

NACHI
**TECHNICAL
REPORT**
Robots

Vol. **16A1**
June/2008

ロボット事業

機械工具
ソリューション
機能部品

■ 寄稿・論文・報文・解説

近未来技術展望

「ロボットビジョン小論考」

Perspectives on Near-future Technologies
"A Brief Consideration on Robot Vision"

〈キーワード〉 ロボットビジョン・画像処理・画像計測・
感性ロボット・感性計測・Hough変換

中京大学情報理工学部

学部長・教授 興水 大和

Dean, Professor Dr. Eng. Hiroyasu Koshimizu
School of Information Science and Technology, Chukyo University

要 旨

新しい時代のロボットの姿を展望するため、ロボット開発の根幹をなすロボット「ビジョン」技術に話題を絞って、ロボット科学技術の本来の性質を改めて明瞭にしようと試みる。

ロボット科学技術は、コンピューターという物質的電子機械に深く支えられているにも拘らず、ヒトのココロ・非物質的実在からの要請にも十分に耐え得ることが期待される、極めて特異な科学・技術である。

そのために、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・国際会議のとり組みの内容と、そこでとり上げられている研究開発事例の一端を紹介し、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る。

Abstract

In prospecting a robot in the new age, we will try to clarify the primary characteristics of the robotics technology with focus on the robot "vision" technology that is the core of robot development.

Although the technology of robotics is strongly supported by a computer that is a physical electronic machine, it is an extremely unique technology that is expected to sufficiently satisfy the requirements in relation to non-physical existence like human feelings.

Thus, the undertakings presented by notable scientific societies at the domestic and international conferences and some examples of such research and development are introduced here as this type of information is essential to grasp the trend of this field. Then, several promising technical topics on the current image applied technology are touched upon next.



1.ロボット科学・技術とヒトのココロ

ロボット開発は、単なる機械的機構を備えたモノづくりに留まらず、どっぷりと情報科学・技術のものである。これは今後いつその拍車がかかる。

この小論考は、このことを、新しい時代のロボットの姿を展望するために科学技術哲学にも若干ふれながら、また、ロボット開発の根幹をなす技術課題、それも欲張らずにロボット「ビジョン」技術に話題を絞って、改めて明瞭にしようと試みる。

情報科学・技術というからには、非情報科学・技術とは何か、という問いが自動的に発生するが、それは機械工学、制御工学、電気工学、物理学などの物質・物理科学・技術を指す。人が住むこの世界は、煎じ詰めると、速い・大きい・重い・硬いというような物質科学・技術で把握できる実在と、歓喜／悲嘆・好悪・自由／束縛・審美・思想というような、非物質的な実在との二つでできあがっている、と長い哲学史の中で論じられている。^{1-1)~1-4)}

情報科学・技術は、従って、ロボット科学技術は、コンピューターという物質的電子機械に深く支えられているにも拘らず、このような非物質的実在を直接に対象にしようとしている、極めて特異な科学・技術である。そして、ロボットという機械においては、その見かけも振る舞いも詰まるところヒトのやって欲しいことを意図して開発する。故に、立派な物質科学・技術の粋を集めるばかりでは十分ではなく、ヒトのココロ・非物質的実在にも十分に満足のいくロボット科学技術でなければならないことは明瞭である。

2. ロボットビジョン技術開発を追う

ロボット開発の最新技術の焦点の一つは、ロボットビジョンである。ロボットに目をつけて、物を搬送し組み立てたり、検査したり、さらには不審者侵入の監視をしようというのがその目的であるので、技術の根幹は画像処理にある。わが国は世界に冠たる画像処理産業応用のメッカであるので、先ずは、画像処理産業応用の技術開発を追ってみることからはじめる。^{2-1)~2-8)}

1) どこに注目したらよいか (画像処理産業応用の国内・海外の活動動向)^{2-9)~2-11)}

ロボットビジョン、画像処理応用の動向を日常的に把握していくための注目学会をまずは概観しておこう。

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)
<http://www.tc-iaip.org/view2008/>
- ・ 動的画像処理実用化ワークショップDIA
(Dynamic Image Processing for Real Application)
<http://www.tc-iaip.org/DIA2008/submit.html>

から目を離せない。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。DIAでも企業展示も行なわれている。この意味で、最新の画像応用・ロボットビジョン市場の情報収集の機会についても、非常に高い魅力を提供している。

一方、学術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、

- ・ 画像応用技術専門委員会IAIP(精密工学会JSPE)
<http://www.tc-iaip.org/>
- ・ 電気学会、非整備環境のパターン認識応用(共同研究委員会)マシンビジョン応用技術調査専門委員会
<http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/16committee/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://www.soc.nii.ac.jp/jsndi/>

- ・ パターン認識とメディア理解研究会PRMU (IEICE)
<http://www.ieice.org/iss/prmu/jpn/>
- ・ 情報処理学会コンピュータービジョンと画像メディア研究会CVIM (IPS)
<http://www.image.esys.tsukuba.ac.jp/CVIM/WWW/index-j.html>
- ・ 情報処理学会と電子情報通信学会
<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4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ってよく、後者3研究会は、これらの日本の画像応用研究と産業社会に支えられて、画像処理、パターン認識、コンピュータービジョンの基礎的研究を強力に推進している。

さらに、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/>

などがあげられる。FCVは主として日韓の非常に親密な交流を毎年一回開催し、これを継続し、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。さらに、後者三国際会議はロボットビジョン、画像処理、画像計測をカバーした、学術的に内容の濃い研究交流の場として見逃せない。

2) ロボットビジョンのための 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、微妙に異なるそれぞれの立場から行なわれて来ている。その中で精密工学会(JSPE)は生産技術、ロボット技術をその中心に据えた学会であるため、応用志向が強いと組み、とくに産業応用を明確な目標とした研究の多い点が特徴である。

(1) 精密工学会の画像応用研究

画像応用技術専門委員会(IAIP)は1986年9月の設立以来、すでに20年以上の歴史を持ち、その中でも、これが主宰する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伴って改称された。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、共同企画として開催してきた。

一方、動的画像処理実利用化ワークショップはかつて動画像処理を主たるテーマとしていた(名称に“的”が含まれていなかった)ものを拡大したものである。このような活況は、生産技術者、ロボットビジョン技術者が本格的に議論する場が如何に重要かということの証左であろう。

また、各種学会から独立した組織で開催しIAIP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、主催者は独立しているが、組織委員会のメンバーの多くは両方に属しており、結果的にSSII, ViEWが互いに強結合な関係で開催されている。

(2) 最近の研究論文の瞥見^{2-12)~2-30)}

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。ディスプレイなどの色むら検査技術の開発のような挑戦的なテーマがある。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。

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も行なわれて、ロボットビジョンに厚みを与えている。

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、工場から市場に出た車というロボットの新しい機能開発が試みられている。

LSIのCSPボールバンプ列などの形状計測のための^{※1}合焦点に基づく効率的な3次元計測技術を提案する試みもあり、今後に期待が持たれる。

^{※2}テンプレートマッチングの新たな手法の提案、^{※3}階調領域ベクトルに着目した移動や回転、濃度変化に対してロバストな手法の開発、^{※4}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の提案、また、スポーツ動作のスキルの定量評価の提案など、いわゆるロボットビジョンの間口も奥行きも拡大している。

一方、ViEWやDIAでは、対象分野はさらに多岐に亘る。キーワードを文末の表4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ておく。

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	パターン計測、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、振動物体検出解析

3.次代のロボットビジョン技術を展望する

本章ではガラッと視点を変えて、前章までのようなロボットビジョン技術開発を展望することと並行して、ロボットという機械に対する位置づけや考え、大げさにいえば科学技術思想について、時代の動静を見失わないためにも振り返っておくことは重要である。^{1)~14)}

1) ロボットは腕力だけの時代ではない

重量物を扱える腕力、脚力、体力を備えたロボットは、重量物の生産現場で活躍している。微細な作業を俊敏にこなすロボットは、LSI生産現場で欠かせない。これらは両極をなすが、本質的に「腕力ロボット」、ないし「物理・物質的ロボット」といってよい。

一方でこのようなロボットと並んで、近年、人と協調する作業ロボット、人と共存する見守りロボット、人の世話をする介護ロボット、癒してくれるペットロボット、人を救助するレスキューロボット、サッカーゲームに興じるロボット、似顔絵を描くロボットなどが身近に現れ始めた。上記の腕力ロボットとこれらのロボットは、ごちゃ混ぜに扱い得ない、明確に区別すべき要素がある。

(感性ロボット)

その区別すべき指標は「感性ロボット」といってよい。人の感性にかかわる、外観のヒューマノイド性^{※5}があるとすれば、内面のヒューマノイドロボットといってもよいだろう。この感性ロボットは、腕力ロボットと比して様々なかつて遭遇しなかった新たな要請に応えることが期待される。例えば、感性ロボットは、

- (1) 状況変化にロバスト、かつ行動が慎重である。(優柔不断、慎重居士)
- (2) 安全、破綻しない、想定外の急な事態に処することができる。(臨機応変)
- (3) 人を束縛しない、また自由を奪わない。(他者尊重)
- (4) 人を配慮し、見守り、また空気を読む(自律・協調)
- (5) 人の感情、ココロを察する。(喜怒哀楽)

などの性能を要請されることになる。

2) ロボットビジョンの技術展望

このような感性ロボットへの要請は、ロボットビジョンではどのような要請となるであろうか。前述の(1)~(5)に照らしあわせて整理すると、

- (I) 周りをいつも見ている。(周辺視/中心視、大局視/微細視、サッケード/フィクセーション^{※6})
- (II) カメラが故障したときにもあわてない。(究極のfail-safe視覚)
- (III) 顔、表情や動作から人の意図が分かる。むやみにカメラを向けない。(顔部品認識、アイコンタクト)
- (IV) 表情、モーションから人の意図が分かる。(モーションキャプチャ、意図解析、暗黙知)
- (V) 表情、動作から人の心情が分かる。(モーションキャプチャ、表情認識)

となろう。

(検査ロボット)

「腕力ロボット」と「感性ロボット」の中間に位置する典型的なロボットは、生産ラインの検査ロボットである。この検査ロボットのビジョン技術は、部品装着の有無、製品のキズ、部品内面クラックに始まり、製品表面の塗装色むらに至るまで幅広く、同じ「見る」でも非常に性質の違う、次のような様々な「見る」技術開発が要請されるわけである。

- (a) 見る see, look, ……
- (b) 視る intensive looking, investigate, ……
- (c) 観る admire, ……
- (d) 診る diagnosis, sports coaching, ……
- (e) 生活の面倒をみる care, assist, ……

このように、「腕力ロボット」から「感性ロボット」に目を移すとロボットビジョン、画像処理の技術課題がこのように様変わりする。

（「物理計測」から「感性計測」へ）

このような課題シフトを突き詰めて考察すると、大げさになるが、ロボットの日から取得したデジタル画像・映像という「物理計測」された指標から、(1)～(5)で見てきたような心情、意図、表情、果ては自由、配慮といったような「感性計測」を実現しようという、何とも難しそうな課題に真正面からとり組むことが必要であることに気づく。従って、手の届きそうな前述の(I)～(V)の技術課題の克服は、ほんの一里塚であるくらいの覚悟が必要である。

腕力ロボットの品質は、物理計測の品質で決まる。これが、現代科学技術哲学の根幹である。したがって、感性ロボットの品質は、感性計測の品質で決まることになる。感性科学、ないしココロの科学に対して正面からとり組む覚悟を避けていては、いま正に注目されている新しい感性ロボットビジョンには、そして感性ロボットには十分な展望が見えてこない危険があるわけである。

4. ロボットビジョン技術の事例研究

さて、再度、現実に戻って、しかし、3章で瞥見した感性ロボットビジョンに課せられた課題も少しは意識して、具体的なロボットビジョン技術に関する最近のホットな話題三題を紹介する。

1) ロボットの目(その1) —大局視というビジョン技術とHough変換— (1) Hough変換の原理と大局視^{(1)~(4,3)}

直線方程式 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ を変換関数とした直線検出Hough変換、円方程式 $(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$ を変換関数にする円検出Hough変換など、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。一般的な優位性についての解説も新しい論文も多数あるので、ここでは、要点のみおさらいすることに留めて、Hough変換のパターン検出の指標である最大値原理を打破する試みの具体例について、後ほど紹介する。

画像平面上には、エッジの候補点が散在していてもそれらが大局的にみてエッジ直線(線分)を形

成するかしないかを判定することは、一般にデジタル画像では容易でない。エッジ点同士の連結性を画像範囲の全域に亘って見渡す処理機構は、エッジ点数 N の組みあわせ的爆発、例えば、2点だけの組みあわせで ${}_N C_2 = N(N-1)/2$ 、3点の組みあわせまで見るとして ${}_N C_3 = N(N-1)(N-2)/6$ 、…結果的に、 $\sum_K {}_N C_K = o(N^2) + o(N^3) + \dots = \infty$ な計算コストが要請されるからである。

そこで一計を案じて、探したいパターンを限定して直線の場合では、第 i エッジ点 (x_i, y_i) に対して、 $\rho = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta$ なる可能なすべての直線群をあげつらってその記録を (ρ, θ) パラメーター平面に重量記録していき、これを $i=1, \dots, N$ 回繰り返す。記録結果を最後に眺めて、最も頻度の高くなったところが (ρ^*, θ^*) だったら、 $\rho^* = x \cos \theta^* + y \sin \theta^*$ と決定、すなわち直線を検出する。この結果、組みあわせを論じた回数は、左記の記録を単位として $o(N)$ となって、実用的な計算コストに収めることができる。これがHough変換の基本原理である。

(2) LMedS-Hough変換という^{※8}フィッティング性能

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^{※9}メデアン値(Least Median Square; LMedS)を評価量とするHough変換は画期的であるので、その要点を簡単に紹介する。⁴⁻¹⁾

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} のメデアン(中央値) e_j を求め、その最小値 e_{\min}

$$e_{\min} = \min_j \{e_j\} \quad (1)$$

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変換の投票空間における谷の探索問題に帰着させるところが新しい。

適用例を図1に示す。いわゆる最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。

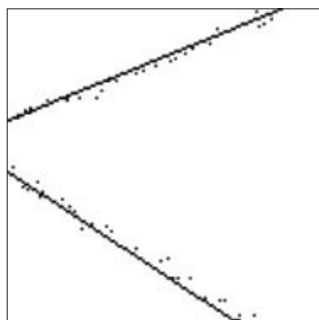


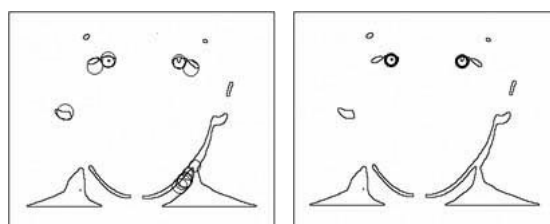
図1 エッジ点群とLMedS-Hough変換による直線群検出

(3) 瞳認識とHough変換

感性ロボットビジョンは、人に出会い、とりわけ人の顔に出会う。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、また顔による隠蔽の多い顔部品であるにもかかわらず、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顔による隠蔽も起き、したがってSN比も劣悪である。しかし円検出のHough変換により打開策を与えることが期待され、また種々の良好な応用例が明らかになっている。

図2(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し得る。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3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。



(a) 候補の円群 (b) 選ばれた瞳の対

図2 円のHough変換を用いた瞳認識

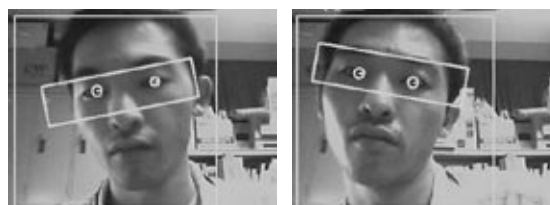


図3 動顔画像からの瞳抽出とトラッキング

2) ロボットの目 (その2)

画像特徴の新素材 ^{※10} 共起度数画像 ^{(4.4)~(4.6)}

画像は、一般に、その画素がシーンの明るさという特徴を物理計測・記録したものである。翻って、画素にどのような物理的特徴を記録するか非常な広がり
と可能性を秘めている。

例えば、明るさの隣接関係を記録することもでき、グラデーディエント(濃度勾配)などは典型的なエッジ特徴となる。この視点から共起度数画像(CFI)という特徴画像をとり上げて、ロボットビジョンに関する技術的課題の一例を紹介する。

(1) 共起度数という画像特徴

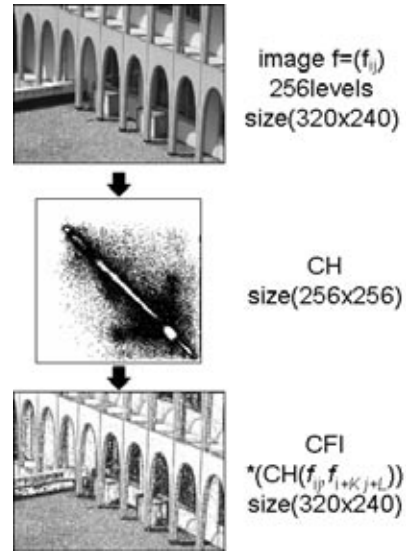
画像2値化閾値選択では濃度ヒストグラムが強力な画像特徴の素材として使われている。それでは、濃度値の2元統計量である、共起ヒストグラムも画像特徴抽出の新しい素材の可能性が期待できると考えられる。

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(2)で定義する。図4はこれらの関係を具体例で示したものである。

$$\begin{aligned} CH &= (h_{kl}^{(KL)}), \\ h_{kl}^{(KL)} &= \sum_{ij} (f_{ij}=k, f_{i+k, j+l}=l); k, l = 0, 1, 2, \dots, 255 \\ CFI &= (q_{ij}), \\ q_{ij} &= *(h_{ij}^{(KL)}(f_{ij}, f_{i+k, j+l})) \quad ; i, j: \text{pixel} \end{aligned} \quad (2)$$

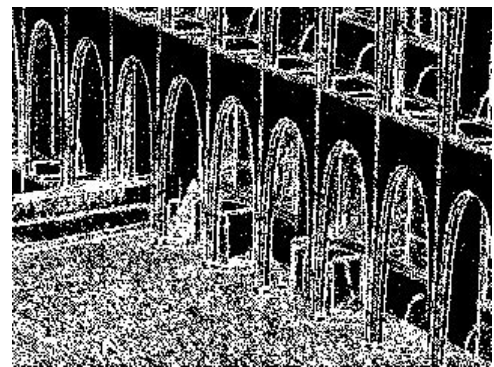
図5は、共起度数が閾値以上($\theta \geq 7$ $_{k, l} = 1$)とした一種の平坦部検出フィルターが構築できることを示した。この外にも、CFIを用いるとエッジのボケ抑制平滑化フィルターの設計できるなど、CFIは極めて興味深い画像特徴の新素材の可能性を示唆している。図6はこの一例である。

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、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2)



(白いほど共起度数値が高い)

図4 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5 CFIによる平坦部検出のフィルター



人工画像(ランダム雑音を印加)

平滑化画像(エッジ部がボケていない)

図6 CFIを用いたエッジ保存平滑化

表2 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.

(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。このアプリケーションアルゴリズムを例証する。

※11

DTHT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詳細に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想定できる。

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、HOIP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、図7に示す。それぞれのパラメーターにおける皺検出の有効性が伺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期待される。



図7 CFIによる皺抽出(HOIP顔画像データベースより)

表3 ロボットの目、カメラ概観

カメラの高性能化 (高速、高感度、高精細)	<ul style="list-style-type: none"> — 超高速 — 超高感度(暗視) — 可視外光
カメラの高機能化 (知能化による情報の直接取得)	<ul style="list-style-type: none"> — 処理部との一体化 — 特殊光学素子との組み合わせ — 複数カメラの組み合わせ — メカとの組み合わせ

3) ロボットの目(その3)

—新しいカメラのインパクト—^{4.7)~4.15)}

(1) ロボットの目としてのカメラ概観

カメラ技術の動向として、CMOSセンサーの雑音性能向上により、センサー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センサー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一体的なシステムによる多機能化、あ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ーとしての汎用品化をすすめる可能性を持つ。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。

(人には見えない情報も可視化、抽出)

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なわれてきている。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、人への影響が無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、運転者補助モニター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、人の視覚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。(表3)

(2) カメラ知能化事例研究

高い視覚的知能をもつカメラの開発が待たれている。視覚的情報の入力時に高い機能を実現できれば、ロボット視覚は格段に上がる。このようなカメラ知能化に関しては、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とも言えるが、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。

(蛍狩りカメラ)

蛍狩りカメラと呼ばれる、単眼による距離計測を行なうカメラをとり上げる。図8は、点光源までの距離を計測する手法を実現するこの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、3次元空間の中の輝点はセンサー面上でリング状の像を結ぶ。そのリング径は、光源で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ー上のリング中心の座標と一致するので、図8の右図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、円群の検出には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で、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ーとして期待される。

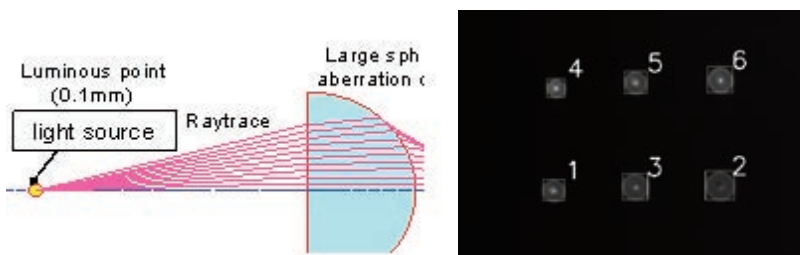


図8 蛍狩りカメラの原理と距離計測結果 (富士ゼロックス/中京大学)

(3眼ステレオカメラ)

その他、複数カメラの組みあわせの例では、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。

メカとの組みあわせの例では、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。

(3) その他の考察

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。

(ハードウェア化・パッケージ化による高知能化)

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9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あわせなどのチューニングを行ない、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。とくに、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。



シフトと回転の移動を瞬時にトラッキング
図9 GHTを用いたパターンマッチング

5. あとがき —感性ロボットの時代—

本論文では、ロボットビジョン、つまりカメラと画像処理を搭載したロボットの技術課題について述べてきた。工場のような整備環境から脱出して街や家庭のような普段着な環境にロボットが住むようになり始めたので、また、そこではロボットは人や人々に親しく接するようになったので、どのような新種の技術課題が生まれてきたのか、についても少し触れた。感性ロボットの時代である。

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、とり組みの内容、さら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。

本小論考が、ロボット、ロボットビジョンの今後を展望する上の何かの興味喚起のきっかけの一つになれば幸いである。

表4 VIEW、DIAに見るキーワード

●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、センサー統合、画像処理アーキテクチャー、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、進化型システム

●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、人の検出とニューマンインタフェース、デジタルアーカイブ

●ViVIEW2006(主な論文キーワード)

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、蜜蜂カメラ、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など、幅広い分野にわたり新たな画像応用研究が行なわれている。

用語解説

- ※1 合焦点
撮像された画像がどれだけピントが合っているかの度合い。
- ※2 テンプレートマッチング
テンプレート画像と呼ばれる探索対象画像を用意し、この画像を少しずつずらしながら、観測した画像と比較し、一致する場所を検出する手法。
- ※3 階調領域ベクトル
デジタル画像処理において、入力画像は、画素(ピクセル)と呼ばれる配列に分割され、各画素の座標点での画像の階調(値)がベクトルとして表現される。
- ※4 方向符号化密度
画素の明度ではなく、画素近傍の明度変化が最大となる勾配方向を量子化した値を符号として使用する方法。
- ※5 ヒューマノイド(Humanoid)性
人間と同じ生活環境で活動する人間型ロボットの諸性質。
- ※6 サッケード/フィクセーション
サッケードは、人間の目が一つの注視点から次の注視点に素早く移動する運動(飛越運動)。フィクセーションは視覚対象物の像を中心にとどめる機構(固視)。
- ※7 Hough変換
ハフ変換(Hough変換)は、デジタル画像処理で用いられる特徴抽出法の一つ。
古典的には直線の検出を行なうものだったが、一般化されてコンピュータービジョンの領域で広く用いられるようになった。
- ※8 フィッティング性能
適合性能。
- ※9 メディアン
値(あた)いが奇数個の場合は順序の中央値、偶数個の場合は順序の中央2個のデータの平均値で代替する。
- ※10 共起度数
共起とは、ある2つの表現が、ある範囲で同時に出現すること。
画像処理では、注目画素と一定の位置関係を持つ画像の濃度値対を考え、その発生を度数分布に示したものを。
- ※11 DTHT
デジタル入力画像の離散画像に対して離散線分テンプレートによるマッチングを行なうことにより、直線検出とセグメント切り出しを同時に行なう線分検出法DTHT(Digital Template Hough Transform)。
- ※12 モアレ法
等間隔平行線で構成される縞模様のマスクを2枚用意して、一方のマスクを通過した光を物体表面に投影してできる像をもう一つのマスクを通して撮影すると、物体表面の形状に応じた縞模様が観測される。この縞をモアレ縞と呼ぶ。
このモアレ縞を使って、物体表面の凹凸を観測する方法。
- ※13 偏光子
電場および磁場が特定の方向にしか振動していない光を取り出すもの。光学フィルター。

参考文献

一科学技術の哲学史一

- 1-1) H.ベルグソン(田島節夫訳)、物質と記憶、白水社(2006.6)
- 1-2) 甘利俊一:時代をひらく電子情報通信技術特集、脳科学への期待、電子情報通信学会誌、Vol.90、No.5、pp.345-349(2007年)
- 1-3) ヒューバート・L・ドレイファス:コンピューターには何ができないか、哲学的人工知能批判、産業図書
- 1-4) 感性の科学(辻三郎編)、(1997.1)サイエンス社

一画像産業応用のサーベイ一

- 2-1) 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一人間中心の感性生産システムへの一提案一、電気学会論文誌(C)、Vol.C-123、No.1、pp.1-6(2004.1)
- 2-2) 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)、Vol.123-C、No.3、pp.1-12(2004.3)
- 2-3) 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)、Vol.121-C、No.5、pp.835-840(2001.5)
- 2-4) 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)、Vol.119-D、No.1、pp.2-7(1999.1)
- 2-5) 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)、Vol.52、No.5、pp.628-633(1998.5)
- 2-6) 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)、Vol.117-C、No.10、pp.1339-1344(1997.10)
- 2-7) 奥水大和:未来の顔学—JFACEに本顔学会の近未来と顔学—(伊藤学而、島田和幸編、顔学へのご招待「かお・カオ・顔」)、あいら出版(2007.8)
- 2-8) 高畑勲:描かれた顔—日本の伝統と現代—、日本顔学会フォーラム顔学2004特別講演(2004.9)

一生産技術への画像処理応用一

- 2-9) 梅田和昇・奥水大和:JSPE2007年3月、春季大会OS(E)(芝浦工業大学)
- 2-10) 榎沢 信・奥水大和:JSPE2007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)
- 2-11) <http://www.tc-iaip.org/>
- 2-12) 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、3、pp.359-362(2004)。
- 2-13) 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、1、pp.89-93(2005)。
- 2-14) 河野良弘他:“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、3、pp.363-368(2005)。
- 2-15) 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、8、pp.1046-1050(2005)。
- 2-16) 光藤 淳・石井 明:“CSPボールパンブ列の平坦度計測—合焦点差分法および真球フィッティングを用いた高さ計測法—”、精密工学会誌、72、3、pp.372-376(2006)。
- 2-17) 斉藤文彦・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、10、pp.1266-1270(2005)。
- 2-18) 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ラブル画像探索”、精密工学会誌、72、4、pp.487-49(2006)。
- 2-19) 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、9、pp.1169-1173(2004)。
- 2-20) 藤原伸行他:“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、pp.196-201(2006)。
- 2-21) 岩田健司他:“超高速CHLACによるリアルタイム異常動作検出”、ViEW2006、pp.43-48(2006)。

- 2-22) 陽奥幸宏他:“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、pp.349-353(2006)。
- 2-23) 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、pp.208-212(2006)。
- 2-24) 三須俊彦他:“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、pp.233-238(2006)。
- 2-25) 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、pp.239-244(2006)。
- 2-26) 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、Vol.121-C、pp.876-881(2000)
- 2-27) 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、pp.231-236(2006)。
- 2-28) 瀬古保次・奥水大和、他:“「蛍狩り計測法」—レンズの球面収差とハーフ変換を利用した同時多点単眼3D位置計測—”、ViEW2005、pp.300-305(2005)。
- 2-29) 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、pp.1-6(2002)。
- 2-30) 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、pp.155-160(2006)。

一Hough変換、画像特徴抽出技術の課題一

- 4-1) 加藤邦人・奥水大和:“LMedS Hough 変換の提案”、信学論、D-II、Vol.J87-D-II、No.9、pp.1749-1756(2004.9)
- 4-2) 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、Vol.36、No.5、pp.353-361(1997.5)
- 4-3) 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、Vol.35、No.11、pp.869-877(1996.11)
- 4-4) 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)
- 4-5) 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ー”、電学論C、Vol.127、No.4、pp.546-552(2007)
- 4-6) 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、Vol.127、No.4、pp.528-536(2007)

一新しいカメラ技術一

- 4-7) 小宮一三ほか:“画像入力”、画像電子学会誌、35、6、pp.758-760(2006)
- 4-8) “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、2、pp.105-109(2007)
- 4-9) 城殿清澄ほか:“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、pp.208-212(2006)
- 4-10) 鈴木康弘ほか:“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、pp.166-171(2005)
- 4-11) 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、pp.1-5(2007)
- 4-12) 瀬古保次ほか:“「蛍狩り計測法—レンズの球面収差とハー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、pp.300-305(2005)
- 4-13) 桑島茂純ほか:“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、pp.206-209(2005)
- 4-14) 石原満宏:“距離画像計測の一手法”、第4回動画画像処理実用化ワークショップ講演論文集、pp.21-24(2006)
- 4-15) 藤原孝幸ほか:“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、pp.LD1-02-1-2(2007)