Att automatiskt förstå vad som händer

En kort översikt av min forskning och mina kurser, samt vad de kan användas till

Thomas Schön

Institutionen för Informationsteknologi
Uppsala Universitet

UPPSALA
UNIVERSITET

Vilka vi är

Tohid Ardeshiri

Manon Kok

Liang Dai

Johan Dahlin

Christian A. Naesseth

Johan Wågberg

Andreas Svensson

Samt ett stort antal samarbetspartners världen runt.

Dynamiska system finns överallt!

Några exempel på **dynamiska system** som vi jobbar med i vår forskning.

Skapa **nya probabilistiska modeller** för dynamiska system och utveckla metoder som **automatiskt kan lära sig** dessa modeller från uppmätta data.

Använd dessa modeller för att **automatiskt förstå och styra** system.

Vad vill jag att ni tar med från denna föreläsning?

1. **Modeller** som kan hantera och beskriva **osäkerhet.**

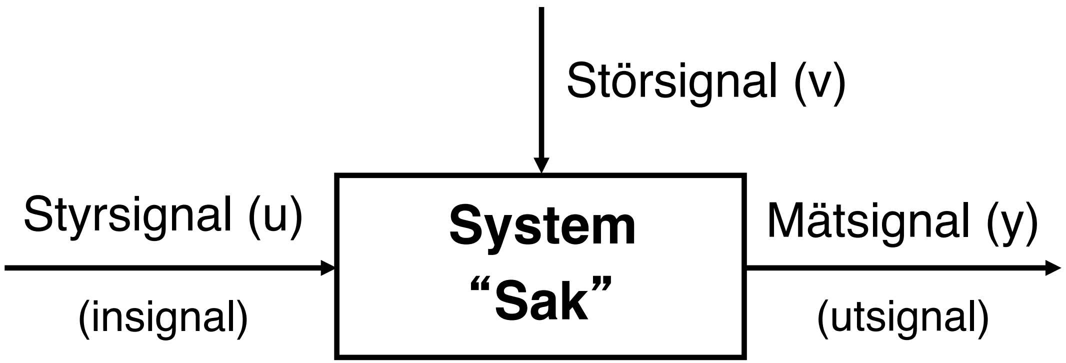
2. Vikten av **återkoppling (feedback)** vid beslutsfattande.

Låt oss titta på ett konkret exempel

"Reglerteknik är konsten att få saker att uppföra sig som man vill"

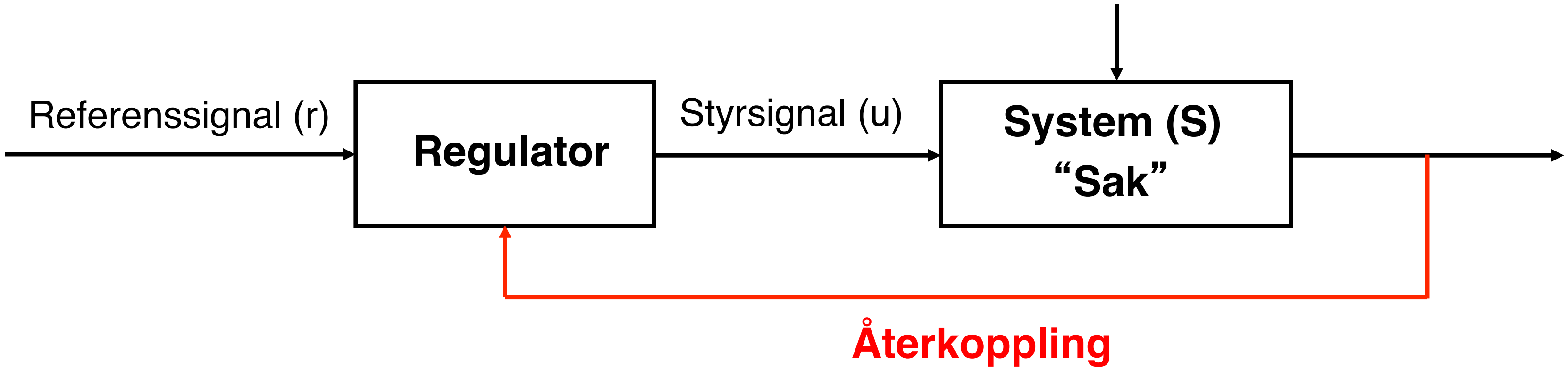
Låt oss titta på ett konkret exempel

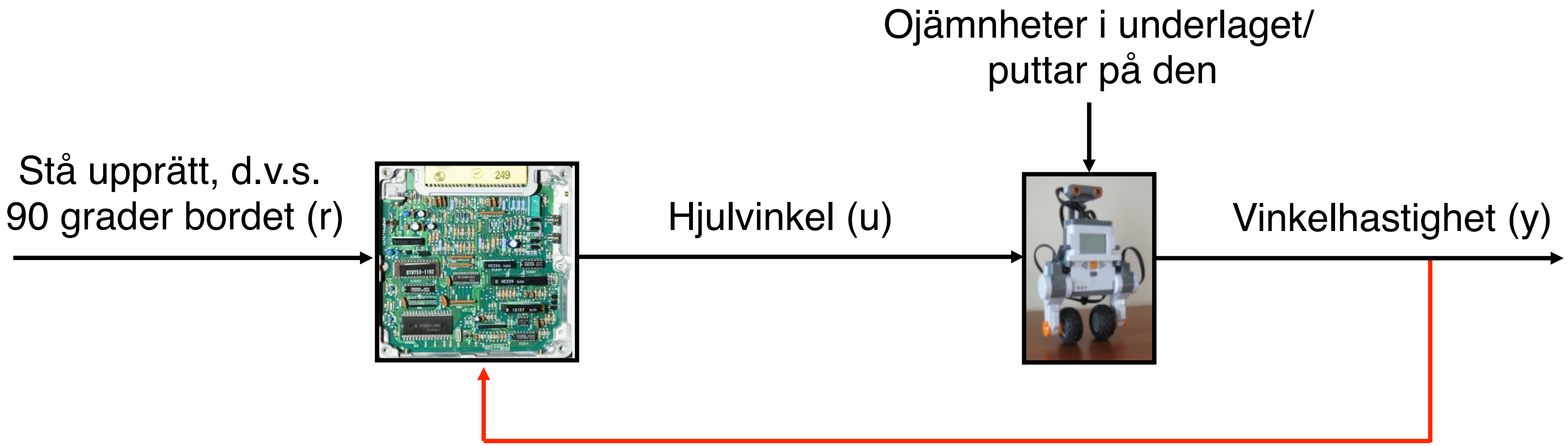
"Reglerteknik är konsten att få saker att uppföra sig som man vill"



Reglerproblemet: Välj styrsignalen u (automatiskt) så att systemet (enligt mätsignalen y) uppför sig som vi vill (enligt referenssignalen r) trots störningar v.

Låt oss titta på ett konkret exempel





https://www.youtube.com/watch?v=pp89tTDxXuI

Människokroppen är full av återkopplingar

Agenda

1. Introduktion
2. Ett konkret exempel på en “inverterad pendel”
3. **Ytterligare några exempel (från bilbranschen)**
4. Stabilt fundament - matematik
5. Vad är en matematisk modell?
6. Att använda en matematisk modell för att resonera under osäkerhet
7. Mäta mänsklig rörelse med hjälp av en matematisk modell

---

1. **Modeller** som kan hantera och beskriva **osäkerhet.**
2. Vikten av **återkoppling (feedback)** vid beslutsfattande.

Låt oss ta ytterligare några exempel

Reglerteknik är konsten att få saker (här en bil) att uppföra sig som man vill.

Reglermål: Stabilisera bilens kursvinkel.

Standardmanöver, dubbelt filbyte i 100 km/h. Regulatorn påverkar framhjulens vinkel (aktiv styrning).

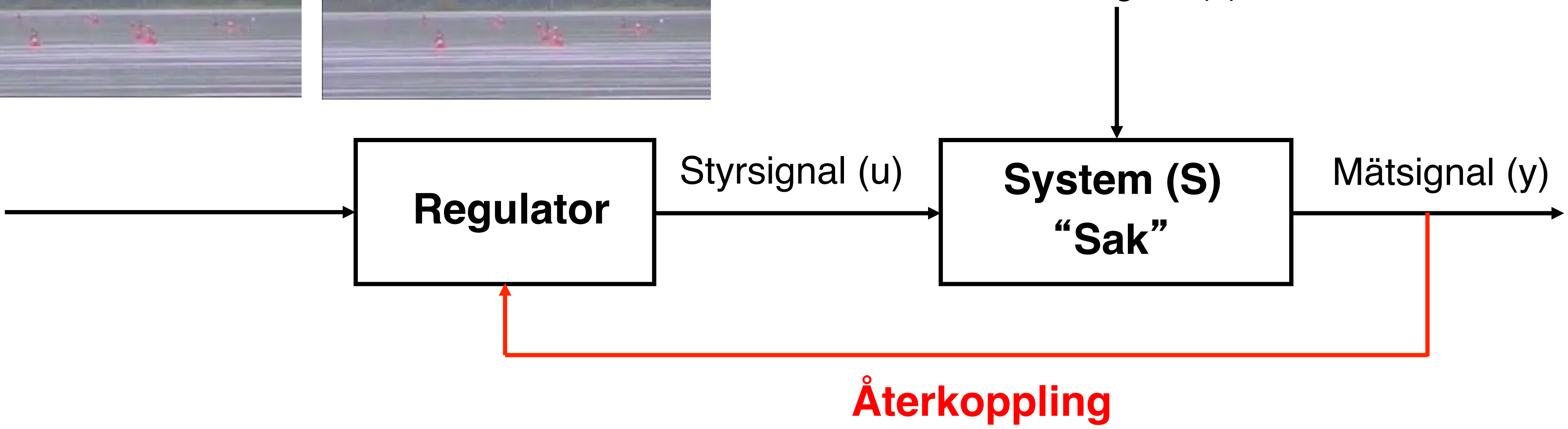
Utan regulator

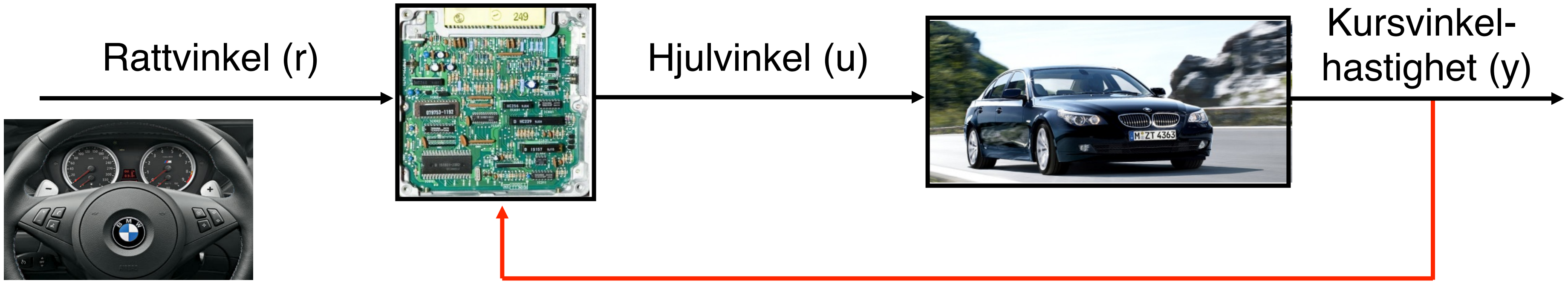
Med regulator

Filmerna är använda med tillstånd från ZF Lenksysteme

ZF Lenksysteme

Låt oss ta ytterligare några exempel





Autonoma bilar

Varje år dör omkring 1,2 miljoner människor i trafiken, d.v.s. ungefär 90 människor under den tid jag håller denna föreläsning.

De flesta av dessa olyckor beror på mänskliga fel.

Lag från 1 mars 2012 (Nevada, USA) som tillåter autonoma bilar, d.v.s. maskiner som kör av sig själva.

Radar

Vanlig kamera

IR kamera

Stor potential för användandet av matematiska modeller och sensorer för koordinering av transporter med lastbilar.

Några intressanta (skrämmande) siffror,

Andel lastbilar som körs tomma: **24%**

Genomsnittlig lastkapacitet: **57%**

Autonoma bilar

Vad vi gör i mitt team och vad vi vill göra framöver

I mitt team jobbar vi med att bygga matematiska modeller av dynamiska system som kan förklara:

1. Det vi **vet** att vi **vet**
2. Det vi **vet** att vi **inte vet**

I framtiden hoppas jag att vi i än större grad kan automatisera sådant som vi **inte visste** att vi **inte visste**.

Våra modeller tillåter maskiner och människor att veta vad som händer just nu.

Denna kunskapen kan sedan användas för att automatiskt fatta beslut om vad som ska hända härnäst.

Vikten av ett stabilt fundament

Allt vi gör har en **stabil grund i matematik.**

En **matematisk modell** är en **kompakt** och **tolkningsbar** beskrivning av de data som finns uppmätta.

The Monte Carlo idea (II/II) 20(48)

The integral

$$I(g(z)) \triangleq \mathrm{E}\left[g(z)\right] = \int g(z)\pi(z)\mathrm{d}z.$$

is approximated by

$$\widehat{I}_N(g(z)) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} g(z^i).$$

The strong law of large numbers tells us that

$$\widehat{I}_N(g(z)) \xrightarrow{\text{a.s.}} I(g(z)), \qquad N \to \infty,$$

and the central limit theorem state that

$$\frac{\sqrt{N}\left(\widehat{I}_N(g(z)) - I(g(z))\right)}{\sigma_g} \xrightarrow{\text{d}} \mathcal{N}(0,1), \qquad N \to \infty.$$

Thomas Schön, *DREAMS Tutorial – The particle filter*
UC Berkeley, February 20, 2013.
AUTOMATIC CONTROL
REGLERTEKNIK
LINKÖPINGS UNIVERSITET

ation strategy – data augmentation

e states by treating them as auxiliary variables to be
ong with the parameters.

lternate between updating θ and $x_{1:T}$.

ion Maximization (EM)

a conditional expectation

$$k]) \triangleq \int \log p_\theta(x_{1:T}, y_{1:T})\,\underbrace{p_{\theta[k]}(x_{1:T} \mid y_{1:T})}\,\mathrm{d}x_{1:T}.$$

ize $\mathcal{Q}(\theta, \theta[k])$ w.r.t. θ

$$\theta[k+1] = \arg\max_{\theta}\ \mathcal{Q}(\theta, \theta[k]).$$

SMC is used to approximate the JSD $p_{\theta[k]}(x_{1:T} \mid y_{1:T})$.

12 / 29 Thomas Schön 2nd Swedish-Israeli Control Conference, Haifa, Israel, Nov. 9, 2014.

With $M = T - t + 1$ and $w(k) = w_{t-1}^k$, the distributions of interest are given by

$$\rho(k) = \frac{w(k)\prod_{s=1}^{M} h_s(k)}{\sum_l w(l)\prod_{s=1}^{M} h_s(l)} \qquad \text{and} \qquad \widehat{\rho}_\ell(k) = \frac{w(k)\prod_{s=1}^{\ell} h_s(k)}{\sum_l w(l)\prod_{s=1}^{\ell} h_s(l)},$$

respectively. Let $\varepsilon_s \triangleq \max_{k,l}\left(h_s(k)/h_s(l) - 1\right) \le A\exp(-cs)$ and consider

$$\left(\sum_l w(l)\prod_{s=1}^{\ell} h_s(l)\right)\prod_{s=\ell+1}^{M} h_s(k) \le \sum_l\left(w(l)\prod_{s=1}^{\ell} h_s(l)\prod_{s=\ell+1}^{M} h_s(l)(1+\varepsilon_s)\right) = \left(\sum_l w(l)\prod_{s=1}^{M} h_s(l)\right)\prod_{s=\ell+1}^{M}(1+\varepsilon_s).$$

It follows that the KL divergence is bounded according to,

$$D_{\mathsf{KLD}}(\rho\|\widehat{\rho}_\ell) = \sum_k \rho(k)\log\frac{\rho(k)}{\widehat{\rho}_\ell(k)} = \sum_k \rho(k)\log\left(\frac{\prod_{s=\ell+1}^{M} h_s(k)\left(\sum_l w(l)\prod_{s=1}^{\ell} h_s(l)\right)}{\sum_l w(l)\prod_{s=1}^{M} h_s(l)}\right)$$

$$\le \sum_k \rho(k)\sum_{s=\ell+1}^{M}\log(1+\varepsilon_s) \le \sum_{s=\ell+1}^{M}\varepsilon_s \le A\sum_{s=\ell+1}^{M}\exp(-cs) = A\frac{e^{-c(\ell+1)} - e^{-c(M+1)}}{1-e^{-c}}.$$

■

Matematiska modeller

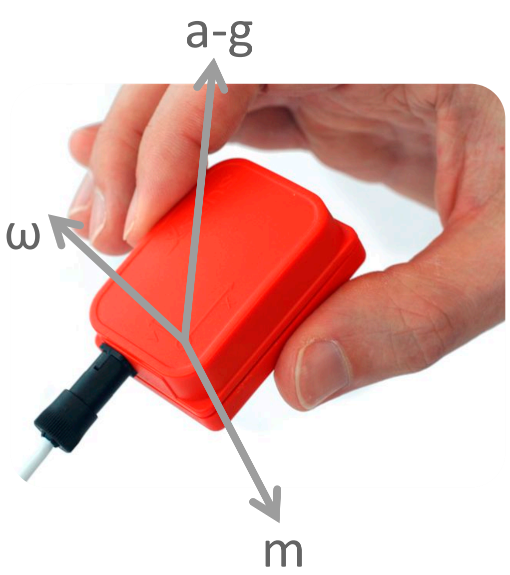
En **matematisk modell** är en **kompakt** och **tolkningsbar** beskrivning av de data som finns uppmätta.

Användandet av en matematisk modell - exempel

Mål: Att mäta mänsklig rörelse, d.v.s. beräkna position, orientering, hastighet och acceleration för en person eller ett objekt under en viss tid.

Sensorerna vi använder:

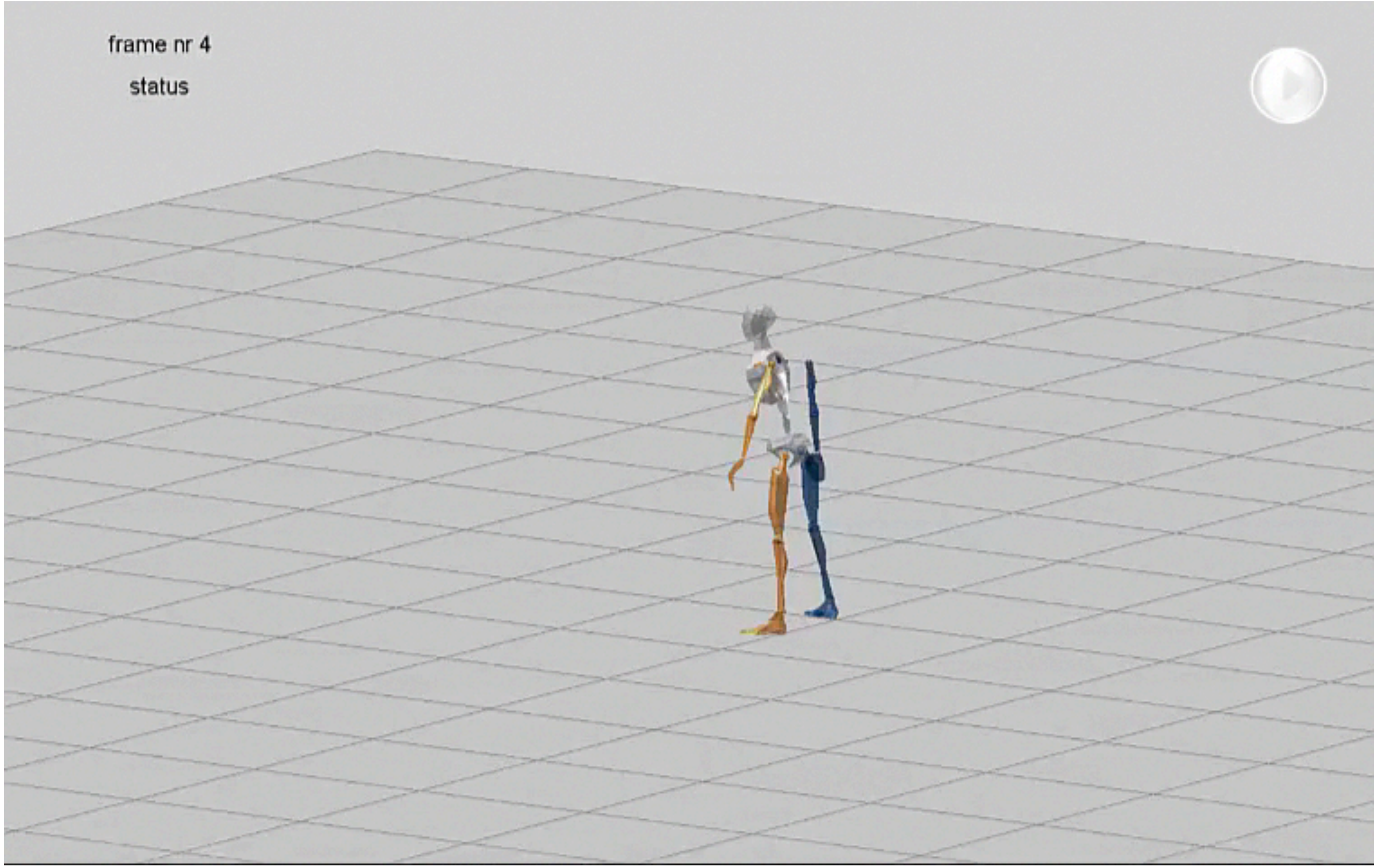
- 3D accelerometer (acceleration)
- 3D gyroskop (vinkelhastighet)
- 3D magnetometer (magnetfältet)



17 sensorer monteras på kroppen

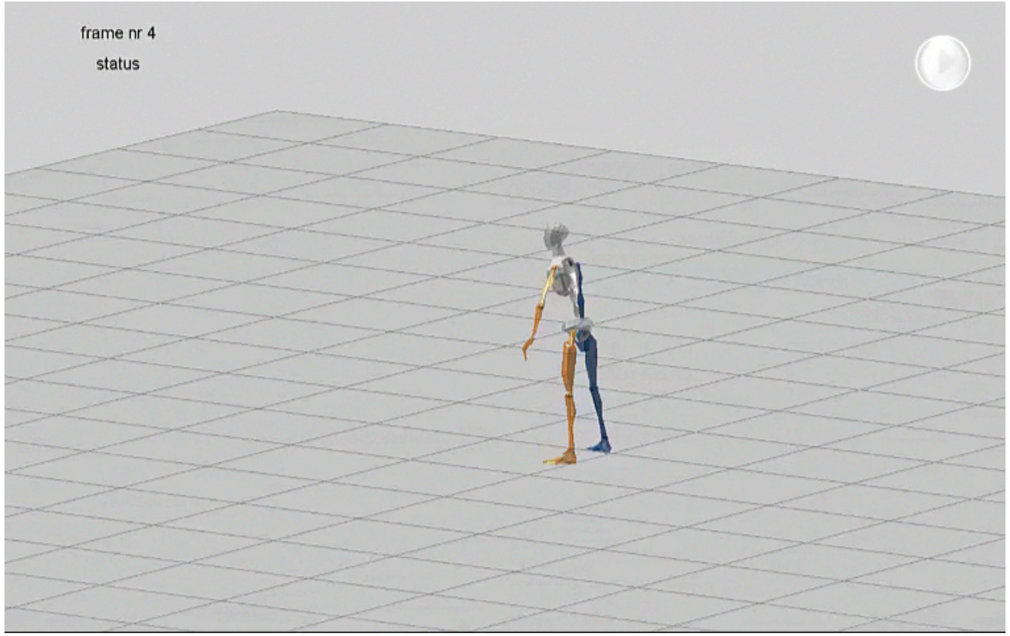
Användandet av en matematisk modell - exempel

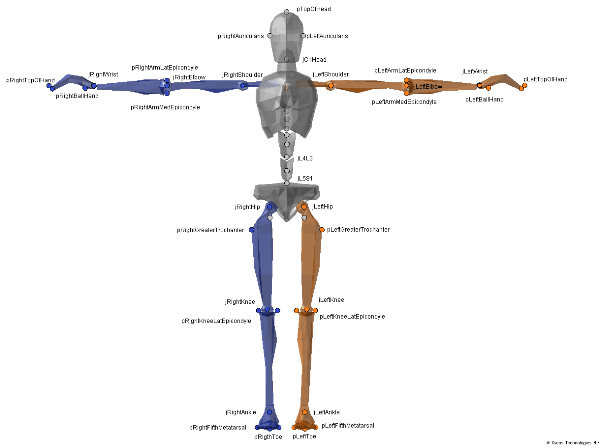
1. Vi använder enbart informationen från tröghetssensorerna.



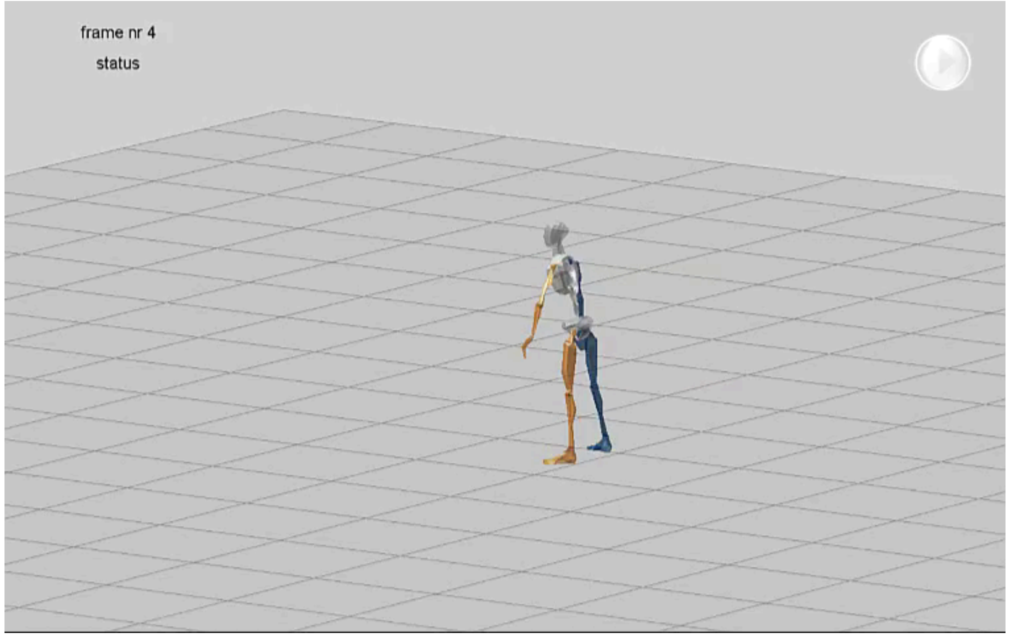
Användandet av en matematisk modell - exempel

2. Tröghetss. + biomekanisk modell



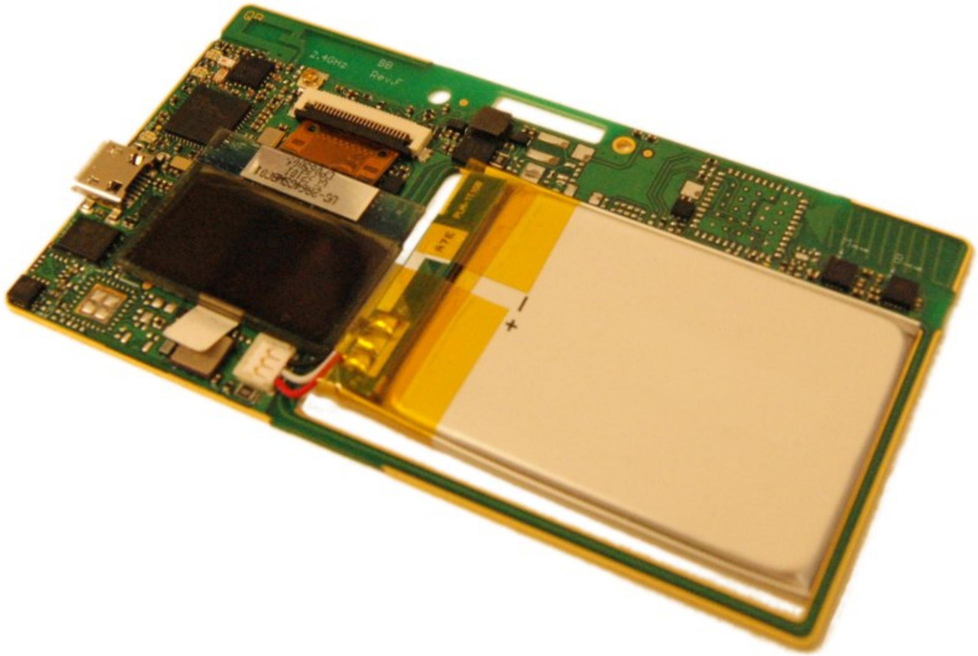


3. Tröghetss. + biomekanisk modell + världsmodell

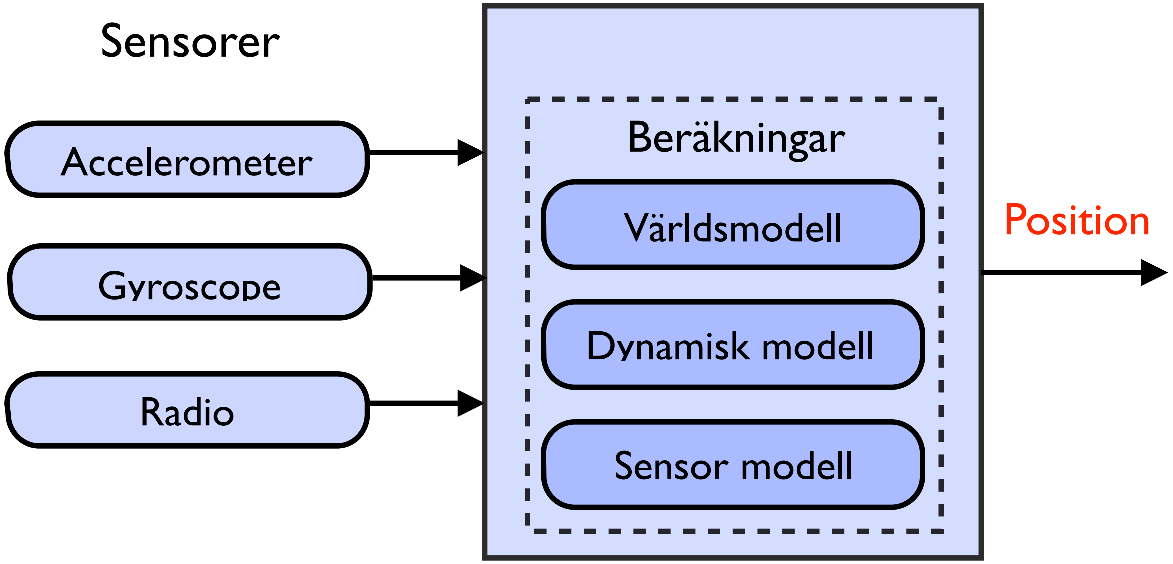


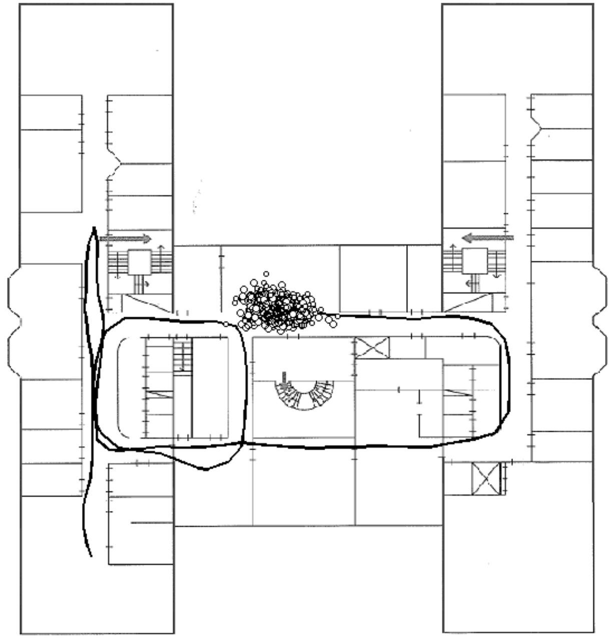
Att resonera under osäkerhet - ett exempel

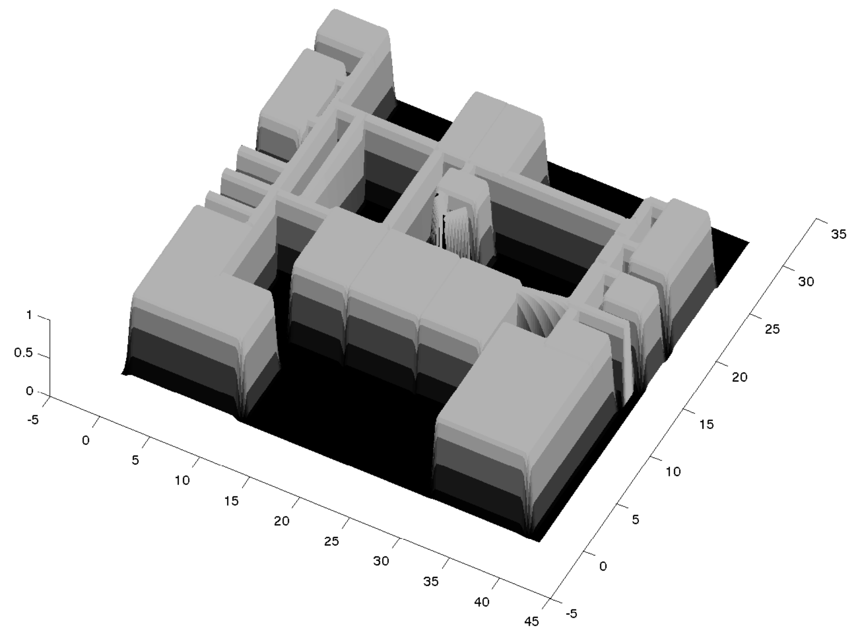
Mål: Beräkna position för en person som rör sig inomhus med hjälp sensorer (tröghetssensorer, magnetometer och radio) och en karta.



Att resonera under osäkerhet - ett exempel

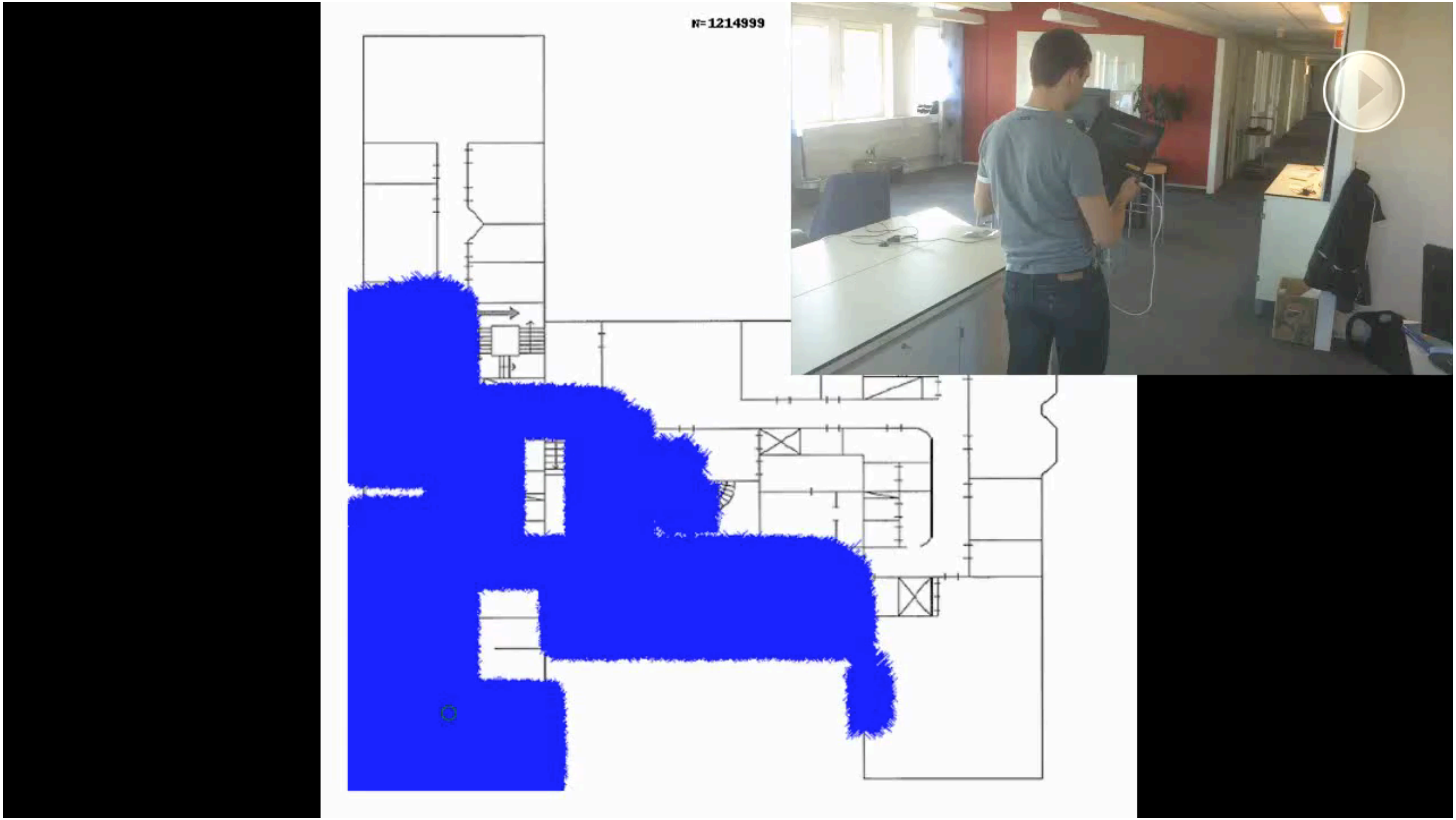






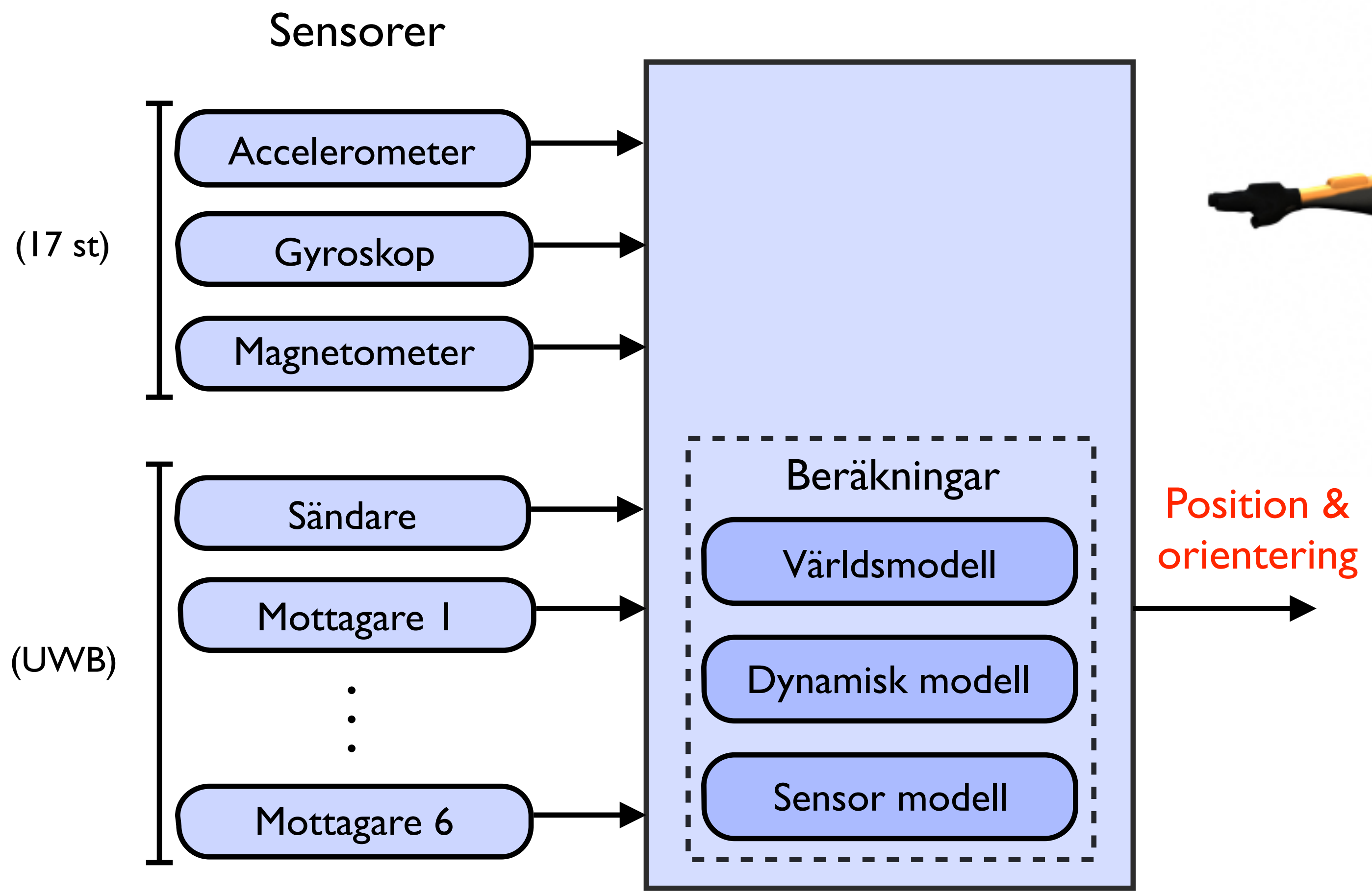
Matematiken för att lösa detta problem är ca 20 år gammal, jag har jobbat med den i 10 år.

Att resonera under osäkerhet - ett exempel



Att använda en modell - förstå mänsklig rörelse

Mål: Beräkna position och orientering för en person (d.v.s. mäta mänsklig rörelse) som rör sig inomhus med hjälp sensorer (tröghetssensorer och radio).



Att använda en modell - förstå mänsklig rörelse

Att använda en modell - förstå mänsklig rörelse

Team - det är människor som bedriver forskning

Forskning handlar om att **tänka saker som ingen annan människa tänkt förut**.

Forskning och utbildning handlar mycket om **människor**.

För att skapa ny kunskap är **nya idéer** en förutsättning.

En annan förutsättning är att idéerna sedan **genomförts** och realiseras för att skapa värde.

Alltså: Det är mycket viktigt att det finns duktiga, nyfikna och engagerade personer - **team**!

Sammanfattning

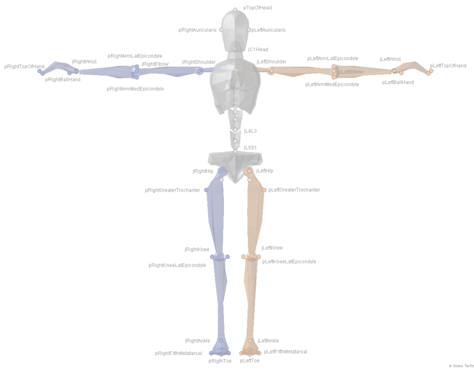
Skapa **nya probabilistiska modeller** för dynamiska system.

Utveckla metoder som **automatiskt kan lära sig** dessa modeller från uppmätta data.

Använd dessa modeller för att **automatiskt förstå och styra** system.

- Det finns mycket spännande forskning kvar att göra!
- Antalet tillgängliga data och sensorer ökar lavinartat.
- Den industriella nyttan av denna teknologi ökar ständigt.
- Forskningen utförs av människor.

Tack för att ni lyssnade!!

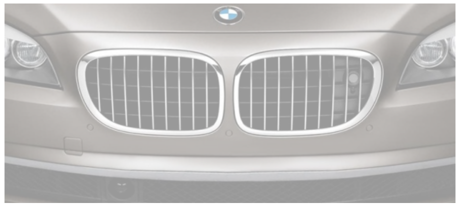


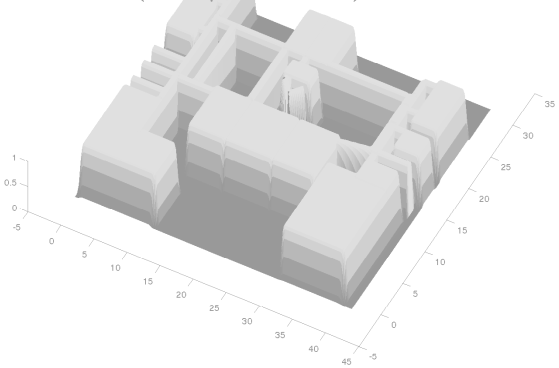
$$p(x_t \mid y_{1:t}) = \frac{h(y_t \mid x_t)p(x_t \mid y_{1:t-1})}{p(y_t \mid y_{1:t-1})},$$

$$p(x_t \mid y_{1:t-1}) = \int f(x_t \mid x_{t-1})p(x_{t-1} \mid y_{1:t-1})\mathrm{d}x_{t-1},$$

$$x_{t+1} \mid x_t \sim f_\theta(x_{t+1} \mid x_t, u_t),$$

$$y_t \mid x_t \sim h_\theta(y_t \mid x_t, u_t).$$





1. **Modeller** som kan hantera och beskriva **osäkerhet.**
2. Vikten av **återkoppling (feedback)** vid beslutsfattande.

Låt oss ta ytterligare några exempel

Industrirobotar

En robotarm är relativt vek, och oscillerar kraftigt efter förflyttningar.

För att uppnå den snabbhet och precision som behövs krävs reglerteknik.

https://www.youtube.com/watch?v=SOESSCXGhFo