

動的輪郭モデルを用いたストライプ状クロマキー

縣 弘樹[†] 山下 淳[†] 金子 透[†]

[†] 静岡大学工学部 〒432-8561 静岡県浜松市城北 3-5-1

E-mail: [†] {f0530001,tayamas,tmtkane}@ipc.shizuoka.ac.jp

あらまし 本論文では、ストライプ状背景と動的輪郭モデルを用いたクロマキーにより領域抽出・画像合成を行うことを目的とする。従来の単一色の背景を用いたクロマキー合成では、抽出対象に背景と同一色が含まれているとその部分は抽出することができない。そこで、2 色からなるストライプ状背景の前で撮影を行い、色情報に加えてストライプの領域情報を用いることにより、背景と同一色を含む対象物を抽出可能な手法を提案する。本論文ではさらにその抽出結果に動的輪郭モデルを用いることにより抽出精度を向上させる。実験結果より、提案手法の有効性が確認された。

キーワード ストライプ状背景、動的輪郭モデル、クロマキー、領域抽出、画像合成

Stripe Chromakey Using Active Contour Models

Hiroki AGATA[†] Atsushi YAMASHITA[†] and Toru KANEKO[†]

[†] Faculty of Engineering, Shizuoka University 3-5-1 Johoku, Hamamatsu-shi, Shizuoka 432-8561, Japan

E-mail: [†] {f0530001,tayamas,tmtkane}@ipc.shizuoka.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a new region extraction and image composition method with chromakey using a two-tone striped background and active contour models. Conventional chromakey techniques using a monochromatic background have a problem that objects are regarded as the background if their colors are the same. Therefore, we utilize adjacency conditions between two-tone striped areas on the background, and extract foreground regions whose colors are same with those of the background. In addition, we improve accuracy of extraction by using active contour models for the extraction result. The validity of the proposed method was shown through experiments.

Keyword Stripe Background, Active Contour Model, Chromakey, Region Extraction, Image Composition

1. はじめに

画像合成技術[1]は、人物と別の場所で撮影された風景の合成用途に用いられることが多く、雑誌の表紙・プロモーションビデオ・映画等の作成やテレビ放送等様々な分野で利用されている。また近年では、合成する画像間の位置関係や視点を考慮した画像合成を用いた放送システム[2,3]も提案されており、非常に重要な技術となっている。

画像合成を行うためには、画像から特定の領域を切り出す必要があり、これまでも数多くの領域抽出手法が提案されている[4,5]。

特殊な撮影状況や撮影機材を必要としない領域抽出法としては、エッジ抽出や領域分割等を利用した方法等が提案されている（例えば[6]）。しかし、高精度・高速・自動的に領域抽出を行うことができる汎用的手法は提案されておらず、例えば放送用の綺麗な映像を作る用途には適さない。高精度に領域抽出を行う手法

も提案されているが[7,8]、人間がある程度オペレーションを行う必要がある。

一方、画像撮影と同時に対象までの距離を計測可能なカメラを使用して画像合成を行う手法も提案されている[9]。このカメラを用いることにより、距離情報から目的の対象のみを抽出することが可能であり、実際のテレビ番組制作等に使用されている。しかし、特殊な装置であるため、誰もが気軽に開発・利用できるわけではない。

簡単に領域抽出を行う手法としてよく知られているものに、撮影時の背景に制限を加えることにより領域抽出・画像合成を行うクロマキーと呼ばれる手法がある。クロマキーは、青色や緑色等の単色で一様な背景の前に対象物を配置して画像を取得し、背景と同じ色成分の画素を除去することにより対象物のみを切り出す方法である。この方法は、原理が単純であることと、単一色の背景を準備するのみで良いことから、現

在最も広く用いられている。

クロマキーをはじめとする画像合成では、画素 (u,v) における合成画像の画素値 $I(u,v)$ は(1)式で表される。

$$I(u,v) = \alpha(u,v)F(u,v) + (1 - \alpha(u,v))B(u,v) \quad (1)$$

ただし、 $F(u,v)$ は前景画像の画素値、 $B(u,v)$ は背景画像の画素値、 $\alpha(u,v)$ は α 値と呼ばれ0から1の値を取る[1]。クロマキー合成においては、 α 値を高精度に決定することが重要であり、例えば髪の毛の部分や透明なガラス等においても非常に正確に α 値推定を行う手法が提案されている[10-15]。

しかし通常のクロマキーでは、抽出したい対象物が背景と同じ色が含まれている場合は、その部分が背景とみなされてしまい、正確に領域抽出ができないという問題点がある(図1)。そこで、背景の色を切り替えて撮影することにより、任意の色の対象物を抽出する方法も提案されている[16]。しかしこの方法では対象物が静止した状態で背景を切り替える必要があるため、移動物体の抽出やリアルタイム画像合成には適さない。

そこで本論文では、2色から成るストライプ状の背景(図2)を利用することにより、対象の一部が背景とみなされても対象と背景を正しく領域分割する手法を提案する。さらに精度良く対象物のみを抽出するために、ストライプ状背景を用いた対象物抽出画像に対して動的輪郭モデル[6]を利用することで、対象物の輪郭を抽出し対象物と背景を精度良く領域分割する。動的輪郭モデルではまず、対象物の近傍に閉曲線を与える。次にその閉曲線を、あらかじめ定義したエネルギーを最小化するように変形する。そして、エネルギーの極小状態として形状が決まる閉曲線を対象物の輪郭とみなすことにより、輪郭抽出を行う。動的輪郭モデルの特徴として、比較的ノイズに強く、滑らかな輪郭が得られるということが挙げられる。

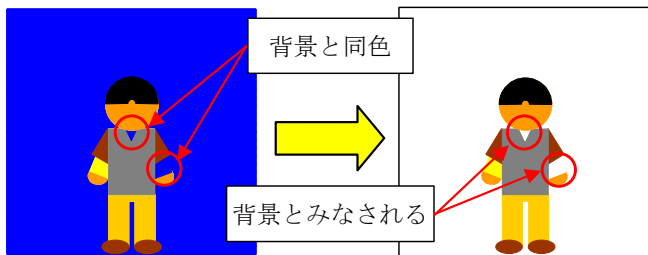


図1 通常のクロマキー

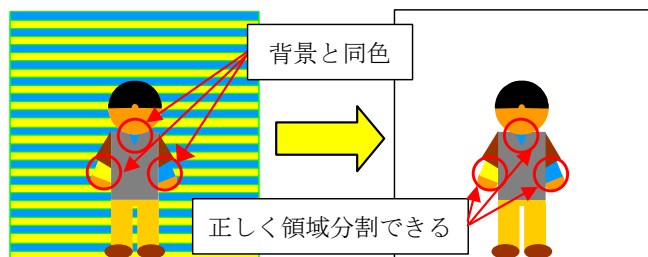


図2 本手法

2. 処理概要

本手法の処理手順は次のようになる。

- ① 対象物候補領域の抽出
- ② 動的輪郭モデルによる対象物の輪郭抽出
- ③ 対象物と背景の分割

①の処理では対象物をストライプ状背景の前で撮影し、その候補領域を色情報とストライプ状背景の特徴を用いて抽出する。

②の処理では①で抽出した対象物候補領域の輪郭を動的輪郭モデルの初期位置とし、対象物の輪郭を抽出する。

③の処理では抽出した輪郭の情報を用いて最終的な対象物と背景の分割を行う。

本論文では、横方向の2色から成るストライプ状の背景(図2)の前に領域抽出を行う対象物を配置し、撮影する。このとき、画面の端部ではストライプ状背景が隠れずに見えるように撮影することとする。

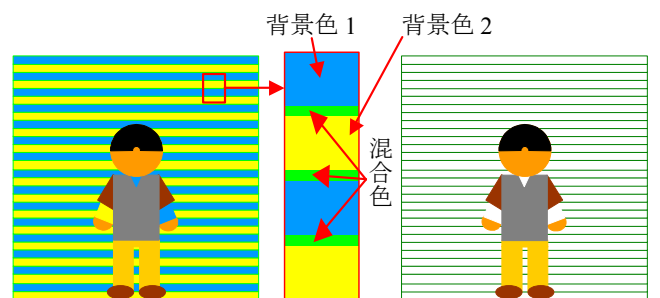
3. 対象物候補領域の抽出

ストライプ状背景を用いた対象物候補領域の抽出の処理手順は次のようになる。

- i 背景色検出による1次抽出
- ii ストライプの境界を用いた2次抽出

3.1. 背景色検出による1次抽出

背景色検出による1次抽出とは、撮影画像から背景の2色を抽出する処理である(図3)。このとき対象物において背景と同色の部分があると、その部分は背景であると認識される。一方、ストライプの境界は背景の2色が混ざり合った混合色(図3(b))となっているため、図3(c)に示すように背景として認識されない。



(a) ストライプ状背景 (b) 拡大図 (c) 背景色抽出画像
図3 背景色の構成及び背景色抽出画像

背景色検出をするために、まず対象物が存在しない背景の端の、縦 m 画素、横 n 画素の領域(初期参照領域)に注目する(図4)。そしてこの領域からRGB空間における背景色1(以下 C_1)と背景色2(以下 C_2)の中心を求める。

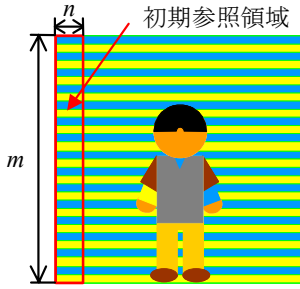


図 4 初期参照領域

RGB 空間における C_1 と C_2 の中心を求めるにあたり、初期参照領域を K 平均法によるクラスタリングにより C_1 か C_2 の分類する。このとき、初期参照領域は図 5 に示すようにストライプの境界を無視した分類になる。そのためストライプの境界を検出する必要がある。

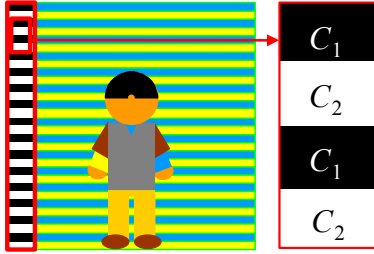


図 5 初期参照領域の色分け 1

ストライプの境界は C_1 と C_2 の間にあるので、 C_1 と C_2 の間の t 画素をストライプの境界の領域とする（図 6）。ここで t は経験的に得られる値で偶数とし、撮影画像サイズやカメラと背景の距離などにより変化する。

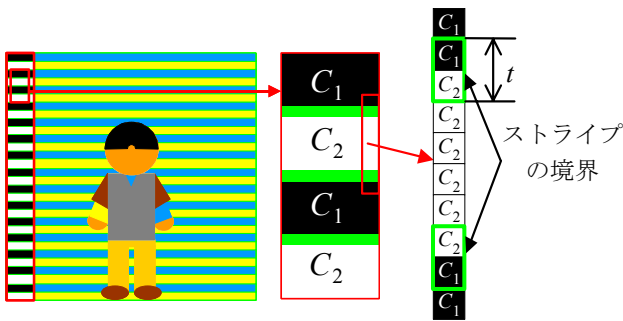


図 6 初期参照領域の色分け 2

次に初期参照領域内において、 C_1 、 C_2 に分類されている画素の色成分の平均をそれぞれ求め、新たに C_1 と C_2 の RGB 空間での中心 (r_1, g_1, b_1) 、 (r_2, g_2, b_2) とする。そして画像全体の各画素 (RGB 成分 (r_j', g_j', b_j') 、画像全体の総画素数 N) に対して、新たに求めた RGB 空間での中心からの距離 d_{1j} 、 d_{2j} を求める ($j = 1, 2, \dots, N$)。なお d_{1j} 、 d_{2j} は (2) 式のように求める。

$$d_{ij} = \sqrt{(r_i - r_j')^2 + (g_i - g_j')^2 + (b_i - b_j')^2} \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

最後に画像全体を C_1 、 C_2 、その他の色に分類する。このとき背景色分類のための閾値 T_1 、 T_2 を用いて C_1 、 C_2 の分類を行う。具体的には、 $d_{1j} < T_1$ ならば C_1 、 $d_{2j} < T_2$ ならば C_2 に対象画素を分類する。どちらの条件も満たさなければ背景色でないとする。

以上により背景色画素に分類された画素を背景として抽出する。

3.2. ストライプの境界を利用した 2 次抽出

ストライプの境界を用いた 2 次抽出では、ストライプ境界の情報を利用することによって、対象物で背景と認識された部分を対象物として抽出することができる。

ストライプの境界の領域を R_s とすると、 R_s は上下を背景の 2 色で囲まれている（図 7）ことから、以下の式で表すことができる。

$$\begin{aligned} R_s = \{ & (u, v), (u, v+1), \dots, (u, v+h+1) | \\ & (u, v+1) \notin C_1, C_2, \dots, (u, v+h) \notin C_1, C_2, \\ & (((u, v) \in C_1, (u, v+h+1) \in C_2) \text{ or } \\ & ((u, v) \in C_2, (u, v+h+1) \in C_1)) \} \end{aligned} \quad (3)$$

ただし h はストライプの境界の幅である。

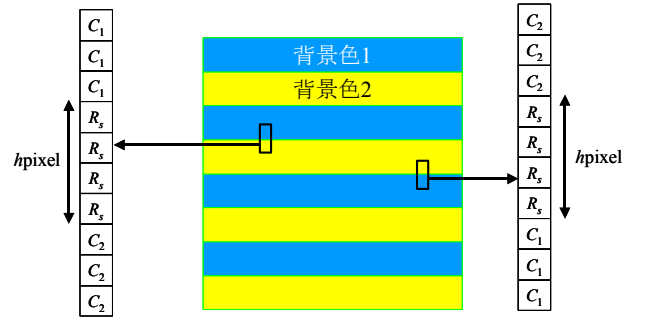


図 7 ストライプの境界領域

ストライプの境界を利用して対象物抽出をするにあたって、以下の 2 点の性質を利用する。

I. ストライプの境界の端点是对象物の輪郭に接している。

II. 背景領域はストライプの境界と接している。

そこで、まず I の性質よりストライプの境界の端点で背景色の領域とぶつかるものを結ぶことで対象物の輪郭を補間する（図 8(b)）。端点は各ストライプの境界を横方向に検索することで検出する。次に、II の性質より 3.1 において背景として抽出された領域で、ストライプの境界と接していないものは対象物として抽出する（図 8(b)）。最後にストライプの境界を背景に分類して対象物の抽出を完了する。以上の手順により対象

物を抽出すると図9のようになる。

しかし、この対象物抽出方法では対象物の輪郭はストライプの境界の端点を結んだだけなので、正確な輪郭ではない。そのため、ここまでの処理で抽出された対象物領域は単なる候補領域となる。そこで精度よく対象物を抽出するために以降の処理を行う。

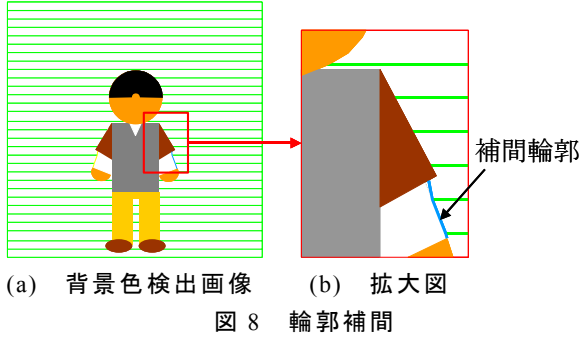


図8 輪郭補間

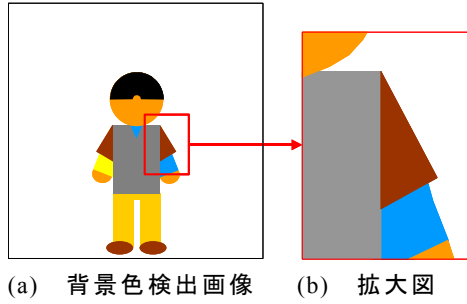


図9 ストライプの境界を利用した対象物抽出結果

4. 動的輪郭モデルによる対象物の輪郭抽出

対象物とその周りの背景を分割するために、対象物の輪郭を求める。輪郭抽出には動的輪郭モデルを利用する。

4.1. 動的輪郭モデル

動的輪郭モデルは画像平面 (x, y) 上の閉曲線 $\mathbf{v}_i = (x_i, y_i)$ ($i = 1, 2, \dots, n$, $\mathbf{v}_{n+1} = \mathbf{v}_1$) をあらかじめ定義したエネルギーを最小化するように変形し、エネルギーの極小状態として形状が決まる輪郭抽出のモデルである。本論文では動的輪郭モデルのエネルギーを(4)式のように定めた。

$$E_{snake} = E_{spline}(\mathbf{v}_i) + E_{image}(\mathbf{v}_i) + E_{area}(\mathbf{v}_i) \quad (4)$$

ただし、

$$E_{spline}(\mathbf{v}_i) = \sum_{i=1}^n \left(w_{spl} |\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_{i-1}|^2 + w_{sp2} |\mathbf{v}_{i+1} - 2\mathbf{v}_i + \mathbf{v}_{i-1}|^2 \right) \quad (5)$$

$$E_{image}(\mathbf{v}_i) = - \sum_{i=1}^n w_{image} |\nabla I(\mathbf{v}_i)| \quad (6)$$

$$E_{area}(\mathbf{v}_i) = \sum_{i=1}^n w_{area} \{ x_i (y_{i+1} - y_i) - (x_{i+1} - x_i) y_i \} \quad (7)$$

ここで、 $E_{spline}(\mathbf{v}_i)$ は輪郭モデルを滑らかにするエネルギー、 $E_{image}(\mathbf{v}_i)$ は輪郭モデルを画像中のエッジに引き寄せるエネルギー、 $E_{area}(\mathbf{v}_i)$ は輪郭モデルを凹形状、膨張に対応させるエネルギー[17]である。また、 w_{spl} , w_{sp2} , w_{image} , w_{area} はそれぞれのエネルギーの重み係数であり、 $I(\mathbf{v}_i)$ は $\mathbf{v}_i$ における輝度を表す関数である。よって $|\nabla I(\mathbf{v}_i)|$ は $\mathbf{v}_i$ における輝度勾配の絶対値を表す。本論文では輝度勾配の絶対値 $|\nabla I(\mathbf{v}_i)|$ を、ストライプの境界以外部分では(8)式のように、ストライプの境界部分では(9)式のように計算する。

$$|\nabla I(\mathbf{v}_i)| = |I(x_i+1, y_i) - I(x_i, y_i)| + |I(x_i, y_i+1) - I(x_i, y_i)| \quad (8)$$

$$|\nabla I(\mathbf{v}_i)| = |I(x_i+1, y_i) - I(x_i, y_i)| \quad (9)$$

(9)式は輝度勾配を横方向にとったものである。一般的には輝度勾配は(8)式のように縦方向成分を考慮するが、本手法ではストライプの境界部分で縦方向の輝度勾配をとると、そこがエッジとなり、その部分に輪郭モデルが引き寄せられてしまう。そのため本手法ではストライプの境界部分において(9)式のように横方向にのみ輝度勾配をとる。

4.2. 重み係数の決定

動的輪郭モデルのエネルギーの重み係数は、抽出する対象の形状などにより値を変えなければならない。そのため動画など画像の処理枚数が多く画像毎に対象物の形状が変化する場合は、重み係数を自動で決定する必要がある。重み係数決定の際、輪郭モデルが囲む形状の周囲長 l 、面積 S 、円形度 e を参考にする。 e は値が小さいほど形状が複雑なことを示す。 l は輪郭の画素数、 S は輪郭が囲む領域の画素数とし、 e は(10)式で表す。

$$e = \frac{4\pi S}{l^2} \quad (10)$$

各エネルギーの性質として、 l が大きくなると E_{spline} の第1項のエネルギーと E_{image} は大きくなり、 S が大きくなると E_{area} は大きくなる。また形状が複雑、つまり e が小さいほど E_{spline} の第2項のエネルギーは大きくなる。各エネルギーが大きくなるときは重みを小さくすればよいと考えられる。重み係数の自動決定は動画の第2フレーム以降のみで行うとし、第 j フレームのそれぞれの重み係数は(11)式～(14)式のように決定する。

$$w_{spl}(j) = \frac{a_1}{l(j)} \quad (11)$$

$$w_{sp2}(j) = a_2 e(j) \quad (12)$$

$$w_{image}(j) = \frac{a_3}{l(j)} \quad (13)$$

$$w_{area}(j) = \frac{a_4}{S(j)} \quad (14)$$

ここで、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 は各重み係数決定の際のパラメーター（定数）であり、これらの値はあらかじめ第1フレームにおいて決めておく。また $l(j)$ 、 $e(j)$ 、 $S(j)$ はそれぞれ第 j フレームでの周囲長、円形度、面積である。

4.3. 初期位置設定

動的輪郭モデルの初期位置はストライプ状背景により抽出された対象物候補領域と背景の境界とし、境界追跡により画像上の座標を読み込んでいく。これによって動的輪郭モデルの初期位置を対象物の近傍に自動的に設定できる。また、初期位置は画像上に存在する境界（輪郭）の数だけ設定する。

このとき図 10 のように腰に手を当てた人物が対象物のような画像では、外側輪郭と内側輪郭がある。図 8 を見て分かるように、外側輪郭の場合は初期位置から輪郭モデルが収縮すれば対象物の輪郭と一致し、内側輪郭の場合は初期位置から輪郭モデルが膨張すれば対象物の輪郭と一致する。

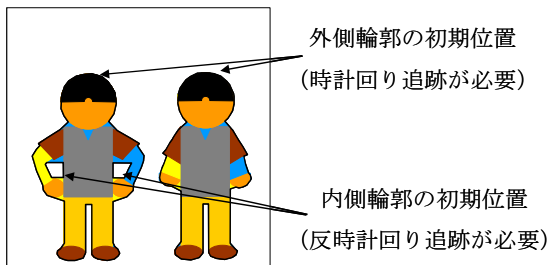


図 10 対象物に外側輪郭と内側輪郭が存在する例

(7)式のエネルギーにより、動的輪郭モデルは時計回りに座標を読み込むと収縮し、反時計回りに座標を読み込むと膨張する。よって外側輪郭は時計回り、内側輪郭は反時計回りに境界追跡する必要がある。

よって本手法では境界追跡を行うとき、外側輪郭を時計回りに追跡し、内側輪郭を反時計回りに追跡する。

5. 対象物と背景の分割

動的輪郭モデルによって対象物の輪郭を求めただけでは、その輪郭をはさんでどちらが対象物でどちらが背景かは分からない。よって次に示す処理で対象物と背景の分割を行う。

- ① 動的輪郭モデルによって抽出した対象物の輪郭線部（図 11(a)）を黒画素、それ以外を白画素とする輪郭線 2 値化画像を作成する。なお輪郭

線部は 8 連結である。

- ② 上記 2 値画像について、4 連結の条件で白画素部分をラベリングする（図 11(b)）。
- ③ 得られたラベル領域について、3.1 項における初期参照領域を含むラベルを検出し、このラベルを背景ラベルに登録する（図 11(c)）。
- ④ 輪郭線 2 値画像において、背景ラベルとして登録されたラベル領域と輪郭線を隔てて隣接する未検出のラベル領域を全て検出し、このラベルを対象物ラベルに登録する（図 11(d)）。この結果、未検出のラベル領域がなくなれば⑦へ。
- ⑤ 輪郭線 2 値画像において、対象物ラベルとして登録されたラベル領域と輪郭線を隔てて隣接する未検出のラベル領域を全て検出し、このラベルを背景ラベルに登録する（図 11(e)）。この結果、未検出のラベル領域がなくなれば⑦へ。
- ⑥ ④と⑤の処理を未検出のラベル領域がなくなるまで繰り返す。
- ⑦ 背景ラベルに登録されたラベル値を有するラベル領域を遮閉マスクとして、原画をマスク処理する。これにより対象物を背景と分離した分割処理結果が得られる（図 11(f)）。

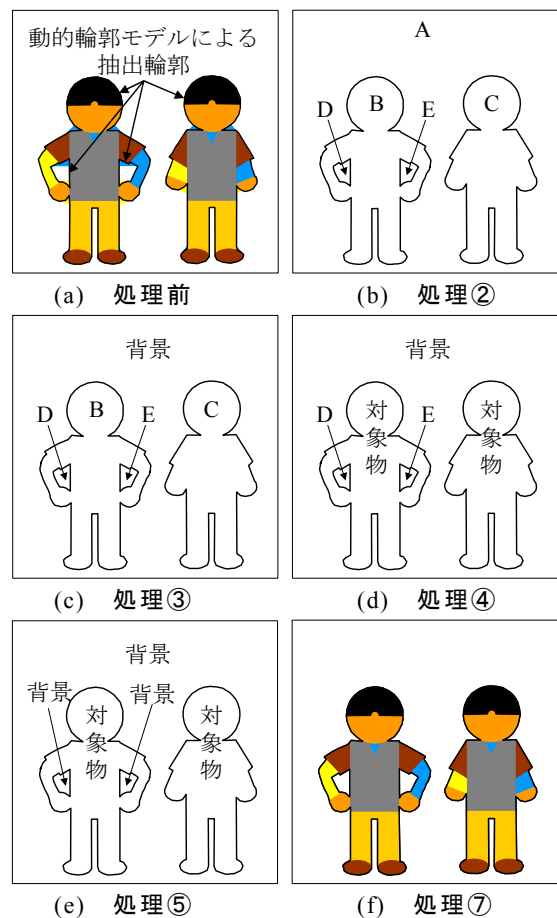


図 11 対象物と背景の分割

6. 実験

提案した手法の有効性を確かめるため、静止画では図12(a), (b)に示す対象物の一部（人物の腕など）に背景と同じ色が含まれた2枚の撮影画像に本手法を用いた．なおこれらの画像はデジタルカメラを用いて2400×1800pixelで撮影したが、対象物抽出に必要な部分を切り取り図12(a)は1084×1425pixel, 図12(b)は1780×1520pixelにしたものである．

背景は2色のストライプの色をそれぞれ、 C_1 を青、 C_2 を黄とし、市販の模造紙を張り合わせて製作した．

まず、ストライプ状背景を用いて対象物候補領域の抽出を行った．今回の実験では背景色検出による1次抽出のときの初期参照領域におけるストライプの境界の幅 t は4pixelとした．その他、背景色 C_1 , C_2 となる画素の特徴として、次のことが経験的に分かっているため、背景色分類の際の条件として次のことを付け加えた．

$$C_1 \text{ (青)} : r_j < g_j, r_j < b_j, g_j < b_j$$

$$C_2 \text{ (黄)} : |r_j - g_j| < K, r_j > b_j, g_j > b_j$$

ここで K は経験的な値で今回は $K=40$ とした．また、背景色分類のための閾値は次のようにした．

$$T_1 = 90, T_2 = 90$$

背景色を検出した結果を図13(a), (b)に示す．対象物の腕の部分などが背景として検出されていることが分かる．またストライプ境界が背景として検出されていないことも分かる．

ストライプ境界を利用した対象物抽出結果を図14(a), (b)に示す．このとき画像全体におけるストライプの境界の幅 h は6pixel以下とした．それぞれの図を見ると、対象物の背景色部分が対象物として抽出されていることが分かる．また、対象物の輪郭が正確に抽出できていないことも分かる．

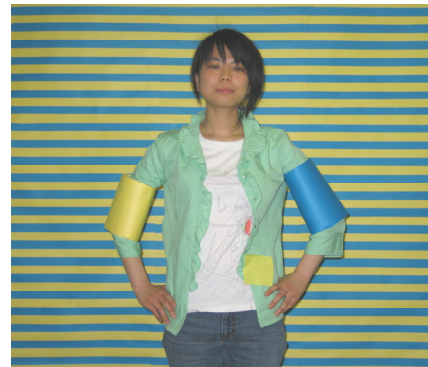
次に動的輪郭モデルを用いて対象物の輪郭を抽出し、その情報から対象物と背景を分割する．その結果を図15(a), (b)に示す．

図15(a), (b)を見ると対象物周りのストライプ状背景と対象物が分割され、ほぼ正確に対象物を抽出できていることが分かる．なお本手法で用いている動的輪郭モデルには、輪郭モデルを膨張させるエネルギーが導入されている．そのため、図15(b)のように対象物に内側輪郭が存在する場合でも対象物と背景を分割できている．

抽出された対象物と他の背景を合成した結果を図16(a), (b)に示す．なお抽出した領域と新たな背景の合成は、抽出した領域の α 値を1、背景部分の α 値を0と設定し、(1)式を用いて行う．ただし、対象と背景の境界部分では、 α 値を0から1に連続的に線形変化させることにより合成を行った．



(a) 画像 1



(b) 画像 2

図 12 撮影画像

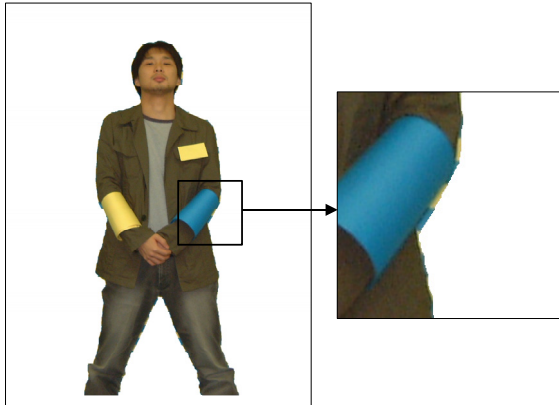


(a) 結果 1

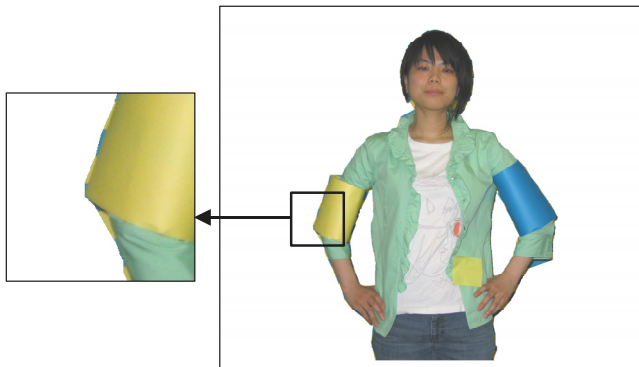


(b) 結果 2

図 13 背景色検出結果

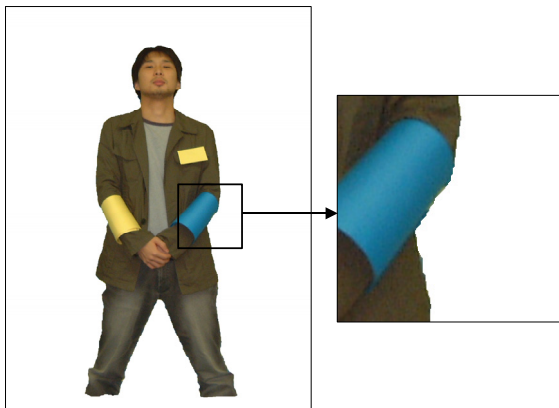


(a) 結果 1

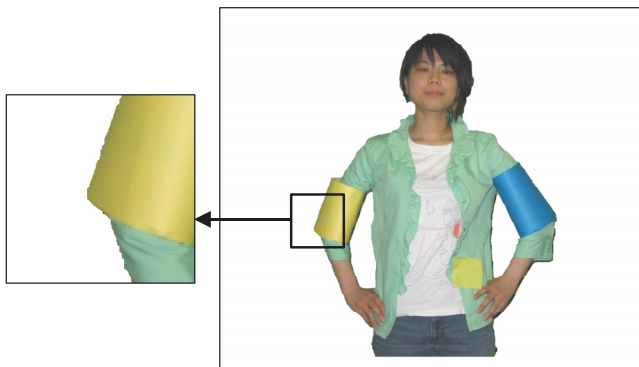


(b) 結果 2

図 14 対象物候補領域抽出結果



(a) 結果 1



(b) 結果 2

図 15 動的輪郭モデルを用いた対象物抽出結果



(a) 結果 1



(b) 結果 2

図 16 合成結果

また、動画画像合成結果を図 17 に示す．(a)が撮影画像，(b)が合成画像である．このときの撮影画像サイズは 640×480 pixel である．なお、動的輪郭モデルの重み係数決定の際、(11)～(14)式における a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 の値は $a_1=1300$ 、 $a_2=1$ 、 $a_3=450$ 、 $a_4=9400$ とした．

図 17 より対象物の数や面積、形状が変化しても対象物が抽出できていることが分かる．

7. むすび

本論文ではストライプ状背景と動的輪郭モデルを用いることにより、背景色を含む対象物を精度良く抽出する手法を提案した．実験結果より、対象物の背景色部分を正しく抽出し、対象物の形状も高い精度で抽出ができていたことが確認できた．

今後の課題としては、[14]や[15]等の手法を応用することにより、抽出した対象物の輪郭部分の α 値をより詳細に推定し、対象物と背景の境を違和感なく合成していくことや、位置関係や光の関係を考慮した合成を行っていくことなどが挙げられる．

謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C)17500067の援助を受けた。

文 献

- [1] T. Porter and T. Duff: "Compositing Digital Images", Computer Graphics (SIGGRAPH1984), Vol.18, No.3, pp.253-259, 1984.
- [2] S. Shimoda, M. Hayashi and Y. Kanatsugu: "New Chroma-key Imaging Technique with Hi-Vision background", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.35, No.4, pp.357-361, 1989.
- [3] S. Gibbs, C. Arapis, C. Breiteneder, V. Lalioti, S. Mostafawy and J. Speier: "Virtual Studios: An Overview", IEEE Multimedia, Vol.5, No.1, pp.18-35, 1998.
- [4] K. S. Fu and J. K. Mui: "A Survey on Image Segmentation", Pattern Recognition, Vol.13, pp.3-16, 1981.
- [5] W. Skarbek and A. Koschan: "Colour Image Segmentation - A Survey", Technical Report 94-32, Technical University of Berlin, Department of Computer Science, 1994.
- [6] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos: "Snakes: Active Contour Models", International Journal of Computer Vision, Vol.1, No.4, pp.321-331, 1988.
- [7] 井上誠喜, 小山広毅: "動画像合成のための対象物の抽出とはめ込み法", テレビジョン学会誌, Vol.47, No.7, pp.999-1005, 1993.
- [8] T. Mitsunaga, Y. Yokoyama and T. Totsuka: "AutoKey: Human Assisted Key Extraction", Computer Graphics (SIGGRAPH1995), pp.265-272, 1995.
- [9] M. Kawakita, K. Iizuka, T. Aida, H. Kikuchi, H. Fujikake, J. Yonai and K. Takizawa: "Axi-Vision Camera (real-time distance-mapping camera)", Applied Optics, Vol.39, No.22, pp.3931-3939, 2000.
- [10] 三島也守志: "多面体スライスを用いたクロマキーのソフトウェア", NICOGRAPH 論文集 1992, pp.44-52, 1992.
- [11] D. E. Zongker, D. M. Werner, B. Curless and D. H. Salesin: "Environment Matting and Compositing", Computer Graphics (SIGGRAPH1999), pp.205-214, 1999.
- [12] M. A. Ruzon and C. Tomasi: "Alpha Estimation in Natural Images", Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.18-25, 2000.
- [13] P. Hillman, J. Hannah and D. Renshaw: "Alpha Channel Estimation in High Resolution Images and Image Sequences", Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.1, pp.1063-1068, 2001.
- [14] Y.-Y. Chuang, B. Curless, D. H. Salesin and R. Szeliski: "A Bayesian Approach to Digital Matting", Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.2, pp.264-271, 2001.
- [15] J. Sun, J. Jia, C.-K. Tang and H.-Y. Shum: "Poisson Matting", Computer Graphics (SIGGRAPH2004), pp.315-321, 2004.
- [16] A. R. Smith and J. F. Blinn: "Blue Screen Matting", Computer Graphics (SIGGRAPH1996), pp.259-268, 1996.
- [17] 荒木昭一, 横矢直和, 岩佐英彦, 竹村治雄: "複数物体の抽出を目的とした交差判定により分裂する動的輪郭モデル", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J79-D-II, No.10, pp.1704-1711, 1996.



(a) 撮影画像 (b) 合成画像

図 17 動画合成結果