発展させユーザ適応動作を可能とした分散型知識ベース実行方式 JVEEC について報告する。JVEEC は独立実行可能な部分知識ベースであるアクティブノードとその実行順序を記述したコンテキストグラフで知識ベースを構成することにより、VEEC 同様の応答性能の高さを実現するとともに、さらにコーザルネットワークを用いた利用者の理解状況推論を加えることで、利用者の不得意なトピックを重点的に反復学習する適応化機能を実現している。まず、PHS を用いた移動体通信環境における性能評価により、JVEEC が先取りによって良好な応答性能を示すことを確認した。そして、実際に学生にこの知識ベースの適応化機能を用いて学習を行わせ、その実行履歴を検証することで、その適応動作が妥当であることを確認した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 青 木 由 直

副 査 教 授 梶 内 香 次

副 査 教 授 北 島 秀 夫

副 査 教 授 山 本 強

副 査 教 授 藤 原 祥 隆 (北見工業大学工学部)

学 位 論 文 題 名

クライアント・サーバ型学習支援システムにおける

効果的知識利用法の研究

計算機を利用した学習支援システムの研究は1960年代より様々な分野で行われている。この中、人工知能の技術を取り入れ高度の学習者支援を目指すシステムはICAI (Intelligent Computer-Aided Instruction) システム或いはITS (Intelligent Tutoring System) と呼ばれ、近年活発に研究が行われている。一方 LANやインターネットなどのネットワーク技術の発展を基礎に、学習支援システムを分散型システムとして実現する試みが盛んである。本論文は分散型システムの代表的な技術の一つであるクライアント・サーバ技術と、応用人工知能技術と位置付けられている知識工学の技術を融合させたICAI型の学習支援システムに関するものである。本論文はとくにシステムの性能向上のための効果的な知識利用法に焦点を合わせた研究結果について述べている。すなわち、プログラム演習支援と遠隔学習支援のカテゴリに分類される4つの学習支援システムを取り上げ、その効果的な知識利用法の提案と実験による検証結果を述べている。

第1章は序論であり、本論文の研究が行われるに至った背景と目的を述べ、全体の概要と構成を明らかにしている。

第2章では、プログラミング演習において、学習者が流れ図記法により記述したアルゴリズムを効果的に診断するための診断知識の構築法とその利用法を提案している。本手法の特徴は次の二つに要約される。(1) 診断知識を、流れ図記法の文法規則違反を診断する「表記法診断知識」、無限ループや構造的プログラミングの規則違反を診断する「論理性診断知識」、アルゴリズムの論理の誤りを診断する「正解性診断知識」に分類し、前者2つをクライアント、後者をサーバへ配置した診断機構とする。(2) 正解性診断では、正解を流れ図の形式で与え、これと学習者の記述した流れ図を着目変数の変化比較とプログラムスライシング技術を使用した動的診断法により診断する。これらの特徴により、本診断法は他の手法と比べ診

断知識作成のための負担が少ないという利点を持つ。さらに実際のプログラミング演習授業で学習者が作成した流れ図データを用い、上記診断法の誤り診断能力が十分実用的なものであることを検証している。

第3章から第5章では、先取り転送制御により遠隔学習支援システムの応答性を向上させる知識ベース仮想実行環境制御 (VEEC) と、その応用システム2種類の知識利用法について提案している。

第3章では、VEEC のための知識ベース構築法を提案している。VEEC においては知識ベースをクライアント計算機上の実行管理の単位であるソースと呼ぶ部分知識ベースの集合に組織化する必要がある。このソース群の構造は VEEC の性能に大きな影響を与えるため、いかにソースを組織化するかはきわめて重要な課題である。本論文ではプロダクションシステムにより構成された一般的な知識ベースから VEEC 上で実行可能なソース群を生成する自動化手法を提案している。さらに VEEC を効果的に動作させるために、知識ベースの利用状況に応じてソースをグループ化する手法を提案している。実際の衛星通信を用いた実験により、思考時間、ソース間の遷移確率といった利用者の知識ベース利用状況に合わせた上記のソースグループ化法がシステムの応答性向上に有効であることを実証している。

第4章では、第3章で述べた VEEC の先取り転送制御の考え方を WWW (World Wide Web) アクセスに応用した簡易システムである WWW 仮想アクセス方式を提案している。この方式は WWW クライアントが WWW アクセスを行いながら生成するページ探索グラフを利用した知的先取り制御を有しており、先取り転送を用いる他の WWW 高速化手法と比較しても効率の良い先取りを行えることを特長としている。フリーソフトウェアの WWW ブラウザを使用した実験によりこの知的先取り制御がシステムの応答時間短縮に効果的であることを確認している。

第5章では、第3章で述べた VEEC を発展させ、ユーザ適応化動作を可能にした分散型知識ベース実行方式 (JVEEC と記す) の応答性能評価を行っている。JVEEC の知識ベースは独立動作可能な部分知識ベースであるアクティブノードとそれらの実行順序を記述したコンテキストグラフとから構成される。この方式はクライアント計算機に置かれたコンテキストグラフによる先取り転送と、アクティブノードの実行順序入れ替えによる適応化動作を特徴としている。本論文では、PHS を用いた移動体通信環境により実施した実験により JVEEC による応答性能向上効果を検証している。

第6章は結論であり、本研究の総括を行っている。

このように、著者は本論文において知識工学の技術を利用したクライアント・サーバ型の4つの学習支援システムに関する効果的な知識利用法について提案し、その有効性を実験により確認している。

これを要するに、著者はクライアント・サーバ型の学習支援システムの分野において新知見を得ており、情報メディア工学ならびに知識工学に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。