

人体アニメーション合成技術の 製品設計分野への応用

川地 克明
デジタルヒューマン研究センター (産総研)

CEDEC 2008 (9月9日)

「デジタルヒューマン」

“Human : The Weakest Link” [T. Kanade 2002]

■ マン-マシンシステム

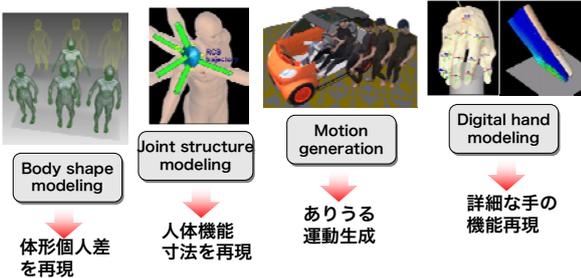
自動車 = 機械 + 人間
ゴルファー = クラブ + プレイヤー

システムの中で、
 ・もっとも重要
 ・もっとも複雑
 ・もっとも理解されていない要素
 それが人間。



デジタルマネキンモデルによる人間適合設計

- 人間の寸法と構造を計測・モデル化
- 使いやすい製品作りを支援



本発表の構成

1. 自動車会社との共同研究事例 - 乗車しやすさ
2. 飲料会社との共同研究事例 - ビールの泡と注ぎ動作
3. まとめ



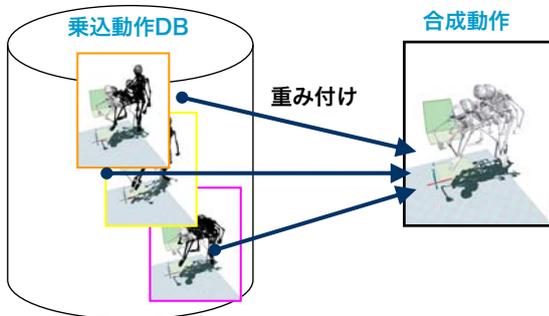
乗用車の乗り込み動作戦略分布の可視化と 代表動作の合成

目的：自動車への乗り込み動作を予測する

- セダン
- ワゴン
- スポーツ ...
- 簡単に乗れる
- きゅうくつ
- 不安定 ...

設計値と動作の対応づけ

- 新車案に対する乗込動作をDBから合成・予測したい
- モーションブレン드의重みは目標設計値から決定

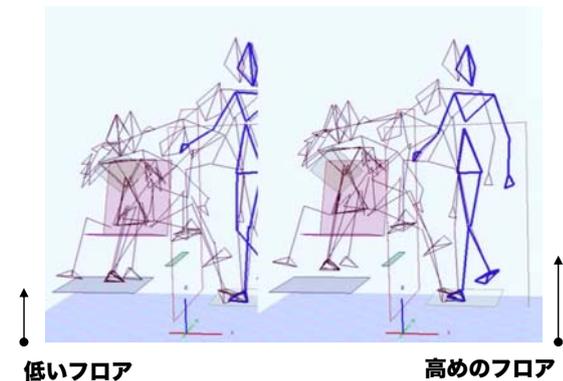


動作の計測

- 動作データベースを作る

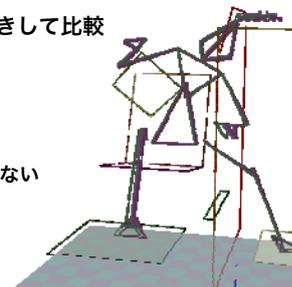
- 7設計変数
 - ・ 地上フロア高
 - ・ フロアルーフ高
 - ・ サイドシル高
 - ・ サイドシル張出幅
 - ・ ルーフ奥行
 - ・ ヒップポイント (H30)
 - ・ シート奥行
- 合成に用いる動作数は少ないほうがよい
 - ・ 動作計測の省力化

設計値 (フロア高) と乗込動作の変化

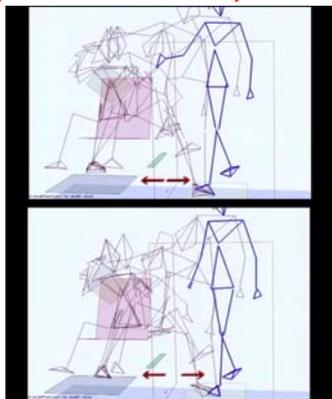


計測数と動作合成結果

- 7変数の場合、設計値の組み合わせ数が多すぎる
 - 被験者・実験者の負担を小さくしたい
 - 絶対にありえない組み合わせは測定しなくてよい
 - 合成に使用する動作を間引きして比較
 - 異なる密度の動作DB
 - ・ 82動作 (dense)
 - ・ 55動作 (intermediate)
 - ・ 27動作 (sparse)
- ⇒ 合成結果は大きく変化しない

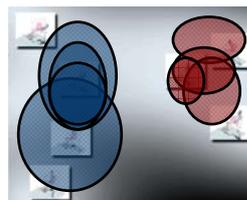


設計値 (サイドシル張出幅) と跨ぎ動作

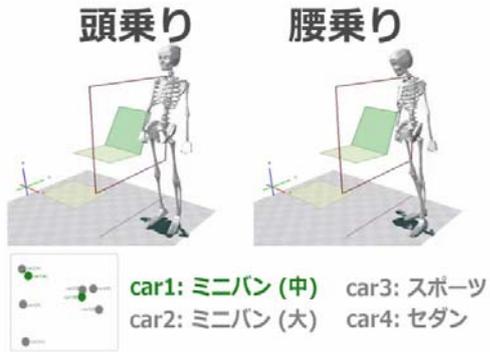


ありうる乗込動作の予測と提示

- 唯一の動作の生成では不十分



動作計測：4 車種 x 2 動作戦略



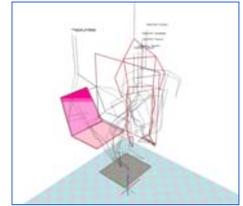
動作の類似度にもとづく分布図

乗り込み動作の所要時間が、動作ごとに異なる



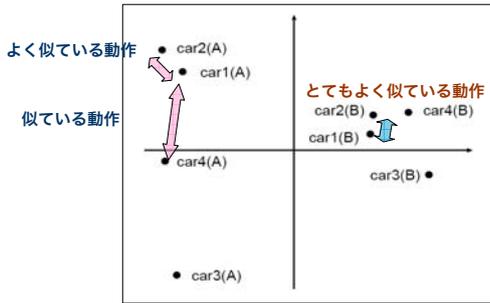
正規化された自由度を持つ
「動作特徴ベクトル」を定義して
動作を比較

- キーフレームを利用する
- 運動の特徴となる瞬間 = キーフレーム



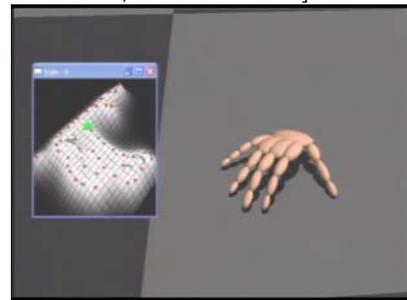
類似度による動作分布図の生成

GPLVM (Gaussian Process Latent Variable Model) を利用して
乗込動作データを相互の類似度によって平面に配置する



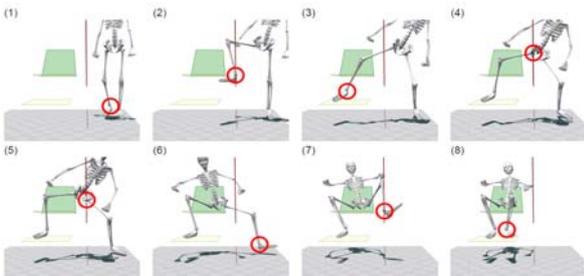
GPLVM の応用 (分布図に基づく姿勢の補間)

[SIGGRAPH2004, K. Grochow et al.]



⇒ 本研究では、動作全体の類似度に基づいて
GPLVM による分布図を生成し動作補間を行う

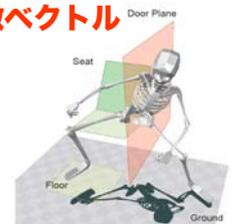
キーフレームの定義



- ・ ジョイントの位置に着目
ドア平面通過、かかと着地、爪先離陸
の各瞬間をキーフレームとして利用

動作特徴ベクトル = キーフレーム x 姿勢特徴ベクトル

- 姿勢特徴ベクトル (18次元)
 - 体幹の傾き・向き
 - 腰関節の伸展度
 - 首の伸展度
 - 両足の開き
 - 足先の方向
 - 膝関節の伸展度



- 各運動を 144 (=8x18) 次元のベクトルに正規化
- 正規化ベクトルの類似度による動作分布図生成
 - GPLVM の利用

代表動作の合成 - 動作分布図の利用 -

生成した動作分布図上のある1点に対応する乗り込み動作を合成

動作合成：重み付け

■ 分布図上の1点から動作を合成

分布図上の各計測済動作 i に対する重み s_i が得られる

$s_1=0.3$
 $s_2=0.1$
 $s_3=0.3$
 $s_4=0.05$
 ...

動作合成：キーフレーム姿勢の決定

動作合成：キーフレーム姿勢の決定

■ あるキーフレーム k の合成姿勢 $h(k)$

$$h(k) = h_m(k) + \sum s_i \Delta h_i(k)$$

平均姿勢 + 偏差の重みつき線形和

代表動作合成 (例)

■ 分布図上の1点に対応する乗込動作を合成

頭乗り代表動作

中間的動作

腰乗り代表動作

設計変数の合成と動作戦略の予測

設計変数 $s > 60$

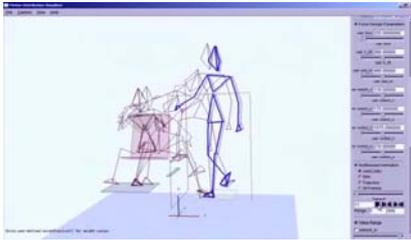
設計変数 $t < 20$

戦略A

戦略B

目標とする設計の範囲に2種類の動作戦略を予測できる

動作予測を設計現場へ



- 乗込動作・PKB動作・ペダル動作の予測に応用
- 自動車メーカー社内システムと連携して動作
 - 車体形状DBとのインターフェイスを整備

乗込動作合成 まとめ

- 動作の類似度に基づき、分布図として可視化
 - 動作戦略のクラスタリング (頭乗り・腰乗り)
- 分布図上での動作の閲覧・合成
 - 動作戦略を代表する動作の合成
 - 中間的動作の合成

動作類似度に基づく ビール注ぎ動作の泡質への影響の解析

目的: よい泡を作る

- ビール消費者のために
 - おいしそうなビールを提供
 - 注ぐという行為の付加価値向上
- ビール開発者のために
 - 再現可能な泡生成装置の開発
 - ・新商品開発時の基準泡
 - ・個人の評価スキルに依存した泡評価手法からの脱却

商品付加価値としての泡

「休日には少しせいたく
復活するかビール市場」
アサヒ.コム (2005年09月13日)

高級ビールの売上げが伸びている。メーカー各社は「ビール復活の原動力に」と期待している。

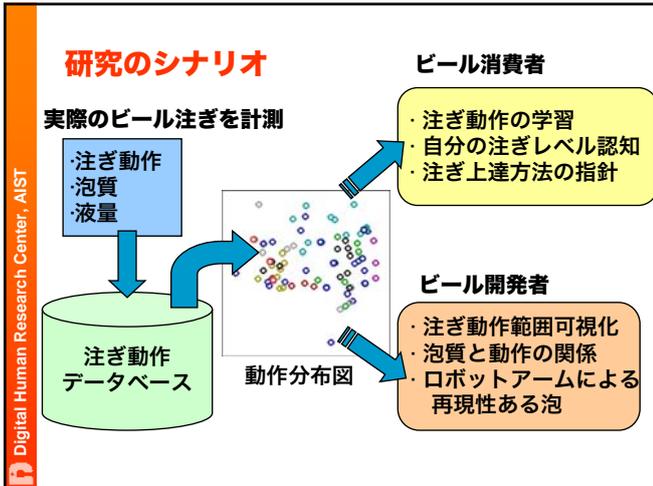
J R横浜駅近くの飲食店の従業員とアルバイト全員がアサヒビール主催のセミナーに参加してビールの注ぎ方を学んだ。

1カ月当たりの売上数は400～500杯から650～750杯に増えた。

泡と注ぎ動作の関係

- 泡質を決定する要因
 - 注ぎ動作
 - グラスの温度
 - グラス内壁の表面状態
 - 気温
 - 大気圧

本研究では、注ぎ動作と泡質の関係を解析の対象とした



手法: 注ぎ動作の分布図を作成する

- 泡質と注ぎ動作
 - 動作は泡質に関係ありそう
 - しかしモデル化は困難

→ 対応関係を動作分布図として提示する

- 動作と泡質との関係を可視化
 - 注ぎ動作を平面上に配置
 - 動作の類似性による分布図 (近くに配置 = 似た動作)

動作の合成と泡質の予測 – 分布図の利用

- 分布図上での任意の点で、
 - 注ぎ動作
 - 泡質
 を対応付ける

今一歩な泡

よい泡

注ぎ動作の分布図

計測

- グラス
 - 机上の一定位置 (左手側) に固定
 - よく洗浄し自然乾燥したもの
 - 常温
- ビール
 - 缶容器のビール (350ml)
 - 注ぎ開始前の液量を一定に管理
 - 注ぎ開始前の液温を一定に管理
- 注ぎ動作
 - 机上に置いた缶を右手で持ちあげる
 - 左手側に置かれたグラスに注ぐ

計測装置

- 2眼光学式モーションキャプチャ (60Hz)
- 缶の軌道を計測 (6自由度)

被験者

MoCapカメラ

缶初期位置

グラス (固定)

モーションキャプチャ反射マーカ用治具

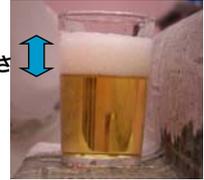
- 缶体に光学反射マーカを取り付ける (4個)
- 注ぎ動作の妨げにならないように取り付け治具を作成

注ぎ動作計測 (MoCap カメラの映像)



泡質の測定 (注ぎ動作後)

1. 液重量 (g)
2. 泡消失時間 (t)
泡面を上方から観察して、注ぎが終了した直後から液面の一部が見え始める瞬間までの時間
3. 泡部高さ (h)
泡面の側方からの見た目の泡高さ
4. 泡消失速度 (s)
 $s = h / t$
5. 泡比率 (r)
グラス全高に対する泡高さ。20%~30%がよいとされる

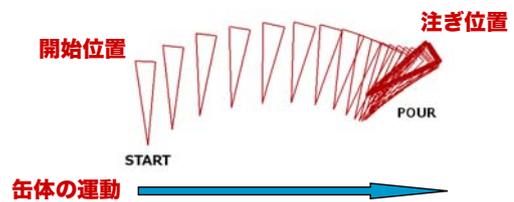


注ぎ動作の戦略

- 注ぎ動作の状態遷移
 1. 缶体持ち上げ~グラス上方まで移動
 2. グラス上方で缶体を傾斜させる (ビール注ぎ中)
 3. 缶体を原点復帰
- 缶体傾斜中の動作戦略は4パターンに分類できる
 - [a] 注ぎ口高さがほぼ一定
 - [b] 注ぎ口を次第に持ち上げる
 - [c] 注ぎ口を上下させる
 - [d] 注ぎ口を次第に下ろす
- 解析対象: 計測動作の85% (77動作) を占める[a]戦略
 - 持ち上げ~注ぎ終了の区間を解析

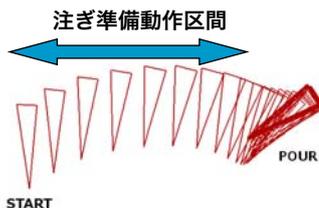
缶体運動の類似度の定義

- 注ぎ動作の持続時間は計測動作毎に異なる
- 全動作に共通のキーフレームを定義
 - キーフレーム数が共通
 - 運動特徴量の自由度を正規化 → 動作を比較可能に



キーフレームの定義 (1. 注ぎ準備動作)

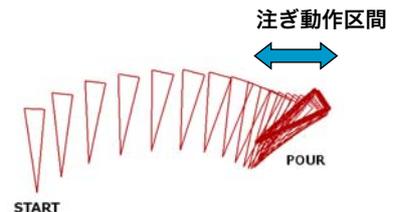
- 缶の傾き角 θ によってキーフレーム瞬間を決める
- $\theta = 0^\circ \sim 60^\circ$ の範囲で 10° 毎に 7 キーフレームを設定



- 各キーフレームでの特徴量 (4自由度 x 7キーフレーム)
 - 運動開始からキーフレームにいたるまでの所要時間 (1自由度)
 - 缶の鉛直軸向きを表す単位ベクトル (3自由度)

キーフレームの定義 (2. 注ぎ動作)

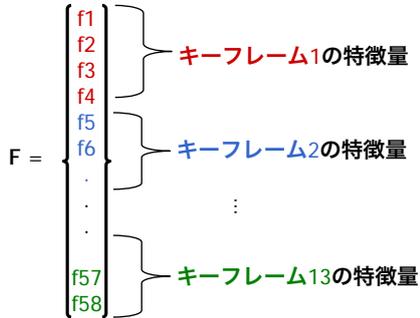
- 注ぎ開始から終了までの時間を5等分する
- 6キーフレームを設定



- 各キーフレームでの特徴量 (5目田度 x 6キーフレーム)
 - 注ぎ口の高さ (1自由度)
 - 運動開始からキーフレームにいたるまでの所要時間 (1自由度)
 - 缶の鉛直軸向きを表す単位ベクトル (3自由度)

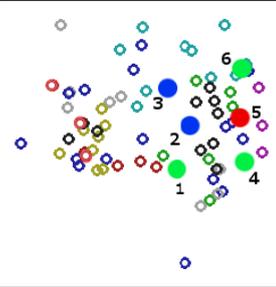
動作特徴ベクトル

- キーフレームでの特徴量を並べてある一つの注ぎ動作の特徴を一つのベクトル F によって代表させる



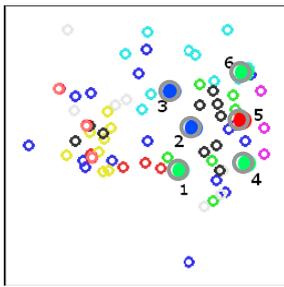
動作類似度に基づく分布図

GPLVM (Gaussian Process Latent Variable Model) を利用して缶体の運動を平面上に配置
 → 運動特徴ベクトルの類似度に基づく配置



- 分布図上の各点 が一つの注ぎ動作に対応
- 被験者数: 27人 (の色違い)
- 注ぎ回数: 77回

動作類似度分布図の解釈



泡高さ・泡持続時間が水平位置と対応する分布図が生成された

(より右の動作が良い泡を生成)

- 最良 ... 5
- 良 ... 1, 4, 6
- 劣 ... 2, 3

駄泡 ← → 良泡

動作の合成と泡質の予測

- 分布図上での任意の点で
 - 注ぎ動作
 - 対応する泡質の組を予測できる



予測 (分布図上の6点で動作と泡質を予測):

1.better 2.worse 3.worse 4.better 5.best 6.better



検証 (6自由度ロボットアームによる合成動作の再現):
 → 予測される泡の性質に沿った注ぎ結果が得られた

ヒューマノイドロボットによる良い泡再現



注ぎ動作と泡 まとめ

- ビール注ぎ動作を分布図として可視化
 - 泡の性質と動作の対応を提示
 - ・ モデル化が難しい現象の対応付け
 - 「MoCapはいくらでも撮れるが、データをどう見ればよいかわからない」という問題への対応
- 分布図による動作と泡質の予測
 - 泡質の傾向を再現