

自律移動ロボットの自己保存

- 自律移動，6軸力覚センサを用いたコンセント挿入動作の実現 -

岡山大学大学院 自然科学研究科 ○山田 朋史，永谷 圭司，田中 豊

Self-keeping of Autonomous Mobile Robot

- Autonomous Movement and Plug Insertion with a 6-array Force Sensor -

○Tomofumi YAMADA, Keiji NAGATANI and Yutaka TANAKA, Okayama University

Abstract: Service mobile robots in a human-robot coexistence environment are required to perform continuous tasks. Practically, they need rechargeable batteries that requires charge. Therefore, a motion of autonomous-battery-charging for mobile robot helps performance of the continuous tasks. However, a deployment of exclusive use of battery charge station requires much cost. In this research, we aim to realize a motion of autonomous-battery-charging for mobile manipulator using common electrical outlets. In this paper, we report an implementation of autonomous navigation and plug insertion motion for battery-charge.

1 緒言

人間が生活する環境下で作業を行う移動ロボットは、人間が手を加えることなく、与えられたタスクを遂行し続けることが求められる。しかしながら、現実的には、ロボットが広範囲を移動する以上、電池による電源供給を必要とし、電池には充電が必要不可欠である。そこで、ロボットが自律的に電池に対する充電動作を行うことができれば、ロボットが、与えられたタスクを遂行し続けることが容易になる [1]。

しかしながら、専用の充電装置をいたるところに配備することは、コストがかかる。そこで、本研究では、ロボット自身が電源供給が必要だと判断した際に、自律的に家庭用コンセントまで移動し、プラグを挿入 / 充電を行う動作の実現を目指すこととした。

本稿では、この動作を実現するために必要な動作を分析し、各動作についての実装状況について述べる。

2 目標タスクの分析

目標タスク「家庭用コンセントを用いた自律的な充電動作」を実現するためには、(1) コンセントが存在する位置までの自律移動、ならびに、(2) コンセントにプラグを挿入する動作が必要となる。これらの動作を組み合わせることで、目標タスクの実現が可能となる。ただし、本研究では、以下に示す前提条件を設ける。

- 1: プラグはマニピュレータの手先部分中央に装着
- 2: 環境内に存在するコンセントの位置は既知
- 3: ロボットの初期位置は既知
- 4: 対象とする環境には、一切手を加えない

3 対象とするロボット

本研究で使用するロボットは、車輪型移動ロボットに6自由度のマニピュレータを搭載するものである。このロボットは、本研究室で製作された、自律移動ロボットシリーズの中の一であり、山彦 Ron と名付けられている (Fig.1)。

山彦 Ron には、ナビゲーションにおける障害物検知センサとして、北陽電機社製「測距式センサ PB9」(以下 PB9) を、また、マニピュレータには、手首部分にニッタ株式会社製「6軸力覚センサ IFS-67M-25A25-140」を、手先には、画像認識用カメラとして、WATEC 社製ピンホールカメラ「WAT-230」を搭載している。

4 コンセントまでの経路計画

本研究では、コンセントまでの経路計画手法として、ディスタンストランスフォーム法を用いた [2]。Fig.2 に経路計画例を示す。

この手法を用いた理由としては、ロボットが計算できる能力、また、停留点やデッドロックなどがなく、常に稼働する状況で、経路を計画できるためである。



Fig. 1: Target robot

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	G	1	2				
11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3				
12	11		9	8			5	4	3	2	3	4				
13	12							5	4	3	4	5				
14	13										5	6				
15	14	15										7				
16	15	16	17									9	8			
17	16	17	18										10	9		
18	17	18	19											11	10	
19	18	19	20												12	11
20	19	20	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12				
21	20	21	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13				
22	21	22	23	S	21	20	19	18	17	16	15	14				

Fig. 2: Distance transform method

なお、この手法では、経路計画適用内の障害物情報が既知であることが前提条件であるが、本研究では、走行前に、山彦 Ron に搭載された PB9 によって障害物を検出し、障害物情報を登録することで、経路計画を行う。

ここで、オクルージョンに対処するため、本研究では、ロボットの移動範囲内において、センシングと経路計画をくり返し適用することとした。なお、一回あたりに手法を適用するフィールドは、センサの検出距離から、縦 3m × 横 2m とした。

実際にディスタンストランスフォーム法を用いて、自律移動させた際、センサ情報より障害物を回避する経路を計画し、走行を行うことができた。しかしながら、車輪の滑りや、路面の凹凸などによって、ロボットが到達する位置と、目標とする位置に誤差が生ずる。これを回避するため、自律移動の際には、今後、何らかの修正動作が必要であると考えられる。

5 コンセントへのプラグ挿入動作

5.1 コンセントの認識

プラグをコンセントに挿入するためには、ロボットがコンセントの位置を把握しなければならない。そこで、コンセントの位置認識のために、代表的な画像処理技術である、テンプレートマッチング法を用いて、コンセントの位置認識を行うこととした。

マッチング完了後、認識されたコンセントの中心が、ハンド中心にくるようにハンドの位置を修正し、プラグの挿入動作を行う。

5.2 コンプライアンス動作

通常のマニピュレータの位置制御は、剛性の高いものであり、厳密な位置合わせを必要とする。そこで、本研究で目指すプラグ挿入などのペグインサージョンには、コンプライアンスが有用である。

そこで、本研究では、マニピュレータの手首部分に搭載されている、6軸力覚センサを用いて、力を検出し、力フィードバック制御を行うことで、コンプライアンス動作を実現させることとした [3]。

具体的には、マニピュレータのヤコビ行列を用いた算出法を用い、コンプライアンスの実現を行った。

マニピュレータの手先の位置・姿勢 r と、各関節の回転角度成分 θ の関係は、ヤコビ行列 J を用いると以下ようになる。

$$\dot{r} = J\dot{\theta} \quad (1)$$

(1)の両辺にヤコビ行列の逆行列 J^{-1} をかけて

$$\dot{\theta} = J^{-1}\dot{r} \quad (2)$$

となる。これにより、力覚センサによって検知された力の成分に係数をかけたものを手先の微小変位成分 \dot{r} とおき、マニピュレータの各関節の微小回転角度 $\dot{\theta}$ を導出し、目標とする各関節角度に加え、位置制御を行うことで、コンプライアンスを発生させる。

5.3 プラグを挿入するマニピュレーション

プラグをコンセントの位置まで動作させる際、5.2で述べた方法では、マニピュレータの動作中、振動による力が検出されてしまうと、手先の位置・姿勢が変化してしまい、目標とする位置まで、正しく手先を移動させることが難しい。

そこで、本研究では、マニピュレーションを (1) プラグがコンセントに接触していない状況、(2) プラグがコンセントに接触している状況の2つに分けて考えることとした。

(1) では、コンプライアンスを発生させない動作によって位置修正を行い (Fig.4)、力覚センサによって、ある閾値以上の力を検出した (プラグがコンセントに接触した) 後、(2) において、コンプライアンス動作を行って、挿入動作を行う (Fig.5)。

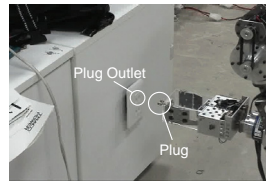


Fig. 4: Adjustment

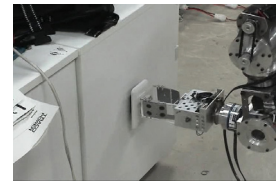


Fig. 5: Insertion

5.4 プラグ挿入が完了したことの認識能力

ロボットはコンセントに正しくプラグを挿入することができたかを判断する必要がある。そこで、本研究では、マニピュレータの手先部分に搭載された6軸力覚センサを用いて、挿入動作時に、手首部分に加わる力の推移により、プラグの挿入完了を判断する。

さらに、上記の挿入完了判断手法に加え、挿入動作完了と判断した際に、手首部分を少し回転させ、手首部分に加わるモーメントを力覚センサを用いて検出し、その推移を見ることで、プラグ挿入完了の認識を行うこととした (Fig.6)。

プラグが正しく挿入された場合は、手首部分を回転させたときにプラグが回転しないため、回転に対する抵抗が、モーメントとして検出される。一方、挿入されていない時は、プラグが回転するため、手首回転に対する抵抗は小さい。



Fig. 6: Moment data

5.5 挿入動作の実装状況

現在、テンプレートマッチングによるコンセント認識、修正動作、挿入動作の実装まで完了している。台車の位置合わせを行った状況では、挿入動作の成功率は80%程度と、高いものとなっている。

6 結言

本稿では、自律移動のロボットへの実装、また、プラグ挿入動作の実装について述べた。

今後の予定としては、実際に手先にプラグを搭載し、挿入時の力成分のデータをとることで、力覚センサによる、プラグ挿入完了判断法の有効性を検証する。また、視覚フィードバックによる修正動作から、プラグ挿入の実現、さらに、自律移動、挿入動作のインテグレーションを行い、目標タスクの実現を目指す。

参考文献

- [1] Shin'ichi Yuta, Yasushi Hada: "Long term activity of the autonomous robot - Proposal of a bench-mark problem for the autonomy -"
- [2] Alexander Zelinsky, Shin'ichi Yuta: "A Unified Approach to Planning, Sensing and Navigation for Mobile Robots", 1993 Preprints of the Third International Symposium on Experimental Robotics
- [3] TH.Meitinger, F.pfeiffer: "The Spatial Peg-in-Hole Problem", IEEE/RSJ Conf. on Intelligent Robots & Systems, 1995, Vol.III,59-64