

マルチエージェントに基づくやさしい ビデオ会議システムの設計と実装

菅 沼 拓 夫^{†,☆} 藤 田 茂[†] 菅 原 研 次[†]
木 下 哲 男^{††} 白 鳥 則 郎^{††}

本論文では、やさしいネットワークの概念に基づくやさしいビデオ会議システムの機能を提案し、その試作を通して、提案した機能を評価する。やさしいビデオ会議システムは、家庭やオフィス等で用いられる小形コンピュータやインターネット/LAN等の、必ずしも資源が十分でない環境下において、一般利用者によるビデオ会議の利用時の負担を軽減することを目的としている。そこで、やさしいビデオ会議システムは、1) 利用者要求および計算機資源の状況に応じたシステムの自律的構成、2) 会議中のQoSの自律的調整、および、3) システムの自律的再構成の機能を持つ。これらの機能を評価するために、マルチエージェント指向アーキテクチャを採用したやさしいビデオ会議システムのプロトタイプを試作し、実験を行った。その結果、エージェント間の協調動作により、やさしい機能が実現可能であることが確認され、提案した機能の有効性が検証された。

Flexible Videoconference System Based on Multiagent-based Architecture

TAKUO SUGANUMA,^{†,☆} SHIGERU FUJITA,[†] KENJI SUGAWARA,[†]
TETSUO KINOSHITA^{††} and NORIO SHIRATORI^{††}

In this paper, we propose the functions of a flexible videoconference system based on the concept of flexible network and evaluate the proposed functions by implementing a prototype of the flexible videoconference system. The flexible videoconference system aims to reduce the burden of the users under the operational environment with insufficient computational resources such as an internet/LAN environment with the small-scale computers at home and offices. To do so, the flexible videoconference system has the following three functions, i.e., 1) autonomous system generation based on both the users' requirements and the resource conditions, 2) autonomous control of the QoS, and 3) autonomous system reconfiguration. To evaluate the proposed functions, we design and implement a prototype of the flexible videoconference system based on an agent-based architecture. According to an experiment on this prototype, we show that the proposed functions can be realized by the cooperation of various agents of the prototype, and the proposed functions can help the users effectively.

1. はじめに

インターネット等のネットワーク技術の普及にとともに、動画像や音声等のマルチメディアを応用したビデオ会議システムの利用が一般的になってきている。

これまでのビデオ会議システムの開発・研究は、大きく2つのタイプに分類される。1つは、高性能の表示機能やマルチメディア処理専用ハードウェアを持ったコンピュータと、広帯域のデジタル通信回線を利用して、臨場感の高い高度なビデオ会議機能を実現するための研究である。もう1つのタイプは、現状のネットワーク環境で利用できるCU-SeeMe¹⁾やvic²⁾、nv³⁾等の実用指向のビデオ会議システムである。後者のビデオ会議システムでは、画像サイズやフレームレート等の性能の変更の柔軟性に欠けたり、それらが可能だとしても、コンピュータやネットワークの十分な知識を持つとは限らない一般利用者がそのような調整を行うことが困難である等の、利用しやすさに関する問題

[†] 千葉工業大学情報工学科

Department of Computer Science, Chiba Institute of Technology

^{††} 東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

[☆] 現在、東北大学電気通信研究所

Presently with Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

点が残っている。このように、利用者要求の多様性にあわせて、機能や性能を変更可能であるというシステムの可塑性、いわゆる「やわらかさ」を実現することにより、これまでより使いやすいビデオ会議システムを実現することができる。

十分な性能を持った無限の資源を有する環境を利用して、多様な利用者要求を満足させるには、想定される限りの多数の機能を、かつそれぞれが十分に高性能である機能をビデオ会議システムで実現すればよい。一方、有限の性能の計算機と有限の通信容量を、多数の利用者で共有するネットワーク環境を利用する場合、利用者要求と動作状況から妥当な機能・性能を動的に提供するシステムの「やわらかさ」は有効であり、これは将来のネットワーク社会で利用するためのビデオ会議システムをより使いやすくするうえで重要な要素になる。

本論文では、必ずしも性能や資源が十分でないネットワーク環境下で、コンピュータやネットワークの十分な知識を持つとは限らない一般利用者が、ネットワークの動作状況に応じた妥当な QoS で利用できる、やわらかいビデオ会議システムを設計し、その試作を通して、やわらかさの有効性を示すことが目的である。

具体的には、論文 4) で提案されているやわらかいネットワークの概念をガイドラインとして、本論文では、ビデオ会議サービスを分析し、利用者要求をビデオ会議システムの機能・性能に変換する機能、およびコンピュータやネットワークの動作状況を監視する機能を設計する。次に、これらの状況に対応して必要となるビデオ会議システムの機能・性能を実現するために、その機能部品の組合せを構成したり再構成したりするための領域知識を定式化する。そして、この領域知識を、ADIPS フレームワーク⁵⁾が提供するエージェントの実行環境に実装し、エージェントシステムを動作させることにより、上記の目的を実現するやわらかいビデオ会議システムを試作し、そのやわらかさの有効性を示す。

本論文の構成は、2章でやわらかいビデオ会議システムの目標機能とそれを実現するための機能構成について述べ、3章でやわらかいビデオ会議システムを構成するエージェントを設計する。4章でエージェント間の協調によるやわらかさを実現する手法を提案し、最後に、5章で試作システムとその評価について述べる。

2. やわらかいビデオ会議システム

2.1 やわらかいビデオ会議システムの目標機能

本論文では多数の利用者が参加している必ずしも十

分な資源を持たないネットワーク環境下で利用されるビデオ会議システムを対象として、これに「やわらかさ」を実現する機能を組み込むことが目的となる。以下に本論文が対象とするビデオ会議システムに対する制約を示す。

(C1) 標準的デスクトップ型のパソコンやワークステーションを利用する。

(C2) インターネット等のように将来一般利用者に普及すると見られる TCP/IP をベースとした標準的なネットワーク環境を使用する。

(C3) コンピュータやネットワークの十分な知識を持たない一般利用者が、それぞれの利用目的、利用形態あるいはコストの制約のもとで、家庭やオフィス等の環境で利用する。

(C4) 1対1のビデオ会議を行う。

最後の条件 C4 は、本論文では利用者のビデオ会議システムの利用を支援するためのやわらかさの議論に焦点を絞るために加えた制約である。多対多のビデオ会議システムを支援するためのやわらかさの実現も重要な問題であるが、本論文では扱わないことにする。

これらのビデオ会議システムに対する制約のもとで、本論文では、利用支援に関する以下の3つの問題を対象とする。

(P1) システム起動時にそれぞれの利用者の利用者要求を充足するシステム機能・性能を自動的に設定する。

(P2) システムの利用中に、コンピュータやネットワーク回線の状況の変化や利用者の QoS 要求の変更にあわせて、システムが提供する QoS を調整する。

(P3) 上記の問題 P2 の調整が不可能な大きな変化が発生したとき、システムの機能部品を追加したり入れ替えたりして、利用者が妥当と考える QoS を実現する。

本論文では、上記の問題 P1, P2, P3 を解決するため、以下の目標機能、すなわち G1, G2, G3 を備えたやわらかいビデオ会議システムを実現する。

(G1) 要求に基づくビデオ会議環境の自律的構成機能
(G2) ビデオ会議セッション中における QoS の自律的調整機能

(G3) ビデオ会議セッション中における機能変更・追加のための自律的再構成機能

やわらかさは、一般的には、利用者要求の変化と動作状況の変化に対するシステムが提供する機能の可塑性によって定義される⁴⁾。しかし、これまで、その具体的な評価基準は与えられていない。そこで、本論文では、やわらかいビデオ会議の3つの目標機能 G1, G2, G3 により得られるやわらかさを、ビデオ会議に

対する利用者要求を実現する際の利用者の負担の軽減により評価することとする。すなわち、かたいビデオ会議システムでは、動作環境にあわせて利用者要求を最大限充足するシステムの設定に要する知識や作業は利用者が負担しなければならないが、やわらかいビデオ会議システムでは、利用者にとって不要な知識と作業はシステムが負担することにより、より容易に要求を実現することができる。本論文では、3つの日標機能 G1, G2, G3 を試作システムで実現し、上記の基準でやわらかさを評価する。

2.2 やわらかいビデオ会議システムの機能構成

やわらかいビデオ会議システムの目標機能を実現するために必要な機能群とその関係を、図1に示す。以下、図1の機能群により2.1節で述べた日標機能 G1, G2, G3 が、以下の(1), (2), (3)の機能によって実現されることを示す。

- (1) 要求に基づくビデオ会議環境の自律的構成機能
初期要求処理機能によって解析された利用者要求と、ネットワーク/システム状況監視機能から得られた資源状況から、ビデオ会議システムを新たに構成するためのタスク通知が通信サービスリポジトリ機能に送られ、最適なシステム構成を決定してからビデオ会議サービス処理機能に通信サービス機能が割り当てられることによって実現される。
- (2) ビデオ会議セッション中における QoS の自律的調整機能

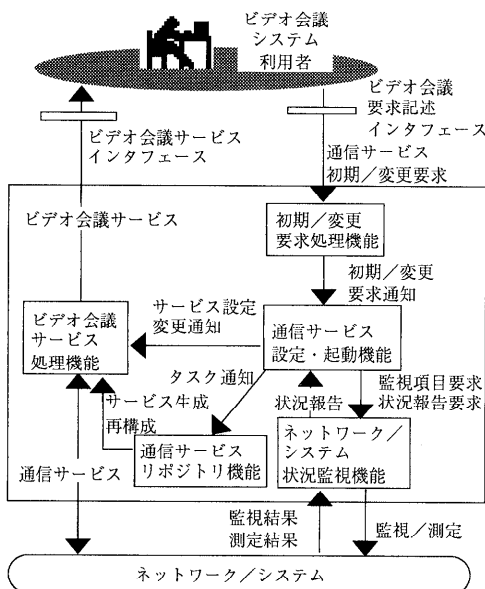


図1 やわらかいビデオ会議システムの機能構成

Fig. 1 Architecture of flexible videoconference system.

変更要求処理機能とネットワーク/システム状況監視機能からの報告に基づき、通信サービス設定・起動機能が適切な動作パラメータを導出し、ビデオ会議サービス処理機能に変更通知を送ることにより実現される。

- (3) ビデオ会議セッション中における機能変更、追加のための自律的再構成機能
変更要求処理機能とネットワーク/システム状況監視機能、通信サービス設定・起動機能の協調の結果、再構成要求を通信サービスリポジトリ機能に対して送り、ビデオ会議サービス処理機能と協調して新たな機能を生成し、それを既存の機能と置き換えたり、追加することにより実現する。

なお、通信サービスリポジトリ機能は、ビデオ会議サービス処理機能を構成する機能部品を蓄積し、通信サービス設定・起動機能の指示(タスク通知)に従って必要な機能部品を生成し、ビデオ会議サービス処理機能の組み込みと組換えを支援する機能である。

本論文では、上述した機能構成に基づくビデオ会議システムを構築するために、エージェント指向の概念に基づく新しい機能をビデオ会議システムに付け加える。

3. やわらかいビデオ会議システムの設計

3.1 ADIPS フレームワークを利用したやわらかいビデオ会議システムの設計

2章で提案したやわらかいビデオ会議システムの機能を実現するために、マルチエージェントシステム構築のプラットフォームとして提案されている ADIPS (Agent-oriented Distributed Processing System) フレームワーク⁵⁾を利用した。ADIPS フレームワークでは、クラスエージェントを管理するリポジトリ AAR とこれから生成されるインスタンスエージェントの動作環境 AWS が提供されている。また、ADIPS フレームワークのエージェントは、DK, PM, CM という3種類のモジュールから構成される。ADIPS フレームワークを利用してエージェント指向システムを開発する利用者は、次の3つの開発作業を行うことが必要である。

- (1) クラスエージェント機能の開発: 再利用可能な抽象部品としてのクラスエージェントを設計する。クラスエージェントには実現可能な機能とそれを部分機能に分割するための知識を手続き的表現で記述し、領域知識ベースモジュール DK に格納する。
- (2) インスタンスエージェント機能の開発: 動作環境

AWS でベースプロセスや他のインスタンスエージェントを管理するインスタンスエージェントを設計する。そのためには、ベースプロセスの操作/監視方法に関する知識、およびインスタンスエージェント間の協調用知識を手続き的表現で記述し、クラスエージェントの DK に格納する。これらの知識はインスタンスエージェントが AWS に生成された後、クラスエージェントから継承され利用される。また、ベースプロセスの修正あるいは新規作成を行い、プロセス制御モジュール PM とのインタフェースを実装する。

- (3) User エージェントと Sensor エージェント機能の開発：利用者要求を獲得するエージェントとして User エージェントを、また資源の監視を行うためのエージェントとして Sensor エージェントを、それぞれ設計する。User エージェントには利用者とのインタラクションを行うための知識を、また Sensor エージェントには資源監視のための経験的知識を、手続き的表現で記述し、DK に格納する。

ADIPS フレームワークを用いてやわらかいビデオ会議システムの開発作業を行ううえで、以下の設計作業が必要となった。

- (1) クラスエージェント機能の汎用的記述：クラスエージェントは、いろいろな分散アプリケーション（たとえばビデオ会議システム）により共有される機能部品として利用される。したがって、そのクラスエージェントが実現可能な機能の記述を、より広範な要求に対応できる表現で記述する。このために、機能記述の抽象化および場合分けにより、多様な要求表現へ対応できるように工夫している。
- (2) インスタンスエージェントのベースプロセスとのインタフェース機能の実装：インスタンスエージェントが制御するベースプロセスは、C++等で新規にプログラミングされるか、既存プログラムを修正して利用される。処理機構 PM は、起動時あるいは実行中に、DK に蓄積された利用知識を用いて、このベースプロセスを制御/監視する。したがって PM と新規/既存プロセスとのインタフェースを統一化することにより、インスタンスエージェント開発の効率化が行えるように工夫している。
- (3) QoS 制御パラメータの実現：ベースプロセスは、可能な限り多くの QoS 制御が可能のように、システムパラメータを PM から制御可能となるよう

に、設計/修正を行い、このパラメータの利用条件、方法を、インスタンスエージェントの利用知識、クラスエージェントの機能記述の多様性に反映するよう工夫した。

これらの設計作業によって得られた、やわらかいビデオ会議システム概念構成を図 2 に示す。

エージェントリポジトリ AAR には、ビデオ会議システムを構成するためのベースプロセス群の設計・運用知識を表現したクラスエージェント群が格納される。また動作環境 AWS は、AAR から生成されたインスタンスエージェントが組み合わせられ、動作する環境である。図 2 に示したエージェントの設計詳細とその協調動作は、以下の節で述べる。なお、エージェント名の表記法として、クラスエージェントは大文字で始まる文字列により、またインスタンスエージェントは小文字で始まる文字列により、それぞれ表記している。

3.2 クラスエージェントの機能

Tv-Conf-Manager エージェントは、ビデオ会議システム全体の構成を行うためのクラスエージェントである。ビデオ会議システムの構成要素を同定するための知識、および各システム資源分配のための知識を駆動し、選択されたエージェント集合に対してタスク通知を発行する。

Video, Audio, および Whiteboard の各エージェントは、ビデオ会議を実現するサービス要素である、動画通信、音声通信、ホワイトボード機能に対応したメディア担当エージェントである。Tv-Conf-Manager から送られたタスク通知の伝搬、および各プリミティブエージェントから返された入札の評価を行う知識を保持する。

プリミティブエージェントは、各ベースプロセスの動作、仕様に関する知識を保持するエージェントである。動画通信プロセスである vic²⁾、nv³⁾、vtalk をそれぞれ制御する Vic エージェント、Nv エージェント、Vtalk エージェント、音声通信プロセスである vat⁶⁾ を制御する Vat エージェント、ホワイトボード機能プロセスである wb⁷⁾ を制御する Wb エージェントから構成される。これらのエージェントは、DK 内に、各動作パラメータとその値、およびそのパラメータを指定した場合の送信側/受信側の CPU 利用率、ネットワーク利用状況等をフレーム形式で表現した性能知識を保持する。これらを基に、タスク通知の条件との一致の度合いを示す評価値を算出し、入札を生成する。これらの記述例は、5 章で示す。

3.3 インスタンスエージェントの機能

プリミティブエージェントのインスタンスエージェ

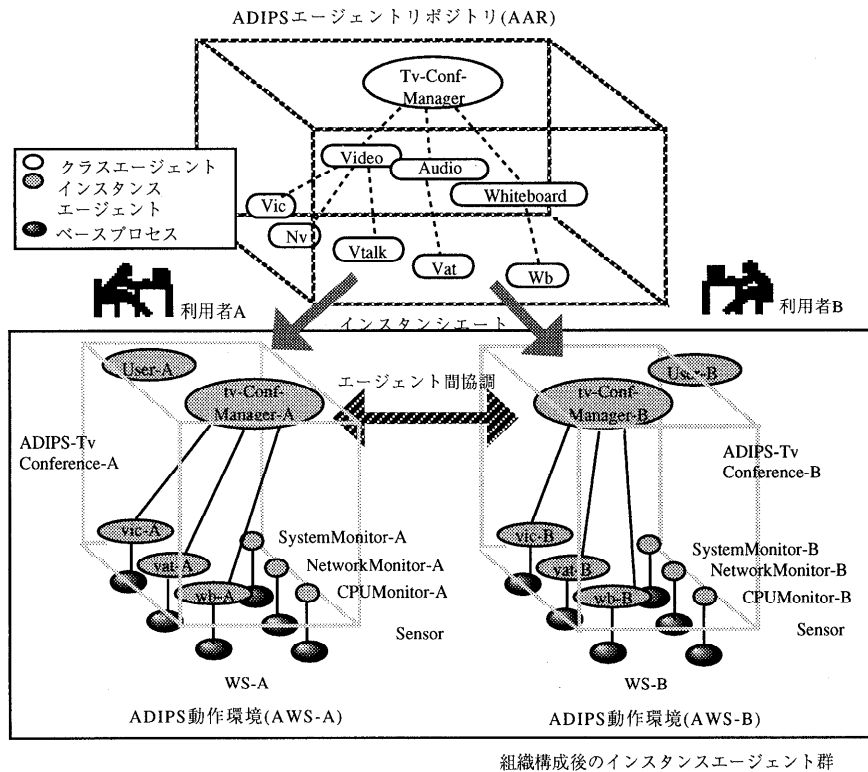


図2 やわらかいビデオ会議システムのエージェント指向アーキテクチャ
 Fig.2 Agent-based architecture of flexible videoconference system.

ントは、DK 部に、それぞれに対応するクラスエージェントの性能知識を複製して保持しており、各ベースプロセスの動作状況の監視、理解を行う際に利用する。またこれらは、ベースプロセスを操作/監視するために必要なベースプロセス依存のアクション系列をPMの知識として保持する。たとえば、vic ベースプロセスは、Tcl/Tk⁸⁾言語によりインタフェースが作成されており、Tkの提供するTcl/Tkインタプリタ間通信機能を利用して外部からのプロセス制御が可能である。したがって、vicプロセスのプリミティブエージェントであるvic-{A,B}は、この通信機能を利用したvic制御用のアクション系列を保持し、他のエージェントからの動作パラメータ変更動作要求通知に応じて対応するアクションにマッピングすることによりベースプロセス制御を実現している。

ADIPS-TvConferenceは、利用者ごとのビデオ会議サブシステムを管理、運営するエージェント組織である。ADIPS-TvConference間では、ビデオ会議中に発生する変化に対処するために、協調動作を行うための通信が行われる。協調を実現するための知識は、ADIPS-TvConferenceで中心的なエージェントとして動作するTv-Conf-Managerのインスタンスエージェ

ントが保持する。

3.4 Sensor エージェントと User エージェントの機能

計算機資源、ネットワーク資源等を監視するエージェントを総じてSensorエージェントと呼ぶ。Sensorエージェントは、資源情報監視用のプロセスをベースプロセスとして保持し、資源監視を行う。また、他のエージェントとの契約関係に応じてイベントを通知する。計測のインターバルを変化させるための知識、過去のデータをどれだけ保持するべきかに関する知識等を保持している。

CPUMonitorは、Unix標準コマンドであるsarコマンドをベースプロセスとして利用しており、CPU利用率を提供する。NetworkMonitorは、ネットワーク帯域監視用コマンドであるnetperfをベースプロセスとして利用しており、ネットワークのスループットをbps単位で提供する。SystemMonitorは、OSのバージョン、ハードウェア/ハードウェアのインストール状況等の、静的なシステム資源情報を監視しているエージェントである。

User エージェントは、利用者インタフェースを制御し、それを通じてビデオ会議に対する初期利用者要

求・変更要求を獲得する。また、Tv-Conf-Manager から送られる入札通知や、その他のエージェントからのメッセージを利用者に提示する働きをする。

4. エージェント間協調によるやわらかさの実現方法

4.1 ビデオ会議システムの自律的構成方法

2章で述べた、やわらかいビデオ会議システムの目標機能の1つである、ビデオ会議開始時における自律的なシステム構成決定/起動機能の実現方法を以下に示す。

(1) 利用者要求の獲得

User エージェントは、利用者インタフェースを提示し、ビデオの画質、なめらかさ、音声の品質等の要求値やそれらの間の要求優先度等を利用者より獲得し、タスク通知として、エージェントリポジトリ (AAR) 内の Tv-Conf-Manager エージェントに伝える。

(2) メディア担当エージェントの選択

すべての利用者の User エージェントからタスク通知を受けた Tv-Conf-Manager は、Sensor エージェント群との協調により各資源状況に関する情報を得る。次に、利用者要求から判断し、必要となるメディア担当エージェント (Video, Audio 等) を選択する。また、品質に対する利用者の要求値と優先度、および資源状況から、各メディア間の資源割当てを決定し、タスク通知を生成、選択されたエージェントに対して送信する。

(3) 要求の伝搬

タスク通知を受けたメディア担当エージェントは、SystemMonitor エージェントとの協調により、各 AWS 上で利用可能なベースプロセスを調査する。その情報からタスク通知を伝搬させるプリミティブエージェントを特定し、Tv-Conf-Manager からのタスク通知を伝搬させる。

(4) 要求の受理可能性の評価

各プリミティブエージェントは、利用者要求および資源状況が記述されたタスク通知の内容と、DK 内に記述された性能知識とを参照して、入札するかどうかの判断を行う。入札には、パラメータの選択内容と、その評価値が記述される。評価値は、どれだけ要求を充足可能かをポイントとして表現したものである。

(5) プリミティブエージェントの決定

入札を受けたメディア担当エージェントは、最も高い評価値を返したプリミティブエージェントを、落札通知発行の候補とし、選択されたプリミティブエージェントとそのパラメータ指定の情報を付加した入札

を Tv-Conf-Manager に伝搬する。この入札は User エージェントを介して利用者に伝えられ、利用者の承諾を得た場合、組織構成が決定される。

(6) エージェント組織の構成

利用者の承諾を受けると、落札通知が、User エージェント、Tv-Conf-Manager、メディア担当エージェント、プリミティブエージェントの順で伝搬される。落札を受けたエージェントは、インスタンスエート処理を行い、AWS 上に知識をロードし、インスタンスエージェントを生成する。

(7) ビデオ会議プロセス起動

プリミティブエージェントであるインスタンスエージェントは、以上の動作により決定されたパラメータに基づき、PM に記述された各ベースプロセス依存のアクション系列を駆動し、ベースプロセスの初期化、起動動作を行う。これにより、ビデオ会議が開始される。

以上の方法により、利用者要求と資源状況をリアルタイムで把握し、それに応じた最適な組織を、非常に多くのシステム構成の選択肢の中から自律的に構成することが可能となる。

4.2 利用者要求やシステム資源状況の変化に対する QoS の自律的調整方法

やわらかいビデオ会議システムの目標機能の1つである、ビデオ会議セッション中における利用者要求やシステム資源状況の変化に対する QoS の自律的調整機能の実現方法を、利用者要求の変化とシステム資源状況の変化の場合に分け、以下に示す。

(A) 利用者要求の変化に対する QoS の自律的調整方式

(1) 利用者要求の獲得

利用者からの要求変更が、利用者インタフェースを通じて User エージェントに伝えられる。

(2) ローカル AWS 内での対処

User エージェントは、要求変更を tv-Conf-Manager に対して伝える。tv-Conf-Manager はまず要求変更に対し、ローカル AWS 内で対応可能かどうかを判断する。ローカルでの対応が可能と判断された場合は、パラメータ変更要求をプリミティブエージェントに対して発行する。不能と判断された場合、リモート AWS 上の tv-Conf-Manager に対して、動作変更を要求する。

(3) リモート AWS への動作変更依頼と協調動作

要求を受けたりモート AWS 上の tv-Conf-Manager は、Sensor エージェント群および User エージェントとの協調により、判断の材料となる利用者要求やシステム資源状況等の情報を得て、リモート側で要求に対応可能かどうかを判断する。対応可能であれば、適切な

動作要求をリモート側 AWS 内のプリミティブエージェント群に対して発行する。また、リモート側の User エージェントの示す利用者要求に基づいて、ローカル側での対処が可能であると判断された場合、ローカル側の tv-Conf-Manager に対して逆要求を発行する。

変更要求に対して、拒否が示された場合、基となった利用者要求変更項目で高い優先度が示されている場合は、要求の制約条件を変更して再度変更要求を発行し、再交渉を行う。

(4) 処理の実行

エージェント間の交渉の結果、動作パラメータが変更された場合、その変更により要求が満たされたかの確認を tv-Conf-Manager 間で行う。満たされていない場合は、再度交渉を行う。

(B) システム資源状況の変化に対する QoS の自律的調整方式

(1) 資源状況変化の検知

Sensor エージェントが資源変化の許容範囲からの逸脱を検知した場合、または、プリミティブエージェントが性能知識から判断される最適動作状況からの逸脱を検知した場合、その旨を tv-Conf-Manager に伝える。

(2) 利用者要求の充足状況検査と協調開始

tv-Conf-Manager は、まず、資源状況の変化が利用者に提供されている QoS に対して影響を与えているかどうかをチェックする。もし利用者要求との不適合を検出した場合、動作パラメータ変更のための協調動作を開始する。

以降、AWS 内のエージェント間での協調、および tv-Conf-Manager 間での協調は (A) の場合と同様である。

以上の方法により、複雑な QoS 制御の試行錯誤的解決、QoS 制御不能時の柔軟な妥協点の導出が可能となり、やわらかさが実現される。

4.3 ビデオ会議システムの再構築による QoS の自律的適応方法

大幅な利用者要求やシステム資源状況の変化に対する QoS の自律的適応機能の実現方法として、組織再構成による QoS 制御方式を以下に示す。

(1) 利用者要求の獲得、資源状況変化の検出

利用者から大幅な要求変更が User エージェントを介して tv-Conf-Manager に伝えられる。または、Sensor エージェント群もしくはベースプロセスから大幅な資源状況の変化が tv-Conf-Manager に伝えられる。

(2) 協調による組織再構成判定

tv-Conf-Manager は、4.2 節に示した方法で、変更

に対する適応を検討する。tv-Conf-Manager 間での交渉の結果、現在の組織では適応が不可能であることが判断された場合、組織の再構築を決定する。

(3) 変更要求の伝搬

tv-Conf-Manager は、基となった利用者要求を付加して、タスク通知を AAR 内の Tv-Conf-Manager に対して送る。

(4) 組織構成決定

4.1 節で述べた (1)~(5) と同様の方法により、新しい組織が決定される。

(5) 新たな組織のインスタンス生成と再起動

Tv-Conf-Manager から新しい組織構成の報告を受けた tv-Conf-Manager は、変更の必要なエージェントに対して、解放の動作要求メッセージを送る。一方、Tv-Conf-Manager に対して入札を発行し、新しいエージェント組織が AWS 上にロードされ、新たなベースプロセス群によるビデオ会議が開始される。

以上の方法により、大幅な利用者要求の変更やシステム資源の変動に対しても、組織を動的に変更し、組織構成要素を入れ替えることによって対処が可能となり、QoS を維持することにより、やわらかさが得られる。

5. 実装と評価

5.1 やわらかいビデオ会議システムの実装

やわらかいビデオ会議システムは図 3 の環境で実装を行っている。ADIPS フレームワークではリポジトリ AAR、および動作環境 AWS を C++ で実装し、そのエージェントを動作させる基本機能を提供している。

3 章および 4 章で述べたやわらかいビデオ会議システムの機能は、クラスエージェントの領域知識ベース DK に Tcl/Tk⁶⁾ を用いて手続き的表現で記述されている。これらの領域知識は、動作環境 AWS にインスタンスエージェントとして生成されるとき、Tcl/Tk の記述の必要な部分のみがクラスエージェントから継承され、インスタンスエージェントの領域知識として利用される。

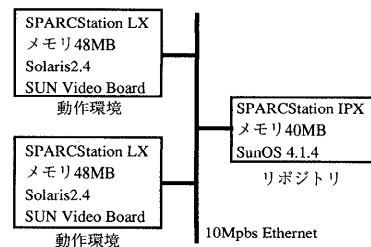


図 3 実装システム

Fig. 3 Implementation system.

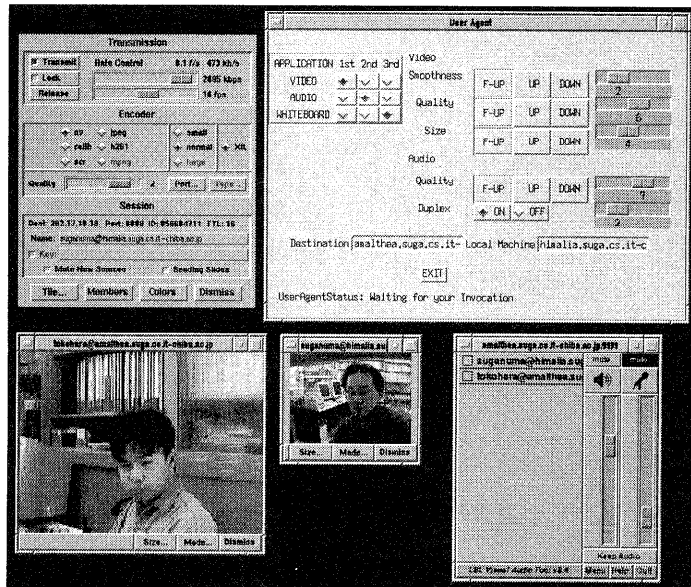


図4 利用者ワークステーション上の画面例

Fig. 4 Snapshot of user workstation.

本システムにおいては、13個のクラスエージェントが定義されている。記述量の最も多いクラスエージェントは、Tv-Conf-Manager エージェントで、約870stepであった。全クラスエージェントの領域知識の合計記述量は、約4,100stepであった。また、ADIPSフレームワークの実行環境上にすべてのクラスエージェント、インスタンスエージェントが動作した段階で、メモリ使用量は約27MB、1エージェントあたり約1MBのメモリスペースを消費した。

図4に利用者ワークステーション上にビデオ会議サービスが起動されたときの画面例を示す。ビデオ会議ウィンドウ以外のウィンドウは通常は表示されないが、User エージェントを呼び出すときに表示されるダイアログウィンドウ (User Agent)、ベースプロセスの状態・性能表示ウィンドウが表示されている。

5.2 やわらかさの評価

本論文では、2.1節で述べられたように、やわらかいビデオ会議に導入された3つの目標機能によるやわらかさを、ビデオ会議に対する利用者要求を実現する際の利用者の負担の軽減により評価する。そこで本節では、試作システムで実現した3つの目標機能G1, G2, G3により、上記の基準でやわらかさが実現されたことを示す。

(1) 自律的構成機能により得られるやわらかさの評価

自律的構成機能により得られるやわらかさを、ビデオ会議システムの起動時に利用者要求を実現する際の

利用者の負担の軽減により評価する。本試作システムでは、クラスエージェントに蓄積されているエージェントの機能、性能、運用法に関する知識を利用して、起動時の利用者ワークステーションやネットワークの動作環境にあわせてインスタンスエージェントを自動的に生成することにより、利用者の作業負担を軽減する。

これを検証するために、大きなサイズの画面でのビデオ会議の設定要求を与え、システム構成のプロセスを観察した。その結果、十分な帯域の通信回線が利用可能な場合は、ベースプロセスnvを制御するエージェントが選択された。しかし、同じ要求に対して、通信回線の容量が不足している状況では、nvが動作不能になるとシステムが判断したため、小さなサイズの画面ではあるが、より安定して動作するvicをベースプロセスに持つエージェントが起動された。これによって、利用者が通信回線の容量が不足している状況を知らずにnvを立ち上げて、その結果ビデオ会議システムが良好に動作しないことを知り、やむを得ずvicを代わりに起動するという作業をシステムがシステムによって自律的に実行でき、利用者の作業負担が軽減されることが検証された。

上記のやわらかさが実現できた理由は、第1に利用者要求を獲得し、システムで定義されているエージェント間プロトコルに変換する利用者エージェントの機能があること、第2に、この利用者要求を伝達されたビデオ会議システム管理エージェント Tv-Conf-Manager が、その要求を部分機能に分割する知識を持ち、これ


```

( TaskAnnouncement
  :from Tv-Conf-Manager
  :to Video
  :reply-with m020
  :content
    (TaskAnnouncementFromTCM {
      {msgType TaskAnnouncement}
      {is_a taskannouncement}
      {intr_user_pri_a 5}
      {intr_media_pri_video_a 8}
      {intr_media_pri_audio_a 5}
      {intr_media_pri_wb_a 1}
      {qos_video_quality_a 5}
      {qos_video_quality_pri_a 3}
      {qos_video_fps_a 5}
      {qos_video_fps_pri_a 8}
      {intr_user_pri_b 5}
      {intr_media_pri_video_b 2}
      {cpu_a 50}
      {cpu_b 30}
      {bandwidth 50}}
    )
  :expiration-time 100
  :language tcl-frame
  :ontology TVConference
)

```

図5 Tv-Conf-Manager から Video へ
発行されたタスク通知の例

Fig. 5 An example of task announcement
from Tv-Conf-Manager to Video.

に基づいて ADIPS フレームワークが提供する拡張契約ネットワークを用いて機能を実現するために最適な能力を持つクラスエージェントを探す機能を持っていることによる。図5は、ビデオ会議システム管理エージェント Tv-Conf-Manager が、機能要素の1つである動画像通信機能を管理するエージェント Video にタスク通知を行うための Tv-Conf-Manager の知識記述の例である。エージェント Video は、動画像通信機能を実現するエージェントの集団にタスク通知を行う。その結果、タスク通知に最も適切な入札条件を提示したクラスエージェント Vic が選択される。図6に、クラスエージェント Vic の性能知識の記述例を示す。

エージェントが上記の機能を実現するために要した時間は、約40秒であった。これは、同等の作業を実現するために一般の利用者が必要とする時間に比べて短い。また、従来のアルゴリズムで QoS 制御を行うビデオ会議システムに比べて、ビデオ会議システムの専門家の利用知識をクラスエージェントに蓄積して起動時に利用することにより、より広範な動作状況に対応できる。

(2) 自律的調整機能により得られるやわらかさの評価

自律的調整機能により得られるやわらかさを、起動後の利用者要求や動作状況の変化に対応してビデオ会議システムの機能を調整する際の利用者の負担の軽減により評価する。本試作システムでは、インスタンスエージェントが持っているベースプロセスの機能、性能、運用法に関する知識と、他のインスタンスエージェントと交渉を行うための機能と知識を利用して、起動後の利用者要求や動作環境の変化にあわせてイン

```

.....
setFrame capabilityFB01(
  vic_cellb04 {
    {encode cellb}
    {size small}
    {squa nil}
    {sbps 80}
    {rate 80}
    {fps 3}
    {scpu 25}
    {rcpu 24}
    {qua 7}
    {check 0}
  }
)
setFrame capabilityFB01(
  vic_cellb05 {
    {encode cellb}.....

```

図6 Vic エージェントの性能知識記述の例

Fig. 6 An example of capability knowledge of Vic agent.

スタンスエージェント間で交渉を行い、ベースプロセスを自動的に調整することにより、利用者の作業負担を軽減する。

これを検証するために、ビデオ会議システムの起動後、利用者 A から、フレームレートを保ったまま動画像の画質を改善してほしいという要求を与えた。そのとき、tv-Conf-Manager-{A,B} 間で、図7に示すメッセージの送受によって交渉が行われた。この例では、tv-Conf-Manager-A からの画像改善の要求に対して、最初は tv-Conf-Manager-B は、変更要求を拒絶しているが、tv-Conf-Manager-A が、自らのパラメータの変更を行ってもよいという付加条件を付けて再要求を行うことにより tv-Conf-Manager-B が妥協案を導き出し、再要求を受け入れている。この交渉の結果、tv-Conf-Manager-A は、vic-A に対し、送信側の画質を落とし、ネットワーク使用を控えるようなパラメータ選択を行うよう指示した。また tv-Conf-Manager-B は、vic-B に対し、送信側のフレームレートを保ったまま画質を改善するようパラメータ選択を変更するように指示した。以上のエージェント間協調により、利用者 A の要求が満たされた。

以上の実験結果から、利用者が要求を投入するだけで利用者要求の変化に対する QoS の自律的調整機能が、自動的に実行されエージェント間協調により実現できることが検証された。なお、利用者要求変更が発行されてからビデオ会議システムに要求が反映されるまでの処理時間は、約20秒であった。

(3) 自律的再構成機能により得られるやわらかさの評価

起動後の利用者要求や動作状況に関する大きな変化が発生して、稼働中のビデオ会議システムの自律的調整機能では利用者要求を満足する機能変更が不可能であったとする。このとき、自律的再構成機能により得られるやわらかさを、この状況に対応可能な機能をそなえたビデオ会議システムを再起動する際の利用者の

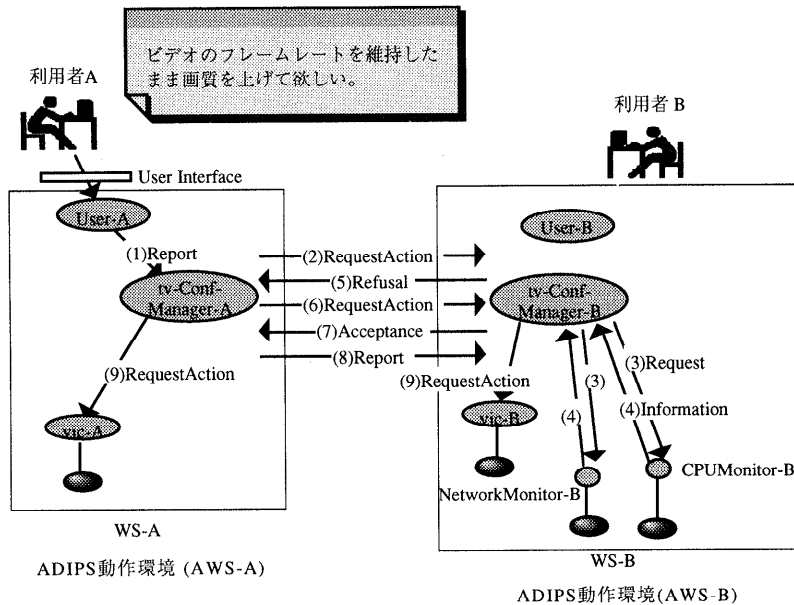


図7 エージェント間協調によるビデオ会議セッション中のQoS制御の例
Fig.7 QoS control by agents' cooperation during session.

負担の軽減により評価する。本試作システムでは、インスタンスエージェントとクラスエージェントの協調機能を利用して、ビデオ会議システムの機能を再構成することにより、利用者の作業負担を軽減する。

これを検証するために、ビデオ会議システムの起動後、利用者Aから、高画質でフレームレートも25fps以上の動画を利用したサービスを提供してほしいとの要求を与えた。このとき、稼働中のビデオ会議システムが、この要求を満足するサービス機能を備えていない場合には、従来のビデオ会議システムでは利用者の要求に応えることはできない。一方、本試作システムでは、tv-Conf-Manager-{A,B}間での調整作業が行われ、調整による利用者要求の実現が不可能であることを判断し、機能組織の再構成を行うことが決定された。これを行うために、tv-Conf-Manager-Aから、リポジトリAARに対し新しい利用者要求に基づくタスク通知を行い、組織構成を行った結果、図8に示すとおり、ハードウェア圧縮を利用して、高フレームレートを実現することの可能なベースプロセスvtalkプロセスを持つインスタンスエージェントがビデオ会議システムに組み込まれ、要求を満たすビデオ会議が提供された。

以上の実験結果から、目標機能である大幅な利用者要求の変化に対するQoSの自律的適応機能が、エージェント間協調による組織再構成により実現されていることが検証された。なお、利用者要求変更が発行さ

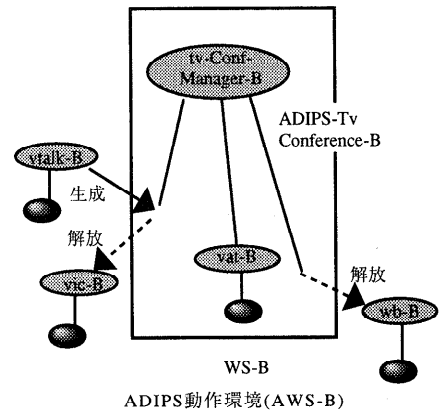


図8 組織再構成の例
Fig.8 An example of reconfiguration of system.

れてから新たなビデオ会議システムに切り替わるまでの処理時間は、約50秒であった。

6. おわりに

やわらかいネットワークの概念に基づいて、性能や資源が制限されたネットワーク環境で稼働するビデオ会議システムのやわらかさを実現するために、3つの目標機能、すなわち、(1) 利用者要求に基づく自律的構成機能、(2) QoSの自律的調整機能、および(3) 自律的再構成機能を提案した。次に、マルチエージェントによる提案機能の実現手法を提案した。さらに、マルチエージェントシステム構築のプラットフォームを利

用して、実際のネットワーク環境上で提案機能を備えたやわらかいビデオ会議システムの設計と試作を行った。さらに、試作システムを用いた実験により、本論文で提案した手法に基づいて、ビデオ会議システムにおけるやわらかさが実現できることを示し、その有効性を検証した。

参考文献

- 1) CU-SeeMe Development Team: CU-SeeMe Welcome Page. <http://cu-seeme.cornell.edu/>.
- 2) McCanne, S. and Jacobson, V.: vic: A Flexible Framework for Packet Video, *Proc. ACM Multimedia '95* (1995).
- 3) Frederick, R.: Network Video (nv). Xerox Palo Alto Research Center. Software on-line. <ftp://ftp.parc.xerox.com/net-research>.
- 4) Shiratori, N., Sugawara, K., Kinoshita, T. and Chakraborty, G.: Flexible Networks: Basic Concepts and Architecture, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E77-B, No.11, pp.1287-1294 (1994).
- 5) 藤田 茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎: 分散処理システムのエージェント指向アーキテクチャ, *情報処理学会論文誌*, Vol.37, No.5, pp.840-852 (1996).
- 6) Jacobson, V. and McCanne, S.R.: Visual Audio Tool. Lawrence Berkeley Laboratory. Software on-line. <ftp://ftp.ee.lbl.gov/conferencing/vat>.
- 7) Jacobson, V. and McCanne, S.R.: LBL Whiteboard. Lawrence Berkeley Laboratory. Software on-line. <ftp://ftp.ee.lbl.gov/conferencing/wb>.
- 8) Ousterhout, J.K.: *Tcl and the Tk Toolkit*, Addison-Wesley (1994).

(平成 8 年 9 月 17 日受付)

(平成 9 年 4 月 3 日採録)



菅沼 拓夫 (正会員)

1966 年生。1997 年千葉工業大学大学院博士後期課程情報工学専攻修了。現在東北大学助手 (電気通信研究所)。工学博士。やわらかいネットワーク, エージェントプログラミングに興味を持つ。

グに興味を持つ。



藤田 茂 (正会員)

1968 年生。1992 年千葉工業大学情報工学科卒業。1997 年同大学院博士後期課程情報工学専攻期間満了退学。同年同大学情報工学科助手。エージェントに興味を持つ。平成 7 年度電子情報通信学会学術奨励賞受賞。電子情報通信学会会員。



菅原 研次 (正会員)

1950 年生。1980 年東北大学大学院博士課程中退。同年千葉工業大学助手。現在同大学情報工学科教授。工学博士。分散人工知能, CAI に興味を持つ。1992 年日本工業教育協会功績賞。1994 年本会山下記念賞受賞。電子情報通信学会, 人工知能学会, IEEE 各会員。



木下 哲男 (正会員)

1953 年生。1979 年東北大学大学院修士課程修了。同年沖電気工業 (株) 入社。1996 年東北大学助教授 (電気通信研究所)。知識表現, 知識型設計支援システム等の研究開発に従事。本会平成元年度研究賞受賞。工学博士。電子情報通信学会, 人工知能学会, 日本認知科学会, ACL, AAAI 各会員。



白鳥 則郎 (正会員)

1946 年生。1977 年東北大学大学院博士課程修了。1984 年同大学助教授 (電気通信研究所)。1990 年同大学教授 (工学部情報工学科)。1993 年同大学教授 (電気通信研究所)。情報通信システム, ソフトウェア開発環境, ヒューマンインタフェースの研究に従事。1993 年本会マルチメディアと分散処理研究会主査。本会 25 周年記念論文賞受賞。IEEE, 電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。