

入門講座

画像検査・計測技術-1

画像検査・計測技術の動向

Trend and Some Topics on Image Processing and Its Applications

興水大和

Hiroyasu Koshimizu

中京大学 情報理工学部
情報メディア工学科 教授

1 はじめに

画像処理は、社会、特に産業社会の基盤技術の一つになった。

生産ラインでは製造工程、検査工程、上流ではデザイン工程でも、画像処理ないし画像技術なしには何事も立ち行かない。また、工場監視のみならず商店街路のような社会インフラ監視に始まり、生活の様々な場面でも、デジカメ、カメラ付き携帯電話は言うに及ばず、店舗内セキュリティカメラ、戸口のカメラなどは、夥しい画像・映像を生み出し続けている。テレビ放送が地上デジタル方式に切り替わる秒読みも始まって、デジタル画像技術は社会基盤を支える中核的技術となったといつてよい。(関連文献：1-6)

本稿では、この画像処理の産業応用の現況と動向を概観して、画像検査、計測技術の可能性とそのための課題を探る。そのために2章では、この分野での国内・海外の活動動向を概観し、3章では画像計測の基本問題である標本化と量子化の理論的な現状と最近の取り組みを瞥見する。続いて、4章では画像特徴抽出の最近のトピックスとしてHough変換と共起度数画像の最近の話題を紹介し、5章では、画像計測つまりカメラ開発の最近のトピックスとして、蛍狩りカメラや全方向ステレオシステム(SOS)などについて述べることにする。

2 画像検査・計測関係の国内・海外の活動動向

2.1 どこに注目したらよいか

標記のような動向を日常的に把握していくための注目学会を紹介する。

まず、画像処理、特に画像産業応用に関する学会の最もインテンシブな国内シンポジウム・ワークショップ活動としては、

- ・画像センシング技術シンポジウム SSII (Symposium on Sensing via Image Information) <http://ssii.jp/>
- ・ビジョン技術の実利用ワークショップ ViEW (Vision Engineering Workshop)
- ・動的画像処理実利用化ワークショップ DIA (Dynamic Image Processing for Real Application)

<http://www.tc-iaip.org/>

が非常に高い注目を集めている。SSIIは毎年6月開催、ViEWは毎年12月開催、またDIAは毎年3月開催であり、特に前者二大会は大規模な画像機器展示会と同時開催となっている。この意味で、最新の画像応用市場の情報収集の機会もついていて、非常に高い魅力を提供している。

一方、学会内に常置されている画像応用技術に関する研究会としては、

- ・精密工学会 (JSPE)、画像応用技術専門委員会 (IAIP) <http://www.tc-iaip.org/>
- ・電気学会、非整備環境におけるパターン認識技術の応用分野拡大協同研究委員会、マシンビジョンのハイブリッド化技術調査専門委員会 <http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/16-committee/index.html>
- ・計測自動制御学会、パターン計測部会 <http://www.sice.or.jp/~pattern/>
- ・非破壊検査協会 (JSNDI)、非破壊検査画像処理特別研究委員会 <http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsndi/>
- ・電子情報通信学会 (IEICE)、パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU) <http://www.ieice.org/iss/prmu/jpn/>
- ・情報処理学会 (IPS) コンピュータビジョンとイメージメディア研究会 (CVIM) <http://www.image.esys.tsukuba.ac.jp/CVIM/WWW/index-j.html>

・画像の認識・理解シンポジウム (MIRU)

<http://www.am.sanken.osaka-u.ac.jp/MIRU2005/>

は常に注目している必要がある。前者四研究会が画像産業応用において日本をリードしているといつてよい。後者三研究会は、これらの日本の画像応用研究に支えられて、画像処理、パターン認識、コンピュータビジョンの基礎的研究を強力に推進している。

更に、画像産業応用に関する国際会議の主なものとしては、

・Frontiers of Computer Vision (FCV)

<http://www.csis.oita-u.ac.jp/~fcv2008/>

・Quality Control by Artificial Vision (QCAV)

<http://www.qcav.org/>

・Machine Vision Application (MVA)

<http://www.cvl.iis.u-tokyo.ac.jp/mva/>

・International Conference on Computer Vision (ICCV)

<http://iccv2007.rutgers.edu/>

・International Conference on Pattern Recognition

(ICPR) <http://www.icpr2008.org/>

・Asian Conference of Computer Vision (ACCV)

<http://www.am.sanken.osaka-u.ac.jp/ACCV2007/>

などに注目すべきであろう。FCVは主として日韓の非常に親密な交流を目的として毎年一回の開催が継続されている。QCAVは日仏を機軸にした活動を徐々にアメリカなどに拡大しつつ、いわゆる工場応用のみならず農業漁業などへの画像応用を視野に入れた面白い活動の場となっている。そのほかには3次元画像計測処理関係に特化した3DIM (<http://www.3dimconference.org/>) がカナダNRC主導で継続的に開催されている。更に後者三国際会議 (ICCV、ICPR、ACCV) は、画像処理・計測をカバーした非常に内容の濃い研究交流の場として見逃せない。

2.2 生産技術における画像応用近況の概観

画像処理に関わる研究は、多くの学会・研究会で、それぞれの立場から行われて来ている。その中で精密工学会 (JSPE) は生産技術をその中心に据えた学会であるため、応用志向が強い取り組み、特に産業応用を明確な目標とした研究が多い点が特徴である。2.1節であげた事例の中から特に、画像応用技術専門委員会 IAIP に焦点を当てて考察を深めたい。

(1) 精密工学会の画像応用研究

画像応用技術専門委員会は1986年9月の設立以来既に20年以上の歴史を持ち、定例研究会、ワークショップ、セミナー、国際会議の開催、各種調査活動などを精力的に行い、本学会における画像処理研究を牽引してきている。その中でも、ViEW (ビューと読む)、DIA (ダイアと読む) の2つの

ワークショップは、日本の画像処理関連の諸学会活動の中でも重要な位置を占めている。

ViEW とは、ビジョン技術の実利用ワークショップ、Vision Engineering Workshopの略称である。以前は半導体などの外観検査を中心とした「外観検査の自動化」ワークショップであったものが、応用範囲の広がりによって改称された。電気学会、計測自動制御学会、日本非破壊検査協会の委員会・部会とも協力し、開催してきた。通算18回目となる2006年開催のViEW2006 (12月開催) では、60件以上の一般講演、参加者は468名と、いずれも過去最大を記録した。参加者数が講演数に対して多いこと、また企業からの参加が3/4と大変多いことが大きな特徴となっている。

一方、動的画像処理実利用化ワークショップ (DIA) はかつて動画処理を主たるターゲットとしていた (名称に“動的”が含まれていなかった) のを拡大したものである。第7回のDIA2006 (3月開催) で50件近くの一般講演、165名の参加者とこちらも大変盛況である。

また、各種学会から独立した組織で開催し精密工学会は直接には運営に関与しないが内容性質的に極めて深い関連がある催しとして、SSII (画像センシングシンポジウム、Symposium on Sensing via Image Information) がある。広範囲にわたる多くの画像関連の発表数、参加者数を誇る。現在、日本では、6月・12月にパシフィコ横浜で画像の大きな展示会が開催されており、SSII、ViEWが互いにリンクして開催されている。

(2) 最近の研究論文の瞥見

精密工学会誌を見てみると、最近3年間の画像処理をテーマとした学術論文は、表1のようになる。なお、これは狭い意味での画像処理に限定したものであり、広くとらえると論文数は倍増する。数は多くないものの、毎年コンスタントに画像処理関連の論文が出ていることが分かる。また、トピックを見ると、上述のように産業応用を対象としたものが多く、また同時に基礎的な画像処理技術に関する研究も発表されていることが分かる。文献10, 11) ではディスプレイなどの色むら検査技術を開発している。このような人の感性に関連する部分への展開は官能検査とも呼ばれ、一つの流れとなっている。文献12) では、加工中のエンドミルの変形挙動を画像処理でインプロセスに計測するという精密工学会らしい研究を行っている。文献13) では運転者の自動車の安全運転のための教示システムを提案している。文献14) では、LSIのCSPボールバンプ列などの形状計測のための、合焦点に基づく効率的な3次元計測技術を提案している。文献15, 16) ではテンプレートマッチングの新たな手法を提案している。文献15) では階調領域ベクトルに着目した移動や回転、濃度変化に対

表1 精密工学会誌の画像関連論文

年	論文数	トピック
2004	9	ハターン計測, 半導体検査, フィルム欠陥検査, 色むら検査, 3次元画像計測, 異物検出, ステレオ計測, スポーツスキル解析
2005	8	ディスプレイ色むら検査, 物体検出, ステレオ計測, Hough変換, 工具挙動監視, アクティブビジョン, ITS応用, テンプレートマッチング
2006	10	構造物の変形・応力計測, 鏡面度評価, 3次元計測, 工具挙動監視, テンプレートマッチング, 3次元計測, ウェーブレット変換, 振動物体検出

してロバストな手法を、また文献16)では方向符号化密度を用いて照明変動などにロバストにかつスケール変化にも対応するテンプレート探索法を提案している。また、文献17)ではスポーツ動作のスキルの定量評価を提案している。

一方、ViEWやDIAでは、対象分野はさらに多岐にわたる。キーワードを以下に列挙するとともに、特に興味深いいくつかの論文を参考文献に挙げる⁷⁻⁹⁾。

●DIA2008 (論文募集キーワードより)

- ・画像応用 (FA、検査、ITS、車載カメラ、セキュリティ、防災、家庭、農業、医療)
- ・画像計測、3D計測、イメージセンサ、画像デバイス、センサ統合、画像処理アーキテクチャ、画像プロセッサ
- ・ヒューマン・マシン・インタラクション、VR、AR、感性情報処理、情報提示
- ・画像照合、画像検索、映像分析、メディア理解、コンテンツ生成、デジタルアーカイブ
- ・物体認識、ロボットビジョン、画像理解、シーン解析、多波長センシング
- ・パターン認識、学習アルゴリズム、統計的手法、モデリング、進化したシステム

●DIA2006 (セッション名より)

画像計測、オートメーション、ナビゲーションと環境理解、画像処理基礎、画像符号化、画像計測・位置決め、人・顔の計測・認識、スポーツ映像処理、人の検出とヒューマンインタフェース、デジタルアーカイブ

●ViEW2006 (主な論文のキーワード)¹⁰⁻²⁸⁾

精密形状計測、膜厚測定、欠陥検出、3次元計測、顔画像認識、異常動作検出、画像圧縮、人物追跡、シーン理解、

テンプレートマッチング、柔軟物のトラッキング、動作認識、パターン分類、物体認識、共起度数画像、ステレオ計測、3次元計測、蛍狩りカメラ、自動車向け画像認識、マルチバンドカメラ、高齢者運転能力評価、全方向ステレオシステム (SOS)、似顔絵、時空間画像、バイオ、社会インフラ、不審者の運動を検出するセキュリティ応用の研究、バイオへの応用研究、撮像素子レベルで可視光と近赤外光とを撮像可能なITS用カメラの提案、映像解析・インデキシング手法の提案

このように幅広い分野にわたり新たな画像応用研究が行われている。

3 事例研究その1—画像応用研究のための画像離散化の基本問題

3.1 何が課題か？

画像のサイズ、つまり画像解像度は凄まじい速さで向上した。BS・地上デジタル放送で楽しんでいるハイビジョンは縦1,080画素、横1,920画素、愛知万博で公開されたスーパーハイビジョンは、縦4,320画素、横7,680画素で、一画面あたり縦横ともハイビジョンの4倍、つまり16倍の湯水のような膨大な情報量を含有しているにもかかわらず、「何かが違う」、「何か不自然」な感覚に襲われることが多い。例えば、極めて逆説的にも、高解像度テレビ映像に触れて、まるでCGで作った人工的映像を前にしたときの感覚に襲われることが多い。特に人の顔にはCGキャラクタに接したような感覚が起きることがあって、これは容易ならざることである。

3.2 小実験—解像度と階調数の関係—

これはまだ推測の域を出ていないが、画像デジタル化技術の観点から見ると、画像の解像度 Δx と濃度階調数 Δf の無理な組み合わせが上記のような「これは何か違う」感覚を生んでいる可能性がある。本当にスーパーハイビジョンのような超解像度が必要な画像だったとするなら、今のままではおそらく濃度階調数がかなり貧弱であるかもしれない、と想像される。

顔画像の一例でこのことを瞥見する。図1は、筆者の顔写真 (もともと256階調) の濃度分布形をほぼ完全に変えないという条件 (OK量子化法²⁹⁻³²⁾ に基づく) で階調数を半分 (128階調) に減らしたものである。確かにその残差画像はノイズのような成分のみである。これに対して、図2は、無理やり階調数を元の1/4 (32階調) に減らしたものである。一見したところでは違いが見えないが、その残差画像では明らかに大事な顔のテクスチャが捨てられている。

ここで重要なことは、画像フレーム一枚一枚ごとに、その

映像コンテンツに相応しい適切な画像サイズ（解像度）（シャノン・染谷の標本化定理）があるように、適切な濃度階調数が存在することを窺わせる結果であることである。この小実験からすると、上記のCG映像に近い違和感は、必要以上の過度な解像度を作りすぎていることが原因である可能性、もしくは、そのような高解像度が必要な映像には256濃度階調数では如何にも過少である可能性が示唆されている。

3.3 濃度階調数の理論的決め方—OK量子化理論—

早速この量子化理論の概要について触れることにしよう。

(1) 理論の要約

量子化間隔を決めると画像の値 f が離散化される。この量子化間隔 Δf を決定する原理を考察するための一手掛かりとしてのOK量子化理論は、下記のように要約される。

画像 $f(x)$ の濃度確率密度関数（Probability Density Function、以下pdf）を $p(f)$ 、そのフーリエ変換を $P(v)$ とする。確率密度関数 $p(f)$ は、式(1)のように $P(v)$ が v_c で帯域制限されていると、式(2)のような量子化間隔 Δf とした場合に限り、式(3)のように離散化データから完全に復元される。

$$P(v)=0 \quad v \geq v_c \cdots \cdots \cdots (1)$$



(OK量子化理論による)

図1 128階調（7ビット）と残差画像

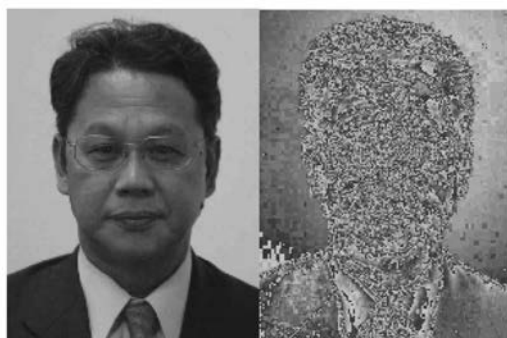


図2 32階調（5ビット）画像と残差画像

$$\Delta f \leq (1/2v_c) \cdots \cdots \cdots (2)$$

$$p(f) = \sum_k p(\Delta f \cdot k) \cdot \text{Sinc} \{2\pi (f - k \cdot \Delta f)\} \cdots \cdots \cdots (3)$$

つまり、このように選んだ量子化間隔 Δf であるなら、少なくとも元の濃度値のpdfを完全に復元できる。この条件は元の画像に忠実に量子化を行うための必要条件であり、これが満たされなければ確実に忠実性が損なわれた画像量子化となる。

(2) 工学的課題

標本化定理がそうであるように、上記の基本原理には次のような様々な工学的課題が附帯する。

- ① 真のpdfを知るすべがないので、仮に計測した濃度ヒストグラムを唯一の手掛かりにして、濃度値の濃度確率密度関数 $p(f)$ の推定を行う必要がある。
- ② カットオフ周波数は一般には存在しないので、何らかの方法で実用解を求める必要がある。
- ③ 一般に、標本化操作 S と量子化操作 Q は干渉する。例えば、異なる離散化操作の順序を変えると、異なった画像サイズの画像となる。 $(|S(Q(f))| \geq |Q(S(f))|)$

(3) 有効性の実験的検証

OK量子化理論が薦める量子化間隔 Δf は、ほとんどの自然な画像では、視覚的に劣化が見られない画像量子化をもたらす。濃度値ヒストグラムの再現性は一必要条件でありながら、このように濃度階調表現のための支配的な役割を果たすことは、注目すべき結果である。SEM画像で微小物を観察した際の画像（256階調）を用いた実験結果の一例を図3～5に示す。図3は原画像、図4がその濃度ヒストグラムと推定した濃度値pdf、図5がこのpdfのフーリエ変換である。

この例では、カットオフ周波数は、0.055lp（line pairs、線対）／階調幅と推定され、濃度階調数を8階調まで削減しても理論的にpdf復元性が保障され、また重要なことに、図6(a)～(d)に示すように視覚的にほとんど劣化が生じていない。

図6(a)4階調画像では、理論的にpdfの復元は保証されず、このように擬似境界線が至る所に発生して画質も明らかに劣化したが、(b)～(d)には目で見た劣化は確認できない。

3.4 例えば「顔」カテゴリの画像は、高階調が必要

有名な標準画像の一つにSIDBA（Standard Image Data Base）がある。テレビ画質を目視で評価する上の共通基盤として世界的に多用されているが、図7に例示するように、「GIRL」をはじめとして多数の顔画像が用意されたことを、改めて注目すべきである。



図3 実験用SEM画像 (256階調)

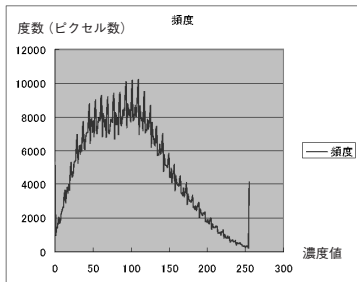


図4 実験用SEM画像のヒストグラム

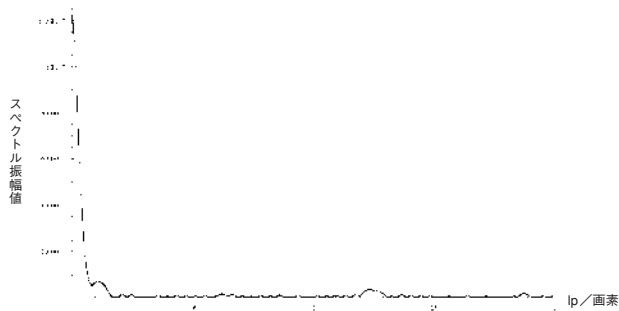


図5 $P^*(f)$ のフーリエ変換 $P^*(v)$



図7 SIDBA画像例



(a) 4階調



(b) 8階調



(c) 16階調



(d) 256階調

図6 階調数を変化させた時の画像

さて、OK量子化理論を用いた若干の予備実験を紹介する。表1から明らかなように、顔を大きく含む「人物」カテゴリの画像では30以上の濃度階調数が要請される。これは「構造物」、「人工物」カテゴリの画像が20階調くらいであることに比較して優位に高階調が要請された。

顔は濃度平坦部が多く、スパイク上のヒストグラムモードが混入し、これが非常に優勢な高周波成分を混入させることとなり、高階調数が要請される、と解釈される。一方、目視評価 (例えば、濃度平坦部に発生する擬似輪郭の性状) によっても同様な結果が得られたが、認知科学的には、濃度階調数という非常に明瞭な画質ファクタにおいても、顔という特殊な映像コンテンツにはそれ以外 (人工物や構造物の映像コンテンツ) への目視評価にはない特別な顔メディアとしての意味があると考えるのが妥当であろう。

表2 SIDBA画像の実験結果

	画像名	閾値(β)	V_c	Δf	階調数
人物	Barbara	78	0.0642	7.7882	32
	Girl	29	0.066	7.5758	33
	Lenna	79	0.0635	7.874	32
	Woman	70	0.0623	8.0257	31
建造物	Bridge	17	0.0487	10.2669	24
	Building	19	0.0436	11.4679	22
人工物	Lax	79	0.0344	14.5349	17
	Text	19	0.0244	20.4918	12
風景 その他	Airplane	78	0.0675	7.4074	34
	Boat	84	0.0748	6.6845	38
	Camerman	68	0.0678	7.3746	34
	Lighthouse	24	0.059	8.4746	30

4 事例研究その2 —画像特徴抽出の課題—

画像処理技術の根幹をなす画像特徴抽出原理には、新素材とでも言うべき手がかりが枯渇して長く、画像処理にとって非常に深刻かつ重要な課題である。

ここでは具体的なトピックスとして、Hough変換にまつわる課題³³⁻³⁵⁾(フィッティング手法のようなHough変換)とその顔画像処理応用の事例(円のHough変換と瞳認識)、および共起度数画像³⁶⁻³⁸⁾という特徴抽出原理とその応用(皺のモデリング)に絞って、この問題に迫りたい。

4.1 Hough変換の話題

(1) LMedS当てはめ、瞳と円検出—

画像処理の局所性を打破する強力な画像特徴抽出手法として、Hough変換への期待は依然として高い。このHough変換の基本原理は共線エッジ点数を最大とすることにあるが、いわゆる直線(曲線)フィッティングのような特性にしたい、という潜在的な要求が存在している。

この意味で、最小二乗メディアン値(Least Median Square; LMedS)を評価量とするHough変換の要点を簡単に紹介する³³⁾。

LMedS統計量を評価値とするHough変換は、第 i 直線($i=1,2,3,\dots$)とエッジ点群($j=1,2,3,\dots$)との誤差 e_{ij} のメジアン(中央値) e_j を求め、その最小値 $e_{\min}$

$$e_{\min} = \min_j \{e_j\} \dots\dots\dots (4)$$

を与える第 i 直線を求めるというHough変換である。このLMedS-Hough変換は投票空間における谷の探索問題に帰着させたところが新しい。適用例を図8に示す。いわゆる最

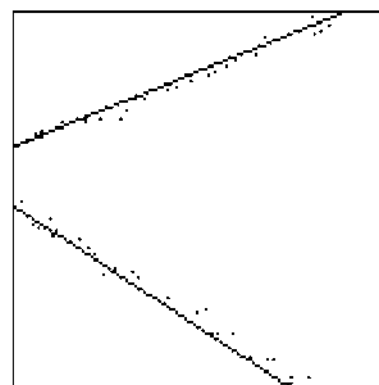


図8 エッジ点群とLMedS-Hough変換による直線群検出

小二乗近似直線のような直線が求められていることが本手法の特徴である。

(2) 瞳認識とHough変換

顔を構成する種々のパターンの中で、瞳は最も形状が小さく、また瞼による隠蔽の多い顔部品にもかかわらず、その果たす役割は非常に大きい。そこで、耐隠蔽、耐ノイズ性を備えた画像処理手法の一つ、Hough変換の顔画像処理にまつわる話題に触れる。

顔の中で最も図形・形状の意味で安定した部品は瞳であるが、そのサイズは微小で瞼による隠蔽も起き、したがってSNも劣悪である。しかし円検出のHough変換は、よい打開策となった。

図9(a)は瞳候補となる円群、同(b)はそこから左右の瞳の関係を考慮して絞り込んだ1対の円群、つまり瞳の対を抽出した結果である。

左右の瞳の位置関係は、頭部の動きで時々刻々に変化する。うなずき(ピッチ)、いやいや(ヨー)、いぶかり(ロール)に

負けない、図10のような瞳認識のシステムもこのHough変換方式を強化して実現できる。

4.2 画像特徴の新素材—共起ヒストグラム—

(1) 共起度数という特徴画像

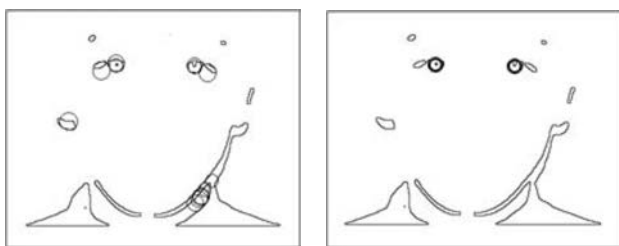
画像2値化閾値選択では濃度ヒストグラムが強力な画像特徴の素材として使われている。それでは、濃度値の2元統計量である、共起ヒストグラムも画像特徴抽出の新しい素材の可能性が期待できると考えられる。

入力画像 $f = (f_{ij})$ とその濃度共起ヒストグラムCH、およびCHを元に導入した共起度数画像 (Co-occurrence Frequency Image ; CFI) の関係を式 (5) で定義する。CFIの画素値は、共起頻度数を属性値として持つこととなり、新たな特徴画像を導入したことになる。図11はこれらの関係を具体例で示したものである。

$$\begin{aligned} CH &= hh(f_{ij}, f_{i+Kj+L}) \\ CFI &= Q = (q_{kl}) \\ q_{kl} &= * (hh(f_{ij}, f_{i+Kj+L})) \dots\dots\dots (5) \\ (k &= 0, 1, \dots, 255 \quad l = 0, 1, \dots, 255) \end{aligned}$$

図12は、共起度数が閾値以上 ($\theta 7 K, L=1$) とした一種の平坦部検出フィルタが構築できることを示した。この外にも、CFIを用いるとエッジのボケ抑制平滑化フィルタの設計できるなど、CFIは極めて興味深い画像特徴の新素材の可能性を示唆している。図13はこの一例である。

CFIなる特徴画像は、そのピクセル属性値として「共起度数」を記録したものである。これを注意深く発展させると、



(a) 瞳対の候補円群 (b) 選ばれた瞳対

図9 円のHough変換を用いた瞳認識



図10 動顔画像からの瞳抽出とトラッキング

次のような属性指標 (AI / attribute index) をキーにして組織的に画像特徴を整理できる (表3)。

(2) 共起度数画像の顔の皺解析

共起度数画像を用いた応用事例として、顔画像からの皺検出手法を検討している。KL法 (注目画素から、横にK画素、縦にL画素離れた画素を対とする方法) においては、方向に依存して共起ヒストグラムを作成するため、顔画像中の皺を効果的に検出できることが考えられる。図14に、このアプリケーションのアルゴリズムを例証する。DTHT (Digital Template Hough Transform, “線分”を抽出するHough変換) までに抽出されたラインセグメントを共起ヒストグラム

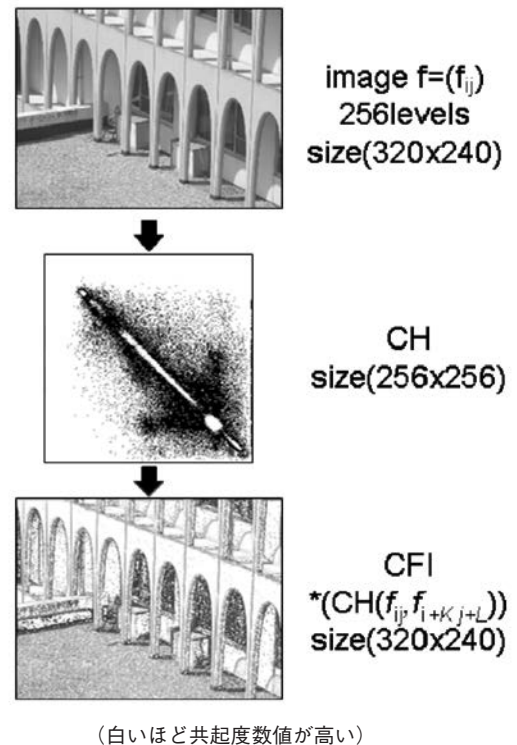
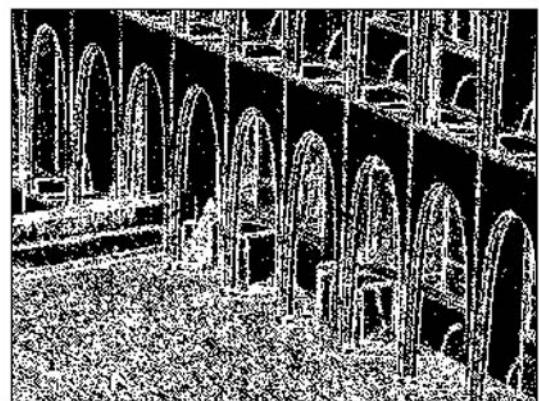


図11 入力画像f、共起ヒストグラムCH、共起度数画像CFIの例



(黒い領域が検出された平坦部)

図12 CFIによる平坦部検出のフィルタ



図13 CFIを用いたエッジ保存平滑化

表3 画素の属性指標 (AI)

- (1) gray, intensity, range, color, and every physics-based index even in multiple kinds of dimensionality such as spatio-temporal image
- (2) local relational index in space such as gradients, Laplacian, and local relational index in time such as subtraction
- (3) some statistics-based index such as frequency, co-occurrence frequency, local mean, local variances
- (4) some analytical index such as Hough transform votes for linearity and FFT for spectrum
- (5) others, for example topological index such as label image.

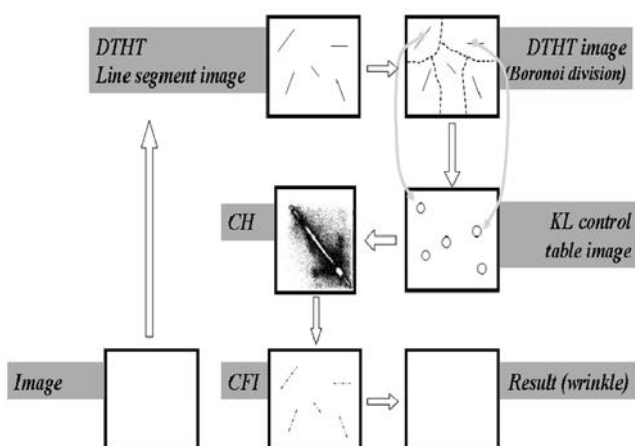


図14 CFIを用いた皺解析アルゴリズム

と共起度数画像を定義するためのアルゴリズムに提供し、次に、抽出結果の形と皺の深さの両方から皺をモデル化することが可能となる。ここで、共起度数画像が皺の濃淡値の情報を提供できる代わりに、DTHTが皺の形の情報を提供できると予測できる。これらのことから、効率的に顔画像中の皺を検出する。また、図15に顔画像に対しこのアルゴリズムを適用した処理のシミュレーションを示す。それぞれのパラメータにおける皺検出の有効性が同える結果となったことから、このツールが顔画像の皺検出に非常に強力なツールになることが考えられる。



図15 CFIによる皺抽出

5 事例研究その3 —画像計測のための新しいカメラ

従来、カメラの性能については、高感度、高速、高精細が語られてきたが、昨今はカメラ自体が智能化し、撮像した画像より欲しい情報が直接得られるような、高機能化したカメラが登場してきている³⁹⁻⁴⁷⁾。図16にその現況をまとめておく。

5.1 カメラ技術のインパクト

カメラ技術の動向として、CMOSセンサの雑音性能向上により、センサと同一のチップに処理回路を実装した高機能なカメラが目される。また、CCDセンサに処理機能を組み込んで一体化したインテリジェントカメラ、スマートカメラと呼ばれるカメラも多く市販され始めている。一方、複数カメラを組み合わせた体系的なシステムによる多機能化、あ

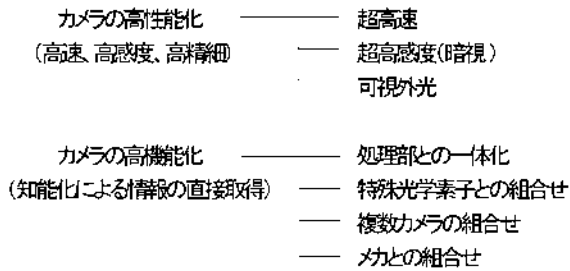


図16 カメラの進化

るいはある種の光学部品を用いて撮像に光学的工夫を施すことにより従来と違う画像の撮像による情報の直接の獲得を実現している例も多い。これらは、従来の画像処理技術に対して、その困難だった課題を根本から解決して応用範囲を広げるとともに、画像処理システムを誰でも使えるセンサとしての汎用品化を進める可能性を持つ。この知能化したカメラおよびその応用例について、次節で述べる。

カメラの知能化とは別の観点であるが、画像処理技術では、人の視覚あるいは認知の実現を目指した研究開発が広く行われてきている。昨今のカメラを中心とした画像応用技術のもうひとつの動向として、人には見えない情報を可視化、抽出するための画像取得がある。例えば、可視外カメラに関しては、人への影響がないまま能動的な照明が可能で比較的扱いやすい近赤外カメラが様々な応用に用いられており、運転者補助モニタ用のビジョンシステム、近赤外の2波長の画像間の差を利用した肌領域の抽出の研究がある。また、人の視角能力をはるかに超えた超高速カメラを応用して振動特性を評価し、非接触で臓器の硬さを測定する研究など、高性能のカメラの登場により、目視の延長を超えるようなインパクトのある研究がなされている。

5.2 カメラ事例研究

カメラの知能化に関しては、三次元計測あるいは距離計測が代表的な課題である。従来は2つの画像を解析するステレオ法や、パターン光を投影してその位置関係を解析する光切断法に類するものが主流であった。カメラと格子を組み合わせたモアレ法は、ここでいう知能的カメラの範疇かもしれないが、縞の解析を要するなど、それなりの計算負荷を必要とした。ここでは、後処理に頼らずカメラシステムのみで、三次元位置を測定する機能を実現したカメラの知能化の例について述べる。

図17の例は、点光源までの距離を計測する手法を実現するカメラ(蛍狩りカメラ)の原理と撮像された画像例を示している。距離の計測原理は、撮像レンズの球面収差を積極的に利用している。球面収差の大きなレンズを用いると、点はセンサ面上でリング状の像を結ぶ。そのリング径は、光源で

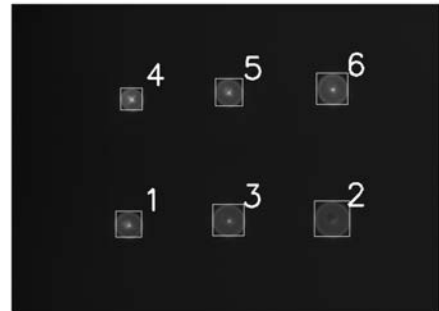
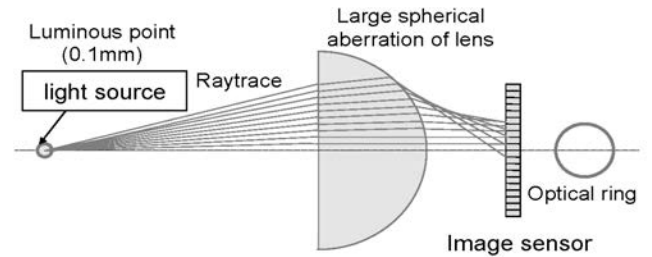


図17 蛍狩りカメラの原理と距離計測結果

ある点までの距離が離れるほど小さくなるので、リング径より点光源のZ位置を算出することが可能となる。また、点光源の二次元位置はセンサ上のリング中心の座標と一致するので、図17の下の方のように同時に複数の点光源の位置を算出することが可能である。実際には、画像上で円を探索し、径と位置を算出することになるが、円の探索にはHough変換を用いている。周辺の明るさなどの環境の影響を受けるため、応用の制約はあるものの、カメラと収差の大きいレンズ系を組み合わせることにより、距離を画像上の円の径に変換するというユニークな手法であり、カメラのキャリブレーションが不要などの実用性の高さを備えており、計算部分のパッケージ化による簡易な距離センサとして期待される。

その他、複数カメラの組み合わせの例では、3眼ステレオカメラで全方向同時に三次元位置測定可能なカメラの開発がある。固定されたステレオユニットにより簡易化を実現し、全方向であることによりカメラの視野を越えた追跡を容易にしている。メカとの組み合わせの例では、回転偏光子と互いに直行する偏光の光を検出する2台のカメラを用いて、光切断を高速で実現する手法の提案がある。これは、二つのカメラの光量比より撮像時の偏光子の角度を推測し、露光時間内の時間分割を可能にすることにより、高速測定を可能にしている。

5.3 考察

前節においては撮像の構成に関する事例を示してきたが、それらは新しいアイデアを実現し、新しい画像を得るカメラであり、光学あるいはメカを含むハードウェアと画像処理の協調技術であった。これらの新しい発想を実現したものとは

別に、汎用画像処理のハードウェア化、パッケージ化による高知能単機能カメラという流れが加速することが予想される。図18はHough変換を用いた回転サーチ器の例である。これはFAの組立てを想定した回転位置を検出する事例であるが、高速、ロバストな検出を目指して手法の組み合わせ等のチューニングを行い、実用化している。回転位置検出のような単機能のチューニングされたアルゴリズムは、数量が出てある程度の汎用性があればハードウェア化され、その後カメラと一体のシステムになっていくものと思われる。特に。携帯電話やITS、監視用のカメラなどで用いられる汎用処理は、カメラ内に組み込まれていくものと思われる。

6 むすび

『画像検査計測入門講座』が開講されるに際し、画像検査・計測技術の動向について述べた。

何をさておいてもこの分野の時代の動きを捕まえるに欠かせない、注目すべき学会、国内・国際会議を紹介した。また、画像処理産業応用、とりわけ生産技術分野への貢献度の大きい精密工学会（特に、画像応用技術専門委員会（IAIP））の活動に焦点を当てて、取り組みの内容、更にそこで取り上げられている研究開発事例の一端を紹介した。次いで、現在の画像応用分野での幾つかの技術的トピックスに触れた。それらは、画像デジタル化の理論、共起度数画像という画像特徴抽出、Hough変換、画像計測用カメラなどであったが、もちろんこれらは、本講座に取り組むための興味喚起のためのきっかけの一つになれば幸いである。

謝辞

本稿をまとめるに当たり、中央大学梅田和昇教授、旭硝子榎沢信氏との議論に多くの手掛かりを得た。記して感謝申し上げる。



図18 一般化Hough変換を用いた回転サーチ器

参考文献

—画像産業応用のサーベイ—

- 1) 奥水大和, 貝原俊也, 澤田秀之: 次世代生産・流通システムの構築に向けて—人間中心の感性生産システムへの一提案—, 電気学会論文誌 (C), C-123 (2004.1) 1, 1-6.
- 2) 奥水大和, 栗田多喜夫, 加藤邦人, 長田典子, 坂上勝彦, 山本和彦: マシンビジョンの実利用を促進するための技術展望, 電気学会論文誌 (C), 123-C (2004.3) 3, 1-12.
- 3) 長田典子, 坂上勝彦, 奥水大和: 身近になったマシンビジョン, 電気学会論文誌 (特集: 変貌するマシンビジョン活用技術), 121-C (2001.5) 5, 835-840.
- 4) 奥水大和, 秦清治: 画像処理の新産業応用を展望する, 電気学会論文誌 (D) (画像処理の新産業応用特集), 119-D (1999.1) 1, 2-7.
- 5) 奥水大和: 生産における映像情報メディア試論, 映像情報メディア学会誌 (小特集: 生産における映像情報メディア), 52 (1998.5) 5, 628-633.
- 6) 奥水大和, 坂上勝彦: 街に出るマシンビジョン, 電気学会論文誌 (C), 117-C (1997.10) 10, 1339-1344.

—生産技術への画像処理応用—

- 7) 梅田和昇, 奥水大和: JSPE 2007年3月, 春季大会 OS (E) (芝浦工業大学)
- 8) 榎沢信, 奥水大和: JSPE 2007年9月, 秋季大会 OS 「新しいカメラは、画像システムをどう揺らすか?」 (D4) (旭川)
- 9) 精密工学会 (JSPE)、画像応用技術専門委員会 (IAIP) <http://www.tc-iaip.org/>
- 10) 広瀬修, 田中幹人, 石井明: 反射防止膜に生じる色むらの定量評価 (第2報) —むらの目立ちやすさと知覚限界の評価—, 精密工学会誌, 70 (2004) 3, 359-362.
- 11) 浅野敏郎, 大岡達史, 玉野和保: 色対比を考慮した電子ディスプレイ色むら評価モデル, 精密工学会誌, 71 (2005) 1, 89-93.
- 12) 河野良弘, 左敦穂, 里中忍, 吉満真一, 山下俊一: CCD画像による小径エンドミルの挙動監視システム—システムの性能特性—, 精密工学会誌, 71 (2005) 3, 363-368.
- 13) 伊藤益夫, 梅田和昇: 画像処理による自動車の自動教官システム—車線変更時における目視確認モジュールの構築—, 精密工学会誌, 71 (2005) 8, 1046-1050.
- 14) 光藤淳, 石井明: CSPボールバンプ列の平坦度計測—合焦度差分法および真球フィッティングを用いた高さ

計測法一, 精密工学会誌, 72 (2006) 3, 372-376.

- 15) 齊藤文彦, 堀場貴史: 階調領域ベクトル相関に基づく濃淡画像照合, 精密工学会誌, 71 (2005) 10, 1266-1270.
- 16) 高氏秀則, 金子俊一, 田中孝之: 方向符号化密度に基づいたスケーラブル画像探索, 精密工学会誌, 72 (2006) 4, 487-493.
- 17) 浅野敏郎, 吉田智幸, 玉野和保: テニスプレーにおけるスキルの定量評価, 精密工学会誌, 70 (2004) 9, 1169-1173.
- 18) 藤原伸行, 庭川誠, 石田宏, 加藤剛, 秋元淳一郎: ネットワーク接続の監視カメラ画像を用いる侵入者検知システムの開発, DIA2006, (2006), 196-201.
- 19) 岩田健司, 佐藤雄隆, 依田育士, 坂上勝彦, 大津展之: 超高速CHLACによるリアルタイム異常動作検出, ViEW2006講演論文集, (2006), 43-48.
- 20) 陽奥幸宏, 須藤嘉規, 安藤護俊, 伊藤昭夫: マイクロインジェクションにおける針・細胞の自動位置計測方式, ViEW2006講演論文集, (2006), 349-353.
- 21) 城殿清澄, 二宮芳樹: マルチバンドカメラを用いた夜間の視認性推定, ViEW2006講演論文集, (2006), 208-212.
- 22) 三須俊彦, 高橋正樹, 藤井真人, 八木伸行: スポーツ戦術実況のための実時間画像解析システムの開発, DIA2006, (2006), 233-238.
- 23) 庄野雄紀, 青木義満: シーン自動検出と投球動作解析による野球中継映像のインデキシング, DIA2006, (2006), 239-244.
- 24) 山本和彦, 棚橋英樹, 桑島茂純, 丹羽義典: 実環境センシングのための全方向ステレオシステム (SOS), 電気学会論文誌C, 121-C (2000), 876-881.
- 25) 佐藤雄隆, 坂上勝彦: 全方向ステレオシステム (SOS) を搭載したインテリジェント電動車いすの開発, ViEW2006講演論文集, (2006), 231-236.
- 26) 瀬古保次, 奥水大和, 他: 蚩狩り計測法—レンズの球面収差とハフ変換を利用した同時多点単眼3D位置計測一, ViEW2005講演論文集, (2005), 300-305.
- 27) 奥水大和, 本田和広, 中村奈津子: 量子化定理の提案—画像グレースケール離散化の数理的考察—, VIEW2002講演論文集, (2002), 1-6.
- 28) 山足和彦, 藤原孝幸, 奥水大和: 共起度数画像の提案とその特徴, ViEW2006講演論文集, (2006), 155-160.

—画像デジタル化の課題—

- 29) 奥水大和, 本田和広, 中村奈津子: 量子化定理の提案—画像グレースケール離散化の数理的考察—, VIEW2002講演論文集, 論文番号11 (2002.12.5)
- 30) 奥水大和, 田中裕司, 飯島泰蔵: 標本化定理とOK量子化理論との一関係: パネル討論, 信号・画像の離散化, 特に量子化法についての討論—OK量子化理論とその展望—, 電子情報通信学会2006年全国大会, (2006年3月24日)
- 31) Yuji Tanaka, Takayuki Fujiwara, Hiroyasu Koshimizu and Taizo Iijima: A Theoretical and Experimental Consideration on Interference in Resolutions between Sampling Theorem and OK-Quantization Theory, Proc. ICPR2006, (Aug. 2006, Hong Kong)
- 32) H. Koshimizu, Y. Tanaka and T. Fujiwara: OK-Quantization Theory — A Mathematical Theory of Quantization —, ICPR2006, HongKong, (Aug. 2006)

—画像特徴抽出技術の課題—

- 33) 加藤邦人, 奥水大和: LMedS Hough 変換の提案, 信学論, D-II, J87-D-II (2004, 9.1) 9, 1749-1756.
- 34) 奥水大和, 村上和人: Hough変換の諸課題と新しいパターン計測—実用とその展望編—, 計測自動制御学会誌, 36 (1997.5) 5, 353-361.
- 35) 奥水大和, 森本正志: Hough変換の諸課題と新しいパターン計測—基礎編—, 計測自動制御学会誌, 35 (1996.11) 11, 869-877.
- 36) 山足和彦, 清水康平, 藤原孝幸, 奥水大和: 共起度数画像の提案とその性質, 2006年情報処理/産業システム情報化合同研究会, IP-06-2, IIS-06-2 (2006.1.27)
- 37) 藤原孝幸, 山足和彦, 奥水大和: 画像の共起度数からなる特徴量を用いた新しい空間フィルタ, 電学論C, 127 (2007) 4, 546-552.
- 38) 山足和彦, 藤原孝幸, 奥水大和: 共起度数画像の提案, 電学論C, 127 (2007) 4, 528-536.

—新しいカメラ技術—

- 39) 小宮一三ほか: 画像入力, 画像電子学会誌, 35 (2006) 6, 758-760.
- 40) 普及のために, 次の一歩 マシンビジョン・インテリジェントカメラ, 映像情報インダストリアル, 39 (2007) 2, 105-109.
- 41) 城殿清澄, 二宮芳樹: マルチバンドカメラを用いた夜間の視認性推定, ViEW2006講演論文集, (2006),

- 208-212.
- 42) 鈴木康弘, 山本和彦, 加藤邦人, 安藤道則, 小島真一: 運転者支援における近赤外マルチバンドを用いた肌検出, ViEW2005講演論文集, (2005), 166-171.
- 43) 金子真: 超速ハイパーヒューマン技術とその応用, 画像応用技術専門委員会研究会報告, 22特別講演(2007), 1-5.
- 44) 瀬古保次, 佐口泰之, 山口義紀, 場田弘之, 村井和昌, 宮崎淳, 興水大和: 蛍狩り計測法—レンズの球面収差とハフ変換を利用した同時多点単眼3D位置計測—, ViEW2005講演論文集, (2005), 300-305.
- 45) 桑島茂純, 松山方大: 全方向ステレオシステムSOSの設計とその構造, ViEW2005講演論文集, (2005), 206-209.
- 46) 石原満宏: 距離画像計測の一手法, 第4回動画像処理実利用化ワークショップ講演論文集, (2003), 21-24.
- 47) 藤原孝幸, 興水大和, 今田宗利: 一般化Hough変換による回転サーチ装置, 第13回画像センシングシンポジウム(SSII2007)講演論文集, (2007), LD1-02-1-2.

(2007年12月10日受付)