

D-103

# PSO を用いた RoboCup サッカーチームのフォーメーション調整 Evolving RoboCup Soccer Team Formations by Particle Swarm Optimization

山下 彬 和田 哲也 岡田 英彦  
Akira Yamashita Tetsuya Wada Hidehiko Okada

## 1. はじめに

優れた自律エージェントを得る一方法として進化計算手法の適用が研究されている。例えば、Robocup サッカー [1] を題材として、選手やチームを遺伝的アルゴリズム等で成長させ、その有効性を評価する研究が報告されている [2-6]。本研究では、粒子群最適化手法 (Particle Swarm Optimization: PSO) [7] を用いて、Robocup サッカーシミュレーションリーグのチームフォーメーションを調整することを試み、この課題における PSO の有効性を調べた。

## 2. フォーメーション調整への PSO 適用

Robocup サッカーには現在 5 種類のリーグがあり、本研究ではシミュレーションリーグのチームを対象として用いた。1 チームは 11 の自律エージェント選手で構成される。この選手のソフトウェアコードとして、本研究では既存の 3 種類のコード (AGENT2D ver.2.1.0 [8], HELIOS for RoboCup JapanOpen2009 in Osaka [9] and HELIOS for RoboCup2010 in Singapore [10]) を用いた。これらのコードは共通したフォーマットのフォーメーション設定ファイルを利用しており、そのファイルにて、試合の状態およびボールの位置に関連づけて選手のホームポジションを指定することができる。つまり、このファイル内の設定値を変更することで、各選手のポジショニング (チームレベルで見ればフォーメーション) を調整できる。本研究において調整対象としたフォーメーション設定ファイル normal-formation.conf の例の一部を図 1 に示す。この例では、ボールがフィールドの中心(0, 0)にあるとき、例えば第 5 選手のホームポジションが(-11.56, 15.78)に設定されている。

```
Ball 0 0
1 -50 0
2 -15.53 -5.42
3 -15.53 5.42
4 -11.56 -15.78
5 -11.56 15.78
6 -6.73 -1.87
7 2.83 -10.81
8 2.83 10.81
9 9.3 -23.78
10 9.3 23.78
11 9.41 -3.12
```

図 1: normal-formation.conf のフォーマット

本研究における PSO の粒子の位置ベクトルは、この normal-formation.conf 内の(x, y)座標の実数値を要素とする 300 次元のベクトルである (300=15×2×10: ボール位置

15 通り、ホームポジションの座標値 x と y の 2 つ、キーパーを除く 10 選手分)。15 通りのボール位置は図 2 の赤い点である。

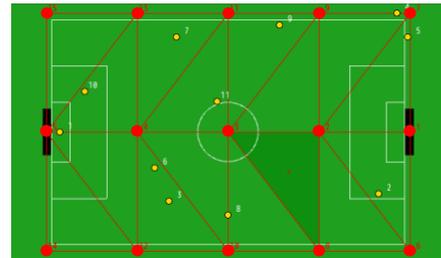


図 2: 15 通りのボール位置

本研究における PSO のフローチャートを図 3 に示す。まず始めに、n 個の粒子  $P_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) の位置ベクトル  $X_i$  および速度ベクトル  $V_i$  をランダムに初期化する。次に、 $X_i$  を normal-formation.conf の設定値として用いたチーム  $T_i$  を、ベンチマーク用対戦相手チーム  $B_j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ) と対戦させ、 $B_j$  に対する  $T_i$  の得点および失点のデータを取得する。 $T_i$  や  $B_j$  のコードは、前記の 3 種類のなかから用いる (例えば、AGENT2D を  $T_i$  に、HELIOS2009 と HELIOS2010 を  $B_j$  に用いる)。 $T_i$  の得点および失点の値を用いて  $P_i$  の適合値を算出し、この適合値に基づいて、 $\{P_i\}$  集合の gbest (gX) および各  $P_i$  の pbest (pXi) を更新する。さらに、 $X_i$  および  $V_i$  を次式により更新する。

$$V_i \leftarrow w \cdot V_i + c1 \cdot r1 \cdot (pXi - X_i) + c2 \cdot r2 \cdot (gX - X_i)$$

$$X_i \leftarrow X_i + V_i$$

本研究では、慣性項係数  $w = 0.9$ 、定数( $c1, c2$ ) = (1, 1)、乱数  $r1$  および  $r2$  をともに [0,1) 一様乱数とした。図 3 のサイクルを一定回数繰り返して終了とした。

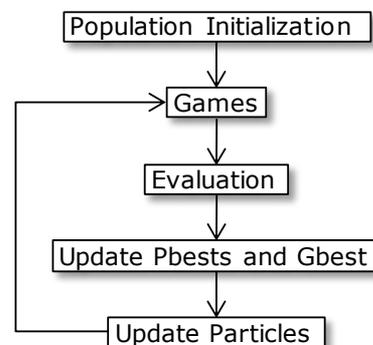


図 3: 本研究における PSO のフローチャート

粒子 n 個 (n チーム) の順位づけは以下のように行った。ベンチマークチームに対して、得点をより多く取り、失

点をより少なく抑えたチームを、よりよいチームと考える。本研究では、得点と失点から総合評価値を算出して順位をつける単目的 PSO と、得点と失点の 2 目的でパレートランキング法によって順位をつける 2 目的 PSO を試みた。単目的 PSO の場合は、チーム  $T_i$  の総合評価値  $F(T_i)$  を以下のように定義した。

$$F(T_i) = 0.5 ( G^*(T_i) + L^*(T_i) )$$

$$G^*(T_i) = G(T_i) / \max(G(T_i))$$

$$L^*(T_i) = 1 - ( L(T_i) / \max(L(T_i)) )$$

ここで、 $G(T_i)$  および  $L(T_i)$  は、チーム  $T_i$  がベンチマークチームの集合  $\{B_j\}$  と 1 回ずつ対戦したときの得点および失点の平均値である。また、 $\max(G(T_i))$  および  $\max(L(T_i))$  は、チーム集合  $\{T_i\}$  のなかでの  $G(T_i)$  および  $L(T_i)$  の最大値である。なお、 $\max(G(T_i)) = 0$  のときはすべての  $T_i$  に対して  $G^*(T_i) = 0$  とし、同様に、 $\max(L(T_i)) = 0$  のときはすべての  $T_i$  に対して  $L^*(T_i) = 1$  とした。

2 目的 PSO においては、前記の  $G(T_i)$  の最大化および  $L(T_i)$  の最小化を目的とし、パレートランキング法によって  $T_i$  の順位をつけた。また、 $g_{best}$  の集合 (集合  $\{gX\}$ ) の要素は、集合  $\{ \{gX(1)\}, \{gX(2)\}, \dots, \{gX(t^*)\} \}$  に含まれる非劣解とした ( $t^*$  は現在のサイクル番号、集合  $\{gX(t)\}$  は  $t$  回目のサイクルにおける非劣解)。各粒子の速度ベクトル  $V_i$  を更新するための  $g_{best}$  は、a) もし  $\{gX\}$  内の 2 つ以上の解がその粒子の解を優越していればそれらのなかから 1 つをランダムに、b) もし  $\{gX\}$  内の解 1 つだけがその粒子の解を優越していればその解を、c) もし  $\{gX\}$  内のどの解もその粒子の解を優越していなければ  $\{gX\}$  のなかから 1 つをランダムに、それぞれ選択した。

### 3. 実験

#### 3.1 単目的 PSO

単目的 PSO の実験結果の例を図 4, 図 5 に示す。この例では、 $T_i$  と  $B_j$  にそれぞれ HELIOS2009 および AGENT2D を用いた ( $i=1,2,\dots,50, j=1$ )。  $B_j$  用の `normal-formation.conf` はデフォルトのまま用いた。試合 1 回あたりおよそ 2 分かかり、5,000 試合 (50 チーム  $\times$  100 サイクル) が含まれる図 4 のシミュレーションにはおよそ 10,000 分  $\approx$  7 日を要した (AMD Phenom II X2 555 3.2GHz CPU, 2GB RAM, Ubuntu OS の PC を用いた)。

図 4 は、 $\{T_i\}$  50 チームの得点および失点の平均をサイクルごとに示したグラフである。図 4 において、得点は第 36 サイクルあたりまで増加傾向が見られ、失点は第 22 サイクルあたりまで減少傾向が見られるが、それ以降にはそれぞれ増加・減少傾向があまり明確には見られない。第 1 サイクルの  $\{T_i\}$  50 チームの `normal-formation.conf` はいずれもランダムに初期化された値が設定されていることから、序盤のサイクルにおける `normal-formation.conf` の改善の余地は大きく、PSO によって、得点や失点が改善されるよう値が更新されたことがわかる。

評価値が相対的に高かったチームの各選手のホームポジションを調べたところ、図 5 の通りであった。図 5 において、+ はボールが敵陣にあるときの、 $\times$  はボールが自陣にあるときのホームポジションの分布を示している。著者らは実験前に、得点を増加させるためにはボールが敵陣にあるときに選手のホームポジションも敵陣へ配置され、失点を抑えるためにはボールが自陣にあるときに

選手のホームポジションも自陣へ配置されると考えていたが、図 5 の結果はこの考えとは一致せず、フィールドのセンター付近に集まって分布していることがわかる。本研究では選手のホームポジションしか操作しておらず、選手の行動規則は用いたコードに実装されたものをそのまま利用している。その行動規則にとっては、フィールドの中盤に位置取りすることが得点や失点の観点で有利であったものと考えられる。ただし、この解が局所最適解の 1 つであり、よりよい解へ到達できていない可能性もあり、さらなる分析が必要である。

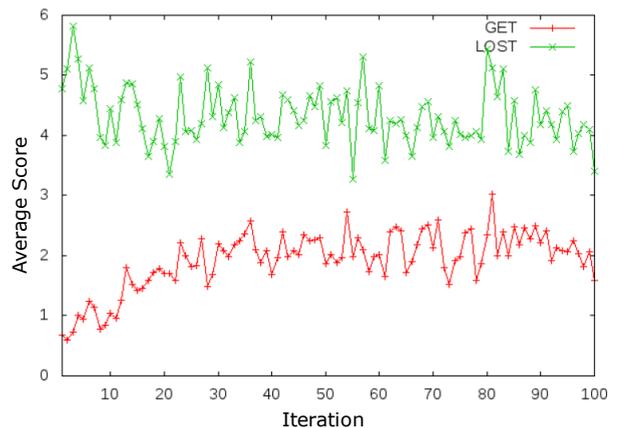


図 4: 50 チームの平均スコア (100 サイクル)

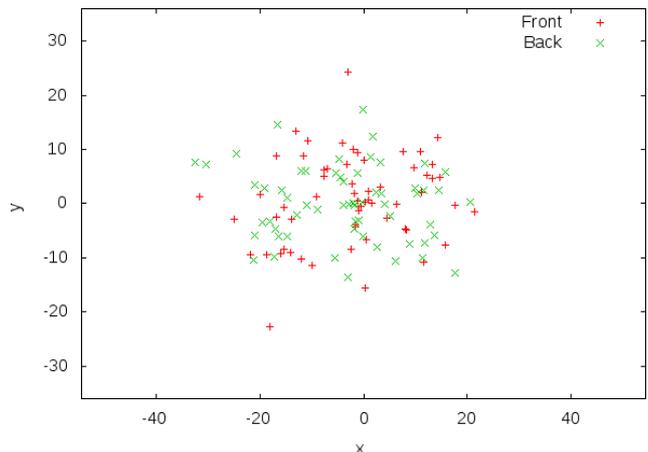


図 5: 上位チームの選手ホームポジションの分布 (+ : ボールが敵陣にあるとき,  $\times$  : ボールが自陣にあるとき)

設定を変えながら様々なシミュレーションを試みた結果、共通的なこととして、失点の減少よりも得点の増加のほうが起こりやすいことがわかった。図 4 の例では序盤のサイクルにおいて失点の減少が見られたが、他のシミュレーションでは失点が初期サイクルからあまり減少しないことが多かった。その原因として、用いたチームコードの特性、局所最適解への収束などが考えられ、今後の課題の 1 つである。

#### 3.2 2 目的 PSO

2 目的 PSO の実験結果の例を図 6~図 8 に示す。この例では、 $T_i$  に HELIOS2009 を用い、 $B_j$  には AGENT2D および HELIOS2010 を用いた ( $i=1,2,\dots,50, j=1,2$ )。ただし、B2 (HELIOS2010) の `normal-formation.conf` はデフォルト

のまま用い、B1 (AGENT2D) の normal-formation.conf は PSO における初期化と同じ方法でランダムな値に書き換えたものを用いた。Ti は、B1 との試合で得点をあげやすく、B2 との試合で失点しやすいと考えられる。2 目的 PSO におけるチーム集合{Ti}の順位づけ方法から、B1 との試合でより得点をあげられるように変化した（得点主義の）チーム、B2 との試合でより失点を抑えるように変化した（失点主義の）チーム、両者のバランスをはかるように変化したチームは互いに優越されない関係となるため、多様な成長が期待される。

図 6 は、先の図 4 と同様に、{Ti}50 チームの得点および失点の平均をサイクルごとに示したグラフである。図 6 において、得点は段階的な増加傾向が見られるが、失点は減少傾向があまり見られない（他の設定のもとで行ったシミュレーションでも共通的であり、失点減少の変化があまり見られないことは単目的 PSO の場合と同様であった）。また図 7 は、第 1 サイクルおよび第 83 サイクルにおける{Ti}50 チームの得点と失点の分布を示しており、+および×がそれぞれ第 1 サイクルおよび第 83 サイクルにおける分布である。グラフ上での+の集団と×の集団の位置を比べると、サイクル経過を経て右方向に移動している（得点が増加している）が、上方向には移動していない（失点は減少していない）ことがわかる。このグラフの右下方向が得点主義、左上方向が失点主義、右上方向がバランス主義への変化を表すため、本実験では、得点主義に変化したチームは存在したが、失点主義やバランス主義に変化したチームは見られなかった。

図 8 は、先の図 5 と同様に、評価値が相対的に高かったチームの選手のホームポジションを表している。図 8 の結果も、前記の著者らの考え（+の位置が敵陣（左）寄りになり、×の位置が自陣（右）寄りになるという考え）とは一致していない。ただし、図 5 の結果とは異なり、図 8 では分布がフィールドセンターに偏ってはならず、全体的にばらついていることがわかる。図 5 と図 8 の違いの原因としては、Ti のコードの違い（図 5 では HELIOS2009、図 8 では HELIOS2010）が考えられ、PSO によるフォーメーションの調整がチームコードの違いにアダプティブに行われることが示唆された。本件のさらなる調査も今後の課題の 1 つである。

#### 4. まとめ

本研究では、PSO を用いて、Robocup サッカーシミュレーションリーグのチームフォーメーションを調整することを試みた。得点と失点を総合的に 1 つの指標で評価した単目的 PSO の場合、および、得点と失点を独立した評価指標として用いた 2 目的 PSO の場合のいずれにおいても、得点増加の変化より失点減少の変化のほうが難しく失点減少の変化が見られないことが多かった。また、評価値が高いチームの選手ホームポジションの分布を調べたところ、ボールの位置に合わせた攻撃的もしくは守備的なポジショニングの偏りは明確には見られず、ボールの位置に対して偏りなくバランスのとれたポジショニングとなった（ただしチームコードの違いに合わせて分布に違いが存在する）ことがわかった。

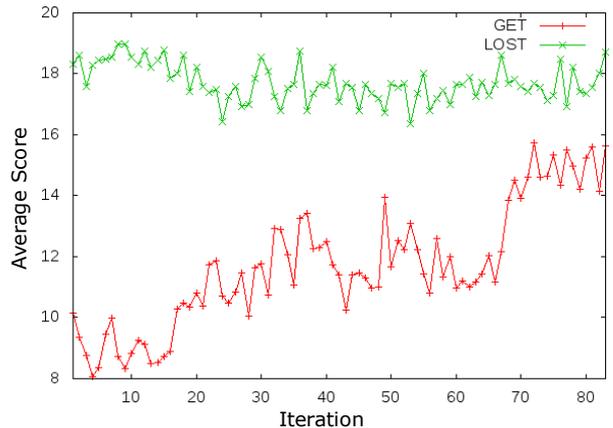


図 6: 50 チームの平均スコア (83 サイクル)

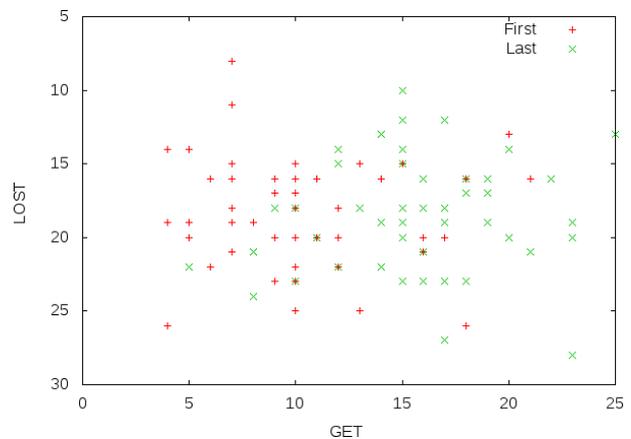


図 7: 第 1/第 83 サイクルにおける 50 チームのスコア分布

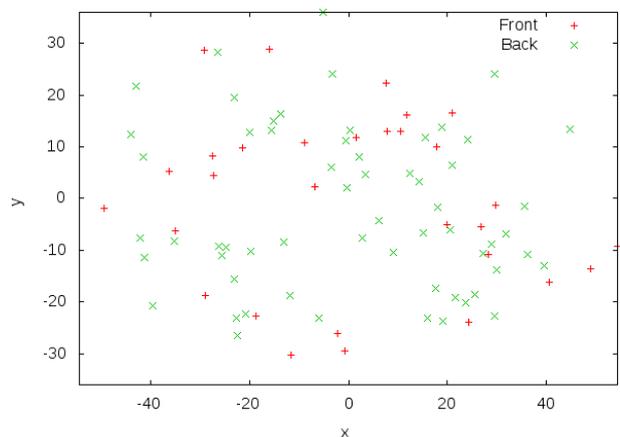


図 8: 上位チームの選手ホームポジションの分布 (+ : ボールが敵陣にあるとき、× : ボールが自陣にあるとき)

今後の課題として、3 章に記載した課題のほか、他のチームコードを用いた場合の調査、PSO 以外の進化計算手法を用いた場合との比較、調整の対象をホームポジションに限定せず選手の行動規則等も含めた場合の調査などが挙げられる。

## 参考文献

- [1] <http://www.robocup.org/robocup-soccer/>
- [2] S. Luke, C. Hohn, J. Farris, G. Jackson and J. A. Hendler, "Co-Evolving Soccer Softbot Team Coordination with Genetic Programming", Lecture Notes in Computer Science, Vol.1395 (RoboCup-97), pp.398-411, 1998.
- [3] G. Dongbing, H. Huosheng, J. Reynolds and E. Tsang, "GA-based Learning in Behaviour based Robotics", Proc. of IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, Vol.3, pp.1521-1526, 2003.
- [4] T. Nakashima, M. Takatani, M. Udo and H. Ishibuchi, "An Evolutionary Approach for Learning Soccer Strategies", Proc. of Joint 2nd International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 5th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 4pages, CD-ROM, 2004.
- [5] V. Frias-Martinez and E. Sklar, "A Team-based Co-Evolutionary Approach to Multi Agent Learning", Proc. of the AAMAS Workshop on Learning and Evolution in Agent Based Systems, 6pages, 2004.
- [6] H. Okada and T. Takagi, "Evaluation of Multi-objective Genetic Algorithm for RoboCupSoccer Team Evolution", Proc. of International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology (SICE Annual Conference 2008), pp.151-154, 2008.
- [7] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", Proc. of IEEE International Conference on Neural Networks, Vol.IV, pp.1942-1948, 1995.
- [8] <http://sourceforge.jp/projects/rctools/downloads/43082/agent2d-2.1.0.tar.gz/>
- [9] <http://sourceforge.jp/projects/rctools/downloads/41357/helios-jopen2009.tar.gz/>
- [10] <http://sourceforge.jp/projects/rctools/downloads/48106/helios-10Singapore.tar.gz/>