

画像処理技術の開発動向

The Development of Image Processing Technologies at Konica Minolta

洪 博 哲*
Po-Chieh HUNG

糊 田 寿 夫**
Toshio NORITA

遠 山 修*
Osamu TOYAMA

一 谷 修 司*
Shuji ICHITANI

要旨

コニカミノルタでは汎用的に利用可能な画像処理技術を目指して技術開発している。画像再現技術および画像評価技術を基本にし、より付加価値をつけるため、ステレオマッチング技術や、画像の分離に用いるセグメンテーション技術の開発へ拡張している。画像再現/評価技術では画像機器の特性に着目し、階調、色、鮮鋭性、ノイズの4要素を定量評価して補正処理を行う。これらの劣化分の補正により、機器特性に独立な画像データにする。これを基本にして用途に応じ、好みの再現処理、距離情報算出処理、認識画像処理などの高機能化処理を加える。これにより、画像機器の種類に依存せず、各画像処理を実施することができる。

本稿では、これらの基本技術を概説するとともに、その具現化例として、カラーマネージメントシステム、ステレオ画像処理技術、セグメンテーションを利用した血管抽出技術の開発例を紹介する。

Abstract

Konica Minolta has been developing various image processing technologies for versatile purposes. Based on image processing and evaluation for reproduction, image processing for stereo matching and segmentation is being developed to obtain distance information and to recognize objects in an image, respectively. We have focused on the characteristics of input / output devices in terms of tone, color, sharpness, and noise. By qualitatively evaluating the degradation caused by such devices, degradation is compensated for in a systematic manner. As a result, the image data is independent of device characteristics. Subsequently, we applied application-specific processing such as preferred image reproduction, distance estimation, and image recognition, so as to add value.

In this report, we summarize our concept and basic technologies and then introduce three examples of development: a color management system, a stereo camera, and an extraction of the aortic region.

* コニカミノルタテクノロジセンター(株)
システム技術研究所 イメージシステム開発室
** コニカミノルタテクノロジセンター(株)
デバイス技術研究所 メカトロ技術開発室

1 はじめに

画像処理技術は、画像入出力機器を取り扱うコニカミノルタで不可欠である。コピーやプリンタの基本動作となる画像再現技術は、実物原稿や電気信号で表現された画像をプリントやディスプレイ上に再現するのに使われている。さらに、近年では画像情報から所望の情報を抽出することにより、付加価値を増大させることが求められている。

我々は忠実な画像再現を基本に、好ましい色再現の概念を取り入れ、ユーザーに合わせた画像再現を体系的に適用できるようにしている。さらに、画像から必要な情報を抽出したいという高機能化へのニーズに答え、画像再現技術と連動させ、距離情報の取得、および、認識機能の開発へと拡張している。

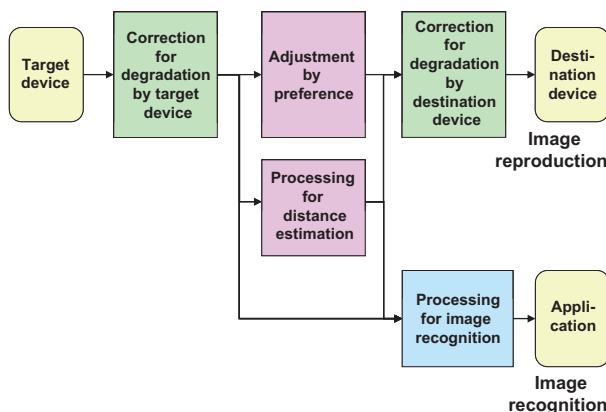


Fig.1 Image processing pipeline in our concept

Fig.1に我々の考える画像処理体系を示す。図中、上段は画像再現、下段は画像認識のフローを示している。画像データそのものは画像の特性と一意に対応せず、スキャナなどの目標機器やプリンタなどの最終出力機器の特性により決定される。画像データと画像特性の物理的な特性との関係は画像機器毎のプロファイルとして記述される。デジタル画像と言えども、元絵や出力された画像はアナログであり、デジタルデータと実画像の間には機器の性能に依存する特性が存在するためである。

このような特性をキャンセルする画像処理により、目標機器および最終出力機器の特性が完全に補正されると、画像は忠実に再現されることになる。現実には完全な補正はできないが、特性を定量的に測定し、限界を把握した上、可能な範囲での補正を行う。この結果、途中のデジタルデータは機器の特性にほぼ非依存にすることができる。

画像再現では、ユーザーに期待された印象画が求められるため、途中、「好ましい再現」を施し、一連の処理のパイプラインを完成させる。

一方、画像から情報を抽出することが目的である画像認識システムでも、目標機器による画質劣化の補正は欠かせない。これらの補正を行うことで、目標機器が変更された場合でも、補正により後段の処理への影響を最小限にできる。

距離情報算出処理はこれらの両方の間に位置する。距離情報に従い立体視画像を合成する場合は画像再現として、距離情報を他用途に用いる場合は画像認識として扱う。

このような考えにより、各ブロックを切り分けている。

2 画像再現技術、評価技術

2.1 人間の眼のモデル

画像の物理的特性は画質として示される。その要素として、階調、色、鮮鋭性、ノイズの4つがある。我々は人間の視覚特性モデルに基づき、心理物理量を基準に取り扱い、画像機器特性に依存しない尺度を用いている。

眼の構造は本来複雑だが、我々は、Fig.2 に示すような単純化したモデルを用いている。3種類の錐体LMSで得られた色情報は、輝度および色度の反対色に変換され、輝度情報はバンドパス、色度情報はローパス特性で空間周波数フィルタリングされた上、大脳で認識されるとする。簡単ではあるが、実用的に多くの事象に対応できる。

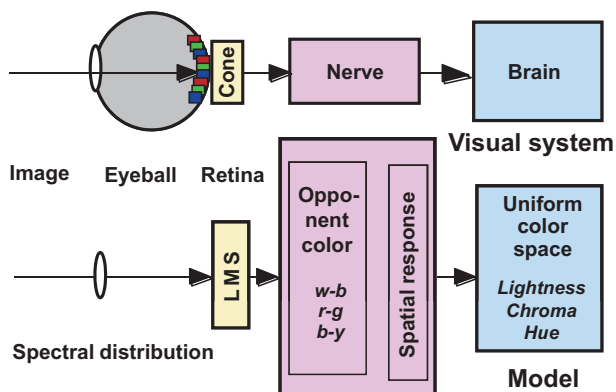


Fig.2 Our visual model for observing image

2.2 忠実な再現へのアプローチ

忠実な再現のためには、上述の4要素を定量評価した上、劣化分の補正を施すことが基本である。我々はこれらの定量評価について、テストチャートと評価ツールを構築しており、入力/出力機器ともに短時間かつ体系的に測定できるようにしている。

1) 階調再現

画像のもっとも重要な要素は、連続的な階調である。連続性が確保されないと、擬似輪郭が見え、不自然な印象を与える。

我々は階調の連続性を定量的に評価する手法を開発している¹⁾。人間の眼は色差0.5まで見分けると言われているが、なだらかな階調変化では、その半分程度の色差でも見分けるという報告²⁾もあり、重要な特性と考える。

階調の連続性を確保するため、入力系では、飽和が発生しにくくなるような階調設計および撮像条件設定を行う。出力系では特にハーフトニング処理で、市場で機器特性が変化した場合でも階調の連続性が保たれるようなロバストな設計を行う。

2) 色再現

人間の色知覚特性は、等色関数を基本として色の見えモデル (color appearance model) で記述される。

我々は早くから色知覚特性を用いた色再現に注目し、その具現化のため機器固有の画像データと三刺激値を結びつける多次元LUT (look-up table) 方式を開発した³⁾。同手法は多数の測色点を必要とするものの、同一手順で種々の機器の特性を記述することができるため、今ではカラーマネージメントシステムの基本技術となり、ICCプロファイルなどに広く使われている。

入力系では、眼の分光感度と等価な分光感度を持つセンサーを用いるのが理想であるが実際にはずれてしまう。理想特性からのずれを定量的に評価するため、我々は現実的な評価手法を開発しISO 17321-1に提案している⁴⁾。現実の画像機器においては、さらに、対ノイズ特性、および、カラーバランスの最適化を考慮し、与えられた機器で最適値を容易に求められる設計指針を構築している⁵⁾。

出力系では、その色再現能力を示す色域がもっとも重要な要素になる。LUT方式ではその範囲内であれば任意の色を再現できるからである。色域の改善のために3色を超える色材を用いて色再現する例が増えている。我々は早くから4色を測色的に取り扱う技術を確立しており⁶⁾、機器の特性に応じて体系的に求められるようにしている。さらに、インクジェットプリンタのように色数が5色以上に増える場合についても測色的な取り扱いが可能である⁷⁾。

3) 鮮鋭性

鮮鋭性は種々の理由で劣化し、入力系ではレンズ系で

の劣化や撮像素子の開口形状で、また、出力系においては、にじみやハーフトニング手法で特性が変わる。

入力系においては、スラントエッジ法⁸⁾によりナイキスト周波数を超える周波数まで定量評価する。これにより、空間周波数特性とモアレ特性の発生を知ることができる。出力系では画素形状が理想的な断面形状であるsync関数から大きく外れているため、エッジによる評価は必ずしも出力系の特性を代表しない。そこで我々は、サインチャートによる振幅特性を測定し、出力系の特性を測定している。

ひとたび鮮鋭性劣化特性が求めれば、その逆特性を基本とし、ノイズとのバランスをとりながらフィルタ設計を行う。

4) ノイズ

ノイズは望まれない輝度/色度変化を指す。広い概念では粒状性だけでなく、シェーディングのようななだらかなムラも含まれる。我々はFig.2のモデルに従い、眼の特性に合わせた心理物理量を算出している。

入力系の評価には、視覚的ノイズ評価方法をISO 15739に提案している。同じ考えを用いて、出力系のノイズもバンディング、ハーフトニングによるムラなどをスキャナで読み取り、定量化を可能にしている。我々の手法は、観察者の心理物理量で評価するため、入力、出力のノイズ量を相互比較できる点に特徴がある。これにより、画像システム全体でバランスの取れた設計ができる。

ノイズ低減処理は、入力系では古典的な課題であり、さまざまなフィルタリング処理を用途に合わせて利用している。一方、出力系の場合では、シェーディングのように繰り返し再現性がある場合はそれを逆補正し、ハーフトニング処理ではノイズ感を減らすべく最適化を行う。

5) 好ましい再現

画像再現を目的にした場合、被写体に忠実な再現より、記憶の中で期待される画像特性が求められる。たとえば、空の青、草木の緑、肌の色、ポストの赤などではそれが顕著に示される。その結果、多くの場合、ややコントラストが強調され鮮鋭性を高めに設定することが求められる。

コントラストや鮮鋭性の好みはアプリケーションに依存して人それぞれであり、また、時代とともに変化する。我々は視覚実験を行い、ある程度のグルーピングを行い好ましい再現のガイドラインを作成しており、それを基準としてアプリケーション毎に調整するアプローチをとっている。

3 画像認識技術

3.1 距離情報取得

我々は高機能化のひとつとして、3D化の流れに合わせ、2次元である画像に距離情報を付与することを試みている。その手法のひとつであるステレオ画像処理の場合、複数の位置で撮像された画像を基に、①2画面ステレオ画像として、②距離センサーとして、③距離情報も含めた三次元表示、の各利用方法がある。

①は、左右2画面の画像をそのまま表示するもので、2.2節で述べた好ましい再現を含めた画像再現のアプローチがそのまま適用できる。

②は、2次元の画像に対応した距離情報を正確に算出する必要がある。距離情報は、画像の視差情報に基づき算出される。高精度化のためには、個々のカメラの画質劣化を補正し、さらに、左右のカメラの位置情報を得た上、視差の計算を行うことで、正確な距離情報を取得できる。ステレオ画像の視差の算出方法にはSAD (sum of absolute difference) やSSD (sum of squared difference) などがあるが、4.2節に示すように、我々は近年注目されているPOC (phase only correlation) を用いて、良好な結果を得ている。

③は、①と②のミックスであり、距離情報で作られた立体像上に再現画像を重畳する。これにより異なる視点から見た被写体の画像を再現することができる。

3.2 セグメンテーション

高機能化のもうひとつは、画像認識であり、この基本的な画像処理は、背景から注目するオブジェクトを切り出すセグメンテーション技術である。画像内のオブジェクトの輝度/色度、または、形状に応じて、形状情報を切り出す。これに使われるセグメンテーションの手法には、種々の手法が提案されている。

主に境界(エッジ)の情報を用いる手法として、Snakes, LSM(Level Set Method)がある。これらはエッジ情報のみを扱うため処理は比較的簡単になるが、境界が曖昧な場合やノイズが多い場合には良い結果は得られない。

境界によって内部と外部の領域に分けその領域の情報を用いる手法として、Graph Cuts, LSM without edgeなどがある。これらは境界が曖昧な場合やノイズが多い場合にも強固だが、領域全体を扱うため処理負荷が高くなる傾向がある。これらはいずれもエネルギー関数と呼ばれる評価指標を用い、繰り返し演算で最小化して解を得る。

我々は、これらに加え、閾値を用いるRegion Growingや単純な閾値処理の手法をライブラリ化して取り揃え利用できるようにし、4.3節に示すように、アプリケーション毎に改良して適用している。

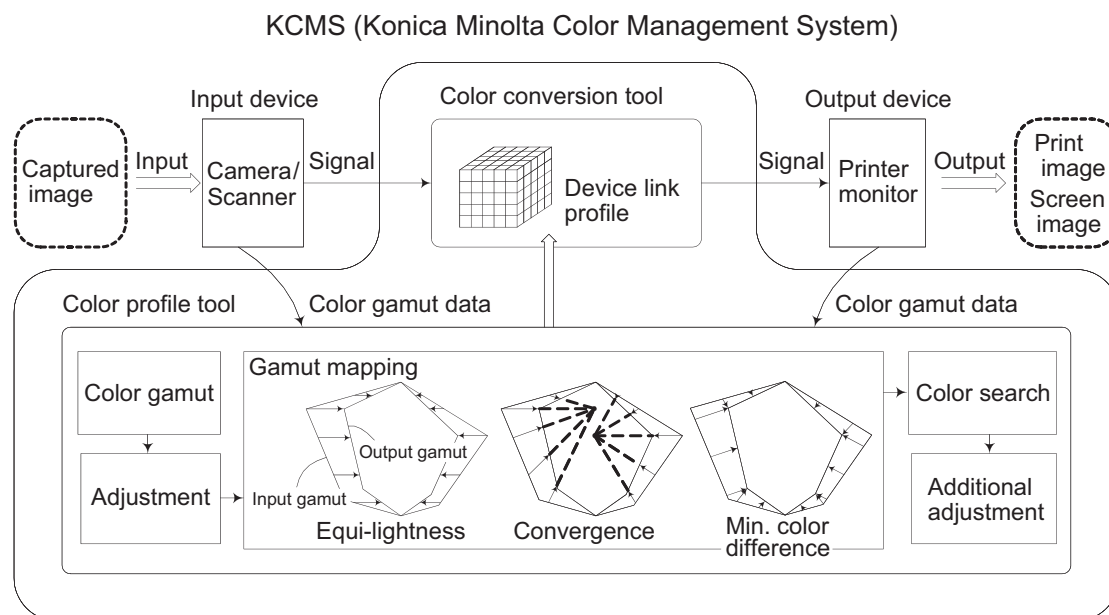


Fig.3 KCMS framework

4 画像処理技術開発の具体例

以下、上記の考えに基づき、画像再現、距離情報の取得、セグメンテーション技術の開発事例を紹介する。

4.1 画像再現: カラーマネージメントシステム

カラーマネージメントシステムは視覚特性に基づき、異種メディア間の色再現を実現するソフトウェアツールである。開発したカラーマネージメントシステム（以後、KCMS: Konica Minolta Color Management System）は、Fig.3 に示すように、入力デバイスの色画像データを出力デバイスの色信号に変換するためのカラープロファイルを作成するプロファイル作成ツールと、作成したプロファイルを用いて画像を色変換演算する色変換ツールから構成される。

プロファイル作成ツールは、後述する独自技術が組み込まれており、色変換ツールは、ソフトウェアモジュールに加え、回路規模・計算時間速度を改善してASIC化され、利用されている⁹⁾。

1) プロファイル作成ツール

KCMSでは実行環境・入出力データの汎用性と、独自技術を兼ね備えたプロファイル作成ツールを実現している。

カラープロファイルの計算にはカラーチャートの測色値を必要とするが、チャート形式としてANSI IT8.7やJapan Colorの標準規格に対応している。カラーデバイスは、RGB3色、CMYK4色、4色に特色を加えた6～7色（以後、hi-fi color）に対応している。

KCMSは視覚特性を考慮し、色空間にはCIE均等色空間の等色相線の曲がり改善了独自の色空間を組み込んでいる。また、色順応式の採用により、異なる観察環境での色合わせが行える。目標機器の色が最終出力機器の色域に存在しない場合、色域マッピングを行うが、KCMSでは、明度を保つ圧縮、色相ごとに収束点可変にした圧縮、最も色差が発生しない圧縮などの様々なバリエーションを持ち、最適化が図れる。目標機器の再現する色を、最終出力機器の色域から検出する対応色探索演算では、前回検出された対応色の周囲から探索するアルゴリズムにより、高速な探索を実現している¹⁰⁾。

Table 1 にKCMSの主な特徴一覧を示す。

Table 1 Feature of KCMS

Feature	Description
Operating system	Windows, Unix, Macintosh
Input/output color device	RGB, CMY, CMYK, hi-fi colors (6 colors, 7 colors), LCC
Measurement chart	Standard: ANSI IT8.7/1, 2 1993, ISO12642 Proprietary format: 3 colors, 4colors, hi-fi colors
Output profile type	ICC profile, proprietary format
Color space	CIELAB, CIELUV, CIECAM02, proprietary color space with constant hue loci, etc
Gamut mapping	Equi-lightness, convergence, minimum color difference, etc
Matching algorithm	High-speed color search using tetrahedron

2) 調整機能

プロファイル作成ツールでは、前述の色域圧縮の他に、現実の機器開発のニーズに対応し、様々な調整機能を搭載している。Table 2 に代表例を示す。

Table 2 Adjusting parameters in KCMS

Adjusting parameter	Description
Color gamut adjustment	for white, black points Adjust color gamut with reference to white point and black point.
	for primary color adjustment Adjust color gamut with reference to primary colors (R, G, B, C, M, Y).
	for lightness, chroma adjustment Adjust lightness and chroma of color gamut.
Color search	for scanner Least square method and new methods which improve color difference accuracy and profile data continuity.
	for CMYK colors GCR method and unique smoothing black method which improves flexible black control and color difference accuracy.
	for hi-fi colors Flexible hi-fi color control by extended smoothing black method.
Color profile adjustment	for gray Improve color reproduction at L* axis by measurement data of gray patches.
	for smoothness Smooth color profile data.
	for total ink amount Control total ink amount from 100 to 400% at 4 colors, and hi-fi colors.

プロファイル作成に使われる対応色探索演算では、色差精度を維持しながら、プロファイル値の連続性の両立に特長がある。スキャナの場合、色域内外での探索アルゴリズムの切り替わりに連続性を持たせている¹¹⁾。CMYK4色の場合、連続性の制御・墨入れの自由度・出力デバイス色域の最大利用を兼ね備えたスムーズブラック法を採用している¹²⁾。hi-fi colorの場合も同様の手法を拡張し、特色の使い方の自由度を制御する手法を採用している¹³⁾。

色域の調整機能では、白点・黒点、原色点、明度・クロマの調整が行える。いずれも基本はモデルパラメータを用いるが、微妙な調整要望に答えるため、調整量をテーブルにして与えることもできる。測定された測色値の誤差に起因するプロファイルの連続性・グレー付近の色つきを改善するために、プロファイルのスムージング機能や、フィードバック機能を用意し、画像機器が不安定な開発初期のカラープロファイル作成に対応している。

3) 適用例

これまでKCMSはKMグループ内の種々のカラーデバイスの開発に使われてきた。代表的な例は、スキャナ

色再現(RGB→均等色空間)、複合機(RGB→CMYK)、インクジェット (RGB→hi-fi color)、銀塩写真プリンタ (RGB→CMY) 等の製品向けのプロファイル作成である。また、色材の開発時に、色材をプリンタに搭載した際の色域を予測し、再現結果をシミュレーションする用途にも使用され、色材開発の効率向上につながっている。

4.2 距離情報の取得: ステレオ画像処理

高機能化のため、我々は平面的な画像処理に加え、ステレオカメラを用いて、距離情報を付加することを試みている。

1) ステレオ法の原理と対応点探索手法

Fig.4 にステレオ法による3次元計測の原理を示した。対象物までの距離は左カメラに投影された対象物と同じ対象物を右カメラ撮像面上の位置を探索し、その位置、すなわち視差を検出することで焦点距離、基線長などのカメラパラメータから三角測量の原理により算出される。

高精度な3次元データを得るには基線長を長くすることで実現できるが、装置自体が大型化してしまう。また、左右カメラで大きく異なる視点への投影像となり、それぞれカメラが同一対象点を撮像できないオクルージョンの問題が発生しやすくなり、高精度での対応付けが困難となる。これらを回避するため、基線長の短いコンパクトなシステムで、かつ高精度での対応点探索を実現することが重要となる。

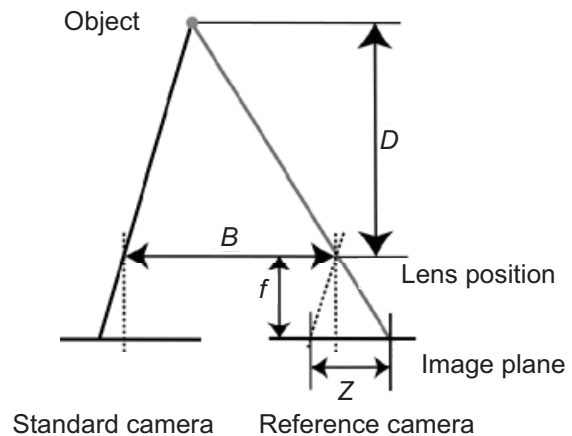


Fig.4 Schematic diagram of stereo camera unit

我々はこの高精度対応点探索手法として前述のPOC (位相限定相関法) に着目し、サブピクセルレベルでの対応付けにより小型のまま精度を向上させている。

POCの流れをFig.5に示す。対応付けを行う左カメラ上のブロック画像を基準画像とし、右カメラのブロック画像を参照画像として設定する。この両画像にフーリエ変換を施し、振幅成分と位相成分に分割を行う。

POCにおいては、振幅成分は2つのカメラ間のレベル、ゲインの相違などに起因するノイズを含むものとして無視する。残った位相情報に正規化処理を施した後に基準画像、参照画像間の相関を求めるために合成画像を生成し、さらにノイズ成分の多いと予想される高周波成分を低減した上で、逆フーリエ変換を行う。この逆フーリエ変換結果のピーク位置をサブピクセルオーダーで求める。このピーク位置が基準画像に対する対応点となり、この基準画像と参照画像の視差から距離情報を算出する。

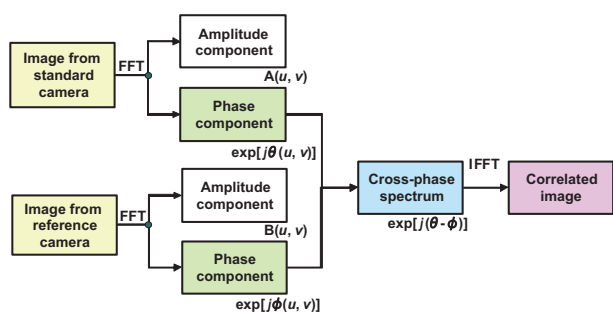


Fig.5 Phase only correlation method

2) 適用例

このように構成した基線長50mm、焦点距離15mm、130万画素のカメラでの約1mの距離位置、ブロック画像32×32画素での顔計測データをFig.6に示す。肌面などのコントラストの低い領域に対しても良好な対応点探索が実現されていることがわかる。標準的なチャートにおいては0.1ピクセル程度の分解能での対応点探索を実現している。

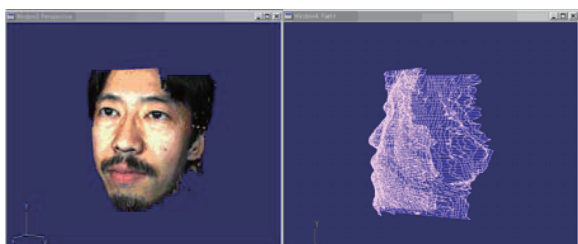


Fig.6 Example of output result of stereo camera

ここでは2つのカメラ出力の対応点探索について説明を行ったが、単眼カメラの時系列画像に対しても応用可能であり、動きを示すオプティカルフローの算出、追尾処理などに用いることができる。今後、これらステレオ以外の分野へも本対応点探索の応用を広めて、高精度な各種機能を実現していく予定である。

4.3 画像認識技術：セグメンテーション

ここでは、認識技術のひとつとして、3次元腹部CTボリューム画像に対する血管抽出へのセグメンテーションの適用例を示す。

1) 血管抽出の課題

腹部CT画像に対する血管抽出は、循環器系疾患の治療計画に有用である。血管の自動抽出の手法としては一般にRegion Growing¹⁴⁾が使用されるが、CT画像においては造影剤を用いた場合の血管と骨の画素値が近く、誤って椎骨まで抽出されることが多い。

我々は、椎骨領域を抽出する手法として、先見的な形状特徴を利用するModel Fitting手法を採用した。3次元腹部CTボリューム画像からModel Fitting手法を用いて椎骨領域を抽出する。その抽出領域を非抽出領域に設定してRegion Growingを行い、血管のみを抽出する。

Region Growingでは画素が繋がっている部分を抽出するため、椎骨領域の抽出では血管との境界を正確に抽出しつつ、血管を切断しない精度が必要となる。

2) 改良へのアプローチ

Model Fittingとは、Snakes¹⁵⁾同様に境界モデルを持ち、あらかじめ設定したエネルギー式を最小化するように境界モデルを変形させる手法である。同じくSnakesのエネルギー式では、画素境界と境界モデルを一致させるように働く項、モデルの形状を安定させる項を持つ。Model Fittingでは、加えて形状を維持する項を持つことが特徴である。初期境界モデルに抽出する対象を模した先見的な形状特徴を与え、その形状を維持することにより、正確な境界抽出を行うことができる。

我々は、椎骨領域をあらかじめ抽出・分離することで、血管のみを正しく抽出した。ここではFig.7に示す椎骨を模した楕円環を接続した形状を初期境界モデルに用い、椎骨領域を抽出している。

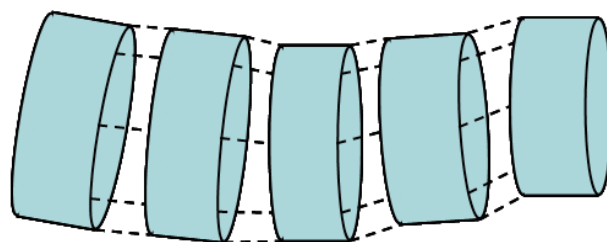


Fig.7 Initial model of vertebrae

対応点探索において、画素境界と境界モデルを一致させるように働くエネルギーを構成するには、境界モデルの構成点を指すべき画素境界に対応付けることが必要である。一般の手法では、境界モデル構成点の最近傍の画素境界を対応点として選択するため、対応点が画素境界の1点に集中してしまうなどの問題が発生する。

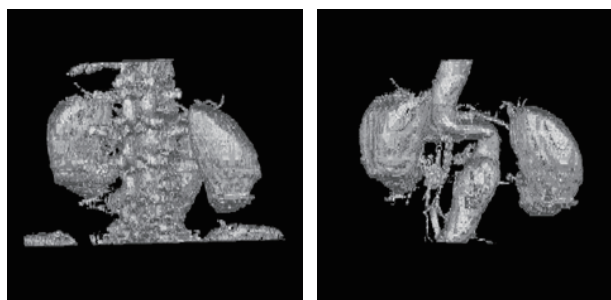
この問題を解決するため、境界モデル構成点の法線に近い画素境界ほど対応点としてのウェイトを高く設定した。Model Fittingでは境界モデルが抽出対象境界とほぼ同じ形状で維持されるため、対応点が1点に集中することを防ぐことができる。また微小ノイズ画素を誤って対応点として選択することを軽減することにも寄与している。

画素境界と境界モデルの距離が離れている場合は誤対応の可能性が高いため、対応点に大きく依存した変形は避けるようにした。一方、椎骨領域と血管との境界を正確に抽出するために、対応点に基づいて形状に一致させる必要がある。

そのため、初期は形状を維持するエネルギー項のウェイトを高く保持して変形を進めた。画素境界と境界モデルの距離が近づいて誤対応の可能性が低くなるタイミングを捉え、形状を維持するエネルギー項のウェイトをほぼゼロに切り替える。我々は、エネルギー変化を観察することで、切り替えタイミングを適切に得て、誤対応の影響を排除しつつ、1画素レベルの境界抽出を実現した。

3) 適用例

臨床の3次元腹部CTボリューム画像26対象に対して、本手法を適用した。その結果、Fig.8 に示すように総ての対象において骨を抽出することなく、血管のみを抽出することができた。技師が手動で抽出した結果と比較して、血管の抽出不足は1%に留まり、技師が抽出していない細部の血管まで抽出することができている。



(a) Region growing

(b) Developed method

Fig.8 Result of extraction

先見的な形状特徴を用いる本手法は、椎骨に限らず他臓器の抽出にも適用可能である。またアルゴリズムの一部を工業製品の検査にも適用可能と考えている。

5 おわりに

我々の画像処理に対する考え方を概説し、3つの開発事例を紹介した。視覚モデルに基づき、画像機器による劣化を定量的に取り扱う技術を確認しており、さまざまな画像入出力機器に汎用的に対応させることが可能に

なっている。さらに近年では、画像を再現するのとどまらず、より付加価値をつけるべく、距離情報の抽出技術や、画像中の物体の切り出しを主体とした認識技術も構築している。

今後とも、これらの技術を用いて、製品の性能向上、開発速度向上、および、付加価値向上に貢献していきたい。

●参考文献

- 1) S. Kitoh, Po-Chieh Hung, A New Method to Quantitatively Evaluate Gradation Smoothness of Output Media, The 13th Color Imaging Conference, 89-94 (2005)
- 2) T. Olson, Smooth Ramps, Walking the Straight and Narrow Path through Color Space, The 7th Color Imaging Conference, 57-64 (1999)
- 3) Po-Chieh Hung, Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up-table model and interpolations, Journal of Electronic Imaging, 2(1), 53- 61 (1993)
- 4) ISO 17321-1:2006, Graphic technology and photography — Colour characterisation of digital still cameras (DSCs) — Part 1: Stimuli, metrology and test procedures
- 5) Po-Chieh Hung, Camera Sensitivity Evaluation and Primary Optimization Considering Color Constancy, The 10th Color Imaging Conference, 127-132 (2002)
- 6) Po-Chieh Hung, A Smooth Colorimetric Calibration Technique Utilizing the Entire Color Gamut of CMYK Printers, Journal of Electronic Imaging, 3(4), 415-424 (1994)
- 7) Po-Chieh Hung, Colorimetric Characterization beyond Three Colorants, SPIE proceedings vol. 3963, 196-207 (2000)
- 8) ISO 12233:2000, Photography — Electronic still-picture cameras — Resolution measurements
- 9) 特許第4001938号, 多次元補間方法
- 10) 特許第3426372号, 色変換ルックアップテーブル作成方法および装置
- 11) 特許第4265484号, 画像処理装置, 画像処理方法及び画像形成装置
- 12) 特許第3273204号, 4色カラープリンタの色分解画像処理方法及び装置
- 13) Po-Chieh Hung, Colorimetric Characterization beyond Three Colorants, SPIE proceedings Vol. 3963, 196-207 (2000)
- 14) 安居院, 長尾, 「画像の処理と認識」, pp.132-133, 昭晃堂, 1992
- 15) M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos, Snakes: Active Contour Models, International Journal of Computer Vision, 321-331 (1998)