

ATM 用フレーム間符号化方式 NUCLEI への動き補償の適用

藤村 誠*・黒田 英夫*
澤田 清史**・中村 彰*Application of Motion Compensation to the Interframe
Video Coding System NUCLEI for ATM Network.

by

Makoto FUJIMURA*, Hideo KURODA*, Kiyoshi SAWADA**
and Akira NAKAMURA*

In this paper, a new coding system MC-NUCLEI which is applied motion compensation to the interframe video coding system NUCLEI for ATM network proposed before by us is described. NUCLEI has two frame memories FM1 and FM2. FM1 stores full reconstructed image, and FM2 stores only data of higher priority blocks transmitted by higher priority cells in ATM network. There are two methods of motion compensation using which FM1 or FM2. A method which has not so lots of processing, is not affected by cell losses of lower priority cells and has good motion compensation characteristics is proposed. By computer simulation it was shown that the MC-NUCLEI system can compress the interframe predictive errors about a half compared with the NUCLEI.

1. まえがき

B-ISDN(広帯域-ISDN)用のネットワークとして、ATM(Asynchronous Transfer Mode) 網に関する研究が行なわれている。ATM は重要な情報を優先セルに、そうでない情報を非優先セルに割り当てて伝送する方式であり、優先セルについては確実に受信側に伝送するが伝送料金が比較的高くなり、非優先セルについては、網の輻輳時にはセル廃棄が起きる可能性があるが低料金で伝送するというものである。従って、ATM 用動画像符号化方式としては、重要な符号化データを優先セルに、そうでないデータを非優先セルに割り当て、経済的かつセル廃棄時の画像品質劣化

の少ないシステムとすることが重要であり、多くの研究がなされている。^{2) -10)}

従来方式では、非優先セルの廃棄対策として、画像信号を低周波成分と高周波成分に分割し、視覚上の影響が大きい低周波成分を優先セルに割り当て、影響が小さい高周波成分を非優先セルに割り当てている。¹⁰⁾ このような従来方式では、高周波成分に対して、本来符号化効率の高いフレーム間符号化を使用することなく、フレーム内符号化方式で伝送するなど、符号化効率の犠牲を前提にしていた。

筆者等は、ATM 用動画像符号化方式として先に NUCLEI¹⁾方式¹⁾を提案している。NUCLEI 方式は、非優先セルの廃棄対策として、比較的動きの小さい領

平成7年4月30日受理

*電気情報工学科 (Department of Electrical Engineering and Computer Science)

**三菱電機株式会社 (Mitsubishi Electric Co. Ltd.)

¹⁾Nagasaki University Codec using Large interframe prediction Errors as Important parts.

域の信号を非優先セルに、動きの大きい領域の信号を優先セルに割り当て、このことにより、下記のような特徴を実現しており、非常に効率の良い方式である。

- フルバンドを用いた効率的なフレーム間予測を用いること。
- セル廃棄発生の後でさえもフレーム間予測を用いること。

この効率の良い方式に動き補償予測を導入すれば更に高効率化が達成できる。

本論文では、ATM 用フレーム間符号化方式 (NUCLEI) への動き補償の適用について述べる。2 において ATM 用動き補償予測符号化方式 MC-NUCLEI の構成、3 において MC-NUCLEI における動き補償予測、4 においてシミュレーション実験及び結果について述べる。

2 ATM 用動き補償予測符号化方式 (MC-NUCLEI) の構成

図 1 に動き補償予測 NUCLEI 方式 (MC-NUCLEI) の符号化器のブロック構成を示す。本方式は、2 つのフレームメモリ FM 1, FM 2 を持っている。FM 1 は動きの大小に関係なく全ブロックに対する局部復号信号を蓄積している。またもう 1 つのフレームメモリ FM 2 は動きの大きい領域のブロックの局部復号信号のみを蓄積している。

メインとなるフレーム間予測ループは DCT 回路、量子化回路、逆量子化回路、逆 DCT 回路等のほかに、差分回路 SUB 1, FM 1 及び動き補償回路 MC 1 を含むループで構成されている。このループは基本的に H. 261 の方式とコンパチブルであり、H. 261 方式の端末とも交信可能である。ここで、差分回路 SUB 1 の出力すなわち FM 1 の出力を予測信号とする予測誤差信号のうちブロックあたりの予測誤差信号の絶対値平均が所定の閾値 T_1 より小さいブロックを無効ブロックとし、その予測誤差信号を強制的に零にする。その後、優先/非優先ブロック判定回路において、ブロックあたりの予測誤差信号の標準偏差が所定の閾値 T_2 以上のときそのブロックを優先ブロック、閾値未満のとき非優先ブロックと判定する。

優先ブロックと判定されたブロックでは、スイッチ SW 1 は差分回路 SUB 2 の出力を接続する。このときスイッチ SW 2, SW 3 はスイッチ SW 1 と連動して動作し、予測ループとしては差分回路 SUB 2, FM 2 及び動き補償回路 MC 2 を含む第 2 の予測ルー

プが構成される。すなわち予測誤差の大きいブロック (優先ブロック) の場合はフレームメモリ FM 2 の出力を用いたフレーム間符号化となる。また優先ブロック以外の時はスイッチ SW 3 がフレームメモリ FM 2 の出力を接続し、フレームメモリ FM 2 の内容が保持される。フレームメモリ FM 1 には加算回路の出力、すなわち局部復号信号が蓄積される。量子化出力は所定の可変長符号化やランレングス符号化が行なわれ、バッファメモリにおいて ATM 網における伝送速度に整合される。バッファメモリから読み出される符号化データのうち、優先ブロックのデータは優先セルに、非優先ブロックのデータは非優先セルにパケットサイズで割り当てられる。

本方式はこのような構成をしており、非優先セルに廃棄が生じた場合、フレームメモリ FM 1 については送受間の整合がとれなくなるが、フレームメモリ FM 2 については非優先セルの廃棄の影響を受けることはない。従って、セル廃棄の影響を受けない FM 2 の出力を使用することにより、セル廃棄後でさえもフレーム間符号化が可能である。また、本方式は上述したように、2 つのフレームメモリ FM 1 と FM 2 を持っているため、動き補償の導入の仕方としては、個々のフレームメモリの出力に対して動き補償を行なう方法と、どちらか一方のフレームメモリのみを用いて動き補償を行ない、その結果得られた動きベクトルを他方にも適用する方法とが考えられる。

3 MC-NUCLEI における動き補償予測

3.1 動き補償予測導入における必要要件

NUCLEI 方式に対して動き補償予測を導入するためには、次のような要件を満足する必要がある。

1. 最適動きベクトル探索のための処理量が少ないこと。

NUCLEI 方式は、セル廃棄対策のため 2 つのフレームメモリを持っている。従って、単純に動き補償を導入すれば非優先ブロックには FM 1 を用いた動き補償、優先ブロックには FM 2 を用いた動き補償ということになる。しかし、このようにするためには、一旦動き補償回路 MC 1 を用いた動き補償を行ない、その結果を用いたフレーム間差分信号に対して優先/非優先ブロックの判定を行ない、優先ブロックに対して改めて動き補償回路 MC 2 を用いた動き補償を行なうことになり、非常に演算回数が多くなる。従って、いずれか一方の FM のみを用いた動きベクトルを代表して使用することが可能であれば、演算回数の削減や

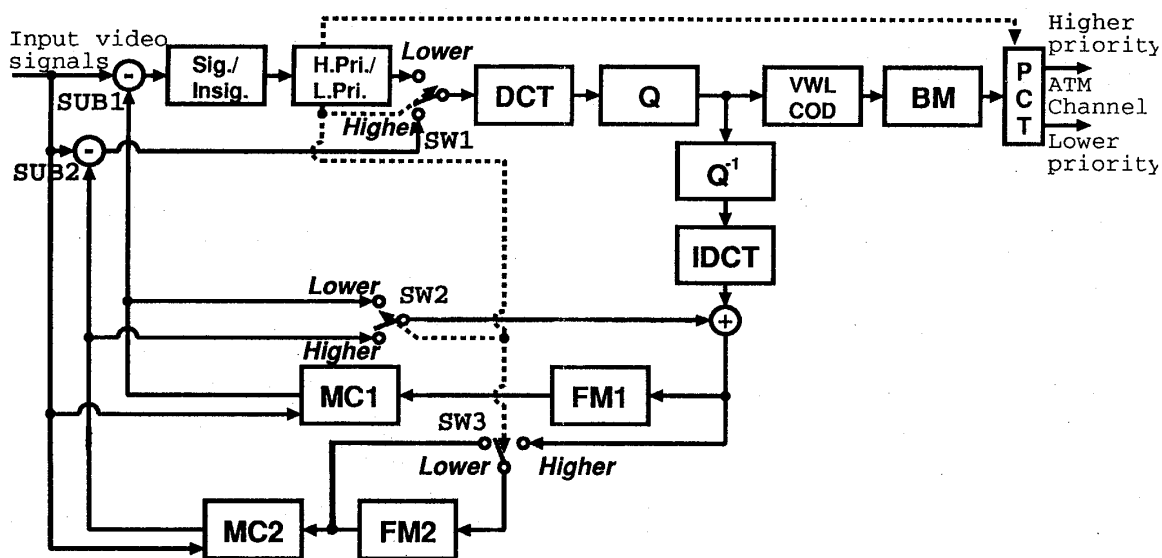


図1 : Block diagram of the interframe coder of NUCLEI with motion compensation(MC-NUCLEI)

装置実現上の観点から好都合である。

2. セル廃棄の影響が小さいこと。

FM 1 はセル廃棄の影響を受け、セル廃棄後では送受間のフレームメモリの内容に不整合が生じる。一方、FM 2 はセル廃棄の影響を受けることはない。従って、探索された動きベクトルが MV 1 であれ、MV 2 であれ、予測信号を FM 2 の出力を用いて作成する限り動き補償予測信号がセル廃棄の影響を受けることはない。換言すれば、セル廃棄対策としては FM 2 の出力信号を使用することのみが重要なことであり、動きベクトルの探索でどのフレームメモリ出力を使用するかということは問題ではない。

3. 動き予測精度が良好なこと。

動き予測精度は、どちらのフレームメモリを用いて動きベクトル探索を行なうかが問題となる。優先ブロックの信号は、FM 1、FM 2 両方ともに記憶されているので、どちらの出力を使って動き補償を行なっても大きな差は生じないと思われる。一方、非優先ブロックの信号は FM 1 にしか記憶されていないので、FM 1 を用いて探索した動きベクトル MV 1 を使用するべきである。そこで、ここでは動き予測精度の観点から動きベクトルとして MV 1 を用いることを前提として、その妥当性を確かめるために、以下のような MV 1、MV 2 の比較実験を行なった。

3.2 動きベクトルの比較

MC-NUCLEI(図1) に示す2つのフレームメモリ FM 1、FM 2 に蓄えられている画像信号と入力信号から MC 1、MC 2 において探索される2つの動きベクトル MV 1、MV 2 の比較、検討を行なう。テスト画像としては、標準画像の Salesman、Claire 及び Miss America を用いた。図2に比較実験の結果を示す。横軸は MV 1 と MV 2 の差分ベクトルの大きさを表している。縦軸は横軸の示す差分ベクトルに対する累積確率を表している。太線は3段階探索法の場合、細線は全探索法の場合を示す。処理量の観点からは3段階探索法が望ましく従来方式でも3段階探索法が多く使用されている。図2において、Salesman については3段階探索法と全探索法で大きな差はない。Claire と Miss America については3段階探索法の方が累積確率が早く大きくなっている、すなわち MV 1 と MV 2 の差が小さくなっている。この結果より、3段階探索法を採用することとし、以後3段階探索法について述べる。

Salesman について約95%の動きベクトルが MV 1 と MV 2 の差1以下となっている。Claire については約80%の動きベクトルが MV 1 と MV 2 の差2以下になっている。また、Miss America については、約80%の動きベクトルが差4以下になっている。

以上の結果から、動きベクトルとしては、MV 2 の代わりに MV 1 を用いても動きベクトルに大きな差が生じないことが明らかとなった。

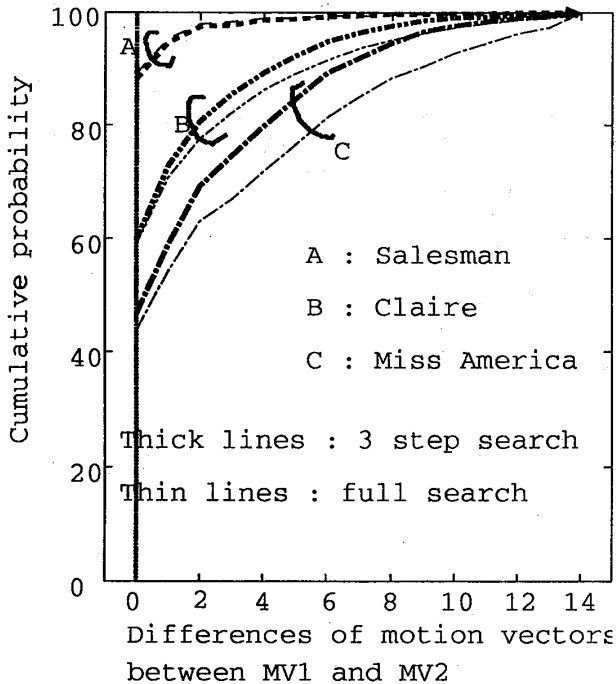


図2 : Comparison of motion vectors MV1 and MV2

3.3 動き補償予測誤差信号の比較

前節では動きベクトル自体の比較により MV 2 の代わりに MV 1 を用いることの妥当性を検討したが、実際の符号化アルゴリズムにおいて必要とされるのは情報量の削減である。ここではフレーム間差分信号を比較することによって MV 2 の代わりに MV 1 を用いることの妥当性を検討する。優先と判定されたブロックのみについて MC 1, MC 2 においてそれぞれ MV 1, MV 2 を測定し、FM 2 に対して MV 1 を用いて動き補償を行なったものと入力信号とのフレーム間差分信号と、MV 2 を用いたものの比較を行なう。

動きベクトル測定には前述したように 3 段階探索を用いた。また、有効/無効ブロックの割合は無効ブロックが全体の 60% (ただし、Claire に関しては全体的に動きの少ない画像信号であるため 75%) 程度に、有効ブロックのうち優先/非優先ブロックの割合は優先ブロックが全体の 60% 程度になるように最初の 10 フレームを用いて制御した。実験手順は次に示す通りである。

1. FM 1 と入力信号により優先/非優先の判定を行なう。
2. 優先と判定されたブロックの動きベクトル MV 1 を求める。
3. MV 1, MV 2 を用いてそれぞれ FM 2 に動き補償を行なう。

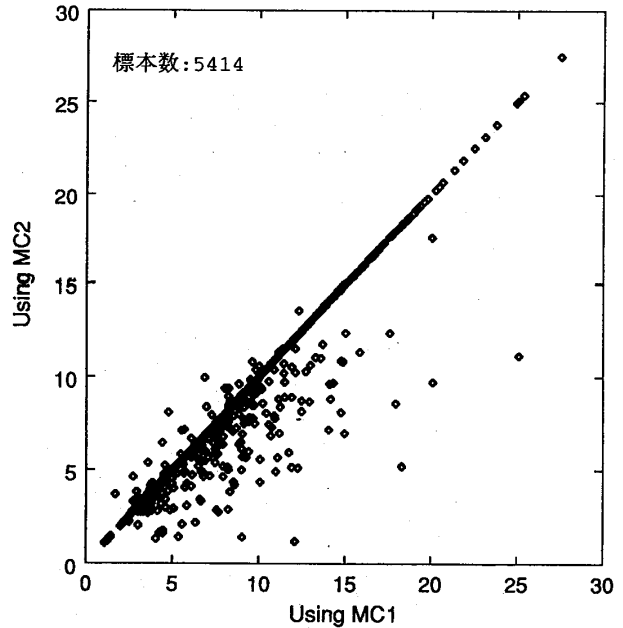


図3 : Scatter diagram of prediction errors using MV 1 and MV 2 for FM 2 (Salesman)

4. FM 2 (MV 1), FM 2 (MV 2) それぞれについて入力信号とのフレーム間差分信号を測定する。
5. ブロックごとの誤差 (差分信号の値) の 2 乗平均値を計算する。
6. MV 1 を用いて測定した 2 乗平均値と MV 2 を用いて測定した 2 乗平均値の比較を行なう。

実験結果の評価方法として、MV 1, MV 2 それぞれから測定した予測誤差の相関図を用いた。Salesman の実験結果を図 3 に、Claire の実験結果を図 4 に、Miss America の実験結果を図 5 に示す。これらの図より明らかなように、MC 2 を使用した場合の方が小さくなる傾向にはあるが、ほぼ 45 度の直線上あるいはその近傍に分布している。この結果から、MV 1 を用いて FM 2 に動き補償を行なった時のフレーム間差分信号と、MV 2 を用いて FM 2 に動き補償を行なった時のフレーム間差分信号にあまり差がないことが明らかとなった。このことから、FM 2 に対して MV 1 を用いて動き補償を行なうことの妥当性が証明された。

4 シミュレーション実験

4.1 実験方法

前述したように、優先ブロックにおけるフレーム間予測信号として、動きベクトル MV 1 を用いて FM 2 出力の中から予測信号を構成したフレーム間符号化方式 MC-NUCLEI についてシミュレーション実験を行なった。また、比較のために、動き補償を行なわない

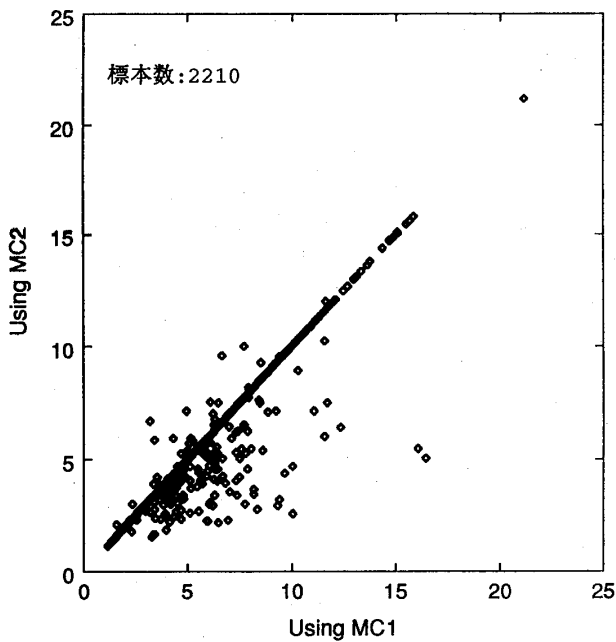


図4 : Scatter diagram of prediction errors using MV 1 and MV 2 for FM 2 (Claire)

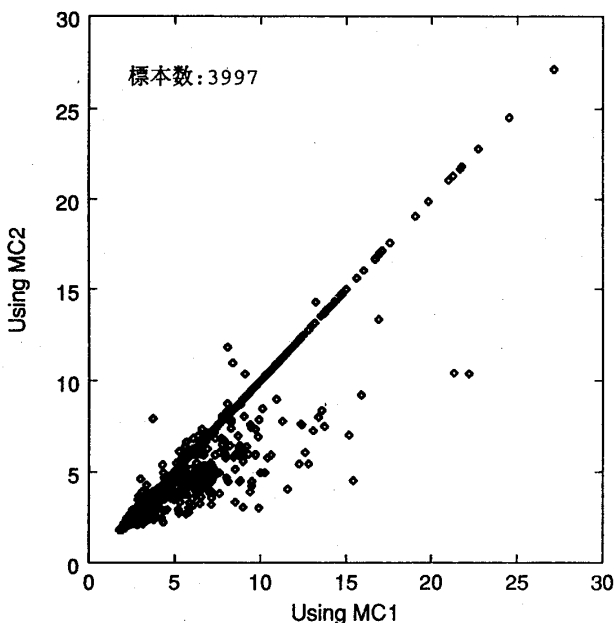


図5 : Scatter diagram of prediction errors using MV 1 and MV 2 for FM 2 (Miss America)

NUCLEI 方式についても実験を行なった。

符号化制御の動き補償部のアルゴリズムは次の通りである。

1. 入力信号とフレームメモリFM1のフレーム間差分信号によりブロック単位で有効/無効, 優先/非優先の判定を行なう。
2. 入力信号とフレームメモリFM1を用いて動きベクトルの検出を行なう。ただし上で無効ブロックと判定されたブロックについては測定しない。また動きベクトル測定には3段階探索を用いる。
3. 上で測定された動きベクトルを用いて動き補償予測信号を作成する。このとき優先ブロックにはFM2を用い, 非優先ブロックにはFM1を用いる。
4. 上で作成した予測信号と入力信号との差分信号を作成し, 変換符号化部へ送出する。

特徴としては, 符号化効率の向上のために無効ブロックの動き補償を行なわない(動きベクトルの測定も行なわない)こと, 優先ブロックにFM2を用いることによりNUCLEI方式同様セル廃棄に対する耐性があることなどである。

NUCLEI方式とMC-NUCLEI方式の比較の評価方法として, 予測誤差信号の2乗平均値を用いた。図6にSalesmanにおける予測誤差信号の比較を, 図7にClaireにおける予測誤差信号の比較を, 図8にMiss Americaにおける予測誤差信号の比較を示す。

これらの図はブロックごとの差分信号の2乗平均値を1フレームごとに合計して表したものである。全体的にNUCLEI方式のほうがMC-NUCLEI方式の2倍程度の大きな値をとっており, 動き補償を用いることにより発生情報量を大幅に抑えることができています。

以上の結果から, MC-NUCLEI方式を用いることによりNUCLEI方式よりも大幅に情報量の発生を抑えられることがわかった。また, 動き補償を用いることによって, 情報量の急激な変動を抑えられており, 滑らかな情報提供が行なえるので, 符号化特性の面だけでなく伝送路やメモリなどに対してもその効率の向上が期待できる。

5 むすび

筆者らが先に報告しているATM用フレーム間符号化方式NUCLEIに対する動き補償予測の適用法について検討した。

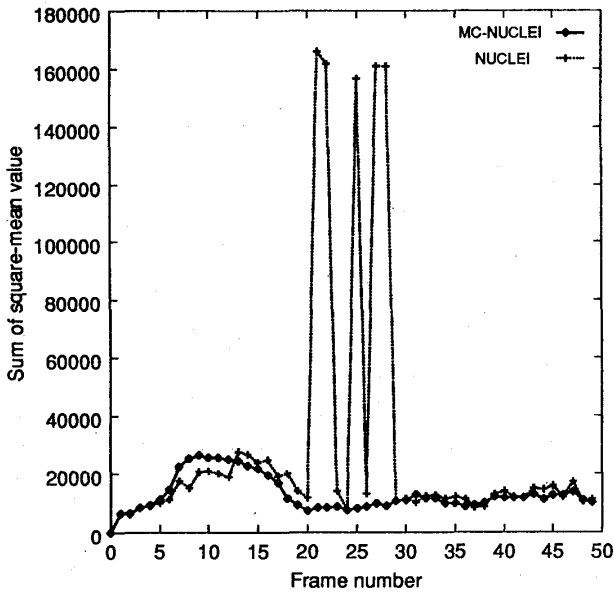


図 6 : Comparison of prediction errors between MC-NUCLEI and NUCLEI (Salesman)

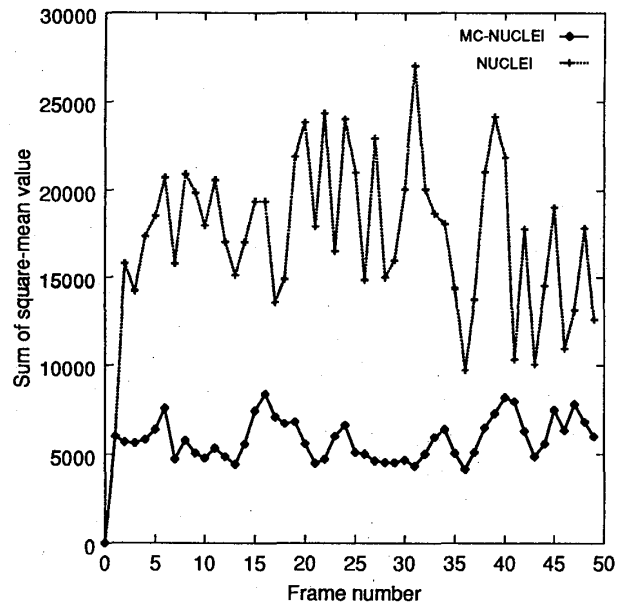


図 8 : Comparison of prediction errors between MC-NUCLEI and NUCLEI (Miss America)

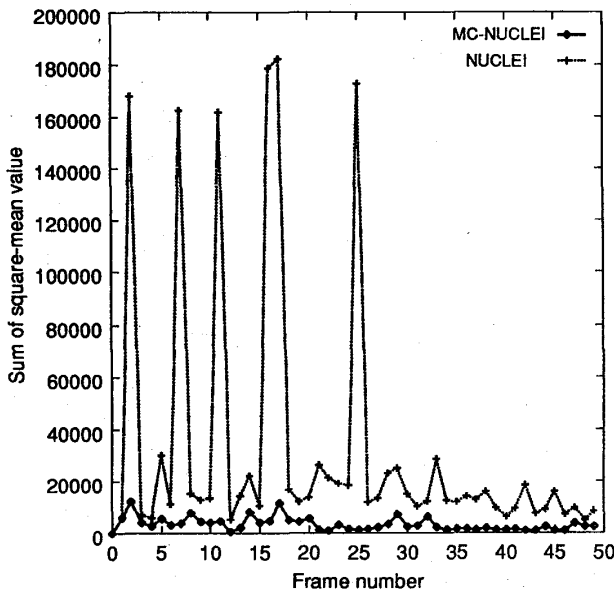


図 7 : Comparison of prediction errors between MC-NUCLEI and NUCLEI (Claire)

動き補償予測の導入における必要条件として、

- 最適動きベクトル探索のための処理量が少ないこと
- セル廃棄の影響が小さいこと
- 動き予測精度が良好なこと

があることを述べた。そして、無効ブロックに対しては動きベクトル探索を行わず、有効ブロックに対してのみ行なうこと、全画像を記憶しているフレームメモリ FM1 を用いて動きベクトルを探索すること、動きベクトル探索は 3 段階探索法を用いること、さらに、優先ブロックに対しては、FM1 を用いた動きベクトル MV1 を使用して FM2 の内容から予測信号を構成することにより、上記の条件を満足する MC-NUCLEI 方式を提案した。

提案した方式について、シミュレーション実験を行なった。実験の結果、動き補償を行なわない従来の NUCLEI 方式に比べ、予測誤差信号を約 $1/2$ に圧縮できること、また情報発生急激な変動が抑制できることが明らかとなった。

今後の課題としては、フレーム間差分信号のみでなく動きベクトルも用いた優先/非優先ブロックの判定法の検討などがある。

参 考 文 献

- 1) 黒田英夫, 藤村誠, 鉦落幸広, 池原雅章 “可変速度動画像符号化方式”, 信学論 (B-I), J75-B-I, 8, pp.

- 536-544.
- 2) 辻角光夫, 横田 潔, 川口伸二, 植田 豊, 細田賢一郎
“ATM 用高品質画像符号化方式”, OS90-7, pp. 37-42.
 - 3) 甲藤二郎, 安田靖彦 “階層的符号化を用いた映像パケット通信におけるセル廃棄対策”, 信学論 (B-I), J72-B-I, 11, pp. 1094-1102 (Nov. 1989).
 - 4) KISHINO F., MANABE K., HAYASHI Y. and YASUDA H. “Variable Bit-Rate Coding of Video Signals for ATM Networks”, IEEE J. Selected Areas in Comm, 7, 5, pp.801-806 (June 1989).
 - 5) 橋本秀雄 “ATM ネットワークにおける映像符号化”, 信学技報, 91, 219, OS91-10, pp. 1-7 (Sep. 1991).
 - 6) 富永英義, 如沢裕尚, 川島正久, 花村 剛 “ATM 網におけるセル廃棄を考慮した高能率映像符号化方式”, 信学論 (B-I), J72-B-I, 11, pp. 1103-1111 (Nov. 1989).
 - 7) JOHN C. DARRAGH and RICHARD L. BAKER
“Fixed Distortion Subband Coding of Images for Packet-Switched Networks”, IEEE J. Sel. Area Commun., 7, 5, pp. 789-800 (June 1989).
 - 8) Hollier C. J., Arnold J. F. and Cavenor M. C. “A Hierarchical Subband Coding Scheme for Video-phone Images on a Broadband ISDN”, VISICOM'91, 4th International Workshop on Packet Video, P. V. 91, pp. B3-1-B3-5 (Aug. 1991).
 - 9) Du Y. and Tenten A. “Variable Rate Image Coding Using Scene Adaptive VQ for Future ATM Networks”, VISICOM'91, 4th International Workshop on Packet Video, P. V. 91, pp. C2-1-C2-6 (Aug. 1991).
 - 10) MANABE K. and KATO Y. “A STUDY OF VARIABLE BIT RATE VIDEO LAYERED CODING BASED ON H. 261”, VISICOM'91, 4th International Workshop on Packet Video, P. V. 91, pp. A3-1-A3-6 (Aug. 1991).