

家庭用コンテナケース位置把握のための光学計測システムの開発

福井類[†], 大串和之^{††}, 森武俊[†], 佐藤知正[†], [†]東京大学, ^{††}(株) エリジオン

Development of Optical Measurement System for Acquiring Position of Container Cases in Living Space.

Rui FUKUI[†], Kazuyuki OHGUSHI^{††}, Taketoshi MORI[†], Tomomasa SATO[†] [†]:Univ. of Tokyo, ^{††}:ELYSIUMCo.,LTD.

Abstract— This paper describes an optical system to measure the position of container cases in living space. This system has two steps of procedure. In the first global process, 4 static cameras measure rough position of containers. Next in the second local process, a wireless camera which is implemented on a robot measures accurate position. Cost reduction is an optional feature of the system that is realized by utilizing optical markers with inexpensive LED and IEEE 1394 cameras for PC chat.

1. 緒論

『生活環境におけるロボットによるさりげない(人と低干渉な)物理支援』を実現するため、我々はモノへのアクセスを支援する環境型ロボット, “家庭内物流支援ロボットシステム” [1] の開発を行っている。本稿では天井移動ロボット [2] の動作を環境側より支援する, 家庭用コンテナケースの位置計測システムについて述べる。

2. コンテナ位置計測システム

2.1 要求仕様の検討

生活空間でのコンテナ位置計測には2つの課題がある。

●課題1 計測環境が煩雑である

生活空間は多種多様なものが存在し定期的な外乱が多く, また時々刻々と変化する環境に柔軟に対応する必要がある。

●課題2 計測目標のスケール幅が広い(目標精度)

Fig.1のように, 数[m]スケールの部屋からコンテナを発見し, 位置を把握する大域的計測から, ロボットの把持に必要な高精度の局所的計測まで網羅しなければならない。

なお今回は天井移動ロボットによるコンテナへのアクセスを予定しているため, 水平2次元での位置精度が重要となる。大域的計測においては局所的計測を行う準備のため, ロボットが計測対象に接近するのに十分な精度の200[mm]を目標精度として設定する。局所的計測に関しては把持ロボット側に水平コンプライアンス自由度を付与することを踏まえて±10[mm]の水平精度を目標と設定する。

2.2 実現手法の検討

本節では上記の仕様を実現するためにまず, カメラレイアウトについて検討を行い, 続いて発見・位置計測の特長量の検討を行う。

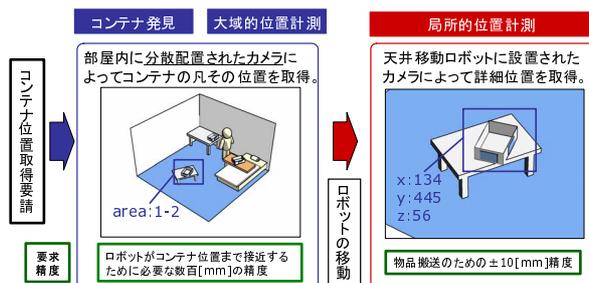


Fig.1 Abstract flow of measurement procedure.

2.2.1 カメラレイアウトの検討

大域的計測と局所的計測で求められる精度のオーダが異なるため, これを同一のカメラで実現することは容易ではない。そこで, 大域的計測は環境中に散在させた複数の固定カメラを用いて実現し, 一方の局所的計測は無線カメラを運搬ロボットに搭載することによって実現する。

2.2.2 発見・位置計測特長量の検討

生活環境は光学計測にとって外乱となる要素が多い。そこでコンテナの発見が容易になるようにLEDを用いた周期的な発光ビーコンをコンテナに取り付けることとする。これは家庭環境中で一定した周期で色相変化を起こしている物体は少なく, また規定のバンドパスフィルタを用いることによって容易にノイズ除去をすることが出来るという利点がある。また最低1つのカメラでも位置計測が可能よう, LEDの配置に幾何的な拘束を設けることにした。

3. システムの実装

本章では実装したシステムの詳細を述べる。まず本システムのブロック図をFig.2に示す。

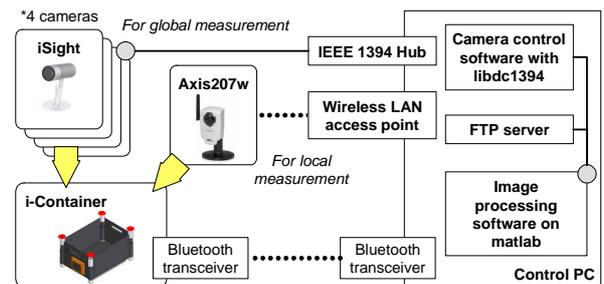


Fig.2 System block diagram.

3.1 光学マーカの実装

LEDは赤色の高輝度タイプ(Kighbright製'L934SRDG')を採用しFig.3に示すようにコンテナの四つ角に設置した。また一般のカメラは30[Hz]で撮像するため, 余裕をみてその1/4の7.5[Hz]でLEDを点滅させることとした。

3.2 大域的計測用カメラシステムの実装

カメラハードウェアの設定
今回環境カメラとして安価でかつ基本的な制御が可能なPCチャット用のiSight(Apple製, 画素数640×480)を採用

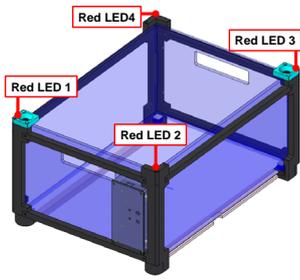


Fig.3 4 LEDs are on top of a container.

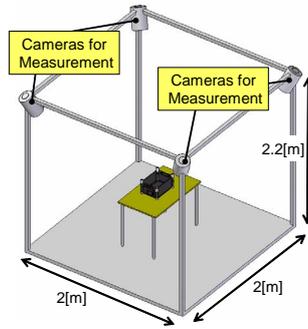


Fig.4 Layout of IEEE 1394 cameras.

した。iSight 4 台を IEEE1394 ハブを介して FA 用 PC に接続する。今回は Fig.4 に示すように、2[m]×2[m]×2.2[m]の空間の天井に中心を向くようにカメラを設置した。

データ処理部の構築

画像撮影後のデータ処理の流れは次の通りである。

- 処理 1 . 背景差分によるフィルタ対象の絞込み
- 処理 2 . バンドパスフィルタによる点滅画素の抽出
- 処理 3 . 圧縮膨張フィルタによるノイズ除去
- 処理 4 . ラベリングとそれに基づく 4 点の候補の選択
- 処理 5 . LED の平行、辺長さ条件より 3 次元位置の計算

処理 1 において 1 枚目の画像を背景として背景差分を行い、変化があった画素のみフィルタリングの対象とすることで処理の高速化を計った。処理 2 におけるフィルタの周波数特性を Fig.5 に示す。また処理 5 の概要を以下に示

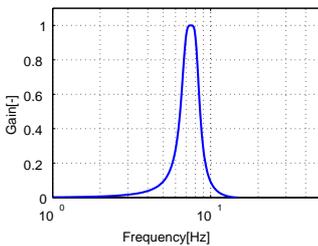


Fig.5 Bode diagram of band pass filter.

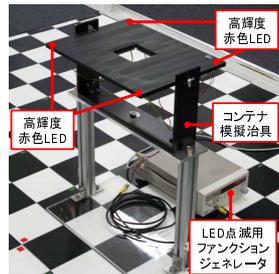


Fig.6 Container imitation test bench.

す。まず LED が作る長方形の対辺のベクトルが同一であるため $M_1 - M_2 = M_4 - M_3$ という関係にある。ここで $M_i = (X_i, Y_i, Z_i)^T$ は空間上の LED の位置ベクトルである。これにより LED が構成する長方形の向きが定まる。続いて、既知である LED 間の距離 (w_{ij}) から求められる式 $|M_i - M_j| = w_{ij}$ の関係を用いて奥行き方向のスケールを求めることで LED が構成する長方形の位置が求められる。なお、LED 間の距離を与える箇所の組み合わせ (6 通り) で計算を行い、その平均を求めた。また同様に複数のカメラにコンテナが写った場合も平均結果を採用した。

3.3 局所的計測用カメラシステムの実装

カメラハードウェアの設定

ロボットに搭載できるカメラとして無線 LAN カメラ (AXIS Communication 製, 207W) を選択した。このカメラは画素数 640×480 であり、その特徴として外部トリガにより撮影を行い、その画像ファイルを FTP 経由でサーバに転送可能な点にある。これによりロボット本体に処理負荷をかけることなく、移動先で撮像を行うことが出来る。

データ処理部の構築

局所的計測におけるデータ処理は、カメラが 1 台という点を除き概ね大域的計測と同様である。ただし、カメラ固有のサンプリングレートの安定性、自動ホワイトバランスの設定に応じて、フィルタの閾値を調整する必要がある。

4. 実験

コンテナ模擬ベンチ (Fig.6) を用いて計測を行った。同一点の計測における高い再現性が確認されたため、コンテナの設置位置による精度への影響を確認する試験 (各計測点での N 数は 1) を行った。また、計測誤差として計測された LED 位置と真位置の水平誤差の最大値を採用した。

4.1 大域的計測における位置計測実験

模擬ベンチを Fig.7 に示す 16 点に設置して計測を行った。ここで 16 点の中心が部屋の中心に該当する。Table 1 に示す結果より大域的計測の最大誤差が 67[mm] であることが確認された。これは局所的計測のためロボットが対象に接近するために十分な精度であると言える。

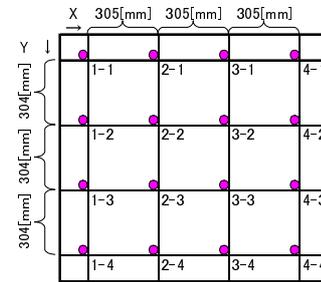


Table 1 Horizontal error of global measurement.

Y \ X	1	2	3	4
1	12	14	19	67
2	15	18	11	42
3	19	12	18	26
4	6	24	15	16

Fig.7 Global measurement points.

単位: mm

4.2 局所的計測における位置計測実験

模擬ベンチを Fig.8 に示す 9 点に設置して計測を行った。ここで "2-2" の地点がカメラ中心に当たる。Table 2 に示す結果より局所的計測の最大誤差が 7.3[mm] であることが確認された。これは目標精度 ± 10 [mm] を満たしており、十分な精度を有していると言える。

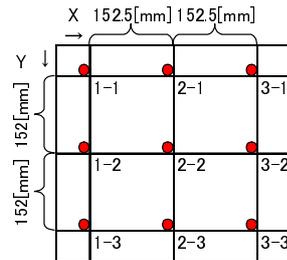


Table 2 Horizontal error of local measurement.

Y \ X	1	2	3
1	7.3	7.2	5.3
2	4.7	5.7	3.3
3	3.8	5.2	4.0

Fig.8 Local measurement points.

単位: mm

5. 結論

本稿では家庭用コンテナケース位置把握のための光学計測システムを開発し、試験によりシステムがロボットによる運搬準備に必要な精度を有していることを確認した。

- [1] 福井他, "家庭内物流支援ロボットシステムの構築 (第 1 報: 物流支援ロボットシステムのシステム全体設計)", 第 24 回日本ロボット学会講演会予稿集, 2M14, 2006.
- [2] 福井他, "磁石誘導型天井移動ロボットプラットフォーム~天井吸着用磁石モジュールと複数ロボットの位置計測方法~", ロボティクスシンポジウム, pp.146-153, 2004 .