

LJ-012

複数領域抽出のための新しい引力項を持つ動的輪郭モデルのハードウェア実現について

Hardware Realization of Active Contour Models with new attraction for Multiple Area Extraction

三秋 俊雄[†]
Toshio Miaki

川村 尚生[‡]
Takao Kawamura

菅原 一孔[‡]
Kazunori Sugahara

1. はじめに

画像処理の代表的なものに、画像中の特定の性質を持つ領域を抽出する処理がある。この手法は、特定の色分布を持つ領域や特定の形状を持つ画像中の領域を抽出するものであり、自然風景画像からの顔画像領域の抽出や自動車のナンバープレートの抽出処理などが近年盛んに研究されている。

このような特定領域を抽出する方法には多次元のフィルタリング処理をする手法など多くの手法が提案されているが、Kassらによって提案された動的輪郭モデル(以下、Snakes)[1]もその一つである。Snakesは、画像中に仮想的ないくつかの動作点からなる閉曲線を考え、それらに対し画像中のエネルギー最小化問題を解くことにより特定領域を抽出する手法である。画像中のエネルギーには色情報をはじめとする様々な情報を反映することができるため、多様な領域抽出手法を柔軟に構築できる特徴があった。しかし、この手法ではエネルギー最小化問題を解くためには多大な計算量が必要となり、そのための演算時間を考慮すると本稿で目的とするような実時間で動画画像を処理しようとする目的には不向きであった。また、高速化のためにハードウェア上にそれを実現しようとしても、その演算回路の規模の点から実現する事は難しい。

そこでエネルギーの最小化を力のつりあいとしてとらえる Sampled-ACM が橋本らによって提案され [2]、さらに菅原らにより振動項を考慮することにより耐雑音性を向上させた手法 [3] が提案された。この振動項を考慮した Sampled-ACM(以下、動的輪郭モデル)では、エネルギー最小化問題を解くことがないだけでなく画像が記録されているメモリへのアクセスが動作点の移動する画素のみで済むため、メモリのアクセス数を低減させることが可能であるという利点がある。

我々はすでに、このような動的輪郭モデルを FPGA (Field Programmable Gate Array) 上へハードウェア実現することにより、単独動作が可能な組み込み型の処理装置を開発した。本稿では、動的輪郭モデルの動作点に働く力の一つである引力を改良することで内部回路の簡略化を行ない、構成回路の小規模化ならびに高速化を目指す。また、複数の特定領域を抽出する方法を提案する。この手法は実時間処理を行う組み込み型システムを目指し、FPGA 上にハードウェアとして実現した。

2. 分裂する動的輪郭モデル

2.1 動的輪郭モデル

動的輪郭モデルは仮想的な閉曲線上にある複数の動作点に圧力、引力、反力および振動項と呼ばれる4つの力

が働くことにより、閉曲線が収縮し領域を抽出する手法である。この動的輪郭モデルにより唇形状の抽出を行ったが、唇の形状は概ね外側に凸であるため圧力を考慮せず引力、反力、振動項により閉曲線を収縮させた [4]。しかしこの方法は1枚の画像から二人以上の顔領域を抽出するなどの、抽出対象が複数となる場合には有効ではない。そこで圧力を考慮し新しい引力を用いた動的輪郭モデルにおいて、閉曲線を分裂させることにより画像から複数の特定領域を抽出する。

2.2 動作点に働く4つの力

図1に動作点に働く4つの力によって閉曲線が収縮する様子を示す。

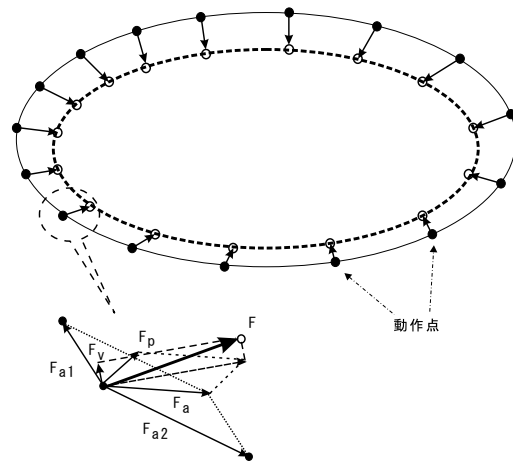


図1: 動的輪郭モデルによる閉曲線の収縮

圧力 F_p は注目している動作点と隣り合う2つの動作点で作る角の2等分線方向に働く力であり、その大きさは一定の値を持ち K_p と表す。

引力 F_a は図2に示すように隣り合う2つの動作点間に働く力 F_{a1} と F_{a2} の合力であり、その間の距離に比例した大きさを持つ。

振動項 F_v は圧力 F_p と引力の合力 $F_a = F_{a1} + F_{a2}$ に対し直角方向に働く力であり、収縮のたびにその方向を反転する。これにより動作点は左右に振動しながら収縮動作を行うため、収縮途中でノイズに引っかった場合でもノイズをよけて通ることができる。また大きさは一定の値を持つ。

また反力 F_r は図3に示すように動作点が対象の画像領域に接した際に働く力であり、圧力 F_p 引力 F_a 振動項 F_v の合力 F の抽出領域に対する法線方向成分を打ち消す働きをもつ。これによって動作点は画像中の目的領域の輪郭エッジ上にとどまることになる。

これらの力の働きにより、画像中の雑音をすり抜けたり、あるいは突き抜けたりする動作を実現することが可

[†]鳥取大学 大学院 工学研究科 知能情報工学専攻

[‡]鳥取大学 工学部 知能情報工学科

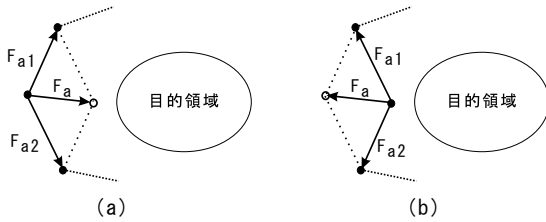


図 2: 引力

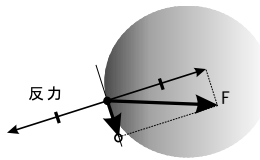


図 3: 反力

能となり、画像中の雑音に強い領域抽出手法となる。

2.3 引力の改良

2.2 で述べた引力では、図 2(b) に示すように注目した動作点が隣り合う 2 つの動作点より内側に凸となる位置にある場合、その動作点に働く引力の力の向きは外へと向けられる。また圧力は常に目的領域に向かって力が働くため、この 2 つの力が均衡した位置で収縮を終える。そのため目的領域が複数の場合、その領域間へと進入し閉曲線を分裂させるためには圧力の値 K_p を大きくとらなければならない。この場合大きすぎる圧力は閉曲線のバランスを崩してしまう問題が起こる。

そこで図 4 に示すように閉曲線が内側に凸となった場合、その動作点に加わる力の向きが反転し、隣り合う動作点へと引き寄せられていた力が押し出される力となる動作をする引力を考える。これによって圧力と引力による閉曲線の収縮が可能となり凹凸な目的領域の抽出が可能となる。また圧力の値 K_p は、注目した動作点が隣り合う 2 つの動作点より内側に凸となる位置へ進入するためのきっかけを作るものとして、ごくわずかで良い。このように新しい引力を用いることで、比較的単純な仕組みで動的輪郭モデルを表現することができる。

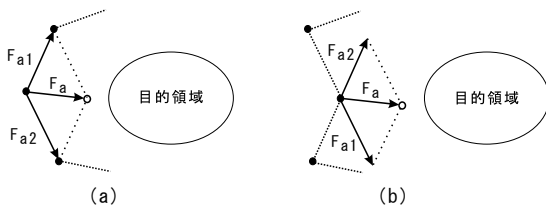


図 4: 改良した引力

2.4 分裂

画像中に目的領域が唯一つである場合、従来の動的輪郭モデルによって抽出することができる。しかしながら目的領域が複数ある場合、これまでの動的輪郭モデルは収縮するのみで分裂する性質をもたないため抽出することができない。ここでは分裂する性質を持った動的輪郭モデルが複数領域を抽出する様子を示す。

図 5(a) に動作点の初期位置を示す。従来の動的輪郭

モデルでは収縮する力が引力と振動項だけであるため、図 5(b) に示すように動作点は領域間に進入する事なく力がつりあった位置で閉曲線は収縮を終える。

圧力を考慮し引力を改良することにより、図 5(c) に示すように動作点は領域間に進入する。そこで動作点間の距離 h がパラメータとして与える一定の値よりも小さくなった場合、図 5(d) に示すように動的輪郭モデルの閉曲線を分裂させる。この時分裂の対象となる二つの着目する動作点上に新たに動作点を出現させる。その後図 5(e) に示すように目的領域がまだ複数ある場合同様に分裂を繰り返し、分裂した閉曲線はそれぞれの目的領域に向かって収縮を続け図 5(f) の状態で収縮を終える。

3. 動的輪郭モデルのハードウェア化

動的輪郭モデルのハードウェア化は FPGA 上に行った。FPGA とはユーザ使用に合わせたハードウェア回路を自由にプログラミングすることのできる LSI である。内部回路は書き換え可能であり、ハードウェアの開発、変更が容易である。また FPGA では全ての処理がハードウェアで行われるため、高速動作や同時並列処理が可能となっている。

使用した FPGA の主な仕様を表 1 に示す。

表 1: FPGA の主な仕様

開発元	ALTERA
型番	EP1C20F400C7
ロジックエレメント数	20,060
最大 I/O ポート数	301
パッケージ	400-Pin FineLine BGA
サイズ	21[mm] 角
動作周波数	48[MHz]

この FPGA を搭載した FPGA ボードのユーザー I/O ポートと、デコーダ、エンコーダ、メモリを実装したビデオ信号入出力ボードのコネクタを接続することで、FPGA の内部回路がアクセス可能となる装置を開発し、実験を行った。開発したシステム全体の構成を図 6 に示す。

FPGA の内部回路の構築には、VHDL (VHSIC Hardware Description Language) というハードウェア記述言語を用いた。ハードウェア記述言語では論理ゲートを用いた回路図や論理式を考える必要が無く、テキスト形式で入力可能なため、記述や変更が容易である。また FPGA 論理回路開発ツールとして、ALTERA 社のソフトウェア QuartusII version5.0 を用いて論理合成および配置配線を行った。

システムの処理の流れとしては、NTSC カメラより取り込まれた画像を NTSC ビデオデコーダを介して RGB デジタル映像信号に変換し FPGA ボードのメモリへと格納し、その画像に動的輪郭モデルを適用する。この時、最大収束回数を分裂前 50 回、分裂後 30 回の合計 80 回とした。仮想的な閉曲線上にある動作点は、分裂した後複数の目的領域の抽出を終えた結果として、動作点の最終位置をメモリへ書き込み、その結果をデジタルビデオエンコーダによって NTSC アナログビデオ信号に変換された出力画像をモニタに表示する。

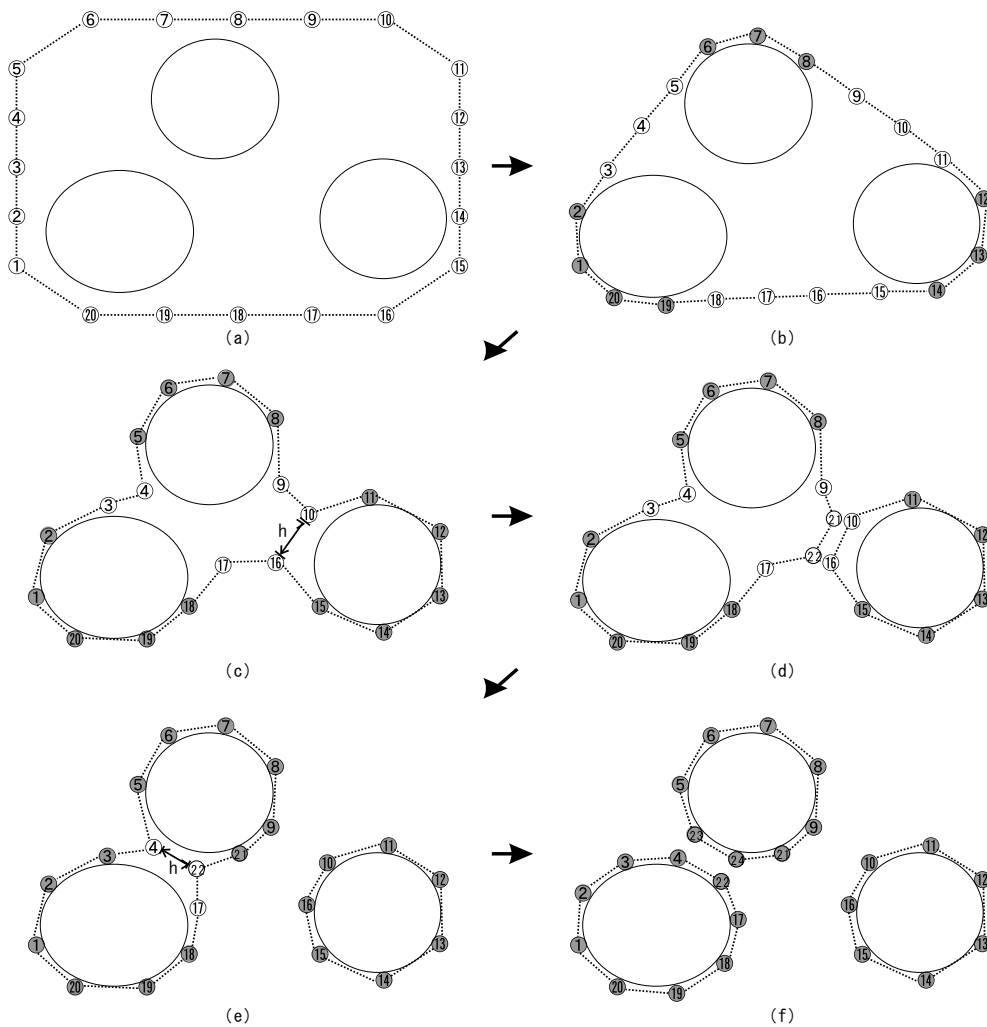


図 5: 分裂する動的輪郭モデル

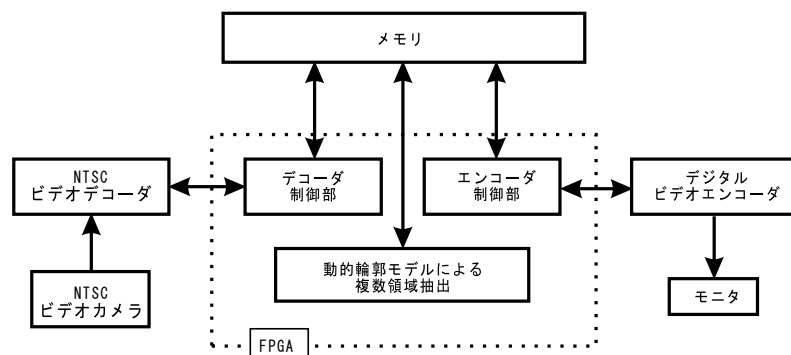
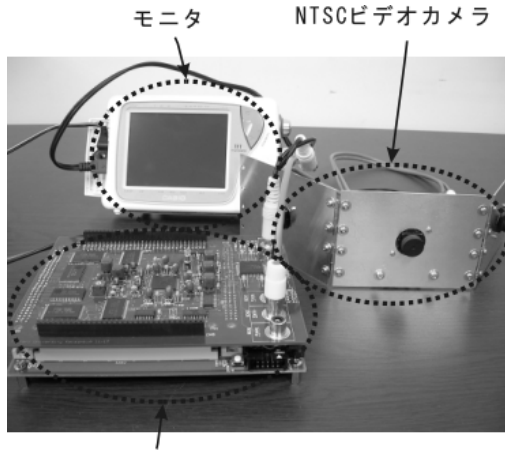


図 6: システム構成図

4. 動作実験

動作実験は NTSC ビデオカメラに映した二人の人物の顔画像を実時間にて抽出する実験を行った。図 7 に実験に用いた各装置を示す。図 8 は分裂する動的輪郭モデルを適用した様子を示す。



ビデオ信号入出力ボードとFPGAボード

図 7: 実験装置

図 8(a) が収縮過程，図 8(b) が分裂直後，図 8(c) より分裂する動的輪郭モデルが二人の人物を正しく抽出している様子が確認できる。

分裂する動的輪郭モデルを組み込んだ FPGA の回路規模を表 2 に示す。ハードウェア量は全体の 40 % でシステムを実現できた。また動的輪郭モデル部の 1 フレームの処理にかかるクロック数は最大で約 17 万 3 千で約 3.6ms であり，FPGA のクロックが 48MHz である条件下で毎秒 30 フレームの動画像を処理するのに十分な処理速度が実現できた。

表 2: 回路規模

処理回路名	消費ロジックエレメント数
デコーダ制御処理部	293
動的輪郭モデル部	5583
エンコーダ制御処理部	225
その他	252
合計	6588

5. おわりに

本稿では複数領域を抽出するための動的輪郭モデルを提案した。そのために圧力を考慮し引力を改良し，分裂する性質をこの動的輪郭モデルに付加した。そして FPGA 上にハードウェア実現した分裂する動的輪郭モデルを，NTSC ビデオカメラから取り込んだ実時間動画像に適用し，二人の顔画像領域の抽出を実現した。

参考文献

[1] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models," International Journal of Computer Vision, pp.321-331, 1998.

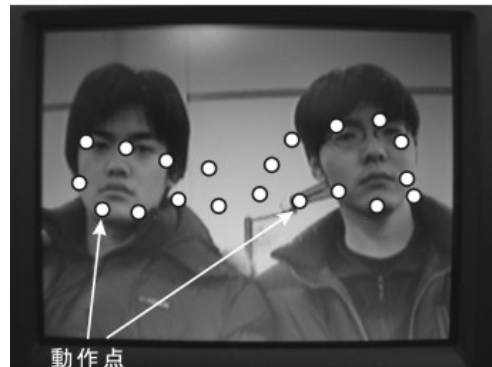
[2] 橋本 昌寛, 木下 宏揚, 酒井 善則, "Sampled Active Contour Model による輪郭抽出法," 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J77-D-II, No.11, pp.2171-2178, 1994.

[3] 菅原 一孔, 新地 俊幹, 小西 亮介, "振動項を持つ動的輪郭モデル," 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J80-D-II, No.12, pp.3232-3235, 1997.

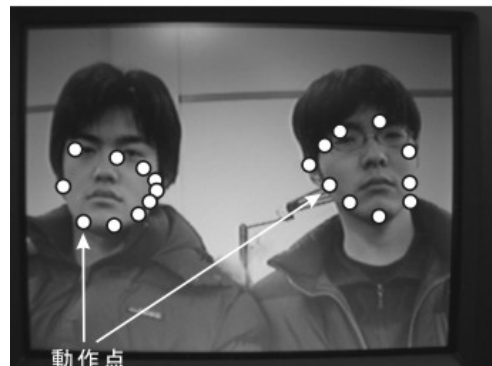
[4] 佐々木 悠介, 川村 尚生, 菅原 一孔: 動的輪郭モデルによる唇形状抽出と母音認識のハードウェア実現について, 第 6 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp.171-174(2004). テクノアークしまね.



(a)



(b)



(c)

図 8: 複数領域の抽出結果