

〈一般研究課題〉 小型3次元位置センサによる動作計測に関する研究
助成研究者 愛知工業大学 内田 敬久



小型3次元位置センサによる動作計測に関する研究

内田 敬久
(愛知工業大学)

Study on motion measurement using compact three-dimensional position sensor

Yoshihisa Uchida
(Aichi Institute of Technology)

Abstract:

It is very helpful to know movement of human body in the fields such as living environment and medical care. For example, by knowing the movement, it is possible to design house with individually matched step and slope. And we can apply to rehabilitation in the medical care by knowing the movement of hands and feet. In recent years, the study of the welfare robot is performed. In this case, it is important to know the movement of the robot. Therefore, we are aimed for the development of a sensor measuring the movement of the human and the robot in three dimensions. This paper reports the results of an experimental motion measurement using three-dimensional position sensing system. This system is composed of GPS sensor, digital compass, and acceleration sensor. To evaluate the system, we also developed three-dimensional shape measurement system using image processing. The accuracy in this sensing system was measured and evaluated. The motion measurement system has many applications such as robot sensor, anthropometric, quality inspection and location awareness. The usefulness of developed three-dimensional sensors is described.

1. はじめに

人の動きを知ることは、環境、医療などの分野で重要なことである。たとえば、住環境において人の動きを知ることにより、各個人に合わせた段差、スロープなど住空間の設計を行うことができる。また、医療においては手足の動きを知ることにより、リハビリなどへ適用することができる。近年では福祉ロボットの研究も盛んに行われ、ロボットが人間の手助けとなりつつある。住環境において人とロボットの接点が増すにつれて、ロボットそのものの動きを知ることも重要になってくる。

現在までに動きを検出する計測装置として、GPSを用いた全地球的位置計測装置、複数台のカメラやセンサを用いたモーションキャプチャ装置、加速度センサを用いた小型計測装置など様々な装置が研究され、その一部は実用化されてきている^[4]。しかしながら計測場所が限られる、装置が大型、対象物に取り付けるマーカーやセンサが重い、配線の複雑さなどの問題があった。

そこで本助成による研究では、人やロボットの動作を3次元で計測する対象物に取り付け型センサの開発を目的とする。本研究では、3次元位置センサの開発の手順として、①絶対位置推定：GPS、方位センサによる位置推定を行うセンサを開発する。これにより静止時の絶対位置を知ることができる。②変位推定：3軸加速度等を測定し、傾き及び変位推定を行うセンサを開発する。これにより動作時の位置変位を知ることができる。これらを組み合わせることにより3次元位置センサを開発する。これにより位置推定の誤差を軽減し、精度向上を図ることができる。また、開発するセンサの計測評価装置として、装置は大型であるが3次元計測及び評価が容易な複数台のカメラを用いた3次元位置推定装置を構築する。3次元位置センサ及び計測評価装置により3次元位置計測を行い、測定データの評価、検討を行った。

2. 絶対位置推定

絶対位置推定を行うため、GPSと方位センサを用いたセンサを開発し実験を行った。

2.1. 計測原理

GPSとは、人工衛星からの信号を受信し、その位置を正確に割り出すシステムである。この機能を用いることにより、緯度、経度、高度などを計測することができる。使用したGPSモジュールは、小型、安価、比較的高機能な点からGARMIN社製GPS15L-Wを選択した。また、センサの取り付け方向が定まらないため、これに方位センサを追加し絶対値計測を行った。センサからの情報は、小型、安価、機能性の点からマイコンを用いて収集し処理を行った。

図1にセンサ回路及び制御回路を示す。図において上段がセンサ回路、下段が制御回路となっている。回路はテスト用の車体に組みつけられており、センサを用いた自律移動型の車体構造となっている。また、センサ部分のみ大きさは約50mm×50mm×5mmである。

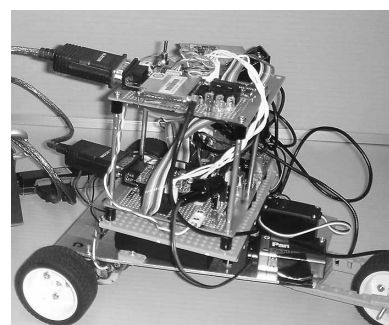


図1 自律移動ロボット

2.2. 計測結果

実験条件は、住空間を考慮に入れ50m程度の範囲で始点終点の2点を決定し、その間を自律移動にて行い、その動作及び軌跡を測定し評価を行った。図2に実験結果を示す。横軸、縦軸はそれぞれ緯度経度から距離を算出した。図2において左下が始点、右上が終点とし終点位置は各回とも同じ位置とした。実験結果より、位置精度は約1.5mとなった。絶対位置推定が可能であることが確認できた。また、図2のようにGPSのみの場合と比べGPS+方位センサの場合が安定した走行が行われていることがわかる。さらに、自律移動型のロボットに搭載した場合の制御用にも応用が可能であることも確認できた。

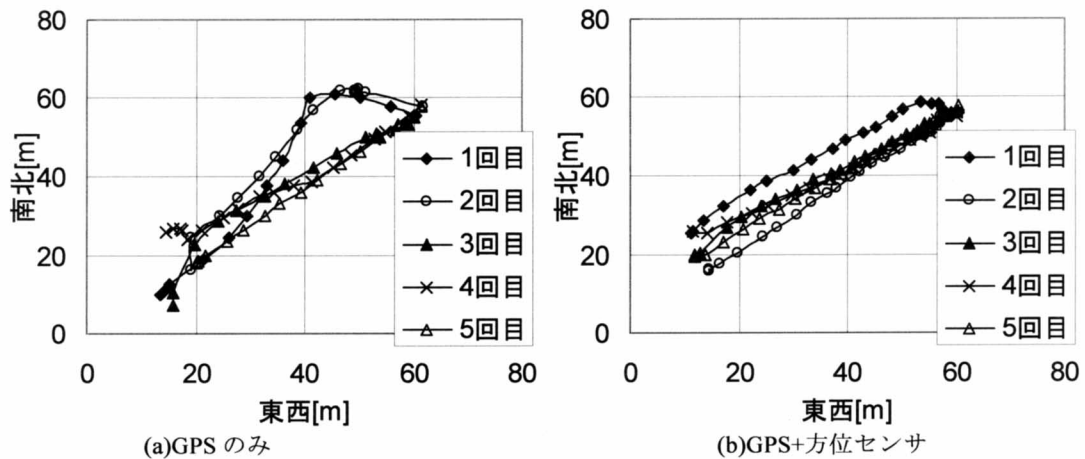


図2 走行軌跡

3. 変位推定

変位推定を行うため、3軸加速度等を測定し、傾き及び変位推定を行うセンサを開発し実験を行った。

3.1. 計測原理

GPSや方位センサのみでは、精度に限界があるため、高精度で変位推定を行うため、3軸加速度センサを組み込んだ小型装置を開発した。装置はセンサ部、評価・制御用回路部、駆動用サーボモータから構成されている。実験では図3のようにXYZをとり、XZ平面の半円軌道で動作させた時の加速度の変化を計測した。

3.2. 計測結果

加速度の変化を計測した結果を図4に示す。ここでXYは地表面、Zは地表面に対して直角方向とする。加速度によりセンサのXYZ方向の傾きを知ることができる。また、加速度の変化により変位計測としても使用が可能である。これらをロボットや人体に取り付けることにより動作計測が可能であることを確認できた。

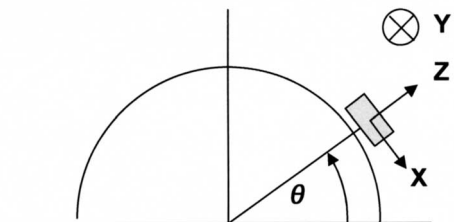


図3 実験装置模式図

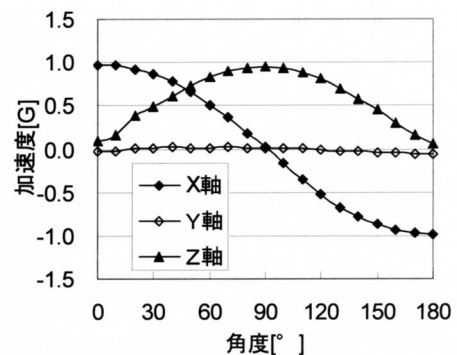


図4 加速度の計測結果

4. 評価装置の開発

評価用の複数台のカメラを用いた3次元位置推定装置の開発を行った。

4.1. 計測原理

3次元位置推定装置の構成を図5に示す。装置は、液晶プロジェクタ、デジタルカメラ、載物回転ステージ、コンピュータで構成されている。対象物である3次元物体に空間光変調プロジェクタからパターンを投影し、このパターン方向に垂直方向に配置されたデジタルカメラでデジタル画像計測する。物体座標系での対象物とプロジェクタ、カメラの位置関係から三角測量の原理により、デジタルカメラから得られた2次元画像座標値(i, j)を3次元物体座標値(X₀, Y₀, Z₀)に変換することにより、3次元位置計測を行う。用いた変換式を式[1]-[6]に示す。

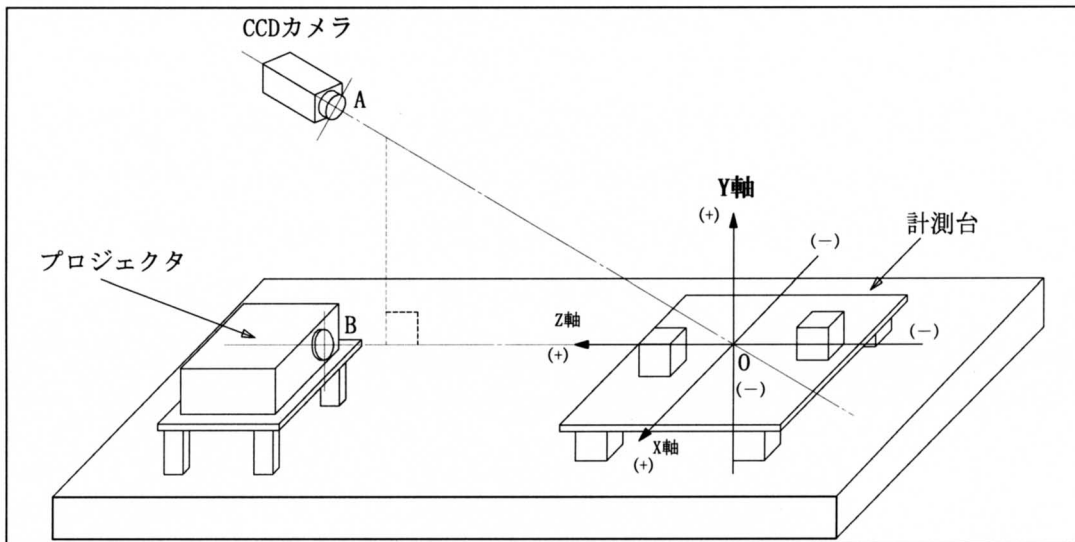


図5 3次元位置推定装置

$$X_0 = \frac{h}{c+f}(-Z_0 + a) \quad [1]$$

$$Y_0 = \frac{ns}{g}(-Z_0 + g) \quad [2]$$

$$Z_0 = \frac{b-a \cdot \frac{d-e}{c+f} - ns}{-\frac{ns}{g} - \frac{d-e}{c+f}} \quad [3]$$

$$h = \frac{2i - I}{I} \cdot \frac{\beta}{2} \quad [4]$$

$$e = \frac{J - 2j}{J} \cdot \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad [5]$$

$$f = \frac{J - 2j}{J} \cdot \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad [6]$$

ここで、 a, b, c, d, g, ns は、デジタルカメラ、液晶プロジェクタ、被測定物体の位置関係から決まる定数であり、 α および β はデジタルカメラの基板の大きさ、 I, J はピクセル数である。ここで三次元座標の原点はプロジェクタの光軸とカメラの中心軸の交点としている。また、プロジェクタへの情報の制御、デジタルカメラからの画像計測情報の処理・表示は、コンピュータにより行っている。

また、複数方向からの画像情報を同一の3次元空間上に表示するため、撮影角度 θ のパラメータを考慮し、3次元物体座標値 (X_0, Y_0, Z_0) を以下の式を用いて3次元物体座標値 (X, Y, Z) に変換した。

$$X = \sqrt{X_0^2 + Z_0^2} \cos\left(\theta + \cos^{-1} \frac{X_0}{\sqrt{X_0^2 + Z_0^2}}\right) \quad [7]$$

$$Y = Y_0 \quad [8]$$

$$Z = \sqrt{X_0^2 + Z_0^2} \sin\left(\theta + \cos^{-1} \frac{X_0}{\sqrt{X_0^2 + Z_0^2}}\right) \quad [9]$$

4.2. 計測結果

静止状態における装置の計測精度を実験的に測定した。実験条件として、複数台のカメラを用いる代わりに対象物を回転することにより、簡易評価を行った。図6(a)は、対象物であるベル型物体のカメラ画像であり、図6(b-d)は、90度ずつ異なる4方向からの得た計測データを画像処理により合成した結果である。本装置において三次元物体の全周計測が可能であることがわかった。また、開発したソフトウェアによりパソコン上で自由に画面の切り替えが可能となった。

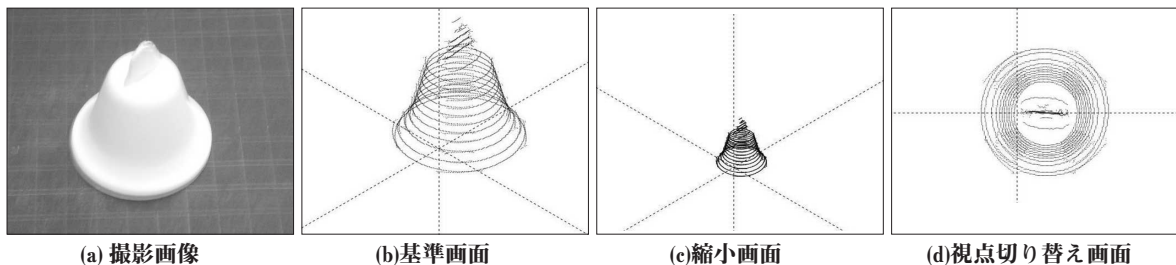


図6 3次元画像処理結果

図7に2点間距離約50mmの計測誤差を計測した結果を示す。図7は横軸に2点間の中心点から計測原点(0,0,0)まで距離、縦軸に誤差を示している。計測範囲内であれば、2点間の位置にあまり関係なく誤差は1.0mm以内に収まっていることがわかる。また、再現性も良いことから、既知の計測点をあらかじめ測定し、この値を補正值として用いることにより、さらに計測誤差を小さくすることができると推測される。

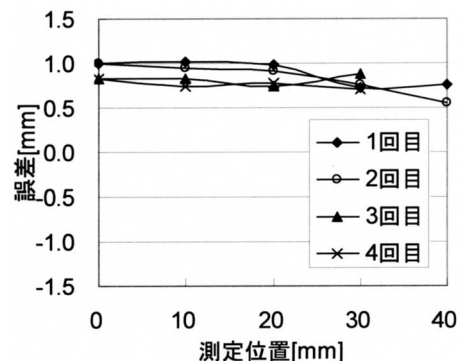


図7 計測誤差

5. まとめ

人やロボットの動作を3次元で計測する対象物に取り付け型センサの開発を目的とし、本研究では、絶対位置推定、変位推定、3次元位置推定装置の3種類を開発し、実現を目指した。

絶対位置推定においてGPS、方位センサによる位置推定を行うセンサを開発した。位置精度は約1.5mとなった。これは人やロボットの位置情報を粗く計測することが目的のこのセンサにおいて十分な精度である。また、本センサを小型自律移動ロボットに搭載し、制御実験を行った。住空間を考慮に入れ50m程度の範囲で計測を行い、ロボットへの応用の可能性を確かめた。次に高精度及び角度が求められる変位推定として、加速度センサを用い、実時間による加速度の変化から変位推定が可能であることを確かめた。さらに装置は大型であるが3次元計測及び評価が容易な複数台のカメラを用いた3次元位置推定装置を構築した。三角測量法を利用しているため構造が簡単かつ高精度3次元位置推定をすることが可能である。計測誤差は1mm以下となった。構造の単純化と光変調パターンの変更、プログラム開発により、小型、汎用性を持ちつつ高精度を実現することができた。この装置は評価用としてだけでなく形状計測への応用も期待できる。

今後は、個々に開発した3次元計測装置を組み合わせ、目標としてきた小型3次元センサの開発をさらに進めていく予定である。これらの研究が実社会における生活環境を向上に役立つようにさらに実用的研究を進めていく予定である。

参考文献

- [1] 吉澤徹:「光三次元計測」, 新技術コミュニケーションズ, (1998)
- [2] OPTON <http://www.opton.co.jp>, 株式会社オプトン
- [3] C-Y. Chen et.al: "Three-Dimensional Surface Estimation by Grating Projection", Journal of Application Research of Computers, Vol.16, No.7, pp.78-79, (1999), (in Chinese).
- [4] 辻岡他:「空間光変調パターン投影を用いた三次元形状計測システムにおける測定範囲拡大と精度の向上」, 電気学会論文誌基礎・材料・共通部門誌, Vol.120-A, No.4, pp.439-444, (2000).
- [5] K. Tsujioka, et.al: "High-Density Sampling Technique Using Special Projections of Light Variation Patterns in Three-Dimensional Shape Identification", Proc. SPIE, Machine Vision and Three-Dimensional Imaging Systems for Inspection and Metrology II, No.4567, pp.99-106, (2002).
- [6] 内田敬久:「光学式三次元形状計測装置の開発」, 日本機械学会東海支部第55期総会講演会, 講演論文集No.063-1, No.116, pp.31-32 (2006.3).