

道路上の影の検出

SHADOW DETECTION ON ASPHALT ROAD

陳 暁静 小谷 信司 森 英雄

CHEN Hsiaojing KOTANI Shinji MORI Hideo

山梨大学工学部

YAMANASHI University

あらまし 自律移動ロボット晴信4号機は道路境界に沿って移動することができるが、道路上に建物や樹木などの影が存在すると、移動に失敗する。これは道路上に影があると、道路境界の抽出に失敗したり、影を障害物と誤認し走行できなくなるからである。本報告は太陽光線と青空の乱反射光線のスペクトル分布の相違に起因する日向と日影の道路領域のRGB成分の差異に着目し、道路上の影領域を消去し、道路境界を抽出する方法について述べる。この方法で白線のあるアスファルト道路に適用したところ、ほぼ80%のシーンで日影の消去と白線の抽出に成功した。

Abstract Self-contained robot HARUNOBU-4 can move along a lane mark, but it can't move on roads where there are shadows of buildings and trees because it is not able to extract sign pattern on shaded road regions or may think them as obstacles and avoid them. This paper will pay attention to the differences between RGB components of color of sunny and shaded road regions caused by differences between the reflecting light's spectrum distributions of sunshine and blue sky, and describes a shadow eliminating method. By this method we eliminated shaded regions and extracted out sign pattern with 80% success of road scene.

1. はじめに

屋外を移動する自律移動ロボットにとって影は大問題である。第一の問題は、日向と日影の混在するシーンでは道路環境などのサインパターンの抽出が困難になることで、第二の問題は影を障害物と見なしてしまうことである。

第一の問題に対して、カーネギー・メロン大学の移動ロボットNavlabは各画素のR、G、B値を $(R+G+B)$ で割って規格化してから、道路領域と非道路領域にクラス分けした。この方法でおおよそ成功するが失敗する場合も少なくないと報告している[1]。マーチン・マリエッタ社の移動ロボットALVinは、Shadow Boxingと名付けた方法で影を消去する方法を提案している。この方法ではRed-Blue空間に日向の道路の画素と日影の道路の画素の散布図を作った時、日向の道路のRed対Blueの割合と日影の道路のRed対Blueの割合が異なり、日影の道路の分布はBlue成分が強調した方にシフトしていることに着目し、Red-Blue空間を回転して日向の道路標本と日影の道路標本を二つの箱で囲む方式である。この方法はまだALVinに組み込まれてはいない[2]。

第二の問題については、NavlabもALVinも3次元レンジセンサーで環境の奥行き地図を作り、障害

物を検出する方法を採用している[3][4]。この方法は影に影響されないという利点があるが、障害物の表面がレーザービームに対して斜めになっていたり、吸収する素材でできている場合には計測不能で、高価格などの欠点があり、実用的とは言いがたい。室内を移動するロボットについては、ステレオ視を使用するシステムがある[5]。

1982年より開発を開始した自律移動ロボット晴信は現在4号機で、サインパターンに基づく定形行動を移動戦略にしている[6][7]。画像処理は①カラーTVカメラで道路環境の画像を取り込む；②画像を微分し、エッジを抽出する；③エッジを境界にして原画像を領域分割し、各領域を面積、中心座標、RGB値などの属性で表現する；④面積、RGB値などの領域の属性を手がかりに、道路領域を抽出する；⑤予測サインパターンを手がかりに道路領域の境界を近似する直線を抽出し新たなサインパターンとする；⑥新たなサインパターンを次の予測サインパターンとする。この処理過程の中で、影は日向との境界でエッジをつくり、道路上の日向領域と日影領域は別々の領域になり、影領域は障害物候補領域となる。時々ロボットは日影領域を障害物と見なして避けてしまう。

そこで、影の領域を消去し、正しいサインパタ

ーンを抽出する方法を研究する。日影の消去にはALVinと同様に、日影の道路の色は日向の道路の色に比してBlue側にシフトしている性質を利用する。問題はTVカメラのダイナミックレンジが狭いため、この現象がテレビ画面で観測できないことがあることである。言いかえると、日影の閾値がシーンによって異なることである。

2. 道路の反射光

太陽と青空の光は道路にあたって、道路に反射される。その反射光の反射スペクトラム $H(\lambda)$ は以下のような式で表される。

$$H(\lambda) = \rho(\lambda) \{ (L \cdot H) H_{\text{sun}}(\lambda) + H_{\text{sky}}(\lambda) \}$$

λ は波長、 $\rho(\lambda)$ は道路の反射係数、 $(L \cdot H)$ は太陽光の道路の法線方向の割合、 $H_{\text{sun}}(\lambda)$ は太陽光のスペクトラム、 $H_{\text{sky}}(\lambda)$ は青空の拡散光のスペクトラムである。

撮像素子面での入射光の強度 I がダイナミックレンジの範囲内にある場合のみビデオ信号は意味を持つ。そのレンジより低ければ、ビデオ信号はノイズレベルになり、高ければ飽和レベルになる。撮像素子の入射光強度はレンズの絞りによって変わる。レンズの絞りは画面全体の入射光の積分値によって制御される。テレビカメラが道路を向いているとき、道路全体が日向にあれば、レンズの絞りが閉じ、日影にあれば、絞りは開く。図1は横軸に道路の反射光の強さ I をとり、縦軸にビデオ信号の値をとったものである。道路における日影の割合は小さいときは、ダイナミックレンジを表す曲線は図1の(a)のようになり、日影の割合が増すと、(b)のようになる。日影の反射光強度がほとんど一定であるため、影の部分のビデオ信号は S_{min} から S_{max} までの区間内に変動する。

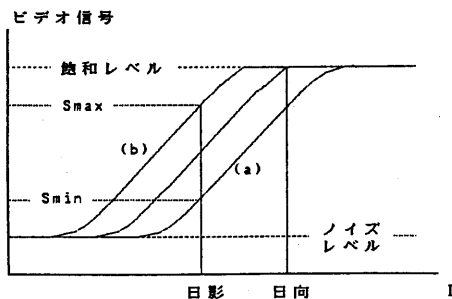


図1. ビデオ信号と反射光の強度 I との関係

3. 色チャートによる日向と影のRGB値計測

日向と日影で物体の色がどのように変わるのかを調べるために、テレビジョン学会のTVシステム色評価用チャートを使って計測した。

期日：昭和62年12月8日（快晴）

昭和63年1月20日（曇り）

場所：山梨大学構内

時間：午前10時，正午，午後3時

カメラ：SONY 8mmビデオハンディカム

イメージメモリ：日本アスコム（株）製，分解能320×240画素，RGB各6ビット（RGB値は63レベルで飽和し15レベルでノイズレベルになる）

条件：自動絞り，自動色補正，三脚固定下向き

試料：色再現、演色性評価用チャート

方法：8mmビデオに録画した色チャート画像をイメージメモリに取り込み、マウスで得たい色の点を指し、その点の周辺3×3の平均値をとる。この処理を2回行って、その平均値をデータとする。

分析結果は以下の通り：

- (1) 色チャートの平均明度は晴天、曇天、日向、日影、時間に無関係で平均明度の変動はほとんどない。これは自動絞りの機能が働いているためと思われる；
- (2) 冬の晴天の日は、午前10時と正午に差はない。午後3時になると日向での色チャートのRの平均値が上昇する；
- (3) 日向から日影に入ると、色チャートのRの占める割合 r は減少し、Bの割合 b は増加し、Gの割合 g は変わらない。正午に計測したRGBの相対 $r g b$ 値を表1に示す。

表1. 晴天の日向と日影の $r g b$ 値

色相	晴天日向			晴天日影		
マゼンダ	.44	.17	.39	.34	.20	.46
赤	.61	.23	.16	.59	.22	.19
黄	.39	.39	.22	.31	.41	.28
白	.33	.33	.33	.22	.34	.44
緑	.13	.46	.41	.13	.46	.41
シアン	.10	.45	.45	.09	.42	.49
青	.17	.22	.61	.18	.22	.60

マゼンダ、白は日向から日影に入ると、 r が10%減少し、 b が10%増加する。黄は日向から日影に入ると、 r が8%減少し、 g と b が各々4%ずつ増加する。緑、シアン、青は日向から日影に入っても変わらない。

4. 視野全体の明るさの効果の計測

視野全体の明るさによってレンズの絞りが開閉し、道路の影領域のRGB値は変化する。そこで

TVカメラを道路に向け、大きな板で視野内の影の面積を変化させて日向と日影の道路領域のRG B値を計測した。

期日：昭和63年12月20日、午前11時
 場所：山梨大学構内アスファルト舗装道路
 テレビカメラ：日本ビクター BR-S20
 イメージメモリと条件：3節と同じ

計測結果は表2.に示す（飽和値が63である）。

表2.影の占める割合と日向、日影領域の色

影の割合 %	日影領域の色			日向領域の色		
	R	G	B	R	G	B
0.00				38	38	38
12.33	22	24	24	42	42	40
22.30	24	26	26	44	44	42
58.30	28	32	32	54	54	52
65.57	30	34	34	58	56	56
86.88	34	36	36	62	62	60
100.00	34	38	40			

表2.から、次のことが言える。

- (1) 日影領域の割合にかかわらず、 $R/(R+G+B)$ と $B/(R+G+B)$ は表3.のようになる；

表3. 日影領域と日向領域のrとb

	$R/(R+G+B)$	$B/(R+G+B)$
日向領域	0.33~0.34	0.32~0.33
日影領域	0.30~0.32	0.33~0.36

- (2) $R+G+B$ の和yを影の割合xの線形式

$$y = ax + b$$

で表すと表4.のようになる。

表4. 方程式の係数値

	a	b
日向領域	0.82	114
日影領域	0.54	63

5. 影検出アルゴリズム

上の記述した計測結果より、以下のような影検出アルゴリズムを作成した。

- ① 直前に走行していた日向通路の色 (KR,KG,KB)より、
 $Kr=KR/(KR+KG+KB)$
 $Kb=KB/(KR+KG+KB)$

を計算する。Kr、KbはそれぞれRとB成分の占める割合である；

- ② 画像を取り込む；

- ③ 取り込んだ画像の各画素の色 (SR,SG,SB)について、
 $Sr=SR/(SR+SG+SB)$
 $Sb=SB/(SR+SG+SB)$ を計算する；

- ④ SR、SBは一定の範囲にあるか？

- ⑤ $rmin < Kr - Sr < rmax$ を満たすか？

- ⑥ $bmin < Sb - Kb < bmax$ を満たすか？

- ⑦ ④⑤⑥を満たす画素の色を (KR,KG,KB) に変える；

- ⑧ 後は通常の画像微分、領域分割、サインパターン抽出を行う。

④中にある”一定の範囲”というのは前の図1.のSminからSmaxまでの範囲を意味し、飽和レベルの25%から65%までとする。⑤と⑥の式にある四つのパラメータrmin、rmax、bmin、bmaxは日なたと日影のR、B成分それぞれの占める割合の差を限定するものである。影の領域と障害物の領域を区別するためには、障害物候補のR、B成分それぞれの占める割合を重要視しなければならない。この四つのパラメータを適当に決めておけば、影を検出し、その影に埋まれるサインパターンを抽出することができる。

以上の影検出アルゴリズムを68000(8MHz)上でアセンブラにより実現してみた。ただし、②と③の間にノイズ除去のために画像を2×2のマスクで平均化する操作を加えた。画像処理の範囲、影の面積、及び各画素のR、B値によって処理速度が異なる。表5.は処理範囲270×120画素における最小と最大処理速度を示す。

表5. 最小と最大処理速度

全ての画素が④⑤⑥を満たさない	全ての画素が④⑤⑥を満たす
0.5 秒	1.5 秒

画像処理の際、このアルゴリズムの成功率は白線のある道路上ではほぼ80%となり、白線のない道路では道路の境界がはっきり撮れないため、50%以下である。そして、建物のような日影が検出しやすい。木のような日影の場合は、太陽光が木の葉

の間を通して影領域の中で多くの小さな日向領域をつくり、干渉光のせいで影の色は上記のアルゴリズムの条件④⑤⑥を満たさないこともあるため、わりに処理にくい。

6. 処理例

以下の二つの影消去例は、アスファルト道路上に白線があり、ロボットはその白線に沿って移動する沿目標移動のシーンである。

第一の例は原画像図2.aに示したように道路上に木の影があり、その影の影響で抽出されたサインパターンは白線からかなりずれており(図2.c)、ロボットは木の影を高さのある障害物と見なして避けてしまう。この時、影検出ルーチンを実行すると、道路は図3.aのようになり、ウィンドウ内の日影の部分が埋められた(パラメータはそれぞれ $r_{min}=0.02$ 、 $r_{max}=0.1$ 、 $b_{min}=0.02$ 、 $b_{max}=0.1$ と設定した)。そして、画像微分(図3.b)、領域分割、サインパターン抽出を行った結果(図3.c)、抽出されたサインパターンは白線と一致している。

第二の例は、道路上に建物の影がある。図4.aと図4.bは原画像とサインパターン抽出結果を示す。建物の屋根の影の影響で誤ったサインパターンが抽出された。影検出ルーチンを実行すると、道路は図5.aに示したようになり、サインパターン抽出した結果(図5.b)は正しく、白線と一致している。

7. おわりに

日向から日影に色チャートを移したときの基準色の $r-b$ 空間における変位を図にすると、図6. のようになる。この結果から、ALVINで提案している $r-b$ 座標軸の回転では色の恒常性が得られないことがわかる。

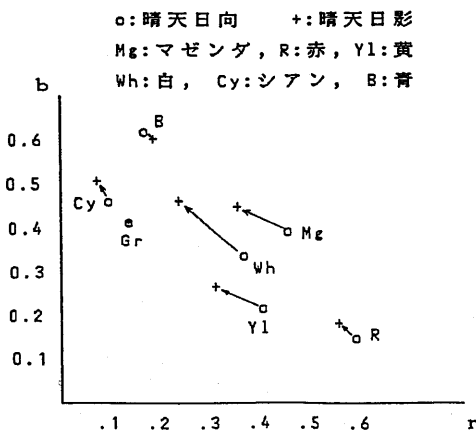


図6. 日向から日影へ移動したときの基準色の $r-b$ 空間の変位

道路上に樹木の影の存在するシーンより、日影と日向の領域から100個の点をサンプルして描いた画素の分布図を図7.に示す。二つの等確率楕円はそれぞれ日影と日向の分布を表す。横軸と縦軸は5節のアルゴリズムの項③に述べた S_r と S_b にする。

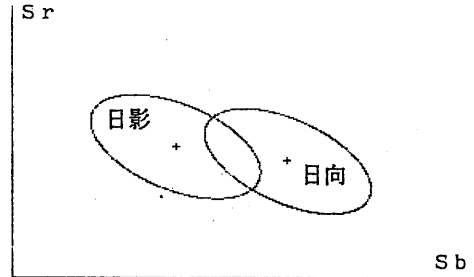


図7. 日影と日向の分布図

日影と日向領域の分布は重なり合っているため、R成分の占める割合 S_r とB成分の占める割合 S_b では日影を日向領域と完全に分けることができないことがわかる。すなわち、条件④⑤⑥によって判別するには一定の曖昧さが生じる。例えば、暗い色をする障害物のRとBの値は④⑤⑥を満たすケースもあるため、影とされて埋められることが起こりうる。

今後の課題としては影の特性をもっと深く追究し、影検出における不確実性をできるだけ減少することである。

参考文献

- [1] R.Wallace, K.Malsuzaki, Y.Goto, J.Crisman, J.Webb, & T.Kanade: Progress in Robot Road-Following, Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, 1986, 1615-1621
- [2] M.A.Turk, K.D.Greban, & M.Marra: VITS - A vision system for autonomous land vehicle navigation, IEEE Trans. on PAMI, Vol.10, No.3, 342-360, 1988
- [3] R.t.Dunlay & D.G.Morgenthaler: Obstacle avoidance on roadways using range data, Proc. of SPIE Vol.727 Mobile robots, 1986, 110-116
- [4] C.Thorpe, M.H.Herbert, T.Kanade, S.A.Shafer: Vision and Navigation for the Carnegie-Mellon NAVLAB, IEEE Trans. on PAMI, Vol.10, No.3, 361-372, 1988
- [5] 渡辺、小野口、麻田: ステレオ視を用いた障害物検出システム, 情報処理学会コンピュータ

ータビジョン研究会, 1989年1月

[6] 石黒、小谷、森: “視覚移動ロボット” 晴信4号機”の開発, 情報処理学会第36回(昭和63年前期)全国大会講演論文集 2V-4

[7] 中井、齊藤、森: “視覚移動ロボット” 晴信4号機”の開発 No.2 — 沿目標移動における視覚行動供応 —, 情報処理学会第38回(昭和64年前期)全国大会講演論文集

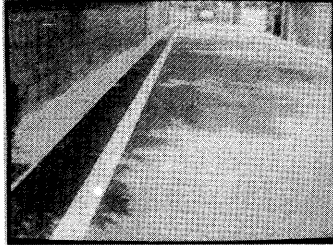


図2.a 原画像

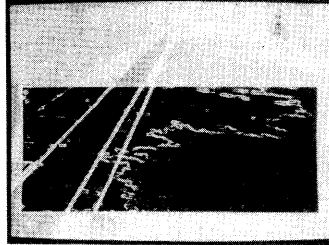


図2.b 微分画像



図2.c サインパターン抽出

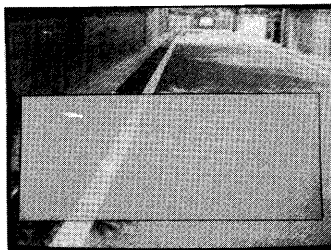


図3.a 影検出後の画像

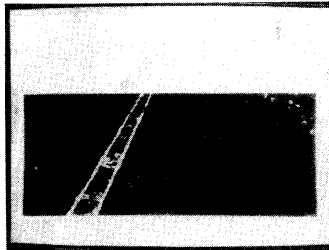


図3.b 微分画像

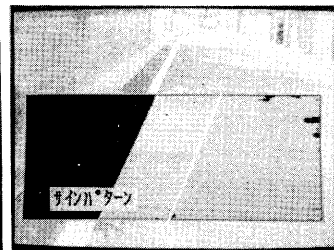


図3.c サインパターン抽出

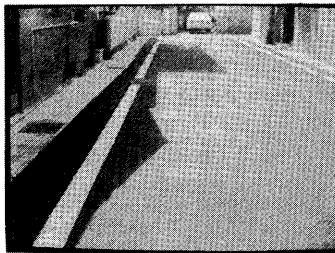


図4.a 原画像

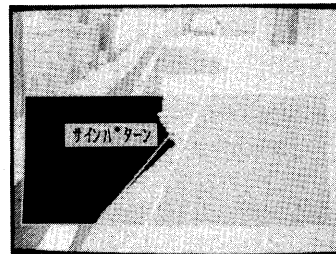


図4.b サインパターン抽出

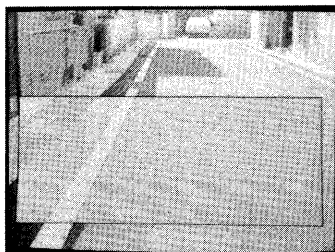


図5.a 影検出後の画像

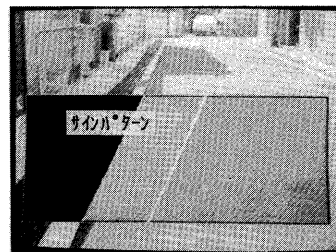


図5.b サインパターン抽出