

Rappel:

- Déformation faciale
 - Déformation du skin
 - Modélisation anatomique
- Animation faciale
 - Systèmes de paramétrisation
 - Processus (modélisation, structure, animation et utilisation)

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Introduction aux corps articulés et aux acteurs de synthèse

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Animation de corps articulés

Personnages, humains, animaux, robots
.... caractérisés par une structure hiérarchique
⇒ **le squelette**

Squelette = ensemble de segments connectés, correspondant aux membres et articulations

Articulation = intersection de deux segments


→ point du squelette où un membre attaché à ce point peut bouger

Angle entre 2 segments = angle d'articulation

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Types d'angles anatomique

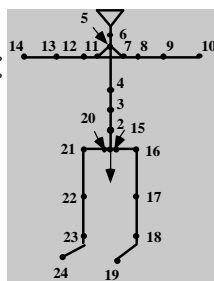
- Une rotation peut se décomposer en 3 angles dits **degrés de liberté** (DDL)
décomposition en séquence d'angles d'Euler 
→ Ordre significatif : 2ème et 3ème angle dépendant des précédents
Flexion, Pivot, Twist
- Dénominations biomécaniques
 - **Flexion** rotation d'un membre dans le frontal
 - **Abduction** rotation dans le plan sagittal (coupe verticale)
 - **Torsion** rotation selon l'axe d'un membre distal

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Exemple de squelette

- | | | | |
|----------------|----------|---------------|----------|
| ▪ Nom | # Angles | ▪ Nom | # Angles |
| ▪ VERTEBRE 1 | 2 FTP | ▪ POIGNET G. | 10 FP |
| ▪ VERTEBRE 2 | 3 FTP | ▪ POIGNET D. | 14 FP |
| ▪ VERTEBRE 3 | 4 FTP | ▪ HANCHE G. | 15 F |
| ▪ VERTEBRE 4 | 5 FTP | ▪ HANCHE D. | 20 F |
| ▪ VERTEBRE 5 | 6 FTP | ▪ CUISSE G. | 16 FTP |
| ▪ CLAVICULE G. | 7 FP | ▪ CUISSE D. | 21 FTP |
| ▪ CLAVICULE D. | 11 FP | ▪ GENOU G. | 17 F |
| ▪ EPAULE G. | 8 FTP | ▪ GENOU D. | 22 F |
| ▪ EPAULE D. | 12 FTP | ▪ CHEVILLE G. | 18 F |
| ▪ COUDE G. | 9 FT | ▪ CHEVILLE D. | 23 F |
| ▪ COUDE D. | 13 FT | ▪ TALON G. | 19 F |
| | | ▪ TALON D. | 24 F |



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Les articulations HANIM (VRML)

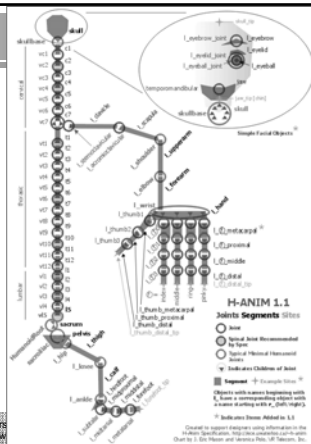
l_hip	l_knee	l_ankle	l_subtalar	l_midtarsal	l_metatarsal
r_hip	r_knee	r_ankle	r_subtalar	r_midtarsal	r_metatarsal
vl5	vl4	vl3	vl2	vl1	
vt12	vt11	vt10	vt9	vt8	vt7
vt6	vt5	vt4	vt3	vt2	vt1
vc7	vc6	vc5	vc4	vc3	vc2
vc1					
l_sternoclavicular	l_acromioclavicular	l_shoulder	l_elbow	l_wrist	
r_sternoclavicular	r_acromioclavicular	r_shoulder	r_elbow	r_wrist	
sacroiliac (pelvis)	skullbase	HumanoidRoot			

<http://www.h-anim.org>

Animation et Multimedia

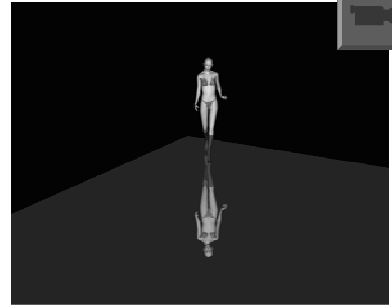
University of Geneva
www.miralab.ch

Les articulations HANIM (VRML)



Animation et Multimedia University of Geneva
www.miralab.ch

Exemple d'animation HANIM



Animation et Multimedia University of Geneva
www.miralab.ch

L'animation d'un squelette

Consiste à animer

- Les angles des articulations
- La position et l'orientation globale

2 tendances :

1. Mouvement produit « à la main »
postures-clés, capture de mouvement
2. Contrôle automatique du mouvement

1ère approche plus populaire pour la production de films

Animation et Multimedia University of Geneva
www.miralab.ch

Mouvement « à la main »

- Capture de mouvement
- L'animation paramétrique par positions-clés

Dans l'animation par interpolation on fournit à l'ordinateur un certain nombre de valeurs d'angles (valeurs-clés) à des temps données pour les parties du squelette à animer.

ie. plier le bras d'un robot : il faut spécifier l'angle du coude en plusieurs instants. L'ordinateur calcule les valeurs intermédiaires et le personnage pour les valeurs interpolées.

Rq : on doit utiliser des **points fixes** (ou points non animés).

Animation et Multimedia University of Geneva
www.miralab.ch

Points fixes

Points non animés dans la séquence d'animation

correspondent généralement aux points d'appui

- i.e pour asseoir une actrice virtuelle, des points fixes doivent être définis aux pieds pour éviter que les jambes ne se soulèvent !

Pour une marche, les points fixes doivent changer d'un pied à l'autre

Animation et Multimedia University of Geneva
www.miralab.ch

Ces techniques (capture et positions-clés) nécessitent qu'un designer spécifie en détail tous les mouvements → **fastidieux** !

Aucune interaction avec l'environnement, tout doit être prévu par le designer (difficulté pour tenir compte d'obstacles ou la simulation de la préhension)

⇒ **Solution ? : abstraction fonctionnelle**

Animation et Multimedia University of Geneva
www.miralab.ch

Abstraction fonctionnelle

Consiste à diriger l'animation en terme de but à **atteindre** plutôt que de mouvements détaillés.

= Animation par tâches et
Animation comportementale

5 étapes pour parvenir à un contrôle du automatique ...

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Contrôle automatique du mouvement

- 1 : Cinématique inverse et contraintes
- 2 : Dynamique
- 3 : Interaction avec l'environnement
- 4 : Animation de niveau tâche
- 5 : Animation comportementale et acteurs autonomes

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Cinématique

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

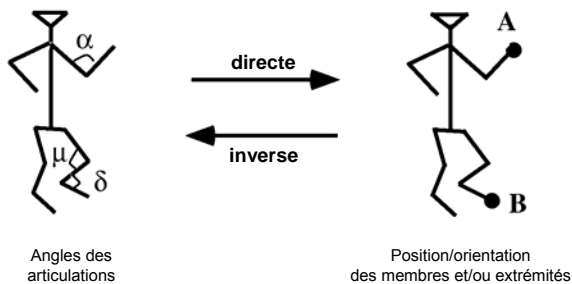
Cinématique

- Étude du mouvement **indépendamment** des forces qui produisent ce mouvement
- Propriétés du mouvement reliées au temps et à la géométrie :
 - Position
 - Direction
 - Vitesse
 - Accélération

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Cinématique directe et inverse



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Cinématique directe et inverse

Cinématique **directe**

Spécifie le mouvement de toutes les articulations
Travail dans l'espace articulaire

Cinématique **inverse**

Spécifie seulement la position des terminaisons
Exemple : position des mains, des pieds et de la tête
Travail dans l'espace Cartésien
Calcule les orientations de toutes les articulations

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Hiérarchie d'animation

Suite de nœuds articulations organisée sous forme d'arbre

- Le mouvement est transmis aux descendants
- La topologie indique la mobilité de la structure
- La géométrie indique le placement spatial des nœuds

Chaque nœud possède une **matrice de transformation** qui le connecte à son parent

Animer un modèle correspond à descendre l'arbre et à accumuler les transformations

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Cinématique directe

Méthodes efficaces et numériquement valables

- ⇒ Trouver la position et l'orientation d'une extrémité
- Par rapport à un système de référence
 - En fonction du temps
 - Sans tenir compte des forces et des moments en jeu

Correspond à résoudre l'équation $\mathbf{x} = \mathbf{f}(\mathbf{q})$

$$\mathbf{x} = (X_x, X_y, X_z, X_p, X_q, X_w)$$

position/orientation terminale

$$\mathbf{q} = (q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6)$$

vecteur des angles d'articulation

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Cinématique directe

Interactif, grande liberté de contrôle et simplicité

Exemple : un bras robotisé, une grue

Exemple dans 3DS Max

L'interface graphique permet de visualiser et de modifier la valeur des articulations d'un squelette

Deviens difficile à contrôler quand le nombre de joints augmente

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Cinématique inverse

Commandes de haut niveau

Automatique

Calcul des mouvements pour atteindre un point donné

Solutions difficiles à calculer si on augmente la complexité (nombre de joints et nombre de degrés sur chaque joint)

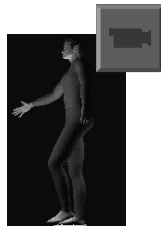
Difficile de calcul un mouvement qui semble naturel

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Exemple de difficulté

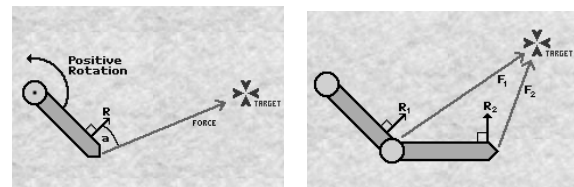
- Animation du bras



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Cinématique inverse 2D



$$\text{Moment} = (R \cdot F) \times k$$

où k : réducteur de contribution

Rappel :

Le produit scalaire de \vec{u} et \vec{v} est noté $u \cdot v$

Si u et v sont non nuls, $u \cdot v = ||u|| \times ||v|| \times \cos(\angle(u,v))$

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Algorithme

Commencer avec le joint le plus proche de l'objectif

1. Calculer le vecteur F entre le segment et l'objectif
2. Calcul le produit scalaire entre ce vecteur F et le vecteur perpendiculaire (R) à l'axe de rotation du segment
3. Multiplier cette contribution par un réducteur
p.e. $k = 0.01$
4. Ajouter cette contribution à l'angle du joint

Répéter l'opération pour tous les joints, en itérant

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Cinématique inverse 3D

Joint 1

a : axe de rotation du joint

b : vecteur du segment

r : vecteur perpendiculaire à a et b

f : vecteur force de **EndPoint** à **Target**

Moment proportionnel à la distance en **EP** et **Target**

Si a et f //, b et f // pas de rotation possible

⇒ Moment proportionnel au sinus a, f et b, f

Direction de la rotation indiquée par le cosinus r, f

$$\text{Moment} = \text{Mag}(f) \times \sin \text{Vect}(a, f) \times \sin \text{Vect}(b, f) \times \text{sign}(\cos \text{Vect}(r, f)) \times \text{reduction}$$

Animation et Multimedia

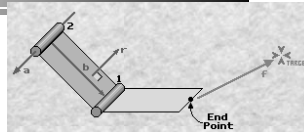
University of Geneva
www.miralab.ch

Suite ...

Joint 2

Calculer a, b, r, f

Calculer sa contribution



Et ainsi de suite pour tous les joints

Appliquer les delta rotations à l'ensemble des joints

Réitérer le processus jusqu'à satisfaire une bonne proximité

Animation et Multimedia

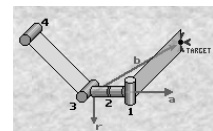
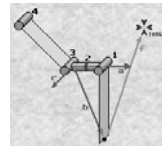
University of Geneva
www.miralab.ch

Exemple avec 4 joints

Joint 2 a un axe de rotation aligné avec le segment

Vecteur b part de l'origine du segment au EP

Calculer a, f et r comme avant



Après une rotation de 90° autour de a

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Limitations de la solution analytique

- Non fonctionnelle
 - Quand l'espace de solution est grand
 - Quand l'objectif n'est pas atteignable
- Solution
 - Cinématique inverse par méthode numérique

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Cinématique inverse numérique

Cinématique directe (rappel)

$$x = f(q) = (f_1(q), f_2(q), \dots, f_6(q))$$

Cinématique inverse

$$q = f^{-1}(x)$$

Problème :

comment trouver $f^{-1}()$ sachant que $f()$ est non linéaire ?

Idée :

approximation linéaire de $f^{-1}()$

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Définition (math) du Jacobien

Considérons une fonction f de \mathbb{R}^2 dans \mathbb{R}^2 , qui a $X = (x_1, x_2)$ associe $(f(x_1), f(x_2))$. La matrice **Jacobienne** de f est :

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix}$$

Et le **Jacobien** J de f en est le déterminant que l'on note :

$$J = \frac{D(f_1, f_2)}{D(x_1, x_2)}$$

Cette définition s'étend à une fonction de n variables ($n \geq 2$) de \mathbb{R}^n dans \mathbb{R}^n . Le jacobien trouve son emploi dans la résolution des équations différentielles, dans le calcul des intégrales multiples (généralisation du changement de variable dans les intégrales simples), en géométrie différentielle...

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.mirallab.ch

Rappel: Déterminant du matrice carrée

Pour une matrice 2×2 , on peut montrer que

$$A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \rightarrow A^{-1} = \frac{1}{ad-bc} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$$

Le nombre $ad - bc$ est appelé déterminant de A , noté

$$\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = |A| = \det(A)$$

La matrice inverse A^{-1} existe seulement si $\det A \neq 0$ ($\neq 0$ matrice singulière, régulière sinon).

Pour $n=3$ on obtient

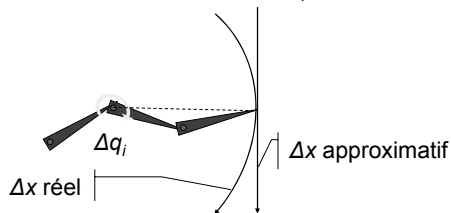
$$\begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{vmatrix} = a \begin{vmatrix} e & f \\ h & i \end{vmatrix} - b \begin{vmatrix} d & f \\ g & i \end{vmatrix} + c \begin{vmatrix} d & e \\ g & h \end{vmatrix} \\ = a(ei - fh) - b(di - fg) + c(dh - eg) \\ = aei - afh - bdi + bfg + cdh - ceg$$

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.mirallab.ch

Le Jacobien

Donne une approximation linéaire de $f()$
il donne approximativement le déplacement Δx
quand on change le paramètre Δq_i du joint i



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.mirallab.ch

Inverse du Jacobien J

Donne une approximation linéaire de $f^{-1}()$

Plusieurs méthodes pour calculer cette inverse

- Pseudo-inverse J^+
 - Lente, numériquement instable
 - Équilibrée en terme de distribution des contributions
 - Permet d'ajouter d'autres types de contraintes
- Transposée du Jacobien J^T
 - Approximations compensées par méthode des « petits pas » avec itérations
 - Favorise les joints distants de l'objectif
 - Converge plus lentement que J^+

Animation et Multimedia

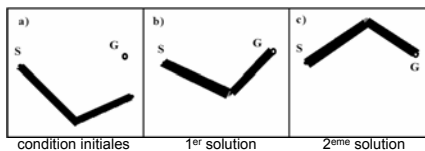
University of Geneva
www.mirallab.ch

Problème de redondance

Il y a trop de possibilités et l'animateur doit fournir plus d'informations.

Quelle est la solution la plus naturelle ?

Comment spécifier ce choix ?



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.mirallab.ch

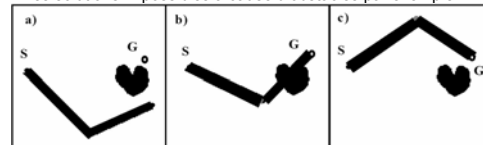
Redondance (suite)

Pour un bras 2D à 3 articulations, il y a au plus 4 solutions.

Dans le cas général,

N degrés de liberté $\Rightarrow 2^N$ solutions

Des solutions impossibles à cause d'obstacles par exemple



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.mirallab.ch

Domaine d'application

Espace atteignable d'un acteur virtuel

Volume de l'espace que l'extrémité du membre de l'acteur peut atteindre

Le but spécifié doit être dans l'espace atteignable

Deux types d'espaces de travail

L'espace de travail complet

espace de travail que l'acteur peut atteindre dans toutes les orientations possibles

L'espace de travail que l'acteur peut atteindre dans au moins une direction

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Exemple

Bras simple avec 2 segments et 2 articulations

Deux cas :

$$L_1 = L_2 = L$$

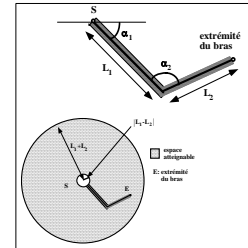
Espace complet : point S

Espace atteignable : disque de rayon L

$$L_1 \neq L_2$$

Pas d'espace complet

Espace atteignable (disque troué)



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

La possibilité pour un corps articulé d'atteindre des positions et orientations générales dépend du nombre N de degrés de liberté de la chaîne articulée

$N < 6$ (3 translations et 3 rotations) → les corps articulés ne peuvent pas atteindre des buts généraux

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Contraintes (cinématique inverse)

Pour faire asseoir une actrice virtuelle

Il faut spécifier des contraintes adéquates sur les pieds, le bassin et les mains

Systèmes avec une seule contrainte concurrente
... pas efficace pour résoudre le problème

⇒ Ajouts de contraintes multiples avec la cinématique inverse

Spécifier la précedence de chaque contrainte pour le cas où elle ne peuvent pas être toutes satisfaites simultanément

Contrainte fixe sous forme de position 3D et de 3 angles décrivant les orientations

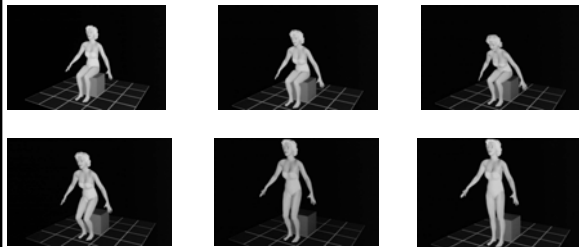
Une contrainte peut être une position/orientation fixe

Une trajectoire 6D (3 pour les positions et 3 pour les orientations)

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Exemple : contrainte pieds fixes



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Exemple : édition de mouvements avec contraintes (VRLab - EPFL)



Our goal is to allow the end-user to transform an original motion by applying position constraints on freely selected locations of the character body. More importantly, it is possible to assign a priority level to each constraint. As a consequence the end-user can enforce a larger range of natural behaviors where conflicting constraints compete to control a common set of joints. (VRLab)

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

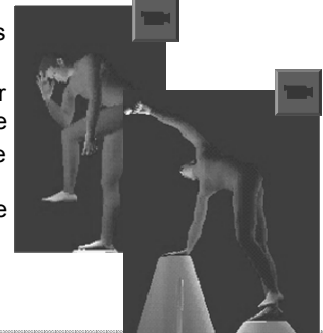
Défauts de la cinématique inverse

Fonctionne mal pour des longues chaînes
 Problème du choix lorsque plusieurs possibilités
 L'animateur doit alors intervenir ...
 ... ou laisser le système faire un choix
 (minimisation d'énergie par exemple)
 Difficile de mettre en jeu l'épaule et les doigts
 Ne tient pas compte des lois physiques

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

- Prise en compte des masses
- A l'avantage de tenir compte de l'équilibre
- Ainsi un personnage ne pourra pas se pencher trop comme avec la cinématique inverse



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

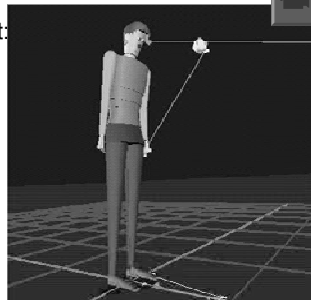
Combinaisons de tâches avec différentes priorités

L'ordre des priorités est :

- Contrainte des pieds
- Contrainte d'équilibre
- Regarder la balle
- Atteindre la balle

Deux phases :

- La balle est atteignable
- On la rend atteignable

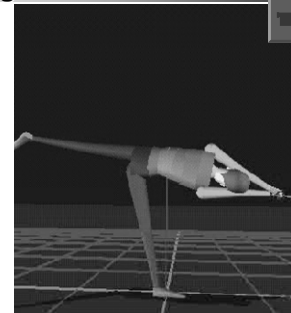


VRLab - EPFL

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Évaluation de l'espace atteignable dans le plan sagittal



VRLab - EPFL

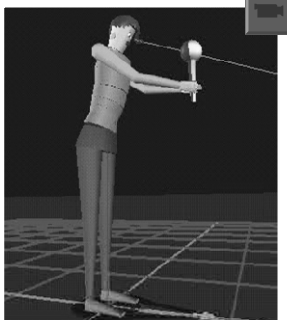
Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Flexion

Sans perturber :

- L'équilibre
- Le regard
- La préhension



VRLab - EPFL

Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch

Quelques contrôles de mouvements



Animation et Multimedia

University of Geneva
www.miralab.ch