

自律分散動画像サーバーの構築

前田 利之[†] 荒川 博[†] 柴藤 稔^{†‡} 千原 國宏[‡]

[†] 松下電器 中央研究所

〒 619-02 京都府相楽郡精華町光台 3-4

[‡] 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

〒 630-01 奈良県生駒市高山町 8916-5

e-mail: maechan@crl.mei.co.jp

あらまし 本稿ではA/V通信において実時間性を保証した上で自律的にシステムの置かれた各種の多様な環境に対応する機構を提案する。このサーバーがおかれる多様な環境と、この環境下での制約を定義した上でサブサンプションアーキテクチャの動画像サーバーへの適用を試みる。そしてサーバーが分散モジュールからなる自律システムアーキテクチャとして実時間性、自律性を保証する枠組を提案する。動画像サーバーのプロトタイプを実装、評価し、有効性を確認できたことを示す。

キーワード 分散処理, 自律制御, 実時間処理, 動画像符号化

An Architecture of Autonomous Distributed Video Servers

Toshiyuki Maeda[†], Hiroshi Arakawa[†], Minoru Etoh^{†‡}, and Kunihiro Chihara[‡]

[†] Central Research Laboratories, Matsushita Electric.

3-4, Hikaridai, Seika-cho, Souraku-gun, Kyoto 619-02

[‡] Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology.

8916-5, Takayama-cho, Ikoma-shi, Nara 630-01

e-mail: maechan@crl.mei.co.jp

Abstract This paper addresses a video server based on subsumption architecture which supports autonomous adaptation, as well as realtimeness, in various system environments on audio-video communication. We define variation of environment and the constraints in the environment, and propose the server system architecture as an autonomous system which consists of distributed modules. We develop a prototype and evaluate this system.

key words Distributed Processing, Autonomous Control, Real-Time Processing, Video Codec

1 はじめに

近年、マルチメディア処理技術の発達とインターネットの普及により、通信・放送を含んだ広義のネットワークに接続されたコンピュータによる音声動画像（AV）通信が現実のものとなってきた。しかし、利用できるネットワークについてはアナログ電話回線経由のものからデジタル専用線と帯域等に多様性が存在するのが現状である。一方、サーバーおよびクライアントのシステムについてもパーソナルコンピュータ・CGワークステーション等多様な処理能力のものがある。これら多様なネットワークおよびシステムを用いて通信する場合、個々の組合せについてシステムを作るのではなく、遅延や同期などの通信の実時間性 [10] を保証した上で、符号化方法の変更まで含めた相互接続性をシステム側で自律的にサポートし、適切なサービスの質（Quality of Service, QoS）を保証する柔軟なシステム構築が必須である（図1参照）。

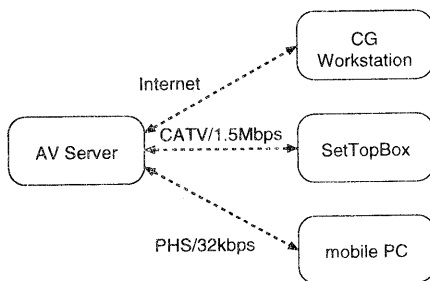


図1: Variety of AV communication.

現在、マルチメディア通信システムについての研究 [11, 12] や標準化活動 [4, 7] がなされているが、これらのほとんどは帯域を保証できるネットワークや資源確保できる計算機を対象としている。また、帯域保証の無いネットワーク（TCP/IP等）向けの方式の検討も行なわれている [6] が、現状のネットワークのすべての多様性にはすぐには適用できない。また、自律システムについては分散処理システムのエージェント指向アーキテクチャ [14] の研究もあるが、実時間性を目指したものではない。

そこで、本研究ではAV通信においてシステムが自律的に各種の多様性に対応してシステムの置

かれた環境で最適な通信をおこなうための枠組を提供し、具体例として動画像サーバーを構築し有効性を実証する。

上で述べた自律性を実時間性を保証した上で実現するため、自律ロボットの分野で研究が進められているサブサンプション (Subsumption) アーキテクチャ [8, 9]¹ を動画像サーバーに適用することを試みる。そしてその際サーバーがおかれる多様な環境と、この環境下での制約を定義した上でサーバーを分散モジュールからなる自律システムアーキテクチャを構築し、実時間性、自律性を保証する枠組を提案する。

本稿ではまずサブサンプションアーキテクチャについて概説する。さらに、サブサンプションアーキテクチャを動画像サーバーに適用するための構成について述べたあと、動画像サーバーのプロトタイプを実装、評価し、有効性を確認できたことを示す。

2 サブサンプションアーキテクチャ

2.1 特徴

サブサンプションアーキテクチャとは、種々の目的に応じた階層性をもち、全体として高次な（知的な）制御をおこなうものである。サブサンプションアーキテクチャの特徴として以下が挙げられる。

- 単純なモジュールとその結線の集合による自律分散システムである。
- 制御の階層構造をもち、下層は上層がなくても（原始的に）動く（独立性を持つ）。また、上層になるほど高度な処理を行なう。
- 各層は幾つかの単純な有限状態マシンの位相構造を固定させたネットワークからなる。
- 上層はすぐ下の層のみに対して働きかける（禁止、抑制）。
- 結線には意味（情報）が、モジュールには意図（目的）がある。

¹[13] は [9] の翻訳である。

2.2 サブサンプションアーキテクチャの利点

動画のサーバーにサブサンプションアーキテクチャの適用を試みる理由を以下に述べる。

- 分散モジュールによる構成なので集中管理しなくて済む。従って、個々のモジュールでは高度な知識処理（制御）が不要であり、処理の高速化がはかれ、実時間処理対応が可能である。
- モジュール独立度が高いので、柔軟性が高い。特にモジュール交換による改造などが容易であるので、動画の符号化方法の変更などへの対応も可能である。

3 サブサンプションアーキテクチャの動画符号化への適用

本章ではサブサンプションアーキテクチャを適用した動画サーバーの構成について解説する。本研究においては、ロボティックスの分野で研究されているようなハードウェアモジュールではなく、ソフトウェアモジュールによる構成である。また、環境のセンシングについても計算機システム中の各種パラメータであるため、そのままでは適用できない。そこで、本章では本研究で構築しようとする動画サーバーの構成要素について以下に述べる。

3.1 課題

動画サーバーが解決しようとする課題（制約あるいは要求仕様）は、以下の通りである。ここで、先に述べられてあるものほど低次（原始的）の要求であり、制約としては厳しい（必須）ものである。後に述べられてあるものほど高次の要求であり、時として低次の要求と相反する場合もあることに注意する必要がある。この場合、低次の制約を破らない限りにおいて高次の要求を満たす方向に制御をかけることになる。

- 音声（および動画）の符号化と、通信溢れ（オーバーフロー）を防ぐ。特に音声については情報の欠落は致命的なので、厳しい制約とする。

- 計算資源の有効活用を行なう。即ち、計算機の処理能力の許す範囲で高品質のAVデータを符号化伝送する。
- 通信バッファのアンダーフローを防ぐ。即ち、転送路の許す範囲で出来るだけ多くの情報量（AVデータ）を符号化伝送する。
- ユーザー（クライアント・デコーダ）側からの要求に対応する。

3.2 環境

上記の課題を解決するための状況情報として、動画サーバーが観測すべき環境は以下の通りである。

- バッファの状況（ネットワーク資源、ビットストリーム発生量）
- 処理能力資源（CPU、メモリ、等）
- ユーザ、デコーダからの対話的要求（解像度変更など）

3.3 処理

上記の課題を解決するために動画サーバーが調整すべき処理項目を以下にあげる。

- 空間スケーラビリティとして、解像度の変更をおこなう。本研究においては、CIF画像²とQCIF画像³を交換することを意味する。
- 時間スケーラビリティとしてフレームレート⁴の変更を行なう。
- SNR（Signal Noise Ratio）スケーラビリティとして量子化ステップ（Qstep）の変更を行なう。
- 符号化方法の取り替えを行なう。具体的にはMPEG1[2]、MPEG2[3]、JPEG[1]、ITU-T H.263[5]などが対象となる。

²Common Interface Format. 1フレームあたり352×288画素。

³Quarter CIF. 1フレームあたり176×144画素。

⁴動画の1秒あたりのフレーム（コマ）数。

由で通信網へ送出する。以上の制御機構により、音声伝送を保証した上で計算資源を有効活用するように動画像符号化をおこない、多重化して通信網へ伝送できる。

- さらに上の層（AV Buffer Moderation）では、通信バッファの状況を観測し、バッファが空ならビット列を増やし、一杯ならビット列を減らす制御を下層の計算資源有効活用が充足されている範囲で変更する信号を Buffer Moderator が発行する。この信号が下層の Processing Moderator から Comp. Parameter Accum. への信号を（一時的に）抑制することで、計算資源の有効活用を指向しながらさらに通信バッファの有効な利用が実現できる。
- 最上層（User Interaction Comm.）ではユーザーや端末（デコーダ）側から、例えば「静止画でいいからきれいな絵を見たい」「多少粗くてもいいのできちんと動いている絵が見たい」のような要求を受け取り、User/Decoder Moderator が要求を満たす方向で制御パラメータを振る。この制御信号が下層の Buffer Moderator から Comp. Parameter Accum. への信号を抑制することで、計算資源の有効活用、通信バッファの有効利用をみだしながらユーザーの要求を出来る範囲で充足するように制御をかけることを実現できる。

以上述べたように、本研究におけるアーキテクチャにおいては、音声・動画像の最低限の送出から計算資源の有効活用、通信バッファの有効活用、ユーザー・端末からの要求への対応といった複雑な制約を可能な限り自律的に満たすことが可能である。

5 実装と考察

上記の構成に従って、マルチプロセッサ計算機上のUNIX環境（シリコングラフィックス社製ワークステーションONYX（20プロセッサ）、IRIX5.3）にてプロトタイプの実装をおこなった。各モジュールにプロセス（プロセッサ）を割り当て、サーバー内の結線については、データ量、速度等を考慮して、シグナル、ソケット、共有

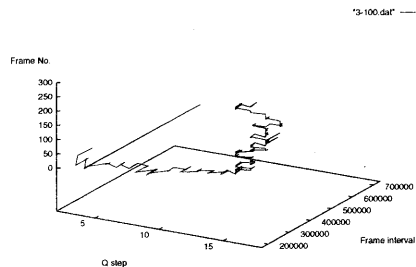


図3: Autonomous arrangement of Q step and frame intervals.

メモリ等を適宜選択して利用している。また、クライアントであるデコーダとはソケットを介して通信をおこなっている。時間計測についてはIRIXのシステムコールであるsetitimer()を利用し、10ミリ秒ごとの実時間間隔（real time interval）指定をおこないシステムの処理状況を定時刻モニタするようにしている。本プロトタイプにおいては、符号化方法の変更および解像度の変更についてはまだ実装されていないが、モジュールの追加は容易であると考えられる。

図3はユーザーから初期値を与えられたときのQstepと1フレームあたりの処理時間の変移をグラフに表したものである。X軸はQstepすなわち量子化ステップ数、Y軸は1フレームあたりの処理時間数（単位 μ 秒）Z軸はフレーム番号で、CIF画像300フレームを符号化処理した。

図3はユーザーから初期値として目標Qstepを3、目標フレーム処理時間を100ミリ秒（100000 μ 秒）として与えられたときの各パラメータの遷移をあらわしている。最終的にフレーム処理時間200ミリ秒、量子化ステップ13前後へ収束しようとしていることが示されている。

6 おわりに

以上述べたように、本研究ではAV通信において実時間性を保証した上でシステムが自律的に各種の多様性に対応してシステムの置かれた環境で最適な通信を実現するため、サブサンクションアーキテクチャを動画像サーバーに適用することを試み、このサーバーがおかれる多様な環境と、この

環境下での制約を定義した上でサーバーを分散モジュールからなる自律システムとなるアーキテクチャを構築し、実時間性、自律性を保証する枠組を提案し、動画画像サーバーのプロトタイプを実装、評価し、一部の機能について有効性を確認できたことを示した。

今後はコンテンツに応じた符号化方法やサーバー間の協調などのより高次の制約をみたせる自律性をもたせ、必要に応じて実時間性を保証した上でサーバー、端末をそれぞれソフトウェアエージェントとみなしたメッセージング処理を行なう広域分散系の問題⁵についても検討する。

謝辞

本研究を推進するにあたり日頃より有益なご助言をいただいた奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・像情報処理学講座および産学共同講座・多次元画像伝送講座の各位に感謝の意を表する。

参考文献

- [1] ISO/IEC 10918-1. Digital compression and coding of continuous-tone still images. Part1:Requirements and Guidelines, 1993.
- [2] ISO/IEC 11172-2. Information technology-coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 mbit/s. International Standard, 1993.
- [3] ISO/IEC 13818-2. Information technology-generic coding of moving pictures and associated audio. International Standard, 1994.
- [4] ITU-T Study Group 15. Narrow-band isdn visual telephone systems and terminal equipment. Recommendation H.320, 1993.
- [5] ITU-T Study Group 15. Video coding for low bitrate communication. Draft Recommendation H.263, 1995.
- [6] ITU-T Study Group 15. Visual telephone systems and equipment for local area networks which provide a non-guaranteed quality of service. Draft Recommendation H.323, November 1995.
- [7] ITU-T Study Group 15. Terminal for low bitrate multimedia communication. Draft Recommendation H.324, June 1996.
- [8] Rodney A. Brooks. A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-2, pp. 14-23, April 1986.
- [9] Rodney A. Brooks. Intelligence without representation. Technical report, MIT Technical Report, 1988.
- [10] A. Eleftheriadis, S. Pejhan, and D. Anastassiou. Architecture and algorithm of the zphone multimedia communication system. *ACM Multimedia Systems Journal*, Vol. 2, , August 1994.
- [11] T. Nakajima and H. Tezuka. A Continuous Media Application supporting Dynamic QOS Control on Real-Time Mach. *ACM Multimedia '94*, 1994.
- [12] 柴田, 橋本, 渡辺. 分散マルチメディアシステムにおける qos 機能. *情報処理学会論文誌*, Vol. 37, No. 5, pp. 731-740, 1996.
- [13] R. A. Brooks(柴田訳). 表象なき知能. *現代思想*, Vol. 18, No. 3, pp. 14-23, March 1990.
- [14] 藤田, 菅原, 木下, 白鳥. 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.

⁵例えば、端末の状況をサーバーの環境とみなし端末にとって好ましいAVデータを与えることを制約とすることで、提供するQoSを高める問題、などが考えられる。