

冗長化アスキーアート生成法による情報ハイディングとその能力

木綿 麻実路[†] 岩切 宗利[†]

テキストベースの情報メディアの一種に、文字の形状や濃度を利用して絵や自然画像を表現するアスキーアートがある。一般的なアスキーアート作成手法では、作者や作成日時などの属性情報を別に記録する必要がある。しかし、流通の過程でそれらの属性情報は失われる可能性がある。そこで本研究では、1対1であった文字と輝度の交換テーブルを1対多とすることにより、アスキーアートに情報を埋め込む手法を考案した。本論文ではその考えに基づき、埋め込み可能容量を増大しながら出力画質を向上させる手法について示す。また、階調数を高く設定したうえで入力画像の特性を考慮した文字数選定を行うことにより、出力画質と埋め込み情報量とをともに向上させることができることを実験により示した。本研究の結果、出力データサイズに対して最大21%程度の情報埋め込みに成功した。

The Ability of Information-hiding Technique to Redundant Components of Ascii-arts

MASAMICHI KIWATA[†] and MUNETOSHI IWAKIRI[†]

The ascii-art is one of techniques to the text based image representation, and it is using density or outline shapes of black-and-white dots on the character structures. Although, the ordinary ascii-art is not combined to the attribute informations, thus the separated records would be lost, easily. Therefore, in this research, we try to build up the information-hiding techniques for ascii-arts, and it applied a substitution table of the brightness to the many selectable characters for embedding secret messages. According to the experemental evaluations, the proposal technique increased the capacity of embedding with improving the quality of image, and these were upgraded by the optimizing method to the band-width of gray scales, moreover. As a result of this research, we realized that the embedding capacity about 21% at maximum to size of the cover data.

1. はじめに

アスキーアートの代表的な3種を図1に示す。図1(a)の「Smiley mark」は記号を組み合わせて感情などを表現している。図1(b)の「文字絵」は文字や記号の形状を利用して絵を表現する。特に2バイト文字を利用した「文字絵」は日本国内でよく見られる。図1(c)は、文字固有の濃度に着目して自然画像などの輝度値を文字により表現するものである。これらの表現法を区別すると、前者の2つ(図1(a),(b))は絵を線で表現している。これを線画調アスキーアートと呼ぶ。一方、後者(図1(c))は、濃淡画像をキャラクタのドット密度を利用して表現¹⁾する。これを濃淡系アスキーアートと呼ぶ。これらのアスキーアートは、インターネットなどの文字情報メディアで利用されている。

もし、アスキーアートに対して、その説明や著作権などの情報を埋め込むことができれば、様々な応用が考えられる²⁾。これを実現できる技術として、情報ハイディングがある。現在、情報ハイディングの対象は、画像から音楽、文章など様々なメディアへと広がっている。特に、テキストメディアを対象とした手法に注目すると、空白や句読点などの記号を制御する手法や、類似語彙の単語や構文の切換えにより情報を埋め込む辞書変換法などが提案されている。本研究では、文字フォント固有の点密度により画像を表現するアスキーアートに情報を埋め込む手法について検討した。アスキーアートはテキストメディアと画像の性質をあわせ持つ新しい情報表現の形式である。よって、アスキーアートへの情報ハイディングの実現には、従来とは異なる視点からの考察が必要である。

まず2章では、一般的なアスキーアート作成の手順

[†] 防衛大学校
National Defense Academy

<http://www.w3.org/TR/2000/NOTE-WCAG10-TECHS-20001106/>

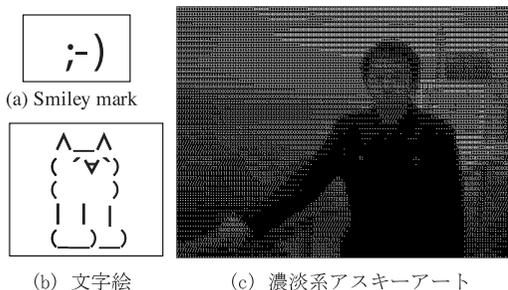


図 1 一般的なアスキーアートの例
Fig. 1 An example of ascii-arts.

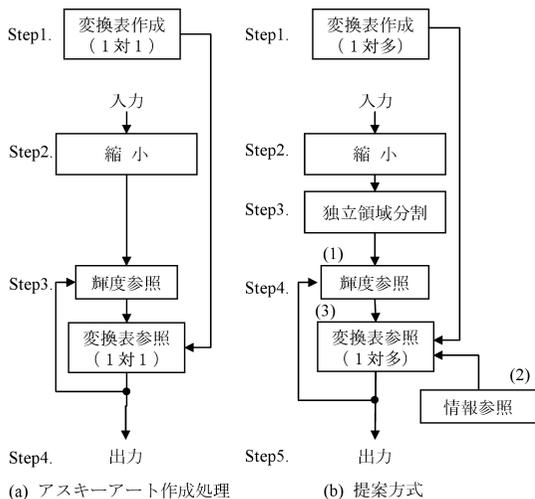


図 2 処理手順
Fig. 2 Ascii-arts composition flow.

について示す. 3章では, 提案方式としてアスキーアートに冗長性を付加する情報埋め込み法を示す. その基本となるアイデアは, 濃度値と文字の対応が 1 対 1 である 2 章の置き換えテーブルを 1 対多とし, 埋め込む情報に応じて出力を選択するものである (図 2 (b)). 4 章では, 提案方式を用いて情報を埋め込む際に, 画質と情報埋め込み容量を増大する要件および考慮すべき事項を実験により明らかにした.

2. 従来方式

図 2 (a) の処理手順について示す.

Step1. 変換表作成

「変換表作成 (1 対 1)」では, 文字固有の濃度 (点密度) と画像における輝度値との対応表を用意する. 減色処理による各階調の輝度値ごとに, その値に対応する明るさの文字を「1 つ」用意する.

Step2. 縮小

「縮小」は出力されるアスキーアートの大きさを調整するために行う. 本研究では, 1 文字のサイズが 16×16 ピクセルの文字を使用する. 元画像を縮小せずに変換すると, 画面上で 16 倍の大きさになってしまう. そのため, 作品の取扱いを考慮して縮小処理を行っている. また, このときに減色処理もあわせて行う. 入力画像は 256 階調の濃淡画像を使用するが, 用意した文字で表現できる濃度が最大 119 種類であるため, 画像も 119 階調以下に減色しなければならない. 減色処理を施したときの輝度値のパターン数を, 階調数と呼ぶ.

入力された濃淡画像を縦横 n 分の 1 に縮小し縦横 $m \times m$ 画素の大きさにする. さらに各輝度値を g 階調へ減色する.

Step3. 変換

「輝度参照」では, 縮小した画像の画素を走査し輝度値を読み取る. 「変換表参照 (1 対 1)」では, Step1 で用意した表から読み取った輝度値に対応する文字を得る. この場合, 輝度値が同じであれば同じ文字が選択されることになる.

Step4. 出力

変換処理で選択されたキャラクタを走査した順に配列してアスキーアートとして出力する.

この方式には冗長性がないため, 情報を埋め込むことができない. そこで, この手法に次に示す工夫を施すことにより冗長化を図った.

3. 提案方式

3.1 情報埋め込みの手順

図 2 (b) に示したそれぞれの処理について説明する.
Step1. 変換表作成

「変換表作成 (1 対多)」では, 一般的な手法とは異なり, 輝度値に対し 1 つ以上の文字を対応させる. これは, 情報を埋め込む余地を作り出すための基本的なアイデアに基づくものである. 減色処理による各階調の輝度値ごとに, 同等の明るさの文字を p 種類配した 1 対多の変換テーブルを準備する.

Step2. 縮小

「縮小」は一般的な手法と同様である. 入力された濃淡画像を縦横 n 分の 1 に縮小し縦横 $m \times m$ 画素の大きさにする. さらに各輝度値を g 階調へ減色する.

Step3. 独立領域分割

「独立領域分割」では, 縮小および減色した画像

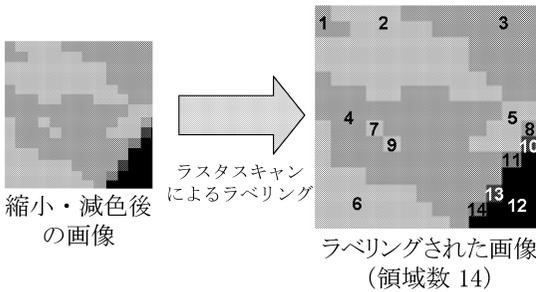


図 3 領域分割
Fig. 3 Labeling.

を輝度値を基にラベリングする。その際、上下左右4近傍の画素を調べ、同輝度の画素であれば同じラベルを付与する(図3)。このとき、ラベリングによって得られるラベルの数を、領域数と呼ぶ。文字との置き換えをこの領域ごとに行うことで、同一領域の画素は同じ文字によって置換される。これにより、同じ濃度で字形の異なる文字が同一領域に混在することによるテクスチャの乱れを防ぐことができる。

Step4. (a) 輝度参照

「輝度参照」は一般的な手法と同様である。各独立領域の濃度(輝度値)を参照する。

(b) 情報参照

「情報参照」は、複数の候補から1つの文字を選択し、同時に情報を埋め込むために行う。埋め込む情報を $\lfloor \log_2 p \rfloor$ ビット抽出する。

(c) 変換表参照

「変換表参照(1対多)」では、読み取った輝度値に対し複数の文字候補が得られる。ここで、候補の中から抽出したデータに対応する文字を変換表から選ぶ。

Step5. 出力

Step4. で得られたキャラクタを $m \times m$ 文字に配列して出力する。

3.2 提案方式の特徴

一般的な方式との相違点をまとめると次のようになる。

- (1) 輝度値により、画像を領域分割する。
- (2) 輝度値と文字の対応を1対多とした(文字選択処理が必要)。

これらにより、同じ輝度値でも異なる領域の画素どうしであれば違う文字が対応することがある。

図4の例を用いて Step5 の変換処理部分を詳しく

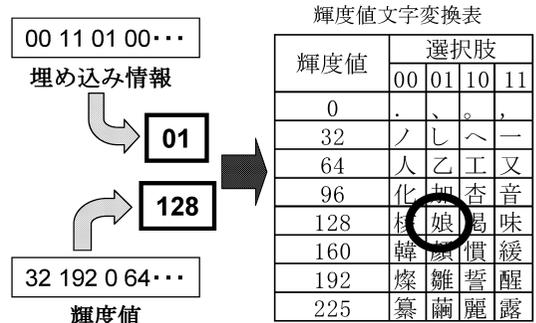


図 4 変換処理例
Fig. 4 An example of the substitution.

説明する。階調数 $g=8$ 、 $p=4$ の縮小画像から輝度値「128」を得たとする。これを文字に変換するため変換表を参照すると、輝度値が「128」の行には4つの候補が存在する。このとき埋め込む情報ビット列から2ビット「01」を得たとする。これらの値から輝度値と文字の変換表を参照すると、「娘」という文字が得られる。この処理により、アスキーアートを構成する文字への変換と情報の埋め込みが完了する。

3.3 埋め込み容量

本方式では、領域数を α とすると1つのアスキーアートに対して

$$\alpha \times \lfloor \log_2 p \rfloor [\text{bit}] \tag{1}$$

の情報を埋め込むことができる。すなわち、独立領域数に比例して埋め込める情報量が増えることになる。

3.4 情報抽出手順

抽出処理には埋め込み時と同一の変換テーブルを使用する。この処理手順は次のとおり埋め込み処理の逆順である。

Step1. 独立領域分割

同一の文字ごとにラベリングを施す。

Step2. 文字参照

変換表を逆に参照し、各独立領域の文字がある列の番号を取得する。

Step3. 情報参照

列番号から埋め込まれた情報ビットを抽出する。

Step4. 出力

変換した列番号をまとめて出力する。

4. 実験および考察

4.1 変換表作成

JIS X0208:1983(83JIS)の文字テーブルには、6,877文字が存在する⁴⁾。本手法では、この全文字を構成ドット数により並べ替え、輝度文字変換表を作成した。本実験では、黒背景に白文字のアスキーアート

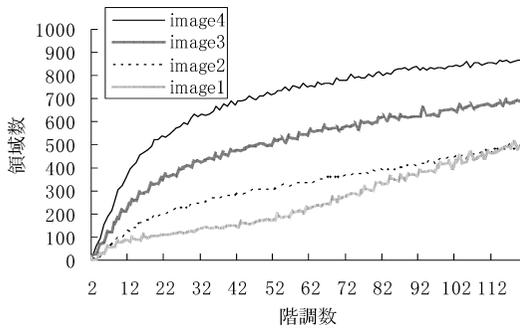


図 8 各画像の領域数

Fig. 8 Number of areas on the experimental images.

ジェクト数はそれぞれ Image1=1, Image2=3, Image3=8, Image4=21 である。

4.3 階調数

変換処理における階調数の変化が、縮小および減色した画像の独立領域数と画質にどのような影響を与えるのか被験者 A から G の 7 名の観察により検証した。

4.3.1 実験

観察は机上のディスプレイ (LCD) から目を 50 cm 以上離れたうえで、被験者が画面を見やすい姿勢で行われた。使用した PC は Let's note CF-R3, LCD のサイズは 10.4 inch, 解像度は $1,024 \times 768$ である。すべての実験を通じて同一の PC を使用した。

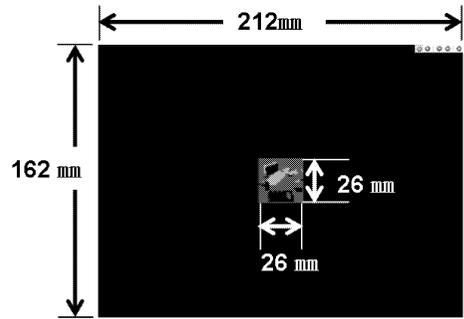
- (1) 図 7 の入力画像 Image1~4 をそれぞれ $g=2 \sim 120$, $n=4$ の画像に変換し、それぞれの独立領域数を調べた。この結果を図 8 に示す。
- (2) 本実験では、観察を容易にするため縮小画像を 4 倍のサイズとした。表示サイズは $26 \text{ mm} \times 26 \text{ mm}$ であった。表示状態の例を図 9 に示す。被験者に、各縮小画像を $g=2$ から $g=120$ のものまで昇順に観察させた。すなわち、異なる階調数で減色した画像を連続 (コマ送り) で提示し、「表現されている内容が分かりはじめたと感じた」時点の階調数 (g) を記録した。こうして得た g の平均値を表 1 に示す。

4.3.2 階調数と領域数に関する考察

図 8 の結果から、階調数と独立領域数には比例関係が存在することが分かる。一方、埋め込み情報量は入力された画像の独立領域数に比例する (3.3 節)。このことから、アスキーアートの作成において情報の埋め込み可能容量を多くしたいならば、できるだけ階調数を高く設定すればよいといえる。また、この関係は入力画像の複雑さに依存しないことも明らかである。

4.3.3 領域数と出力画質に関する考察

各オブジェクトに含まれる領域数を調べると、図 10



実験時の画面表示状態

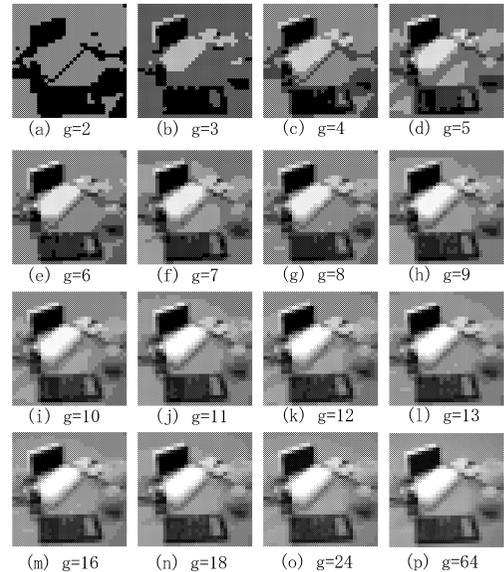


図 9 縮小画像の例 (Image3, $n=4$)

Fig. 9 Examples of the reduction image (Image3, $n=4$).

表 1 表現内容が理解できる平均階調数

Table 1 Threshold of glades for recognition.

	Image1	Image2	Image3	Image4
平均階調数	15.14	14.14	14.86	19.86

の結果が得られた。この結果から、画面中のオブジェクトが多い画像ほど、1 つあたりの領域数は少なくなり、オブジェクトが少なければ、領域数は多くなる傾向が分かる。1 つあたりの領域数が多いということは、縮小画像中でそのオブジェクトの占める割合が多いことになる。

本実験の際、Image4 についてのコメントで、「何かの絵としての全体像は分かるが、細部が分からない部分が多すぎる」といった意見を多く得た。Image4 は画像全体としての領域数は多いが、オブジェクト 1 つあたりの領域数は Image1~4 のうちで最も少ない。すなわち、このコメントは、領域数の少なさに起因した

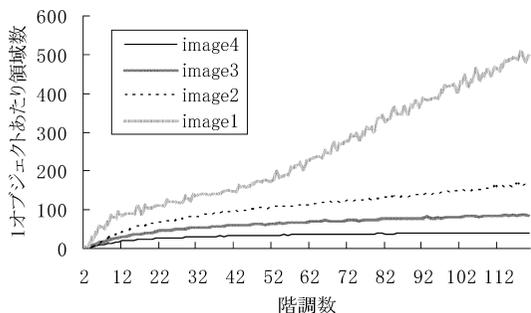


図 10 オブジェクトに含まれる領域数
Fig.10 Number of areas on the object.

複雑な部分に対する表現力の不足によるものと考えられる。

入力画像をどれだけ表現できているかをアスキーアートの画質とした場合、縮小処理によりオブジェクトの情報が大きく損なわれると高い画質は見込めない。つまり、Image4 のような画像はオブジェクト 1 つあたりの領域数が少なく（複雑であり）画質の低いアスキーアートを出力することになる。一方、オブジェクト 1 つあたりの領域数が多い（複雑でない）画像を入力とすると、画質の高いアスキーアートを作成できるといえる。

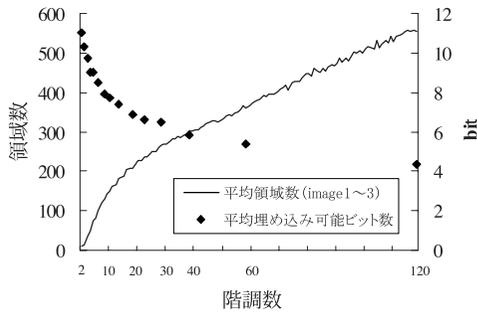
4.3.4 階調数と出力画質に関する考察

Image4 を除く Image1 ~ 3 の 3 種の縮小画像に関する表 1 の結果は、約 $g=14 \sim 15$ の範囲に収まっている。一般的に、画像内の各オブジェクトの見え方に変化がなくなり、各オブジェクトを認識できた時点から階調数を上げてても大きな変化は現れず、良くなることはあっても悪くなることはない。このことから、複雑でない図 7 (a) ~ (c) のような画像は最低 16 階調以上で処理すれば、各オブジェクトを認識できることになる。また、アスキーアートは縮小画像の画素をキャラクタに置き換えたものであるため、その画質評価は縮小画像の評価に比例する。本実験用画像（図 7）の場合、画質の高いアスキーアートを作成するためには、階調数を 16 以上に設定することが必要である。これまでの考察から、階調数を高めることにより画質の向上と領域数の増加を同時に達成できることになる。

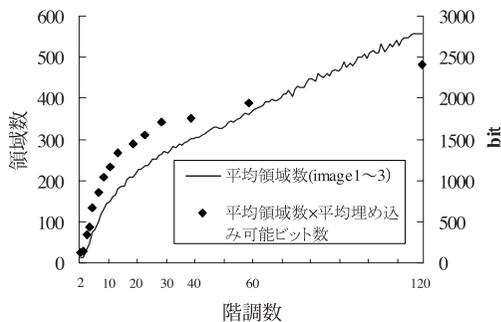
4.3.5 変換表作成に関する考察

本実験の結果から、階調をできる限り高くして処理を行うことが、領域数の増加と画質の向上に有利であることが分かった。次に、階調数の上限とその変化に応じた変換表の作成法について考察する。

今回使用した JIS X0208:1983 の文字空間において、ドット数に注目した文字のパターンは 119 である。提



(a) 平均埋め込み可能ビット数



(b) 平均埋め込み可能情報量

図 11 領域数と埋め込み可能情報量

Fig. 11 Relationship of embedded bits to areas with brightness.

案方式で、この文字空間をアスキーアートに用いた場合、119 階調より多くの階調を厳密に表現できない。また、階調数を増やすと各階調あたりの文字数が減り、各階調あたりの埋め込み可能ビット数が低下する。また、変換表にできるだけ多くの文字を用いるには、119 では端数が生じるため非効率である。そこで、ドット数 4 の列（該当文字数 3）から 1 つの文字を選び、これをドット数 3 の列（該当文字数 0）に移してドット数 3 の文字として扱うことにより、パターンを 120 に拡張した。これにより、多くの階調数を設定できるようになる。ただし、アスキーアート配布先への変換表配布もしくは操作の内容をあらかじめ伝える必要がある。このような特別な置き換えテーブルを鍵として不正な解釈を困難にすることもできる。

120 の約数である階調数 ($g=\{2,3,4,5,6,8,10,12,15,20,24,30,40,60,120\}$) について、1 階調あたりの平均埋め込み可能ビット数を調べた結果を図 11 (a) に示す。また、その値と Image1 ~ 3 の平均領域数（図 11 (a), (b)）の積、すなわち平均埋め込み可能情報量は図 11 (b) のようになる。これらの結果から、 g の増加にともない 1 階調あたりの平均埋め込み可能ビット数が低下する一方、領域数は増大するため平均埋め込み可能情報量が低下せず増加していることが分

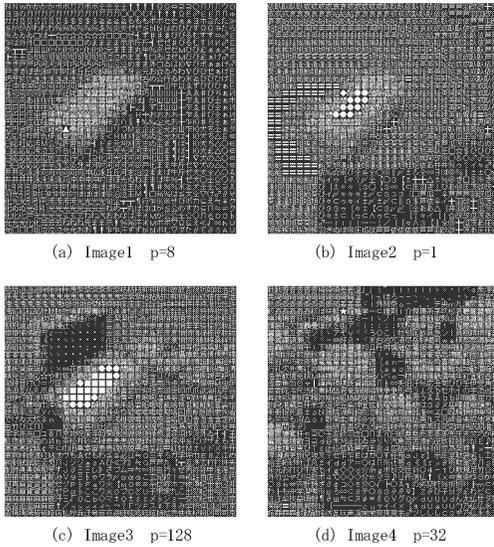


図 12 出力例 ($g=120, n=4$)

Fig. 12 Examples of ascii-art ($g=120, n=4$).

かる．よって、変換表のサイズに制限がないならば、階調数を上げることは埋め込み可能情報量の増加に有利であるといえる．

4.4 文字数

情報埋め込みによるアスキーアートの品質劣化について検証した．さらに、埋め込む文字数と画質の関係についても実験した．

4.4.1 実験

実験方法は次のとおりである．領域数に関する実験と同様に、観察は机上のディスプレイ (LCD) から目を 50 cm 以上離れたうえで、被験者が画面を見やすい姿勢で行わせた．アスキーアートの画面上でのサイズは 11 cm × 11 cm であった．

- (1) $g=120, p = \{1,2,8,32,128\}$ の変換表を作成する．
- (2) それぞれの変換表を用いて Image1~4 を入力としたアスキーアートを作成する．
- (3) Image1~4 が入力で、 $p=1$ の情報が埋め込まれていないアスキーアートをあらかじめ提示し、この表示状態を基準とした．
- (4) $p = \{1,2,8,32,128\}$ のアスキーアートをランダムに提示し、それぞれを評価させた．評価の基準は「1: とても悪い, 2: 悪い, 3: 同様である, 4: 良い, 5: ととても良い」とした．このとき、評価の基準に用いた $p=1$ のアスキーアートも評価させた．

これによる出力の例を図 12 に示し、情報埋め込み量と被験者 A から G の 7 名による各評価値およびそ

表 2 アスキーアートの評価および情報埋め込み量
Table 2 Relationship of MOS and p .

	p	examinee							MOS	bits
		A	B	C	D	E	F	G		
Image1	1	2	2	2	4	3	2	3	2.57	0
	2	3	2	2	2	3	2	2	2.29	486
	8	1	1	2	3	3	2	4	2.29	1,451
	32	1	2	1	3	3	1	3	2.00	1,988
	128	1	1	1	3	3	1	2	1.71	2,053
Image2	1	2	3	2	3	3	3	4	2.86	0
	2	2	2	2	3	4	3	3	2.71	465
	8	2	1	2	2	3	2	2	2.00	1,376
	32	3	1	2	3	3	3	2	2.43	2,114
	128	1	3	2	2	4	2	2	2.29	2,462
Image3	1	3	3	2	3	3	3	3	2.86	0
	2	3	2	2	4	4	3	3	3.00	660
	8	3	3	2	3	4	3	3	3.00	1,959
	32	4	3	1	4	4	3	3	3.14	2,993
	128	5	3	1	4	4	3	4	3.43	3,506
Image4	1	2	2	4	3	3	3	3	2.86	0
	2	3	3	4	2	4	3	3	3.14	854
	8	4	3	4	3	3	3	4	3.43	2,503
	32	4	4	4	4	5	3	4	4.00	3,726
	128	4	4	3	4	4	3	4	3.71	4,297

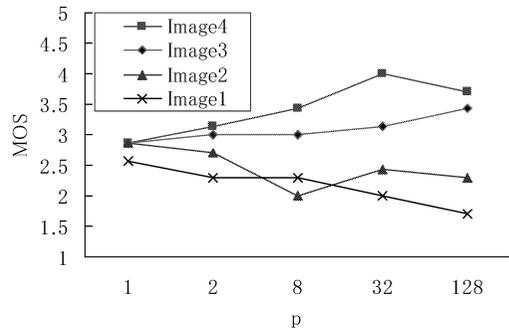


図 13 MOS
Fig. 13 MOS.

の平均値 MOS (Mean Opinion Score) を表 2 に示した．また、MOS について図 13 にグラフを示す．

4.4.2 使用文字数に関する考察

本実験の結果、Image1 および 2 と、Image3 および 4 とで異なる傾向が見られた．まず、オブジェクトが多く複雑な画像を入力とすると、画質の評価は埋め込みされていないものより高く、使用文字数が増えるほど評価が高くなった．一方、画面構成が単純になると、埋め込みされていないアスキーアートに比べ画質評価が低下し、使用文字数の増加に評価が反比例した．このことから、オブジェクト 1 つあたりの領域数が多くどんなオブジェクトであるのか分かりやすい場合は、文字数を増やすことが画質の劣化につながる事が明らかである．また、オブジェクト 1 つあたりの領域数が少なくどんなオブジェクトなのか不明確なときは、

文字数を増やすことにより画質が向上することも分かる。このように、文字数の増大にともない画質に変化が生じる原因として、変換表を作成する際に文字の形状を考慮していないことがあげられる。たとえば「|」「」」「/」のように、同じ濃度であっても字形が明らかに異なる文字がある。このような文字がランダムに現れると、理論上は、同じ濃度でも画像全体としてのテクスチャ変化が大きくなる。すなわち、オブジェクト1つあたりの領域数とテクスチャ変化の関係が画質に影響を及ぼしていると考えられる。したがって、画質の変化を抑えたい場合には、「ボ」「ボ」「木」のように濃度と字形が似通った文字のみを使用すればよい。本研究では、埋め込み情報量の増大に関する考察を重視したため、文字の取捨選択は行っていない。今後は、入力画像の特徴を考慮したうえで、情報埋め込み量と画質の要求性能に合わせた使用文字数の設定が必要と考えている。

5. おわりに

本研究では、アスキーアートへ情報埋め込み方式を提案し、その出力画質の向上と埋め込み可能容量の増大を試みた。その結果、減色処理時の階調数を高めることにより領域数と画質を同時に向上できることが分かった。また、2,048 byteのアスキーアート (Image3 の出力) に対して最大 438 byte (約 21%) の情報を埋め込んでもその品質を損なわないことが分かった。画質に関する評価では、入力画像の複雑さが画面中のオブジェクトの数および形状に比例していること、さらに各オブジェクトあたりの領域数が画質に影響を及ぼすことを実験により確かめた。

本提案手法を用いれば、従来のアスキーアートでは困難だった属性情報 (作品名, 作者, 表現対象の説明など) を作品そのものに付加できる。ただし、ステガ

ノグラフィや電子透かしとして使用する場合には、その秘匿性や頑健性に関する検討と改善が必要である。今後は、オブジェクト数が少ない場合の画質改善および入力画像の複雑度と出力の画質や、本手法の秘匿性および頑健性についてさらに検討する予定である。

参考文献

- 1) デジタル画像処理編集委員会監修: デジタル画像処理, CG-ARTS 協会 (2004).
- 2) 松井甲子雄: 電子透かしの基礎, 森北出版 (1998).
- 3) 中川裕志, 滝澤 修, 井上伸吾: ドキュメントへのインフォメーションハイディング, 情報処理, Vol.44, No.3, pp.248-253 (2003).
- 4) JIS X 0208:1983, 日本規格協会 (1983).

(平成 17 年 6 月 2 日受付)

(平成 18 年 1 月 6 日採録)



木綿麻実路 (学生会員)

1978 年生。2001 年防衛大学校情報工学科卒業。2004 年防衛大学校理工学研究科情報数理専門入校。情報ハイディングに関する研究に従事。



岩切 宗利 (正会員)

1970 年生。1993 年防衛大学校情報工学科卒業。1998 年防衛大学校理工学研究科情報数理専門卒業。1999 年防衛大学校情報工学科助手。2005 年同講師。博士 (工学)。マルチメディアと情報セキュリティに関する研究に従事。電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, 画像電子学会各会員。