

アニメーション画像符号化における輪郭線抽出と近似方式の検討

宮澤 敏記¹⁾ 亀山 涉²⁾ 渡辺 裕²⁾ 阪谷 徹³⁾ 富永 英義^{1),2)}

¹⁾ 早稲田大学 理工学部 電子・情報通信学科

〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

miyazawa@tom.comm.waseda.ac.jp

²⁾ 早稲田大学 国際情報通信研究センター

〒169-0051 東京都新宿区西早稲田1-21-1 早大西早稲田ビル5階

³⁾ NTT サイバースペース研究所

〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘1-1

あらまし

アニメーション画像には、線画・境界線といった高周波成分が多く含まれるため、MPEGやJPEGなどのDCTをベースとした符号化方式では、高域まで分散した係数パワーがモスキートノイズとしてエッジ周辺に現れるという問題が指摘されている。そこで、高周波成分の要因となる線画及び均等色(ベタ塗された)領域の境界線を抽出し、また抽出した領域以外を背景領域と定義し、各領域に最適な符号化手法の開発を目指している。本稿では、均等色領域を抽出する際に、境界付近に存在するアンチエイリアスによって均等色領域抽出が不完全になってしまう点に着目し、改善手法を考案した。また、線情報符号化方式の改善点として、輪郭線(線画・境界線)を分岐点毎に線要素に分割し、各線要素に適した符号化方式を線長及び線種(直線・曲線)に着目して検討、評価を行った。

キーワード 画像符号化, アニメーション, スプライン曲線, 線画, 均等色領域, 背景

A Study on Contour Extraction and Approximation methods for Animation Image Coding

Toshinori MIYAZAWA¹⁾ Wataru KAMEYAMA²⁾ Hiroshi WATANABE²⁾ Toru SAKATAN³⁾ Hideyoshi TOMINAGA^{1),2)}

¹⁾ Dept. of Electronics, Information and Communication Engineering, WASEDA University

3-4-1 Ohkubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555 JAPAN

miyazawa@tom.comm.waseda.ac.jp

²⁾ Dept. of Global Information and Telecommunication Institute, WASEDA University

Nishi-Waseda Bldg. 5th floor 1-21-1 Nishi-Waseda, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 JAPAN

³⁾ NTT Cyber Space Laboratories

1-1 Hikarino-oka, Yokosuka, Kanagawa 239-0847, JAPAN

abstract:

Natural Images mostly have smooth fluctuations in luminance, so that powers of DCT coefficients concentrate at low frequency area. On the other hand, animation images have many impulsive changes in luminance especially around line drawings and contour lines, so that powers of DCT coefficients disperse from low to high frequency. This effect makes coding efficiency worse at DCT-based image coding, especially causes many mosquito noises near edges. In this paper, we propose two algorithms to solve problems of our coding scheme designed for animation images. There are two problems in our scheme. First, anti-aliasing processing on edges causes difficulty in extraction of homogeneous color regions. Secondly, approximation of straight lines or short lines needs much data and cause more noises when they are approximated by spline curves.

keywords Image Coding, Animation Image, spline curve, line drawing, homogeneous color region
background region

1. はじめに

アニメーション画像の特徴である線画（黒塗りの線）や均等色領域（ベタ塗り部分）の輪郭部分で、輝度・色差が急激に変化するインパルス成分、すなわち高周波成分が存在する。これを DCT により直交変換すると、係数パワーが低周波領域から高周波領域まで拡散してしまうため、次のような問題が生じる。

- 高周波領域係数までデータとして出力すれば、データ圧縮効果が低減される点
- 高周波領域係数を削除すれば、モスキートノイズが線画・輪郭線近辺に頻出し、画質劣化を招く点

上記の問題点を解決するために、我々はアニメーション画像に特化した符号化方式の検討を行って来た [1]。提案手法は、高周波成分を持つ線画・均等色領域をそれぞれ抽出し、線画・均等色領域の輪郭線をスプライン補間を用い、また各均等色領域の代表色を用いることでデータ圧縮を試みた。そして線画・均等色領域以外の領域を背景領域と定義し、高周波成分は既に抽出したという立場から背景領域を自然画に近い領域とみなし、DCT により符号化を行った（図 1 参照）。

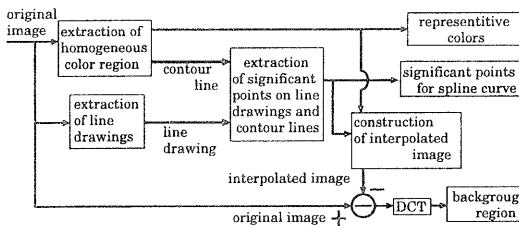


図 1: スプライン/DCT ハイブリッド符号化流れ図

しかしながら、その手法の中で、(1) アンチエイリアスに伴う境界線付近に挿入された中間色により均等色領域抽出が不完全であったという問題、また(2) 線画に直線・長さの短い線が含まれており、スプライン曲線のみで補間するのは不適當であるという問題点が挙げられる。本稿では、この2つの問題に対する解決アルゴリズムを提案し、線近似に関して評価を行う。

2. アンチエイリアスを考慮した均等色領域抽出法

2.1 従来手法の問題点

入力画像において、アンチエイリアス処理のために線画の周辺画素に中間色が挿入されている。アンチエイリアスの効果により、線画のジャギーが解消されるという利点がある反面、線画領域のみならず均等色領域にまで中間色が挿入されており、この影響で均等色領域を正確に抽出できないという問題が挙げられる（図 2 参照）。

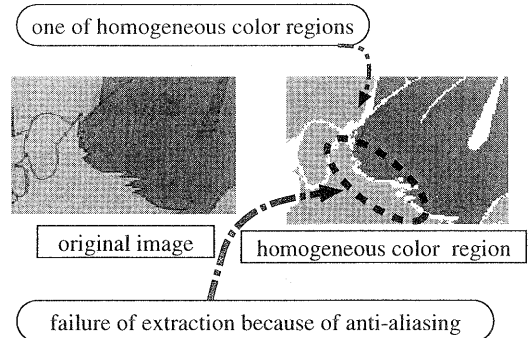


図 2: アンチエイリアスの影響

図 2 右図のように、本来、線画領域に接するべき均等色領域画素の抽出に失敗してしまうことにより、問題点として、(1) 領域周辺に 2 重の境界線が生じる点、(2) 抽出に失敗した領域を背景として認識することによりデータ量が増加してしまう点が挙げられる。これらの問題を解決するための前提として、抽出した均等色領域を限りなく、抽出した線画領域に近づける必要がある。

2.2 提案アルゴリズム

そのため、我々は均等色領域画像とは別に抽出した線画画像を基準に、線画まで均等色領域を拡張する手法を考案した。考慮した点は、(1) 原画において必ずしも線画が連続でない点、(2) 線画の周囲に複数の均等色領域が存在し得る点である。前者に関しては、データ数の少ない線画を中心として均等色領域を拡張する必要がある。なぜならば、線画が連続であれば、均等色領域を中心に領域を拡張し、線画に達した時点で拡張を終了するような処理が可能となるが、線画が非連続であるため、そのような処理では線画に対して反対側の領域にまで、拡張処理が達してしまうためである。一方後者に関しては、領域拡張対象となる画素の周囲を調べ、最も多く存在する代表色を選択し、対象画素を補間する必要性がある。以上から次のようなアルゴリズムを提案する（図 3）。

線画の一つの画素を中心とした時計回りに探索するためのマスクを用意する。探索する過程で、均等色領域の拡張対象画素に到達した際、その画素を中心とした 8 近傍画素の重み計算を実行する。重みの値は、あらかじめ抽出した均等色領域画素の値を新たに生成された均等色領域画素の値よりも大きく設定し、そして最大の重みを持つ領域の色を選択し、かつ対象画素を描画する。マスクで線画をトレースすることにより、アンチエイリアスによって抽出に失敗した画素を均等色領域として拡張して行く。このように、マスクの外側から中心の線画画素に向かって時計回りに拡張対象画素を探索していくことにより、擬似的に外側の均等色領域から中心の線画へ

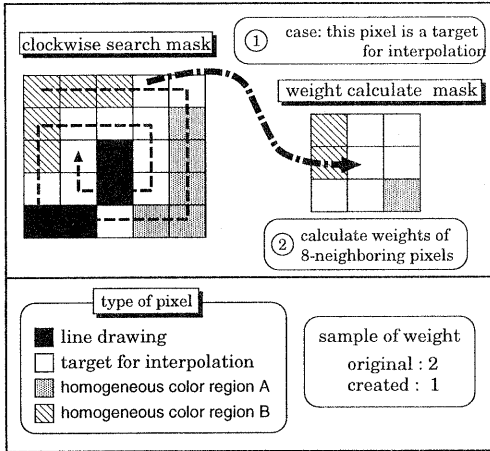


図 3: 均等色領域拡張法概念図

の反射方向の探索を実現している。

2.3 本アルゴリズムに伴うエンコーダの改良点

本稿で提案したアルゴリズムは、符号器の中で図4下図のように位置付けられる。従来方式では、抽出した線画・均等色領域を、独立に符号化及び出力していた。一方、今回新たに考案したのは、各々独立に抽出した線画・均等色領域を提案アルゴリズム実行エンジンに入力し、線画を基準に均等色領域を補間する。処理形式は図4下図に示すように、Boot Strap型となる。

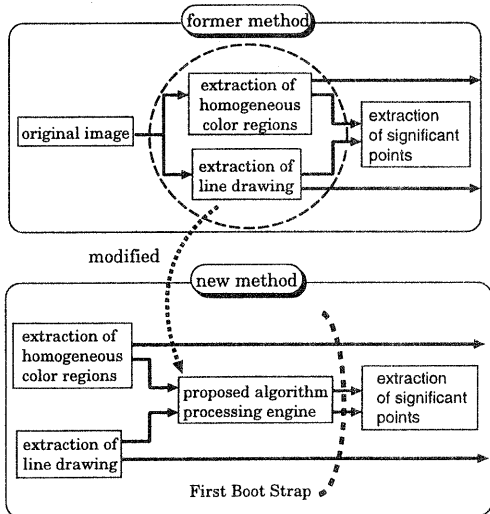


図 4: 提案アルゴリズムに伴うエンコーダの改良点

2.4 結果

従来方式と本アルゴリズムの結果画像の比較は図5のようになる。本アルゴリズムを用いることで、より線画に近づいた均等色領域を抽出することが可能となった。

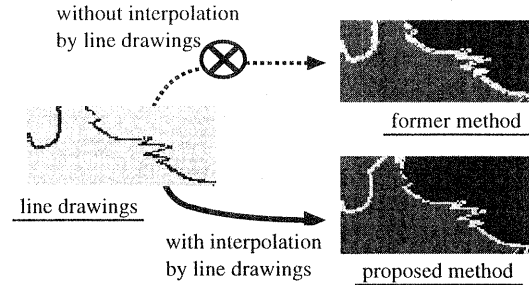


図 5: 線画情報に基づく均等色領域拡張法結果

3. 直線・スプライン曲線を組み合わせた線要素符号化法

3.1 従来法の問題点

我々は、アニメーション画像における線情報を(1)線画、(2)輪郭線に分類し、符号化すべく検討を行っている。本稿で提案するのは、参考文献[1]で提案された手法を発展させ、線画を均等色領域の輪郭(閉曲線)に存在する線として捉えるのではなく、線画データそのものを基とした符号化手法である。線画データそのものを基とした符号化手法が必要となる理由は、必ずしも全ての線画が均等色領域に存在するのではないためである。ここで、符号化対象となる線画データに着目すれば(図7上図)、スプライン曲線のみで線画を補間する際の問題点として次の2点が挙げられる。

- 目・髭など画像として重要な意味を持つ要素が、短い線で表現されており、スプライン曲線で補間できない点
- 局所的に、線画の中で直線要素が存在するため、スプライン曲線のみで線画を補間することは、データ品質・量の観点から不利である点

3.2 提案手法

以上の問題を解決するために、次のようなアルゴリズムを提案する。まず、線画には幅があり、代表線を選択する必要がある。次に、線画上に分岐点が存在するまで追跡し、線画を複数の線要素に分割する。さらに分割した各線要素に対し、直線要素が存在するか調べる。そして直線要素が存在する場合、先に定義した線要素をさらに分割する。最終的に、作成された線要素群は、線長・線種(直線・曲線)によって分類し、各線要素に適した線

符号化方式を採用する。具体的には、短い線は、ある間隔毎にサンプリングし、直線近似する。そして、直線は両端点のみデータ出力する。閾値以上の長さを持つ曲線はスプライン曲線を用いて従来法に従い補間する。

3.2.1 線画の代表線選択及び要素分割法

幅を持つ線画の代表線選択法の一例として、細線化が挙げられる。細線化と上述の線要素分割を組み合わせることによって、スプライン曲線で表現することの難しい鋭角点を表現可能となった(図6参照)。以下に詳細を説明する。まず、鋭角の先端に近づくにつれ、線画が重なり合い、細線化することにより先端が一本化されるという現象(ヒゲ)が生じる。そして、この分岐点を中心として線を複数に分割することで、鋭角部分が取り除かれ、各線種に対して最適な符号化が可能となる。さらに、各線に線幅情報を付加することにより、分割線単位で線幅復号処理が可能となる。

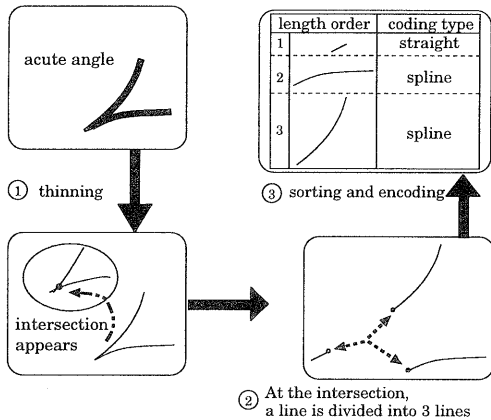


図 6: 代表線選択・要素分割法の概念図

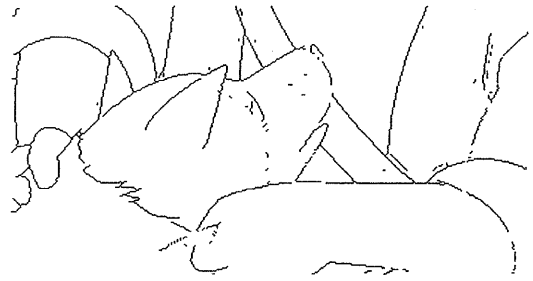
3.3 結果・評価

実験では、線長が20画素以下の線を直線近似(8画素間隔でデータ点を抽出)した。入力画像(線画)と補間画像の比較を図7に示し、またデータ量と誤差の関係を図8に示す。誤差算出方法は、線要素毎に、元の線と生成した線のなす面積を算出し、その総和を誤差として定義した。図7に示した出力画像は、図8から、同じデータ量で最も誤差の少ない画像であることが分かる。

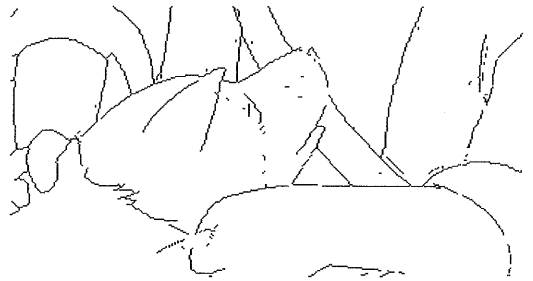
4. 有意点抽出法に関する検討

4.1 従来法の問題点

従来法では、スプライン曲線・直線近似のための有意点は、2つのベクトルを線画もしくは輪郭線上を移動させ、ベクトルのなす角度(または、なす長さ)を計



input line drawings (total pixels : 1994)



lines approximated by straight line and spline curve (total pixels : 509)

© The Dog of Flanders Prod.

図 7: 線画画像と直線・スプライン曲線補間画像の比較

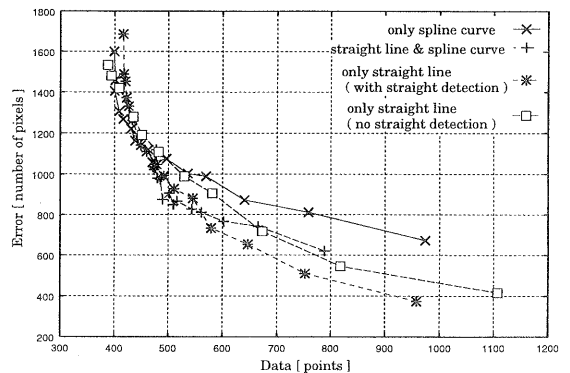


図 8: 直線・スプライン曲線補間におけるデータ量と誤差の関係

算し、閾値よりも大きい場合、その点を有意点として選

扱っている。しかしながら、必ずしもすべての曲線に有意点が存在する訳でなく、例えば、曲率の緩やかな曲線などでは有意点を抽出することができなかった。そのため、有意点の他に等間隔に通過点を選びだし、有意点と通過点をスプライン補間のための節点としている。この等間隔に挿入した通過点により、スプライン曲線の画質劣化が生じてしまうことが判明しており、またデータ圧縮の観点からも無駄が多いと言える。そのため、有意点抽出法の改善が必要であった。

4.2 Ramer Algorithm

4.2.1 アルゴリズムの概要

曲線の近似の古典的手法として Ramer Algorithm がある [3]。このアルゴリズムでは、原曲線上のある区間の2端を直線で結び、直線から最も距離の離れた点を有意点として抽出する (図9参照)。

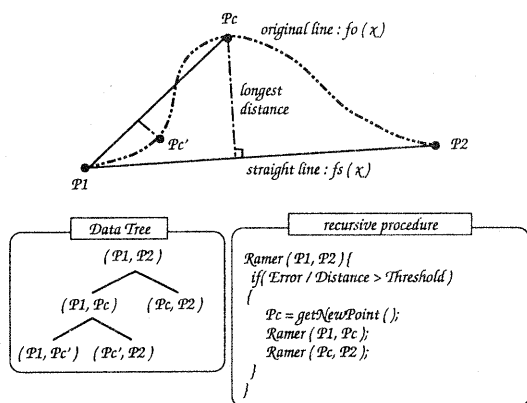


図9: Ramer Algorithm における有意点抽出法

図9右下に示したように、Ramer Algorithm は再帰的に表すことができるという特徴がある。まず、端点 P_1 , P_2 からなる原曲線・直線から有意点 P_c を得る。次に、端点 P_1 , P_c に対し、同操作を繰り返すことで、有意点 $P_{c'}$ を得ることができる。ここで、直線と原曲線の誤差を Error, 直線の距離を Distance とする。また、原曲線関数を $f_o(x)$, 直線関数を $f_s(x)$ とすれば、誤差 Error は次のように表すことができる。

$$Error = \left\{ \int_{P_1}^{P_2} |f_o(x) - f_s(x)|^P dx \right\}^{1/P} \quad (1)$$

ただし、 $P \approx 1$ と近似できる (誤差は直線と原曲線のなす面積とみなすことができる) ことから、図8を得た場合と同様の手法で誤差を求めることができる。

4.2.2 Ramer Algorithm の性能評価

従来の有意点抽出アルゴリズムと Ramer Algorithm の比較として、直線と曲線を含む釣り針型のサンプル画像を用意し、有意点抽出・線近似を行った (図10参照)。線近似に関しては、直線近似のみを用いた。

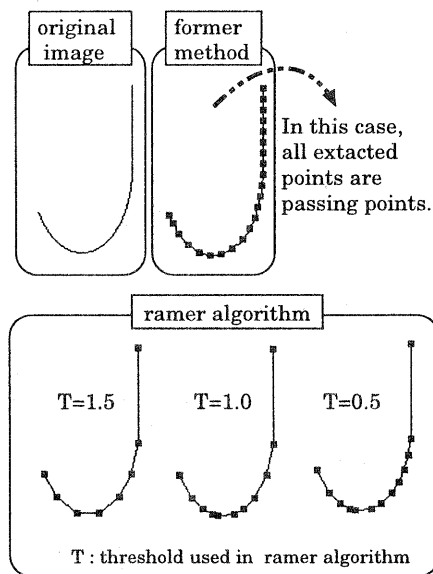


図10: 有意点抽出法の比較

図の中では、抽出した有意点、挿入した通過点、補間した線を描画している。まず、従来法では、曲率が局所的に滑らかであるため、有意点を抽出できず、すべて等間隔に挿入した通過点のみが表示されている。加えて、直線部分にまで、点が挿入されてしまうという問題が見て取れる。一方、Ramer Algorithm の場合は、抽出点が曲線部分に集中していることが分かる。両アルゴリズムにおける有意点抽出法の比較は以下である。

- 従来法

抽出点制御のためのパラメータは、(1)ベクトルの長さ、(2)ベクトルのなす角度 or なす長さ、(3)通過点の挿入間隔の3つであり、制御が Ramer Algorithm よりも難しい。図10の例では、ベクトルを長くし、かつベクトルのなす角度の閾値を小さくすれば、より多くの有意点が抽出可能である。従来法は滑らかな曲線よりも鋭角点の抽出に適している。
- Ramer Algorithm

誤差を直線の長さで正規化した際の閾値のみで抽出点を制御する。図10に示したように、閾値を小さくすることで有意点が曲線部分で増えて行くのが分かる。制御は従来法よりも易しい。一方、閾値を小さく取りすぎると、線画のノッチなどの影響を拾うようになるという問題が挙げられる。

4.3 Modified Ramer Algorithm

4.3.1 アルゴリズム概要

Ramer Algorithm のアニメーション符号化への適応として、我々は Modified Ramer Algorithm を提案する。考慮した点は、(1) スプライン補間・直線近似のハイブリッド処理が可能であること、(2) 符号量制御が可能であることの2点である (図 11 参照)。

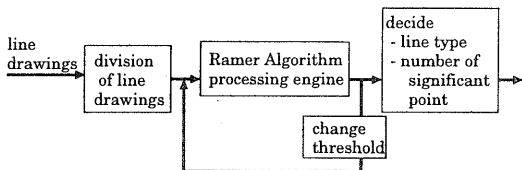


図 11: Modified Ramer Algorithm 概念図

本アルゴリズムは、以下に説明する4つのステップをとる。まず第一に、抽出された線画は図6で示したように、線画の交差点で複数の線画に分割される。第二に、分割した線画毎に Ramer Algorithm を実行し、算出した有意点・誤差を出力する。第三に、Ramer Algorithm に用いられる閾値を変化させ、各閾値毎の有意点・誤差を繰り返し出力する。第四に、有意点数(データサイズ)・誤差の値(データ品質)の関係から、線画符号化タイプ及び有意点データを出力する。ここで用いる誤差とは、Ramer Algorithm で抽出された有意点を(1)直線近似した際の原曲線との誤差、(2)スプライン補間した際の原曲線との誤差の2つを指す。

4.3.2 評価

図12に示した曲線を例に挙げれば、Ramer Algorithm で抽出した有意点数が少ない場合、スプライン補間曲線の誤差に対し、直線近似の誤差が大きくなる。この場合、誤差の比較をし、スプライン補間を線近似アルゴリズムとして採用する。

次に、図7で用いたサンプル画像に対し、我々が提案するアルゴリズムの評価を行った。図13に結果を示す。

5. まとめ

本稿では、(1) 線画のアンチエイリアスに対応した均等色領域アルゴリズム、(2) 直線・スプライン曲線ハイブリッド線画・輪郭線近似アルゴリズムの2点について検討を行った。特に(2)に関して、有意点抽出法における改良の必要性に着目し、古典的なアルゴリズムである Ramer Algorithm をアニメーション符号に特化した方式として、Modified Ramer Algorithm を提案した。今後の課題として、元来 Ramer Algorithm の有意点は直線近似を想定して作られているので、スプライン曲線に

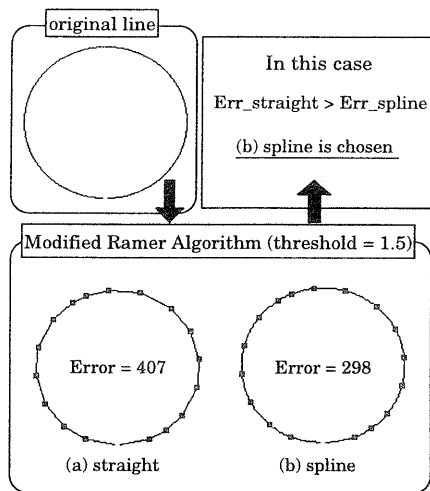


図 12: Modified Ramer Algorithm 実行例

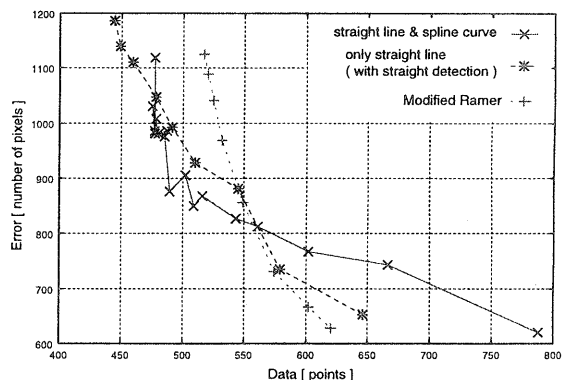


図 13: Modified Ramer Algorithm 結果

最適な有意点抽出法を付加すること、またスプライン曲線をデジタル化した際、量子化誤差が生じるのでその対処法の検討が挙げられる。

参考文献

- (1) 古角, 渡辺, 小林: "アニメーション映像におけるスプライン/DCT ハイブリッド符号化の一検討", 情処学研報, AVM24-3(March, 1999)
- (2) 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", 信学春全国大会 (2001)
- (3) U.E.Ramer: "An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curve", CGIP 1, pp.244-256 (1972).