

氏 名 中村高雄

学位（専攻分野） 博士（情報学）

学位記番号 総研大甲第 1156 号

学位授与の日付 平成 20 年 3 月 19 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 コンテンツへのメタデータバイディングのための電子透
かし技術の研究

論文審査委員 主 査 教授 曾根原 登
教授 東倉 洋一
教授 佐藤 真一
教授 山田 茂樹
准教授 計 宇生
教授 安田 浩（東京電機大学）

論文内容の要旨

本論文は、画像や映像といったコンテンツに対して、高度なコンテンツ利用環境の実現に不可欠となるメタデータを、コンテンツ自体と結びつける（バインディング）ための電子透かし技術について提案するものである。特に印刷や画面出力など、アナログ出力されたコンテンツにおいてまでメタデータとのバインディングをシームレスに保証し、アナログドメインで流通するコンテンツを起点として高度なコンテンツ利用環境を享受可能とすることが目的である。

また、アナログドメインのコンテンツの入力デバイスとして、近年幅広く普及したカメラ付き携帯電話機の利用について深く検討を行う。一般に電子透かし処理は複雑な画像・映像処理であり、携帯電話機のような計算リソースの乏しい環境では、高速処理とアナログ出力耐性を同時に実現することは従来非常に困難であった。本研究では特にこの点について注目し、課題の解決を図る。

第1章では、本研究の背景と目的について述べ、論文の構成を概観する。

第2章では、本研究に関連する技術及び研究について、電子透かし以外のアプローチとの比較を行って電子透かしアプローチの特徴を示す。また、従来の電子透かし技術について調査を行い、本研究で取り扱う技術的課題についてより詳細かつ具体的な整理を行う。

第3章では、カメラ付き携帯電話機を用いたアナログ画像からの関連情報取得システム実現への予備検討として、PCでの動作を前提としたアナログ出力耐性を有する静止画電子透かし手法を用いたクライアント/サーバ方式について検討を行う。まず、アナログ出力耐性を有する電子透かし手法として、画像の空間周波数成分に対して直交符号化された透かし情報を重畳する静止画向け電子透かし手法を示す。提案手法では画像の空間周波数成分（フーリエ係数）の実部と虚部を独立したチャンネルとみなして埋め込みを行うことによって、従来手法であるフーリエ係数の振幅に埋め込みを行う手法に対して拡散率を倍増させることが可能であり、それにより高いノイズ・圧縮耐性を実現する。また、False Positiveについて定量化を行う。評価実験により、印刷出力されたアナログ画像からでも電子透かしの検出が可能であることを確認する。最後に、提案手法を利用したC/Sシステムについて検討を行う。

第4章では、第3章で示したC/S方式における通信処理に伴うコスト問題を本質的に解決するため、カメラ付き携帯電話機上でスタンドアロン処理で高速に検出処理が可能な静止画電子透かし方式について示す。提案方式は

画像の縁を利用して撮影角度によって生じる幾何歪みの補正をすることで空間同期をとり，さらに安定した特性を有する2次元ブロックパターン変調を用いることに微小な幾何歪みに対処し，スペクトラム拡散変調によりノイズに対するロバスト性を実現する．さらに，実サービス運用上必要となる，検出透かし情報の信頼性（False PositiveおよびMessage Error）の定量評価方法についても示す．実機に実装して行った評価実験によって，提案手法は携帯電話機上のJavaアプリケーションとして実装した場合でも，700 msec.程度で電子透かし検出処理を完了することができ，また，十分なロバスト性を有することを確認できた．

第5章では，対象を動画へと変え，ディスプレイ上で再生されている動画から，カメラ付き携帯電話機を用いてリアルタイムに検出処理可能な高速な動画向け電子透かし方式について示す．提案方式は，第4章の方式と同じくキャプチャフレーム中の矩形領域をリアルタイムに検出・追跡することで，フリーハンド撮影によって刻々と撮影角度による幾何歪みに対処して空間同期を実現する．電子透かし検出は，連続してキャプチャされるビデオフレームの時間差分をとることで原画成分を抑圧してS/N比を改善することにより，スペクトラム拡散された電子透かし信号をロバストに可能である．さらに第4章と同じく，検出透かし情報の信頼性（False PositiveおよびMessage Error）の定量評価方法についても示す．実機に実装して行った評価実験により，画面表示された動画にカメラ付き携帯電話機をかざしてリアルタイムにかつロバストに検出可能であることを確認できた．

第6章では，第5章で示した方式の問題であった電子透かし手法の端末性能依存性を解消しつつ，さらなる耐性向上を実現するリアルタイム検出処理可能な高速動画向け電子透かし方式について示す．提案方式では，空間同期については第5章の方式と同じく高速矩形検出・追跡手法によって実現される．電子透かし手法としては，時間同期不要であり高いロバスト性を有する単一周波数平面スペクトル拡散法（Single Frequency Plane Spread Spectrum method, SFPSS法）を画素信号領域を対象とするように改良して高速化を図った．さらに第4,5章と同じく，検出透かし情報の信頼性（False PositiveおよびMessage Error）の定量評価方法についても示す．実機に実装して行った評価実験により，提案手法は第5章の方式で問題であった端末性能依存性を解消すると同時に，より高いロバスト性を有することを確認できた．これにより電子透かしを用いたサービスの幅広い展開を実現することが可能である．

最後に第7章で本論文の成果をまとめる．
本研究の成果は，アナログ出力された実世界の画像・動画コンテンツから電子透かし検出可能な高耐性かつ高速な電子透かし手法を提案し，特にカ

メラ付き携帯電話機上でスタンダロン検出処理が可能であることを実機を用いた評価実験により実証したこと、および、検出透かし情報の信頼性の定量評価方法を示し、実サービス運用時定量的品質保証を可能としたことにある。

論文の審査結果の要旨

本博士論文は、画像や映像といったコンテンツに対して、高度なコンテンツ利用環境の実現に不可欠となるメタデータをコンテンツ自体とバインドするための電子透かし技術について提案するものである。印刷や画面出力など、アナログ出力されたコンテンツにおいてまでメタデータとのバインディングをシームレスに保証し、アナログドメインで流通するコンテンツを起点として高度なコンテンツ利用環境を提供することができる。また、アナログドメインのコンテンツの入力デバイスとして、近年幅広く普及しているカメラ付き携帯端末の利用について検討を行った。一般に電子透かし処理は複雑な画像・映像処理が必要であり、携帯電話機のような計算リソースの乏しい環境では、高速処理とアナログ出力耐性を同時に実現することは従来非常に困難であった。本研究では特にこの点について注目し問題の解決を行った。

本研究では、利便性の観点からカメラ付き携帯端末上のスタンドアロン処理によって高速に検出処理可能な電子透かし方式を研究した。まず静止画電子透かし方式について検討した。提案方式は、画像の縁を利用して撮影角度によって生じる幾何歪みを補正する空間同期、安定した特性を有する2次元ブロックパターン変調による微小な幾何歪み対応、スペクトラム拡散変調によるノイズ耐性を実現した。さらに、検出時の透かし情報の信頼性（False Positive及びMessage Error）の定量評価方法についても提案している。この信頼性評価については、原画情報や透かし情報、あるいはノイズの強度といった事前情報を用いず、検出時に利用可能な撮影画像情報等のみから評価が可能であり、実用上極めて有用である。実機に実装して行った評価実験によって、提案手法は携帯電話機上のJavaアプリケーションとして実装した場合でも、700ms程度で電子透かし検出処理可能であり、また、十分なロバスト性を有することを確認できた。

次に、対象メディアを動画へと変え、ディスプレイ上で再生されている動画からカメラ付き携帯端末を用いてリアルタイムに検出処理可能な高速な動画向け電子透かし方式について検討した。上記静止画方式と同じく、ビデオキャプチャフレーム中の矩形領域（TV画面などの映像表示領域）をリアルタイムに検出・追跡することで、フリーハンド撮影によって刻々と変化する撮影角度による幾何歪みに対処し空間同期を実現した。電子透かし変復調手法としては、まずプロトタイプとしてフレーム間差分により原画成分を抑圧して高ロバスト性を図る手法を検討した。フレーム間差分法を実機に実装して行った評価実験により、リアルタイム検出処理及び一

定のロバスト性を有することを確認できたが、端末性能依存性（ビデオキ
ャプチャ性能依存）を有することも明らかになった。この問題を解消しつ
つ、さらなる耐性向上を実現するために、電子透かし変復調手法として、
時間同期不要であり高いロバスト性を有する単一周波数平面スペクトル拡
散法（SFPSS法）を考案し、さらにSFPSS法を画素信号領域を対象とするよ
うに高速化改良を行った。さらに、検出時の透かし情報の信頼性の定量評
価方法についても静止画方式と同様に示した。実機に実装して行った評価
実験により、SFPSS法はフレーム間差分法の問題であった端末性能依存性を
解消すると同時に、より高いロバスト性を有することを確認できた。これ
によりサービスの幅広い展開を図ること可能とした。

本研究の成果は、アナログ出力された実世界の画像・動画コンテンツか
らカメラ付き携帯端末上でスタンドアロン検出が可能な高耐性な電子透か
し方式を提案し、実機を用いた評価実験により提案方式の有効性を世界で
初めて実証した。さらに、検出時の透かし情報の信頼性の定量評価方法を
示し、実サービス運用時の定量的品質保証を可能としたことにある。また
、時間同期不要でかつ高いロバスト性を有する動画電子透かし手法であるS
FPSS法を考案し、さらにそれを携帯電話機でリアルタイム処理可能なよう
に高速化したことにある。

本論文の提案内容は、新規性、有効性、信頼性を十分に備えており、か
つ学術的価値も十分に認められる。さらにコンテンツ流通、情報サービス
産業市場の普及とその拡大に不可欠な技術的な進歩だけでなく、サービス
科学の側面からも情報通信産業界での実用化や社会貢献が十分に期待でき
る。さらに、出願者は、本研究に関して、以下に示す研究業績を達成して
おり、本論文が複合科学研究科における博士授与の基準に達しているもの
と判断する。

本博士論文に関係する研究業績は、以下の通りである。

(1) 学術論文：10件（全て採録決定、総研大入学後の主著：4件）、(2)
国際会議・査読付き講演・レター等：7件（全て採録決定、総研大入学後の
主著：2件）、(3) 紀要等（NTT Technical Review等）：4件、(4) 解説記
事等：4件、(5) 学術講演・研究報告等：33件、(6) 登録特許：国内：23
件、外国：9件、(7) 表彰等：10件。

試験は、出願者が提出博士論文の内容に関する40分間のプレゼンテーシ
ョンを公開形式で実施し、その後、論文内容を中心に、これに関連した分
野ならびに基礎知識の内容も含めて、審査委員全員による20分間の口頭試
問が行われた。

出願者によるプレゼンテーションでは、(1) アナログ出力された実世
界の画像・動画コンテンツからカメラ付き携帯端末上でスタンドアロン検

出が可能な高耐性な電子透かし方式を提案、実機を用いた評価実験により提案方式の有効性を世界で初めて実証した、(2) さらに、検出時の透かし情報の信頼性の定量評価方法を示し、実サービス運用時の定量的品質保証を可能とした、(3) また、時間同期不要でかつ高いロバスト性を有する動画電子透かし手法であるSFPSS法を考案し、さらにそれを携帯電話機でリアルタイム処理可能なように高速化した、など問題点、問題解決のアプローチ、発明考案のポイント、研究成果の社会実装について発表された。

審査委員からの質問として、(1) 電子透かしによって埋め込むバインディングの情報量の更なる改善方法、(2) 国際標準であるデジタル画像符号化技術(MPEG)と提案手法との整合性、(3) 研究開発成果の社会実装(事業化計画)(4) 本研究のさらなる技術発展、などについて質問が提出され、これらに対する回答と付随する議論を通じて、出願者から納得のいく回答を得ることができた。

このことから、専門分野、関連する専門分野、および基礎的な知識、技術の社会実装に関して、学位を授与するに値する十分な学識を有するものと判断できることから、提出博士論文を合格と判定した。