

床の点群模様を利用した位置検出システムの開発

深瀬 勇太郎 金森 洋史
(技術研究所) (技術研究所)

Development of robot position detection system using random-dot floor patterns

by Yutaro Fukase and Hiroshi Kanamori

Abstract

Various types of service robots recently have been developed for guarding facilities, caring for elderly people, carrying objects, and cleaning buildings. As barrier-free facilities improve and their use expands, these robots have more space to move in a building. However robots that move autonomously require a position detection system. Such systems, however still have difficulty in reliably determining positions in certain situations, such as in large areas or across a variety of locations. To solve this problem, we have been developing a position detection system using random-dot patterns on a floor. First, a floor is constructed with a random-dot pattern. Next, the positions of all of the dots are put into a database. As the robot moves across the floor, a camera on the robot captures an image of the floor beneath it and crops the dots in the image. The cropped dot pattern is matched to the dot patterns in the database to determine the position and direction of the robot. In this paper, we propose a localization system and matching algorithm derived from a space technology and present the results of several experiments.

概要

近年、警備、高齢者介護、物品自動運搬、ビル清掃のための各種ロボットが開発されている。これらロボットは屋内での自律移動機能がベースとなる。バリアフリー施設の広がりとともに、これらロボットが簡単な車輪機構で移動できる空間は広がってきているが、一方で建物のさまざまな場所において安定的にロボットの自己位置検出ができる技術は確立されておらず、自律移動機能の課題となっている。この課題を解決するために、我々は床の点群パターンを利用した自己位置検出システムを開発した。ランダムな点群パターンを有する床を施工し、床上の点の各位置に関するデータベースを構築、ロボットが搭載されたカメラでその直下の床を撮像し、画像中点群の配置をデータベース中の点群の配置と照合することで撮像画像の床上での位置と方向を検出する。本論文では位置検出アルゴリズムを提案し、その高精度かつロバストな検出性能を実験とシミュレーションにより確認した。

§1.はじめに

建物空間では、介護補助、警備、搬送などのサービスを行う各種ロボットが活躍している。これらのロボットの多くは自律移動機能を前提としたサービスを行うため、専用軌道を要しない本格的なロボットシステムの普及展開には、建物内を広く移動するための移動機構と場所に依存しない安定した自己位置検出が不可欠である。このうち移動機構に関しては、建物のバリアフリー化に伴い車椅子に準ずる車輪機構で建物の広い範囲を移動できる環境が整っている。そこで、筆者らは自己位置検出に関して建物空間活用の視点から検討を進めている。

自己位置検出に関してはこれまで様々な取り組みがなされている。屋内に設置した電子機器を用いる方法

として、疑似GPSを用いる手法¹⁾、複数の無線LAN基地局に対する電波強度の差を用いる手法²⁾、超音波スピーカアレーを用いる方法³⁾などが研究開発されているが、これらには電磁環境、音響環境の空間的な不均一性による位置検出の不安定性について課題がある。また、ロボットに搭載されたレーザスキャナや形状センサあるいはカメラを用いて周辺の形状特徴量や画像特徴量を抽出し環境地図を作成するとともに位置検出を行う手法⁴⁾が近年盛んに研究され一部実用化されている。しかし、ロボットの周辺を人が囲む、あるいは周辺に置かれた物体の配置が変化する場合、さらには長い廊下や周辺に柱や壁などの特徴となる構造物が少ない広いエリア、あるいはガラスや鏡面で構成されるような空間では、特徴量が安定的に得られないという課題があり、それらに対応するためのさまざまな研究

が進行中である。

天井や床といった建物を利用した手法も複数提案されている。天井を利用したものとしては、天井に配置したマークを利用した手法⁵⁾や照明光を利用した方法⁶⁾などが研究されている。これらは天井高が2~4m程度の場合には有効な手法であるが、天井が高い空間では精度と安定性の確保に課題がある。床を利用した方法としては、既知のコード持つ多数のRFIDを床に配置し読み取ることによって位置検出手法⁷⁾や、位置情報がコード化されたパターンを配置しカメラで読み取ることによって位置検出手法⁸⁾があるが、RFIDやコードパターンの床への印刷にコスト的課題がある。その他、コンクリート床のひび割れを目印にした手法も提案されている⁹⁾。この手法は無垢のコンクリート床を持つ工場や倉庫には有効であるが、仕上げ材を施した多くの床に対しては適応が困難である。

以上のような既往の方法を克服する手法として、筆者らは、ロボットがその直下の点配置パターンをもとに、床上での位置と方向を検出手法を考案した。病院や工場、事務所などの建物ではシート床材を敷設する床や、塗料を塗布する床が多く施工されている。こうした床では、デザイン性、耐久性、廃物リサイクル利用の観点から粉碎プラスチックチップを製造あるいは施工工程で混入させ点群模様を有する床として仕上げる場合がある。この点群模様の点配置は、自然発生したランダムパターンであるため、床上の任意の点配置パターンはその位置固有のものとなる。この性質を利用して、コスト、検出安定性を重視した実用的な移動ロボット用の位置検出手法を開発した。

§2.提案する位置検出手法

2.1 床を使った位置検出

位置検出の基本構成を図-1に示す。ランダムな点群模様を有する床を施工した後、床上の全ての点の位置を特定し点群データベースを作成する。位置検出時には、移動ロボット底部に取り付けたカメラで床を撮像し、撮像画像中の点群分布を事前に用意した床全体の点群分布データベースと照合することによって、カメラの撮像画像の床上での位置と方向を認識する。

床点群データベースと取得画像中の点群との照合には、人工衛星で使われている姿勢検出技術を応用した。人工衛星では搭載されたカメラで天空を撮像し、画像中の恒星点の配置を既知の恒星配置図(=星図)と照合することでカメラの向いている方向を特定している(図-2参照)。これは、床の点群照合と次のような共通点を持つ。

1.自然発生的なランダムパターン

恒星点群も床点群も自然発生的なランダムな点群パターンである。

2.ゴミ、点の消失の発生

恒星は無数にあるため、恒星の中から既定の明るさ以上の星を対象に限定して照合を行っているが、明るさの閾値付近で照合対象以外の星が紛れ込む、あるいは対象とする星が消えることが発生する。これは、床上での点と誤認されるゴミの混入、あるいは点の消失と同じである。

そこで、いくつかの人工衛星の姿勢検出アルゴリズムの中でも対象外の星の混入や星の消失に強いとされるポールスターアルゴリズム¹⁰⁾を適用した。

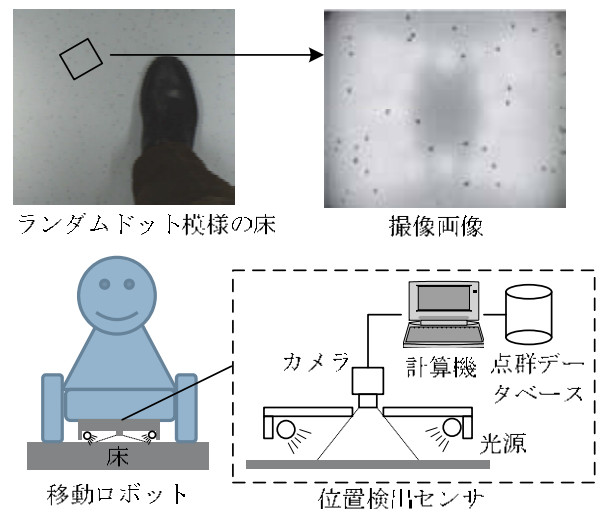


図-1 提案する位置検出システム

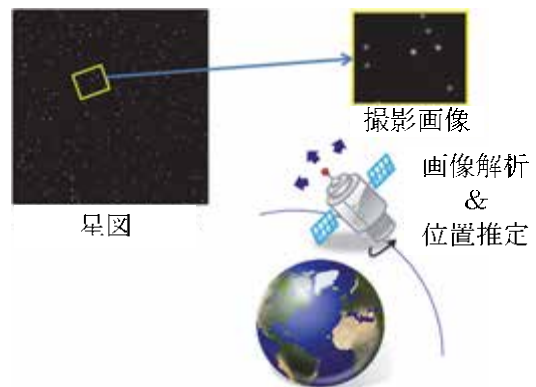


図-2 人工衛星の姿勢検出技術

2.2 基本アルゴリズム

2.2.1 ポールスターアルゴリズムの基本原則

ポールスターアルゴリズムは、一つの点を中心として既定半径(ポールスター半径)内にある周辺の各点までの長さの列が、その点に固有の点分布を表す特徴量(ポールスター特徴量)であることを利用する点群分布

する照合点候補を次のように仮定する。

$$C_1 \rightarrow (F_{1a}, F_{1b}, F_{1c}) \quad C_2 \rightarrow (F_{2a}, F_{2b})$$

$$C_3 \rightarrow (F_{3a}, F_{3b}) \quad C_4 \rightarrow F_4 \quad C_5 \rightarrow F_5 \quad C_6 \rightarrow F_6$$

図-9のように画像点 C_1 を中心として最も遠い距離にある点は C_6 であり、その距離が R_1 の場合、図-12のように C_1 に対応する各照合候補点 F_{1a} 、 F_{1b} 、 F_{1c} を中心として半径 R_1 の円領域の論理和の領域(図-12の斜線部、以降、照合点群存在領域とする)に C_1 以外の画像点に対応する照合点群が存在する。各画像点に対しても同様に照合点群存在領域がある。よって各画像点に対する照合点存在領域の論理積(図-13の斜線部)が最終的な照合点群存在領域となり、その領域内の点に照合点候補が絞られる。

但し、円として領域を設定すると計算負荷が大きいいため、実際の計算処理では円を内包する正方形で領域計算を行う。また、混入したゴミに対応する誤った照合点が正しい照合点群領域の近くにある場合、その誤った照合点群存在領域との論理積により正しい照合点群存在領域の一部が削除されてしまう。そのことを考慮して単純に論理積を取るのではなく、照合点群存在領域の重複数が一定以上の領域を最終的な照合点群存在領域とする。これにより床上に他の照合候補点から孤立して位置する明らかな誤照合点を候補から取り除くことができるとともに画像点群-照合点群の組合せをいくつかの照合点群存在領域に分離できる。

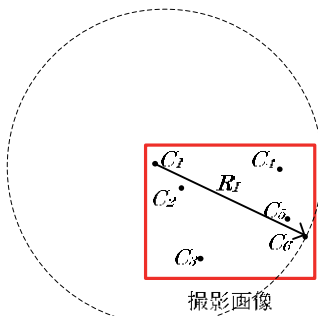


図-9 点の存在範囲

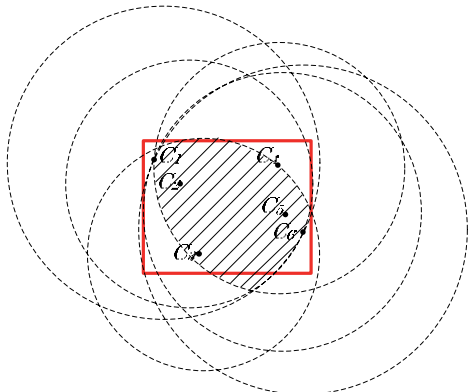


図-10 各画像点の存在範囲の論理積の領域

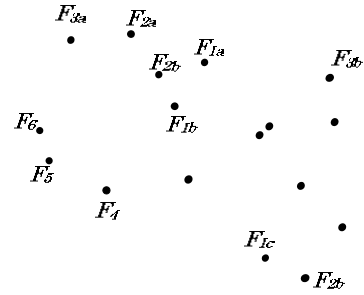


図-11 照合候補点分布の一例

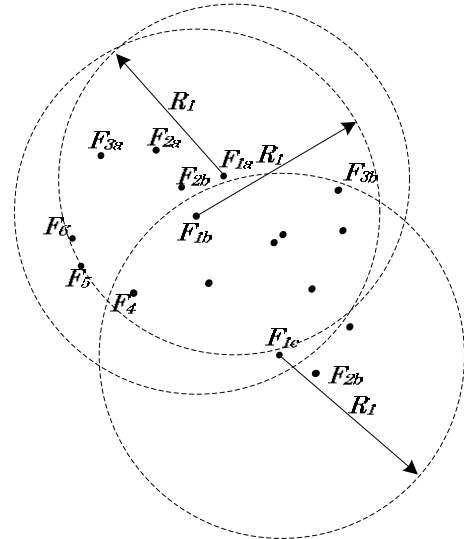


図-12 C_1 に対する照合点群存在領域

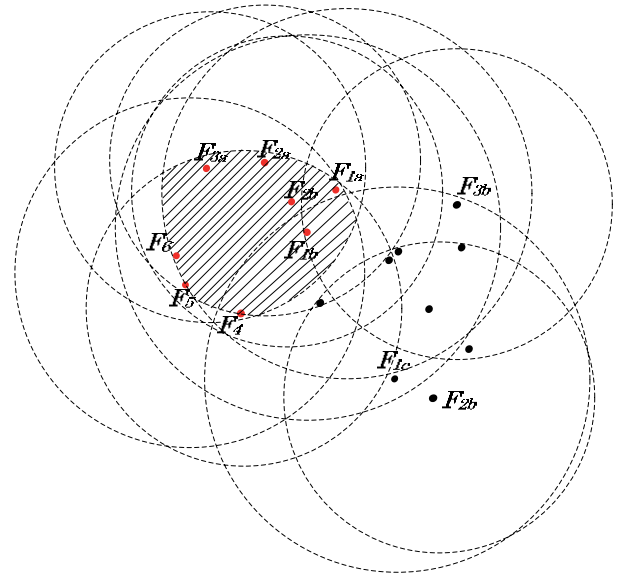


図-13 最終的な照合点群存在領域

2.3.2 幾何学合同による抽出

前節に算出された各照合点群存在領域中の点群について、画像点群と対応する照合点候補群から幾何学合同条件により正しく対応する点群の組合せを導き出す。つまり、正しく対応している画像点群と照合点群の間では、任意の2つの画像点間距離とそれらの画像点に

対応する2つの照合点間距離は許容誤差範囲内で一致することを利用して、複数の照合点候補から正しい照合点の組合せのみ抽出する。

以下、図-14 を例に説明する。照合点群候補領域にある画像点とそれに対応する照合点候補が図-15 のように対応していると仮定する。

照合点候補群に対応する画像点群についてその画像点の相互間距離を要素とする行列を図-16 のように作成する。なお、行列要素の C_{ij} は、画像点 C_i と C_j の間の距離を表す。また同様に照合候補点の相互間距離を要素とする行列図-17 を計算する。なお、同じ画像点間や同じ画像点に対応する照合点候補間(たとえば図-16、図-17 における C_1 と C_1 、 F_{1a} と F_{1a} 、 F_{1a} と F_{1b}) に対する距離は、 NA (該当なし)とする。

距離が一致する場合には、それぞれの行列の対応する要素(NA を除く)の差は許容誤差範囲内になる。 C_d と F_a の行列の差をとり、各要素の差が許容誤差範囲内の場合、1(=一致)、外の場合は0(=不一致)とする相互距離照合行列を作成する。また NA の要素は距離の一致に無関係なので0とする(図-18)。

この行列の列方向の和(図-18 の最下行6、2、3、5、6、5、5、4)は、各照合候補点-他の照合候補点間距離とそれに対応する各画像点-他の画像点間距離が一致する数を表す。一致する数が最も少ない画像点-照合候補点の組は、照合しない組とみなし、対応する行と列をこの行列から削除する。再度、同様に列方向に和をとり、その中から一致する数が最も少ない床点を削除する。この操作を繰り返すことで最終的に残った一致数が同数になりかつ残った点の数より一つ少ない数になった場合にのみ幾何学合同がなりたつ点が残ったことになる。図-14 の場合、図-19 の行列から $C_1 \rightarrow F_{1a}$ 、 $C_3 \rightarrow F_3$ 、 $C_4 \rightarrow F_4$ 、 $C_5 \rightarrow F_5$ の組が残る(図-20)。残った画像点群-照合点群の組の画像座標系での画像点座標値および床座標系での照合点座標値の組合せから画像座標原点の床座標系での位置・方向が求まる。

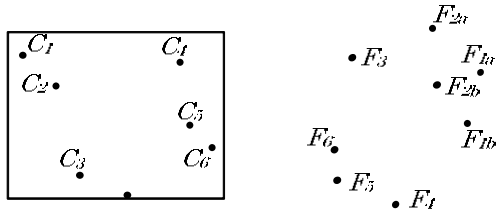


図-14 画像点と照合候補点

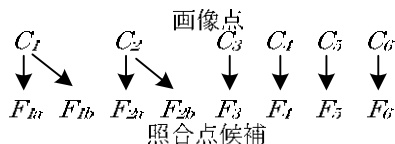


図-15 画像点と照合候補点の対応関係

$$C_d = \begin{matrix} & C_1 & C_1 & C_2 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 \\ C_1 & NA & NA & C_{12} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_1 & NA & NA & C_{12} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_2 & C_{12} & C_{12} & NA & NA & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_2 & C_{12} & C_{12} & NA & NA & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_3 & C_{13} & C_{13} & C_{23} & C_{23} & NA & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_4 & C_{14} & C_{14} & C_{24} & C_{24} & C_{34} & NA & C_{45} & C_{46} \\ C_5 & C_{15} & C_{15} & C_{25} & C_{25} & C_{35} & C_{45} & NA & C_{56} \\ C_6 & C_{16} & C_{16} & C_{26} & C_{26} & C_{36} & C_{46} & C_{56} & NA \end{matrix}$$

図-16 画像点間の相互距離行列

$$F_d = \begin{matrix} & F_{1a} & F_{1b} & F_{2a} & F_{2b} & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 \\ F_{1a} & NA & NA & F_{1a2a} & F_{1a2b} & F_{1a3} & F_{1a4} & F_{1a5} & F_{1a6} \\ F_{1b} & NA & NA & F_{1b2a} & F_{1b2b} & F_{1b3} & F_{1b4} & F_{1b5} & F_{1b6} \\ F_{2a} & F_{1a2a} & F_{1b2a} & NA & NA & F_{2a3} & F_{2a4} & F_{2a5} & F_{2a6} \\ F_{2b} & F_{1a2b} & F_{1b2b} & NA & NA & F_{2b3} & F_{2b4} & F_{2b5} & F_{2b6} \\ F_3 & F_{1a3} & F_{1b3} & F_{2a3} & F_{2b3} & NA & F_{34} & F_{35} & F_{36} \\ F_4 & F_{1a4} & F_{1b4} & F_{2a4} & F_{2b4} & F_{34} & NA & F_{45} & F_{46} \\ F_5 & F_{1a5} & F_{1b5} & F_{2a5} & F_{2b5} & F_{35} & F_{45} & NA & F_{56} \\ F_6 & F_{1a6} & F_{1b6} & F_{2a6} & F_{2b6} & F_{36} & F_{46} & F_{56} & NA \end{matrix}$$

図-17 照合候補点間の相互距離行列

$$\begin{matrix} & F_{1a} & F_{1b} & F_{2a} & F_{2b} & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 \\ C_1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ C_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ C_2 & 1 & \Sigma & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ C_2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ C_3 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ C_4 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ C_5 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ C_6 & 1 & \blacktriangledown & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & 6 & 2 & 3 & 5 & 6 & 5 & 5 & 4 \end{matrix}$$

図-18 等距離を持つ組み合わせの数

$$\begin{matrix} & F_{1a} & F_{1b} & F_{2a} & F_{2b} & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 \\ C_1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ C_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ C_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ C_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ C_3 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ C_4 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ C_5 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ C_6 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ & 3 & & & & 3 & 3 & 3 & & \end{matrix}$$

図-19 整合性のある組合せの抽出

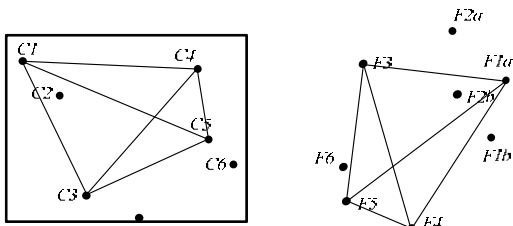


図-20 幾何学合同が成り立つ組合せ

2.3.3 照合率による検出値の決定

照合点群存在領域の絞り込みにおいて複数の対象領域が残りがつ、それぞれの対象領域において幾何学合同が成立する画像点群—照合床点群の組が存在した場合は、後述する照合率により唯一の組合せを決定する。

事前にデータベースの一つとして、床を適切な間隔で格子状のブロックにわけ、縦横のアドレスを設定、縦横のアドレスを行と列のインデックスとする行列（以降、照合アドレス行列とする）を用意し、アドレスブロック中に点が存在する場合にはその要素を1、存在しない場合にはその要素を0としておく。

幾何学合同(前述 2.5 節)にて最終的に求められた撮像画像中心の位置・方向をもとに、画像中すべての点について床座標系へ変換する。変換した座標値が照合アドレス行列の要素が1のブロック内にある数をカウントしその全画像点数に対する割合を照合率とする(図-21 参照)。複数の照合点群存在可能領域で幾何学合同が成り立つ組合せが存在した場合には、照合率が高い領域の点の組合せを採用する。照合率の低下は、誤った位置の検出(誤検出)とゴミの混入に起因する。照合率に下限を設定し、誤検出の排除にも利用する。

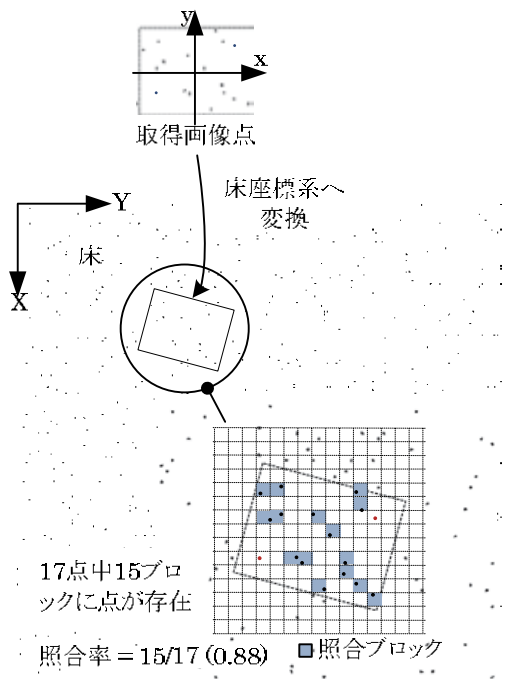


図-21 照合率

§3. 実験による検証

前章で述べた位置検出手法の実現性を検証するために検出精度ならびにゴミの混入や点の消失に関する実験およびシミュレーションを行った。

3.1 実験構成

実験に用いた床、画像取得装置、画像処理計算機の諸元を以下に示す。

1. 床(図-22 参照)

種類：ベージュ地に黒の点模様の塩化ビニルシート
床、製造時に黒チップを混入させたもの
広さ：1800mm×9450mm

2. 画像取得装置(図-23 参照)

イメージセンサ：白黒 CMOS
床—レンズ焦点間距離：約 130mm
画像視野：90mm×90mm
画像画素数：235pixel×235pixel

3. 画像処理計算機(図-23 参照)

CPU：インテル Core i5-520 vPro プロセッサ

床は樹脂に大きさ 2~3mm の黒チップ(プラスチック)を混入して製造した。その分布密度は厳密には制御できないが画像視野(90mm×90mm)あたり 30~40 個程度の点が出出することを目安に製造した。床画像は白色 LED で投光し撮像した。取得画像について、背景輝度の平滑化処理、2 値化処理、ノイズ除去およびラベリング処理を行い、黒色点群位置を抽出した後、レンズの放射状歪係数に従って各点の位置補正を行い最終的な画像点群位置とした。

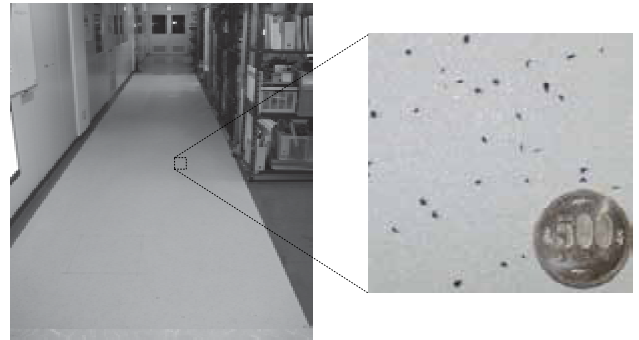


図-22 床シート材

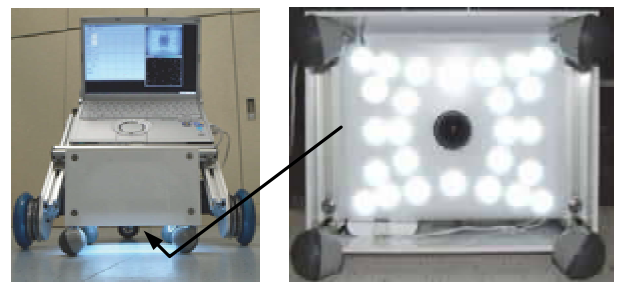


図-23 画像取得装置および画像処理計算機

3.2 位置検出実験

3.2.1 検出精度

稼働範囲 600mm、繰り返し位置決め精度 $\pm 0.02\text{mm}$ の直動アクチュエータに取付けた画像取得装置を 12.00 mm 間隔で 50 回動かし、それぞれの位置(51箇所)で位置検出を行った。図-24 に実験装置の概要を示す。

(a) 並進精度

検出位置群から最小二乗法により直線を推定し、その直線上をアクチュエータにより 12.00mm 間隔で動かした理想的な位置と実際の検出位置の差を計算した。図-25 に推定誤差の平面分布を示す。標準偏差が 0.33mm、最大偏差が、0.64mm となった。

(b) 角度精度

すべての検出位置での検出角度の平均値と各検出角度との偏差を算出した。図-26 に示す角度の偏差分布から標準偏差が 0.09deg、最大偏差が 0.38deg となった。

校正用の機器を使った精密計測は未実施のため厳密な精度は明示できないが、アクチュエータの位置決め精度および機械的なガタが微小である仮定から 1mm、0.5deg 以下の精度が期待できる。

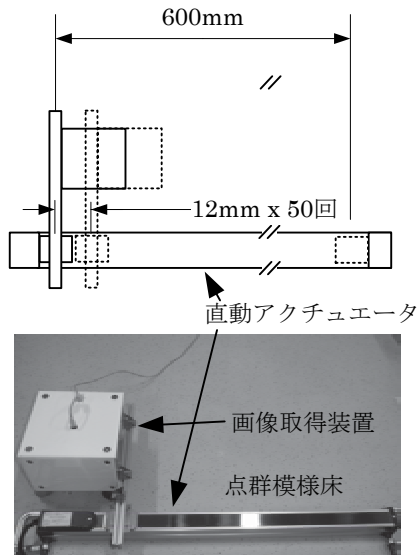


図-24 精度検証実験

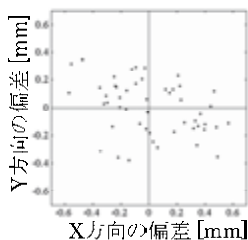


図-25 並進精度

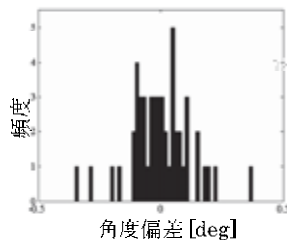


図-26 角度精度

3.2.2 ゴミの混入・点の消失

ゴミの混入や点の消失の実験例として、故意にゴミとなる点を加えた、あるいは点を隠した床に対する検出実験を行った。以下の5つのケースの結果を示す。

1. 23点を故意に加えた場合(図-27)
2. 33点を故意に加えた場合(図-28)
3. 28点を故意に隠した場合(図-29)
4. 30点を故意に隠した場合(図-30)
5. 40mmの白いラインで点を隠した場合(図-31)

撮画像には故意に加えたゴミ以外にも自然に発生したゴミも混入する。また、髪の毛やほこりなどの小さなゴミを排除するように画像処理を行っているため、小さな点が排除されてしまう傾向がある。一方、データベースの構築は施工直後のきれいな環境で行うため、ゴミがないことを前提に比較的小さな点も床点データとして採用している。そのためデータベースに存在する小さな点が検出時の画像点として認識されない場合がある。データベース中の検出位置の画像視野範囲に含まれる画像点と現実取得された画像点から各ケースにおける実際のゴミ混入の割合と点消失の割合を位置検出の成否とともに表-1に示す。

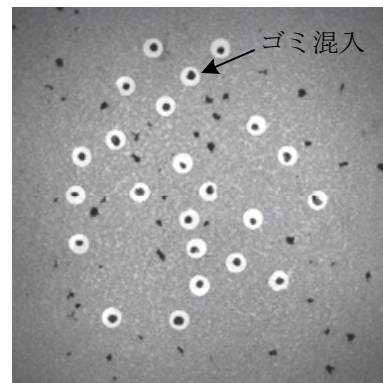


図-27 ゴミ混入 23 個

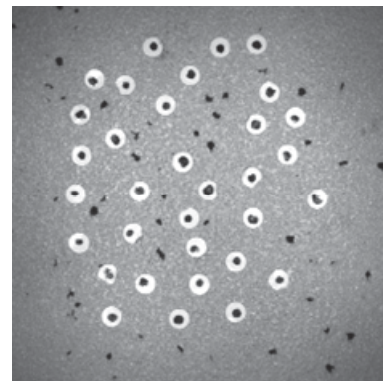


図-28 ゴミ混入 33 個

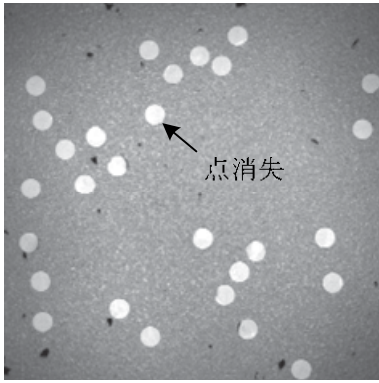


図-29 点消失 28 個

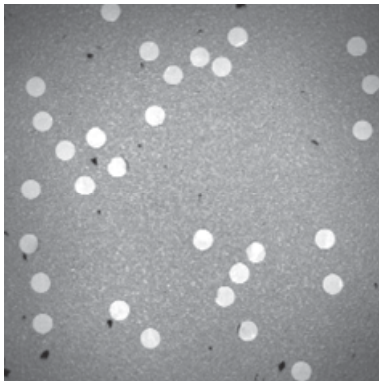


図-30 点消失 33 個

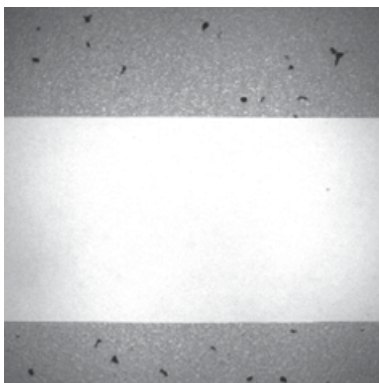


図-31 40mm 幅のラインによる点消失

表-1 ゴミ混入および消失における検出結果

| | 図 27 | 図 28 | 図 29 | 図 30 | 図 31 |
|----------|------|------|------|------|------|
| ゴミ混入率[%] | 61.0 | 90.2 | 9.5 | 9.5 | 7.8 |
| 点消失率[%] | 9.8 | 14.6 | 76.2 | 81.0 | 78.4 |
| 検出 | OK | NG | OK | NG | OK |

61.0%のゴミ混入(表-1/図-27)や76.2%の点消失(表-1/図-29)においても検出が成功しており、ロバストな検出性能が実験から確認された。さらに多数のケースにおける統計的な考察を行うため、シミュレーションによる検証を行った。

3.3 シミュレーションによる検証

3.3.1 シミュレーション条件

シミュレーションの条件は、実際のデータベースおよび画像点抽出時の状況と一致させた。

1. 想定床：1800mm×9450mm
2. 床上の点数：91582 点
3. 視野範囲：90mm×90 mm、235 pixel×235 pixel
4. 画像点抽出位置誤差：標準偏差 1pixel の正規分布

3.3.2 ゴミ混入

床上で縦横 112.5mm 間隔の格子状の位置 1209 箇所について画像視野範囲にある点をデータベースから抽出し画像点の取得を模擬した。得られた画像点に無作為にゴミに相当する点を加えへさらに、各点 3.3.1 の 4 で設定した位置誤差を与えた。その場合の位置検出結果を表-2 に示す。30%のゴミ混入までは、全ての箇所ですべて正しい位置を検出した(正検出)。50%のゴミ混入においても誤った位置の検出(誤検出)と検出不能の合計は、1209 か所中 9 か所であり、ゴミの混入に対してロバストであった。

表-2 ゴミ混入模擬の検出結果

| ゴミ混入率[%] | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|----------|-----|-----|-----|-------|-------|
| 正検出[%] | 100 | 100 | 100 | 99.59 | 99.26 |
| 誤検出[%] | 0 | 0 | 0 | 0.33 | 0.66 |
| 検出不能[%] | 0 | 0 | 0 | 0.08 | 0.08 |

3.3.3 点消失

ゴミの混入と同様に画像点群の取得を模擬し、得られた画像点群から無作為に点を減らすことで点の消失を模擬した。その場合の位置検出結果を表-3 に示す。50%の点を失っても95%以上の検出率が得られ、点の消失に対してもロバストであることが確認された。

表-3 点消失模擬の検出結果

| 点消失率[%] | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|---------|-----|-------|-------|------|-------|
| 正検出[%] | 100 | 99.92 | 99.59 | 99.5 | 95.95 |
| 誤検出[%] | 0 | 0 | 0.17 | 0.08 | 0.91 |
| 検出不能[%] | 0 | 0.08 | 0.29 | 0.41 | 3.14 |

3.3.4 ゴミの混入+点の消失

3.2.2 で述べたように、現実の床では、ゴミの混入と点の消失が同時に発生している。3.2 の実験で用いた 51 か所で取得した画像点について解析したところ、最大で 25%の点消失が見られた。そこで、模擬取得した画像点群から 25%の点群を削除した後にゴミ点群をいくつかの割合で混入した。その結果を表-4 に示す。ゴミ混入のみ(表-2)あるいは、点消失のみ(表-3)に比べると検出性能は低下しているが50%のゴミ混入

に対しても 89.66%の割合で検出ができています。

表-4 25%点消失+ゴミ混入の検出結果

| ゴミ混入率[%] | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 正検出[%] | 99.57 | 98.76 | 97.35 | 95.54 | 89.66 |
| 誤検出[%] | 0.08 | 0.50 | 1.41 | 3.39 | 7.44 |
| 検出不能[%] | 0.33 | 0.74 | 1.24 | 2.07 | 2.90 |

3.3.5 基準照合率による誤検出の排除

移動ロボットでは誤検出は危険な誤作動の原因となるため、そこで検出値として採用する際に、照合率(2.6 参照)に下限値(以降、基準照合率とする)を設定し誤検出を排除した。表-2~表-4 のケースについて照合率を調べた結果、表-4 のケースに正検出の場合の最も低い照合率と誤検出の場合の最も高い照合率が見られた。表-4 のケースの照合率を表-5 に表す。

表-5 照合率

| ゴミ混入率[%] | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|-------------------|------|------|-------------|-------------|------|
| 正検出時照合率 最低値[%] | 61.1 | 56.3 | 51.5 | <u>38.9</u> | 42.9 |
| 誤検出時照合率 最大値[%] | 10.0 | 16.1 | <u>23.5</u> | 18.9 | 21.4 |

正検出時の最小照合率は 38.9%であり、誤検出時の最大照合率は 23.5%であった。よって今回試した全てのケースで 23.5%~38.9%の間に基準照合率を設定すると、正検出を損なうことなく誤検出を検出不能として排除できる。なお、照合率計算時の照合アドレス行

<参考文献>

- 1) 丹羽 治彦, 小鷹 研理, 海老沼 拓史, 坂本 義弘, 大竹 正海, 金森 道, 菅野 重樹: “スードライトを用いた屋内 GPS によるロボットポジショニング”, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2008.
- 2) Tomohiro UMETANI, Tomoya YAMASHITA and Yuichi TAMURA: "Probabilistic Localization of Mobile Wireless LAN Client in Multistory Building based on Sparse Bayesian Learning", Journal of Robotics and Mechatronics, vol. 23, no. 4, pp. 475-483, 2011.
- 3) 西田 佳史, 秋山 賢治, 堀 俊夫, 柿倉 正義: 超音波 3 次元位置計測のための冗長なセンサデータを用いた高速位置推定アルゴリズム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2003 講演論文集, pp.1P1-3F-E6(1)-(2) 2003.
- 4) 友納正裕, 油田信一: “不正確さを許すマップと単眼ビジョンによる物体認識に基づく移動ロボットの屋内ナビゲーション”, 日本ロボット学会誌, vol. 22., no. 1, pp.83-92, 2004.
- 5) 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和: “不可視マーカを用いた位置・姿勢推定のための環境構築とユーザ位置・姿勢推定システム”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 13, no.2, pp.257-266, 2008
- 6) 内山英昭, 春山真一郎, 永元真樹: “可視光通信技術を用いた 3 次元位置計測システムの開発”, 建設機械, vol. 45, no.2, pp.50-53, 2009
- 7) 小鷹研理, 丹羽治彦, 坂本義弘, 菅野重樹: “格子状に配置された RFID タグの床面を移動するロボットの姿勢推定”, 計測自動制御学会論文誌, voll.45, no.7, pp. 379-387, 2009.
- 8) 西坂信哉, 檜山敏, 谷川智洋, 廣瀬通孝: “内装模様を利用した位置計測のロバスト性の向上に関する研究”, 映像情報メディア学会技術報, vol. 33, no.21, pp43-48, 2009.
- 9) Kelly, A.: “Mobile Robot Localization from Large Scale Appearance Mozaics”, International Journal of Robotics Research, vol. 19, no. 11, pp. 1104-1125, 2000.
- 10) E. Silani and M. Lovera: “Star Identification Algorithms: Novel Approach & Comparison Study”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 42, no.4, pp. 1275-1288, 2006.

列のブロック分解能(2.6 参照)は床上の黒点の大きさが 2~3mm であることから 2.8mm に設定した。

§ 4.おわりに

ランダム点群模様の床を利用した位置検出手法を提案し、実際のシート床を対象とした実験およびシミュレーションを行って以下を確認した。

1. 1mm、0.5deg 以下の検出精度が期待できる。
2. ゴミ混入や点の消失にロバストである。
3. 基準照合率の適切な設定により誤検出を排除できる。

本稿では 1800mm×9450mm の床を対象としたが、その 10 倍強の面積に疑似ランダム点を設けたバーチャルな床データベースに対するシミュレーションを実施し、動作を確認している。ただし、検出に 30~40 秒要するため GPU を使った高速化に取り組んでいる。また、面積の増大により誤検出の増加も予想されることから、ロボット位置近傍の数か所で位置検出行い信頼性を向上させる方法やロボット位置のおおまかなエリアを他の手段で与えるなどの運用的な対処方法についての検討も進める予定である。

謝辞

本研究を行うに際しては、東京理科大、木村真一教授にご指導・ご助言をいただきました。また、タキロン株式会社の平松有情様、清水渚様には床材を快く提供していただきました。ここに記して謝意を表します。