

## Digital Humans

システム創成入門 第15回

講義担当: 尾下 真樹

## 教員紹介

- 尾下 真樹 (おした まさき)
  - システム創成情報工学科 准教授
  - 担当講義
    - コンピュータグラフィックス、データベース、など
  - 研究内容
    - コンピュータアニメーション技術の研究
      - キャラクターの動き生成、インターフェース、物理シミュレーション

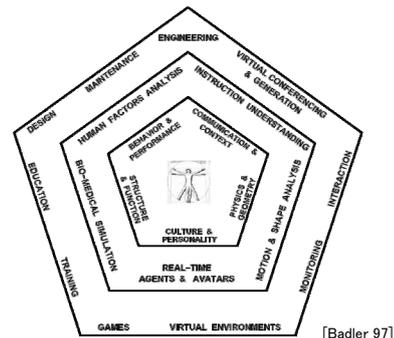


- 興味がある人は研究室のホームページを見てください。

## 本講義の内容

- Digital Humans / Virtual Humans
  - 日本語では、仮想人間
  - 人間のさまざまな側面を計算機上にモデル化することで、人間に関連する分野での応用に役立つための技術の総称
  - 人間の”代役”として働く
  - 現在の技術では人間の完全なモデル化はできないため、それぞれの応用ごとに、人間のある側面のみをモデル化する方法が研究されている

## 仮想人間の応用



## 人間のさまざまな側面

- Physical
  - 筋肉や骨格などの身体の正確なモデル化
  - 医学、製造、解析、などへの応用
- Appearance / Motion
  - 人間の外観や動きのモデル化
  - 映画、ゲーム、対話、ロボットなどへの応用
- Intelligence / Emotion
  - 人間の思考や感情のモデル化
  - エージェント、認識、人間支援などへの応用

## 人間の身体モデル化

## 人間の身体のモデル化

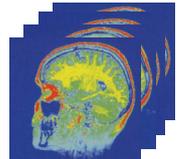
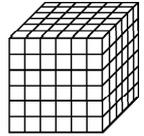
- なるべく正確な人間身体のモデルを構築
  - 骨格、筋肉、皮膚、内臓、血管、など
  - 人間の身体的な活動のシミュレーションを可能にする
  - 医療や運動解析などの用途に役立てる
  - あくまで身体モデルであり、自律的な運動などはできない
    - 思考や運動制御を司る「脳」まではシミュレーションできない



日経CG 2000年3月号 p120

## Visible Human Project

- Visible Human Project
  - 死体の断面写真、CT写真、MRI画像から詳細なボクセルデータを作成
    - 空間を細かいマス目に区切り、それぞれのマスごとに色や密度などのデータを記録
    - 人体の形状だけでなく、内部の様子も表現できる
  - 筋肉や臓器のシミュレーションが可能



## 医学への応用

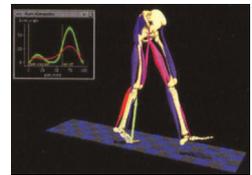
- 手術シミュレーション
  - Virtual Reality (仮想現実環境) を利用
    - 反力デバイスなどの利用



3次元触覚デバイス PHANTOM, SensAble

## 生体力学

- Biomechanics
  - 生体力学 (生体工学 + 機械工学)
  - 人間の運動の仕組みを明らかにしたり、運動を解析したりするような技術
  - 人間の関節の稼働範囲や筋力の情報など
    - 実際の人間から計測したデータを使用



筋骨シミュレーション SIMM

## 製造業などへの応用

- 仮想人間に仮想空間内で作業をさせてみる
  - 工業製品や工場のラインの使いやすさを評価
    - 無理な姿勢ではないか
    - 作業効率のシミュレーション
  - 従来は、実際に物を作ってみないと評価できなかったが、仮想人間を用いることで、設計段階で評価を行うことができる



日経CG 1999年10月号 p142

## 製造業などへの応用

- 端末の設計の例

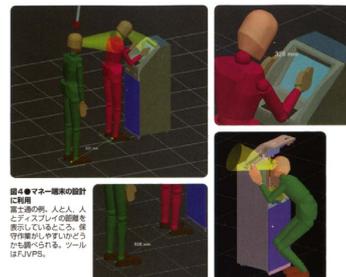
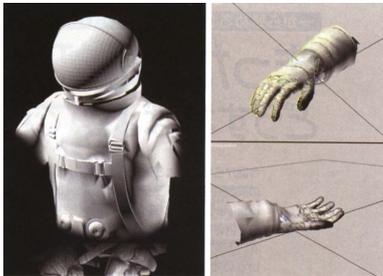


図4-4 マナー端末の設計に利用  
端末の設計、人と人、人とディスプレイの距離を測定しているところ。操作距離がしやすければ、ツールはより小さくできる。

日経CG 2000年1月号 p146

### 設計への応用

- NASAの宇宙服、宇宙船などの設計



日経CG 2000年3月号 p123

### 設計への応用

- 車の衝突シミュレーション
  - 実物のダミー人形を使った実験と比較して、仮想人間に自己防御などを行わせることができるので、より正確なシミュレーションができる



日経CG 2000年3月号 p123

### CADとの関連

- CAD(Computer Aided Design)
  - 工業製品などのデザインのツール
  - 仮想人間による評価機能を組み込み
- 知識ベースCAD
  - 設計ルール、設計時の制約、設計手順などを記述できるようなCAD
  - 設計者のノウハウなどを取り入れることができる
  - 仮想人間の機能を組み合わせることで、設計者が、仮想人間に関する制約などを設定できる
  - 解析ツールとの使い分け

### その他の応用

- スポーツの解析
  - スポーツの動きのデータを取り込んで解析
  - 上手な人のデータと比較することで、余分な力がかかっている箇所などを検知できる



ゴルフクラブの設計  
日経CG 2000年3月号 p120

### 今後の課題

- より正確なモデル化
- 個々の人間のモデル化
  - 現在は、一般的な人間のモデルを構築
  - 個々の人間をモデル化するための技術が必要
- 高度な運動制御の実現
  - 現在はあくまで身体のみモデル化
    - 与えられた動作を解析するだけ
    - 自律的に運動することはできない
  - 能動的な運動制御のモデルが必要

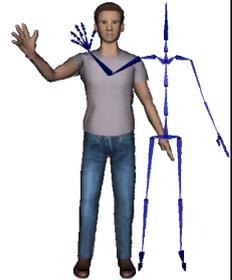
### 外観と動きのモデル化

### 外観と動きのモデル化

- 人間の外観と動きのモデル化
  - 仮想人間がいろいろな活動を行う「映像」を作り出す必要のある用途
    - 映画、コンピュータゲーム、コミュニケーションなど
  - 必ずしも人間の身体内部の正確なモデル化は必要ない
  - 人間の特徴を効率的に表現できるような、なるべく簡単なモデルを採用

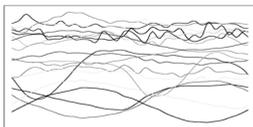
### 外観と動きのモデル化の方法

- ワンスキンモデル
  - 人間の形状と動きを分離
  - 人間の動きは骨格(スケルトン)モデルで表現
  - 人間の表面形状はポリゴンモデルで表現
  - 骨格の動きに合わせてポリゴンモデルを変形



### スケルトンモデルによる骨格表現

- 人間の骨格を多関節体としてモデル化
  - 40~200程度の自由度(関節)が必要
- 関節角度(姿勢)の時間変化により多関節体の動きを表現

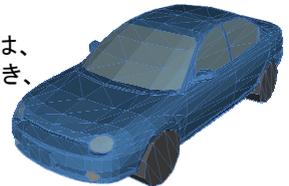


Popovic et al. © 1995



### ポリゴンモデルによる形状表現

- ポリゴンモデル
  - ポリゴン(多角形)の集合により表面形状を定義
  - 中身についての情報は持たない
  - テクスチャマッピングを適用することで、効率的に表面の模様を表現
  - 最近のゲームなどでは、一人の仮想人間につき、数千~1万枚程度のポリゴンが使われる



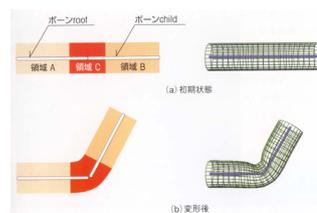
### 人体モデルの例

- ポリゴンモデルへのマッピングの例

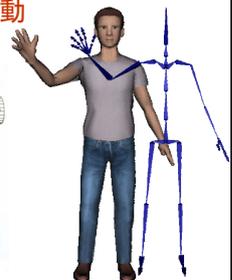


### ワンスキンモデルによる形状表現

- 骨格モデルの変形に応じてポリゴンモデルの頂点を移動

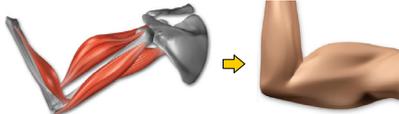


3DCGアニメーション 図4.16



### 筋肉を含む人体モデル

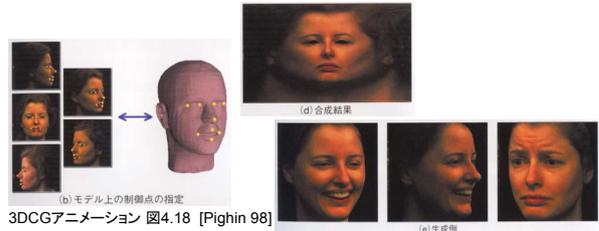
- 人間の実際の皮膚は、複雑な変形を行う
  - 例えば、関節を曲げると、筋肉がふくらむなど
- 筋肉のモデルも考慮したモデル
  - 骨格の動きに応じて筋肉を伸縮
  - 筋肉の動きに応じて皮膚を変形
  - ※ ワンスキンモデルよりもリアルな変形を実現できる



[Softimage XSI]

### 顔のモデリングと表情の表現

- 顔のモデリング
  - 顔の表情は人間の感情を伝える上で非常に重要
  - 顔のモデリング技術、筋肉を考慮した変形手法



3DCGアニメーション 図4.18 [Pighin 98]

### リップシンク

- セリフに合わせて唇の動きを生成する技術
  - あらかじめ、各音素ごとの口の形のデータを用意しておく
  - セリフを音素に分解し、各音素に応じて口の形を変形してゆく



3DCGアニメーション 図4.20

### 仮想人間の映画への応用

- 本物の人間と区別のつかないような仮想人間の映像を生成することはまだ困難
  - 特に肌の質感の再現、表情、動きの表現などが難しい
- 実物の俳優では実現できない用途に仮想人間を利用
  - 非人間やスタントなど
  - 実写とCGを合成
  - 最近では、仮想人間の俳優だけで作られた映画も登場



Star Wars I © Lucas Film



Final Fantasy, 2001, © SQUARE

### コンピュータゲーム

- 仮想人間をリアルタイムに操作
  - 現在ではまだ、仮想人間の動きが限定されていたり、不自然なところが多い



Enter the Matrix © 2003 Infograms.



DEAD OR ALIVE 3 © 2002 TECMO, LTD.

### コミュニケーション

- ネットゲーム、仮想空間でのチャットなど
- アバター (Avatar)
  - 仮想空間における利用者の「分身」
  - アバタを通じて自分を表現できる



Final Fantasy Online, 2002, © SQUARE

## 教育やトレーニング

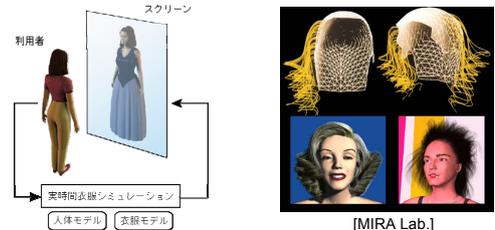
- アメリカ陸軍の訓練用シミュレータの例



© Boston Dynamics

## 仮想装飾

- 服装や髪型のシミュレーション
  - 自分のクローンに衣服を着せたり、髪型を変えたりして、ファッションを試すことができる



## 仮想試着システム



## ヴァーチャル・アイドル

- アイドルとしての仮想人間
  - 特定の名前が付けられた仮想人間のキャラクター
  - 雑誌、写真集、TV番組、TVCMなどで登場
  - 実際のタレントと同様にTV会社などと契約(?)するケースもあるらしい



テライユキ, 1999-. © くつぎけんいち

## 仮想人間の動きを扱う技術

- 動作データの生成方法
  - キーフレームアニメーション
  - モーションキャプチャ
- 動作データの変形手法
- 運動学と動力学

## 動きのデータの作成方法

- 動きのデータの主な作成方法
  - キーフレームアニメーション
  - モーションキャプチャ
  - (動力学シミュレーションによる方法)
    - 3番目の方法はちょっと特殊なので後で述べる

## キーフレームアニメーション

- キーフレームアニメーション
  - 動きの特徴となるキーフレームを指定
  - キーフレームの関節角度を補間して動作データを生成
  - キーフレームは、アニメータが手作業で編集
    - かなりの時間・労力がかかる



## モーションキャプチャ

- モーションキャプチャ
  - 人間の体にセンサをつけて、人間の動きを動作データとしてそのまま取り込む技術
- モーションキャプチャ機器の方式
  - 光学式
  - 磁気式
  - 機械式
  - 赤外線自発式



## 動きのデータの作成方法の比較

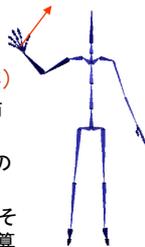
- モーションキャプチャ
  - 人間の動きがそのまま取り込めるので、一見手軽そう
  - 実際には、ノイズや、俳優とキャラクターの骨格の違いなどのため、かなり編集が必要になる
  - キーフレームがないので編集がしづらい
- キーフレームアニメーション
  - ゼロから作らないといけないので大変
  - キーフレームが設定されているので、修正はしやすい
  - 人間らしい細部の動きや自然さを実現するのは難しい
- 両者の使い分けや組み合わせが必要

## 動作データの変形処理

- 動作データを編集したり、一度作成された動作データをもとに新しい動作を実現したりするための技術
  - インバース・キネマティクス
  - モーション・インターポレーション
    - 複数の動作を混ぜ合わせて新しい動作を生成
  - モーション・ブレンディング
    - 2つの動作の間をうまくつなげて連続的な動作にする
  - モーション・リターゲッティング
    - 異なる骨格間同士で動作データを変換

## キネマティクス(運動学)

- フォワード・キネマティクス(順運動学)
  - 多関節体の関節角度が決まれば、各部位の位置・向きが求まる
  - 多関節体の表現の基礎になる考え方
- インバース・キネマティクス(逆運動学)
  - 各部位の位置・向きから、多関節体の関節角度を計算する技術
  - 動きを指定する時、関節角度よりも、手先の位置・向きなどを使った方がやりやすい
  - 手先などの移動・回転量が与えられた時、それを実現するための関節角度の変化を計算

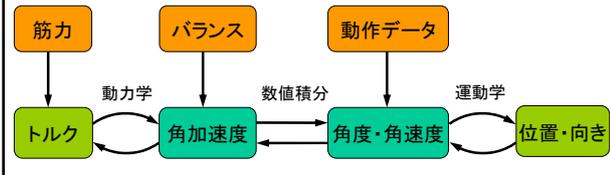


## 動力学を考慮したアニメーション

- 運動学(キネマティクス)
  - 多関節体の機構を扱うための手法(関節角度と各部位の位置・向きの関係を扱う)
  - 現在は、こちらが主に使われている
  - 力学的に正しい動きが生成されることは保障されない
- 動力学(ダイナミクス)
  - 運動学に加えて、力学的な影響を考慮する手法

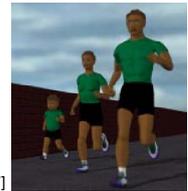
## 動力学を考慮したアニメーション

- 主に2種類の方法がある
  - 動力学シミュレーションによるアプローチ
  - 動作最適化によるアプローチ
- 多関節体の動力学



## 動力学シミュレーション

- 動力学シミュレーション
  - 本物のロボットと同様に、制御理論に基づいて関節のトルクを制御するコントローラを構築
  - 動力学シミュレーションを行って動きを生成
    - まだ人間らしい動きを生成するのは困難
    - 結果をうまく制御することが難しい



[Hodgins 97]

## 動作最適化

- 動作最適化
  - 関節トルクやバランスの不自然さを評価する関数  $f(\text{姿勢})$  を設計
  - $f(\text{姿勢})$  が動作全体に渡ってなるべく小さくなるように動作データを少しずつ修正する
    - 計算に非常に時間がかかる
    - 人間のような多関節体には、自由度が高すぎてそのまま適用するのは困難



[Popovic 98]

## ロボットと仮想人間の比較

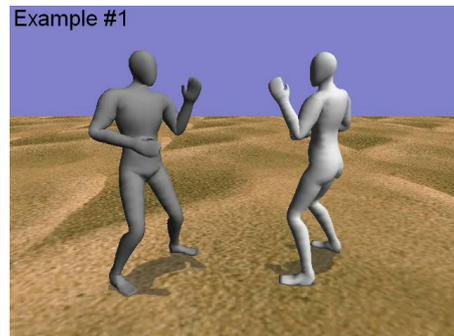
- 力学的に自然な仮想人間の動作を生成しようとすると、実物のロボットを制御するのと同様の制御システムが必要になる
  - 現在の技術ではまだまだ困難
- ロボットの制御システムとの違い
  - 駆動の仕組みが異なる(人間は筋肉で駆動)
  - ロボットでは、必ずしも人間らしい制御よりも、安定した制御を目指している
  - 仮想人間の場合は、人間の制御の仕組みをモデル化してやる必要がある

## 仮想人間のリアルタイム動作

- 現在の主なアプローチ
  - アプリケーションで必要となる動作データをあらかじめアニメータが作成して用意しておく
  - ユーザの入力に応じて、適切な動作データを連続的に再生
- 問題点
  - 決まった動作の繰り返し
  - 力学的な影響が加えられた時、自然な動作を生成できない



## リアルタイム動作制御



## 今後の課題

- 3次元画像としてのクオリティ
  - 肌の質感、表情の表現、光の効果、など
  - すでに実写に近いレベルに近づきつつある
- 仮想人間の動きの生成
  - 現在は、アニメーターが作成した動きを単純に繰り返すことしかできない
  - 自律的な動作の実現
    - 力学的に自然な動作のための制御アルゴリズム
    - 思考や感情の実現

## 知性や感情のモデル化

## 知性や感情のモデル化

- 人間の知性や感情をモデル化
- まだほとんど解決されていない分野
- ごく限定した用途については、かなり実用的になっている技術もある

## 人工知能

- 人工知能の歴史
  - 人工知能の研究自体は、60年代ごろから行われている
  - 単純な推論モデルだけではうまくいかないことが判明
    - 「AならばB」というような知識を大量に用意して推論
  - 80年代にニューラルネットが登場して期待を集めるが、やはりなかなかうまくいかなかった
    - 脳の仕組みをモデル化したもの
- まだ人工知能と呼べるものは存在しない

## 脳のモデル

- ニューラルネット
  - シナプスの連結によるモデル
  - 一定以上の刺激をうけるとシナプスが発火して刺激を伝達
  - シナプスのネットワークにより知識・思考を実現
  - 脳のモデル(ハードウェア)としてはほぼ正しい
    - ソフトウェアに対応する人間の脳の内容を実現できていない
    - 処理量の問題

## 状態マシンによる行動モデル

- 状態マシンによって仮想人間の行動をプログラミングする方法
  - 単純な人間の行動であれば、比較的効率的にモデル化できる
  - 定められたルールに従って行動するだけで、人間らしい思考を行っているわけではない
  - 簡単な感情についても同様にモデル化できる



MASSIVE used in "Load of the Ring"

## エージェント

- エージェント
  - 仮想空間において、コンピュータによって自動的に操られる仮想人間
  - 人間が直接操るアバターと、会話などのインタラクションを行う
  - 現在では、簡単な行動はともかく、会話をエージェントに行わせるのは難しい



Final Fantasy Online, 2002, © SQUARE

## 群集モデル

- 映画の戦闘シーンなど、大量の仮想人間の動きをシミュレートする技術
  - 個々のキャラクターの動きを制作するのは不可能
  - 一定のルールに従って、キャラクターを自律動作
  - キャラクター同士の相互作用によって、それらしい群集の動きが生成される



Lords of the Rings, 2002



Chronicles of NARNIA, 2005



NINETY-NINE NIGHTS, 2005

## 行動認識・理解

- 人間が「何をしようとしているのか」を推定して、人間を助けるような処理を行う技術
  - 人間の動きなどをカメラを通じて観察
  - 人間の行動に関するモデルが必要
- 電子秘書・受付・ヒューマノイドロボットなどに必要な技術



ASIMO © Honda 2002

## 今後の課題

- 行動ルールに従った動作
  - 応用によっては効果的
  - 簡単にルールをプログラムできるような環境
- より高度な思考のモデル
  - 脳の実現は困難？

## まとめ

- Digital Humans / Virtual Humans
- 関連技術の紹介
  - 身体モデル
  - 外観と動きのモデル
  - 思考や感情のモデル
- 人間の運動制御に関する技術が必要になる
- 人間の思考・感情(脳)のモデル化

## 1年生へのアドバイス(1)

- 自分のやりたい分野を早く見つける
  - 本当に自分のやりたいことを勉強するには、講義だけでは不十分
- 教員を有効に利用する
  - 講義以外に、自分が興味のあることや、勉強方法など、何でも質問に行っても良い
- 他人と違うことをやる
  - みんなと同じ、では、差別化できない
  - 大学の勉強 +  $\alpha$  が必要
  - 就職活動のときに、何をアピールできるか？

## 1年生へのアドバイス(2)

- **プログラミングなどの技術を身につける**
  - 実際に物を作る技術は重要
  - 大学の演習だけでは、なかなか身に付かない
  - より深い内容は、自分で勉強する
- **単位をきちんと取得すること**
  - きちんと試験勉強をしなければ、単位を落とす(留年になる)
  - 最低限、毎日大学にきちんと来て、卒業をすること(留年・退学するようなことがないようにする)

## レポート課題

- **レポート課題**(それぞれ200~300字程度)
  - 今回の講義の感想
  - 現在自分が最も興味のあるもの(これから自分が最も学びたいと思っているもの)を挙げて、何故それに興味があるかという理由と、具体的にどのようなことを学びたいか、また、講義を受講する以外でどのような勉強方法を考えているかを書きなさい。
- **締め切り: 7/27(金) 20:00 まで(厳守)**
- **Moodleより提出(提出方法は今日中に指示)**