

シルエット画像による 滑縁化アルゴリズム

安居院 猛 植村 健 野口 典正 中嶋 正之
(東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設)
中塚 久世
(株式会社マイクロ・シー・イー・デー)

写真画像の中の一部を切り抜いて、他の写真等の画像中にはめ込む作業は、現在でも多くは人間が手作業で行っている。これをコンピュータで行えば、作業の効率向上と広範囲の応用が期待できる。この場合により効率的な作業のために、物体の輪郭に沿った画像の切り抜きの自動化が求められる。しかしこのための実用的な手法はまだ確立されていない。またコンピュータでは有限画素数の画像データを用いて合成処理を行うために、輪郭部分にジャギーが発生し画像全体の滑らかさが失われる。これを解決するアンチエイリアシングのアルゴリズムが既に多く提案されているが、従来の手法を用いた場合、処理に必要な計算コストが大きくなる。そこで本報告では背面照明による物体のシルエットの画像を用いる方法を提案し、これらの問題を解決できることを示す。

AN EDGE SMOOTHING ALGORITHM USING SILHOUETTE IMAGES.

Takeshi AGUI Ken UEMURA Norimasa NOGUCHI Masayuki NAKAJIMA
Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology.
Hisayo NAKATSUKA
MICRO CAD Co.Ltd.

This report presents a new computerized method of cutting out needful parts of photo images and patching the cutouts on other images. Computerization in this field is not very popular yet and still has some problems. Aliasing is one of the problems as it makes the circumferences of the cutouts jaggy and makes the output images look unnatural. Although there are already many anti-aliasing algorithms to solve this problem, they do not fit very well to our application because of their calculation cost. This report proves that this problem can be solved easily and effectively using silhouette images of objects.

1. はじめに

近年コンピュータやその関連機器の発展はめざましいものがあり、高機能で低価格なハードウェアが次々に市場に進出してきている。

画像関連機器に関して言えば、従来は非常に高価だったカラーグラフィックディスプレイやグラフィックプリンタなどの出力装置やスキャナーやテレビカメラなどの入力装置が、最近では手軽に利用できるようになった。また画像処理専用LSIなども出現して、従来の汎用大型計算機に匹敵する速度で画像処理を実現できるようになった。それに伴い、画像関連業界の諸分野に、今後ますますコンピュータが参入していくことが期待される。

写真画像の中の一部を切り抜いて、他の写真等の画像中にはめ込む作業は、写真や印刷関連の業界等で頻繁に行われている作業の一つである。以下、これをはめ込み処理と呼ぶ。その多くは人間が手作業で行っている。これをコンピュータで行えば、作業がより簡単で効率的になり、より多彩な処理が可能になる。

そして最近になって、画像のはめ込みやそれと類似の作業を行うCADシステムなどが、使われようともなり始めた。その場合に広く用いられるのは、人間がマニュアル操作で輪郭線をなぞる方法である。この方法では、複雑な輪郭線形状の物体の場合に、多くの労力を必要とする。作業の効率向上のためには、画像の切り抜きの自動化が求められる。しかし物体の輪郭を認識して、自動的に物体の画像を切り抜く実用的な手法は、まだ確立されてはいない。

一方、コンピュータで画像を処理する場合、有限画素数の画像データによって行うのが一般的である。その場合に、斜めに引いた線にジャギーと呼ばれる階段場のギザギザが発生する。はめ込み処理においても、斜めの輪郭線に沿って切り抜いた縁のところ、このジャギーが発生する。このジャギーは生成された画像の中で非常に目立ち美しさを損ねる。そこで縁を滑らかにする処理が必

要であり、以下これを滑縁化処理と呼ぶ。そのための手法としては、アンチエイリアシングのアルゴリズムとして多くの提案がなされている。主なアルゴリズムとしては、線分を細長い多角形と見なし画素ないに占める多角形の面積により色を決定する方法[1]、線を表示している画素からの距離に反比例した階調を与える方法[2]や、ローパスフィルタを用いる方法[3]、マスク処理によりエッジを検出してその傾きに応じた階調値を与える方法[4]等がある。しかしはめ込み処理にこれらのアルゴリズムを適用した場合、滑縁化のためだけに多くの計算コストを必要とする。

本報告では、背面照明による物体のシルエットの画像を利用した手法を提案する。このシルエットの画像は、もともと物体の輪郭の情報と滑縁化のための情報を持っている。そこで本手法ではその情報を利用することにより、物体の輪郭に沿った切り抜きと滑らかなはめ込みを実現する。その結果わずかな計算コストで、正確な切り抜きと美しい滑縁化が実現できることを示す。

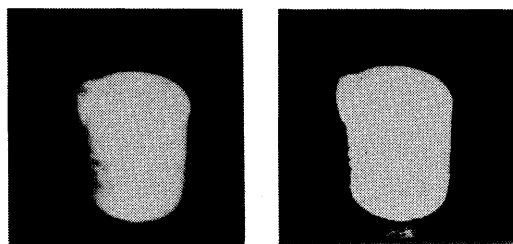
2. シルエット画像によるはめ込み処理

2.1 物体の識別

物体の輪郭線に沿って自動的に画像を切り抜くためには、画像の中の物体のイメージとその背景のイメージとを識別する必要がある。本節ではこのような識別の方法について検討を行う。

はめ込み処理においては、基本的には二枚の画像を用いる。はめ込もうとする物体のイメージを画像入力装置により取り込んで得た画像データを以下では物体画像と呼ぶ。また、はめ込むときに物体のイメージのバックとして用いる画像データを、以下では背景画像と呼ぶ。

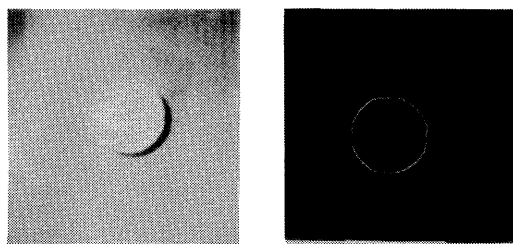
物体画像には、物体のイメージの部分と、物体の背景となっている物体以外の物のイメージの部分との両方が含まれている。はめ込み処理においては、このうちの物体のイメージの部分だけを取り出す必要がある。物体のイメージの部分だけを



原画像

識別された領域

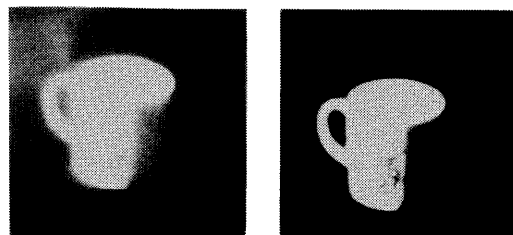
(a) 成功例



原画像

輪郭線

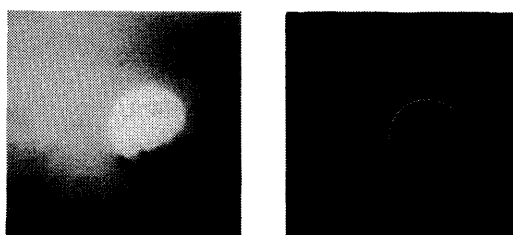
(a) 成功例



原画像

識別された領域

(b) 失敗例



原画像

輪郭線

(b) 失敗例

図1 色の違いによる識別

図2 輪郭線の抽出

自動的に取り出すためには、両者を何らかの方法で識別しなくてはならない。

最も簡単な方法として、色の違いによる識別法がある。これは物体の色と背景の部分の色とが、重なり合わないよう設定できるときに有効である。この方法は基本的には画素毎に物体の色と背景の色とのどちらに近いかを調べることにより識別を行う。図1(a)はその例である。しかし色の違いだけを使って完全に正しく識別するためには照明のしかたなどを工夫する必要がある。図1(b)はうまく行かなかった例である。

他の方法としては、エッジの検出により輪郭線を抽出する方法がある。抽出した輪郭線の内側か外側かを判定して物体のイメージを識別する。この場合は物体のイメージと背景のイメージと境界部に、はっきりとした色の違いが無くてはならない。図2(a)は成功例、(b)は失敗例である。

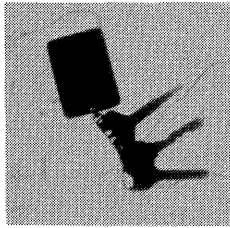
前述の二つの方法は、どちらもそれだけでは、

正しく識別するための条件の制約が多すぎて、あまり実用的とはいえない。実際にはこれらの方法を基礎にして、パターン認識などの手法を用いる必要がある。しかしはじめ込み処理に適用できる実用的なアルゴリズムが報告された例は、現在のところ見あたらない。

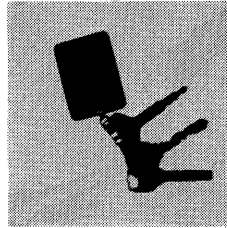
2.2 シルエット画像による切り抜き

前節で述べたように、物体画像そのものから、直接物体を識別するのは困難である。そこで本節では、シルエット画像というもう一枚の画像により物体の識別を行い、自動的に物体画像の切り抜きを行う方法について述べる。

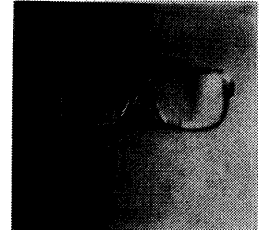
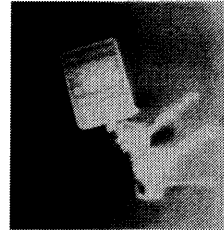
物体の背景が均一に明るくなるような背面照明を用いると、物体のシルエットを作り出すことができる。それを画像入力装置により取り込んだものを、以下ではシルエット画像と呼ぶ。これは物体



シルエット画像



二値化画像



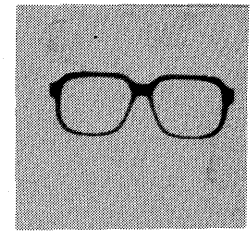
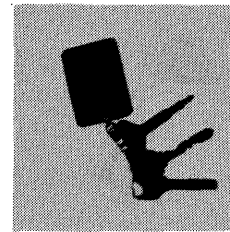
(a) 物体画像

図3 シルエット画像の二値化

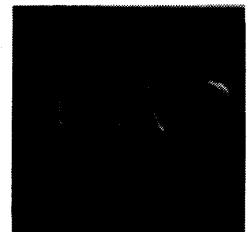
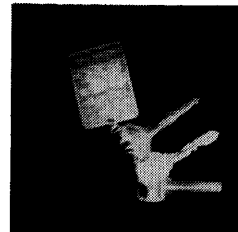
画像よりも、もっと物体の識別をし易いような条件をそろえている画像である。それはシルエット画像の物体部分の色が、どんな色の物体の場合でも必ず黒くなり、また背景が必ず白くなるからである。従ってシルエット画像の階調値が低い部分を選ぶことにより、物体の部分だけを識別するのは容易である。これはシルエット画像を適当なき値によって二値化する処理と等しい。図3はその例である。

物体画像の取り込みのときには、前面照明と背面照明との使い分けをして、物体画像とシルエット画像との二枚の画像を取り込む。そうすればこの二枚の画像の中の物体イメージの部分の位置と大きさはピッタリ合っていることになる。従ってシルエット画像により識別した物体の画素領域を物体画像から取り出すことにより、正しい切り抜きが行える。

実際の処理では、シルエット画像を適当な処理によって二値化して、それを切り抜きのためのマスクとして用いる。このマスクのことを以下シルエットマスクと呼ぶ。シルエットマスクを使った切り抜きのためには、均一な背面照明と、物体が半透明でない等の条件が必要である。しかしその条件下ではどんな物体でも、簡単な手順で正確な切り抜きを行うことができる。図4はその例であり、(a)の物体画像を、(b)のシルエットマスクで切り抜くと、(c)のような画像がえられる。



(b) 二値化したシルエット画像



(c) 切り抜かれた画像

図4 シルエットマスクによる切り抜き

2.3 ジャギーの発生

コンピュータで画像を生成すると、特別に考慮して描かない限り、斜めの線が階段場にジャギーと呼ばれるギザギザが発生する。本節では画像のはめ込み処理における、ジャギーの発生等の問題について述べる。

画像入力装置としてテレビカメラを用いて画像を取り込むと、ある程度以上に高い空間周波数成分はカットされていて、色の空間的な変化は比較的緩やかになっている。ところがコンピュータで

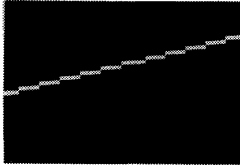
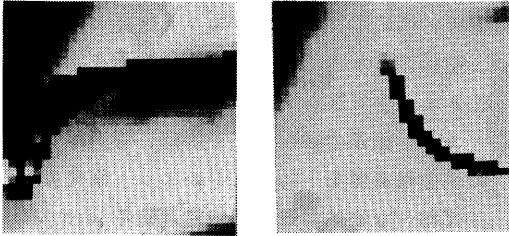
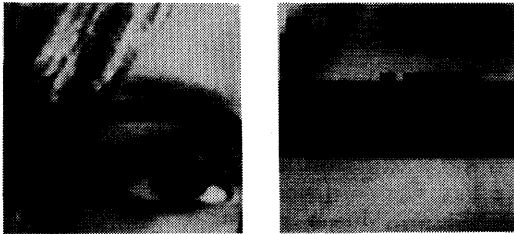


図5 ジャギーの発生



(a) 斜めの切り抜き



(b) 横の切り抜き

図6 滑らかでないはめ込み

図形などを描画するときは、特別に考慮しない限り、ピクセルに色の情報であるRGBの値を与えるか与えないかのどちらかになる。その結果、あるピクセルの色のRGBの値と、隣のピクセルのそれとの差が大きい部分ができる。従ってコンピュータにより生成された画像の、色の空間的变化は一般に急激である。またコンピュータで斜めに線を描いた場合には、ジャギーと呼ばれる階段場のギザギザが発生する。この様子を図5に示す。前節では二値のシルエットマスクによる画像の切り抜きの方法について述べた。この場合も切り抜かれた物体イメージの輪郭部分に、このようなジャギーが発生する。これをそのまま背景画像上に

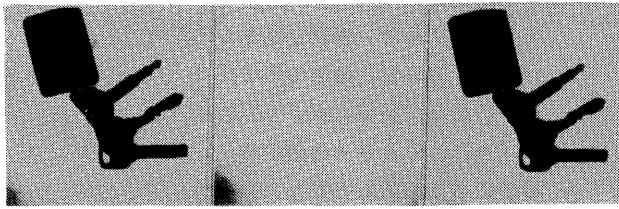
重ね書きすると、背景と物体の境界付近がギザギザする。図6(a)はその例である。一方、物体画像を、画面に完全に水平や垂直な直線で切り抜いた場合にはジャギーは発生しない。ところがこの場合にもはめ込んでできあがった画像を見ると、背景と物体との境界の部分が特別に目立つ。これは原画像の空間的色の変化が緩やかなのに対して、この部分の色の変化が急激過ぎるのが原因である。図6(b)にその例を示す。

以上で述べてきたようにコンピュータによるはめ込み処理を、単純な切り抜き処理と重ね書きによって行くと、物体画像と背景画像との境界部分が不自然になる。それはできあがった画像の品質の低下につながる。従って画像を他の画像に滑らかにはめ込むための対策である滑縁化が必要になってくる。

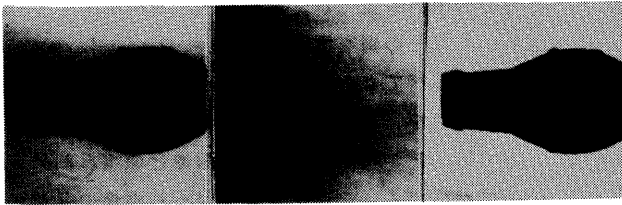
2.4 シルエットマスクによる滑縁化

本節では、前節で述べたように画像が不自然に成るのを克服するための、滑縁化処理の方法について述べる。

2.2節では、物体の識別のために、均一な背面照明を用いて、シルエット画像を画像入力装置により取り込む事を述べた。このシルエット画像を取り込むとき、背面照明の均一さも明るさも十分であり、また画像入力装置の特性も十分に良いものとする。そうすると取り込まれたシルエット画像も、背景部分と物体部分が、それぞれほぼ均一の明るさになる。また物体部分と背景部分の境界付近は、一般的な画像入力装置を使った場合、明るさが滑らかに増加、または減少している。この様子を図7示す。これははめ込み処理において、物体の輪郭部分を滑縁化させるための情報になる。このようにシルエット画像は、物体の輪郭線に沿った切り抜きのための情報とともに、はめ込み処理における滑縁化のための情報も持っている。従って、この滑縁化のための情報を利用してはめ込み処理を行えば、容易に滑縁化を行うことができる。



シルエット画像 背面照明画像 補正後



シルエット画像 背面照明画像 補正後

図10 シルエット画像の明るさむらの補正

階調値が一定になっていない。このような明るさのむらの主な原因を次に示す。

- ① 背景の照明が完全に均一の明るさになっていない。
- ② テレビカメラの撮像管の特性による画面の場所による明るさのむら。
- ③ カメラの信号系の帯域特性やノイズによる影響。

③については適当な空間フィルタ等で解決することにする。本節では①と②による明るさむらの補正の仕方について述べる。

①は背景の明るさむらなので物体の領域には全く影響がない。一方②はカメラの感度の問題なので、物体領域にも影響があると考えられる。しかし実際に取り込んだ画像を見るかぎりでは、物体領域における明るさのむらはわずかなものでしかなかった。従って明るさむらは、シルエット画像の背景領域で発生しており、背景領域だけを補正すれば良い。

補正においては、シルエット画像を撮影したそのままの状態で物体を取り去り、もう一枚背面照

明のみの画像を取り込む。以下これを背面照明画像と呼ぶ。この背面照明画像は、シルエット画像の背景の明るさむらをそのまま持っている。そこでこの情報を使ってシルエット画像の背景を補正することができる。次に示すのはシルエット画像と背面照明画像とから、明るさむらの補正されたシルエットマスクを作る計算式である。シルエット画像の階調値を I_{sil} 、背面照明画像の階調値を I_{back} 、シルエット画像のほぼ均一な物体領域の平均階調値を min 、補正された画像の階調値の最大値を n とすると、補正された画像の階調値 I_{mask} は次式(2)で表せる。

$$I_{mask} = \frac{I_{sil} - I_{min}}{I_{back} - min} * n \quad (2)$$

式(2)による計算結果が0から n までの範囲にない場合はそれぞれ0、または n とする。

図10は、式(2)により画像を補正した様子を強調して表示した例である。

4. 実験結果

本手法によりはめ込みを行った結果を、図11に示す。

使用した画像データは 256×240 の rgb 各8ビットのカラー階調画像である。原画像の取り込みは全て撮像管方式のテレビカメラ、SONY HVC-2500によって撮影し $nexus 68390$ エンコーダより $nexus 6400$ へ取り込んだ。画像はカラー階調グラフィックディスプレイ $nexus 6400$ によって表示したものを、写真撮影したものである。

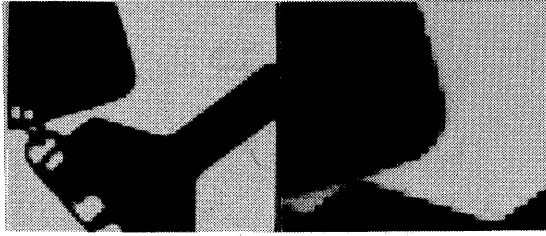
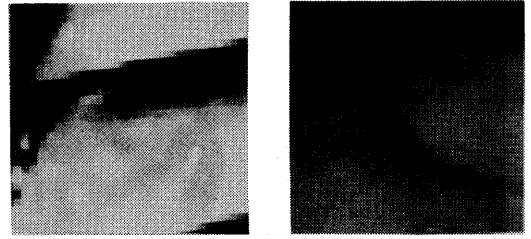
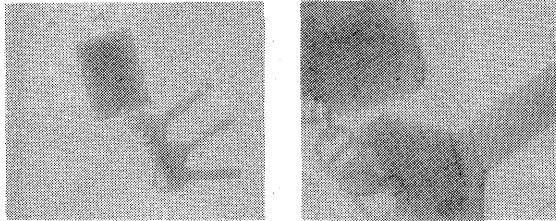


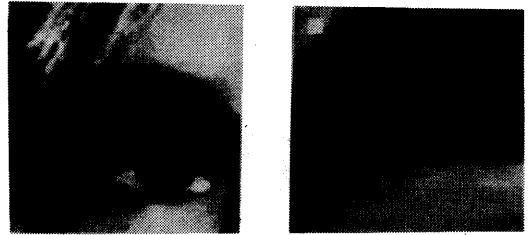
図7 シルエット画像



(a) 斜めの切り抜き

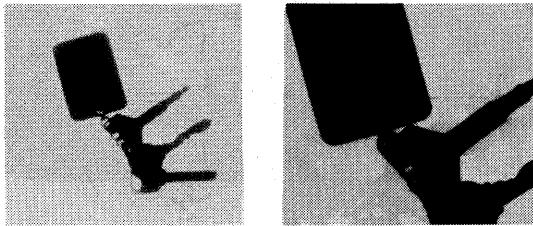


(a) シルエット画像



(b) 横の切り抜き

図9 滑縁化したはめ込み



(b) 規格化した画像

図8 シルエット画像の規格化

第2章ではシルエット画像を二値化してシルエットマスクを作ったが、ここでは背景領域で階調値 n 、物体領域で階調値 0 となるように規格化して、階調数 $n + 1$ の多階調のシルエットマスクを作る。この例を図8にしめす。(a) が元のシルエット画像、(b) が企画化されたシルエットマスクである。

次に、物体画像の背景画像へのはめ込みにおける滑縁化について述べる。生成する画像へは、シルエットマスクの階調値が 0 の領域には物体画像を、 n の領域には背景が像を書き込む。中間階調値の領域には、階調値に応じた割合で物体画像と背景画像とを混合する。

こうして作ったシルエットマスクを用いて滑縁化を行う。シルエットマスクの各ピクセルの階調値を I 、各ピクセル RGB それぞれに対して、物体画像の色を C_{fore} 、背景画像の色を C_{back} とすると、はめ込み処理により生成する画像の色 C_{dst} を次式(1)により求める。

$$C_{\text{dst}} = \alpha C_{\text{back}} + (1 - \alpha) C_{\text{fore}} \quad (1)$$

$$(\alpha = I / n)$$

式(1)を、以下では混合関数 (Blending function) と呼ぶことにする。

3. シルエット画像の補正処理

本章ではシルエット画像の明るさむらの補正処理について述べる。

本手法によって正しく滑縁化されたはめ込み処理を行うための、理想的なシルエットマスクは物体の領域では一定の階調値 0 、背景の領域では一定の階調値 n となっていなければならない。

しかし今回の実験は画像入力装置としてハンディタイプのテレビカメラと、簡単な背面照明を用いた。こうして取り入れたシルエット画像は、かなりの明るさむらを含んでいる。そのため特に背景領域では、理想的なシルエットマスクのように



図 1 1 本手法により生成された画像

5. むすび

画像のはめ込み処理を行うための手法について述べた。本手法では物体の正面照明による画像と背面照明による画像、及びはめ込みの背景にする画像との三枚を使う。本手法の特徴はアルゴリズムが非常に単純なことである。すなわち基本的には混合関数を計算するだけで、切り抜きとはめ込みとを行っている。これはシルエット画像にもともと含まれている切り抜きと滑縁化のための情報をそのまま利用したためである。そのため必要な計算コストは少ない。また生成される画像は十分美しく滑らかである。

参考文献

- [1]西田, 中前: "カラーディスプレイにおけるスムーズな線分の発生法", 情報処理学会論文誌, 22,6(1981).
- [2]S.Gupta and R.F.Sproull: "Filtering Edges for Gray-Scale Displays", ACM-SIGGRAPH, 15,3, pp.1-5(1981).
- [3]F.Crow: "The Aliasing Problem in Computer-generated Shaded Images", Comm.ACM 20, pp.799-805(Nov.1977).
- [4]木見尻, 安居院, 中嶋: "2値図形に対するマスク処理による滑縁化アルゴリズム", 進学論文誌, J69-D,3, pp.383-389(1986).