

SLAM技術を搭載したロボット掃除機

Robot Vacuum Cleaner Equipped with SLAM Technology

齊藤 弘幸*
Hiroyuki Saito

天野 克重*
Katsushige Amano

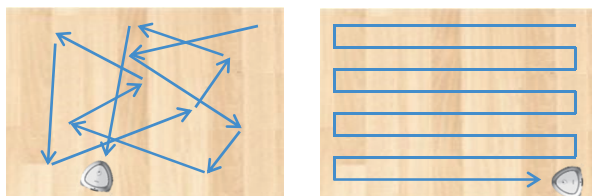
ロボット掃除機において、自己位置推定と地図作成を同時に行うSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術に着目し、カメラを用いたVisual SLAM技術を搭載した、PCレベルの処理能力を必要とする同技術をロボット掃除機の特長を生かした処理の低減化を図ることで実現化し、部屋の掃除の網羅性を把握しながら効率よく掃除動作が行えるようになった。この結果、従来の部屋の中をランダムに走行し、時間をかけて部屋全体を網羅する掃除パターンから、掃除時間を約50%短縮できた。

Focusing on Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) technology which carries out self-position estimation and map creation at the same time in a robot vacuum cleaner, a Visual SLAM technology using a camera is built-in. It achieves technology requiring PC level processing capability by reducing the processing required to be carried out by the robot vacuum cleaner, and cleaning operations can be performed efficiently while understanding the exhaustiveness of room cleaning. We were able to shorten the cleaning time by about 50% from the cleaning pattern which runs randomly in the room and covers the whole room over time.

1. ロボット掃除機の現状

ロボット掃除機の市場は年々拡大しており、特に共働きの増加により、ロボットに掃除をしてほしいというニーズは高く、今後も市場は拡大していくと見込まれている。一方、部屋の隅や椅子の脚周りなど、細かい部分のゴミ取り性能への満足度が低く、より丁寧にきめ細かくしっかりと掃除ができるロボット掃除機が求められている(当社調べ(2015年ユーザー調査:N=555))。

当社では正三角形の各辺を膨らませた定幅図形であるルーローの三角形を生かしたロボット掃除機「RULO」を開発し、2015年より市場に投入してきた。この機種では第1図(a)に示すようにランダムに直進・回転を行いながら走行し、部屋全体を網羅する掃除パターンを行っている。しかし、ランダムに走行するため、ときには同じところを何度も走行することもあり、部屋全体を網羅し掃除するためには、ある程度余裕度を設けた時間設定



(a) ランダム走行

(b) ルート走行

第1図 ロボット掃除機の掃除パターン

Fig. 1 Cleaning pattern of robot vacuum cleaner

をしなければならなかった。

2. SLAM技術を搭載したロボット掃除機の開発

従来のランダム走行よりも効率よく掃除するために、自己位置推定と地図作成を同時に行うSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術に着目し、SLAM技術を用いた効率の良い掃除パターンの開発を行った。今回の開発では、部材コストの観点から単眼カメラを用いたVisual SLAMを用いて実現した。

2.1 SLAMの原理

Visual SLAMでは、カメラで撮影した画像から物体の点や角などを周囲と比べて特徴的な点(特徴点)として抽出し、カメラの移動前後の特徴点の動きを基に自己位置推定や地図作成を行う。

自己位置の推定は、既存の特徴点がカメラ撮像のどこに写るかを計算し、その位置と実際に写っている位置との差(投影誤差)を求める。複数の特徴点に対し投影誤差を求め、投影誤差が最小となるようにカメラポーズ(カメラ画像の撮影座標・方向)を計算することで、自己位置を推定する。

地図の作成は、カメラポーズ推定済みの2枚のカメラ画像間に共通して映る特徴点を抽出し、抽出した特徴点座標を三角測量の原理で求める。この処理を繰り返し実施することで地図を更新する。ただし、この時点では、相対的な距離しかわからないため、駆動モータの回転数から算出した移動距離を加味することで、部屋の大きさに応じた地図が作成される。

Visual SLAMの実現には、PCレベルのCPUの処理能力

* アプライアンス社 ランドリー・クリーナー事業部
Landry Systems and Cleaner Business Div., Appliances Company

が必要となるが、コストや消費電力を考えた場合、処理負荷の低減が必要であった。

そこで今回の開発では、第2図に示すようにカメラをロボット掃除機本体から上方に向けて配置し、撮影画像の時間変化量が少ない天井を撮影することで処理負荷を低減した。またカメラを天井方向に向けたことにより、旋回動作時も撮影範囲は大きく変化せず、画像の回転のみとなるため、フレームレートを落としても特徴点の対応付けを精度良く行うことができた。

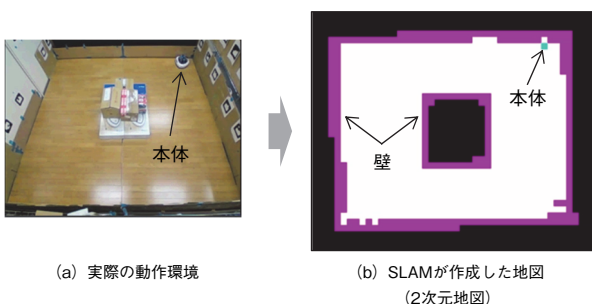


第2図 本体上面に向けてカメラを搭載したロボット掃除機とカメラが捉えた特徴点

Fig. 2 Robot vacuum cleaner with camera mounted on top of the main unit and characteristic points captured by the camera

一方、天井を撮影することにより、本体前方などに向けてカメラを配置した場合に比べて特徴点も少なくなるため、撮影画像間の特徴点の対応付けに誤りが発生した際の影響が相対的に大きく、位置推定精度が悪化する問題があった。これについては、宅内動作を前提とするロボット掃除機が取り得る座標は床面に限られ、回転も1軸であることに着目し、カメラポーズの座標は特定の2次元平面、回転は垂直方向の1軸回りに限定することで、あり得ない位置推定を除去し、特徴点の誤対応発生時でも計算精度の悪化を防ぐことができた。

上記対策を行い第3図(a)に示すように実際に四角に区切った領域において測定した。カメラ画像から特徴点を抽出し、3次元地図を作成し、これを2次元平面に置き



(a) 実際の動作環境

(b) SLAMが作成した地図
(2次元地図)

第3図 SLAMにより作成した地図

Fig. 3 Map created by SLAM

直し、駆動モータから算出した移動距離を加味する。さらに本体側面に配した赤外線センサが検知した障害物を壁として配置して、第3図(b)に示すように走行した領域の地図を作成している。

2.2 SLAM技術を用いた掃除アルゴリズム

前述のSLAM技術を実際にロボット掃除機に搭載し、効率よく掃除するための走行アルゴリズムを検討した。

運転を開始すると部屋の壁に沿った外周走行動作を行うことで、部屋全体の形状を把握することを優先した。これはゴミが部屋の隅や端に溜(た)まりやすい性質からも、効率が良く、従来の機種でも最初に壁沿いを掃除していた。

外周走行後、第1図(b)に示すように部屋内部を壁から向かい側の壁へと直進し、到達すると折り返して、次の列をまた壁から向かい側の壁まで直進する(ルート走行)。これを部屋の端に到達するまで繰り返す。障害物がない環境であれば、ルート走行でほぼ網羅できるが、実際の環境では、家具などの障害物や、廊下などを介して別の部屋があるなど、外周走行とルート走行だけでは掃除残しが生じてしまう。

ルート走行後の掃除残しに対しては、外周走行で作成した外形とルート走行で通過した箇所から、まだ掃除できていない領域を抽出し、この未掃除領域内を、ルート走行にて掃除を行う。これを未掃除領域がなくなるまで繰り返すことで、部屋全体をくまなく掃除することができる。

この結果、14畳の部屋に家具(ソファやテーブル、テレビ台など)を配置した模擬環境で、従来機種に比べ、掃除時間を約50%短縮できた。

3. 他の技術との融合

SLAM技術を搭載したことで、他の技術との融合で、さらなるサービスを提供することができた。ここでは、代表的な事例を2点紹介する。

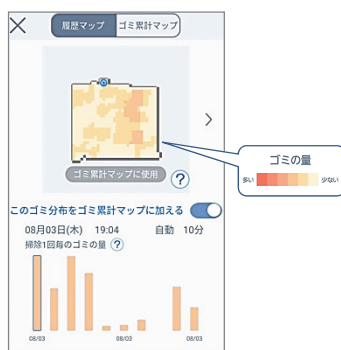
3.1 スマートフォンアプリ(スマホアプリ)との融合

ロボット掃除機が作成した地図をスマホアプリに表示することで、実際に掃除できたのかわからないとの不満のあったロボット掃除機において、どこを掃除したのかが見えるようになった。

また、作成した地図を元に、ユーザーがスマホアプリで掃除して欲しい/欲しくないエリアを設定することで、ユーザーの使用環境に応じた設定ができ、使用勝手を向上することができた。

3.2 ハウスダスト発見センサとの融合

当社独自の約20 μm のゴミまで見つけることができるハウスダスト発見センサとの融合により、ハウスダスト発見センサが検知したゴミの量を第4図のように先述した部屋の地図上に表示することで、ユーザーはロボット掃除機がどの場所でどれだけのゴミを収集したのかがわかるようになった。これにより、ロボット掃除機が部屋を網羅できたかだけでなく、しっかりと掃除できているのかもわかるようになり、使用満足度を向上することができた。



第4図 スマホアプリに表示するSLAMが作成した地図とゴミの分布

Fig. 4 Map drawn by SLAM on smartphone application and dust distribution

また、運転ごとの地図を累積・重ねることで、ゴミの溜まりやすい場所が傾向としてわかるようになった。これにより、ユーザーが急いで掃除したいときなどにゴミの多い箇所のみを短時間で掃除するお手軽モードとして搭載することで、ロボット掃除機におけるさらなるお掃除提案もできた。

4. 動向と展望

今回は、SLAM技術を導入することで、効率の良い掃除動作を行うロボット掃除機を実現することができた。

今後は、AI技術のさらなる進歩やセンシング技術の向上により、さまざまな障害物や部屋の形状などを正確に認識し、学習することで、さらに賢く掃除することができるロボット掃除機へと進化することが予想される。

当社としてもロボット掃除機の本質である部屋をくまなくしっかりと掃除することの追及を継続するとともに、AI技術やセンシング技術の他、さまざまな技術との融合により、新たな価値提案を行っていく。