

カメラ付き携帯電話機を用いた動画向けリアルタイム電子透かし検出方式 Real-time video watermark detection scheme for camera-phone

中村 高雄[†] 山本 奏[†] 北原 亮[†] 宮武 隆[†] 片山 淳[†]

Takao Nakamura Susumu Yamamoto Ryo Kitahara Takashi Miyatake Atsushi Katayama

1. まえがき

電子透かし技術の応用として、印刷やモニタ表示などでアナログ出力された透かし入り画像をカメラ付き携帯電話機で撮影して電子透かし検出を行ない、検出した透かし情報を用いてアナログ情報とデジタル情報を連携させるモバイル電子透かし技術が提案されている [1][2]。従来のモバイル電子透かし技術は、PCなどと比較して処理能力が低い携帯電話機上で比較的处理量の多い画像処理である電子透かし検出を行なう必要があるため、基本的に静止画像を一枚撮影して検出処理を行なう静止画向け電子透かし方式であった。

しかし、携帯電話機の処理能力の向上、および高速処理可能な携帯電話機向け静止画電子透かしアルゴリズムの提案 [2] などにより、カメラで連続的にキャプチャされるフレーム画像からの電子透かし検出をリアルタイムに行なうことが現実味を帯びてきた。これにより、TV 映像などの動画からのリアルタイム検出といった新たな技術の可能性が有り得る。

本稿では、技術の位置付け、要件を示した上で、カメラ付き携帯電話機を用いた動画向けリアルタイム電子透かし方式の検討を行ない、さらに実機上に実装し評価実験により提案方式の有効性を確認する。

2. 技術の位置付けと要件定義

カメラ付き携帯電話機を用いた動画向けリアルタイム電子透かし検出技術の利用イメージを図 1 に示す。動画を視聴している利用者が視聴中のコンテンツに関連する情報を取得する際には、カメラ付き携帯電話機を表示画面に向けてビデオキャプチャし、リアルタイムに電子透かしを検出する。検出成功すれば関連情報を用いて様々なサービスを利用することができる。

2.1 関連技術

上記と同様のシステムは、電子透かしの代わりに 2 次元コードを用いたり、無線通信などによっても可能であると考えられる。しかし、2 次元コード利用の場合、コードパターンが表示画面上で一定の面積を一定時間占有するため、コンテンツの視聴の妨げとなるという問題がある。無線通信による方法では、ディスプレイと携帯電話機双方にハードウェア的な機能追加が必要であり、既存ハードウェアでは実現が難しい。また、撮影したコンテンツの特徴量を携帯電話機で算出し、特徴量 DB を持つサーバに特徴量を送り、マッチングにより撮影されたコンテンツを特定して関連情報を取得する方法 [3] もあるが、動画のリアルタイム処理という観点では、特徴量算出処理量、サーバへの送信データ量、サーバ側で保持すべき特徴量 DB のレコード数などに問題があり、実現が難しいと考えられる。以上の考察により動画向けリアルタイム電子透かし検出を用いることに十分なメリットがあると考えられる。

[†]日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所, NTT Cyber Space Laboratories, Nippon Telegraph and Telephone Corp.

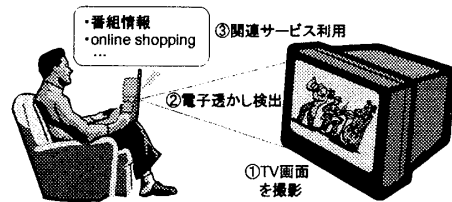


図 1: 利用イメージ

2.2 要件

上記の利用イメージや関連技術との関係を考慮し、本技術に求められる要件は一般に以下のように考えられる:

- (a) 画質劣化が視聴の妨げにならないこと
- (b) 様々な撮影条件で検出可能なこと
- (c) 撮影を開始してから短時間で検出成功すること
- (d) 検出した透かし情報の信頼性が保証されていること
- (e) 検出試行に対する応答の遅延が少ないこと

(e) は必ずしも必須ではないが、リアルタイムに試行結果をフィードバックすることによってユーザビリティと検出性能の向上に寄与できるため、満たすことが望ましい [4]。

3. 提案方式

前節で示した要件を満たすために、我々が以前に提案した携帯電話機向けの高速度静止画電子透かし方式 [2] を元に以下のような構成を検討した。

3.1 時間方向高周波パターン埋め込み

電子透かし埋め込みは文献 [2] の静止画方式を動画像の各フレームに対して適用することによって行なう。ただし後述する検出処理との兼ね合いから、埋め込みパターンの正負を時間方向で高速に切替えながら埋め込みを行なう。

3.2 検出対象領域抽出、幾何歪み補正

高速な矩形領域抽出アルゴリズム [5] を用いて、ディスプレイ装置の表示領域をキャプチャフレーム画像中から検出対象領域として抽出し、さらに撮影角度によって生じる平面射影歪みを補正する (図 2)。

3.3 フレーム間相関を利用した高精度検出

文献 [2] の方法を含むスペクトラム拡散変調利用型などの加法的なアルゴリズムでは、透かし信号に対して原画信号が雑音として振舞う。しかし、動画像は一般的に時間的に近接したフレーム間の相関が高いため、近接した 2 枚のフレーム画像の差分を求めれば、原画信号を大きく抑圧することが可能となる。さらに透かしパターンの正負を逆転させながら埋め込みを行なっているため、2 枚のフレームに埋め込まれている透かし

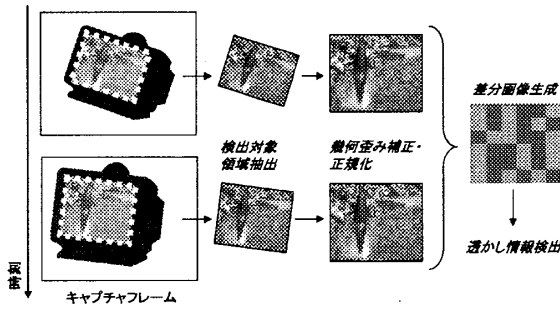


図2: 検出対象領域抽出と差分処理

表1: 実装を行なった携帯電話機のスペック

プロセッサ	104MHz 32bit RISC
動作プラットフォーム	Symbian OS 7.0s Series 60 (C++)
ビデオキャプチャ	176 × 144 画素 (4:2:0 format) 平均 14.92 フレーム/秒

パターンが正負逆転しているとするれば、差分画像中の原画信号が抑圧されるのみならず、透かしパターンの振幅が倍となり、S/N比の向上により電子透かしの耐性向上が期待できる。また、幾何歪み補正後の検出対象領域の差分を取ることで、カメラの動きにも対応することができる(図2)。

4. 実装と評価

提案方式の有効性を確認するため、携帯電話実機への実装を行ない、評価実験を行なった。

4.1 実装

実験プログラムの実装を行なった携帯電話機のスペックを表1に示す。この機種は一世代前のものであり既に動作周波数が倍以上の機種も存在するが、提案方式の高速性を確認する意味で取って用いている。検出対象領域抽出には輝度成分を用いたが、透かしパターン埋め込みは視覚特性を考慮してCb成分を用いた。キャプチャフレームが4:2:0 formatであるため、電子透かし検出は88 × 72画素内の検出対象領域から行なわれることになる。予備実験から透かしパターン反転頻度を15反転/秒と定め、各フレームに15ビットの透かし情報を表す透かしパターンを埋め込んだ。図3に実験風景と実験プログラムの実行中画面を示す。リアルタイムに矩形領域抽出結果などをフィードバックし、利用者側で電子透かしが検出しやすくなるように撮影角度などを調整することができる。また、次節の評価のため、検出対象領域探索を常時行ない、ボタン押下後に電子透かし検出を開始するようにしている。

4.2 評価実験

映像情報メディア学会の標準動画像3種(29.97 fps)に、3段階の埋め込み強度(Cb成分(256階調)に対する透かしパターンの振幅値)で電子透かしを埋め込んだものを18インチの液晶モニタに出力し、原画と比較して画質劣化について主観評価(被験者12名)を行なった結果を図4に示す。ほぼ劣化が知覚できないレベルであることが分かる。

また、本評価実験においては、文献[2]のType B. false positive rate (透かし有りの入力から検出したとき誤った情報を誤検出する確率)が、差分画像1枚からの検出試行あたり 10^{-4} 以下となるように設定した。これにより、本方式にお

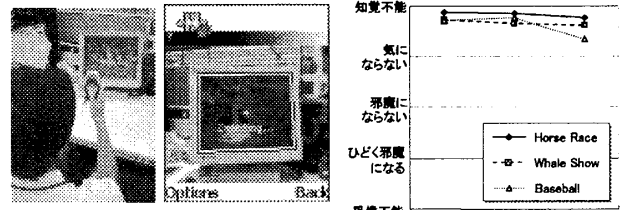


図3: 実験風景(左)と実験プログラムの実行中画面(右)

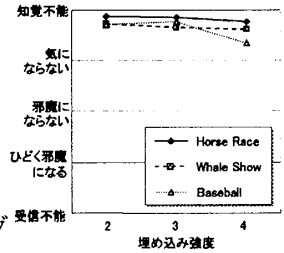


図4: 主観評価結果

表2: 検出成功率と成功時の平均所要時間

画像	強度	検出成功率	平均所要時間
Horse Race	3	94% (28/30回)	0.59 秒
Whale Show	3	100% (30/30回)	0.46 秒
Baseball	3	100% (30/30回)	0.43 秒

(ランダムな検出開始タイミングで各画像毎に30回試行)

る検出成功を「ボタン押下後2秒以内(約28回試行)に検出可能な場合」という定義にすれば、本方式におけるType B. false positive rate ≈ 0.0028 以下となることを保証していることになる。

上記の条件のもと、3種の動画像に対して埋め込み強度 = 3で埋め込んだものを18インチ液晶モニタに出力し、実機を手で保持して実験プログラムで検出試行した場合の検出成功率および成功時の平均所要時間を表2に示す。劣化が知覚できない程度の埋め込み強度でも高い検出成功率を示し、UI上の一つの基準である「2秒ルール」[6]をほぼ満たしていると言える。

最後に、検出処理速度については、単純にビデオキャプチャとプレビュー表示のみを行なった場合のキャプチャレートが平均14.92 fpsであり、加えて本方式による電子透かし検出処理およびフィードバック出力を全て行なった場合では平均14.05 fpsであった。若干の処理落ちが見られるがほぼリアルタイム処理を実現し、遅延の少ないフィードバック出力が可能である。

以上の結果から、提案方式は要件(a)~(e)をほぼ満たすものであると言える。

5. まとめ

カメラ付き携帯電話機を用いた動画向け電子透かし技術の位置付けと要件定義を行ない、要件充足のために動画像のフレーム間相関を利用した高速電子透かしアルゴリズムと高速な矩形領域認識アルゴリズムを組合せた方式を提案した。実機への実装および評価実験により、提案方式の有効性が確認できた。今後は、より詳細な評価実験と分析を行ない、さらなる改善により実用化を目指す。

【参考文献】

- [1] 中村他, カメラ付き携帯電話機を用いたサービス仲介システムのための電子透かし検出方式, 情報科学技術フォーラム FIT2003, N-020, 2003.
- [2] 中村他, カメラ付き携帯電話機を用いたアナログ画像からの高速電子透かし検出方式, 信学論 (D-II), Vol. J87-D-II, No.12, pp.2145-2155, 2004.
- [3] ケータイカメラでインターネットに誘導する技術, インターネットマガジン 2005年4月号, (株)インプレス, pp.114-117, 2005.
- [4] 中村他, カメラ入力画像からのリアルタイム電子透かし検出方式, 情報科学技術フォーラム FIT2004, J-036, 2004.
- [5] 北原他, カメラ付き携帯電話機による撮影画像中の矩形領域抽出手法の高性能化, 情報科学技術フォーラム FIT2005, 2005.
- [6] Ben Shneiderman, Designing the user interface 3rd edition, Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc., 1998.