

## Urjenje gibov spodnjih ekstremitet v večpredstavnem navideznem okolju

Tomaž Koritnik

Laboratorij za robotiko in biomedicinsko tehniko



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko

## Uvod

- Napredek v rehabilitaciji spodnjih ekstremitet
- Povečevanje števila paretičnih bolnikov
  - Sodoben način življenja: šport, promet, bolezni
  - Staranje prebivalstva
- Učinek terapije se poveča z uporabo kognitivne povratne zveze
- Večpredstavna navidezna resničnost
  - Vidna povratna zveza
  - Haptična povratna zveza
  - Zvok in električna stimulacija

## Cilji

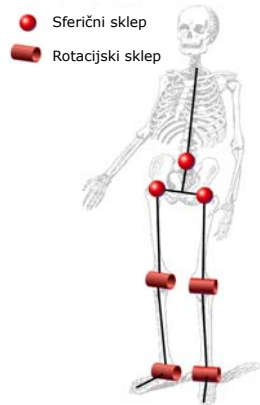
- Razvoj navideznega okolja na podlagi kinematičnega modela
- Študij prilagoditve gibanja spodnjih ekstremitet v navideznem okolju
- Primerjava med vplivi različnih modalnosti
- Metodologija za opisovanje prilagoditve
- Uporabnost eksperimentalnih rezultatov za nove pristope z navidezno resničnostjo
- Sistem z navideznim okoljem, vidno povratno zvezo in nalogami za vadbo

## Navidezno ogledalo



## Kinematični model človeškega telesa

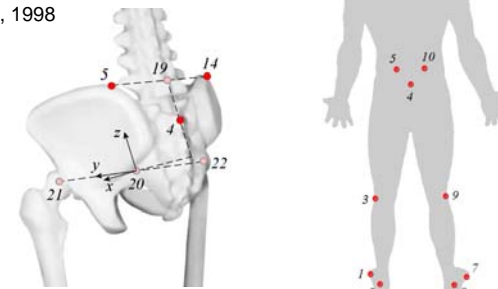
- Izračun kinematike človeškega telesa
- Poenostavljen zgornji del telesa
- Sferični in rotacijski sklepi
- 8 togih segmentov
- 19 prostostnih stopenj



## Merjenje gibanja

- Sistem OPTOTRAK
- 11 aktivnih markerjev
- Frekvenca osveževanja 70 Hz

Frigo, 1998



## Obravnavanje singularnosti

$$\mathbf{y}_{LL} = \mathbf{z}_{LT} \times \mathbf{z}_{LL}$$

$$\mathbf{y}_{LF} = \mathbf{z}_{LL} \times \mathbf{x}_{LF}$$

$$\mathbf{x}_{LP} = \mathbf{y}_P \times \mathbf{z}_{LT}$$

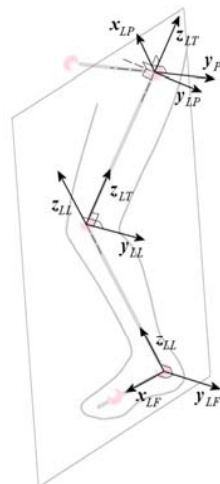
$$\mathbf{y}_{LP} = \mathbf{z}_{LT} \times \mathbf{x}_{LP}$$

$$f_{LL} = |\mathbf{y}_{LL}|$$

$$f_{LF} = \begin{cases} (1 - |\mathbf{y}_{LL}|) \cdot |\mathbf{y}_{LF}| & ; (1 - |\mathbf{y}_{LL}|) > 0 \\ 0 & ; (1 - |\mathbf{y}_{LL}|) < 0 \end{cases}$$

$$f_{LP} = \begin{cases} 1 - (f_{LL} + f_{LF}) & ; (1 - (f_{LL} + f_{LF})) > 0 \\ 0 & ; (1 - (f_{LL} + f_{LF})) < 0 \end{cases}$$

$$\mathbf{y}'_{LL} = f_{LL} \mathbf{y}_{LL} + f_{LF} \mathbf{y}_{LF} + f_{LP} \mathbf{y}_{LP}$$



## Prikaz modela v navideznem okolju

- VRML 2.0
- Matlab Virtual Reality toolbox
- Podpora Open GL zagotavlja hiter 3D prikaz



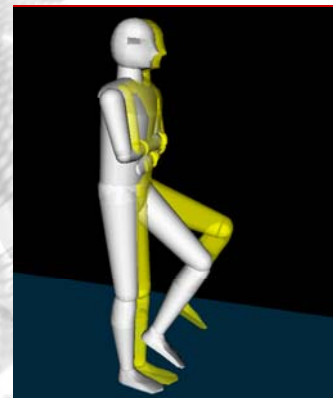
## Navidezno ogledalo

- Vizualizacija z osveževalno frekvenco 35 Hz v realnem času



## Navidezni učitelj

- Uporaba vidne povratne zveze
- Prikaz 2 navideznih figur hkrati
- Navidezni učitelj je predprogramiran s ponavljajočimi se gibi
- Oseba se mora s svojimi gibi čim bolj prilagoditi gibom navideznega učitelja



## Korakanje na mestu

- V več pogledih podobno hoji
- Uveljavljen test v kliničnem okolju
- Enaka delitev kot pri hoji:
  - Faza enojne opore
  - Faza dvojne opore
  - Faza zamaha
- Brez tekočega traku
  - Ni vsiljene hitrosti
  - Olajšano merjenje
  - Varnejše za bolnike

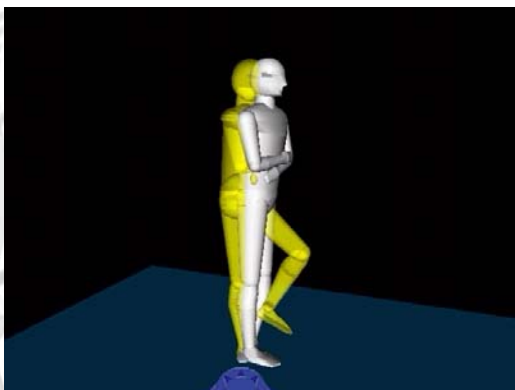
## Korakanje na mestu

- Korakanje na mestu kot naloga v navideznem okolju
- Sledenje navideznemu učitelju pri različnih kadencah ter različnih kotih v kolku:

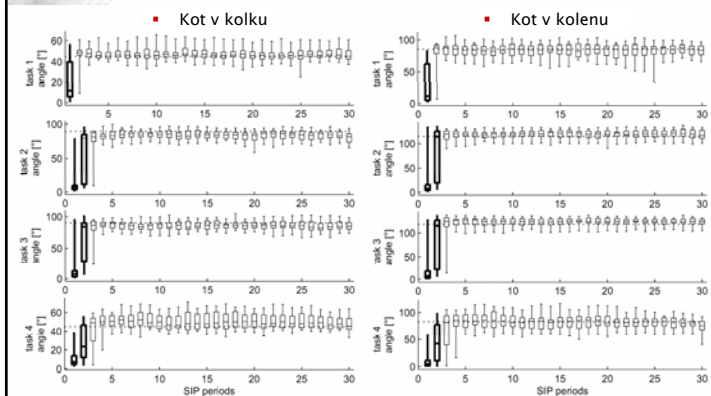
Naloga	1	2	3	4
Kot v kolku (°)	45	90	90	45
Kadenca (udarci/min)	60	60	90	120

- S primerjavo referenčnih in izmerjenih goniogramov je moč preučevati prostorsko (amplitudno) in časovno prilagoditev navideznemu učitelju
- Preliminarna študija z 10 zdravimi osebami

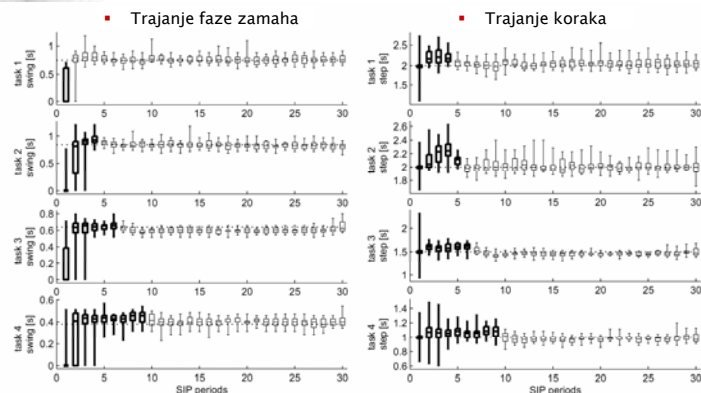
## Prikaz v navideznem okolju



## Prostorska prilagoditev



## Časovna prilagoditev



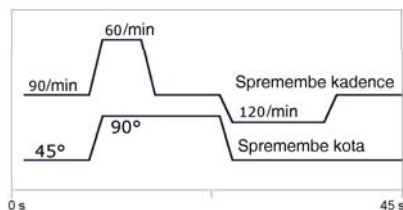
## Navidezno ogledalo z zvokom in senzorno električno stimulacijo

- 4 naloge združene v eno nalogo v navideznem okolju
- Spremembe kotov in kadence v referenčnem poteku
- 3 modalnosti
  - Vidna povratna zveza
  - Zvočni signali
  - Senzorna električna stimulacija
- 12 zdravih oseb



## Sledenje korakanja na mestu

- Spremenljiva kadenca korakanja na mestu: 60, 90, in 120 udarcev na minuto
- Spremenljiv kot v kolku: 45° in 90°
- V nalogi se pojavijo 4 perturbacije:
  - 2x se spremeni samo kadenca
  - 2x se spremenita kadenca in kot v kolku



## Parametri naloge

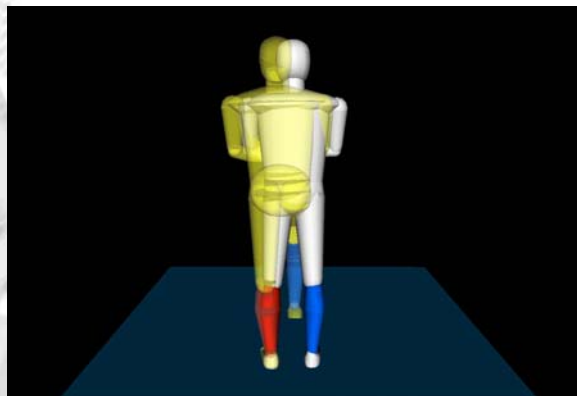
### Zvok:

- Signal za začetek faze zamaha, zvok piščali
- Trajanje signala:  $t = 200$  ms
- Različni frekvenci za levo in desno ekstremiteto
- Konstantna glasnost

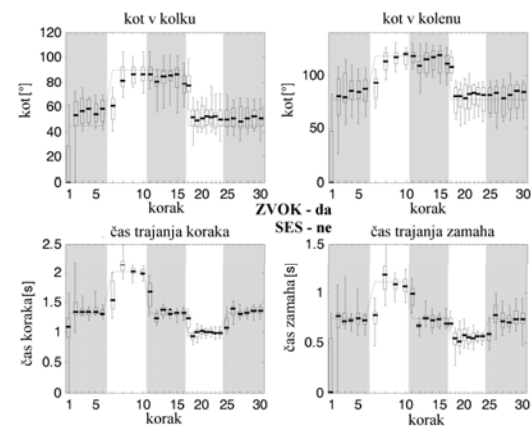
### Senzorna električna stimulacija:

- Signal za začetek faze zamaha
- Elektrode so nameščene na kožo nad mišicama soleus
- Frekvenca:  $f = 100$  Hz
- Trajanje pulza:  $T_p = 3$  ms
- Trajanje vlaka pulzov:  $T_t = 200$  ms
- Konstantna amplituda

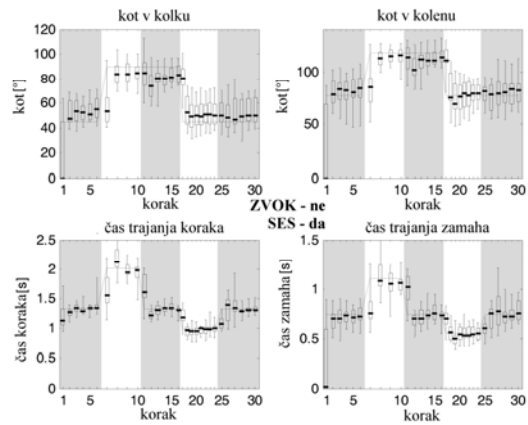
## Prikaz v navideznem okolju



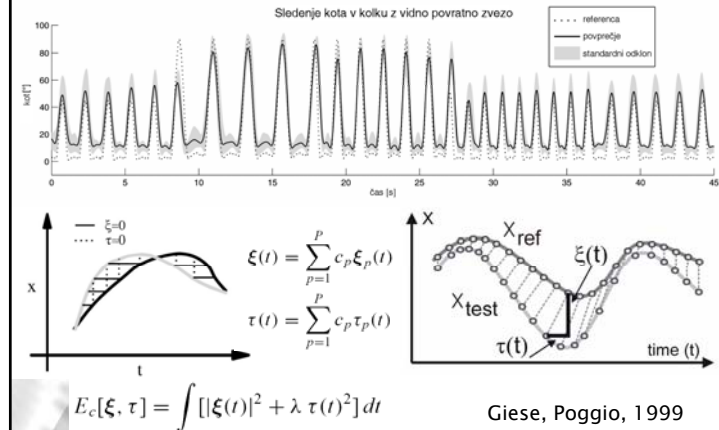
## Prilagoditev z vključenim zvokom



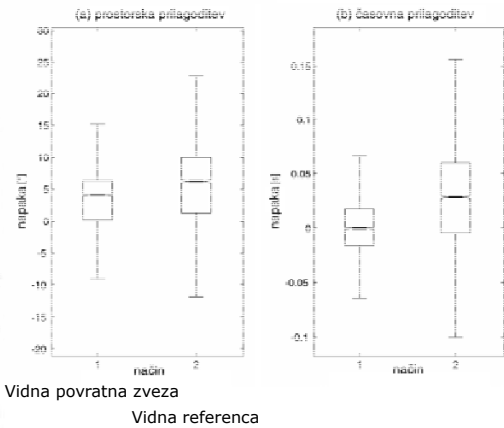
## Prilagoditev z vključeno senzorno električno stimulacijo



## Vrednotenje prilagoditve



## Prostorska in časovna prilagoditev



## Haptična povratna zveza

- Rehabilitacijski robot Lokomat
- Isto navidezno okolje, poenostavljen kinematični model
- Korakanje na mestu
- Primerjava med vidno in haptično modalnostjo
- 11 zdravih oseb



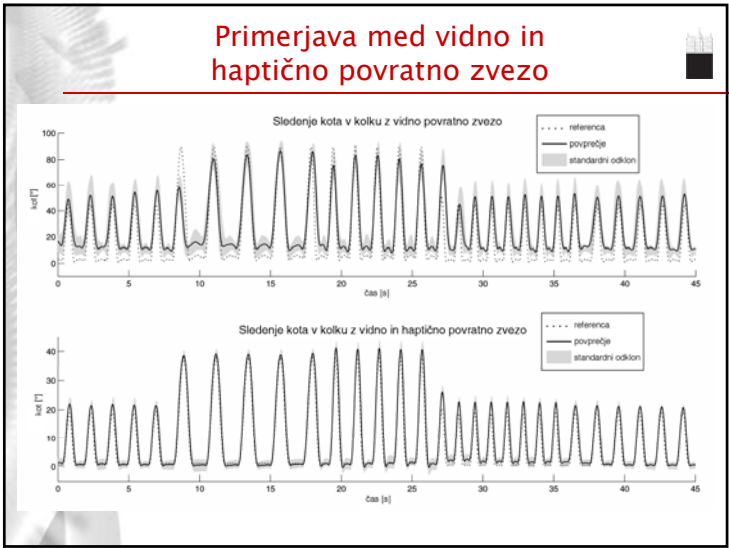
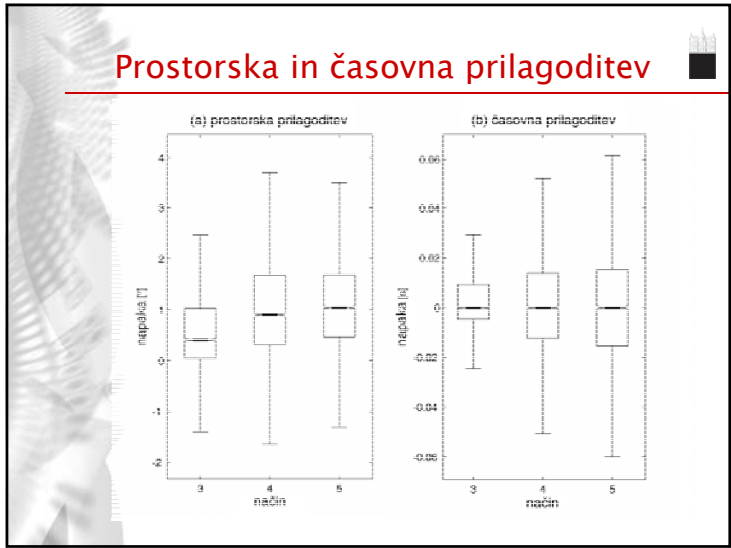


## Haptična povratna zveza

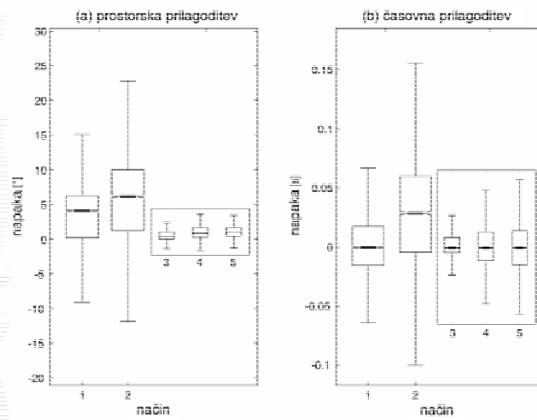
- Majhna vrednost impedanca v shemi vodenja: 0.3 x max impedanca
- Naloga: minimizacija razlike kotov med osebo in referenčnim potekom

	Haptična povr. zveza	Vidna povr. zveza	Vidna referenca
način 3	✓	✓	✓
način 4	✓	/	✓
način 5	✓	/	/

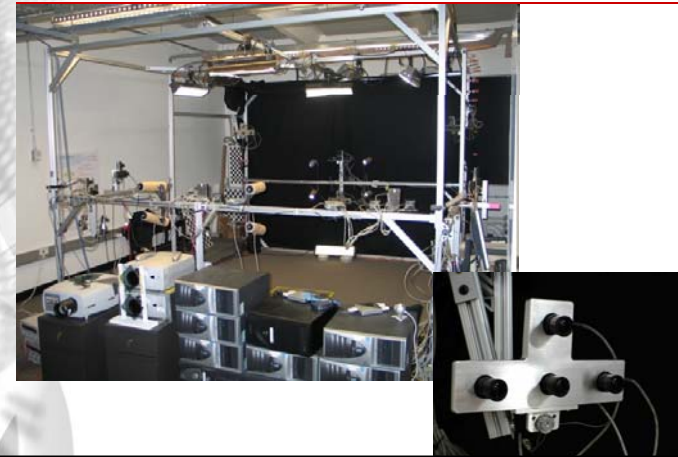
Kombinacije modalnosti



## Primerjava med vidno in haptično povratno zvezo



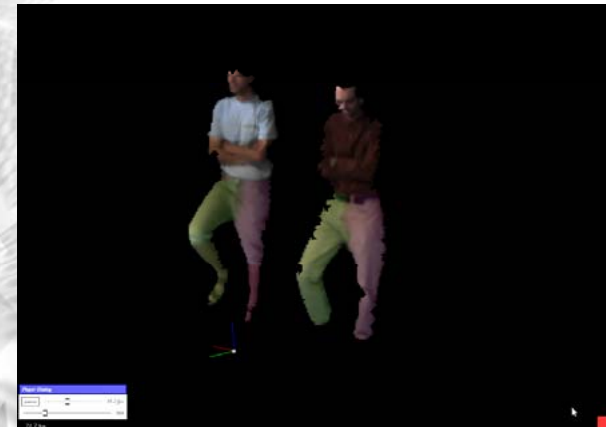
## Vidna povratna zveza s 3D videom



## Vidna povratna zveza s 3D videom

- Korakanje na mestu z opazovanjem 3D videa
- Navidezni učitelj je posnet vnaprej in je resnična oseba
- Kako se ljudje odzivajo in prilagajajo 3D video okolju pri izvajanju naloge
- Video povratna zveza obogatena z navideznimi tarčami za sledenje

## “Pravi” navidezni učitelj





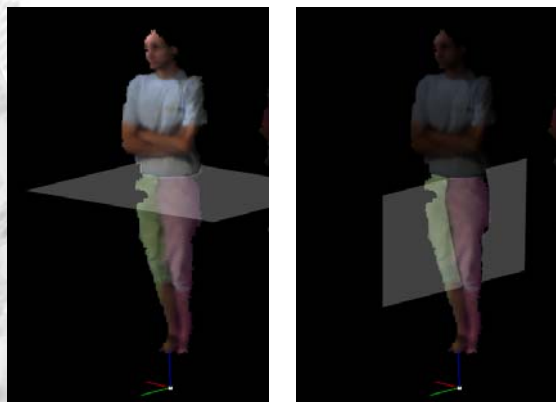
## Vidna povratna zveza s 3D videom



## Ocenjevanje kota v kolku v realnem času

- Segmentacija telesa: spodnji-zgornji del, leva-desna polovica
- Redukcija (sploščitev) 3D podatkov na 2D projekcijo v sagitalni ravnini za vsako spodnjo ekstremiteto
- Ekstrakcija točk, ki določajo potek stegenice od kolka do kolenskega sklepa, s parametri Zatsiorskega
- Prilagajanje premice čez točke po metodi najmanjših kvadratov in določitev kota glede na vertikalo

## Segmentacija telesa na podlagi 3D informacije



## Prilagajanje premice vzdolž poteka stegenice



## Hibridno 3D video/navidezno okolje



Sledenje navideznim tarčam, superponiranim v 3D video okolje

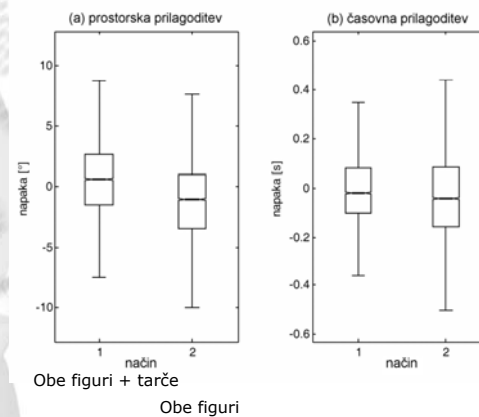
## Sledenje navideznemu učitelju

- Korakanje navideznega učitelja je konstantno, brez perturbacij
- Sledenje poteka v 2 modusih:
  - 1. Samo obe figuri
  - 2. Obe figuri + navidezne tarče

## Prikaz v hibridnem 3D video/navideznem okolju

- Video tomaz 1

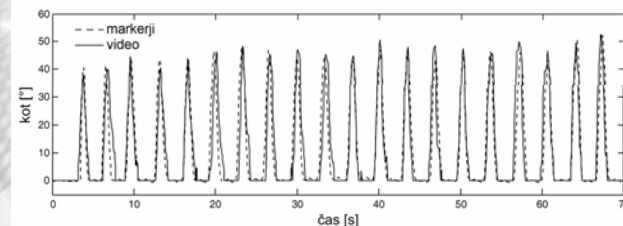
## Ocenjevanje prilagoditve



## Vrednotenje ocenjevanja



## Vrednotenje ocenjevanja



- Verifikacija 3D video ocenjevanja kotov z markerji
- Povprečna napaka zanemarljiva, raztros  $\pm 4^\circ$
- Časovno zaostajanje 270 ms  $\rightarrow$  osebe med sledenjem kompenzirajo ta zamik

## Sklepi

- Primerjava vidne, zvočne in eksteroceptivne povratne informacije, izvedba v navideznem ogledalu – navideznem okolju za urjenje spodnjih ekstremitet
- Primerjava koordiniranega gibanja spodnjih ekstremitet v večpredstavnem navideznem okolju pri uporabi vidne in haptične povratne zveze
- Izvedba urjenja spodnjih ekstremitet s 3D video sistemom brez markerjev z možnostjo urjenja na daljavo

## Sklepi

- Vidna povratna zveza omogoča boljšo prilagoditev oseb navideznemu učitelju kot samo vidna referenca
- Prilagoditev s haptično povratno zvezo je boljša kot z vidno, se jo pa da še izboljšati s kombinacijo obeh predstavnosti
- Izsledki spodbujajo vpeljavo haptičnih naprav, nadgrajenih z vidno povratno zvezo, v klinično okolje
- Prihodnost sistemov z vidno povratno zvezo je v računalniškem vidu in v telerehabilitaciji – rehabilitaciji na daljavo, kjer lahko bolnik sodeluje v procesu od doma

## Navidezno ogledalo in paretični bolnik

- Bolnik z nepopolno poškodbo hrbtenjače (C5)
- Leva stran je močnejše prizadeta od desne
- Naloga je izbrana glede na zmožnosti bolnika
- Povratna informacija iz navideznega okolja predstavlja motivacijo za vadbo



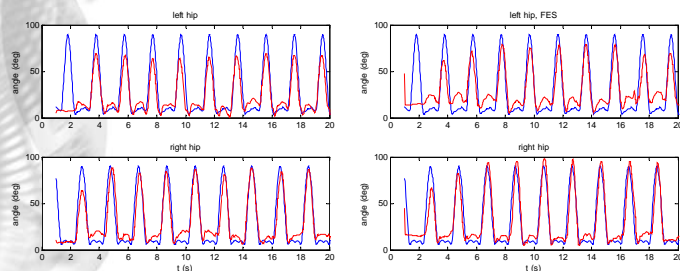
## Navidezno ogledalo in paretični bolnik

- FES proži fleksijski refleks
- Stimulator nastavi terapevt
- Prikaz v navideznem ogledalu lahko izboljša koordinacijo med terapevtom in bolnikom



## Navidezno ogledalo in paretični bolnik

- Sledenje kota v kolku



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Javna agencija  
za raziskovalno dejavnost  
Republike Slovenije



JAVNI SKLAD REPUBLIKE SLOVENIJE  
ZA RAZVOJ KADROV IN ŠTIPENDIJE  
**AD FUTURA**



Univerzitetni rehabilitacijski inštitut  
Republike Slovenije - Soča

**uniklinik  
balgrist**