

マルチメディア通信用超高精細画像システム

藤井哲郎、藤井竜也、石丸勝洋、小野定康
NTT 光ネットワークシステム研究所

マルチメディア通信の進展に伴い、デジタル画像通信においてもより高精細な品質への要求が顕在化し始めている。この要求に対し、解像度 2000 本を実現する超高精細画像ステーションを開発したのでその設計方針及び構成について報告する。本システムでは、解像度 2048 x 2048 画素の超高精細画像を 256 フレーム自在に扱うことが可能であり、動画像ビデオの再生も可能である。さらに長距離伝送において大幅に速度が劣化する TCP/IP に代わり AAL5 上に超高精細画像用通信プロトコルを実装し、100Mbps を越える超高速遠距離伝送も実現している。超高精細画像を ATM 網を介して実際に伝送した結果についてもあわせて述べる。

Super High Definition Image Station for Multi-media Communications

Tetsuro Fujii, Tatsuya Fujii, Katsuhiro Ishimaru, Sadayasu Ono
NTT Optical Network Systems Laboratories

In the progress of multi-media communications, higher definition images are requested for many professional applications. A Super High Definition (SHD) Image station is newly developed and its architecture is discussed in this paper. This system can easily store and display 256 frames of SHD Images with the resolution of 2048 x 2048 pixels, and even generate digital video for moving sequence of SHD images. This system also caures special SHD transmission protocols on AAL5, instead of TCP/IP whose performance over long distance is degraded because of its window control.

1. はじめに

マルチメディア通信時代の到来と共に、画像通信に対する要求もよりリアルで高品質なものへとシフトし始めている。特に、医療、印刷、CAD、美術、博物学などの世界では HDTV を越えるクオリティが既に必要とされている。これは 35mm フィルムを越える品質がデジタル画像の分野において要求されだしていることなども合致する。このような高品質な画像に対する要求を満たす画像メディアの新しいクラスとして 2000 本を越える解像度を有する超高精細画像 (Super High Definition Images) が提案さ

れている[1,2,3]。この超高精細画像の目的は、通信及びコンピュータと融合した新しいメディア環境を提供することである。そのためにデジタル画像は正方格子上にサンプルされ、順次走査方式に基づいてスキャンされ、コンピュータ等との整合性にも配慮されている。

ULSI の技術に代表される製造技術の大幅な進歩、日本中をカバーする ATM (Asynchronous Transfer Mode) 網の実現などにより、超高精細画像を高速に伝送する通信システムを実現することが可能となってきた。筆者らはこの現状を踏まえ、動画像評価ま

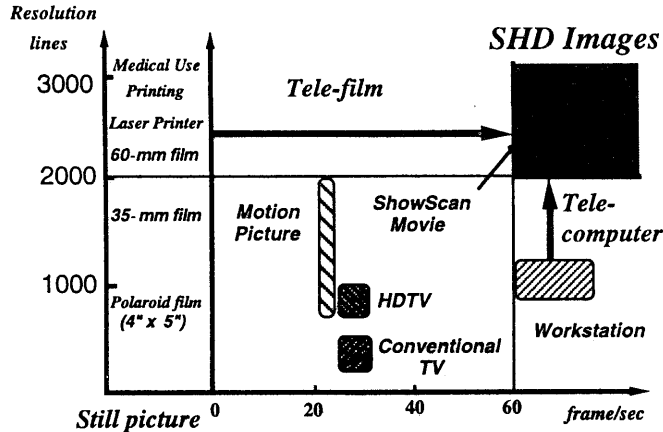


図1 超高精細画像の特徴

での機能を有する超高精細画像ステーションの開発を進めてきた。本稿では、この超高精細画像ステーションの設計方針とその構成について述べる。さらに本装置をNTTのATM網に接続し、伝送実験を行った結果も併せて報告する。このときTCP/IPでは長距離伝送においてスループットが大幅に劣化するので、これを解決するため、AAL5を用いた超高精細画像伝送用プロトコルを超高精細画像ステーションに実装している。

2. 超高精細画像ステーションの設計方針

2.1 超高精細画像について

超高精細画像とは、既存画像メディアの統合を目指し提案した新しい画像メディアのクラスであり、その解像度は2000本以上である。既存の画像メディアとの関係を空間解像度と時間解像度から眺めた様子を図1に示す。基本的な超高精細画像の定義を以下に示す。

- (1)解像度が2000本以上
- (2)オール・デジタルシステム
- (3)60フレーム/秒の順次走査方式
- (4)画像のサンプリングが正方格子状

この超高精細画像をプラットフォームとして用いることにより、医療、教育等の分野に超高速通信及びコンピュータと結合した高品質なマルチメディア環境を提供できる。

しかし、超高精細画像はその高解像度ゆえに、データ量は莫大なものになる。静止画像一枚の容量は

96 Mbitsであり、155 MbpsのようなATM高速回線を用いることにより初めて1秒以内に1画面を転送する事が可能になる。さらに動画像においては、そのビットレートが約6Gbpsに達する。まさにB-ISDNの世界において初めて使いこなすことのできるデジタル画像メディアである。

2.2 システム設計方針

超高精細画像を自在に取り扱える画像ステーションを開発するにあたり、以下のような設計指針のもと開発を進めた。基本的に動画像の評価機能までを実現すること、デスクサイド型にコンパクトに設計することをめざす。

(1)空間解像度

35mmフィルムにより得られる写真の解像度を越え、プロフェッショナルなビジネス用途に利用できる最低限の解像度として2048 x 2048画素を必要条件とする。ほぼ、プロネサイズ(60mmフィルム)と同程度の解像度と色再現性を目指す。

(2)時間解像度

コンピュータ、特にワークステーションのディスプレイはフリッカーの問題より60Hz以上のフレーム周波数が採用されている。これはマルチメディア環境下におけるインタラクティブな作業において、画像の細部をのぞき込んでも十分な画像品質を確保するための必須条件である。現状のCRTディスプレイにおいてこの問題を解決するためには、理想的には70Hz以上の選択が望ましいとされている。しかし、現在これに対応可能な2000本以上の解像度のディ

スプレイが存在しないため 60Hz を選択する。

(3)色再現性

光スペクトルにおける Grassman の法則に従い、RGB 表色系に基づいて色を表示するのが CRT である。従って、CRT への出力信号である RGB 信号を直接デジタルで取り扱うこととする。各 RGB 信号のビット数に関しては、十分な色再現性を得るために 10 ビット程度を確保したいが、動画像を出力できる可搬型フレームメモリー機能がターゲットの一つであり、16MDRAM の容量の制約があるため、各色信号とも 8 ビット(計 24 ビット)とした。

(4)ビデオインタフェース

現時点において、同期信号等に関する超高精細画像のアナログ信号の規格は存在しない。しかし、現在 2000 本の解像度を表示できる CRT は SONY、BARCO CHROMATICS、日立の 3 社より市販されており、これらに共通のインタフェースである SONY 製ディスプレイ DDM-2802C の規格に合わせた。

(5)動画像再生時間

動画像シーケンスの再生時間長は、メモリーの容量に比例する。ターゲットがデスクサイド型であるため、実装可能な DRAM の容量 (2000 個以下) よりフレーム数は 256 枚、再生時間はほぼ 4 秒間とする。

(6)高速ファイリング機能

静止画を扱う場合には、256 枚の画像に瞬時にアクセス、表示できるファイリング装置として動作する。フレームの先読み機能などはソフトで実現する。

(7)データ転送速度

外部のデジタルメディアサーバから超高精細画像ステーションへの画像データの高速度転送のために、FDDI と 155Mbps の ATM インタフェースを装備する。さらに 600Mbps を用いた高速度な伝送実験のために HIPPI インタフェースを装備する。

3 システム構成

前述の設計方針に基づいてデスクサイド型超高精細画像ステーションを開発した。本システムの外観を図 2 に示す。寸法は高さ 80cm、幅 48cm、奥行き 60cm であり、重量は 100Kg である。電源は 100V 及び 200V で、消費電力は約 700W である。本システムのハードウェアは、大容量メモリーボード 3 枚、D/A コンバータボード 1 枚、システム制御ユニット (SPARC station 20) と、それらの間を高速度に転送する

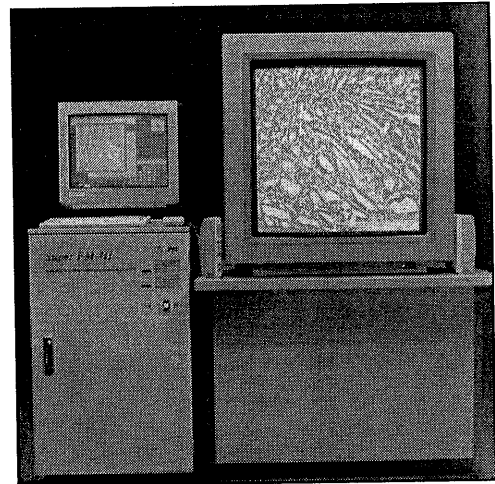


図 2 超高精細画像ステーション

ための超高精細画像用高速バス及び 64bit VME バスより構成されている。特にメモリーボードと D/A コンバータボードを接続する超高精細画像用高速バスは最大 8 Gbps の転送速度を実現している。本装置の内部構成を図 3 に示す。以下に各部の詳細を示す。

3.1. システム制御ユニット

フレームメモリー全体の制御を行うために、内部に SPARC station 20 が内蔵されている。本ユニットより、S バス 64bit VME アダプタを介してフレームメモリーに画像データの転送を行うとともに、各種システムの制御を行う。また本ユニットに FDDI 及び 156Mbps ATM ボードが組み込まれている。

3.2. D/A コンバータユニット

D/A コンバータボード上には 3 個の D/A コンバータが搭載されている。その 2 次元標準化の標本点を正方格子状にするために、サンプリング周波数は 357MHz である。各 RGB チャンネル毎に 8 ビットの精度 (計 24 ビット) が実現されており、1677 万色のフルカラーを実現している。この 8 ビットの D/A 変換出力レベルはピーク-ピーク値で 0.714Vp-p を 16 から 235 に設定している。これはテレビのデジタル規格 CCIR 601 に基づく設定である。出力信号のダイナミックレンジは 45dBc を確保している。正方格子状の 2 次元標本点を実現されていることにより、コンピュータグラフィックスなどの親和性が非常に高まっている。なお、この D/A ボード上には DSP(TMS 320C30)を 1 個搭載しており、この DSP に

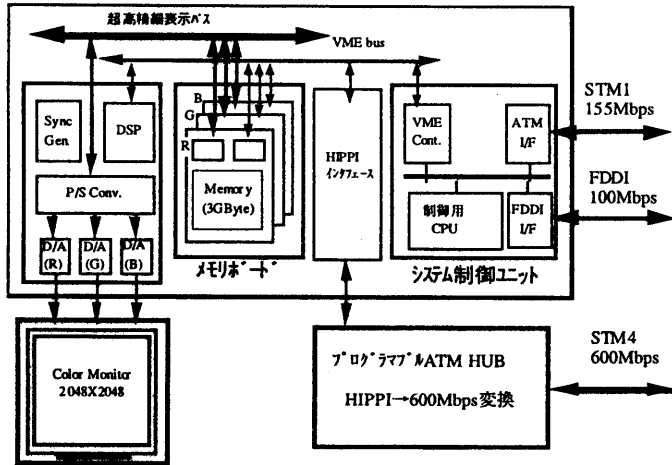


図4 超高精細画像ステーションの構成

より各種表示機能（ズーム、スクロール、スクリプト等）のリアルタイム制御を行っている。

3.3. 超高速画像データ転送バス

D/Aコンバータの速度が357MHzに設定されているということは1画素 (pixel) のクロックレートの

$$1 / 357 \text{ MHz} = 2.8 \text{ nsec} / \text{pixel}$$

ということになり、各画素の24ビットデータを2.8nsec以内にメモリーボードから各チャンネルのD/Aコンバータに転送しなければならない。この速度を大容量メモリーであるDRAMで実現するために、信号を4相に展開しアクセス速度を高速化している。この4相に並列展開された信号を超高精細画像用バスに接続し、D/Aコンバータボードに供給している。従って、合計96本(8ビット x 3チャンネル x 4相)の信号線からなるデータバスがクロック間隔11.2nsec(89.3MHz)で連続して動作する。この並列展開された信号をD/Aコンバータの直前で357MHzでスイッチングし、動画ビデオ信号を生成している。このバスは各クロック毎にスイッチングを伴うヘビーデューティな回路となり、全てECLにより構成することにより安定な動作を得ている。このとき内部転送速度は1.07GByte/sec(8.5Gbps)に達している。

3.4 メモリユニット

3枚のメモリーボードが超高精細画像ステーション内に組み込まれており、256フレームの連続した動画像を再生することを可能としている。トータル約1600個の16MDRAMが実装されている。

3.5. ソフトウェア構成

本超高精細画像ステーションのソフトウェアは、D/Aコンバータボード上のDSP用ファームウェア、SPARC station上のアプリケーションプログラム及びこの間の受け渡しをする制御用ライブラリパッケージから構成されている。GUIインターフェースは加速度センス式のタッチパネルを利用している。これによりユーザフレンドリな環境を実現している。

D/Aコンバータボード上のDSPが表示系のリアルタイム制御を行っており、アプリケーションソフトから要求された各種表示用コマンド及びスクリプトに基づいて動作する。これを関数系として取り扱えるようにしたのが制御用ライブラリパッケージである。各種表示機能に対応した制御関数が準備されている。

3.6. 各種表示機能機能

様々な種類の画像評価を円滑に行っていくために、本システムには表1に示される特殊再生機能が備わっている。再生表示は両方向が可能であり、スロー再生も可能としている。さらに超高精細画像の特定のエリアのズームアップも簡単にワークステーションからマウスを用いて行うことができる。この他に本装置は特殊スクロール機能として、縦2048 x N (N:1, 2, 4, 8, 16)、横2048 x M (M:1, 2, 4, 8, 16)の画面サイズを設定し、その2048x2048画素の部分の切り出して、かつスクロールしながら表示できる。例えば、4096 x 4096の画素数の画面から最大32768 x

32768 画素までの画面を設定でき、そのうちの 2048 x 2048 画素の任意のエリアを切り出して表示できる。

表示機能	内容
スロー	0.5~60フレーム/秒
スチル	17フレームづつ
逆再生	両方向再生
ズーム	2, 4, 8, 16 倍ズーム
スクロール	16 画素単位 or 1ライン単位

表 1 特殊再生機能

3.7 高速通信機能

超高精細画像を含むマルチメディア通信には非常に広帯域な伝送路を必要とする。これを実現するために、本システムは FDDI と 155Mbps の ATM ボードを組み込んである。さらに高速な通信の実験をおこなうために、600Mbps STM4 による通信を HIPPI インタフェースを介して行える用にも設計している。本システムのデータ転送制御用バスである 64bit VME バスに HIPPI ボードを組み込み、HIPPI インタフェースを介して別途開発したプログラマブル ATM ハブに接続することにより 600Mbps の回線に接続される。プログラマブルハブは FPGA を主体に構成されており、ハードウェア設計記述言語を用いてハードウェアをプログラムできるように構成されている[9]。まだ、600Mbps のマルチメディア通信に必要な機能が確定していない為、このプログラマブル・システムを用いて今後様々なプロトコルの検討を進める。

4. ATM による長距離伝送特性

従来コンピュータ間通信で広く用いられている TCP/IP プロトコルでは長距離伝送においてスループットが大幅に劣化してしまうことが知られている[4,5,6,7]。このスループットの劣化は従来より指摘されてきた現象ではあるが、超高精細画像という大容量の画像データを高速に伝送するためにはこの壁を打ち破らなければならない。本節ではまず TCP/IP の長距離伝送におけるスループットの低下の検証を正確に行い、これを解決するために新しいプロトコルを実装したプログラムを開発し、その特性を評価する。

4.1 TCP/IP による長距離伝送特性

1994 年に京都で開催された ITU 総会に併催し、

京都国際会議場と NTT 横須賀研究センターが ATM 回線で接続され、155Mbps ATM 伝送のデモンストラーションが行われた。しかし、155Mbps にて ATM LAN 間が接続されたにもかかわらず、実効転送能力として 8Mbps しか引き出すことができなかった[8]。これは回線が日本海回りで設定され、光ファイバーの総延長が 1000Km に達し、Round Trip Time (RTT) が 10msec になってしまったことに起因している。

TCP/IP プロトコルを用いた長距離伝送のスピードの劣化の主たる原因はウィンドウ制御にあることが指摘されている[4]。この現状を正確に把握するために、ATM LAN2 台の間に疑似 ATM 回線遅延発生装置を挿入し、様々な遅延時間におけるスループット特性を 2 台の SPARC station 20 間で超高精細画像 1 枚を伝送したときの時間を計測することにより求めた。その結果を図 4 に示す。同図には、TCP のウィンドウサイズが 8Kbyte (default) のときと最大値 64Kbyte の時の特性が示されている。RTT が 5msec 程度で既にスループットが大幅に劣化する様子が明らかである。

4.2 AAL5 上の超高精細画像伝送プロトコル

この遅延によるスループットの劣化を避けるには拡張オプションである RFC1323 を組み込みウィンドウ制御幅を広げる手法、あるいはウィンドウ制御幅が大きい XTP on IP プロトコルを用いる手法がある[8]。しかし、実効転送能力が 100Mbps を越える

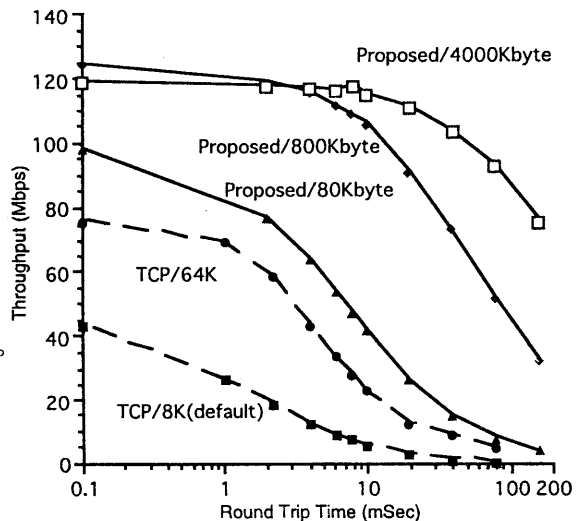


図 3 遅延特性

ように高速化するには、超高精細画像の伝送に特化した新しいプロトコルをとりきめ、プロセスをLight Weight化する必要がある。これを実現するために、AAL5 (ATM Adaptation Layer 5) 上において超高精細画像を直接伝送するプログラムを開発した。

開発されたプログラムはサーバプロセスとクライアントプロセスからなり、すべてC言語で記述されている。サーバプロセスはSPARC station 20上に、クライアントプロセスを超高精細画像ステーション上にインプリメントする。本伝送プロトコルは、超高精細画像の伝送にさきだちウィンドウ制御値等の情報を3wayプロシジャーで交換し、その後ウィンドウ分のデータをAAL5の手順で送出する。クライアントはウィンドウ分のデータを受け取った後にACKを返し、このACKを受信後サーバは次のデータを送出する。クライアント側にエラー再送制御が埋め込まれており、セルロスが発生したときにはAAL5のレイヤーで誤りを検出し、再送要求をサーバに送る。なお、ウィンドウ幅は8Kbyte単位で任意に設定することが可能である。この手順を用いた超高精細画像の伝送特性をTCP/IPと同様に計測した結果を図4に示す。ウィンドウ幅をそれぞれ8Kbyte、800Kbyte、4000Kbyteと設定している。同図より、伝送距離が1000KmとなるRTT 10msecの位置においても100Mbpsをこえるスループットが得られていることが解る。

4.3 マルチメディア環境における伝送実験

本システムの伝送方式を検証するために、東京・大手町の経団連ホールと神奈川県横須賀市のNTT横須賀研究センターとの間を155MbpsのATM回線を用いて接続し、実際にATMネットワークを用いた超高精細画像のマルチメディア伝送実験を行った。このネットワーク上にはビデオ信号がATMセル化され飛んでおり、慶応大学湘南藤沢キャンパスと通信している。よって音声、映像が混在し飛び交うネットワーク上に本システムを接続し、実際の伝送のパフォーマンスが検証できた。ビデオ信号の平均レートは10~20Mbps程度であり、超高精細画像の伝送には80Mbpsを割り当てた。各ノードのスイッチにはFORE社のATMスイッチを用いた。

大手町、横須賀間の総帯域幅は135Mbps、その距離は175kmであった。このとき、ウィンドウサイズは800Kbyteに設定した。超高精細画像1枚(96Mbits)

の伝送時間は1.5秒であった。また、ビデオ信号の伝送がバースト的であること、NTTのATM回線のレート制御が非常に厳しいことなどにより、セル落ちによる画像データの再送要求が数回に1回の割合で発生した。このセル落ちによる再送をなくすためには帯域を50Mbpsまで下げる必要があった。ATM伝送における帯域管理の重要性を示唆する結果である。この点に関する検討が今後必要である。

5. まとめ

解像度2000本を実現した超高精細画像ステーションを開発した。本システムにより、256枚の超高精細静止画あるいは4秒間の超高精細動画画像までをインタラクティブに取り扱うことが可能となった。特に155MbpsのATM網に接続して高速にデータ伝送する新しいプロトコルを開発しこれをAAL5上に実装した。これにより札幌・福岡間でも実効値100Mbpsの速度で超高精細画像をやり取りできることを示した。このような技術を基に今後より高品質な画像が大量に扱われ、ネットワークを介したマルチメディア通信が急増することを期待する。

参考文献

- [1] S.Ono, N.Ohta, T.Aoyama, "Super High Definition Images Beyond HDTV," Artech House Publisher, 1995
- [2] T.Fujii, I.Furukawa, S.Ono, "Motion sequence processing system for super high definition image," SID'92, 80.5, March, 1992
- [3] 藤井、藤井「超高精細画像信号処理技術—画像出力装置」NTTR&D, Vol.43, No.5, 1994
- [4] C. Partridge "Gigabit Networking", Addison Wesley, 1994
- [5] V. R. Jacobson, "TCP Extensions for High Performance; RFC-1323," Internet Request for Comments, No.1323, Network information center, May 1992
- [6] Carl Malamud 著、相田、小池訳「SUNネットワーク詳説」丸善株式会社、1993
- [7] 中島、末吉、北嶋「FDDI/ATM通信システムのスループット特性」電子情報通信学会論文誌 B-I, Vol. J78-B-I, No.8, 1995年8月
- [8] 藤井、藤井、石丸「超高精細画像システム用プロトコルの評価」信学技報、CS95-112、1995年9月
- [9] T.Fujii, T. Fujii, N. Kimura, S. Ono, "High Speed Programable ATM-HUB for HIPPI/STM4 Data Network," Globecom 95, November 1995,