

# Metodi di Apprendimento Automatico per l'analisi automatica della deambulazione umana sviluppo e verifica di un applicazione per *Smartphone*

Ahadu Tsegaye

*Relatore* Prof. Angelo Maria Sabatini

*Co-relatore* Prof. Maria Cecilia Verri

Università degli Studi di Firenze  
Dipartimento di Informatica

*in collaborazione con*

L'Istituto di BioRobotica  
Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa

22 Febbraio 2012



# Indice

## Introduzione

Problema: segmentazione

Soluzione: Hidden Markov Models (HMM)

Valutazione

## Stato dell'arte

Parametri della deambulazione

Stima dei parametri della deambulazione in letteratura

## Lavoro

Parte I. Modellazione della deambulazione

Parte II. Applicazione Android<sup>TM</sup>

Parte III. Valutazione

## Risultati

## Conclusioni



## Analisi automatica ed in linea della deambulazione umana

- ▶ **analisi**: estrazione di parametri temporali della deambulazione (**Segmentazione**)
- ▶ **automatica**: che funziona senza interventi umani
- ▶ **in linea** (*online*): vincolo temporale sulla latenza tra verificarsi di un evento ed il tempo di rilevamento del sistema



# Soluzione: prototipo

## Logica

- ▶ **Modello stocastico per sequenze temporali della deambulazione:**  
HMM addestrata su  $n$  soggetti
- ▶ **Algoritmo di decodifica in linea:** versione in linea dell'algoritmo di Viterbi

## Hardware

- ▶ **Acquisizione dati deambulazione:**  
giroscopio monoassiale contenuto in una **IMU** (Inertial Measurement Unit)
- ▶ **Posizionamento:** collo del piede ed orientato con l'asse sensibile sul piano mediale-laterale
- ▶ **Trasmissione:** comunica dati e riceve comandi via *Bluetooth*



## Software

- ▶ **Controllo, elaborazione e visualizzazione:** *Smartphone Android™*



# Valutazione del prototipo

## Metodo di verifica del funzionamento

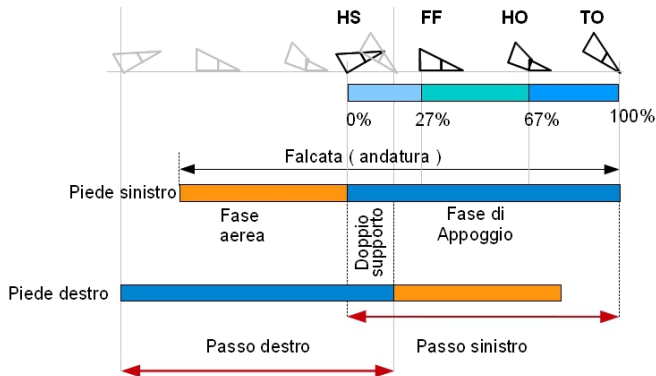
- ▶ Stima velocità sistema ideato : *IMUspeed*
- ▶ Stima velocità GPS: *GPSspeed*
- ▶ Confronto:  $IMUspeed \approx GPSspeed$  ?



# Parametri della deambulazione

## Modellazione

1. Heel Strike
2. Foot Flat
3. Heel Off
4. Toe Off



## Valutazione

1. Velocità:  $v [m/s]$
2. Cadenza:  $C = \text{num passi/s}$



# Stima dei parametri della deambulazione in letteratura

## Miyazaki (1997) [1]

**Strumento:** Giroscopio uniassiale

**Posizione:** coscia

**Metodo:** integrazione velocità angolare

## Sabatini et al (2005) [3]

**Strumento:** 1 Giroscopio monoassiale,  
2 accelerometri biassiali

**Posizione:** collo del piede

**Metodo:** basato su soglie  
(*threshold-based*)

## Aminian et al.(2002) [2]

**Strumento:** 2 Giroscopi

**Posizione:** coscia e stinco

**Modello:** modello biomeccanico a  
pendolo invertito della gamba

**Metodo:** basato sulle trasformate  
*Wavelet*

## Pfau et al (2008) [4]

**Strumento:** 1 accelerometro triassiale,  
1 giroscopio triassiale, un magnetometro

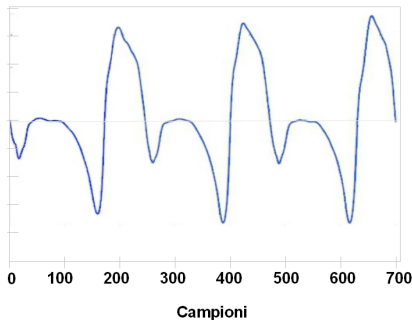
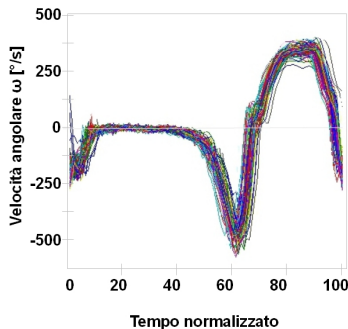
**Posizione:** dorso e torace

**Modello:** HMM per la segmentazione  
del galoppo



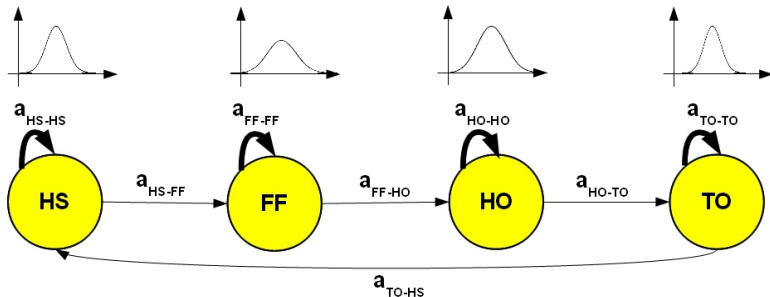
# Raccolta e morfologia dei dati

Attività	cammino
Soggetti	6
Velocità	{3, 4, 5, 6, 7} km/h
Durata	2 minuti per attività
Strumenti	IMU, Vicon, tappeto rullante
Luogo	Laboratorio
Dati raccolti	valori giroscopio monoassiale
Freq. camp	100 Hz





# HMM per l'analisi della deambulazione



## HMM minimale

- ▶  $S = \{HS, FF, HO, TO\}$
- ▶ Sinistra-Destra ciclico

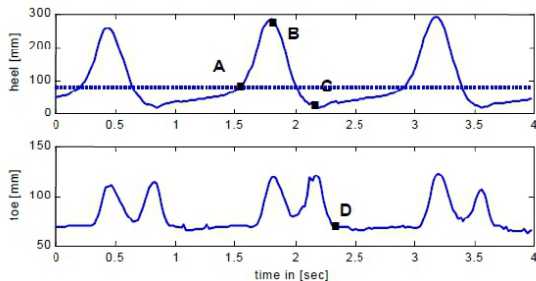
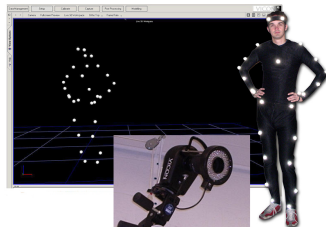
$$a_{ij} > 0 \Leftrightarrow \begin{cases} j = i \\ j = i + 1 \\ i = N \text{ e } j = 1 \end{cases}$$

- ▶ Emissioni gaussiane monovariate

$$b_j(x) = \mathcal{N}(x, \mu_j, \sigma_j) = \frac{1}{\sigma_j \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_j)^2}{2\sigma_j^2}}$$



# Addestramento e validazione modello (1/2): etichettamento



►  $\pi_i = N_i / N_{tot}$

►  $a_{ij} = \begin{cases} C/N_i & \text{se } j = (i+1)\%Q \\ 1 - C/N_i & \text{se } j = i \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$   $C$  cicli deambulazione nel *Training Set*

►  $b_i(\Omega(t)) = \left\langle \mu_i = \frac{1}{N_i} \sum_{t=1}^T \Omega(t), \quad \sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N_i - 1} \sum_{t=1}^T (\Omega(t) - \mu_i)^2} \right\rangle$



## Addestramento e validazione modello (2/2): *leave one subject out cross validation*

Validazione della capacità di generalizzazione del modello

<b>P<sub>1</sub></b>						<b>run<sub>1</sub></b>
	<b>P<sub>2</sub></b>					<b>run<sub>2</sub></b>
		<b>P<sub>3</sub></b>				<b>run<sub>3</sub></b>
			<b>P<sub>4</sub></b>			<b>run<sub>4</sub></b>
				<b>P<sub>5</sub></b>		<b>run<sub>5</sub></b>
					<b>P<sub>6</sub></b>	<b>run<sub>6</sub></b>



# La segmentazione

## Algoritmo di Viterbi

Data  $\langle HMM, O \rangle$ , la decodifica restituisce sequenza più probabile di stati  $S^*$ .

1. Fase *Forward*: costruzione di sequenze parziali a probabilità massima
2. Fase *Backtracking*: calcolo a ritroso della sequenza più probabile

## Problema

*Backtracking* non in linea

## Soluzione

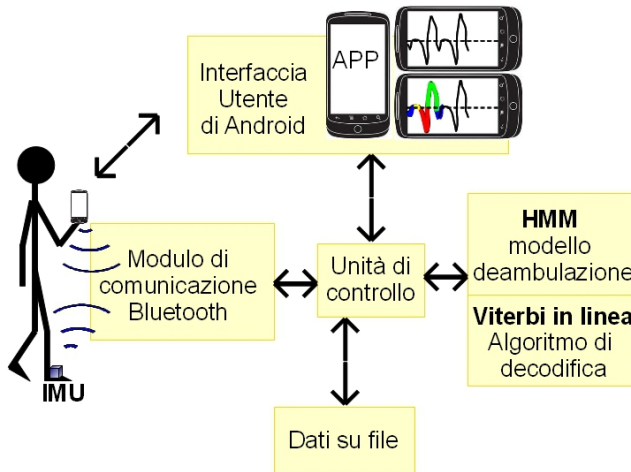
*Short-Time Viterbi* Bloit-Rodet 2008 [5]

## Funzionamento Viterbi in linea

1. creazione di una finestra temporale  $[a, b]$
2. applicazione Viterbi solo fase *Forward*
3. *Backtracking* da ciascuno stato finale
4. le sequenze da  $a$  fino a  $\tau$  ( $\tau \leq b$ ) combaciano  $\Rightarrow$  segmentazione
  - ▶ spostamento finestra  $a = a + \tau$  e  $b = a + 1$  e fase (2)
5. altrimenti
  - ▶ allargamento finestra  $b = b + 1$  e fase (2)



# Architettura dell'applicazione

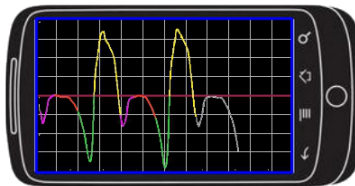


# Interfaccia utente



## Criteri di programmazione

- ▶ semplicità
- ▶ classe Activity
- ▶ programmazione a eventi



# Gestione processi, Comunicazione

## Thread e Android: massima reattività (5s di blocco tollerato)

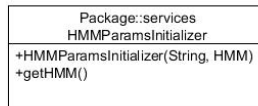
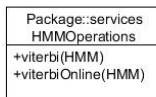
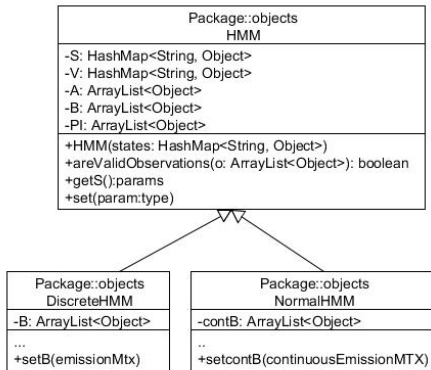
- ▶ *UI-thread* (main) delega operazioni lunghe o potenzialmente bloccanti.
- ▶ Asincrono: un *task* viene eseguito da *worker thread* ed il risultato viene pubblicato sullo *UI-thread* mediante Handler

## Comunicazione

- ▶ Intent: sistema di messaggistica per Activity ed altri componenti
- ▶ Application: stato globale dell'applicazione

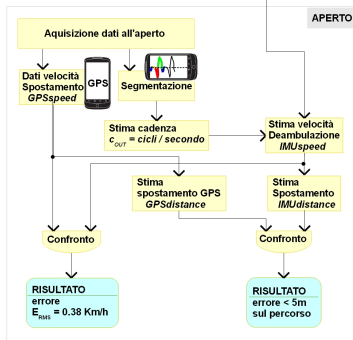
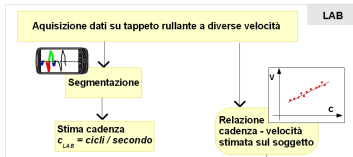


# Implementazione HMM e Viterbi in Java - Android™

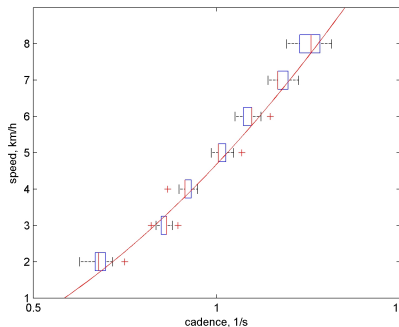




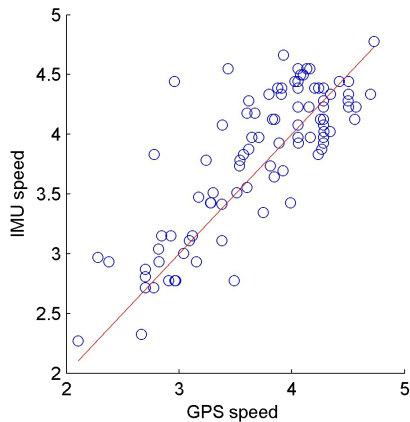
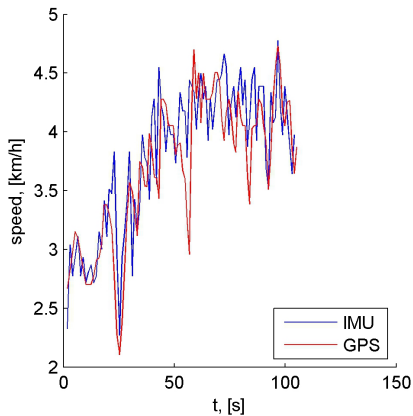
# Valutazione delle prestazioni del sistema



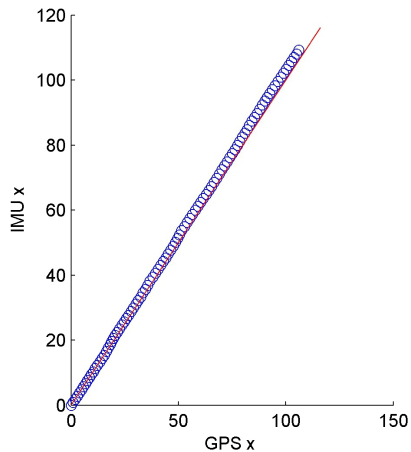
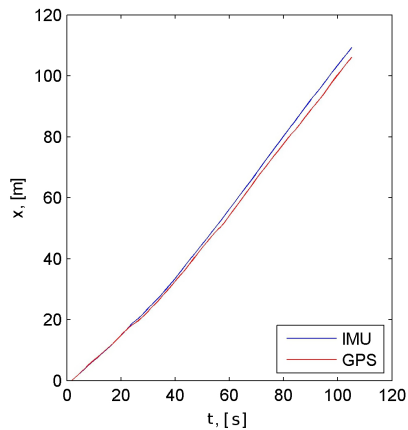
<b>Attività</b>	cammino
<b>Soggetti</b>	1
<b>Velocità</b>	{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8} km/h
<b>Durata</b>	1 : 30 minuti per attività
<b>Strumenti</b>	IMU, Smartphone, tappeto rullante
<b>Luogo</b>	Laboratorio
<b>Dati raccolti</b>	valori giroscopio segmentati
<b>Freq. camp.</b>	100 Hz



# Risultati: stima della velocità



# Risultati: stima della distanza



# Conclusioni

## Successi

- ▶ è in grado di segmentare in linea la deambulazione
- ▶ in grado di generalizzare
- ▶ hardware minimale: *Smartphone* e singolo giroscopio

## Possibile applicazione

Spia di deambulazione anormale

## Sviluppi futuri

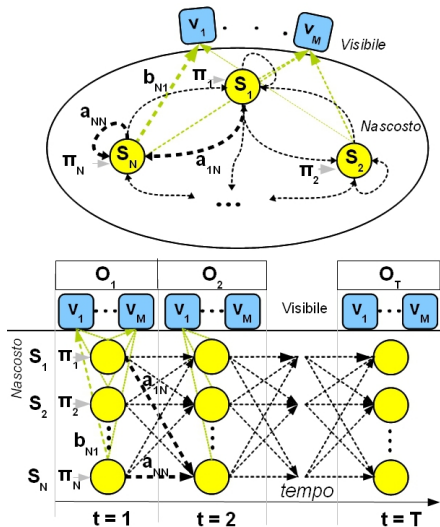
- ▶ Sperimentazione su larga scala: addestramento e verifica
- ▶ Riconoscimento di attività mediante gerarchia di HMM



# Grazie!



# Definizione di un'Hidden Markov Model (HMM)



HMM =  $\langle N, M, \mathbf{A}, \mathbf{B}, \pi \rangle$  dove:

1.  $N = |S|$ : stati nascosti
2.  $M = |V|$ : alfabeto osservazione
3.  $\mathbf{A}\{a_{ij}\}$ : probabilità di transizione  
 $a_{ij} = \wp[q_t = S_j | q_{t-1} = S_i]$
4.  $\mathbf{B}$ : probabilità di emissione  
 $b_j(k) = \wp[v_k \text{ all'istante } t | q_t = s_j]$
5.  $\pi$ : probabilità a priori  
 $\pi_i = \wp(q_1 = S_i)$



# La segmentazione: algoritmo di Viterbi

Viterbi

- 1: *{Inizializzazione}*
- 2: **for**  $i = 0$  to  $N$  **do**
- 3:    $\delta_{i,1} = \pi_i b_i(o_1)$
- 4:    $\psi_{i,1} = 0$
- 5: **end for**
- 6: *{Iterazione}*
- 7: **for**  $t = 2$  to  $T$  **do**
- 8:   **for**  $i = 1$  to  $N$  **do**
- 9:      $\delta_{i,t} = \max_{1 \leq j \leq N} [\delta_{j,t-1} a_{j,i}] * b_i(o_i)$
- 10:     $\psi_{i,t} = \arg \max_{1 \leq j \leq N} [\delta_{j,t-1} a_{j,i}]$
- 11:   **end for**
- 12: **end for**
- 13: *{Terminazione}*
- 14:  $P^* = \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_{i,T}]$
- 15:  $q_T^* = \arg \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_{i,T}]$
- 16: *{Backtracking}*
- 17: **for**  $t = T - 1$  to  $1$  **do**
- 18:    $q_t^* = \psi_{q_{t+1}^*, t+1}$
- 19: **end for**





S. Miyazaki, "Long-term unrestrained measurement of stride length and walking velocity utilizing a piezoelectric gyroscope," *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering*, vol. 44(8), pp. 753–759, 1997.



K. Aminian, B. Najafi, C. Bula, P. F. Leyvraz, and P. Robert, "Spatio-temporal parameters of gait measured by an ambulatory system using miniature gyroscopes," *Journal of Biomechanics*, vol. 35(5), pp. 689–99, 2002.



A. M. Sabatini, C. Martelloni, S. Scapellato, and F. Cavallo, "Assessment of walking features from foot inertial sensing," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 52, pp. 486–494, 2005.



T. Pfau, M. Ferrari, K. Parsons, and A. Wilson, "A hidden markov model-based stride segmentation technique applied to equine inertial sensor trunk movement data," *Journal of Biomechanics*, vol. 41, pp. 216–220, 2008.



X. R. Julien Blot, "Short-time viterbi for online hmm decoding : Evaluation on a real-time phone recognition task," *Acoustics, Speech and Signal Processing, 2008. ICASSP 2008. IEEE International Conference*, pp. 1–8, 4/4/2008.

