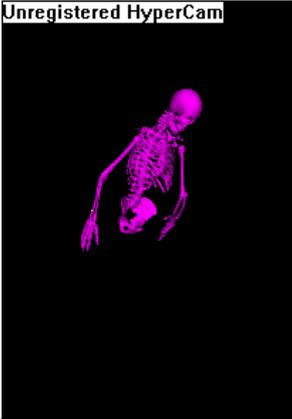




# Retargetting: come apprendere movimenti complessi

Prof. Alberto Borghese



A.A. 2005-2006 1/39

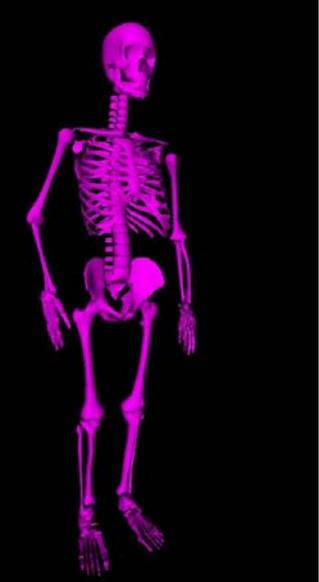
## Riassunto

- **Dai dati di Motion Capture ai dati di movimento**
- Problemi nell'utilizzo dei dati di Mocap
- Retargetting

A.A. 2005-2006 2/39 <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>

 **From MoCap to Animation** 

3D positions → Angles



A.A. 2005-2006

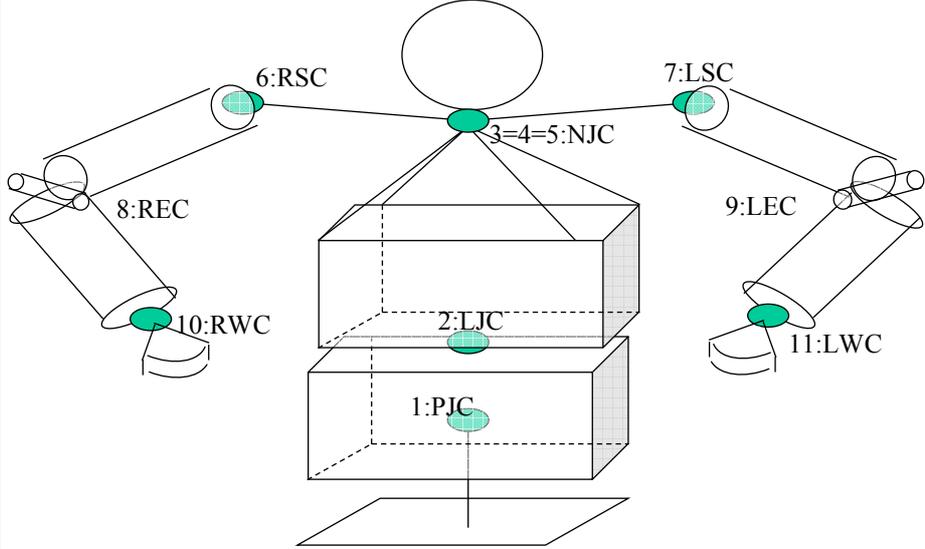
Unregistered HyperCam



<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>

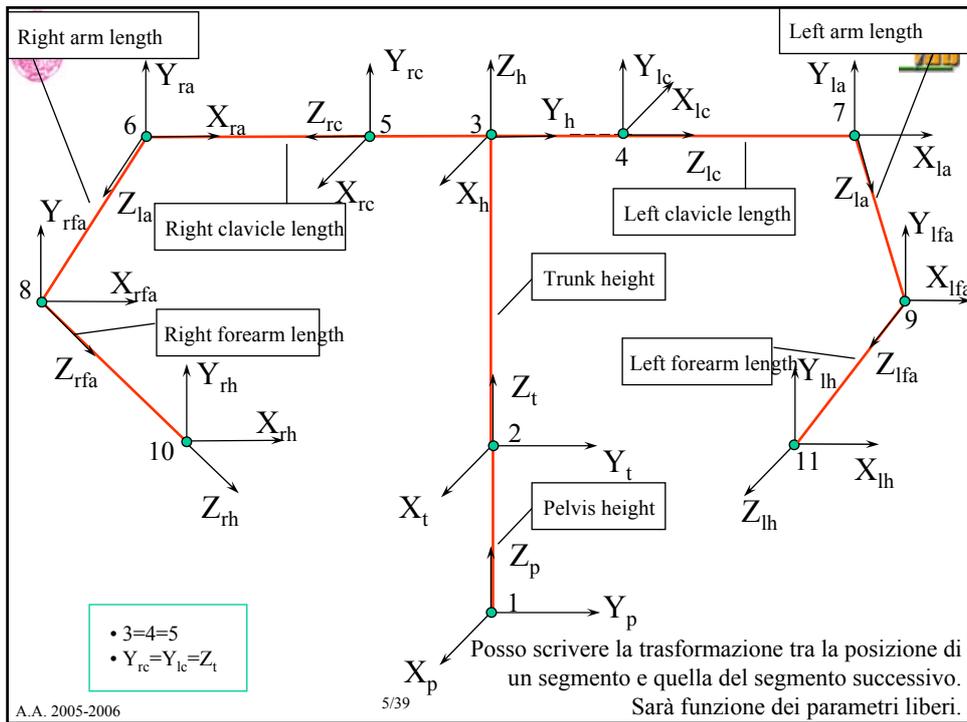
3/39

 **Marker sui joint** 



Segmenti rigidi, incernierati. Misuro la posizione delle cerniere.

A.A. 2005-2006 4/39



## Rappresentazione della trasformazione

$$\begin{bmatrix} {}^r X_P \\ {}^r Y_P \\ {}^r Z_P \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & T_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & T_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^e X_P \\ {}^e Y_P \\ {}^e Z_P \\ 1 \end{bmatrix}$$

${}^r P = {}^r A {}^e P$

Frame di riferimento del punto

Trasformazione del frame e nel frame r

link0 root

link1 end effector

Spesso si numerava da 0 - root

A.A. 2005-2006 6/39 <http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



## Riassunto



- Dai dati di Motion Capture ai dati di animazione
- **Problemi nell'utilizzo dei dati di Mocap**
- Retargetting

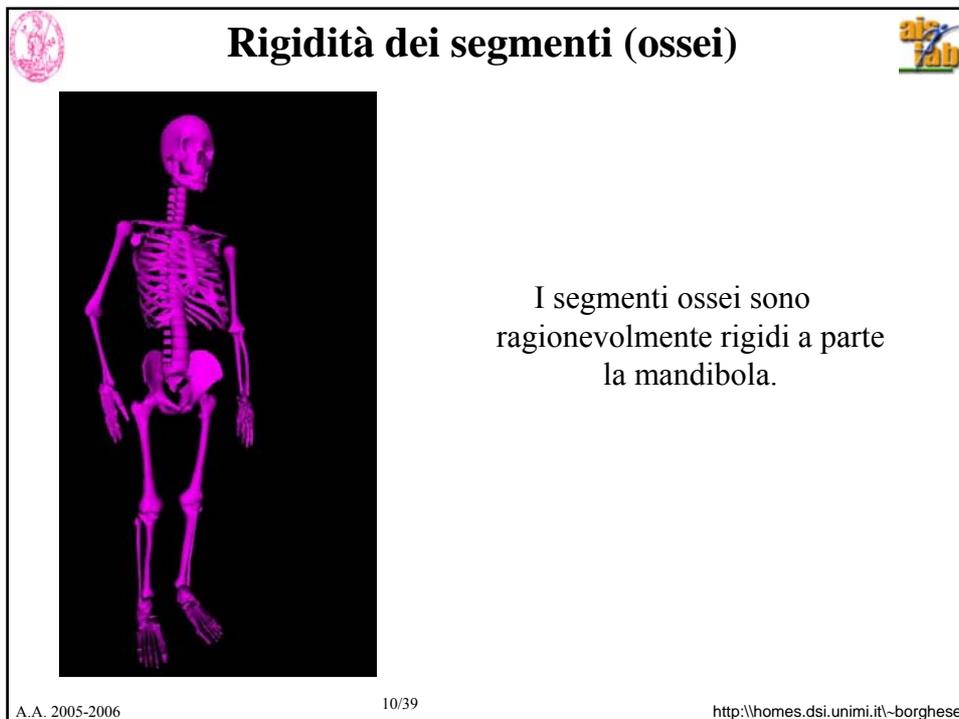
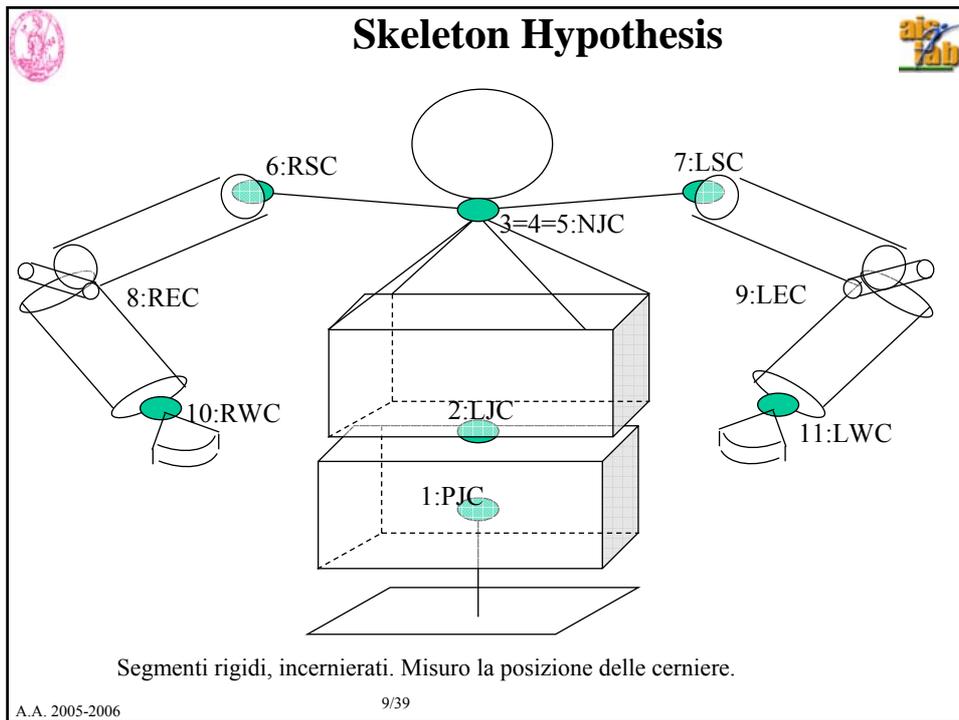


## I problemi dell'utilizzo dei dati di Mocap - I

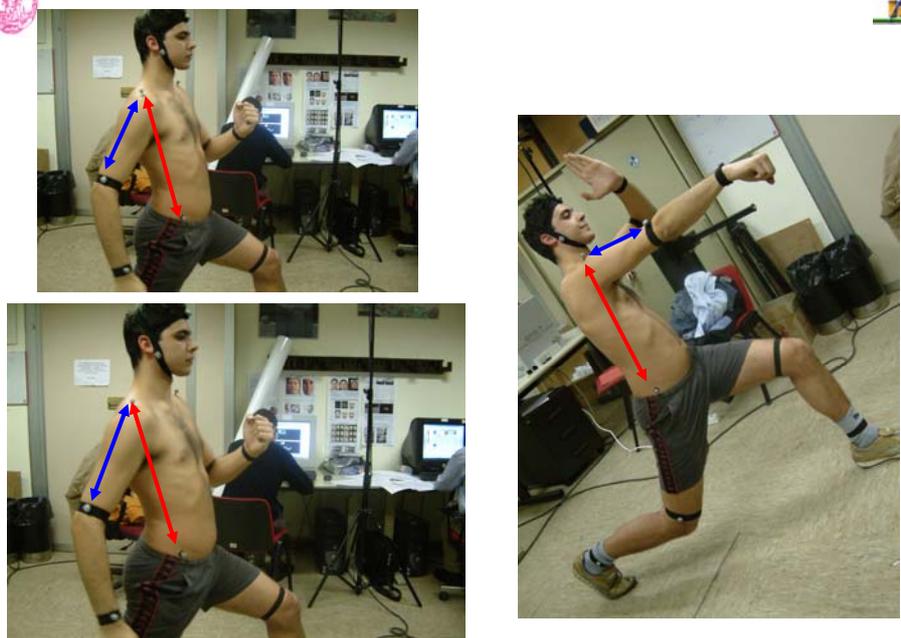


### Problemi:

- Skeleton hypothesis
- Skin artefacts
- Joint approximation



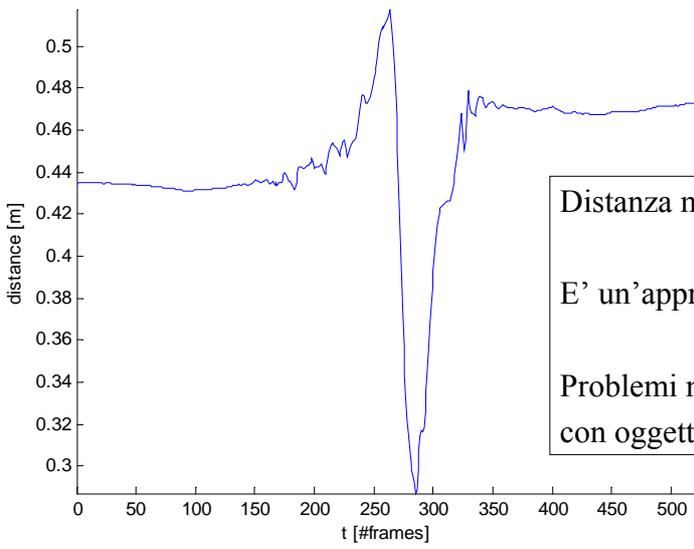
## I movimenti alterano la distanza tra marker



A.A. 2005-2006 11/39 <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>

## Quale scheletro?

distance between shoulder and hip



Distanza media, mediana.

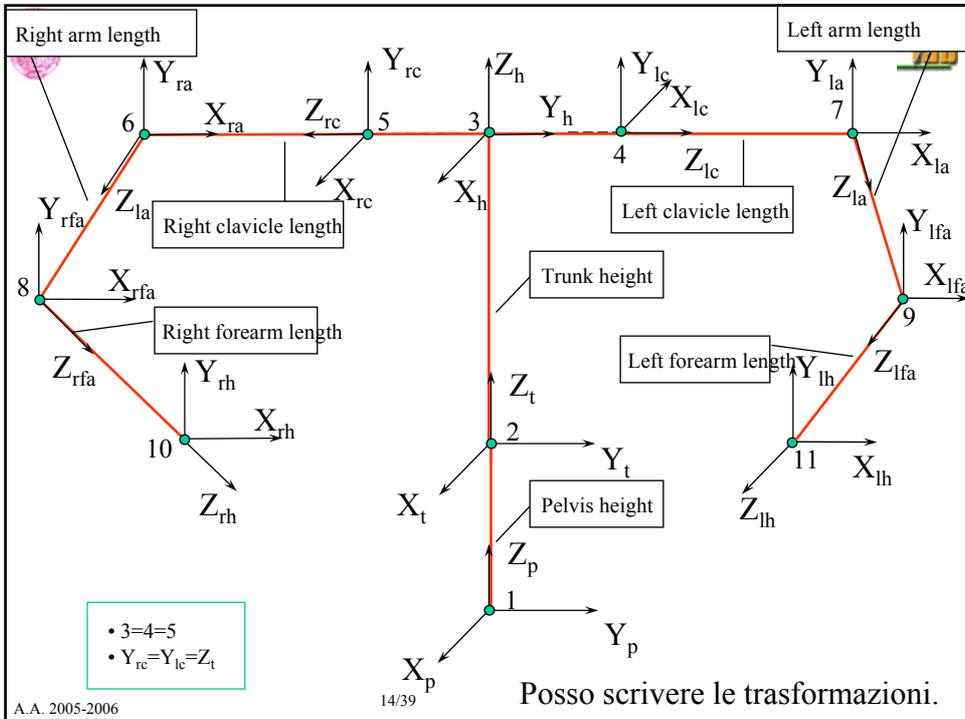
E' un'approssimazione.

Problemi nell'interazione con oggetti sulla scena.

A.A. 2005-2006 12/39 <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>

**Esempio di animazione “rigida”**

A.A. 2005-2006 13/39 http://homes.dsi.unimi.it/~borghese



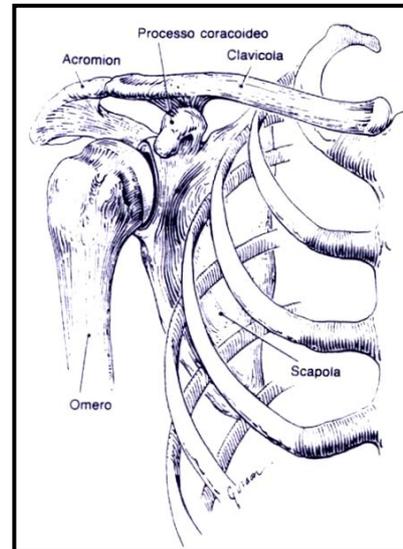


## Segmenti incernierati alle estremità



Difficoltà nella modellazione accurata delle articolazioni.

La posizione del centro di rotazione si sposta con la rotazione: il movimento è rototraslatorio, o rotatorio con centro di rotazione che si sposta nel tempo.



A.A. 2005-2006

15/39

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



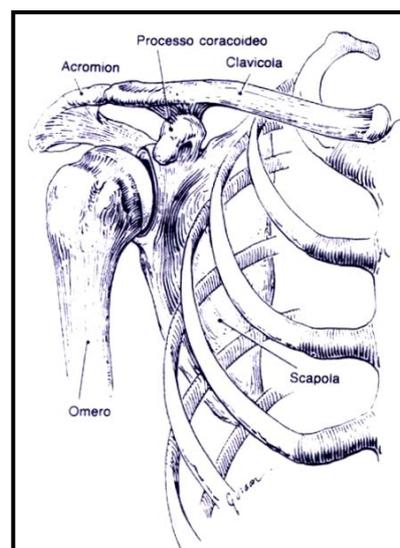
## The human skeleton has complex articulations



“Rigid” bones connected. Tendons keep the bones in place.

Motion allowed can be very complex (e.g. shoulder, spine).

The reconstruction of the finest details of the motion are beyond reach, simplifying assumptions are made => **Level of detail** in motion analysis



A.A. 2005-2006

16/39

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>

**Marker e joints**

Markered subject
Modello 3D
Modello a stick
Modello hidden

A.A. 2005-2006
17/39
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>

**Marker e Joint**

Skin artefacts

A.A. 2005-2006
18/39
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



## Validità delle approssimazioni



Misuro marker superficiali e non i centri di rotazione.

Skin artifacts.

La distanza tra i marker non è costante ed è un'approssimazione della lunghezza di un segmento osseo.

Il centro di rotazione non è fisso.

*Otengo animazioni che violano i vincoli fisici.*



## Esempio

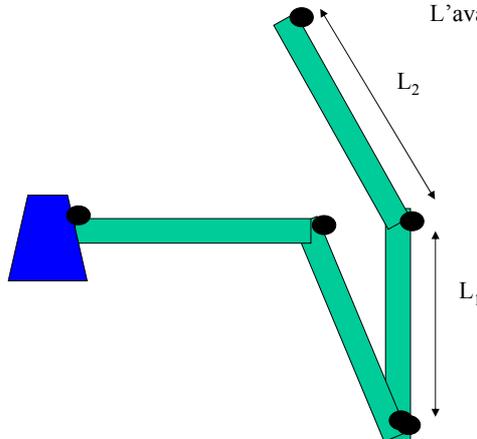


Mantengo costante  $L_1$  ed  $L_2$

Calcolo gli angoli iniziali e finali.

Applico gli angoli ai 2 segmenti  $L_1$  ed  $L_2$ .

L'avambraccio non arriva al bicchiere.



Effetto "skating" durante il cammino



## Come correggere gli errori?



Correggere le lunghezze dei segmenti  $\{L_i\}$ , può non essere sufficiente.

Correggere le sequenze di angoli  $\{\theta_i(t)\}$ , più complesso.



## Riassunto



- Dai dati di Motion Capture ai dati di animazione
- **Problemi nell'utilizzo dei dati di Mocap**
- Retargetting



## Retargetting



Re-utilizzo dei dati di Motion Capture creati su un personaggio, per animare un personaggio diverso.

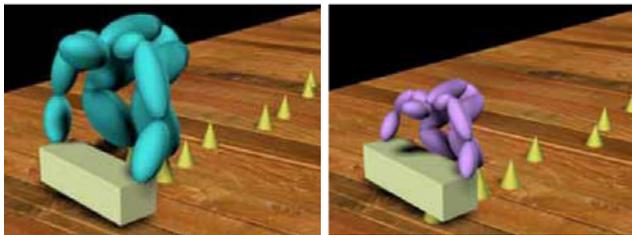
*Esempio:* Acquisisco il cammino di una persona adulta, applico il movimento ad un coccodrillo, otterrò un coccodrillo che danza come una ballerina. Che un coccodrillo danzi come una ballerina può non essere così desiderabile, ... ma questa è un'altra storia.

*Ipotesi:* stessa connettività dello scheletro. lunghezze diverse.

*Obiettivo:* preservare le caratteristiche del movimento.

Identificazione delle caratteristiche.

Traduzione delle caratteristiche in termini matematici (vincoli).



Piedi piatti sul terreno.  
Mani che afferrano i  
bordi dell'oggetto.

A.A. 2004-2005

23/36

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



## Formalizzazione del problema



Supponiamo  $\mathbf{q}(t)$  il valore di tutti i parametri di controllo (angoli e posizione della root), all'istante di tempo  $t$ .

Supponiamo di conoscere  $\{\mathbf{q}(t)\} \quad 0 \leq t \leq T$ .

Supponiamo che con questa sequenza di parametri di controllo, otteniamo il movimento  $\{\mathbf{m}_o(t)\} \quad 0 \leq t \leq T$ .

Vogliamo trovare quella funzione  $\mathbf{d}(t)$  tale per cui:

$$\mathbf{m}(t) = \mathbf{m}_o(t) + \mathbf{d}(t) \quad 0 \leq t \leq T$$

Rappresenta il nostro movimento desiderato.

Seguiremo l'approccio proposto da M. Gleicher, Siggraph 1998.

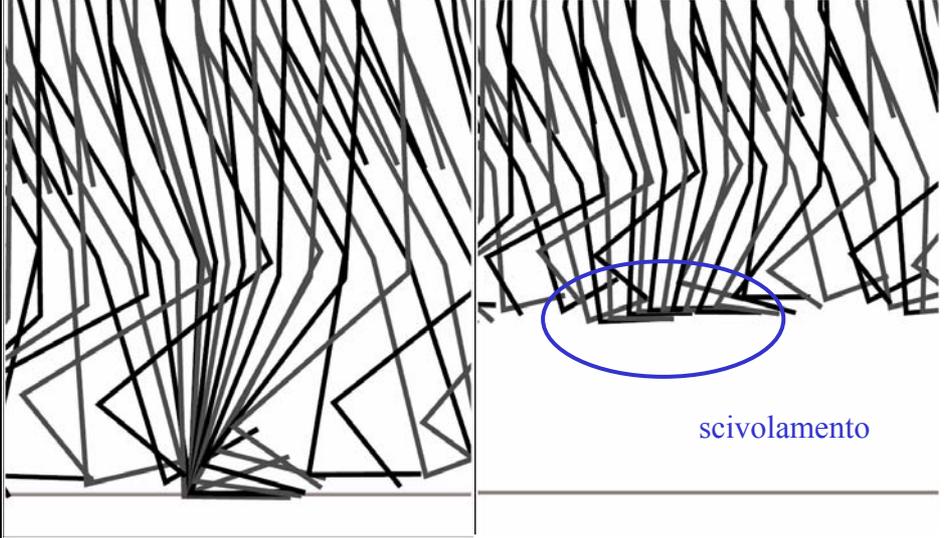
A.A. 2004-2005

24/36

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>

 **Perché è difficile?** 

La semplice scalatura dello spostamento non è sufficiente



scivolamento

A.A. 2004-2005 25/36 <http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>

 **Utilizzo della cinematica inversa** 



Lavora sul singolo frame.

Introduco componenti in alta frequenza, scatti nel movimento.

A.A. 2004-2005 26/36 <http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>

**Cinematica inversa + filtraggio**

(A) (B) (C) (D)

Con filtraggio si elimina lo “scatto”,  
ma non si raggiunge più l’obiettivo.

A.A. 2004-2005 27/36 http://homes.dsi.unimi.it/~borghese

**Space time solution: motion-warping**

Minimal deviation of the control actions (the angle sequence).  
Some constraints have to be added (e.g. Foot contact with the floor contact during waking).

Date  $\mathbf{q}(t)$  variabili indipendenti. Supponiamo che con questa sequenza di parametri di controllo, otteniamo il movimento  $\{\mathbf{m}_0(t)\}$   $0 \leq t \leq T$ .

Obiettivo: Vogliamo trovare quella funzione  $\mathbf{d}(t)$  tale per cui:  $\mathbf{m}(t) = \mathbf{m}_0(t) + \mathbf{d}(t)$   $0 \leq t \leq T$ .  
Osserviamo che  $\mathbf{d}(t)$  è funzione della variazione dei parametri  $\Delta\mathbf{q}(t)$ .

Posso prescrivere  $\mathbf{m}(t)$  in alcuni punti introducendo dei **vincoli** che vengono espressi in forma matematica come:  $f(\mathbf{m}(t)) = 0$  oppure  $f(\mathbf{m}(t)) \geq 0$   
Introduco inoltre una valutazione  $d(t)$  in termini di funzione costo:  $g(\mathbf{d}(t))$

Risulta un problema di **ottimizzazione non-lineare** nello spazio-tempo (controllo ottimo):

$$\min_{\{\mathbf{d}_q(t)\}} (f(\mathbf{m}(\mathbf{q}(t))) + \lambda g(\mathbf{d}(\Delta\mathbf{q}(t))))$$

Vado a modificare le tracce intere:  $\{\Delta\mathbf{q}(t)\}$

A. Witkin and M. Kass, Spaces time constraints. Proc. Siggraph 1988.  
M. Cohen. Interactive sapcetime control for animation. Proc. Siggraph 1992.  
A. Witkin and Z. Popovic, Motion Warping. Proc. Siggraph 1995.

A.A. 2004 **M. Gleicher, Retargetting Motion to New Characters, Proc. Siggraph 1998.** s.dsi.unimi.it/~borghese



## I vincoli



Biomeccanici (e.g. iper-estensione del ginocchio).  
 Dell'ambiente (e.g. non si può camminare con i piedi sotto il pavimento).  
 Del movimento stesso (e.g. devo prendere un oggetto al frame  $x$ ).

I vincoli vengono tradotti in funzioni differenziabili: una forma può essere ad esempio:

$$y_{\text{heel}}^t = 10\text{mm} \quad \rightarrow \quad \text{costo da valutare al tempo } t: (y_{\text{heel}}^t - y_{\text{heel}}^t)^2$$

$$P_{\text{heel}}^t = P_{\text{heel}}^{\text{ts}} \quad \text{ts} \leq t \leq \text{tt} \quad \rightarrow \quad \text{costo da valutare durante l'appoggio: } (P_{\text{heel}}^t - P_{\text{heel}}^{\text{ts}})^2$$

$$\min_{\{dq(t)\}} (f(\mathbf{m}(\mathbf{q}(t)))) + \lambda \mathbf{g}(\mathbf{d}(\Delta\mathbf{q}(t)))$$

$\mathbf{d}(\Delta\mathbf{q}(t))$  deve essere specificato per ogni istante di tempo.  $\Delta\mathbf{q}(t_k)$  influenzerà la posizione dello scheletro in tutti gli istanti successivi.  $\Delta q_j(t_k)$  inoltre influenzerà la posizione di tutti i segmenti dello scheletro a valle di quella giuntura, rispetto alla radice.



## Costo dell'incremento



$$\min_{\{dq(t)\}} (f(\mathbf{m}(\mathbf{q}(t)))) + \lambda \mathbf{g}(\mathbf{d}(\Delta\mathbf{q}(t)))$$

Il secondo termine suggerisce di distribuire gli incrementi  $\Delta\mathbf{q}$  su più istanti di tempo. In norma  $L_2$  prende la forma:

$$\mathbf{g}(\Delta\mathbf{q}(t)) = \Delta\mathbf{q}(t)^T \mathbf{M}(t) \Delta\mathbf{q}(t)$$

$\mathbf{M}$  è generalmente diagonale e pesa in modo diverso gli incrementi dei diversi gradi di libertà.



## Rappresentazione dei vincoli



$$\min_{\{\mathbf{dq}(t)\}} (f(\mathbf{m}(\mathbf{q}(t)))) + \|\mathbf{M}\Delta\mathbf{q}(t)\|$$

Il primo termine rappresenta i vincoli.  $f(\cdot)$  è non lineare ed è funzione di un insieme dei parametri di controllo  $\mathbf{q}(\cdot)$ .

Posso linearizzare l'equazione dei vincoli, ottenendo:

$$f(\mathbf{m}(\mathbf{q}(t))) = f(\mathbf{m}(\mathbf{q}_0(t))) + \sum_k (\partial f / \partial q_k) \Delta q_k = \mathbf{c} - \mathbf{a} \Delta\mathbf{q}$$

Lineare negli incrementi  $\Delta\mathbf{q}$ .

Possiamo quindi ottenere il sistema:

$$\min_{\{\Delta\mathbf{q}(t)\}} \|\mathbf{c} - \mathbf{a} \Delta\mathbf{q}(t_c)\| + \|\mathbf{M}\Delta\mathbf{q}(t)\|$$



## Soluzione



$$\min_{\{\Delta\mathbf{q}(t)\}} \|\mathbf{c} - \mathbf{a} \Delta\mathbf{q}(t_c)\| + \|\mathbf{M}\Delta\mathbf{q}(t)\|$$

È un sistema ai minimi quadrati.

I vincoli sono posti solamente in alcuni istanti di tempo.

Il calcolo del Jacobiano (vettore  $\mathbf{a}$ ), è funzione della storia passata del sistema e quindi di tutti i  $\mathbf{dq}(\cdot)$  precedenti.



## Motion retargetting: an example



Data captured have to be adapted to a smaller female.  
Vincolo sulla posizione (aderire al pavimento).  
Vincolo sul contatto tra le mani (penalizzare le deviazioni di orientamento del braccio della fanciulla).

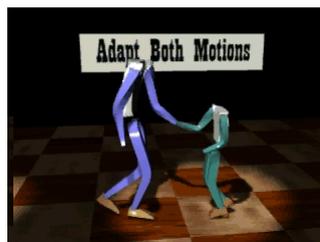
A.A. 2005-2006

33/39

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



## Motion retargetting: an example



A.A. 2005-2006

34/39

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



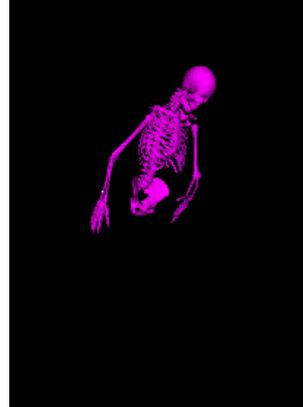
## What is next?



### Procedural animation

La tendenza è verso sistemi più altamente procedurali per la sintesi di movimenti. Anziché la miscelazione e la transizione tra animazioni preparate manualmente, tecniche più sofisticate di sintesi dovrebbero permettere la flessibilità necessaria per una rappresentazione più fedele del movimento umano.

Unregistered HyperCam



## Animazione procedurale: motion graphs



Approccio già realistico oggi.

Transizione calcolata automaticamente tra diverse animation clips. Una volta classificati i dati disponibili, la miscelazione e la transizione tra le diverse animazioni può essere automatizzata, arrivando a garantire la preservazione della continuità fino al secondo ordine

<http://www.cs.wisc.edu/graphics/Papers/Gleicher/Mocap/mograph.pdf>



## Animazione procedurale: IK-solver



Già disponibile in pacchetti commerciali. Ragionevolmente utilizzabile sulla prossima generazione di piattaforme di videogiochi di prossima generazione (XBOX2 - PS3).

Approccio real-time alla cinematica inversa (IK), full-body, che consenta di combinare i target della cinematica inversa (i vincoli) con la consueta animazione FK.

Con un buon IK solver è possibile specializzare generici animation clips e adattarli in tempo reale a diverse condizioni (e.g. non-uniform scaling e retargetting preservando vincoli di contatto con il terreno, con props, ostacoli o con altri attori).

[http://www.alias.com/eng/products-services/humanik\\_middleware/](http://www.alias.com/eng/products-services/humanik_middleware/)



## Animazione procedurale: styled-based kinematics



Ancora ben lontano dal poter essere utilizzato in tempo reale.

Cinematica inversa basata sulla preservazione dello stile: Style based IK.

È un metodo innovativo per la rappresentazione dello "stile" di un specifico movimento, estratto automaticamente da un repertorio di esempi.

Una volta disponibile, lo stile può essere utilizzato per la generazione di nuove pose che soddisfino più o meno rigidamente determinati vincoli esterni.

Nel processo di retargetting viene considerato anche lo stile.

<http://www.cs.washington.edu/homes/zoran/>



## Riassunto



- Dai dati di Motion Capture ai dati di animazione
- **Problemi nell'utilizzo dei dati di Mocap**
- Retargetting