

ソフトウェアコーデックによる 携帯型高画質ビデオ伝送システムの開発

滝嶋康弘 山下鉄司 酒澤茂之 和田正裕

KDD研究所

〒356-8502 埼玉県上福岡市大原 2-1-15

電子メール: takisima@kddlabs.co.jp

概要: 高画質ビデオ符号化方式 MPEG-2 によるビデオ圧縮と高信頼性・高効率な伝送プロトコルを特徴とする携帯型のビデオ伝送システムの設計法を提案する。小型プラットフォーム上で柔軟な動作機能を実現するため、符号化エンジンには高速な符号化処理が可能なソフトウェアコーデックを用いる。処理速度の高速化のため、動きベクトル探索の効率化や予測ピクチャタイプの適応的選択方式を提案する。一方ビデオデータの伝送は、多様なネットワーク速度に対応する蓄積伝送方式において、伝送誤り、回線切断、高遅延網でのスループット低下などに対処可能な効率的伝送プロトコルを提案する。提案設計法により開発した試作システムを紹介する。

Development of portable high-quality video transmitter based on software codec

Yasuhiro TAKISHIMA

Tetsushi YAMASHITA

Shigeyuki SAKAZAWA

Masahiro WADA

KDD R&D Laboratories

2-1-15 Ohara, Kamifukuoka, Saitama 356-8502 Japan

E-mail: takisima@kddlabs.co.jp

This paper proposes a common designing of a portable video transmitter which features high-quality video compression and high-reliability/efficiency transmission protocol. For flexible video compression on a very small platform, a new software codec is deployed, which is accelerated with an innovated motion vector search algorithm and an adaptive prediction picture type selection. The compressed video is transmitted by the store-and-forward operation fortified with a newly proposed protocol that can deal with the network errors, unpredicted line cut-off and throughput declination in a high delay environment. A prototype system is finally described.

1はじめに

近年のIT関連技術の進歩により、ビデオをはじめとしたマルチメディアシステムが急速に普及、多様化している。例えば、高画質ビデオ符号化の国際標準 MPEG-2 に準拠したシステムは、すでにプロフェッショナルユースからホビーユースまで多方面で利用されており、デジタルビデオ技術のまさに標準的なツールとして、多様なアプリケーションが存在する。

そのような高画質ビデオの普及の一方で、ビデオの伝送手段の発達は、必ずしも MPEG-2 クラスの情報速度に追いついていない。数 Mbit/s 以上を随時低コストで提供できる公衆網は存在せず、伝送を前提としたビデオシステムでは、低解像度・低フレームレートのビデオ符号化が一般的である。

しかし筆者らは、低速度のネットワークにおいても、高画質なビデオを伝送する手段として、取り込み・符号化と伝送を独立に実行する「蓄積伝送型システム」を開発してきた。蓄積伝送型システムでは、伝送時間とのトレードオフではあるが、画質低下を生じることなく、低速度網でも高画質ビデオの伝送が可能である。さらに近年では、他のアプリケーション同様、蓄積伝送型ビデオ端末においてもモバイル環境での利用性が強く求められている。特に高速度な回線を確保しにくいモバイル環境では、蓄積伝送型システムの利点は大きい。

一方で、モバイル環境で使用するためには、いくつかの課題がある、例えば、システムの小型軽量化が必要であり、MPEG-2 ビデオ符号化を従来型専用ハードウェアで実行することは許容されない。また、パケット損失、到着ジッタ、速度ゆらぎなど、ネットワーク品質が低い場合への対応が固定回線と比較して一層要求される。

そこで本論文では、これらの課題を解決する

携帯型高画質ビデオ伝送システムの設計法について提案する。小型軽量化のための MPEG-2 ビデオソフトウェアコーデック、伝送における信頼性や性能を高めるためのプロトコルなどの要素技術の提案とともに、本設計法に基づく試作システムの開発に関して紹介する。

2システムの基本設計

携帯性を重視した高画質ビデオ伝送システムの基本構成を図1に示す。ビデオ取り込み、符号化、蓄積、伝送などを携帯性に優れたノート型PC程度の小型プラットフォーム上で実現することを前提としている。

ビデオ・オーディオ符号化エンジンには、ソフトウェアコーデックを用いる。ソフトウェアによる利点は、専用ハードウェアやPCボードと比較し大幅に小型軽量化が図られる点であり、また PCMCIA カードと比較しても動作や機能拡張に柔軟性があり、新機能の追加、他アプリケーションとの連携が容易である点である。従来のソフトウェアコーデックでは、処理時間の膨大さが問題であったが、画質を維持しながら符号化を十分実用的な時間で実行できる高速化アルゴリズムを提案する(3章)。

一方、ビデオファイルの伝送には、確認型伝送手順“TCP/IP”をベースとして、その上に効

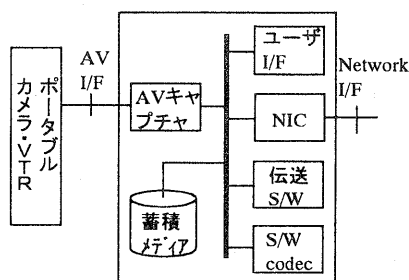


図1 携帯型高画質ビデオ伝送装置基本構成

率的な途中再開伝送や高遅延環境においてもスループットの劣化を抑制する独自プロトコル（４章）を搭載する。本プロトコルの利用により、伝送効率の向上ならびに伝送の信頼性の向上を図る。

本システムは以下のように動作する。AV キャプチャ機能により入力された AV 信号をローカル蓄積メディアに貯える。その後ソフトウェアコーデックによって、MPEG 符号化を実行する。符号化と同時に、あるいは符号化終了後にビデオファイルをネットワークに送出する。

3 ソフトウェアコーデック

符号化エンジンとしての MPEG-2 ビデオソフトウェアコーデックについて提案する。

3.1 符号化プロセスの高速化

一般にビデオ符号化の処理においては、全演算の 90%以上が動きベクトル関係により占められる。符号化効率の劣化を抑制しながら、処理時間を短縮する手法として、可変動きベクトル探索範囲方式、予測ピクチャタイプの適応的選択方式、最適動きベクトルの予測方式を提案する。

3.2 可変動きベクトル探索範囲 [1], [2]

フレーム間／フィールド間予測時の動きベクトル探索は、一般には 1 フレーム距離あたり $L \times L$ の正方枠内の全画素に対して、最適値検出が行われる。フレーム構造予測の場合、M フレームに対する探索回数 D は以下のように定式化される。

$$D(L, M) = M \times (2M^2 + 1) \times L^2 / 3 \quad \text{----- 式 1}$$

ただし、 M は I/P ピクチャ周期

これより L を小さくすることが処理量の減少につながるが、単純な探索範囲の縮小は符号化効率の劣化を生じる。２種類の異なる性質を有するテスト画像に対して、探索範囲を変化さ

せた場合の処理時間と SNR の関係を図 2 に示す。これより画像中の動き量の大きさにより、探索範囲縮小の効果は異なることが明らかである。そこで、適応的に探索範囲を拡大・縮小させる手法として、以下の方式を提案する。

符号化と同時に選択された動きベクトルのヒストグラムを作成し、 $X\%$ の動きベクトルが含まれる範囲を新たな探索範囲とする。一方、探索範囲最大値の動きベクトルが選択される頻度が $Y\%$ 以上の場合、探索範囲を Z 画素分拡大する。

3.3 予測ピクチャタイプの適応的選択 [1], [2]

MPEG ビデオ符号化で特徴的な両方向予測（B ピクチャ）の使用は、多様な画像に対して符号化効率を向上させるという効果をもたらす一方で、動きベクトル探索数を激増させるという欠点を有する。B ピクチャを使用する場合の探索数（式 1）に比較し、I/P ピクチャのみ

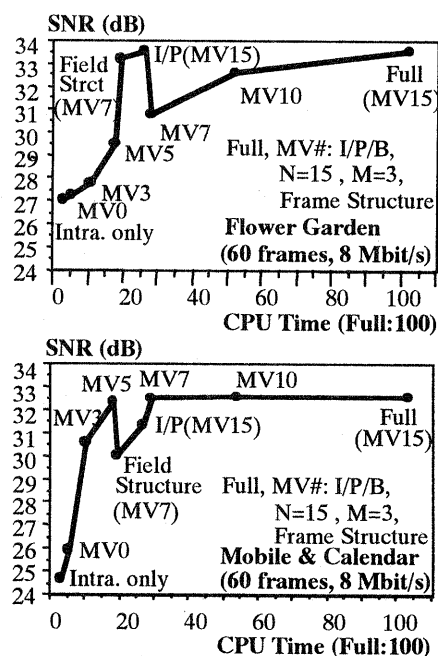


図 2 動きベクトル探索範囲と符号化処理時間

の場合の M フレーム分に対する探索数は、

$$E(L, M) = M \times L^2 \quad \text{----- 式 2}$$

である。

一方、既述の 2 種類のテスト画像に対する I/P/B ならびに I/P による実験の結果、画像の種類によっては、I/P のみでも符号化効率の劣化がほとんど見られないことがわかる(図 2)。従って、適応的に予測ピクチャタイプを選択する手法として下記の方法を提案する。

符号化中、B ピクチャにおけるマクロブロック単位での予測モードのうち、両方向予測利用率が U% 以下の場合、I/P 予測に変更する。一方、動き量が少ない画像での両方向予測選択率が高いという統計的傾向から、動きベクトルヒストグラム中 V% が包含される動きベクトルサイズが W 以下の場合、I/P/B 予測に戻す。

3. 2 ならびに 3. 3 で提案した手法による効果を表 1 に示す。画質劣化を抑制しながら、符号化処理時間を 1/4～1/6 に短縮していることが示されている。

3. 4 最適動きベクトル予測方式 [3]

3. 2 の提案は動きベクトルの全探索方式に対して、大幅に符号化処理量を減ずる手法として有効であるが、さらなる探索範囲の縮小は符号化画質の劣化を生じるため、その適用には限界がある。符号化効率を維持しながらさらに動きベクトル探索処理量を減少させる手法として、最適動きベクトル予測方式を提案する。これは隣接するマクロブロック間での動きベクトルの相関性を利用することにより、全探索に

表 1 適応的符号化パラメータ変更の効果

画像 (4Mbit/s 符号化)		従来方式	提案方式
Mobile & Calendar	SNR (dB)	28.10	27.28
	Time (%)	100.00	16.27
Flower Garden	SNR (dB)	28.79	28.47
	Time (%)	100.00	26.30

て選択される最適ベクトルの近傍ベクトルを予測値として得ることにより、少ない探索回数で最適ベクトルを発見することを目的とする。

予測に使用するマクロブロックは、図 3 における A, B, E のいずれか、あるいはすべてである。一般に動きベクトルの横成分の方がゆらぎが大きい(図 3) ため、予測値を中心とする横長長方形内に最適ベクトルを探索する。2 種類のテスト画像に対する提案手法の効果を図 4 に示す。近傍のなるべく多くのマクロブロック動きベクトルを参照し、横長長方形枠での探索を行うことの効果が見られる。

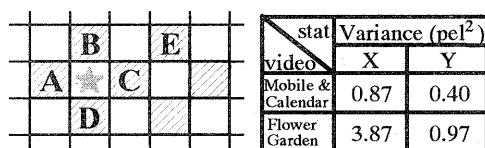


図 3 動きベクトルの予測

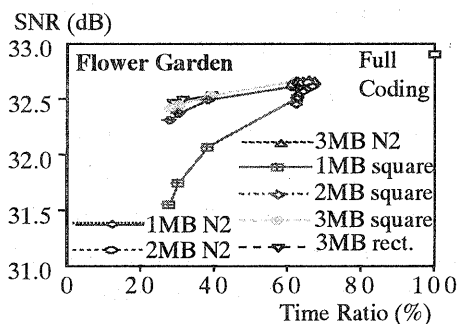
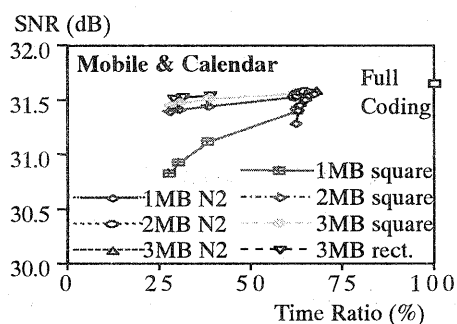


図 4 動きベクトル予測の効果

4 伝送プロトコル^[4]

蓄積伝送動作において、回線エラーやパケット損失をカバーするためには、TCP/IP を用いたファイル伝送が有効であるが、一方で従来の方式には、①高遅延環境でのスループット低下、②伝送中断後の再送ははじめから開始せざるを得ない、という問題がある。これらを解決するため、TCP/IP 上にて動作する伝送プロトコルを提案する。

4.1 マルチコネクション伝送

高遅延環境においては、TCP/IP が確認型伝送方式であることから、スループットが低下する。これに対し、伝送ウィンドウサイズを拡大する手法は、再送の効率低下やスロースタートの発生によるスループット低下が生じるため、エラーを想定した回線では非効率的である。そこで、ウィンドウサイズを変更せずに伝送コネクションを同時に複数確立し、スループット低下を抑制する手法を提案する。伝送単位としてのパケットフォーマットを図5に示す。このフォーマットにおいては、パケット中のデータがファイルの中で占める位置情報を有しているため、受信側にて順不同で到着したパケットを正しく整列させることが可能である。また、データサイズを有しているため、可変長パケットにも対応可能である。さらに、伝送ファイル中の最後のデータであることを示すフラグも有している。

伝送動作は図6に示されるように、送信側にてファイルから抽出されたパケット単位で

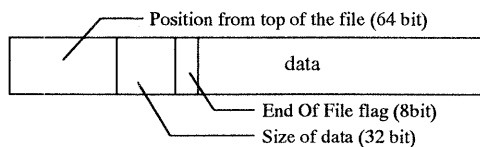


図5 パケットフォーマット

TCP/IP コネクションに割り当てられる。この割り当ては、到着順の原則による。すなわち、割り当てられたパケットを早く送信終了したコネクションに対して、次のデータパケットを割り当てる。これにより、コネクションがアイドル状態となってスループットが低下することを防止する。また、あるコネクションが異常終了した場合には、該当データパケットを待ち行列の先頭に配置し、次にアイドルとなったコネクションで送信される。

受信側では到着パケット中のデータを該当するファイル中の位置に書き込む。伝送途中でのコネクション数の増減も行うことが可能である。

4.2 伝送途中再開

伝送途中で中断された場合に、その個所から伝送が再開できる。本プロトコルでは、再送開始個所を指示するポインタを定義している。尚、4.1 で述べたマルチコネクション動作においては、受信側の作成途中ファイルは、はじめから連続領域に書き込みが行われるわけではないため、先頭から連続して書き込みが終了している個所を再送ポインタの位置として、ログに記録しておく。

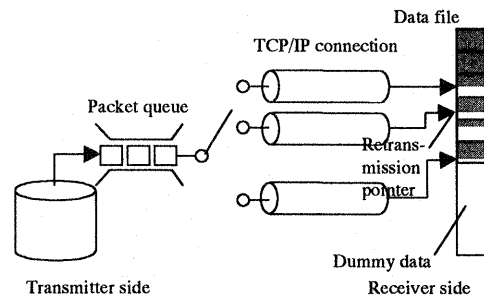


図6 マルチコネクション伝送方式

5 試作システム概要

提案した設計法に従って開発した試作システムの仕様を表2に、外観を図7に示す。本システムにおいては、完全なポータビリティを実現するため、ノート型PCをプラットフォームとし、ビデオ入力源も小型なDVカメラを用いている。IEEE 1394 インタフェースでカメラより取り込んだ映像・音声をPC内のハードディスクに AVI ファイルとして格納し、符号化則・ビットレート、多重化則・PID 値などのパラメータを入力後、符号化を開始する。3章で提案した符号化アルゴリズムの高速化に加え、マルチメディア特殊命令 (MMX, SIMD など) に対応したプログラミング技術により、DCT などの単純演算の高速化を図っている。伝送用ネットワークとしては、ノート型PC上

表2 試作システム仕様

映像音声入力	IEEE 1394 (DV 端子)
映像符号化	MPEG-2 MP@ML, MPEG-1
映像フォーマット	720×480×29.97, 720×576×25
映像符号化レート	768kbit/s ~ 15Mbit/s
音声符号化	MPEG-1 Layer II
映像音声多重化	MPEG PS/TS/System
基本伝送プロトコル	TCP/IP
上位伝送プロトコル	途中再開・高遅延対応

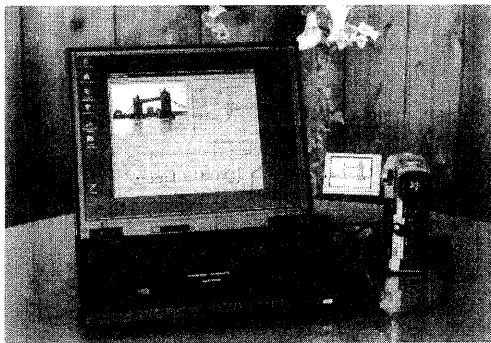


図7 試作システム外観

の PCMCIA スロットが対応可能なインタフェースが全て使用可能である。伝送に関しては、ダイヤルアップや LAN 設定などで TCP/IP 回線をあらかじめ確立した状態で行う。本試作システム上では受信側 IP アドレスを指定することにより伝送を開始するが、符号化済みのファイルに対しても、また符号化と伝送の合計時間の短縮を図るため、符号化途中ファイルに対しても伝送が可能である。

受信側は、4章にて提案した伝送プロトコルに対応したソフトウェアを搭載し、受信 MPEG-1/2 ファイルがリアルタイムで復号表示可能な環境として、通常のデスクトップPC程度のプラットフォームにて実現可能である。

6 おわりに

携帯型高画質ビデオ伝送システムの設計法を提案した。ソフトウェアコーデックの利点は、装置規模の小ささに加えて、プラットフォーム側でも処理能力向上が期待できること、柔軟性が高く他の機能との連携が容易なこと、などであり、今後実用面での機能拡張などを図って行く。また、フィールド試験を実施し、伝送プロトコルの一層の性能改善も行う。

謝辞

日頃貴重な助言をいただき、村谷所長、鈴木副所長、山本副所長に深謝いたします。

参考文献

- [1] 滝嶋ら、「ソフトウェアによるビデオ符号化の高速処理に関する検討」,1995 信学総大 D-351, p.77, 1995. 3.
- [2] 滝嶋ら、「適応的高速ビデオ符号化ソフトウェアの検討」,1995 信学ソ大 D-92, p.94, 1995. 9.
- [3] 滝嶋ら、「動ベクトル予測によるビデオ符号化の高速化に関する検討」,1998 信学総大 D-11-41, p.41, 1998. 3.
- [4] 酒澤ら、「IP ネットワークによる高画質映像伝送システムの開発」,ITE 技術報告 Vol. 23, No. 50, pp. 1-6, 1999. 3.