

外受21-12

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

可変長符号とその誤り耐性を有する動画像符号化への応用
に関する研究

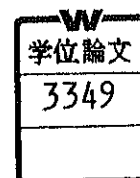
(Studies on variable length codes and
their application to error resilient video coding)

申請者

中條 健

Takeshi Chujoh

2001年12月



理 2693 (3349)

近年、インターネットに代表されるネットワークの大規模化・高速化が進むなかで、動画像伝送に対する要求が高まってきている。例えば、今後普及が期待されている第3世代の携帯電話では、モバイルでの高速通信を実現し、音声やデータばかりでなく、動画像を伝送するサービスもはじまっている。伝送路特性が厳しい条件において高品質のリアルタイム伝送技術を実現するためには、単に強力な通信路符号化のみならず、情報源符号化自身の誤り耐性能力についても高い水準が要求される。これまで多くの動画像符号化システムで採用されている可変長符号化では、符号化したビットストリームに誤りが混入した場合、誤りが伝搬してしまうという問題点がある。近年、ISO/IEC (International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission) の MPEG-4 (Moving Picture Experts Group-phase 4) などの国際標準においても、移動体通信等を考慮して動画像符号化システム自体に誤り耐性を持たせた方式が採用されている。

そこで本研究では、多くの情報源符号化システムで使用されている可変長符号とその動画像符号化の誤り耐性への応用について議論する。ここで可変長符号とは、語頭符号、あるいは瞬時復号可能な符号と呼ばれているものを指す。可変長符号は、多くの動画像符号化システムにおいて採用されているが、一般に誤りに対して弱い。そのため、ビットストリーム上の1ビットの誤りで誤りが伝搬したり、誤りが検出できなかったりするため、大きな影響を与えて画面全体が破壊されてしまう。したがって、動画像符号化システムにおける可変長符号の誤り対策は非常に重要である。なお、本研究成果の一部は国際標準方式である MPEG-4 の動画像符号化の誤り耐性技術として採用されている。

本研究の目的は、以下の4点に集約される。

- (1) シャノン符号による自然数表現の構成方法を検討する(第3章)。
- (2) 自然数表現を応用した新しいリバーシブル可変長符号の構成方法を提案する(第4章)。
- (3) 双方向に瞬時復号可能なリバーシブル可変長符号を用いた動画像符号化の誤り対策を提案する(第5章)。
- (4) 可変長符号の誤り検出能力という概念を定義し、その評価手法を構築する(第6章)。

具体的には、次のような構成となっている。

まず、第1章では、本研究の内容の概要について述べる。

第2章では、従来の研究を総括し本研究の位置付けを行なう。本研究は、2つのパートから説明することができる。第1のパートは第3章と第4章であり、可変長符号の設計を扱う。特に、情報源アルファベット数が可算無限となる符号を対象とする。この時、一意復号可能な符号の必要十分条件であるクラフトの不等式は、符号語数が可算無限で等号を満足する。具体的に第3章では、自然数表現問

題を扱い、第4章では、自然数表現を応用した新しいリバーシブル可変長符号の提案と評価を行なう。第2のパートは、動画像符号化システムへの適用についてである。本研究では特に動画像符号化システムの可変長符号のレベルでの誤り耐性技術について議論する。この時使われる符号は、符号語数が有限であり、クラフトの不等式を等号で満足しない。第1のパートで提案した可算無限情報源アルファベットの符号も、有限のアルファベット数の場合、クラフトの不等式を等号で満足しない場合に相当する。具体的に第5章では、第4章で提案した手法を用いて設計したリバーシブル可変長符号を動画像符号化の誤り耐性技術に応用する。第6章では、クラフトの不等式を等号で満足しない符号の場合、使われていないビットパターンが存在することに着目し、誤り混入時にそのビットパターンを見つけることによる誤り検出能力について議論する。

第3章では、情報源アルファベット数が可算無限となる可変長符号の一種である自然数表現の内、自然数が小さい順に符号語が辞書式順序となり、符号語長が単調に増加するクラスについて検討する。まず、このクラスの自然数表現が古典的なシャノン符号の特別の場合と位置付けることができることを示す。この手法によって、従来の符号のみならず新しい符号が構成できることを示す。次に、最近研究が進んだ符号語長の上界の改善の問題に関しても、このアプローチによる新しい自然数表現の構成を試みる。結果として、これまで議論されてきたユニバーサル性や漸近最適性などの概念とは独立に、自然数表現においても符号語長関数によって定まる確率分布に対して最適であるという解釈が得られる。

第4章では、リバーシブル可変長符号と呼ばれる通常の語頭からだけでなく語尾からも瞬時復号可能となる可変長符号が、可算無限情報源アルファベットでクラフトの不等式を等号で満足する自然数表現にも存在することを示す。符号語のハミング重みを用いた可算無限情報源アルファベットのリバーシブル可変長符号の構成方法をいくつか提案する。リバーシブル可変長符号は、その存在自体は古くから知られていたが、クラフトの不等式を等号で満足する符号が非常に少なく、ハフマン符号のような最適符号の構成方法も知られていない。これまでの構成方法が、情報源アルファベット数が有限の場合にクラフトの不等式を等号で満足する符号の探索や、ハフマン符号の符号語の入れ替えを行った上でビットを追加してゆく方法であったのに対して、本研究での構成方法が、情報源アルファベット数が有限の場合に適用した場合でも符号化効率の良い符号を設計できることを示す。

第5章では、リバーシブル可変長符号を具体的に動画像符号化方式の誤り耐性方式として適用する。具体的には、ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector) の低レート向け動画像符号化方式である H.263 をベースとしてビットストリームをフレーム単位に階層化し、伝送路誤り対策を施した動画像符号化方式の DCT 係数の可変長符号化に

第4章で提案した手法で設計したリバーシブル可変長符号を適用する。まず、リバーシブル可変長符号が双方向に復号可能であるという性質を利用して、同期符号の間の符号化データを双方向に復号することで正しく復号できるビット数を増やす手法を提案する。この手法は、次の同期符号から逆側から復号できるという意味で、冗長度を与えずに同期可能なポイントを2倍にした効果が期待できる。処理量の観点からは双方向復号を行なうと処理は複雑になるが、復号側のみの処理なので逆側からの復号を行なわない選択肢も可能で、その意味では自由度が高い。実験の結果、H.263と同等以上の符号化効率を確保しつつ復号できるビット数を増加させ、誤り時における画質が向上することを確認した。

第6章では、可変長符号の誤り検出能力について論じる。従来研究においては、誤りによる符号語の同期のずれが回復する自己同期性が注目されてきた。しかし、現実の動画像符号化システムにおいては可変長符号語のレベルで自己同期しても、その上位のレベルで文法的および意味的に正しく復号できないため、正しい復号結果が得られないという問題があった。そのため、むしろ自己同期せずに誤りが検出されることが望まれている。そこで、使用していないビットパターンから誤りを検出する場合の検出能力を定量的に求めることのできる評価モデルを構築する。最適符号であるハフマン符号はクラフトの不等式を等号で満足するが、動画像符号化システム等の実用システムにおいては同期符号が挿入するために同期符号のパターン（例えば、000...01）と一致しないような符号の設計がなされる。そのため、クラフトの不等式を等号で満足していない符号が用いられている。また、自然数表現を符号語数が有限の場合で使った場合もクラフトの不等式を等号で満足していない場合に相当する。本研究では、加法的通信路を仮定し、少なくとも誤りが1ビット入った状態の誤りを検出する確率という形で、誤り検出能力という概念を新たに定義する。このことにより、可変長符号の誤り検出能力が数値的に評価可能となる。具体的に2元対称通信路と、古典的なバースト誤りモデルであるギルバートモデルでの数値計算例を示すとともに、この誤り検出能力は従来の自己同期性とは反対の性質であり、自己同期しないと言われていたリバーシブル可変長符号が特に誤り検出能力が高いことを示す。

最後に第7章において、本研究のまとめを行い、得られた成果を要約し、本研究の今後の課題と展望を述べる。