HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on Data Hiding Techniques for Videos enabling Data Size Reduction [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	李, 雪霏
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第16180号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93573
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Xuefei_Li_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（情報科学）　　氏名　李 雪霏

学　位　論　文　題　名

Study on Data Hiding Techniques for Videos enabling Data Size Reduction
（データ量の減少を伴う動画データハイディング手法に関する研究）

近年、データハイディングという技術分野が注目を集めている。特に、画像や映像へのデータハイディングについては、活発に研究が行われている。画像や映像へのデータハイディング技術は、目的に応じてスクランブル、電子透かし、ステガノグラフィやマルチメディアエンリッチメントなどに分類することができる。その中で、スクランブルと電子透かしは著作権管理を、ステガノグラフィは秘密通信を、マルチメディアエンリッチメントはコンテンツ価値の向上を目的としている。
有料動画配信サービスにおいてディジタル動画の有料配信を行う際、その著作権を保護することができる DRM(Digital Right Management) 技術として、スクランブル技法が使用されている。スクランブル技法は動画を完全に暗号化し、復号鍵を持つ課金ユーザーのみが閲覧することができるため、ロバスト性が高い技術である。しかし、スクランブル技法では、動画の宣伝として別途サンプル動画を作成する必要があり、コストがかかる。そこで、動画内容の概要がわかるようなサンプルを作成できる半開示スクランブルという技術が近年注目されている。しかし、従来手法はいずれも音声データを対象としていなく、サンプル動画に音声をそのまま残す必要がある。また、半開示スクランブル処理によるデータ量の増加は望ましくないが、従来手法では半開示スクランブル処理による映像データの増加量はそのままサンプル動画のデータ増加量になってしまうという欠点がある。また、世界中で普及しているデジタルストレージフォーマットは DVD と BD であり、4K ビデオに対応した UHD BD は今後主流のフォーマットになると考えられている。一方、オンライン VOD (ビデオオンデマンド) サービスやストリーミングサービスは膨大なマルチメディアデータをストレージに保持している。実際、マルチメディアストレージにはすべて容量制限があるにもかかわらず、圧縮動画へのデータハイディング処理は一般的にコンテンツのデータサイズを増加させる。その結果、データサイズの増加により、ストレージの容量制限を超えたり、ビデオストリーミングの品質に影響を及ぼしたりするリスクがある。
そこで、手法 1 として異種コンテンツ間可逆的埋め込みを可能とする半開示スクランブル手法を提案した。現在、動画配信サービスでよく使用されているコーデックでは、離散コサイン変換 (DCT) が広く使われているため、DCT 係数領域における処理は現在の動画配信サービスに応用できる。この手法では、音声付き動画に対し、映像データを MPEG4 フォーマットへ符号化する際に量子化後の DCT 係数 (AC 成分と DC 成分) に音声データを埋め込むと同時に、半開示スクランブルを発生させる。
また、手法 2 として動画データサイズを減少させるデータハイディング手法を提案した。動画圧縮のアルゴリズムから、AC 係数の絶対値が増えることは動画ファイルサイズの増加に直結する。AC 係数を埋め込み対象とする従来のデータハイディング手法は複合鍵なくして AC 係数の絶対値を増やす処理を避けられない。本手法は複合鍵なしで AC 係数の絶対値を増やさない手法を実現した。この手法は電子透かし、ステガノグラフィやマルチメディアエンリッチメントとして応用すること

ができる。
本論文は以下に示す 8 つの章によって構成されている。
第 1 章では、データハイディング技術の概要と分類、圧縮動画を対象にした理由、さらにはデータサイズの制限について述べている。
第 2 章では、MPEG-4 を例に、動画データの構造について述べている。
第 3 章では、データハイディング手法がデータサイズに与える影響と、本論文に関連する重要な従来手法について述べている。
第 4 章では、提案手法 1 について述べている。手法 1 では、埋め込み処理は整数の偶奇性を利用する。AC 係数を 2 倍にし、1 ビットの音声データを加算する。半開示スクランブルは DC と AC 成分に操作を行う。DC 成分操作においては MacroBlock 内 DC 成分間シャッフルを行う。あらかじめシャッフルテーブルを用意し、シャッフルテーブルに従い、MacroBlock 内の DC 係数を交換する。AC 成分操作においては、ファイルサイズの増加が抑制できる符号反転を行う。また、劣化度合いの調節も実現している。
第 5 章では、手法 1 の実験結果を載せ、本手法の有効性を示している。MSE による復元映像・音声と原映像・原音声の差異測定実験を行い、映像データと音声データが両方復元できることを検証した。また、PSNR と SSIM によるサンプル動画の映像が原動画の映像に対する劣化度合いの測定実験を行い、劣化度合いの定性的・定量的調節が可能であることを示している。最後にサンプル動画が原映像に対するファイルサイズ増加率測定実験を行い、ファイルサイズが減少したことを示している。
第 6 章では、提案手法 2 について述べている。手法 2 では、LSB(Least Significant Bit) 置換法をベースに、正と負の AC 係数に逆の操作を行い、さらにゼロ係数を避けることにより、複合鍵なしで AC 係数の絶対値を増やさない手法を実現している。また、AC 係数のラプラシアン分布を維持することによって、一定のステガナリシス耐性も保有している。
第 7 章では、手法 2 の実験結果を載せ、本手法の有効性を示している。MSE による抽出データと埋め込みデータの差異測定実験を行い、埋め込まれたデータが復元できることを検証した。また、PSNR と SSIM による動画の劣化度合いの測定実験を行い、劣化度合いが PSNR において 35dB 以上、SSIM において 0.98 以上であることから、動画の品質が高いレベルを維持できたことを示した。最後に処理後動画が原動画に対するファイルサイズ増加率測定実験を行い、ファイルサイズが全て減少したことを示した。
第 8 章では、本研究を通して得られた結果とその検討について述べている。
2 つの提案手法はそれぞれ異なることを目的をとしているが、どちらもデータハイディング分野において、データ量削減に新しいコントリビューションを実現した。