

色情報と知識処理に基づく車載カメラ映像のインデキシング

笹木 美樹男

株式会社デンソー 基礎研究所

〒470-0111 愛知県日進市米野木町南山 500-1

あらまし 本論文では、色情報と知識処理を併用することで比較的簡単に映像記述を生成する手法を提案する。まず、MPEG 形式で記録された車載カメラ映像について、符号中の DCT 係数から得た色情報をトリガーとしてブロック画素単位のオブジェクトインデックスを生成する。次に、3次元モデルベース手法とルールベース推論を併用することで主要オブジェクトの3次元的位置関係やシーンの特徴を把握し、XML 言語の映像記述を自動生成した。更に、この記述データをユーザ側で作成した問い合わせプロファイルと照合することで、自然言語に近いクエリで画像検索が行えることを実験で確認した。

キーワード インデキシング, DCT, モデルベース, 車載カメラ映像, 画像検索

Indexing of On-Board Captured Images Based on Color Information and Knowledge Processing

Mikio SASAKI

Research Laboratories, DENSO CORPORATION

500-1 Minamiyama, Komenoki-cho, Nisshin-shi, Aichi, 470-0111 Japan

Abstract In this paper, we propose a method that generates image descriptions relatively easily by using color information and knowledge processing. At first, for each block pixels of on-board captured images that have been stored in MPEG format, we have generated object indices triggered by color information from decoded DCT coefficients. Secondly, by concurrently using three dimensional model based method and rule based reasoning, we have extracted three dimensional relative locations between major objects and scene features. Those results have been used to generate final image descriptions in XML format automatically. Moreover, we have confirmed through the experiments that it is possible to conduct image retrieval by using natural language like queries, on the basis of matching operations between the image descriptions above and query profiles.

Keyword Indexing, DCT, model based, on-board captured images, image retrieval

1. まえがき

近年、放送・編集及びマルチメディアの分野を中心として ISO の MPEG-7 など映像音声コンテンツの意味内容を記述する規格が定められた[1][2][3]。このような動きは、氾濫する膨大なコンテンツ群からユーザーにマッチしたものを即座に自動抽出し要約するという技術が、業務用機器のみならず民生機器においても切望されていることに呼応する[4]。一般にそのような記述の自動生成は信号特徴レベルでは可能だが、パターンや意味のレベルでは画像理解の問題と同様、用途を限定しない限り困難である。

しかしながらホーム、パーソナル、エンタテインメント系では、近年のカメラ付き携帯電話や車載カメラの普及に伴い、記録や検索、情報提供の観点から映像記述への要求は拡大している。例えば、有限個の定型的なインデックスを辞書で用意し、シーンの分類や視覚的特徴（支配色、動き、形状、明暗パターンなど）の記述を行うことは可能であり、実用性も高い。

本稿では車載カメラ映像を対象として、MPEG-1 形式の映像データから抽出した DCT 係数を色情報とし、画像処理と知識処理を併用したブロック単位のインデ

キシング手法を提案する。

2. 車載映像のインデキシング

2.1. めざす応用

自動車にかかわる映像処理技術は、自動運転、安全運転支援、ドライバーモニター、駐車場監視など多岐

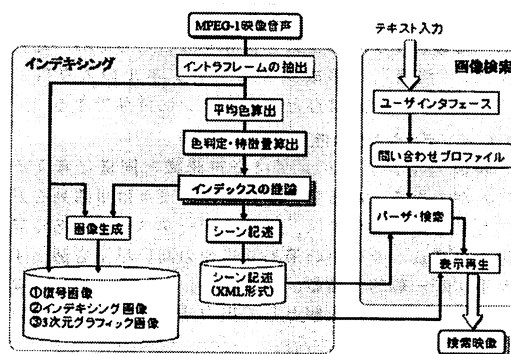
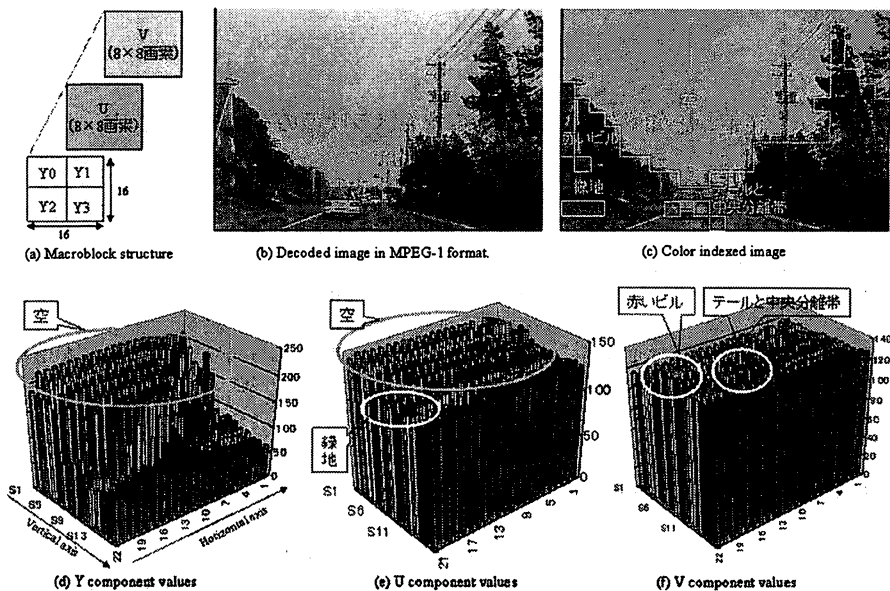


図1 システムの構成
Fig.1 System architecture.



デキシングされたブロックを復号画像にオーバーレイして強調表示した画像、認識したオブジェクトの概略位置を3次元グラフィックス表示した画像、の3種類の画像を生成する。一方で、シーン中の主要オブジェクトの存在をフレーム毎にXML形式で記述する。

画像検索部では上記のXML形式の車載映像記述データとユーザ入力による問い合わせプロファイルの内容を照合し、検索画像を表示する。

3. 色インデキシング

3.1. DCTのDC成分

MPEG形式などDCT(離散コサイン変換)を用いた画像符号化形式では一般に、符号中にYUV成分のおおのについてブロック画素のDCT係数が記述されている。中でもそのDCT係数のDC成分はブロック画素の平均値に相当することは容易に導かれる。したがってMPEG-1データ中のDCT係数のDC成分をしきい値判定すれば、新たにブロック内平均処理を行わずともブロック単位の色判定が即座に行える。たとえば、ある道路画像についてYUV各成分の分布をブロック単位で示すと図2のようになる。

3.2. 色によるオブジェクトの判定

今回、車載カメラ映像におけるインデキシングの対象として3つの色領域を考えた。各色に分類される代表的なオブジェクトは下記の通りである。

- 1) 青領域: {空(晴れ), 道路標識}
- 2) 赤領域: {停止ランプ, 街灯, 信号, 標識}
- 3) 緑領域: {緑地, 街路樹, 信号, 標識, ビル}

図3に今回の処理の流れを示す。MPEG-1形式の圧縮画像データからイントラフレーム(予測や補間を用いない独立再生できるフレーム)を抽出して、マクロブロック単位(16×16画素)で色特徴を解析した。

各ブロックを復号画像中のオブジェクトに対応付けるという作業を目視で行えば、色インデックスの条件を満たす閾値の初期データを設定できる。

3.3. 車載カメラ映像の色インデキシング例

上記のYUV成分の分布をもとに色の判定式を定め、(昼間, 晴), (夕刻, 雨), (夜間, 晴), (夜間, 雨)における車載カメラ映像のインデキシングを行った。

図3に色インデキシングの結果を抜粋して示す。目視の評価では、前方車両, 対抗車線の車両, 信号機, 看板, などの赤色領域が良好に抽出されていることがわかった。また、夜間は予想以上にインデキシングが良好に行われていた。従来、画像処理は夜間に弱いという定説があったが、人間は決して真っ暗闇の中を運転するわけではない。ヘッドライトのみでは困難だが、街灯, 他の車両, ビルの照明などが多く存在する道路

環境では、夜間でも予想以上に主要なオブジェクトを捉えることができた。特に、特徴点に相当する街灯や信号機, ストップランプ, 対抗車両などは昼間の画像よりも抽出されやすいことがわかった。

また、雨天ではワイパーが作動することとフロントガラスに雨だれが流れるために画像処理は幾分乱れる。しかし、乱反射や拡散が一樣な色領域を形成するため、大域的には赤色領域(前方車両のストップランプなど)を安定して抽出できそうだということがわかった。なお、画像中のワイパー部分は黒領域となるため、周期パターンを獲得することで比較的容易に除去できる。

4. シーンの構造モデル

単眼画像からシーンの3次元構造やオブジェクトの3次元位置姿勢を取得するには移動ステレオに基づく因子分解法や[8], 対象物の3次元モデル知識を利用するモデルベース手法などが知られている[9],[10],[11]。本研究では、静止画1枚からでも記述を生成できるという観点からモデルベース手法を採用した。これにより、シーンの静的構造モデルを2次元画像に割り付け、色インデキシングされたマクロブロックに対応するオブジェクトの概略の3次元位置を割り出す。

4.1. 道路の立体構造モデルの仮定

道路画像について図4のような立体構造モデルを仮定した[10],[11],[12],[13],[14]。これに基づき、投影されたマクロブロックの各々について3次元座標を表すマップを作成した。図5は図4の箱型のシーン構造モデルのみから得られた距離マップである。これにより、図6における赤インデックスが付与された「赤いビル」の部分の奥行き情報は3次元グラフィックス表示で図7のようになる。ここでは空と同じ奥行き位置(便宜上200mに設定)に「赤いビル」が表示されている。これは明らかに実シーンと相違しており、シーン構造

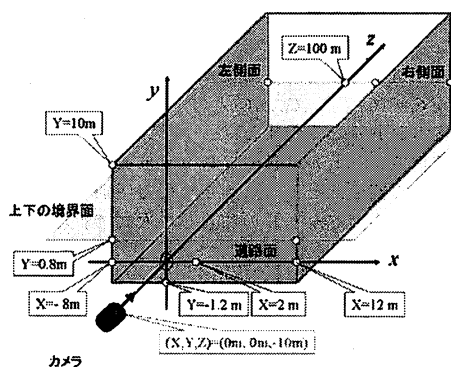


図4 道路シーンの立体構造モデル
Fig.4 Solid structure model of road scene.

モデルを修正する手段が必要となる。

4.2. 空仮説によるモデルの修正

そこで、図 8(a) に示すマクロブロック単位の Y 成分分布に着目し、空の領域は次式を満たさねばならないという仮説（これを空仮説と呼ぶ）を設定した。

$$Y_{MBK_mean}(m_r, m_c) \geq Y_{th} \quad (1)$$

ただし、

$Y_{MBK_mean}(m_r, m_c)$: 画像中、垂直方向で m_r 番目、水平方向で m_c 番目にあるマクロブロック $MBK(m_r, m_c)$ の Y 成分の平均値。

Y_{th} : 設定しきい値

である。なお、MPEG-1 形式のマクロブロック（16×16 画素）中には Y_0 から Y_3 の 4 つの Y ブロック（8×8 画素）が存在するため、次式で計算する。

$$Y_{MBK_mean}(m_r, m_c) = (1/4) \sum_{i=0}^3 Y_{BLK_mean}(m_r, m_c, i) \quad (2)$$

ただし、

$Y_{BLK_mean}(m_r, m_c, i)$: $MBK(m_r, m_c)$ 中の Y_i ブロック（ $i=0, \dots, 3$ ）の平均画素値。

である。

この空仮説を図 5 の距離情報マップに適用すると、図 8(d) のようなフィルタリング結果が得られる。これにより、上述の「赤いビル」の部分の奥行き情報は 3 次元表示で図 8(e) のように修正された。

5. オブジェクトの判別

5.1. 確信度ベクトル

笹木ら[15]は車載環境における N 個のアプリケーションやコンテンツジャンルの各々について要求度を表現する要求ベクトルという概念を導入し、制約充足型の推論システムを提案した。本稿では、この要求ベクトルをインデックスの妥当性を表現する確信度ベクトルという概念に置き換えて推論システムを構築する。

いま、あるマクロブロックにインデックス A_i を付与することに対する確信度を C_i として、

$$C = (C_1, C_2, \dots, C_h, \dots, C_N)^T \quad (3)$$

を確信度ベクトルと定義する。

この確信度ベクトルは色やブロック位置、他のオブジェクトとの関係など様々な判定規則で個別に算出した部分的な確信度ベクトルの和として次式で表現する。

$$C = c_0 + \sum_{m=1}^M c_m \quad (4)$$

ただし、 c_0 : 初期条件として与えられる確信度ベクトル（ N 次元列ベクトル）

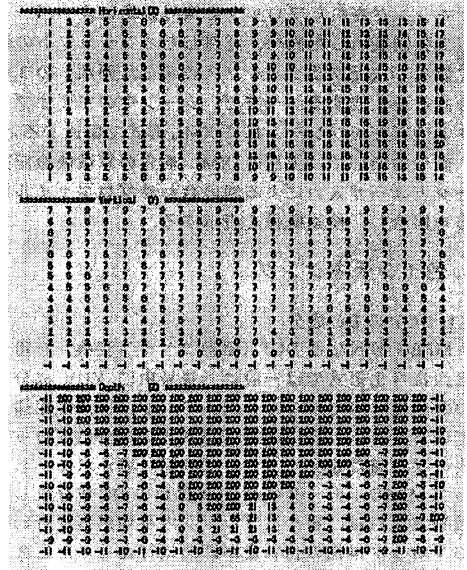


図5 道路構造モデルから推定した距離情報
Fig.5 Distance information estimated from road structure model.

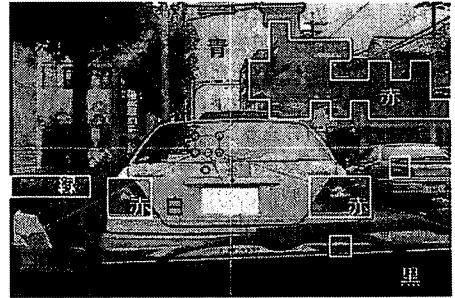


図6 色インデックス画像
Fig.6 Color indexed image.

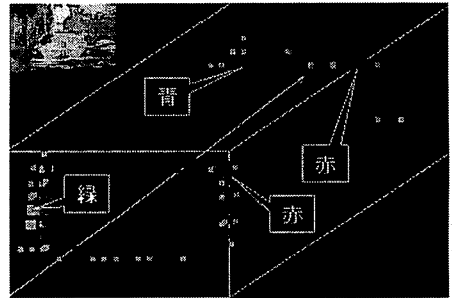


図7 奥行きの3次元表示
Fig.7 Three dimensional display of depth.

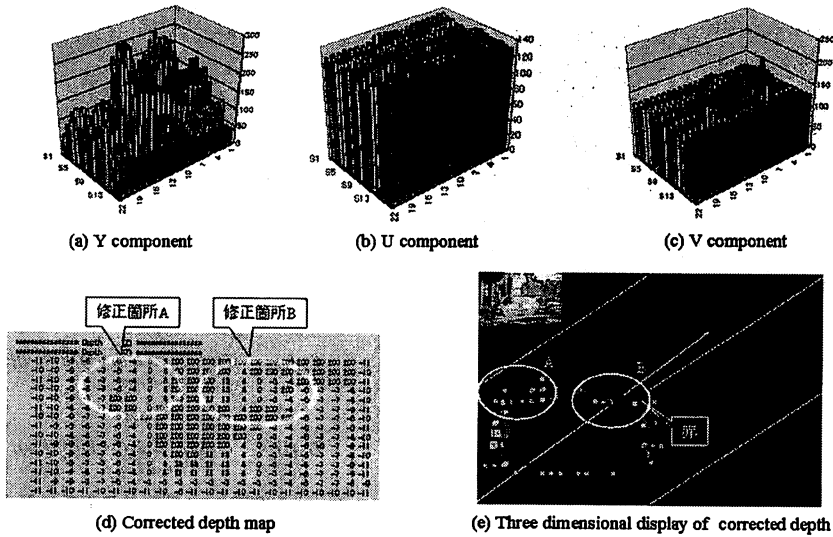


図8 空の情報に基づく奥行き修正
Fig.8 Correction of depth on the basis of sky information

c_m : m 番目 ($m=1, \dots, M$) にヒットした判定規則に対応する部分的な確信度ベクトル (N 次元列ベクトル)

である。この確信度ベクトルの最終値において、最大成分に相当するインデックスをマクロブロックに該当するオブジェクトであると判断する。

この手法の利点は従来のオブジェクト認識で用いられてきた特徴空間の分割に基づく手法に比べて、考えられる複数の解釈に対応する確信度という形で認識の状態を保持し、随時ある基準の元で唯一の解釈を動的に選定できるところにある。

5.2. オブジェクトの判別

5.2.1. 画像領域の分割

確信度を用いてオブジェクトの判別を行う際に、走行映像における経験的な特徴と道路構造モデルの情報を利用することが得策であろう。そこで、図5の距離マップに基づき、それが投影された画像面を「左下、正面上、右下、左上、正面上、右上」の6個の領域に分割した(図9)。以後、この領域情報を付して各ブロックの確信度ベクトルを管理する。

5.2.2. 前方車両

まず、安全上重要なオブジェクトの一つとして、絶えず前方に車両を仮定し(これを車仮説と呼ぶ)、確信度を計算する。具体的には水平方向に並ぶ2つのテールランプ位置のマクロブロック(赤)を検出し、あらかじめ5段階で設定した車両位置に対応するランプ間

距離のうち最もよくあてはまるものを車両位置とし、この結果を距離マップの修正に反映した。更に、テールランプの輝度変化を判定することで点灯の有無を判別した。

5.2.3. ビルと街路樹

左側面あるいは右側面の空間位置に存在し、かつ同じ色インデックスを付与された隣接マクロブロック群がある個数以上のマクロ数で構成されるときに、それは“ビル”(家屋、マンション、コンビニなどを含む)と判定する際の確信度を高めた。今回、ビルに付与した色インデックスは「赤、緑」の2色であるが、DC成分であらわされるブロック画素の平均色と距離情報のみを用いた予備実験では特に、“緑色のビル”と“街路樹”を誤認するケースが目立った。そこで、一般に

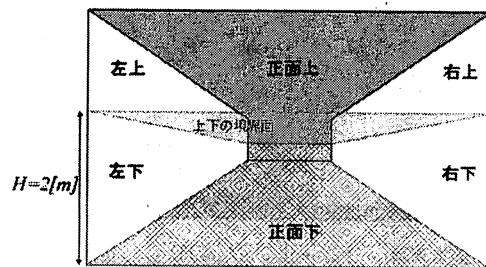


図9 画像面上の領域設定
Fig.9 Area definition on image plane.

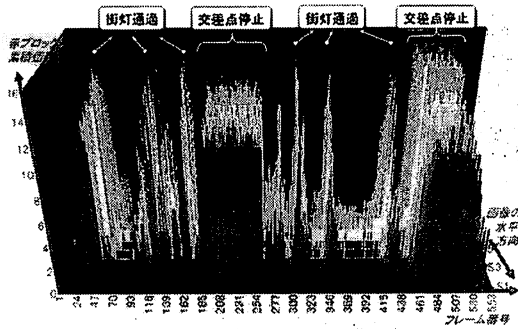


図10 赤領域(夜間)に関する時系列ヒストグラム
Fig.10 Time series histogram regarding red regions (nighttime)

樹木ではビルなどの人工構造物に比べて AC 成分が多いと仮定し、次式で定義する AC 成分発生量 Q_{AC} を調べた。

$$Q_{AC} = \sum_{l=0}^5 S_{AC}[l] \quad (5)$$

ただし、 $S_{AC}[l]$ はブロック別の AC 成分発生量であり、 $l=0,1,\dots,5$ は順に Y_0, Y_1, Y_2, Y_3, U, V ブロックに対応する添え字を表す。すなわち、

$$S_{AC}[l] = \sum_{h=0}^7 \sum_{v=0}^7 |B_l(h,v)| - |B_l(0,0)| \quad (6)$$

であり、 $B_l(h,v)$ は逆量子化後の MPEG-1 の DCT 係数ブロックの $(v+1)$ 行 $(h+1)$ 列成分である。

サンプル画像で比較したところ、カメラに対して近距離から中距離 (約 50m 以内) にある空間領域では、樹木の AC 成分発生量はビルの場合よりも明らかに高かった。一方、遠景の場合や符号化プロセスに起因し

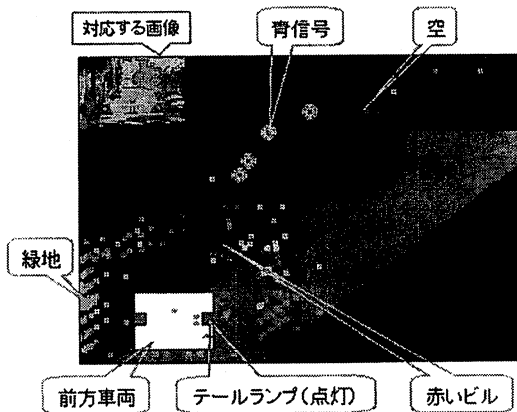


図11 推定結果の3次元表示
Fig.11 Three dimensional expression of estimated results.

てばけが多い場合には AC 成分発生量にさほど差異はなかった。したがってあるしきい値 Q_{AC_tree} について、

$$Q_{AC} \geq Q_{AC_tree} \quad (7)$$

を満たす場合を樹木、それ以外をビルと判定することは困難である。そこで、樹木の AC 成分発生量は水平方向と垂直方向で比較して余り偏りがなく、一方、ビルでは垂直方向に偏る傾向がある (水平方向の変化が少ない) ことに着目し、次式の特徴量を算出した。

$$G_{AC} = \sum_{l=0}^5 G_V[l] / G_H[l] \quad (8)$$

$$G_H[l] = (1/64) \sum_{h=0}^7 \sum_{v=0}^7 S(h+1)/B_l(h,v) \quad (9)$$

$$G_V[l] = (1/64) \sum_{h=0}^7 \sum_{v=0}^7 S(v+1)/B_l(h,v) \quad (10)$$

この G_{AC} は 2 次元 DCT 係数の発生量に関する重心位置の傾きに相当する。映像データからサンプルした街路樹とビルのブロックについて、経験的に、

$$G_{AC} \geq 7.0 \quad (11)$$

のとき樹木の確信度を高め、それ以外のときビルの確信度を高める操作を行った。

6. 状況の判別

ここでは、特に色情報の時系列変化に着目して状況を判別する方法を考察する。

6.1. 時系列ヒストグラムの判定

図 10 は渋滞のない夜間の直線道路を 5 分間走行した映像をもとに、各イントラフレームで赤インデックスが付与されたマクロブロックの数を水平マクロブロック座標毎に垂直方向に累算した結果得られる時系列ヒストグラムである。これをソース映像と対比することにより、次のような判定規則を経験的に作成した。

RN1) 画面右側に累積される赤インデックスのピークは中央分離帯に設置された『街灯を通過』する前後に現れる。

RN2) 画面左側から中央部にかけて 10 秒以上の長時間にわたり観測される赤のピークは『交差点で停止』に対応している。

RN3) 赤インデックスの個数の急激な増大は先行車両の停止ランプ点灯に対応している。

同様にまた、雨の日の夕刻の走行映像についても赤インデックスのヒストグラムを取り、次のような規則を経験的に作成した。

RE1) 『先行車への接近時』には赤インデックスのヒストグラム値が特に画面左半分が増加する

RE2) 『対向車の接近』時には赤インデックスのヒス

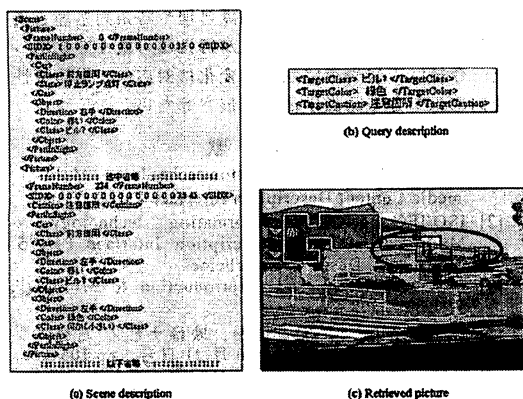


図12 シーンの記述と検索
Fig.12 Description and retrieval of scene

トグラム値が特に画面右半分で増加する
RE3)『交差点への接近』につれて赤インデックスの
ヒストグラム値は増加する。

6.2. 危険箇所の判定

フレーム間の差分電力が大きいほど運転中の視覚
への負担は大きいと仮定し、次式でフレーム番号 n の
シーンにおける危険度を算出する。

$$D_n = \frac{K-1}{K} \sum_{k=0}^5 \{W_k \sum_{i=0}^5 [Z_0(i, N_D(k), n) - Z_0(i, N_D(k), n-1)]\} \quad (12)$$

ただし、

$Z_0(i, j, n)$: フレーム番号 n の画像中の j 番目のマクロ
ブロックにおける i 番目のブロックの平均画素
値 (DCT 係数の DC 成分)

K : 危険領域の判定対象となる領域に含まれるマク
ロブロックの個数

$N_D(k)$: 危険領域の判定対象となる k 番目のマクロブ
ロックの番号

である。なお、危険度に関係なく通常の直進走行にお

いても画像周辺部はフレーム間変化は大きくなると考
えられるので、危険度の判定対象領域でも特に消失点
周辺に近いほど重み付け W_k を大きくした。

7. 実験

以上に基づき、映像中の各マクロブロックに色情報
の判定結果をもとにオブジェクトインデックスを付与
し、空、車、信号などの仮説や時系列ヒストグラム処
理を用いて認識した結果を XML で自動記述する。また、
人間が直感的にその認識結果を把握できるように
3次元グラフィックス表示を行う。更に、XML の記述
をもとに画像検索を行い、その検索効率を評価する。

7.1. 実験システム

市販ディジタルビデオカメラ (DV 形式) をカーナ
ビディスプレイ位置の背後に設置し、フロントガラス
越しに前方の道路状況を撮影した。撮影した映像音声
を PC 上で MPEG-1 形式に変換し、映像データのみを
抽出して図 1 のシステムの入力とした。

7.2. 3次元グラフィックス表示による主観評価

上述のシーン構造モデルに色と輝度の判定に基づ
く空仮説を適用して得られるモデル修正結果をもとに、
画面中の各ブロック画素に対応する3次元座標を算出
した。これにより、マクロブロックに映るオブジェ
クトあるいはその断片が、本システムによって車両前方
のどのあたりに存在すると推定されているのかを視覚
的に表現したのが図 11 である。

7.3. メタデータの生成と画像検索

上記の色、オブジェクトなどのインデキシング結果
を XML で表現したメタデータを図 12(a)に示す。これ
に対し、図 12(b)の形式で問い合わせプロファイルを
作成した。これは「注意箇所」、「緑色のビル」といった
自然言語表現に対応する。この問い合わせプロファイル
でメタデータを検索した結果の一例を図 12(c)に示
す。ここでは「赤いビル」に対応するオブジェクトも
同時に表示されているが、誤りではない。

表1 映像検索実験の結果
Table 1 Experimental results of image retrieval.

番号	時間帯	天候	道路の分類	撮影日	N_A	検索語	検索結果						
							N_R	N_P	N_Q	S	α_r	α_p	F
1	朝	晴	住宅街一般道	2004/8/10	300	緑色のビル & 注意箇所	12	10	0	0.04	1.00	0.83	0.91
2	朝	晴	住宅街一般道	2005/11/21	202	青の標識	22	11	6	0.11	0.65	0.50	0.56
3	昼	晴	郊外 有料道路	2005/10/20	277	青の標識	34	26	6	0.12	0.81	0.76	0.79
4	夜	晴	中央分離帯のあるバイパス	2005/10/20	277	先行車の停止ランプ点灯	7	5	0	0.03	1.00	0.71	0.83
5	夜	晴	中央分離帯のあるバイパス	2005/10/21	60	街灯下を通過	9	9	1	0.15	0.90	1.00	0.95
6	夕	晴	住宅街に面した大通り	2005/10/20	277	先行車の停止ランプ点灯	3	3	3	0.01	0.50	1.00	0.67
7	夕	雨	郊外の一一般道	2004/8/23	315	対向車が接近	48	48	31	0.15	0.61	1.00	0.76
平均	—	—	—	—	244.0	—	193	160	67	0.09	0.78	0.83	0.78

メタデータが事前に作成されている場合、上記の検索タスクそのものは実質的にテキストファイル中のキーワードマッチングになるため、ほとんど時間を要しない。したがって検索の効果は検索結果をブラウズする画像の枚数と内容の妥当性で判断するのが適切である。今、全体の枚数 N_A に対して検索された画像の枚数を N_R とすると、ブラウズに要する時間の短縮率 S は

$$S = N_R / N_A \quad (13)$$

で表せる。また、検索された画像中で内容が妥当な画像の枚数を N_P 、内容は妥当だが検索されなかった画像の枚数を N_Q とすれば、検索の再現率 α_r と適合率 α_p は次式で表せる[16]。

$$\alpha_r = N_P / (N_P + N_Q) \quad (14)$$

$$\alpha_p = N_P / N_R \quad (15)$$

従って、検索効率として再現率と適合率の調和平均で定義される F 尺度[16]を用いれば、

$$F = 2 / (1/\alpha_r + 1/\alpha_p) \quad (16)$$

となる。ヒューマンインタフェースの観点からは F ($0 \leq F \leq 1$) を最大化し、 S ($0 \leq S \leq 1$) を小さく抑えるような検索特性が要求される。

2 フレーム/秒の MPEG-1 イントラフレームの時系列で構成される 2~3 分程度のシーンを複数個用意し、検索実験を行った結果を表 1 に示す。

8. 考察

表 1 から、自動生成した XML 記述を用いて画像検索を行った結果、ユーザがブラウズに要する時間は平均で 1/10 以下に短縮でき、最短では 1/100 となった。また、検索効率 F は平均で 0.7 以上、最大で 0.91 を示した。一方で、今回生成した映像記述のもととなるインデックス画像を目視で確認したところ、誤判定による雑音はあるものの、特定色のビルや注意箇所、前方車両、信号などが指定した表示色でインデキシングされていることがわかった。今後は、より誤判定を低減させるために推論規則を充実させていくことが必要である。一方で、色判定処理の適応化など IF-THEN ルールのみでは記述困難な処理については統計的な推論手法を併用することが考えられる。既に我々は動き量や高周波成分も含めた多変量回帰分析を用いて景観認識実験を開始し[17]、動画像のみならず大容量の静止面データベースにも適用を行っている。これらは次回に報告することにした。

9. むすび

MPEG-1 形式の車載映像から 2 次元 DCT 係数を輝度・色情報として抽出し、ルール判定を施すことで、検索用途のインデキシングを実現できる見通しが立つ

た。更に、確信度を用いた知識処理や時系列処理を併用して比較的良好に映像記述が行える可能性を見出した。今後は天候や道路状況の変化に対応して推論特性を適応化できる認識手法に発展させたい。

文 献

- [1] ISO/IEC 15938-3 Information technology – Multimedia Content Description Interface Part 3: Visual.
- [2] ISO/IEC 15938-5 Information technology -- Multimedia Content Description Interface Part 5: Multimedia Description Schemes.
- [3] B.S.Manjunath *et al.*, "Introduction to MPEG-7", WILEY, 2002.
- [4] 進藤, 浅川, 「一家に一台, 映像ナビ」, 日経エレクトロニクス, 2004 年 6 月 21 日号, pp.105-129.
- [5] 狩集, 浅川, 「ドライブレコーダ あなたの運転, 記録します」, 日経エレクトロニクス, 2005 年 10 月 24 日号, pp.101-119.
- [6] "Information technology – Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s – Part 1: Systems", ISO/IEC11172-1 First edition 1993-08-01.
- [7] "Information technology – Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s – Part 2: Video", ISO/IEC11172-2 First edition.
- [8] 金出武雄, コンラッド・ボールマン, 森田俊彦, "因子分解法による物体形状とカメラ運動の復元", 電子情報通信学会論文誌 D-II, J74-D-II-8, pp.1497-1505, Aug.1993.
- [9] 笹木, "モデルベース顔領域抽出と領域別量子化による顔画質向上", 1997 年映像情報メディア学会年次大会 (ITE'97), p.381-382, 1997 年 7 月.
- [10] M.Sasaki, A.Toyoda, "3D Motion Estimation of a Moving Object using Model-Based Techniques", ITS95 pp.1075-1081, November 1995.
- [11] 浅田, 白井, "マルチセンサ情報を動的に統合することによる道路シーンの解釈とモデリング", 情報処理学会論文誌, Vol.31, No.12, pp.1743-1754 (Dec.1990).
- [12] Youiti Horry, Ken-ich Anjyo and Kiyoshi Arai, "Tour into the picture", Proc. SIGGRAPH'97, Los Angeles, California, pp.225-232, August 3-8, 1997.
- [13] 杉山, 目黒, 金子, "少数の透視投影画像に基づいて生成された仮想空間における 3 次元移動表現", 信学技報 MVE 2001-148 (2002-3).
- [14] 石川, 相澤, 羽鳥, "簡易モデルのあてはめによる 3 次元仮想空間の構築手法", 画像符号化・映像メディア処理シンポジウム (PCSJ・IMPS98) I-1.4, pp.9-10, Oct.26-28, 1998.
- [15] 笹木, 難波, 粉川, 小川, "車載情報通信におけるメディア適応化手法の提案 - 制約充足問題を用いた適応化手法の検討 -", 信学技報 ITS2004-22, Vol.104 No.325, pp.35-42, 2004 年 9 月
- [16] 北, 津田, 獅々堀, "情報検索アルゴリズム", 共立出版, 2002.
- [17] 笹木, 難波, "ITS における知的情報支援とそれを支える視覚通信複合技術 - 知識共有型の環境認識をめざして -", 2006 年度人工知能学会全国大会 (JSAI 2006) IE2-2, 2006 年 6 月.