視覚センシングシステムの階層的設計[†]

—— カメラと光源の最適配置 ——

五味 信一郎*・出口 光一郎*

Hierarchical Design of Model Based Vision Systems

—— Determination of Optimal Camera and Light-Source Positions ——

Shin-ichiro GOMI* and Koichiro DEGUCHI*

This paper proposes a hierarchical design method of camera and light-source positioning for model based vision systems. In this method, first, the geodesic dome is constructed for given objects to place initial candidate positions of camera and light-source. Then, the candidate positions are selected out step by step using criterions of viewing angle, occlusion by other objects, specular reflection, and edge contrast. Then the final optimal positionings are obtained. We show that our hierarchical and step by step strategy achieves great reduction of computational time over the conventional direct configuration methods to obtain good quality of images with high contrasts of object edges.

Key Words: computer vision, vision system, vision task, camera position, light-source

1. はじめに

一般に視覚センシングシステムは、カメラを用いて画像を撮る段階、得られた画像に処理をほどこす段階、処理によって得られた情報に基づいた認識の段階、という3段階に分けて考えることができる。処理の段階で画像から得ることのできる情報は、画像を取り込んだ段階で決まってしまう、どれほど良い処理を行ったとしても、ノイズの影響が大きい画像からは、欲しい情報を抽出することには限界がある。したがって、画像を取り込む段階で、より良い画像を得ることが必要となってくる。特に、工場での作業の監視、製品の検査などような人工的な場面では、視覚センシングシステムの設計次第でより良い画像を取り込める可能性が大きい。

このように画像処理、画像認識にとって望ましい画像をどのようにして撮るのかという問題は重要である。そこで注視対象に応じて、望ましい画像を得るためのカメラ

および光源の配置をいかにして行うかという研究が1980年代後半から注目されてきた。

これらの研究は、カメラおよび光源のモデル、そして対象のモデルをあらかじめ情報としてもっているという仮定の上で進められている。監視、検査システムにおいては対象物体、周囲の環境に関する情報はCADデータなどとして計算機上に蓄積されているので、それらを有効に活用しようという趣旨である。

またこれらの成果は、視覚をもつ自律移動型のロボットを考えるときにも必要とされるものである⁷⁾。一般にロボットは全くの未知の環境で移動、作業を行うのではなく、既知の環境で作業を行う場合が多い。そして作業対象に関するデータも事前にわかっていることが多いからである。

本論文で対象としているテーマにとって先駆的な研究であるCowanらの論文³⁾では、カメラの視野、解像度、被写界深度、オクルージョンの回避を制約条件とした。以下、この論文にならって、視覚センシングシステムの設計において、制約条件として定めた達成目標をビジョントaskと呼ぶ。

本論文では、まず、視覚センシングシステムにとって要求される一般的なビジョントaskとは何かを考察す

[†] 第32回計測自動制御学会学術講演会で発表(1993・8)

* 東京大学工学部 東京都文京区本郷7-3-1

* Faculty of Engineering, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo

(Received June 7, 1993)

(Revised September 17, 1993)

る。そして、それらの制約を同時に満足するシステムを設計するための具体的な手法を提案する。

このような複数の制約を同時に満足するための設計方法として、先の Cowan らの論文では、上記の制約のそれぞれを満たすカメラの配置可能領域を求め、その交わりをとることによってビジョントラッキングを融合し、融合された領域の中心を最適なカメラ配置とした。この方法は、融合された領域の周辺部分にカメラを配置した場合よりも、対象の位置が変化したときにあるいはカメラの位置がずれたときにその領域から外れにくいというメリットをもつ。しかし、必ずしもそこが最適な配置かどうかはわからない。

Tarabanis ら⁴⁾は、Cowan らの用いたビジョントラッキングを融合するとき、各ビジョントラッキングの評価値に重みを掛けて加えて評価関数を作り、その評価関数が最大となるようにカメラの配置を決定した。坂根⁷⁾は、オクルージョン回避の手法を改良するとともに、注視エッジの選択、光源の配置を行い、それらの成果をマニピュレータによる作業環境に適用した。この方法では最適なカメラ配置が求まるが、その反面、後述のドームと呼ぶ半球面上の全ての点に対して全てのビジョントラッキングの評価を行うので、光源の位置も同時に求めるときには評価に必要な計算量が多い。

本論文では、これらの欠点を克服する方法として、階層的に配置の候補を絞り込んでいく設計方法を提案する。この方法では、まず、カメラ、光源は、視野、解像度のビジョントラッキングによりあらかじめ決定されている半球状のドームの表面に配置することにする。配置を決定するのに必要な計算量を減少させるために、評価量が配置のわずかな違いに対して比較的安定で、かつ、少ない計算量で評価できるビジョントラッキングから順に評価していくことによって、漸次配置候補を絞り込んでいく。そして、この絞り込みによって生き残った配置候補に対して、最後に精度と大きな計算量を必要とするビジョントラッキングを評価して最適な配置を決定する。

このように、複数のビジョントラッキングを満足する最適な配置を決定するために計算量の少ない制約から絞り込んでいくという考え方自体は常識的なものであるが、では実際にどの順に評価すべきかを定式化・定量化した例はまだなかった。本論文では、そのような設計戦略の一例を具体的に示している。

2. 本論文でのビジョントラッキング

まず、カメラを配置するための前提として、対象が視野内になくはならない。そのためには、カメラを対象から十分離れたほうがいいが、また一方で、十分な解像

度で対象を観察する必要がある。この結果、カメラを配置すべき場所として、対象からある一定の距離の半球面上が考えられる。この半球面をドームと呼ぶ⁷⁾。光源については、対象からの距離が極端に近くなければ、配置のための距離は問題にならない。そこで、カメラ、光源ともに、この視野と解像度で決まるドーム上に配置するものとする。

ドームを決定した後の、対象のより良い画像を得るためのビジョントラッキングとして、

1. エッジを見込む角度の制限、
2. オクルージョンの回避、
3. 直接反射の回避、
4. 高いエッジコントラストを得る、

の四つを設定し、この順で段階的に評価していく。

対象物体が複雑な形状をしていたり、周囲の環境に多くの物体が存在するときには、オクルージョンの検出には膨大な計算が必要となる。また、エッジコントラストの評価には、カメラ、光源、反射のおこる点という3者の相互位置関係が関与するので計算量は膨大となる。さらに鏡面反射成分を考慮すると、コントラストの計算は複雑になる。したがって、このような膨大な計算を要するビジョントラッキングの前に、エッジを見込む角度の制限、反射光の直接入射の回避のビジョントラッキングによって、評価すべきカメラと光源の位置の候補を絞り込んでおくのである。

以下、各段階の詳細について述べる。

2.1 カメラの視野

対象の像をカメラで撮るとき、対象物体あるいはその中の注視対象となる部分は、カメラの視野内に入っていないなければならない。このビジョントラッキングはカメラの位置決定を行うときの必要最低限の条件である。

カメラの視野は、「レンズ中心を頂点とする直円錐」を使って一般に定義されている (Fig. 1)。対象物体がこの円錐内に入るようにカメラ位置を決定しなくてはならない。

図に示すように注視対象がこの円錐内にあり、かつカメラと対象の距離が最小になるときの円錐の頂角を α

Fig. 1 The view field angle α to capture a given object within the image field

(視野角と呼ぶ)とすると、角 α は次式(1)で表わされる。

$$\alpha = 2 \arctan \frac{P_{\min}}{2d} \quad (1)$$

d : 焦点距離

$P_{\min}$: 画像面の有効領域に内接する画像面上の円の直径。

したがって、大きさ L の対象がカメラの視野に入るビジョントスクを満たすカメラ位置は、半径 R 、中心位置 H がつぎの(2)で表わされる Fig. 2 のような球面の外側となる。

$$R = \frac{L}{2 \sin \alpha}, \quad H = R \cos \alpha. \quad (2)$$

2.2 解像度

解像度は、「画像面上の一画素が対象物体上でどれだけの長さに対応するか」で決まる³⁾。

ある解像度以上の画像を得るには、対象上の単位長の線分の像が、画像面の一画素の対角線の長さとなるときのカメラ位置を考え、それよりも対象に近い位置にカメラを配置すれば良い。Fig. 3 に示されるように、レンズ中

Fig. 2 The region for camera position to achieve the vision task of the field of view

Fig. 3 The angle δ which defines the minimum resolution for a given object

心と一画素($h \times w$)とがなす角を δ とすると、 δ は次式(3)のようになる。

$$\delta = 2 \arctan \left(\frac{\sqrt{h^2 + w^2}}{2d} \right). \quad (3)$$

対象上の単位長を L' としたとき、 δ 一定の領域、つまり設定した最低限の解像度が得られるカメラ配置は、Fig. 4 に示されるような円周上になる。この円の半径 R および中心の位置の高さ H は、つぎのように与えられる。

$$R = \frac{L'}{2 \sin \delta}, \quad H = R \cos \delta. \quad (4)$$

したがって、解像度が設定した値以上であるための領域は、この円の内部である。同様にして直径 L' の円をみる場合には、解像度のビジョントスクを満たす領域は球の内部となる。

一般に解像度の基準となる長さ L' は R 、 H にくらべて十分小さいから、対象物体上の点を直径 L' の円とみなすことにする。対象物体をこの円で分割し、それぞれの円に対して解像度のビジョントスクを満たす領域(球)を求め、それらの交わり領域を求めれば、対象物体に対して解像度のビジョントスクを満たす領域がわかる。

2.3 エッジを見込む角度の制限

コンピュータビジョンにおいて、対象物体をどの方向から観測するかということは重要な課題である。この課題に対してアスペクトグラフなどが提案されている。また視方向を評価する基準として「多面体像の情報量」を定義し、それを評価基準として対象物体に応じて最適な視方向を決定する方法も提案されている³⁾。これらは、対象物体を観測するとき、「その観測方向から見える面の数が多く」、「その観測方向から見える面の面積が均一である」ものがよい視方向であるというものである。

エッジを観測するときにも、この考え方が適用すると、

1. エッジを形成する2面が見える、
2. しかも、それらが均一に見える、

のが良い視方向であるといえる。

Fig. 4 The boundary of the possible camera position within which the vision task of the resolution for an object length L' is achieved

Fig. 5 に示すように、対象エッジを形成する二面の単位法線ベクトルをそれぞれ n_1, n_2 とし、エッジの midpoint からカメラへ向かう単位ベクトルを v とする。ここでエッジの midpoint においてベクトル $h = (n_1 + n_2) / |n_1 + n_2|$ を考え、エッジを見込む角度を、 $\cos \theta_i = h \cdot v$ で表現する。そして、エッジを見込む角度の制限を、 $h \cdot v$ が閾値以上であると定義する。

これは、各エッジごとにエッジの midpoint から垂直に、かつ、エッジを形成する 2 面を均一に見る方向に立てたベクトル h を軸とする直円錐の内部にある点をカメラ位置の候補として選び出すことになる。

複数のエッジを対象とするときは、そのエッジの個数分の円錐の交わりを求めることになる。

2.4 オクルージョンの回避

本論文では、オクルージョン回避のビジョントaskを、「対象エッジの可視部分の割合が設定した閾値以上である」と定義した。エッジの全体が見えていなくても、ある程度の部分が見えていれば、エッジの連続性を考えることにより後段の画像認識などは可能な場合が多いからである。

たとえば、後述の実験例ではこの割合を 80% とし、この段階までで得られているカメラ配置の候補点に対して、対象としているエッジの全長さに対してこの割合以上の部分が見えているかを判定する。

2.5 反射光が直接カメラに入射することの回避

エッジ周辺からの反射光が直接入射している画像は、画像処理にとって望ましいものではない。直接入射の周囲では、画像強度がほかの部分より非常に大きくなっているため、全体の画像強度を適切なものに調節することが難しくなるとともに、そのエッジを抽出することが困難となるからである。したがって、ここでは、注視対象エッジ付近の反射光が直接カメラに入射するカメラおよび光源位置の組を除外する。

反射光が直接カメラに入射する条件はつぎの(5)、

(6)式で表わされる。

$$n \cdot (v \times l) = 0, \quad (5)$$

$$n \cdot l \cong n \cdot v \quad (l \neq v). \quad (6)$$

ここで、 n は反射の起こる微小面の単位法線ベクトルを、 v はこの微小面からカメラに向かう単位ベクトルを、 l は微小面から光源に向かう単位ベクトルをそれぞれ表わす。

(5)式はベクトル n, v, l が同一平面に存在するための条件を、(6)式は微小面において入射角と反射角が等しくなるための条件をそれぞれ表わし、この 2 式を満たすカメラと光源のペアを除外する。(6)式において等号でなく $\cong$ となっているのは、厳密に直接入射するカメラおよび光源の位置の周囲においても画像強度は大きなものとなるので、そのような状況を回避するためである。

2.6 エッジのコントラスト

ここではエッジ上のある点でのコントラストを、「エッジを挟む 2 微小面の画像強度差」と定義し、あるエッジのコントラストが閾値よりも大きい微小面の組の数が一定の割合より大きければ、その対象エッジについて望ましいコントラストが得られるとする。

すなわち、エッジ点に隣接する両側の面上に微小面積をとる。この両微小面での反射強度をカメラと光源のペアごとに、下記の反射モデルに基づいて計算する。そして、この両反射強度の差が、光源の強度、したがって、この一方の面が鏡面反射をしており、もう一方の面には光が当たっていないという極端な場合の反射強度差に比してある一定の割合(後の実験では 2 および 5% とした)以上であれば、この点でのエッジは十分にコントラストがあるとする。

さらに、1 本のエッジの全長に対して、このようにコントラストのある点がある一定の割合(同じく、実験では 80% とした)以上あれば、このエッジは十分にコントラストがあるとする。そして、そのときのカメラと光源のペアをエッジコントラストのビジョントaskを満たすものとする。複数の対象エッジを観測しなければならないときには、全ての対象エッジに対してこのビジョントaskを満たすペアを選び出すことにする。

過去の研究例においては、面の反射は拡散反射成分のみであると仮定してエッジコントラストを評価していた。しかし実際に観測対象となる物体は金属製品で形成されていることが多く、鏡面反射成分を無視することはできない。

ここでは拡散反射と鏡面反射と両方を考慮した反射モデルとして、Blinn の反射モデルあるいは Torrance-Sparrow の反射モデルと呼ばれるモデルを用いる。この反射特性モデルは、Torrance ら⁵⁾ によって提案され、後

Fig. 5 The geometrical relation of the camera, the light-source and the target object edges

に Blinn¹⁾ などによって改良されてきたものである。ある面に入射する光強度を I_{in} , その面から反射する光強度を I_{ref} とすると, I_{in} と I_{ref} の関係は(7)式のように表わされる^{1,5)}。

$$I_{ref} = (kR_s + (1-k)R_d)(\mathbf{n} \cdot \mathbf{l})I_{in}, \quad (7)$$

k : 鏡面反射成分の割合,

R_s : 鏡面反射係数,

R_d : 拡散反射係数,

$\mathbf{n}$: 反射のおこる面の法線ベクトル,

$\mathbf{v}$: 視点に向かう単位ベクトル,

$\mathbf{l}$: 光源に向かう単位ベクトル。

ここで, R_d は対象表面の性質で決まる定数であるが, R_s は Fresnel 項 F (定数), 表面の粗さを表わす項 D , Geometric attenuation G によって,

$$R_s = \frac{FDG}{\pi(\mathbf{n} \cdot \mathbf{l})(\mathbf{n} \cdot \mathbf{v})} \quad (8)$$

と表わされる。 F は波長による反射率の変化を表わす項で, 本論文では定数とした。また, D は, 面の微小な凹凸の分布を表わし, 一般に $D = a \exp(-(b\delta)^2)$ という形でモデル化される。ここで, δ は面の法線 $\mathbf{n}$ と $\mathbf{H} = (\mathbf{v} + \mathbf{l})/|\mathbf{v} + \mathbf{l}|$ のなす角度である。

G は反射のおこる表面の微小な凹凸によって, 入射光がさえぎられたり (Shadowing), あるいは反射光がさえぎられる (Masking) ことなく光源からの反射光を生じている領域の面積の割合を表わしている。それぞれ, 入射光がさえぎられていない割合 $G_{shadow} = \frac{2(\mathbf{n} \cdot \mathbf{H})(\mathbf{n} \cdot \mathbf{l})}{\mathbf{H} \cdot \mathbf{v}}$, 反射光がさえぎられていない割合 $G_{mask} = \frac{2(\mathbf{n} \cdot \mathbf{H})(\mathbf{n} \cdot \mathbf{v})}{\mathbf{H} \cdot \mathbf{l}}$ であるので, 実際は, このうち小さいほうが効果をもち, $G = \min(G_{shadow}, G_{mask})$ となる。

3. 光源の候補の絞り込み

光源の配置問題に関して, Cowan²⁾ では対象面での反射を拡散反射のみに限定した上で, エッジをはさむ両面の間の画像強度差が閾値以上である位置を求めた。Yi³⁾ は, 反射の拡散成分と鏡面成分とを考慮して光源の配置を決定する方法を提案しているが, 実際に光源を配置するところまでに到っていない。またドーム上の全ての点についてエッジコントラストを評価する方法をとっているが, これは計算量の点で現実的ではない。

拡散反射成分および鏡面反射成分の両方を考慮に入れる反射特性モデルは光源の位置だけでなくカメラの位置にも依存するため, エッジコントラストの計算は, あらゆるカメラと光源の組合せについて行わなければならない。総計算量は膨大なものとなる。ドーム上の全ての点

に光源を配置して, そのときのエッジコントラストを評価するのではなく, あらかじめ光源配置の候補を絞り込んでおき, その候補に対してエッジコントラストを評価することが望ましい。

一般に, エッジを形成する2面のうち一方のみに光が当たっていて, もう一方の面には光が当たっていない状態のエッジコントラストは大きい。しかし, 工場などで製品を検査するとき, またロボットハンドで行う作業を監視するときなどはエッジを形成する両面に光が当たり, 両面とも観測できたほうが望ましい。つまり, 光源からもエッジを形成する両面が見えていたほうが良いことになる。したがって本論文では, カメラ配置の候補を絞り込んだときと同様に, 光源配置の候補もエッジを見込む角度の制限によって光源配置の候補を絞り込む。実際には, カメラの配置候補として求めた領域は, 光源の配置候補としても用いることができることになるので, 計算のむだを省くことができる。

4. 実 験

本章では, シミュレーションによって本論文で提案する手法を検証する。シミュレーションに用いた対象物体の配置を Fig. 6 に示す。これは中央に注視対象物体があり, その周囲にある物体によってオクルージョンの起こる場合などを想定したものである。物体の大きさは, 中央部分に示されている対象である立方体の一辺が 20 cm, 左にある直方体は縦 20 cm, 横 20 cm, 高さ 50 cm, 右にある二つの直方体は縦 10 cm, 横 10 cm, 高さ 50 cm である。

4.1 ドームの生成

まず, この対象に対してカメラと光源を配置するドームを生成する。

ドームは, カメラの視野と解像度のビジョンタスクによって生成した。用いたカメラは実機を想定し, CCD セ

Fig. 6 The target objects for experimental simulations

ンサの受像面縦 4.88 mm, 横 6.39 mm (493 pixels $\times$ 603 pixels), 焦点距離 13 mm とした。カメラ視野のビジョントaskは、「Fig. 6 の中央部分に示されている立方体の底面がカメラの視野内にある」ように設定した。また、解像度のビジョントaskは、「立方体の底面上の 5 mm がカメラの 1 pixel 以上に相当する」ように設定した。

この二つのビジョントaskを満たす領域の境界となる球の xz 平面での断面を Fig. 7 に示す。この両条件を満たす領域にカメラおよび光源の配置候補が入るように、図に示すようにドームの半径を 1 m とした。

対象物体に対してこのドームを配置した様子を Fig. 8 に示す。カメラおよび光源はこのドームの表面を、等間隔の緯度、経度でとった 289 点の格子点上のどこかに配

置されるとする。このドーム上をほぼ均一の面積をもつ要素に分解し、それぞれの要素ごとにカメラ配置の評価を行う考え方もあるが⁷⁾が、一般に、極端に横方向から画像を撮るほうが最適になることは稀であろうと考えられるので、評価する点の密度が上方が高くなっているこの候補点の配置法を選んだ。

4.2 階層的な配置方法

本節では、Fig. 6 の中央の立方体に太線で示される 3 本のエッジを注視対象エッジとし、そのエッジを、前記の 2.3~2.6 の意味で最も良く観測できるカメラおよび光源の配置を決定する。ただし、2.3 のエッジを見込む角度の制限を、ここでは、(1) 60°, (2) 90° の 2 通りに設定してシミュレーションを行った。

4.3 エッジを見込む角度の制限が 60° の場合

まず Fig. 8 の格子点 289 点をエッジを見込む角度の制限によって選別した。それぞれのエッジに対してこのビジョントaskを満たす 3 領域の交わりが全注視対象エッジに対しての視点候補であり、Fig. 9 に示される 10 点が残った。

この 10 点に対してオクルージョンの回避を行う。60° の場合、すでに絞り込まれた方向にはほかの物体が存在しないのでオクルージョン回避のビジョントaskで除外された点はなかった。

残った 10 点にカメラおよび光源を置き、すべての組合せに対して対象エッジ付近の反射光が直接カメラに入射する組合せを除外する。2.5 で設定した許容範囲をシミュレーションでは 10° とした。このビジョントaskによるカメラと光源のペアの除外も、この場合働かず、最終的に 45 ペアが残った。

この 45 ペアについて、対象エッジのコントラストを評価した。本実験では、エッジをはさむ両側の面上でそれ

Fig. 7 The boundaries of regions where the vision task of the field of view (outer the small circle) and the resolution (inner the two large circles) is satisfied. The bold semi-circle shows the position and size of the dome generated

Fig. 8 The dome generated from vision tasks of viewing angle and resolution

Fig. 9 The selected candidates of camera position by the vision task of the view angle for the case (1) where the maximum target edge angle is 60°

それぞれのエッジ点に 1 番近い点の反射強度を比較した。この差が、鏡面反射の強度の 2% 以上であればこのエッジ点でのコントラストは十分であり、さらにこのような点がエッジ全長に対して 80% 以上あればこのエッジのコントラストは十分であるとした。

そして 3 本の対象エッジのコントラストがそれぞれこれらの閾値よりも大きくなる配置のなかで、各エッジの平均コントラストが最大となるカメラおよび光源のペアを最適ペアとし、Fig. 10 に示されるような配置が得られた。

この位置にカメラおよび光源を配置したときに得られる画像を合成したものを Fig. 11 に示す。

4.4 エッジを見込む角度の制限が 90° の場合

この場合、エッジを見込む角度の制限により、まず 66 点に絞り込まれ、さらにオクルージョン回避のビジョントaskによって 10 点が除外され、56 点が選ばれた。 ${}_{56}C_2 = 1540$ ペアのカメラと光源のペアのうち、反射光の直接入射を回避することによって、17 ペアが削除され、最終的に 1523 ペアのカメラと光源の配置候補が得られた。今度の場合は、エッジ点のコントラストの閾値を 5% として、エッジコントラストのビジョントaskを評価した。

この 1523 ペアから求められた最適なカメラと光源のペアを Fig. 12 に示す。

エッジを見込む角度の制限を大きく設定したため、エッジを形成する 2 面の両方が見える点ではなく、片面

Fig. 11 The image obtained with the setting of Fig. 10 (synthesized)

Fig. 12 The optimal camera and light-source positions determined by the proposed method for the case (2) where the maximum target edge angle is 90°

Fig. 10 The optimal camera and light-source positions determined by the proposed method for the case (1)

のみが見えている視点が選ばれている。

4.5 計算量について

Tarabanis ら⁴⁾の方法の場合、エッジを見込む角度の制御、オクルージョンの回避、直接入射の回避、エッジコントラストの各ビジョントaskを ${}_{289}C_2 = 41616$ 回ずつ評価しなければならない。一方、本論文で提案する「段階的に候補を絞っていく方法」によって各段階で評価しなければならないドーム上の点あるいはペアの数は

Table 1 The number of candidates evaluated for each vision tasks

Case	Viewing angle for edges	Avoiding occlusions	Avoiding incident reflection*	Edge contrast*
(1) 60°	289	10	45	45
(2) 90°	289	66	1540	1523

(*number of pairs)

Table 1 に示されるように, Tarabanis らの方法に比べ, 大幅に減少している. 特に, 計算量を必要とするエッジコントラストの評価を行わなければならないカメラと光源のペアは, 上記の数に比べて, それぞれ, 45, 1523 組となり, 必要な全計算量は大幅に減少していることがわかる.

5. おわりに

本論文では, 視覚センシングシステムにおいてより良い画像を得るためには, カメラと光源をどう配置しなければならないかを考察し, その制約条件を満たす配置を決定する計算手順を提案した. カメラの視野, 解像度を制約としてカメラおよび光源を配置するためのドームを生成し, そのドーム上の点をエッジを見込む角度, オクルージョンの回避, 反射光の直接入射の回避, 高いエッジコントラストの四つの制約によって評価し最適な配置を決定した. 四つの制約をクリティカルなものとそうでないものに分け, 効率的に評価することによって, 従来方法に比べ, 全体の評価に必要な計算量を減少させることが可能となった.

与えられた対象の位置が若干ずれていても, このような方法で決定したカメラ, 光源の配置は依然有効であるかの考察がさらに必要である. また, 本論文で対象としたのは, 物体が静止している場合であるが, 今後対象となる物体が動いているなどの動的な場合の考察もしていきたいと思っている.

参考文献

- 1) J. F. Blinn: A Generalization of Algebraic Surface Drawing. ACM Transaction on Graphics, 1(3)-7, 235/256 (1982)
- 2) C. K. Cowan: Automatic Camera and Light-source Placement Using Cad Models. In IEEE Workshop on CAD-Based Computer Vision, 22/31, June (1991)
- 3) C. K. Cowan and P. D. Kovesi: Automatic Sensor

Placement from Vision Task Requirements. IEEE Trans., PAMI-10(3)-5, 407/416 (1988)

- 4) K. Tarabanis, R. Y. Tsai, and P. K. Allen: Automated Sensor Planning for Robotic Vision Tasks, In Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 76/82, April (1991)
- 5) K. E. Torrance and E. M. Sparrow: Theory for Offspecular Reflection from Roughened Surfaces. Journal of the Optical Society of America, 57-9, 1105/1114 (1967)
- 6) S. Yi, R. M. Haralick, and L. G. Shapiro: Automatic Sensor and Light Source Positioning for Machine Vision, In Proceedings of 10th ICPR, 55/59, June (1990)
- 7) 坂根茂之: ロボット用能動的視覚センシングシステムの設計計画に関する研究, 電子技術総合研究所研究報告第 903 号, November (1989)
- 8) 佐藤, 加藤: 多面体像の情報量と視方向評価, 電子情報通信学会論文誌, J75-D-II(8): 1346/1352 (1992)

[著者紹介]

五味 信一郎 (正会員)

1991 年, 東京大学工学部計数工学科卒業. 93 年同大学大学院工学系研究科修士修了. 同年ソニー(株)入社. 現在, 同社情報通信研究所において画像処理, コンピュータ・ビジョンなどの研究開発に従事.

出口 光一郎 (正会員)

1976 年, 東京大学大学院修士課程修了(計数工学). 同年より同大学工学部助手, 講師を経て, 84 年山形大学工学部情報工学科助教授, 88 年東京大学工学部計数工学科助教授, 現在に至る. この間, 91 年~92 年米国ワシントン大学客員準教授. コンピュータビジョン, 画像計測, 並列コンピュータの研究に従事(工学博士).