

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

Real-time watermark detection scheme from camera-captured frames

中村 高雄[†] 宮武 隆[†] 林 良一[†] 片山 淳[†] 山室 雅司[†]

Takao Nakamura Takashi Miyatake Ryoichi Hayashi Atsushi Katayama Masashi Yamamuro

1. まえがき

電子透かし技術の応用として、印刷物などのアナログ画像中に埋め込まれている透かし情報を読み取り、アナログ情報からデジタル情報に導くサービス仲介システムが提案されている [1][2](図 1)。従来のアナログ画像からの電子透かし検出においては、カメラなどで撮影された一枚の静止画像からの電子透かし検出について議論されていた。しかし、手ぶれや露光条件など撮影時に生じる不確定な諸条件の影響より、一枚のキャプチャ画像からの電子透かし検出は成功率が低いという問題がある [2]。このため利用者は検出失敗した場合に再度静止画を撮影し直す必要があるなど、利便性の点で問題があった。本稿では、電子透かし検出成功率の向上、インタラクティブな操作による利便性の向上を目的に、リアルタイムにカメラ入力された連続したキャプチャフレーム画像に対して順次電子透かし検出を行なうリアルタイム電子透かし検出方式について検討し、さらに、各フレーム画像からの検出結果を統合する効率的な電子透かし検出方法の有効性についても検討する。

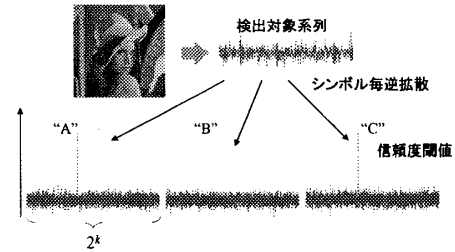


図 2: 電子透かしアルゴリズムの概略 [3]

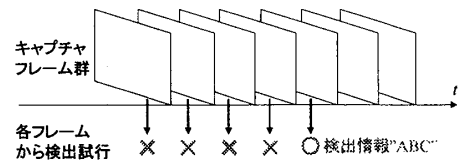


図 3: 基本方式

2. 前提とする電子透かしアルゴリズムの概略

本稿で検討するリアルタイム検出方式の前提として、文献 [3] で示されている静止画像電子透かしアルゴリズムを概説する。このアルゴリズムはシンボル毎スペクトル拡散変調に基づくものであり、複数のシンボルは拡散変調後に多重化されて埋め込まれている。検出処理手順は以下のとおりである (図 2)。

- (1) 画像データから検出対象系列を抽出する
- (2) 検出対象系列と各シンボル位置毎の拡散系列の相互相関を取り、スペクトル拡散復調を行なう (シンボル区間中の最大値をとるオフセット量を検出シンボル値とする)
- (3) 復調により得られるシンボル毎相関値 (シンボルピーク値) に対して閾値判定を行ない、全てのシンボルピーク値が予め定めた信頼度閾値以上の時に電子透かし検出成功と判定し、復調情報を出力する

3. カメラ入力画像からのリアルタイム電子透かし検出

3.1 基本方式

カメラ入力画像からのリアルタイム電子透かし検出の最も単純なアプローチは、フレーム画像からの電子透かし検出を成

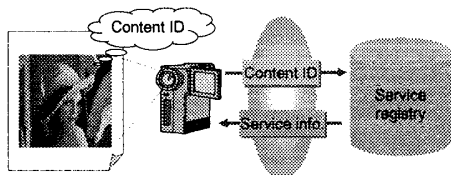


図 1: 電子透かしを用いたサービス仲介システムの概要 [1]

[†]NTT サイバースペース研究所, NTT Cyber Space Laboratories

功するまで独立に繰り返す方式 (以下「基本方式」と呼ぶ) である (図 3)。カメラによりリアルタイム入力されているフレーム画像を 1 枚取得し、電子透かし検出を試みる。電子透かしの検出に失敗した場合、再度フレーム画像を取得して検出を繰り返す。

3.2 検出結果の統合による効率的な電子透かし検出

上記の基本方式では、各フレーム画像からの検出を独立に繰り返すため、各検出試行において各々不完全な検出 (一部のシンボルのみ検出など) が続く場合は、検出失敗状態が長引いてしまう。そこで各フレームからの不完全な検出結果を統合することによって、より少ない試行回数で検出成功を目指す方式 (以下「バッファリング方式」と呼ぶ) を検討する (図 4)。

バッファリング方式では、シンボル毎スペクトル拡散復調により得られるシンボル毎の相関値について、基準となる閾値以上となったものについては既検出済シンボルとして検出シンボルバッファに保存する。全ての検出シンボルバッファが埋まった場合、検出成功とする。

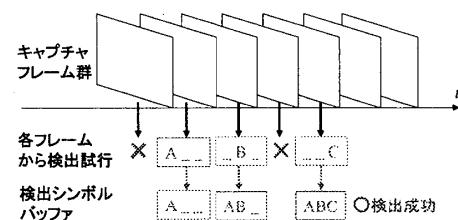


図 4: バッファリング方式

3.3 バッファリフレッシュ処理

バッファリング方式では部分的な検出結果をバッファリングして検出結果を統合するため、例えば異なる電子透かしの埋め込まれた2枚の画像について、1枚目の画像からの電子透かし検出が途中の段階でもう一枚の画像を入力した場合、異なる電子透かし情報が検出シンボルバッファ上で混在するようになってしまうおそれがある。これを避けるためにバッファのリフレッシュを行なう。

バッファリフレッシュのタイミングとしては以下のものが考えられる：

- (a) 全く電子透かしが検出できない試行が連続して N 回続いたとき
- (b) 検出シンボルバッファ上で既検出済となっているシンボル値と異なるシンボル値を検出したとき
- (c) 検出シンボルバッファが全て埋まった際、復調情報に対して施す誤り検出復号によって誤りを検出したとき

3.4 フィードバック出力

電子透かしの検出可能性をフィードバック出力することでインタラクティブ性を与え、利便性の向上を図る。検出可能性指標としては、例えば平均シンボルピーク値や、検出成功したシンボルの個数などが考えられる。改良方式では、検出シンボルバッファ中の既検出シンボルの個数などにより、検出の進捗割合も指標として利用可能である。また、カメラキャプチャされたフレーム画像群をリアルタイムプレビュー表示することにより、キャプチャ画像中の電子透かし入りアナログ画像のフレームングを調整でき、上記フィードバックと併せて利便性のさらなる向上が期待できる。

4. 検出信頼度について

基本方式とバッファリング方式によって得られる検出情報の確からしさを同一にするため、検出信頼度について議論する。

4.1 基本方式の検出信頼度

検出時のシンボルピーク値の閾値基準となる、相関演算1回における誤り率を p_0 とする。1シンボル= k -bit の場合、1シンボル復調の誤り率の上限値は $1 - (1 - p_0)^{2^k}$ であり、これを用いて検出成功時のシンボル長 l の検出情報の誤り率は、

$$P_0 = 1 - (1 - p_0)^{2^{kl}} \quad (1)$$

で与えられる。 P_0 をサービス品質上許容可能な誤り率となるように定め、そのときの p_0 を基に閾値を設定する。

4.2 バッファリング方式の検出信頼度

バッファリング方式では、検出成功となるまでのバッファリング回数 n に依存した検討が必要になる。ここでは n に応じて閾値基準確率 p_n を低減させる方法について議論する。

バッファリング開始から n 回目の検出試行の際のシンボルピーク閾値基準確率を p_n とし、検出シンボルバッファに蓄積されたシンボルピーク値に対して p_n に基づいた閾値判定を行った結果閾値以下の既検出済シンボルはリセットされるものとする、 n 回目までのバッファリングで得られた既検出済1シンボルの誤り率の上限値は $1 - (1 - p_n)^{2^{kn}}$ である。これを用いて n 回目のバッファリングで検出シンボルバッファが全て埋まって検出成功したときの検出情報の誤り率は、

$$P_n = 1 - (1 - p_n)^{2^{knl}} \quad (2)$$

となる。基本方式とバッファリング方式におけ検出信頼度を同一にする、すなわち $P_n = P_0$ とするためには、(1)、(2)式と近似により

$$p_n \approx p_0/n \quad (3)$$

を満たせば良いことが分かる。各 p_n に対応した閾値を予め求めておき、検出処理の際には現在のバッファリングカウンタ n に応じた閾値判定を行なうようにする。 p_n は n に対し単調減少であるので基準は徐々に厳しくなる。また、

- (d) 予め定めた n の上限値に達したら検出シンボルバッファおよび n をリセットする

をバッファリフレッシュ条件に加える。

4.3 ハイブリッド方式の検出信頼度

基本方式で検出を試みて検出成功しなければバッファリング方式を試みる、という検出処理を繰り返すハイブリッド方式の検出信頼度を考える。検出成功となった場合、基本方式で検出成功する確率を α とすると、バッファリング方式で検出成功する確率は $1 - \alpha$ である。また、前節の議論で検出成功時の誤り確率は $P_0 = P_n$ となっているから、ハイブリッド方式における検出成功時の検出情報の誤り率は

$$P_H = \alpha P_0 + (1 - \alpha) P_n = P_0 \quad (4)$$

となる。

5. 実験結果

基本方式、バッファリング方式、ハイブリッド方式について検出信頼度を同一に設定した上で検出性能比較実験(成功率、所要時間)を行なった。実験により、電子透かしの埋め込み強度が十分に大きい時は1フレームから全てのシンボルを確実に検出できるため基本方式が優れていることが分かった。しかし画質劣化を抑えるため強度を低くした場合には、ハイブリッド方式の有効性が確認できた。

6. まとめ

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として、各キャプチャフレームからの検出を独立に繰り返す基本方式と、バッファリングによる検出方式およびハイブリッド方式を示し、検出情報の信頼度について確率的議論を行ない、評価基準を同一にした上で実験によりハイブリッド方式の有効性を確認した。今後は文献[4]の高速アルゴリズムへの適用とカメラ付き携帯電話機上の実装、およびユーザインタフェースとしての評価を行なう予定である。

【参考文献】

- [1] 片山他, コンテンツを起点に電子商取引に誘導するサービス仲介ゲートウェイ, NTT 技術ジャーナル, Vol. 14, Np. 10, 2002.
- [2] 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.
- [3] T.Nakamura et al., Improved Digital Watermark Robustness against Translation and/or Cropping of An Image Area, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E83-A, No. 1, pp. 68-76, Jan. 2000.
- [4] 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) (投稿中)