

# 電子スクラップシステム

上 條 浩 一<sup>†</sup> 上 條 昇<sup>†</sup> 阪 本 正 治<sup>†</sup>

カメラ、電話、テレビ放送等あらゆる分野でデジタル化が進んでいるが、新聞、書籍等、紙媒体は依然多く流通しており、今のところデジタル化の波に完全にのみこまれてしまう兆候は見えない。しかし、これら紙媒体とデジタルの世界とを結びつける需要は増えており、それを実現する手段の例として、バーコードや電子透かしがある。しかし、バーコードの場合は場所をとり、見栄えが悪く、電子透かしは埋め込める情報量が少ない、という問題がある。本論文では、これらの問題を解決しつつ紙媒体とデジタルの世界を結びつける電子スクラップシステムを紹介する。本システムでは、不可視インクを用いて新聞等の記事に重畳して印刷された2次元バーコードを、そのインクに反応する特殊な発光装置を搭載した携帯電話等で撮影し、その撮影画像から画像処理を組み合わせた抽出アルゴリズムによって情報を抽出する。我々は、この抽出アルゴリズムと特殊LEDを実際に搭載した携帯電話の試作機を作り、正しく動作することを確認した。

## Electronic Scrap System

KOICHI KAMIJO,<sup>†</sup> NOBORU KAMIJO<sup>†</sup> and MASAHARU SAKAMOTO<sup>†</sup>

Digitalization has been pervading in various areas, including camera, telephone, TV, and so on. On the other hand, paper media forms, such as newspapers and magazines, still have large market shares, and we see no sign they will be completely digitized. However, demands to connect between these analog and digital worlds are increasing. Barcodes and watermarking are examples of the technologies used to connect them. However, the problem is that a barcode occupies space and disrupts the layout of the article, and watermarking has limited capacity for embedding data. In this paper, we propose an "Electronic Scrap System", which connects the analog and digital world, solving these problems. In this system, we superimpose invisible barcodes on printed articles using invisible ink, then take pictures of them using a special camera equipped with a special LED (Light Emitting Diode) that is sensitive to the invisible ink, decode the encoded data after the image is processed, and extract the information. We made a prototype cell phone which includes the code extraction algorithm and the LED attached outside the device, and confirmed that we can correctly extract the information from the photo image taken by the cell phone.

### 1. はじめに

1980年代後半から始まったデジタル化の波はとどまるところを知らない。たとえば、日本市場では2001年にデジタルカメラの出荷台数が銀塩カメラのそれを抜き、2003年にはDVDレコーダの出荷台数がVTRのそれを抜いた。文書に関しても、2005年4月にe文書法が施行され、民間での紙の文書は、原則としてすべて電子保存が容認されることになった。一方、本、雑誌、新聞等紙媒体で流通しているものは依然として多く、今のところこれらがデジタルに完全に置き換わってしまうという兆候は見えない。しかし、これら紙媒体とデジタルの世界を結びつける需要は増えており、

それを実現する手段の例として、バーコード<sup>1),2)</sup>や電子透かし<sup>3)~5)</sup>がある。バーコードは、雑誌等にデジタル情報をバーコード化して印刷して載せておき、ユーザが携帯電話の写真機やデジタルカメラ等でそれを写しデジタル化し、抽出プログラムを用いてデジタル情報を抽出する、というものである。一方電子透かしは、デジタルコンテンツに付加情報を不可視の状態に埋め込んでおき、印刷物からの抽出の際には、その印刷物をデジタル化し、電子透かし抽出プログラムによりデジタル情報を抽出する、というものである。しかし、バーコードは、それ自体が印刷物のスペースをとってしまう、あるいは印刷物の美観を損ねてしまう、という問題があり、たとえばスペースのない新聞や雑誌の記事に印刷するのは難しい。また、電子透かしは、透かしを埋め込む対象が自然画のような場合は、耐性が強く印刷後にも透かしの情報が比較的残りやすく、画

<sup>†</sup> 日本アイ・ビー・エム株式会社東京基礎研究所  
Tokyo Research Laboratory, IBM Japan Ltd.

質への影響が少ないが、新聞の記事に使用されるようなテキストに対しては、耐性が弱いだけでなく、透かしが目立ちやすい、という問題がある。また、埋め込める情報量もバーコードと比べ少なく、URL のアドレスを埋め込むことは難しい。本論文では、これらの問題を解決しつつ紙媒体とデジタルの世界を結びつける電子スクラップシステムを紹介する。本システムでは、印刷時には、不可視インク<sup>6)</sup> を用いてバーコード等を新聞、雑誌等の記事に重畳して印刷する。また抽出時には、ユーザはそのインクに反応する装置を搭載した携帯電話やデジタルカメラ等でそれらの写真を取り、抽出プログラムを用いて、デジタル情報を抽出する。以下、2 章で本システムの概要を紹介し、3 章で不可視コードの印刷画像の分類と印刷方法の議論を行う。4 章では不可視コード抽出システムについての議論を行い、5 章ではその抽出システムと特殊 LED を実装した携帯電話の試作機を用いた、コード抽出の実験結果を紹介する。6 章では類似技術との比較、ユーザビリティ等の議論を行い、7 章では本システムの応用例を述べ、8 章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. システムの概要

電子スクラップシステムは、紫外線等により励起され可視の蛍光を発するような不可視インクを用いて、そのコンテンツに対応する情報をコーディングしたバーコード等を付加印刷した印刷物と、この不可視情報を読み取るために紫外線等の補助光 LED とデジタルカメラを内蔵する通信機器、および、この不可視情報に対応するコンテンツの関連情報を持つサーバから構成される。

図 1 に QR コード<sup>7),8)</sup> と携帯電話を利用した電子

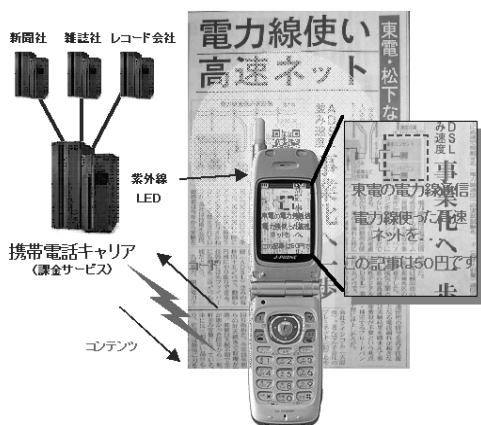


図 1 携帯電話電子スクラップシステム

Fig. 1 The Electronic Scrap System for cell phones.

スクラップシステムの概要を示す。以下の議論においては、2 次元バーコードとして QR コードを用いることを前提とする。この携帯電話は紫外線 LED を補助光として利用し、通常の印刷物上に印刷された不可視 QR コードの抽出・読み取りを行い、ユーザにとって意味ある情報に変換したのち通常の画像の上に表示する。さらにユーザがシャッターを押すことで、携帯電話のキャリアを経由してサーバと通信し、その情報に対応するデジタルコンテンツを画面に表示あるいは機器にダウンロードする。これにより、新聞や雑誌の欲しい記事のデジタルコンテンツをデジタルカメラでスクラップする感覚で手軽に入手することが可能となる。また、このインクは透明なため、印刷物の見栄えに何ら影響を与えることがなく、どこにでも印刷することが可能である。

紫外線 LED は、従来の紫外線ランプに比べ、超小型軽量、省電力、瞬時点灯、低発熱量、狭波長分布、等の特徴を持ち、携帯電話への搭載が可能である。一方、不可視インクには、紫外線を受けて可視光を発するものや紫外光、赤外光を発するもの、または赤外線を受けてある波長の赤外光を発光・吸収するものがあるが、携帯電話の改造を最小限にとどめることを考え、紫外線を受けて現状のカメラでそのまま撮像できる可視光を発するインクを採用した。その際、不可視インクは 2 色 (シアン、イエロー) を選び、原画の色と発光時のインクの色が重ならないように印刷することとした。

今回使用したインク<sup>6)</sup> の発光には、シアン、イエロー、マゼンタの順に短い波長の紫外線が必要で、400 nm 程度の一般に入手しやすいブラックライト LED ではシアンのみしか発光しないが、365 nm の波長を持つ紫外線 LED であれば、すべての色を発光することができる。複数の色が発光できる場合、同じ紙面に対し、色により情報を使い分ける、といった応用も可能になる。このため 365 nm の波長を持つ紫外線 LED を採用することとした。携帯電話のハードウェアの変更はこの LED1 個追加のみとなる。携帯電話は実行速度とコード開発の容易性から、BREW を搭載する au の W21CAII を採用した。

図 2 は今回の試作携帯電話であり、電話機の背面に取り付けられているのが電池入り LED アタッチメントである。LED を発光させるためには、音で反応させ光らせる方法と、ケーブルをつなげて外部スイッチから操作する方法の 2 通りの方法が可能である。

不可視紫外線インクは通常では肉眼では見えないため、印刷物のどこに不可視 QR コードが埋め込まれて

いるのかを知るためのユーザインタフェースが不可欠である。今回の試作では、紙面を広く照らし出し、どの場所に QR コードが存在するかを確認できるように 100mW の光出力で 100 度の指向特性を持つ紫外線 LED を利用することにした<sup>9)</sup>。これによりユーザは紙面のどこに不可視 QR コードがあるかを肉眼で簡単に知ることができる。さらに、QR コードの色に反応して携帯電話のディスプレイにマークを出し、ユーザを QR コード部分に誘導しやすくするユーザインタフェースも追加した(図 3)。このインタフェースでは、紙面から遠い場合には、UV LED を発光することにより複数の QR コードのある位置にそれを示すマークが LCD 上に表示され、そのマークの 1 つに携帯電話を近づけると、そのコードから情報を抽出し、その内容を LCD 上に表示する。

不可視紫外線インクは、現状では紙幣や有価証券株等でわずかに利用されるのみで、価格は比較利用されているシアンでも通常のインクに比べて 10 倍程度と高価である。特にマゼンタ、イエローは需要が少ないためにさらに高価である。しかし、不可視 QR コードの印刷に必要なインク量は通常の印刷に比べてはるかに少なく、また、商用化による量産効果によるコストダウンも期待できるので、電子スクラップ化によるメリットを考えれば、コストアップは十分に吸収でき

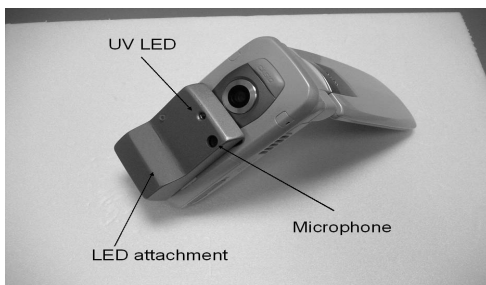


図 2 UV LED アタッチメント付き試作携帯電話機  
Fig. 2 Prototype cell phone with a UV LED attachment.

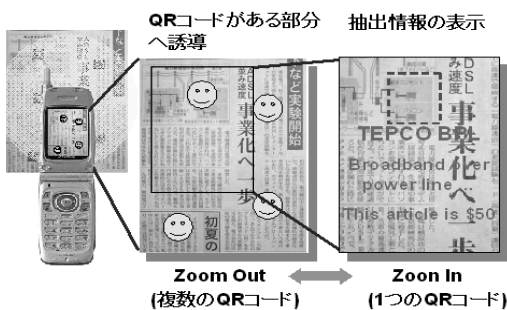


図 3 QR コードに誘導するユーザインタフェース  
Fig. 3 User interface to find the QR code.

る。紫外線 LED に関して、同様に量産効果によるコストダウンが期待できるが、不可視紫外線インクの特性次第では非常に安価な 400nm 程度のブラックライト LED の利用も可能と思われる。

一般にバーコードは白や単色で均一な背景に印刷されることを前提としているが、本システムでは、不可視インクを使うことで、バーコードを文字や写真に重畳して印刷でき、しかも美観を損ねないことを特徴としている。しかし、携帯電話の CPU の処理能力を考えると、画像処理技術を用いても、ランダムに配置された QR コードを文字や写真、イラスト等の背景から確実に、また実用的な速さで抽出することは簡単ではない。また、重畳される原画と発光時の不可視インクの色が同じような色の場合、QR コードの部分のみを切り分けるのはきわめて困難となる。そこで、本システムでは、後述する印刷支援システムと組み合わせることを前提としている。

### 3. 印刷

#### 3.1 QR コード

2次元バーコードのうち QR コードは、収納可能な情報量が多い、360 度どの方向からも読み取れ、汚れ、破損にも強い、抽出速度が速い、という特徴を持つ。表 1 に主な 2次元バーコードの特徴をまとめた<sup>8)</sup>。QR コードはデータを符号化したデータセルと読み取りを容易にするための機能セル(位置検出パターン、ライメントパターン、タイミングパターン)から構成される(図 4)。データセルには、最大 30%のバースト誤りの訂正が可能なりードソロンによる符号化が用いられるので汚損に強いが、機能セル、特に、3 隅に配置される位置検出パターンは、エラー訂正能力もなく汚損に弱いので、汚損を避けるように印刷することが望ましい。

#### 3.2 新聞、雑誌への印刷とその分類

不可視インクで印刷した QR コードの配置においては、従来と同様に QR コード専用の空白部分を確保す

表 1 2次元バーコードの種類と特徴  
Table 1 Classification of 2 dimensional bar codes.

	QRコード	PDF417	DataMatrix	Maxi Code
開発元(国)	デンソー ウェーブ(日)	Symbol社 (米)	CI Matrix社 (米)	UPS社(米)
方式	マトリックス	スタックド バーコード	マトリックス	マトリックス
データ量(英数字)	4,296	1,850	2,355	93
読み取り方向性	360度	10度	360度	360度
主な特徴	大容量 省スペース 高速読取	大容量	省スペース	高速読取
主な用途	全分野	OA	FA	物流

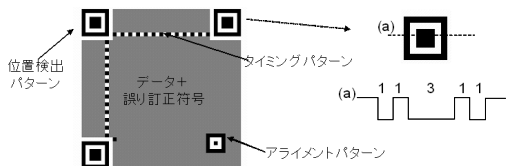


図 4 QR コードの構造  
Fig. 4 Structure of a QR code.

る場合と、背景上に重畳して QR コードを印刷する場合の 2 通りが考えられる。前者の場合、QR コードは不可視であるので見栄えには影響しないが、適用できるのは空白が確保できる場合に限られる。一方、後者の場合は、背景がなるべく均一な場所を探して QR コードを印刷する等の工夫が必要となるが、前者より印刷可能な領域が広がる。

雑誌の場合は、QR コード専用の空白部分を確保することは容易であると推測される。たとえば、見出しやイラスト構成の工夫で空白部分を作り QR コードを埋め込む、上下左右の余白を利用して QR コードを埋め込むこと等が考えられる。一方、全面が写真やイラストの場合は、空白部分を確保できないので背景の均一な部分を探して QR コードを埋め込むことが考えられる。

新聞の場合も、やはり、大見出しのある記事は構成を工夫して空白部分を作ることが可能であるが、紙面の大部分が文字や写真で構成され、確保できる空白も雑誌と比べると少ないので、積極的に文字や写真に重畳して印刷することが必要になる。

図 5 は、新聞の記事に対し、シアン色の不可視インク<sup>6)</sup>で図 6 の QR コードを 13 mm × 13 mm の大きさで印刷し、LED で波長 365 nm の紫外光を照射して、デジタルカメラで VGA モード (640 × 480 画素) で撮影した画像である。ただし、これらの画像は 4 章で解説を行う抽出時のフォーマットにあわせるため、QVGA (320 × 240 画素) の RGB565 フォーマットにダウンコンバートされている。これらの画像の (c)、(d) や、新聞の本文、株式欄、テレビ番組表に QR コードを重ねる場合、位置検出パターンを行間や背景が均一な部分に配置する等の工夫は可能であるが、基本的に空白は少ないので、信号処理によって元画像の影響を取り除く必要がある。しかし、なかには (b) の囲碁欄のように比較的空白を確保しやすく、印刷位置を調整しやすい場合もある。(a) の写真画像のような場合、背景が均一な部分を探し出して QR コードを配置することも考えられるが、一般的には写真の大きさが比較的小さく、均一な背景が少ないものが多く、不均一性

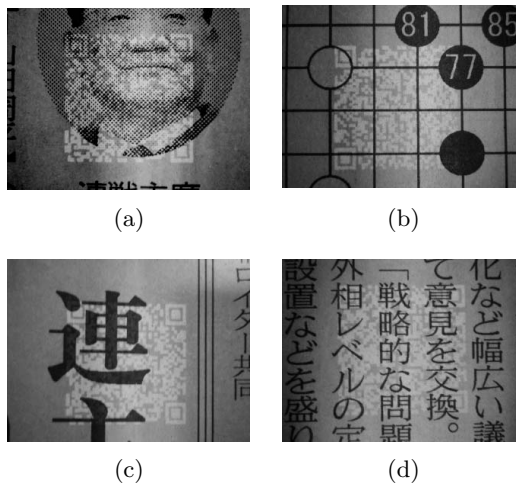


図 5 デジタルカメラによる不可視コード撮影画像：(a) 写真、(b) 囲碁、(c) 見出し、(d) 記事

Fig. 5 Invisible code photo image illuminated by a UV LED and taken by a digital camera: (a) picture, (b) "Go" game, (c) headline, (d) article.



画像サイズ : 41 x 41(6型)  
誤り訂正レベル : 30%  
内容 :  
上條浩一  
046215xxxx  
kamijoh@jp.ibm.com

図 6 使用 QR コード  
Fig. 6 Used QR code.

が避け難い場合も多い。

### 3.3 印刷支援システム

元メディアの背景画像とバーコードが重なった場合、そこからバーコードのみを抽出するような信号処理が必要になるが、携帯電話の場合、高度な画像処理技術を実装することは難しい。したがって、バーコードの抽出時の環境、抽出装置の特性、被印刷メディアの特性等をあらかじめ考慮に入れ、携帯電話に搭載する QR コード抽出アルゴリズムを DTP (Desktop Publishing) システムにも適用し、抽出結果のシミュレーションを行いながら、エディタが誌面上で指定する位置の周辺の最適な場所に QR コードをレイアウトし、確実に抽出できるように印刷を行う印刷支援システムが不可欠である。

本印刷支援システムの概要とシステムへの入出力情報を図 7 に示す。本印刷支援システムでは、抽出時の環境 (メディアの歪み、ノイズ等) を設定し、印字情報 (URL 等)、元メディア情報 (新聞、雑誌、郵便

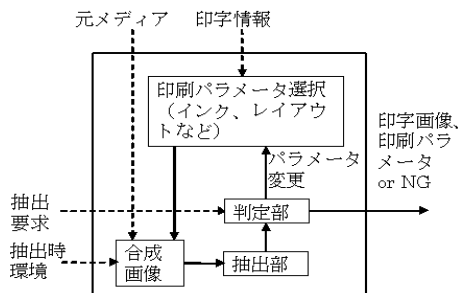


図 7 不可視コード印刷支援システム

Fig. 7 Invisible code printing support system.

物、広告看板、建築物、移動体（車、電車）等）を入力する。これらの入力と印刷パラメータ（印字のインクの色、印字場所、大きさ、角度、印字の個数、形等）の初期値に基づいて、合成画像を作成し、抽出部において抽出実験を行い、判定部において抽出要求（平均抽出率最大化、ある閾値以下のノイズに対して抽出できる、抽出時間等）を満たしているかどうかを判定する。抽出要求を満たすまで、印刷パラメータを更新し、同様の手続きを繰り返す。このような閉ループ探索の結果、抽出要求を満たす印刷パラメータが見つかった場合、印字画像とそれに対する最適なパラメータ（印刷位置、バーコードのサイズ、インクの色等）を出力する。抽出要求を満たす印刷パラメータが見つからなかった場合、その旨を出力し、終了する。

4. 抽出

3章で述べたとおり、不可視コードを文字や写真上に重畳して印刷することが避けられない場合、元画像の影響を極力減らし、QRコード部分を強調させる信号処理が必要となる。たとえば、図5の4つの画像の場合、元画像の黒いインクと不可視インクが重畳されているので、このままの画像から直接正しくQRコードのデータを抽出することはできない。

そこで、本抽出システムでは、撮影された1枚の画像から、QRコードのデータを抽出する方法を実装した。抽出方法として、画像のRGBチャンネル間の差分をとることがまず考えられるが、それだけでは原画の成分が多く残ってしまう場合が多い。図8は、図5(d)の画像をRGBにチャンネル分解したものと、RチャンネルとBチャンネルの差分をとったものであるが、この画像からも、単純なチャンネル成分の差分だけでは、原画の成分がかなり残ることが分かる。そこで、本実装では、単純なチャンネル間の差分ではなく、画像ごとにチャンネル間の画像の成分の相関、分布を調べることに、元画像の影響を極力減らし、不可視コードの成

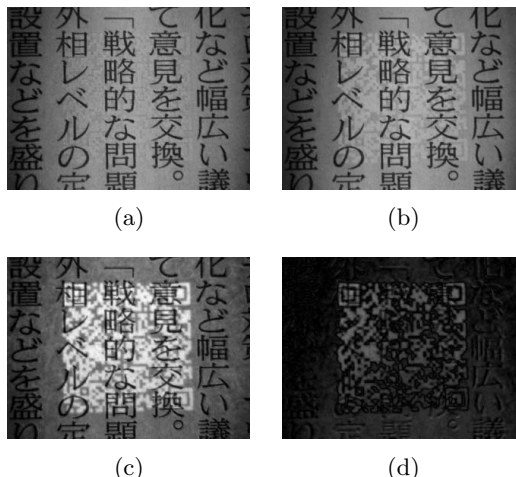


図 8 図 5 (d) における RGB チャンネル画像とその差分画像：(a) R チャンネル、(b) G チャンネル、(c) B チャンネル、(d) B チャンネルと R チャンネルの差の絶対値 ( $|B - R|$ )

Fig. 8 The RGB channel images and the difference between the R and B channels of the photo image from (d) in Fig. 5: (a) R channel, (b) G channel, (c) B channel, (d) absolute value of the difference between the B channel and the R channel ( $|B - R|$ ).

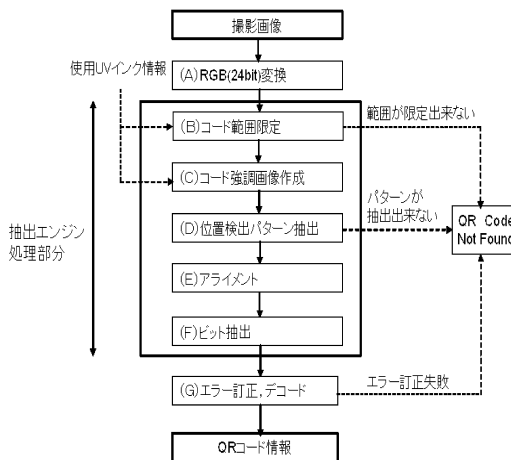


図 9 抽出システムにおける各ステップの流れ

Fig. 9 The steps of the processes of the extraction system.

分を強調することによって、コードの抽出を行う。また、抽出コードを携帯電話等 CPU 能力に制限があるデバイスに実装することも考慮に入れ、極力計算負荷が軽くなることも考慮する。

画像サイズは、QVGA の RGB565 の画像を対象に設計した。

図 9 は、本方式における、撮影画像から不可視コードデータの抽出までのフローを示したものである。本方式では、非圧縮の RGB 画像 (A) から、コードの

含まれるおおよその範囲を限定し (B), その範囲内で QR コードの画素値を強調した画像を作成し (C), その画像から位置検出パターンとその他のパターンを抽出する (D). さらに, それらのパターンを元に, コードを正方形にアライメントし (E), 各セルからビット情報を抽出し (F), エラー訂正を行い (G), コードを抽出する. 本論文においては, 本抽出システムに特有の (C) までのプロセスを詳しく議論し, QR コードの抽出技術である (D) 以降のプロセスは, 簡単な説明にとどめる. また, 以下において, 具体例として, シアンインクで印刷され, 365 nm の波長の UV LED を使い発光され, 撮影された, 図 5 (d) の画像 (以下, 参考画像) を使い説明を行う.

#### (A) RGB 変換

撮影画像としては JPEG 圧縮画像, パレット画像, RGB565 画像等がありうるが, それらの画像のデコード等を行い, 24bit (各チャンネル 8bit) の RGB 画像に変換する.

#### (B) コード範囲限定

通常 QR コードから情報を抽出する際, まず位置検出パターンを抽出する. 位置検出パターンは図 4 にあるように, 黒い部分と白い部分の長さの比が 1:1:3:1:1 であり, 画像が回転していてもこの比が保たれているため, 画像全体を縦, 横にスキャンして, このような比を持つ画像部分を見つけることにより, 高速に位置検出パターンを発見することができる. しかし, 今回のように, 位置検出パターン部分にも元のメディアの文字等が重畳している場合, 通常の方法で正しく位置検出パターンを発見することは難しい. そこで, 本抽出システムにおいては, まず, コードの存在するおおよその範囲を限定し, その範囲内で, QR コード部分の元メディアの影響を減らす操作を行った後に位置検出パターンを検索, 抽出する, という方法をとる.

画像の中から, ある特定の性質も持った対象物を抽出する方法は snake<sup>10)</sup>, seed growing<sup>11)</sup>, deformable model<sup>12)</sup> 等多数発表されているが, 本方式では, 抽出対象が比較的単純なことや, 計算負荷を極力軽減させる必要があることを考慮に入れ, 以下の方法で行う.

本抽出方式においては, 撮影画像から, まず, QR コードの印刷に使用されたインクの色を特定し, その後, その色の成分を多く含むチャンネルを選ぶ. ただし, 抽出システムは, 使用される可能性のあるインクの色情報をすべて記憶しているものとする.

今回の場合, シアン, またはイエローのインクを用いて印刷するものとし, その成分を多く含むチャンネルとして, 各々 B チャンネル, G チャンネルを使用すること

とする. マゼンタは, 今回の試作機で使用した LED と携帯電話のカメラの組合せにおいては, 発光強度が弱いため, 使用しないこととした. 以下においては, まず, 印刷時にシアンを使ったと仮定した場合を例に説明を行う.

撮影画像中の任意のピクセルの位置を  $(x_i, y_i)$  とする. ここで,  $i = 0, \dots, N - 1, N$  は画像のピクセル数, とする. そして, 異なるピクセル間の距離を  $\Delta d$  としたとき, 次式を満たすピクセルの集合  $\mathcal{V}(i)$  を定義する.

$$\mathcal{V}(i) = \{j \mid |x_i - x_j| \leq \Delta d \text{ and } |y_i - y_j| \leq \Delta d\} \quad (1)$$

ただし,  $\Delta d = 1$  は, 隣り合うピクセルの距離に等しいものとする.

$\mathcal{V}(i)$  は, 1 辺の長さが  $2\Delta d$  の小さな正方領域を表す. 次に, B チャンネルの画素値  $\{b_i\}$  を以下の式で  $\{b'_i\}$  に変換する.

$$b'_i = \max_{j \in \mathcal{V}(i)} b_j \quad (2)$$

この変換は, ピクセル  $i$  の B チャンネルの画素値を, 式 (1) で表される正方形内の B チャンネルの画素値の最大値で置き換える変換である. 図 10 (a) は,  $\Delta d = 10$  として, 参考画像の B チャンネルを式 (2) によって変換

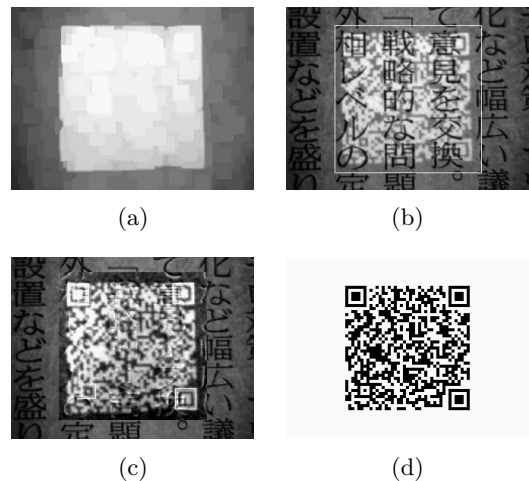


図 10 図 5 (d) の画像に対する画像処理結果: (a)  $b'$  画像 (式 (2) より導出), (b) コード範囲限定 (式 (5) より導出), (c) コード強調画像 (式 (9) により抽出) + 位置検出パターン, アライメントパターンの抽出, (d) 抽出 QR コード

Fig. 10 Processing result in each extraction step for the photo image from Fig. 5 (d). (a)  $b'$  image calculated by Eq. (2), (b) extracted code area calculated by Eq. (5), (c) emphasized code area calculated by Eq. (9), and Position Detection Patterns and an Alignment Pattern extracted, (d) extracted QR code.

した画像である。

次に、左上の頂点の座標を  $(x, y)$  とする 1 辺の長さ  $l$  の正方形を  $S_{x,y,l}$  を定義し、その  $S_{x,y,l}$  内の  $b'$  の画素値の平均値を  $D(x, y, l)$  とする。ただし、 $l = 1$  は、隣り合うピクセルの距離に等しいものとする。ここで、画像の中の QR コードをすべて囲む 1 辺の長さ  $l_0$  の正方形  $S_{x_0,y_0,l_0}$  を選ぶ。次に、正方形  $S_{x_0,y_0,l_0}$  の 1 辺の長さ  $l$  と位置  $(x, y)$  に式 (3) で表されるような摂動を与え、その摂動中で最大の  $D$  を与える  $\{x_k, y_k\}$  を選び、そのときの正方形を  $S_{x_k,y_k,l_k}$  とする。ただし、試行の回数を  $k(k = 0, 1, 2, \dots)$ 、1 回あたりの摂動を  $\Delta l$  とする。

$$\begin{cases} l_{k+1} = l_k - \Delta l, \\ x_k \leq x_{k+1} \leq x_k + \Delta l, \\ y_k \leq y_{k+1} \leq y_k + \Delta l \end{cases} \quad (3)$$

この操作の試行を繰り返し、正方形  $S_{x_k,y_k,l_k}$  を  $l_k \geq T_{lmin}$  の範囲内で狭めていき、式 (4) で計算される  $k_{max}$  を求める。

$$k_{max} = \underset{k}{\operatorname{argmax}}((D(x_{k+1}, y_{k+1}, l_{k+1}) - D(x_k, y_k, l_k))l_k). \quad (4)$$

ただし、 $T_{lmin}$  は正の定数である。この  $k_{max}$  回のときの正方形の 1 辺の長さを  $l_{k_{max}}$ 、正方形の左上の頂点の座標を  $(x_{k_{max}}, y_{k_{max}})$  としたとき、正方形  $S_{x',y',l'} (\triangleq S'_b)$  を以下のように定義する。

$$\begin{cases} x' = x_{k_{max}} + \Delta d - \epsilon, \\ y' = y_{k_{max}} + \Delta d - \epsilon, \\ l' = l_{k_{max}} - 2(\Delta d - \epsilon) \end{cases} \quad (5)$$

ただし、 $\epsilon$  は負でない定数である。以上の操作によって、正方形  $S'_b$  が QR コードの範囲として求められる。

以上、不可視インクにシアンを用いたと仮定した場合の説明を行ったが、次に、不可視インクにイエローを用いたと仮定し、式 (2) から式 (5) までの計算を G チャネルに関して行い、同様に  $S'_g$  を得る。次に、

$$\begin{aligned} b_{qr} &= D'_b(0) - D'_b(\Delta s), \\ g_{qr} &= D'_g(0) - D'_g(\Delta s), \end{aligned} \quad (6)$$

により、各々のインクを仮定した場合の QR コードの範囲と、その周囲の範囲における対応するチャネルの平均画素値の差分を計算し、 $b_{qr} \geq g_{qr}$  かつ  $b_{qr} > 0$  の場合はシアンインクを、 $g_{qr} > b_{qr}$  かつ  $g_{qr} > 0$  の場合はイエローインクを用いたものと判断し、それ以外の場合は、QR コードの範囲が限定できなかったとして、抽出作業を終了する。ただし、 $D'_b(x)$ 、 $D'_g(x)$  は各々  $S'_b$ 、 $S'_g$  から上下左右に各々  $x$  だけ外周を

む正方形（画像からはみ出る場合は、はみ出ない範囲の長方形）で囲まれる部分の  $b$  成分、 $g$  成分の画素値の平均値であり、 $\Delta s$  は、正の定数である。

図 10 (b) は、参考画像に対し、 $\epsilon = 10$  として、 $S'_b$  の範囲を正方形で囲ったものである。

以下、シアンインクを用いていると判断された場合について議論する。

(C) コード強調画像作成

(B) の操作でコードの範囲は限定されたが、その範囲内でも、原画の影響が残っているため、依然正しく位置検出パターンを抽出することは難しい。そこで、本システムでは、2 つのチャネル間の相関を利用し、原画の成分を減らして QR コードの成分を強調した画像を作成する。

まず、使用される UV LED、UV インクの特性から、QR コード成分を多く含むチャネル以外に、あまり含まないチャネルを選ぶ。ここでは、QR コード成分を多く含むチャネルとして B チャネルを、あまり含まれないチャネルとして R チャネルを使用する。ちなみに、(B) の操作でイエローインクが選ばれた場合は、QR コード成分を多く含むチャネルとして G チャネルを、あまり含まれないチャネルとして B チャネルを使用する。

参考画像では、B チャネルは、コードの印字されている部分（不可視インクで印字される部分、たとえば図 6 のコードの黒い部分）では相対的に大きい値を、されていない部分では小さい値を持つ。図 11 は参考画像の  $S'_b$  内の各ピクセルの R チャネルと B チャネルの画素値  $(r_i, b_i)$  をコード印字部分とそうでない部分で分けてプロットしたものである。図 11 においては、元画像が RGB565 のため R、B の成分は 8 の倍数しかとらないが、各  $(r_i, b_i)$  の頻度に応じてプロットの太さを変えている。この図から、 $r$ - $b$  空間で、印

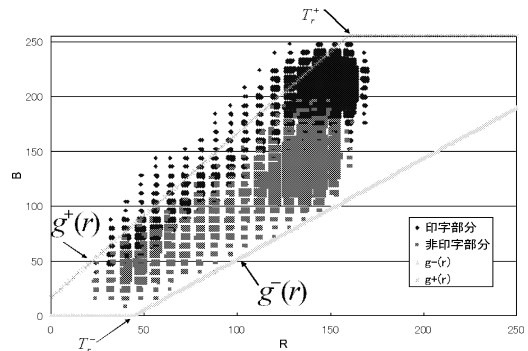


図 11 参考画像の  $S'_b$  内の  $r$ - $b$  チャネル空間の画素値の分布  
Fig. 11 Distribution of the pixel values of the reference image in the area of  $S'_b$  in the  $r$ - $b$  channel space.

字部分とそうでない部分が分離されていることが分かる．この図は、我々が不可視インクでの印字部分と非印字部分を知った状態で得たグラフであるが、実際にはそれを知らない状態で、QR コードを抽出する必要がある．

本抽出システムでは、この  $r$ - $b$  空間の分布の特性を利用して B チャンネルの画素値を変換し、QR コード部分の成分が強調された、新たに定義された U チャンネルの画像を作成する．具体的には、 $r$  の値に対する  $b$  の値を、 $r$ - $b$  空間の分布の分散（標準偏差）に応じて正規化する．

まず、各  $r$  に対する画素数 ( $n(r)$ )、 $b$  の値の平均値 ( $\mu_b(r)$ )、標準偏差 ( $\sigma_b(r)$ ) を計算し、

$$\begin{aligned} \mu_b^+(r) &= \mu_b(r) + \alpha\sigma_b(r), \\ \mu_b^-(r) &= \mu_b(r) - \alpha\sigma_b(r), \end{aligned} \quad (7)$$

を計算する．ただし、 $\alpha$  は正の定数である．さらに、 $T_r^+$  を  $\mu_b^+(r) \geq 255$  を満たす最小の  $r$  とし、 $0 \leq r \leq T_r^+$  の範囲内で、 $(r, \mu_b^+(r))$  を結ぶ直線  $f^+(r)$  を最小二乗法を用いて得る．上記を満たす  $T_r^+$  が存在しない場合、 $T_r^+ = 255$  とする．ここで、各  $(r, \mu_b^+(r))$  は  $n(r)$  で重み付けする．また同様に、 $T_r^-$  を  $\mu_b^-(r) \leq 0$  を満たす最大の  $r$  とし、 $T_r^- \leq r \leq 255$  の範囲内で、 $(r, \mu_b^-(r))$  を結ぶ直線  $f^-(r)$  を最小二乗法を用いて得る．上記を満たす  $T_r^-$  が存在しない場合、 $T_r^- = 0$  とする．ここでも、各  $(r, \mu_b^-(r))$  は  $n(r)$  で重み付けをする．さらに、

$$\begin{aligned} g^+(r) &= \min(f^+(r), 255), \\ g^-(r) &= \max(f^-(r), 0), \end{aligned} \quad (8)$$

で計算される  $g^+(r)$ 、 $g^-(r)$  を使い、以下の式で  $\{b_i\}$  を  $\{u_i\}$  (U チャンネル) に変換する．

$$u_i = \min\left(\max\left(\frac{255(b_i - g^-(r_i))}{g^+(r_i) - g^-(r_i)}, 0\right), 255\right). \quad (9)$$

図 12 は、参考画像を式 (9) で変換した後の  $S'_b$  内の  $r$ - $u$  空間の画素値の分布であり、図 10(c) は U チャンネルの画像である．ただし、この画像においては、 $S'_b$  内のみを式 (9) で変換している．

(D) 位置検出パターン抽出

次に、コード強調画像から 3 隅の位置検出パターンとその他のパターンを抽出する．本項では、主に位置検出パターンの検出方法を議論する．位置検出パターンは図 4 にあるように、黒部分と白部分が 1 : 1 : 3 : 1 : 1 の長さの比を持っており、かつ、回転していてもこの比が保たれるため、単色のメディアに印字されている場合には高速に抽出が行えるという特徴がある．しかし、本システムのように、コードと文字が重なり合ったような場合では、画素値の長さの比が誤検出され、

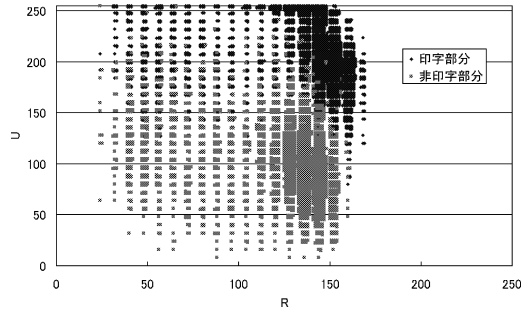


図 12 式 (9) で変換後の参考画像  $r$ - $u$  チャンネル空間の画素値の分布

Fig. 12 Distribution of the pixel values of the reference image in the area of  $S'_b$  in the  $r$ - $u$  channel space, after converted by Eq. (9).

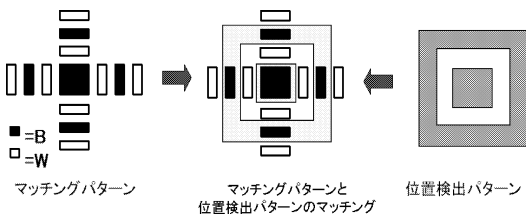


図 13 位置検出パターン検索用マッチングパターン

Fig. 13 Matching pattern for Position Detection Pattern.

正しく位置検出パターンを抽出できない場合が多い．しかし、本システムの場合、QR コードの範囲を  $S'_b$  として抽出できているので、 $S'_b$  を左上、右上、左下、右下の 4 つの領域に分け、各々のエリアで図 13 の左の形をしたパターンとのパターンマッチングを行う．このパターンは、QR コードが傾いている場合の耐性を持つだけでなく、位置検出パターンの白い部分と黒い部分の境界線におけるノイズの影響も軽減できる．また、マッチングを行う領域が限定されているため、計算負荷も抑えることが可能となる．

この方法で、各領域から位置検出パターンを抽出し、マッチングパターンと大きく反応した上位 3 力所を位置検出パターンとし、残りの領域からアライメントパターンを抽出する．アライメントパターンは、位置検出パターンが見つかった領域以外の領域に必ず 1 つは存在するが、QR コードの情報量に応じて複数存在することもありうる<sup>1),2),7)</sup>．3 つの位置検出パターンが見つからない場合、または、見つかった場合でも残りの領域からアライメントパターンが見つからない場合は、QR コードが抽出できなかったとして、抽出作業を終了する．

図 10(c) では、上記方法で参考画像からこれらパターンを抽出し、その部分を囲んでいる．



### (E) アライメント

次に、見つかった3つの位置検出パターンとそれらの重心と、アライメントパターンの重心を用いて、QRコードの画像を正方形に補正する。また、位置検出パターンの大きさとそれらの距離から、1辺のセルの数も求める(図6の場合、41)。これらのさらなる具体的方法に関しては、QRコードの規格に準拠した議論であるため、他著に譲ることとする<sup>7)</sup>。

### (F) ビット判定

次に、アライメントを行った画像から、各セルのビットを判定する。ビット判定においては、各セル内のUチャンネルにおけるピクセル値の平均値が、 $S'_b$ 内のピクセル値のそれに比べて大きい小さいかで判断し、大きい場合ビット値1、小さい場合ビット値0とする。この場合、 $S'_b$ 内のピクセル値の平均値の代わりに、そのセルを含む $S'_b$ よりも狭い範囲の領域のピクセル値の平均値を用いることにより、画像における明るさのムラの影響を減らすことができる。

### (G) エラー訂正、デコード

(F)で求めたビット情報に対し、エラー訂正を行い、情報をデコードする。エラー訂正が正しく行われた場合、その情報を出力する。エラー訂正が失敗した場合は、QRコードが見つからなかったとして出力する。この部分のさらなる詳細に関してはQRコードの規格に準拠した議論であるため、他著に譲ることとする<sup>7)</sup>。

## 5. 実験

電子スクラップシステムの実用性、有用性を確認するため、前章で述べた抽出システムを携帯電話に実装し、実験を行った。

2章で述べたとおり、携帯電話はau W21CAIIを用い、LEDアタッチメントを電話機の背面にとり付け(図2)、BREWでコーディングした抽出プログラムを本体に実装した。本試作機においては、シャッタを押すことにより撮られたQVGA RGB565の画像が抽出プログラムに渡され、QRコード情報が抽出された場合は、その内容を携帯電話の画面にテロップとして流すと同時に、QRコード自体の画像も、左上に表示する(図14)。抽出できなかった場合は、抽出のどのステップで失敗したかのログを携帯電話の中のメモリに残す。

実験においては、QRコードを不可視インクを用いて新聞や印刷物上に印刷し、それを上記携帯電話で撮影した。図15に実験システムの概要を示す。実験には図6のQRコードを13mm×13mmの大きさで、Canon PIXUS 6100iプリンタを用いて印刷した。その際、シ



図14 QRコード情報抽出成功画面

Fig. 14 Successful information extraction from an invisible QR code.

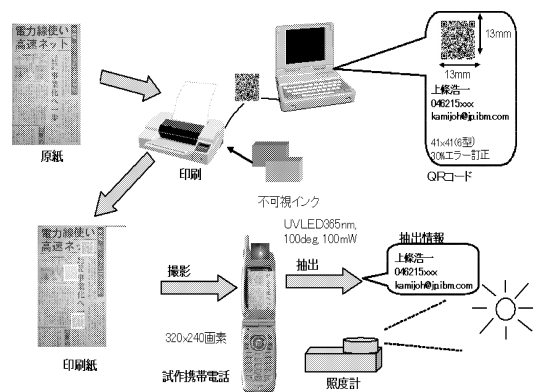


図15 実験システム概要

Fig. 15 Experimental system overview.

アン用とイエロー用のカートリッジを、不可視インクのタンク<sup>6)</sup>と入れ替え、QRコードを印刷した。写真は18cmの高さからクローズインモードでとり、UV LEDはLEDアタッチメントとスイッチをケーブルでつなぎ、マニュアルでON/OFFを行った。前章のパラメータとしては、 $\Delta d = \epsilon = \Delta s = 10$ ,  $\Delta l = 1$ ,  $T_{min} = 20$ ,  $\alpha = \sqrt{3}$ を用いた。実験は、“新聞紙に印刷時の抽出”、“環境光に対する耐性”、“カラー画像に印刷時の抽出”の3通りを行った。以下にその詳細を、表2に実験結果を示す。この表で、不可視インクの色欄のCはシアンを、Yはイエローを意味し、OKは正しく抽出できたことを、括弧つきアルファベットは、エラーの起きたステップ(図9参照)を示す。また、抽出の行われた場所でデジタル照度計(MINOLTA T-1H)を用いて測定した、環境光の照度(lx)も記した。実験1-新聞紙に印刷時の耐性:新聞の記事から9種類を選び、QRコードの印刷と抽出を行った。図16の画像1.から画像9.は、その際の撮影画像である。不可視インクの色は画像6., 7.はイエローで、その

表 2 実験結果  
Table 2 Experimental result.

実験 1 - 新聞紙に印刷時の抽出

画像	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
不可視インクの色	C	C	C	C	C	Y	Y	C	C
560 lx (オフィス)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	(D)	(G)

実験 2 - 環境光に対する耐性

画像		1.	2.	6.
不可視インクの色		C	C	Y
照 度	560 lx (オフィス)	OK	OK	OK
	1970 lx (オフィス)	OK	OK	OK
	2550 lx (オフィス)	(D)	(G)	(G)
	14000 lx (屋外)	(B)	(D)	(B)

実験 3 - カラー画像に印刷時の抽出 (照度 560 lx)

原画		文字		ベタ	
不可視インクの色		C	Y	C	Y
原 画 の 色	赤	OK	OK	OK	OK
	緑	OK	OK	OK	OK
	青	OK	OK	OK	OK
	シアン	OK	OK	(G)	OK
	イエロー	OK	OK	OK	(G)

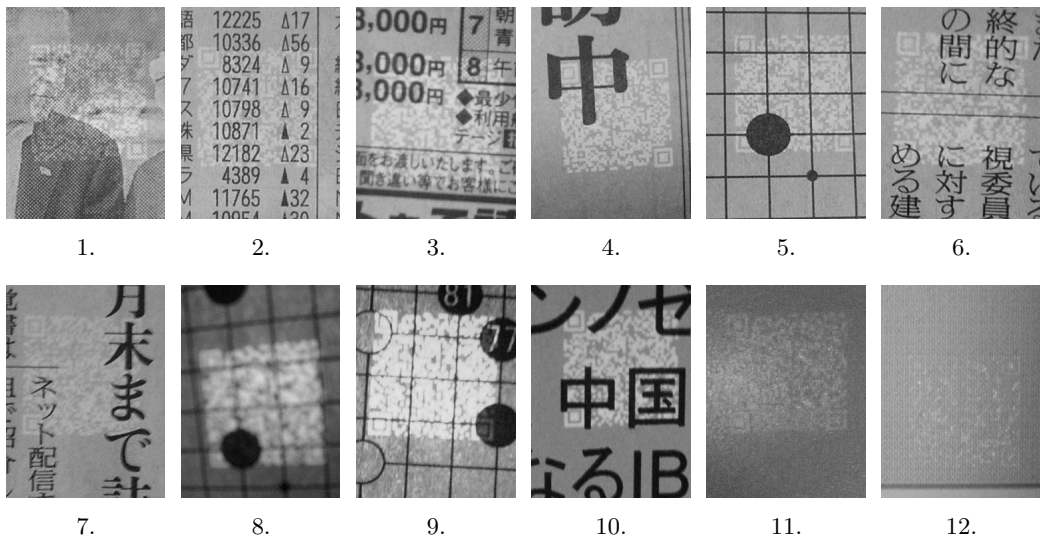


図 16 実験用撮影画像  
Fig. 16 Images used for the experiment.

他をシアンで行った。この中で、画像 8. に関してはフォーカスをぼかして撮影を行い、画像 9. に関しては、意図的に UV LED の強度を他の 8 つより強くして撮影した。その結果、画像 1. から画像 7. に関しては正しく情報が抽出ができたが、画像 8. はステップ (D) で、画像 9. はステップ (G) で抽出プログラムがエラーとなった。この実験は、窓から太陽光が入りにくいオフィス (照度 560 lx) で行われた。

実験 2 - 環境光に対する耐性：図 16 の画像 1., 2., 6. を用い、実験 1 以外に、オフィス内の様々な照度の条件下と屋外 (昼間) で抽出実験を行った。オフィス内においては、デスク用蛍光灯を上下し、新聞との距離を変化させることにより照度の調節を行った。その結果、1970 lx 以下の場合には、すべて正しく抽出できるが、2550 lx 以上の場合には、(B), (D), または (G) でエラーとなることを確認した。ISO<sup>13)</sup> では、オフィ

スにおける推奨照度を 300 lx から 1000 lx としているが、その範囲内では正しく動作したことになる。実験 3 - カラー画像に印刷時の抽出：原画とインクの色が違う場合、同じ場合の各々の場合の耐性を実験するため、表 2 に記した 5 色の各色で文字を印刷したものと、各色でベタで印刷したものを各々用意し、その上に、各々シアン、イエローで不可視 QR コードを印刷し、オフィス (560 lx) で抽出を行った。その際、シアン、イエローに関しては、できるだけ不可視インクの発光色と同じになるようにするために、原画の色と発光色が区別しにくい色を選んだ。実験の結果、文字に関しては、原画とインクの色が違う場合、同じ場合のすべての場合について、正しく抽出できることを確認したが、ベタに関しては、原画とインクの色が違う場合はすべて正しく抽出できたが、同じ場合は、シアン、イエローのいずれも (G) でエラーになった。図 16 の画像 10. は原画の文字を青、インクをシアンで、画像 11. は原画のベタを赤、インクをシアンで、画像 12. はベタ、インクともにイエローで印刷した画像である。

今回の実験より、撮影場所が 1970 lx 以下の場合、ピント等の条件が整っていれば、原画の色と発光時のインクの色がベタで一致しない限り、本試作機で撮影した画像から QR コードの情報が正しく抽出できることを確認した。

これらの実験における処理時間を測定したところ、写真が抽出プログラムに渡されてから、QR コード情報を抽出するまで (図 9 の (A) から (G) まで) の平均時間は、抽出成功時、失敗時ともに、PC (ThinkPad X31, Pentium 1.4 GHz, Microsoft Windows XP SP1, release mode) で行った場合約 0.1 秒であったのに対し、今回の試作機では約 3.5 秒であった。

## 6. 議 論

本システムは、不可視の状態では情報を埋め込むことにより、紙媒体等アナログメディアとデジタルの世界との融合を図るものであるが、類似技術としては、RF タグ<sup>14)</sup>、電子透かし、カラーマーカ等色差を使ったビジュアルマーカ<sup>15)</sup>、秘映プロジェクト<sup>16)</sup>、等がある。

RF タグは、商品等にタグを貼り、それをリーダで読むことにより、商品管理等を行うものであるが、タグは印刷できず、かつタグ自体とそのリーダのコストもかかり、新聞への適応は難しい。電子透かしは、すでに存在する記事や写真に対して、それらを人間の目には分からない範囲で変化させて情報を埋め込む方法であり、新聞等の文字、画像に電子透かしを用いて

情報を埋め込む方法が考えられるが、埋め込み可能な情報量が少なく、一般的には 256 × 256 画素の画像で 150 bit 程度の埋め込みが上限とされているため<sup>17)</sup>、URL 等を埋め込むのは難しい。新聞で扱うような網点画像や文字に対しては埋め込み情報量、ノイズ等に対する耐性はさらに厳しくなる。カラーマーカ等色差マーカを使い、情報を埋め込む方法も提案されており、デザインを選べるため人間の目になじみやすく、埋め込み情報量が大きい、という特徴を持つが、可視で QR コードを印刷する場合同様、スペースをとってしまい、レイアウトの変更が必要となる可能性が高い、という問題がある。また、複数のカラーを使用する必要があるため、新聞等白黒のメディアに適応する場合には、基本的に 1 色の追加でよい電子スクラップシステムと比べて、印刷装置のコスト増の問題があるだけでなく、カラーが逆にユーザに違和感を与える可能性もある。また、マーカの代わりにダミーの画像を追加し、そこに画像特徴量等を用いて情報を埋め込む方法も考えられるが、結局スペースをとるだけでなく、埋め込み情報量や耐性に関し、電子透かしと同様の問題が生じる。秘映プロジェクトは、プロジェクトにプレゼンテーション用のチャートを投影する際に、加えて赤外線が付加情報等を QR コードで投影し、その付加情報をカメラで撮影してその情報を得る、というものであるが、情報の発信源がプロジェクションする機器である点が、電子スクラップシステムとは異なる。

これら類似技術以外の方法として、たとえば新聞で可視の QR コードを各見出しの下に並べておく、という方法も考えられるが、やはりスペースの問題がある。ある日の 3 社の朝刊の見出しの下 (横書き見出しやテレビ欄の場合右) に印刷できる正方形のサイズの平均値を調べたところ、その 1 辺の長さは、1 面の場合 10.5 mm、社会面では 8.7 mm、テレビ欄では 0.4 mm であり、1 セルの長さが 0.3 mm の 7% のエラー訂正可能な QR コードを、上下左右に各々 4 セル分の空白を持たせて置くとすると、1 面、社会欄に対しては、各々 32 byte、17 byte の情報を埋め込むことが可能であり、簡単な URL 程度であれば入れることも可能であるが、長い URL や、URL 以外の記事の詳細等を直接入れることは難しいことが分かった。また、この方法の場合、記事の文章単位に情報のリンクをつけることはできない。

本システムは、QR コードが不可視な状態で印刷されているため、これらの問題を克服でき、大容量の情報を美観をそこなわずに埋めこめるという特徴があった。しかし、不可視であるがゆえ、いかにして QR コー

ドのある場所に誘導するかが問題となる。

図3のユーザインタフェースは、あらかじめ不可視QRコードがそこにあることが分かっている場合は有効であるが、記事が何ページにもわたり長い場合等、そのページに不可視QRコード自体があるかないかが分からない場合、ページをめくるたびにライトを当てる必要が生じる可能性がある。それを避け、少ない負荷でユーザを不可視QRコードに誘導する方法としては、たとえば、新聞や雑誌の場合、本不可視マークがあるページの右上等に“このページには不可視マークがありません”との文字、もしくは簡単なマークを可視の状態では印刷しておき、実際の記事や写真の右上、左上、右下または左下周辺部分等に本システムの不可視マークを印刷する、という方法が考えられる。ほかには、不可視マークがある部分の記事のフォントや文字の太さを変えたり、下線を引いたり、その部分に小さい可視マークをつけておいたりする方法も考えられる。このように、可視と不可視をうまく使うことにより、従来の可視マークのみを使った場合に比べ、外見上の変更をほとんどせずに、多くの情報を埋め込むことが可能となる。また、電子スクラップシステムは、関連情報を必要としない人にとって邪魔にならない点も大きな特徴の1つといえる。

本システムにおいては、コピー機等でコピーを作ると不可視コードが消えてしまうが、本システムの応用範囲として、新聞、雑誌等比較的ユーザが短期間しか保持せず、コピーを作る頻度が低いメディアに対する応用が広く考えられるため、実用性にはさほど影響しないと考えられる。逆に、コピーするとコードが消えるという特徴を積極的に使い、紙にコピーコントロール情報を印刷し、それをコピー機等で読み取り、コピーコントロールを行う、等紙媒体の不正コピー防止等の応用範囲も考えられると思われる。

現在、Web上の文字や絵をクリックすると、その関連サイトにジャンプすることがあたりまえになってきているが、将来的にこの電子スクラップシステムが普及すれば、アナログメディアに対して携帯電話を近づけて写真をとるだけで、その関連情報を得られるのがあたりまえになる可能性もある。

## 7. 応 用

電子スクラップシステムは、情報量の多いQRコードの情報を携帯電話等のデバイス内で処理するため、通信状態がオンラインのときはもとより、オフラインの場合でも利用でき、たとえば、コードの情報をその場で即時に液晶ディスプレイに表示する、という利用

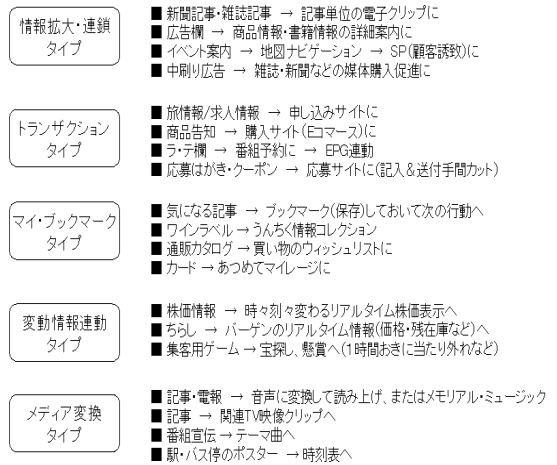


図 17 タイプ別応用例

Fig. 17 Application examples sorted by type.

方法も可能である。コードの情報を関連サイトのサーバに接続し、利用する場合においても、デバイスがオフラインであれば、マーキングだけしておいて、後にオンラインになったときに情報を取りに行く、ということが可能である。

不可視インクを使ったQRコードは、従来のQRコードを利用した応用例に加えて、印刷物の見栄えを気にする必要がないため、あらゆる印刷物を対象とした様々な応用が考えられる。新聞を例にとると、記事単位の電子スクラップからの関連情報へのリンク、市況や天気等の変動情報の定期的取得、ラジオ・テレビ欄からの番組予約や、商品告知欄からのeコマース・サイトへの誘導や、地図、ナビサイトへのリンク等がある。

図17にタイプ別に応用例を示す。通常の情報へのクリッピングやURLへの誘導のような情報の拡大・連鎖タイプに加えて、携帯電話に内蔵する情報と組み合わせ、従来のように煩雑な入力をせずに申込みサイトや購入サイトへの登録を行うようなトランザクションタイプ、気になる情報をひたすらオフラインで集めるようなブックマークタイプ、株価や事件等刻々と変化する情報を定期的に取得するような変動情報連動タイプ、また、情報を単に画面に表示するだけでなく、音声や他の言語に変換するようなメディア変換タイプ等いろいろなタイプのサービスの提供が可能となる。基本的には従来の可視のQRコードのできるものであるが、あらゆる場所に印刷ができるため、その用途ははるかに多い。また、携帯電話にその機器の環境情報、たとえば温度や湿度、明るさや、位置情報等の付加情報を一緒に利用することで、従来にない新たな

サービスの展開も可能となる。たとえば新聞の広告画面のビールの上に印刷された不可視 QR コードをクリックすると、蒸し暑い環境では、涼しげな酒の肴を表示し、また寒い環境では、暖かな食べ物を表示する。また、位置情報からその地域特有の食べ物を表示してもよい。このように同じ QR コードでもその環境の違いによりきめ細かな情報やサービスの提供も可能となる。電子スクラップ技術は携帯電話のほかにも、最近の無線 LAN 通信機能を搭載したゲーム機<sup>18),19)</sup> 等にも応用が可能で、赤外線フィルタを搭載したカメラと、赤外線を当てて赤外光を発光・吸収するインクと組み合わせることで、表示装置上でのみ不可視情報を見ることができる新たなユーザインタフェースも可能となる。ゲームで使われるアイテムを印刷物上に隠して提供するような書籍やカードと組み合わせた新たなゲームの提供方法も可能となる。

## 8. おわりに

本論文では、不可視バーコード情報を紙媒体に印刷することにより紙媒体とデジタルの世界を結びつける電子スクラップシステムについて応用例を交えて紹介し、実際に不可視コードを印刷し、LED ライトで撮影した画像例やコードの抽出例を紹介した。本システムが普及すれば、今までインターネット等のデジタルの世界との接点が少なかった新聞、雑誌等に対して、我々の予測を超えたビジネスモデルが展開していくことも考えられる。今後の課題としては、様々な印刷物に対する様々な条件下（環境光、紙質、カメラの性能等）におけるコードの抽出率、抽出速度の向上やそのための LED、不可視インクの選択、撮影時のユーザビリティの向上等があげられる。

なお、本文中、

“Pentium” は、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標。

“ThinkPad” は、Lenovo Corporation の商標。

“Windows XP” は、Microsoft Corporation の米国およびその他の国における商標。

他の会社名、製品名およびサービス名等は、それぞれ各社の商標または登録商標。

謝辞 本論文の実験、実装において、株式会社コネクテクトテクノロジーの松永氏、高橋氏、蔵本氏に多大なるご協力をいただいたことに、つつしんで感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 平本純也：知っておきたいバーコード・二次元バーコードの知識，日本工業出版（1991）。
- 2) 柴田 彰ほか：これでわかった 2 次元シンボル，オーム社（2004）。
- 3) 松井甲子雄：電子すかしの基礎，森北出版（1998）。
- 4) Cox, I.J., et al.: Digital Watermarking, Prentice Hall (2001).
- 5) 日経エレクトロニクス：手のひらに載せた「眼」で印刷物に潜む情報をつかむ（2004）。
- 6) Special Effect Supply Co.: UV-SUKIT1.  
[http://www.fxsupply.com/uv\\_ink/uv\\_ink.html](http://www.fxsupply.com/uv_ink/uv_ink.html)
- 7) ISO/IEC 18004:2000: *Information technology—Automatic identification and data capture techniques—Bar code symbology—QR Code* (2000).
- 8) QR コードドットコム。  
<http://www.qrcode.com/>
- 9) 日亜化学工業。<http://www.nichia.co.jp/specification/jp/powerled/NCCU033.pdf>
- 10) Yezzi, A., Kichenassamy, S., Kumar, A., Olver, P. and Tannenbaum, A.: A geometric snake model for segmentation of medical imagery, *IEEE Trans. Med. Imaging*, Vol.16, No.2, pp.199–209 (1997).
- 11) Adams, R. and Bischof, L.: Seeded region growing, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, Vol.16, No.6, pp.641–648 (1994).
- 12) Chen, E.L., Chung, P.C., Chen, C.L., Tsai, H.M. and Chang, C.I.: An automatic diagnostic system for CT liver image classification, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, Vol.45, No.6, pp.783–794 (1998).
- 13) ISO 8995: Principles of visual ergonomics — The lighting of indoor work systems (1989).
- 14) Watt, R., et al.: Bridging physical and virtual worlds with electronic tags, *Proc. CHI'99*, pp.370–377 (1999).
- 15) カラージップ。<http://www.colorzip.co.jp/>
- 16) 白井良成，松下光範，大黒 毅：秘映プロジェクト：不可視情報による実環境の拡張，*WISS2003*, pp.115–122 (2003)。
- 17) コンテンツ ID フォーラム：cIDf specification 2.0 (2003)。
- 18) 任天堂：ニンテンドー DS。  
<http://www.nintendo.co.jp/ds/>
- 19) ソニー：ソニー PSP。  
<http://www.playstation.jp/psp/index.html>

(平成 17 年 12 月 2 日受付)

(平成 18 年 5 月 9 日採録)



上條 浩一（正会員）

1985年東京大学工学部電子工学科卒業。同年日本アイ・ピー・エム株式会社大和研究所入社。1996年コーネル大学コンピュータサイエンス学科修士課程修了。1997年より東京基礎研究所にて、主に、電子透かし、著作権保護管理、画像処理の研究に従事。電子情報通信学会会員。



上條 昇（正会員）

1982年慶應義塾大学工学部機械工学科卒業。日本アイ・ピー・エム株式会社東京基礎研究所主管研究員。主に省電力化技術、次世代モバイルシステムの研究に従事。IEEE会員。



阪本 正治（正会員）

1987年電気通信大学電気通信学部通信工学科卒業。1989年電気通信大学電気通信学研究科通信工学専攻修了。日本アイ・ピー・エム株式会社東京基礎研究所主任研究員。2000年東京大学大学院数理科学研究科数理科学専攻博士課程修了。主に音声信号処理、著作権保護技術、並列計算アプリケーションの研究に従事。電子情報通信学会、日本音響学会各会員。

