

NAIST-IS-MT0351039

修士論文

直感的なユーザインタラクションによる 対話的領域抽出

越智 健治

2004年 3月 10日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士(工学) 授与の要件として提出した修士論文である。

越智 健治

審査委員：

横矢 直和 教授 (主指導教員)

千原 國宏 教授 (指導教員)

山澤 一誠 助教授 (指導教員)

直感的なユーザインタラクションによる 対話的領域抽出*

越智 健治

内容梗概

計算機によって画像の中から領域を抽出する処理は航空写真，医用画像を対象とした解析や，フォトコラージュ，景観シミュレーションなどの画像合成を行う際に利用されている．そして，近年のグラフィックス機能の高い計算機や画像処理ソフトの普及により，画像解析の専門家やグラフィックデザイナーだけでなく，一般のユーザが領域抽出を行う機会が増加しつつある．しかし，多様な画像に対して領域抽出を行なうには複数の手法を使い分けなければならない，各手法に関する知識が必要となるために，一般のユーザがこのような処理を行なうことは困難である．

領域抽出手法には，ユーザからの入力に対して全自動で処理を行う手法と，インタラクティブな処理を行う手法がある．前者は想定された抽出対象には良好な結果が得られやすいが，想定外の抽出対象には良好な結果を得ることが難しく，汎用性に欠ける．一方，後者はインタラクティブに処理を行うことにより様々な抽出対象でも良好な結果が得られやすいが，全自動処理に比べると入力操作に手間がかかるか，直感的な操作ができない等，初心者が操作をするには難しい．

そこで本研究では，多様な画像に対して，領域抽出に関する知識を持たないユーザでも多様な画像から容易に領域抽出できるシステムを開発した．具体的には，画像内で抽出したい領域の一部を指定するというユーザからの直感的な入力に対して，システムは複数の領域抽出処理を実施し，様々な抽出結果をユーザに

* 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT0351039, 2004年3月10日.

提示する．次に，提示された抽出結果の中から適当と思われる結果をユーザが選択する．さらに，選択した結果に対してユーザの入力と複数の領域抽出をインタラクティブに繰り返すことにより，最終的な領域抽出結果を出力する．以上の処理のうち，複数の領域抽出処理の途中でユーザによる結果の選択，次の領域指定を並行して行えるようにすることにより，インタラクティブ性の向上を図った．

最後に，提案システムが領域抽出に関する知識を持たないユーザでも多様な画像に対して容易に領域抽出できることを評価するため，画像処理の専門知識を持たないユーザを被験者とした試用実験を行った．試用実験では，提案システムと既存の画像処理ソフトを使用して同様のタスクを行ってもらうことで，作業量の比較とアンケートによるシステムの使いやすさなどについての比較評価を行い，その有用性を確認した．

キーワード

対話的領域抽出, 直感的な入力, ユーザインタラクション

Interactive region detection by intuitive user interaction*

Kenji Ochi

Abstract

The detecting a region from an image is applied to wide field, such as the analysis of an air photo or a medical image, and the image synthesis of a photo-collage or a landscape simulation. In recent years, by the spread of computers with high graphic function and image-processing software, not only specialists of image analysis or image synthesis but also general users came to detect regions from images. However, it is difficult for general users to know how to use multiple techniques properly for various images.

The region detection includes the full automatic technique, and the interactive technique. The former can output good results from limited images, but cannot output good results from various images. It is not for wide use. The latter can output good results from various images by interactive operation. However, it takes time and effort for unintuitive operation.

In this research, I developed the system which enables the users to detect regions from various images easily without the knowledge of how to use multiple techniques properly. The user intuitively inputs a part of the region which the user wishes, and then the system shows various detection results by applying multiple techniques of region detection. Next, the user chooses a good result from the results. By repeating these processes interactively, the system can output a final

* Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT0351039, March 10, 2004.

good result. Moreover, I improved the interactive efficiency by enabling the user to choose a result and to input next region while the system executes multiple techniques.

For evaluating the usefulness of the system, I had carried out the experiment that the users who have no technical knowledge of image processing techniques try to use the developed system. In the experiment, the users execute same tasks with the developed system and with the conventional software on the market. I had compared work amounts and usability by questionnaire of the developed system with them of the conventional software, and confirmed the effectiveness of the developed system.

Keywords:

Interactive region detection, Intuitive operation, User interaction

目次

| | |
|--------------------------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 領域抽出に関する従来研究と本研究の位置づけ | 2 |
| 2.1 全自動処理による領域抽出 | 2 |
| 2.2 インタラクティブな処理による領域抽出 | 9 |
| 2.3 本研究の位置づけと方針 | 14 |
| 3. 直感的な入力によってインタラクティブに領域抽出を行なうシステム | 15 |
| 3.1 システムの概要 | 15 |
| 3.2 適用した領域抽出手法 | 20 |
| 3.2.1 色情報によるクラスタリング法と閾値法を用いた領域抽出 | 20 |
| 3.2.2 テクスチャ情報によるテンプレートマッチング法を用いた領域抽出 | 21 |
| 3.2.3 エッジ情報による動的輪郭法を用いた領域抽出 | 22 |
| 4. 提案システムと既存の画像処理ソフトの比較評価実験 | 24 |
| 4.1 実験の概要 | 24 |
| 4.2 設定したタスク | 30 |
| 4.3 アンケートの質問項目 | 32 |
| 4.4 結果 | 33 |
| 4.5 考察 | 43 |
| 5. まとめ | 45 |
| 謝辞 | 47 |
| 参考文献 | 48 |

目 次

| | | |
|----|--------------------------------------|----|
| 1 | 色ヒストグラムに基づいたアクティブ探索法による領域抽出 [1] | 6 |
| 2 | 画像を分割したブロック単位で色の判定を行う領域抽出 [6] | 6 |
| 3 | 色情報のクラスタリングによる文字及び看板領域の抽出 [9] | 6 |
| 4 | 平面消失点の推定によるテクスチャ領域の抽出 [17] | 7 |
| 5 | 幾何的テクスチャ特徴の利用による市街地領域の抽出 [18] | 7 |
| 6 | ガボールフィルタと動的輪郭法による領域抽出 [24] | 7 |
| 7 | 複数の動的輪郭法の適用による領域抽出 [29] | 8 |
| 8 | Active Net による道路標識の抽出 [36] | 8 |
| 9 | エッジ検出と円形 Hough 変換によるバスケットボールの抽出 [39] | 8 |
| 10 | 画像メニューによる領域抽出 [41] | 12 |
| 11 | 処理メニューによる領域抽出 [51] | 12 |
| 12 | 抽出対象の特徴を記述したコードによる領域抽出 [52] | 12 |
| 13 | 輪郭に沿った点の配置による領域抽出 [56] | 13 |
| 14 | 線での指定と点の配置による領域抽出 [57] | 13 |
| 15 | 矩形での指定とマーキングによる領域抽出 [58] | 13 |
| 16 | エッジ強度に基づいた細線化による領域抽出 [62] | 14 |
| 17 | 提案システムの処理の概要 | 16 |
| 18 | 入力 (領域指定) 操作 | 17 |
| 19 | 領域抽出結果画像の提示 | 17 |
| 20 | 選択したマスク画像の表示 | 18 |
| 21 | 抽出結果画像の出力 | 18 |
| 22 | 2 回目の入力操作 | 19 |
| 23 | 2 回目の入力に対する領域抽出結果画像の提示 | 19 |
| 24 | タスク 1 の画像 | 26 |
| 25 | タスク 2 の画像 | 27 |
| 26 | タスク 3 の画像 | 28 |
| 27 | タスク 4 の画像 | 29 |
| 28 | タスク 1 が想定する画像処理の例 | 30 |

| | | |
|----|-----------------------------|----|
| 29 | タスク 2 が想定する画像処理の例 | 31 |
| 30 | タスク 3 が想定する画像処理の例 | 31 |

表 目 次

| | | |
|---|--------------------------------------|----|
| 1 | クラスタリング法と閾値法を用いた各処理のパラメータ | 21 |
| 2 | テンプレートマッチング法を用いた各処理の特徴ベクトル | 22 |
| 3 | 動的輪郭法を用いた各処理のパラメータ | 23 |
| 4 | タスク 1 の結果 | 35 |
| 5 | タスク 2 の結果 | 37 |
| 6 | タスク 3 の結果 | 39 |
| 7 | タスク 4 の結果 | 41 |
| 8 | アンケートシートの集計結果 | 43 |

1. はじめに

計算機によって画像の中から領域を抽出する処理は航空写真，医用画像を対象とした画像解析や，フォトコラージュ，景観シミュレーションなどの画像合成を行う際に利用されている．そして，近年のグラフィックス機能の高い計算機や画像処理ソフトの普及により，画像解析の専門家やグラフィックデザイナーだけでなく，一般のユーザが領域抽出を行う機会が増加しつつある．このような背景に対して，領域抽出処理に関する知識を持たない初心者でも多様な画像から容易に領域抽出ができるようにするためには，入力操作が分かり易いこと，手間がかからないこと，意図した領域が抽出できることが必要である．

領域抽出に関する従来研究としては，ユーザからの入力に対して全自動で処理を行う手法と，インタラクティブに処理を行う手法がある．前者においては，入力操作は分かり易いが想定外の抽出対象には意図した領域が正確に抽出できないという特徴があり，後者においては入力操作が分かりにくいが多様な抽出対象でもインタラクティブな処理により意図した領域が抽出できるという特徴がある．

そこで本研究では，直感的な入力により入力操作を分かり易くし，一つの入力に対し複数の領域抽出処理を適用し，結果をインタラクティブにユーザが選択することにより，手間がかからず意図した領域が抽出できるシステムを開発した．

以下，2章では領域抽出に適用可能な従来研究を紹介し，本研究の方針を述べる．3章では，直感的なユーザインタラクションにより領域抽出を行うシステムの概要と処理の詳細について述べる．4章では，画像処理の初心者を被験者とした領域抽出実験を行い，その結果と考察を述べる．最後にまとめと今後の課題について5章で述べる．

2. 領域抽出に関する従来研究と本研究の位置づけ

領域抽出に関する従来研究は数多く存在するが、それらは全自動により処理を行なう手法とインタラクティブに処理を行なう手法の二つに大別できる。本章ではそれぞれの従来研究について述べた後、本研究の位置づけと方針について述べる。

2.1 全自動処理による領域抽出

全自動処理による領域抽出は、想定される抽出対象の特徴をあらかじめシステムに入力し、その特徴をもとに領域抽出を行う。その際、利用される特徴としては色、テクスチャ、エッジなどの情報がある。この手法は、操作は分かり易いが想定外の抽出対象には意図した領域が正確に抽出できないという問題がある。以下に、それぞれの特徴を利用した従来研究の例を紹介する。

色の情報を利用した手法

色の情報を利用して領域抽出する手法には、色のヒストグラム(画素値の分布)を利用する手法 [1, 2, 3, 4, 5] や画像を分割したブロック単位で色の判定を行なう手法 [6, 7, 8] , クラスタリングを利用する手法 [9, 10, 11] , その他の手法 [12, 13, 14, 15] がある。以下に、これらの従来研究の一部を紹介する。

まず、色のヒストグラムを利用して領域抽出を行う手法として、染谷らの手法 [1] がある。この手法では、アクティブ探索法 [16] を利用することで対象領域の高速な抽出を行う。具体的には、入力画像から抽出対象の色ヒストグラムをマルチテンプレートとして登録し、画像の局所領域の照合を種々のサイズの局所領域で総当り的に行なう(アクティブ探索法)ことで領域を抽出する。これによって、背景が単純な画像では対象物体を高速に抽出でき(図1参照)、さらに物体の位置や照明の変化、物体の変形にも対応して抽出できるようになる。しかしこの手法には、背景が複雑な画像では対象物体を良好に抽出できなくなり、これに対処するためには複雑なパラメータ設定が必要になるという問題がある。

次に、画像を分割したブロック単位で色の判定を行う手法として、川戸らの手

法 [6] がある。この手法では、抽出対象を人間の肌の部分に限定することで、カラービデオ画像からリアルタイムで対象領域を抽出する。具体的には、画像をブロックに分割してそのブロック単位で肌色を判定し、さらに閾値を下げながら肌色ブロックを小ブロックに分割して、十分な分解能が得られるまで再帰的に処理を行うことで、最終的に肌色の領域だけを抽出する (図 2 参照)。ただし、処理の最初に大きなブロックで色情報を評価するために手や指など細い部分の抽出が困難になることから、抽出可能な対象が顔のような広い領域だけに限定される。

一方、クラスタリングを利用する手法としては、複雑な背景を持つ情景画像から看板の文字領域だけを抽出する長井らの手法 [9] がある。これは、看板の地が単色であることから、画像をある程度低い解像度でクラスタリングした場合には看板が一つのクラスタとして分類されることに注目し、色情報を基にしたクラスタリング (領域分割) を行なう。さらに、看板領域はある程度多くの画素を占有することから、クラスタリングをした時点で小さな領域を削除して、最終的に看板領域だけを抽出する (図 3 参照)。しかし、この手法も抽出対象が限定されている。

テクスチャの情報を利用した手法

テクスチャの情報を利用して領域抽出する手法は、テクスチャを対象領域として抽出する手法 [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23] と、逆にテクスチャを背景として扱うことで前景の対象領域だけを抽出する手法 [24, 25, 26, 27] の二つに分けることができる。以下に、これらの従来研究の一部を紹介する。

まず、藤原らの手法 [17] は平面上のテクスチャの空間周波数成分の変化から平面の消失点を推定し、テクスチャ領域を抽出する手法である。具体的には、対象とするテクスチャ領域のおおよその中心位置と平面の方位角が与えられているという仮定の下で、まず平面テクスチャの空間周波数を方位角方向の直交方向について調べ、この空間周波数成分の変化のパラメータを Hough 変換によって二つの曲線として表し、平面の消失点を求める。そして、この消失点の投票に寄与した画素を図 4 のようにテクスチャ領域として抽出する。

また、杵渕らの手法 [18] では、人工衛星や航空機など上空から撮影した空中写真の中から、市街地特有の幾何的テクスチャの特徴に着目することにより市街地

領域を抽出する．市街地特有の幾何的テクスチャ特徴として，エッジ強度が大きいこととエッジ方向が直交する傾向が強いことに注目し，この傾向が強い領域を市街地領域として抽出する (図 5 参照) ．

これに対して，Nikos らの手法 [24] では，テクスチャの領域を背景として扱い，前景の領域を抽出する処理を行う．具体的には，あらかじめ背景として見なすテクスチャの領域だけが存在する画像を用意し，これに対してガボールフィルタを適用することで，テクスチャ解析を行う．この結果を利用して，テクスチャと抽出対象が同時に存在する画像から，後述する動的輪郭法 [28] で輪郭がテクスチャを捕らえないように対象領域を抽出する (図 6 参照) ．

以上のように，これらの手法は抽出する対象または背景を特定のテクスチャ領域に限定している ．

エッジの情報を利用した手法

エッジの情報を利用して領域抽出する手法には，エネルギーの最小化原理を利用した動的輪郭法による手法 [28, 29, 30, 31, 32, 33, 34] や Active Net による手法 [35, 36, 37, 38] ，Hough 変換を利用した手法 [39] などがある．以下に，これらの従来研究の一部を紹介する ．

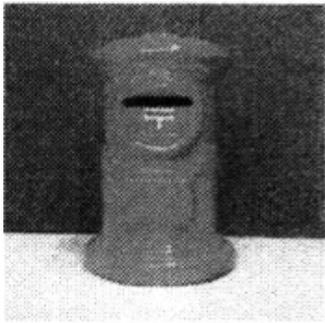
まず，動的輪郭法 [28] とはエッジ強度などのエネルギーの総和として輪郭線のエネルギーを定義し，輪郭線のエネルギーが極小値に収束するまで初期輪郭から輪郭を移動させ，対象領域の輪郭を抽出する手法である．この動的輪郭法を複数同時に適用して対象領域を抽出する松澤らの手法 [29] がある．具体的には，複数の動的輪郭法により画像特徴量が均一な部分を複数抽出し，それら複数抽出された領域の集合を抽出対象領域とする (図 7 参照) ．しかし，画像内のエッジは対象領域だけでなく他の領域にも存在するため，初期輪郭を適切に設定しなければならない．さらに，対象領域周辺に対象外のエッジが存在する場合，対象とする輪郭の捕捉には複雑なパラメータ設定が必要になるという問題もある ．

また，動的輪郭法と同じくエネルギーの最小化原理を利用した手法として，坂上らが提案した Active Net [35] がある．これは，動的輪郭法を 2 次元に拡張したモデルであり，対象領域内部の情報 (テクスチャ情報など) を考慮してより安定し

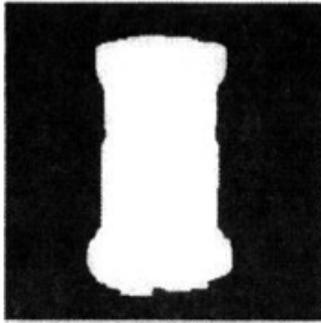
た対象抽出が可能になるという特徴がある．この Active Net を利用して領域抽出を行う手法として，画像内から道路標識の領域を抽出する藪木らの手法 [36] がある．この手法では，先に抽出対象の色情報を求めておき，これを Active Net のエネルギー関数に組み込むことで，その色情報を持つ領域を抽出することができる．図 8 では，Active Net が黄色の標識だけを抽出する様子が示されている．しかし，この手法も適切に初期状態を設定するか，状況に合わせたパラメータ設定が必要になるという問題がある．

その他に Hough 変換などを利用して画像内からバスケットボールの領域を抽出する西松らの手法 [39] がある．この手法では，はじめに色情報を用いてボールの大まかな位置を把握してから，円形 Hough 変換を行なうことで，バスケットボールの領域を抽出する (図 9(a)(b) 参照)．しかし図 9(c) のように，ボールに近い色が背景に多く含まれ，さらにその周囲にエッジが多数存在する画像においては抽出に失敗することが多いため，状況に合わせてパラメータを変更しなければならない．

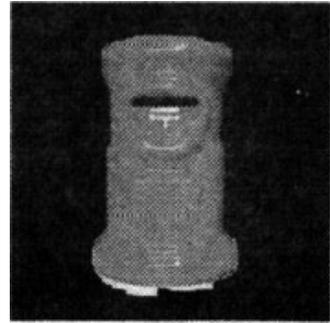
このように，全自動処理で領域抽出を行う従来研究は，想定外の対象についてはユーザが意図した領域が抽出できないか，あるいはパラメータの設定が複雑になるといった問題がある．



(a) 入力画像



(b) マスク画像



(c) 出力画像

図 1 色ヒストグラムに基づいたアクティブ探索法による領域抽出 [1]



(a) 入力画像



(b) 出力画像 1



(c) 出力画像 2

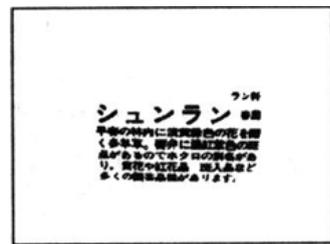
図 2 画像を分割したブロック単位で色の判定を行う領域抽出 [6]



(a) 入力画像



(b) 看板領域の抽出



(c) 出力画像

図 3 色情報のクラスタリングによる文字及び看板領域の抽出 [9]

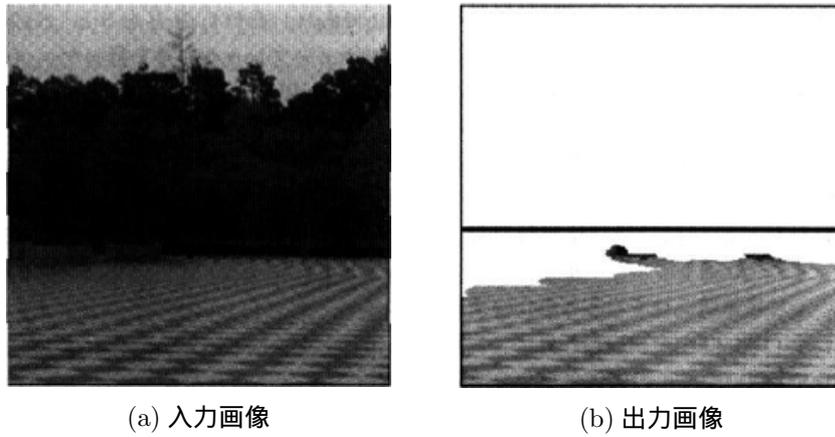


図 4 平面消失点の推定によるテクスチャ領域の抽出 [17]

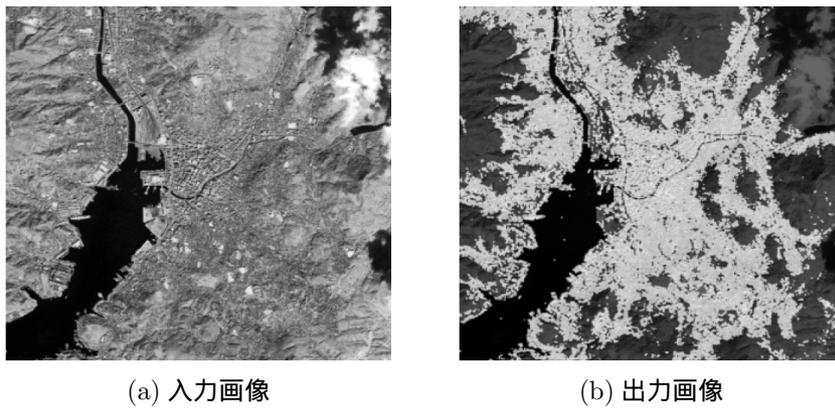


図 5 幾何的テクスチャ特徴の利用による市街地領域の抽出 [18]

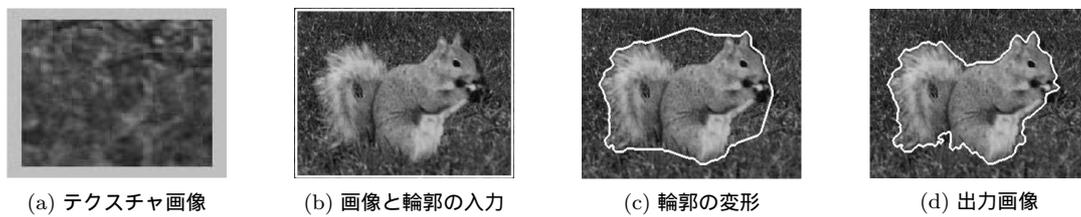


図 6 ガボールフィルタと動的輪郭法による領域抽出 [24]



図 7 複数の動的輪郭法の適用による領域抽出 [29]

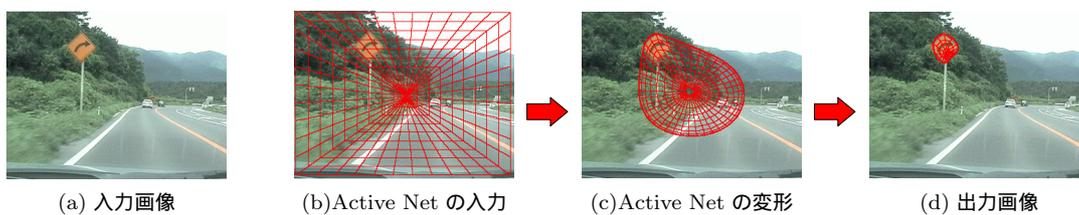


図 8 Active Net による道路標識の抽出 [36]



図 9 エッジ検出と円形 Hough 変換によるバスケットボールの抽出 [39]

2.2 インタラクティブな処理による領域抽出

インタラクティブな処理による領域抽出は，ユーザとシステムが対話することにより，多様な対象に対して意図した領域が抽出できるという特長がある．しかし，従来研究は操作が分かりにくい，手間がかかるという問題がある．以下に，従来研究の例を紹介する．

画像処理エキスパートシステムによる手法

画像処理エキスパートシステム [40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55] は，画像処理に関する専門的知識や手法をシステムにあらかじめ登録しておき，それらを活用して対象画像の性質や処理目的に応じた画像処理アルゴリズムを自動的に構築することで，画像処理の問題解決を支援するシステムである．その具体的な操作方法として，与えられた画像と目的からユーザインタラクティブな操作によって最適な画像処理手順を求めるシステム [41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50] や，処理手順から実行プログラムを自動作成するシステム [51, 52, 53, 54, 55] など，様々な方式が提案されている．

まず，画像処理の初心者でも容易にシステムと対話できるように画像メニュー方式を採用した稲田らの手法 [41] がある (図 10 参照)．このシステムでは，画像の性質，処理方法を言葉で表現するのではなく，図 10(a) のように画像処理前後のサンプル画像を提示して表現する．これにより，画像処理の専門用語を理解する必要がなくなることから，画像処理の初心者でも容易に処理を選択できるという利点がある．しかし，処理の内容がサンプル画像によって曖昧に表現されているため分かりにくく，対象とする画像から意図した結果が得られない場合がある．このような場合，意図した結果が得られるまで，ユーザが画像メニューから処理を選びなおすことになり，手間がかかる．

また，画像の性質に関する質問に答えてゆくだけで初心者でも容易に画像処理が実行できるようにした鳥生らの手法 [51] がある (図 11 参照)．この手法では，図 11(a) のような処理メニューからシステムが提示する複数の質問にユーザが回答することで入力操作が行われる．しかし，一度で意図した結果が得られなかった場合，どの質問項目の回答を変更すれば良いかが分かりにくく，意図した結果を

得るのに手間がかかる。

さらに、抽出したい画像特徴をコードで記入することにより画像処理が行われる松山らの手法 [52] がある。この手法では、画像から抽出したい領域の特徴（長方形、線など）とその属性（面積、長さなど）などを図 12(a) のようにユーザがコードで記述して入力する。これに対してシステムは、要求された画像特徴を検出するための最も有効な処理方針を推論し、それに従って実際の画像処理を実行する。また、処理が途中で失敗した場合には、処理方針、処理アルゴリズム、処理パラメータを変更し、再度処理をやりなおす。図 12(b) は航空写真の一部であるが、これに対して「長方形を検出する」という要求が記述された図 12(a) のコードをユーザが入力することで、エッジ検出などが行われ（図 12(c)）、最終的に図 12(d) の画像が出力される。しかし、画像特徴に関する知識がないユーザには意図した領域を得るためのコードの記述方法が分かりにくいという問題がある。

このように、画像処理エキスパートシステムは意図した領域が抽出できるが、入力方法が分かりにくい、意図した結果を得るのに手間がかかるといった問題がある。

グラフカットを利用した手法

グラフカットを利用して抽出したい領域の輪郭線を作成する手法 [56, 57, 58, 59, 60, 61] がある。グラフカットとは点と辺の集合で構成されるグラフの連結性を削除することであるが、この原理が画像内の前景と背景を分離する処理などに利用できる。以下に、従来研究の一部を紹介する。

まず、Xu ら [56] は、抽出対象領域の輪郭に沿って点を配置することで、それらの点と元画像の輪郭情報をもとにして領域を抽出するという手法を提案している（図 13(a)(b) 参照）。同図 (c) は (a) の右下部に制御点がさらに 2 つ追加された場合であるが、このように制御点を追加することで輪郭に沿った領域をさらに細かく抽出できる（同図 (d) 参照）。しかしながら、複雑な輪郭線を持つ領域を抽出する場合や一度の入力で意図した領域が抽出できなかった場合には、パラメータを変更するか、さらに点を細かく配置する必要があるため、初心者には分かりにくいか手間がかかる。

Liらの手法 [57] と Rother らの手法 [58] では、ユーザが抽出したい領域を大まかに指定してから、次に輪郭に沿って細かく指定するという処理を行なうが、入力操作において多少の違いがある。Liらの手法 [57] では、最初に抽出対象領域と背景に線を引くことによりそれぞれを指定する (図 14(b) 参照)。次に図 14(c) のように抽出したい領域の輪郭に沿って点を与えることで、輪郭線が計算され、領域が抽出される。しかし、この手法は複数の入力方法を必要とするため初心者にとって操作が分かりにくく、輪郭線の指定に多くの点を必要とするため手間がかかる。

また、Rother らの手法 [58] では、まず図 15(a) のように抽出対象を囲む矩形を指定し領域抽出する (図 15(b) 参照)。さらにその領域抽出結果に対して領域の追加削除を図 15(c) のようにマーキングすることで図 15(d) のような領域抽出結果が得られる。しかし、この手法も複数の入力方法を必要とし、初心者にとって分かりにくい。

以上のようにグラフカットを利用した手法は、ユーザが意図した領域が抽出できるが、入力操作に手間がかかる、操作方法が分かりにくいといった問題がある。

エッジ強度に基づいた細線化による手法

井上らは、エッジ強度に基づいた細線化を行なうことで領域抽出を行う手法 [62, 63] を提案している。これは、最初にユーザが太い線で大まかに境界線を与え、その範囲に処理を限定して連結性を保存したままエッジ強度の弱い画素を順次除去してこの境界線を細線化し、領域の輪郭線を抽出するという手法であり、淡ら [64] によってアルゴリズムの高速化も行われている (図 16 参照)。しかし、この手法では入力時にユーザが与える境界線が太すぎると細線化処理が良好に行われず、細かい輪郭線を持つ領域が正確に抽出できなくなる。一方、細い境界線を入力すると、細かい輪郭線の指定には手間がかかる。

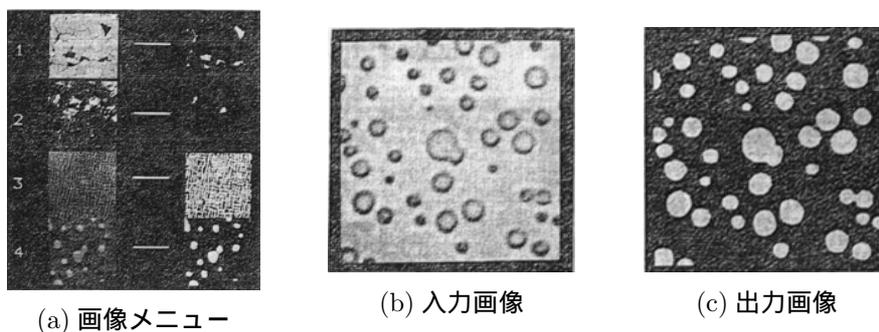


図 10 画像メニューによる領域抽出 [41]

```

質問：画像に歪みやしみが含まれていますか？
(1) はい
(2) ほとんど含まれていない
(3) かなり含まれている
INPUT> 2

質問：髪の毛のような細かい線状の歪みが目立ちますか？
(1) 目立たない
(2) 目立つ
INPUT> 1

質問：画像に白い斑点状のしみが目立ちますか？
(1) 目立たない
(2) 目立つ
INPUT> 1

質問：画像に黒い斑点状のしみが目立ちますか？
(1) 目立たない
(2) 目立つ
INPUT> 2

質問：しみの大きさはどれくらいですか？
(画面上下の大きさをmm単位で指定して下さい)
INPUT> 2

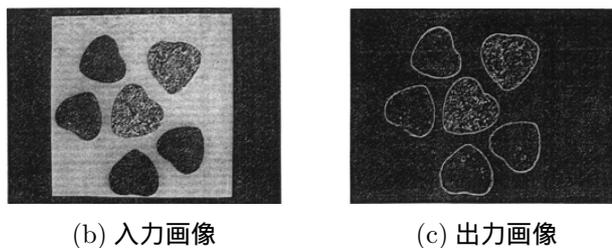
確認：処理結果は良好ですか？
(1) 良好である
(2) 良好でない
INPUT> 1

質問：対象内部の明るさは一様ですか？
(1) 一様である
(2) 一様でない
INPUT> 2

質問：対象物内部の構構は規則的ですか？
(1) 規則的な繰り返しパターンがある
(2) 構造的に不規則である
INPUT> 2

質問：抽出上で用いる処理は適用に強化していますか？
(1) 適用強化している
(2) 適用強化していない
INPUT> 2

```



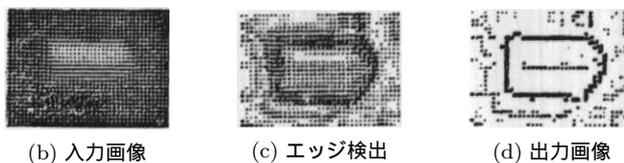
(a) 処理メニュー

図 11 処理メニューによる領域抽出 [51]

```

Goal Frame : RECTANGLE
Goal Properties :
AREA-SIZE (INTEGER) :
(200 400)
ISOLATION (SYMBOLIC) :
YES
TEXTURE (SYMBOLIC) :
LOW
NOISE-LEVEL (SYMBOLIC) :
INTERMEDIATE
CONTRAST (SYMBOLIC) :
HIGH
COMPLEXITY (SYMBOLIC) :
LOW
ACCURACY (SYMBOLIC) :
HIGH
ALLOWABLE-COST (SYMBOLIC) :
HIGH
WINDOW (COORDINATE) :
((227 40) (293 72))

```



(a) 抽出対象の特徴を記述したコード

図 12 抽出対象の特徴を記述したコードによる領域抽出 [52]



図 13 輪郭に沿った点の配置による領域抽出 [56]

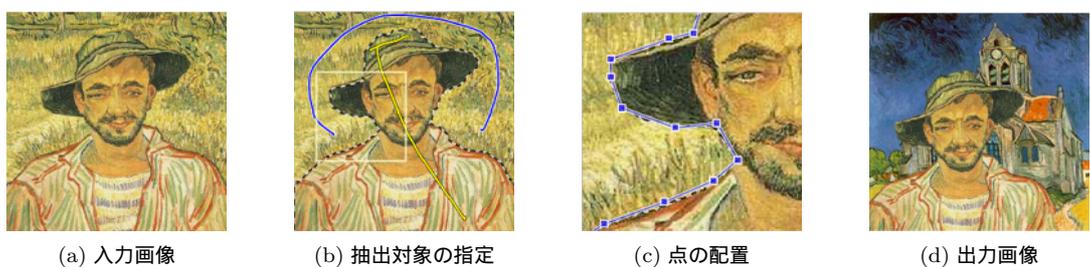


図 14 線での指定と点の配置による領域抽出 [57]



図 15 矩形での指定とマーキングによる領域抽出 [58]



(a) 入力画像

(b) 輪郭線の入力

(c) 出力画像

図 16 エッジ強度に基づいた細線化による領域抽出 [62]

2.3 本研究の位置づけと方針

本研究では、画像処理の初心者でも容易に領域抽出できるようにするシステムの開発を目指した。画像処理の初心者でも容易に領域抽出できるようにするには、分かり易い操作であること、人手がかからないこと、そしてユーザが意図した領域が抽出できることの3つの要求項目を満たす必要がある。

しかし従来研究では3つの要求項目全てを満たす手法が存在していない。そこで本研究では、直感的な入力により入力操作を分かり易くし、一つの入力に対し複数の領域抽出処理を適用し、結果をインタラクティブにユーザが選択することにより、手間がかからず意図した領域が抽出できるシステムを提案する。

3. 直感的な入力によってインタラクティブに領域抽出を行なうシステム

3.1 システムの概要

本研究では、直感的な入力により入力操作を分かり易くし、一つの入力に対して複数の領域抽出処理を適用し、結果をインタラクティブにユーザが選択することにより、手間がかからず意図した領域が抽出できるシステムを開発した。これにより領域抽出処理に関する知識を持たないユーザでも容易に領域抽出ができるようにした。

以下と図 17 に処理の流れを示す。

- (1) ユーザが対象画像内で抽出したい領域またはマスクを削除したい領域の一部を、図 18 のように任意の矩形で指定する。
- (2) 指定された矩形を入力としてシステムは複数の領域抽出処理を適用し、複数の処理結果を抽出領域の面積が大きい順に並び替えた後、図 19 のような別ウィンドウでユーザに提示する。このときの処理結果として抽出された領域をマスクした対象画像 (マスク画像) をユーザに提示する。適用した領域抽出手法については 3.2 節で述べる。
- (3) 提示された複数のマスク画像の中からユーザが適当と思うものを一つ選択する。もし、適当なマスク画像がない場合には、ユーザは (1) の入力を再度行なう。選択したマスク画像は、図 20 のように再び最初のウィンドウに表示される。
- (4) ユーザが選択したマスク画像で意図した領域が抽出されたと判断した場合は、そのマスク画像を最終的な抽出結果の画像として出力する (図 21 参照)。そうでない場合には、そのマスク画像を対象画像として再度 (1) の処理から行う (図 22, 23 参照)。

なお、(2) の複数の領域抽出処理の途中で (3) のユーザによる結果の選択、(1) の領域指定を並行して行えるようにすることにより、インタラクティブ性の向上を図った。

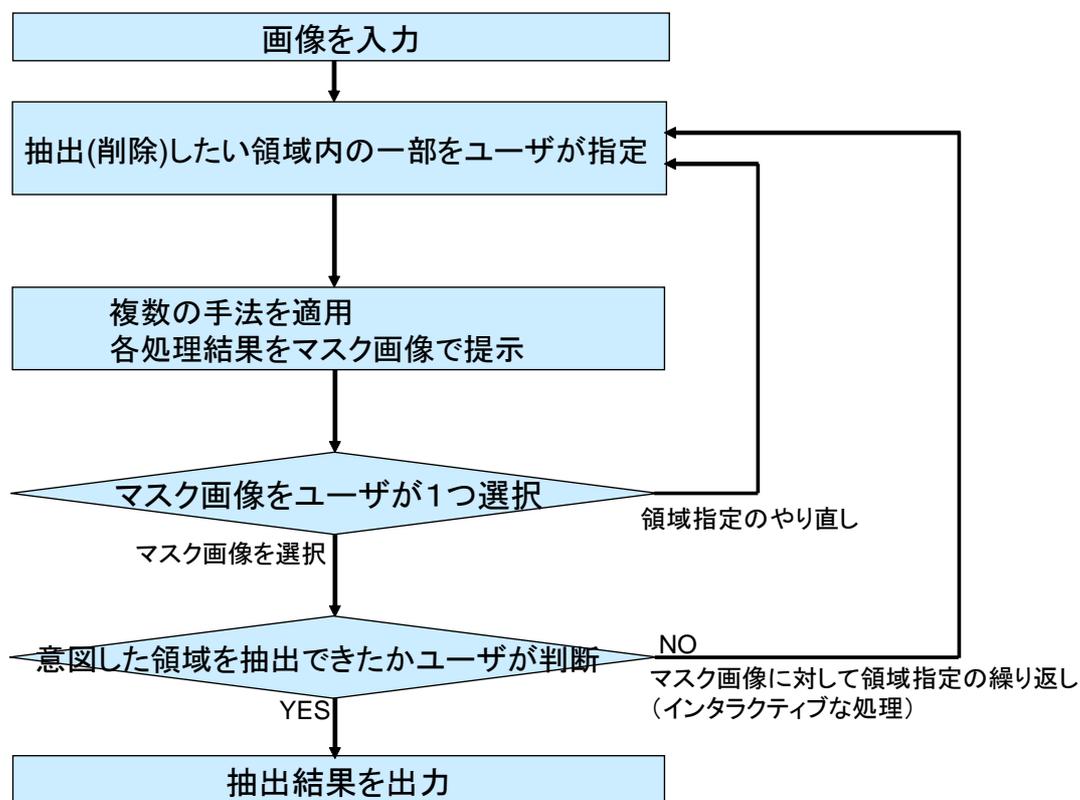


図 17 提案システムの処理の概要



図 18 入力 (領域指定) 操作

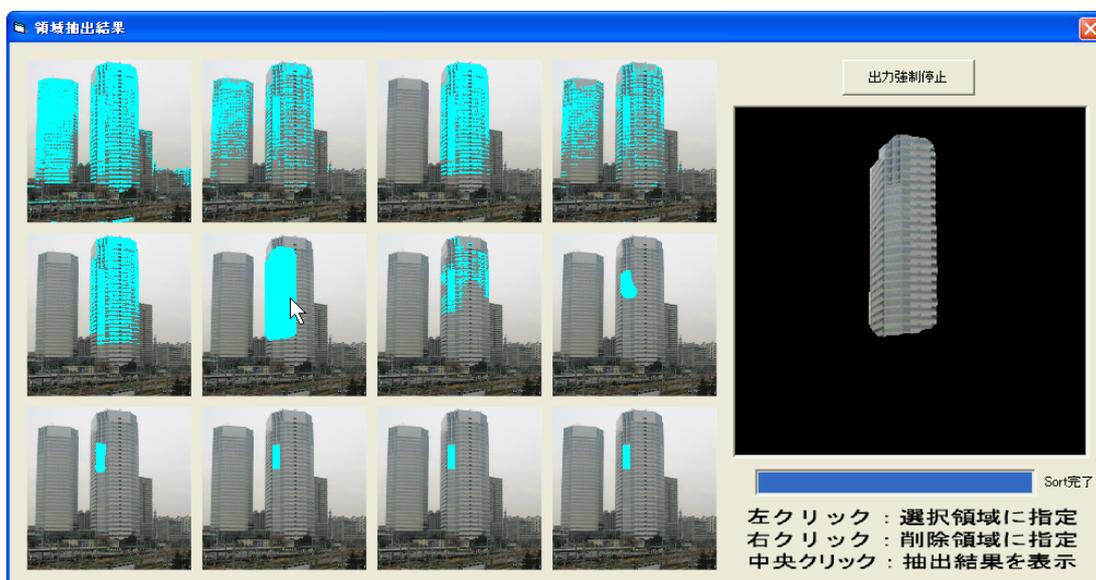


図 19 領域抽出結果画像の提示

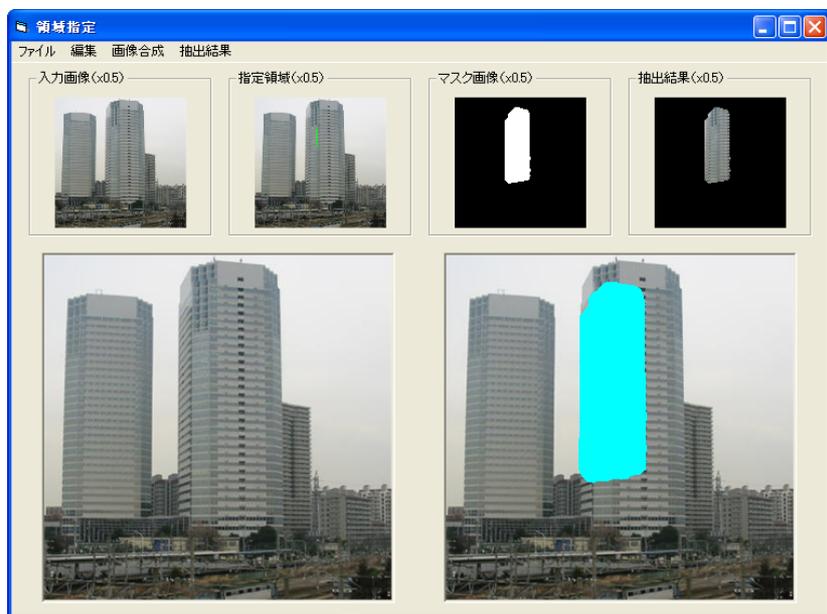


図 20 選択したマスク画像の表示

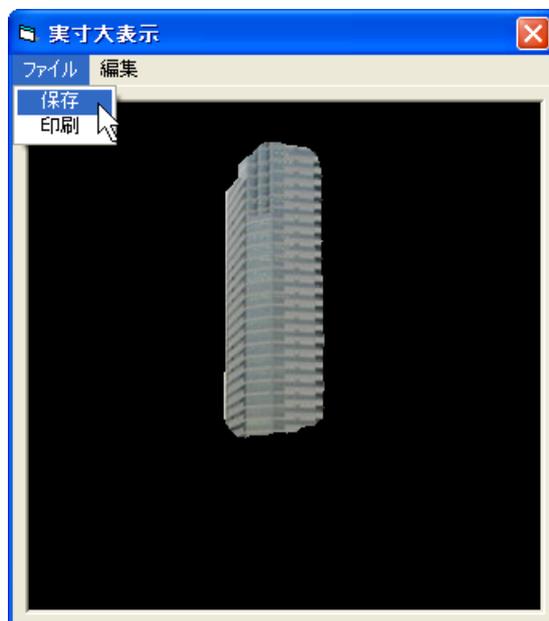


図 21 抽出結果画像の出力

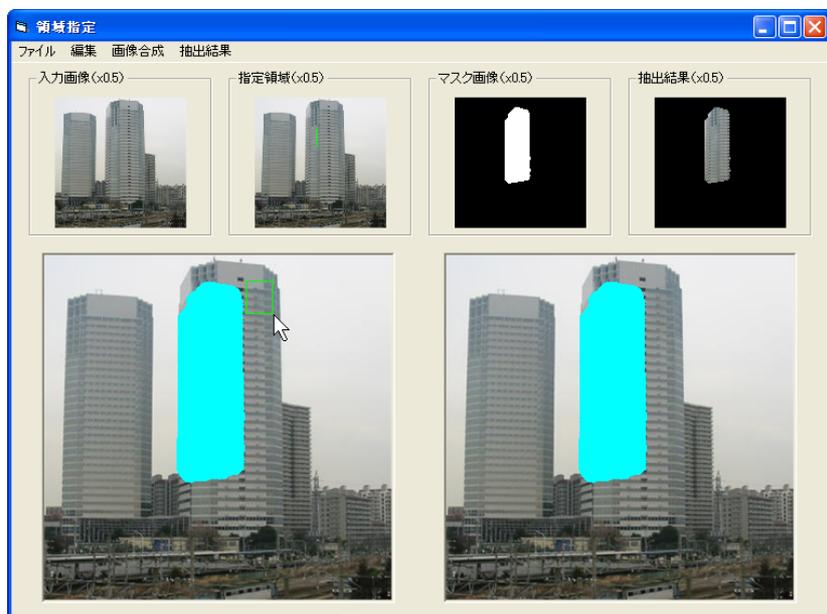


図 22 2 回目の入力操作

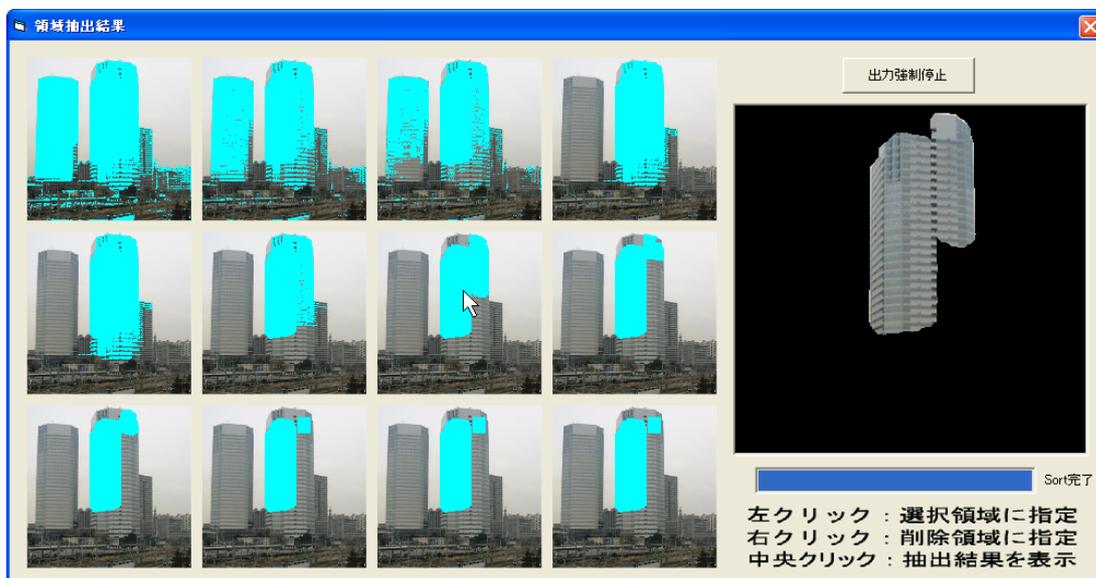


図 23 2 回目の入力に対する領域抽出結果画像の提示

3.2 適用した領域抽出手法

多様な画像に対して領域抽出を行うには複数の手法を使い分けなければならない。提案システムでは一つの入力に対して複数の手法を適用し、処理結果からユーザが判断することにより、領域抽出処理に関する知識を持たないユーザでも複数の手法を使い分けることを可能にした。提案システムを多様な画像に対して有効にするためには、様々な領域抽出手法を実装し組み込む必要があるが、本研究では異なる特徴量により領域抽出を行う3つの手法を採用した。一つ目は色による特徴量を利用するクラスタリング法と閾値法を用いた手法、二つ目は模様(テクスチャ)による特徴量を利用するテンプレートマッチング法、三つ目は形状(エッジ)による特徴量を利用する動的輪郭法である。以下に各手法について述べる。

3.2.1 色情報によるクラスタリング法と閾値法を用いた領域抽出

色の情報を特徴量として扱い領域抽出する手法として、クラスタリング法と閾値法を組み合わせた手法を採用した。

色情報による閾値法を用いた領域抽出は、単色の領域に対しては有効に抽出できる。しかし、複数の色を持つ領域に対しては、領域をうまく抽出できないという問題がある。そこで、提案システムではクラスタリング法と組み合わせることにより複数の色を持つ領域についても対応させた。

以下に処理の流れを示す。

- (1) 指定された矩形の中の全ての画素を RGB 表色系から YUV 表色系へと変換する。
- (2) YUV 表色系に変換された値に基づいて、最短距離法(単連結法)を用いた階層的クラスタリング手法によりあらかじめ決められた数のクラスタに分割する。
- (3) YUV 表色系で各クラスタのバウンディングボックスを求める。
- (4) 画像内の各画素を YUV 表色系へ変換し、閾値法によりいずれかのクラスタ内に画素値が含まれるかどうかを判定する。このときあらかじめ決められ

た値でバウンディングボックスを拡大して判定し，クラスタに含まれていると判定された画素を抽出領域の画素とする．

- (5) 抽出された複数の領域のうち，全ての領域を採用するか，指定された矩形を含む一つの領域のみペイントアルゴリズムにより採用する．

提案システムでは指定された矩形に対して以下のようにパラメータを変更した6通りの処理結果を出力する．各パラメータは多様な抽出結果が得られるように，経験的に決定した．

表 1 クラスタリング法と閾値法を用いた各処理のパラメータ

| 処理 | バウンディングボックスの拡大率 | クラスタ数 | ペイントアルゴリズム |
|-----|-----------------|-------|------------|
| (a) | 1 | 1 | 使用しない |
| (b) | 1.5 | 1 | 使用しない |
| (c) | 1 | 8 | 使用しない |
| (d) | 1 | 4 | 使用する |
| (e) | 1.5 | 2 | 使用する |
| (f) | 1.5 | 4 | 使用する |

3.2.2 テクスチャ情報によるテンプレートマッチング法を用いた領域抽出

テクスチャの情報を特徴量として扱い領域抽出する手法として，テンプレートマッチング法を採用した．

テンプレートマッチング法は，指定されたテンプレートと同一のパターンをもつ領域を元画像から検出する手法である．テンプレートと入力画像の局所領域との特徴ベクトルの相関を計算し，相関があらかじめ決められた閾値より大きい領域を入力画像から検出する．これによりビルの外壁や建物内の床面など同一パターンが繰り返されるテクスチャ領域を抽出する．提案システムでは，多様な抽出結果が得られるように，二種類の特徴量ベクトルを採用した．

以下に処理の流れを示す．

- (1) 入力操作時に指定された領域をテンプレートとする。
- (2) 入力画像をテンプレートと同じ大きさの領域で走査し，その領域の特徴ベクトルとテンプレートの特徴ベクトルとの相関を計算する．なお，相関の計算には絶対差分の総和 SAD(Sum of Absolute Difference) を適用した．
- (3) SAD の値があらかじめ設定した閾値よりも小さなすべての領域を抽出領域として出力する．

提案システムでは以下のように特徴ベクトルとして画素の輝度値と色相値のそれぞれを用いた処理結果を出力する．

表 2 テンプレートマッチング法を用いた各処理の特徴ベクトル

| 処理 | 特徴ベクトル |
|-----|--------|
| (g) | 画素の輝度値 |
| (h) | 画素の色相値 |

3.2.3 エッジ情報による動的輪郭法を用いた領域抽出

エッジの情報を特徴量として扱い領域抽出する手法として，動的輪郭法を採用した．

動的輪郭法は，エッジの途切れやノイズの影響を受けにくく，輪郭が滑らかな形状が抽出できるという利点がある．通常，動的輪郭法は繰り返し処理によって輪郭線で囲まれる領域が縮小するように動作する．しかし，提案システムでは抽出したい領域の一部を指定するために，指定された領域から拡大するように実装しなければならない．そこで，提案システムでは輪郭線長のエネルギー，輪郭線の曲率のエネルギー，隣り合った制御点間距離の差のエネルギー，画像のエネルギー，そして面積のエネルギーの 5 つのエネルギーを計算し，これらの重み付き総和を制御点によって作られる輪郭線のエネルギーとした．これらのエネルギーにかける重みを調整することにより，領域が拡大する動的輪郭法を実装した．なお，画像エネルギーとしては，Sobel フィルタを用いた．

以下に処理の流れを示す．

- (1) Sobel フィルタを用いて，入力画像全体の画像エネルギーを計算する．
- (2) 指定された矩形の 4 頂点を初期制御点とする．
- (3) 制御点間の距離に応じて制御点を追加する．
- (4) 制御点から上で述べた 5 つのエネルギーに基づき輪郭線のエネルギーを求める．
- (5) 輪郭線のエネルギーが大きくなるように，各制御点の移動を行う．この際，輪郭線が交差しないように制御点を移動する．
- (6) エネルギーが極大になるまで (3) ~ (5) の処理を繰り返す．

提案システムでは以下のように面積のエネルギーにかける重みを変更した 3 通りの処理結果を出力する．各パラメータは面積の異なる結果が出るように，経験的に決定した．

表 3 動的輪郭法を用いた各処理のパラメータ

| 処理 | 面積エネルギーにかける重み |
|-----|---------------|
| (i) | 0.5 |
| (j) | 0.3 |
| (k) | 0.8 |

4. 提案システムと既存の画像処理ソフトの比較評価実験

4.1 実験の概要

画像合成等を目的とした領域抽出に対する提案システムの有効性を評価するため、提案システムを使用した場合と既存の画像処理ソフトを使用した場合の作業時間や使用感の違いを比較した。既存の画像処理ソフトとして、画像合成やDTPの現場で広く用いられている、Adobe社の「Photoshop Elements 2.0」を採用した。被験者として情報科学以外の分野に所属する学生を採用し、提案システムの試用を依頼した。依頼した被験者の画像処理ソフトの使用経験は様々である。以下、提案システムの有効性評価実験の手順について述べる。

まず、被験者は提案システムに関する知識がないため、操作方法の説明をしながら提案システムを用いて約15分間、4.2節で述べる4つのタスクの練習を行なわせた。ただし、被験者が提案システムに搭載されている画像処理手法を意識せずに作業が行なえるようにするため、提案システムにどのような画像処理手法が実装されているかについては説明しなかった。この練習の際には入力画像と抽出結果の見本として図24,25,26,27に示す「画像セットA」を用いた。なお、抽出結果の見本は各タスクの開始前に一度だけ被験者に示した。

次に、練習の際に課したタスクと同内容の4つのタスクを被験者に課し、この時の作業時間、入力回数、出力結果を記録した。この時に用いた入力画像は練習の時に用いた画像とは別の「画像セットB」を用いた。各タスクの終了判断は被験者が自由に行なえるものとしたが、各タスクの抽出結果の見本をあらかじめ被験者に示した。また、タスクごとに目標とする処理時間を設けた。タスクの目標時間は事前に筆者がタスクを行った際に要した作業時間を参考にして設定した。

引き続き既存の画像処理ソフトを用いて同様のタスクを被験者に課した。提案システムの使用練習と同様に、被験者に操作方法の説明をしながら既存の画像処理ソフトを用いて約15分間、4つのタスクの練習を行なわせた。この時に用いた入力画像は提案システムの練習で用いたものと同じ「画像セットA」を用いた。

次に、4つのタスクを被験者に課し、この時の作業時間、出力結果を記録した。

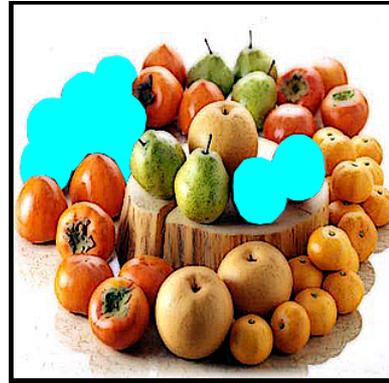
この時の入力画像には「画像セット B」を用いた。また、この時も各タスクの終了判断は被験者が自由に行えるものとし、タスクごとに提案システムを使用した場合と同じ目標とする処理時間を設けた。

最後に提案システムと既存の画像処理ソフトの使用感を比較するため、被験者にアンケートへの回答を依頼した。アンケートの質問項目については 4.3 節で述べる。

なお、本実験ではノート型パーソナルコンピュータ (Pentium M 1400MHz, 768MB) を計算機に使用し、4 つタスクで使用した画像の解像度はすべて 320 × 320pixels である。



入力画像

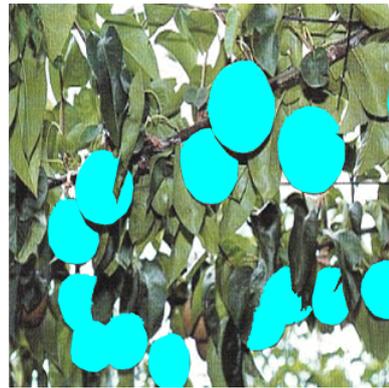


抽出結果の見本

(a) 画像セット A



入力画像



抽出結果の見本

(b) 画像セット B

図 24 タスク 1 の画像



入力画像

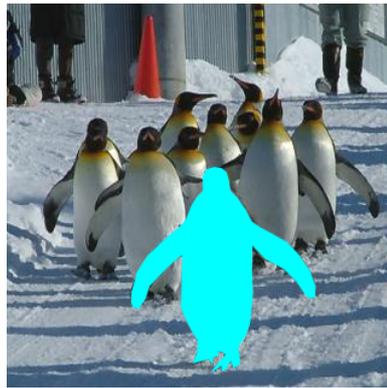


抽出結果の見本

(a) 画像セット A



入力画像



抽出結果の見本

(b) 画像セット B

図 25 タスク 2 の画像



入力画像

抽出結果の見本

(a) 画像セット A

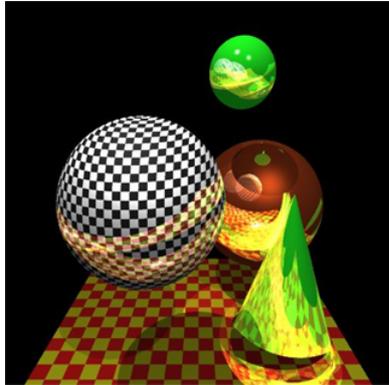


入力画像

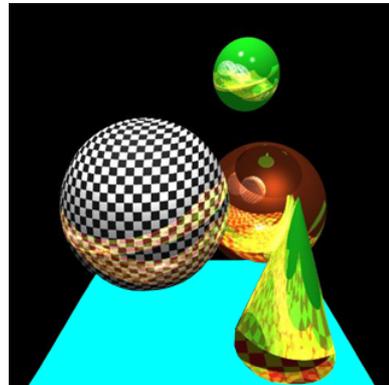
抽出結果の見本

(b) 画像セット B

図 26 タスク 3 の画像



入力画像

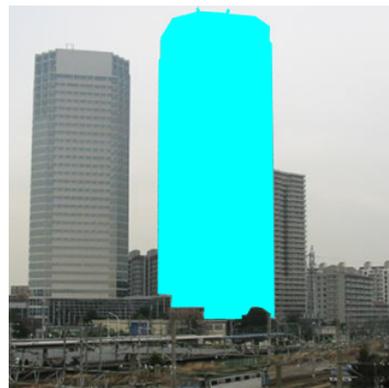


抽出結果の見本

(a) 画像セット A



入力画像



抽出結果の見本

(b) 画像セット B

図 27 タスク 4 の画像

4.2 設定したタスク

被験者に課した4つのタスクの詳細を述べる。

タスク1：画像中に複数点在する類似した領域を全て抽出する作業

タスク1では、画像内に複数点在する類似した領域を全て抽出する処理を行った。具体的な作業としては、図24(a)の入力画像からは全てのりんごを抽出させ、図24(b)の入力画像からは全ての梨を抽出させた。

色や形状などの特徴が類似した領域が複数点在する画像において、それらの領域を全て抽出する処理は頻繁に行なわれる。例えば図28のように、撮影された梨をより新鮮に見せるために、梨の領域だけを抽出し、その領域の色相と彩度を変化させるという画像合成例が挙げられる。

本タスクにおける目標時間を5分と設定した。

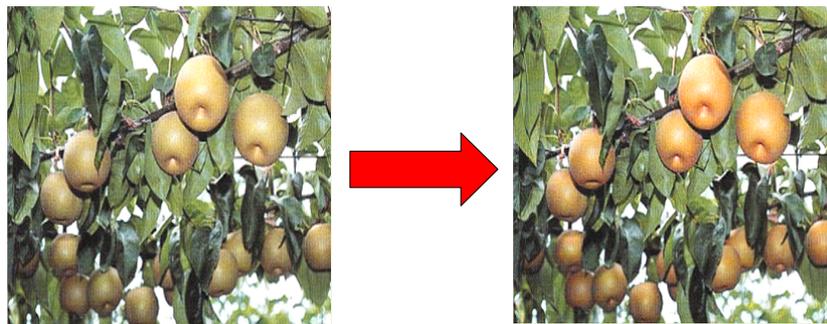


図 28 タスク1が想定する画像処理の例

タスク2：単一の物体を抽出する作業

タスク2では、複数の物体が存在する画像の中から単一の物体を抽出する処理を行った。具体的な作業として、図25(a)の入力画像からは中央の白いぬいぐるみを抽出させ、図25(b)の入力画像からは手前のペンギンを抽出させた。

複数の物体が存在する画像の中から単一の物体を抽出する処理もまた、画像合成において頻繁に行われている。例えば図29のようなフォトコラージュにおいては、画像から中央のぬいぐるみを1体抽出し、別の画像に貼り付けるという処

理が行われている。

本タスクにおける目標時間は15分と設定した。

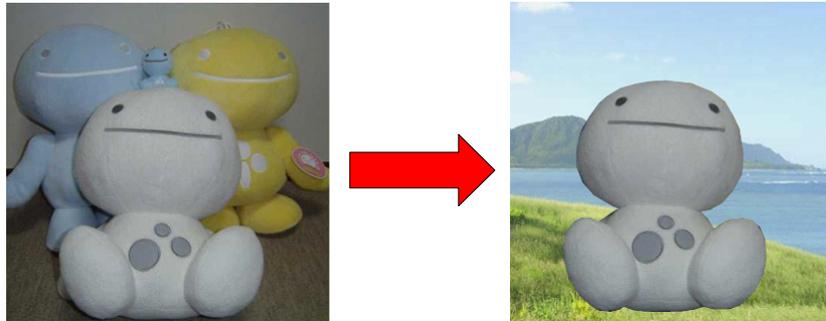


図 29 タスク 2 が想定する画像処理の例

タスク 3：細い線状の領域を抽出する作業

タスク 3 では、細い線状の領域を抽出する処理を行った。具体的な作業として、図 26(a), 26(b) の航空写真において、全ての道路を抽出させた。

画像内に存在する細い線状の領域を抽出することで、元の画像が持つ特徴をユーザが認識しやすく変化させることができる。例えば、図 30 のように、細い道路を浮き出し、これを周囲の建造物と明確に異なる色に変えれば、道路の分布状況が一目で分かるようになる。

本タスクにおける目標時間は10分と設定した。

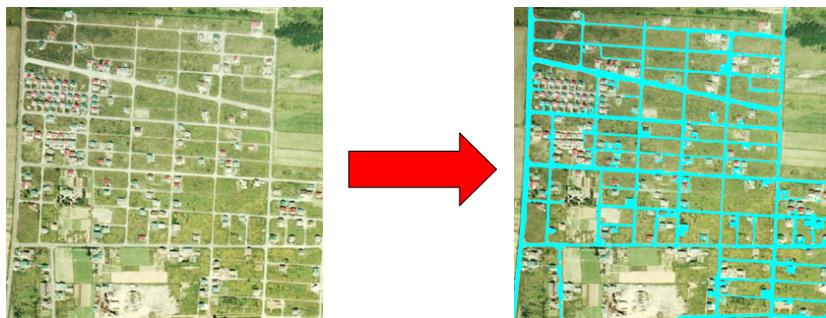


図 30 タスク 3 が想定する画像処理の例

タスク 4：模様が一樣な領域を抽出する作業

タスク 4 では、模様が一樣な領域を抽出する処理を行った。具体的な作業として、図 27(a) の入力画像からは床面を抽出させ、図 27(b) の入力画像からは中央のビルだけを抽出させた。

タスク 1 やタスク 2 で挙げたような目的で、画像内から抽出したい領域がビルのように一樣な模様を持つ場合もある。

本タスクにおける目標時間は 10 分と設定した。

4.3 アンケートの質問項目

被験者に依頼したアンケートでは、以下の 5 つの項目について質問をした。

- (1) 操作方法の分かり易さ
- (2) 領域抽出結果に対する表示の分かり易さ
- (3) 出力結果の正確さ (タスクごと)
- (4) 作業量の少なさ (タスクごと)
- (5) 以上の点を踏まえた上でのシステム全体の評価

これら 5 つの項目について、提案システムと既存の画像処理ソフトのどちらが優れていたかを以下の 5 段階評価で質問した。

- 5：提案システムの方が優れている
- 4：提案システムの方がやや優れている
- 3：どちらが優れているとは判断しかなる
- 2：既存の画像処理ソフトの方がやや優れている
- 1：既存の画像処理ソフトの方が優れている

さらに、被験者が上記の質問以外で感じた意見や提案システムへの要望などを記入できる自由記述項目も設けた。

本研究では領域抽出処理に関する知識を持たないユーザでも容易に領域抽出ができるように、直感的な入力により入力操作を分かりやすくし、一つの入力に対し

て複数の領域抽出処理を適用し、結果をインタラクティブにユーザが選択することにより、手間がかからず意図した領域が抽出できるシステムの開発を目指した。アンケートの項目 (1) は領域抽出処理に関する知識を持たない被験者が直感的な入力できたかを、項目 (2) は複数の領域抽出結果を容易に被験者が選択できたかを質問した。また、意図した領域が正確に抽出できたかを項目 (3) により、手間がかからず抽出できたかを項目 (4) により質問した。項目 (5) と自由記述項目により提案システム全体の有用性を被験者に質問した。

4.4 結果

まず、タスク 1 の結果を表 4 に示す。タスク 1 では、提案システムでの入力回数の平均が 4.7 回、作業時間の平均が 6 分 6 秒であるのに対し、既存のソフトでの作業時間の平均は 7 分 1 秒であり、どちらも同じぐらいの作業時間であった。しかし、作業量の少なさを問うアンケート項目 (4) では、提案システムの方がやや優れているという意見が多かった。

タスク 2 の結果を表 5 に示す。タスク 2 では、提案システムでの入力回数の平均が 10.6 回、作業時間の平均が 13 分 50 秒であるのに対し、既存のソフトでの作業時間の平均は 4 分 23 秒であった。これに対して、アンケート項目の (4) では、提案システムと既存のソフトのどちらが優れているかで被験者の評価が大きく分かれていた。なお、抽出の正確さを問うアンケート項目 (3) では、既存のソフトの方がやや優れているという意見が若干多かった。

タスク 3 の結果を表 6 に示す。タスク 3 では、提案システムでの入力回数の平均が 3.8 回、作業時間の平均が 6 分 5 秒であるのに対し、既存のソフトでの作業時間の平均は 6 分 26 秒であり、大きな差は無かった。しかし、アンケート項目の (4) では、すべての被験者が提案システムの方が優れていると回答していた。つまり、タスク 3 では、タスク 1 と同じ傾向の結果がより顕著に現れ、提案システムは既存ソフトと同じぐらいの作業時間を要するが、作業量が明らかに少ないと全ての被験者が回答していた。

タスク 4 の結果を表 7 に示す。タスク 4 では、提案システムでの入力回数の平均が 5.6 回、作業時間の平均が 10 分 9 秒であるのに対し、既存のソフトでの作業

時間の平均は4分7秒であった。一方、アンケート項目の(3),(4)では既存のソフトの方がやや優れているという意見が多く、提案システムに対する評価は良くなかった。つまり、タスク4では、タスク2と同じ傾向の結果が現れていた。

次に、アンケートの集計結果を表8に示す。まず、システムの操作性や表示の見易さについて質問した項目(1)と(2)では、すべての被験者が「提案システムの方が優れている」、「提案システムの方がやや優れている」、「どちらが優れているとは判断しかねる」のいずれかで回答していたが、「提案システムの方が優れている」と回答した被験者が比較的多かった。次に、作業内容について質問した項目(3)と(4)では、タスク1と3では提案システムの方が高評価であったが、タスク2と4はその逆であった。そしてシステム全体の評価について質問した項目(5)では、「提案システムの方がやや優れている」という意見が最も多かった。

最後に、アンケートの自由記述項目に寄せられた意見の一部を紹介する。まず、提案システムへの肯定的な意見として、「操作が単純であり、見た目で判断できるので使い易い」という意見が多く存在した。「目が疲れなかった」、「煩わしいアイコンがないため、作業がし易かった」等の具体的な意見も見受けられた。他に、「提示された結果の中から一つを選択するシステム自体が面白い」といった意見もあった。一方、否定的な意見として、「処理時間が長い」、「抽出の正確性に若干欠けるので、その点の改善を求む」と問題点を指摘する意見があった。タスク4などを想定した「単純な物体の抽出に不向きな点が見受けられる」という意見もあった。他に、「タスク3などにおいて拡大表示機能がほしかった」、「時間のかかる領域抽出処理の途中で中断できるようになればいい」という提案システムへの要望があった。

表 4 タスク 1 の結果

被験者 6 名の平均

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|------------|--------------|
| 入力回数 4.7 回 | 正確さ 4.2 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 6'6" | 作業量 4.2 | 作業時間 7'1" |



提案システムによる出力

被験者 A

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|---------------|
| 入力回数 3 回 | 正確さ 4 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 2'22" | 作業量 4 | 作業時間 5'46" |



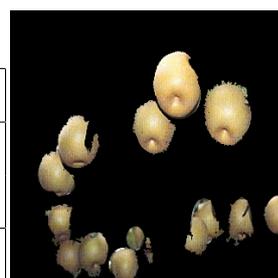
既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 B

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|---------------|
| 入力回数 7 回 | 正確さ 5 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 9'48" | 作業量 4 | 作業時間 5'30" |



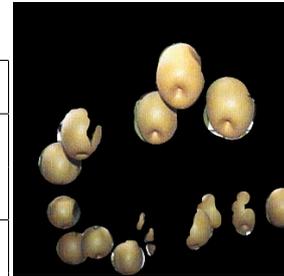
既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 C

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|---------------|
| 入力回数 5回 | 正確さ 4 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 5'25" | 作業量 4 | 作業時間 2'59" |



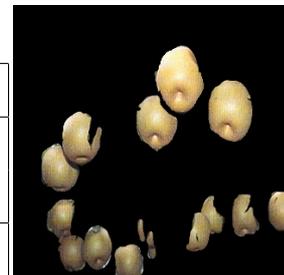
既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 D

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|--------------|----------|---------------|
| 入力回数 4回 | 正確さ 4 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 4'2" | 作業量 5 | 作業時間 7'49" |



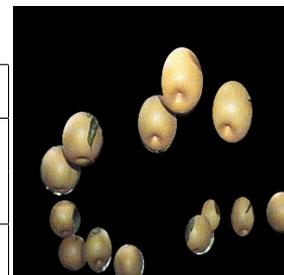
既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 E

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|---------------|
| 入力回数 5回 | 正確さ 5 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 9'35" | 作業量 5 | 作業時間 3'17" |



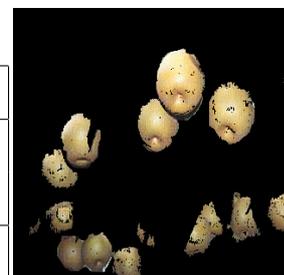
既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 F

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|----------------|
| 入力回数 4回 | 正確さ 3 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 5'25" | 作業量 3 | 作業時間 16'43" |

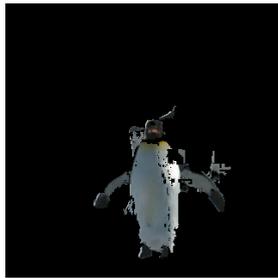


既存ソフトによる出力

表 5 タスク 2 の結果

被験者 6 名の平均

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|----------------|------------|---------------|
| 入力回数 10.6 回 | 正確さ 2.5 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 13'50" | 作業量 3.3 | 作業時間 4'23" |



提案システムによる出力

被験者 A

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|---------------|
| 入力回数 9 回 | 正確さ 2 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 8'46" | 作業量 2 | 作業時間 7'40" |



既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 B

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|----------------|----------|---------------|
| 入力回数 10 回 | 正確さ 3 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 12'00" | 作業量 4 | 作業時間 3'25" |



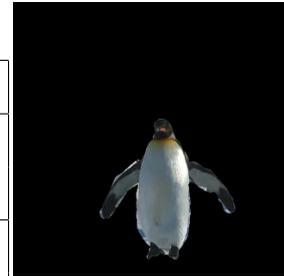
既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 C

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|----------------|----------|---------------|
| 入力回数 10回 | 正確さ 1 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 12'23" | 作業量 1 | 作業時間 2'16" |



既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 D

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|----------------|----------|--------------|
| 入力回数 13回 | 正確さ 1 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 13'87" | 作業量 4 | 作業時間 3'5" |



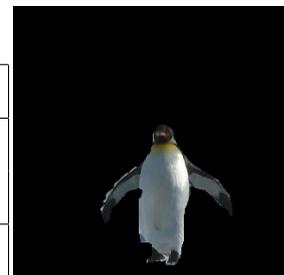
既存ソフトによる出力



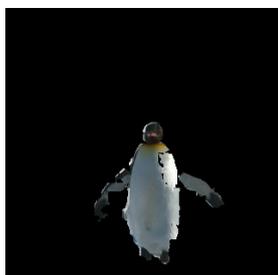
提案システムによる出力

被験者 E

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|----------------|----------|---------------|
| 入力回数 9回 | 正確さ 4 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 16'41" | 作業量 5 | 作業時間 2'52" |



既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 F

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|----------------|----------|--------------|
| 入力回数 13回 | 正確さ 4 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 19'14" | 作業量 4 | 作業時間 7'2" |



既存ソフトによる出力

表 6 タスク 3 の結果

被験者 6 名の平均

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|------------|---------------|
| 入力回数 3.8 回 | 正確さ 4.8 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 6'5" | 作業量 5.0 | 作業時間 6'26" |



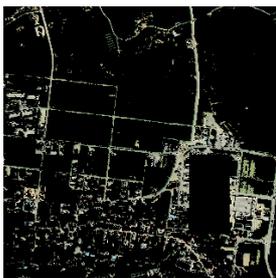
提案システムによる出力

被験者 A

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|---------------|
| 入力回数 3 回 | 正確さ 5 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 5'11" | 作業量 5 | 作業時間 5'46" |



既存ソフトによる出力



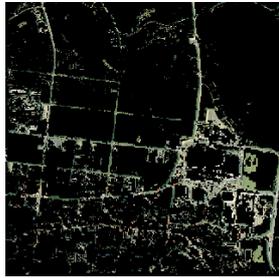
提案システムによる出力

被験者 B

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|---------------|
| 入力回数 4 回 | 正確さ 5 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 6'40" | 作業量 5 | 作業時間 4'24" |



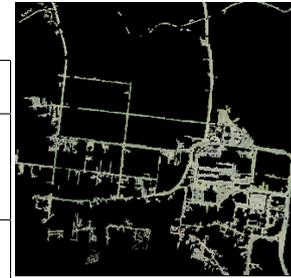
既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 C

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|--------------|----------|---------------|
| 入力回数 7回 | 正確さ 4 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 8'2" | 作業量 5 | 作業時間 4'22" |



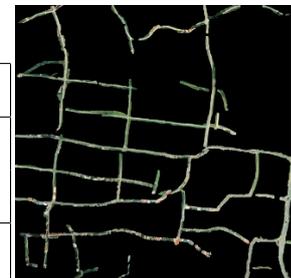
既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 D

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|---------------|
| 入力回数 2回 | 正確さ 5 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 2'19" | 作業量 5 | 作業時間 10'2" |



既存ソフトによる出力



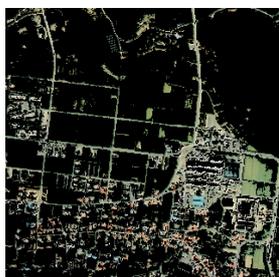
提案システムによる出力

被験者 E

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|--------------|----------|---------------|
| 入力回数 3回 | 正確さ 5 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 7'7" | 作業量 5 | 作業時間 4'59" |



既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 F

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|--------------|
| 入力回数 4回 | 正確さ 5 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 7'16" | 作業量 5 | 作業時間 9'5" |



既存ソフトによる出力

表 7 タスク 4 の結果

被験者 6 名の平均

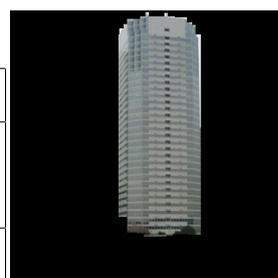
| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|------------|--------------|
| 入力回数 5.6 回 | 正確さ 2.0 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 10'9" | 作業量 2.3 | 作業時間 4'7" |



提案システムによる出力

被験者 A

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|---------------|
| 入力回数 4 回 | 正確さ 1 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 3'41" | 作業量 2 | 作業時間 9'53" |



既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 B

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|----------------|----------|---------------|
| 入力回数 5 回 | 正確さ 2 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 10'36" | 作業量 3 | 作業時間 1'13" |



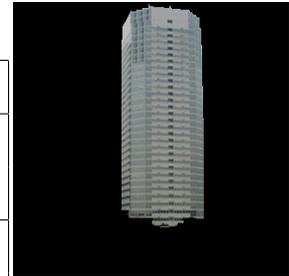
既存ソフトによる出力



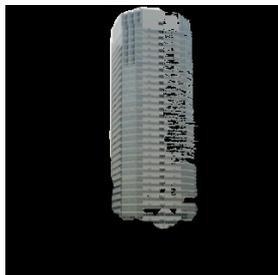
提案システムによる出力

被験者 C

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|----------------|----------|---------------|
| 入力回数 5回 | 正確さ 3 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 13'46" | 作業量 2 | 作業時間 1'40" |



既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 D

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|----------------|----------|---------------|
| 入力回数 9回 | 正確さ 1 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 12'54" | 作業量 2 | 作業時間 4'28" |



既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 E

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|---------------|----------|---------------|
| 入力回数 3回 | 正確さ 1 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 8'41" | 作業量 1 | 作業時間 1'50" |



既存ソフトによる出力



提案システムによる出力

被験者 F

| 提案システム | アンケート | 既存のソフト |
|----------------|----------|---------------|
| 入力回数 8回 | 正確さ 4 | 入力回数 N/A |
| 作業時間 11'19" | 作業量 4 | 作業時間 5'39" |



既存ソフトによる出力

表 8 アンケートシートの集計結果

| 項目 | 質問内容 | A | B | C | D | E | F | 平均 |
|-----|----------------|---|---|---|---|---|---|-----|
| (1) | 操作方法の分かり易さ | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4.5 |
| (2) | 結果表示の分かり易さ | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4.2 |
| (3) | 出力結果の正確さ：タスク 1 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4.2 |
| " | "：タスク 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 4 | 4 | 2.5 |
| " | "：タスク 3 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4.8 |
| " | "：タスク 4 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 4 | 2.0 |
| (4) | 作業量の少なさ：タスク 1 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | 4.2 |
| " | "：タスク 2 | 2 | 4 | 1 | 4 | 5 | 4 | 3.3 |
| " | "：タスク 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5.0 |
| " | "：タスク 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 4 | 2.3 |
| (5) | システム全体の評価 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3.7 |

4.5 考察

実験結果より考察を行なう。

まず，システムの使用感について考察する．アンケート項目の(1),(2)の回答から，提案システムの操作方法と結果表示は被験者にとって分かり易いものであったことが分かる．さらに，項目(5)の回答で提案システム全体の評価が良かったことも合わせて考えると，提案システムの有用性を示すことが出来たと考えられる．

次に，処理時間について考察する．タスク 1 や 3 では，提案システムと既存のソフトの作業時間がほぼ同じであったのに対し，アンケート項目(4)の回答では作業量が少なかったと多くの被験者が回答している．これは，既存のソフトの作業時間が入力処理に費やした時間とほぼ同じであるのに対し，提案システムの作業時間は領域抽出処理の待ち時間が大半を占めていたことに起因する．つまり，提案システムでは操作が非常に単純で分かり易いため，入力処理に費やす時間が大幅に少なくなり，作業量が少ないと被験者が感じたためである．そしてこの傾向は，細い領域や曲線を抽出するタスク 3 でより顕著に現れている．なお，領域

抽出処理の時間が長い問題に対しては、実装した手法の高速化が必要であると考えられる。

続いて、領域抽出処理について考察する。タスク1と3ではアンケート項目(3)の回答で提案システムの方が高評価であったのに対し、タスク2と4ではその逆の傾向が見られた。また、項目(4)でも、結果は同じ傾向を示していた。これは、提案システムの方針と実装した領域抽出手法がタスク1と3で十分に効果を発揮したことで、被験者の作業時間は少なくなり、これによって使用感で被験者から高評価が得られたと考えられる。逆に、タスク2と4においては、実装した領域抽出手法が十分に対応できていなかったため、作業時間が長くなったと考えられる。なお、タスク2のアンケート項目(4)では、半数の被験者が提案システムの方を高く評価していたが、これは提案システムに実装した領域抽出手法は悪かったが、操作方法などの方針は良かったと感じたためではないかと思われる。提案システムをタスク2や4のように多様な画像に対して対応させるためには領域抽出手法の改良および追加が必要である。しかし、手法の改良および追加により、さらに様々な領域抽出結果が出力されるようになればユーザの画像選択に対する負荷と領域抽出の処理時間が増し、全体の作業時間が長くなることも予想される。現在は全ての領域抽出結果を抽出された領域の面積で並び替えて表示しているのだが、別の評価により並び替えるなど抽出結果表示の工夫や、ユーザが望んでいると思われる領域抽出手法を優先的に処理するなどの領域抽出処理制御の工夫も必要であると考えられる。

最後に、アンケートの自由記述項目に寄せられた被験者の提案システムへの要望について考察する。被験者からの要望の多くは機能の追加に関する内容であり、その他には「作業を中断させる」といった処理内容に関するものがあつた。追加要望のあつた機能の中では、拡大表示機能に関するものが最も多かつた。しかし、提案システムに対して、単純に機能を追加すると操作が分かりにくくなるため、ユニバーサルデザインを考慮する必要がある。そこで、提案システムに対して機能を追加する場合、初心者に対して操作が分かりにくならないことを十分に考慮した上で、ユーザの熟練度に合わせた機能がどのようなものであるかを検討した上で行うべきであると考えられる。

5. まとめ

本研究では、領域抽出処理に関する知識を持たないユーザでも、画像合成などを行う際に容易に領域抽出できるようになることを目的としたシステムの構築と、その評価実験について述べた。このような目的においては、操作が分かり易いこと、手間がかからないこと、意図した領域が抽出できることの3項目がシステムに要求される。これに対して提案システムでは直感的な入力方法で、一つの入力に対して複数の領域抽出処理を適用し、結果をインタラクティブにユーザが選択するという方針をとった。評価実験では、実際に本研究でユーザとして想定した領域抽出処理に関する専門知識がないユーザを被験者として、システムの試用と評価を行った。実験では、実際の画像処理作業で想定されるタスクを設定し、既存の画像処理ソフトと比較評価を行ったところ、操作方法と結果表示の分かり易さなどでは被験者から良好な評価が得られた。このことから、実際の画像処理作業の領域抽出処理において、本システムが有用であることを確認した。しかし、複数の領域抽出処理が終わるまでの待ち時間が長いことや、作業内容によっては抽出の精度が問題になることが明らかとなった。

そこで今後の課題として、まず領域抽出の処理時間が長い問題を解決するために、アルゴリズムの高速化や領域抽出処理制御の工夫が挙げられる。次に、多様な画像に対して領域抽出の精度を向上するために、領域抽出手法の改良および追加が挙げられる。提案システムでは、画像の代表的な特徴量である色、テクスチャ、エッジに基づいた領域抽出手法をそれぞれ一つずつ実装したが、従来研究には今回実装した手法とは異なった方法で領域抽出を行う手法が数多く存在する。そこで、提案システムの入力操作と互換性を保ったままそれらの手法を組み込めば、ユーザが意図した領域がさらに正確に抽出できるようになると考えられる。ただし、その際にはユーザの領域抽出処理結果の選択に対する負荷の増加や、領域抽出処理時間の増加に対する対策として、抽出結果表示の工夫や領域抽出処理制御の工夫も必要であると考えられる。また、システムを試用した被験者から「拡大表示機能がほしい」等の要望が挙げられたことから、提案システムへの機能の追加も今後の課題として挙げられる。しかし、単純に機能を追加すると操作が分かりにくくなるため、操作が複雑にならずに機能を追加する工夫が必要である。また、

初心者と熟練者では必要とする機能が異なるため、初心者にとって使い易い操作性を維持した上で、ユーザの熟練度に応じた機能の追加が行えれば、初心者から熟練者までの幅広いユーザが使える「シームレスなシステム」へと提案システムを拡張できると考える。

謝辞

本研究を進めるにあたり，暖かく御指導，御鞭撻頂いた視覚情報メディア講座 横矢 直和教授に心より感謝申し上げます．

また，副指導教官として御指導，御鞭撻頂いた像情報処理学講座 千原 國宏教授，ならびに本研究を進めるにあたり多大な御助言を頂いた視覚情報メディア講座 山澤 一誠助教授に厚く御礼申し上げます．

さらに，公私にわたり大変御世話になった視覚情報メディア講座 神原 誠之助手，的確な御助言を頂いた視覚情報メディア講座 佐藤 智和助手に深く感謝致します．

そして，本研究の評価実験を行なう上で，被験者となり提案システムの評価実験にご協力下さった大崎 博之氏，中西 謙太氏，松原 邦明氏，森 奈緒子氏，山田 晃歳氏，山根 主税氏に厚く御礼を申し上げます．

また，二年間苦楽を共に過ごしてきた穴吹 篤志氏，岩崎 希世子氏，中里 祐介氏，不殿 健治氏，横地 裕次氏に感謝致します．また，一年間ではありますが，本研究の指針を立てる上で多くの御助言を頂いた先輩方，研究における機材やソフトの準備など，様々な面で支えて頂いた後輩方に感謝の意を表します．ならびに，研究室での生活を支えて頂いた視覚情報メディア講座 事務補佐員 守屋 智代女史に感謝致します．

最後に，二年間の私の研究生活に携わった全ての方々に厚く感謝の意を表します．

参考文献

- [1] 染谷 清登, 熊澤 逸夫:“ 二重アクティブ探索法による画像中の領域抽出 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2001-171, pp.123-130 (2001).
- [2] 内海 章, 鉄矢 信二:“ 画素値分布特徴に基づく人物の検出 ”, 情報処理学会研究報告, 2001-CVIM-129, pp.63-70 (2001).
- [3] 周 景龍, 渡部 広一, 河岡 司:“ 情景画像からの看板領域と看板中の情報抽出 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2002-217, pp.37-42 (2002).
- [4] 垣田 直士, 菅原 一孔, 小西 亮介:“ 色情報による唇領域の抽出について ”, 電子情報通信学会技術研究報告, DSP2001-83, pp.17-22 (2001).
- [5] 松尾 賢一, 上田 勝彦, 梅田 三千雄:“ 適応しきい値法を用いた情景画像からの看板文字列領域の抽出 ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.6, pp.1617-1626 (1997).
- [6] 川戸 慎二郎, 鉄谷 信二:“ 顔領域抽出を目的とした肌色モデルと肌色領域抽出 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, IE2001-39, pp.143-148 (2001).
- [7] 末永 健明, 岡隆一:“ ビデオ画像におけるテロップ領域抽出と OCR 適用との統合処理 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, IE2003-29, pp.13-16 (2003).
- [8] 松浦 大祐, 山内 仁, 高橋 浩光:“ 特定色判別と領域限定を用いた円形道路標識の抽出 ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D-II, No.6, pp.1075-1083 (2002).
- [9] 長井 隆行, 金子 正秀, 樽松 明, 影広 達彦:“ 情景画像中の文字及び看板領域の抽出 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, CAS2000-125, pp.103-108 (2001).
- [10] C.Ong, 松山 隆司:“ 2色性反射モデルを用いた頑強なカラーセグメンテーション ”, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.8, pp.3259-3266 (1999).
- [11] 田中 昭二, 井口 征士, 岩館 祐一, 中津 良平:“ 画像領域の色およびテクスチャのコントラストを特徴量とした図領域の抽出 ”, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.8, pp.3267-3280 (1999).

- [12] 田口 安則, 金子 敏充, 井田 孝:“ 周辺画素の画素値分布を利用した背景差分法によるオブジェクト抽出 ”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp.296 (2004).
- [13] H.Eng, K.Toth, A.H.Kam, J.Wang, W.Y.Yau:“ An automatic drowning detection surveillance system for challenging outdoor pool environments ”, Proc. of IEEE Int. Conf. on Computer Vision, pp.532–539 (2003).
- [14] 五十嵐 雅彦, 張 曉暉, 長井 隆行, 樽松 明:“ ビジュアルアテンションと領域拡張を用いた情景画像中の文字抽出 ”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp.206 (2004).
- [15] 川村 秀男, 岡田 康裕:“ カラー文書からの文字列検出方式 ”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp.194 (2003).
- [16] 村瀬 洋, V.V.Vinod:“ 局所色領域情報を用いた高速物体探索 –アクティブ探索法– ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81–D–II, No.9, pp.2035–2042 (1998).
- [17] 藤原 久永, 章 忠:“ 3次元効果を伴う平面上のテクスチャ領域の抽出と消失線の推定 ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83–D–II, No.2, pp.634–644 (2000).
- [18] 杵渕 哲也, 鈴木 章, 塩 昭夫, 有川 知彦:“ 幾何的テクスチャ特徴を用いた空中写真からの市街地抽出技術 ”, 第1回情報科学技術フォーラム (FIT) 講演論文集, pp.161–162 (2002).
- [19] 石原 聖司, 月川 誠:“ ウェーブレットフレームを用いた注目テクスチャ切出しの一手法 ”, 第2回情報科学技術フォーラム (FIT) 講演論文集, pp.23–24 (2003).
- [20] C.Schmid:“ Constructing models for content-based image retrieval ”, Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.2, pp.39–45 (2001).
- [21] M.A.Ruzon, C.Tomasi:“ Corner Detection in Textured Color Images ”, Proc. of Int. Conf. on Computer Vision, Vol.2, pp.1039–1045 (1999).

- [22] J.Malik, S.Belongie, J.Shi, T.Leung:“ Textons, Contours and Regions: Cue Integration in Image Segmentation ”, Proc. of Int. Conf. on Computer Vision, pp.918–925 (1999).
- [23] Y.Rubner, C.Tomasi:“ Texture-Based Image Retrieval Without Segmentation ”, Proc. of the Int. Conf. on Computer Vision, Vol.9, pp.1018–1024 (1999).
- [24] N.Paragios, R.Deriche:“ Geodesic Active Contours for Supervised Texture Segmentation ”, Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.2, pp.422–427 (1999).
- [25] G.Gordon, T.Darrell, M.Harville, J.Woodfill:“ Background estimation and removal based on range and color ”, Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.2, pp.459–464 (1999).
- [26] O.Ramstrom, H.I.Christensen:“ Object detection using background context ”, Proc. of Int. Conf. on Pattern Recognition, pp.45–48 (2004).
- [27] 松下 信哉, 森 美樹, 金子 透, 三浦 憲二郎:“ ストライプ状背景を利用した画像セグメンテーション ”, 映像情報メディア学会 (テレビジョン学会) 技術報告, HCS2000-34, pp.13–18 (2000).
- [28] M.Kass, A.Witkin, D.Terzopoulos:“ Snakes: Active Contour Models ”, Int. Journal of Computer Vision, Vol.1, No.3, pp.321–331 (1988).
- [29] 松澤 悠樹, 阿部 亨:“ 複数の動的輪郭モデルの競合による領域抽出 ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83–D–II, No.4, pp.1100–1109 (2000).
- [30] 松澤 悠樹, 熊沢 逸夫, 阿部 亨:“ 物体輪郭に沿ったクラスタリングに基づく領域抽出 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2000–234, pp.87–94 (2001).
- [31] 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, Vol.J79–D–II, No.10, pp.1704–1711 (1996).

- [32] 宇佐美 勝司, 北島 宏之, 富樫 水帆, 菊池 裕人, 中村 維男:“ 連続医用断層画像への動的輪郭モデルの適用における画像情報の利用 ”, 平成 14 年度第 1 回研究会情報処理学会東北支部研究会, 資料番号 11 (2002).
- [33] 瀬川 英吾, 徐 剛, 辻 三郎:“ 形状に依存しないパラメータを用いた snake ”, 情報処理学会研究報告, 1992-CVIM-079, pp.33–36 (1992).
- [34] 福井 和広:“ 領域間の分離度に基づく物体領域抽出 ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80–DII, No.6, pp.1406–1414 (1997).
- [35] 坂上 勝彦, 山本 和彦:“ 動的な網のモデル Active Net とその領域抽出への応用 ”, 映像情報メディア学会誌 (テレビジョン学会誌), Vol.45, No.10, pp.1155–1963 (1991).
- [36] N.Yabuki, Y.Matsuda, H.Kimura, Y.Fukui, S.Miki:“ Region Extraction Using Color Feature and Active Net Model in Color Image ”, IEICE Trans. on fundamentals of electronics, communications and computer sciences, Vol.E82–A, No.3, pp.466–472 (1999).
- [37] N.Yabuki, Y.Matsuda, M.Ota, Y.Sumi, Y.Fukui, S.Miki:“ Improvement of Active Net model for region detection in an image ”, IEICE Trans. on fundamentals of electronics, communications and computer sciences, Vol.E84–A, No.3, pp.720–726 (2001).
- [38] 野田 尚志, 藪木 登, 鷺見 育亮, 松前進, 福本 善洋, 植田 拓也, 副井 裕:“ 動的な輪郭モデルのマルチ化方式に関する検討 ”, 第 17 回 回路とシステム軽井沢ワークショップ 論文集, pp.171–175 (2004).
- [39] 西松 均, 久保山 潤一, 山内 俊明, 関 靖夫:“ バスケットボール試合におけるボール認識法の検討 ”, 第 3 回情報科学技術フォーラム (FIT) 講演論文集, pp.53–54 (2004).
- [40] 小川 英光, 原田 紀夫:“ 特集「画像処理エキスパートシステム」の編集にあたって ”, 情報処理学会論文誌, Vol.29, No.2, pp.87–129 (1988).

- [41] 稲田 清崇, 松本 修二:“ 画像メニューを用いた画像処理エキスパートシステム ”, 情報処理学会論文誌, Vol.29, No.2, pp.142-149 (1988).
- [42] 周 向栄, 清水 昭伸, 長谷川 純一, 鳥脇 純一郎:“ 3次元画像処理手順の自動構成のためのビジョンエキスパートシステム 3D-IMPRESS とその性能評価 ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-D-II, No.11, pp.1949-1959 (1999).
- [43] 濱田 敏弘, 清水 昭伸, 長谷川 純一, 鳥脇 純一郎:“ ビジョンエキスパートシステム IMPRESS における画像処理手順の逐次的集約法とその性能評価 ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-D-II, No.11, pp.1982-1989 (1999).
- [44] 濱田 敏弘, 清水 昭伸, 長谷川 純一, 鳥脇 純一郎:“ 画像処理エキスパートシステム IMPRESS における少数の設計標本からの手順構成に関する検討 ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-D-II, No.9, pp.2029-2039 (2001).
- [45] 濱田 敏弘, 清水 昭伸, 長谷川 純一, 鳥脇 純一郎:“ 誤り確率条件に基づく画像処理手順の自動構成の一方法と画像処理エキスパートシステム IMPRESS-Pro ”, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.7, pp.1937-1947 (2000).
- [46] 熊川 直孝, 長谷川 純一, 鳥脇 純一郎:“ ゴール分割型画像処理エキスパートシステム GD-IMPRESS (Goal Divided IMPRESS) の開発 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2000-244, pp.161-166 (2001).
- [47] 長谷川 純一, 久保田 浩明, 高須 晶英, 鳥脇 純一郎:“ 画像処理エキスパートシステム IMPRESS における画像処理手順集約化機能について ”, 情報処理学会論文誌, Vol.29, No.2, pp.126-133 (1988).
- [48] 牛島 健博, 長谷川 純一:“ 動画画像処理エキスパートシステム Motion-IMPRESS における特徴点追跡手順自動構成法の開発 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2000-132, pp.15-22 (2000).
- [49] 田村 秀行, 佐藤 宏明, 坂上 勝彦, 久保 文雄:“ DIA-Expert システムとその知識表現方法 ”, 情報処理学会論文誌, Vol.29, No.2, pp.199-208 (1988).

- [50] 深見 幸靖, 長谷川 純一, 鳥脇 純一郎: “ 画像処理手順自動構成システム IMPRESS におけるゴール転換機能の効率化について ”, 電気関係学会東海支部 連合大会講演論文集, Vol.1989, No.38, pp.621 (1989).
- [51] 鳥生 隆, 岩瀬 洋造, 後藤 敏行, 吉田 真澄: “ コンサルテーション型画像処理用エキスパートシステム ”, 情報処理学会論文誌, Vol.29, No.2, pp.150–159 (1988).
- [52] 松山 隆司, 尾崎 正治: “ LLVE : トップダウン・セグメンテーションのための画像処理エキスパートシステム ”, 情報処理学会論文誌, Vol.27, No.2, pp.191–204 (1986).
- [53] 斉藤 由香梨, 小島 紀子, 松尾 明彦, 秋元 晴雄: “ 画像処理エキスパートシステム IPEX のための知識エディタ ”, 情報処理学会論文誌, Vol.30, No.3, pp.278–285 (1989).
- [54] 坂上 勝彦, 田村 秀行: “ 処理モジュールの構造的知識を利用した画像処理プログラム自動生成システム ”, 情報処理学会論文誌, Vol.26, No.4, pp.652–661 (1985).
- [55] 富田 文明: “ 画像の対話的および自動的認識のためのソフトウェアシステム IMARS ”, 情報処理学会論文誌, Vol.29, No.2, pp.96–104 (1988).
- [56] N.Xu, N.Ahuja: “ INTERACTIVE OBJECT SELECTION USING S–T MINIMUM CUT ”, Proc. of Asian Conf. on Computer Vision, Vol.1, pp.354–359 (2004).
- [57] Y.Li, J.Sun, C.K.Tang, H.Y.Shum: “ Lazy Snapping ”, Proc. of SIGGRAPH2004, pp.303–308 (2004).
- [58] C.Rother, V.Kolmogorov, A.Blake: “ GrabCut–Interactive Foreground Extraction using Iterated Graph Cuts ”, Proc. of SIGGRAPH2004, pp.309–314 (2004).

- [59] O.Veksler:“ Image Segmentation by Nested Cuts ”, Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.1, pp.339–344 (2000).
- [60] I.Drori, T.Leyvand, D.Cohen, H.Yeshurun:“ Interactive Object Segmentation in Video by Fitting Splines to Graph Cuts ”, Proc. of SIGGRAPH2004, Poster No.59 (2004).
- [61] E.N.Mortensen, W.A.Barrett:“ Toboggan–Based Intelligent Scissors with a Four–Parameter Edge Model ”, Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.2, pp.452–458 (1999).
- [62] 井上 誠喜:“ 画像合成のための対象物の抽出法 ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J74–D–II, No.10, pp.1411–1418 (1991).
- [63] 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 ”, 映像情報メディア学会誌 (テレビジョン学会誌), Vol.47, No.7, pp.999–1005 (1993).
- [64] 淡 誠一郎, 鄭 小江, 北橋 忠宏:“ 対話型対象物抽出アルゴリズムの高速化 ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79–D–II, No.11, pp.1984–1987 (1996).