

氏名	野村 充 ^{みつる}
授与学位	博士（工学）
学位授与年月日	平成4年3月18日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最終学歴	昭和60年3月 九州芸術工科大学大学院情報伝達専攻 修士課程修了
学位論文題目	情報の可変レート性を考慮したデジタル映像符号 化に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 樋口 龍雄 東北大学教授 齋藤 伸自 東北大学教授 高木 相 東北大学助教授 川又 政征

論文内容要旨

1. 序 論

従来、情報伝送サービスは、音声信号の伝送を目的とした電話を中心として発展してきた。しかし、近年のファクシミリやパソコン通信の普及に見られるように、画像やデータなど音声以外のメディアを用いた通信への関心が高まっている。このような状況に対応するため、さまざまな種類の情報をデジタル化することにより、一つの通信網で異なったサービスを提供するデジタルサービス統合網（Integrated Service Digital Network, ISDN）が導入された。これによって、デジタル電話、デジタルファクス、ビデオテクスといった音声、静止画像、データを用いた狭帯域デジタル通信が可能となった。

一方、光ファイバーの低価格化に伴い、21世紀には加入者系に光ファイバーが導入されると考えられ、広帯域のISDNへとサービスが拡大されることが予想される。これによって、動画つまり映像を用いた通信が本格化することが予想される。従って、将来の情報伝送サービスとして、映像信号の伝送は非常に重要といえる。

広帯域ISDNでは、音声、データ、映像といったビットレートや発生形態の異なった多様な情報を伝送する必要がある。このような要求に対応するため、次世代の伝送形態として、すべての情報をパケット化して一元的に伝送する非同期伝達モード（Asynchronous Transfer Mode, ATM）の伝送処理が提案され、実用化に向けて盛んに検討が行われている。

一方、広帯域なデジタル映像信号をより経済的に伝送する方法としては、予測や変換などの手法によりビットレートの削減を行なう符号化処理が盛んに検討されており、近年の映像符号化手法の進歩によれば、テレビ電話用の映像を音声信号の帯域に近いビットレートでの伝送することも可能となっている。さらに、VLSI技術の進歩により、複雑な符号化処理を行う装置を、低価格でコンパクトに実現することも可能となった。

本研究は、将来の伝送形態としてATMを想定し、ATM伝送のもとにおける映像信号の符号化処理に関して検討を加えるものである。論文では、映像信号の伝送にATMを用いることの得失を明らかにするとともに、ATMのもとにおける新しいデジタル映像符号化処理を提案している。

2. 可変レート映像符号化に関する基本的考察

映像の符号化処理では、信号の持つ冗長性を圧縮することにより信号のビットレートを削減する。ところで、映像信号の持つ冗長性は、被写体の動きの大きさや絵がらの細かさといった映像内容の変化と共に変動する。従って、符号化により冗長性を圧縮された映像信号のビットレートも、信号の統計的性質の変化に伴って時間的に変動する。つまり、符号化処理された映像信号は、ビットレートが時間的に変動する「可変レート情報」であるといえる。

ところが、従来の映像信号の伝送では、信号を一定ビットレートで伝送する「固定レート伝送」が適用されてきた。このため、映像信号の符号化処理では、符号化処理結果のバッファリングによるビットレートの平滑化や、符号化処理のパラメータを制御することによりビットレート変動を抑える「レート制御」が必要であり、遅延の増大や、符号化処理された映像の品質が映像内容の変化に伴って時間的に変動するという問題が避けられなかった。

一方、パケット多重を行うATM伝送では、多数の独立な可変レート情報源を多重することによりビットレート変動が平滑化される効果、すなわち統計多重効果(Statistical Multiplexing Effect)を利用することにより、可変レート情報をそのビットレート変動を保ったまま多重し、平均ビットレートに近い伝送レートで効率的に伝送することができる。映像信号にこのような「可変レート伝送」を適用することにより、従来の符号化処理で必要とされた「レート制御」は不要となり、「品質制御」つまり映像の品質に着目した制御が可能となる。「品質制御」を行った符号化処理、すなわち「可変レート符号化」を行うことにより、ビットレートを一定に保つ「固定レート符号化」より効率的で高品質な映像伝送が実現できる。

しかし、統計多重を行う可変レート伝送システムでは、多重化された情報のビットレートが伝送路容量を越えるいわゆる「輻輳」状態が確率的に生じるという問題がある。伝送システムで輻輳が生じると、あふれた情報は伝送システム内で廃棄されるか、あるいはバッファリングして遅延させる必要がある。伝送システム内で生じるこのような情報の欠落や遅延は、伝送される映像の品質に大きな劣化を引き起こす可能性がある。従って、信頼性の高い可変レート伝送システムを構築するには、情報源のビットレート変動の性質の評価と輻輳や遅延の性質の解明が必要である。また、情報欠落に耐性を持たせる信号処理も重要である。

本研究の目的は、以上述べたような「可変レート符号化」および「可変レート伝送」を、映像信

号の伝送に適用することの得失を明らかにし、必要となる信号処理技術を確立することにある。具体的な検討課題を次に示す。

1. 符号化処理された映像信号の持つビットレート変動の統計的性質、すなわち「バースト性」を解明することにより、映像信号の可変レート情報としての統計的性質を明らかにすること。
2. 「バースト性」のモデル化を行うことにより、可変レート伝送システム内で生じる遅延や輻輳の性質を解明し、映像信号に対する統計多重効果を明らかにすること。
3. 映像信号を可変レート符号化することによる、品質向上効果を定量評価すること。
4. 輻輳によって生じる情報の欠落が映像品質に与える影響を評価するとともに、劣化を低減させる信号処理手法を提案すること。

3. 可変レート映像符号化におけるバースト性

可変レート伝送システムにおいて生じる遅延時間や輻輳の性質は、多重化される情報源のビットレートの時間変動の性質、すなわち「バースト性」に左右される。本研究では、可変レート符号化された映像信号のバースト性に関してその評価を行った。

まず、対象とする映像信号、符号化アルゴリズム、符号化処理の制御方法、および評価の時間スケール等の、バースト性評価の前提条件を整理した。また、バースト性評価指標として、変動の時間相関の評価を含む4つの指標（ビットレート分布、自己相関、変動係数、シーン時間長分布）を導入した。さらに、映像伝送サービスとしてテレビ会議／テレビ電話サービスと映像分配サービスを取り上げ、各々に対して映像信号の持つビットレート変動をバースト性指標によって特徴づけた。

バースト性評価の結果、映像信号のビットレート変動には、相関のある滑らかな変動（短時間変動）とシーンチェンジによる変動（長時間変動）があり、前者では短時間変動が、後者では長時間変動が支配的であることが明らかとなった。

4. 可変レート映像情報源のモデル化とその応用

統計多重を利用した可変レート伝送システムでは、その多重化特性を評価するために情報源のモデルを構成することが重要である。そこで、映像信号のバースト性評価結果に基づき、可変レート符号化された映像信号の持つビットレート変動のモデル化を行った。さらに、モデルを統計多重特性の評価に適用し、モデルの妥当性を評価すると共に、映像の可変レート伝送における多重化特性を明らかにした。

まず、テレビ会議的な映像信号を対象とし、短時間変動に着目したモデルとして、自己回帰過程（Auto Regressive Process, AR 過程）と、待ち行列理論による近似モデルを提案した。また、遅延時間特性の評価にモデルを適用することにより、モデルが精度よく遅延時間を推定できることを明らかにした。さらに、モデルを利用して遅延時間を評価することにより、100チャンネル程度の情報源を多重化すれば、遅延時間を十分小さく抑えながら効率的な伝送を実現できることが明らかと

なった。

次に、長時間変動に着目したモデルとしてマルコフ遷移によるモデルを導入し、これを放送番組的な映像信号に適用した。その結果、映像分配サービスにおいても、効率的な可変レート伝送が可能となることが明らかとなった。さらに、輻輳には持続性がありうるため、映像分配サービスに可変レート伝送を適用するには、輻輳に対する対策が重要であることが明らかとなった。

5. 可変レート符号化による品質向上

可変レート符号化では、従来の固定レート符号化と異なり、レート制御が不要となるため、映像品質の向上が期待できる。そこで、可変レート符号化と、従来の固定レート符号化において得られる映像品質を比較することにより、可変レート符号化によって得られる映像品質の向上を定量的に明らかにした。

品質向上の評価は、まずSN比によって行い、次に主観評価実験により主観品質の向上を明らかにした。その結果、可変レート符号化は、特に一時的なSN比の劣化を改善する効果が大きく、最悪SN比（フレーム単位で評価したSN比の最悪値）で評価した場合には10dBといった大幅な改善が可能であること、トータルの主観品質で見ても5段階のMOS（Mean Opinion Score）で評価して1ランク程度の品質向上効果のあることがわかった。

さらに、一時的な品質低下がトータルの映像品質に及ぼす影響を評価する指標として、フレーム単位で評価したSN比の移動時間平均の最悪値を提案し、時間平均の範囲を0.5秒程度とすれば精度よく主観品質を推定できることを示した。

6. 情報欠落に耐性を有する可変レート符号化

可変レート伝送では、輻輳に伴って情報欠落が生じる。従って、これに対して耐性を持たせる信号処理が重要である。

まず、伝送システム内において生じる情報欠落を、ビット誤りによる欠落と、輻輳による欠落に分類し、それぞれに対する対策を整理した。また、輻輳によって一時的に生じる多量の情報欠落に対する対策として、優先制御を用いた階層符号化を提案した。優先制御は、符号化結果の情報に優先度を付加し、輻輳発生時には優先度の低い情報から廃棄を行うことにより、情報欠落の映像品質に与える影響を最小化する。

次に、具体的な階層符号化手法として離散コサイン変換を提案し、階層化の制御方法として、品質劣化の最悪値を制御する品質制御階層化と、優先情報のビットレートにも注目するレート制御階層化の二つを提案した。また、提案した階層符号化の効果を明らかとするため、階層化処理によって得られるSN比および主観品質の劣化の改善を評価した。評価結果より、階層化を行わない場合には0.1%程度のパケット廃棄でも品質劣化を生じるのに比べ、階層化を行えば10%程度のパケット廃棄にも耐性を持たせることができることを明らかとなった。

7. 結 論

本研究により，以下のことが明らかとなった。

1. 100チャンネル程度の情報源を多重化することにより，統計多重化効果を利用した効率的な可変レート映像伝送が可能となること。
2. 可変レート符号化により，符号化処理された映像の主観品質をMOSで1ランク程度改善できること。
3. 階層符号化により，輻輳に伴う映像品質劣化を小さく抑えられること。

以上の結果により，可変レート伝送および可変レート符号化が，将来の映像伝送方法として非常に有効であることが明らかとなった。

審査結果の要旨

デジタル映像信号は、その要求するビットレートが高いため、伝送や蓄積には効率的で高品質な符号化法が必要とされている。本論文は、将来の広帯域サービス統合デジタル網において注目されている非同期伝達モードのもとで、映像信号の単位時間あたりの情報量が時間とともに変動すること、すなわち映像信号の変率性に着目することによって、その効率的で高品質な符号化が可能であることを明らかにするとともに、具体的な符号化法を確立したものであり、全文7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、映像信号に可変レート伝送を適用する際の得失を論じ、以下の章における研究課題を明らかにしている。

第3章では、映像情報源のモデル化と多重化のために、映像のビットレート変動の統計的性質、すなわちバースト性の評価を行った。この結果、テレビ会議映像では、被写体の動きに伴うビットレート変動が大きく、一般の放送映像では、シーンの内容の変化に伴う変動が支配的であることを明らかにした。

第4章では、可変レート符号化された映像信号の持つビットレートの短時間変動と長時間変動について、自己回帰過程に基づくモデルとマルコフ遷移によるモデルをそれぞれ提案し、その有効性を明らかにした。これらのモデルを通して、映像信号を可変レート伝送処理した場合の遅延時間、廃棄特性、ふくそうの基本的性質を詳細に検討したことは、高く評価できる。

第5章では、映像信号の可変レート符号化と従来の固定レート符号化において得られる映像品質を比較し、可変レート符号化によって得られる映像品質の向上の評価をSN比と主観評価実験により行った。この結果、可変レート符号化による品質は、SN比では平均3～5dB、最大10dB程度、5段階の主観評価では1段階向上することが明らかになった。これは実用上、重要な成果である。

第6章では、可変レート符号化の一つの問題点であるふくそうによる情報欠落に対して耐性を有する信号処理について検討した。この情報欠落の対策として、離散コサイン変換を用いた階層符号化アルゴリズムを提案し、その効果をSN比および主観評価実験によって明らかにした。この結果、提案手法は、SN比で5～15dBの改善が得られ、ふくそうに対して十分な耐性を有していることを明らかにした。これは、優れた成果である。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、映像の可変レート性に着目し、効率的かつ高品質な符号化法を提案し、その有用性を実証したものであり、電子工学ならびに通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。