

印刷型ステガノグラフィ技術

Print-type Steganography Technology

あらまし

近年、カメラ付携帯電話の普及が急速に進んでおり、チラシなどに印刷されたQRコードやバーコードを用いたインターネットサービスも多くなった。しかし、これらのコードは、人間が見ても全く意味がなく、誌面のデザインを損なうという問題がある。この問題を解決すべく開発した印刷型ステガノグラフィ技術は、印刷された画像に利用者の目には見えない形でデータを埋め込むことができ、印刷物の利便性を高める。家庭用プリンタなどで印刷したデータ埋込み画像を、携帯電話のカメラなどで撮影するだけで、様々なデジタルコンテンツを素早く呼び出す。本技術は、カタログや雑誌の写真から商品情報やお店の情報を見るなどが一般的に考えられる使い方だが、ほかにもゲームなど幅広い用途での利用が期待されている。

本稿では、印刷型ステガノグラフィ技術の原理や要素技術について紹介する。

Abstract

Camera-embedded mobile phones have recently come into common use, and this development has stimulated a growth in the number of Internet services based on QR codes and barcodes printed on sales advertisements. However, these codes are unattractive and visually meaningless to people. This paper introduces the concept and key technologies of a steganographic printing system that embeds invisible data into printed color images, which can then be easily printed by personal-use color printers. This technology makes it possible to access any kind of digital content just by capturing an image using a mobile phone. Furthermore, unlike digital watermarking, this technology does not reduce image quality, and unlike QR codes and barcodes, it does not interfere with page layout and artwork. A wide variety of potential applications can be anticipated for this technology, for example, sales promotions and new card games.



野田嗣男(のだ つぎお)
ストレージ・インテリジェントシステム研究所 所属
現在、ステガノグラフィ関連の研究開発に従事。



師尾 潤(もろお じゅん)
ストレージ・インテリジェントシステム研究所 所属
現在、ステガノグラフィ関連の研究開発に従事。



千葉広隆(ちば ひろたか)
ストレージ・インテリジェントシステム研究所 所属
現在、ステガノグラフィ関連の研究開発に従事。

ま え が き

近年、カメラ付携帯電話の普及が急速に進んでおり、そのカメラの用途も単に人物などの撮影にとどまらず、インターネットに接続するための一手段になりつつある。QRコード^(注1)やバーコード^(注2)が読める携帯電話の普及に伴い、チラシや雑誌などに印刷されたQRコードやバーコードを用いてインターネットに接続するサービスを見かけることも多くなった。大容量という特長を持つQRコードは、機械が印刷物を介してデータを取るための仕組みで、これにより、携帯電話でURLを入力する面倒はなくなった。

しかし、QRコードやバーコードは、人間が見ても全く意味がなく、誌面のデザインを損なうという問題がある。また、余分なスペースも必要になる。著者らは、これらの欠点を克服すべく、印刷された写真画像に埋め込んだコードをインタフェースとして用いる方法の研究・開発を進めてきた。

本稿では、紙に印刷された画像、とくに写真画像にデータを埋め込むことにより画像に意味を持たせる印刷型ステガノグラフィについて紹介する。ステガノグラフィ技術とは、見えないデータを音声や静止画像などに埋め込む技術の一種である。人間が目で見ることで終わっていた従来の印刷物を電子空間（電子情報）とリンクさせることで印刷物の利便性を高めることができる。以下では、開発技術の原理、要素技術、特長、用途例を概説する。

従来技術の問題点

従来、画像にデータを埋め込む技術としては電子透かしが用いられていた。しかし、電子透かしはもともとデジタル画像を対象としたデータ埋込み技術であり、高画質の印刷画像にデータを埋め込むことは難しく、安定してデータを取り出すためには画質の劣化が避けられなかった。また、ユーザの利便性を考えると高速処理が必須となるが、電子透かしで

埋め込まれたデータを取り出すための計算量が多く時間がかかるという問題があった。

そこで、高速処理が可能な方法として、幾何学的パターンに意味付けを行い、画像に重畳する方法も提案されている。この方法は、印刷物の解像度が十分高い場合は、高画質と高速なデータ取出しを両立できるが、高画質印刷物からのデータ取出しにはイメージスキャナなどの解像度が高い入力装置（600 dpi程度）を必要とする。また、カメラ付携帯電話などの解像度が低いカメラ（150-200 dpi程度）を利用するためには、幾何学的パターンのサイズを大きくする必要があり、パターンが見えてしまうことになる⁽¹⁾。

開発技術の概要

開発に当たって、以下の3点を満足することを目指した。

- (1) 人の目には見えない形でのデータ埋込み
- (2) 一般の印刷技術（商用印刷など）で印刷
- (3) カメラ付携帯電話による高速データ取出し

開発した技術は、人の目には見えない形で印刷画像にデータを埋め込む符号化技術と、解像度が低いカメラ付携帯電話のカメラで取得した画像データから埋め込んだデータを高速・確実に読み取る復号化技術で構成される（図-1）。

高画質の印刷物に埋め込んだデータを携帯機器のみで高速・確実に取り出すことで、例えば観光パンフレットなどの写真を使って新しいサービスを実現する。データのやり取りの仕組みは、携帯電話とQRコードで行っているものと同様である（図-2）。カメラ付携帯電話でデータが埋め込まれた画像を撮影すると、携帯電話に実装されたソフトウェアにより埋め込まれたデータが復号され、復号されたデータはコンテンツが格納されたデータベースに送られ、最終的にデジタルコンテンツが携帯電話に送り返される。

データ埋込みの原理

印刷型ステガノグラフィの原理は、人間の目の特性とカメラやスキャナという画像入力装置の色識別（階調数）および解像力の能力の違いに基づいている。つまり、微小領域の階調レベルを若干操作しても人間は知覚できないが、画像入力装置で入力され

(注1) JIS-X-0510として規格化され、縦・横方向の模様で英数字・文字列（漢字・カナ）などを表現し、日本で最も普及している2次元コード。QRコードは（株）デンソーウェブの登録商標。

(注2) JIS-X-0501として規格化され、商店に流通しているほとんどの商品に付けられているJANコードが広く知られている。

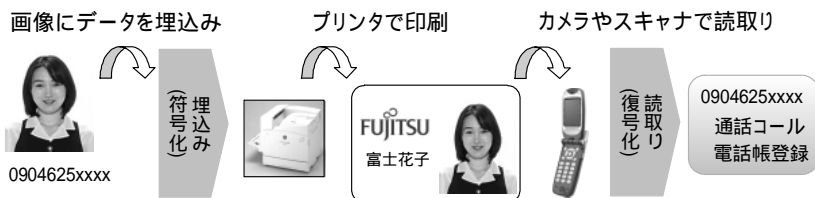


図-1 印刷型ステガノグラフィの処理の流れ
Fig.1-Flow of processing of print-type steganography.

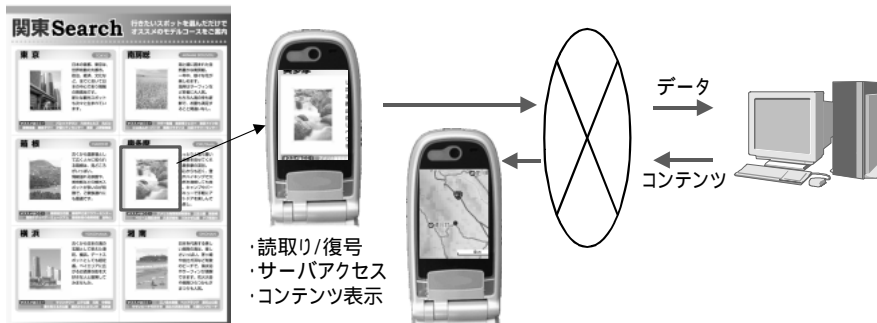


図-2 情報アクセスの流れ
Fig.2-Flow of information access.

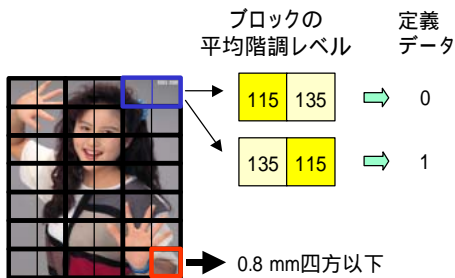


図-3 データ埋込みの原理
Fig.3-Principle of data embedding.

た画像の階調レベルは変化している性質を利用する²⁾

まず、データを埋め込む対象の画像を小さな領域(ブロック)に分割して、隣接したブロックのどちらのブロックの黄色がより濃いかを見る。図-3の中に「ブロックの平均階調レベル」とあり、数字が並んでいるが、これは黄色の濃さを示す値で、数値が小さいほど(115と135では115のほうが)黄色が濃いということを示している。左が濃ければ2進数の0, 右が濃ければ2進数の1と定義する。

データの埋込みフローを図-4に示す。まず、埋め込みたいデータと画像に定義された値を比較し、両者が一致しない場合には、平均階調レベルを変更し、両ブロックの平均階調レベルの大小関係を逆転させる。この操作を繰り返して、画像全体にデータを埋

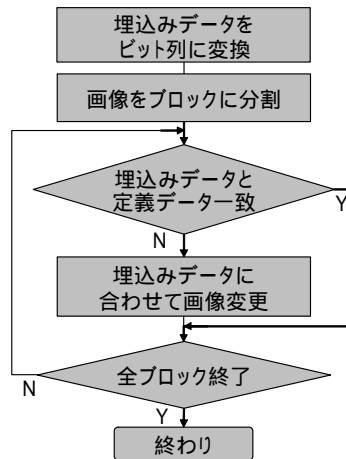


図-4 埋込みフロー
Fig.4-Flow of data embedding.

め込む。データを埋め込んだ画像はもとの画像からは変わっているが、ブロックの大きさを0.8 mm四方以下とすることで、その差が人の目では非常に分りにくくなり、画質を維持したままデータを埋め込むことができる。この0.8 mm四方の領域は150 dpiの解像度を有する入力装置であれば十分に階調レベルの変化を検出できる。

なお、埋め込む情報量はカメラ付携帯電話での利用を想定した30 mm x 40 mmの画像で10進数12桁である。

印刷物の色はプリンタの場合、メーカーごと、機種ごと、さらにはロットごとに微妙に違い、印刷物の上と下での違い（面ムラ）もある。さらには、印刷後には色も褪せていく。しかし、隣り合ったブロックの相対的な関係を2進数として定義しているため、その関係が崩れることは非常に少なく、印刷しても確実に埋め込んだデータを取り出すことが可能になる。

画質劣化低減技術

印刷型ステガノグラフィでは、さらに画質劣化を抑えるため、以下の技術を組み合わせている。

(1) ブロック内の一部領域のみのレベル変更

前章では、ブロックの平均階調レベルはブロック内部のすべての画素を使用するかのように説明したが、実際の階調レベルの変更はブロックの中央部分のみに対して行う（図-5）。ブロック全体のレベルを変更すると、ブロック境界で段差が生じブロック形状が目立ちやすくなる。これを避けるため、各ブロックの中央部分のみの階調レベルを変更することにより、隣接ブロック間のレベル差の確保と画質低下の防止を両立させている。

なお、一般的に、印刷特性および入力装置の特性により、入力装置で入力した画像のブロック間での階調レベル差は、埋め込んだときよりも小さくなることが多い。そのため、図-5のハッチング部分で示すとおり、ブロック間の平均階調レベル差が所定の最小階調差に満たない場合は両ブロックの中央部分の階調レベルをそれぞれ逆方向にだけ変更することで取り出しデータの誤りを低減させている。

(2) 黄色成分へのデータ埋込み

データを埋め込む成分は、カラー画像を構成する印刷の3成分（黄色、マゼンタ、シアン）のうち、

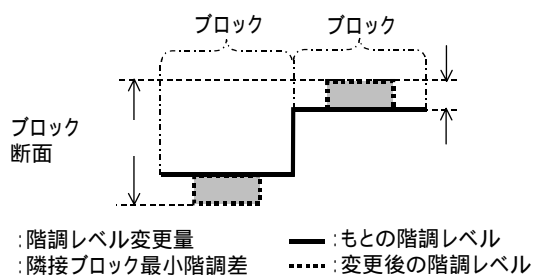


図-5 階調レベルの変更方法
Fig.5-Modification of density.

人間の感度が最も悪い黄色の成分を使用している（図-6）。

図-6のグラフは階調レベルの変更量と画質の関係を示している。横軸は階調レベルの変更量（256階調の中の何階調か）で、先例の115と135では20階調の差に相当する。縦軸は、画質の主観評価結果（5段階評価）で、3.5が許容点、すなわち変化が気にならない限界である。10階調の変更量であれば明度にデータを埋め込んだ場合も評価は4.5程度となり、ほとんど劣化が分からない。しかし、明度にデータを入れたもので階調レベルの変更量を20にすると画質が極端に悪くなり、使いものにならない。一方、黄色にデータを入れたものは階調レベルを20程度変更しても、一般の人はほとんど劣化に気がつかない程度の画質になる。

なお、印刷で使用する黄色以外のインクも黄色成分を含んでいるため、図-5で示した黄色成分の階調レベル変更量には補正処理を施している⁹⁾

(3) エッジ部分の埋込みスキップ

データの埋込みは画像のすべての領域に対して行うわけではない。隣接ブロックの平均値の差が所定の値より大きい場所（エッジ部分）に対して、両ブロックの階調レベルを変更してしまうと輪郭に凹凸が発生するため、主観的な画質が大きく低下することになる。そこで、エッジ部分に対しては、埋込み操作をスキップすることにより、エッジ部分での画質低下を防止している（図-7）。

特長と効果

開発した技術の特長を以下にまとめる。

(1) 画質劣化を抑えたデータ埋込み

印刷画質の劣化がほとんどないので、実写画像

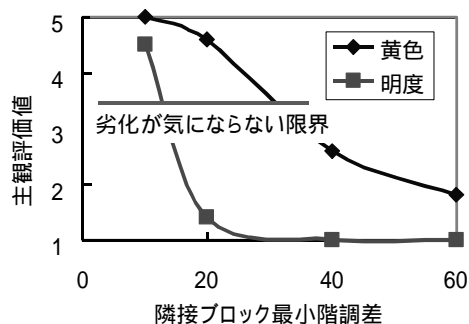


図-6 黄色成分への埋込み効果
Fig.6-Effect of use of yellow component.

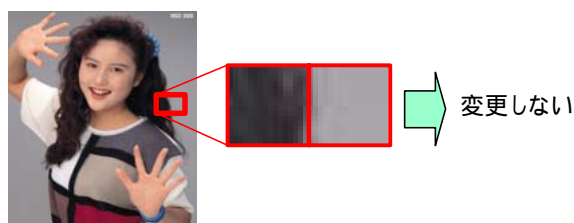


図-7 埋込みのスキップ
Fig.7-Skip of embedding.

(人物や商品の写真など)をそのまま使うことができる。また、生産管理などにおいて画像と現物の一致を事前に確認できる。

(2) 印刷装置を選ばない

印刷する画像データそのものを変更しているため、特殊なインクなどが不要であり、扱いが簡単である。一般的な家庭用カラープリンタでデータの埋め込まれた画像を印刷することができ、家庭でも手軽に扱うことができる。

(3) 入力装置を選ばない

150 dpi以上の解像度があればデータの取出しができるため、カメラ付携帯電話、USBカメラ、イメージスキャナなどの各種入力装置を使用できる。

(4) 高速読取り

埋め込んだデータの取り出しは隣接ブロックの階調レベルの大小検出で行うため、携帯機器の内部処理だけで1秒以下の高速読取りが可能である。

上記の特長から、本技術は専用装置を用いた業務用途から一般コンシューマ向け用途まで幅広く対応できる。また、一般の入出力装置が利用できるため、導入コストを低く抑えることができる。

用 途 例

印刷型ステガノグラフィ技術は、カタログやパンフレットの写真から商品情報やお店の情報を見たり、着メロをダウンロードしたりするなどの情報アクセスのインタフェースとしての利用が基本的な使い方である。以下は、そのほかの用途例であるが、画像とコンテンツを工夫することで、様々なシーンで利用できる。

(1) 案内状

はがきやダイレクトメールに印刷された写真にカメラをかざすと地図が出てきたり、ナビゲーションに連動したりする。

(2) マニュアル

風邪薬などの商品写真から薬の飲み方などを音声でガイドしたり、使用法を映像で提供したりすることで、情報量を大幅に増やすことができる。

(3) トレーサビリティ

食品の写真が印刷された札にカメラをかざすと生産関連情報が出てくる。バーコードやQRコードと違い、画像を目で確認できる利点があり、間違いを未然に防ぐことができる。

(4) 保証書システム

例えばロゴにID番号を入れておき、本物と偽物を識別するなどの使い方である。また、機密資料の写真やイラストに固有のデータを埋め込むことで、流出元を特定することもできる。

(5) アミューズメント

ゲームのキャラクタの戦闘力、防御力などのパラメータを同じ絵柄の画像の中に仕込んでおくことで新たな遊び方を提供する。

む す び

印刷型ステガノグラフィ技術は、一般の印刷技術と幅広い画像入力装置を利用して、実写画像に目に見えないデータを埋め込む利用範囲の広い技術である。とくに、同じ絵柄の画像に任意のデータを埋め込む利用法で最大の効果を発揮する。

今後、携帯電話事業者、印刷機器メーカー、コンテンツプロバイダなどとの連携を推進し、パーソナル市場、ビジネス市場を対象としたソリューションへの適用拡大を進めていきたい。

参 考 文 献

- (1) 中村高雄ほか：カメラ付携帯電話を用いたアナログ画像からの高速電子透かし検出方式．電子情報通信学会論文誌D- ，Vol.J87-D- ，No.12，p.2145-2155（2004）．
- (2) 師尾 潤ほか：印刷画像用データ埋込技術．2003年度画像電子学会第31回年次大会予稿集．北九州，画像電子学会，2003，p.5-6．
- (3) J. Moroo et al. : Data Embedding Method on Printed Materials . Proceedings of the Pacific Rim Workshop on Digital Steganography 2004 , Fukuoka , Digital Steganography Workshop , 2004 , p.59-69 .