

ロボットに搭載可能な非接触による摩擦係数推定システム

佐々木良輔[†] 齋藤琢弥[†] 後藤泰介[†] 高塚崇文[†] 田村仁[†]

日本工業大学 工学部 創造システム工学科

1. はじめに

自動車やロボット等の車輪を搭載した製品において、モータ駆動で移動する際の路面状態の変化は非常に重要な問題である。

そのため、非接触での判断手法が必要と考える。さらに、前方路面を予測できれば状況に適した制御を行うことができ、安全に走行可能となる。

そこで本研究では、田村らが考案した形状通過型フィルタ^[1]を利用し、路面に存在する微小な凹凸や溝等を特徴値として路面の判別とその状態推測を行う手順を考案する。

2. 微小形状特徴

微小形状特徴とは、図1に示すような、細長い特徴や粒的特徴、角張った特徴などの計9種類である。また画像を見ていくマスクサイズは5から21画素の5サイズで、これにより特徴量は形状特徴9種類×5サイズ(5,7,11,15,21)で計45種類となる。

しかし、微小形状のみでは印刷された床画像などを判断できないため、前年度の研究^[2]で微小凹凸特徴が提案された。

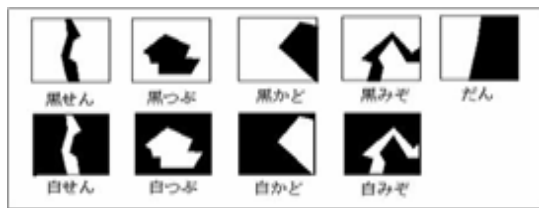


図1 微小形状特徴の種類

3. 微小凹凸特徴

微小凹凸特徴とは、撮影画像に対して垂直方向に光源を設置し、照射することによって床表面の微小な凹凸を影の有無によっ

て判別する方法である。光源はLEDを使用する。凹凸が無い対象物は光を与えても影ができないため、凹凸が無いと判断できる。そのため、表面の微小凹凸特徴を検出し、摩擦係数推定の精度向上を図る。微小凹凸特徴の抽出イメージ図を図2に示す。

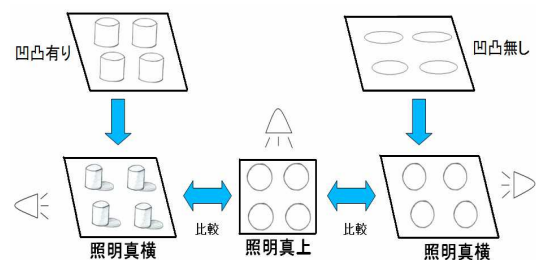


図2 微小凹凸特徴の抽出

4. 測定手順

4-1 実摩擦係数の測定手順

実摩擦係数の測定は床画像の撮影と同時にを行う。

測定方法は、測定する表面のごみを除去し、テグスを測定器に対して垂直に、測定する表面に対して平行にして引く。測定器本体が動き、ゲージが止まった値を測定結果とする。これを50回測定し、その平均の値を対象の摩擦係数とする。

4-2 床撮影の測定手順

サンプルの床画像の撮影には、一眼レフカメラを使用する。真下の床画像の撮影には、下部にLED光源が設置されたマイコンロボットを用いる。また、上部からも光源を当てるためスタンドライトを使用している。

撮影は、床からカメラまでの距離を60センチとする。前方の床画像は、カメラから1m,2m,3mの位置を撮影した。撮影場所は学内の15箇所で行った。



図3 撮影した画像例(左が前方2m,右が真下)

5. 各床画像の推定手順

推定式の構築には F-in、F-out を 2 に設定した増減法の重回帰分析を用いる。説明変数は、先に記した微小形状特徴 45 種類とし、目的変数は静止摩擦係数とした。推定式は以下のような線形結合式である。

$$y = (a_0 * X_0) + (a_1 * X_1) + (a_2 * X_2) \dots + (a_n * X_n)$$

x は分析によって選択された特徴値とし、a はその係数。n は選択要素数である。

微小凹凸特徴の検出は、下記手順である。

- ① LED 光源有りの 45 種類の特徴(A)LED 光源無しの 45 種類(B)の特徴を合わせ、全 90 種類の特徴とする。
- ② (B)から(A)の差分を取り、その差分画像を(C)とし、それらを組み合わせた 90 種類の特徴とする。

以上の特徴量を重回帰分析する。さらに前方の床画像には判別分析を行う。

6. 結果

撮影画像から抽出した微小形状特徴量を図 4 に示す。

同一の床を撮影した25枚に別箇所を撮影した1枚の画像を比較したもので、同一箇所の特徴量は、ほぼ同じ特徴を抽出しており、別の箇所と比較を行うことは可能であると言える。

前方路面で判別分析を行った結果、表1のようになった。群1が同じ箇所の真下、1m、2m、3mの画像である。群2はそれ以外の箇所を撮影した画像である。結果から群1は比較的同じ画像と認識された。

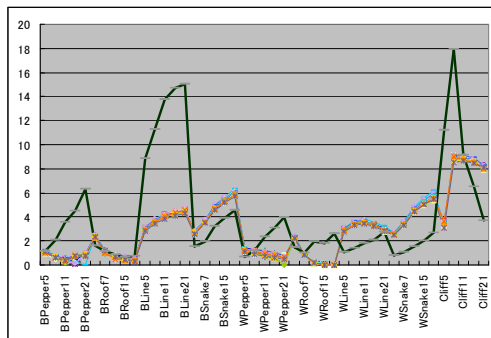


図4 形状通過型フィルタにかけたグラフ

表1 判別クロス

| 判別クロス表 | 群1 | 群2 | 全体 |
|--------|-----|------|------|
| 0以上 | 106 | 90 | 196 |
| 0未満 | 1 | 2264 | 2265 |
| 全体 | 107 | 2354 | 2461 |

表2 重回帰分析の結果

| 説明変数 | 偏回帰係数 | F値 | | | |
|----------|-----------|-------|----------|-------------|-------|
| WLine21 | 0.0102722 | 47.19 | WSnake21 | -0.01414299 | 17.12 |
| Cliff21 | -0.006619 | 23.59 | WRoof11+ | 0.017409061 | 10.25 |
| Cliff21- | 0.0099788 | 36.74 | WPepper7 | 0.011597661 | 52.33 |
| WPepper1 | 0.0066903 | 5.955 | BPepper7 | -0.01416964 | 16.33 |
| BPepper1 | 0.0125784 | 24.74 | BPepper5 | 0.03890628 | 24.85 |
| WRoof5 | -0.032942 | 65.7 | WPepper1 | -0.01292853 | 6.276 |
| WRoof7- | 0.039804 | 69.96 | BPepper7 | -0.03225209 | 34.54 |
| BLine7+ | -0.007008 | 6.49 | BSnake5+ | -0.03477115 | 8.21 |
| WSnake21 | 0.0070893 | 24.31 | BSnake7+ | 0.025184097 | 7.271 |
| BPepper1 | -0.01306 | 25.56 | BSnake15 | -0.00589961 | 9.338 |
| Cliff21+ | -0.002518 | 4.845 | WSnake5 | -0.02268761 | 3.028 |
| Cliff5+ | 0.0058281 | 20.11 | WPepper5 | 0.00985883 | 3.765 |
| WSnake11 | -0.029276 | 9.729 | BLine7- | -0.00845534 | 9.432 |
| BSnake21 | -0.007826 | 36.1 | BSnake5- | 0.043205647 | 10.77 |
| WSnake5- | 0.0836521 | 25.98 | BLine5 | 0.006205777 | 3.958 |
| WSnake7- | -0.0756 | 33.36 | WRoof15 | -0.02062867 | 19 |
| Cliff15+ | -0.003477 | 10.43 | BRoof21 | 0.014548175 | 29.33 |
| BLine21 | -0.004556 | 19.83 | WRoof15+ | 0.018789289 | 8.338 |
| WPepper5 | -0.044578 | 45.71 | BSnake5 | -0.02825513 | 2.966 |
| WPepper7 | 0.0331651 | 26.03 | BLine15+ | 0.002405922 | 3.558 |
| WPepper1 | 0.0110512 | 5.714 | WRoof21+ | -0.00643855 | 2.449 |
| WSnake15 | 0.0304313 | 16.24 | Cliff15- | -0.00404423 | 7.599 |
| BSnake7 | 0.053017 | 26.43 | WLine15- | -0.00397613 | 3.408 |
| | | | WPepper2 | 0.004072041 | 2.17 |
| | | | 定数項 | 0.533850017 | |

[精度]

| | | |
|--------------|-------|----------|
| 決定係数 | R2 = | 0.940747 |
| 自由度修正済み決定係数 | R2' = | 0.933819 |
| 重相関係数 | R = | 0.969921 |
| 自由度修正済み重相関係数 | R' = | 0.966343 |
| ダーヴィンフトソン比 | DW = | 1.474578 |
| 赤池のAIC | AIC = | -1885.02 |

図5 摩擦係数精度の数値

各特徴の値から推定式を行った結果、自由度修正済み決定係数(R2')の値が 0.93 という値が出た。去年の 0.95 と比べると値が下がったが、摩擦係数の推定式の精度は良好と言える。

参考文献

[1]田村仁「微小形状特徴を用いた物体の堆積画像からの堆積量の推定手法」
 全国大会講演論文集 第71回平成21年(2), "2-5"- "2-6",
 2009-03-10
 [2]-金谷潤, 陳君, 高塚崇文, 後藤泰介, 田村仁, "移動体用の撮影画像による前方路面の摩擦係数推定システム", 情報処理学会第74回全国大会講演論文集(分冊2), pp.247-248, 2012.