

魅力度による行動モデルに基づく集団行動の特徴量の抽出

三好雅則* 宇佐美芳明* 高橋一哉* 水上潔** 藤井秀樹**

miyoshi@hrl.hitachi.co.jp

* (株) 日立製作所日立研究所

** (株) 日立製作所情報制御システム事業部

スポーツ科学の研究機関向けゲーム(試合)分析システムのために、集団としての選手の行動を定量的に評価する手法を提案する。選手の行動は魅力度に基づく行動モデルに従うと仮定して、実際に観測された選手の軌跡情報から、逆にそのモデルのパラメータを推定して、分析に利用する。ここで、魅力度に基づく行動モデルとは、心理的な刺激によって生じる人間の行動をモデル化したものである。本手法によって得られた集団行動の特徴量を可視化することで、定量的な評価に利用できることを確認した。

A Method for Extracting a Feature of Group Behavior Based on Attractiveness

Masanori Miyoshi*, Yoshiaki Usami*, Kazuya Takahashi*,
Kiyoshi Mizukami** and Hideki Fujii**

miyoshi@hrl.hitachi.co.jp

*Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

**Information and Control Systems Division, Hitachi, Ltd.

This paper proposes a new method for extracting a feature of group behavior for a computer scouting system for ball games. We assume that players obey the behavioral model based on attractiveness, and estimate parameters for the model from tracks of the players. We can visualize the parameters and evaluate the group behavior objectively.

1. はじめに

近年では、情報処理技術を利用してスポーツの強化を図ろうとする試みが積極的になされている¹⁾。このような状況に対し、我々のグループは、サッカーなどチームスポーツのゲーム(試合)の分析を支援するゲーム分析システムを開発している。主にコーチなどの指導者が、チームの強化のために利用することを想定している。

このゲーム分析システムは、チームスポーツを分析対象とするので、集団の中の各個人が、チームワークにいかに関与しているかを評価することが重要である。そこで、集団における各個人間の相互作用を考慮して、集団としての行動の特徴を抽出する機能を開発することにした。

このような集団としての行動の特徴を抽出しようとする研究としては、映像検索用のインデックスの自動生成に関するものがある。アメリカン・フットボールの試合の映像から、画像処理で選手の移動軌跡を抽出し、軌跡の特徴からフォーメーションを自動認識したり²⁾、サッカーの試合の映像から、選手のシルエット情報を用いてシュートやゴールといった映像の内容を自動分類する事例³⁾などがある。

しかしながら、これらの手法は、何らかの方法で事前に記述した集団行動の意味のデータベース中から、処理対象の映像と最も類似する映像を検索するものである。したがって、登録していない集団行動の意味を抽出することができない。また、集団行動の意味を登録するのは手間のかかる作業である。

そこで、本報告では、このような集団行動の意味のデータベースを作成することなく、集団行動の意味を抽出する手法を提案する。

2. ゲーム分析システム

本章では、まず、我々のグループで開発しているゲーム分析支援システムの概要を述べる。このシステムの目的は、サッカーなどチームスポーツの試合の分析を支援することである。そのために、実写映像から選手やチームの情報を抽出し、結果をCGで表示する機能を提供する。

ゲーム分析支援システムは、図1に示すように、制作システム・配信システム・利用システムで構成される。制作システムは、テレビカメラで撮影した映像から、選手やチームの特徴量を抽出する。配信システムは、抽出した結果を編集し、利用者分配到する。そして、利用システムは、ゲーム分析のために利用者が抽出結果を閲覧する機能を提供する。

次に、制作システムの詳細を述べる。制作システムは、テレビカメラで撮影した映像から、選手やチームの特徴量を抽出するシステムであり、さらに、テレビカメラで撮影した映像から選手の移動軌跡を抽出する軌跡抽出サブシステム、人物のシルエット形状の変化から人物の体の動きを識別する体動認識サブシステム、そして、選手の集団としての行動を評価する行動分析サブシステムで構成される。ここで、行動分析サブシステムは、集団行動を定量的に評価するために、集団行動の特徴量を規定して、その特徴量を算出するものである。特徴量算出のために、着眼点が異なる次の2つの評価手法を準備して、分析対象に応じて使い分けることにした。

- (1) 魅力度に基づく行動モデルによる分析：選手の軌跡情報から、選手間に、どのような心理的作用が働いているのかを明らかにする手法。魅力度に基づく行動モデルに選手が支配され

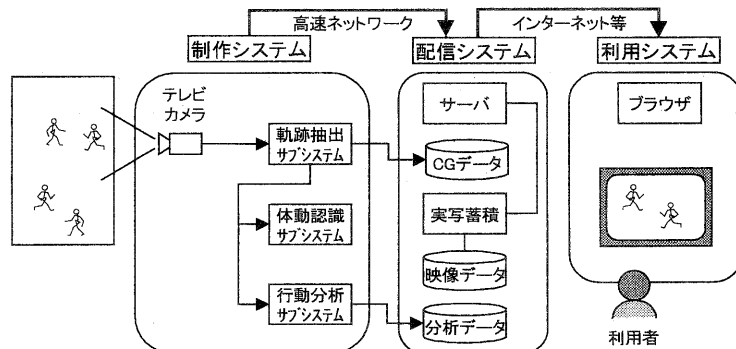


図1 ゲーム分析システムの構成

ると仮定して、選手間に生じる仮想的な引力や斥力の原因を推定する。

- (2) 動的勢力圏モデルによる分析：人物が支配する領域を、到達時間に基づいて決定する手法。個々の人物ごとに到達時間のパターンを画像として計算し、すべての地点に対して最も早くで到達する人物を特定することで、個別の優勢領域を求める⁴⁾。

本報告では、前者の魅力度に基づく行動モデルによる分析手法について詳細に説明する。

3. 魅力度に基づく行動モデルによる分析

本章では、魅力度に基づく行動モデルを用いた集団行動の分析手法について述べる。この手法は、前述したゲーム分析システムの行動分析サブシステムで利用する。

3.1 概要

まず、魅力度に基づく行動モデルによる分析手法の概要を述べる。魅力度に基づく行動モデルとは、心理的な刺激によって生じる人間の行動をモデル化したものであり、計算機を使って仮想的な人間の行動を模擬する行動シミュレーションに利用する⁹⁾。ここで、人間の行動の具体例として、移動軌跡を考える。図 2 は、この行動シミュレーションと本章で述べる行動分析の関係を示している。行動シミュレーションでは、行動モデルとそのモデルのパラメタから人間の行動を模擬して軌跡を求める。それに対して、行動分析では、人間の行動はこの行動モデルに従うと仮定して、行動モデルと実際に観測された人間の移動軌跡から、逆に行動モデルのパラメタを推定する。

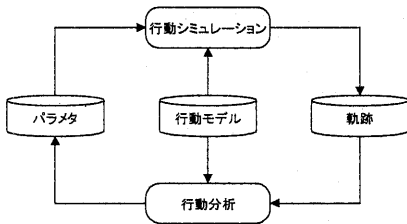


図 2 行動シミュレーションと行動分析

行動モデルのパラメタは、各個人の行動を制御する量であり、各個人の個性を表し、その行動を特徴づけると考えることができる。したがって、このパラメタを何らかの方法で算出することができれば、その結果をゲーム分析システムの利用者に提示する

ことで、行動の意味の理解を助けることが可能になる。

3.2 魅力度に基づく行動モデル

次に、行動モデルの一例として、魅力度に基づく行動モデル⁹⁾について述べる。このモデルは、人間は心理的な刺激を受けて行動していると仮定して、その刺激が行動に与える影響をモデル化するものである。例えば、街角である人を発見したとき、あたかも物理的な力に加わったように、その人に近づいていったり、遠ざかったりする。このような行動を、魅力度と呼ぶ人間と人間の間に発生する仮想的な力を用いてモデル化し、この魅力度から人間の進行方向を決定することで、人間の行動を模擬している。

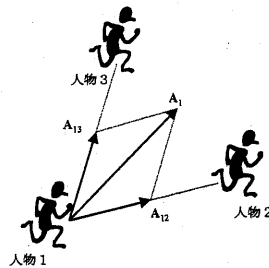


図 3 魅力度に基づく行動モデル

このモデルによる行動シミュレーションの具体例を、図 3 を使って説明する。ここでは、3 人の集団の中で、人物 1 が他の人物から心理的な刺激を受けて、進行方向を決定する様子を示している。人物 1 が他の人物から受ける仮想的な力、すなわち魅力度 A_{12} と魅力度 A_{13} とのベクトル合成で求める魅力度 A_1 を受けており、人物 1 はその方向を進行方向としている。魅力度 A_{12} は、好き嫌いといった心理的な要因により、人物 1 が人物 2 から受ける仮想的な引力または斥力である。同様に、魅力度 A_{13} は、人物 1 が人物 3 から受ける仮想的な引力または斥力である。この魅力度は次のように表現できる。

$$A_i(N) = \sum_j L_{ij} S_{ij} N_j e_{ij} \quad (1)$$

ここで、 L_{ij} は人物 i の人物 j への好みの度合いであり、人間関係に応じた魅力度の変化を表現する。 S_{ij} は人物 i が人物 j を観測するときの感度であり、物理的な位置関係に応じた魅力度の変化を表現する。 N_j は人物 j の性質を表す値であり、観測者の好みに対応する被観測者の個性を表す。そして、 e_{ij} は人

物 i から人物 j への単位方向ベクトルであり、魅力度の発生する方向を定める。

これらの人物の行動を制御するパラメタの中で、性質量 N_j は、人物 j が他の人物に与える影響の大きさに対応し、その行動を特徴づけるものとなる。したがって、性質量 N_j を特徴量と考える。特徴量が大きいほど、他の人物の行動への影響度が大きくなる。逆に、特徴量が小さいほど、影響度が小さくなる。ここでは、魅力度 A_i は特徴量 $N(N_1, \dots, N_n)$ の関数であることを強調するため、式(1)のように $A_i(N)$ と表現した。

なお、ここでは人物だけを魅力の発生源とした。しかし、人物以外に他の物体も魅力を発生していると思ってもよい。例えば、サッカーの試合におけるボールは、選手の行動に大きな影響を与えるので、魅力の発生源として考えることができる。

3.3 特徴量の算出

次に、図 4 を用いて、軌跡情報から特徴量 N を算出する方法を説明する。基本的な考え方は、人物の進行方向を表す観測値である進行方向データと、行動シミュレーションによって定まる仮想的な進行方向の差ができるだけ小さくなるように特徴量を求めるというものである。ここでは、この問題を非線型計画問題として解くことを考える。すなわち、人物 i に対して、進行方向データによって表される実際の進行方向 d_i と、行動シミュレーションによって決定される仮想的な進行方向 A_i の角度差を θ_i とした場合に、次式を考える。

$$f(N) = \sum_i (1 - \cos \theta_i) \\ = \sum_i \left(1 - \frac{\mathbf{v}_i \cdot \mathbf{A}_i(N)}{|\mathbf{v}_i| |\mathbf{A}_i(N)|} \right) \quad (2)$$

この式は、 d_i と A_i の角度差が少ないほど小さい値をとり、特に、角度差がまったくない場合に最小値 0 をとる。つまり、式(2)を最小化する特徴量 N を求めることは、 d_i と A_i の角度差ができるだけ小さくなるような特徴量 N を求めることと同じである。したがって、ここでは、式(2)を最小化する特徴量 N を求めることにする。ここで、 $f(N)$ を目的関数と呼ぶことにする。この目的関数 $f(N)$ を最小化する特徴量 N を求めるには、例えば最急降下法⁹⁾などの一般的に知られている非線型計画問題の解法を利用すればよい。

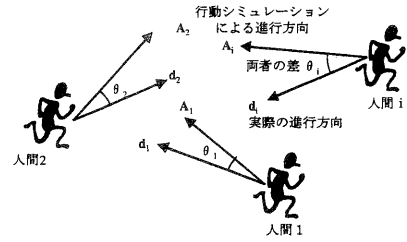


図 4 特徴量の算出手順

3.4 ポテンシャル場の算出

次に、魅力度の発生状況を人間が観察しやすいように見やすく表示することを考える。上記の手順で算出した特徴量 N を式(1)に適用することで、各個人に生じる魅力度を得ることができる。この魅力度の分布具合を知るには、魅力度を表すベクトルを空間に離散的に表示する方法がある。しかし、この方法では、離散的に表示されたベクトルから近傍の様子を観察者が推定しなければならず、直感的でない。また、全体的な傾向を把握しにくいという問題がある。そこで、ここでは、重力加速度と位置エネルギーの関係のように、ベクトル場とそれに対応するポテンシャル場の関係が、魅力度の場合にも成り立つと仮定して、魅力度に対するポテンシャル場を推定して表示することを考える。

一般に、与えられたベクトル場からポテンシャル場を算出するには、ベクトル場に分布するベクトル量をポテンシャル場の勾配と考え、ベクトル場を積分すればよい。ここでは、簡単のために、図 5 に示すように、空間に配置した 2 次元の正方格子上の点 (i, j) に対する魅力度ベクトル $\mathbf{A}^{(i,j)}$ から、ポテンシャル $U^{(i,j)}$ を次式で求める。

$$U^{(i,j)} = U^{(0,0)} \\ + \frac{k}{2} \sum_{m=0}^i (\mathbf{A}^{(0,m)} + \mathbf{A}^{(i,m)}) \cdot \mathbf{i} \quad (3) \\ + \frac{k}{2} \sum_{m=0}^j (\mathbf{A}^{(m,0)} + \mathbf{A}^{(m,j)}) \cdot \mathbf{j}$$

ここで、 $U^{(0,0)}$ は格子点 $(0, 0)$ におけるポテンシャル値、 k はポテンシャル U の勾配と魅力度 \mathbf{A} を対応づける定数、 \mathbf{i} と \mathbf{j} は格子の軸方向を表す単位ベクトルである。なお、ここで重要なのは、ポテンシヤ

ル U の値ではなく勾配の様子であるので、 $U^{(0,0)}$ と k は適当に定めて構わない。この式は、格子点上近傍では魅力度が一定であるという仮定のもと、図 5 に示した経路 1 と経路 2 に沿って積分した結果の平均値を表す。

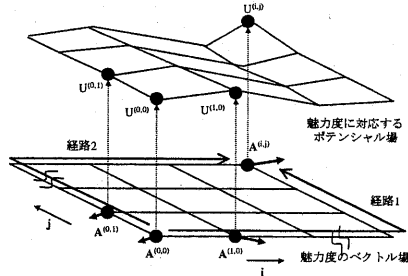


図 5 ポテンシャル面の算出手順

4. 結果と検討

前章で述べた魅力度に基づく行動モデルによる分析手法の実験結果を示す。まず、動作確認用に作成した簡単なテスト用の軌跡データを使って分析を試みた。そして、実際のサッカーの試合に適用した。すべての処理には、デスクトップ型 PC (CPU: Pentium III 600MHz, 主メモリ: 128MB, OS: Windows98) を使用した。また、出力映像の解像度は、すべて 640x480 ピクセルであった。

図 6 は、テスト用の軌跡データに対する分析結果を示している。ここでは、画面の手前から奥方向に移動する 1 つの移動物体に対する 39 フレーム分の軌跡を入力データとした。この物体は、最初は画面右奥方向に進み、途中で画面左奥方向に進路を変更する。分析に当たっては、画面奥に 2 つの魅力の発生源を仮定した。1 つは移動物体の当初の進行方向上、もう 1 つは進路変更後の進行方向上に置いた。画面では、これらの移動物体と魅力の発生源を球で表現している。また、魅力の発生源に付加された円柱は、解析で求めた各魅力の発生源に対する特徴量の大きさを表している。鉛直上方向が特徴量の正方向とした。画面には、移動物体に対するポテンシャル場も合わせて等高線表示している。このポテンシャル場は、ポテンシャルが高い方向から低い方向に向かって魅力が発生することを意味する。この映像から、下部を頂点とする、すり鉢状のポテンシャル場が発生していることがわかる。また、当初は画面右側の魅力の発生源が大きな特徴量を示しているが、移動物体の針路変更後は、画面左側の魅

力の発生源が大きな特徴量を示すようになることもわかる。さらに、これに合わせて、ポテンシャル場の谷も画面右から画面左に移動していることもわかる。この解析に要した処理時間は、39 フレームについて、0.44 秒であった。

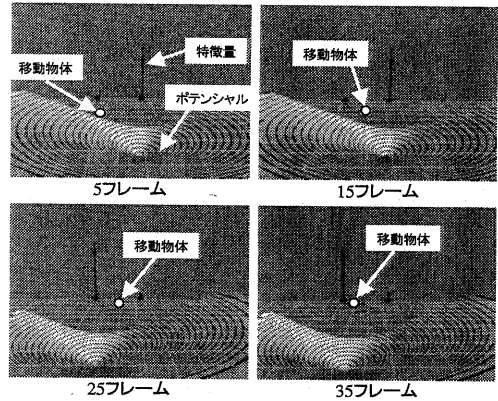


図 6 ポテンシャル算出例

次に、実際のサッカーの試合に対する分析結果を図 7 に示す。ここでは、市販のビデオカメラを用いて撮影した映像をから、第 2 章で述べた軌跡抽出サブシステムを利用して抽出した 22 人の選手とボールの軌跡を入力データとした。処理の対象は、実際のサッカーの試合において攻撃側のチームが自陣から攻め上がろうとする 450 フレームのシーンである。この映像の一場面を図 8 に示す。分析に当たっては、選手とボールが他の物体に魅力を与える魅力の発生源と仮定した。なお、画面には、注目物体とラベルを与えた移動物体に対するポテンシャル場も合わせて等高線表示している。この図から、時々刻々と変化する、ポテンシャル場の分布状態を知ることができる。例えば、10, 90 フレームでポテンシャル場の勾配はなだらかであるのに、170, 250 フレームで急になり、330, 410 フレームで再びなだらかになっている。この理由は次のように考えることができる。10, 90 フレームでは敵ゴール近くで敵がボールをキープしているため、ボールを奪い取る可能性が低い。そのため、大きな魅力が生じないため、勾配がなだらかである。70, 250 フレームでは、敵が敵ゴール前から急に自陣側にパスを出したため、守備の必要が生じ、自陣側に大きな魅力が生じている。その後、自分の近くにパスがこなかったため、ボールを奪い取る可能性が低くなり、ボールへの魅力が減少している。なお、この解析に

要した処理時間は、450 フレームについて、320 秒であった。

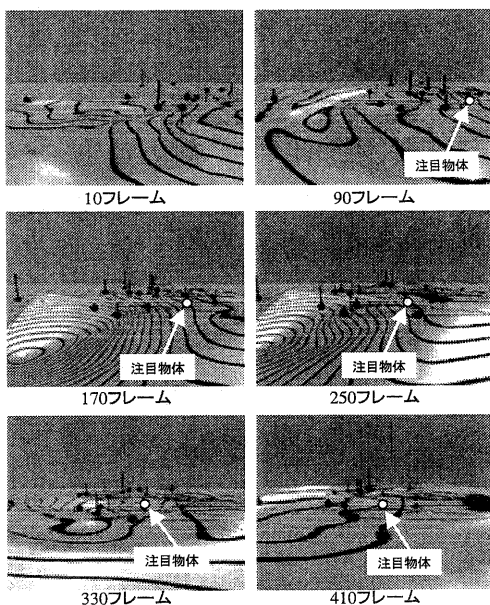


図 7 サッカーシーンへの適用例

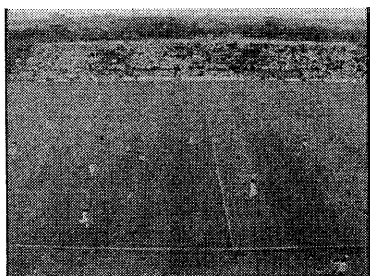


図 8 解析対象の実写映像

この分析手法によって、集団の中で各個人が他の人に与える影響の度合い、すなわち性質量を、数値として客観的に評価できるようになる。また、魅力度に対応するポテンシャル場を可視化できるので、特定の個人に働く心理的な影響の分布具合も客観的に評価できるようになる。

本報告では、サッカーを対象としたが、基本的な考え方は、ハンドボールなど他のチームスポーツにも適用可能である。さらには、本報告の技術は、人流解析にも応用可能であり、セキュリティやマーケティング分野に適用できる。

5. おわりに

スポーツ科学の研究機関向けスポーツ・ゲーム分析システムのために、魅力度に基づく行動モデルによる分析手法を提案した。これにより、集団の中で各個人が他の人に与える影響の度合いを、数値として客観的に評価できるようになった。また、魅力度に対応するポテンシャル場を可視化することで、特定の個人に働く心理的な影響の分布具合も客観的に評価できるようになった。

今後の課題は、効率的な分析環境を提供するための使い勝手のよい GUI (Graphical User Interface) を実現すること、および、本手法の適用範囲を拡大することである。

謝辞 ゲーム分析システムの開発にご協力頂いた中京大学情報科学部の長谷川純一教授、瀧剛志助手、(株)日立製作所情報制御システム事業部の椎葉謙司氏、渡邊将弘氏、町田慶太氏、日立エンジニアリング(株)の小林克年氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 大橋次郎, 金子保敏, 沼澤秀雄, 川端里香, 武田恒樹, “ワールドカップ・フランス 98 日本代表チームのボールキープタイムおよび移動距離,” サッカー医・科学研究 第 19 巻, pp. 9-13, 1999.
- 2) S. S. Intille, A. F. Bobick, “A Framework for Recognizing Multi-Agent Action from Visual Evidence,” M.I.T Media Lab. Technical Report No. 489, 1999.
- 3) 前田潤治, 越後富夫, 宮森恒, 飯作俊一, “連続状態を持つ隠れマルコフモデルを用いた運動の推定と分離,” MIRU-98, vol. I, pp. 437-442, 1998.
- 4) 瀧剛志, 長谷川純一, “チームスポーツにおける集団行動解析のための特徴量とその応用,” 電子情報通信学会論文集(D-II), J81-D-II, No. 8, pp. 1802-1811, 1998.
- 5) 鶴沼宗利, 安生健一, 武内良三, “群衆行動のモデリングー仮想都市空間における人の群れと環境のインタラクションー,” 電気学会論, Vol. 115-C, No. 2, '95, 1995.
- 6) 今野浩, 山下浩, “非線型計画法,” 日科技連出版社, 1978.