

リアルタイム MPEG-2 ビデオトランスコーダソフトウェアの開発

西村 敏¹⁾ 笠井 裕之²⁾ 高屋 和幸¹⁾ 亀山 涉²⁾
榊 直昭³⁾ 花村 剛³⁾ 富永 英義^{1),2)}

¹⁾ 早稲田大学 理工学部 電子・情報通信学科
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1
satoshi@tom.comm.waseda.ac.jp

²⁾ 早稲田大学 国際情報通信研究センター
〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10 早稲田大学 29-7 号館

³⁾ 株式会社 メディアグルー
〒169-0072 東京都新宿区大久保 2-4-12 新宿ラムダックスビル 8 階

本稿では、MPEG-2 ビデオトランスコーダの実現形態について考察し、その考察に基づいて基本アーキテクチャを決定した。また、そのアーキテクチャに基づき、アルゴリズムの確立、及びMPEG-2 ビデオトランスコーダソフトウェアの開発を行った。また、MPEG-2 ビデオトランスコーダソフトウェアについて、出力ビットストリームの復号再生画像品質及び、トランスコード処理速度の2つの観点からシミュレーション実験により評価を行った。その結果、復号再生画像品質は、同一符号化レートの通常符号化ビットストリームの復号再生画像と同等の品質を有するといった良好な結果を得た。また、トランスコーディング処理速度は、現在、容易に入手できるPCレベルで十分にリアルタイム動作が保証できることを明らかにした。

キーワード MPEG-2 ビデオ, ソフトウェアトランスコーダ, レート変換, 復号再生画像品質, リアルタイム動作

A Development of the Real-time MPEG-2 Video Transcoder

Satoshi NISHIMURA¹⁾ Hiroyuki KASAI²⁾ Kazuyuki TAKAYA¹⁾ Wataru KAMEYAMA²⁾
Naoki SAKAKI³⁾ Tsuyoshi HANAMURA³⁾ Hideyoshi TOMINAGA^{1),2)}

¹⁾ Dept. of Electronics, Information and Communication Engineering, WASEDA University
3-4-1 Ohkubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555 JAPAN
satoshi@tom.comm.waseda.ac.jp

²⁾ Dept. of Global Information and Telecommunication Institute, WASEDA University
29-7, 1-3-10 Nishi-Waseda, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 JAPAN

³⁾ Dept. of Media Glue Corporation
Ramdax Bldg. 8th floor 2-4-12 Ohkubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0072 JAPAN

In this paper, we study a structure of MPEG-2 video transcoder and design a basic architecture of the MPEG-2 video Transcoder. Based on this architecture, we decide an algorithm of MPEG-2 video transcoding, and develop the MPEG-2 Video Transcoder Software. We evaluate this Transcoder Software from the viewpoints of image quality and real-time processing by simulation experiment. From estimation experiment, it is shown that this MPEG-2 Transcoder Software have the capability of real-time transcoding, and that this transcoder provide as same image quality as that of MPEG-2 encoder.

keyword MPEG-2 Video, Software Transcoder, Rate Translation, Decoded Image quality, Real-Time Processing

1. はじめに

H.261^[1], MPEG-1^[2]の標準化に続いて、衛星を利用した番組の配信との組合せなど、放送と通信技術の融合や高詳細画像のデータベース化などの通信需要の高度化・多様化、高画質化、各種画像・映像間の互換性または統合化への要求を考慮し、放送・通信・蓄積メディアなどのメディア統合を目指した汎用的な動画画像符号化方式(MPEG-2)が標準化された^[3]。これら一連の国際標準の原動力は、ビデオの映像をパソコンやワークステーションのマルチメディア端末などと相互に通信できることへの要求と、個人が個別に所有している映像情報を通信網を介して自由に相互通信できることへの要求による。現在、MPEG-2を利用したビデオオンデマンドシステムの規格化がほぼ完了し、利用者が要求する映像を取り出すことは可能となってきた。しかし、まだ利用者の要求する符号化レートの情報をどのように取り出すかと言った方式が確立していないのが現状である。

また、同一映像ソースから異なるビットレートで異なる品質のMPEG-2ビデオを利用者が選択的に利用できる機能として、MPEG-2スケラビリティ^[4]があるが、その実現には復号器において複雑な構造を必要とし、MP@MLレベルの復号器では復号できない。

そこで本稿では、回線品質に応じた画質選択機能をMP@MLレベルの復号器においても実現できる方式としてトランスコーディングに着目し、現在までに検討されてきたH.261準拠のトランスコーディングアルゴリズム^[5]を基に、MPEG-2準拠のトランスコーダの実現形態について考察し、その考察に基づいてトランスコーディングアルゴリズムの確立、及びソフトウェアの開発を行う。また、シミュレーション実験により本トランスコーディングアルゴリズムの有効性を示す。

2. トランスコーディング方式

MPEG-2ビデオビットストリームからMPEG-2ビデオビットストリームへのトランスコーディングは、図1に示すような単純な復号器と符号化器の組合せによる変換器により実現可能である。つまり、復号器により入力ビットストリームを完全に復号し、得られた画像シーケンスを符号化器に入力することで、変換目標の符号化レートの出力ビットストリームを得ることは可能である。

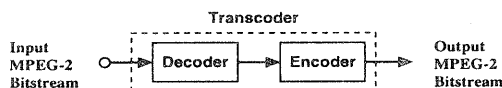


図1: 復号器と符号化器の単純結合によるトランスコーダ

しかし、図1に示すトランスコーダには、以下に示す問題点が存在する。

- 復号・符号化の処理量が多大
入力ビットストリームを一旦復号し、画像に戻し、再度符号化するという一連の過程をたどるため、復号・符号化に要する全処理時間がかかる。
- 繰り返し符号化による画質の低下
入力ビットストリームが一旦画像に復号されてしまうと、その画像からは、入力ビットストリームのGOP構造、ピクチャタイプと言った符号化構造を知ることができないため、再符号化の際にこれらの符号化条件と異なった符号化構造で符号化されてしまうことにより画質が低下する。特に予測参照画像として利用されないBピクチャは、再帰的に予測に使用されるI、Pピクチャと比較して画質を低く設定することにより全体の画質を向上させているが、再符号化の際に、入力ビットストリームでは、BピクチャであったフレームがIピクチャとして符号化されてしまうと画質が低下することが考えられる。
- フレームの並び換えに伴う遅延
一般的なBピクチャを含む符号化構造の入力ビットストリームの変換には、ビットストリーム上のフレーム順序と画像表示の際のフレーム順序が異なり、これを並び変える必要があるため遅延が生じる。例えば、一般的な $M = 3$ の場合、復号部において画像表示順に並び換える際に、3フレームの遅延が生じ、符号化部においても、I、Pピクチャを先に符号化することに伴う3フレームの遅延が生じ、トランスコーダ内で合計6フレームの遅延となってしまう。

そこで、復号器と符号化器の単純結合によるトランスコーダの欠点を補うため図2に示す入力ビットストリームのピクチャ層以上の符号化条件、及び動きベクトルを出力ビットストリームの符号化情報としてそのまま転用する空間領域におけるトランスコーダが考えられる。

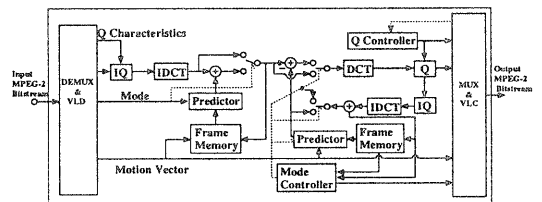


図2: 空間領域におけるトランスコーダ

図2に示すトランスコーダは、入力ビットストリームに対し可変長復号、逆量子化、逆DCT処理の各処理を行うことにより空間領域まで復号し、得られた空間領域の信号に対し、入力ビットストリームから得られる動きベクトル情報を用いて、動き補償を行い、DCT、量子化、可変長符号化の各処理により、目標の出力ビットストリームへ変換する方式である。

本方式では、図1のトランスコーダで遅延の主な原因となっていた画像フレームの並び換えによる遅延を削減し、入力ビットストリームと同一の符号化構造・ピクチャタイプを用いることにより、画質低下を低減することができる。さらに動きベクトルを転用することにより処理の複雑さを低減している。

さらに、入力ビットストリームのスライス層、マクロブロック層までの符号化情報を再利用するトランスコーダとして図3に示すDCT係数領域におけるトランスコーダが考えられる。

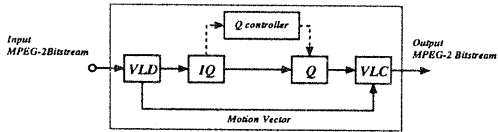


図 3: DCT 係数領域におけるトランスコーダ

図3に示すトランスコーダは、入力ビットストリームに対し、可変長復号、逆量子化の各処理を行い、DCT係数領域まで復号し、得られたDCT係数信号に対し、再量子化、可変長符号化の各処理により、目標の出力ビットストリームに変換する方式である。本トランスコーダでは、マクロブロック層より上位の符号は、ほとんど再利用でき、基本的にブロック層のDCT係数の変換及び、符号化レートの変換、ブロック層DCT係数の変換に伴い修正が必要なマクロブロック層の符号の変換のみの処理となる。また、空間領域におけるトランスコーダでは必要となる動き補償用参照画像フレームメモリを必要としないためメモリ量の削減が可能である。遅延の面でも画像フレームの並び換えが原因の遅延がないだけでなく、復号、及び符号化処理がマクロブロック単位であるため、画像全体の復号、符号化時間の遅延もなくなる。

以上の考察から、DCT係数領域におけるトランスコーダによる実現方式を基本アーキテクチャとして、MPEG-2トランスコーダソフトウェアの開発を行った。

3. 基本アルゴリズム

本トランスコーダは、以下に示す4つの基本アルゴリズムにより成り立っている。

1. 上位レイヤ符号の変換
2. レート制御方式
3. 逆量子化・量子化方式
4. MBレイヤ符号化情報の修正

ただし、ここで言う上位レイヤ符号とは、MPEG-2シンタックス構造においてスライス層を含みそれより上位に位置する符号全てを示している。

以下では、各技術要素について記述する。

3.1 上位層符号の変換

基本的には、入力ビットストリームから得られる上位レイヤの各符号は、そのまま出力ビットストリームの上位レイヤの同一の符号として複製する処理を行う。ただし、以下の3符号に関しては、出力ビットレートまたは、出力符号量に応じて修正が必要である。

- **bit_rate.value**
シーケンス層に存在し、作成されるビットストリームのビットレートを400で除算した値を示すものであるため、入力ビットストリームの符号を削除し、出力ビットストリームに合わせて変更する。
- **vbv.delay**
ピクチャ層に存在し、トランスコーディングによる各ピクチャの符号量変動に合わせて修正する。
- **quantizer_scale_code**
スライス層に存在する。この値は、スライス層の最初のマクロブロックのMQuantの値を示すものであり、後述するレート制御により求められる値に修正し符号化する。

3.2 逆量子化・再量子化方式

図3に示すDCT係数領域におけるトランスコーディング手法における一般的な逆量子化、再量子化の手順を示し、本トランスコーディングの逆量子化・再量子化アルゴリズムを示す。

逆量子化はMPEG-2標準に従い、次式のようにする。

$$\text{ノンイントラMB} \\ \text{dequant} = \frac{(2 \times \text{level} + \text{sign}(\text{level})) \times qScale \times QM}{32} \quad (1)$$

$$\text{イントラMB} \\ \text{dequant} = \frac{\text{level} \times qScale \times QM}{16} \quad (2)$$

ここで、*dequant*は逆量子化係数、*QM*は量子化マトリクスを、*qScale*は量子化スケールを、*level*は量子化係数をそれぞれ示している。

一般的な再量子化は次式のようにする。

$$\text{ノンイントラMB} \\ tlevel = \frac{\text{dequant} \times 16}{tqScale \times QM} \quad (3)$$

$$\text{イントラMB} \\ tlevel = \frac{\text{dequant} \times 16 + \text{sign}(\text{dequant}) \times \frac{tqScale \times QM}{2}}{tqScale \times QM} \quad (4)$$

ここで、*tqScale*は量子化スケールを、*tlevel*は新たな量子化スケールによる変換後の量子化係数を示している。

上記処理手順では、逆量子化係数を保存しその係数に対し新たな量子化ステップにより再量子化を行うため、

一旦逆量子化係数を保存するメモリが必要となる。また、逆量子化係数はトランスコード処理過程における中間出力であり、目標となる出力ビットストリームに直接は反映されない係数であるため、逆量子化係数を生成することは処理効率の低下を招いている。

そこで、本方式では、図3：IQに相当する演算式である式(1)、式(2)と、図3：Qに相当する演算式である式(3)と、式(4)を以下に示す様に、それぞれ結合させ、1つの演算処理器として表す。これにより、DCT係数を復元することなく、量子化レベルから再量子化レベルへの直接変換がおこなえることになり、DCT係数変換演算処理の簡易化が図れ、且つ処理効率の向上によるトランスコーディング処理の高速化を実現できる。式(3)、式(4)の $deqlevel$ に式(1)、式(2)をそれぞれ代入し、整理することにより式(5)及び式(6)を得る。

ノンイントラMB

$$tlevel = \frac{(2 \times level \times qScale + sign(level)) \times qScale}{2 \times tqScale} \quad (5)$$

イントラMB

$$tlevel = \frac{level \times qScale + sign(level) \times \frac{tqScale}{2}}{tqScale} \quad (6)$$

さらに、式(7)に示す $mqRatio$ を用いて、式(5)及び式(6)を整理し、式(8)、式(9)に示す逆量子化・再量子化結合式を導いた。

$$mqRatio = \frac{256 \times qScale}{tqScale} \quad (7)$$

ノンイントラMB

$$tlevel = \frac{(level \times mqRatio + sign(level) \times (mqRatio/2))}{256} \quad (8)$$

イントラMB

$$tlevel = \frac{(level \times mqRatio + sign(level) \times 128)}{256} \quad (9)$$

ここで、 $mqRatio$ は、 $qScale/tqScale$ を整数型演算における演算精度の向上を考慮するため、小数点以下を8ビットで表している。

式(8)及び式(9)を用いることにより、トランスコーディング処理の高速化を実現した。

3.3 レート制御方式

リアルタイムトランスコーディングを行う場合、入力ビットストリームのピクチャタイプと同一のピクチャタイプを用いたトランスコーディング処理を行うが、一般的には、入力ビットストリームの符号化時に用いるパラメータである、GOP内のピクチャ数(N)、IピクチャまたはPピクチャの出現周期(M)といった情報を知ることが出来ないため、個々のピクチャの目標符号量の設

定演算にGOP内の未符号化ピクチャのピクチャタイプ及び未符号化ピクチャ数を用いるTM5^[6]の様なレート制御方式が基本的には不可能であると考えられる。

そこで、入力ビットストリームより得られる入力ビットストリームのビットレート値、トランスコーディング時に得られる情報である出力ビットストリームのビットレート値、及びトランスコーダへの累積入力ビット数、累積出力ビット数を用いたレート制御バッファの制御を行うことによるレート制御方式を用いた。

3.4 MBレイヤ符号化情報の修正

MBレイヤの符号のうち、`macroblock_address_increment`、`frame_motion_type`、`field_motion_type`、`dct_type`及び、動きベクトル符号の各符号は、入力ビットストリームより得られる各符号化情報をそのまま出力ビットストリームの符号化情報として再利用する。

しかし、以下の各符号については、ブロックレイヤの符号変換に伴い修正が必要となる。

- `quantizer_scale_code`
トランスコーダ内におけるレート制御により得られたMQuantにより修正し、新たに符号化する必要がある。また、修正後の値が直前のマクロブロックの`quantizer_scale_code`と同一である場合には、MPEG-2 シンタックスに従い記述をしない。
- `coded_block_pattern`
逆量子化・再量子化によるDCT係数の変換時に、式(7)に示す $mqRatio$ が大きい場合に、再量子化係数0が増加することにより、1ブロック内の量子化係数が全て消失してしまう可能性がある。そのような場合、各ブロックの量子化係数の存在に応じて再度決定し直す。
- `macroblock_type`
`macroblock_type`の変更を要するのは、入力ビットストリームでは存在していた`quantizer_scale_code`が出力ビットストリームには存在しない、または、Codedのマクロブロックが、逆量子化・再量子化処理後にNotCodedのマクロブロックになった場合である。これら条件に応じて修正する。

また、注意すべき点として、Pピクチャでは、入力ビットストリームより得られた復号時のマクロブロックが、NoMC且つCodedである場合、変換後にNoMC且つNotCodedになる可能性がある。この場合、シンタックス上は、スキップMBとなる。しかし、MPEG-2 シンタックスでは、スライス層の最初及び最後のマクロブロックはスキップMBであってはならないと言う制約があるが、本アルゴリズムによるリアルタイムトランスコーダでは、変換対象としているマクロブロックがスライス層の最後のマクロブロックかどうかを即座に認識することが出来ないため、変換対象MBがスライス層の最後のマクロブロックであった場合、スキップMBとすることにより、スライス層以上の構造を変更し直す必要

が出て来てしまう。そのため、このような場合は、ブロックに係数を1つ残し、強制的にCodedブロックとする処理を加え、スキップMBとなることを防止している。

4. シミュレーション実験と評価

本トランスコーダをトランスコードビットストリームの再生画質及び、トランスコーディングに要する処理量の2つの観点より性能評価を行った。

シミュレーション実験は、トランスコーダへの入力ビットストリームを15[Mbps]～5[Mbps]とし、その各入力符号化レートに対する(入力符号化レート-1)[Mbps]～4[Mbps]の出力符号化レートの全ての組み合わせにレート変換することにより行った。また、本トランスコーダは、符号化レートの削減器であるため、シミュレーション実験結果表中の“-”は、評価対象外であり、データが存在していないことを示している。

各実験において共通に使用するトランスコーダに対する入力 MPEG-2 ビットストリームの符号化条件を表1に示す。

表 1: 入力 MPEG-2 ビットストリームの符号化条件

符号化方式	MPEG-2 MP@ML TM5 準拠
フォーマット	ITU-R BT.601 輝度信号: 704[pe] x 480[line] 色差信号: 352[pe] x 240[line]
画像	Bus
フレーム数	150 フレーム
符号化レート	5[Mbps]～15[Mbps]の1[Mbps]刻み
実験環境	CPU: PentiumII 400MHz OS: Debian GNU/Linux 2.1

尚、表1中の実験環境により、全シミュレーション実験を行っている。

以下に、各実験項目毎に実験方法及び結果を示す。

4.1 トランスコードビットストリームの再生画質の評価

表1の条件で、通常の符号化を行った場合の150フレームシーケンスの原画像に対する輝度信号の平均SNRと、表1に示す符号化条件により作成された入力 MPEG-2 ビットストリームに対するトランスコーダの出力する MPEG-2 ビットストリームを復号再現した画像データの輝度信号の原画像に対するSNRを比較することにより、トランスコードビットストリームの復号再生画質の評価を行った。結果を表2に示す。

表2に示される様に、Busシーケンスを用いた場合は、SNRが0.1[dB]程度低下している組み合わせも存在するが、多くの組合せにおいて、通常符号化よりもSNRが向上していることが分かる。これは、通常符号化と比較してトランスコーダ内におけるレート制御が安

定した量子化ステップを算出していることによるものであると思われる。これより、本MPEG-2トランスコーダの性能が良好であると言える。また、出力ビットレートを決定した場合においては、どの入力ビットレートからのトランスコードでも同様の品質を得られる。これは、情報理論におけるレート歪み理論にもよく符合した現象である。ただし、入出力レートの変換比が大きい場合に、入出力レート変換比が小さい場合と比較して若干SNRが低下している結果が見受けられる。これは、入出力レート変換比が大きいことによるドリフトが大きくなっている場合と考えられる。

4.2 トランスコード処理速度の評価

処理速度の評価基準として、1秒間に処理される平均フレーム数を用いた。この指標は、150フレーム分の入力ビットストリームをトランスコードするためのプログラムの実行時間の実測値を元に150フレームを所要時間で除算した値である。この数値を、ITU-R Rec.601画像のフレームレート(29.97[frame/sec])と比較することにより、実質的な処理速度性能を評価し、且つリアルタイム処理可能かどうかを判定することができる。具体的には、1秒あたりの処理フレーム数が29.97[frame/sec]を越えていれば、トランスコーダへのビットストリーム入力よりも、ビットストリーム出力が速くなり、トランスコーダ内に留まるデータが少なくなり(または、バッファが即座に空になり)、リアルタイム性が保証できる。

表3に結果を示す。表3から分かる通り、入力ビットレート、出力ビットレートの全ての組み合わせにおいてリアルタイム処理の基準として掲げた29.97[frame/sec]を越えている。つまり、リアルタイム性が保証できると考えられる。

また、全体の傾向として入出力ビット量が多い程1秒間当たりの処理可能フレーム数が少なくなる傾向にあり、入力ビットレートと出力ビットレートの和が同一である組み合わせにおいては、1秒当たりの処理フレーム枚数は、ほぼ同等の値を示している。このことは、入力ビットレートと、トランスコーダを稼働させる環境の処理速度を考慮し、トランスコーダのリアルタイム動作を保証するための出力レート決定の際に利用できると考えられる。

5. まとめ

本稿では、MPEG-2トランスコーダの実現形態について考察し、その考察に基づいて基本アーキテクチャを決定した。また、そのアーキテクチャに基づき、アルゴリズムの確立、及びMPEG-2トランスコーダソフトウェアの開発を行った。

また、MPEG-2トランスコーダソフトウェアについて、出力ビットストリームの復号再生画像品質及び、トランスコード処理速度の2つの観点よりシミュレーシ

表 2: 出力 MPEG-2 ビットストリームの復号再生画像の輝度信号の SN 比 [dB]

通常符号化 の SNR[dB]	MPEG-2 ビットレート [Mbps]										
	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
	38.32	37.86	37.38	36.93	36.49	35.94	35.27	34.56	33.79	32.84	31.69
入力ビット レート [Mbps]	出力 MPEG-2 ビットレート [Mbps]										
	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
15	38.36	37.95	37.59	37.29	36.80	36.13	35.43	34.73	33.86	32.79	31.59
14	-	37.93	37.57	37.26	36.84	36.17	35.48	34.79	33.92	32.82	31.64
13	-	-	37.49	37.17	36.82	36.19	35.50	34.84	33.98	32.88	31.69
12	-	-	-	37.04	36.76	36.18	35.52	34.85	34.04	32.96	31.76
11	-	-	-	-	36.62	36.13	35.54	34.88	34.08	33.01	31.82
10	-	-	-	-	-	36.08	35.51	34.91	34.13	33.10	31.89
9	-	-	-	-	-	-	35.42	34.89	34.16	33.17	31.98
8	-	-	-	-	-	-	-	34.75	34.18	33.22	32.06
7	-	-	-	-	-	-	-	-	34.10	33.25	32.10
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33.20	32.10
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32.07

表 3: MPEG-2 トランスコーダの 1 秒間の処理フレーム数 [frame/sec]

入力ビット レート [Mbps]	出力 MPEG-2 ビットレート [Mbps]										
	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
15	33.26	33.63	34.88	35.71	36.67	37.59	38.86	40.54	41.78	43.60	45.18
14	-	35.05	35.80	36.86	37.88	38.96	40.21	41.90	43.23	45.18	46.88
13	-	-	36.67	37.88	39.06	40.32	41.78	43.48	44.78	46.73	48.23
12	-	-	-	39.16	40.54	41.90	43.10	44.91	46.58	48.54	49.67
11	-	-	-	-	42.02	43.35	45.05	46.58	48.54	50.51	52.26
10	-	-	-	-	-	45.32	46.73	48.70	50.85	53.00	54.55
9	-	-	-	-	-	-	48.70	51.02	53.19	55.35	57.92
8	-	-	-	-	-	-	-	53.38	55.76	58.37	61.48
7	-	-	-	-	-	-	-	-	59.06	61.73	64.94
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65.79	69.44
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75.00

ン実験により評価を行った。その結果、復号再生画像品質は、同一符号化レートの通常符号化ビットストリームの復号再生画像と同等の品質を有するといった良好な結果を得た。また、トランスコーディング処理速度は、現在、容易に入手できる PC レベルで十分にリアルタイム動作が保証できることを明らかにした。

謝辞

本研究は、Geoffrey Morrison 氏 (BT Labs.) が早稲田大学に提出された学位論文を基に、その発展として着手されたものであり、情報処理振興事業協会 (IPA) の高度情報化支援ソフトウェア育成事業のテーマに採択され実施されました。また、本開発の初期段階において、株式会社アスキー未来研究所 片山泰男氏にアルゴリズム開発とソフトウェア開発に御協力頂きました。関係者各位に深く感謝致します。

参考文献

- (1) ITU-T Recommendation H.261, IS: "Video codec for audiovisual services at px64 kbit/s" (1990).
- (2) ISO-IEC 11172-2, IS: "Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at a up to about 1.5 Mbits/s" (1993).
- (3) ISO-IEC 13818-2, International Standard: "INFORMATION TECHNOLOGY - GENERIC CODING OF MOVING PICTURES AND ASSOCIATED AUDIO Recommendation H.262" (1996).
- (4) 花村 剛, 富永英義: "スケーラブルビデオ符号化", テレビジョン学会技術報告, 1 (1994).
- (5) D. Morrison: "Video transcoders with low delay", IEICE Trans. Comms. (1997).
- (6) ISO-IEC JTC1, MPEG 93/N225b: "Test Model 5 /draft" (1993).