

# 主観評価に基づく個人性を強調した 歩行動作合成手法の提案

中村慎介<sup>†</sup> 森島繁生<sup>†</sup>

人間の歩行動作には、個人性情報が含まれており、最近では歩容個人認証の研究も盛んである。しかし個人の特徴を強調し、反映する歩容アニメーションを作成することは困難である。

本研究では、歩行動作における個人性とは平均的な歩行動作からの差異によって表現されるものと仮定し、その差異を増大させることによって個人性を強調した歩行動作を合成する。合成される歩行動作は、複数のサンプル歩行動作の主成分分析によって構築される空間において表現する。また、増大させる差異の大きさについては、複数の人物の歩行動作の中から特定の人物の歩行動作を探す主観評価実験によって最も認識率の高くなる割合を推定し、それを用いる。

## Gait Animation Synthesis Exaggerated Characteristics Based on Perception Similarity

Shinsuke Nakamura<sup>†</sup> Shigeo Morishima<sup>†</sup>

Characteristics of human motion, such as walking, running or jumping vary from person to person. Differences in human motion enable people to identify oneself or a friend. However, it is challenging to generate animation where individual characters exhibit characteristic motion using computer graphics. In our research, differences between an average motion in sample motions and a target motion are considered as characteristics target motion includes. We are able to synthesize gait animation exaggerated characteristics by increasing this differences. The synthesized motion is represented as PCA score in PCA space composed of sample motions. In the experiment that subjects look for a target motion from crowd, we estimate the degree of exaggerated characteristics by the reaction time when subjects find the target motion most quickly.

<sup>†</sup> 早稲田大学  
Waseda University

### 1. はじめに

近年、個人を認証する手法[1]として歩容解析が注目されていることからわかるように、人間の歩行動作には意図や感情などと同様に、個人性に関する情報が含まれていることがわかる。そこで歩行における個人性をアニメーションに反映することによって、群集アニメーションなどを実現する際、より自然で雑多な群集を表現可能にしたり、自分そっくりの-avatarを作成する際、歩行動作をカスタマイズ可能にすることなどが求められている[2][3]。しかし人間の歩行動作は多くの要素が複雑に関連しているため、歩行における個人性とはどのような関節のどのような要素が関わっているかはわかっていない。

動作合成の手法では、複数のサンプル動作を補間することで新しい動作を合成する手法[4][5][6][7]などが盛んであるが、個人性を表現することが目的ではない。また動作の誇張表現手法では、与えられたモーションキャプチャデータに動作強調のフィルターをかけることによる動作変換手法[8]などがあるが、これらは任意の関節においてユーザーが誇張表現を設定するものであり、歩行動作における個人性については述べられていない。このため、多数の関節調整によりユーザーが目的の動作を実現するのは困難である。さらに、これらで合成された動作データは、人間の認知的に有効な誇張表現が実現されているかが評価されていない。

本研究では、歩行動作における個人性とは、複数のサンプル動作の平均的な歩行動作からの差異によって表現されるものと仮定し、その差異を増大させることによって個人性を強調した歩行動作を合成する。合成される歩行動作は、複数のサンプル歩行動作の主成分分析によって構築される空間において表現する。また、増大させる差異の大きさについては、複数の人物の歩行の中から特定の人物の歩行を探す主観評価実験によって最も認識率の高くなる割合を推定し、それを用いる。

### 2. 関連研究

複数のサンプル動作を補間することで新しい動作を合成する手法には、複数の類似したサンプル動作を重み付けてブレンドする手法[4]や、直観的に動作を合成するために、重み付けの関数（補間カーネル）を少数のパラメータによって調整する手法[7]も提案されている。

動作の誇張表現手法[8]では、与えられたモーションキャプチャデータの特定の関節における角度、軌跡、加速度などに着目し、動作強調のフィルターをかけることによる動作変換手法などがある。

また、複数の歩行動作サンプルを統計的に解析することで、男女による歩行動作の違い、速度による歩行動作の違い、身長による歩行動作の違いを表現することも行われてきた[9][10][11]。本研究の基本的な考え方はこれらの研究の考え方と類似している。しかし、これらは統計的に特定の要素における歩行動作の違いを表現するものであり、個人間における歩行動作の違いに着目したものではない。またこれらの研究では、サンプル歩行動作間を時間的に同期させる際、単純な正規化を行ったものを使用したり[11]、変数としてフーリエ変換で得られた位相や振幅を使用したりしているため[9]、正しい時間同期がなされていない可能性がある。

動作を人間の認知的観点より評価する研究にはMcDonnellらによる研究[12]などがある。この研究は、より自然で雑多な群集アニメーションを作成するために、人間が群集を観察する際に着目する箇所を特定している。この方法としては、ある特定部位のみを変更したクローン2体を含む複数の人物歩行動作を同時に被験者に見せ、被験者がクローンを発見するまでの時間をリアクションタイムとして計測し有効性を検証している。例えば、リアクションタイムが長い時のクローンはクローンとして認識しづらいことがわかる。この結果を基に効率よくクローンを作成し配置することで、より自然で雑多な群集を低コストで実現することに成功している。

### 3. 歩行動作における個人性の解析

#### 3.1 モーションキャプチャデータの前処理

サンプル歩行動作データ取得にはモーションキャプチャシステムを使用した。被験者には時速4kmの速度で自動制御されたトレッドミル上を自然に歩行している様子を約40秒間撮影した。被験者は20代男性21名、50代男性3名、20代女性2名の計26名で行った。これらの全ての歩行動作データは関節間の長さが固定された同一キャラクタにリターゲットする。これにより被験者間の体型による違いを考慮せずにサンプル歩行動作を扱うことができる。このキャラクタモデルは26[関節]×3[軸方向]の78関節動作からなる人体モデルを用いる。また、ルートの直交座標の3軸方向データを含めた全81個の動作データを分析する。さらに、全てのサンプル歩行動作は左足が着地したときから2周期分を使用するものとする。これらはサンプル歩行動作  $M_i$  における姿勢ベクトルを  $q_i(t_i)$  として表す。

#### 3.2 時間的同期

準備したサンプル歩行動作は2周期分の時間を切り取ったものである。これらは全て異なる時間長であるために、時間的同期を取る必要がある。時間的同期をとる方法としてはKovarらによる方法[6]を用いる。これはまず2つのサンプル歩行動作  $M_i$ ,

$M_j$  の各フレームにおける  $q_i(t_i)$  と  $q_j(t_j)$  の姿勢距離を算出し、姿勢距離行列を作成する。次に、動的計画法を用いてコスト最小経路を探索し、その経路により基本となる動作とタイミングを合わせるよう、それぞれのフレームに重みをつけて波形を時間伸縮させる手法である。

#### 3.3 主成分分析

時間同期のとれたサンプル歩行動作  $M_i'$  において主成分分析を行う。これによって作られた空間を主成分空間とする。この空間の中心がサンプル歩行動作  $M_i'$  の平均動作  $\theta_0$  として表現できる。また、ある歩行動作  $M$  は  $\theta$  として式(1)のように表現する。

$$\theta = \theta_0 + \sum_{i=1}^N \alpha_i \bar{e}_i = \theta_0 + \bar{\alpha} E \quad (1)$$

このとき、 $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N)$  を主成分得点として、 $E = (\bar{e}_1, \bar{e}_2, \dots, \bar{e}_N)$  を固有ベクトル（主成分ベクトル）として表す。また、図1に第1主成分得点と第2主成分得点の関係を示す。

この主成分空間において、各サンプル歩行動作のもつ個人性を、各サンプル歩行動作  $\theta$  とそれらの平均  $\theta_0$  との差異であると仮定するならば、それらは

$$\theta - \theta_0 = \sum_{i=1}^N \alpha_i \bar{e}_i = \bar{\alpha} E \quad (2)$$

として表現することができる。よって、本研究では個人性を強調する場合には  $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N)$  を増大させることにより表現する。

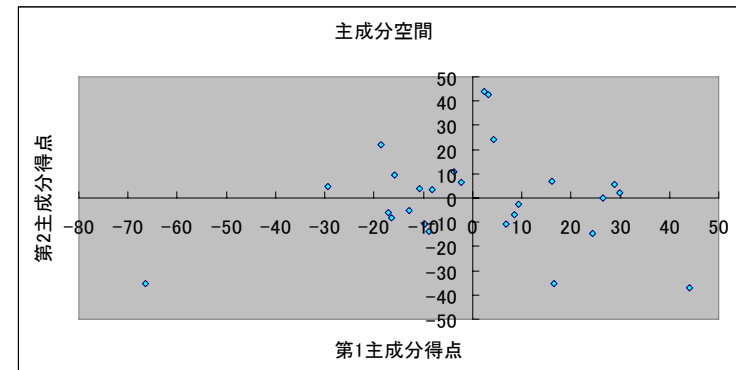


図1 サンプル動作から作られた主成分空間

### 3.4 主成分空間を構築しているサンプル動作以外の個人性の強調

主成分空間を構築しているサンプル動作以外の動作  $M_{open}$  も主成分空間で表現する。式(1)より、 $\theta_{open}$  を用いることでこの主成分得点  $\vec{\alpha}_{open}$  は

$$\vec{\alpha}_{open} = (\theta_{open} - \theta_0) * E^{-1} \quad (3)$$

として表せる。この時、動作  $M_{open}$  のもつ個人性を強調させる場合には、サンプル動作と同様に  $\vec{\alpha}_{open}$  を増大させることで表現する。

## 4. 個人性を強調した歩行動作の合成

### 4.1 個人性を強調した歩行動作の合成

個人性を強調した歩行動作を合成するには、前章で述べたように  $\vec{\alpha}$  を増大させることによって表現する。よって、歩行動作  $M$  における  $\theta$  の個人性を強調した歩行動作  $X$  は  $x$  として式(4)のように表す。

$$x = \theta_0 + (1+k)\vec{\alpha}E = \theta + k\vec{\alpha}E \quad (4)$$

$$k = \frac{m}{4} \quad m = -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4$$

本研究では、個人性を全くもたない歩行動作( $m=-4$ )から個人性を2倍に強調した歩行動作( $m=4$ )までを8段階に分けて合成した。

### 4.2 歩幅に合わせた時間伸縮

合成された歩行動作は、基準に使われたサンプル歩行動作と時間的に同期されている。本研究で使用しているサンプル歩行動作は全て速度が同じ2周期分の歩行動作である。一般的に速度一定の場合、歩幅  $l$  と2周期分にかかる時間  $T$  は図2より比例関係になると仮定しできる。そこで、使用したサンプル歩行動作の歩幅と2周期分にかかる時間を線形近似した式(5)を求める。  $k$  は傾き、  $a$  は切片とする。

$$T = kl + a \quad (5)$$

合成された歩行動作から歩幅を計測し、この線形近似した式(5)により、2周期分にかかる時間を求めることができる。これにより求められた時間に、合成された歩行動作を時間伸縮させて利用する。

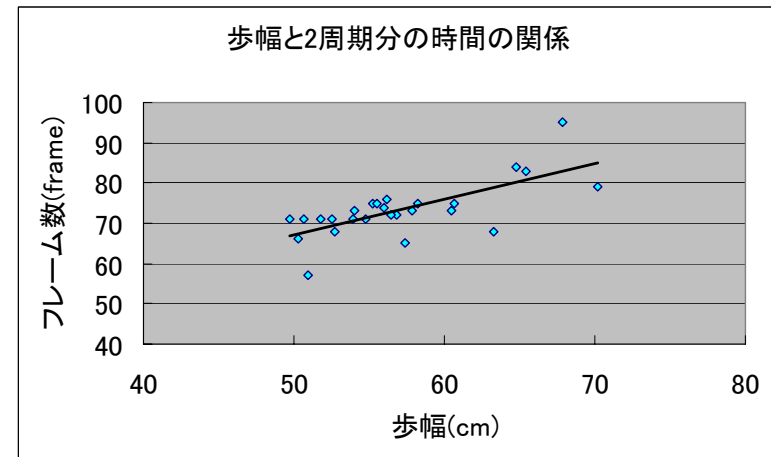


図2 サンプル歩行動作における歩幅と2周期分の時間の関係

### 4.3 合成結果

主成分空間を構築しているサンプル歩行動作が対象として、個人性を強調した歩行動作の同時刻における姿勢を図4に示す。また、主成分空間を構築しているサンプル歩行動作以外が対象のものを図5に示す。黄色のスケルトンモデルが対象のモーションキャプチャデータ、水色のものが本研究で合成された歩行動作である。

図4は対象の動作が一般的に女性らしい動作である、内股で手は外側に振る特徴がある。個人性が強調されていくと、その要素がより顕著に見られる。また、 $m=4$ の図からは、腕の前後の振りが大きくなっていることも見られる。図5の対象データは主成分空間にサンプル歩行動作が存在しないが、 $m=0$ の図から本研究に用いた主成分空間においても再現性の高さが見られる。この対象動作の特徴は腕を外に広げて、堂々としている印象を受ける。 $m=8$ の図において、その特徴が強調されて表現されていることがわかる。

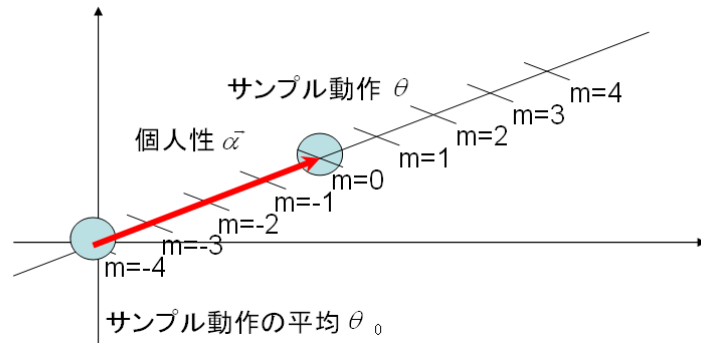


図 3 個人性の強調における概念図

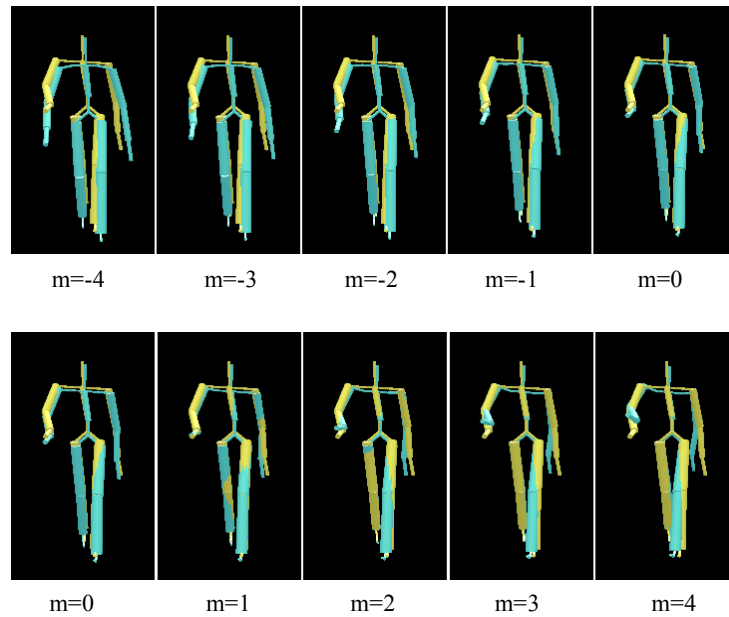


図 4 主成分空間を構築しているサンプル歩行動作における個人性の強調

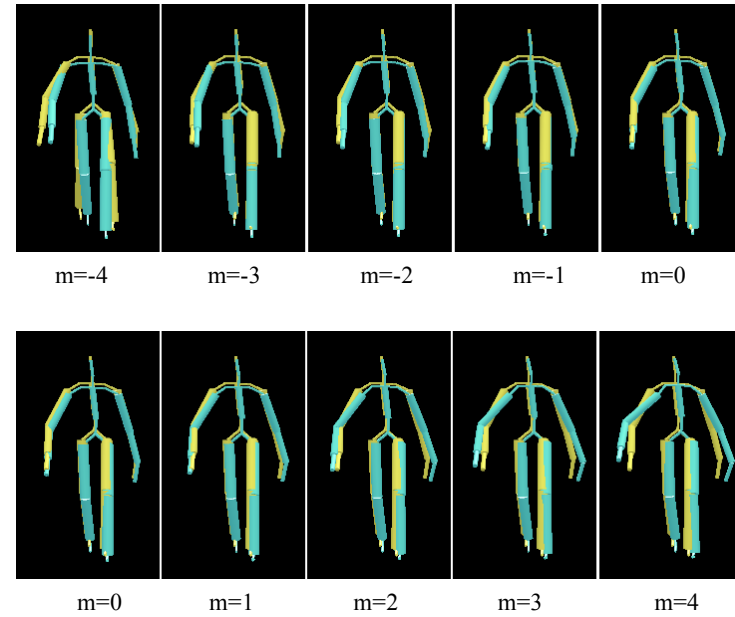


図 5 主成分空間を構築しているサンプル歩行動作以外の動作における個人性の強調

## 5. 知覚的類似度に基づく主観評価実験

前章で個人性を強調した歩行動作を合成した。ここでは、本当に個人性が強調されているかを知覚的類似度に基づく主観評価実験で評価する。また同時に、群集の中から特定の個人を認識する際にもっとも有効な強調度合い(式(4)における  $m$  の値)を推定する。

### 5.1 実験方法

まず、ディスプレイに対象の歩行動作をしたキャラクターが1体表示される。次に、そのキャラクターは消えて、対象の歩行動作の個人性を強調した歩行動作をしたキャラクター1体とランダムにサンプル歩行動作から選ばれた歩行動作をしたキャラクターが5体の計6体が図6のように表示される。被験者はこの複数のキャラクターの中から、初めて見た対象となる歩行動作のキャラクターと同一人物であると感じたキャラクターを選択する。図6においては、正解のキャラクターは②である。このとき、正解のキャラクターが選ばれるまでに要した時間をリアクションタイムとして計測する。この実験は対象となる歩行動作1体について、 $m=-4\sim+4$ までの9個の合成した歩行動作に関して行う。なお、対象となる動作は主成分空間を構築しているサンプル歩行動作から選択したものを使用した。被験者は20代男性5名で実験を行った。

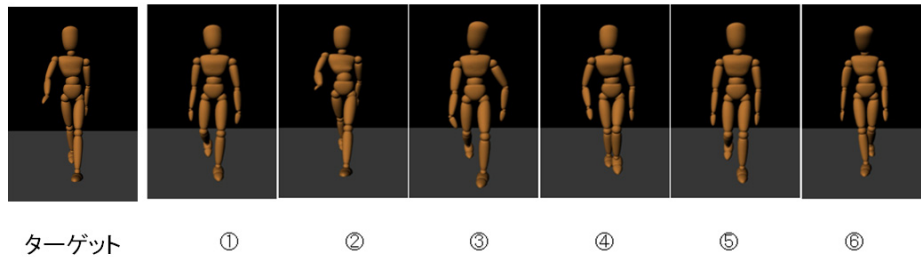


図6 評価実験イメージ図

### 5.2 実験結果

被験者5名のリアクションタイムの平均値と強調度合いの関係をプロットし、4次関数で曲線近似したものを図7に示す。また、この4次関数は $m=0.821898$ の時に極小値を取ることがわかった。図7より、モーションキャプチャデータをそのまま見せるよりも、少し個人性を強調した歩行動作が認知的にもっとも個人を特定しやすいことがわかる。また個人性を強調しすぎると、違う人物の歩行動作として認識してしまうことが考えられる。

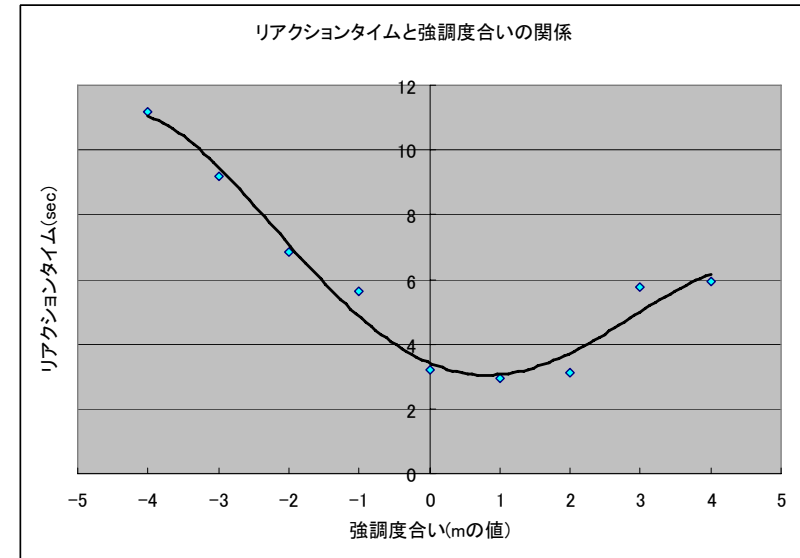


図7 リアクションタイムと強調度合いの関係

## 6. まとめ

本研究では、歩行動作における個人性とは、複数のサンプル歩行動作の平均的な歩行動作からの差異によって表現されるものと仮定し、その差異を増大させることによって個人性を強調した歩行動作を合成した。合成される歩行動作は、複数のサンプル歩行動作を主成分分析することで得られる空間において表現する。この主成分空間はサンプル歩行動作以外の動作も十分表現しうる空間であった。また、個人性を強調した歩行動作が、人間の認知的に有効かを、リアクションタイムを計測することで評価した。この結果、本手法で合成した歩行動作は確かに個人性を強調しているといえる。さらに、最も個人を特定しやすい歩行動作を実現するための最適な個人性の強調度合いを知ることができた。

## 7. 今後の展望

本研究ではモーションキャプチャデータを解析することで、その個人性を定量的に扱った。しかし、モーションキャプチャデータが取得できない人物の歩行動作からは、個人性を強調した歩行動作は合成できない。これを解決するためには、ビデオから得られる歩行動作の特徴を用いることなどを検討しなければならない。また、強調度合いを大きくしすぎた際、合成される歩行動作がフットスケートや腕が体の中を通過するなど、破綻する場合がある。よってより頑健でかつ表現能力の高い動作空間を構築する必要がある。

評価実験において、今回は対象とした歩行動作の数、被験者の数ともに少数であるため、今回得られた結果が一般的に有効であることを評価するためには、より多くの場合について実験を行う必要がある。また図 7 をみてわかるように、 $m=0$  から  $m=2$  のあたりが非常に個人の認識において重要であることが伺える。今後は、より最適な強調度合いを知るためには、強調度合いをさらに細かく調節し評価していく。

### 参考文献

- 1) Y. Makihara, R. Sagawa, Y. Mukaigawa, T. Echigo, and Y. Yagi. "Gait recognition using a view transformation model in frequency domain", In European Conference Computer Vision 2006, Vol.3, pp. 151-163, 2006
- 2) フュー チャーキャストシステム.  
<http://www.expo2005.or.jp/jp/C0/C3/C3.7/C3.7.8/index.html>.
- 3) Dive into the movie.  
<http://www.diveintothemovie.net/jp/>.
- 4) Armin Bruderlin, Lance Williams, "Motion Signal Processing", Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 97-104, 1995
- 5) S. I. Park, H. J. Shin, and S. Y. Shin, "On-line locomotion generation based on motion blending" In Proceedings of ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation 2002. ACM SIGGRAPH, pp. 105-112, 2002.
- 6) L. Kovar, M. Gleicher, "Flexible Automatic Motion Blending with Registration Curves", Eurographics/SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, pp. 214-224, 2003
- 7) T. Mukai, S. Kuriyama, "Geostatistical motion interpolation" In Proceedings of ACM SIGGRAPH2005, pp. 1062-1070, 2005
- 8) Mitsuhiro Kobayashi, Kunio Kondo, Hisashi sato, "Emphasized Expressions Using Motion Filter in Creating Animation", 8th International Conference on Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry, Proceedings of the 8th ICECGDG Conference Vol.2, pp.451-454, 1998
- 9) Troje, N. F., "Decomposing biological motion: A framework for analysis and synthesis of human gait patterns" Journal of Vision, 2:371-387, Full Text DOI 10.1167/2.5.2., 2002
- 10) Raquel Urtsan, Pascal Glardon, Ronan Boulic, Daniel Thalmann and Pascal Fua, "Style-Based Motion Synthesis", Volume 23, number 4, pp. 799-812, 2004
- 11) Glardon, P, Boulic, R, Thalmann, D, "PCA-based walking engine using motion capture data", Computer Graphics International 2004 Proceedings, pp. 292-298, 2004

- 12) R. McDonnell, M. Larkin, "Clone attack! Perception of crowd variety." ACM Transactions on Graphics 27(3), 1-8, 2008