

## 環境や視点の変化を考慮した交差点情景解析

森島 秀実 吾郷 純 市川 忠男

広島大学工学部

本論文では屋外情景の一つである交差点情景の効率的な解析方法について述べる。一般に、画像解析はモデル駆動による解析とデータ駆動による解析の二つに分けられる。屋外の情景を解析する際、モデル駆動による解析の方が処理効率や解析能力の点で優れている。しかし、従来のモデル駆動による解析手法では季節や時間といった環境の変化、TVカメラの位置による視点の変化等に柔軟に対処することができない。そこで、提案するシステムでは解析の対象を三次元のモデルとして保持しておき、このモデルを様々な条件の下で見たときの『見え方に関する知識』を用いて画像の記述を生成する。この画像の記述に基づいて解析を行うことにより上に挙げた問題の解決を試みる。

## Analysis of Road-Intersection Scenes with due regard to change of Seasonal Environment and Observer's Eye Point

Hidemi Moribatake Jun Ago Tadao Ichikawa

School of Engineering, Hiroshima University

This paper describes an efficient analysis of the outdoor scene. In general, there are two ways to analyze images. One is a data-driven analysis and the other is a model-driven analysis. The model-driven analysis is superior to the data-driven analysis from the view point of efficiency and reliability. But the usual model-driven analysis are not flexible enough to handle images under the influence of the seasonal change of environments or the observer's eye point. Therefore, we first construct a 3-D model, and then generate image descriptions from the model being supported by the knowledge of the scene under various conditions. Total scheme of the experiment is explained for the case of analyzing scene of road intersections.

## 1 はじめに

我々は、自動車用ナビゲーションシステム<sup>[1][2]</sup>のための位置認識システムの開発<sup>[3]</sup>を行なっている。位置認識システムとは、現在車両がどこにいるかを知るためのシステムであり、ナビゲーションシステムは、この位置情報に基づいて様々な情報をドライバーに与える。

位置認識は次のようにして行なわれる。

まず、車に搭載したTVカメラから交差点の情景を取り込む。システムは、各交差点のモデルをその内部に保持しており、このシステム内のモデルと、取り込まれた画像とのマッチングを行なう。マッチングの結果、取り込まれた画像と一致するモデルが選択される。こうして選択された交差点モデルの位置が、現在車両が存在している位置であると認識する。

モデル駆動方式による解析<sup>[4]~[6]</sup>を採用するのは、画像解析の処理効率を向上させようとするものであるが、交差点画像のような屋外情景を対象とする場合には次のような問題がある。

- ・ 季節や時間の変化に応じて入力画像が変化する。
- ・ 視点が変わると画像中の特徴物の位置、形状及び大きさが変化する。

これらの問題に柔軟に対応するためには、処理の基となるモデルの記述能力を向上させる必要がある。そこで本研究では、システムに三次元のモデルと、そのモデルを様々な条件のもとで見たときの『見え方に関する知識』を与える。これによって、三次元のモデルを二次元平面である画像記述に変換し、この画像記述に基づいて入力画像の解析手順を決定する。

以下、2章ではモデルと画像記述、及び見え方に関する知識を用いた画像記述の生成法について説明する。3章ではシステムの概要と動作について説明し、4章では解析の流れを例を用いて説明する。5章でシステムの評価を行ない、さらに今後の課題について述べる。

## 2 モデルと画像記述

本システムでは、まず三次元のモデルをモデル構築用のツールを用いて作成する。始めに、このモデルに季節、時間、視点の情報を与える。システムは時間や季節の変化による見え方の違いを知識ベースとして保持している。この知識により、それぞれの特徴物の見え方を推定し、画像記述を生成する。画像記述とは、三次元のモデルの二次元平面上での見え方を記述したものである。こうして作成された画像記述に基づいて特徴物の抽出を行ない、視点を決定する。決定された視点を基に、画像記述を視点を考慮した画像記述へと更新する。こうして得られた画像記述に基づいて、入力画像を解析することにより、環境や視点による入力画像の変化に応じた画像解析を行なう。

ここでは、モデルの定義、モデル生成のためのツールの説明、画像記述の定義を行なった後、画像記述の生成方法について説明する。

### 2.1 モデルの定義

本システムでは次のようなモデルを定義する。ここでは、モデルは各交差点について一つずつ存在する。

モデル ::= 交差点id, {特徴物}, {背景}, 道路の曲率

特徴物 ::= 特徴物id, {パターン, パターン間の関係}, 存在空間, 向き

背景 ::= 背景id, 存在空間

パターン間の関係 ::= 関係, 関係しているパターン

パターン ::= パターンid, 大きさ

ただし、

特徴物id ::= 長方形の標識 | 円形の標識 | 歩道橋 | ビルの窓 | 木 | 看板

パターンid ::= 長方形パターン | 矢印パターン | 円パターン | 歩道橋パターン | 窓パターン | 木パターン

背景id ::= 建造物 | 山

向き ::= 東 | 西 | 南 | 北 | 北東 | 北西 | 南東 | 南西

関係 ::= 上 | 下 | 右 | 左 | 右上 | 右下 | 左上 | 左下 | 含む | 含まれる

道路の曲率とは道路が縦方向にどの程度曲がっているかを示す値である。この値は道路の消失点と一対一に対応している。

特徴物における存在空間とは、その特徴物が実際の交差点中のどの空間に存在するかを示したものである。本システムにおけるモデルでは、交差点を三次元のメッシュ状に区切り、それぞれの特徴物がどのメッシュ中に存在するかを示すことによってその特徴物の存在空間を記述する。背景における存在空間も同様である。存在空間の例を図1に示す。

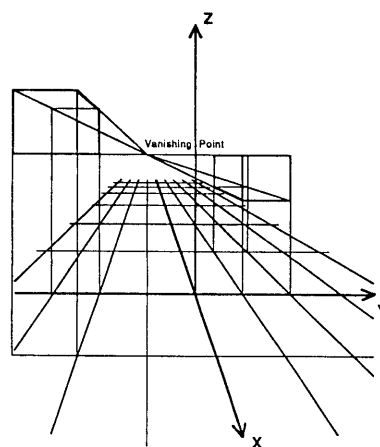


図1 存在空間の例

## 2.2 モデル構築ツール

三次元モデルを構築するために、次のようなツールを用いる。

それぞれの方向から見た交差点の画像をCRT上に表示する。この画像に対して、道路の交差している点、道路の消失点やそれぞれの特徴物の画像中での位置を指定することにより、それらの特徴物の絶対空間での三次元的位置を入力することができる。

モデルの構築は次の手順で行なう。

- 1 交差点 id の入力
- 2 現在見ている方向の入力 (八方位)
- 3 道路が交差している点 (原点) の指定
- 4 消失点の指定
- 5 特徴物 id の指定
- 6 x-y平面上での位置指定
- 7 z方向の位置指定
- 8 向き (手前向き or むこう向き) の指定
- 9 特徴物を構成するパターンの指定
- 10 各パターンの大きさの指定
- 11 パターン間の関係の指定
- 12 登録する特徴物が残っている時は5へ
- 13 同一のBOXの中に複数個の特徴物が存在するときのみ14へ、その他の場合は15へ
- 14 特徴物間の関係の指定
- 15 終了

6, 7で特徴物の三次元空間での存在空間を指定する。位置指定は、x-y平面と、y-z平面に平行な平面にそれぞれメッシュを入れ、モデル構築者がメッシュの指定を行なうという方法で行われる。x-y平面上での位置指定の例を図2に、z方向の位置指定の例を図3に示す。また、生成されたモデルのグラフ表現を図4に示す。

## 2.3 画像記述

ここで定義された交差点モデルは三次元のモデルである。しかし、取り込まれる交差点画像は、二次元の情報しか持っていない。そこで、システムはこのモデルに基づいて交差点の画像記述を生成する。画像記述とは、三次元の交差点モデルをある視点から見たときの二次元平面上での見え方を表わしたものであり、システムはこの画像記述に基づいて入力画像の解析を進める。

画像記述を次のように定義する。

画像記述 ::= {特徴物}, 消失点の座標

特徴物 ::= 特徴物id, {パターン, パターン間の関係}, 領域

パターン間の関係 ::= 関係, 関係しているパターン

パターン ::= パターンid, 画像中の大きさ, 信頼度

ここで信頼度とは、あるパターンを抽出する際の結果の確からしさを示す値である。画像記述のグラフ表現を図5に示す。

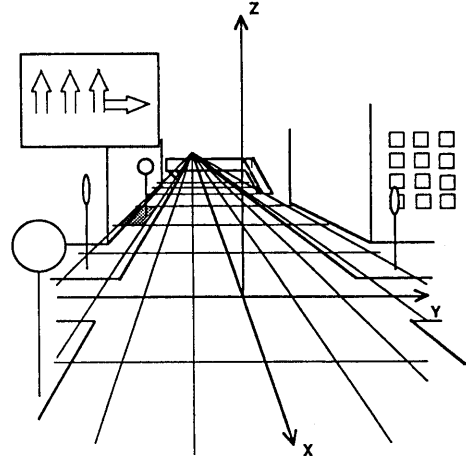


図2 x-y平面上での位置指定

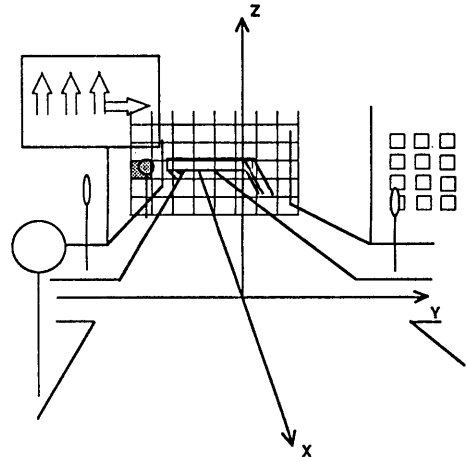


図3 z方向の位置指定

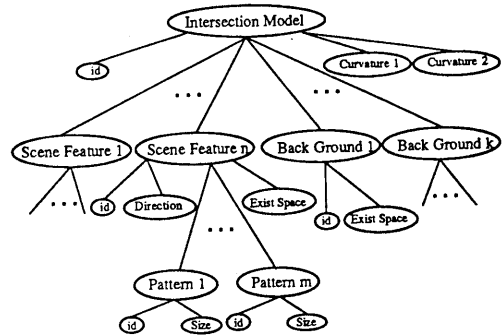


図4 モデルのグラフ表現

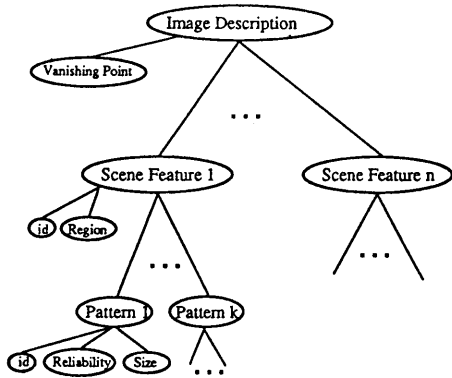


図5 画像記述のグラフ表現

## 2.4 画像記述の生成

画像記述の生成方法について図6に示す。画像記述は、二つのステップから生成される。記述の生成には、図7、図8に示す知識ベースを用いる。

### Step 1

まず、現在位置と道路の接続関係より次に到達する可能性のある交差点と、それらの交差点に進入する方向を推定する。この推定に基づき、交差点モデルをどの方向から見た画像記述を生成するかという情報を与える。すると、システムは、モデル中の特徴物の向きを調べ、正面を向いている特徴物と正反対向きの特徴物とを、指定された方向から見ることで特徴物として選り出す。

次に、季節と時間の情報を与える。システムは、内部にもつ知識ベース(図7)を用いて、季節の違いによる特徴物の変化や光線の向きの違いによる特徴物抽出の信頼度の変化を考慮した画像記述を生成する。このとき、時間情報より太陽の位置を推定し、背景として記述されている建造物の影となる空間を調べ、そこに存在する特徴物について、信頼度を下げる等の処理を行なう。

### Step 2

視点を修正したより詳しい画像記述を作成する。まずステップ1で生成された画像記述を基にして信頼度の高いパターン抽出を行なう。そして信頼度がある一定の閾値以上となるパターンの抽出を行なう。抽出結果として特徴物の位置と大きさの情報が得られる。これらの情報のうち、特徴物の位置情報から視点を決定する。視点の決定方法は、2.5で述べる。

視点が決定すると、視点からモデルに記述されているそれぞれの特徴物への角度と距離を求める。こうして求められた角度から画像中での特徴物の存在領域を求め、距離から特徴物の大きさを決定する。これらは、図8中のBに示す知識ベースにより決定される。

このようにして得られた画像記述は、それぞれの特徴物の三次元的位置情報を考慮して作られるため、重なり

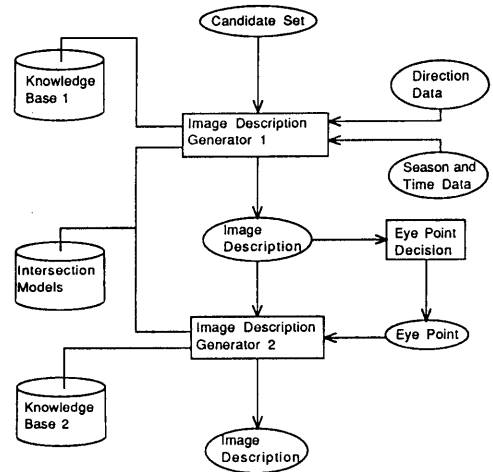


図6 画像記述の生成

条件	結論
季節, 特徴物id	特徴物の有無
時間, 向き	光線
光線, パターンid, 関係	信頼度

図7 季節と時間の変化による見え方に関する知識

条件	結論
A 画像中での特徴物の大きさ, 座標, モデル中での特徴物の大きさ, 存在空間	視点
B 視点, 特徴物の存在空間	画像中での領域
視点, モデル中での特徴物の大きさ, 存在空間	画像中での大きさ
パターンid, 背景	信頼度

図8 視点の変化による見え方に関する知識

あっている特徴物や遠過ぎて見えにくい特徴物、すでに通り過ぎて画面から外れた特徴物の抽出信頼度が修正されたものとなっている。したがって、その画像記述を基に行われる特徴物抽出の信頼性は向上する。

また、画像中での特徴物の位置が、二次元のモデルから生成された画像記述より正確に予測できるため、特徴物の抽出領域の限定が可能となり、処理の効率化が図られる。

## 2.5 視点の決定方法

ここでは特徴物の抽出結果を用いた視点の決定方法について述べる。

まず、季節と時間の変化を考慮して得られた画像記述に基づいて入力画像から特徴物の抽出が行なわれる。この時、次のような情報が得られたとする。

入力画像から抽出された特徴物の座標 (SFx, SFy)  
 モデル中でのその特徴物の位置 (X, Y, Z)  
 画像記述中での消失点の座標 (Vx, Vy)  
 ここで、求める視点の座標を (Ex, Ey, Ez) とすると、

$$E_x = \text{CONST1} \times \frac{Z - E_z}{\text{SF}_x - V_x} + X$$

$$E_y = Y - \frac{(\text{SF}_y - V_y) \times (E_x - X)}{\text{CONST1}}$$

$$E_z = \text{CONST2}$$

となる。ただし、CONST1はカメラの広角度、CONST2はカメラの高さを示す。

しかし、モデル中で特徴物の位置はL×L×Mメートルの箱状の空間の中にあると記述されているため、視点の推定範囲は、

$$E'_x = E_x \pm \left\{ \frac{L}{2} + \frac{\text{CONST1} \times M}{2 \times (\text{SF}_x - V_x)} \right\}$$

$$E'_y = E_y \pm \left\{ \frac{L}{2} - \frac{(\text{SF}_y - V_y) \times M}{2 \times (\text{SF}_x - V_x)} \right\}$$

$$E'_z = E_z$$

となる。ここで、SFx, SFyはそれぞれ±Δdの誤差を含むため、視点の範囲は、

$$\text{Max}(E_x) = X + \frac{L}{2} + \frac{\text{CONST1} \times (Z + \frac{M}{2} - E_z)}{(\text{SF}_x - V_x - \Delta d)}$$

$$\text{Min}(E_x) = X - \frac{L}{2} + \frac{\text{CONST1} \times (Z - \frac{M}{2} - E_z)}{(\text{SF}_x - V_x + \Delta d)}$$

$$\text{Max}(E_y) = Y + \frac{L}{2} - \frac{(\text{SF}_y - V_y - \Delta d) \times (Z - \frac{M}{2} - E_z)}{(\text{SF}_x - V_x + \Delta d)}$$

$$\text{Min}(E_y) = Y - \frac{L}{2} - \frac{(\text{SF}_y - V_y + \Delta d) \times (Z + \frac{M}{2} - E_z)}{(\text{SF}_x - V_x - \Delta d)}$$

$$\text{Max}(E_z) = \text{Min}(E_z) = E_z$$

となり、このx-y平面に平行な平面上のどこかに視点があると推定する。

## 2.6 検索領域の決定

視点が決まるまで、それぞれの特徴物は視点の変化に影響されない領域の中にあるものと推定する。この領域を図9に示す。

視点が決まると、その情報に基づいて各々の特徴物の存在する領域を推定する。2.5で述べたように視点はx-y平面に平行な長方形の平面として求められる。

ここで、ある特徴物が(Xi, Yi, Zi)を一つの頂点とし、L×L×Mメートルのボックスの中に存在すると仮定する。視点として推定された平面から見た、そのボックスの画像記述中での座標を求める。それらの座標のうち、x, yそれぞれの座標の最大値と最小値をXmax, Xmin, Ymax, Yminとする。

このときの画像中での検索領域の左上の点を(X1, Y1)とし、大きさを(Xs, Ys)とすると、

$$X1 = X_{\text{min}}, \quad Y1 = Y_{\text{max}}$$

$$Xs = X_{\text{max}} - X_{\text{min}}, \quad Ys = Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}$$

となる(図10)。

## 3 システム概要

ここでは、システムの構成と、システムの個々のモジュールについて説明し、システム全体の処理の流れを述べる。

### 3.1 システム構成

システム構成を図11に示す。

システムは大きく7つのコンポーネントから成る。

#### ① Candidate Selector (CS)

現在いる交差点と、進行方向、車線数から次に到達可能な交差点の候補集合を生成する。

#### ② Description Generator 1 (DG1)

CSで生成された交差点候補集合の画像記述を生成する。ここでは、季節と時間の情報を受けて画像記述を生成する。このとき、検索領域は図9に示すデフォルトの検索領域で記述される。

#### ③ Description Generator 2 (DG2)

PEで抽出された特徴物の位置と大きさ情報に基づ

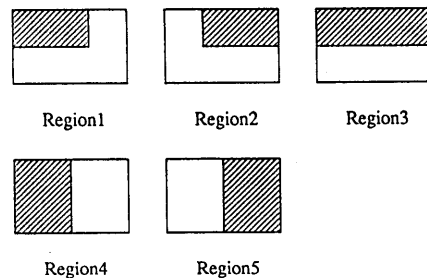


図9 デフォルトの検索領域

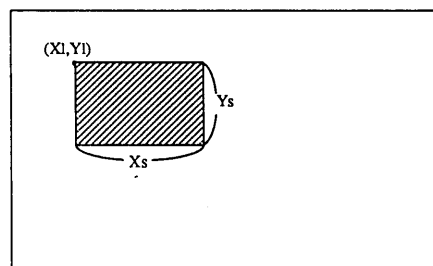


図10 視点に基づき決定された検索領域

ついてDG1で生成された画像記述の視点を修正し、詳細な画像記述を生成する。

- ④ Analysis Controller (AC)
 

DG1とDG2で生成された画像記述に基づいて、交差点候補を識別するのに有効で、かつ信頼度の高い特徴物を選択し、PEを起動する。
- ⑤ Pattern Extractor (PE)<sup>17)</sup>

ACの命令にしたがって画像からパターンを抽出する。
- ⑥ Candidate Set Modifier (CSM)
 

パターン抽出結果に基づいて各候補を評価し、評価値が低くなったものについてはその交差点候補を候補集合から外す。
- ⑦ Output Switch (OS)
 

候補が一つになったときと全ての特徴物を抽出したとき、あるいは候補が0個になったときに結果を出力する。

### 3.2 処理の流れ

処理の流れを図12に示す。

まず、現在いる交差点からCSによって次に到達可能な交差点の候補集合を生成する。選択された交差点候補のモデルに対して季節と時間に関する情報を入力する。すると、DG1は、季節と時間の変化を考慮した交差点画像記述を生成する。この記述にしたがって、ACは抽出すべき信頼度の高いパターンと、それを抽出する領域とを決定する。この決定にしたがってPEはパターンの抽出を行

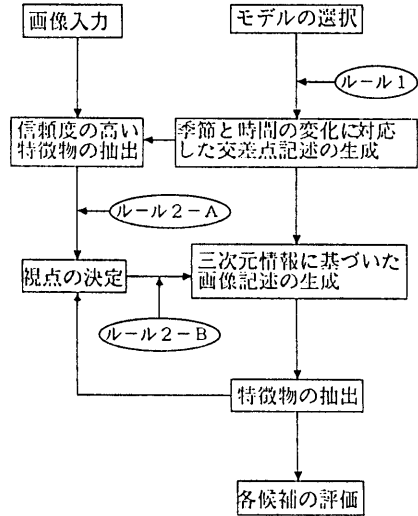


図12 処理の流れ

なう。抽出結果として得られたパターンの座標と大きさは、CSMに送られると同時にDE2にも送られる。この情報を受け取ったDG2は、視点の決定をおこなう。視点が二つ以上考えられる交差点候補については、それぞれの視点による画像記述を生成する。こうして生成された交差点画像記述に基づいて、ACは次に抽出すべきパターンを決定する。

こうしてパターンを抽出し、その抽出結果に基づいてCSMは各候補を評価し、候補集合の修正をおこなう。OSは、この修正された候補集合を調べて位置認識の結果を出力する。

### 4 解析例

解析の流れを、例を用いて説明する。

#### ① 候補モデルの選択

前回の識別結果から、自車輪は交差点Oに向かって西から走って来ていることが分かったとする。そのとき、次に到達する可能性のある交差点はA、B、C、Dの4つであるとする、交差点の候補集合は{A、B、C、D}となる。CSはこれらの交差点のモデルを交差点候補のモデルとして選択する(図13)。

#### ② 季節と時間の変化に対応した画像記述の生成

GE1は、季節と時間の情報を受取り、選択された交差点モデルからそれらの変化に対応した交差点画像記述を生成する(図14)。

#### ③ 視点の決定

生成された交差点画像記述のうち、到達可能性が最も高い候補Dの画像記述を調べ、パターン抽出の信頼度が一定の値より高いパターンである歩道橋パターンを抽出する。歩道橋パターンの抽出に成功すると、その歩道橋パターンの座標から歩道橋までの距離を求め、視点を計算する。

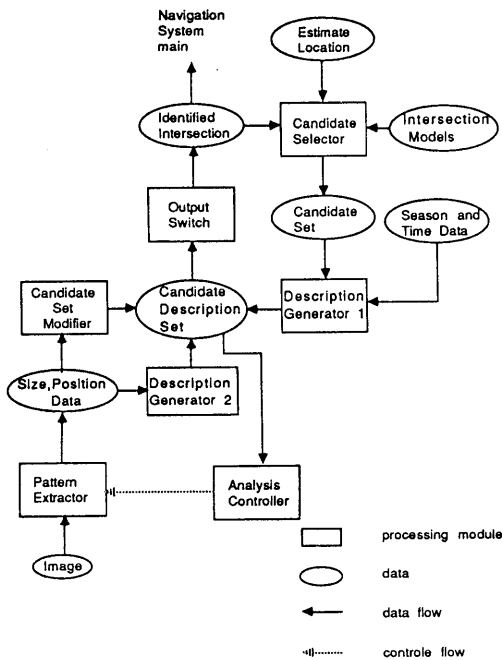


図11 システム構成

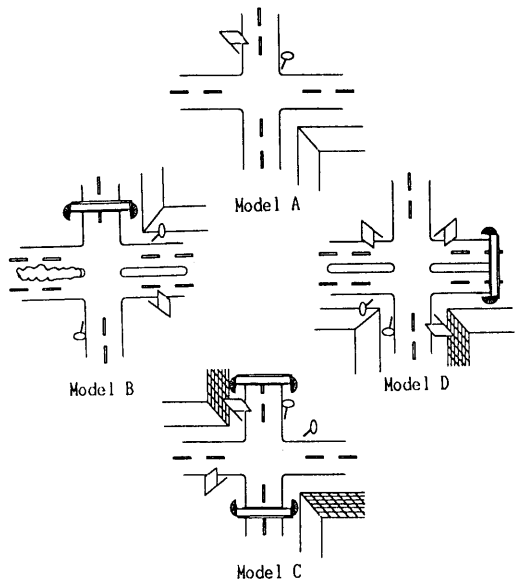


図13 選択された交差点モデル

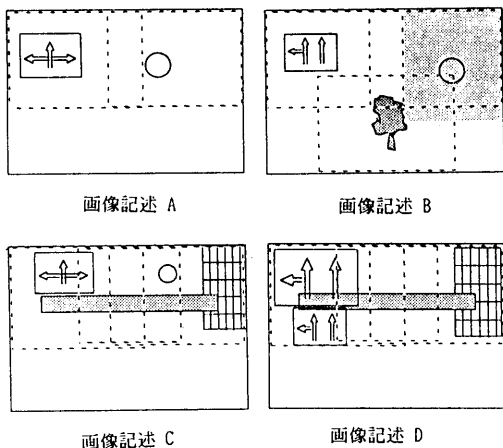


図14 季節と時間の変化を考慮した画像記述

④ 視点を修正した画像記述の生成

CとDの交差点モデルには歩道橋が存在しているので視点の修正を行なう。交差点Cについては、歩道橋が二つあるため視点が二通り考えられるので、それぞれの視点からの画像記述を生成する(図15)。

⑤ 画像記述に基づくパターンの抽出

上で生成された画像記述に基づいてパターン抽出を行なう。このとき、これまでの解析によって最も評価の高い候補を他の候補と識別できるパターンを抽出する。これらのうち、長方形パターンの方が信頼度が高いので、

長方形パターンの抽出を行なう。抽出に成功した場合、交差点Aにおける視点が決定される。

⑥ 交差点候補の評価

交差点候補の評価は抽出したパターンの信頼度に基づいて行なわれる。ある候補の評価点が、そのときの最高の評価点とある一定の値以上離れたら、その候補を候補集合から外す。一つの候補が他の全ての候補の評価点より一定値以上大きくなったとき、その候補を現在いる交差点であると判断する(図16)。

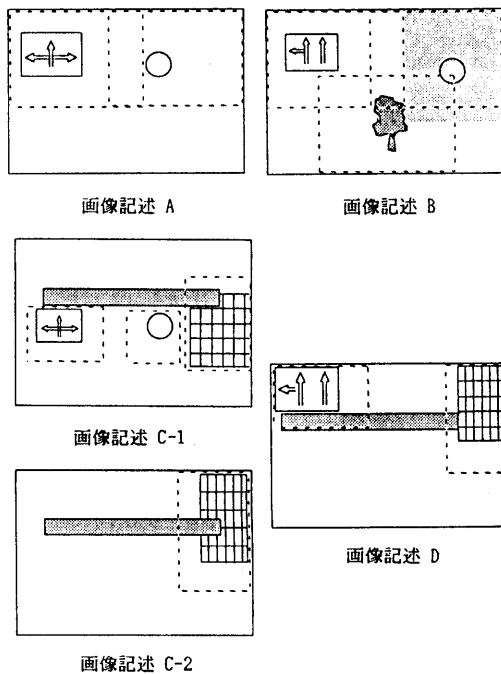


図15 視点の変化を考慮した画像記述

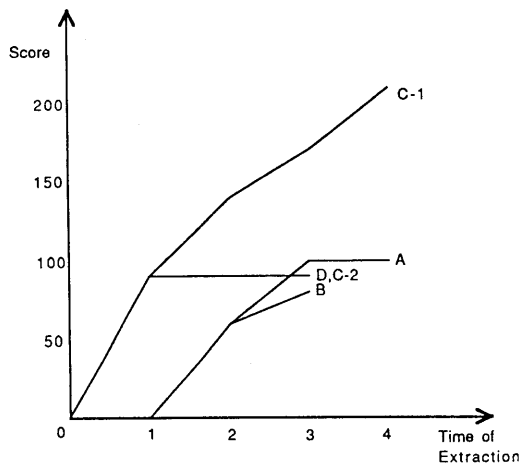


図16 候補の評価

## 5 おわりに

自動車ナビゲーションにおける位置認識手法について述べた。

車に搭載したTVカメラから取り込まれた交差点の画像に含まれる情報とシステム内のモデルとを比較し、取り込まれた画像に対して高い類似度を示すモデルを選択する。位置認識は、こうして選択された交差点モデルの位置が現在車両が存在している位置であると認識することによって行なわれる。

屋外情景を解析する際、モデル駆動方式による処理では次のような点が問題となる。

- 1 季節や時間の変化に応じて入力画像が変化する。
- 2 視点が変わると画像中の特徴物の位置、形状が変化する。

本システムでは、外部から季節と時間の情報を入力し、ルールベースを用いてそれらに対応した画像記述を生成することによって上記問題の1を解決した。

問題点の2については、画像から抽出したパターンの位置と大きさの情報を基に視点を決定し、決定された視点から見た画像記述を生成することによりこれを解決した。

システムの評価は、処理の効率と解析能力の両方から行なっている。

処理効率の評価は次のようにして行なう。

三次元のモデルを用いることによって縮小された特徴物抽出面積をS、単位面積の抽出にかかる時間をTex、視点の決定に要する時間をTeye、決定された視点を基に三次元モデルから二次元の画像記述を生成するためにかかる時間をTconとする。すると、この三次元モデルを導入することによって短縮される時間は

$$(S \times \text{Tex}) - (\text{Teye} + \text{Tcon})$$

となる。

解析能力の評価は、交差点を識別した結果により行なう。三次元モデルの導入により次のような特長がある。

- ・特徴物間の関係が細かく指定できる
- ・近過ぎる特徴物、遠過ぎる特徴物の予想ができる
- ・背景に適した閾値による抽出が可能となる

これらの特長により、識別能力は向上すると考えている。

今後の課題としては、特徴物抽出時間の短縮とモデル生成の自動化が挙げられる。前者については、アルゴリズムの改良や処理の並列化によって個々の特徴物の抽出時間の短縮を図る。後者は、一度通った道路情景をシステムが自動的にモデル化して内部に保持しておき、次に同じ道を通る時にそのモデルを参照しながら画像の解析を行うことを目的とする。このためには、TVカメラから得られる画像データだけではなく、距離センサなどからのデータが新たに必要になる。

## 謝辞

研究着手時に有益な助言をいただいた田中稔助教授、ならびに日頃討論いただいている平川正人博士他、情報システム研究室の各氏に感謝する。

## 参考文献

- [1] C.Thorpe, M.H.Hebert, T.Kanade, and S.A. Shafer, "Vision and Navigation for the Carnegie-Mellon Navlab," IEEE Trans.on PAMI, Vol.10, No.3, pp.362-373, May 1988.
- [2] M.A.Turk, D.G.Morgenthaler, K.D.Greban, and M.Marra, "VITS-A vision system for autonomous land vehicle navigation," IEEE Trans. on PAMI, Vol.10, No.3, pp.342-360, May 1988.
- [3] 森島秀実, 楊繼深, 田中稔, 市川忠男, "モデルに基づく交差点画像の識別," 電子情報通信学会パターン認識・理解研究会, PRU88-33, pp, 293-306, 1988.
- [4] 松崎, 秦, 岡本, "オブジェクト指向モデルを用いた工業用ロボット視覚エキスパートシステム," 画像理解の高度化と高速化シンポジウム講演論文集, pp.43-46, 1989.
- [5] P.Rummel and W.Beutil, "Workpiece Recognition and Inspection by a Model-Based Scene Analysis System," Pattern Recognition, Vol. 17, No.1, pp.141-148, 1984.
- [6] M.O.Shneier, R.Lumia, E.W.Kent, "Model-Based Strategies for High-Level Robot Vision," Computer Vision, Graphics, and Image Processing 33, pp.293-306, 1986.
- [7] 楊繼深, 田中稔, 市川忠男, "交差点情景の理解—道路標識の抽出—," 電気四学会中国支部連合大会, 112219, Oct. 1987.