

動画ベースによる群衆の動作生成シミュレーション

新倉 寿樹† 高橋 成雄‡ 西田 友是‡

†東京大学 大学院情報理工学系研究科 ‡東京大学 大学院新領域創成科学系研究科

1 背景

一般的な群衆シミュレーションの問題として、いかに自然な群衆の動作を記述できるか、という問題がある。自然な群衆の生成は、手続きベースによるもの([1]など)と、例示ベースによるもの([2]など)の2つのカテゴリがある。しかし[2]では個々の群衆のモーションデータを用いたものであり、群衆全体を適切な特徴量で記述した研究はほとんどなく、何を特徴量として抽出すればよいか難しい。本研究では形状記述の道具を用いて、例示ベースの群衆動作記述のアプローチについて述べる。群衆の動作を解析して特徴量を抽出し、得られた特徴量を適切に重ね合わせることで、自然な動作をする群衆を新たに生成できる。本研究では、[3]で提案される固有空間への射影や、[4]で提案される群衆のラプラシアン近似を応用して、群衆全体の適切な特徴量を抽出し、群衆の動作を制御する手法を提案する。解析して得られた特徴量としての基底ベクトルや、個々の群衆の時系列平均位置からの相対座標を基底ベクトルに正射影したときの大きさを表す係数を用いることで、新たな群衆を生成できる。係数に演算を施して群衆の動作のスケールを変更したり、群衆間の基底ベクトルを混在させて、2つの群衆の動作を合成することが可能となる。

2 群衆の特徴量抽出

2.1 群衆の解析

群衆の動作解析のため、実際に群衆の映った動画(図1(a),(b))を用意する。動画から群衆の個々の位置座標情報を取得する。



(a)横に動く群衆 (b)中心に向かう群衆

図1. 群衆を映した動画

“Crowd simulation based on video examples”

†Hisaki Nikura, Graduate School of Information Sciences, University of Tokyo

‡Shigeo Takahashi, Tomoyuki Nishita, Graduate School of Frontier Sciences, University of Tokyo

2.2 群衆の固有空間への射影

[3]のように群衆の動作を固有空間へと射影して、特徴づけを行う(以下方針1とする)。動画のフレーム数を m とする。群衆の各時間ステップ($t = t_j, j = 1, 2, \dots, m$)における重心と、群衆の i 番目の個体($i = 1, 2, \dots, n$)との2次元相対位置座標を、図2のように定める。

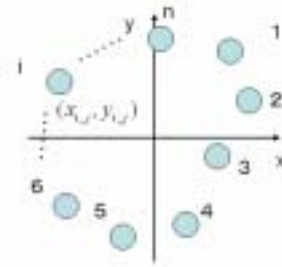


図2. 群衆の2次元相対位置座標

この相対位置座標を縦ベクトルと、個々の相対位置座標の時系列の平均を列挙したベクトル

$$\begin{cases} D_j = (x_{1,j}, x_{2,j}, \dots, x_{n,j}, y_{1,j}, y_{2,j}, \dots, y_{n,j})^T \\ D_0 = (1/m) \sum_{j=1}^m D_j \end{cases} \quad (1)$$

を考える。次に、平均から各個体の相対位置座標がどれ位ずれるかを表す共分散行列 V を求める。

$$V = (1/m) \sum_{j=1}^m (D_j - D_0)(D_j - D_0)^T \quad (2)$$

これは $2n \times 2n$ 行列となる。この行列 V の固有値を l_1, l_2, \dots, l_{2n} ($l_1 > l_2 > \dots > l_{2n}$) とし、これに対応する固有ベクトルを、 e_1, e_2, \dots, e_{2n} とする。この固有ベクトルは変位の傾向をもっとも表す順に並んでいると言える。この基底ベクトル群が群衆の動きを特徴付けている。これを用いて、 D_j は値の大きい(より特徴を表した)固有値に対応する固有ベクトル数個を重ね合わせて近似表現できる(D'_j とする)。基底の数を $2n$ に近づけるほど、 D'_j は D_j に近似されていく。

2.3 隣接行列を用いた群衆のラプラシアン近似

方針2として、[4]のように各個体とその周辺の個体の近さを記述する。時間ステップ t_j において、

$$K_j = B_j - A_j \quad (3)$$

という $n \times n$ 行列を考える。 A_j は隣接行列である。ある個体 k とある個体 l の距離が一定の大きさ以内にある場合、隣接しているとみなし、 A_j の (k, l) 成分を 1 とする。隣接していない場合は 0 とする。対角成分は全て 0 とする。 B_j については、 t_j において、ある個体 k の隣接する個体の数が d_k であるとき、対角成分 (k, k) を d_k として B_j を定義する。ここで行列 K_j の平均と、その対象行列を求める。

$$\begin{cases} K = (1/m) \sum_{j=1}^m K_j \\ S = KK^T \end{cases} \quad (4)$$

また、方針 1 同様、 S の固有値を l_1, l_2, \dots, l_n とする ($l_1 > l_2 > \dots > l_n$)。これに対応する固有ベクトルを e_1, e_2, \dots, e_n と定める。この固有ベクトルは、変位の傾向を表す順に並んでおり、この基底ベクトル群が群衆の動きを特徴付けている。次に、群衆の t_j における重心と、 i 番目の個体との 2 次元相対位置座標系を用いる。このとき個体の各相対位置座標は、値の大きい(より特徴を表した)固有値に対応する固有ベクトル数個を重ね合わせて近似表現できる。基底の数 n に近づけるほど、元の座標に近似されていく。

3 新たな群衆の生成

新たな群衆を生成するには、基底ベクトルを求め、これが動作を特徴づけていることを利用する。ひとつの方法として、個々の群衆の時系列平均位置からの相対座標を、基底ベクトルに正射影したときの大きさを表す係数に演算を施すことで、新たな動作をする群衆が生成される。例えば、係数を 2 倍にすれば速度ベクトルは 2 倍となり、また時間ステップを引数とする \sin 関数をかければ、正弦波のように周期的な動きをするようになる。また、2 つの群衆の基底ベクトルを変位の傾向を表す順に混在させることで、2 つの群衆両方の動作の特徴を持つ新たな群衆が生成される。例えば、横に動いていく動作をする群衆と、群衆の中心に向かって動いていく群衆があったとすると、「横に動きながら中心に向かうような動作をする群衆」が新たに生成される。

実際に 2 パターンの群衆のデータを取り、特徴量を抽出した。元となった群衆の動作の軌跡を表した画像(図 3, 図 4)と、横に動く群衆の特徴量の係数に \sin 関数をかけた群衆(図 5, 図 6)、またこれらを合成した群衆の動作の軌跡を表した画像(図 7, 図 8)を次に示す。結果画像より、周期的な動きをする群衆や 2 つの群衆の特徴を持つ新たな群衆を生成することができたことがわかる。しかし、合成においては方針 1 と方針 2 では、若干方針 1 の方が、より両方の特徴を生かした動作が合成されているように見える。方針 2 は個体の隣接情報を用いて近似してい

るので、隣接している個体が少ない時間ステップを含む場合は近似の精度が低い。一方、方針 1 は重心との相対位置座標情報を用いて近似しているため、どのような場合でも精度は安定している。

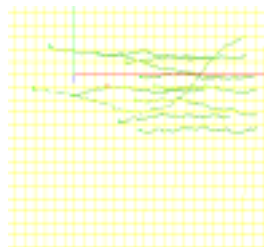


図 3. 横に動く群衆

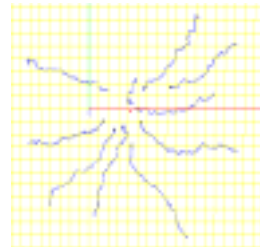


図 4. 中心に向かう群衆

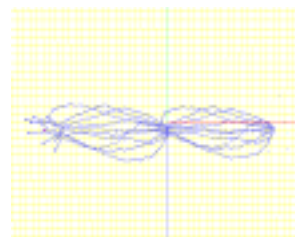


図 5. 方針 1 による
横に動く群衆の正弦化

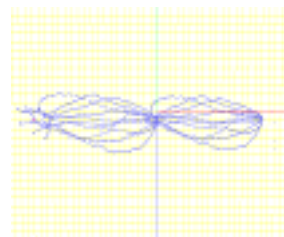


図 6. 方針 2 による
横に動く群衆の正弦化

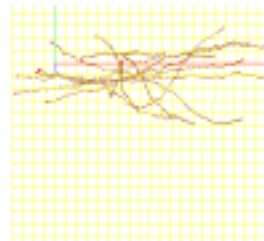


図 7. 方針 1 による合成(左)

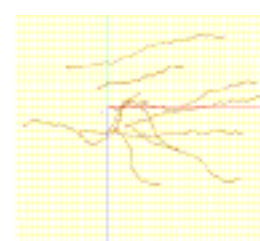


図 8. 方針 2 による合成(右)

4 まとめと今後の課題

本研究では、群衆を映した動画から位置情報を取得し動作を解析して特徴量を抽出し、これを操作して自然に見える動作をする群衆を新たに生成することに成功した。特徴量抽出には 2 つの手法を用いて、それぞれ異なる結果が出た。今後は、形状の周波数解析を適用して、固有値解析と比較したい。

参考文献

- [1] W. Shao, D. Terzopoulos: "Autonomous Pedestrians", in Proc. of ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation pp. 19-28, 2005
- [2] Y. Lai, S. Chenney and S. Fan: "Group Motion Graphs", in Proc. of ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation pp. 281-290, 2005
- [3] 大野宏, 山本正信: "文字認識手法を用いた固有平面上での動作識別", 情報処理学会論文誌 Vol.40 No.8, pp. 3134-3142, 1999.
- [4] Z. Karni, C. Gotsman: "Spectral Compression of Mesh Geometry", in Proc. of SIGGRAPH pp. 279-286, 2000