

## 論文の内容の要旨

論文題目 変換・予測ハイブリッド動画像符号化方式の研究

氏名 太田睦

動画像を効率的に圧縮符号化する方式として広く知られるに至った、変換・予測ハイブリッド方式に関して検討した。この中で、もっとも用いられているのは、DCT（離散コサイン変換）符号化方式とMC（動き補償フレーム間予測符号化）方式とのハイブリッド符号化方式（MC+DCT）であり、数々の国際標準化に採用されている。この方式の問題点を整理し検討するとともに、MCやDCTを他の方式で置き換えた方式を検討した。その結果、オーバーラップMC（OMC）方式とウェーブレット変換（WT）符号化のハイブリッド化（WT+OMC）によって、主観的な画質が改善され得ることを示した。また、画像の階層表現上でのMC予測方式の効率を定量的に論じ、さらにロスレス符号化を可能にする修正方式についても論じている。

この論文では、まずDCTと類縁関係をもつ、オーバーラップ変換、サブバンド変換、ウェーブレット変換の体系について述べ、ウェーブレット変換符号化方式の可能性を検討する。DCT符号化方式が持つ、構造的な欠陥であるブロック歪みとモスキート雑音について論じる。サブバンド解析フィルタバンクとオーバーラップ変換とは数学的に等価であり、変換基底が端で減衰し、隣接基底間でオーバーラップするためにブロック歪みを出さずに符号化できる。しかし、モスキート雑音も消せる訳ではない。これを抑制するためには、サブバンド解析フィルタバンクを改良した、ウェーブレット変換の導入が必要であることを示し、実際の画像においてブロック歪みとモスキート雑音の両方が解決することを示した。

次に、MC+DCT型ハイブリッド符号化方式の諸問題、特にエントロピー符号化技法の問題や、逆DCTミスマッチ問題について検討を行った。エントロピー符号については、MC+DCT型ハイブリッド方式を初めて採用したITU-T/H.261（テレビ電話用動画符号化）の国際標準化方式において、各種エントロピー符号を具体的に開発する必要があると、著者が取り組んだ。超低レートの符号化での一般的な問題点であるが、0次エントロピー値が1より遥かに小さな情報源を符号化するのがH.261である。符号変換部では、通常ハフマン符号化が用いられるのであるが、単純にそれを適用してもエントロピー

値に即した符号化ができず、様々な技法を必要とする。

まず、ブロックの動きベクトルがゼロで、さらにブロック内係数がすべてゼロという、いわゆる「無効ブロック」は低レート符号化では頻出し、これをいかに符号化するかは効率的符号化を行う上で重要なポイントとなる。無効ブロックをブロック付加情報によって表わす方式がまず考えられるが、そこからさらに進んで無効ブロックの列をランレングス符号化することが提案されていた。ただ、それでは符号手順が煩雑になるので、それを簡略化した「ブロックアドレス符号化」の効率を評価した。ここで設計されたコードテーブルは修正されたものの **H.261** に採用され、それに続く標準化方式でも用いられている。

動きベクトルの符号化方式に関しては、筆者は適応差分動きベクトル法を提案し、**H.261** のシリーズや **MPEG** で今も踏襲されているが、ごく些細なテクニックなので、この報告書の中で詳細は省く。

有効ブロック内の **DCT** 係数符号化方式については、現在にいたるまで主流の **Zigzag-Scan + EOB** コード法に対して、より効率的な方法を求めてその代替案をいくつか考案し、比較評価を行った。ゾーン符号化問題や適応スキャン法やランレングス法である。この評価では、ゾーン方式がより効率的であるという結果を得た。

**MC+DCT** 型ハイブリッド符号化方式でのもうひとつの問題は逆 **DCT(IDCT)** ミスマッチである。**MC+DCT** 符号化方式では符号化側にも復号側でも **IDCT** 回路を持つが、これは本質的に無理数の演算であり、実際の回路では近似計算にならざるを得ない。符号化器と復号器でまったく同じ手順で **IDCT** が行われれば、この演算精度は問題にならないだろう。しかし標準化方式として考えると、ミスマッチの可能性は常に現れ、予測符号化ループの中で誤差累積が起これ、復号画像を徐々に破綻させて行く。**H.261** の作業ではミスマッチを許容した上で定期的な（最長 **132** フレーム）リフレッシュを符号化器に義務付けるというアプローチが取られ、この期間内に主観画質が損なわれないように **1** 回あたりの **IDCT** ミスマッチ誤差量を押さえることになった。

本論文では、(1)ミスマッチ誤差累積が起これかなり深刻な画質劣化が起これることをシミュレーション実験で示した。特に、ミスマッチ誤差の平均値が有意な値を持つ場合は経過時間の **2** 乗に比例した誤差累積が起これることを示した。(2)そして、累積のメカニズムを解析して高速演算を用いた場合などはブロック内の特定箇所でも累積速度が速まることなどを示した。この結果、変換ブロック内全体としての誤差評価とは別に、ブロック内の画素位置別に評価も行わなければいけないことが示された。(3)ループ内フィルタには累積速度を緩和させる効果があることを示した。(4)また、ループ内のフレームメモリの小数点以下精度を **n** ビット上げれば、誤差累積速度は **1/2** の **n** 乗に抑圧されることも示した。

以上、**MC+DCT** 型ハイブリッド符号化方式で **2** つの問題を取り上げて検討したが、この方式は構造的な欠点から逃げられない。**DCT** も **MC** もブロック単位の方式であり、符号化雑音としてのブロック歪は避けられないのである。高い符号化レートにおいては、その雑音を検知限以下に抑えることは出来ても、低いレートであればこうしたブロック歪の出現は避けられない。

早くから **DCT** を **LOT** やサブバンド符号化で置き換えることにより、ブロック歪を回避しようとするアイデアは提出されていたが、そこにウェーブレット変換を用いれば、さらにモスキート雑音も抑制することができる。しかし、**MC** 符号化方式との相性で問題を生じる。**MC** もまたブロック単位の処理であるから、予測画像も予測誤差画像もブロックで切り貼りしたような画像として現れる。信号上ではブロック端は切り立ったエッジなので、高周波を多く含んでいる。ウェーブレット符号化を採用すれば、そのブロック境界も符号化しなければならず、符号化効率は阻害される。

そこで更に進んで、MC もオーバーラップ MC(OMC)で置き換える OMC+WT 型のハイブリッド符号化方式を提案して、シミュレーション実験により評価した。この OMC で用いる MC ブロックは、隣接ブロック間でオーバーラップしており、ブロック端に向かって減衰する窓関数が掛け合わされている。予測信号はこのブロック信号を加えあわすことで得られ、ブロック端でのエッジは発生しない。

OMC の採用によって、ブロック歪が消えることと、予測誤差信号が MC の場合より低周波に電力集中し、符号化効率が上がることをまず確認する。そしてその上で、ウェーブレット変換係数が木構造でまとめられることに注目し、木構造データを効率的に走査してエントロピー符号化する方式を検討した。この方式によって、MC+DCT で用いられている Zigzag-Scan + EOB コード法とほぼ同等の符号化効率を達成することができた。

次に検討したのは、階層符号化方式(Layered Coding)における MC 符号化効率である。符号化に画像の階層表現を組み入れる階層符号化は有望なアプリケーションが期待されているのにも拘わらず、符号化効率という点で問題を抱えていた。ここでは、サブバンド分割に MC 符号化を組み合わせるハイブリッド化した階層化符号化方式で、なぜ符号化効率が下がるのかを解析する。

フルバンド上での MC と同等のことをサブバンド上で行うための計算式を導出した結果、以下のことが明らかになった。つまり、フルバンド上での MC と同等のことを行うには、(1)各サブバンド内での操作だけではなく、サブバンド間にまたがる「クロスターム MC」を導入する必要があり、(2)サブバンド内 MC もクロスターム MC も単純な画素位置シフト操作ではなくて、一般的な線形変換に MC の概念を拡張する必要があるのである。

シミュレーション実験により、クロスターム MC の欠如によって 1dB 近い効率損が発生し、一般化 MC であるべきところを画素位置シフト操作で置きかえることにより 2dB 近い効率損が発生していることを明らかにした。つまり、サブバンド内で単純な MC を行う限り、フルバンド上の MC より 2~3dB 符号化効率は下がるのである。

ここまでで、検討したのは非可逆符号化方式である。つまり、再生画像が符号化誤差を含むのを許容している。本論文で最後に検討したのは、再生画像が原画に完全に一致することを要求する可逆符号化、あるいはロスレス符号化と呼ばれる方式をハイブリッド符号化方式で実現する方法である。DCT は非可逆符号化の典型であり、DCT を組み込んだ MC+DCT ハイブリッド符号化方式ではロスレス符号化を行うのは原理的に向きとされてきた。ロスレス符号化を保証しようとすると、圧縮効率が落ちるのである。

筆者が提案するのは、DCT 行列を整数変換行列で近似してロスレス性を保証し、変換点構造の周期性を利用して冗長度を除去する可逆量子化である。この二つによって、DCT の符号化効率を引継ぎ、非可逆符号化との互換性を維持しながらロスレス符号化を行うことができる。

変換点構造の周期性と、そこで定義する可逆量子化について検討した後、実際にロスレス符号化が可能であることを示す。そしてそのロスレス符号化時の符号化効率は、DCT が本来持つ Coding Gain にのっとったものでありながら、従来の方法では達成できなかったものであることを示す。そして、MC+DCT ハイブリッド符号化方式に適用した場合、最難度とされるビデオシーケンスに対しても 70~80Mbit/sec で可逆符号化できることを示した。