

ステレオ計測におけるカメラ振動に伴う計測誤差

Measurement Error with Camera Vibration on Stereo Measurement

北海道大学 ○岡崎 伸哉, 田中 孝之, 金子 俊一, 高氏 秀則

要 旨

本研究では、カメラ振動を考慮したステレオシステムの計測誤差モデルを構築することを目的とする。まず、ステレオ計測誤差とカメラ振動のパラメータを定義した。計測誤差パラメータとカメラ振動パラメータの関係性を調べるために、振動試験機で振動を加えて検証した。加えた振動は単振動である。結果より、平均値 μ は振動の影響が見られなかった。また、標準偏差 σ は振幅 A に対して正の相関、周波数 ω に対して負の相関が見られた。

1. 緒言

本研究では、カメラ振動を考慮したステレオシステムの計測誤差モデルを構築することを目的とする。ステレオ計測では、対象物の3次元位置情報を得ることができ [1]、その情報を利用することにより、移動ロボットのナビゲーションなどを実現できる。視覚情報を用いた移動ロボットのナビゲーションに関する研究は多くあるが、それらの研究は屋内もしくは舗装されているような路面を想定している [2]。そこで、我々は移動ロボットが走行した際に、搭載されているカメラが振動してしまうような環境を研究対象とし、カメラ振動考慮した3次元位置情報を得ることを目指す。

まず、ステレオ計測における計測誤差について考えていく。カメラ振動と計測誤差のパラメータを定義し、各パラメータの関連性を実験的に求める。

2. ステレオ計測誤差

2.1 平行ステレオ計測

平行ステレオ法の原理図を Fig.1 に示す。左右のカメラ画像から得られた対称点の座標を $(x_L, y_L), (x_R, y_R)$ とすると、対称点の3次元位置座標 $P = (X, Y, Z)$ は

$$P = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{x_L + x_R}{2} \frac{L}{d} \\ \frac{y_L + y_R}{2} \frac{L}{d} \\ \frac{fL}{d} \end{pmatrix} \quad (1)$$

より、求められる。ここで、 $L[\text{mm}]$ はベースライン、 $f[\text{mm}]$ はカメラの焦点距離、 $d[\text{pixel}]$ は視差 ($d = x_L - x_R$) である。

2.2 計測誤差

ステレオ計測では、2台のカメラを用いて同一の対称点を観測している。そのため、左右のカメラ画像内において観測している点にずれが生じると、それが計測誤差となり得られる3次元位置情報に影響する。

いま、計測すべき対称点の座標がずれて、 $(x_L + \Delta x_L, y_L + \Delta y_L), (x_R + \Delta x_R, y_R + \Delta y_R)$ となってしまったとする。ステレオ法により得られる3次元位置座標を $P_m = (X_m, Y_m, Z_m)^T$

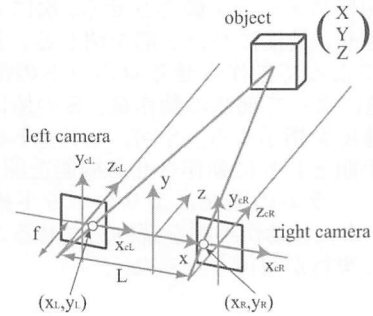


Fig. 1: Stereo Measurement

とすると、式 (2) のように求められる。

$$P_m = \begin{pmatrix} \frac{x_L + \Delta x_L + x_R + \Delta x_R}{2} \frac{L}{d + \Delta d} \\ \frac{y_L + \Delta y_L + y_R + \Delta y_R}{2} \frac{L}{d + \Delta d} \\ \frac{fL}{d + \Delta d} \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta d[\text{pixel}]$ は視差誤差 ($\Delta d = \Delta x_L - \Delta x_R$) である。

ステレオ計測誤差については、左右画像内での対象点のずれ $\Delta x_L, \Delta x_R, \Delta y_L, \Delta y_R$ 、および、視差誤差 Δd が正規分布に近似される確率密度関数にしたがって生じることがわかっている [3]。よって、以後では計測誤差は正規分布にしたがって生じると仮定する。

3. カメラ振動と計測誤差の関係

3.1 計測誤差分布の測定

ステレオ計測における計測誤差の発生確率は正規分布に近似できるので、パラメータは平均値 μ と標準偏差 σ の2つとなる。また、カメラ振動のパラメータを考えると、振動の大きさである振幅 A と振動の速さである周期 ω の2つがあげられる。これらのパラメータの関係を実験的に求める。

本論文では、ステレオカメラとして Bumblebee を使用している。Bumblebee の仕様を Table 1 に示す。ステレオカメラから一定距離の位置に複数のランドマークを設置する。ランドマークは $117\text{mm} \times 117\text{mm}$ の色紙を使用している。ランドマークの検出方法は加藤らの色検出 [4] を用いており、それにより得られる3次元位置座標を測定

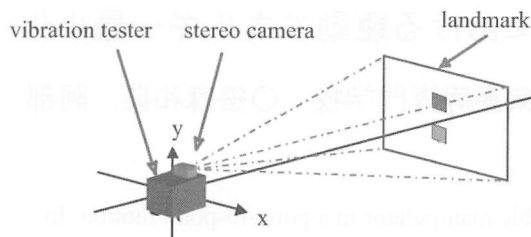


Fig. 2: Image View

Table 1: Specification of Stereo Camera Bumblebee

resolution	1024x768pixel
base line (L)	120mm
focal length (f)	4mm
angle of view	70°
Frame Rate	10Hz

Table 2: Specification of Vibration Testing System

excitation force (sine)	16 kN _{0-P}
frequency (vertical)	(DC)~3000 Hz
maximum displacement	56 mm _{P-P}

値 $P_m = (X_m, Y_m, Z_m)^T$ とする。また、左右の画像を保存しておき、目視でランドマークの重心を選択する。そして、手計算で求めた値 $P = (X, Y, Z)^T$ を真値とする。真値 P および測定値 P_m より、計測誤差を求める。ただし、 $\Delta x = \frac{\Delta x_L + \Delta x_R}{2}$, $\Delta y = \frac{\Delta y_L + \Delta y_R}{2}$ と置いている。

$$\Delta d = \frac{fL}{Z_m} - \frac{fL}{Z}$$

$$\Delta x = \left(\frac{X_m}{Z_m} - \frac{X}{Z} \right) f, \quad \Delta y = \left(\frac{Y_m}{Z_m} - \frac{Y}{Z} \right) f \quad (3)$$

振動は振動試験装置を用いて付加する。振動試験装置のスペックを Table 2 に示す。振動試験装置では、振幅 A (peak-to-peak value) および周波数 ω を任意に可変できる。本論文では、以下の条件で実験を行った。

- (1) カメラとランドマークの距離は 2m, 3m, 4m
- (2) 振幅 A は 2mm, 5mm, 10mm, 15mm
- (3) 周波数 ω は 2Hz, 5Hz, 10Hz, 15Hz, 20Hz
- (4) 2G を超える加速度が生じるパターンは削除 (結果, 組み合わせは 14 パターン)
- (5) 振動方向は y 軸の 1 方向であり、加える振動は単振動

本論文で行った実験条件では平均値 μ には影響を与えなかった。したがって、標準偏差 σ の結果のみを示す。実験結果を Fig. 3 に示す。さらに、加えている振動方向が y 軸の 1 方向なので、 Δy の数値についてのみを示す。

Fig.3 より、標準偏差 σ に対して、振幅 A は正の相関、周波数 ω は負の相関があることがわかる。周波数 ω の影響を取り除き、振幅 A による標準偏差 σ の変動を見るために、Fig.4(a) のようにプロットし直した。

振幅 A および Z 軸の値に対する標準偏差 σ の重相関係数を求めたところ、0.868 と強い相関が得られた。そこで、

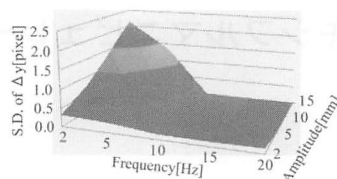


Fig. 3: Change of S.D. against Amplitude and Frequency

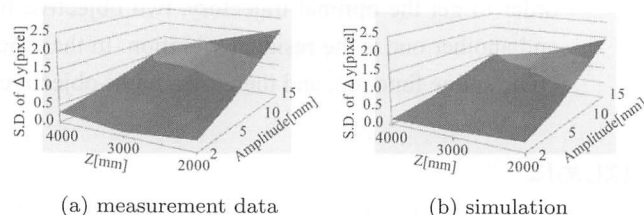


Fig. 4: Change of S.D. against Z-axis and Amplitude

振幅 A による標準偏差 σ の変動を理論的に求めた。カメラパラメータおよびカメラ-対象物間距離より定められる、1 画素に含まれる範囲を考慮し、振幅 A のカメラ振動によって、画像内にて対象物が何 pixel ズれるかを求める。理論値を用いてシミュレーションを行った結果を Fig.4(b) に示す。Fig.4(a) と比較すると、ほぼ似た傾向が得られていることが確認できる。

周波数 ω による標準偏差 σ の変動についてだが、現在観察中である。画像劣化の影響が主な原因だと考えている。

4. 結言

本研究では、カメラ振動を考慮したステレオシステムの計測誤差モデルを構築することを目的として、カメラ振動のパラメータである振幅 A と周期 ω と視差誤差のパラメータである平均値 μ と標準偏差 σ の関連性を実験により調べた。今回の実験条件では、以下のような結果が得られた。

- (1) 平均値 μ は周期的な振動を与えても変化はない
- (2) 標準偏差 σ は振幅 A に対して正の相関、周波数 ω に対して負の相関がある
- (3) 振幅 A による標準偏差 σ の変動は、1 画素に含まれる範囲を考慮することにより算出可能

周波数 ω の影響については、まだまだ考察が必要である。また、今回の実験では単振動を対象としていたが、今後はランダム振動についても実験を行っていく予定である。

文献

- [1] 奥富正敏. "ステレオ視", CVCV-WG 特別報告: コンピュータビジョンにおける技術評論と将来展望, pp.123-137, 1998
- [2] Hidenori Takauji, Shun'ichi Kaneko and Takayuki Tanaka "Robust Tagging in Strange Circumstance (in Japanese)", IEEJ Trans. EIS, Vol.125, No.6, pp.926-934 (2005).
- [3] Shin'ya OKAZAKI, Takayuki TANAKA, Syun'ichi KANEKO."Vision Based Environment Recognition for Mobile Robot in Irregular Ground", ICCAS 2007, TA04-4 pp.89, October 17(Wed.) - 20(Sat.), 2007
- [4] 加藤丈和, 柴田智行, 和田俊和. "最近傍識別器を用いた背景差分と色検出の統合", 情報処理学会研究報告 CVIM, Vol.2004, No.6(20040122), pp.31-36