



Robotica ed Animazione Digitale



Prof. Alberto Borghese
Dipartimento di Scienze dell'Informazione
borgnese@dsi.unimi.it

Università degli Studi di Milano

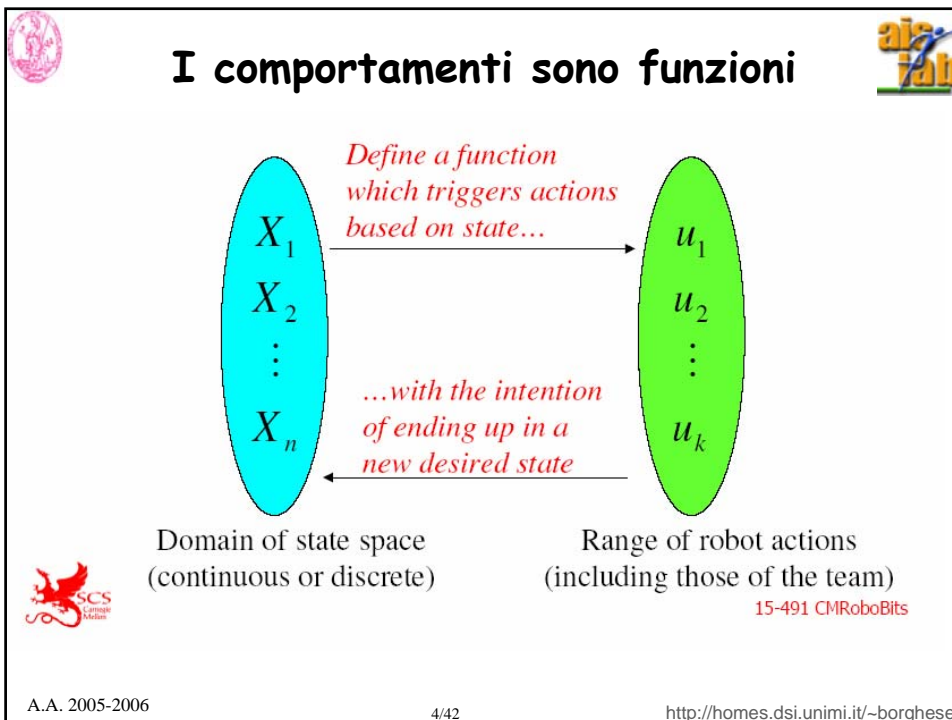
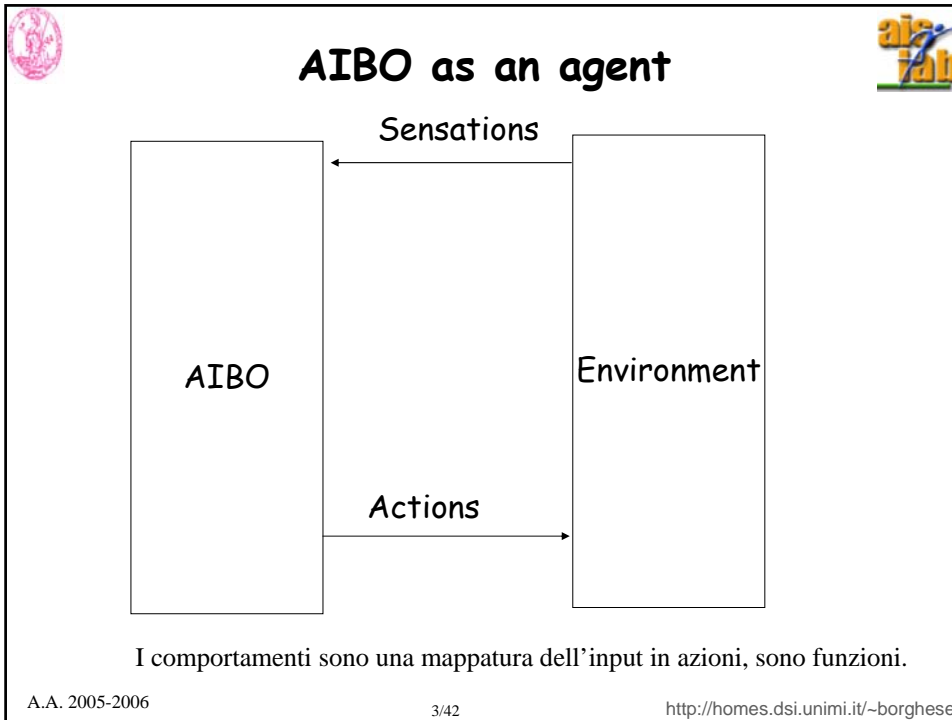
Slide in parte tratte da: <http://www.andrew.cmu.edu/course/15-491>



Sommario della lezione



- **Comportamento reattivo.**
- Comportamento reattivo basato su modello.
- Overview dei sensori ed attuatori di AIBO

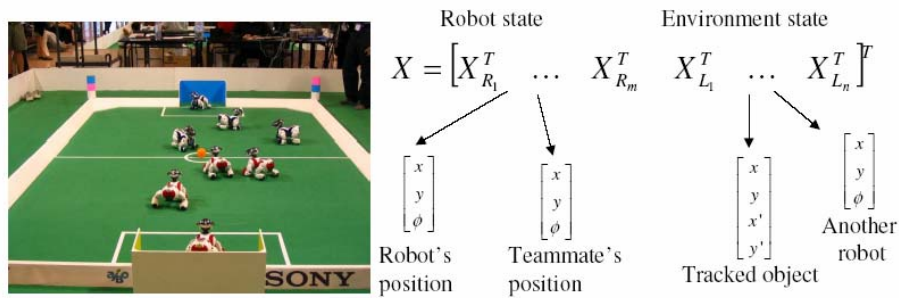




Dalla misura alla percezione (feature)



- Perception takes raw sensor data and creates a set of useful features



- Each component of the state vector has an associated **uncertainty model**



15-491 CMRoboBits



The different behaviors



There are two main ways to decide the AIBO's behavior:

Reactive

AIBO directly responds to the environment.

Deliberative

The response is mediated by the (internal) state of the AIBO (the state summarizes the past history) and it is based on the prediction of success of the selected choice.

Hybrid

Combination of Reactive and Deliberative behavior.



Reactive behavior



Action -> Reaction

There is no memory

Advantages:

Immediate response to environment variations.

Simple to program and analyze

The control can be smooth for smooth variations of the sensor input.

Disadvantages:

The response to a stimulus is stereotyped.

If an action does not work, there are not alternatives.

Complex tasks with many inputs, may create problems.

Rodney Brooks: <http://people.csail.mit.edu/brooks/>



Schemi motori



Mapping tra informazione proveniente dai sensori e vettore che definisce il movimento del robot.

Per movimento si intende un movimento vero e proprio (cf. Arbib) oppure un vettore spostamento (atto di moto).


I movimenti prodotti da ciascun motor schema devono essere “*sommati*”.

Il mapping deve tenere conto di eventuali ostacoli (o vincoli). Schemi motori che traducono vincoli.


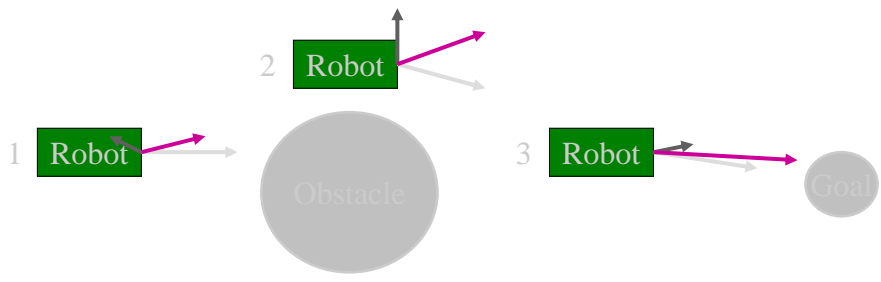
Esempio: navigazione in presenza di ostacoli:

Obstacle avoidance.

Goal reaching.




Motor Schemas





Goal vector
 Avoidance vector
 Resulting vector

A.A. 2005-2006 9/42 http://homes.dsi.unimi.it/~borghese



Come *sommare* i comportamenti?



Molti moduli possono essere attivi per un certo stimolo sensoriale. Come trattare ciò? Come arrivare ad un comportamento complesso.

- Operatori logici.
- Approccio fuzzy.

In modo più esplicito:

- Blending (e.g. motor schema)
- Competition - viene selezionato un comportamento mediante competizione.
- Subsumption - viene selezionato un comportamento mediante criteri statici.
- Sequencing - i comportamenti vengono eseguiti in sequenza.

A.A. 2005-2006 10/42 http://homes.dsi.unimi.it/~borghese



Blending



E.g. atti motori.

Viene definito uno spazio continuo o campionato dei comportamenti.

Viene associato ad ogni comportamento un vettore (ampiezza e direzione).

I comportamenti vengono sommati vettorialmente ed eventualmente ricondotti al comportamento più vicino alla somma (approccio fuzzy-like).

Blending è facile da implementare quando l'informazione fornita dai sensori è vettoriale: (valori continui con modulo e verso, esempio: posizione, velocità).

Problema: forze con la stessa ampiezza e segno opposto si cancellano.

Similitudine: fuzzy system.

A.A. 2005-2006

11/42

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



Competition

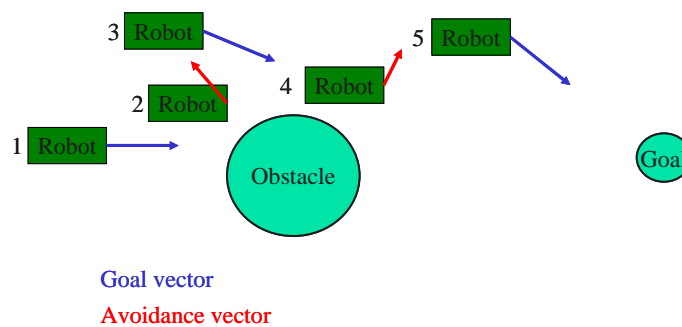


In questo caso si utilizza un meccanismo di "winner-take-all" per generare l'attivazione.

I comportamenti attivati in modo reattivo, competono; il vincente sarà il comportamento del robot.

E' facile adattarlo ad insiemi diversi di comportamento.

Problemi: oscillazioni tra due comportamenti con modulo molto vicino.



A.A. 2005-2006

12/42

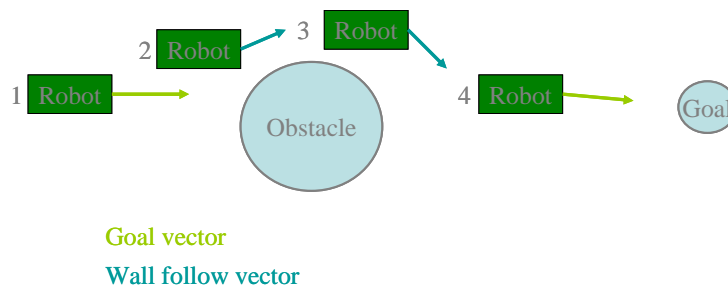
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Subsumption



Simile alla Competition. Ma la scelta avviene mediante una priorità codificata.
Tutti i moduli attivi output il comportamento reattivo previsto.
Il comportamento scelto è quello a priorità più elevata.
E' facile scalarlo, a patto di aggiungere i nuovi comportamento con le loro priorità nella tabella dei comportamenti.



Sommario della lezione



- Comportamento reattivo.
- **Comportamento reattivo basato su modello.**
- Overview dei sensori ed attuatori di AIBO



Agente



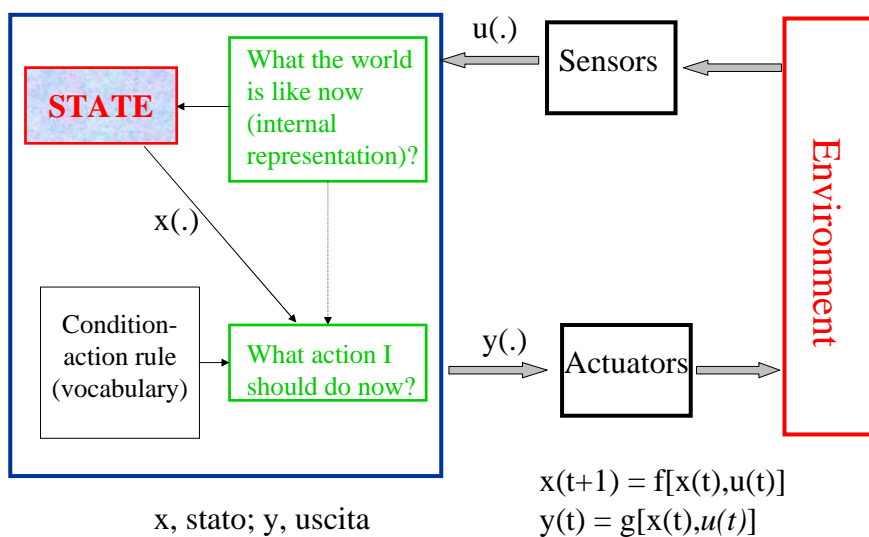
- Può scegliere un'azione sull'ambiente tra un insieme continuo o discreto.
- L'azione dipende dalla situazione. La situazione è riassunta nello **stato** del sistema.
- L'agente monitora continuamente l'ambiente (**input**) e modifica continuamente lo stato.
- La scelta dell'azione è non banale e richiede un certo grado di "intelligenza".



Schematic diagram of an agent



Agent





Comportamento reattivo basato su modello: sequencing



Viene eseguito un solo comportamento alla volta. Si passa da un comportamento ad un altro quando ci sono delle modifiche nell'input sensoriale.

Il modello migliore per catturare questa modalità di comportamento è una macchina a stati finiti (FSM).

Ciascuna macchina ha associato un repertorio di comportamenti.

Particolarmente utilizzato sia in robotica che in animazione digitale!

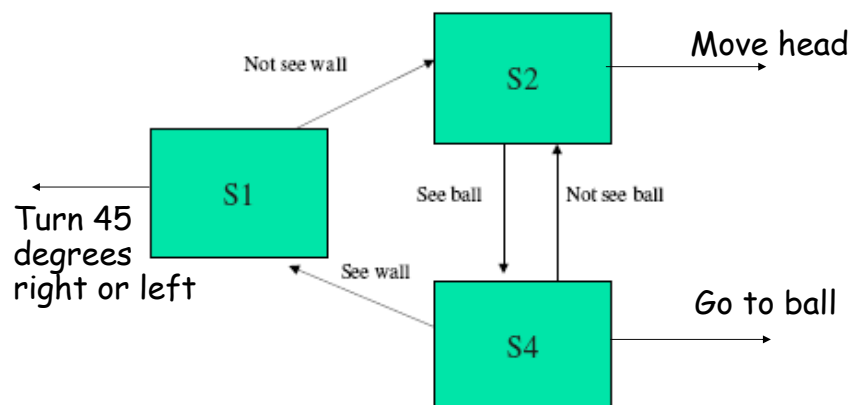
A.A. 2005-2006

17/42

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



Rappresentazione dell'utilizzo dei sensori in una FSM



15-491 CMRoboBits



Macchina a Stati Finiti (di Moore)



La Macchina di Moore è definita, in teoria degli automi, dalla quintupla :

$$\langle X, I, Y, f(\cdot), g(\cdot) \rangle$$

X: insieme degli stati (in numero finito).

I: alfabeto di ingresso: tutti i simboli che si possono presentare in ingresso.

Y: alfabeto di uscita: tutti i simboli che si possono generare in uscita.

f(.): funzione stato prossimo: $X' = f(X, I)$. Definisce l'evoluzione della macchina nel tempo. L'evoluzione è deterministica.

g(.): funzione di uscita: $Y = g(X)$ nelle macchine di Moore.

Per il buon funzionamento della macchina è previsto uno stato iniziale, al quale la macchina può essere portata mediante un comando di reset.

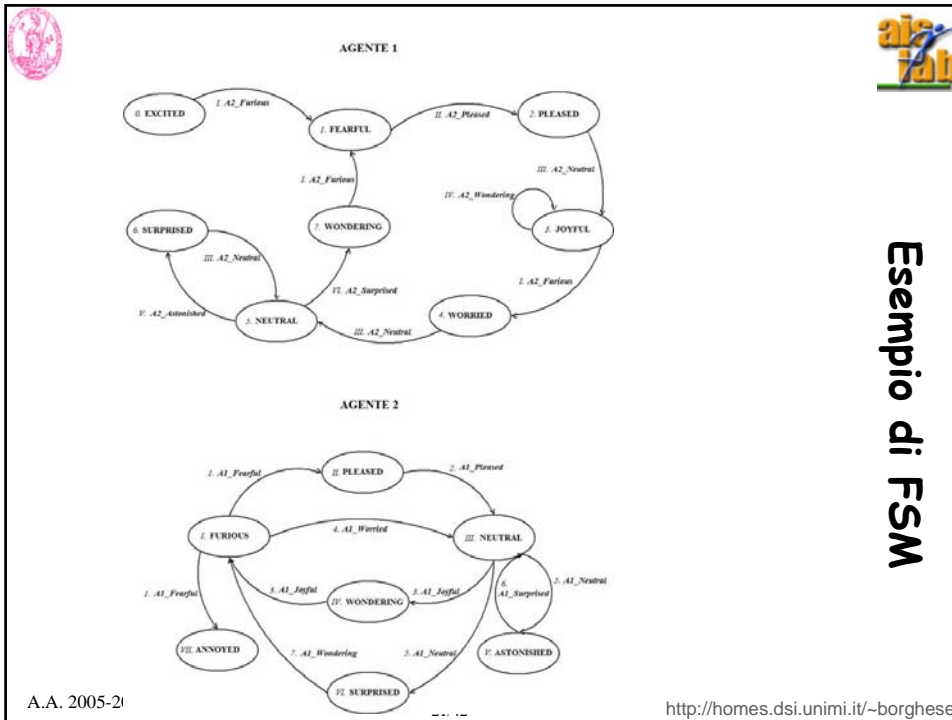


Descrizione di una macchina di Moore



STG: State Transition Graph (Diagramma degli stati o Grafo delle transizioni). Ad ogni nodo è associato uno stato. Un arco orientato da uno stato x_i ad uno stato x_j , contrassegnato da un simbolo (di ingresso) α , rappresenta una transizione (passaggio di stato) che si verifica quando la macchina, essendo nello stato x_i , riceve come ingresso il simbolo α .

STT: State Transition Table (Tabella degli Stati). Per ogni coppia, (Stato presente – Ingresso), si definisce l'Uscita e lo Stato Prossimo. La forma è tabellare e ricorda le tabelle della verità da cui è derivata.



Esempio di FSM

Vantaggi in questo approccio

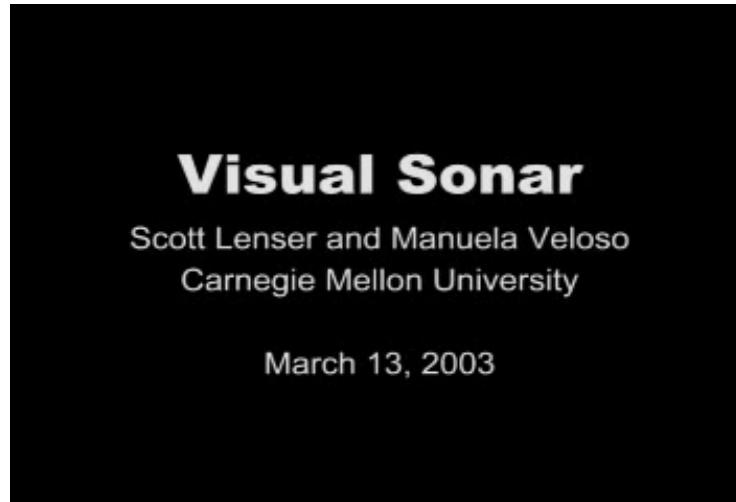
- Arricchimento del repertorio delle risposte comportamentali.
- A stimoli identici possono corrispondere risposte diverse a seconda dello **stato**.
- Esempio: palla vicina. Diverso se in difesa o in attacco (fallo laterale o tiro); se si vince o si perde (azione o melina).
- Si possono creare facilmente sequenze di azioni.
- Si possono creare dei cicli, ma esistono strumenti di analisi: le oscillazioni sono grandemente ridotte.

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

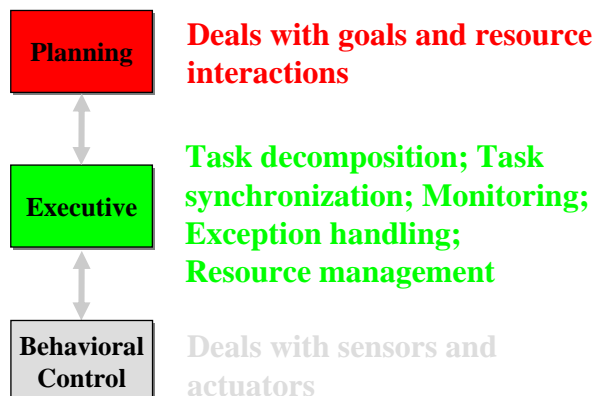




Esempio di comportamento reattivo



Three-Tiered Architectures

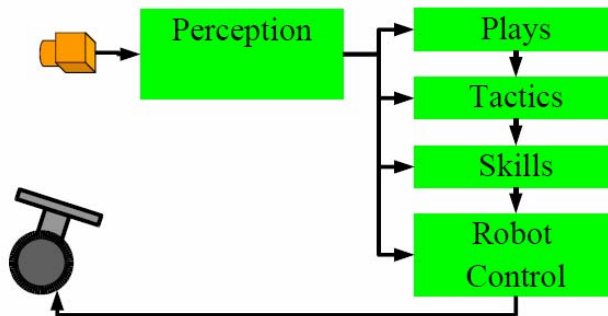




Struttura gerarchica di generazione di un behavior (Architettura STP)



- Skills – encode complex low-level actions
- Tactics – encapsulate single robot behavior
- Plays – For adaptive team strategy



A.A. 2005-2006

25/42

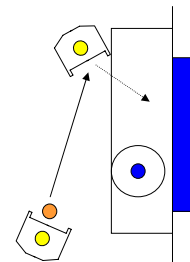
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Adaptive Playbook Strategy Engine



- Plays
 - ◆ A multi-robot plan represented as a temporal sequence of parameterized tactics
- Playbook language
 - ◆ Human understandable
 - ◆ Easy to add new plays like a real coach



Role 0

- Dribble to P_1
- Pass to R_2
- Wait for loose ball

Role 1

- Wait for Pass at P_2
- Receive Pass
- Shoot

A.A. 2005-2006

26/42

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



Valutazione di comportamenti deliberativi



Il planner decide di andare verso la palla:

Correre verso la palla

Camminare fino ad arrivare di lato alla palla per ottenere la migliore posizione di tiro.

Ogni comportamento può avere un insieme di sotto comportamenti (le tattiche) che dipendono dallo stato del task (play).



Sommario della lezione



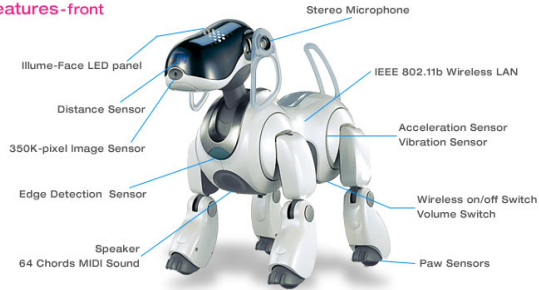
- Comportamento reattivo.
- Comportamento reattivo basato su modello.
- **Overview dei sensori ed attuatori di AIBO**



Aibo - Sony - ultima versione: 2003



► Features-front



ERS7

- Visione
- Movimento
- Coordinazione, flotta di robot (Wifi 802.11b).
- Sensoristica.

Linguaggio di programmazione: C++; ambiente di sviluppo OPEN-R; sistema operativo real-time, Aperios.

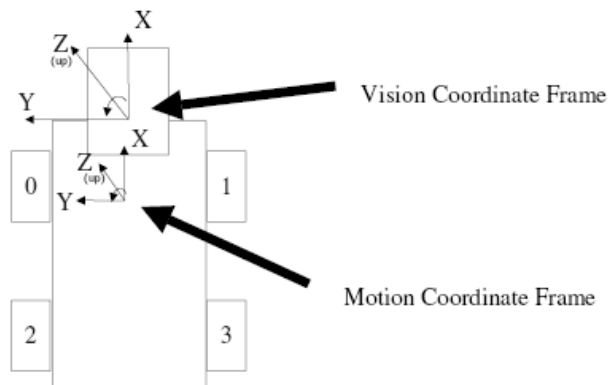


A.A. 2005-2006

29/42



I diversi Reference Frame



15-491 CMRoboBits

E anche: sensori di contatto, accelerometri, range sensor...

A.A. 2005-2006

30/42

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



I sensori principali degli AIBO



Videocamera (sul muso)

CMOS: 208 x 160 in YUV color space. 416 x 360 in B&W.

Utilizzo principale: riconoscimento di oggetti nell'ambiente.

Accelerometri triassiali

Misurano l'accelerazione.

Molto rumore (la posizione è l'integrale doppio)

Vengono utilizzati principalmente per capire se AIBO è caduto

Pulsanti

1 sulla testa, 3 sulla schiena.

Vengono utilizzati per avvio, pausa/stop, o altre azioni esplicite.



Altri sensori di AIBO



Sensori ad infrarosso:

Range sensors.

Misurano la distanza di un oggetto dalla testa e dal corpo.

Limite sul range tra 10cm e 90cm

Sensori di contatto:

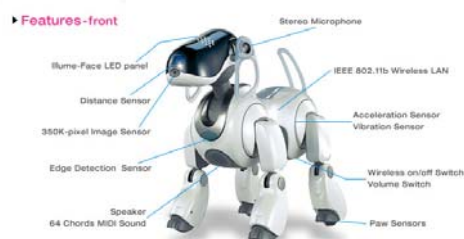
4 sensori, uno sotto ciascuna zampa.

Contatto con il pavimento.

Occorre premere con forza per attivarli.

Microfoni stereofonici

Possono essere utili per la localizzazione stereo di suoni.

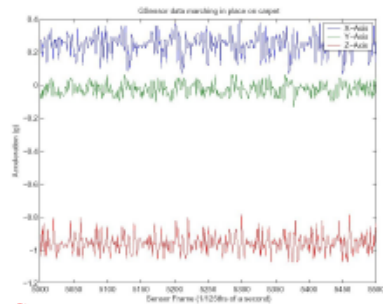




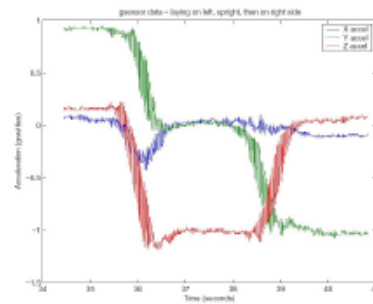
Il rumore sulle misure dei sensori



Robot standing



Robot held on left side, then rotated to upright, then rotated to right side down



15-491 CMRoboBits

A.A. 2005-2006

33/42

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



Implementazione del ciclo percezione-azione



- Execution is cyclic
 - Each cycle begins when new sensor data becomes available
 - Each cycle ends when behaviors return a motion command
- We tie the execution cycle rate to the framerate of the vision camera.
 - Ideally, we get 30 frames per second
 - Ideally because slow image processing could reduce the framerate, so effective image processing is needed
 - Other sensors actually have a faster framerate, but vision is strongly tied to behaviors



15-491 CMRoboBits

A.A. 2005-2006

34/42

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



Come gestire l'incertezza sulla misura?



- Sensory data is noisy
 - How to decide between two conflicting sensor readings?
 - One solution is thresholding



Question: is a single value a good solution?

15-491 CMRoboBits

A.A. 2005-2006

35/42

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



Una variabile per più insiemi fuzzy

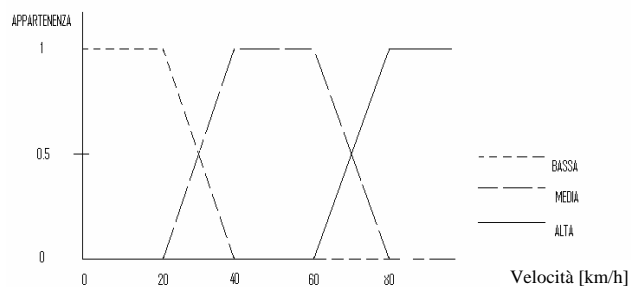


Velocità (km/h)	Grado di appartenenza a : (membership)		
	BASSA	MEDIA	ALTA
10	1	0	0
20	1	0	0
30	0.5	0.5	0
40	0	1	0
50	0	1	0
60	0	1	0
70	0	0.5	0.5
80	0	0	1

Differenti idee su cosa sia velocità bassa, media o alta.

In generale le funzioni di membership hanno forma trapezoidale o triangolari.

Sovrapposizione tra le funzioni circa 25%



A.A. 2005-2006



Frequenza campionamento dei sensori



- Le immagini vengono campionate a 30Hz.
- I microfoni inviano i dati al buffer audio a 16kHz.
- Le informazioni dai sensori vengono campionate ogni 8ms (coincidente con il motor frame), 125Hz.
- Le informazioni dai sensori vengono inviate all'esterno ogni 32ms (ogni 4 motor frame).



Frequenza di aggiornamento dei frame



- The following sensors are included in the general sensor reading message (all sensors reported in 8ms increments every 32ms):
 - Sensed joint angles for every joint.
 - PWM duty cycles for the motor actuating each joint.
 - These values range -512 to 512.
 - Accelerometer readings.
 - These readings are quite noisy.
 - Foot pad switch readings.
 - These are the binary switches in the feet.
 - These readings are very noisy.
 - IR range reading.
 - This reading is very accurate over the range of 10cm to 90cm.
 - A temperature reading.



Non tutta questa informazione serve a tutte le applicazioni



Come viene controllato il movimento

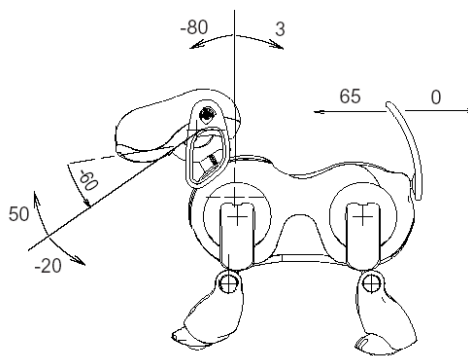


Problema di base: pianifichiamo e controlliamo un movimento – sequenza di posizioni 3D di ogni joint.

Ciascun joint è controllato da un motore elettrico che fa ruotare un joint rispetto all'altro.

A ciascun joint è associato un attuatore. Questo riceve in input la coppia (torque) che deve essere fornita e genera la corrente elettrica per fare ruotare il motore.

Come convertire la posizione in coppia?



A.A. 2005-2006

39/42

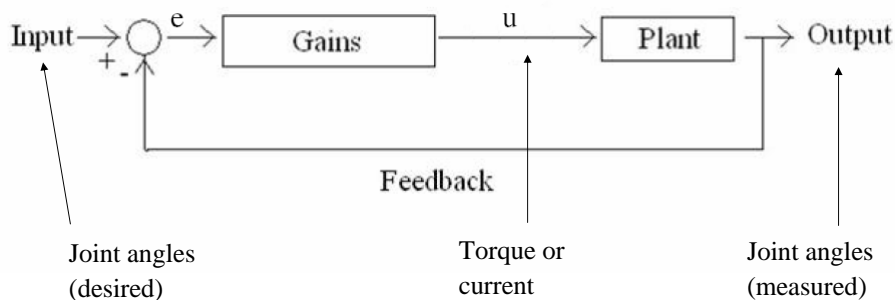
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



PID controller



Si inserisce un controllore retroazionato:



A.A. 2005-2006

40/42

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



Cosa vuol dire PID?



Proportional. Viene moltiplicato l'errore sulla posizione per una costante in modo tale da aumentare o diminuire la corrente al motore, aumentando o diminuendo quindi la rotazione.

Integral. Viene moltiplicata la somma degli errori precedenti. Eliminazione delle polarizzazioni, eliminazione delle oscillazioni (filtraggio passa-basso).

Derivative. Viene moltiplicata la differenza degli errori in due istanti successivi. Questo vuol dire che tanto più velocemente varia un errore tanto più velocemente risponde il filtro.

Esistono dei valori consigliati, si possono modificare per aumentare le prestazioni, ma.... Attenzione a non bruciare i motori!



Sommario della lezione



- Comportamento reattivo.
- Comportamento reattivo basato su modello.
- Overview dei sensori di AIBO