生成型部分空間法を用いた車載カメラ映像中の路面標示認識

野田　雅文[†]　高橋　友和[††]　井手　一郎[†]　目加田　慶人[†††]　村瀬　洋[†]

† 名古屋大学大学院　〒 464–8603 名古屋市千種区不老町
†† 岐阜聖徳学園大学　〒 500–8288 岐阜県岐阜市中鶉 1–38
††† 中京大学　〒 470–0393 愛知県豊田市貝津町床立 101
E-mail: †{mnoda,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp,
†††y-mekada@sist.chukyo-u.ac.jp

あらまし　ITS 技術の普及に伴い交通環境を認識する研究が多く行われている．路面標示の認識もその 1 つである．本研究では，車載カメラによって撮影された路面標示を対象とした認識方法を提案する．車載カメラ映像中の路面標示には，カメラと路面標示の距離や角度，つまり幾何学的位置関係に依存する見えの変動が存在する．そのため実環境において認識が困難な場合が多い．本研究では見えの変動を考慮した学習画像を多数生成して学習を行う生成型学習を用いることで，見えの変動を含む路面標示の認識率の向上を図る．学習画像の生成過程において，実際に発生する見えの変動の要因を考察することで，路面標示のモデル化を行う．また，認識には部分空間法を用いる．実際に見えの変動を含む路面標示の認識実験を行うことによって，本手法の有効性を示した．

キーワード　路面標示認識，生成型学習，車載カメラ，部分空間法

Recognition of Road Markers in In-Vehicle Camera Images using Subspace Method with Generative Learning

Masafumi NODA[†], Tomokazu TAKAHASHI[††], Ichiro IDE[†], Yoshihito MEKADA[†††], and Hiroshi MURASE[†]

† Nagoya University　Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464–8601 Japan
†† Gifu Shotoku Gakuen University　Nakauzura 1–38, Gifu, Gifu, 500–8288 Japan
††† Tokotate University　Tokotate, Kaizu-cho, Toyota, Aichi, 470–0393 Japan
E-mail: †{mnoda,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp,
†††y-mekada@sist.chukyo-u.ac.jp

Abstract　As the ITS technology evolves, many works on recognition of the traffic circumstances. The recognition of road markers is one of them. In the paper, we propose a recognition method for road markers taken by an in-vehicle camera. A road marker in an in-vehicle camera image appears differently depending on the distance to the angle of the camera and the road marker, namely, geometrical position relation. Therefore, the recognition is difficult in a real environment. Our method attempts to improve the recognition ability of road markers under various conditions, by artificially generating numerous learning image considering change of appearance. We call this approach, “generative learning”. In the generation process of the learning images, we modem a road marker by considering the factor of the change of appearance in real environment. For recognition, we used subspace method. The effectiveness of the proposed method was confirmed through a recognition experiment of actual road marker including changes of appearance.

Key words　Recognition of Road Markers, Generative Learning, In-Vehicle Camera, Subspace Method

1. はじめに

ITS U[wÓttPM L§Ýåsrw·ï±;+›;Mo| ¦è ¥›ÝÝb”Z€U Xæ˜•oM” . ¦è ¥›ÝÝb”\qx|†¶á8§ •¢—••$w^R~Ëýsrtþ qmqßQ’•” . °`$s.÷“ÏÍtx ¢¥„•¦): w O| æM²|FM S›¦Ôb”ÏØªÔU X¹È^ •oM” . ÏØªÔ›ÝÝb”\qx|“Ï ¥›grb”Í p ;pK”}f\pŠØpx| L§ÝåT’˜’•hhþ ($ 1) ¤wÏØªÔ›ÝÝb” O› Šb”}

ÏØªÔÝÝw 1mq`o| ¢¥„›Ôb(¢wÝÝU•['•"}(¢ÝÝw Otx|ËÑ!õsrt‘lo(¢› òÜÙÅb” O [1] •µÉ”«µOt‘lo(¢–¬›U Z~å{b” O [2] srU•['•"}\•'w Ox|(¢› whþ›Ã›;MoM”hŠ|FM SsrwÏØªÔ t0`ox&;pVsM}\•t0`o|ŠZ€px|f•'w(¢p“‡•”c“|m‡“| ¢ºt Ob”ÏØªÔ› ÝÝ0Åqb”}fw‘OsÏØªÔ›0Åq`hÝÝwHR Z€q`o|~P’xÇá”åçÉ¿Äë”«q DP Ú¿½ï¬›;Mh O› Š`oM” [3]. ‡h| Li ’xÏØªÔw ÝØC›Þ”ÝïÄ›ÃpG\b”\qt‘“ÝÝ›ælo M”[4]. \•'w OxÏØªÔw Ý›Ã›b;`oM”h Š|z±$× ÙXt Ob” ÝUÌŽsÏØªÔ›ÝÝ0 Åq`oM”}\•t0`o|ŠZ€px‘“ MwÏØªÔ ›ÝÝb”\q›è$qb”} MwÏØªÔ›ÝÝpV•y| ¦):wã8UZt‘”Òè”©ï¬ž³µÄsrwá8 § UDóqs”}

L§Ýåéþ¤wÏØªÔtx|§ÝåqÏØªÔw‘m •¯S|m‡“2?¶$•” t‘ b”_Qw!^U O b”}è×|\w‘Os_Qw!^x|“ÏU ØpK”qM OQíT’(¢wØCs›;Mo| L§Ýåéþ› ÍT’ _hhþt!õb”ùè!õ›;M”\qt‘loÿnb”\ qUpV”}ùè!õÍåÝ”»w* x|øæÌw †wŸ N!=• ¢ºpwøæ•”w!=t0 b”hŠt|Ñè” Ü]qt–sæOžAUK”}`T`sU’| †srw úw O|1©srt‘”°ÌÚE!=srt‘“|žc` ‹(¢wØCUb;pV”qxv’sM}^’t|f‹f‹( ¢U O`sM“Ï‹ X Ob”hŠ|ÏØªÔÝÝwhŠ tùè!õwÍåÝ”»›×t* b”\qxqî$pxsM} ‡h| MwÏØªÔ›0Åqb”Ôùtx|rþSUÃzt ÿ<b”hŠ|ùè!õ›ælhq`o‹ÝÝU ÉpK”q MOðJUK”}

f\p|ŠØpx§ÝåqÏØªÔqw2?¶$•” w §Mt‘”_Qw!^›ÞÃç=b”\qt‘“|ùè!õÍ åÝ”»t‘ dctÏØªÔ›ÝÝb” O› Šb”}Ý Ýtxæüí O›;M|¶6^ŠpÏØªÔwjhþT’ :whþ›\Rb”\qp¶6›æO\R ¶6 [6] ›;M”} \R ¶6px|ÝÝ0Åw_Qw!^›qît `oÞÃç =b”\qUOApK”}fwhŠ|ŠØpxÏØªÔ› L §Ýåpqèb”MtC\b”_Qw!^A¼wÞÃç=tm MoU|b”}

Ž<| 2 …p\R ¶6›;M”tKhloÏØªÔw_Q w!^wj¼tmMoßo`|\RÞÃç› Šb”} 3 …p xÝÝ OtmMo\,”} Š O›;Mhîg› 4 …pæ M|5 …p¶.›‡qŠ”}

$ 1: L§Ýåéþ $ 2: “Ï Øhþ

2. 路面標示に対する生成型学習

Š Opx|ÝÝ Oq`o! tz±$$H pK”æü í O›;M”}æüí Opx|ÝÝÌq‰a ¥p¶6h þ›)Bb”\qUÝÝAL›GVX²Í^d”}\whŠt xÝÝ0Åwhþ›î ¥T’: X)Bb”žAUK”U| rGs¯µÄUTT”}°M|,jqs”jhþT’îMtI \“O”!^›> `h¶6hþ› ”t×^\RpV•y) Bw¯µÄ›_nb”\qUpV”}\w‘OtjhþT’\ R`hhþ›;Mo¶6›æO O›\R ¶6qz•}\R ¶6›;MhHRZ€pK”ÿrþS“ÏªÝÝ [7] px| î ¥tSZ”“ÏªÝw\RÞÃç› Šb”\qp|îh þ›)Bb”\qsX^S‘MÝÝUDópK”\q›Ô`o M”}ŠZ€px|\•q‰aîÊ^p;M|ÏØªÔt0b ”\RÞÃç› Šb”}

‡c| L§Ýåéþ¤wÏØªÔtSZ”_Qw!^wA ¼›ßo`|f•T’\RÞÃç› Šb”}f`o| Š` h\RÞÃç›;Mo¶6›æM|æüí ›^Rb”}

2.1 車載カメラ映像中の路面標示における見えの変動

Š…px| L§Ýåéþ¤wÏØªÔtC\b”_Qw! ^wA¼tmMoßo›æO} L§ÝåU$ 3 w‘Ot “ ÇZ’•oM”qb”}\wÌ L§ÝåwÍåÝ”»x|ô ^h(m)|ŸN (é”ç¯ $_r$(rad)|Ð¿½¯ $_p$(rad)|ä”¯ $_y$(rad)) p¯d” ($4)}‡h| L§ÝåT’ÏØªÔ ‡pw‘m› d(m) p¯b}

xaŠt“ÏU qpK“| L§ÝåUf”^•hô^| ŸNU7ŒpK”q> b”}\•’wÍåÝ”»T’{Š’ •”ùè!õæ»›;M”\qp|ùè!õæ»t‘lo L §Ýåéþ¤w“Ï›VÅ$t ÍT’_hhþt!õb”\ qUpV”}ŠØpx\•›“Ï Øhþ ($2) qz•} Š Opxrgw t›è$q`o|“Ï Øhþ›rgw0 Åqb”}\wÔù|× w“Ï Øt0b”ŸNU° pK ”s’y|§Ýåt0b”ÏØªÔwä”¯w!=t‘”_Q

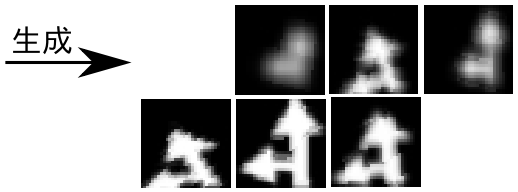

図 5: 生成した画像群の一例

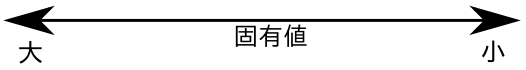

図 6: 固有ベクトル（上位 5 個）

2.3 学習画像の生成

前節で提案した生成モデルに基づき，学習画像の生成を行う．本稿では，生成パラメータの分布がそれぞれ正規分布であると仮定し，それらの平均と分散を設定する．そして，平均と分散を基に正規乱数を発生させることで生成パラメータを決定し，学習画像を生成する．図 5 に生成した画像群の例を示す．

2.4 部分空間の作成

生成した学習画像を用いて各路面標示クラスの部分空間を解像度毎に R 個ずつ作成する．部分空間は学習画像の画像特徴を低次元に近似したものであり，自己相関行列（式 6）を固有ベクトル展開することで得られる．

$$X_{m,r} = [x_{m,1,r} \cdots x_{m,N,r}][x_{m,1,r} \cdots x_{m,N,r}] \qquad (6)$$

ここで N はクラスごとに生成した学習画像の枚数とする．また，$m(=1,2,\ldots,M)$ はクラス番号，$n(=1,\ldots,N)$ は n 番目の学習画像を表し，r は $r(=1,2,\ldots,R)$ 段階目の解像度の画像とする．この学習画像中の画像をラスタスキャン順に並べて 1 次元ベクトル化したものを $x_{m,n,r}$ と表す．部分空間法では，このように求めた固有ベクトルのうち，固有値が大きい方から順に $L(\leqq N)$ 個に対応する固有ベクトルから構成される部分空間を認識に用いる．実際に得られた固有ベクトル画像の例を図 6 に示す．

3. 路面標示認識

本稿では，車載カメラと道路平面の関係から事前に算出した射影変換行列を用いて道路平面画像を作成する．そして，道路平面画像中の路面標示領域を切り出す．路面標示領域は周辺の道路領域に比べて一般的に輝度が高いため，単純な 2 値化手法によって，抽出することを考える．はじめに，判別分析法 [8] によって道路平面画像全体の 2 値化を行う．その画像に対してラベリング処理を施し，画像の水平方向中心に近くに存在するものを候補領域として切り出す．そして，得られた領域を中心として領域の拡張を行い，路面標示が完全に含まれる最小の矩形領域を路面標示領域として求める．最後に 32 × 32（pixel）の画像に正規化する．正規化した路面標示領域を入力として各クラス，各解像度の部分空間との類似度を以下の式で計算する．

図 7: 路面標示（正規化済）

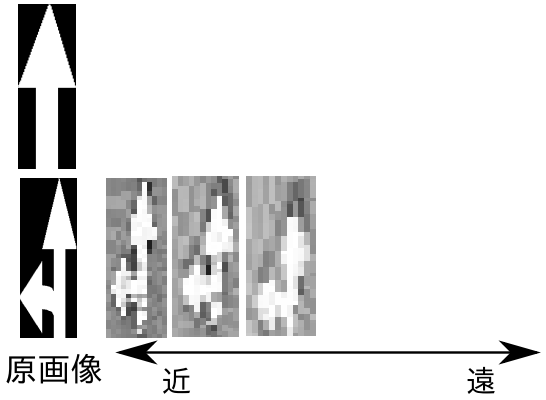

図 8: 認識対象の路面標示

$$s_m = \sum_{l=1}^{L} (u_{m,r,l} \cdot y)^2 \qquad (7)$$

各クラスに対して，入力路面標示領域と部分空間の類似度を計算し，最大の類似度を与えるクラスを認識結果とする．

4. 実　　験

提案手法を用いて，路面標示の認識実験を行う．今回は「直進」,「直進+左折」,「速度制限 30km」など 9 種類の路面標示を認識対象とした．これらの原画像を図 7 に示す．表 1 に示す生成モデルの各パラメータの平均と分散を用いて，これらの原画像から学習画像を生成し，部分空間を作成する．今回，この平均と分散は実験的に決定した．また，学習画像の数は 200 枚とし（N = 200），解像度は 20 段階とした（R = 20）．

道路平面画像上から実際に切り出した路面標示 500 枚を認識の際の入力画像として使用した．入力された路面標示の例を図 8 に示す．今回は車載カメラの設置位置などの正確な情報がなかったため，車載カメラ画像から道路平面画像に変換するための射影変換行列は自車が正面を向いているときの車載カメラ画像中の白線上の点を基準として算出した平均を用いた．また，自車から路面標示までの距離に応じて路面標示画像を 3 グループに分け，全体，および，各グループごとの認識率を求めた．各グループは近い順にグループ g（=1,2,3）とし，図 9 にこれを表す．認識に用いる固有ベクトルは，固有値の大きさが上位 4 個に対応するものを使用した（L = 4）．学習・認識に関するパラメータを表 2 に示す．

比較手法として学習画像生成を行わずに各路面標示の原画像と入力画像との正規化相関に基づく認識手法を用いた．