

Simulation dynamique et contraintes

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Plan

Avantages et problèmes

Newton-Euler

Étude de cas : humain

- modélisation
- répartition des masses

Dynamique directe et inverse

Exemples

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Dynamique

Utilise

- Forces
- Moments des forces
- Contraintes
- Masse des objets



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Pourquoi la dynamique ?

Les systèmes cinématique sont intuitifs, mais

Manquent d'intégrité dynamique

Ne correspondent pas aux lois physiques :
gravité ou inertie

Prise en compte des forces et des moments de forces

⇒ Accélérations **linéaires** et **angulaires**

Mouvement obtenu par équation de la dynamique

Forces, moment des forces, contraintes et masses des objets

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Exemple : Université de Vienne

Exemple d'interaction directe avec un système



Francis Faure, *Interactive solid animation using linearized displacement constraints*, 9th Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation, Lisbon, September 1997.

Francis Faure, *Fast iterative refinement of articulated solid dynamics*, to appear in IEEE TVCG, 1999.

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Les créatures virtuelles de Karl Sims

Résultat d'un projet de recherche sur les évolutions darwiniennes

Création (automatique) d'une population > 100ène de créatures

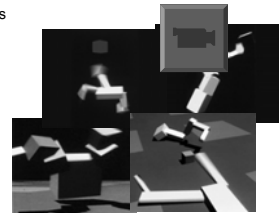
Chaque créature est examinée / à ses capacités (nager, marcher ...)

Mixage des « meilleurs » créatures

...

La vidéo présente :

1. Swimming speed (water environment)
2. Walking speed (land environment)
3. Jumping height (land environment)
4. Following ability (water environment)



Karl Sims

Karl Sims studied computer graphics at the MIT Media Lab, and Life Sciences as an undergraduate at MIT. He currently leads GenARTS, Inc. in Cambridge, Massachusetts, which creates special effects software for the motion picture industry.

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Dynamique de corps articulés

Squelette articulés

Subissant forces et moments de forces à ses membre

Différents type de force et moment

Σ moments de forces des liens hiérarchiques

parents & enfants

Σ forces aux pivots

Σ effets externes

p.e. contacts avec des objets ou effets de bras de levier

Contrôle de l'animation

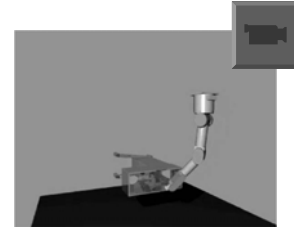
Forces et moments de forces = causes du mouvement

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

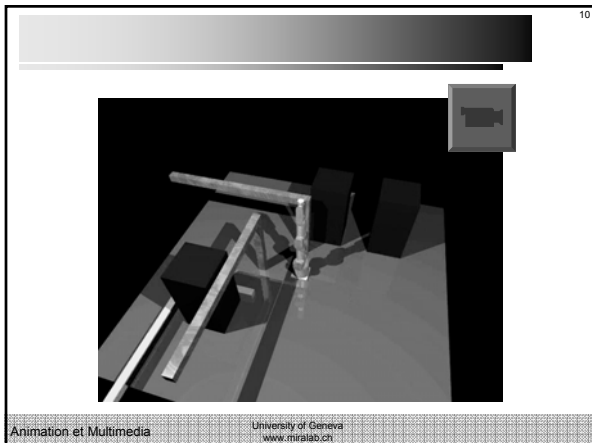
Applications en robotique

Bras manipulateur



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Avantages d'utiliser la dynamique ...

Libère l'animateur de la description des mouvements dus aux lois physiques
p.e. gravité

L'animation des phénomènes est plus réaliste du moins du point de vue physique

Les corps peuvent réagir automatiquement à des contraintes internes et externes, telle que
des champs
des collisions
des forces ou des mouvements

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

... et les problèmes ?

Généralement + difficile à utiliser pour un animateur

paramètres des forces et moments difficiles à ajuster
non intuitif

Temps de calcul élevé

résoudre les équations du mouvement d'un corps articulé

utilisation des méthodes numériques

Mouvement trop réguliers

ne tiennent pas compte de la personnalité des personnages

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Méthodes basées sur des ajustements de paramètres

Les + « populaires » en animation

basée sur la dynamique

méthodes sans contraintes

Méthodes basées sur des contraintes

⇒ animateur spécifie seulement les contraintes

⇒ contrainte = propriété du modèle

⇒ le système en déduit les paramètres

les contraintes cinématiques,
les contraintes dynamiques,
les contraintes énergétiques,
les contraintes espace-temps

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Mouvement d'un personnage

Gouverné par forces et moments

appliqués aux membres

moments provenant des liens entre les parents et enfants

⇒ correspond à la propagation du mouvement

forces internes

effets externes comme les contacts avec les objets

Forces et moments induisent des accélérations
linéaires et angulaires

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

La formulation de Newton-Euler

La formulation de Newton-Euler est basée sur les lois gouvernant la dynamique des corps rigides. La procédure est la suivante:

Pour chaque segment

écrire les équations définissant vitesses et accélérations angulaires et linéaires

écrire les équations décrivant forces et moments de forces exercés sur les segments

Eq. Newton : force liée au mouvement linéaire

Eq. Euler : force liée au mouvement angulaire

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Équation de Newton

Mouvement linéaire

$$\mathbf{F} = m \mathbf{a}$$

F: vecteur force totale agissant sur corps de masse **m**

m : masse du segment

a : accélération linéaire

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Équation d'Euler

Rotation

$$\mathbf{N} = \mathbf{J} \boldsymbol{\alpha} + \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{J} \boldsymbol{\omega})$$

N : vecteur moment de force total agissant sur le segment

J : matrice d'inertie autour du centre de masse

α : accélération angulaire

ω : vitesse angulaire

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Formulation de Lagrange

Équation du mouvement pour robots
dérivés à partir de l'équation de Lagrange

$$M(\mathbf{q}) \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}(\mathbf{q}) = \mathbf{0}$$

Énergies cinétique et potentielle exprimées en termes de matrices et de leurs dérivées
équation de Lagrange est facilement appliquée
donne les forces généralisées

Équation très coûteuse en temps de calcul
 $O(n^4)$ du nombre de liens dans le corps articulé !!!!

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Solutions

Hollerbach a proposé méthode récursive
réduit significativement le nombre d'équation
Armstrong et al. ont conçu un système
basé sur la dynamique
pratiquement en temps réel

Pour réduire le temps de calcul
hypothèses simplificatrices
→ structure des figures simplifiée

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Étude de cas

Humain

- Utilise les muscles pour convertir l'énergie emmagasinée
- Forces et moments de force varient au cours du temps
- Agissent sur le squelette et les articulations
- Pas un objet passif comme une simple chaîne articulée
- N'est pas commandée que par la forces et des moments externes

Problème

- Comment trouver les forces et moments variant au cours du temps avant d'utiliser la dynamique directe ?

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

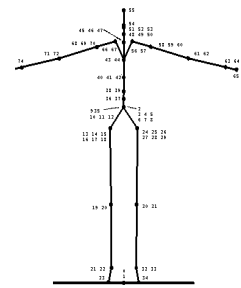
Modélisation pour la dynamique

Squelette humain

Environ 206 os au total

Une modélisation

- Squelette articulé simplifié
- Segments rigides
- Connectées par 1 à 3 DDL aux joints
- Contient 49 articulations / 88 DDL
- Seulement 4 segments pour la colonne vertébrale
- Néglige les vertèbres
- Totalement au niveau du thorax
- Partiellement au niveau de l'abdomen



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Modélisation du volume de l'humain

Masse de chaque volume

- ⇒ obtenue par des études biomécaniques

Approximation des membres par 15 primitives

Cylindres, sphères, ellipsoïdes et cônes tronqués

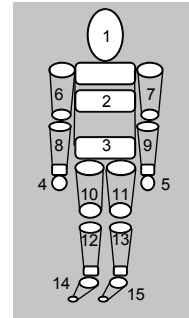
- Calcul des propriétés géométriques et physiques simplifié par cette approximation

Considérées comme rigides pour la dynamique

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Répartition des masses



Nom	Type	Masse (Segment / Total)
tête et cou	ellipsoïde	0.081
up_torso	cylindre	0.216
down_torso	cylindre	0.281
r_hand	sphère	0.006
l_hand	sphère	0.006
r_upper_arm	cône	0.028
l_upper_arm	cône	0.028
r_forearm	cône	0.016
l_forearm	cône	0.016
r_thigh	cône	0.100
l_thigh	cône	0.100
r_leg	cône	0.0465
l_leg	cône	0.0465
r_foot	cône	0.0145
l_foot	cône	0.0145

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

= 1

Primitives volumiques

- Liées par les articulations de la structure hiérarchique

- Leurs positions & orientations décrivent le mouvement

- En un système de coordonnées associé

- origine = point charnière avec le segment parent
- qui se déplace avec le segment

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Avantages de cette modélisation

Propriétés géométriques et physiques

- locales au segment
- ne changent pas à cause de la rigidité du solide

Formules exprimées

- dans le système de coordonnées du segment
- simplifient les calculs

Connexion avec un seul système de coordonnées

- simplicité de mise à jour de la structure

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Inconvénients

Très difficile de représenter

des nombres différents de DDL à chaque joint
correspondance avec l'anatomie réelle du modèle !?

des intervalles de valeurs pour chaque DDL
limites articulaires des articulations !?

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

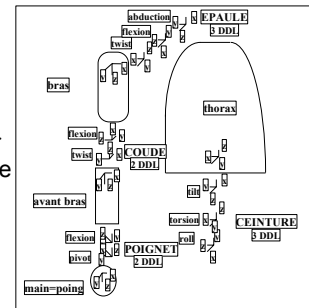
Exemple de modélisation

Du thorax au bras droit

1 à 3 systèmes de coordonnées / DDL

Segment tourne autour de l'axe Z du système de coordonnées

Cela augmente la complexité de mise à jour de la structure



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Problème majeur en contrôle du mouvement

Obtenir la valeur du moment de force

Produit par l'activité musculaire sur l'articulation
Pour effectuer le mouvement désiré
Variable au cours du temps

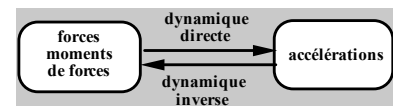
Formulation de la dynamique inverse

Basée sur l'équation de Newton-Euler
Pour obtenir les valeurs de force et de moment
En fonction du temps
Pour paramétrer la simulation en dynamique directe

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Dynamique directe et inverse



Dynamique directe

Trouver les trajectoires de points (*une extrémité d'un membre*)
Connaissant forces et moments qui causent le mouvement

Dynamique inverse

Déterminer les forces et les moments de forces
Nécessaires pour produire un mouvement prédéterminé

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Simulation en dynamique directe

Algorithme d'Armstrong-Green

Algorithme le plus utilisé
Basé sur les formulations de Newton-Euler

2 hypothèses de simplification

- On assume une relation linéaire entre l'accélération linéaire du segment et la valeur d'accélération angulaire induite
- On assume une relation linéaire entre l'accélération linéaire et la réaction sur le segment parent

permet d'éviter inversion de matrices de dimensions > 3

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Algorithme d'Armstrong-Green

Divisé en 2 sous processus opposés

Ascendant et descendant

Processus ascendant

Calcule des matrices et vecteurs à partir de la structure géométrique et physique du système
Propage la force et le moment le long de chaque segment à partir des feuilles jusqu'à la racine de la hiérarchie

Processus descendant

Quantités cinématiques, accélérations linéaire et angulaire de chaque segment
Vitesses linéaire et angulaire par intégration numérique afin de mettre à jour la structure entière

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Dynamique inverse

Formulation réursive

Basée sur les équations de Newton-Euler
Pour tirer parti de leur efficacité de calcul

Avantage

Temps de calculs croît linéairement avec le nombre de joints $O(n)$

Construction des formulations pour le modèle humain

Même approche qu'en robotique
Série d'équations pour chaque segment
Utilisant les forces et moments contraints
Pour garantir la bonne connexion des segments

2 processus opposés

Récursion vers l'avant

On part du système de coordonnées inertiel
vers le système de coordonnées de
l'extrémité pour propager l'information
cinématique

Récursion vers l'arrière

Propage les forces et les moments de force
exercés sur chaque segment dans la direction
opposée

Contrôle avec dynamique inverse

L'utilisation de la dynamique inverse en étroite
relation avec la dynamique directe est un moyen
clé d'obtenir le résultat souhaité !

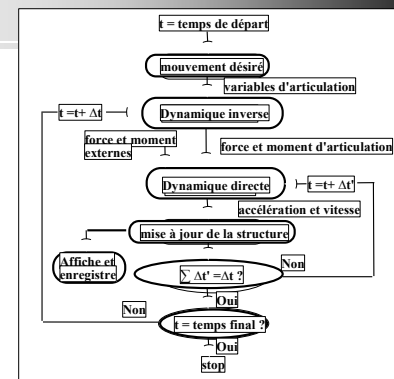
Mouvement désiré

représenté par les variables d'articulation

Δt : pas de temps pour la dynamique inverse

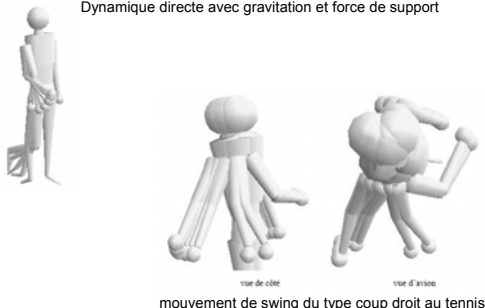
$\Delta t'$: pas de temps pour la dynamique directe

$$\Delta t' = \Delta t / 10$$



Exemple

Dynamique directe avec gravitation et force de support



mouvement de swing du type coup droit au tennis

Vidéo (Georgia Tech)

