論　文

Be-code: ロゴ画像への情報埋め込みとそのデザイン評価

山田　一葉[†]　山下　泰奈[††]　丸山　哲平[†]　豊浦　正広[†††]
茅　暁陽[†††]　高津　聡[††††]　菅原　千尋[††††]

Be-code: Information Embedding for Logo Images and Evaluation of Its Design

Kazuha YAMADA[†], Yasuna YAMASHITA[††], Teppei MARUYAMA[†], Masahiro TOYOURA[†††], Xiaoyang MAO[†††], Satoshi TAKATSU[††††], and Chihiro SUGAWARA[††††]

あらまし　携帯端末に URL などの情報を入力するために，QR コードに代表される二次元画像コードが利用されている．従来の二次元画像コードは画像自体に意味を持たないことが多く，コードを商品に貼りつけることでデザイン性を損ねることがあった．本研究では，ロゴなどの二値画像を生かした二次元コードである Be-code(Binary-emblem code) を提案する．Be-code は，ロゴのエッジ部分に画素レベルの変更を加えることで，ロゴの見た目を保ったまま情報を埋め込むことができる．情報読み込みはカメラの観測画像から行うことができ，原画像の参照も必要としない．実験では，携帯端末を用いて Be-code の読み取り精度の検証を行い，高い精度で読み取りができることを確認した．

キーワード　二次元画像コード，情報埋め込み，可変得点，平面射影変換，適応的二値化

1. はじめに

携帯端末に URL などの情報を入力するために，二次元画像コードが広く一般に利用されている．QR コード(注1)はその代表例である．従来の二次元画像コードでは，画像自体に意味を持たないことが多く，コードを商品に貼りつけることで美観を損ねることがあった．

我々はこれまでに，ロゴなどの単純なグレースケール画像から二次元画像コードを生成する手法の基本原理を提案した [1]．このコードを Be-code(Binary-emblem code) と呼んだ．本研究ではさらに，埋め込める容量を増加させる手法を提案し，主観評価実験によって提案する Be-code 生成手法の有効性を検証する．Be-code は，ロゴのエッジ部分の画素の値を変更することで，ロゴの見た目を保ったまま情報を埋め込むことができる．従来の二次元画像コードと同様，カメラによる観測によって情報の読み込みを行う．原画像からの差分を調べる方式ではないので，原画像の参照も必要としない．

本来，QR コードは自動車部品の生産現場や商品管理を目的として作られているため，デザイン性に関する考慮はなされていなかった．むしろ，複雑な照明環境下でいかに頑健に抽出することができるか，また，小さな面積にいかに多くの情報を埋め込めるか，低解像度のカメラによってもいかに正しく読み取ることができるかなどに開発の主眼が置かれていた．QR コードは，その有用性から携帯端末への情報入力に広く用いられるようになったものの，そのデザインについてはあまり検討されてこなかった．近年では，携帯端末に搭載されるカメラでも，高解像度化・高性能化が進み，より複雑な画像コードでも読み取れるようになった．Be-code は，従来の二次元画像コードが目指してきた読み取りの頑健性は確保しつつも，画像自体のデザイン性も保持することを考慮した設計となっている．

以降，2. では関連研究について紹介し，本研究との

† 山梨大学大学院 医学工学総合教育部，山梨県
Interdisciplinary Graduate School of Medical and Engineering, University of Yamanashi, Takeda 4–3–11, Kofu, Yamanashi, 400–8511 Japan
†† 山梨大学工学部，山梨県
Department of Engineering, University of Yamanashi, Takeda 4–3–11, Kofu, Yamanashi, 400–8511 Japan
††† 山梨大学大学院 医学工学総合研究部，山梨県
Interdisciplinary Graduate School of Medical and Engineering, University of Yamanashi, Takeda 4–3–11, Kofu, Yamanashi, 400–8511 Japan
†††† 株式会社クレスコ，東京都
CRESCO Co., Ltd., 2–15–1, Konan, Minato-ku, Tokyo 108–6026, Japan

(注1)：QR コードは (株) デンソーの登録商標である．

表 1　画像コードの比較
Table 1　Comparison of planar image codes

	バーコード	QR コード	デザイン QR, QR-JAM [3]	カラーコード [4]	Microsoft Tag***	FPcode [2]	三宅らのコード [5]	Be-code
情報量	小	大	大	中	中	小	小	小
サーバアクセス	無	無	無	有	無	有	無	無
デザイン性	無	無	小	小	小	有	有	有
カラー印刷	不要	不要	不要	必要	必要	必要	必要	不要
原画像の変化	(原画像なし)	(原画像なし)	大	原画像がある場合には大	原画像がある場合には大	小	中	小
情報表現方法	明暗のタイミング	マトリクス上の明暗	マトリクス上の明暗	マトリクス上 4 色	マトリクス上の 4 色	黄色成分の変化	輪郭線の色変化	形状の微小変化

関係について説明する．3. では，Be-code の情報埋め込みと情報読み取りの実現方法について述べる．4. では，携帯端末を用いた読み取り精度の検証と主観評価による見た目の評価の実験を行い，その結果について考察する．5. では，本研究をまとめ，今後の課題について述べる．

2. 関 連 研 究

表 1 に従来の画像コードと提案する Be-code との比較を示す．以下にそれぞれのコードの特徴について，順に説明する．

1 次元画像コードとしては，商品管理などのためにバーコードが広く使われている．バーコードは白黒の切り替わりによって情報を表現する．縦に長いバーを並べることで，傾いて観測したときにも情報読み取りが行えるように設計されている．読み取りの処理は照明環境の変化に頑健で，必要とされる計算量も少ない．一方で，埋め込める情報量が少ないという問題がある．

2 次元画像コードの代表格は QR コードである．QR コードは，埋め込める情報量が少ないというバーコードの問題を解決した．QR コードは，マトリクス上の明暗のパターンによって，情報を表現する．自動車部品管理のために開発されてきたことから，照明環境の変化にも頑健に読み取ることができるように設計されている．文字入力に手間がかかるという携帯端末の欠点を補うために，携帯端末に搭載されたカメラによって QR コードを観測することによって情報入力を行う方法が提案され，今日ではこれが広く一般的となった．一方で，自動車部品管理のために開発された経緯から，そのデザイン性については考慮がなされていなかった．

QR コードには誤り訂正符号が導入されていることから，QR コードの一部に絵を加えて QR コードのデザイン性を向上させるコードが提案されている．デザイン QR(注2) では，QR コードに比べてデザイン性が向上しているが，意味のない画像が依然としてコードの大部分を占め，デザイン性を損ねている．また，読み取り可能かどうかを作成者が確かめながら絵を加えていく必要があり，自動生成が難しい．QR-JAM [3] では，デザイン QR よりも広い面積にイラストを含めることを可能にするが，やはり意味のない画像がコードのおよそ半分の面積を占める．また，1 次元画像コードであるバーコードに対しても，バーコードの周辺に絵を加えることでデザイン性を向上させる試みが行われており，デザインバーコード(注3) と呼ばれている．デザインバーコードについても，デザイン性の向上は限定的であり，かつ，デザイナが手動で生成する必要がある．

明暗の二値だけでなく，4 色を用いてデザイン性を高めたコードにカラーコード [4] がある．カラーコードでは，単にマトリクス上にパターンを並べるだけでなく，格子点以外にデザイナが絵を加えることで，画像としてのデザイン性を向上させている．Microsoft Tag(注4) もまた，白黒以外に 3 色の色を使うことでデザイン性を高めると同時に，埋め込める情報量を増加している．Microsoft Tag では，Custom Tag と呼ばれるロゴ画像への埋め込みへの試みも行われている．しかしながら，これらのマーカでは格子点上の色が制約となって，自動でデザイン性のあるコードを生成することはできない．また，埋め込める情報量はそれほど多くない．

FPcode [2] は，写真画像の輝度値変化に情報を埋め込むコードである．人間が変化に気付きにくい黄色

(注2)：デザイン QR は，株式会社 IT DeSign の登録商標である．
(注3)：デザインバーコードは，デザインバーコード株式会社の登録商標である．
(注4)：Microsoft Tag は，Microsoft Corporation の登録商標である．

信号を変化させることで，情報埋め込みを実現する．FPcode は単純な画像に対しては適用ができず，写真を貼りつけることができるような場面のみに利用が限られる．

Be-code に近いコードとして，ロゴ画像などの図形輪郭線に情報を埋め込むコードが三宅らによって提案されている [5]．このコードはロゴ画像自体のデザイン性を生かした情報埋め込みを実現したものの，ロゴを囲む輪郭線が必要となり，用途によってはなおデザイン性を保持できないことがある．また，青色を用いて信号を埋め込むために，カラーで印刷される必要があるという問題もある．

これらの従来コードに対し Be-code では，ロゴ画像のエッジ部分に微小変化を加えることで情報埋め込みを実現する．埋め込める情報量は多くないものの，単純な原画像に対して，デザイン性を保持したままでの情報埋め込みを実現する．また，単色印刷を前提としているので，カラー印刷が利用できない場面での利用も可能である．

3. Be-code の概要

Be-code は図 1 に示す各要素で構成する．

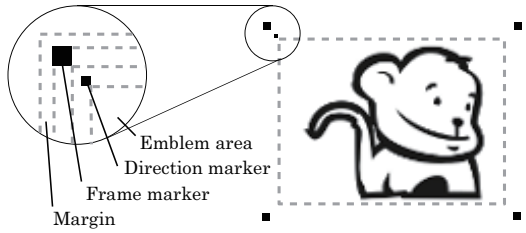


図 1　Be-code の構造
Fig. 1　Structure of Be-code.

エンブレムエリア (emblem area) には，ロゴ画像に情報埋め込みを行ったものを配置する．対象となるロゴ画像は，基本的には白黒の二色で表現されたものであり，アンチエイリアシングのために境界の一部にグレースケールの値を持つものを想定する．アンチエイリアシングを保持するために，Be-code 生成時にはロゴ画像の二値化を行わず，閾値によって二値で解釈し，4.1 で紹介する二値画像への情報埋め込みアルゴリズムを適用する．撮影した Be-code のグレースケールの値は照明などの状況により変化するため，情報読み取りのときに正しい二値化結果が得られないことがある．提案手法では，4.4 に示す画素値の調整によって，できるだけ原画像のグレースケールの値を保ったまま，二値化が正しく行われるようにする．

フレームマーカ (frame marker) は，観測画像から元のロゴ画像の座標系に変換するためのマーカである．それぞれのマーカは $m \times m$ 画素で黒色の矩形領域であり，エンブレムエリアの外側の四隅に配置される．フレームマーカの内側には，1×1 画素で黒色の方向検出マーカ (direction marker) を左上の隅にのみ配置し，画像が回転しても正しい向きで画像復元できるようにしている．フレームマーカと方向検出マーカの間には，1 画素分の白色のスペースを取る．フレームマーカを用いて原画像の座標系に変換する方法については，4.2 および 4.3 で説明する．また，Be-code の周囲に文字や絵があってもフレームマーカが検出できるように，フレームマーカの外側には白色で 1 画素以上のマージン (margin) を設ける．

4. Be-code の実現

4.1 可変得点を用いた情報埋め込み

ロゴ画像への情報埋め込みは画素値を変化させることで行うが，原画像のデザイン性確保のためには，人間が見て目立たないように画素値を変化させなければならない．これを実現するために，画像上の各微小領域のなめらかさや連結性を考慮して情報埋め込みを行う Wu らの手法を利用する [6]．Wu らの手法では，二値画像を 3×3 のブロックに分け，なめらかさと連結数に基づいて可変得点 (flippability score) を計算する．

なめらかさは，画素 (i, j) に対して水平 $N_h(i, j)$，垂直 $N_v(i, j)$ および対角 $N_{d_1}(i, j)$, $N_{d_2}(i, j)$ に対して計算される．

$$N_h(i,j) = \sum_{k=-1}^{1} \sum_{l=-1}^{0} \mathcal{I}(\{p_{i+k,j+l} \neq p_{i+k,j+l+1}\})$$

$$N_v(i,j) = \sum_{k=-1}^{1} \sum_{l=-1}^{0} \mathcal{I}(\{p_{i+l,j+k} \neq p_{i+l+1,j+k}\})$$

$$N_{d_1}(i,j) = \sum_{k,l \in \{-1,0\}} \mathcal{I}(\{p_{i+k,j+l} \neq p_{i+k+1,j+l+1}\})$$

$$N_{d_2}(i,j) = \sum_{\substack{k \in \{0,1\} \\ l \in \{-1,0\}}} \mathcal{I}(\{p_{i+k,j+l} \neq p_{i+k-1,j+l+1}\})$$

ただし，$p_{i,j}$ は画素 (i, j) の値であり，$\mathcal{I}(\cdot)$ は括弧内が真のとき 1，偽のときに 0 となる関数である．

連結数は，ブロック内の白黒の連結領域の数によって調べる．連結領域であるかどうかは，白黒ともに 4 連結で調べる．

可変得点の計算は以下の手順で行う．

（1） ブロック内の画素の値がすべて白，もしくは，すべて黒ならば，可変得点は 0 とし，終了する．

（2） $N_h = 0$ または $N_v = 0$ であれば，可変得点は 0 とし，終了する．それ以外のときには $s = 0.5$ とする．

（3） $N_{d_1} = 0$ または $N_{d_2} = 0$ のとき，$s = s - 0.125$ とする．$N_{d_1} \neq 0$ かつ $N_{d_2} \neq 0$ のとき，$n_p = \max(0,\ 3 - \min_{p \in \{h,v,d_1,d_2\}} N_p)$ を求め，$s = s - 0.125 n_p$ とする．

（4） 中心画素の値を反転するとき，N_h が変化しなければ $s = s + 0.125$ とし，変化すれば $s = s - 0.125$ とする．同様に，N_v が変化しなければ $s = s + 0.125$ とし，変化すれば $s = s - 0.125$ とする．

（5） 中心画素の値を反転するとき，連結数が変化すれば，$s = s - 0.125$ とする．

（6） s を可変得点とし，終了する．

図 2 は可変得点が 0.5 以上となるブロックの例である．可変得点が 0.5 以上のブロックでは中央の画素の値を変更しても，やはり可変得点が 0.5 以上であることが保証される．

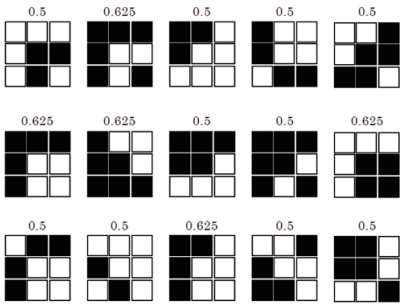
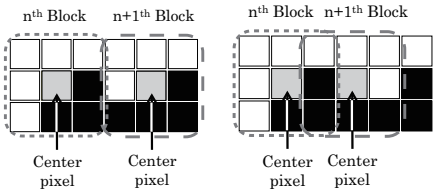


図 2 可変得点が 0.5 以上となるブロックの例
Fig. 2 Examples of blocks with flippability score more than or equal to 0.5.

ロゴ画像から可変得点が 0.5 以上のブロックを検出し，0 を埋め込むときには中央画素に黒を，1 を埋め込むときには中央画素に白を埋め込む．情報を読み取るときにも，画像上で可変得点が 0.5 以上のブロックを見つけ，中央画素が 0 か 1 かを見れば，情報を読み取ることができる．この手法では，情報読み込みのときに原画像を参照する必要がない．

Wu らは図 3(a) に示すように画像を 3×3 のブロックに分けて情報埋め込みを行った．情報埋め込みのためには中心画素の値を変化させるだけでよいので，より多くの情報を埋め込むために，図 3(b) に示すように，隣接するブロックで水平および垂直に 1 画素重なるようなブロック分割を提案する．これにより，従来手法では画像中の 1/9 の画素が白黒を変化させる対象となっていたが，この手法では，画像中の 1/4 の画素がこの対象となる．これにより，同じ画像により多くの情報を埋め込めるようになる．



(a) Separated blocks. (b) Overlapping blocks.

図 3 埋め込み情報量を増やすブロック分割
Fig. 3 Block segmentation for increasing embedding capacity.

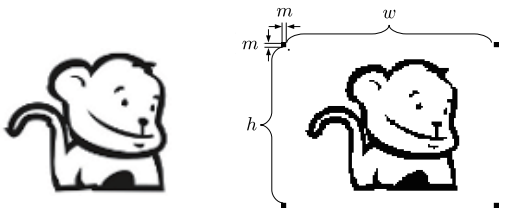
ここで，可変得点が大きいブロックは，なめらかさが小さく複雑なパターンを持つブロックであることに注意されたい．このようなブロックは，ロゴのエッジ部分に多く存在する．結果として，情報埋め込みはロゴのエッジ部分に多くなされることになる．逆に言えば，埋め込める情報量はロゴがどれほど複雑なエッジを持つかによって変わることになる．単純なロゴに対しては埋め込める情報量が少なくなるが，ロゴ画像内に文字を含めることで埋め込める情報量を増やすこともできる．ロゴ画像の複雑さによる埋め込み情報量の違いについては，5.1 で例を示して説明する．

4.2 原画像復元のためのフレーム付加

カメラで観測する画像で情報読み込みを実現するためには，まず観測画像を原画像の座標系に変換する必要がある．本研究では，図 1 に示したように，画像の周囲に小さなマーカを付加することで原画像の座標系への復元を行う．

原画像には，4.1 で述べた可変得点によって情報埋め込みが行われる．このとき，原画像の向きを表現するために，画像の左上に方向検出マーカを付加する．方向検出マーカとその外側の白色のスペースによって，画像の四辺は 2 画素分ずつ外に膨らむ．このときの画像のサイズを $w \times h$ 画素とする．

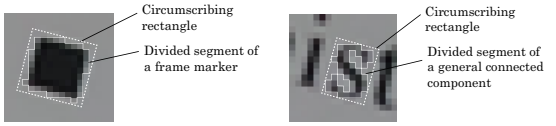
さらに，この画像の四隅に $m \times m$ 画素の黒色矩形領域から構成されるフレームマーカを付加する．図 4 に例を示す．図 4(a) の原画像から構成される Be-code は，図 4(b) に示すようになる．



(a) Original image (b) Generated Be-code

図 4 フレームの付加による Be-code 生成
Fig. 4 Generation of Be-code with attaching frames.

原画像復元のためには，まず，観測した画像から Be-code のフレームマーカを検出する．ここで，観測画像は白黒の二値で表現されているものとして議論を進める．観測画像の二値化については，4.3 で詳しく述べる．観測画像中の黒色領域をラベリングし，連結領域に分割する．このとき，図 5 に示すように，それぞれの分割領域に外接する長方形のうち，面積が最小となるものを求める．この長方形は，rotating calipers 法によって求めることができる [7]．フレームマーカは黒色で塗りつぶされた矩形領域であるので，外接する長方形の内部は図 5(a) に示すように黒色領域の割合が高くなる．その他の一般領域では，図 5(b) に示すように黒色でない領域が多く含まれることになる．黒色である割合に閾値を設定して，フレームマーカを検出する．フレームマーカの一辺の大きさ m を大きくするほど閾値を高く設定できることになるので，一般領域との判別が容易となる．



(a) Circumscribing rectangle for a frame marker. (b) Circumscribing rectangle for a general connected component.

図 5 フレームマーカの探索
Fig. 5 Detection of a frame marker.

原画像上の四隅のフレームマーカの外側の点 $(0,0)$, $(w+2m,0)$, $(w+2m,h+2m)$, $(0,h+2m)$ を (x_i,y_i) $(i=0,1,2,3)$ と表すことにする．Be-code は平面上に貼られているので，観測画像から原画像への変換は 3×3 の平面射影変換 P で記述することができる．観測画像上で四隅のフレームマーカの外側の点 (x'_i,y'_i) $(i=0,1,2,3)$ を求めることができれば，原画像上の 4 点 (x_i,y_i) $(i=0,1,2,3)$ との関係は P を用いて以下のように記述される．

$$P=\begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_0 & b_0 & 1 \end{pmatrix} \tag{1}$$

$$\forall i\ x'_i=\frac{a_1x_i+b_1y_i+c_1}{a_0x_i+b_0y_i+1} \tag{2}$$

$$\forall i\ y'_i=\frac{a_2x_i+b_2y_i+c_2}{a_0x_i+b_0y_i+1} \tag{3}$$

式 (2)，(3) によって，8 つの未知数に対して 8 つの方程式を立てることができ，P の各要素の値を求めることができる．

w，h は，観測画像上でフレームマーカの大きさとエンブレムエリアの大きさの比から推定することができる．これによって，w，h をあらかじめ規定することなく Be-code を読み取ることが可能になる．推定手順は以下の通りである．まず，仮の射影変換行列 P' を求めるために，任意の定数 w'，h' を用いて (x_i,y_i) $(i=0,1,2,3)$ を定義する．P' は式 (2)，(3) から求められる．P' を用いることで，観測画像から Be-code が長方形に映るような画像を得ることができる．このときに，縦横比は正しくは得られないが，フレームマーカの大きさとエンブレムエリアの大きさの比を求めるためには問題とならない．P' を用いて復元されたフレームマーカの大きさが $m'_x\times m'_y$ となるとすると，w と h の推定値 $\tilde{w}$，$\tilde{h}$ は以下の式で求められる．

$$\tilde{w}=\frac{m}{m'_x}w' \tag{4}$$

$$\tilde{h}=\frac{m}{m'_y}h' \tag{5}$$

このときに，m が小さければ $\tilde{w}$，$\tilde{h}$ が 1 画素単位で正しく求まることは期待できない．そこで，原画像の大きさ w，h がそれぞれ N の定数倍であるという制約を設け，推定のときには $\tilde{w}$ と $\tilde{h}$ に最も近い N の定数倍とすることで推定誤りを避ける．今回の実装では $N=10$ とした．このとき，$\tilde{w}$ と $\tilde{h}$ を四捨五入するこ

とで原画像の大きさ w，h の推定値を得ることができる．w，h が推定できれば，観測画像と原画像の間の平面射影変換行列を改めて求め，原画像を復元する．

4.3 観測画像の適応的二値化

フレームマーカの検出および原画像の復元のためには，観測画像を二値化する必要がある．照明環境により，観測画像の濃淡はマーカ内でも変化する可能性があるので，位置に対して適応的に閾値を設定することが必要となる．

QR コードでは，コード内のマーカで区切られたブロックごとに二値化の閾値を設定している．これによって，局所的に陰影が生じる場合にも，正しく二値化を行うことができる．ただし，この処理は各ブロック内に白黒の領域が両方含まれることを前提に行われている．Be-code では，QR コードのように小さなブロックごとで適応的に閾値を決定しようとすると，あるブロックでは白の画素あるいは黒の画素のみしか含まれないことが起こり，正しい閾値を得ることができない．

そこでまず，観測画像からフレームマーカを検出し，Be-code の写っている領域を求める．このときの二値化の閾値には観測画像上で最小と最大となる明るさの値を求め，これらを平均した値を用いる．黒いフレームマーカの周囲には白の領域があるので，白と黒だけを判別することができれば，フレームマーカは正しく求めることができる．Be-code 上で白と黒であった領域は，観測画像上でも最大と最小に近い明るさとなることが期待でき，上述の閾値はフレームマーカの抽出には十分だといえる．図 6 上段に観測画像例とその明るさのヒストグラムを示す．求められた閾値はヒストグラムのグラフ上に点線で示した．それぞれの画像に対して得られる二値化の閾値は，最も明るい白と最も暗い黒を分けるには十分な閾値であることがわかる．

Be-code の写っている領域が求まれば，上下左右に 4 分割した領域でそれぞれ双峰性を持つことを仮定して，大津の閾値判定法 [8] で適応的に閾値を求めることができる．図 6 中段は，Be-code の写っている領域を求められた平面射影変換に基づいて元の座標系に変換したものであり，その下はそれぞれの画像に対するヒストグラムである．Be-code に用いる画像は，基本的には白黒で，アンチエイリアシングのためだけにグレースケールの値を持つものを想定しているので，生成画像での白と黒の値が観測画像のヒストグラムは双峰性を持つと仮定できる．それぞれの領域に対する閾値を用いて，最終的に図 6 下段に示す二値化画像を得る．

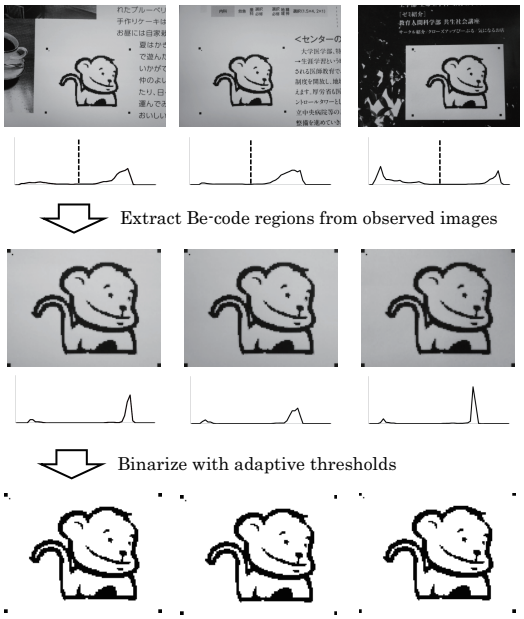


図 6　画像分割による適応的二値化
Fig. 6　Adaptive binarization with divided regions from observed images.

4.4 アンチエイリアシングを保持する情報埋め込み

前述の可変得点を用いた情報埋め込みと情報読み取りの手法は，二値画像を対象としていた．一般的に明暗の 2 色で構成されているように見えるロゴ画像でも，ロゴの縁の部分ではアンチエイリアシングが施されていることが多い．アンチエイリアシングは，エッジ付近の画素にグレースケールの値を割り当てることで実現される．アンチエイリアシングが施された画像を二値化すると，ジャギーが目立つことになる．この問題は，コード化の対象となる画像を二値化処理の妨げとならないようにグレースケールの値を保持することで解決できる．

アンチエイリアシングを含むグレースケール画像中の注目画素の値を v，二値化の閾値を g_{th} とする．g_{th} はグレースケールの原画像に対して大津の閾値判定法を用いることで決定する．v が g_{th} に近ければ，照明変化などにより二値化の結果が変わることがある．そこで，照明変化の影響を受けやすい範囲を黒側の基準値 $b_{th} = g_{th} - d_b$ と白側の基準値 $w_{th} = g_{th} + d_w$ で

定義し，すべての画素がこの範囲内の値を取らないように以下の処理を行う (図 7)．ただし，d_b，d_h は照明変動の大きさを反映した閾値である．

（1） $b_{th} < v < g_{th}$ であるとき，$v = b_{th}$ とする

（2） $g_{th} \leqq v < w_{th}$ であるとき，$v = w_{th}$ とする

（3） $v \leqq b_{th}, v \geqq w_{th}$ であるとき，変更しない

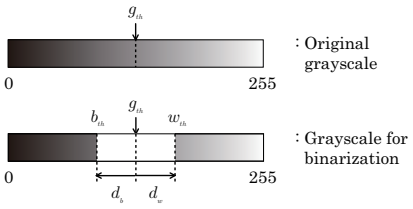


図 7　二値化処理のためのグレースケール化
Fig. 7　Projections of grayscale values considering binarization.

g_{th} は画像ごとに異なるので，d_b と d_h を固定値とすると，白側や黒側のいずれかのレンジが極端に狭くなることがある．d_b と d_h をそれぞれ 0 から g_{th} および g_{th} から 255 の幅を考慮して相対的に決定することで，この問題を避けることができる．幅の割合を決定するための係数を c $(0 \leqq c \leqq 1)$ とすると，d_b と d_h は以下の式で求めるものとする．

$$d_b = c\, g_{th} \tag{6}$$

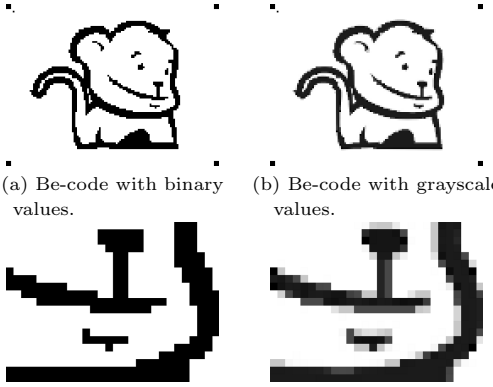
$$d_w = c\, (255 - g_{th}) \tag{7}$$

さらに，情報埋め込みの白黒の反転の際にも，以下のように画素値を変更することで，原画像からの変化を少なくすることができる．

（1） $v \leqq b_{th}$ を白に変更するときには，$v = w_{th}$ とする

（2） $v \geqq w_{th}$ を黒に変更するときには，$v = b_{th}$ とする

図 8 に二値化画像をコード化したものとグレースケール画像をコード化したものを示す．二値化画像をコード化した図 8(a) および図 8(c) では標本化された画素が目立ち，ジャギーのある曲線となっていることがわかる．一方で，図 8(b) および図 8(d) に示すグレースケール画像をコード化したものでは，境界付近のグレースケールの値を持つ画素が残っており，アンチエイリアシングの効果が保持されていることがわかる．



(a) Be-code with binary values.　(b) Be-code with grayscale values.

(c) Zoom-up image of (a).　(d) Zoom-up image of (b).

図 8　グレースケール値を保持する Be-code 生成
Fig. 8　Generation of Be-code with grayscale values preserved.

4.5　リード・ソロモン符号を用いた誤り訂正と読み取り成否の判定

観測画像から原画像の復元を行うときには，画素の反転が起こることがある．そこで，Be-code に埋め込む情報には，QR コードにも採用されている誤り訂正符号の一種であるリード・ソロモン符号を採用する．リード・ソロモン符号を用いることで，少数の誤りに対しては訂正できるようになる．訂正能力を超えた誤りが起こった場合にも，読み取りに失敗したことが判定でき，読み取れるまで画像取得を続けることを促すことができる．

本研究では，入力されたデータ符号を 8 ビット 1 シンボルとするリード・ソロモン符号 RS(N,K) を採用した．シンボルの総数 N は固定せず，画像ごとに埋め込めるビット数を先に調べてから決定するものとした．誤り訂正率を λ とするとき，訂正可能なシンボル数 m は以下の式で算出できる．

$$m = \lceil \lambda N \rceil \tag{8}$$

ただし，$\lceil \cdot \rceil$ はその数を下回らない最小の整数を表す．また一方で，訂正可能なシンボル数 m とシンボル総数 N，情報符号のシンボル数 K の間に下記の関係が成り立つ．

$$K = N - 2m \tag{9}$$

5. に示す実験では，λ を 7%とした．このときには，1 シンボルの誤り訂正を可能とする最短のリード・ソロモン符号は RS(3,1) となる．従って，Be-code を生成

するには最低 24 ビットの埋め込み容量が必要となる．画像に 24 ビット埋め込みが可能の場合には $N = 3$ で，64 ビットの場合には $N = 8$ となる．シンボル総数 N は観測画像で得られる埋め込み容量から判別することができるため，誤り訂正率 λ と 1 シンボルの長さを既知とすることで復号時に符号化パラメタ RS(N,K) を得ることができる．観測画像から正しく N を求めることができない場合は，誤った符号化パラメタの下で復号されることがあるが，リード・ソロモン符号の誤り検出機能により，読み取りに失敗したことを高い確率で通知することができる．

上述のリード・ソロモン符号を用いた情報埋め込みでは，有限体に基づいて生成される多項式によって，誤り訂正符号を求める．誤り訂正符号をデータ符号に付加したものを通信符号とし，画像に情報を埋め込む．情報の読み取りでは，通信符号に誤りを含んだ受信符号が取得される．受信符号に対し，まず誤りの検索を行い，受信符号に誤りが含まれているか，また，その誤りが訂正可能であるかを判断する．誤りが含まれており，さらにその誤りを訂正可能である場合には，誤り位置多項式によって誤り位置を算出し，訂正する．これにより，誤りのない元の通信符号を復号することができる．誤りが含まれているが，その誤りが訂正不可能である場合には，読み取りに失敗したと通知し，利用者に再度読み取りを促すこととする．

5. 実　　験

5.1 埋め込み容量の増加

4.1 で述べたように，可変得点を用いた情報埋め込みでは，ロゴ画像にどれほどエッジが含まれるかによって，埋め込める容量が異なる．実験では，110×80 の大きさのロゴ画像に対して，埋め込み可能容量がどれほどとなるかを調べた．この場合の埋め込み可能容量は，画像中で可変得点が 0.5 以上となるブロック数と一致する．また，隣接するブロックを重なりなく設定する場合と，水平垂直に重ねて設定する場合でどれほど異なるかについても調べた．図 9 にこの結果を示す．

ロゴ画像の形状により，埋め込める容量が異なることがわかる．図 9(f) および (g) でブロックを重複させないときには，Be-code を生成するのに必要なビット数が確保できないため，Be-code を生成することはできなかった．本実験では誤り訂正率 λ を 7%としており，Be-code を生成するには最低 24 ビットの埋め込み容量が必要となる．図 9(a) や図 9(c) および図 9(d) のように多くのエッジで構成されるロゴ画像や，図 9(b) のような傾いたエッジで構成されるロゴ画像では，エッジ部分で可変得点が大きくなるために，埋め込める容量が増加する．一方，図 9(e) や図 9(f)，図 9(g) のように，あまりエッジが多くないようなロゴ画像では埋め込める容量が減少する．

また，ブロック分割を水平垂直に重ねて設定することで，91%から 172%の埋め込み容量の増加が行えた．IPv4 のアドレスを表現するのに必要な情報量は 32 ビットであり，元のロゴ画像に 6 シンボル 48 ビットの RS(6,4) を埋め込めることが，Be-code を生成できる条件となる．図 9 に各 Be-code のリード・ソロモン符号のパラメタを示す．図 9 に示したロゴ画像では，図 9(g) のロゴ画像を除いてこの条件を満たす．このことから，ある程度単純なロゴ画像から生成される Be-code であっても，IPv4 のアドレスを表現するのに十分な容量を埋め込むことができるといえる．

ただしこのとき，ブロック分割を水平垂直に重ねて設定することで，値を反転させる対象となる画素の数が増え，見た目が劣化する．この程度については，5.4 で主観評価実験によって評価する．

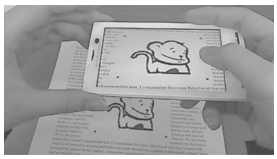
5.2 観測画像からの情報読み取り

提案する Be-code の読み取り精度を検証するために実験を行った．撮影にはソニーエリクソン社製携帯端末 Xperia(SO-01B) を用い，解像度は 3264×2248 に設定した．実験で用いる Be-code はブロック重複が適用され，リード・ソロモン符号のパラメータにおける誤り訂正率 λ と 1 シンボルの長さはそれぞれ 7 %と 8 とした．これらの条件は観測時に既知とする．実験では，図 9(a) および図 9(b)，図 9(c), 図 9(d) に示す原画像から生成される Be-code を対象とし，一般的な室内環境で行った．各 Be-code のリード・ソロモン符号のパラメータは RS(18,14)，RS(14,12)，RS(10,8)，RS(10,8) である．印刷には，リコー社製カラーレーザプリンタ IPSiO SP C411(半導体レーザー，乾式二成分電子写真方式) を用いた．印刷解像度は 1200dpi × 1200dpi とした．解像度 110×80 のロゴ画像から作成される Be-code は，方向検出マーカ，フレームマーカおよびマージンを含めて，解像度 126×96 となり，A4 サイズの用紙に印刷したときの領域の大きさは 80mm × 61mm であった．このうち，解像度 3×3 のフレームマーカは紙面上で 1.9mm × 1.9mm を占めた．二値化処理を考慮したグレースケール化のための係数 c を $1/3, 1/2, 1$ としたものを対象とした．原画

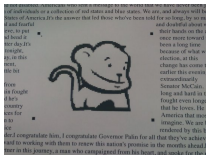
	(a) Monkey	(b) Letter	(c) Snow	(d) Flower	(e) Phone	(f) Star	(g) Key
原画像							
Be-code（ブロック重複なし）						N/A	N/A
Be-code（ブロック重複あり）							
ブロック重複なし (bits)	58	56	45	46	24	18	18
リード・ソロモン符号のパラメタ	RS(7,5)	RS(7,5)	RS(5,3)	RS(5,3)	RS(3,1)	N/A	N/A
ブロック重複あり (bits)	145	113	86	85	53	49	46
リード・ソロモン符号のパラメタ	RS(18,14)	RS(14,12)	RS(10,8)	RS(10,8)	RS(6,4)	RS(6,4)	RS(5,3)

図 9　ロゴ画像ごとの埋め込み容量の違い (Be-code は $c = 0.5$ で生成)
Fig. 9　Comparison of amount of embedded bits among logo images. (Be-codes are generated with $c = 0.5$.)

像と c を変えた Be-code を各 100 回撮影し，情報読み取りの精度を調べた．このとき，リード・ソロモン符号によって誤り訂正可能であったものは，読み取りが成功したものとして扱った．図 10(a) は撮影の様子であり，図 10(b) は実際の観測画像の例である．



(a) Experimental environment.



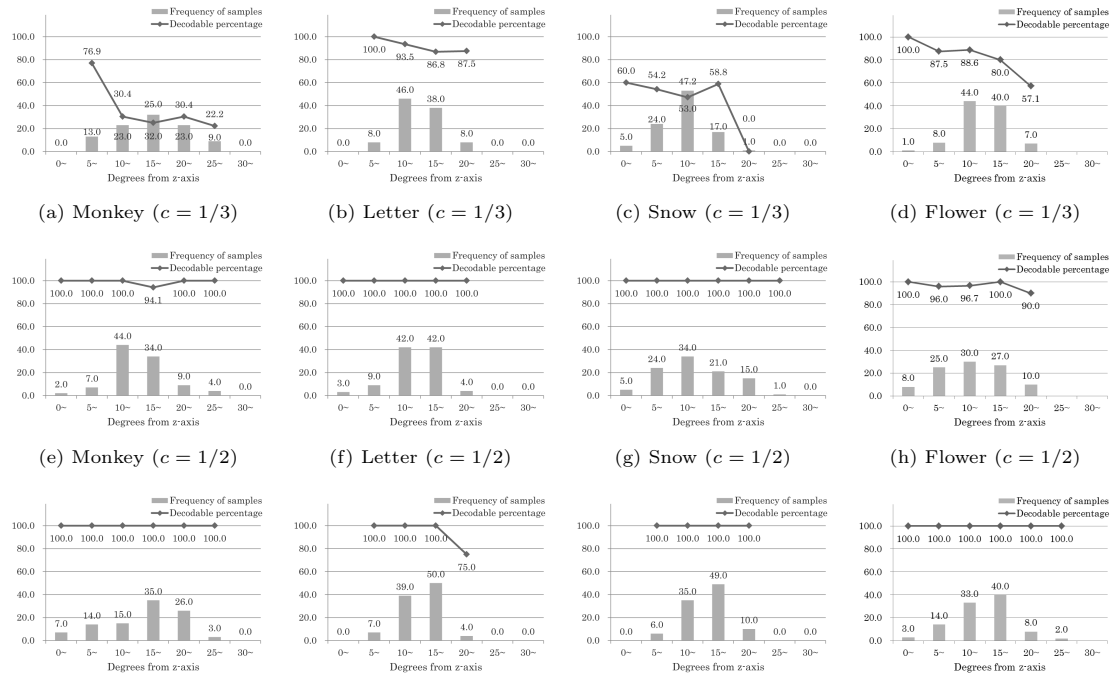
(b) An example of obtained images.

図 10　実験環境と観測画像例
Fig. 10　Experimental environment for obtaining images of Be-codes.

まず，c と読み取り角度，読み取り成功率の関係を調べた．図 9(a)，図 9(b)，図 9(c)，図 9(d) に示したブロック重複ありの Be-code を机上に置き，100 回ずつ自由に撮影を行ってもらった．このとき，観測画像上で Be-code が占める面積が 44.1%から 65.1%，フレームマーカの占める面積は 2.8×10^{-2}%から 5.4×10^{-2}%となった．なお，フレームマーカは透視投影の効果によって遠くにあるほど小さく写るので，観測画像上で Be-code の占める面積とフレームマーカの占める面積の割合は，元の Be-code とは等しくなるとは限らない．

各画像で平面射影変換行列が求まれば，Be-code が貼り付けられた平面と観測画像平面とのなす角度を得ることができる．平面射影変換が正しく得られない観測画像については，観測画像上でフレームマーカの位置を手動で指定することで正しい平面射影変換を与えた．これらの角度の 5 度ごとの頻度を求め，角度ごとの読み取り成功率を示したのが図 11 である．観測角度の頻度を見ると，いずれの Be-code においても 10 度以上 15 度未満，または，15 度以上 20 度未満で最頻値を取ることがわかる．一方で，30 度以上で撮影された観測画像はなかった．これは，Be-code を撮影する際に，正面ではなくこの角度から撮影されることが多いことを示している．このことから，射影ひずみを考慮できる平面射影変換を用いて原画像を復元することが有用であることがわかる．

次に，それぞれの角度ごとの読み取り成功率について検討する．$c = 1/2$ のときにはサルで 2 枚，花で 3



(a) Monkey ($c = 1/3$) (b) Letter ($c = 1/3$) (c) Snow ($c = 1/3$) (d) Flower ($c = 1/3$)

(e) Monkey ($c = 1/2$) (f) Letter ($c = 1/2$) (g) Snow ($c = 1/2$) (h) Flower ($c = 1/2$)

(i) Monkey ($c = 1$) (j) Letter ($c = 1$) (k) Snow ($c = 1$) (l) Flower ($c = 1$)

図 11 グレースケールのための係数 c と読み取り角度および読み取り精度
Fig. 11 c for generating Be-code with grayscale images, angles of observation and decodable percentages.

枚，$c = 1$ のときには手紙で 1 枚のみ読み取りに失敗した．このことから，c を 1/2 以上に設定しておけば，すべての観測画像に対して高い精度で読み取ることができるといえる．$c = 1/3$ のときには，観測角度が大きくなるほど読み取り精度が落ちる傾向がある．また，観測角度が小さいときにも $c = 1/2$ とするときに比べて読み取り精度は低いこともわかる．4.5 で示したように，シンボル総数 N は観測画像で得られる埋め込み容量から判別することができるため，復号時に符号化パラメタ RS(N,K) を得ることができる．$c = 1$ および $c = 1/2$ のときにはシンボル数 N は全ての観測画像で正しく求められた．$c = 1/3$ のときには，サルで 79 枚，手紙で 94 枚，雪で 92 枚，花で 90 枚の観測画像から N を正しく求めることができ，サルで 21 枚，手紙で 6 枚，雪で 8 枚，花で 8 枚の観測画像ではリード・ソロモン符号の復号化のときに読み取りに失敗したことが通知された．N が誤って求められ，かつ，そのことがリード・ソロモン符号の復号化のときに検知できなかったものは，花の 2 枚のみであった．以上のことから，シンボル数 N は高い確率で算出することができ，また，正しく求められない場合でもほとんどの場合において読み取りに失敗したことを高い確率で通知できることが確かめられた．

読み取り結果を詳細に検証すると，c を小さくしたときに読み取りができなかった観測画像では，うまく焦点が合っていないことが確かめられた．これは，エッジ付近にグレースケールの値を加えることで，エッジの高周波成分が失われ，カメラのオートフォーカス機能がうまく働かなかったためと考えられる．焦点が合っていないと，観測画像に焦点ぼけが生じ，正しい二値化画像を得ることができない．

観測角度が大きくなるにつれて読み取り精度が悪くなる原因も，焦点ぼけにあると考えられる．画像コードを接写して撮影すると焦点距離が短くなり，被写界深度が浅くなるために，結果として焦点ぼけが大きくなる．観測画像上を詳しく見ると，焦点が合っていない領域があることが確かめられた．これによって，マーカ内部の一部の画素で白黒の反転が起こっていた．カメラを離した上でズームして撮影することができれば，この問題は一部解決することができると考えら

れる．

ここで，リード・ソロモン符号のパラメタに着目する．パラメータが等しく RS(10,8) である雪と花において，読み取り成功率を比較する．c を 1/2 以上に設定したときは，いずれの観測画像も高い精度で読み取ることができている．一方，$c = 1/3$ の場合，雪は観測角度が小さいときでも全ての観測画像で読み取り成功率が 60%以下であるのに対し，花は 20 度未満の場合 80%以上の読み取り成功率を収めている．つまり，同一パラメタで符号化した場合であっても画像の形状により成功率が異なることが実験で示された．

以上の結果から，観測角度が 30 度未満であるときには，c を 1/2 以上に設定することで，高い読み取り精度を保証できるといえる．今回実験した環境では，30 度以上の角度で観測されることはなかった．c を小さくするときには，観測角度が大きくなるほどに読み取り精度は下がる．また，読み取り成功率は画像の形状により違いが見られる．

一方で，Be-code にはリード・ソロモン符号が導入されているので，少数の誤りは訂正されており，また，訂正能力を超える誤りは検出することができる．訂正能力を超えた誤りが起こった場合には，ユーザに再撮影を促すようにシステムを設計している．

5.3 アンチエイリアシング保持の検証

4.4 で説明したように，アンチエイリアシングの保持のために，係数 c を導入した．c は小さい方が，元画像のアンチエイリアシングを保持できる．ここでは，c の値を小さくすることによる見た目の変化について，検証する．

5.2 では，$c = 1/3$ としたときと $c = 1/2$ としたときとで読み取り精度に差があることを述べた．読み取りのことを考慮すると，精度が低下しにくい $c = 1/2$ に留めておくべきである．このことから，被験者実験では c を 1/2 以上とするときの見た目の変化を調べた．図 9(a)，図 9(b)，図 9(c) に示すサル，手紙，結晶の原画像に対して，$c = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1$ として Be-code を生成した．これらと $c = 0$ として生成された Be-code との比較を行い，PSNR を求めたものを表 2 に示す．$c = 0$ とするときには，原画像と Be-code との画素値の差は高々1 となり，原画像のグレースケールの値はほぼ保存されることになる．

PSNR の値が大きいほど，比較される 2 つの画像が近いといえる．表 2 から，c の値を小さくするほど原画像に近い Be-code が得られることがわかる．また，同じ c の値を設定したときにも，ロゴ画像によって PSNR の値に差があることもわかる．サルの画像から生成される Be-code では，c を大きくすると他の画像よりも PSNR が小さくなった．

表 2 $c = 0$ として生成される Be-code と $c = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1$ としたときに生成される Be-code との PSNR

Table 2 PSNR between Be-codes with $c = 0$ and $c = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1$.

c	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Monkey	26.2	24.9	23.0	21.4	20.6	19.3
Letter	26.9	25.9	24.8	23.6	22.6	21.5
Snow	28.8	28.6	26.7	25.3	24.2	23.1

次に，c の設定が見た目の変化に与える影響について, 被験者の主観評価実験によって調べた．実験のためには，シェッフェの一対比較法の浦の変法 [9] を採用した．この方法では，すべての被験者がすべてのサンプル対について評価を行う．サンプルは 1 つずつ提示され，その順序効果についても考慮がなされる．c の値が異なる 2 つの Be-code について，$c = 0$ で作成された Be-code に近いのはどちらかを答えてもらった．被験者は大学生 10 名 (男子 7 名，女子 3 名) とした．評価項目は以下の通りである．ただし，先に提示する方を A，後に提示する方を B とする．

評価値:

+2 ： A が B より非常に近い
+1 ： A が B よりやや近い
0 ： A と B は同等である
-1 ： B が A よりやや近い
-2 ： B が A より非常に近い

サル，手紙，結晶のいずれにおいても，“主効果” は 0.01 の有意水準で有意であった．その他の効果については有意差は得られなかった．

表 3 に比較実験の結果を示す．表 3 の結果からは，すべてのロゴ画像について，c の値が小さな Be-code は c の値が大きな Be-code よりも，$c = 0$ の Be-code に有意に近いか，もしくは，有意には変わらないことがわかる．このことから，c の値を小さくすることで見た目は向上するか，あるいは，変わらないと結論づけられる．また，$c = 0.5$ と 0.6 の Be-code，$c = 0.7$ と 0.8 の Be-code，および $c = 0.8$ と 0.9 の Be-code の間で有意差が認められなかった例があるが，c が 0.2 以上異なる Be-code では有意に見た目の変化があることが，実験に用いた Be-code では確かめられた．この

表 3　$c = 0$ として生成した Be-code との近さの評価 (+: 縦軸の要素が有意に近い，−: 横軸の要素が有意に近い，0: 有意差なし．$*$: $p \leqq 0.05$，$**$: $p \leqq 0.01$．)

Table 3　Comparison of Be-codes on their similarity to Be-code with $c = 0$. (+: The vertical element is significantly more similar than the horizontal element, −: the horizontal element is significantly more similar than the vertical element, 0: no significant differences. $*$: $p \leqq 0.05$, $**$: $p \leqq 0.01$.)

(a) Monkey

	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.5		0	$+^{**}$	$+^{**}$	$+^{**}$
0.6			$+^{**}$	$+^{**}$	$+^{**}$
0.7				0	$+^{**}$
0.8					$+^{*}$
0.9					

(b) Letter

	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.5		$+^{**}$	$+^{**}$	$+^{**}$	$+^{**}$
0.6			$+^{**}$	$+^{**}$	$+^{**}$
0.7				0	$+^{**}$
0.8					$+^{*}$
0.9					

(c) Snow

	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.5		0	$+^{**}$	$+^{**}$	$+^{**}$
0.6			$+^{**}$	$+^{**}$	$+^{**}$
0.7				$+^{*}$	$+^{*}$
0.8					0
0.9					

ことより，c を導入することで見た目が向上したといえる．

5.4　埋め込み容量の向上と画質の劣化

埋め込める容量を増加させるために，隣接するブロックを水平垂直に重ねて設定するが，これにより白黒の反転の対象となる画素の数は増加し，画質が劣化することが考えられる．PSNR の値の比較と主観評価実験によって，画像劣化の程度について調べた．

実験では，$c = 0.5$ でブロックを重複して生成した Be-code と，ブロックを重複せずに生成した Be-code を比較した．$c = 0$ として生成した Be-code と比べたときの PSNR を表 4 に示す．同じ $c = 0.5$ で比べると，ブロックを重複して生成することで，平均 1.7 の PSNR の低下が起こった．この結果，ブロックを重複せずに生成した $c = 0.5$ から $c = 0.7$ の Be-code と同等の PSNR の値を示した．

次に，5.3 と同様の主観評価実験によって，$c = 0.5$ でブロックを重複して生成した Be-code と，$c = 0.5, 0.6, 0.7$ でブロックを重複せずに生成した Be-code とを比較した．被験者にはどちらが $c = 0$ で作成された Be-code に近いかを答えてもらった．被験者は大学生 20 名 (男性 14 名，女性 6 名) で，評価項目は 5.3 と同様である．“前者と後者は同等である” という回答を無視し，また，+2 と+1 の評価，-1 と-2 の評価をそれぞれ一つのグループとみなして，二項検定によって分布の偏りを調べた．たとえば，前者の Be-code の方が $c = 0$ で作成された Be-code に近いと答える被験者が，後者の Be-code の方が $c = 0$ で作成された Be-code に近いと答える被験者より有意に多い場合に，前者の Be-code の方が見た目に変化が少ないといえる．実験結果を表 4 に示す．

実験結果からは，図 12(b) に示す $c = 0.6$ でブロック重複のないサルの Be-code を除き，PSNR が大きい Be-code の方が有意に $c = 0$ の Be-code に近いか，または有意には変わらないことが確かめられた．このことから，今回実験した画像のほとんどについては，PSNR の値の低下に沿って Be-code は見た目が劣化するといえる．図 12(b) に示す Be-code の場合に，PSNR が同等であるにも関わらずブロックの重複によって画像が劣化したのは，原画像がなめらかな長い曲線で囲まれた画像であったために，白黒が反転する画素が増えることで，見た目に変化が大きかったためと考えられる．

(a) Monkey ($c = 0.5$, block overlapped)　(b) Monkey ($c = 0.6$, block non-overlapped)

(c) Zoom-up image of (a).　(d) Zoom-up image of (b).

図 12　PSNR の低下を超えて Be-code の見た目が変化する例

Fig. 12　Be-codes with appearance deteriorated more than the value of $PSNR$.

6. ま と め

ロゴ画像などの単純な画像に対して，デザイン性を

表 4　ブロック重複ありで $c = 0.5$ とした Be-code とブロック重複なしで $c = 0.5, 0.6, 0.7$ とした Be-code との比較 (表内はそれぞれの原画像に対する PSNR の値と，ブロック重複ありで $c = 0.5$ とした Be-code との見た目の比較結果．+: ブロック重複なしの要素が原画像に有意に近い，−: ブロック重複ありの要素が原画像に有意に近い，0: 有意差なし．$*$: $p \leqq 0.05$，$**$: $p \leqq 0.01$．)

Table 4　Comparison between Be-codes with block overlapping and $c = 0.5$ and Be-codes without block overlapping and $c = 0.5, 0.6, 0.7$. (PSNR against original images and comparison between Be-code with block overlapping and without block overlapping in thier visual similarity to the original Be-code with $c = 0$. +: Be-code without block overlapping is significantly more similar to the original Be-code, −: Be-code with block overlapping is significantly more similar to the original Be-code, 0: no significant differences. $*$: $p \leqq 0.05$, $**$: $p \leqq 0.01$.)

	ブロック重複あり	ブロック重複なし					
c	0.5	0.5		0.6		0.7	
	(PSNR)	(PSNR)	(重複ありとの比較)	(PSNR)	(重複ありとの比較)	(PSNR)	(重複ありとの比較)
Monkey	26.2	28.2	$+^{**}$	26.2	$+^{*}$	24.5	0
Letter	26.9	28.4	$+^{**}$	26.8	0	25.6	0
Snow	28.8	30.8	0	29.4	0	27.9	0
Phone	29.7	30.5	$+^{*}$	28.7	0	27.2	$-^{*}$
Star	31.7	32.9	$+^{*}$	31.3	0	29.8	$-^{**}$
Key	31.4	34.1	$+^{**}$	32.6	$+^{**}$	31.1	0

確保したまま情報埋め込みを実現する Be-code を提案した．可変得点が 0.5 以上のブロックに対し，中心画素の明暗を変化させることによって，情報埋め込みを行う．カメラでの観測による情報読み取りを可能にするために，フレームを付加し，平面射影変換を求めることで原画像を復元できるようにした．また，デザイン性をさらに確保するために，グレースケール画像に対する情報埋め込みの手法を提案した．実験では，埋め込める情報量および携帯端末による読み取り精度と確保されるデザイン性の関係について検証した．

今後の課題として，焦点を合わせやすいパターンの開発を目指す．実験では，射影によって観測距離に幅ができることによる読み取りの失敗と，パターンに高周波がなくなることによりオートフォーカスがうまく働かないことによる読み取りの失敗が見られた．前者は，Be-code の中心部に焦点が合わせた場合に，Be-code 周辺部で焦点が合わなくなることが問題となる．周辺部では焦点が合っていなくても読み取れるようにするためには，周辺部の画素の大きさを調整することで実現できると考えている．後者は，画像全体で高周波成分が失われることが問題であり，オートフォーカスのために Be-code の一部に高周波成分を残しておくことで解決できると考えている．

また，今回の実験は，一般的な室内環境で行ったが，屋外環境や特殊な光源環境での読み取り精度の検証はまだ行っていない．観測画像にハイライトがある場合や広範囲にわたる影が写り込む場合に，適切な二値画像を得ることができないことが予想される．適応的二値化の手法を改良することでこの問題に対処したい．また，複数枚の観測画像を使って，照明条件をキャンセルして正しい原画像を得ることも考えられる．

文　献

[1] 山田一葉，山下泰奈，丸山哲平，豊浦正広，茅　暁陽，高津　聡，菅原千尋，“Be-code: ロゴ画像への情報埋め込み，” Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム，Article 12，2011.

[2] 野田嗣男，師尾　潤，千葉広隆，“印刷型ステガノグラフィ技術，” 富士通ジャーナル，vol.57，no.3，pp.320–324，2006.

[3] 萩原　学，“デザイン二次元コード，” 電子情報通信学会誌，vol.94，no.4，pp.341–343，2011.

[4] ColorZip Media, Inc., http://www.colorzip.com, “Colorcode,” 2000.

[5] 三宅哲平，栗山　繁，“図形輪郭線の明度変化を用いた情報埋め込み，” 電子情報通信学会論文誌，vol.J93-A，no.2，pp.73–81，2010.

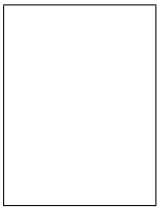
[6] M. Wu and B. Liu, “Data hiding in binary image for authentication and annotation,” IEEE Transactions on Multimedia, vol.6, no.4, pp.528–538, 2004.

[7] G.T. Toussaint, “Solving geometric problems with the rotating calipers,” IEEE MELECON, pp.1–8, 1983.

[8] 大津展之，“判別および最小 2 乗規準に基づく自動しきい値選定法，” 電子通信学会論文誌，vol.63，no.4，pp.349–356，1980.

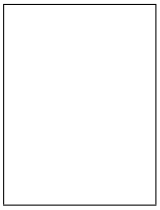
[9] 浦　昭二，“1 対比較実験の解析，” 品質管理，vol.16，pp.78–80，1959.

（平成 xx 年 xx 月 xx 日受付）



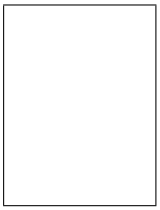
山田　一葉　（学生員）

2011 年 山梨大学工学部卒業．2011 年同大学大学院医学工学総合教育部修士課程入学．現在に至る．画像への情報埋め込みの研究に従事．



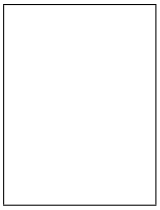
山下　泰奈

2011 年 山梨大学工学部卒業．在学中，画像への情報埋め込みの研究に従事．



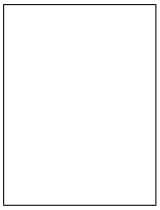
丸山　哲平

2007 年 山梨大学工学部卒業．2009 年同大学大学院医学工学総合教育部修士課程修了．在学中，画像への情報埋め込みの研究に従事．



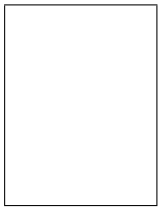
豊浦　正広　（正員）

2003 年 京都大学工学部情報学科 卒業．2007 年 日本学術振興会特別研究員 DC2．2008 年 京都大学大学院情報学研究科博士後期課程 修了．2008 年 日本学術振興会特別研究員 PD．カリフォルニア大学サンタバーバラ校訪問研究員．2009 年 山梨大学大学院医学工学総合研究部 助教．拡張現実感，コンピュータビジョンの研究に従事．電子情報通信学会，情報処理学会，IEEE 各会員．博士 (情報学)．



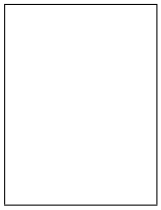
茅　　暁陽　（正員）

1983 年 中国復旦大学 計算機学科卒業．1987 年 東京大学大学院情報科学研究科修士課程 修了．1990 年 東京大学大学院理学研究科博士課程 修了．1990 年 株式会社クボタコンピュータ応用エンジニア．1994 年 New York 州立大学 Stony Brook 校 客員研究員．1995 年 科学技術振興事業団特別研究員．1996 年 山梨大学工学部 講師．1997 年 同准教授．1997 年 同大学院医学工学総合研究部 准教授．2008 年 同教授．画像処理，コンピュータグラフィックス，可視化の研究に従事．情報処理学会，画像電子学会，ACM 各会員．理学博士．



高津　　聡

2000 年 株式会社クレスコ 入社．携帯向けサービスの開発に従事．



菅原　千尋

1997 年 株式会社クレスコ 入社．携帯向けサービスの開発に従事．

Abstract Planar 2D image codes are generally used for inputting information to mobile devices with cameras. QR code is a typical example of the planar codes. Conventional planar codes do not have semantics in images themselves. Such codes spoil the quality of design when attached on commercial products. We proposed a novel code, Be-code, for embedding information into logo images. Be-code is generated from a logo image. Information embedding is realized by controlling the values of edge pixels of the logo image. The appearance of generated Be-code image is similar to the original image. Algorithm for extracting information from the observed Be-code image is also presented. The original image is not required in information extraction. In experiments, embedded information could be extracted correctly at a high success rate.

Key words Image planer code, data hiding, flippability score, homograpy, adaptive binarization.