

自動車の右左折時における内輪差発生による 巻き込み事故防止システムに関する研究

指導 小林 邦夫 教授 榎 徹雄 教授 山崎 大生 准教授
堺 英男 講師 首藤 康秀 院生
0511099 松本 雄

1. 緒言

交差点での右左折時の巻き込み事故は自動二輪車や歩行者が被害に遭うケースが多く⁽¹⁾、これらに対する安全対策は重要である。そこで、本研究では巻き込み事故を未然に防ぐためのシステムを単眼カメラにより構築することを目的とする。具体的には、交差点及び交差点付近の障害物を車両搭載のシステムが検知し、システムが危険と判断した場合、警告や自動操作をすることで、ドライバーの操作ミスや不注意を的確に補えるシステムの実用化を目指す。本システムは既存の単眼カメラで死角部分を表示させるのみのもの⁽²⁾と比較し有意性があり、障害物座標を三次元により計測することのできる複眼カメラと比較し低コストおよび省スペースに寄与できる可能性がある。

また本年度は、昨年度に続き車載された単眼カメラによる障害物の三次元座標算出を想定した場合の、障害物の三次元座標の算出精度、誤差要因、その補正方法について検証した。

2. 理論

2.1. 主な記号

- \vec{m}, \vec{m}' : 現在および移動前の画面上の座標
- k_B, k_S : 比例定数
- A : カメラ内部パラメータ行列
- \vec{X} : 障害物座標 (地上固定座標系)
- R_0, R, R' : 回転行列, t, t' : 平行移動ベクトル
- u, v, u', v' : 障害物座標 (カメラ座標系) [pixel]
- f_u, f_v : 焦点距離, C_u, C_v : 画像中心座標 [pixel]

2.2. 巻き込み事故防止システム

自動車事故を防止するためのシステムであれば、実車を用いて実験する事が望ましいが、経済的理由から本研究では模型車を製作し実験を行う (図 1)。ここでは模型車に搭載する巻き込み防止システムを、システムと呼ぶ事にする。模型車車体は、市街地を走る事が多く、内輪差の発生量が多いという理由から路線バスを模擬している。

またシステムは次のように危険を回避する (図 2 では障害物として一般的な塀を想定)。

- ① CCD カメラによる、車体側面周辺の障害物の常時監視。
- ② 舵角と走行速度から車両内後輪の予測進路を計算。
- ③ 予測進路内に障害物を発見した場合、アラームで警告。
- ④ 進路や車速に変化がない場合、自動ブレーキ作動。

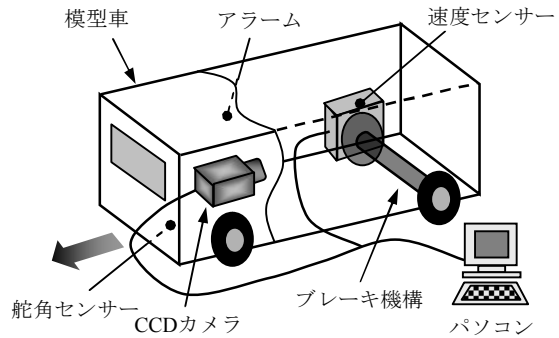


図 1 巻き込み防止システム構成図

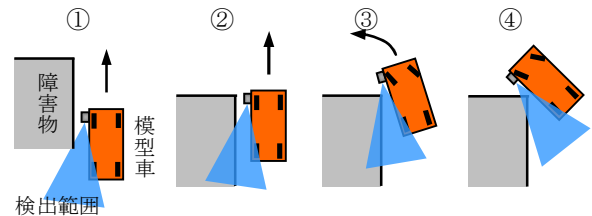


図 2 システムのはたらき

2.3. 三次元計測

2.3.1. 車載カメラにおける三次元計測

本研究では車載カメラを前提としているので、車両の運動より連続画像 (動画) を 2 点からの画像とみなし、三角測量に基づいたステレオ法により障害物の三次元座標を算出する (図 3)。車両の移動により予想され前後左右回転移動と撮影される障害物の座標の関係は、式 (1) によって表される。

$$\vec{m} = k_B A(R|t) \vec{X}, \quad \vec{m}' = k_S A(R'|t') \vec{X} \quad (1)$$

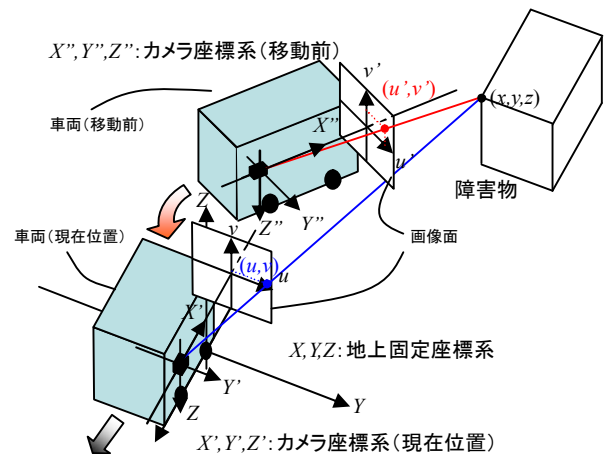


図 3 車載カメラによる三次元計測

2.3.2. カメラキャリブレーション

カメラ内部パラメータ行列 A はカメラキャリブレーションによって求まる。キャリブレーション手法には様々なものがあるが、ここでは簡便かつ安定した結果が得られる **Zhang** のキャリブレーション手法⁽³⁾を用いて推定している。本研究で使用したカメラ「SONY XC-ST30」の内部パラメータは以下ようになった。

$$A = \begin{bmatrix} f_u & \gamma & c_u \\ 0 & f_v & c_v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1082.6 & 0 & 19 \\ 0 & 1084.2 & 13 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3. 実験

3.1. 距離計測確認実験結果

システムを車載した際のカメラの運動を直進運動、回転運動に分解して、カメラによる距離算出結果への影響を調べた。ここでは、カメラを前後方向に移動させた場合について取り上げる(図4)。ただし①は基準カメラ、②は検査カメラ位置を示す。検出物体は箱の角四点に着目した。なお着目点は右上から反時計回りにA,B,C,D点として三次元計測を行った。取得画像から算出される奥行き方向の座標 Z_c を実測値 Z_m と比較し、カメラの移動距離 b_z と誤差 D_t の関係を図5に示す。(50 ≤ b_z [mm] ≤ 700, $X_m=235$ [mm], $Y_m=190$ [mm], $Z_m=2900$ [mm])

なお X_c, Y_c, Z_c は式(1), (2)より式(3)のように導出される。

$$\begin{cases} X_c = \frac{(u - Cu)(Cu - u')b_z}{fu(u - u')} = \frac{(u - Cu)}{fu} * Z_c \\ Y_c = \frac{(v - Cv)(Cu - u')b_z}{fv(u - u')} = \frac{(v - Cv)}{fv} * Z_c \\ Z_c = \frac{(Cu - u')b_z}{u - u'} \end{cases} \quad (3)$$

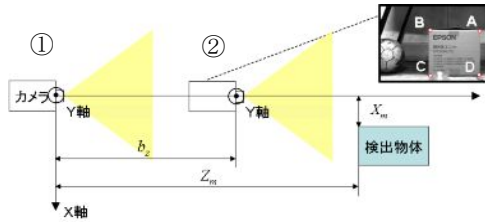


図4 車両の直進運動模擬

3.2. 考察

3.2.1. 光軸補正の必要性

車載した単眼カメラによる距離計測では、走行中の振動などにより検査カメラの位置や姿勢が基準カメラの配置から変化する場合がある。そこで奥行き方向の精度を5%まで許容した検査カメラの移動可能範囲は式(4)に示される。

$$-0.050 \leq \phi [^\circ] \leq 0.044, -2.10 \leq r_x [\text{mm}] \leq 1.88 \quad (4)$$

(ただし ϕ : ヨー角 r_x : 車体の左右方向の運動とする) どちらの許容範囲も肉眼で確認できないほど微小である。そこで精度向上の為光軸を基準とした補正を行うことを検討した。

3.2.2. 初期設定追加の必要性

光軸補正を行った場合は奥行き方向の精度向上はあったが、水平方向並びに高さ方向の精度の向上は果たせなかった為、理論的に式上で検討した結果、式(3)での u, v の点が理論上の点と異なっているためカメラ設置時に影響を受けていると考え、設置時の回転角度の測定により確認した。設置時の角度を測定した結果、以下のような回転行列の結果を得た。

$$R_0 = R = R' = \begin{bmatrix} -0.0244 & -0.0244 & 0.9997 \\ -0.0349 & -0.0349 & 0.9997 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

3.2.3. 各補正の結果

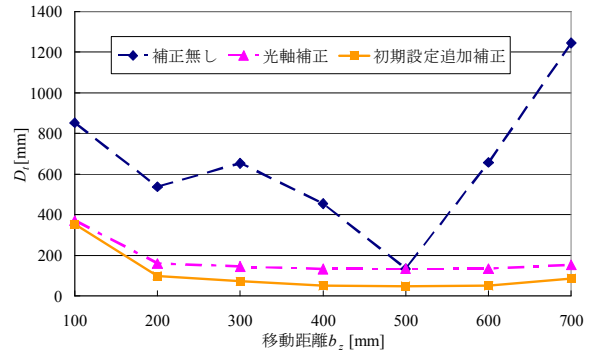


図5 移動距離 b_z と誤差 D_t の関係

図5はA点での補正無し、光軸補正のみ、光軸補正と初期設定追加補正の場合での移動距離と誤差の関係を表している。 D_t は三次元空間における距離であり以下の式で表せる。

$$D_t = \sqrt{(X_m - X_c)^2 + (Y_m - Y_c)^2 + (Z_m - Z_c)^2} \quad (6)$$

補正無しの場合では誤差にばらつきが見られ、安定した距離計測が行えていないが、光軸補正と光軸補正と初期設定の追加を行った場合は補正の効果が確認できる。しかし光軸補正のみより初期設定を追加した方の誤差が少なくなっている。これは、光軸補正のみでは効果が確認できなかった水平方向、高さ方向の精度が初期設定を追加することによって向上できた為であると考えられる。

4. 結言

三次元計測のために光軸の補正と初期設定の追加補正を新たに検討することによって奥行き方向だけではなく水平方向、高さ方向の精度向上が可能となった。

参考文献

- (1)警察庁交通局：平成19年度中の交通事故の発生状況
- (2)広田民郎：日産の先進安全&環境技術，自動車工学，Vol.56, No.12, pp.46-57, (2007)
- (3)Zhengyou Zhang: A Flexible New Technique for Camera Calibration, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.22, No.11, pp.1330-1334, (2000)