

# ID タグとネットワークを用いた CAD-Based Vision

本谷秀堅, 中川宗栄, 馬場一徳, 釘宮豊人, 佐藤公春

山形大学工学部情報科学科

**概略:** 本稿では対象を ID タグで同定し, CAD データをネットワークより取得する CAD-based vision システムを提案する. その例として, 円形の ID タグを利用した, visual tracking システムを示す. 円形の ID タグは, 内部の白黒パターンが ID を表す. 円形タグの画像は楕円形となる. その楕円形状からカメラと対象の相対的な姿勢を推定する. ID の認識と姿勢の推定は, 時刻 0 においてのみおこなう. ID を認識し姿勢を推定するためには, ID タグが画像から頑健に抽出されなければならない. そこで再帰反射板で ID タグを作成し, カメラと同期して明滅する照明を併用する. 照明を駆動する信号と画素値の変化の相関を計算することにより, 画像から頑健にタグ領域を抽出できる. ID タグにより対象を認識できるため, 画像に基づき対象を認識する CAD-based vision システムと比べて, より多くの対象を処理することが可能となる.

**Keywords:** ID タグ, ネットワーク, CAD-Based Vision

## A CAD-Based Vision using an ID-tag and the network

H. Hontani, M. Nakagawa, K. Baba, T. Kugimiya, and M. Sato

Department of Informatics, Yamagata University

### **Abstract:**

We propose a CAD-based vision system that identifies an object using its ID-tag, and downloads the CAD data from the computer network. A visual tracking system that uses a circular ID-tag is shown as an example. A circular ID-tag represents the unique ID number of an object. In an image, the shape of the circular tag is an ellipse. The shape of the ellipse helps to estimate the pose of the object relative to the camera. We design a tag sensing system that robustly extracts the ID-tag from an image. We make the circular ID-tag with a retroreflector, and mount a lighting system that illuminates objects in sync with the camera. Calculating the correlation between the light and the image, the system extracts the ID-tag from an image, robustly. Because the ID-tag helps to identify objects, our system can process more objects than a system that identifies objects using only their images.

**Keywords:** ID-tag, the network, CAD-Based Vision

## 1 はじめに

米国の Auto-ID Center[1]が提案する EPC (Electrical Production Code) や日本のユビキタス ID センター [2] が提案する uID (Ubiquitous ID) など, 全ての工業製品に固有の ID を割り振るための体系が整いつつある. これらの体系においては, 個々の

製品全てに固有の ID が割り振られる.

上記団体はこれら固有のコードを表す ID タグを製品に添付して出荷することを提案している. ID タグとは, ID の頑健な自動認識を実現するためのものであり, バーコードタグや RFID タグがその代表である.

ひとたび ID が認識されれば, ネットワーク上の

関連情報へと自動的にアクセスすることが可能となる。例えば POS システムはバーコードの認識結果に基づき、ネットワークから価格情報などを取得する。無線通信技術の発展などにより、ネットワークが利用可能な環境が急速に広がりつつある。ネットワークが利用可能で、なおかつ物品に ID タグが添付されている環境を用意すれば、そこでは、物品を頑健に同定し関連情報をネットワークから取得し利用することが可能となる。

身の回りの工業製品は、文房具や電化製品から自動車や建築物に至るまで、ほとんど全てが CAD により設計されている。本稿で提案するシステムは、ID タグを手がかりに、対象の CAD データをネットワークから取得する。

物品の CAD (Computer-Aided Design) データをモデルとして利用するビジョンシステムは、CAD-based vision と呼ばれている [3][4][5]。CAD データをモデルとして利用し、画像中の対象を認識したり、カメラと対象との相対的な位置や姿勢を推定したりする手法やシステムが数多く提案されている [6][7][8][9][10][11]。

CAD-based vision による対象認識とは、画像中の対象を、複数の対象の CAD データと比較し、同定する処理のことである。CAD データは、その物品の 3 次元形状の正確な記述である。顔画像認識や文字認識と異なり、認識対象は剛体を仮定する場合はほとんどで、顔画像認識や文字認識の場合と異なり、観測対象の形状とモデルが記述する形状とは正確に一致している。ただし、カメラと対象の相対的な位置関係や照明などに依存して、対象の画像は大きく変化する。一般に CAD-based vision による対象認識は、画像との比較に有用な特徴 [12][13] を CAD データから生成し、その特徴を画像から抽出することによりおこなわれる [5]。位置関係や照明に依存して画像が大きく変化的ることや、画像から精度良く特徴抽出することが困難であることなどが主な原因で、正確な 3 次元形状をモデルとして保有しているにも関わらず、CAD-based vision による対象の認識は容易ではない。

対象が未知である場合、対象の認識とカメラと対象の相対的な位置関係の推定の双方を同時に実行しなければならない。一方対象が既知である場合はその正確な 3 次元形状が利用可能であることを意味し、カメラとの相対的な位置関係の推定に処理を特化することができる。ただしこのとき、処理可能な対象が限定される。

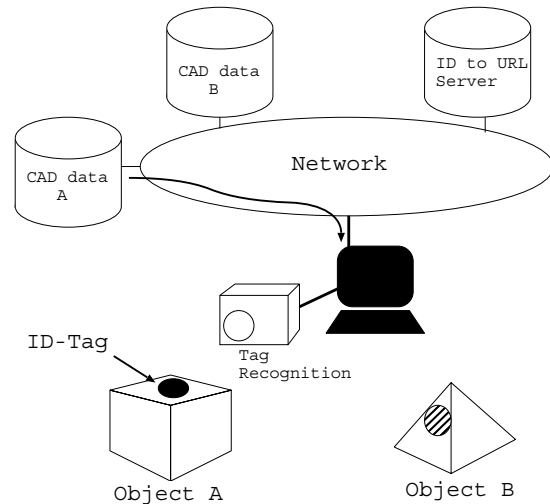


図 1: ID タグとネットワークを利用した CAD-based vision システム。物品に ID タグを添付する。ID タグを認識し、その物品の CAD データをネットワークより取得し、モデルとして利用する。ID タグが添付され、ネットワーク上に CAD データが公開されていれば、その物品はシステムで処理可能な対象となる。

本稿では、全ての処理対象に ID タグを添付し、その ID の認識結果に基づき CAD データをネットワークから取得する CAD-based vision システムを提案する。このシステムは多種多様な対象をタグを手がかりに認識し、対象の CAD データをネットワークから取得しモデルとして利用する [14][15][16]。例として円形の ID タグを利用した、CAD-based visual tracking システムについて報告する。

## 2 円形タグを利用した CAD-Based Visual Tracking System

CAD データをモデルとして利用する visual tracking system について考える。そのような手法は数多く提案されているが、本稿では特徴点の対応付が不要な Drummond らの手法 [17] を利用する。この手法は CAD データを画像に投影し、その投影像と画像とのずれから対象の 3 次元の運動を推定し追跡する。この手法を活用して visual tracking システムを構築する場合、二点解決すべきことがある。一点目は撮影されている対象を認識しその CAD データを用意することであり、二点目は時刻 0 における

カメラと対象の相対的な位置・姿勢を推定することである．これら二点は Drummond らの手法に限らず，対象が既知であることを仮定する CAD-based vision の手法の多くに共通する解決すべき事柄である．本稿ではこの二点を円形の ID タグを対象に添付することで解決する．

## 2.1 CAD-based Visual Tracking

本稿で利用した Drummond らの手法 [17] を簡潔に説明する．本稿では，校正済みのカメラで対象を撮影した．このカメラの内部パラメータを表す  $3 \times 3$  の行列を  $K$  で表す．また対象からみたカメラの相対的な位置・姿勢を表す  $3 \times 4$  の行列を  $E = [R \ t]$  で表す．ただし  $R$  は回転行列， $t$  は平行移動を表すベクトルである．投影行列  $P = KE$  により，CAD データの画像への投影像を計算することができる．

ある時刻  $t = T$  における投影行列  $P_{t=T}$  が推定できたとする．そして対象の CAD データを  $P_{t=T}$  により画像へと投影することにより，画像中のエッジの位置を推定できたとする．運動している対象を撮影し，次の時刻  $t = T + 1$  の画像を取得する． $t = T$  と  $t = T + 1$  の間の対象の運動を行列  $M$  で表す． $M$  は  $4 \times 4$  の行列であり，再び回転成分を  $R$ ，平行移動成分を  $t$  で表すことにすると次のように表現できる．

$$M = \begin{bmatrix} R & t \\ 000 & 1 \end{bmatrix}.$$

ここで

$$M \simeq I + \sum_{i=1}^6 \alpha_i G_i \quad (1)$$

と表し，CAD モデルと投影行列  $P_{t=T}$  とから推定したエッジと，時刻  $t = T + 1$  の画像から抽出したエッジのずれから，係数  $\alpha_i$  を求める．ただし  $G_i$  は  $M$  の生成元で次の通りである．各  $G_i$  はそれぞれ空間における異なる運動を表す．

$$G_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, G_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$G_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, G_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$G_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, G_6 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

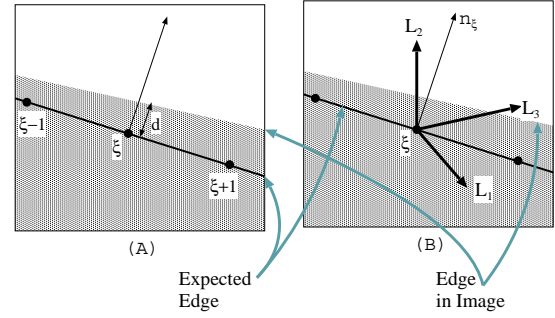


図 2: CAD データを画像に投影して得られたエッジと，画像から抽出したエッジのずれから連続するフレーム間の運動を推定する．

CAD データに  $P_{t=T} G_i$  を適用すると，空間における運動  $G_i$  により推定したエッジが画像中でどのように動くかを求めることができる．推定したエッジ上に点をサンプリングする．空間における運動  $G_i$  によりサンプル点が画像中でどのように動くかを  $L_i^\xi$  で表す．ただし  $\xi$  はサンプル点の番号である．推定したエッジと，画像から抽出したエッジとのずれの大きさ  $d^\xi$  を，各サンプル点において法線方向に計測する (図 2)．推定したエッジ上の各サンプル点における法線を  $n^\xi$  で表すとき，空間における物体の運動  $G_i$  によりエッジが法線方向にどの程度動くかは  $f_i^\xi = L_i n^\xi$  により見積もることができる．

式 (1) における  $\alpha_i$  は，次式に示すエッジのずれ  $S$  を最小にするように定める．

$$S = \sum_{\xi} (d^\xi - \sum_{i=1}^6 \alpha_i f_i^\xi)^2 \quad (2)$$

式 (2) を最小にする  $\alpha_i$  は次のように算出される．

$$\alpha = C^{-1} v, \quad (3)$$

ただし， $\alpha$  は  $\alpha_1$  から  $\alpha_6$  までを並べた列ベクトル， $C$  は  $6 \times 6$  の行列でその要素は  $C_{ij} = \sum_{\xi} f_i^\xi f_j^\xi$  であり， $v$  は  $v_1$  から  $v_6$  の値を並べた列ベクトルで  $v_i = \sum_{\xi} d^\xi f_i^\xi$  である．

式 (3) により  $\alpha_i$  を求め，連続する 2 枚の画像間での対象の運動  $M$  を式 (1) により求める． $M$  を正規化し，次の時刻における投影行列を  $P_{t=T+1} = P_{t=T} M$  として求めることにより，対象の運動を追跡する．Drummond らの手法は特徴点の対応付が不要であり，またエッジの一部が隠蔽されても対象の追跡が可能である．ビデオレートでの実装が可能な程度に演算量も少ない．

本手法は、エッジのずれに着目して対象の空間での運動  $M$  を推定している。前の時刻での投影行列が推定できているとき、CAD データの投影像からエッジの位置を推定できる。エッジの位置を推定できているので、画像全体からエッジを抽出する必要がなく、推定したエッジの近傍のみから抽出すれば良い。また、エッジの法線方向に画素値を調べることによりエッジ抽出ができる。このため、画像全体からエッジを検出する場合に比べて、精度良く「必要なエッジ」を抽出することが可能である。また演算時間も短くて済む。

ただし、本手法は対象の CAD データを利用できることが大前提である。つまりカメラの前の対象が入れ替われば、追跡に利用する CAD データも入れ替えねばならない。また、動きの推定は、直前の時刻における CAD データの投影像を利用している。このため時刻 0 におけるカメラと対象の相対的な位置・姿勢は、別途推定しておく必要がある。本稿では、CAD データを用意するための対象認識と、時刻 0 における対象の姿勢推定を、追跡のための運動推定と切り離して考える。

## 2.2 円形タグとその抽出

対象を認識し、時刻 0 における対象の姿勢を推定するために図 3 に示す円形の ID タグを対象に添付する。対象の位置あわせのためのマーカについては、複合現実感の分野で数多くの提案がなされている [18]。本稿では姿勢推定に利用されることが多い形状である円形をタグの形状に選択した。円の内部には対象の ID をビットパターンで表し、そのパターンの記載されている位置を外周の 4 個所の切り欠きで示した。ID は 12 ビットであり誤り検出を可能とした。EPC などは 128 ビットであり ID としては桁数が少なく、後に述べるように RFID タグなどとの併用が必要であろう。

円は透視変換により楕円になる。その楕円の形状からカメラと対象との相対的な位置・姿勢を推定する。また楕円内部のビットパターンより ID を認識し、対象の CAD データをネットワークより取得する。この際、画像からの円形タグの抽出は頑健に実現されなければならない。

複雑な背景の中であっても頑健に抽出できるよう、タグを再帰反射板で作成し、さらにカメラと同期する照明を作成した。再帰反射板は交通標識な

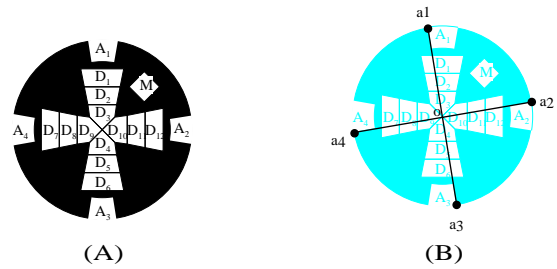


図 3: 実験に利用した円形の ID タグ。タグの中の白黒パターンで ID のビット表現を表す。外周にある 4 個所の切り欠きがビットの位置を示す。

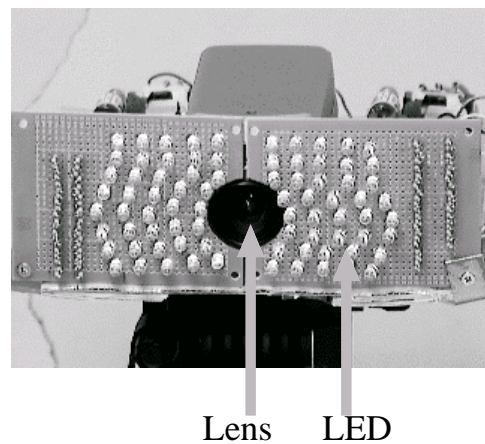


図 4: カメラと同期して明滅する照明

どに利用されている素材で、光を、光源の方向へと反射する。図 4 に示すようにカメラのレンズ周辺には LED を配置し、画像を撮影する度に照明が ON-OFF を繰り返すように制御する。レンズ周辺の照明が点灯したとき、対象に添付されている再帰反射板は周囲より明るく撮影される。

照明を駆動する信号を  $f(i)$  で表すことにする。ただし  $i$  は画像の番号を表し、時刻の順を表す通し番号である。 $f(i) = 1$  のとき照明を ON にして  $-1$  のとき OFF にする。

$$f(i) = \begin{cases} 1 & (i \text{ が奇数}), \\ -1 & (i \text{ が偶数}). \end{cases} \quad (4)$$

画像  $i$  の位置  $(x, y)$  の画素値を  $I(x, y; i)$  で表し、照明を駆動する信号との相関  $C(x, y)$  を計算する。

$$C(x, y) = \sum_{i=0}^{N-1} I(x, y; i) f(i). \quad (5)$$

図 5 に画像の変化と相関  $C(x, y)$  の大きさを画素値で表現したものを示す。相関の計算に用いた画像の

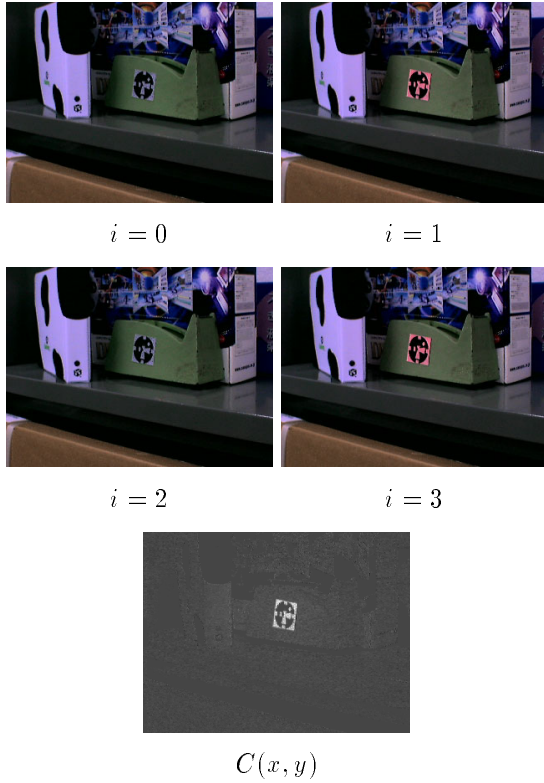


図 5: カメラと同期して照明を明滅させたときに取得された画像と、照明の駆動信号との相関画像。タグの領域だけを強調することができている。

枚数  $N = 4$  である。ID タグが抽出できていることが分かる。図 6 に別の結果を示す。背景に円形の発光体があっても、照明との相関を求めることにより円形の ID タグだけを強調できる。図 7 はタグが遠方にある場合の例である。タグが存在することを相関画像  $C(x, y)$  から知ることができる。タグが遠くにある場合、タグ内部の ID を認識することができないが、カメラをズームするなどして対応することが可能であると考えられる。

画像中の ID タグ認識においては、まず第一段階として、画像から頑健にタグを抽出することが重要である。頑健な抽出は、画像をセンシングする際に工夫することで実現する。

### 2.3 楕円のあてはめと初期姿勢の推定

円形タグは画像中で楕円になる。タグの画像に楕円をあてはめ、そのパラメータからカメラと対象の相対的な位置・姿勢を推定する。楕円抽出とその姿勢推定への利用については数多くの手法が提案されている。本稿では投票による楕円抽出手法を採用し

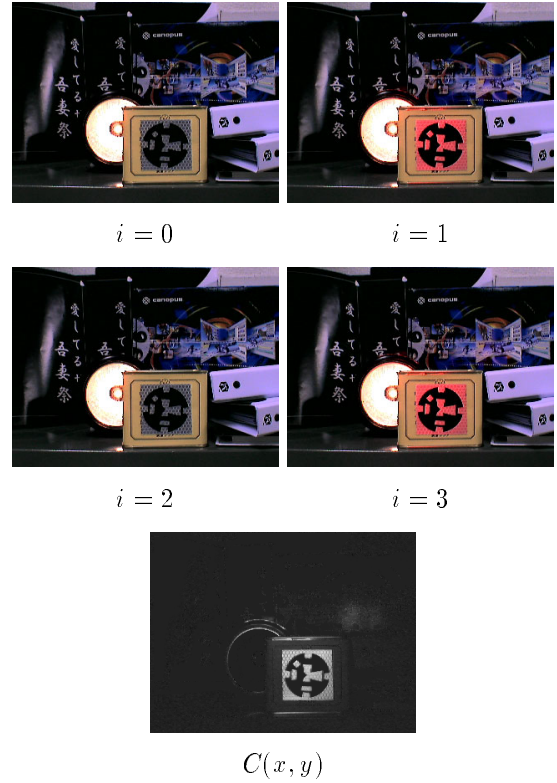


図 6: 照明の駆動信号との相関画像。背景の光源の影響を除去できる。

た [19]。この手法は、まず、平行なエッジ 2 点の中心に投票することで楕円の中心点の候補を抽出し、次に中心の候補点の周囲にあるエッジが楕円か否かを判断する。この判断には、中心からみて直交する二方向にあるエッジまでの距離について図 8 の脚注に示す式を利用する。

画像中の楕円からの対象の位置・姿勢推定は、次のように行う [20][21]。楕円は次の形で表される。

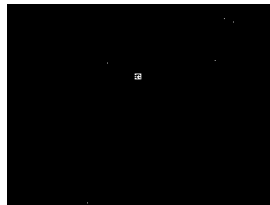
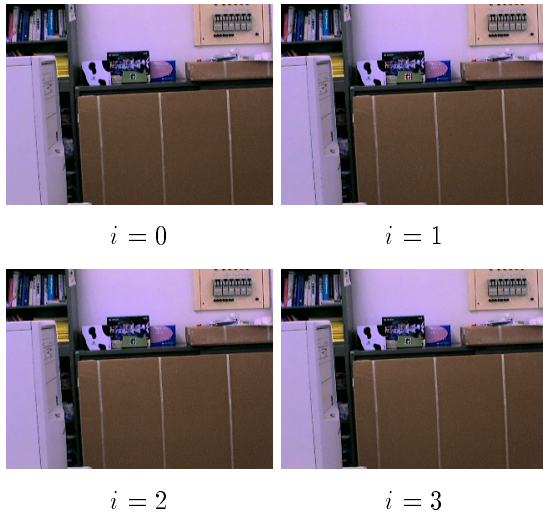
$$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2f(Dx + Ey) + f^2F = 0, (6)$$

ただし  $f$  はスケールを表す因子である。ベクトル  $\boldsymbol{x}$  と行列  $Q$  を次のように定義する。

$$\boldsymbol{x} = \begin{bmatrix} x/f \\ y/f \\ 1 \end{bmatrix}, Q = \begin{bmatrix} A & B & D \\ B & C & E \\ D & E & F \end{bmatrix},$$

このときタグが添付されている平面の法線  $\boldsymbol{n}$  とカメラ中心から平面までの距離  $d$  は次式で表される。ただし、 $Q$  の固有値、固有ベクトルをそれぞれ  $\lambda_i, \boldsymbol{u}_i$  で表し、 $\lambda_3 < 0 < \lambda_1 \leq \lambda_2$  とする。

$$\boldsymbol{n} = \sqrt{\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_3}} \boldsymbol{u}_2 \pm \sqrt{\frac{\lambda_1 - \lambda_3}{\lambda_2 - \lambda_3}} \boldsymbol{u}_3, (7)$$



$C(x, y)$

図 7: 照明の駆動信号との相関画像．遠方のタグの存在を検出できている．ID の認識はカメラをズームするなどすれば良い．

$$d = \lambda_1^{3/2} r,$$

ただし  $r$  は円の半径であり，その値は，タグの ID の認識結果に基づき，CAD データとともにダウンロードされる．式 (7) の  $\pm$  の符号は，楕円の中心と，タグの周囲にある 4 つの切り欠きから求まるタグの中心の投影位置の関係により定める．

以上をまとめると，本稿で提案する visual tracking システムの動作手順は次のようになる．

1. カメラと同期して照明を明滅させ ID タグを抽出する．
2. タグ内部のパターンから ID を認識し，ネットワークより対象の CAD データを取得する．取得する情報にはタグの半径も含まれている．
3. タグに楕円を当てはめ，カメラと対象の相対的な位置・姿勢を推定する．この推定値を対象追跡の初期値とする．
4. CAD モデルの画像への投影像とエッジとのずれに基づき visual tracking をおこなう．

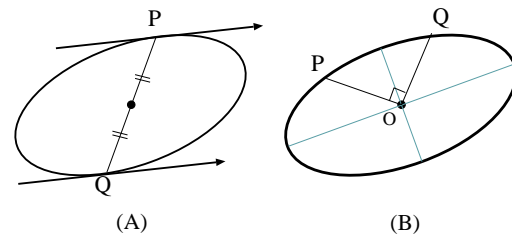


図 8: (A) 平行なエッジ 2 点の中点に投票し楕円の中心点の候補を抽出する．(B)  $1/OP^2 + 1/OQ^2 = \text{一定}$ ．

5. 対象が視野から消えたら 1. に戻る．

### 3 実験結果

まずカメラ校正をおこない，ID から URL へと変換する SQL のサーバを用意した．次に各物品に ID を割り振り，円形の ID タグを添付した．CAD データとその物品とのペアを入手できなかったので，対象を用意し，その 3 次元形状を手で入力してデータとみなした．

カメラの前に対象を置くと ID を認識し 3 次元形状データをダウンロードする．実験結果を図 9 に示す．対象の追跡中はタグを参照しないため，タグの添付されていない面を向けても対象を追跡し続けた．Drummond らの手法はエッジのずれから運動を推定するにも関わらず，エッジの一部が隠蔽されても対象を追跡し続けることが可能である．ただし，対象の形状が単純過ぎて，カメラから対象表面の平面一枚だけが見えるような姿勢が存在するときには，その姿勢に対象がなった時点で追跡に失敗する．また一旦対象を追跡しはじめると ID タグの検出を行わなくなる．このため複数の対象の追跡は今のところできないが，この点は処理時間を犠牲にすれば解決できる．

### 4 まとめ

対象に ID タグを添付し，対象の CAD データをネットワークより取得する CAD-based vision システムを提案した．画像のみに基づき対象を認識する場合と比べて，より多くの対象を頑健に処理することが可能なシステムを構築できる．本稿では CAD-based visual tracking system のために，円

形の ID タグを対象に添付した。また、タグを再帰反射板で作成しカメラと同期する照明を併用することにより、複雑な背景から頑健にタグを抽出することに成功した。

円形タグは画像では楕円形になる。楕円の形状に基づき、時刻 0 における、対象とカメラの相対的な位置・姿勢を推定する。運動する対象の追跡は、対処の CAD データの画像への投影像と、画像から抽出したエッジとのずれに基づきおこなう。タグにより初期位置と姿勢が推定できていれば、CAD データの投影像からエッジの位置を推定できるため、画像全体からエッジ抽出する場合に比べて、必要なエッジを精度良く抽出することが可能となる。

バーコードタグや前節で述べた円形の ID タグは、対象の認識と姿勢推定に有用である。しかし、対象の見た目を損なう上に、表現できる ID のビット数が EPC などを表現するには少なすぎる。見た目を損なわず十分なビット数を表現できる ID タグとして、RFID (Radio Frequency IDentification) タグが広く使われている。今後は RFID タグを利用したシステムについても考察を進めていく。

RFID タグは見た目を損なわない代わりに、姿勢の推定に有用な情報を提供できない。対象自身に含まれるプリミティブ (の一部) を利用した姿勢推定手法 [21] や Spline などで記述された曲面や曲線に対する姿勢推定手法 [22] が必要になると考える。画像からの特徴抽出や抽出した特徴へのモデルの当てはめなどビジョンの基本処理の性能は、システムの性能を大きく左右する。CAD データから姿勢推定に有用なプリミティブを抽出したり、対象の 3 次元形状や画像のセンシング手法に依存して姿勢推定の手法を選択したりすることも必要になるであろう。

## 参考文献

- [1] <http://www.autoidcenter.org/>. 1999.
- [2] <http://www.uidcenter.org/>. 2003.
- [3] Bir Bhanu and Chih-Cheng Ho. CAD-based 3D object representation for robot vision. *Computer*, 20(8):19–35, 1987.
- [4] P.J. Flynn and A.K. Jain. BONSAI: 3D object recognition using constrained search. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(10):1066–1075, October 1991.
- [5] Kevin W. Bowyer. Special issue on directions in CAD-based vision. *CVGIP. Image Understanding*, 55(2):107–108, 1992.
- [6] S. Zhang, K.D. Baker, and G.D. Sullivan. The automatic construction of a view-independent relational model for 3-d object recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(6):531–544, June 1993.
- [7] H.H. Chen. Pose determination from line-to-plane correspondences: Existence condition and closed-form solutions. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(6):530–541, June 1991.
- [8] S.B. Kang and K. Ikeuchi. The complex egi: A new representation for 3-d pose determination. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(7):707–721, July 1993.
- [9] Y. Hel-Or and M. Werman. Pose estimation by fusing noisy data of different dimensions. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17(2):195–201, February 1995.
- [10] S.N. Trika and R.L. Kashyap. Geometric reasoning for extraction of manufacturing features in iso-oriented polyhedra. *PAMI*, 16(11):1087–1100, November 1994.
- [11] F. Rothganger, S. Lazebnik, C. Schmid, and J. Ponce. 3d object modeling and recognition using affine-invariant patches and multi-view spatial constraints. In *CVPR03*, pages II: 272–277, 2003.
- [12] B.K.P. Horn. Extended gaussian images. In *MIT AI Memo*, 1983.
- [13] J. Mundy and A. Zisserman. *Geometric Invariance in Computer Vision*. MIT Press, Cambridge, MA, 1992.

- [14] S. Ando and H. Hontani. Tag sensor and network vision systems. In *Technical Digest of the 18th Sensor Symposium*, pages 127–130, 2001.
- [15] H. Hontani, Y. Takahashi, T. Shinju, M. Nakagawa, and T. Koga. Vision system using circular tag and information network. In *Proc. 19th Sensor Symposium*, pages 417–420, 2002.
- [16] Mustapha Boukraa and Shigeru Ando. Tag-based vision: Assisting 3D scene analysis with radio-frequency tags. In *Proceedings of the International Conference on Image Processing*, pages 269–272, 2002.
- [17] Tom Drummond and Roberto Cipolla. Real-time visual tracking of complex structures. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(7):932–946, 2002.
- [18] 佐藤清秀・田村秀行. 複合現実感における位置合わせ手法. In *画像の認識・理解シンポジウム (MIRU 2002)-I*, pages 61–68, 2002.
- [19] S. Tsuji and F. Matsumoto. Detection of ellipses by a modified hough transformation. *IEEE Transactions on Computer*, 27:777–781, 1979.
- [20] Kenichi Kanatani. *Geometric Computation for Machine Vision*, chapter 8. Oxford Science Publications, 1993.
- [21] 岡部光生・金谷健一・太田直哉. 楕円成長法による楕円の自動当てはめ. In *情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア研究会*, 2001-CVIM-126, pages 9–16, 2001.
- [22] S. Sullivan and J. Ponce. Automatic model construction, pose estimation, and object recognition from photographs using triangular splines. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(10):1091–1096, 1998.

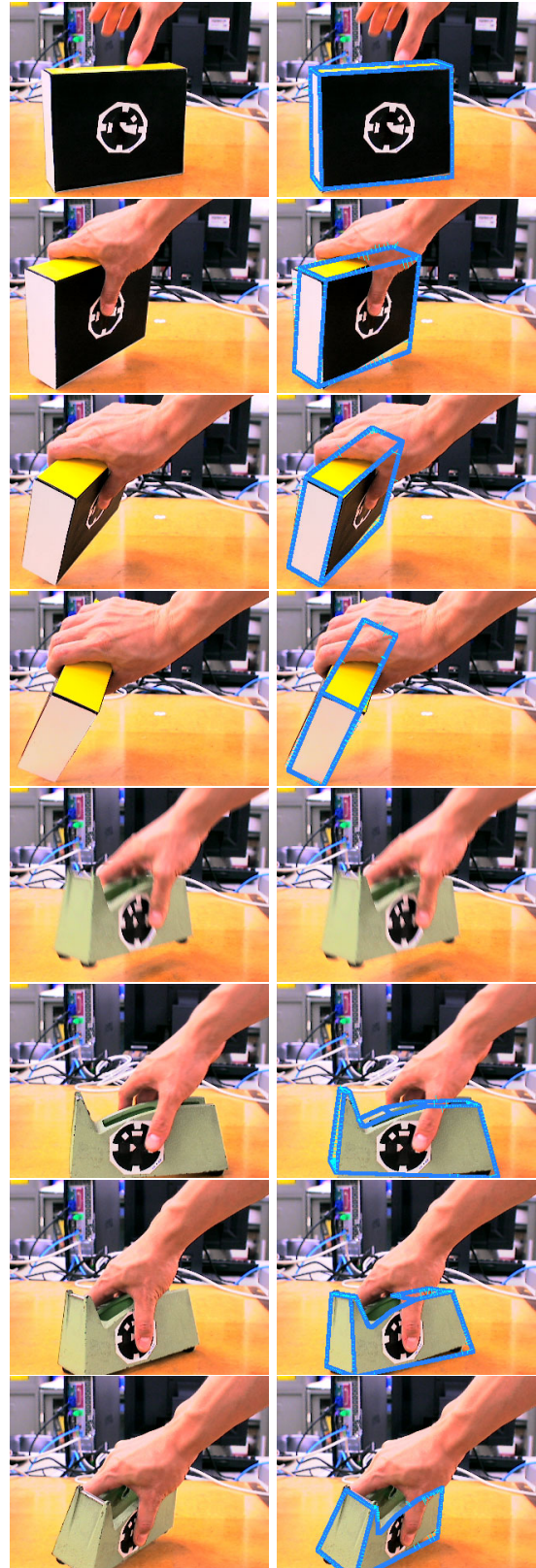


図 9: Visual tracking の実験結果 . 対象が入れ替わると CAD データも入れ替わる . 各時刻で運動を推定するのに必要な演算時間は , タグの認識に必要な時間より短い .