

渋滞に対する複数ロボットの経路設定に関する一考察

About routing of multi-robots considering the congestion

内海 孝亮, 植村 渉

Kosuke Utsumi and Wataru Uemura

龍谷大学大学院理工学研究科電子情報学専攻
Ryukoku University

utsumi@vega.elec.ryukoku.ac.jp, wataru@rins.ryukoku.ac.jp

概要

近年、生産工場や大型倉庫では作業効率、安全性の向上を図るため産業ロボットを用いたオートメーション化への移行が進んでいる。複数の産業ロボットが同時に動いているので、それぞれの行動によってお互いの進路をふさいでしまい、スムーズに動けなくなることがある。このようなデッドロックが起こらない経路設定方法が必要である。そこで、本研究では複数のロボットが同一環境下で独立して動く際の経路設定方法と渋滞の発生率の関係を調べるためにシミュレータを作成し、ロボット移動の一方通行化に基づくデッドロック回避手法[Takadama 2013]を基に 5 つの経路設定を比較し、渋滞に対して有効な経路設定のルールを検証する。

1 はじめに

生産工場や大型倉庫では少量多品種の生産が要求され、作業効率、安全性の向上を図るため、人間による手作業から産業ロボットを用いたオートメーション化への移行が進んでいる。複数の産業ロボットが動いているので、それぞれの行動によってお互いの進路をふさぎ、スムーズに動けなくなることがあり、場合によっては人間の手を介さなければ解決できないことがある。このようなデッドロックが起こらない経路設定が必要である。

複数のロボットが同一環境下で独立して動く際、経路設定方法と渋滞の発生率の関係を調べ、渋滞に対して有効な経路設定のルールを検証する。ただしロボット間では通信を行わず、お互いの経路情報を教えあうことはできない場合を考える。

2 渋滞とデッドロックの回避方法

渋滞やデッドロック状態を回避するために様々な方法が提案されている。渋滞回避の交通方法としてラウンドアバウトについて説明する。また、デッドロック回避の先行研究としてロボット移動の一方通行化に基づくデッドロック回避について説明する。

2.1 ラウンドアバウト

ラウンドアバウトとは信号のない交差点で、円形状の一方通行ロータリを交差点に作るものである[Nishinari 2006]。まず車は交差点に来るとロータリに

合流する。ただしロータリを既に走っている車が優先である。ロータリに入ると、その中を回って自分の目的の方向の道へ出ていく仕組みである(Figure 1)。交通量が少ないときは交差点で止まる車はなく、ロータリを回っていけばノンストップで目的の道に進めて信号機で制御する場合よりも効率的に移動ができる。しかし交通量が多くなってくると、ロータリ内は常に車で溢れてロータリ内に車がなかなか入れなくなる。これに対して信号機で制御する場合は、大抵 2 方向からしか車は交差点に進入しないので交差点内が車で溢れることは少ない。また、隣接するラウンドアバウトも同様な状態に陥っている場合は、ロータリ内から出ようとする車も出られなくなりデッドロックが発生する。これをグリッドロックといい、信号で制御する場合でも同様のことが言える。このようにラウンドアバウトは交通量が少ないときは効果的だが、交通量が多いと逆効果になってしまうことがある。

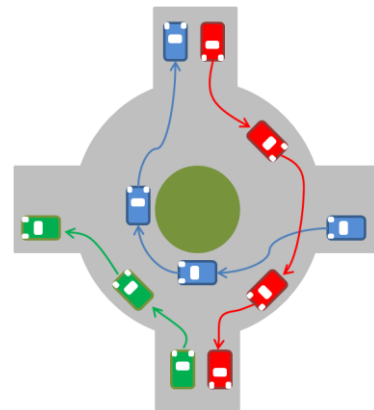


Figure 1 ラウンドアバウトの一例

2.2 ロボット移動の一方通行化に基づくデッドロック回避

複数のロボットが同時に独立して動く際、一箇所にロボットが固まり多数のロボットの経路が重なった場合がある[Takadama 2013]。ここでは六角形状のパネルを敷き詰めたようなグラフの辺上をロボットが移動し、ロボットが移動可能な点が 1 箇所しかないと考えられる。

2.2.1 移動経路の一方通行化

移動可能な点が1箇所しかないような超高密度環境において、ロボットは移動する前の元の点に戻ってしまうとデッドロックをいつまでも回避することはできない。したがって、ロボットが移動可能空間に移動したあとは元の位置には戻らず、前進し続けることが必要である。そのためには、全ての辺に対してロボットの移動方向を一方通行化する必要がある。全ての辺における移動方向を一方通行化された構造物は有向グラフになっていると言える。このグラフ上においてある点からある点まで移動できることを示すには強連結の有向グラフであることを示さなければならない。

2.2.2 回転パネルと非回転パネル

あるグラフが強連結の有向グラフであることを示すためには、ロビンスの定理[Robin J 1972]より、全ての頂点が少なくとも一つの閉路に含まれている必要がある。ここでは六角形パネルをそれぞれ閉路として見る。しかし、全ての六角形を閉路として見ることはできない。これは、閉路となる六角形を3枚繋げることができないからである。3枚パネルのうち1枚は移動方向が時計回りにも反時計回りにも定められない。したがって、閉路となる六角形と閉路とならない六角形を適切に配置する必要がある。閉路となる六角形を**回転パネル**、閉路とならない六角形を**非回転パネル**と呼ぶ。この2つパネルは1) 回転パネルは逆の回転パネルと接続可能、2) 非回転パネルは回転パネルに隣接可能、3) 非回転パネル同士は隣接不可の条件を満たすように従って配置される。Figure 2はこのルールに従って配置したグラフである。この図では矢印が付いている六角形が回転パネル、矢印が付いていない六角形が非回転パネルを表している。

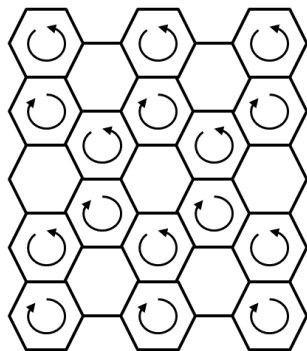


Figure 2 ルールに従って配置されたパネル

3 検討事項

2章で述べたラウンドアバウトを連ねていくとFigure 3のように多角形パネルを敷き詰めたような形になり、その辺上を移動しているように見える。そこで、2章で述べたロボット移動の一方通行化に基

づくデッドロック回避に用いられた六角形パネルと比較して多角形パネルの敷き詰めパターンと密度の関係について調べ、渋滞に対して有効な経路設定を導く。また、複数の通行ルールを正方形パネルと六角形パネルを敷き詰めたものに適用する。本研究では2章で述べた回転パネルに基づく一方通行ルールを**回転パネルルール**、2点間をどちらにも移動できるルールを**双方向移動ルール**と呼び正方形パネルと六角形パネルに適用する。また、正方形パネルには一列または一行ごとに一方通行の向きを変える**格子状一方通行ルール**も用いる。本研究で比較していく正方形パネルの経路設定をFigure 4、六角形パネルの経路設定をFigure 5に示す。

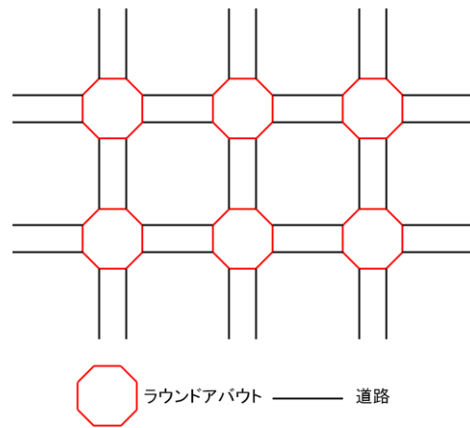


Figure 3 ラウンドアバウトが繋がった様子の略図

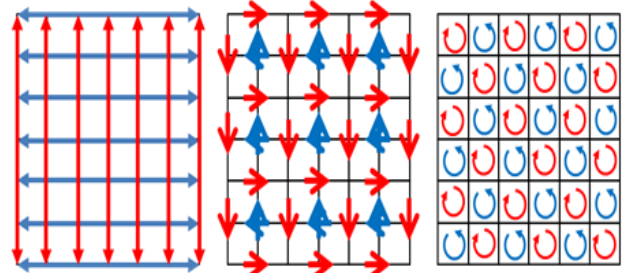


Figure 4 左から双方向、格子状一方通行、回転パネルルールを用いた正方形パネルの経路設定

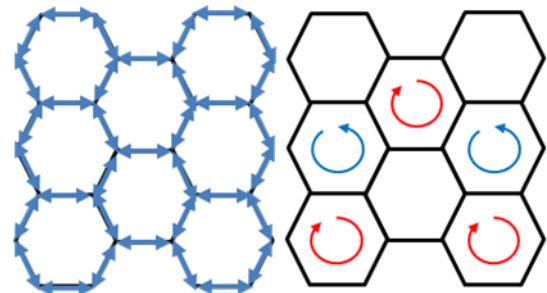


Figure 5 左から双方向、回転パネルルールを用いた六角形パネルの経路設定

4 実験

4.1 実験方法と評価方法について

本研究では渋滞に対して有効なロボットの経路設定を導出することが目的である。ここで渋滞に対して有効である経路設定とはロボットが任意の2点間をより多く往復できるものとする。各パネルの通行ルールに沿った複数ロボットが移動するシミュレーションを作成し、それぞれの経路設定を用いて実験を行う。ロボットが任意の2点間を移動し続け、一方の点からもう一方の点にたどり着くと1点加算していく。ロボットがある点から隣接する点に移動すると1ステップとして、1000ステップでシミュレーションを終了し各ロボットの点数の合計を比較して評価した。また、ロボットが移動方向を変更する際に生じる回転は30度で1ステップとする。

100台までのロボットを正方形に配置する。正方形の一辺上の座標からスタートし、向かい側の辺上の同じ点まで進み、元の座標に戻る動作を繰り返す。Figure 6に20台のロボットを配置した例を示す。

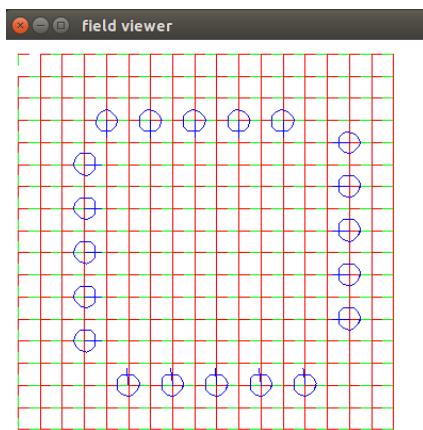


Figure 6 ロボットの台数を20台で配置した例

4.2 ロボットが移動するときのルール

各ロボットは移動方向にロボットがいない場合のみ移動する。移動方向にロボットがいる場合は、そのロボットが次の頂点に移るまでは静止する。このとき、あるロボットが1ステップ移動する間に静止しているロボットは1ステップ静止したとみなす。各ロボットは、移動出来ずその場で静止している状態では、自らが静止している間のステップ数を待機時間として計測する。ある頂点で静止していたロボットは隣接する頂点に移動するとき自らの待機時間を0にする。待機時間の初期値は無限大とする。

また分岐地点(Figure 7 青丸)では、隣接しているロボットがいなければ、隣接する2つの頂点の内目的地へ近い方を選択して移動する。もし片方の頂点のみにロボットがいる場合は、もう片方の頂点に移動

し、両方のロボットがいる場合は静止する。合流地点(Figure 7 赤丸)ではその地点に移動しようとしているロボットが他にいないければ、その頂点に移動する。その頂点に隣接しているロボットが同じ頂点に移動を予定している場合は、ロボットの待機時間を利用してどちらが移動するか決定する。待機時間が長い方が優先的に合流地点に移動する。ただし、初期状態や待機時間が全く同じ場合には、固有番号が小さい方が移動する。

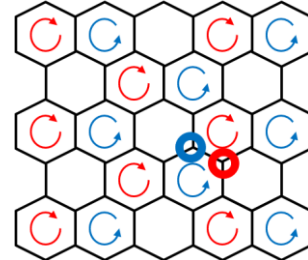


Figure 7 分岐地点と合流地点の様子

4.3 シミュレーションについて

各ルールに沿ったシミュレーションのフローチャートを Figure 8 に示す。

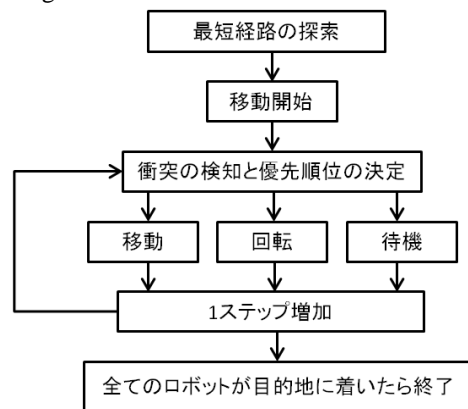


Figure 8 のフローチャート

Figure 9 はシミュレーションを実行した際の途中経過の様子である。

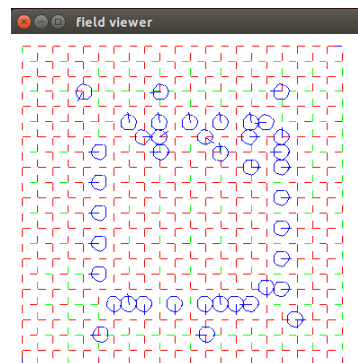


Figure 9 格子状一方通行ルールを適用した正方形パネルのシミュレーション

4.4 結果と考察

ルールのパネルごとのロボットの台数と点数の関係を Figure 10 に示す。

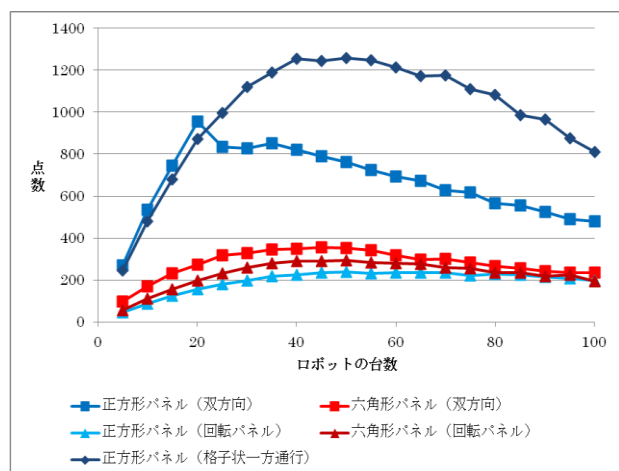


Figure 10 各パネル・各ルールにおけるロボットの台数と点数の関係

Figure 10 から格子状一方通行ルールを用いた正方形パネルが渋滞に対して適した経路設定であることがわかった。一方、回転パネルルールを用いると正方形パネル、六角形パネル共に点数が低くなり渋滞に弱いことがわかった。また双方向移動ルールと格子一方通行ルールを用いた正方形パネルの性能が 20 から 25 の間で交わっている。これは 20 台までは初期位置から直進しても反対側のロボットと衝突しないように配置されているが、20 台を超えて直進すると Figure 11 の赤丸のロボットのように、反対側のロボット衝突する可能性が出てくるためである。そのためそのまま直進できず、横方向に移動して衝突を防ぐので双方向ルールを用いた正方形パネルのグラフの傾きが大きくなり交わったと考えられる。また、格子状一方通行ルールや回転パネルルールではロボットの台数が多くなってくると Figure 12 のように全体的に右側にロボットが固まり一部ではデッドロックに近い状態になっていることが観測できた。双方向移動ルールでは観測できなかったので一方通行化が原因だと考えられる。

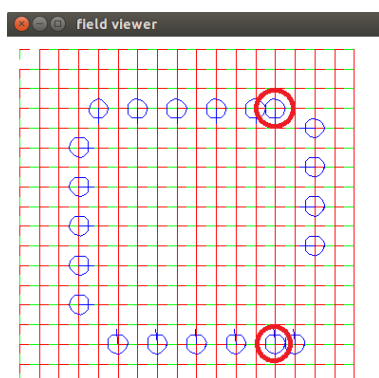


Figure 11 ロボットの台数が 21 台のとき配置図

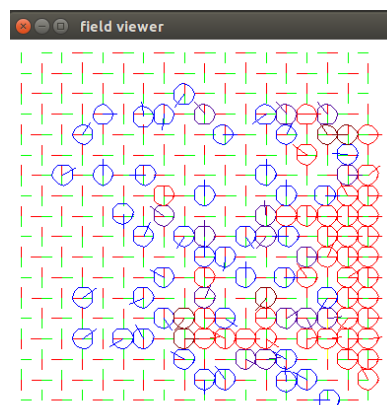


Figure 12 ロボットが右端に偏っている様子

7 結論

本研究では、複数のロボットが同一環境下で動いているときに、それぞれの行動によってお互いの進路をふさいでしまい、渋滞やデッドロックを引き起こしてしまう問題に対して、シミュレーションを作成して渋滞に対して有効な経路設定方法を調べた。実験結果から格子一方通行ルールを用いた正方形パネルが渋滞に対して有効な経路設定であることがわかった。また回転パネルルールは渋滞に対しては有効な経路設定ではないこともわかった。しかし、双方向移動ルール以外はロボットの移動に偏りが出てデッドロックに近い状態になることも分かった。今後は他のパネルを敷き詰めた場合や異なる経路設定のロボットが同環境下で独立して動くときに対して有効な経路設定を提案することが課題である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K16313 の助成を受けたものです。

参考文献

- [Takadama 2013] 大谷雅之,佐藤寛之,服部聖彦,高玉圭樹: "超高密度環境下での複数エージェント協調によるデッドロック回避",第 40 回知能システムシンポジウム,P21-24,2013
- [Nishinari 2006] 西成活裕: 渋滞学, 新潮社(2006)
- [Robin J 1972] Robin J.Wilson: Introduction to Graph Theory 4th edition (邦訳:グラフ理論入門原書第 4 版, 西関隆夫訳, 西関裕子訳, 近代科学者(2001))
- [Uemura 2012] 植村渉: "マルチエージェントにおける剛直回避のための調整に関する一考察", 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2012,(1B2--3),(2012)