

## ビルのシルエットと地図データベースを用いた 市街地シーンの認識

劉佩林 呉イ 池内克史 坂内正夫  
東京大学工学系研究科  
liu@sak.iis.u-tokyo.ac.jp

本論文では、実世界からの情報を自動的に収集統合することを目的とするビルのシルエットと市街地地図データベースを用いた市街地シーンの認識の一手法を述べる。市街地のシーンにおけるオブジェクトは殆ど建物であり、またシルエットのオブジェクトとして高い建物が多い。市街地で撮影した映像から空部分と接するシルエットを抽出して、与えられた閾値より高い位置にあるシルエットをマッチングの入力データとする。カメラの位置と方向の情報に基づき、地図からシルエットになる可能性がある建物の幾何情報を得、これらの建物のシルエットの線分を生成し、画像から抽出された線分とマッチングする。入力データとモデルとの対応づけ探索は2段階によって行う。(1)線分ベクトルの大局対応にはDPマッチング手法が利用される。(2)得られた対応仮説に対して、類似度評価を行う。最小類似変換コストの探索によって、より精密な対応関係が生成できる。実画像を通して、本手法は特徴抽出の誤差や、センサー出力の誤差、不完全モデル環境に対して有効であることを検証した。

Recognition of Urban Scene Using Silhouette of Buildings and City Map Database  
Peilin Liu Wei Wu Katsushi Ikeuchi Masao Sakauchi  
University of Tokyo  
liu@sak.iis.u-tokyo.ac.jp

This paper proposes an approach for understanding urban scenes by recognizing key buildings in silhouette using model-based object recognition scheme. A city map-database is used to build a world model, based on the information of location and orientation of the video camera, The correspondence searching between the image and the model are implemented by two stages. The general correspondence hypotheses between the line vectors extracted from the silhouette of ground objects and the model are established by using dynamic programming technique. Based on the general correspondence hypotheses, the local position relations of the correspondences are estimated by computing the local similarity degrees. The best correspondences between the image and the model are searched with the minimal cost of the estimation. Experimental results show that the proposed urban scene understanding approach is robust, fast, and accurate even in the presence of errors in the feature detection, sensor uncertainty, and incomplete model.

## 1 はじめに

モデルベースの認識は、自動ナビゲーションや、姿勢決定、自動監視などのコンピュータービジョンの応用によく利用されている。[1][2]の研究では、入力画像から抽出された線分の特徴をモデルに記述された特徴と対応づけることによってロボットの位置と姿勢を認識する。数多くのモデルベースビジョンシステムは、予め用意した幾何学的な部品に基づいて、CADシステムを利用した、モデルを構築する。複数のセンサーから選られた情報にCADモデルとの対応を探索することによって、画像の内容を解釈する[3]。最近のモデルベース認識に関する研究は、モデルの表現手法[7][8][21][10]、効率のよい探索アルゴリズム[5]、[6]、対象を記述するための最小特徴集合[11][12]および認識結果の検証[13]に関するものが多い。モデルベースの認識は工場などの整えられた環境で行うための技術はほぼ完成している。しかし、実世界のような複雑な環境への適用を考えた場合、特徴抽出信頼度の低下、探索量の増加、処理対象の決定の難化などが問題となる。

地理情報システム(GIS)は実世界の空間情報を統合、処理する有効な方法であると考えられている[4]。実世界画像を認識する時に、GISの地図データベースは認識対象の空間位置と相対位置情報を提供できるために、地図データベースから実世界のモデルが生成可能である。われわれの研究では、建物の高さ情報を持つ地図が利用されている。地図から実世界のモデルが認識システムの要求に従って自動的に生成される。

市街地画像に対しては、画像中の高いビルまたは特殊な形状を有する建物は位置決定の重要情報を提供している。本研究では、画像から目立つ建物を選んで、モデルとのマッチング対象にする。カメラに付けられたセンサーから大まかな撮影位置と方位パラメータを取得して、地図データベースから実世界のモデルを自動的に生成する。画像とモデル間の関連付けをDPマッチング手法によって生成する。センサーの誤差と画像処理段階の誤りによって生じた関連付けの誤りを、類似評価の変換コストによって検出して除去、修正する。画像中の目立つ建物をモデルと関連付けた後に、モデル中のほかのオブジェクトを画像に投影できる。これにより、画像に写っているシルエット以外の

建物が認識できる可能性がある。

本論文で述べる認識手法は下記のような有利点を持つ。

1. 地図データベースの利用により、モデルをより容易に生成できる。
2. マッチングに用いたシルエットが画像から容易に抽出できる。
3. DPマッチングを用いた高速な対応探索が実現できる。
4. 簡潔的な対応評価手法の利用によって、方位パラメータの誤差に影響されないより精確な対応関係を生成する。

次の各章に、キー・ビル(目立つビル)のシルエットを利用した市街地画像の認識について述べる。第2章には、対応関係の探索に用いられた対象特徴、認識に用いられたモデルの生成方法、および入力画像から特徴の抽出方法を紹介する。第3章には、DPマッチングを利用したマッチング方法と、認識結果の評価と修正手法を紹介する。第4章に実験結果を示す。第5章はまとめである。

## 2 マッチングの対象

認識は入力画像から、抽出された特徴と予め用意したモデルに記述されている認識対象の特徴をマッチングすることにより行われる。認識対象を記述するために用いられる特徴集合は対象によって異なるが、対応マッチングの探索をより容易に実現できることが重要である。本研究では、キー・ビルの屋根を表す線分をマッチングの対象としている。

### 2.1 画像から認識対象の抽出

市街地画像では、高い建物は非常に目立つと考えられる。空の部分に接する建物の輪郭線から構成されるシルエットに対して、高い建物に対応する部分は重要な特徴を示している。本研究では、入力画像から抽出したシルエットに対して、ピークの高い部分をモデルの高い建物と対応をつけて、認識を行う。入力画像を上から下へスキャンして、cannyエッジ検出手法を用いて空部分と接する建物の屋上輪郭画素を抽出する。抽出された輪郭画

素をベクトル追跡してシルエット線分ベクトルを生成する。生成された水平ベクトルのうちに、高さがある一定値以上の線分をマッチング対象とする。入力画像から抽出した特徴情報を次のように記述する。

$$I = \{I_i | i = 1, 2, \dots, M\} \quad (1)$$

ここで、 $I_i$  入力画像中の  $i$  番目のシルエットベクトルを表す。

## 2.2 モデルの生成と記述

建物の高さ情報を持つ市街地図はモデルの生成に利用される。GPS や電子コンパスから得られたカメラ撮影時の位置と方位パラメータに従って、建物の 3-D 情報を 2 次元の撮影面に投影できる。地図からモデルの生成を図 1 に示す。

1. 視野の決定：GPS から得られたカメラの位置  $(x_c, y_c)$  や、電子コンパスから取得した方位情報及びカメラの光学特性によって、視野範囲が算出される (図 1 の陰部分)。
2. モデル生成対象の決定：視野範囲に入る建物に対して、高さがある一定値以上の建物をモデルの生成対象とする。
3. モデルシルエットの生成：モデル生成対象をカメラの撮影面に投影することによって、モデルとしてのシルエットが生成される。

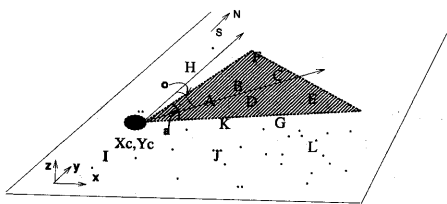


図 1: The viewing field

モデルは次のように記述できる。

$$M = \{M_j | j = 1, 2, \dots, N\} \quad (2)$$

ここで、 $M_j$  は  $j$  番目のキー・ビルの屋上線分に対応する線分である。

## 3 マッチングアルゴリズム

DP 手法は、 $N$  個の単独ステージ処理によって、 $N$  ステージ判定問題を解く。これにより、計算の複雑度を大幅に低減できる [15]。DP 手法を適用する際、マッチング対象となる 2 つのデータ系列に単調性、連続性及び初期条件の満足が要求される [16]。今まで、ステレオ画像のマッチングに DP マッチングを適用する例が数多く紹介されていた [17] [18] [19]。一方、モデルベースの認識環境に対して、幾つかの点で DP 手法の適用条件が満たされない。実世界にある建物の位置関係は固定であるために、入力画像から抽出したベクトル系列とモデルに含まれているベクトル系列は単調性と連続性条件に満足しているが、それらの系列の初期対応点を如何に行うかは未解決な問題点である。この章では、本研究において、モデルベースの認識に DP マッチング手法を適用することを考える。

### 3.1 DP マッチングを用いた対応探索

#### 3.1.1 最適経路の探索

入力画像とモデルから、式 (1) と式 (2) のベクトル列が生成できる。

入力画像とモデル間の対応関係探索は、2-D 平面上での経路探索になる。この経路探索に利用される 2-D 空間を図 2 に示す。縦軸はモデルのベクトル列にそれぞれのベクトルの位置を示す。横軸は入力画像のベクトル列にそれぞれのベクトル要素の位置を示す。線分の交差点は、DP マッチング過程の中で最適な経路選択探索が発生した段階を示す。ベクトルをそれと対応するベクトル列中での順序番号によって表記する。すると、入力画像を  $I_i, i = 0, 1, 2, \dots, M$ 、モデルを  $M_j, j = 0, 1, 2, \dots, N$  と記述できる。図 2 にある水平経路は、横軸の画像ベクトルが縦軸のモデルとの対応づけができないケースを意味している。垂直経路は逆のケースを示す。交差点  $(i, j)$  に端点を持つ斜めの経路は、横軸の  $i$  番目のオブジェクト  $I_i$  は縦軸の  $j$  番目のオブジェクト  $M_j$  とマッチングすることを意味している。以降では、入力画像のベクトル列の  $m$  番目要素である  $i_{o,m}$  はモデルの  $n$  番目のベクトル  $M_{o,n}$  との対応づけを  $(I_{o,m}, M_{o,n})$  と記述する。ここででのマッチングは、ベクトルの相対距離と相対高さを対象としているために、マッチング経路のコストを下記の

ように定義できる。

$$D(I_i, M_j) = |(h_{I_i} - h_{M_j}) + (d_i - d_{M_j})| \quad (3)$$

ここで、 $0 \leq i \leq M, 0 \leq j \leq N$

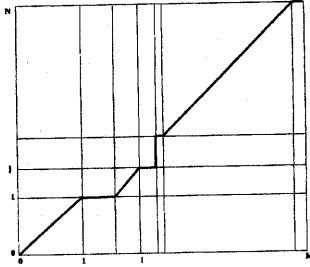


図 2: 2-D search plane

$h$  はベクトル同士の中心点の相対高さで、 $d$  は中心点間の距離である。DP マッチングは繰り返し探索で、探索は  $(0,0)$  から始まり、各交差点でコスト  $D(I_i, M_j)$  を計算して、コストの一番小さい経路は最適なプリミティブ経路として格納される。マッチングは  $(M,N)$  まで繰り返して行われる。すると、 $(0,0)$  から  $(M,N)$  までに格納された最適なプリミティブ経路は最適なマッチング結果になる。これを入力画像とモデル間の一つのマッチング候補として次の検証システムに送る。DP マッチングに関する詳細な説明は文献 [17] [20] を参考。

マッチング結果の候補を次のように記述する。

$$Corr. = \{(I_{o_i}, M_{o_i}) | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (4)$$

$m$  は対応の数である。

### 3.1.2 マッチング終点の決定

DP マッチングの正確さと効率はマッチング終点の設定に大きく依存している。本研究では、建物の高さ情報に基づいて終点を決定する。最高位の建物に対応するベクトルを終点候補として生成する。

### 3.1.3 DP マッチングによる対応探索の問題点

DP マッチングは各線分ベクトルのローカルな情報に基づいて入力データをモデルと最適にマッチングする。このために、センサーの誤差や画像の歪み、さらに画像エッジの過分割はマッチング結

果に大きい影響を与える。このため、マッチング結果に対して、大局的な再評価は必要になる。ここでは、DP マッチング結果に対して、大局的に評価し、誤った対応関係を修正する手法について述べる。

## 3.2 認識仮説結果の評価と修正

認識結果に対して、各建物の類似度を評価することによって評価と修正を行う。まず、下記の三つの評価パラメータを定義する。

画像ベクトルの比率  $r_{I_{o_i}}$  :

$$r_{I_{o_i}} = d_{I_{o_i}} / L_I \quad (5)$$

モデルベクトルの比率  $r_{M_{o_i}}$  :

$$r_{M_{o_i}} = d_{M_{o_i}} / L_M \quad (6)$$

画像ベクトルとモデルベクトル間の類似度係数

$s_i$  :

$$s_i = |r_{I_{o_i}} - r_{M_{o_i}}| \quad (7)$$

ここで、 $L_I$  と  $L_M$  はそれぞれ画像、モデルベクトル列中の一番目のベクトルの中心点から最後のベクトルの中心点までの長さである。 $d_{I_{o_i}}$  と  $d_{M_{o_i}}$  はそれぞれ入力画像またはモデルベクトル列に隣り合う 2 本のベクトル中心点間の距離である。

建物は剛体であるために、正しくマッチングされる場合に、 $r_{M_{o_i}}$  は  $r_{I_{o_i}}$  と同じ値になる。マッチング結果が正しいほど、 $s_i$  は 0 に近づいていく。 $s_i$  が与えられた閾値より小さい場合に、 $i$  番目の建物のマッチング結果は正しいと判断できる。

## 3.3 対応関係の修正

対応関係の修正を連結、削除、分割といった 3 種類の操作によって行う。これらの修正操作に対する変換コストを式 (8) によって定義する。

$$cost_i = \begin{cases} -1 & \text{if } s(r_{I_{o_i}}, r_{M_{o_i}}) < \theta \\ (s_i - s_{old_i}) / (s_i + s_{old_i}) & \text{if } s(r_{I_{o_i}}, r_{M_{o_i}}) \geq \theta \end{cases} \quad (8)$$

ここで、 $s_i$  は修正した後の類似度で、 $s_{old_i}$  は修正前の類似度である。コスト関数の特徴を図 3 に示す。マッチング結果が精密になるほど、コスト関数の値は -1 に近づいていくことがわかる。修正操作のコスト値によって、適した修正操作が選べる。

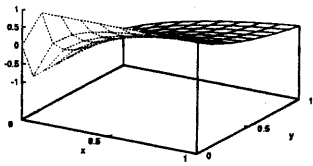


図 3: The characteristic of the similarity function

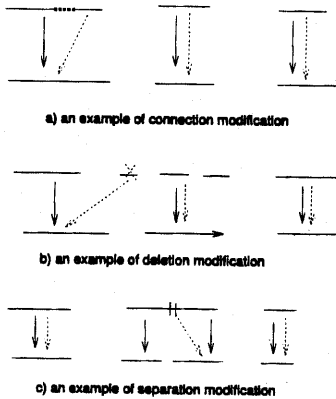


図 4: The modification operation

図 4にマッチング結果の修正過程を示す。図 4では、破線は DP マッチングによって得られた対応関係で、実線は修正後の対応関係を示す。上部のベクトルは画像ベクトルである。下部はモデルベクトル列である。

次にそれぞれの修正操作について説明する。

1. 図 4.a に示す連結操作は、画像に含まれているノイズなどによるベクトルの途切れを修正する。一本の破線は実際に二つのベクトルに関連している。連結操作によって、ベクトルの中心点位置は正確な位置に移動されるために、修正後の類似度は修正前より小さい値になる。複数の連結候補が存在している場合に、式 (8) によって、変換コストは -1 に一番近い連結が最適な連結であることがわかる。連結操作は複数の隣合うベクトル同士を 1本のベクトルにまとめるだけで、修正後のベク

トル列に対して DP マッチングを再度行う必要がない。

2. 図 4.b に示す削除操作は画像に誤って生成されたベクトルを処理する。"X" で示したベクトルが削除されると、類似度は修正前より小さい値になる。ベクトルが削除されると、画像とモデルの対応関係は変わるために、DP マッチングを修正後の画像ベクトル列に対してもう一度行わなければならない。
3. 図 4.c に示す分割操作は主に重ねた対象を分離する時に利用される。|| と表記したベクトルは 2本のベクトルに分割される。分割操作を行った後に、修正されたベクトル列に対して DP マッチングを再度行う必要がある。

連結操作は他のベクトルの対応関係に影響を与えないために、優先的に適用される。連結修正が必要であるすべての画像ベクトルに対して、連結修正を行った後に、コストがまた許容範囲外であれば、他の修正操作を試す。ある修正操作を行った後に、類似度が許容範囲に落ちると、修正結果をマッチング結果とする。すべての可能な修正操作を行った後で類似度は許容範囲外になると、DP マッチングの終点設定が間違っていると判断され、マッチング終点を次の候補に移動して、マッチング過程を繰り返す。終点の次候補が存在しない場合に、コストの一番小さいマッチング結果が結果として選ばれる。

## 4 実験結果

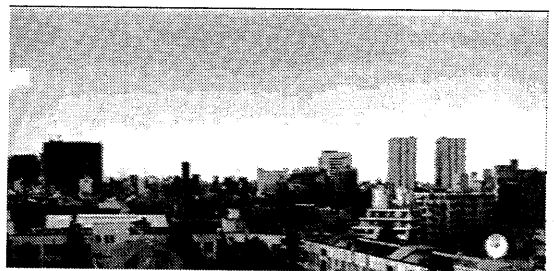


図 5: Aoyama viewed from our university

本手法を実画像に適用して、その有効性を検証した。ここで 2つの事例を用いて説明を行う。図



図 6: Map of Minato-ku

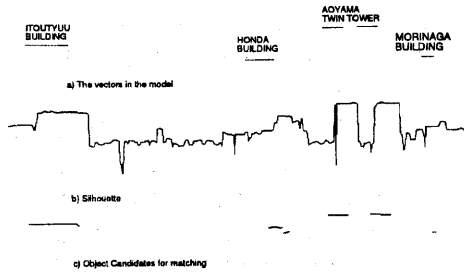


図 7: The model and the correspondence features for the image of Aoyama

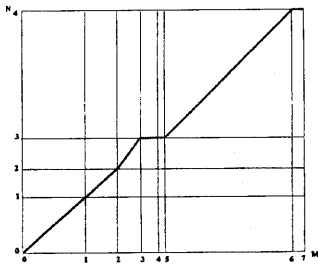


図 8: 2-D search plane for searching correspondences of the image of Aoyama

5に示されている画像は、大学内のあるビルの屋上で撮影した青山地区の画像である。撮影時のカメラパラメータは、高さ約21メートル、方位北西約45度である。

Cor.No	Similarity degree Before modification		Similarity degree after modification		Modification Operation		Modification Cost Before		Modification Cost After	
	Image1	Image2	Image1	Image2	Image1	Image2	Image1	Image2	Image1	Image2
0	0.0008	0.0884	0.0008	0.0954			-1	-1	-1	-1
1	0.0008	0.1054	0.0008	0.1054			-1	-1	-1	-1
2	0.0278	0.0988	0.0278	0.0988			-1	-1	-1	-1
3	0.0378	0.0723	0.0378	0.0723	Connection		0	-1	-0.23	-1
4	0.0289		0.0289			Deletion	0			-0.84
Average	0.0185	0.1194								
Variance	0.0164	0.0598								
Threshold	0.0332	0.1791								

図 9: The result of verification and modification

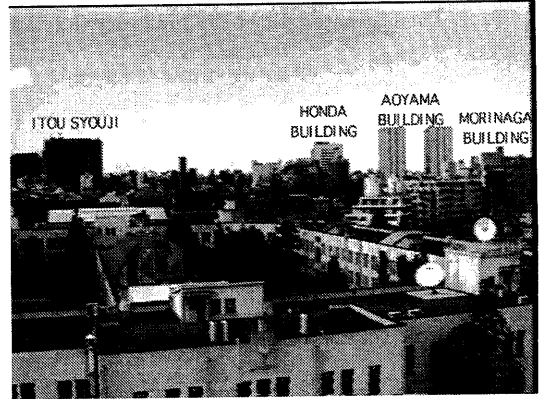


図 10: The image-model corresponding result of the image Aoyama

青山地区の画像を認識するために、青山地区の地図データベースから画像にシルエットが生成される可能性のある青山ツインタウア、ホンダビルなど5つのビルがキー・ビルとして選ばれた(図6)。撮影方向によって、これらのビルに対応するモデルベクトルは図7.aのように左から右の順で並ぶ。図7.bに画像から抽出したシルエットベクトルを示す。8本のベクトルがマッチング対象として選ばれた(図7.c)。

この実験では、マッチングの終点は画像とモデルの一番右側にあるベクトルを対応させるように設定した。右から左といった順序で、画像ベクトルを[0,M]、モデルベクトルを[0,N]とインデックス番号を付ける。DPマッチングを適用した2-D探索平面を図8に示す。経路セグメントの頂点は画像ベクトルとモデルベクトルの対応関係を示す。この場合に、対応関係は  $corr. = \{(0,0), (1,1), (2,2), (3,3), (6,4)\}$  となる。画像ベクトル列から5本のベクトルはモ

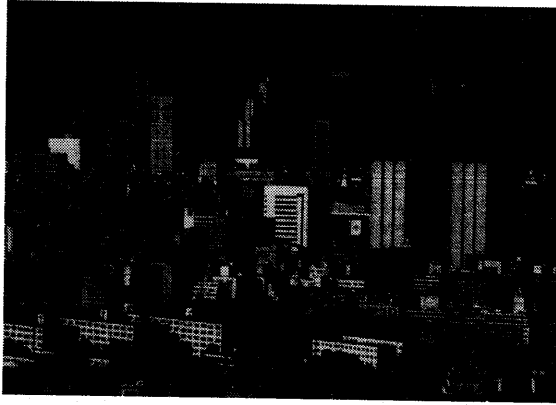


図 11: Shinjuku viewed from Tokyo Tower

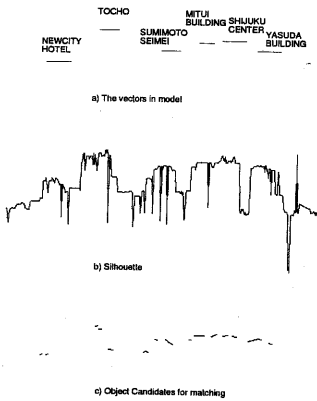


図 12: The model and the correspondence features for the image of Shinjuku

デルにマッチングされた。DP マッチング結果に対して類似度評価を行い、評価値は大きいであることがわかった。次に、修正操作を行う。表 10 に DP マッチング結果の類似度評価値と修正操作のコストを示す。表の内容から、画像ベクトル列の最後の 2 本のベクトルは連結されたことがわかった。この連結修正によって、類似度評価値は許容範囲になるために、マッチング結果が承認された。最後のマッチング結果を図 9 に示す。

図 11 は同様の処理を約 333 メートルの東京タワーから撮影した新宿地区の画像に対して適用した。撮影時の方向は北西約 60 度である。東京タワーから撮影した新宿画像の例では、地図データ

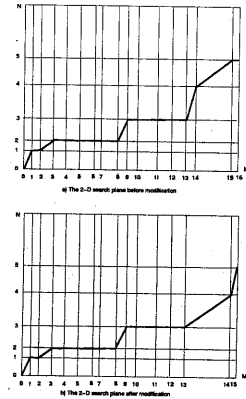


図 13: 2-D search plane for searching correspondences of the image of Shinjuku

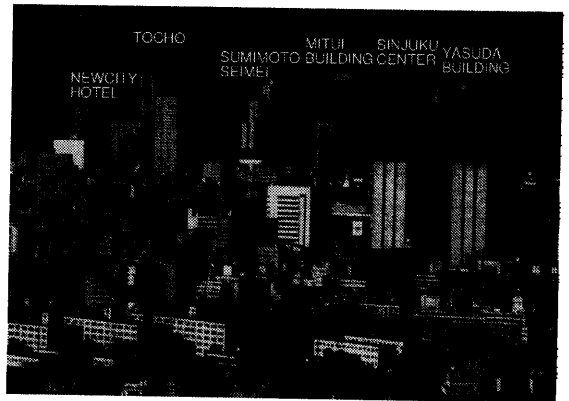


図 14: The image-model corresponding result of the image Shijuku

ベースから都庁ビルディング、三井ビルディングなど画像中でシルエットとして現す可能性のある 6 個の建物がキー・ビルとして選ばれた (図 12.a)。図 12.b に入力画像から抽出したシルエットベクトルを示す。そこから 17 本のベクトルがマッチング対象として選ばれた (図 12.c)。DP マッチングによって選ばれた結果に対して、3 番目のベクトルが削除され、DP マッチングが再度行われる。

修正する前と修正した後の 2-D 探索表面を図 13 に示す。最終的なマッチング結果を図 14 に示す。

## 5 まとめ

市街地地図データベースから生成したモデルを用いて、キー・ビルのシルエットマッチングによって市街地画像認識の一手法について述べた。建物の高さ情報を持つ市街地地図は実世界のモデル生成に利用される。撮影カメラに付けているセンサーから取得した位置と方位情報に従って、ビュー・フィールドに見える建物を決定する。これらの建物から、高い対象がキー・ビルとして選ばれる。ビルの高さと相対位置に基づいてモデルを生成する。入力画像から建物のシルエットを抽出して、ベクトル化する。次に、画像から抽出したシルエットベクトルに対して、モデルベクトルとの対応関係をDPマッチングを用いて探索する。最後に、得られた対応関係の類似度を評価して、誤った対応関係または精確でない対応関係を修正する。画像からキー・ビルを認識することによって、地図データベース中のキー・ビルでないオブジェクトを画像に投影することによって、画像の全体内容を認識可能になる。本手法は高いところから撮影した市街地画像に適用できる。今後の課題としては、

1. 地図データの誤差を考慮して、地図データベースから画像に投影したオブジェクトをより精確に認識する手法
2. 街で歩きながら撮影した画像を認識する手法

などである。

## 参考文献

- [1] Rai Talluri, J.K. Aggarwal, "Mobile Robot Self-location Using Model-Image Feature Correspondence" IEEE Robotics And Automation, Vol.12 No.1, Feb.1996.
- [2] T.Tsubouchi and S.Yuta, "Map assisted vision system of mobile robots for reckoning in a building environment," in Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automat.(Raleigh), Mar, 1987, pp1978-1984.
- [3] Kadono, K., Asada, M., Shitai, Y., "Context-constrained matching of hierarchical CAD-based models for outdoor scene interpretation", Workshop on Directions in Automated CAD-Based Vision, IEEE Comput. Soc. Press, pp186-195, 1991
- [4] Menno-Jan Kraak, "Integrating Multimedia in Geographical Information Systems", IEEE Multimedia Journal, Autumn, 1996, 59-65
- [5] Grimson, W. E. L. 1990. Object Recognition by Computer: The Role of Geometric Constraints. MIT Press.
- [6] Rai Talluri, J.K. Aggarwal, "Position estimation for a mobile robot in an outdoor environment," IEEE Trans. Robotics Automat., Vol.8, pp.573-584, Oct.1992
- [7] 村瀬 洋, シュリー ナイヤー, "2次元照合による3次元物体認識-パラメトリック固有空間法," 信学論 (D), Vol. J77-D-II, no. 9, pp. 2179-2187, 1994
- [8] Ulman, S., and Basri, R.1991. "Recognition by Linear Combination of Models," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.586-591
- [9] Stan Sclaroff and Alex P.Pentland, "Model Matching for Correspondence and Recognition", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.17, No.6, pp545-561, 1995
- [10] Subhudev Das and Bir Bhanu, "Generic Object Recognition Using CAD-Based Multiple Representations" in Proc. of the 1994 Second CAD-Based Vision Workshop, Feb.8-11, 1994, pp202-209.
- [11] Tarak L.Gandhi, Octavia I.Camps "Robust Feature Selection for Object Recognition using Uncertain 2D Image Data," in Proc. IEEE Int. on Computer Vision and Pattern Recognition, June, 1994, pp281-287.
- [12] Jeffrey S.Beis, David G. Lowe "Learning Indexing functions for 3-D Model-Based Object Recognition," in Proc. IEEE Int. on Computer Vision and Pattern Recognition, June, 1994, pp1978-1984.
- [13] Mark D. Wheeler and Katsushi Ikeuchi "Sensor Modeling, Probabilistic Hypothesis Generation, and Robust Localization for Object Recognition" IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.17, No.3, pp252-265, 1995
- [14] T.O.Binford, "Survey of model-based image analysis system," The Int.J. of Robotics Research, vol.1, no.1, pp18-64, 1982
- [15] A.V.Aho, J.E.Hopcroft, and J.D.Ulman, The Design an Analysis of Computer Algorithms. Reading, MA: Addison Wesley, 1974
- [16] R.Bellman: Dynamic Programming, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1957
- [17] Y.Ohta and T.Kanade, "Stereo by intra- and inter-scene search using dynamic programming", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.7, No.2, pp139-154, 1985
- [18] 太田友一, 正井健之, 池田克夫, "動的計画法によるステレオ画像の区間対応法," 信学論 (D), Vol. J68-D, no. 4, pp. 554-561, 1985.
- [19] R.K.Moore, "A dynamic programming algorithm for the distance between two finite areas". IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.1, No.1, pp86-88, 1979
- [20] H. Yamada, C.Merritt, and T.Kasvand, "Recognition of kidney glomerulus by dynamic programming matching method," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.10, No.5, pp731-737, 1988
- [21] Stan Sclaroff and Alex P.Pentland, "Model Matching for Correspondence and Recognition", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.17, No.6, pp545-561, 1995