

平滑化操作によるアニメーション画像符号化の検討

中神 央二[†] 宮澤 敏記[†] 渡辺 裕^{††} 富永 英義^{†,††}

[†] 早稲田大学 理工学部 電子情報通信学科
〒 1169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1
^{††} 早稲田大学 大学院 国際情報通信研究科
〒 169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10

E-mail: †{ouji,miyazawa,tominaga}@tom.comm.waseda.ac.jp, ††hiroshi@giti.waseda.ac.jp

あらまし 本研究では、アニメーション画像の特性に着目し、画像に含まれる線要素及び輪郭形状の情報を符号化する方式に関する検討を行う。本稿では、従来手法における背景領域からの均等色領域誤抽出の問題を解決するため、符号化に際しての形状情報及び背景画像の抽出手法を見直した。すなわち、背景部分に残された均等色領域を抽出することで、有意点のみでアニメーション画像を符号化することを目指した。これを実現するため、エッジを保存する平滑化操作を用いた。また、平滑化により失われた情報を補うため、抽出された均等色領域における元画像との差分情報を、DCTにより符号化することを提案した。

キーワード 画像符号化, アニメーション映像, 平滑化操作, 領域抽出, 差分画像

A Study On Animation Image Coding By Smoothing Operation

Ouji NAKAGAMI[†], Toshinori MIYAZAWA[†], Hiroshi WATANABE^{††}, and Hideyoshi TOMINAGA^{†,††}

[†] Department of Electronics, Information and Communication Engineering, Waseda University
Okubo 3-4-1, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555 Japan

^{††} Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University
Nishiwaseda 1-3-10, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 Japan

E-mail: †{ouji,miyazawa,tominaga}@tom.comm.waseda.ac.jp, ††hiroshi@giti.waseda.ac.jp

Abstract We proposed a coding scheme specially designed for animation images. Considering about characteristics of animation images, we try to extract lines and homogeneous color regions from animation images. There are two issues to improve this coding scheme. Firstly, animation images are not only represented by lines and homogeneous regions, but also background regions. Conventional approach uses DCT to encode background regions because it is usually smooth like natural images. We use smoothing operator and region-growing algorithm jointly for this purpose. The region-growing algorithm extracts homogeneous color regions correctly than the conventional approach. Secondly, compensating scheme for loss by smoothing operation is considered. We propose to use DCT for the difference between the original images and the approximated images because luminance signals of the difference contain smooth changes. High-quality images can be obtained by adding this differential data to approximated images that are created by homogeneous color regions and line drawings.

Key words Image coding, animation image, smoothing operator, region extraction, different image

1 はじめに

アニメーション映像は、毎日数多くの作品がTVで放送され、また、ビデオ化、DVD化されている。子供から大人まで楽しめるコンテンツも多く、幅広い世代で人気のあるコンテンツである。

アニメーション映像の特徴として、線画やべた塗りで描かれている部分が、多く含まれることが挙げられる。すなわち、線画の境界や均等色領域の輪郭部分で、エッジが多く存在するといえる。アニメーション映像に対し、高圧縮、低ビットレートの伝送を目的として、従来の周波数分解による符号化を行うと、特にエッジの部分で品質が損なわれるという問題点がある。

そこで、本研究では、アニメーション映像の特性に着目し、周波数分解による符号化ではなく、画像に含まれる線要素及び輪郭形状の情報を符号化する方式に関する検討を行っている。

本稿では、符号化に際しての従来の方式におけるアニメーション映像の分類を見直し、1. 画像平滑化手法による画像全体からの均等色領域の抽出、次に2. 抽出された均等色領域における元画像との差分情報のDCTによる符号化を提案する。

2 従来手法について

先行研究 [1][2] では、アニメ映像を線画、均等色領域、背景の3つの領域に分類している。図1に先行研究における、アニメーション映像符号化の流れ図を示す。

一般にアニメーション映像を作成する際には、水彩画で描かれた背景の上に、セル画によるキャラクタを重ねて撮影される。セル画の部分は、動きを表現するため枚数が多いという都合上、通常は線画とべた塗り部分で表現される。

アニメーション映像を、DCTで符号化する際に相性が悪いのは、主にセル画の部分であるといえる。線画や均等色領域の輪郭部分で、輝度・色差が激しく変化するため、多くの高周波成分が存在する。高い圧縮率を得るため、DCT変換後の係数を量子化した場合、エッジ周辺の高周波成分が失われ、復号時にモスキートノイズとして画質劣化を招く。

そこで、エッジ(線)はスプライン関数で近似し、べた塗り部分を検出した均等色領域は、その輪郭について同じく近似することを提案している。また、ここで言う背景とは、線やべた塗りとして検出できなかった部分を指す。

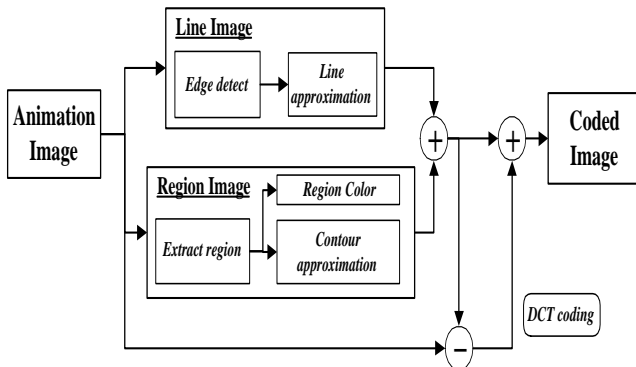


図1 従来方式による符号化

この手法の問題点として、均等色領域の検出に用いる領域成長法では、本当に純粋なべた塗り領域以外も検出してしまうことがある。

2.1 領域成長法

ここで用いられている領域成長法について、アルゴリズムを述べる(図2参照)。

1. 種となる一点から始まり、その近傍の点を閾値処理で判断していき、ほぼ同じ色情報をもつならば統合する。
2. 統合した際、色情報は領域内の全画素の平均値に更新する。
3. 領域に隣接する画素の近傍についても、1と同様の閾値判断をし、領域を広げていく。
4. 1~3を繰り返す。
5. 領域の成長が止まれば、まだ領域に含まれていない点を種とする。

以上により、画像中から均等色の領域が検出される。

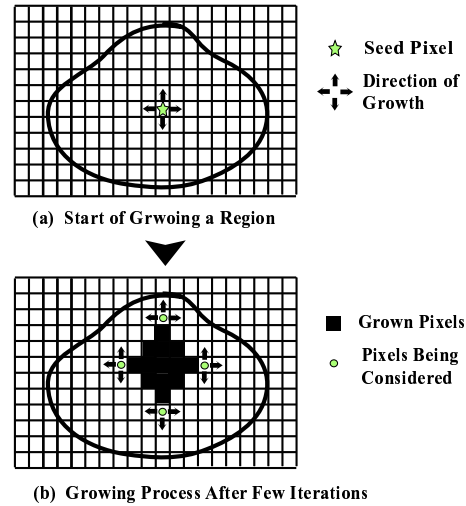


図2 領域成長法

2.2 従来方式の問題点

アニメーション映像に、直接領域成長法を用いることで、均等色領域として抽出すべきキャラクタ部分以外でも、一部を誤抽出してしまう。つまり、背景部分であっても比較的似た色ならば領域成長法で検出される。



©The Dog of Flanders Prod.

図3 背景領域の誤検出

その問題点として、

1. 誤抽出された領域は一般に複雑な形状をしており、直線とスプライン曲線による近似が難しく、データ量が増えること、

2. DCT で符号化するべき領域の定義が曖昧で、方式が統一されていないことが挙げられる。

3 提案方式

本稿では、アニメーション画像にべた塗りの領域が多く存在することに着目し、画像全体を、均等色領域の集合で表現することを提案する。これにより、従来手法における背景領域の誤抽出という問題を解決する。

アニメーション画像における背景領域は、自然画に近い性質をもつため、領域成長法のみでは全ての背景領域を均等色領域として抽出することが不可能である。提案手法では、前置処理として平滑化を用いることで、背景領域におけるグラデーションや、テクスチャ情報等均等色領域として抽出できない情報を消去する。この後に領域成長法を用いることで、べた塗りの部分ではない背景領域からも、近似された均等色領域を抽出することが可能になる。

すなわち、アニメーション画像中で、べた塗りで描かれている部分からも、背景領域として描かれている部分からも、均等色領域を抽出することが可能になる。

本方式の利点は、画像全体を統一した方式で扱えることである。従来手法においては DCT で扱うとする背景領域と関数近似を用いて符号化する領域の区別が曖昧であったことを指摘したが、本手法で抽出した領域と線画を併せたものに関数近似を行うことで、画像全体を、有意点のみで符号化できる。

提案方式での符号化アルゴリズムを図 4 に示す。アニメーション画像を、線画と均等色領域のみで表現する基本レイヤと、平滑化により失われた情報を補うための付加的なレイヤの、2 層で符号化するものとする。

第 1 層で符号化される情報は、画像中の形状の有意点情報と、各均等色領域内の色情報のみなので、符号化される情報量は少ない。しかし、全体を均等色領域として近似することにより、背景領域を多く含むような画像では符号化品質が損なわれる。そこで、さらに差分情報を加えることで、背景領域の均等色近似による誤差を補う。

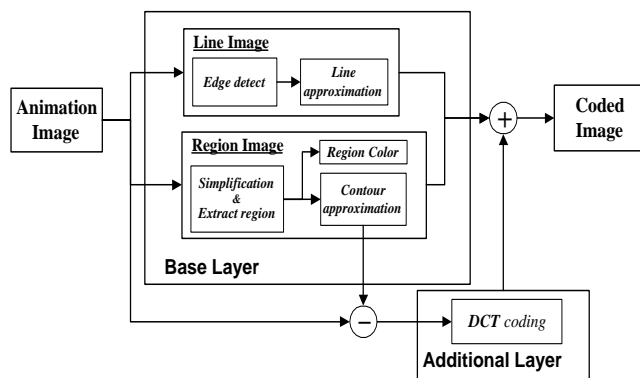


図 4 提案方式による符号化

4 画像平滑化手法による均等色領域抽出法の検討

画像の平滑化操作のために、従来のローパスフィルタに代表される線形フィルタを用いると、エッジの部分まで平滑化される（図 5 参照）アニメーション画像に多く

含まれるエッジが平滑化されると、品質が著しく損なわれることになる。そのため、エッジ情報は保存されたまま、領域内のみ平滑化されるような操作が必要となる。

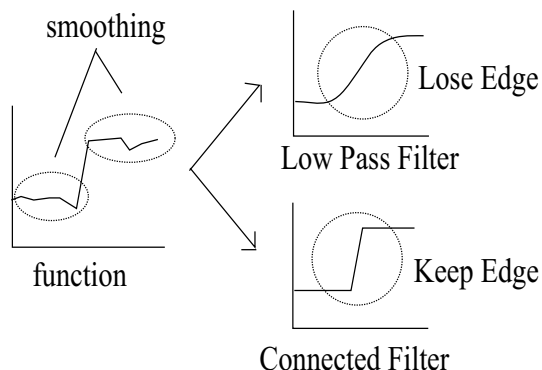


図 5 フィルタによる平滑化

4.1 Connected Filter を用いた平滑化

以上の要件を満たす平滑化フィルタの一つとして、Connected Filter を用いたものが挙げられる [4]。Connected Filter では、Flat-zone という概念を導入することで、元画像におけるエッジ成分を完全に残すことを可能とした。このフィルタをアニメーション画像に対して用いる利点は、べた塗り領域は平滑化することなく、主に背景領域に対して平滑化を行うことができることにある。

4.1.1 Flat-zone

それぞれの画素について近傍を調べ、同じ輝度値を持つ画素を結合した領域のことを Flat-zone とよぶ。仮に同じ輝度値の画素が 4, ないし 8 近傍にない場合は、その点は、一点でも Flat-zone とする。

図 6 に、各 Flat-zone を色分けして表示させたものを示す。

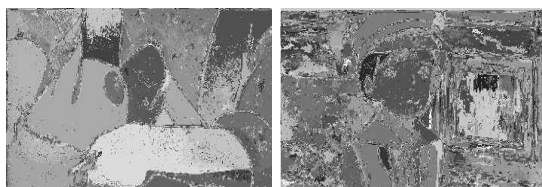


図 6 視覚化した Flat-zone

Flat-zone の統合処理は、隣り合う Flat-zone の大きさ、輝度値の差を判断することで行う。ここで用いたのは、判断基準に対する Flat-zone の半径と、繰り返し回数をパラメータとして、モルフォロジー処理を行うものである。

4.2 Connected open and close

モルフォロジー処理において、Open and Close 処理は、孤立点の除去に用いられるが、それだけでは輝度値の連結性を考慮していないため、グレースケール画像に対する平滑化に適さない。

そこで、構成要素に式 (1),(2) のように 4 ないし 8 近傍の連結性を持ったものを用いる。これにより孤立する Flat-zone の統合処理が可能になる。孤立する Flat-zone を消去すれば領域内のみを平滑化することができる。

$$B_4(r) = (x_1, x_2) \in Z^2 : |x_1| + |x_2| \leq r \quad (1)$$

$$B_8(r) = (x_1, x_2) \in Z^2 : \max(|x_1|, |x_2|) \leq r \quad (2)$$

Connected Filter の処理結果を図 7 に示す．図中，白線部において，平滑化処理前と後の，輝度値の変化をグラフにしたものを図 8 に示した．横軸が X 座標，縦軸が輝度値である．エッジを保ったまま平滑化が行われていることがわかる．



図 7 Connected Operator によるフィルタの適用

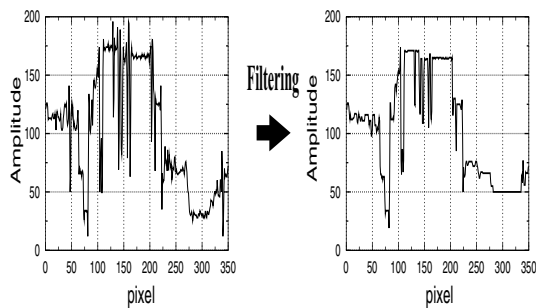


図 8 X 軸の断面

この結果に対し，領域成長法を用いることで，背景部も，ある程度の大きさの領域として抽出が可能になり，画像全体を均等色領域の集合として表現できる．

4.3 実験結果

2 種類のアニメーションコンテンツから，背景領域の簡単なものと複雑なもの計 4 画像に対して，提案手法による符号化実験を行った．実験条件を次に示す．実験結

表 1 実験条件

テスト画像	dog1,dog2,anpanman1,anpanman2
画像フォーマット	4:4:4 format
	輝度信号：352[pixel] × 240[line]
	色差信号：352[pixel] × 240[line]
色空間	YCbCr

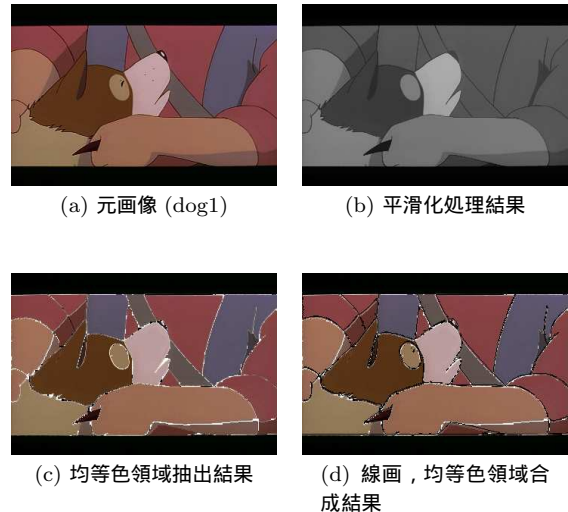
果を図 9 から図 12 に示す．

Connected Filter による領域内のみで，エッジが失われない平滑化を行ったので，dog1 や anpanman1 といったほぼ均等色領域のみで描かれている画像においては，ほとんど影響を受けない(図 9(b)，図 11(b))．一方，dog2 や anpanman2 における複雑な背景領域においては，平滑化の結果が顕著に見られる(図 10(a) 図 10(a))．

均等色領域の抽出に関しては，dog2 など一部小さな領域において抽出できない部分が残っている．しかし，概ね他の画像に対しては，線画部分を除いた画像全体からの領域抽出に成功している．

5 差分情報の DCT による符号化

前章で述べた平滑化手法を用いて，画像全体から均等色領域を抽出することにより，線画と均等色領域の集



©The Dog of Flanders Prod.

図 9 背景領域がない画像



©The Dog of Flanders Prod.

図 10 複雑な背景領域を含む画像

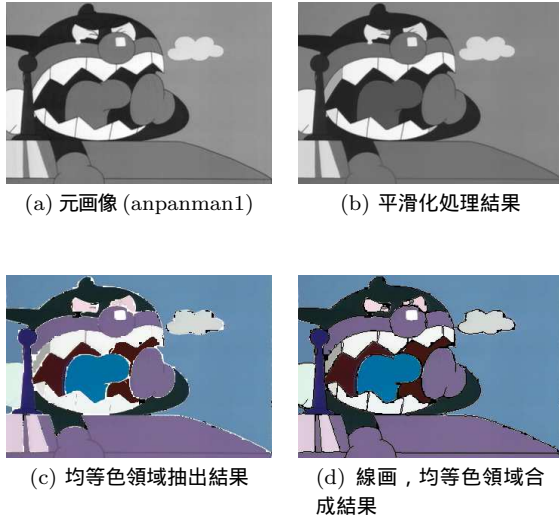
合によりアニメーション画像を符号化することが可能になった．しかし平滑化操作を用いることにより，符号化された画像は，特に背景領域に関して，領域内部のテクスチャ情報が失われているという問題点がある．

本章では，前章の失われたテクスチャの情報を補うことについて考察を行う．

5.1 差分情報の位置づけ

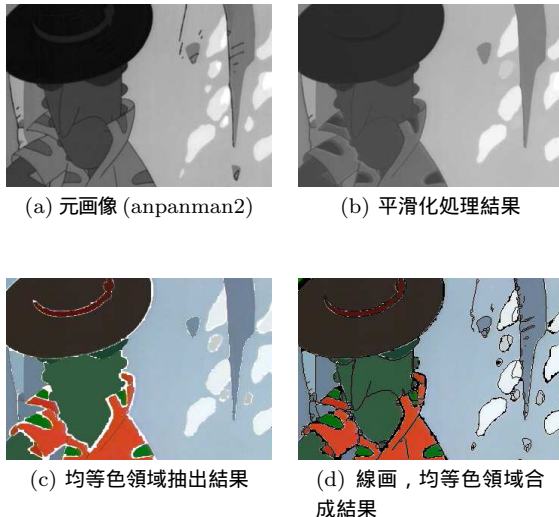
元画像と，線画や均等色領域を合成したものの差を，差分画像と定義する．差分画像には，主に平滑化により失われた，比較的高い周波数成分を持つ情報が含まれる．このような画像には，周波数成分に着目した符号化方式が適しているといえる．

この差分画像を，先に作成した線画や均等色領域による画像の上のレイヤー，すなわち付加的な情報としておくことで，符号化品質を高めることが可能になる．さらに，符号化画像の階層を分けることで，ユーザが目的に応じて符号化量と品質の制御を行うことも可能になる．



©やなせたかし/フレーベル館・TMS・NTV

図 11 単純な背景領域を含む画像



©やなせたかし/フレーベル館・TMS・NTV

図 12 複雑な背景領域を含む画像

5.2 DCT による符号化の妥当性

まず、差分を DCT で符号化することの妥当性について述べる。

領域内のみに着目すれば、

1. 均等色領域として直流成分を別に保存しているためブロックノイズが現れにくいこと
2. 差分情報は大きなエッジを含まず、モスキートノイズの原因となりにくいこと

が挙げられる。

ブロック歪 ブロック歪は、低周波係数（主に直流成分）の量子化誤差により生じる。差分情報の場合、均等色領域内の色情報として、直流成分は別に確保しているため、ブロック歪は発生しにくい。

モスキート歪 差分情報においても、ブロックが均等色領域の輪郭を含むような場合、エッジが存在することに

なるので、量子化によりモスキート歪が発生する可能性がある。

関連研究 [5] では、SIC (Segmented image coding) による符号化の一環として、画像をセグメントに分割する方法と、さらにそれぞれのセグメントの上に DCT で情報を付加する方法を提案している。但し、[5] の場合、輪郭にまたがる DCT ブロックでは一切符号化せず、また、輪郭以外の領域上の全てのブロックに対して差分を符号化している。

しかし、デコード時に差分を符号化したブロックと符号化していないブロックでは、品質の差がはっきりと現れるため問題がある。この問題を解決するため、提案手法では、パディング処理を行いモスキート歪を回避することで、輪郭を含むようなブロックにおいても符号化を行う。

5.3 差分情報の符号化

始めに、差分情報の符号化方法について述べる。差分情報は、元画像と、線画・均等色領域による近似画像の差全体を 1 つの画像として扱うのではなく、各均等色領域について元画像との違いを求め、さらに、それらをブロック単位で扱う。

1. 差分画像を 8×8 画素のブロックに分割する。
2. 近似した均等色領域の一つ一つについて、上にかかるブロックを調べる。
3. 該当するブロックにおいて、均等色領域と元画像の差分を式 (3) で求める。

$$Diff(i, j) = Pixel_{orig}(i, j) - Pixel_{homo}(i, j) \quad (3)$$

5.3.1 均等色領域の輪郭部を含む領域における処理

均等色領域の輪郭を含むブロックにおいても、差分情報を符号化する。抽出された領域が、 8×8 画素のブロックより小さい場合や、複雑な形状をしており差分画像に輪郭を含むブロックが多く含まれる場合に効果がある。

ただし通常の DCT、量子化という手順により符号化を行った場合、差分画像においても、輪郭を含むブロックではモスキートノイズが発生する。ブロック中において、均等色領域ではない部分と元画像の差がエッジとなるからである。

そのため、パディング処理を行うことでこの問題を解決する。パディングとは、情報を含まない部分でも差分に近いダミーの情報を詰め込むことである。

パディング処理 ブロック内で色信号に大きな差があると、DCT 変換による高周波成分が増加し、画像復元時にノイズとして現れる。

このため、比較的差分画像の値に近い、偽の値を、画像のない部分に詰め込むことを行う。これにより、DCT 変換を行った周波数領域でのブロック情報を低周波成分に集めることが可能になる。図 13 に、パディング処理の様子を示す。

5.3.2 差分の大きいブロックの優先的符号化

各差分ブロックについては、全てを符号化するのではなく、含まれる情報の絶対値が大きいものから優先的に符号化していくものとする。

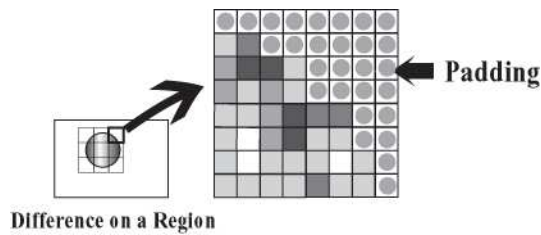


図 13 パディング処理

差分情報は、色と形状の正確な近似が行われている部分においては、その絶対値が小さいものと考えられる。すなわち、キャラクタなど元画像においてべた塗りの部分を近似した領域については、均等色領域による近似の誤差が小さい。このような領域は、差分を DCT で符号化したとしてもその効果は薄い。一方、平滑化操作を行った背景領域では、元々均等色領域ではない訳であるから、この部分でのブロックにおいて差分情報が多く含まれる。

従って、差分情報の絶対値が大きいブロックから優先的に符号化を行えば、より効率よく差分情報を補うことができる。

5.4 実験結果

図 14 に差分を符号化した場合の実験結果を示す。横軸は符号化ブロック数、縦軸は式 (4) により求めた符号化誤差である。

$$Error = \sum_{i=0}^{x_size-1} \sum_{j=0}^{y_size-1} \frac{abs(Pixel_{orig}(i,j) - Pixel_{homo+dct}(i,j))}{x_size \times y_size} \quad (4)$$

従来手法では、線画、均等色領域として抽出できなかった領域を DCT により符号化するブロックとするため、一点となる。誤検出した背景領域の近似誤差により、符号化誤差が大きい。

提案手法において、符号化差分ブロックが増加すると、誤差の減少の割合は緩やかになる。これは、元画像でのべた塗り領域上における差分情報を補っているため、差分情報自体が少なく、補正の効果が薄いからと考えられる。

また、背景領域が特に複雑である dog2 では、均等色領域の多い dog1, anpanman1 に比べ、差分ブロック補正が行われない場合の誤差が大きい。従って、このような画像では、付加レイヤの必要性が高いといえる。

6 まとめ

高圧縮を目的に画像全体を領域に分割し各輪郭を関数近似により表現するための前置処理について述べた。さらに、近似により失われた差分情報を補正するための DCT 変換という方式により、アニメーション画像を階層的に符号化するための検討を行った。

今後の課題として、線画に対する関数近似手法の精度向上により、有意点情報による符号化品質を高めることが必要と考えられる。

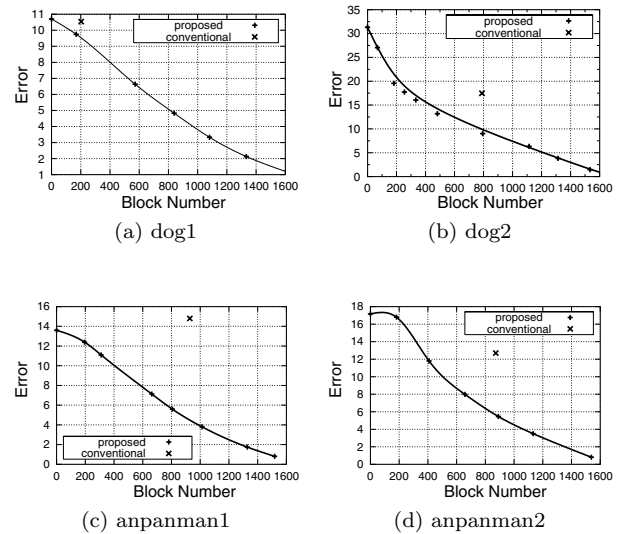


図 14 符号化した差分ブロック数と誤差

謝辞

本稿で実験に用いた画像の一部は、日本テレビ放送網株式会社のご好意によりお借りしました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 古角, 渡辺, 小林, "スプライン/DCT ハイブリッド符号化方式を用いたアニメーション映像における領域抽出の一検討," 信学技法, pp. 23-30, Nov.(1999)
- [2] 古角, 渡辺, 小林, "アニメーション映像における領域抽出の一検討," 画像符号化シンポジウム (PCSJ99), P-3.15, Sep.(1999)
- [3] 宮澤, 亀山, 渡辺, 阪谷, 富永, "アニメーション画像符号化の基礎検討," 通信学会総大会, pp.66, D-11-66, Mar.(2001)
- [4] P. Salembier and J. Serra, "Flat Zones Filtering, Connected Operators, and Filters by Reconstruction," IEEE Transactions on image processing, Vol.4, No.8, pp.1153-1160, Aug.(1995)
- [5] C. A. Christopoulos, W. Philips, A. N. Skodras, J. Cornelis, "Segmented image coding: Techniques and experimental results," Signal Processing:Image Communication, pp.63-80, Nov.(1997)
- [6] 森, 和田, 寅市, "関数化図形表現を用いた紙文書のデジタル化," 情報処理学会研究報告 Vol.99, No.57, pp.17-23, Jul. (1999)
- [7] 斉藤, 穂坂, "拡張した 2 次有理 Bezie 曲線の性質とその曲線近似法への応用," 情報処理学会論文誌, Vol.31, No.01, pp.33-41, Jan. (1990)
- [8] U.Ramer, "An iterative procedure for the polygonal approximation of planar curves," Computer Graphics and Image Processing Vol.1, pp.244-256 (1972)