

Real-time gedrag: fysica

Simuleren eenparig versnelde beweging:

- Constante versnelling a
- Variabele *period* bevat de sweeptime Δt_i van de i^e sweep

Snelheid v : $v = \int a \, dt = v_0 + a \, t \approx \Sigma(a \, \Delta t_i)$

In i^e sweep: $v_i = v_{i-1} + a \, \Delta t_i$

In PLC pseudo-code: *velocity.set (velocity + acceleration * period)*

Positie s : $s = \int v \, dt = \int v_0 + a \, t \, dt = s_0 + v_0 \, t + \frac{1}{2} a \, t^2 \approx \Sigma(v_i \, \Delta t_i)$

In i^e sweep: $s_i = s_{i-1} + v_i \, \Delta t_i$

In PLC pseudo-code: *position.set (position + velocity * period)*

Beweging in 3D

Bij een beweging in 3D mag de beweging van het zwaartepunt van het voorwerp onafhankelijk worden bekeken in de x, y en z richting.

In PLC pseudo-code:

*velocityX .set (velocityX + accelerationX * period)*

*velocityY .set (velocityY + accelerationY * period)*

*velocityZ .set (velocityZ + accelerationZ * period)*

*positionX .set (positionX + velocityX * period)*

*positionY .set (positionY + velocityY * period)*

*positionZ .set (positionZ + velocityZ * period)*

Optimaal remmen volgens Newton

$$F = m a \quad \text{Dus bij gegeven kracht en massa: } a = F/m$$

$$s_t = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad [1]$$

$$v_t = v_0 + a t \quad [2]$$

$$v_t = 0 \quad [3]$$

$$[2] \ \& \ [3] \implies 0 = v_0 + a t \quad [4]$$

$$[4] \implies t = -v_0 / a \quad [5]$$

$$s_t = 0 \quad [6]$$

$$[1] \ \& \ [5] \ \& \ [6] \implies 0 = s_0 + v_0 (-v_0 / a) + \frac{1}{2} a (v_0^2 / a^2)$$

$$0 = s_0 - v_0^2 / a + \frac{1}{2} v_0^2 / a$$

$$0 = s_0 + (-1 + \frac{1}{2}) v_0^2 / a$$

$$0 = s_0 - \frac{1}{2} v_0^2 / a$$

$$\text{Dus remweg: } s_0 = \frac{1}{2} v_0^2 / a$$

Bang-bang regeling, gedempt door traagheid van motoren:

Afstand tot doel $>$ remweg s_0 : volle kracht vooruit

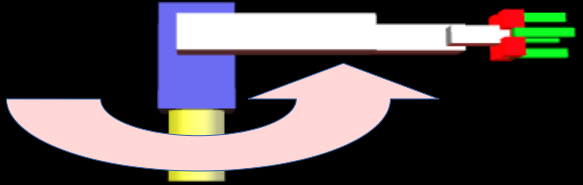
Afstand tot doel \leq remweg s_0 : volle kracht remmen

Optimaal remmen robot-torso met PLC-code

```
self.torAngDif.set (self.torAng - self.torAngSet)
self.torRound.mark (sp.abs (self.torAngDif) < self.torMarg)
self.torSpeed.set ((self.torAng - self.torAngOld) / sp.world.period)
self.torBrakeDist.set (self.torBrakeFac * self.torSpeed * self.torSpeed)
```

```
self.torVolt.set (                                     # 111 B 222 T 333 B 444
  # Value if condition                                # B = breaking point, T = target
  self.torVoltMax,
  # Condition
  self.torAngDif < -self.torBrakeDist or                # Area 1 : Force to right always
  (-self.torBrakeDist < self.torAngDif < self.torBrakeDist and self.torSpeed < 0), # Area 2 & 3 : Force to right if moving to left
  # Value if not condition
  -self.torVoltMax
)

self.torEnab.mark (self.go)
self.torAngOld.set (self.torAng)
```



Bang-bang regeling ↑

torso drive control		upper arm drive control		fore arm drive control		wrist drive control		hand and fingers setpoint	
torVoltFac	0.8	uppVoltFac	0.25	forVoltFac	0.25	wriVoltFac	0.25	hanAngSet	0
torVoltMax	10	uppVoltMax	10	forVoltMax	10	wriVoltMax	10	hanEnab	1
torVolt	-10	uppVolt	0.0	forVolt	0.0	wriVolt	0.0	finAngSet	0
torEnab	1	uppEnab	1	forEnab	1	wriEnab	1	finEnab	1
								finDelay	1
								finTimer	6.109
								finLatch	1

torso angle		upper arm angle		fore arm angle		wrist angle	
torAngSet	90	uppAngSet	0	forAngSet	0	wriAngSet	0
torAng	90.00	uppAng	0.0	forAng	0.0	wriAng	0.0

torso electronics		upper arm electronics		fore arm electronics		wrist electronics		hand and fingers electronics	
torVolt	10	uppVolt	0.0	forVolt	0.0	wriVolt	0.0	hanVolt	0.0
torEnab	1	uppEnab	1	forEnab	1	wriEnab	1	hanEnab	1
torGain	2	uppGain	2	forGain	2	wriGain	2	hanGain	2
torMax	20	uppMax	20	forMax	20	wriMax	20	hanMax	20

torso mechanics		upper arm mechanics		fore arm mechanics		wrist mechanics	
torInert	8	uppInert	4	forInert	2	wriInert	1

En dan nu... De moraal!

Het snappen en toepassen van elementaire natuurkunde
is veel effectiever dan het gebruik van bijvoorbeeld
PID regelaars en algemene vuistregels!

Praktijk: container van 40 ton stil in 0.5 s in plaats van 4 s
Dit vertegenwoordigt per jaar meerdere M€ besparing voor een grote containerterminal

Ander voorbeeld toepassing elementaire fysica



De aandrijf-as van een grote industriële meng-installatie breekt steeds af, hoe langzaam de PLC-besturing de roermotor ook laat draaien.

Weken (en vele assen) verder geeft een middelbare scholier het advies de motor juist een factor 10 sneller te laten draaien.

Vanaf dat moment is geen enkele as meer gebroken en gaat het mengen aanzienlijk sneller!

Verklaring van natuurkundige: de motor moet veel sneller draaien dan de resonantie-frequentie! (Centrifuge van wasmachine laat zelfde effect zien bij het uitlopen)