

AI チャレンジ研究会(第 45 回)

Proceedings of the 45th Meeting of Special Interest Group on AI Challenges

CONTENTS

- 多次元ファジィ集合を用いたサッカー試合局面の意味付け…………… 1
西野順二, 佐土瀬寛, 原田貴史
電気通信大学
- マルチエージェントにおける位置に応じたタスク管理方法の検討…………… 7
内海孝亮, 植村渉
龍谷大学
- Fawkes を用いたマルチロボットにおける一方通行ルールの提案と評価…………… 10
辻和輝, 内海孝亮, 植村渉
龍谷大学
- ロボットミドルウェアである Fawkes を用いた後方接近物警告ベルトの作成と評価…………… 13
北沢堯宏, 木綱智, 辻和輝, 内海孝亮, 植村渉
龍谷大学
- 3D プリンタで出力する技術科教材模型作成の試み…………… 15
中野里奈*1, 光永法明*2
*1 神戸市立科学技術高等学校, *2 大阪教育大学

日時:2016年9月26日

場所:龍谷大学 響都ホール 校友会館 会議室

Ryukoku University Avanti Kyoto Hall, September 26th, 2016

社団法人人工知能学会

Japanese Society for Artificial Intelligence

多次元ファジィ集合を用いたサッカー試合局面の意味付け

Linguistic evaluation of Soccer situation using KONOHEN Fuzzy

西野順二, 佐土瀬寛, 原田貴史

NISHINO Junji, SADOSE Kan, HARADA Takashi

電気通信大学

The University of Electro-Communications

nishinojunji@uec.ac.jp

Abstract

本研究はこのへんファジィ（多次元ファジィ集合）により、ロボカップサッカーの試合について、その試合状況の特徴を言語表現することを目的とする。従来、行動ログのセグメント平均など統計的な評価値を元にしたサッカー試合状況の評価がなされてきた。個別のチーム特性や瞬間的な特徴局面などは統計的な処理では検出が難しかった。

ロボカップサッカーシミュレーションの試合を4次元空間に置き、その中で試合に特徴的な局面を現すファジィ部分空間を同定し言語ラベルを付与することで言語化を試みた。本手法により大局的、かつ個別の試合に特徴的な状況を言語的に説明することができた。

1 はじめに

RoboCup サッカーシミュレーション 2D リーグは、開始当初から 11 対 11 のフルメンバーによる試合が行なわれている。ボールを含め 23 オブジェクトが 2 次元フィールド上で自由な位置を取るため、その状態空間は 46 次元である。最近はこうした多次元大量のデータ集合に対し、様々な機械学習によりパターンとしての知識を抽出することが行なわれる。とくに深層学習 [Erhan 10, LeCun 15] とその一部であるオートエンコーダ [Hinton 06] は、囲碁 [Silver 16] などゲームのパターン知識の学習で目覚ましい成果をあげている。

しかしながら、人工ニューラルネットを基礎とする学習アルゴリズムは、まれに猫フィルタのように人間が理解できる中間知識が見つかることもあるが、そのほとんどについて人間が理解できる形で提示することができず、モデリングとしてはブラックボックスアプローチである。

本研究では、このへんファジィアプローチにより、多次元ファジィ集合を介して、サッカーの試合状況を言語的に表現することを試みる。これにより、状態の認識と理解において、人が持つ知識との整合性 [諏訪 05] のよいモデリングを可能とすることを目的とする。

こうしたアプローチは大局的に試合状況を認識するものである。これまで局所的な行動の作り込みと学習調整によるチームの強化とその実現を目的とした研究により高い精度で基本的な動作の実現ができていた。本研究により、大局的によりよい戦術、戦略の選択アルゴリズムの構築を助けることで、さらなるチーム戦術の高度化が期待できる。

ロボカップでは古くから試合状況を言語的にアナウンスする自動実況システムの開発が行なわれている [Frank 00, Frank 01]。これらの手法は主に時間セグメントにおける局所的な行動統計値に対してラベル付けするものであった。本研究で提案する多次元ファジィ集合による意味付けは、プレイヤーの全体配置やその関係を大局的に捉える点に特徴がある。試合の大局的な評価方法として大規模マイクロシミュレーション [西野 14] を用い、これをクラスタリングしファジィ集合化することで言語との関係性を導く。

予備的な研究において評価試合が事前学習したファジィ集合との一致率が平均的に低い [佐土瀬 16] という課題があった。これに対し、本研究では空間に対するサンプル点の分布からファジィ集合を生成するときの閾値を変更し、あいまいさを調整することでより平均的な一致率が高まることを検証する。

2 サッカー試合局面への意味付け

シミュレーション 2D リーグの試合の状態は、ステップに対応する 46 次元ベクトル $s(t) = (x_1(t), y_1(t), \dots, x_{22}(t), y_{22}(t), x_b(t), y_b(t))$ 時系列で表現される。本研究で目的とする局所的への意味付けは、この 2 チーム全選手の座標とボールの座標からその試合

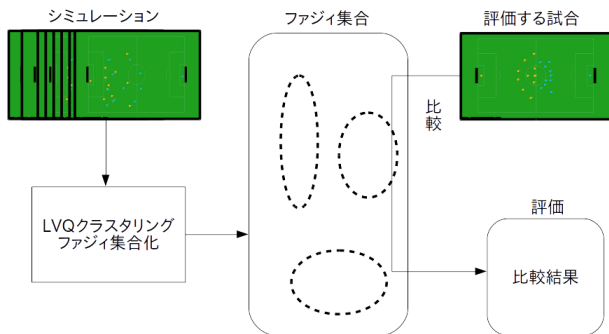


図 1: 局的の意味付けアルゴリズム

状態がどういった状態であるかを言葉で表現することである。

ある 2 チームによる試合はそれぞれの行動特性を反映しており、この組み合わせによって頻出する局面があると予想される。そこで、大規模マイクロシミュレーションによる分析にもとづき、対象試合の言語的表現を行なう。

2.1 局面意味付けアルゴリズム

意味付けに当たって、頻出する局面を特定しその類似局面のなす部分空間を状態空間上のファジィ集合として同定する。そのうえで、評価する試合が含まれるファジィ集合の時間遷移をとり試合局面の意味付けを行なう。

全体のアルゴリズムを図 1 に示す。まず 100 試合程度のシミュレーションを行い試合の状態点を多数サンプルする。つぎにベクトル量子化クラスタリングにより、サンプル点の集積空間を特定する。サンプル点に基づいて点の存在する部分空間をファジィ集合として同定し、そこに含まれる具体的な試合状況を人が観察し、状態を説明する適切な言語表現をファジィ集合に付与する。最後に評価対象試合を言語的に意味付けする。

2.2 LVQ とファジィ集合

LVQ(学習ベクトル量子化)は高次元空間で与えられたデータ点集合を指定した個数の代表ベクトルで学習的に量子化する技法である [井口 05]。結果として点数と標準距離を指定しないユークリッド距離にもとづくクラスタリングを行なうことになる。

本研究では得られた試合結果の状態集合を LVQ を用いていくつかのクラスタに分類した後、その集合をファジィ集合に変換する。集合をファジィ集合に変換し、それぞれのファジィ集合に言葉を付与する事で、試合状態の表現を言語的に行うことが可能になる。

LVQ のアルゴリズムを以下に述べる。

M 個の n 次元ベクトルデータ (x_1, x_2, \dots, x_n) を $M \gg K$ である K 個の代表ベクトルで量子化する。本研究の場合 $n = 46$ である。

LVQ の実行によるクラスタリングの様子を概略を例を

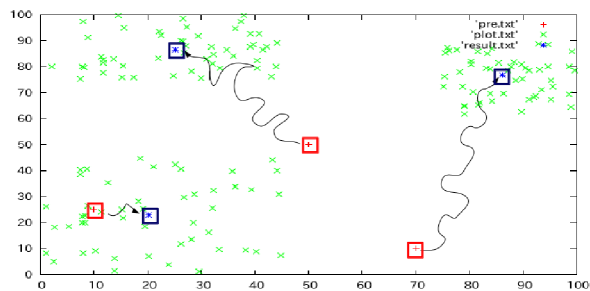


図 2: LVQ の概略

表 1: パラメータ表

N	テスト点の数
P_i	テスト点の i 番の点
d_{ij}	P_i と P_j のユークリッド距離
K	ϵ_m を算出するのに用いる定数
ϵ_m	ϵ 近傍の近傍グラフ作成に用いる ϵ
ϵ_f	近傍グラフ上での近傍を測る ϵ
$\text{Neighbor}(P_i)$	点 P_i の近傍点数
Neighbor_{\max}	$\text{Neighbor}(P_i)$ の中での最大値
$\text{grade}(P_i)$	点 P_i のメンバーシップ値

用いて図 2 に示す。ここで緑の点は与えられたサンプル点(テストベクトル)、赤の点は初期代表ベクトル、青の点は LVQ 実行後の代表ベクトルである。更新式により代表ベクトルは集積点の多い空間に引き寄せられ、代表ベクトル同士は他のクラスタと反発するように移動する。図では 3 つの代表ベクトルが 3 つのクラスタの中心に移動していることが確認できる。

LVQ における代表ベクトルの更新は式 (1) による引き寄せと式 (2) による反発で行なわれる。

ベクトルデータを 1 つずつ順に選択し、全ての代表ベクトルとの距離を計算し、一番近い代表ベクトルについては式 1 によって近づけるように更新する。それ以外の代表ベクトルは式 2 によって、選択したベクトルデータから遠ざかるように更新する。

$$m_c(t+1) = m_c(t) + \alpha_1 \times (x - m_c(t)) \quad (1)$$

$$m_i(t+1) = m_i(t) - \alpha_2 \times (x - m_i(t)) \quad (2)$$

2.3 ファジィ集合の同定

多次元ファジィ集合生成アルゴリズム [糟谷 10] を用いて、クラスタリングにより得られた点集合からファジィ集合を構築し、各テスト点についてそのメンバーシップ値を与える。

各パラメータを表 1 に示す。

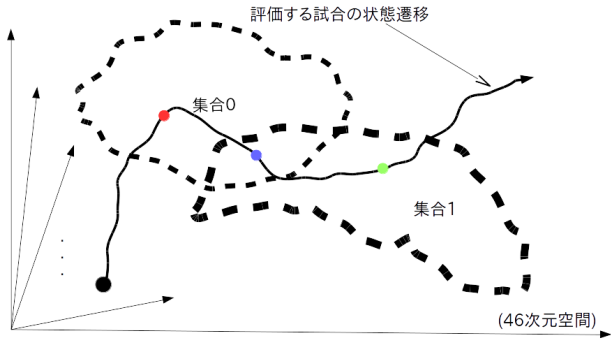


図 3: 対象試合結果時系列の多次元ファジィ集合による意味付け

2.3.1 K 近傍の構成

全てのテスト点同士の距離を計算し、点 P_i が持つ点 P_j との距離が最小となる値の平均を求める。求めた最小距離の平均に定数 K を掛けたものを ε_m とする。

ε_m を求める式は (3) のようになる。

$$\varepsilon_m = \frac{\sum_{i=1}^N \min(d_{ij})}{N} \times K \quad (3)$$

2.3.2 近傍数カウントとメンバーシップ値の算出

2.3.1 で求めた近傍グラフ G 上での点 P_i について距離 d_{ij} が定数 ε_f 以内となる点 P_j の個数を P_i の近傍数 $\text{Neighbor}(P_i)$ とする。また、最大の $\text{Neighbor}(P_i)$ を Neighbor_{\max} とする。

式は各々 (4)、(5)、(6) となる。

$$A = P_j | \varepsilon > d_{ij} \quad (4)$$

$$\text{Neighbor}(P_i) = |A| \quad (5)$$

$$\text{Neighbor}_{\max} = \max(\text{Neighbor}(P_i)) \quad (6)$$

各テスト点 P_i のメンバーシップ値 $\text{grade}(P_i)$ を式 (7) で求める。

$$\text{grade}(P_i) = \frac{\text{Neighbor}(P_i)}{\text{Neighbor}_{\max}} \quad (7)$$

2.4 試合局面の意味付け

最後に評価する試合について各局面時系列 $s(t)$ が、あらかじめ生成したファジィ集合に含まれる度合いを算出し、その状態を表す適切な表現を選ぶ。

図 3 に作成したファジィ集合を用いた評価方法を示す。

表 2: 実験条件

シミュレーション試合数	97
総ステップ数	581,903
初期代表点数	22
初期代表点	500 ステップごと
学習率 (α_1, α_2)	(0.01, 0.00)

試合結果の各ステップについて、複数のファジィ集合に含まれることがある。この場合、基本的に含まれる度合いの高いファジィ集合をその状態の表現とするが、メンバーシップ値の大小の境界領域では不安定になることもある。これについては後に検討する。

3 試合局面の意味付け実験

3.1 実験条件

固定した特性の違う 2 チームについて、以下の条件で局面の意味付け実験を行った。ステップはシミュレーションの更新単位であり 1 ステップは 0.1 秒である。

3.2 クラスタリング

表 3 にクラスタリングの結果を示す。クラスタ番号は初期代表点の順である。後に各々の集合がどのような試合状態の集合であるかを観察し、その特徴を新たな集合名とした。

クラスタには複数の状態が含まれこれらは部分局面をなす。これらの状態は一連の試合の局面が複数試合分だけ集まっている。そこで各クラスタにいくつの局面が含まれているかを算出した。局面、すなわち試合の一連の流れとして、100 ステップ以上が連続している試合状態、として定義しこれに合致するセグメントの数である。クラスタ 2 にも複数の状態が含まれているが、100 ステップ以上連続するセグメントは含まれていなかったため 0 となっている。

3.3 ファジィ集合への意味付け

各クラスタから生成したファジィ集合の状態を目視によって評価し、それぞれ言語的表現を与えた。その一部を 4 に示す。

3.4 局面意味付けの結果 $K=3$

新たに 1 試合シミュレーションを行い、ファジィ集合により意味付けを行なった。ここでは、予備実験として近傍数 $K=3$ としてファジィ集合の生成を行い、その一致状況を測った。各時刻の状態についてメンバーシップ値が最も高かったファジィ集合を一致集合と呼び、図 4 にその時間遷移を示す。

各時刻で一位で一致するファジィ集合が細かく変動していることが分かる。また、このときの最高値を与えたメ

表 3: LVQ クラスタリング結果

番号	局面数	番号	局面数
0	15	11	19
1	110	12	2
2	0	13	2
3	12	14	2
4	72	15	3
5	8	16	69
6	13	17	3
7	14	18	3
8	94	19	20
9	10	20	2
10	14	21	16

表 4: ファジィ集合への意味付け

クラスター番号	集合を特徴付ける言葉表現
0	A チームの右サイドからの攻撃
1	B チーム左サイドからの攻撃
2	センターラインでの攻防
3	B チームコート左サイドでの攻防
4	A チーム左サイド ゴールラインからの攻撃
5	キックオフ直後
6	B チームコート右サイドライン際での攻防
7	センターライン右サイドでの攻防
8	A チーム右サイドゴールラインからの攻撃
9	B コート右サイド中盤での攻防
10	B コート左サイド中盤での攻防
11	B チーム右サイドからの攻撃

メンバーシップ値の時刻変動を図5に示す。多くの時間帯で低い値となっており、これはどの表現とも一致しない状態が続いていることを示す。

こうした一致度の概要を表5にまとめた。10 試合を評価してみたところ、メンバーシップ値が0.5を超えた時間帯は全体の2から5%程度であったことが分かった。

4 ファジィ集合の再構成

前述の予備的な実験結果では、100 試合程度のシミュレーションから構成した頻出する試合状況を言語化したところ、新規の試合状態のメンバーシップ値が予想外に低かった。

初期ファジィ集合の構築で設定した近傍サイズのパラメータ K が小さかったためファジィ集合の形状が先鋭的であると予想し、 K を修正した評価を行なった。

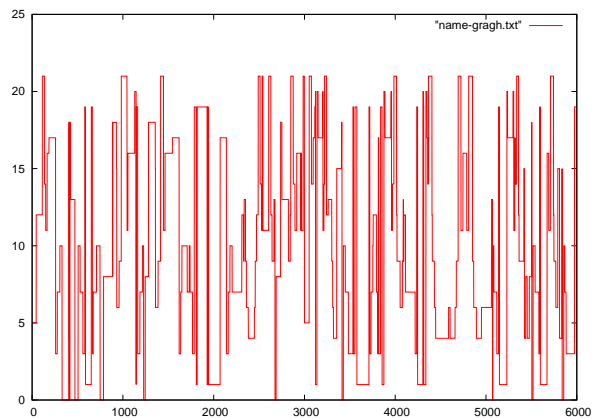


図 4: 一致集合の時間遷移 ($K=3$)

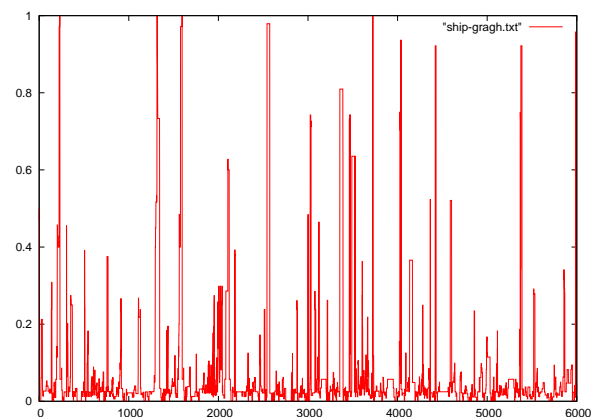


図 5: ステップ数とメンバーシップ値の対応

4.1 拡大ファジィ集合による意味付け

ファジィ集合の近傍生成を $K=30$ とし、標準距離の 30 倍までのサンプル点分布を基準としてメンバーシップ値を同定した。

このファジィ集合を用いたときの一致集合の遷移を図6にメンバーシップ値の分布を図8に一致集合のヒストグラムを図7にそれぞれ示す。

初期の一致集合にくらべて時刻変動が押さえられ、メンバーシップ値もほぼ 0.1 以下ということにはなくなった。いずれかのファジィ集合に 0.5 以上含まれる時刻の割合も 50%を超えている。一致集合のヒストグラム(図7)の頻度がファジィ集合ごとの差があまりないことから、事前大規模マイクロシミュレーションで頻出したクラスターが、まんべんなく再現されていることが分かる。

4.2 慣性アルゴリズムを取り入れた状態表現

各時刻で最もメンバーシップ値の高い値だけによって一つのファジィ集合を選択すると、一致集合の遷移はやや変動が激しいように見える。二つのファジィ集合が重なって

表 5: 一致度の概要

試合番号	0.5 以上の割合	0.1 以下の割合	被験者の評価との一致度
1	0.059	0.89	0.70
2	0.017	0.92	0.67
3	0.042	0.88	0.85
4	0.060	0.89	0.64
5	0.018	0.91	0.79
6	0.052	0.90	0.69
7	0.028	0.90	0.53
8	0.048	0.88	0.85
9	0.033	0.91	0.71
10	0.013	0.95	0.77

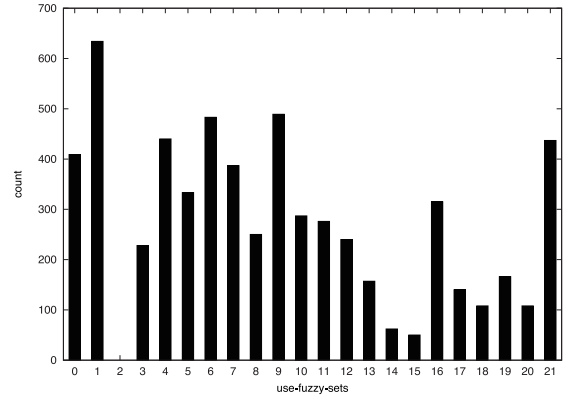


図 7: 一致集合のヒストグラム

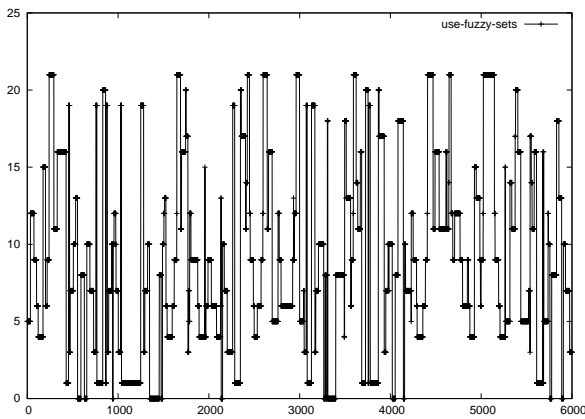


図 6: ファジィ集合生成値を拡大修正した一致集合の遷移

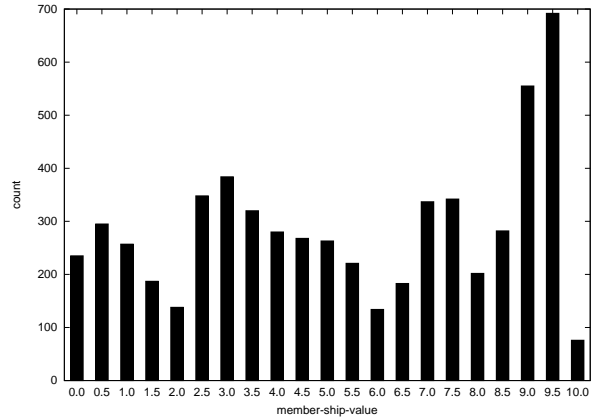


図 8: メンバーシップ値の分布

る部分については、最大値を取ると少しの状態変化で属するクラスターが違ってしまう為である。

このように、各時刻では複数のファジィ集合に属することから、従前の状態表現が最大でなくともある程度高ければ、認識する状態を変更しないほうが安定した言語表現ができる。

そこで、各時刻の状態 $s(t)$ についてそのメンバーシップ値が上位 3 位までのクラスター $c1(t), c2(t), c3(t)$ を算出し、前の時刻のクラスター $c(t-1)$ がこの中にあれば変更しないアルゴリズムで状態表現実験を行なった。

時刻 t の表現となるクラスター $c(t)$ は式 (8) によって求める、

$$c(t) = \begin{cases} c(t-1) & (c(t) \in \{c1, c2, c3\}) \\ c1 & (otherwise) \end{cases} \quad (8)$$

ここで $c1$ は最大メンバーシップ値を与えるファジィ集合のクラスターである。

結果を図 9、図 10 に示す。より安定的に状態表現が遷移していることが分かる。

5 おわりに

ロボカップサッカーシミュレーション 2D の試合状況は、46 次元という多次元空間における状態遷移である。人はこの複雑な状態遷移に対して、大局的な観点から言葉をつかってその状態表現を行なっている。

本研究では、大規模マイクロシミュレーションによって得た、試合で頻出する状態を多次元ファジィ集合によりモデリングし、あたらしい試合の状況を言葉で表現することができた。

試合の状況は 46 次元空間の線のような状態点のつらなりからなる。これをクラスタリングしたときには、集積空間から多方向に伸びる線が多数集まった状態である。このため、ファジィ集合を構成するとき曖昧さを広げ寛容なモデリングすることでより一致度の高い結果を得られることが分かった。

このような言語表現は、機械学習のブラックボックスにから得られる説明不能な中間知識ではない。このため、あいまいな論理関係のもとで、人のもつ他の知識との整合性の高い知識として使える可能性がある。これにより、大局的な状態の認識や、より高度な行動戦略の策定に役

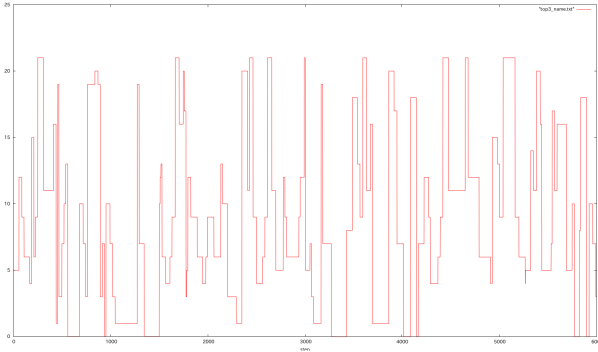


図 9: ファジィ集合生成値を拡大修正した一致集合の遷移 (上位 3 位以内)

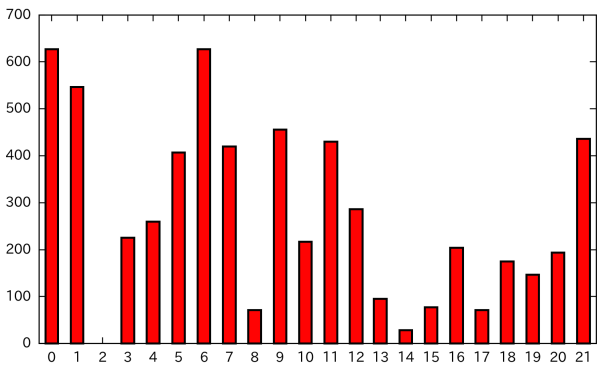


図 10: 一致集合のヒストグラム (上位 3 位以内)

立つことが期待される。

クラスタリングやファジィ集合の同定にはそれぞれ 1 時間程度までの計算が必要であるため、今後はこれを高速化し、より多くの試合状況について実証していくことが今後の課題である。

本研究は科学研究費補助金基盤研究 C(26330273)、科学研究費補助金挑戦的萌芽研究 (15K12106)、および共同研究:サッカー試合のデータを学習し戦況予測を行なう人工知能に関する研究により支援されたものである。「このへんファジィ」は西野順二の登録商標です。

参考文献

- [Erhan 10] Erhan, D., Bengio, Y., Courville, A., Manzagol, P.-A., Vincent, P., and Bengio, S.: Why does unsupervised pre-training help deep learning?, *Journal of Machine Learning Research*, Vol. 11, No. Feb, pp. 625–660 (2010)
- [Frank 00] Frank, I., Kumiko, T.-I., Okuno, H. G., Nakagawa, Y., Nakadai, K., Kitano, H., Akita, J., and Maeda, K.: And the fans are going wild! SIG plus MIKE, in *Robot Soccer World Cup*, pp. 139–148Springer (2000)
- [Frank 01] Frank, I., Tanaka-Ishii, K., Matsubara, H., and Osawa, E.: Walkie-talkie MIKE, in *Robot Soccer World Cup*, pp. 343–349Springer (2001)
- [Hinton 06] Hinton, G. E. and Salakhutdinov, R. R.: Reducing the dimensionality of data with neural networks, *Science*, Vol. 313, No. 5786, pp. 504–507 (2006)
- [LeCun 15] LeCun, Y., Bengio, Y., and Hinton, G.: Deep learning, *Nature*, Vol. 521, No. 7553, pp. 436–444 (2015)
- [Silver 16] Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Van Den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., et al.: Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search, *Nature*, Vol. 529, No. 7587, pp. 484–489 (2016)
- [井口 05] 井口 亮, 宮本 定明: カーネル関数を利用した LVQ クラスタリングと SOM, 知能と情報: 日本知能情報ファジィ学会誌: journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics, Vol. 17, No. 1, pp. 88–94 (2005)
- [佐土瀬 16] 佐土瀬 寛, 西野 順二: サッカー試合状態のこのへんファジィ大局的評価システム, 第 40 回東海ファジィ研究会講演論文集, pp. P2-010 (2016)
- [諏訪 05] 諏訪 正樹: 身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語化, 人工知能学会誌, Vol. 20, No. 5, pp. 525–532 (2005)
- [西野 14] 西野 順二, 長岡 俊男, 秋山 英久: 大規模マイクロシミュレーションによるサッカー試合評価のためのクラスタとその実装, in *JSAI Technical Report SIG-Challenge-B401*, p. 04 人工知能学会 (2014)
- [糟谷 10] 糟谷 朋広, 西野 順二: GPGPU による多次元ファジィ集合の高速生成, 第 26 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 1232–1235 (2010)

マルチエージェントにおける位置に応じた タスク管理方法に関する一考察

Task Managements Depending on Positions of Multi Robots

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

本研究では移動ロボットを用いた競技大会の一つである RoboCup Logistics League におけるロボットのタスク管理方法について議論する。タスクを管理するロボットが非常停止や調整によって試合から退場すると、管理が放棄される。それを抑えるために、ロボットが退場しやすい位置などの条件を検討し、管理破棄が生じにくい方法を提案する。

1 はじめに

自律移動ロボットによるサッカーや災害現場での人命救助などを目的とした競技大会として RoboCup がある。RoboCup は毎年世界各地で開催され、2017 年は日本の名古屋で開催される。本研究ではその中の工場のオートメーション化を背景とする RoboCup Logistics League (以下 RCLL と表記) におけるロボットのタスク管理方法について議論する。RCLL では指定されたオーダーに従い複数のロボットが製品を生産・加工し、完成した製品を目的地へ搬送する [Utsumi 2016]。その中でロボットはタスクを遂行するために競技用のマシンを使用していく。このとき他のロボットとのタスクの重複やリソースの使用権の衝突を避けるためにタスクとリソース管理を行う必要がある。一般に、これらの管理はリーダー選挙などを通して選ばれたロボットが行うことが多いが、ロボットの非常停止や調整などで試合から退場することによって管理が放棄される可能性がある。本研究では非常停止や調整などが起きにくいロボットが管理者となることで、管理破棄が生じにくい方法を提案する。そのためにはロボットが退場しやすい位置などの条件を試合のログから解析する。

2 RoboCup Logistics League

RCLL では各チームは FESTO 社製の移動ロボットと、運営側の競技用の Module Production System (以下 MPS と表記) を用いて試合を行う。MPS は全部で 4 種類あり、製品の基礎部分の供給を行う Base Station (BS), 中間工程の加工を行う Ring Station (RS),

完成のための加工を行う Cap Station (CS), 完成した製品の格納を行う Delivery Station (DS) に分かれる。MPS は 1 チームに BS と DS を 1 台ずつ, RS と CS を 2 台ずつで全 6 台与えられ, フィールド上には両チームの MPS が全部で 12 台存在する。そして MPS はフィールド上に左右対称に配置される (Figure 1) [Uemura 2015]。Figure 1 の青線は壁を表しており, フィールド全てを囲んでいるわけではなく, 一部壁のない部分もある。さらにフィールドは 24 個の $1.5 \times 2\text{m}$ のゾーンで構成されている。また試合の基本的な情報は審判用のプログラムである RefBox によって管理される。

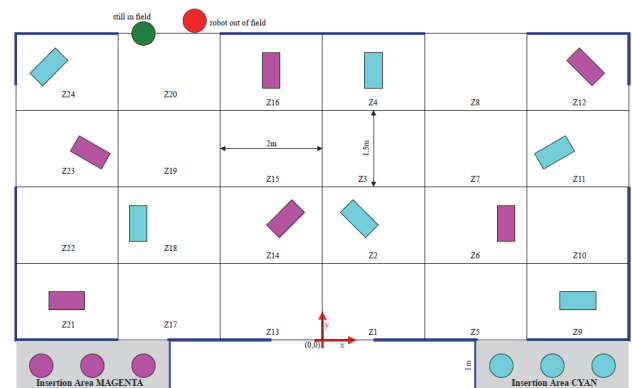


Figure 1 RCLL のフィールド例

2.1 競技の目的

RCLL は、自律移動ロボットによって製品を生産して、完成品を目的地まで搬送することを目的とした競技である。3 台のロボットを用いて製品の加工を MPS で繰り返し行い、完成した製品を格納用の MPS へ搬送する。

競技はセットアップ、探索、生産の 3 つのフェーズで構成される。まずはセットアップフェーズから始まり、運営側が MPS のセットアップを行う。次に探索フェーズへと移り、MPS の種類を示すマーカや状態を示すシグナルパターンをロボットが探索し、RefBox に報告する。最後に生産フェーズがあり、製品を加工していき、完成した製品を搬送する。

2.2 使用ロボット

RCLL ではドイツの FESTO 社が扱う移動型ロボットである Robotino 3 を使用して競技を行う (Figure 2). Robotino 3 は組み込み型の小型計算機を搭載しており, OS として Ubuntu が動いている. そして Ubuntu 上の API を経由して Robotino 3 を制御する. Robotino 3 は USB や複数の I/O ポートを持ち, カメラや外部センサを取り付けることができる. その結果, 周囲の環境が把握できて複雑な動作が可能となる. また付属品の金属製支柱やテーブルを取り付けることで製品を掴むためのグリッパが取り付けられるようになる.

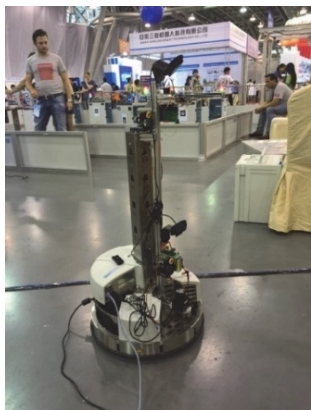


Figure 2 競技で使用する Robotino 3

2.3 得点方法

RCLL には探索フェーズと生産フェーズがあり, それぞれで得点の扱いが異なる. 探索フェーズでは MPS に貼り付けられたマーカを認識することによって MPS の種類を認識し, シグナルパターンはカメラなどを用いて認識する. 認識結果を RefBox に正しく報告できると点が得られる. 誤った報告をした場合は減点されるので注意が必要である. 生産フェーズでは, 試合中にどのような製品を作るべきかというオーダーが RefBox によってリアルタイムでアナウンスされる. そのオーダーに従い製品を一定の状態まで加工すると得点する. 完成した製品を正しく搬送できるとさらに点が得られる.

3 ロボットの行動エンジンについて

本章では RoboCup2016 の Logistics League の優勝チームである Carologistics のタスク管理方法及び生産フェーズでロボットが製品を生産・加工していく上でどのような流れでタスク管理を行っているかを紹介する.

3.1 階層型行動エンジン

Carologistics は随時変化する RCLL 環境に素早く対応できるようにロボットの行動要素を 3 つの階層に分けている (Figure 3) [Tim 2016]. 最下層では, 認識やアクチュエータの処理, 中間層では行動の実行, そして最上位層ではロボットの行動意思決定や

プランニングなどを扱っている. この最上位層のプランニングを行っていく上で, ロボットはタスク管理をする必要がある.

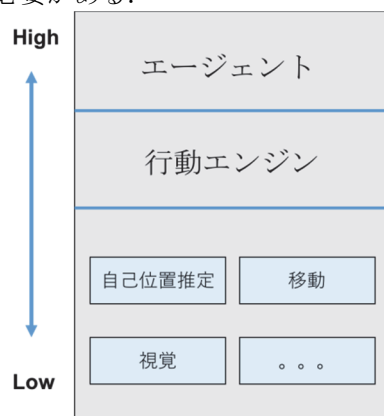


Figure 3 ロボットの行動構造

3.2 Carologistics のタスク管理方法

RCLL の生産フェーズではロボットは RefBox によってアナウンスされたオーダーに従い製品を MPS で加工して生産していく. このとき, RCLL では最大 3 台の自チームのロボットが同時に同環境下で動くため, タスクの重複やリソースの使用権の衝突を引き起こす可能性がある. そのような状況为了避免するために, ロボットはタスクやリソースの使用権を管理する必要がある.

Carologistics ではタスク管理方法としてマスター/スレーブ方式を採用している. これはリーダー選挙を通して選ばれた一台のロボットがマスターとなり, そのマスターがタスク管理を行う方法である. そして他の二台のロボット, つまりスレーブはタスクやリソースのロックをマスターに要求する. マスターはそれらの要求を受け取るとロックが可能かどうかを確認する. 可能であった場合, 要求は承認されてタスクまたはリソースはロックされる. またロックしたタスクが終了すると, スレーブはタスクとリソースのロック解放をマスターに要求し, マスターは解放を実行する.

4 マスターの選択方法

RCLL ではロボットは生産フェーズで製品を生産していく上でタスクやリソースの管理を行う必要がある. それらの管理はリーダー選挙などを通して選ばれた一台のロボットによって行われるマスター/スレーブ方式を取ることが多い. しかし, マスターが非常停止や調整などが原因で試合から急遽退場した場合, 今まで行っていたタスク管理が放棄されることになる. このときロボット間でタスクの重複やリソースの使用権で衝突が起こる可能性がある.

RCLL においてロボットが退場する状況として, 1) 敵ロボットや MPS, フィールドの壁などとの衝突によって故障した場合と, 2) 移動中や MPS などに接近しているときにデッドロックに陥った場合などが考えられる. そのような状況に陥りやすい位置とし

て、まずは MPS 周辺がある。これは MPS への接近時には複雑な処理が必要なためである。次に敵チームの主要サイドが挙げられる。RCLL ではフィールド内に主要サイドが存在し、これはフィールド y 軸で分割し、自チームのロボット挿入エリアがあるサイドが主要サイドとなる。つまりもう一方のサイドは敵チームの主要サイドということである。Figure 1 ではシアンチームならば y 軸から右側が主要サイドになる。RCLL では自チームの MPS は主要サイドに 4 台、敵チームの主要サイドに 2 台というように配置される。このような MPS の配置方法から、ロボットは自チームの主要サイドでの活動が多くなると考えられる。さらにフィールドの壁際でもロボットは動きが制限されるので、退場の可能性は高くなると考えられる。

マスターのロボットを選択する際に、これらの問題が起きにくいロボットを優先して選ぶ方法を提案する。これらの問題がフィールド上で発生する可能性を計算し、それらを合成したフィールド情報を元に、各ロボットの退場の可能性を算出する。MPS へ接近しているときに退場する可能性をポテンシャル関数で扱う [D.H.Kim 2006]。6 個の MPS の内の j 番目の MPS の中心座標を (x_j, y_j) として以下にポテンシャル関数 U_m を示す。

$$U_m = \sum_{j \in N_m} c_m \exp \left\{ -\frac{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}{l_m^2} \right\} \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで c_m , l_m はポテンシャル関数のパラメータであり、本研究ではそれぞれともに 1 として扱ったため、

$$U_m = \sum_{j \in N_m} \exp \left\{ -(x - x_j)^2 - (y - y_j)^2 \right\} \quad \dots \text{式(2)}$$

となる。

式(2)による MPS ポテンシャル場を Figure 4 に示す。

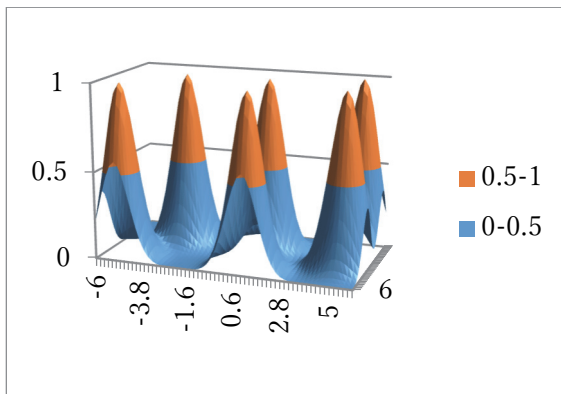


Figure 4 RCLL フィールドの MPS のポテンシャル場

さらに敵主要サイドと壁際のポテンシャル値を 1 として MPS のポテンシャル場と足し合わせたものを Figure 5 に示す。

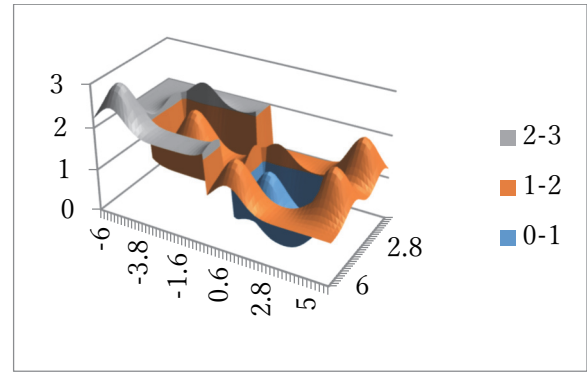


Figure 5 敵主要サイド、壁際のポテンシャル、そして MPS のポテンシャルを考慮したポテンシャル場

Figure 5 のポテンシャル場を基に、ポテンシャルが低い位置にいるロボットにマスター権を与えることでタスク管理破棄を回避する。

5 おわりに

本研究では RCLL を背景として、マルチエージェントのタスク管理方法について議論した。今後は提案手法を基に実際にロボットにマスター権を与えて実験していく必要がある。

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

- [Utsumi 2016] 内海孝亮, RoboCup2016 に参加して, 理工ジャーナル, (印刷中)
- [Uemura 2015] Wataru Uemura, et. Al., RoboCup Logistics League Rules and Regulations 2016, <http://www.robocup-logistics.org/rules>
- [Tim 2016] Tim Niemueller, et. Al., The Carologistics RoboCup Logistics League Team 2016, http://www.robocup2016.org/media/symposium/Team-Description-Papers/Logistics/RoboCup_2016_Logistics_TDP_carologistics.pdf
- [Fawkes] https://trac.fawkesrobotics.org/wiki/Carologistics/Agent_Architecture
- [D.H.Kim 2006] D.H.Kim and S.Shin, Local path planning using a new artificial potential function configuration and its analytical design guidelines, *Advanced Robotics* 20, pp. 115 - 135, (2006).
- [Shimakura 2009] 島倉諭, 項警宇, 稲垣信吉, 鈴木達也, ポテンシャルを組み込んだパーティクルコントロールによる自律移動ロボットの障害物回避制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2009, 2A1-G05(1-4).

Fawkes を用いたマルチロボットにおける 一方通行ルールの提案と評価

One Direction Routing on Multi Robots with Fawkes.

辻 和輝, 内海 孝亮, 植村 渉

Kazuki Tsuji, 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

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

概要

現在, 生産現場では作業の効率化のために機械による Factory Automation 化 (FA 化) が進んでいる. 特に多品種少量生産の要求が高まっており, それに伴い, 加工機械の入れ替わりが起きている. その環境において, 部品や製品の搬送を行う移動式ロボットの作業環境は様々なものが想定される. 移動式ロボットが移動を行う際に, 各ロボット間で必ずしも通信ができるとは限らない. 通信を行わない場合, 他のロボットの状態が把握できないため, それらのロボットの経路に干渉して, 渋滞やデッドロックを引き起こす可能性がある. そこで移動式ロボットの非同期環境下における移動経路計画を検討する.

1 はじめに

現在, 生産現場で多品種少量生産の要求が高く, Factory Automation 化 (FA 化) が進んでおり, 加工機械の入れ替えへの対応が必要となる. その環境において, 部品や製品の搬送作業を行う移動式ロボットの移動経路計画は常に固定した経路ではなく, 様々な要因を想定して動的に変更する必要がある. 各ロボットが移動する際にロボット間で通信を行わない場合, 他のロボット経路に干渉して, 渋滞やデッドロックが起こる可能性がある. そこで簡単な解決方法として一方通行の移動ルールを与え, シミュレータを使うことでどのような問題が生じるかを検討する.

2 RoboCup Logistics League

ロボットの自律制御技術を競う競技会として RoboCup が 1997 年から毎年開催されている [Robocup].

RoboCup の競技種目の一つに RoboCup Logistics League (RCLL) と呼ばれる競技があり, Festo 社製の移動式ロボットである Robotino を用いて, 工場における FA 化の環境を想定した課題を扱っている. RCLL では作業環境の探索と 4 種類の Module Production System (MPS) による製品の加工, 納品の工程を競技としており, それぞれの工程でロボットの作業結果に応じて点を得る.

RCLL の試合は Setup Phase, Exploration Phase, Production Phase の 3 つの Phase に分かれており, 実際にロボットが行動するのは Exploration Phase と Production Phase である. Exploration Phase では作業環境の探索を各ロボットが行う. 多品種少量生産の環境に対応し, フィールドのサイズと MPS を配置するエリアは固定されているが, 各 MPS の配置する場所や向きは試合ごとにランダムである (Figure 1 参照). そのため, RCLL においてははじめに行う工程が探索作業と環境の獲得である. Production Phase では先の Exploration Phase で獲得した環境情報を元に, 審判プログラムである RefBox からのオーダーに従って, それぞれのロボットが各 MPS で製品の加工を行う. MPS には 4 種類あり, 製品の土台となるワークを供給する Base

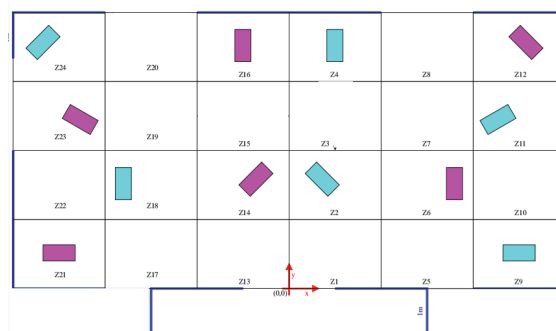


Figure 1 RCLL のフィールド

Station, 製品の加工部品の供給を行う Ring Station, 加工が完了した製品に蓋をする部品を供給する Cap Station, 加工が完了した製品を納品する Delivery Station である。そして各 Phase で行った行動を RefBox へ報告することでチームの得点となる。

3 ロボットの移動経路計画

2014 年までの RCLL では、MPS を用いず、加工用のマシンは地面に置いてあり、フィールドはマス目状に区切ることができた。そこで、我々のチーム (BabyTigers-R) では、マス目に沿って移動方向を決めることで、ロボット間の衝突回避を目指した [BTR2013]。

2015 年からの MPS を用いた RCLL では、MPS の配置がランダムとなり、マス目を使うのが難しくなった。特に、Exploration Phase では、ロボットは MPS が置いてあるエリアを探し、その MPS の種類とエリアの情報を RefBox へ報告する課題となっている。エリア内のどこに MPS が置いてあるかわからないため、センサで検知しながら移動する必要がある。経路設定も、MPS を検知する度に設定し直す必要がある。

ロボット用のソフトウェアフレームワークとして Fawkes がある。Carologistics [Tim 2013] が Robotino 用の Fawkes プラグインを開発し、公開している [Tim 2015]。本研究では、Fawkes を用いて上記のような状況における一方通行ルールの設定方法について議論し、検証する。

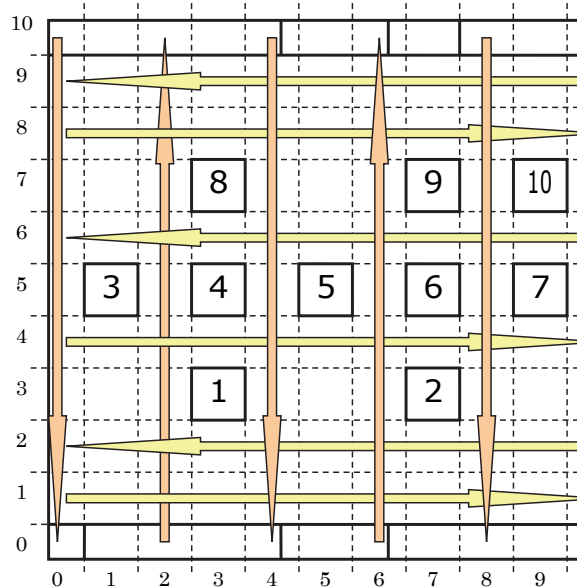


Figure 2 2014 年までの RCLL フィールドに対する一方通行ルール

4 一方通行ルール

現在の RCLL のフィールドでは MPS の向きと種類は試合ごとにランダムに設定されるが、配置エリアと台数は決まっている。そのため、MPS が配置されないエリアがあらかじめわかっている。その中でも MPS が配置されないことがないエリアが連なっている箇所が 2箇所存在しており、それらの間では MPS の配置に影響を受けることがなく、常に固定の一方通行経路を設定することができる。その 2つの一方通行経路を事前知識として各ロボットに設定しておき、環境の探索に合わせて必要となる一方通行経路を追加する方法を提案する。ここで、探索による追加が必要な経路として、2つの一方通行経路を行き来する経路と各 MPS に近づくための経路が考えられる。一方通行経路は MPS の配置エリアによって隔てられており試合を進めるためには、その経路が必要になる。RCLL のフィールドは左右対称になるように形成されており、MPS の配置もそれに基づいて配置されるため、探索によって、ロボットがもう一つの一方通行経路に移動できる道幅を発見し往路とした際に、対象の位置に復路として設定できる経路が存在するはずである。一方、各 MPS への経路は探索によって MPS の向きを検知した際に、現在の一方通行経路から延びる経路と帰ってくる経路を追加することで、一方通行を確保することができる。

5 おわりに

本研究では FA 化における多品種少量生産による環境の変化を考慮した移動式ロボットへの一方通行の移動経路計画を検討した。今後の課題として提案した一方通行経路を実装することである。

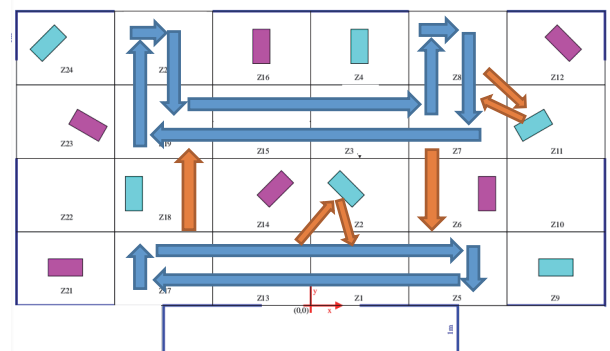


Figure 3 一方通行経路の例

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

[RoboCup] <http://www.robocup.org>

[Tim 2013] Tim Niemueller, et. Al, “The Carologistics RoboCup Logistics Team 2013”, RWTH Aachen University and Aachen University of Applied Sciences (2013)

[Tim 2015] Tim Niemueller, et. Al, “Fawkes for the RoboCup Logistics League”, RoboCup 2015: Robot World Cup XIX, pp 365-373, 2015.

[Carologistics] <https://www.fawkesrobotics.org/projects/rc112015-release>

[BTR2013] Wataru Uemura, et. Al, “Team Description Paper. BabyTigers-R”, RoboCup 2013: Robot World Cup XVII.

ロボットミドルウェアである Fawkes を用いた 後方接近物警告ベルトの作成と評価 Wearable Device to warn the Back Objects on Fawkes

北沢 堯宏, 木綱 智, 辻 和輝, 内海 孝亮, 植村 渉
Takahiro Kitazawa, Tomo Kizuna, Kazuki Tsuji, Kosuke Utsumi and Wataru Uemura
龍谷大学
Ryukoku University

kitazawa@vega.elec.ryukoku.ac.jp and wataru@rins.ryukoku.ac.jp

Abstract

自律移動ロボットの世界大会である RoboCup において、アーヘン工科大学がロボットミドルウェアである Fawkes を開発し、公開している。Fawkes では、各種ロボットに対応したプラットフォームを用意するだけで、簡単に既存のアルゴリズムを利用できる特徴がある。本研究では、この Fawkes を小型で低コストのマイコンである Raspberry PI にインストールし、周辺機器を簡単に扱えるようにする。利用例として、視聴覚障害者向けの後方接近ツールを作成したので、それを報告する。

1 はじめに

自律移動ロボットの世界大会である RoboCup が毎年開催されている [RoboCup]。RoboCup にはいくつかのリーグがあるが、その中に工場のオートメーション化 (Factory Automation) を目的とした RoboCup Logistics League (RCLL) がある。このリーグでは Festo 社のロボットである Robotino を3台用いて競技を行う。2015年に優勝したアーヘン工科大学の Carologistics [Tim 2013] は、ロボットミドルウェアである Fawkes [Tim 2015] に Robotino 用のプラグインを開発した。この Fawkes は、以前には標準プラットフォームリーグ (Standard Platform League: SPL) で利用しており、それらの資源がそのまま RCLL でも使える。そして Carologistics は、2015年の世界大会で用いたソースコード [Carologistics 2015] を公開し、RCLL への新規参入のハードルを下げている。本研究では、この Fawkes に注目し、手軽に利用できる小型マイコンである Raspberry PI [RaspberryPI] 上に実装し、視聴覚障害者用の歩行支援装置として、後方接近物を持ち主に知らせる携帯型装置を開発した。以下、2章にて、視覚障害者の歩行支援装置について紹介し、3章にて、提案する携帯型装置の概要を示す。4章にて、実験結果を示し、本装置の効果を確認し、5章で本論文をまとめる。

2 視聴覚障害者の現状について

昭和35年に制定された障害者雇用促進法を始めとして、視聴覚障害者が社会で活躍する機会が増えて

きた。また、公共空間におけるバリアフリー化が進み、視聴覚障害者でも気軽に外を出歩けるようになってきている。一方、それに伴い事故も増えている。

聴覚障害者は音からの情報が得られないため、背後から自動車等が迫ってきた際に気づくことができない。そのため、自転車や自動車に追い抜かれる時に恐怖を感じる。また、近年では健常者であっても、歩きながらスマートフォンを操作したり、イヤホンで音楽を聴きながら歩いたりすることで、後方からの二輪車や自転車等との接触事故が増えている。東京消防庁管内では、平成22年から平成26年の間で合計105人が歩行中のスマートフォン操作が原因で救急搬送されている [Accident 2016]。これらの事故に対して、利用者の後方向きにセンサをつけ、後方からの物体の接近を利用者に知らせる装置があれば、軽減できると考えられる。

3 Fawkes を利用した後方接近物警告振動ベルトの提案

ここで RoboCup で用いられているロボット用ミドルウェアである Fawkes に注目し、小型マイコンである Raspberry PI 上に実装することで、レーザレンジファインダといったロボット開発で一般に使われている機器を簡単に扱うことで、後方接近物を警告するベルト型機器を作成する。

ロボットの制御では、パーツ毎にプログラムを並列実行する必要がある。例えば、カメラやセンサからの入力を得ると共に、色々と処理をして判断し、モータやディスプレイといった出力機器を制御する必要がある。どれか一つのプログラムが実行に時間がかかってしまい、他のプログラムが実行できなくなってしまうのは問題である。そのため、スレッド型のプログラムが重要となり、それら各スレッドを、メインプログラムが順次呼び出す方式が必要となる。Fawkes では、これらスレッド型プログラムのテンプレートを提供しており、プラグインの形で取り込むことができる。

プラグイン間では、変数の共有として、BlackBoard [Tim 2010] と呼ばれる共有メモリを実装しており、レーザレンジファインダに対しては Laser360Interface を用いる (表.1 参照)。

表. 1 Laser360Interface

NAME	TYPE
Frame[32]	string
Distances[360]	float
clockwise_angle	Boolean

これにより、レーザレンジファインダの種類に依存せず、360度周囲に対して1度刻みで、障害物までの距離を受け取ることができる。

一方、利用者への通知方法として、振動ベルト[Fukkuyama 2015]に着目した。利用者の周辺情報を伝えるインタフェースとして腹回りを利用し、スマートフォンなどで利用されている小型振動モータの振動によって方位を伝える。なお、利用者が強度の違いを検知できれば、障害物までの距離や大きさといった情報も合わせて伝えることができるが、今回作成したプロトタイプではモータの数を少なくしたため、向きの通知のみを扱った。これらシステムの接続図を図1に示す。

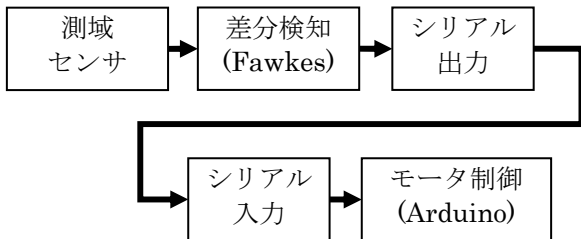


図1 システム接続図

4 プロトタイプの作製

提案する後方接近物警告振動ベルトの効果を確認するために、試作を行った。まず、Raspberry PI に Fedora23[Fedora]をインストールし、Fawkes を使える環境を整えた。レーザレンジファインダとして北陽電機社製の URG-04LX-UG01を用いた。振動モータの制御には、Atmel 社の Atmega328による Arduino マイコンを用いた。なお、Raspberry PI との接続には USB ポート経由のシリアル通信を用いたが、Bluetooth モジュールによる無線通信も考えられる。振動モータは、ここでは簡単のため3個とし、左右と後方の状態を利用者に伝えられるようにした。試作品の全容を図2に示す。

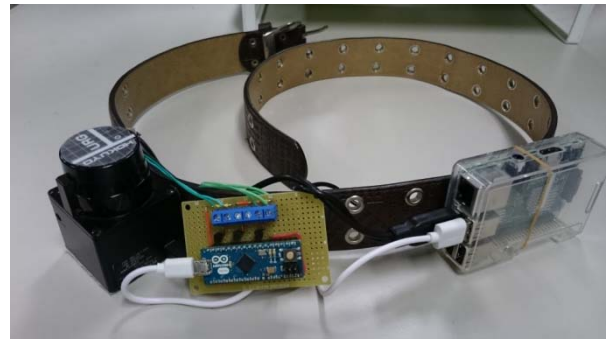


図2 後方接近警告ベルトの試作品

5 おわりに

自律移動ロボットの大会である RoboCup で用いられているロボットミドルウェア Fawkes を用いて、ロボット周辺機器を低コスト小型マイコンである Raspberry PI で制御した。レーザレンジファインダの測定結果から、利用者の後方接近物を検知し、ベルトに設置した振動モータを使うことで、伝えるシステムを提案し、構築した。

Fawkes を使うことで、手軽に今までのロボット開発資源を使うことができた。警告ベルトの性能評価ができていないため、今後、検知方法や通知方法を検討して、実験する必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費15K16313の助成を受けたものである。

参考文献

- [Accident 2016] 東京消防庁, “発祥地の動作別の救急搬送人員の内訳 (平成22年~26年)”, <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/lfe/topics/201503/mobile.html>
- [Carologistics] <https://www.fawkesrobotics.org/projects/rc112015-release>
- [Fedora] <https://getfedora.org/>
- [Fukkuyama 2015] 福山尚志, 中村奉夫: “視覚障害者のためのベルト型方向指示デバイスの提案と評価 (2015)”
- [RaspberryPI] <https://www.raspberrypi.org/>
- [RoboCup] <http://www.robocup.org>
- [Tim 2010] Tim Niemueller, et. Al., “Providing Ground-truth Data for the Nao Robot Platform”, RoboCup 2010: Robot Soccer World Cup XIV, pp 133-144, (2010).
- [Tim 2013] Tim Niemueller, et. Al., “The Carologistics RoboCup Logistics Team 2013”, RWTH Aachen University and Aachen University of Applied Sciences, (2013).
- [Tim 2015] Tim Niemueller, et. Al, “Fawkes for the RoboCup Logistics League”, RoboCup 2015: Robot World Cup XIX, pp 365-373, 2015.

3D プリンタで出力する技術科教材模型作成の試み

中野 里奈[1], 光永 法明[2]

Rina NAKANO [1] and Noriaki Mitsunaga [2]

[1] 神戸市立科学技術高等学校, [2] 大阪教育大学

mitunaga @ cc.osaka-kyoiku.ac.jp

Abstract

3D プリンタが低価格化し、教育での利用も検討が進められている。本論文では中学校 技術・家庭科 技術分野で利用できる教材模型の3Dモデル4種類の作成を試みたので結果を報告する。

1 はじめに

3D プリンタはモデルデータがあれば、機械加工の技術なしに複雑な形状が出力できる。低価格な製品が市販されるようになり、学校教育での活用も試みられている[Sato16]。一方で、出力にかかる時間は機械加工等で作成する場合よりも長くなることが多く、一台で大量の部品を作成するには向かない。したがって、技術科の授業を考えたとき、市場規模が小さいため大量生産が難しいが教材としては有用なものを3Dモデルとして用意し、各中学校の3Dプリンタで模型を出力できれば、有効な活用法の1つになると考える。そこで、本研究では、平歯車、板カム、四節リンク、無段変速機の3Dモデルを作成したので報告する。

2 機構モデルを3Dプリンタで出力する意義

中学校技術・家庭科、技術分野の内容 B エネルギー変換の(1)アには「力の伝達の仕組み」すなわち、機構（機械）が含まれる。一般に機構には原動節と従動節があり、それぞれの運動の種類、速度、方向のいずれかあるいはすべてが異なる。機構の理解を助けるために模型は、節同士がどのような拘束運動をするかが見やすく、入力と出力の運動や力を見て触って確かめられるとよい。そのためには、実用的な機械に必要とされるような強度は不要である一方、適当な大きさ、重さであることが求められる。

歯車の形状を分かりやすくするためモジュールが2mmの歯車を模型として用意することを考える。市販のモジュールが2mmのポリアセタール樹脂製の平歯車は歯幅が20mmあり歯数が25のものでも小歯車の扱いでボス付となる[KGK15]。機構の理解のために手で触れる用途であれば、歯幅は5mmで十分でありボスも不要である。一方、生徒の手で操作しやすくしたい。このとき操作部が一体となった歯車の3Dモデルがあれば、3Dプリンタで中空の模型を出力すればよい。この例のような3Dモデルを用意できれば有用であると考えられる。

3 3Dモデルの作成

以下での3Dモデルの作成にはAutodesk Inventor Professional 2016を、3Dモデルを出力する3Dプリンタには3D SystemsのCube 2nd generationもしくはCube-X trioを用いている。

3.1 平歯車

平歯車は原動節、従動節共に回転運動をするが、回転の向きが逆になる。原動節と従動節の速度比は歯数比で決まり、かみ合わせの位置によらず一定である。また増速するとトルクが減り、減速するとトルクが増す。モジュールが同じ歯車はかみ合い、異なればかみ合わない。一段で減速比を大きくすると歯数比が大きくなり、遠くに運動を伝えようとすると直径が大きくなる。遠くに運動を伝えるために数段の平歯車を用いると効率が悪い。このようなことを理解するには、2段以上の減速/増速ができ、減速比の違う歯車の組み合わせを試せばよい。

そこで、一列に並んだ4つの軸(直径8mm、長さ10mm、軸間距離50mm)を持つ土台(200mm×100mm×15mm)と、モジュール2mmで歯厚5mmの5種類の平歯車(歯数12/ピッチ円直径24mm、歯数17/ピッチ円直径34mm、歯数25/ピッチ円直径50mm、歯数33/ピッチ円直径66mm、歯数38/ピッチ円直径76mm)のモデルを作成した(Figure 1)。平歯車の設計にはInventor Professionalのコンポーネントジェネレータを利用し、各歯車には持ち手となるピンを立てる。

3.2 板カム

板カムを用いると回転運動や直線運動からカムの形状に応じた運動を作ることができる。ここでは4種類の形状の板カムのモデルを用意した(Figure 2、カム厚さ5mm、ロッドは5mm×5mm×70mm、ケースの大きさは70mm×100mm×26mm)。カムには図の見えない側に軸が一体で出ている。カムについた軸を回転させると上にあるロッドが上下運動する。C2のカムは逆転を防止し、C3は原動節が1回転するとき2回の往復運動をする。C4はインボリュートハートカムで、カムの軸が等速回転するときロッドは等速往復運動をする。

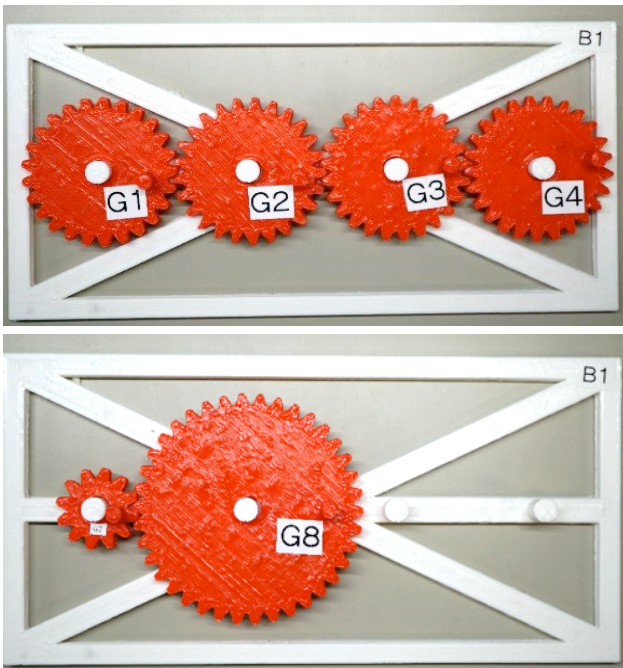


Figure 1 3D model of spur gears (above: four 25 teeth gears, below: 12 teeth and 38 teeth spur gears)

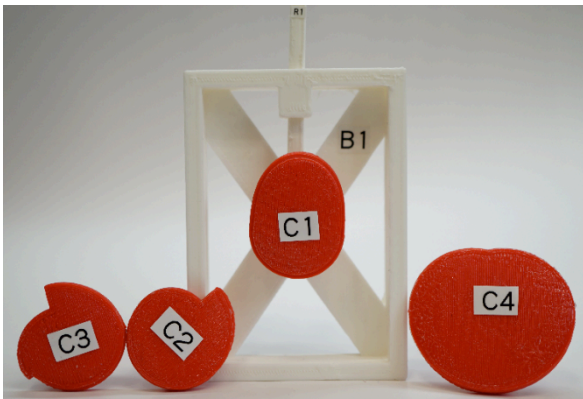


Figure 2 3D model of flat cam mechanism

3.3 四節リンク機構

四節リンク機構は閉路を持つリンク機構としては最も単純な機構である。同じ機構でも固定するリンク、原動節（リンク）、従動節を変えることで様々な運動を実現できる。作成した四節リンク機構のモデルを Figure 3 に示す。各リンクにはピン、穴があり、その距離は 90mm, 130mm, 130mm, 150mm である。

3.4 無段変速機

最近の自動車には無段変速機(CVT)を採用したものが多く、そこで無段変速機の原理（自動車に採用されているものとは異なる）のわかる 3D モデルを作成した (Figure 4, ケース 150mm×90mm×75mm, 軸間距離 120mm)。二つのプーリー（軸と一体、直径 20mm から 50mm）があり、その間にベルト（輪ゴム）



Figure 3 3D model of four bar link mechanism

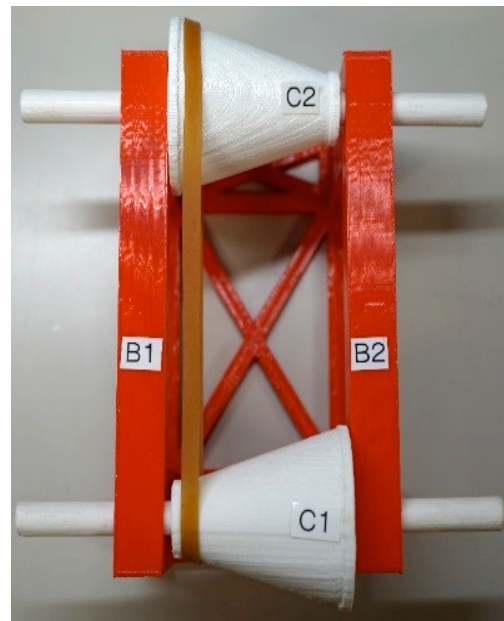


Figure 4 3D model of continuously variable transmission

をかけている。ベルトを軸と直交するように平行移動し減速比を変える。

4 3D モデルの作成を試みた結果

出力した各 3D モデルの重さを測ると土台や組み合わせる部品を合わせて、平歯車は 114g, カムは 57g, 四節リンクは 37g, 無段変速機は 174g であった。Cube の材料は約 16 円/g であるので、材料費は四節リンクで約 660 円, 無段変速機で約 3100 円である。安い材料では約 3 円/g のものも市販されており、今後はさらに材料費は安くなる可能性がある。3D モデルが失敗なしに出力できるのであれば費用面では 3D プリント利用に問題はないと思われる。

一方で歯車の土台にある軸と、歯車中央の穴などはめ合いを考慮すべきところには課題が残った。今

回は、利用している 3D プリンタに合わせて 3D モデルの大きさを変更して適当なはめ合いを実現している。したがって 3D モデルがあっても、3D プリンタによっては再現ができない可能性が残る。教材に限らず、3D モデルディスプレイやプリンタのカラーマネジメント（キャリブレーション）のようなシステム構築が必要かもしれない。

ほかに現在の安価な FDM 型 3D プリンタ利用にあたって課題とされる、出力物のはがれ（出力中に造形物が 3D プリンタの出力用の台から外れてしまい、造形が中断し、最悪は 3D プリンタのヘッドなどを壊す）、材料（フィラメント）の吸湿による造形の劣化、室温に依っては造形物が大きく変形するなどのトラブルが起きた。これらのトラブルが起きないような改良も待たれる。

5 まとめ

本論文では、3D プリンタの活用方法として、中学校 技術・家庭科 技術分野の教材を出力することを提案し、そのための 3D モデルを試作した。試作した 3D モデルは、平歯車、板カム、四節リンク、無段変速機の 4 種類である。試作の結果、材料費の面では 3D プリンタを利用することに問題はなさそうであるが、はめ合いのある機構については課題が残ることが分かった。

参考文献

- [Sato16] 佐藤博, 山主公彦: 3D プリンターとものづくり教育 —コマ製作による教材開発—, 山梨大学教育人間科学部附属教育実践総合センター研究紀要, no.21, pp.43—52 (2016)
- [K GK15] 協育歯車工業株式会社: KG Stock Gears, catalogue no. KG2002, p.214 (2015)

© 2016 Special Interest Group on AI Challenges
Japanese Society for Artificial Intelligence
社団法人 人工知能学会 AI チャレンジ研究会

〒162 東京都新宿区津久戸町4-7 OSビル402号室 03-5261-3401 Fax: 03-5261-3402

(本研究会についてのお問い合わせは下記にお願いします.)

AI チャレンジ研究会

主査

光永 法明

大阪教育大学 教員養成課程 技術教育講座

Executive Committee

Chair

Noriaki Mitsunaga

Department of Technology Education
Osaka Kyoiku University
mitunaga @ cc.osaka-kyoiku.ac.jp

主幹事

中臺 一博

(株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・
ジャパン / 東京工業大学 大学院
情報理工学研究科

Secretary

Kazuhiro Nakadai

Honda Research Institute Japan Co., Ltd.
/ Graduate School of Information
Science and Engineering,
Tokyo Institute of Technology

担当幹事

植村 渉

龍谷大学 理工学部 電子情報学科

Wataru Uemura

Department of Electronics and Informat-
ics, Faculty of Science and Technology,
Ryukoku University

幹事

公文 誠

熊本大学 大学院 自然科学研究科

Makoto Kumon

Graduate School of Science and
Technology,
Kumamoto University

幹事

中村 圭佑

(株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・
ジャパン

Keisuke Nakamura

Honda Research Institute Japan Co., Ltd.

SIG-AI-Challenges web page; <http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~challeng/>