

# サッカーロボットののためのリアルタイムな複数障害物認識

○馬躍航 (東京工芸大学大学院) 渡邊香 ((公財)NTF) 鈴木秀和 (東京工芸大学)

## 1. 緒言

近年、競技ロボットにおける様々な技術課題を通じて、研究・開発の促進と成果の普及を目指した技術チャレンジが多く実施されている。考慮すべき要素が多い実用上の問題とは異なり、競技上の課題として扱うことで一定の制約条件下に限定して研究・開発ができるため、基本的な要素技術の発展が期待できる。このような技術チャレンジの一つとしてサッカーを題材とした競技ロボットコンテスト、RoboCup が知られており、様々な国や地域で活発な取り組みが行われている。本研究ではその中で最も大きいフィールド (14 × 22m) で競技を行う RoboCup 中型リーグに着目している。

RoboCup 中型リーグでは、自機に搭載されているカメラやセンサ等から取得した情報のみを用いて、自律的に行動しなければならない。ロボットがサッカーをするために必要な様々な技術課題の中でも、実時間で環境中の障害物を認識する技術は、その先に続く戦略的協調動作の基点となるため、勝敗を決める重要な要素技術である。障害物を認識する際、全方位カメラの利用が有用であるが、全方位カメラの特性により放射方向の距離について特に遠方で大きな誤差を生じる問題がある。そこで、距離計測に優れたセンサである LiDAR を搭載し、全方位カメラと LiDAR を併用することで、障害物認識の精度の向上を図る。

競技では、各ロボットが認識した障害物情報は統合され、障害物の存在確率を持つ尤度空間が生成される。しかし、尤度空間に極大値 (障害物) が複数存在する場合、一般的な手法では複数の極大値を同時認識することは困難である。そこで本研究では、複数の対象を実時間で同時認識することが可能である人間の注意機構を規範とした “Attention-GA” [1] を用いて、認識システム全体の処理負荷を低減し、LiDAR と全方位カメラを併用した高精度、リアルタイムな複数障害物の同時認識を目指す。

## 2. 全方位画像を用いた障害物抽出

RoboCup の規定によりロボットの基本色は黒色と定められているため、障害物認識ではフィールド領域内の黒色抽出画像に対して探索を行う。全方位カメラより取得した図 1(a) の画像に対して YUV 変換した黒色抽出画像を図 1(b) に示す。RoboCup フィールドの基本色は緑色のため、図 1(a) の画像に対して HSV 変換した緑色抽出画像を図 1(c) に示す。図 1(c) より、フィールド領域の端を認識することで図 1(d) のように緑領域の終端情報を取得することができる。図 1(d) から、sklansky のアルゴリズムを用いて凸包を求め、図 1(e) のようにフィールド領域画像を生成する。さらに図 1(b) の黒色抽出画像と AND 処理をすることにより図 1(f) のようにフィールド領域内の黒色抽出画像を生成することができる。

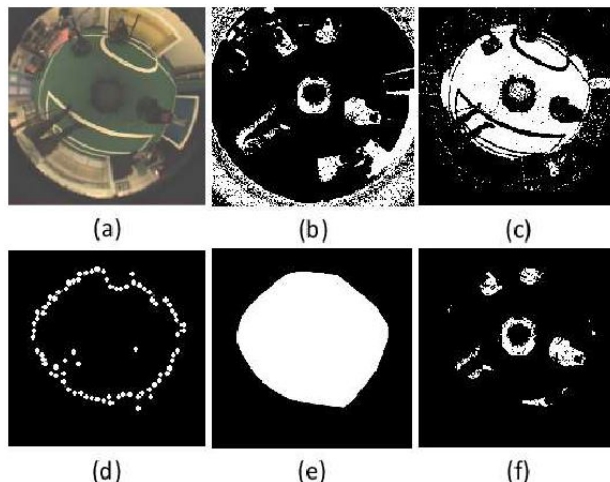


図 1 フィールド領域内の黒色抽出

表 1 距離誤差

	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
全方位カメラの距離誤差 (cm)	6.3	29	22	30	55	59	98
LiDAR の距離誤差 (cm)	2.7	3.7	0	0.7	0	1.7	0.7

図 1(f) の画像より、障害物を認識する場合、認識対象であるロボット以外の黒い物体もノイズとして探索対象に含まれているため、正確に障害物のみを認識することができない。この問題を処理するため、障害物を認識する際、距離に応じて検出されるロボットの幅をしきい値として設定することにより、認識対象のみを認識している。

## 3. LiDAR による距離情報の取得

LiDAR とは、レーザーでスキャニングしながら検出物までの距離を測定する二次元走査型センサのことである。特徴として測定距離の誤差が小さいことが挙げられる。本研究で使用した LiDAR は北陽電機社製の UST-10LX である。

全方位画像を用いた距離推定では障害物までの距離情報を画像から計算しているため、表 1 上段のように遠方ほど誤差が大きくなってしまふ。そこで、距離計測に優れた LiDAR を搭載し、全方位カメラと統合した距離推定を行い、表 1 下段に示すような正確な距離推定が可能となる。

## 4. 障害物探索空間の生成

センサは認識距離が遠くなるほど誤差が大きくなる特性が存在するため、障害物探索空間を生成するにあたり、認識結果に誤差を考慮して評価を行うことが重要となる。そこで本研究では、フェルミ分布関数を用いて障害物探索空間を生成する。フェルミ分布関数とは半導体工学における物質中の電子の存在確率を表す

式であり，(1) 式で表される．

$$f(E) = \frac{h}{1 + \exp^{(E-E_f)/kT}} \quad (1)$$

この関数は温度  $kT$  が高いほど電子の存在確率分布  $E_f$  が広がるという特徴を持っており，センサから対象物との認識距離が遠いほど誤差が大きくなるという特徴に似ている．つまり，認識距離が遠いほど障害物の存在確率分布が広がるということになる．

競技中は，ロボット同士が通信を行うことができるため，各ロボットが認識した自己位置情報や障害物情報を統合・共有することができる．図 2 の状況において，各ロボットから送信されてきた全ての障害物情報を重ね合わせて表示したものを図 2 に示す．障害物と味方機を識別しやすくするため，障害物には赤い丸を描き，味方機には青い丸を描いている．各障害物情報を (1) 式で変換し，味方機の自己位置情報を差し引くことで図 3 に示す尤度空間を生成した．

## 5. Attention-GA より複数障害物の認識

ここまでの処理により，障害物尤度空間の極大値より認識対象である障害物の位置情報を推定することが可能であるが，探索に膨大な処理時間が掛かってしまう．そこで本研究では探索空間全てを計算することなく短時間で最大値を発見する手法として GA を用いて最大値探索を行う．しかし，基本的に GA は単一の最適解の発見手法であるため，複数の対象を探索する場合，局所解に陥るなど認識精度が著しく低下してしまう．そこで本研究では人間が有する注意の概念に着目した手法である Attention-GA を用いて複数極大値に対する探索を図る．以前の研究 [2] より，Attention-GA は複数極大値を持っている多峰性関数に対して，効率良く探索できることが確認されている．

## 6. 実機検証

本提案手法の性能を確認するため，実機を用いて検証を行う．実際の競技環境でロボットを 4 台配置し，ロボットを動かして障害物を認識することができるか検証を行う．検証実験結果を図 4 に示す．各図の右下にロボットが認識した障害物と味方機の位置を示している．検証結果より，動的環境において，複数の障害物を実時間 (約 20 ms) で同時に認識することができた．

## 7. 結言

本報では，高精度，リアルタイムな複数障害物の同時認識を目指した．その結果，LiDAR と全方位カメラを併用し，障害物の距離推定精度を改善した．さらに，“Attention-GA”を用いて，動的環境におけるリアルタイムな複数障害物の同時認識が出来た．

## 参 考 文 献

- [1] 阿部友基，鈴木秀和：“サッカーロボットのための複数対象認識”，計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会講演論文集，pp. 352-355 (2009.10)
- [2] 大森浩二郎，鈴木秀和：“RoboCup 中型リーグのための障害物認識”，第 35 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集 DVD，3C1-01，(2017.9)

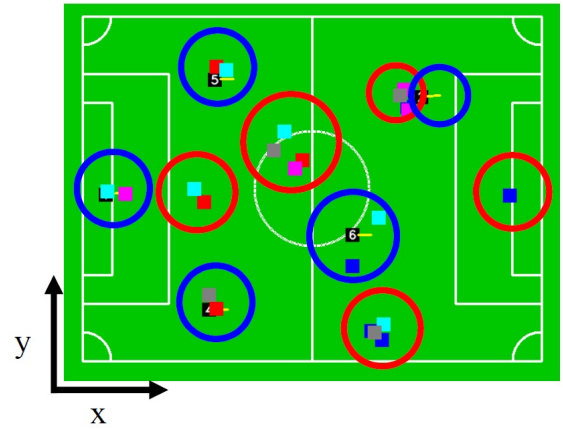


図 2 実戦環境における障害物情報統合結果

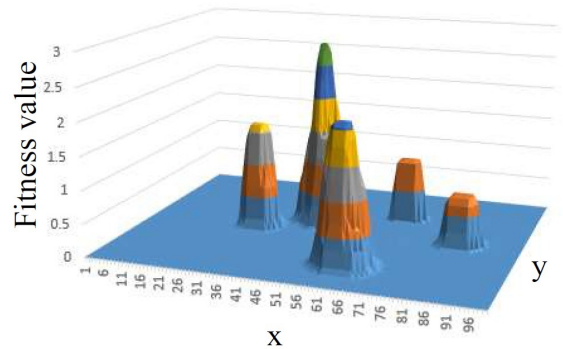


図 3 実戦環境における障害物探索空間

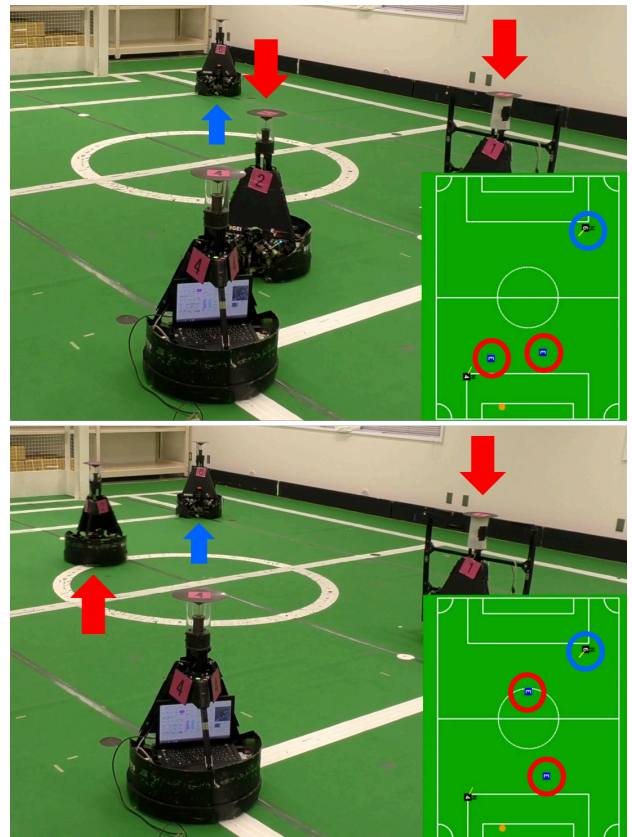


図 4 実機検証