



Animazione Digitale

lezione 6



Alberto Borghese

Animazione Dinamica

Avatar

N.B.: Il diritto di scaricare questo file è riservato solamente agli studenti regolarmente iscritti al corso di Animazione Digitale.



Mailing list di comunicazione digitale



www.idstudio.it/comdig



WEB site su Maya



<http://www.highend3d.com/maya/tutorials/>
<http://www.3dcafe.com/asp/tutalias.asp>
<http://www.thegnomonworkshop.com/tutorials/tutorials.html>
<http://www.3dluvr.com/pixho/>
<http://www.deathfall.com>



Breve introduzione sull'animazione dinamica



$$\sum_i \mathbf{F}_i = \sum_i m_i \mathbf{a}_i$$
$$\sum_i \mathbf{T}_i = \sum_i I_i \dot{\boldsymbol{\vartheta}}_i$$

Equazioni fondamentali della dinamica

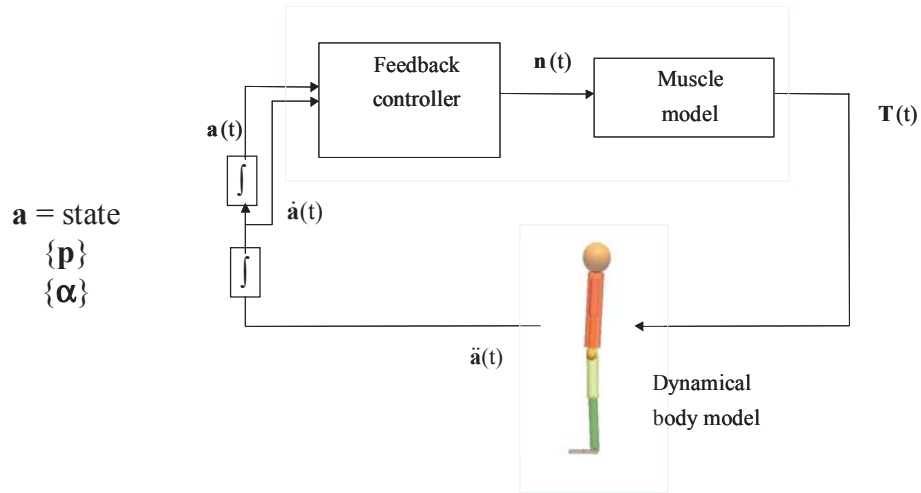
Esempio: caduta dei gravi

$$F_g = mg = ma_z \quad p_z(t) = \int_{t=0}^t a_z dt + \int_{t=0}^{t=T} v_o dt + p_o = 1/2 a_z t^2 + v_o t + p_o$$

Troppo complesso per corpi rigidi 3D e per le catene cinematiche



Animazione dinamica di uno scheletro



Integrazione numerica



$\dot{y}(t) = f(t, y(t))$ Devo determinare: $y(t)$

$$y(t) = y_0 + \left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=t_0, y=y_0} dt + \frac{1}{2} \left. \frac{d^2y}{dt^2} \right|_{t=t_0, y=y_0} dt^2 + \dots$$

Caduta dei gravi

$$p_z(t) = \int_{t=0}^{t=T} a_z dt + \int_{t=0}^{t=T} v_0 dt + p_0 = 1/2 a t^2 + v_0 t + p_0$$

$$p_z(t_0 + \Delta t) = p_z(t_0) + v(t_0) \Delta t$$

$$v(t_0 + \Delta t) = v(t_0) + a(t_0) \Delta t$$

$$p_z(t_0 + \Delta t) = p_z(t_0) + (v(t_0) + v(t_0 + \Delta t)) / 2 \Delta t$$

$$p_z(t_0 + \Delta t) = p_z(t_0) + v(t_0) \Delta t + 1/2 a(t_0) \Delta t^2$$

$$a = \frac{d^2 y(t)}{dt^2}$$

$$v = \frac{dy(t)}{dt}$$



Approssimazione del primo ordine (Eulero)



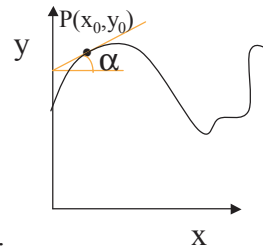
$\dot{y} = f(x, y)$ Devo determinare: $y(t)$

$$\dot{y}(P_0) = f(x_0, y_0) = \text{tg}(\alpha)$$

$$y - y_0 = f(x_0, y_0) \Delta x$$

Δx è l'intervallo di integrazione.

Poca stabilità e poca accuratezza.



Approssimazione del primo ordine: $y(P) = P_0 + \left. \frac{dy}{dP} \right|_{P=P_0} dP + O(h^2)$



Integrazione numerica (midpoint)



$\dot{y} = f(x, y)$ Devo determinare $y(t) = y_0 + f(x, y) \Delta x = \dot{y}(x, y) \Delta x$

NB conosco $y(t)$ per $t \leq t_0$

Posso ottenere una stima migliore di $\Delta x, \Delta y$

Stimo $y(\Delta x/2)$:

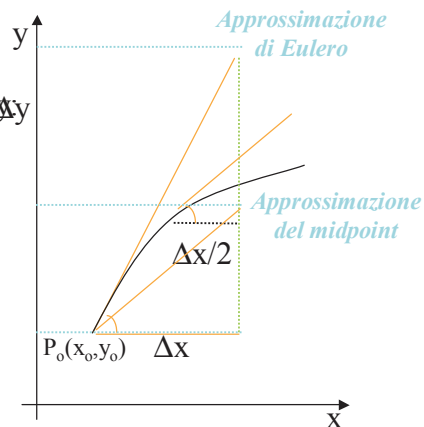
$$\Delta y^a/2 = [\Delta x f(x_0, y_0)]/2$$

$$\dot{y} = f(x_0 + \Delta x/2, y_0 + \Delta y^a/2)$$

$$\Delta y^b = \Delta x f(x_0 + \Delta x/2, y_0 + \Delta y^a/2)$$

A questo punto calcolo $y(t)$ come:

$$y(t) = y_0 + \Delta y^b + O(h^3)$$





Integrazione numerica (Runge-Kutta)



$\dot{y} = f(x, y)$ Devo determinare $y(t) = y_0 + \dot{y}(x, y)\Delta x$

Runge-Kutta del Quarto ordine

$$k_1 = f(x_0, y_0) \Delta x$$

$$k_2 = f(x_0 + \Delta x / 2, y_0 + k_1 / 2) \Delta x$$

$$k_3 = f(x_0 + \Delta x / 2, y_0 + k_2 / 2) \Delta x$$

$$k_4 = f(x_0 + \Delta x, y_0 + k_3) \Delta x$$

$$y_1 = y_0 + \frac{k_1}{6} + \frac{k_2}{3} + \frac{k_3}{3} + \frac{k_4}{6} + O(h^5)$$

Derivata calcolata nei due punti estremi di Δx e 2 volte al centro.



Esempio



$ds(t)/dt = v(t) = f(t, s) = h \times t + d \times s(t)$ $h=5$ $d=2$ $t(0)=t_0=0$ $s(0)=s_0=1$

Determinare: $s(1)$

A) Soluzione analitica. $s(t) = 1/2 \times h \times t^2 + e^{dt} = 2.5 + e^2 \approx 9.9$

B) Soluzione numerica tramite metodo di Eulero ($\Delta t = 1s$):

$$s(1) = s(0) + \Delta t \times f(t_0, s_0) = 1 + 1 \times [h \times 0 + d \times 1] = 1 + 2 = 3 \ll 9.9$$

C) Soluzione numerica tramite metodo del punto di mezzo ($\Delta t = 1s$):

$$k_1 = \Delta t \times f(t_0, s_0) = 1 \times [h \times 0 + d \times 1] = 2$$

$$k_2 + \Delta t \times f(t_0 + \Delta t/2, s_0 + k_1/2) =$$

$$\Delta t \times f(1/2, 1 + 2/2) = 1 + 1 \times [h \times 1/2 + d \times 2] = 6.5$$

$$s(1) = s(0) + k_2 + O^3 = 1 + 6.5 = 7.5 < 9.9$$

Confrontare con lo sviluppo in serie.



Esempio (Runge-Kutta 4o ordine)



$$ds(t)/dt = v(t) = f(t,s) = h \times t + d \times s \quad h=5 \quad d=2 \quad t(0)=t_0=0 \quad s(0)=s_0=1$$

Determinare: $s(1)$

A) Soluzione analitica. $s(t) = 1/2 \times h \times t^2 + e^{dt} = 2.5 + e^2 \approx 9.9$

D) Soluzione numerica tramite Runge Kutta, 4° ordine ($\Delta t = 1s$):

$$k_1 = \Delta t \times f(t_0, s_0) = 2$$

$$k_2 = \Delta t \times f(t_0 + \Delta t/2, s_0 + k_1/2) = 6.5$$

$$k_3 = \Delta t \times f(t_0 + \Delta t/2, s_0 + k_2/2) = \Delta t \times f(1/2, 1 + 6.5/2) = \\ 1 \times [5 \times 1/2 + 2 \times 4.25] = 11$$

$$k_4 = \Delta t \times f(t_0 + \Delta t, s_0 + k_3) = \Delta t \times f(1, 1 + 11) = \\ 1 \times [5 \times 1 + 2 \times 11] = 27$$

$$s(1) = s_0 + k_1/3 + k_2/6 + k_3/6 + k_4/3 + O(\Delta t^5) = \\ 1 + 2/6 + 6.5/3 + 11/3 + 27/6 = 11.83333 > 9.9$$



Runge-Kutta adattativo



Ipotesi è che la velocità sia costante all'interno dell'intervallo di integrazione.

Calcoliamo le forze, da qui le accelerazioni istantanee e supponiamo che il sistema evolva con queste accelerazioni.

Diventa un problema di calcolo numerico....

Press, Teukolsky, Vetterling, Flannery, Numerical Recipes in C, Cambridge University Press. Capitolo 16.

Trade-off tra ampiezza dell'intervallo di integrazione e accuratezza. Algoritmi adattativi.

Ordine elevato di Runge-Kutta non vuol dire automaticamente maggiore accuratezza.



Contatto



Scambio di forze: dinamica.

La dinamica si occupa del movimento dei corpi naturali in dipendenza delle circostanze fisiche nelle quali il moto si compie. Queste circostanze fisiche possono essere tradotte da forze, onde il nome di "Dinamica" ($\delta\nu\nu\alpha\mu\iota\sigma$, forza).

Bruno Finzi, 1980.

Collision detection: regioni di contatto (cinematica)

Forze scambiate nella collisione (dinamica)

- Urto elastico.
- Metodo delle penalità

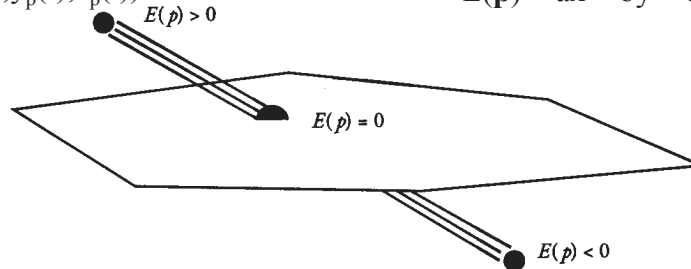


Collisione particella-piano



$\mathbf{P}(x_p(t), y_p(t), z_p(t))$

$$E(\mathbf{p}) = ax + by + cz + d$$



```
do while (E(p(t)) > 0)
{
    if (E(p(t)) <= 0)
        break;
    t = t + 1;
    Compute E(p(t))
}
E(p(t)) > 0
E(p(t+1)) < 0
Collisione avvenuta tra t e t+1
```



Descrizione del rimbalzo



1) Determino il punto di collisione, $P(x,y,z)$:

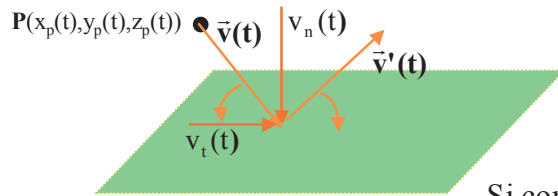
$$E(\mathbf{p}) = ax + by + cz + d$$

$$x = x_p + k \cos\alpha$$

$$y = y_p + k \cos\beta$$

$$z = z_p + k \cos\gamma$$

2) Determino la velocità di rimbalzo (caso elastico):



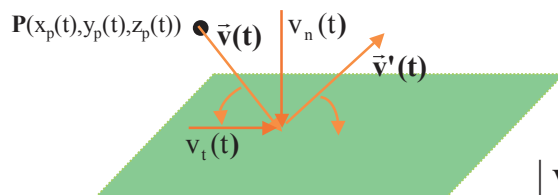
$$v'_n(t) = -v_n(t)$$

$$v'_t(t) = v_t(t)$$

Si conserva la quantità di moto



Urto con smorzamento



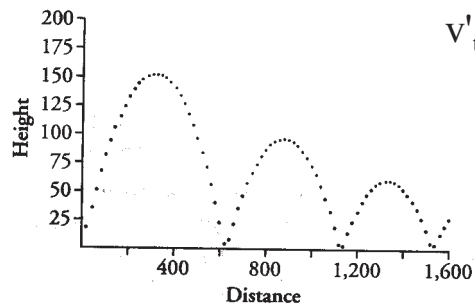
$$v'_n(t) = -v_n(t)$$

$$v'_t(t) = v_t(t)$$

$$|v'_n(t)| = k[|\vec{v}(t) \times \vec{n}|]$$

$$v'_t(t) = k[\vec{v}(t) - (\vec{v}(t) \times \vec{n})\vec{n}]$$

k fattore di assorbimento





Interazione “biologica” con le superfici



End-effector

Potenza limitata.

Velocità di risposta limitata (banda passante limitata).

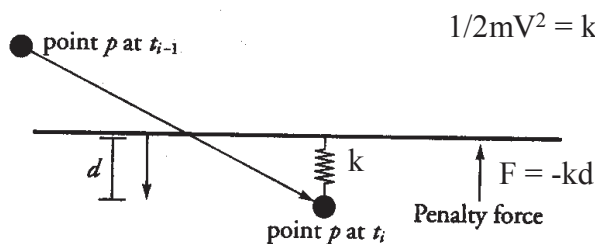
Elevata abilità (flessibilità).

Meccanismi classici di controllo fallirebbero (“effetto saltelli”).

Forza visco-elastica che tiene la mano appoggiata alla superficie.



Metodo delle penalità

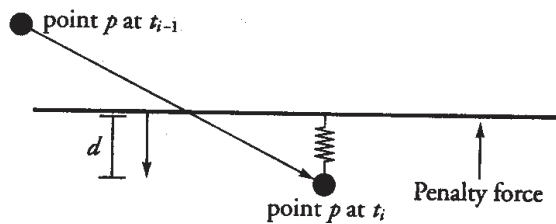


- Una forza elastica frena (penalizza) il cammino del punto dentro la superficie.
- La superficie si deforma localmente.
- Il punto si ferma ad un'altezza d tale per cui energia cinetica e potenziale si uguagliano:

$$d = \left(\sqrt{\frac{m}{2k}} \right) v$$



Problemi con il metodo delle penalità



Necessità di tarare appropriatamente k
Occorre inserire un elemento viscoso che assorba energia.



Animazione dinamica



Tre attori: equazioni della dinamica, integratori, controllore.


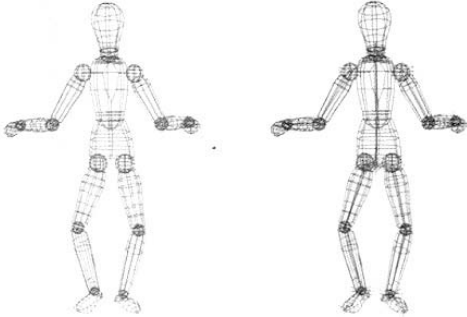

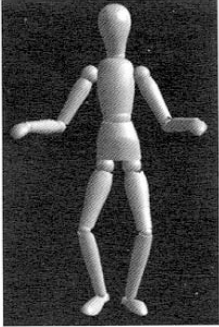

Simulazione iterativa -> soluzione delle equazioni della dinamica ed integrazione dell'accelerazione.

Metodi di integrazione numerica (Runge Kutta).

Simulazione accurata degli eventi dinamici.



Complessità computazionale.

Interazione con superfici mediante modellazione visco-elastica.


Gli Avatar

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>

Verso gli AVATAR

- Sono secondo etimologia divinità discese da cielo.
- Comportamento autonomo.
- Personalità autonoma (comportamento che segue all'interazione con l'ambiente).



External world

Behavior

Internal world

<http://www.ccon.org/conf01/>

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Fattori cognitivi.



Componenti:

- Sensori: visione, tatto e udito.
- Motore inferenziale (AI).
- Comportamenti (vocabolario motorio, parametrizzato).
- Fattori stocastici.

Matrimonio tra Animazione e Sistemi Intelligenti (AI)

Controllo autonomo di essere inanimati.
Umanizzazione di elementi della scena.



Fattori cognitivi all'opera (I)



Descrizione dell'ambiente

- Modellazione ad oggetti.
- Gerarchica.
- Relazionale.
- Sensori:
 - Visione (livello di dettaglio).
 - Tatto (collision detection).



Fattori cognitivi all'opera (II)



Stati interni

- Intenzioni.
 - Inibizioni.
 - Rinforzo.
 - Emozioni.
 - Dimensione temporale.
- 3 classi principali gerarchiche:
 - comandi.
 - desideri.
 - suggerimenti.



Fattori cognitivi all'opera (III)



Comportamento: livello di dettaglio

Partizionamento spaziale

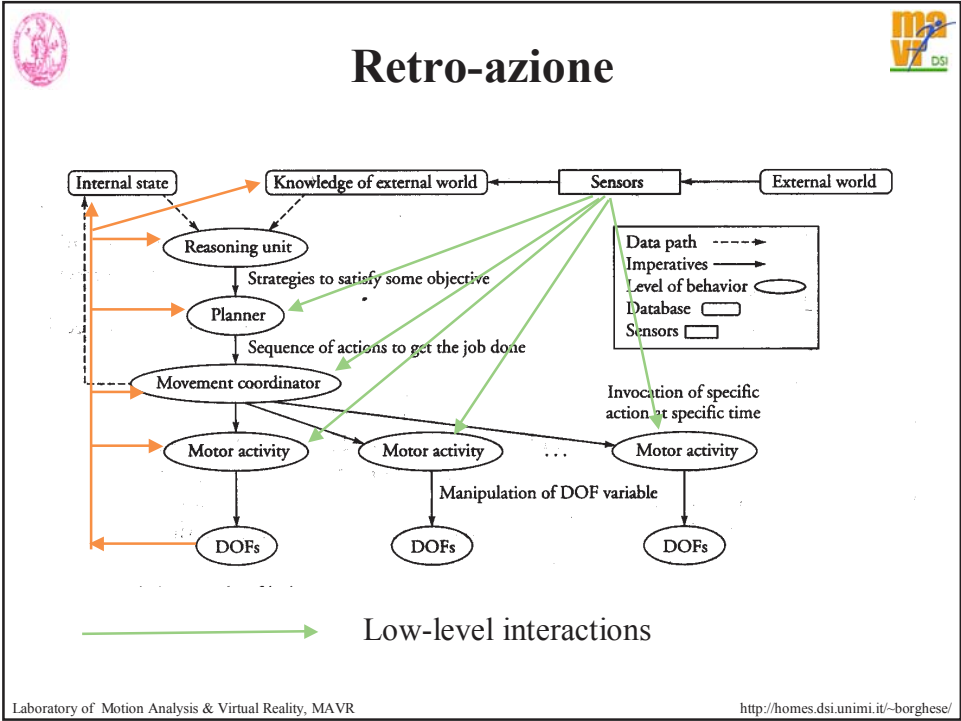
Gerarchia di descrizione del movimento.

Comportamento: pianificazione ed esecuzione

Ragionamento (AI): cosa devo fare?

Pianificazione (Intelligenza motoria): come posso farlo?

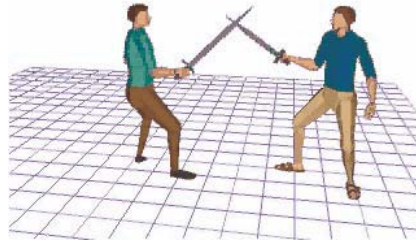
Esecutore: traduzione in macro-comandi motori.





AVATAR BEHAVIOR

Jacks



Human
Animal

Cartoon
Best Bang for the Buck
(500 vertices or less)

Fantasy
Animation (may be combined with any of the previous categories)

<http://www.plmsolutions-eds.com/products/efactory/jack/moviesandimages.shtml>

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR

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



Il movimento biologico



Firma spazio-temporale.

Variabilità intra-individuale ed inter-individuale.

Complessità computazionale.

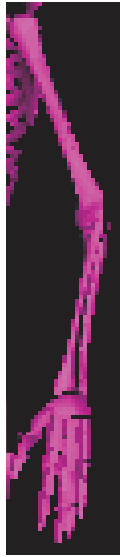
Vocabolario motorio (unione di chunk motori)

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR

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



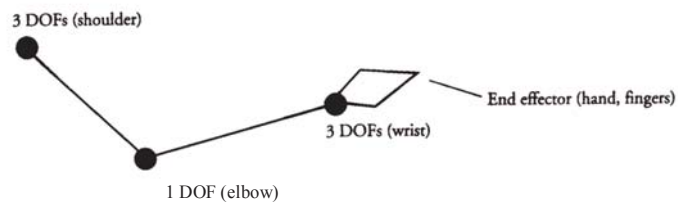
Reaching



Il braccio è uno strumento di trasporto.
Supporto con gradazione di rigidità per la mano.

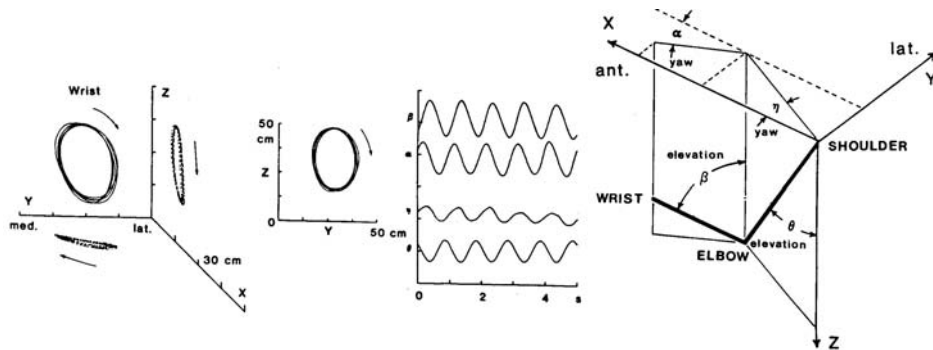
Avambraccio: articolazione “particolare”.

Limiti anatomici, sono funzione anche della configurazione (*pose*).



Movimenti ciclici

Yaw + elevazione e distanza. Modello a 2 canali.



- La cinematica degli angoli è oscillatoria.
- La differenza di fase tra i due angoli di yaw è legata linearmente all'azimuth del piano in cui la figura viene disegnata.
- La differenza di fase tra i due angoli di elevazione è legata all'inclinazione della figura che vado a disegnare.
- La differenza di fase tra gli angoli di elevazione non dipende dal luogo in cui viene disegnata la figura.



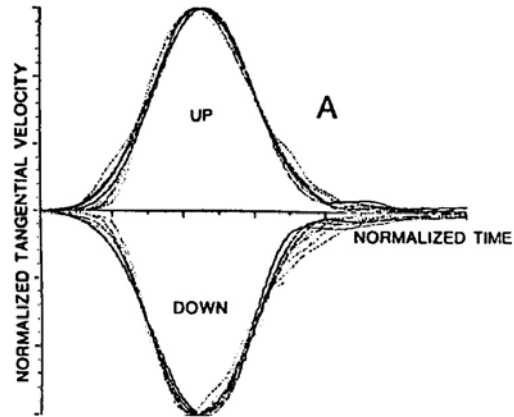
Reaching di oggetti



- Velocità a forma di campana rovesciata per l'end-point, robusta per variazioni della velocità, dei carichi e del soggetto.

Ottimizzazione del jerk

$$\left| \frac{d^3 p(t)}{dt} \right|$$



Reaching & grasping



- Via points.
- Relazione di fase angolare per movimenti liberi.
- Cinematica inversa quando l'end-effector si muove lungo una traiettoria dell'end-point. Profilo di velocità bell-shaped.
- Modifica della cinematica del braccio quando si deve affrontare la presa. Fase di trasporto. Apertura della mano e chiusura.
- Il movimento del braccio si adatta al tipo di presa.
- Planning (ostacoli sul percorso).



Reaching di oggetti (polarizzazione)



Constraint sulla configurazione finale della mano modificano il reaching, si può polarizzare la soluzione.

$$Jd\Theta = dPe$$

$$d\theta = (J^T J)^{-1} J^T dPe = J^+ dPe$$

$d\theta$ ha norma minima tra tutte le possibili soluzioni

Posso e devo inserire un peso su ogni θ : $\theta' = k \theta$.

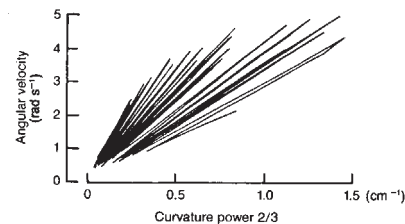
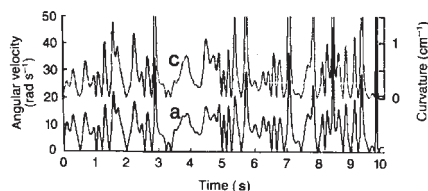
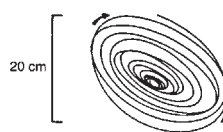
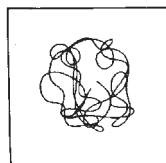
Problema aperto è la spalla ed il polso. Sono 2 joint difficili da modellizzare in modo realistico.



La firma temporale

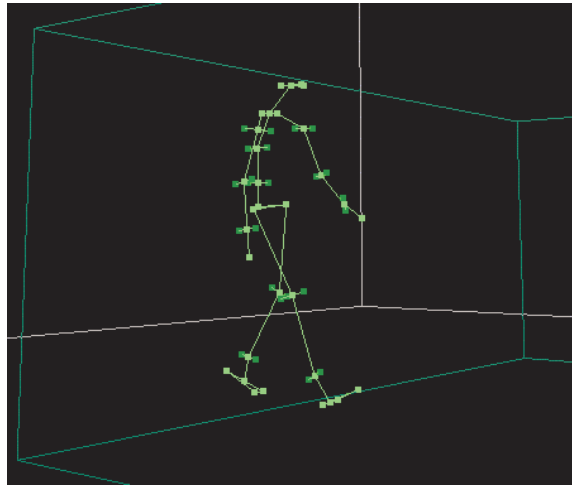


La cinematica dipende dalla curvatura locale e dalla lunghezza della traiettoria. Legge potenza 2/3: $v_t = k c^{2/3}$.





La firma temporale sul cammino



Perché? Deriva dalle proprietà visco-elastiche dell'apparato muscolo-scheletrico.



Movimenti complessi



Rappresentazione ad alto livello è simbolica e discreta.

Ciascun segmento viene tradotto in un programma motorio adeguato.

Il programma è implementato da sinergie motorie.

Le sinergie vengono sintonizzate sui parametri particolari del movimento.

L'interazione con i parametri dinamici degli attuatori (muscoli) fa sì che il movimento assuma il caratteristico profilo a campana rovesciata della velocità per i movimenti punto a punto e la relazione curvatura / velocità potenza $2/3$.



Planning del movimento



Traiettoria definita mediante:

- 1) Particella con energia cinetica rappresentante il punto di partenza.
- 2) Forza di attrazione debole nel punto di arrivo.
- 3) Forza di repulsione forte da parte dell'oggetto.

Traiettoria definita mediante interpolazione di key-frames.



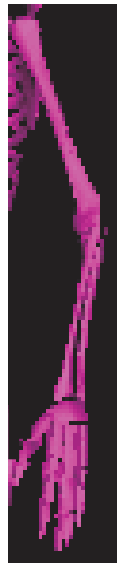
Il movimento del braccio



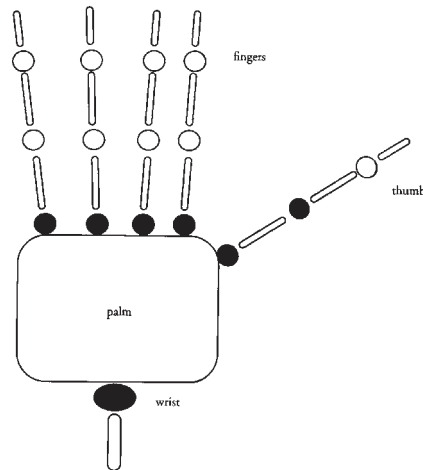
- Yaw del braccio + elevazione / distanza.
- Generazione della traiettoria dell'end_point -> joint.
- $dP_{\text{end_point}}(t)$ ha la forma "bell-shaped".
- Polarizzazione dei singoli joint.
- Andamento spazio-temporale "firma" il movimento



La mano, anatomia



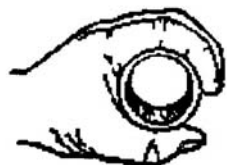
- 1 DOF ○
- 2 DOFs ●
- 3 DOFs ●●



Problema: palmo, flessibilità + rigidità.



Superfici della mano



CYLINDRICAL



TIP



HOOK or SNAP



PALMAR



SPHERICAL



LATERAL



Grasping (modalità)



Cinetica. Forze che devono essere esercitate sull'oggetto.

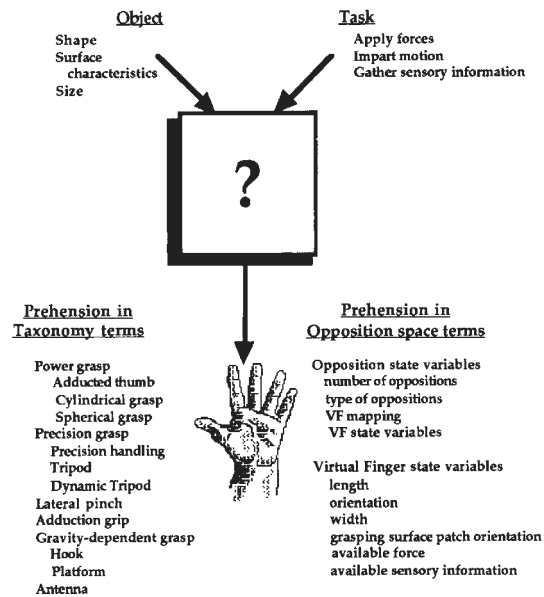
Cinematica / geometria: definizione della posa.

Input sensoriale: rugosità, temperatura, grado di lucentezza.

Organizzazione dei gradi di libertà tramite libreria di primitive (vocabolario motorio del grasping).



Gli attori del grasping



Superfici della mano

The image displays six distinct hand grips, each with a corresponding label below it:

- CYLINDRICAL**: A hand holding a cylindrical object with the thumb and index finger.
- TIP**: A hand holding a small rectangular object between the tips of the thumb and index finger.
- HOOK or SNAP**: A hand holding a vertical cylindrical object, with the thumb and index finger forming a hook-like shape.
- PALMAR**: A hand holding a small cylindrical object, with the thumb and index finger resting on the palm.
- SPHERICAL**: A hand holding a spherical object, with the thumb and index finger resting on the palm.
- LATERAL**: A hand holding a rectangular object, with the thumb and index finger resting on the side of the hand.

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>

Precision vs Power grasp

The image shows three photographs of hands holding objects, illustrating different types of grasps:

- A. POWER GRASP**: A hand holding a cylindrical object, with the thumb and index finger resting on the palm.
- B. PRECISION GRASP**: A hand holding a spherical object, with the thumb and index finger resting on the tips of the fingers.
- C. COAL HAMMER**: A hand holding a cylindrical object, with the thumb and index finger resting on the side of the hand.

Napier 1956. Ruolo peculiare del pollice nella presa di precisione.

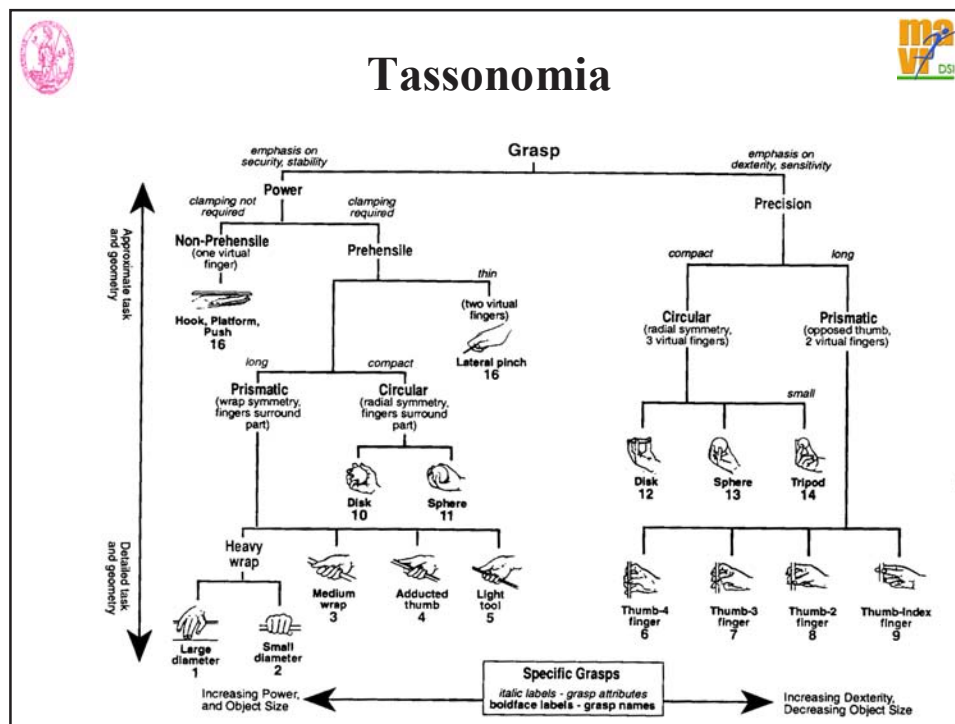
Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>

Gli spazi di opposizione

A B C

La ricchezza del repertorio avviene combinando i diversi tipi di presa

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>

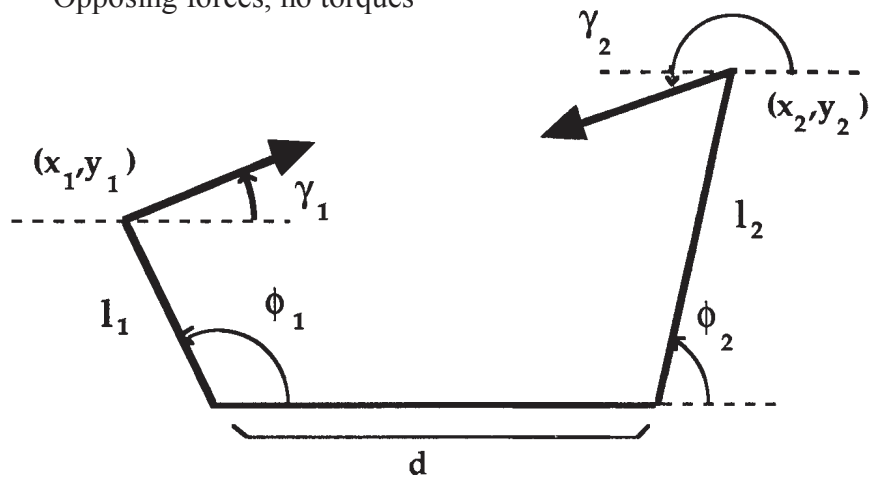




Virtual fingers



Opposing forces, no torques



Il grasping



Affinità tra superficie dell'oggetto e superfici della mano.

Presi di precisione e di potenza.

Spazi di opposizione e combinazione degli spazi.

Definizione di sinergie (virtual fingers).



Il cammino



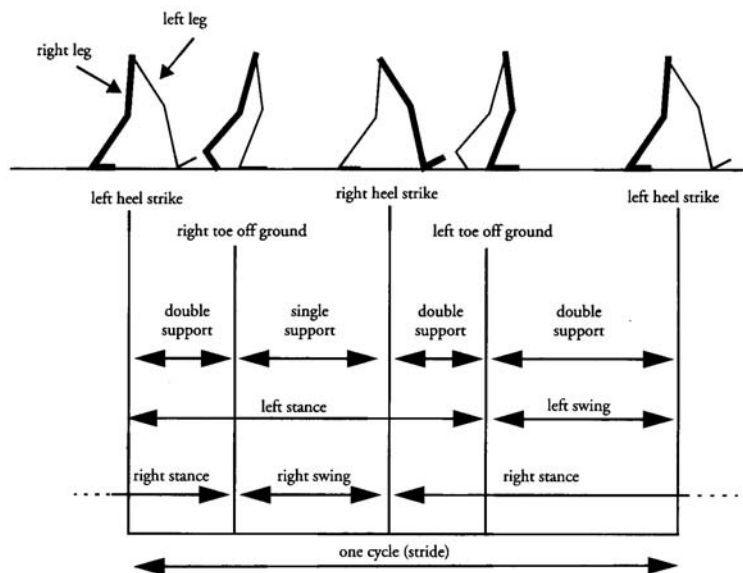
Trasporto del corpo umano:

- 1) Alternanza di appoggio e fase di volo con doppio appoggio.
- 2) Flesso-estensione del ginocchio.
- 3) Rullata del piede (frenata e spinta).

Il cammino dei neonati è in realtà plantigrade.



Le fasi del cammino

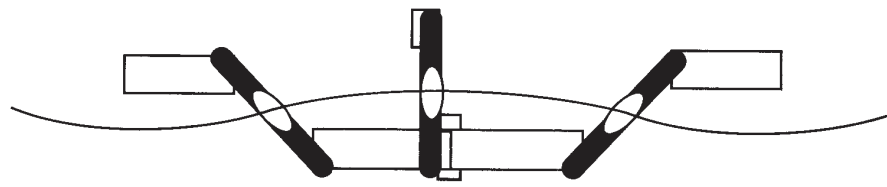
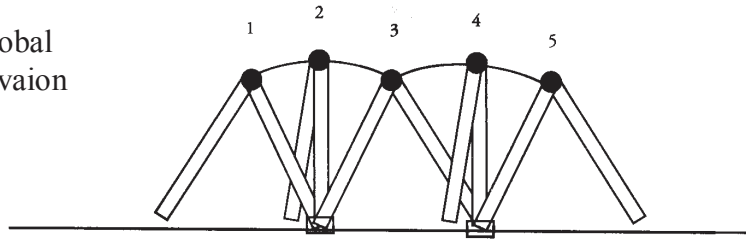




Il cammino – parametri globali



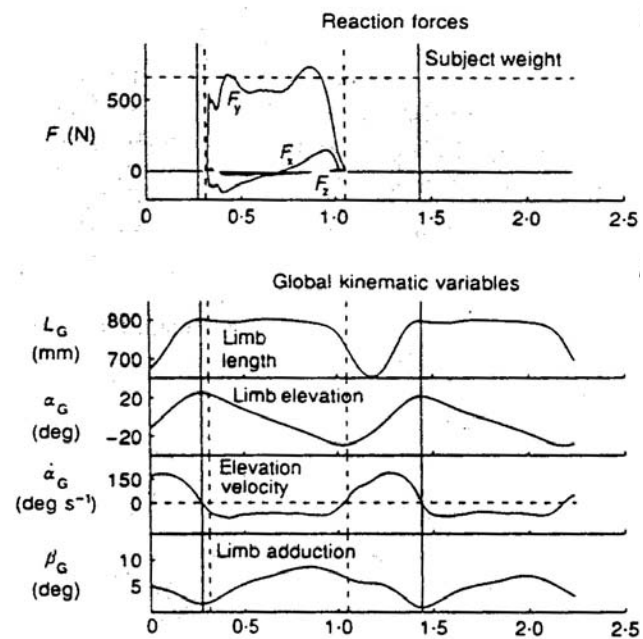
Global elevation



Pelvic List

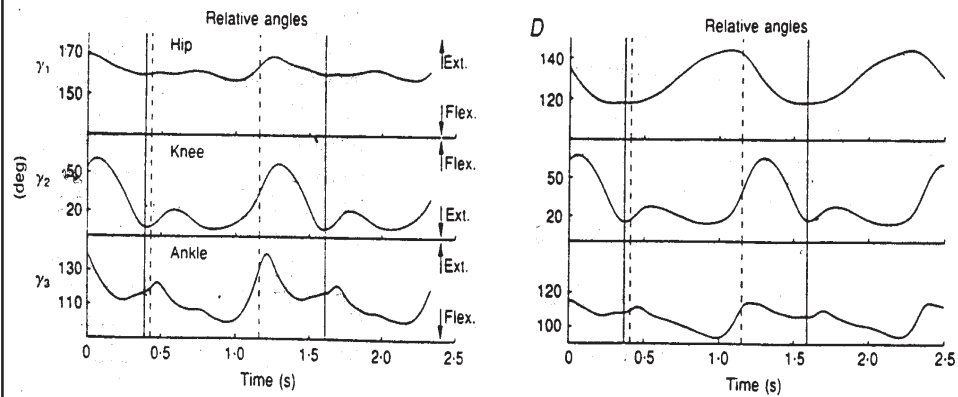


Il cammino – profilo di velocità





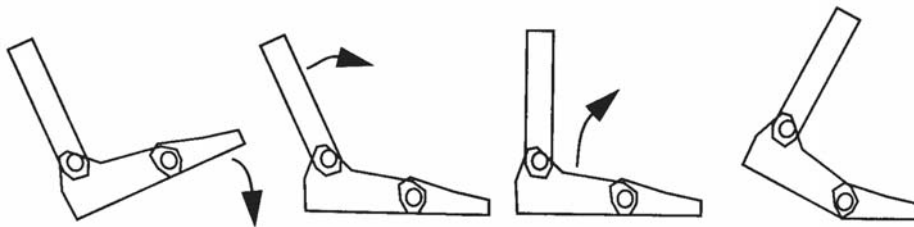
Il cammino – i segmenti



Variabilità a livello di caviglia



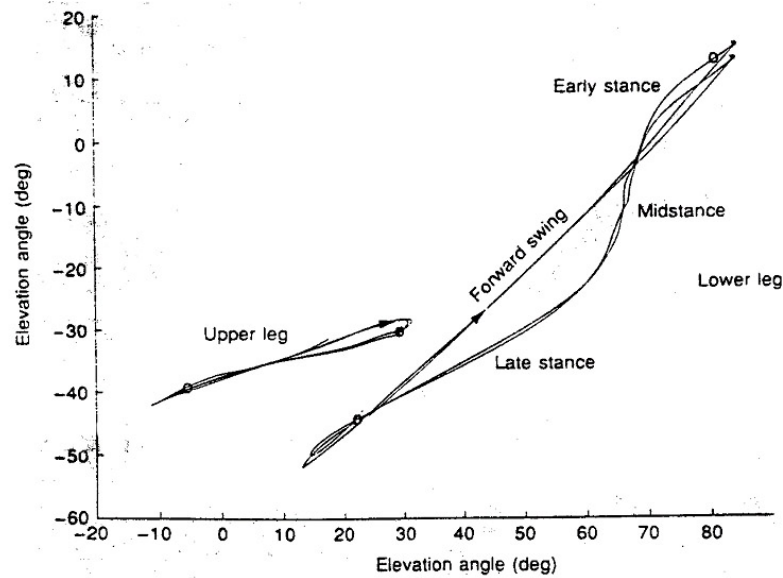
Il cammino – il piede



Modello a due gradi di libertà



Invarianze cinematiche



Sintesi del cammino



- 1) Antropometria.
- 2) Definizione della velocità.
- 3) Impostazione della curva di velocità globale.
- 4) Impostazione delle covariazioni angolari o della cinematica degli angoli relativi.