



# JOHDATUS TEKOÄLYYN

TEEMU ROOS



HELSINGIN YLIOPISTO

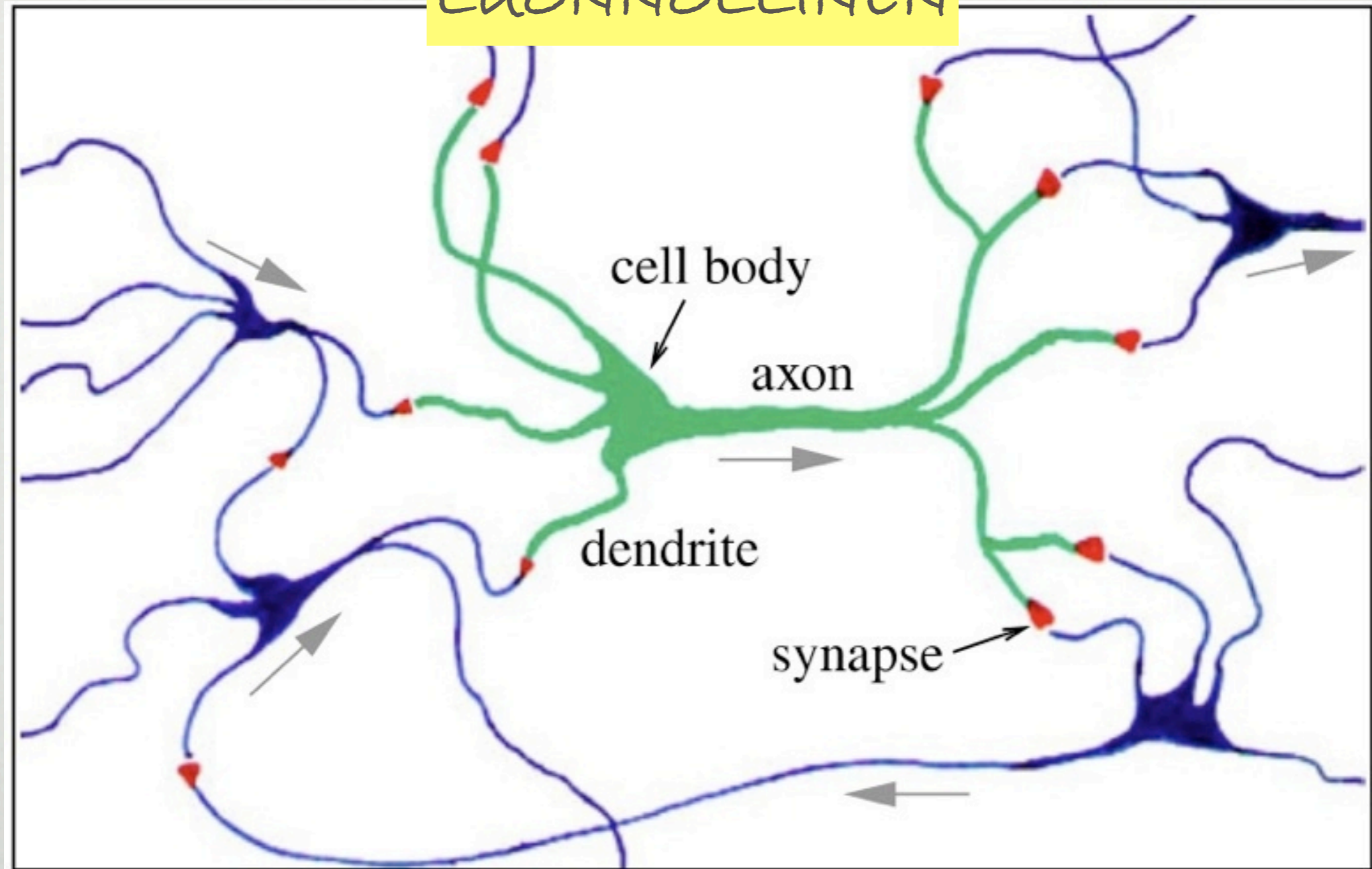
# NEUROVERKOT

---

- \* TURINGIN KONE (TAI "TAVALLINEN" OHJELMOINTI) VAIN YKSI LASKENNAN MALLI
- \* ELÄINTEN HERMOSTOSSA LASKENTA ERILAISTA:
  - RINNAKKAISUUS
  - STOKASTISUUS (SATUNNAISUUS)
  - MASSIIVINEN SKAALA
  - ADAPTIIVISUUS (OPPIMINEN)
- \* 1940-LUVULTA ALKAEN YKSI TEKOÄLYN KESKEISIMMISTÄ IDEOISTA
- \* 1960 LUVUILLA KIINNOSTUS HIIPUI
- \* 1980-LUVULTA ALKAEN UUSI AALTO

# NEUROVERKOT

## LUONNOLLINEN



# NEUROVERKOT

KEINOTEKOINEN



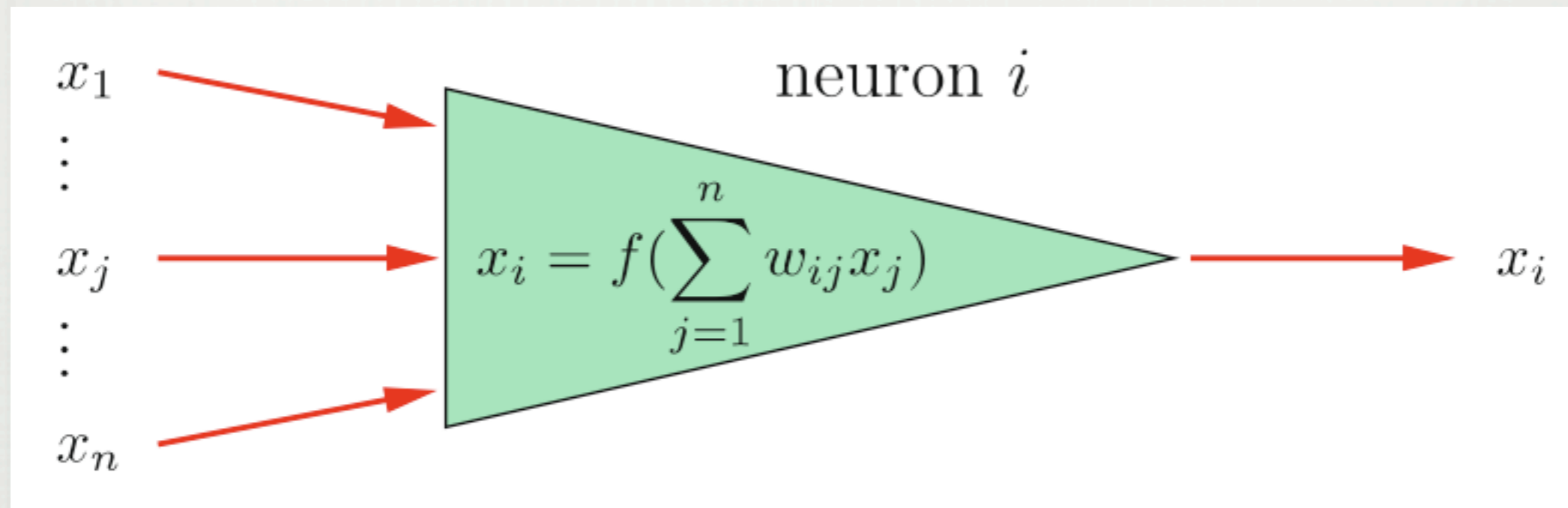
KOPIOITU VAIN IDEA:  
JOUKKO YKSIN-  
KERTAISIA PROSES-  
SOREITA, JOTKA KYTKE-  
TÄÄN YHTEEN SUU-  
REKSI VERKOKSI.

# OIKEAT VS KEINOTEKOISET NEUROVERKOT

---

- \* OIKEAT NEURONIT TOIMIVAT **EPÄSYNKRONISESTI** (ERI NEURONIT SUORITTAVAT LASKENTA-ASKELEEN ERI AIKAAN) — KEINOTEKOISET (USEIN) **SYNKRONISESTI**
- \* OIKEAT NEURONIT VÄLITTÄVÄT **BINÄÄRISIÄ** SIGNAALEJA (PÄÄLLÄ/POIS) — KEINOTEKOISET (USEIN) **JATKUVA-ARVOISIA**
- \* OIKEISSA NEUROVERKOISSA ESIINTYY (USEIN) **TAKAISINKYTKENTÄÄ** — KEINOTEKOISISSA HARVEMMIN
- \* OIKEAT NEUROVERKOT OVAT **MASSIIVISIA** — KEINOTEKOISET (LÄHES KOSKAAN) EIVÄT

# PERUSESIMERKKI



- \* SYÖTTEET  $x_1, \dots, x_n$
- \* PAINOKERTOIMET  $w_{i1}, \dots, w_{in}$
- \* AKTIVAATIOFUNKTIO  $f \Rightarrow$  TULOSTE  $x_i$
- \* HUOM: TULOSTE VOI OLLA TOISEN NEURONIN SYÖTE

# NEUROVERKKOTYYPPEJÄ

---

1. **ETEENPÄIN SYÖTTÄVÄ** (FEEDFORWARD) VERKKO:
  - NEURONITJÄRJESTYKSESSÄ  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow \dots$
2. **TAKAISINKYTKETTYVÄ** (RECURRENT) VERKKO:
  - YHTEYDET MUODOSTAVAT SYKLEJÄ:  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow \dots$
3. **ITSEORGANISOIVA** (SELF-ORGANIZING) VERKKO
  - VERKON SOLMUT KILPAILEVAT SIITÄ, KUKA SAA AKTIVOITUA

## Tietotekniikkauutiset

# E-mail SPAM detection has been renewed

A new spam detection system is now in use for all users. The the detection rate and rate of false positives should be better system.

<http://www.cs.helsinki.fi/uutiset/75335>

\* Kaikki uutiset ja tapahtumat sekä ohjeet syötteiden tilaami  
[/uutiset](#)

AKTIVOITUA



# NEUROVERKKOTYYPPEJÄ



Login

## HowScoresAreAssigned

Home Wiki RecentChanges FindPage HelpContents **HowScoresAreAssigned**

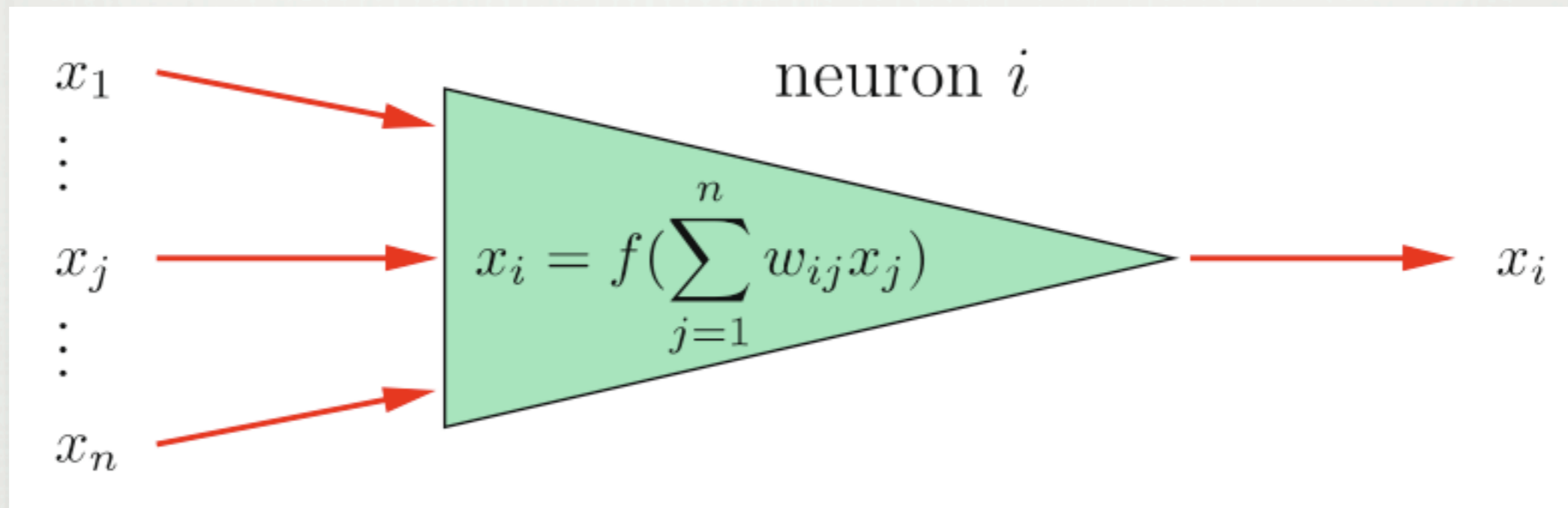
Immutable Page Info More Actions: ▾

## How are the scores assigned?

The scores are assigned using a neural network trained with error back propagation ([Perceptron](#)). B number of false positives and false negatives.

A list of the rules and their assigned scores is at [tests](#).

# ETEENPÄINSYÖTTÄVÄ VERKKO: CASE PERSEPTRONI

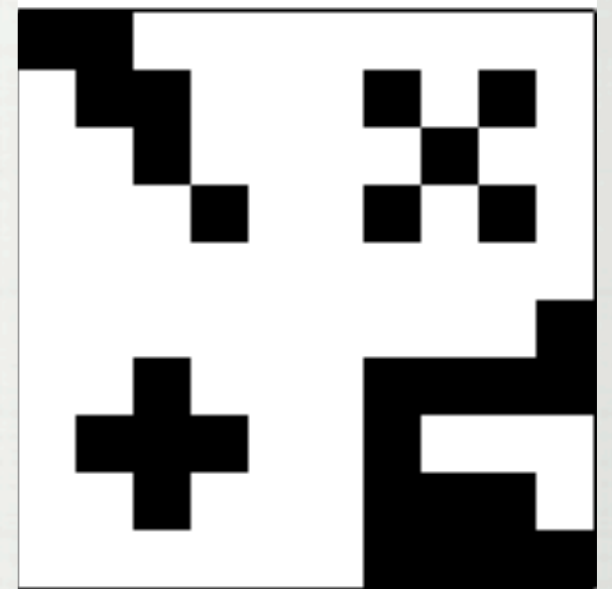


- \* SYÖTTEET JOKO REAALI- TAI BINÄÄRILUKUJA
- \* PAINOKERTOIMET REAALILUKUJA
- \* AKTIVAATIOFUNKTIONA  $f$  ON KYNNYSFUNKTIO:

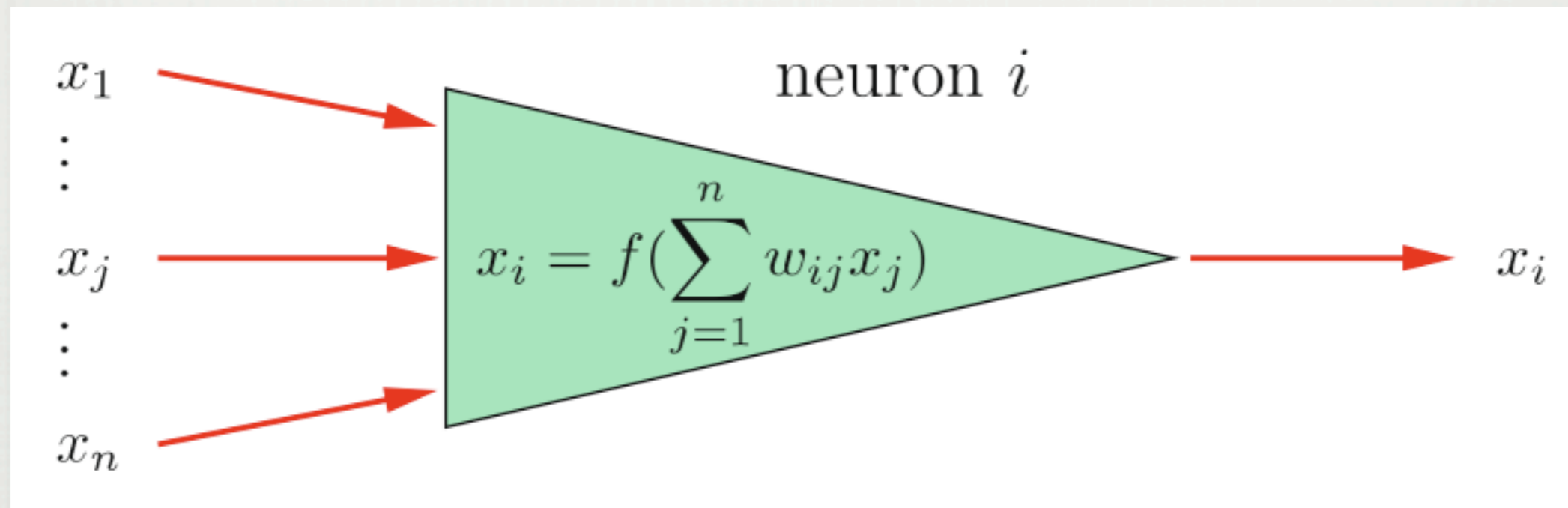
$$f(z) = \begin{cases} 0, & \text{JOS } z < 0, \\ 1, & \text{MUUTEN} \end{cases} \quad \left( z = \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j \right)$$

# PERSEPTRONI

- \* TAVOITE SAADA TULOSTE SOPIMAAN YHTEEN OIKEAN VASTAUKSEN KANSSA
- \* SYÖTE VOI OLLA ESIM LÄJÄ PIKSELEITÄ
- \* TAVOITE TUNNISTAA ONKO KYSEESSÄ TIETTY HAHMOK
- \* PAINOKERTOIMIEN MÄÄRÄÄMINEN SITEN ETTÄ TOIMII, SAATTAA OLLA TYÖLÄSTÄ
- \* RATKAISU: **KONEOPPIMINEN**, ELI OPITAAN PAINOT DATASTA

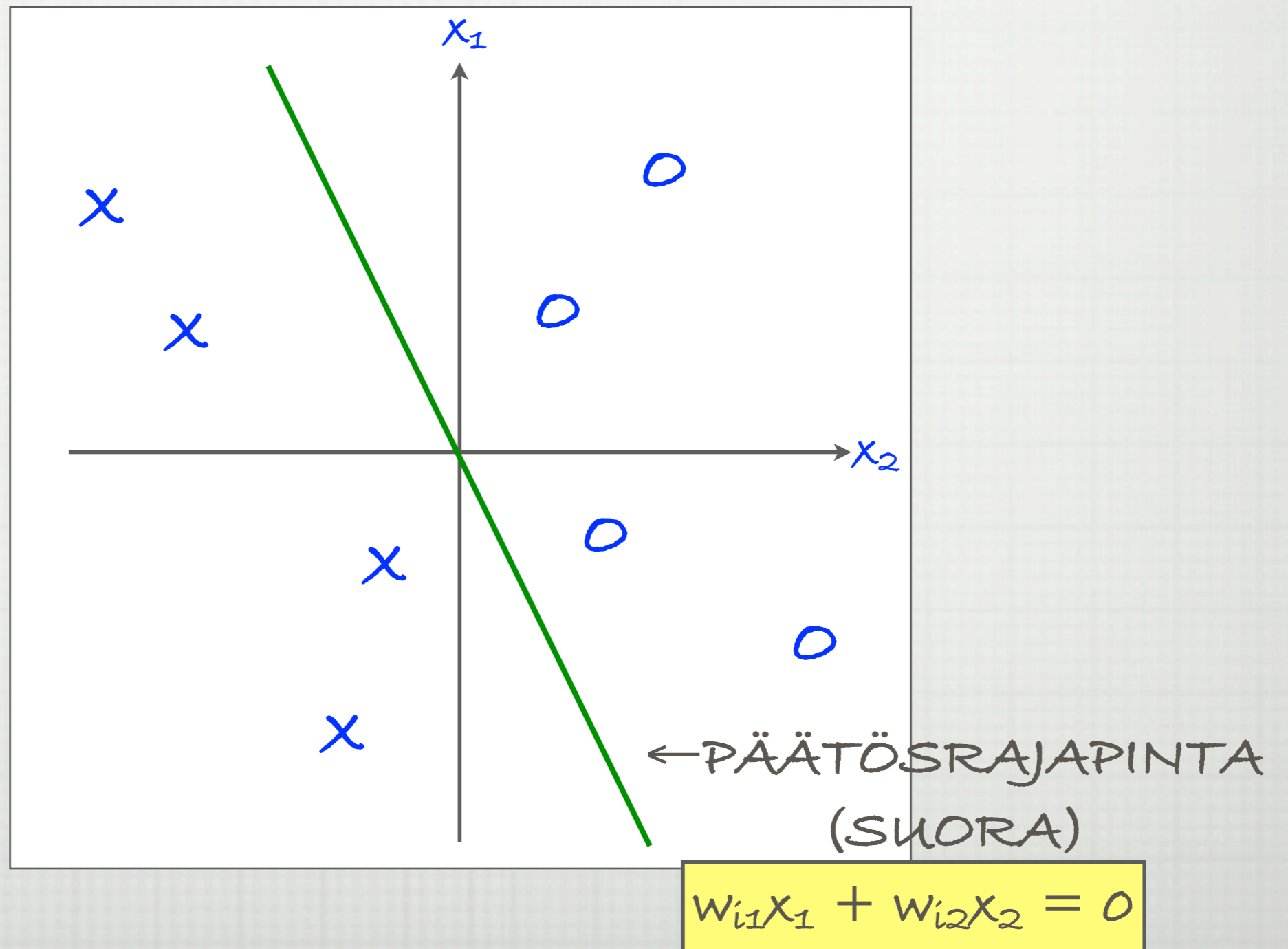


# PERSEPTRONI

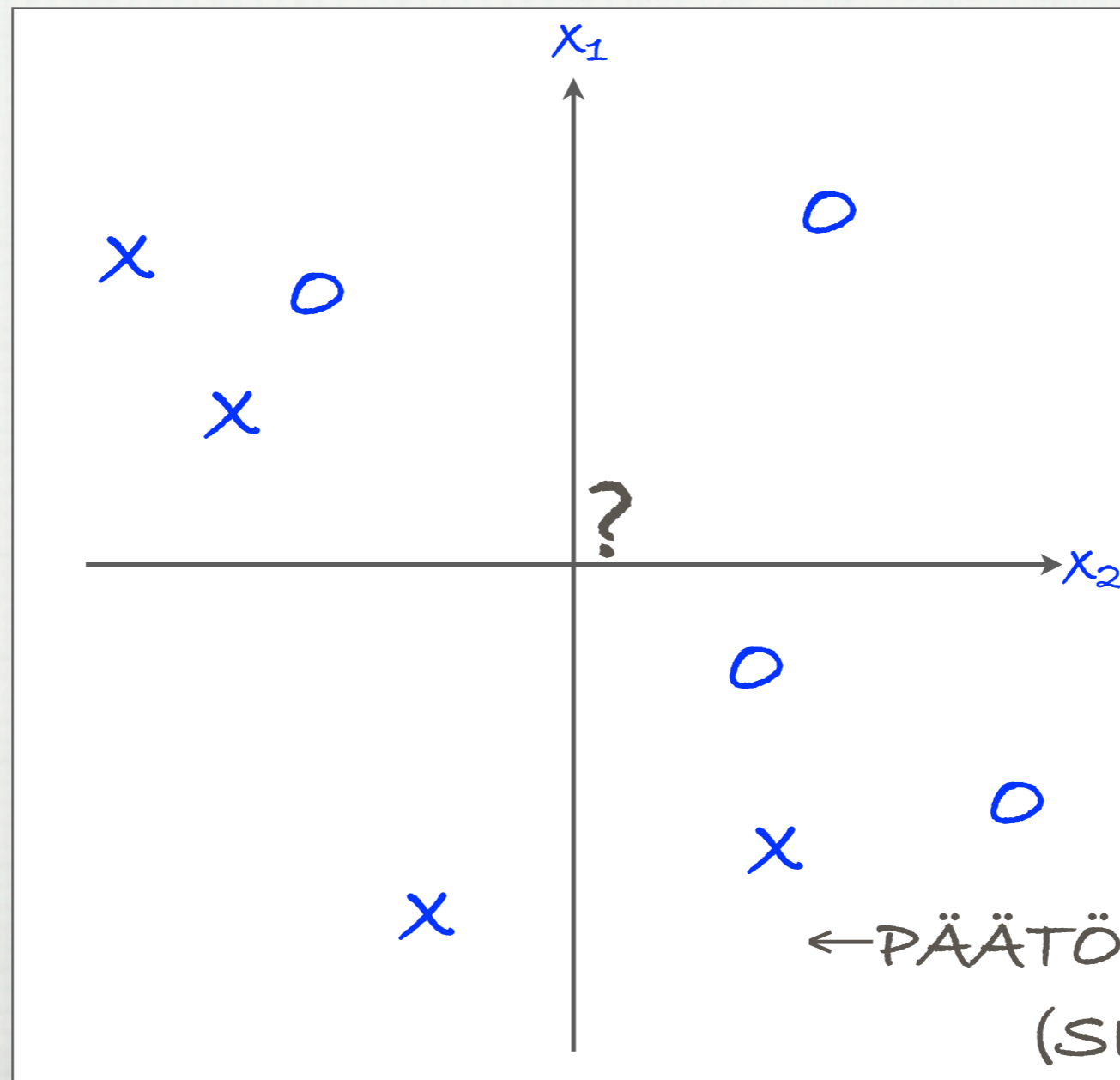


- \* PAINOKERTOMIEN VAIKUTUS AKTIVAATIOFUNKTION ARGUMENTTIIN  $\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j$  ON LINEAARINEN
- \* PÄÄTÖSRAJAPINTA, JOKA MÄÄRÄÄ TULOSTEEN ON SIKSI "HYPERTASO" (PINNAN KORKEADIMENSIONINEN YLEISTYS)
- \* 2D:  $x_i = 1$ , JOS PISTE  $x = (x_1, x_2)$  ON ORIGON KAUTTA KULKEVAN SUORAN "OIKEALLA" PUOLELLA

# PERSEPTRONI



# PERSEPTRONI



← PÄÄTÖSRAJAPINTA  
(SUORA)

# PERSEPTRONI

## \* PERSEPTRONIALGORITMI (ROSENBLATT, 1958)

PERCEPTRON-LUOKITTELIJA(Data):

$w = [0, \dots, 0]$  // painovektori. dimensio= $n$ ; sama kuin datan

**while** Luokitteluvirhe(Data,  $w$ ) > 0

$x =$  PoimiSatunnainenEsimerkki(Data)

$z = w_1 x_1 + \dots + w_n x_n$  // kynnysfunktion argumentti

**if**  $z \geq 0$  **and**  $y = 0$ : // luokiteltiin nolla rastiksi

$w = w - x$

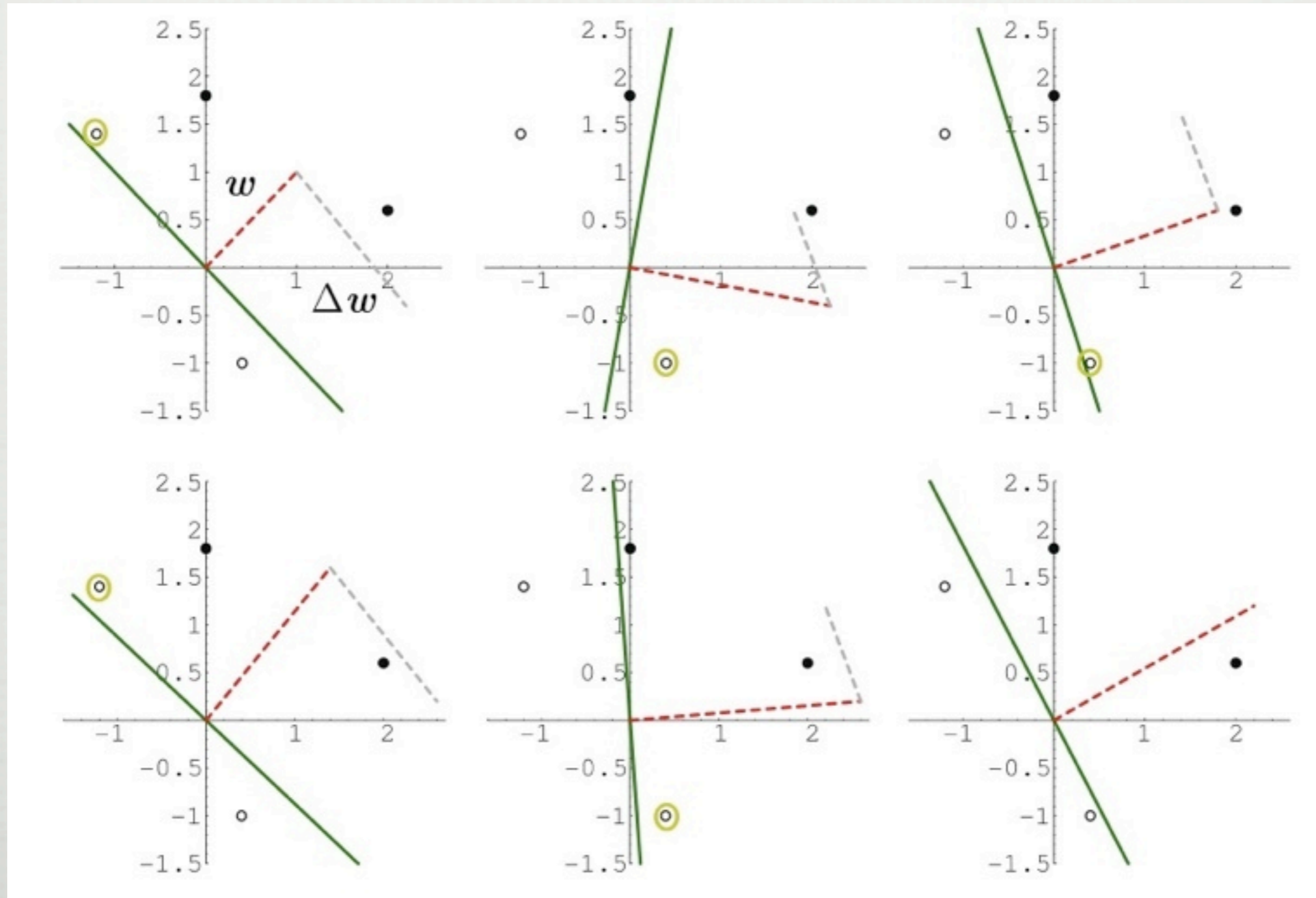
**if**  $z < 0$  **and**  $y = 1$ : // luokiteltiin rasti nollaksi

$w = w + x$

**end-while**

**return**( $w$ )

# PERSEPTRONI





# PERSEPTRONI

---

## PERUSONGELMA:

- \* PERSEPTRONIALGORITMI LÖYTÄÄ ENNEN PITKÄÄ OIKEAN PÄÄTÖSRAJAPINNAN, JOS (!) SELLAISEN ON OLEMASSA
- \* OIKEA PÄÄTÖSRAJAPINTA ON OLEMASSA  $\Leftrightarrow$  AINEISTO ON "LINEAARISESTI EROTELTAVISSA"
- \* MUUSSA TAPAUKSESSA SE JÄÄ IKKUISESTI MUUTTELEMAAN PAINOJA

PERSEPTRONIN  
YLEISTYKSET EIVÄT  
KUULU KOEALUEESEEN

# PERSEPTRONI

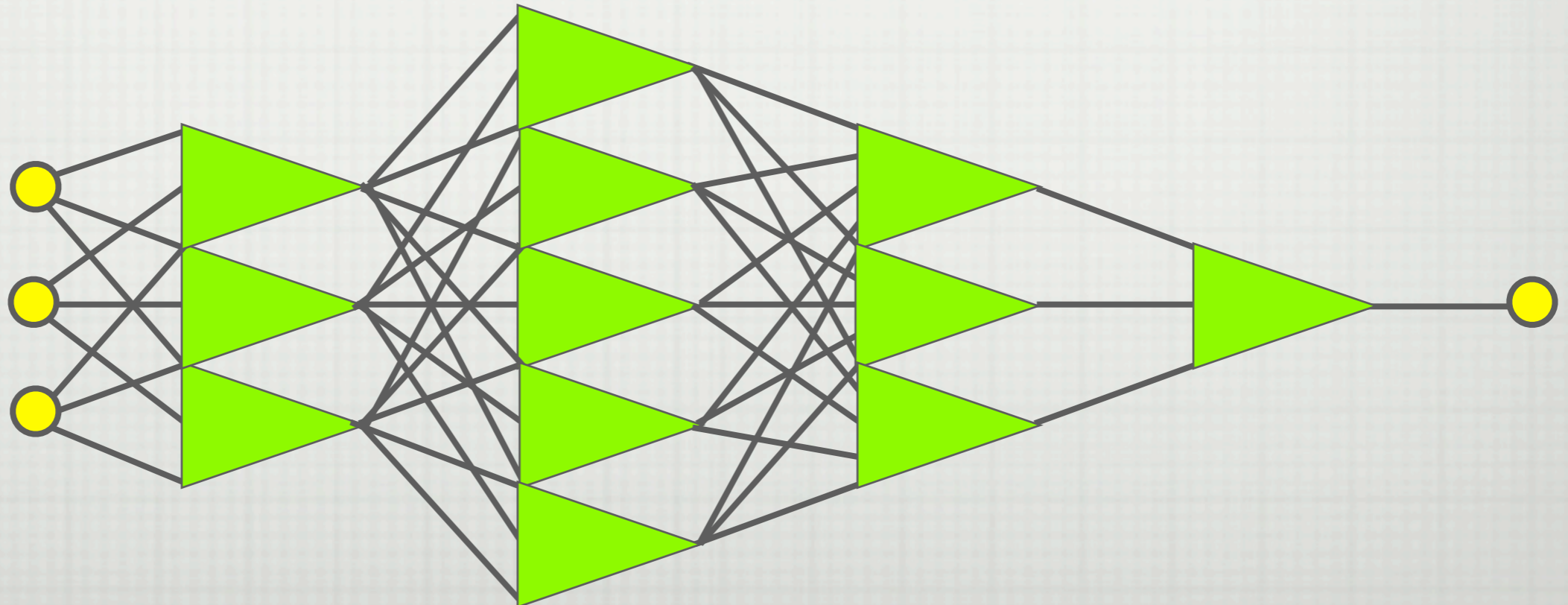
---

YLEISTYKSIÄ:

# PERSEPTRONI

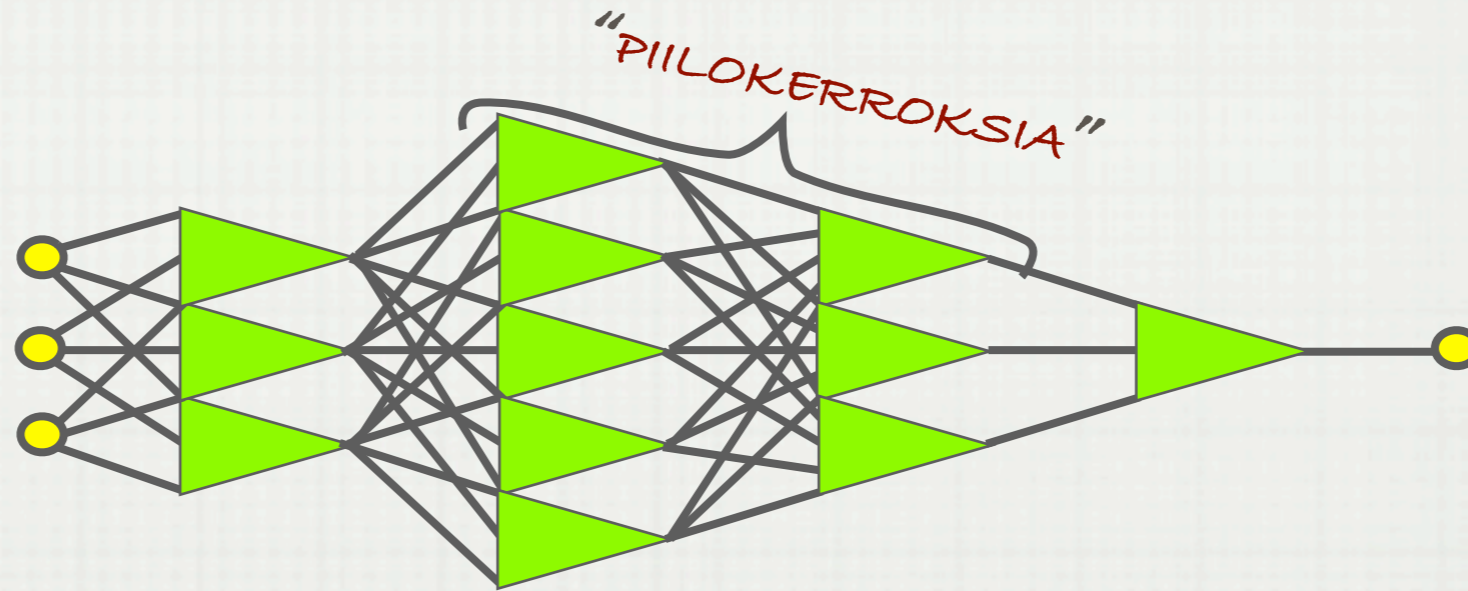
## YLEISTYKSIÄ:

- \* OPPIMISALGORITMIA SÄÄTÄMÄLLÄ VOIDAAN LÖYTÄÄ **PARAS MAHDOLLINEN** (PIENIMMÄN VIRHEEN) RAJAPINTA  
⇒ TOIMII MYÖS SILLOIN KUN DATA **EI** LIN. EROTELTAVISSA
- \* MONIKERROSPERSEPTRONI!



# MONIKERROSPERSEPTRONI

---



AKTIVAATIOFUNKTIO EI YLEENSÄ KYNNYSFUNKTIO, VAAN JOTAIN MUUTA. TULOSTEARVOT YLEENSÄ REAALILUKUJA

**UNIVERSAALI MALLI:** PYSTYY ESITTÄMÄÄN "MITÄ VAAN" (JOS PIILOKERROSTEN NEURONEITA RIITTÄVÄSTI)!

# MONIKERROSPERSEPTRONI

---

# MONIKERROSPERSEPTRONI

---

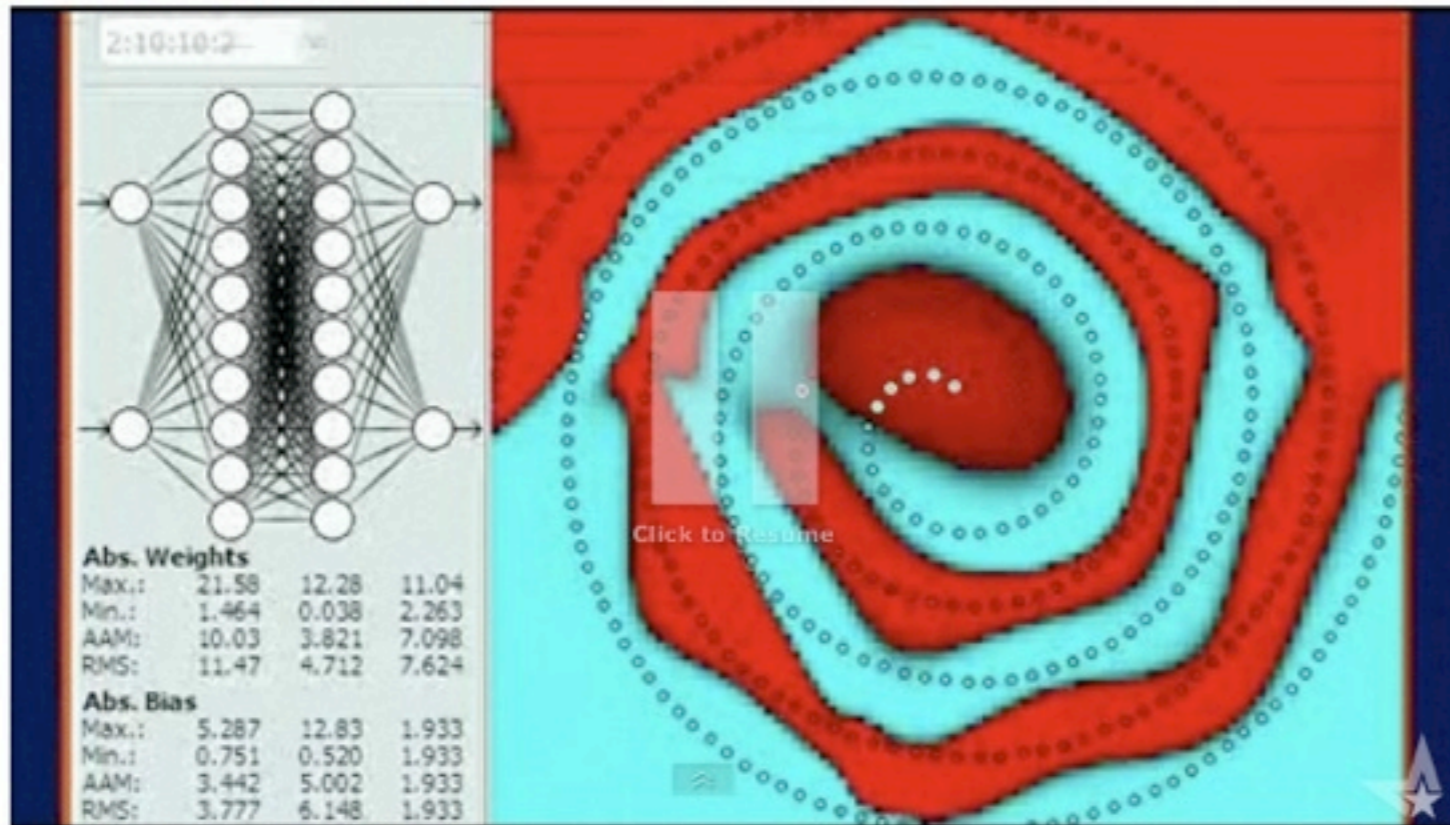
- \* PIILOKERROKSET TEKEVÄT OPPIMISESTA VÄHÄN HAASTAVAMPAA
- \* TAKAISINVIRTAUSALGORITMI (BACKPROPAGATION):
  - ARVIOIDAAN JOKAISEN SOLMUN KOHDALLA PALJONKO SE AIHEUTTAA VIRHETTÄ JA KORJATAAN SEN MUKAAN
- \* EI VÄLTTÄMÄTTÄ LÖYDÄ PARASTA RATKAISUA VAAN LOKAALIN OPTIMIN

# MONIKERROSPERSEPTRONI

## Neural Network Classification - Two Spirals Problem

Tags: Two Spirals, Two Spiral, Neural Network, Neural Networks, Snn, Sharky, Classification, Recognition, Ai, Artificial Intelligence, Ci, Computational Intelligence, Backpropagation, Supervised Learning, Machine Learning, Neuron, Perceptron, Two-spirals, Two-s

0  
+1 Tykkä



0:32/2:25

GET YOUR GAMING FIX AT GAMER LOOP CLICK HERE

Share tweet Stumble

### Varaa lomasi upeasta

Holiday Club Saimaasta. Tutustu ja varaa elämyksellinen loma!  
[www.HolidayClub.fi/Saimaa](http://www.HolidayClub.fi/Saimaa)

### SuomiCom Laajakaista

ÄlyTV - Facebook telkkarissa. Tutustu ja voita Samsung SmartTV  
[www.SuomiCom.fi/SmartTV](http://www.SuomiCom.fi/SmartTV)

### Chinese Video dating

10000+ Chinese women for Live chat. Join Free & You can meet her now!  
[www.Asiamatch.com](http://www.Asiamatch.com)

### Great Film Reviews

Watch Contagion in cinemas from 21.10. Can they beat the virus?  
[WarnerBros.co.uk/Contagion](http://WarnerBros.co.uk/Contagion)

AdChoices

### Video Recommendations

02:30 Bear Grylls: Paragliding Over Mt. Everest  
43922 Views  
PROMOTED

00:44 Why Immelt Sold NBC Universal - Season 44 - Epi...  
935 Views  
By CBS

01:18 Christina Milán Interview Talks About Working o...  
1,093 Views  
By blacktreetv

02:15 Will Skudin: Big Wave Surfing

# MONIKERROSPERSEPTRONI

## Neural Network Classification - Two Spirals Problem

Tags: Two Spirals, Two Spiral, Neural Network, Neural Networks, Snn, Sharky, Classification, Recognition, Ai, Artificial Intelligence, Ci, Computational Intelligence, Backpropagation, Supervised Learning, Machine Learning, Neuron, Perceptron, Two-spirals, Two-s

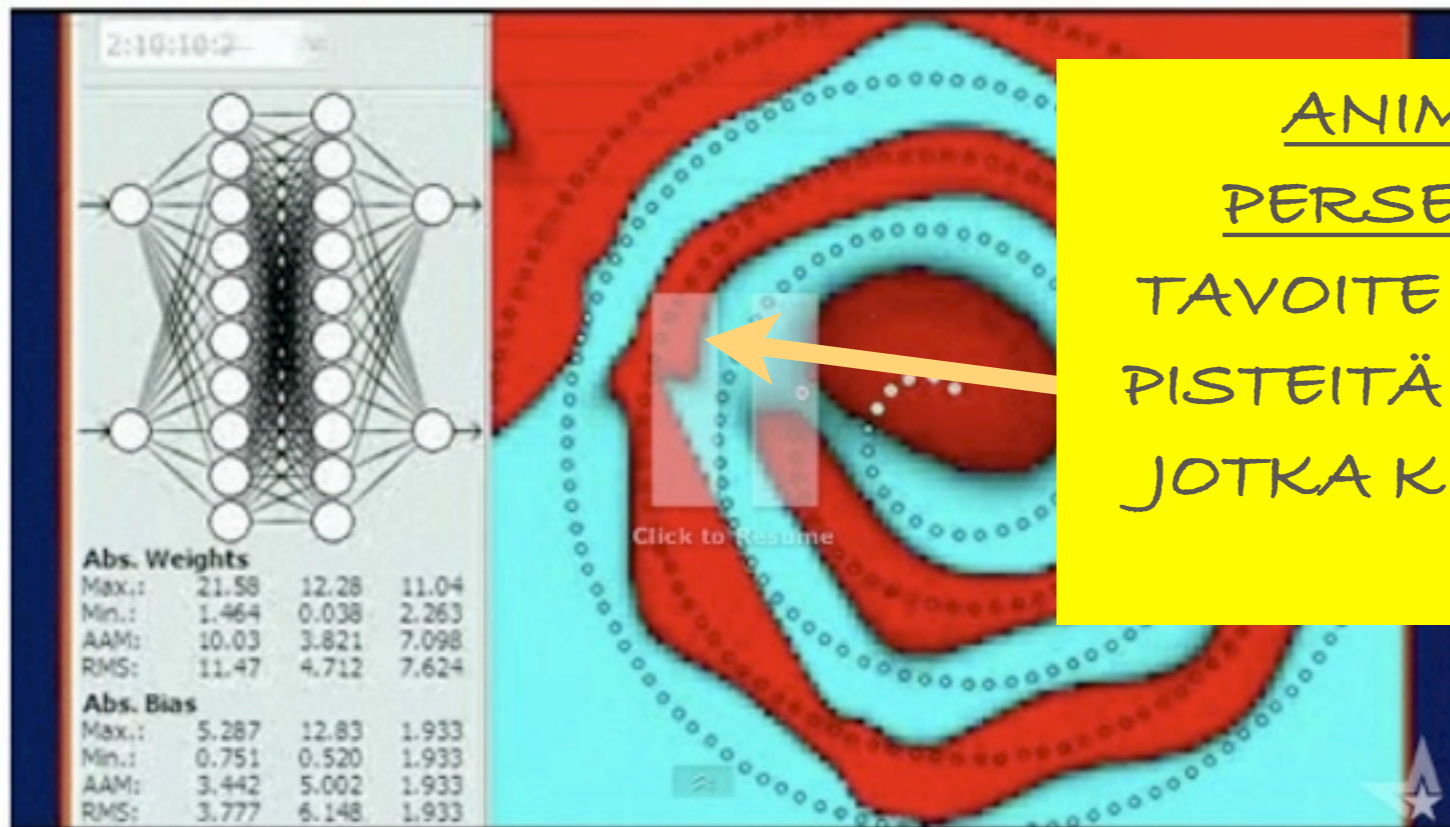
0  
+1 Tykkä

### Varaa lomasi upeasta

Holiday Club Saimaasta. Tutustu ja varaa elämyksellinen loma!  
[www.HolidayClub.fi/Saimaa](http://www.HolidayClub.fi/Saimaa)

### SuomiCom Laajakaista

ÄlyTV - Facebook telkkarissa. Tutustu ja voita Samsung SmartTV  
[www.SuomiCom.fi/SmartTV](http://www.SuomiCom.fi/SmartTV)



ANIMAATIO MONIKERROSPERSEPTRONIN OPPIMISESTA:  
TAVOITE LUOKITELLA (X,Y)-TASON PISTEITÄ KAHTEEN ERI LUOKKAAN, JOTKA KUMPIKIN OVAT SPIRAALIN MUOTOISIA.

0:32/2:25

GET YOUR GAMING FIX AT GAMER LOOP CLICK HERE

Share tweet Stumble

00:44 Why Immelt Sold NBC Universal - Season 44 - Epi...  
935 Views  
By CBS

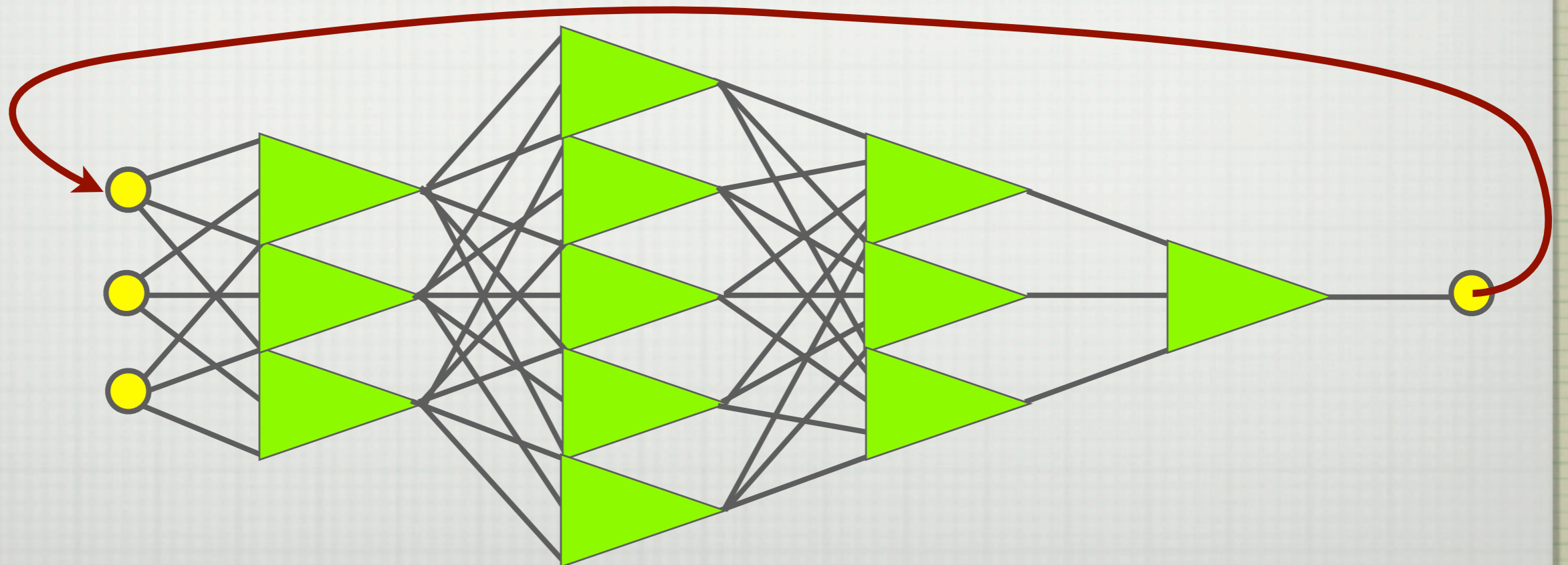
01:18 Christina Milan Interview Talks About Working o...  
1,093 Views  
By blacktreetv

07:15 Will Skudin: Big Wave Surfing



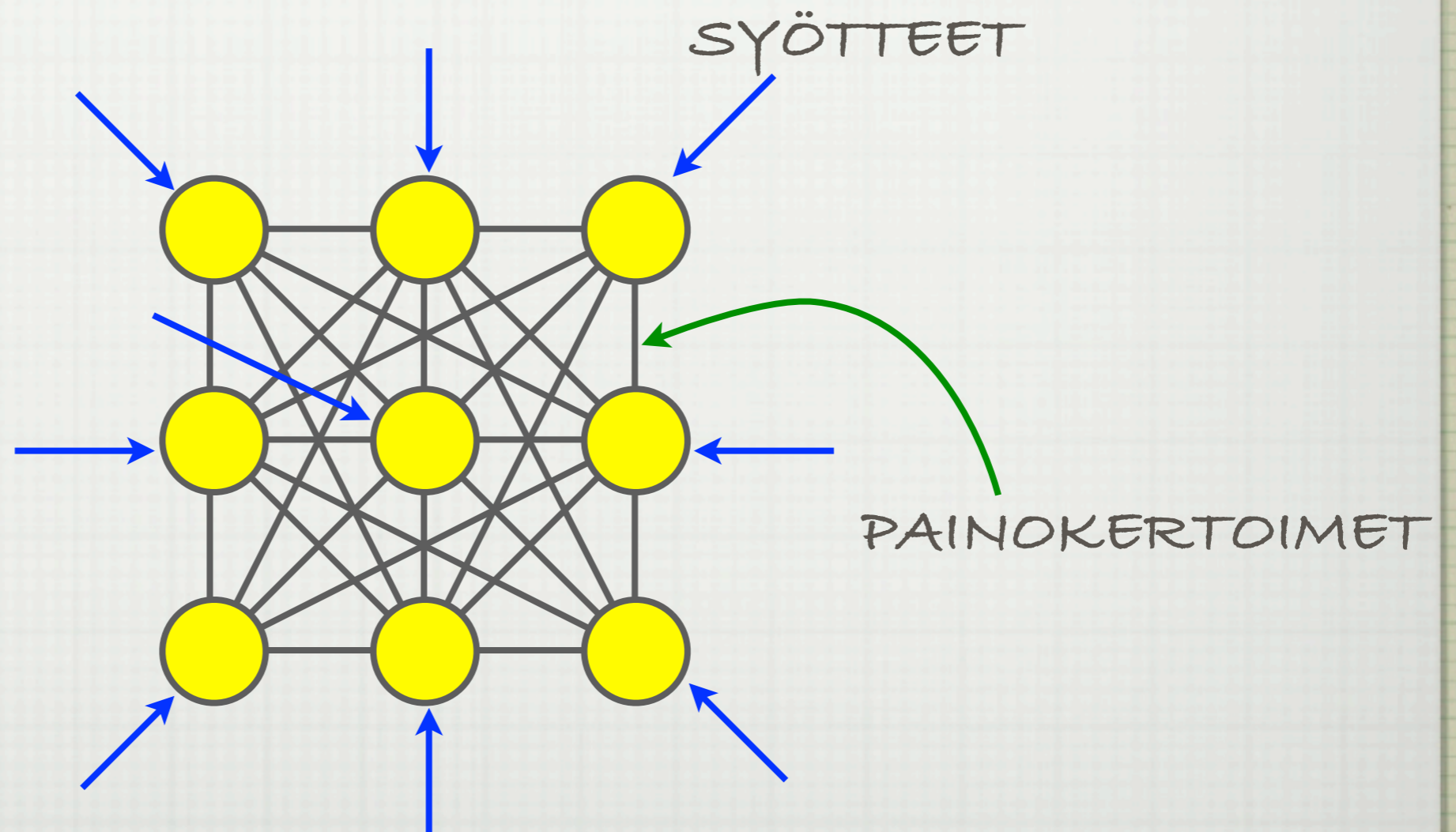
# TAKAISINKYTKETYVÄ NEUROVERKKO

- ✱ NEURONI VOI VAIKUTTA A MUIDEN NEURONIEN KAUTTA OMIIN SYÖTTEISIINSÄ
- ✱ TAKAISINKYTKENTÄ AIHEUTTAA MONIMUTKAISIA DYNAAMISIA ILMIÖITÄ:



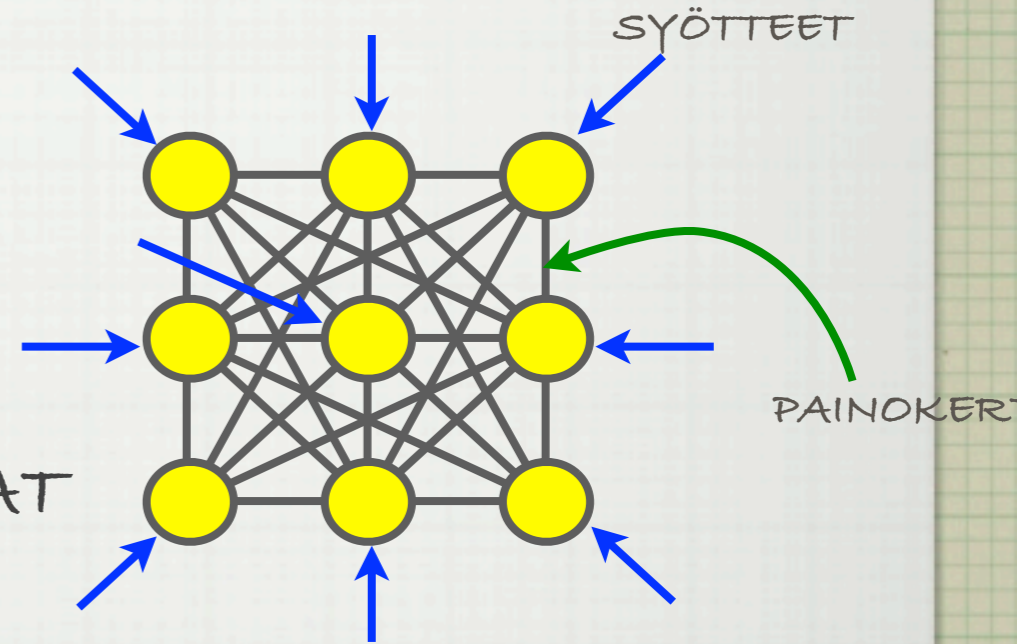
# TAKAISINKYTKYTYVÄ VERKKO: CASE HOPFIELDIN VERKKO

---



# TAKAISINKYTKYTYVÄ VERKKO: CASE HOPFIELDIN VERKKO

- \* OPPIMINEN TAPAHTUU ESITTÄMÄLLÄ JOUKKO TILOJA (SYÖTEJOKAISILLE NEURONILLE)
- \* PAINOKERTOIMET KUVAAVAT SITÄ, KUINKA USEIN KAKSI NEURONIA OVAT PÄÄLLÄ SAMANAIKAISESTI
- \* KUN PAINOKERTOIMET ON OPITTU, VERKKO ALUSTETAAN HALUTTUUN ALKUTILAAN (SYÖTE)
- \* NEURONIT VALITSEVAT UUDEN TILAN MUIDEN NEURONIEN TILOJEN JA PAINOKERTOIMIEN PERUSTEELLA
- \* UUSI TILA TOIMII SYÖTTEENÄ SEURAAVASSA ITERAATIOSSA



# HOPFIELDIN VERKKO

INTUITIO: LASKEE KUINKA  
KUSEIN NEURONIT  $i$  JA  $j$  SAAVAT  
SAMAN ARVON OPETUS-  
DATASSA OLEVISSA  
SYÖTTEISSÄ

\* OPPIMISSÄÄNTÖ:

$$w_{ij} = \sum_{k=1}^N q_{ik} q_{jk} / N$$

MISSÄ

$q_{ik} = +1$  JOS NEURONI  $i$  PÄÄLLÄ  
 $k$ 'NNESSA ESIMERKISSÄ;  
 $-1$  MUUTEN.

\* NEURONIN AKTIVAATIOSÄÄNTÖ (VRT. PERSEPTRONIN TOIMINTA — SAMA SÄÄNTÖ!):

$$x_i = +1 \quad \text{JOS} \quad \sum_{j \neq i} w_{ij} x_j > 0$$

# BOLTZMANNIN KONE

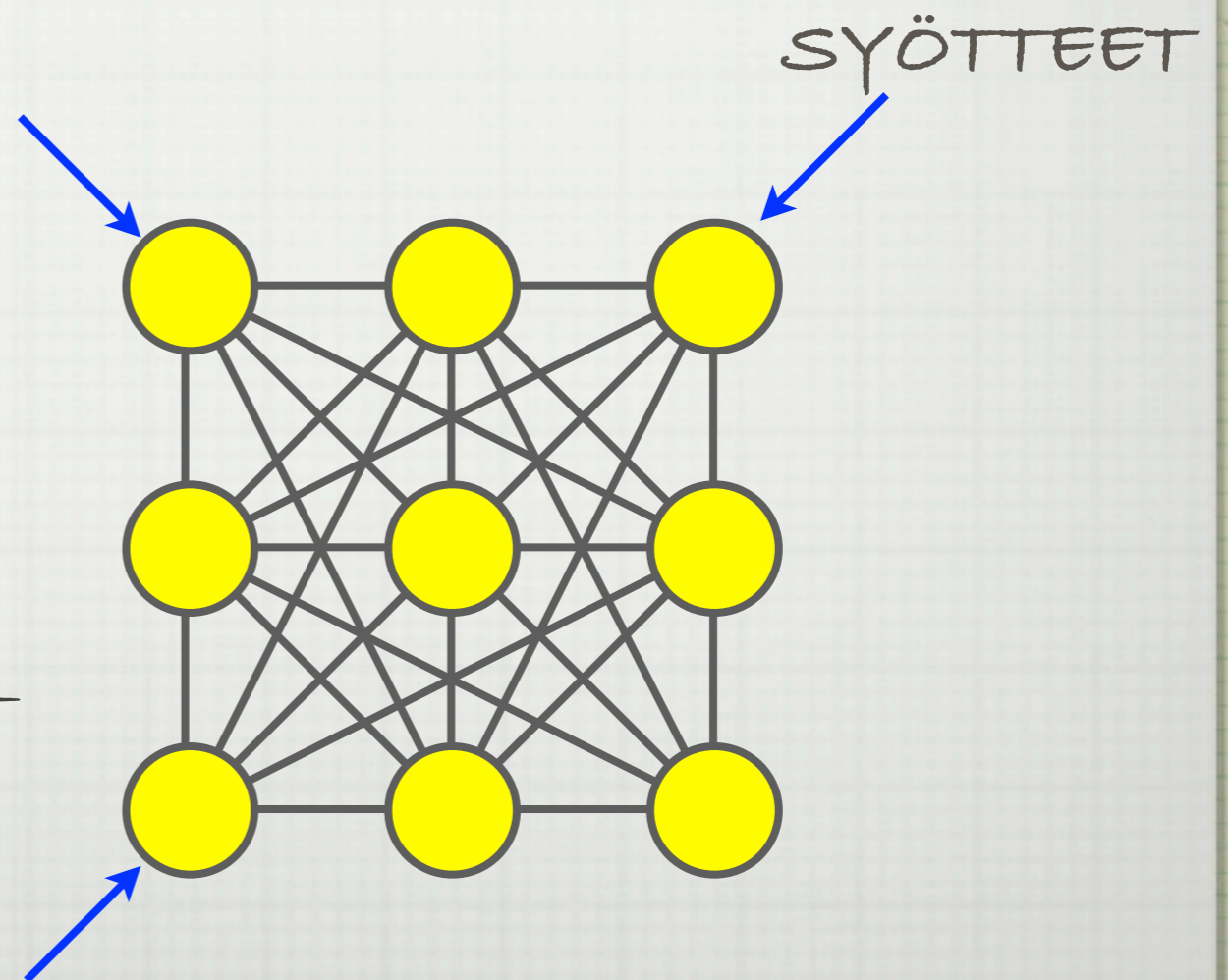
\* TOINEN ESIMERKKI TAKAISINKYTKETYVISTÄ VERKOISTA

\* STOKASTINEN (=SATUNNAINEN) VERSIO HOPFIELDIN VERKOISTA

\* SYÖTTEINÄ USEIN VAIN OSA NEURONEISTA

\* KAIKKI NEURONIT EIVÄT KYTKETTY KAIKKIIN MUIHIN

\* HIEMAN ERILAINEN OPPIMIS-SÄÄNTÖ



# BOLTZMANNIN KONE

SYÖTTEENÄ EPÄSELVIÄ  
NUMEROITA  
(PIKSELI = NEURONI)

YouTube boltzmann machine

Restricted Boltzmann Machine fantasizes MN

deeplearning 4 videos Subscribe

Hypno-Disc vs RaizerBlade

Neural Nets simulation

0:35 / 0:39

Like Add to Share

Link to this video:

VERKON TILA KEHITTYY  
KOHTI OPETUSAINEISTOSSA  
ESIINTYVIÄ TILOJA  
(SELVEMPIÄ NUMEROITA)

TÄSSÄ SATUNNAISUUS SAA  
VERKON VAELTELEMAAN  
ERI NUMEROIDEN VÄLILLÄ  
LOPUTTOMASTI

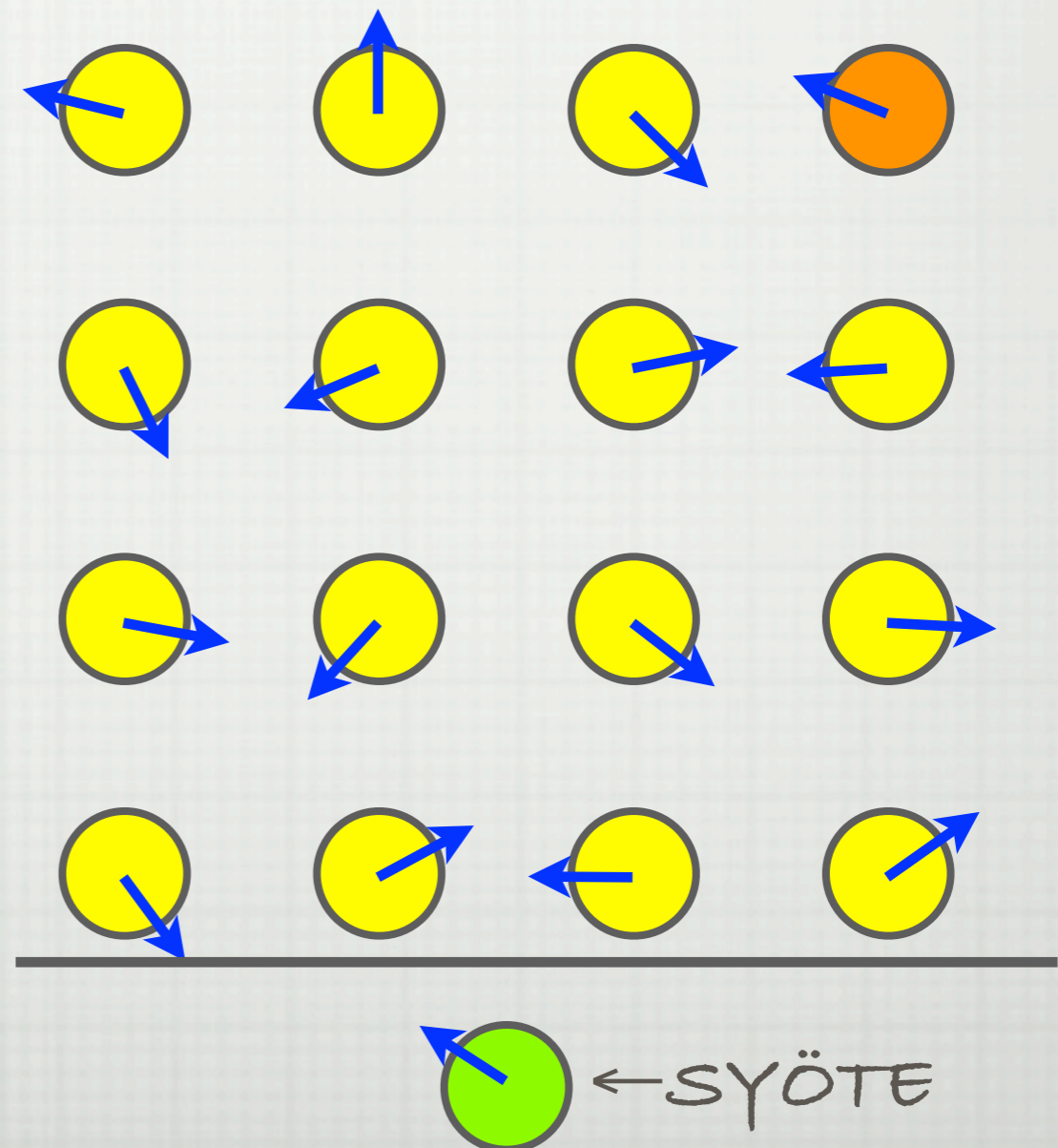
# ITSEORGANISOIVA VERKKO: KOHOSIEN KARTTA

- \* NEURONIT SIJAITSEVAT YLEENSÄ KAKSIULOTTEISELLA RUUDUKOLLA

- \* JOKAISELLA NEURONILLA ON TILA (VEKTORI)

- \* SYÖTEVEKTORI AKTIVOI NEURONIN, JONKA TILA ON SITÄ LÄHINNÄ ("VOITTAJA")

- \* VOITTAJAN TILAA MUOKATAAN SITEN, ETTÄ SE MUISTUTTAA ENEMMÄN SYÖTETTÄ



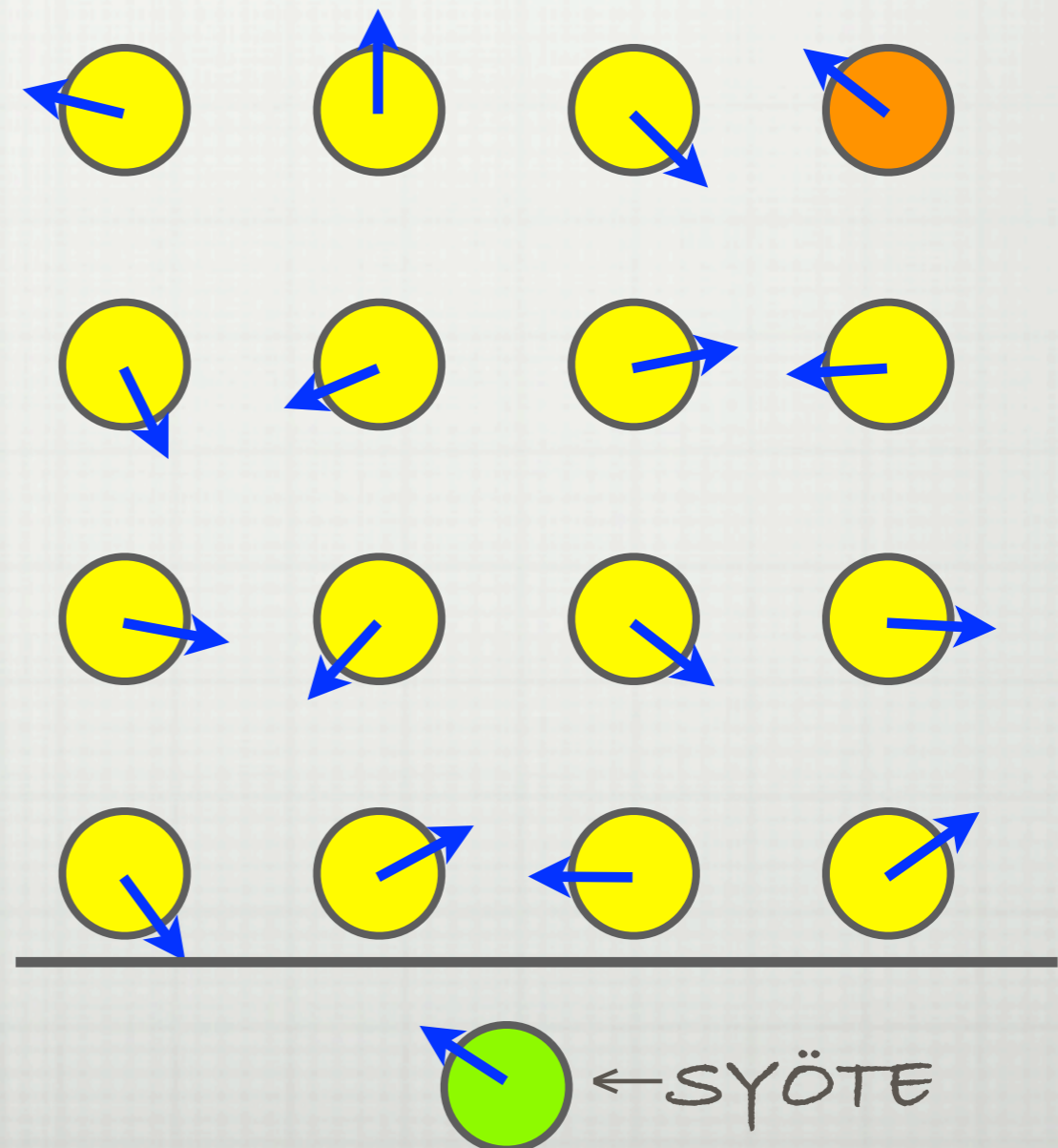
# ITSEORGANISOIVA VERKKO: KOHOSIEN KARTTA

- \* NEURONIT SIJAITSEVAT YLEENSÄ KAKSIULOTTEISELLA RUUDUKOLLA

- \* JOKAISELLA NEURONILLA ON TILA (VEKTORI)

- \* SYÖTEVEKTORI AKTIVOI NEURONIN, JONKA TILA ON SITÄ LÄHINNÄ ("VOITTAJA")

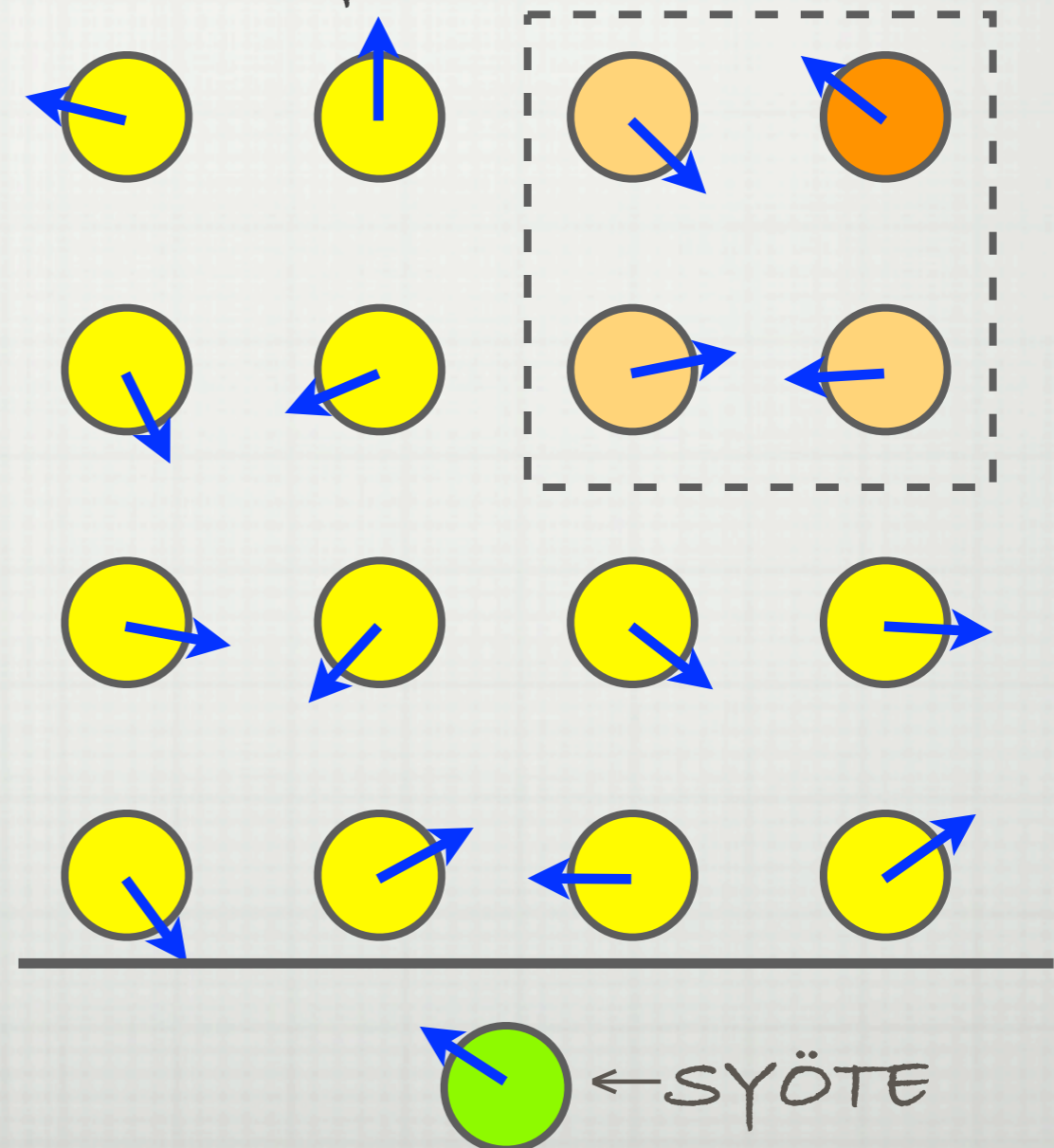
- \* VOITTAJAN TILAA MUOKATAAN SITEN, ETTÄ SE MUISTUTTAA ENEMMÄN SYÖTETTÄ





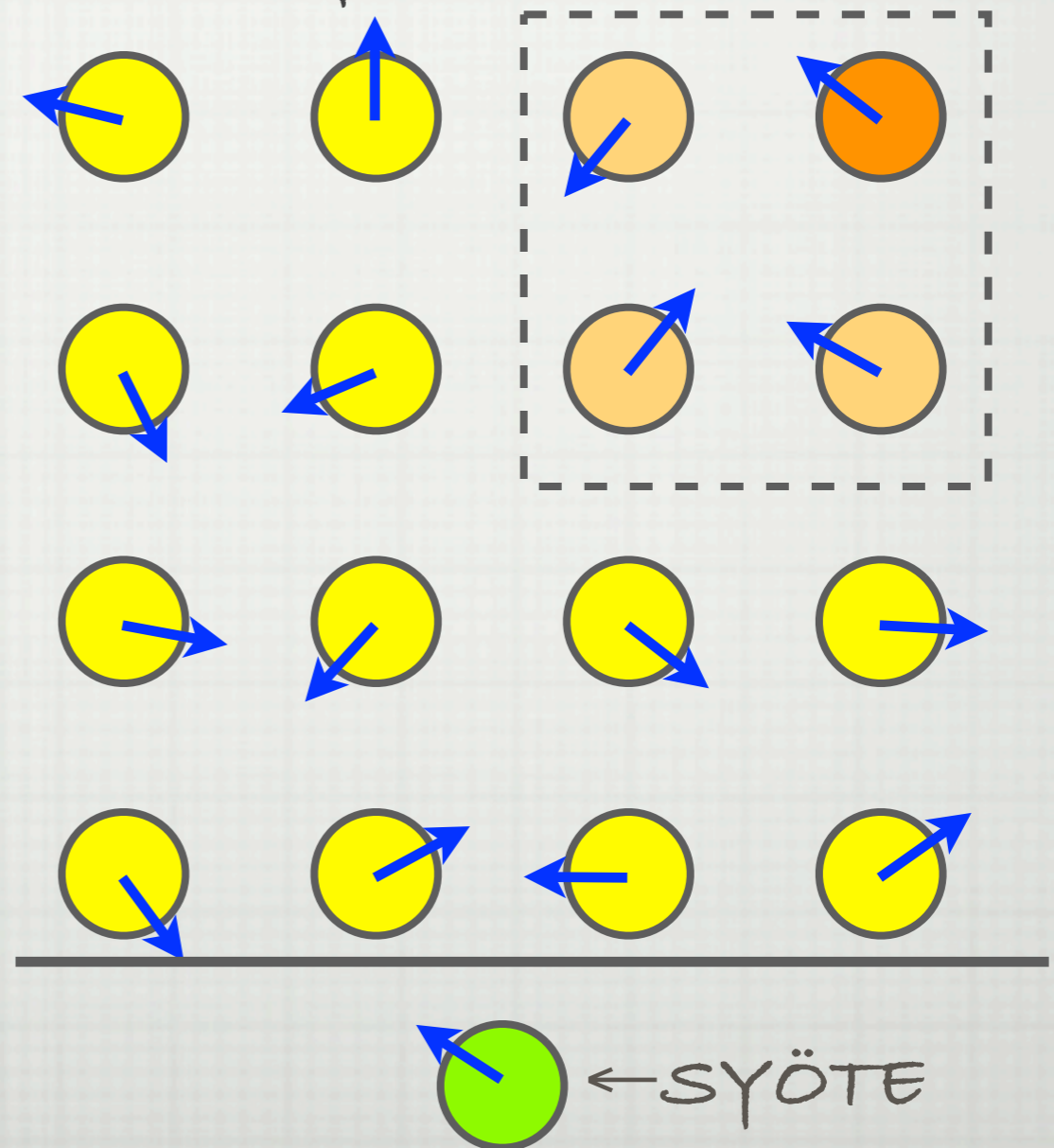
# ITSEORGANISOIVA VERKKO: KOHOSIEN KARTTA

- \* KARTAN POINTTINA ON, ETTÄ SAMALLA KUN VOITTAJAN TILAA MUOKATAAN, MUOKATAAN MYÖS NAAPUREIDEN TILAA



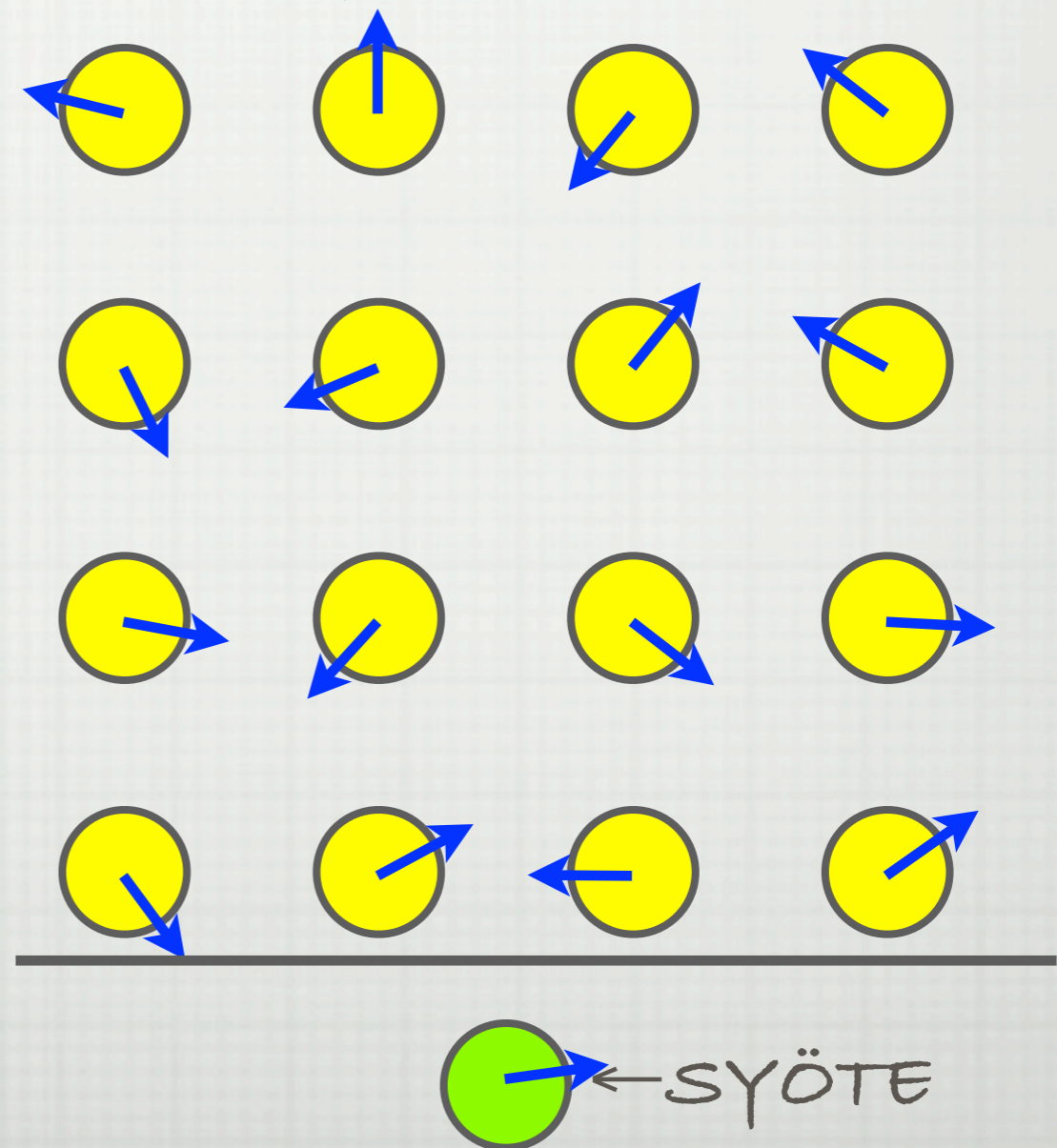
# ITSEORGANISOIVA VERKKO: KOHOSIEN KARTTA

- \* KARTAN POINTTINA ON, ETTÄ SAMALLA KUN VOITTAJAN TILAA MUOKATAAN, MUOKATAAN MYÖS NAAPUREIDEN TILAA



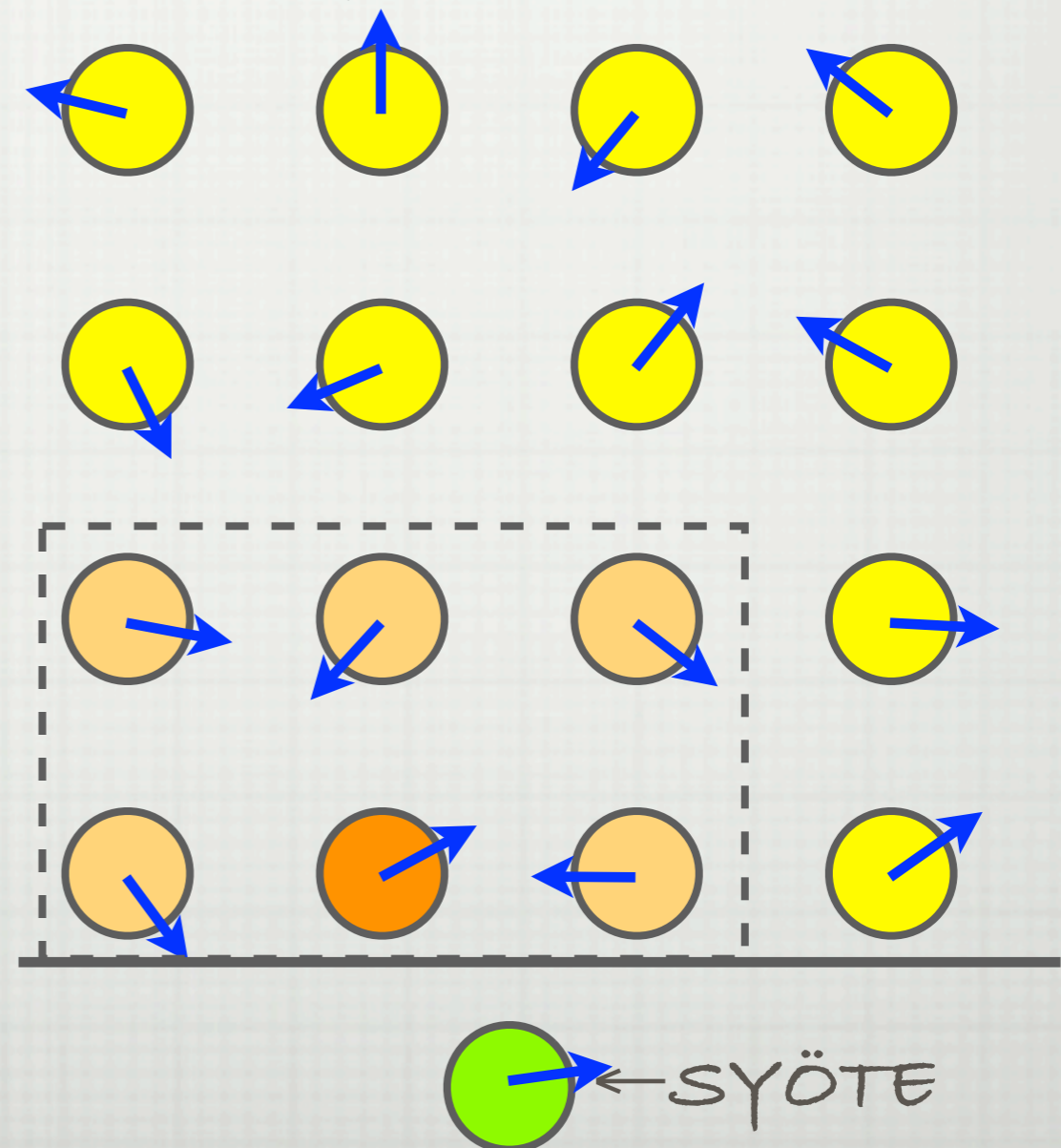
# ITSEORGANISOIVA VERKKO: KOHOSIEN KARTTA

- \* KARTAN POINTTINA ON, ETTÄ SAMALLA KUN VOITTAJAN TILAA MUOKATAAN, MUOKATAAN MYÖS NAAPUREIDEN TILAA



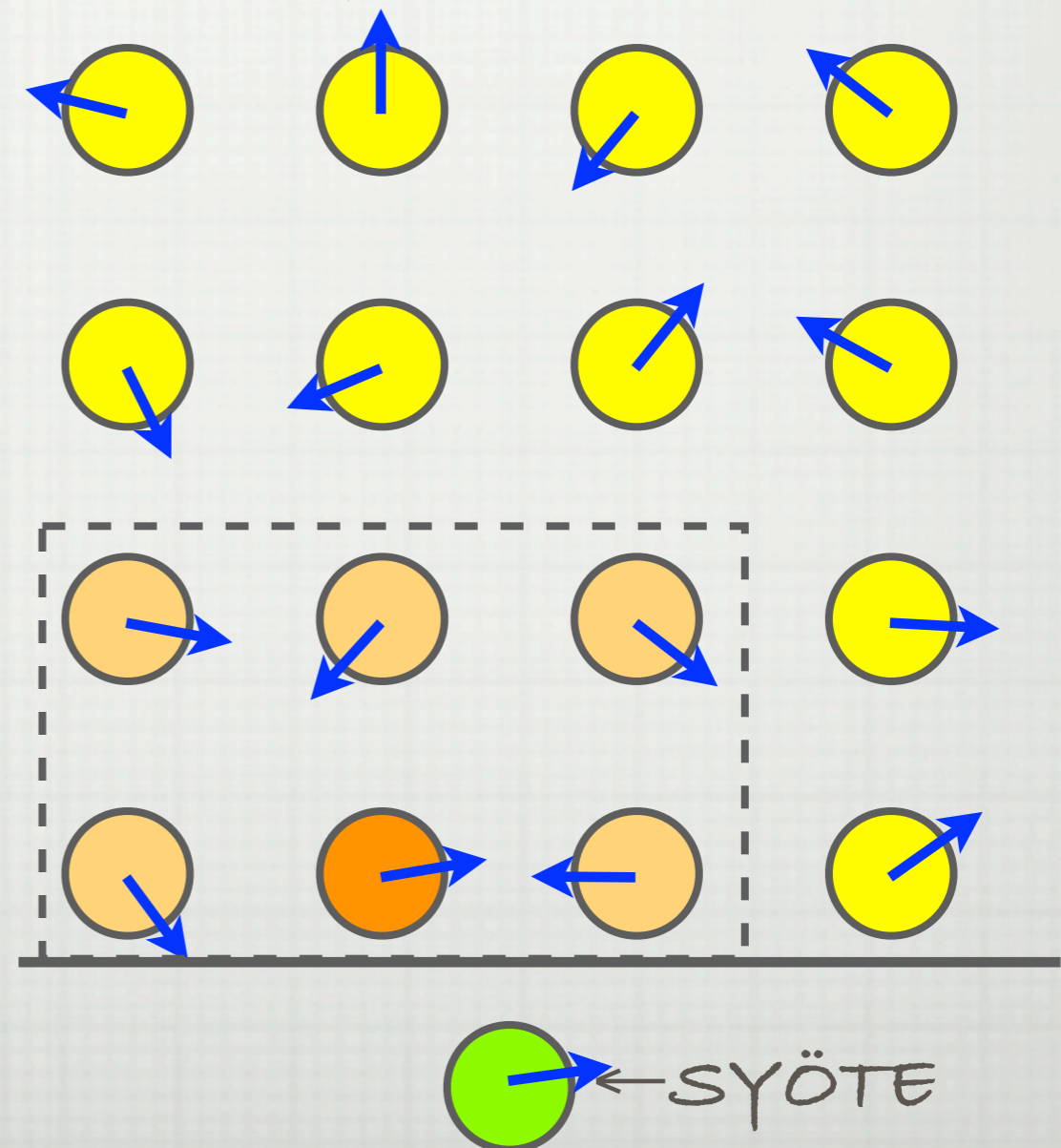
# ITSEORGANISOIVA VERKKO: KOHOSIEN KARTTA

- \* KARTAN POINTTINA ON, ETTÄ SAMALLA KUN VOITTAJAN TILAA MUOKATAAN, MUOKATAAN MYÖS NAAPUREIDEN TILAA



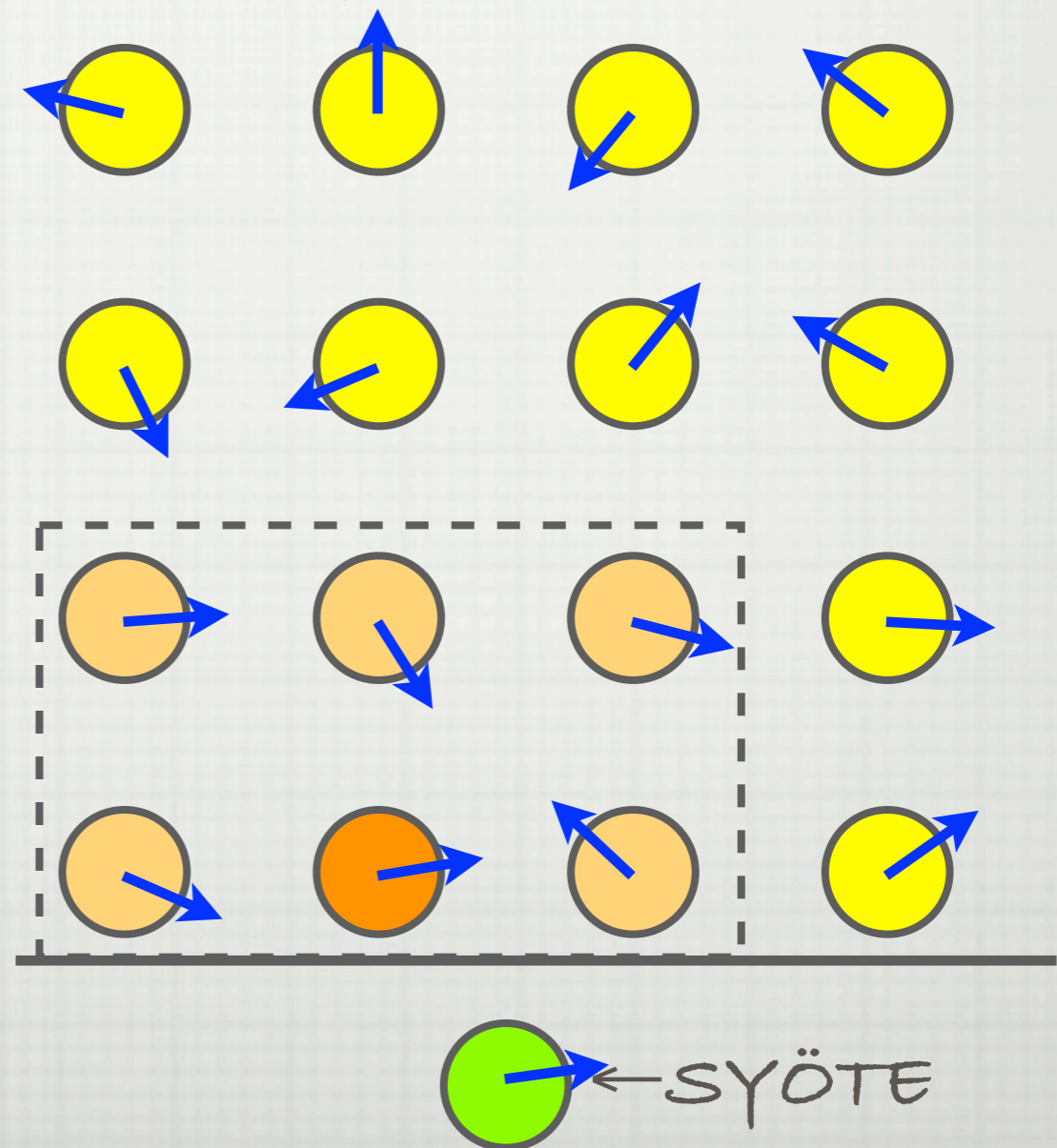
# ITSEORGANISOIVA VERKKO: KOHOSIEN KARTTA

- \* KARTAN POINTTINA ON, ETTÄ SAMALLA KUN VOITTAJAN TILAA MUOKATAAN, MUOKATAAN MYÖS NAAPUREIDEN TILAA



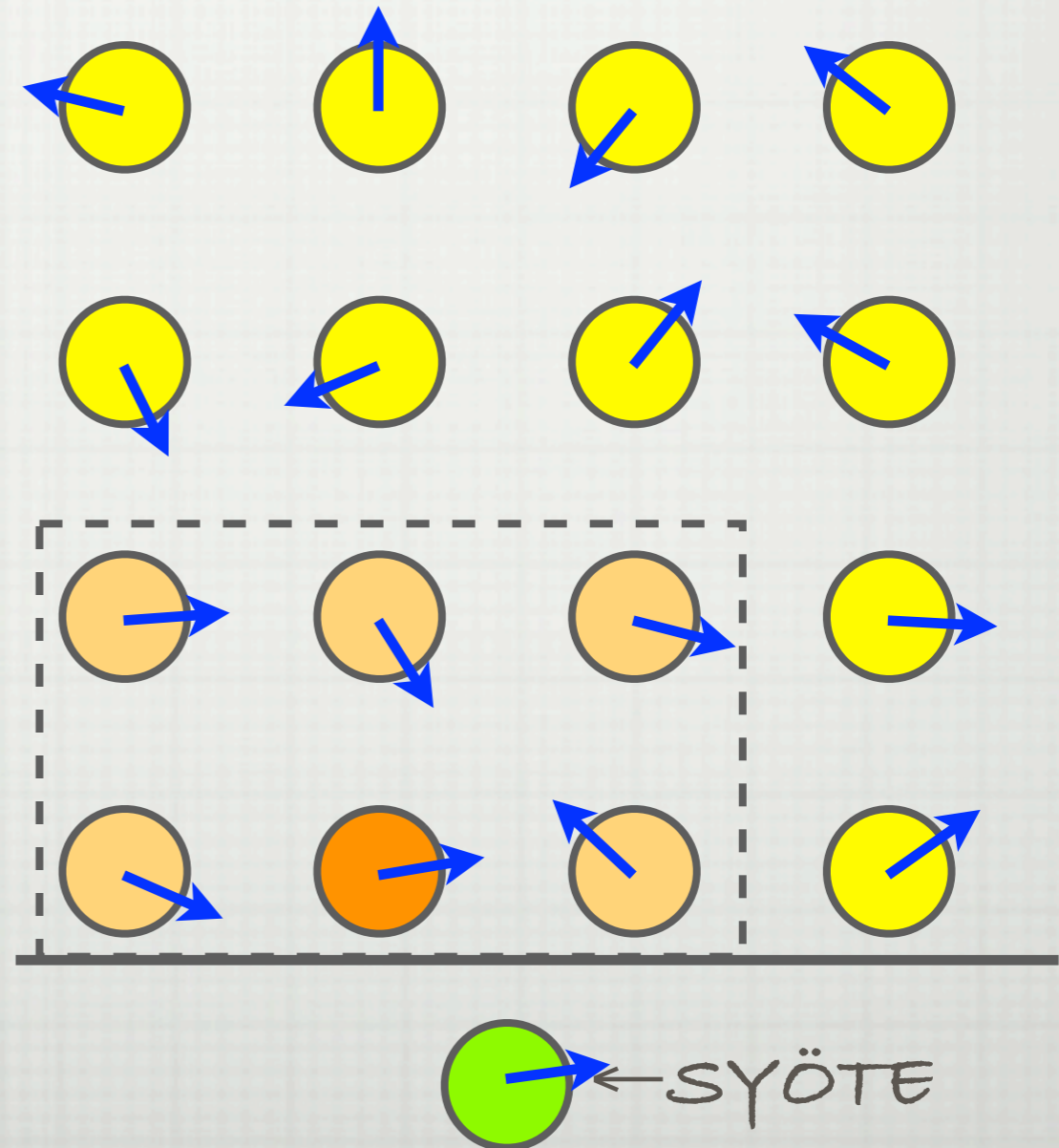
# ITSEORGANISOIVA VERKKO: KOHOSIEN KARTTA

- \* KARTAN POINTTINA ON, ETTÄ SAMALLA KUN VOITTAJAN TILAA MUOKATAAN, MUOKATAAN MYÖS NAAPUREIDEN TILAA



# ITSEORGANISOIVA VERKKO: KOHOSIEN KARTTA

- \* KARTAN POINTTINA ON, ETTÄ SAMALLA KUN VOITTAJAN TILAA MUOKATAAN, MUOKATAAN MYÖS NAAPUREIDEN TILAA
- \* NAAPURIT ALKAVAT MUISTUTTAA TOISIAAN
- \* OPPIMISEN EDETESSÄ NAAPURUSTON KOKOA VOIDAAN PIENENTÄÄ
- \* NEURONIEN TILOIHIN TEHDÄÄN MYÖS PIENEMPIÄ JA PIENEMPIÄ MUUTOKSIA



# NEUROVERKKOTYYPIT

---



# NEUROVERKKOTYYPIT

---

## 1. ETEENPÄINSYÖTTÄVÄ VERKKO:

- PERSEPTRONI
- MONIKERROSPERSEPTRONI
- ...

## 2. TAKAISINKYTKETTYVÄ VERKKO:

- HOPFIELDIN VERKKO
- BOLTZMANNIN KONE
- ...

## 3. ITSEORGANISOIVA KARTTA

- KOHOSEN SOM

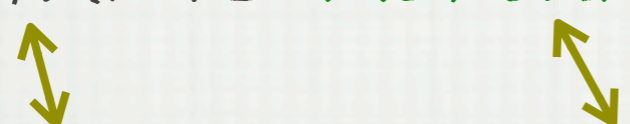
# NEUROVERKKOJEN SOVELLUKSET

---

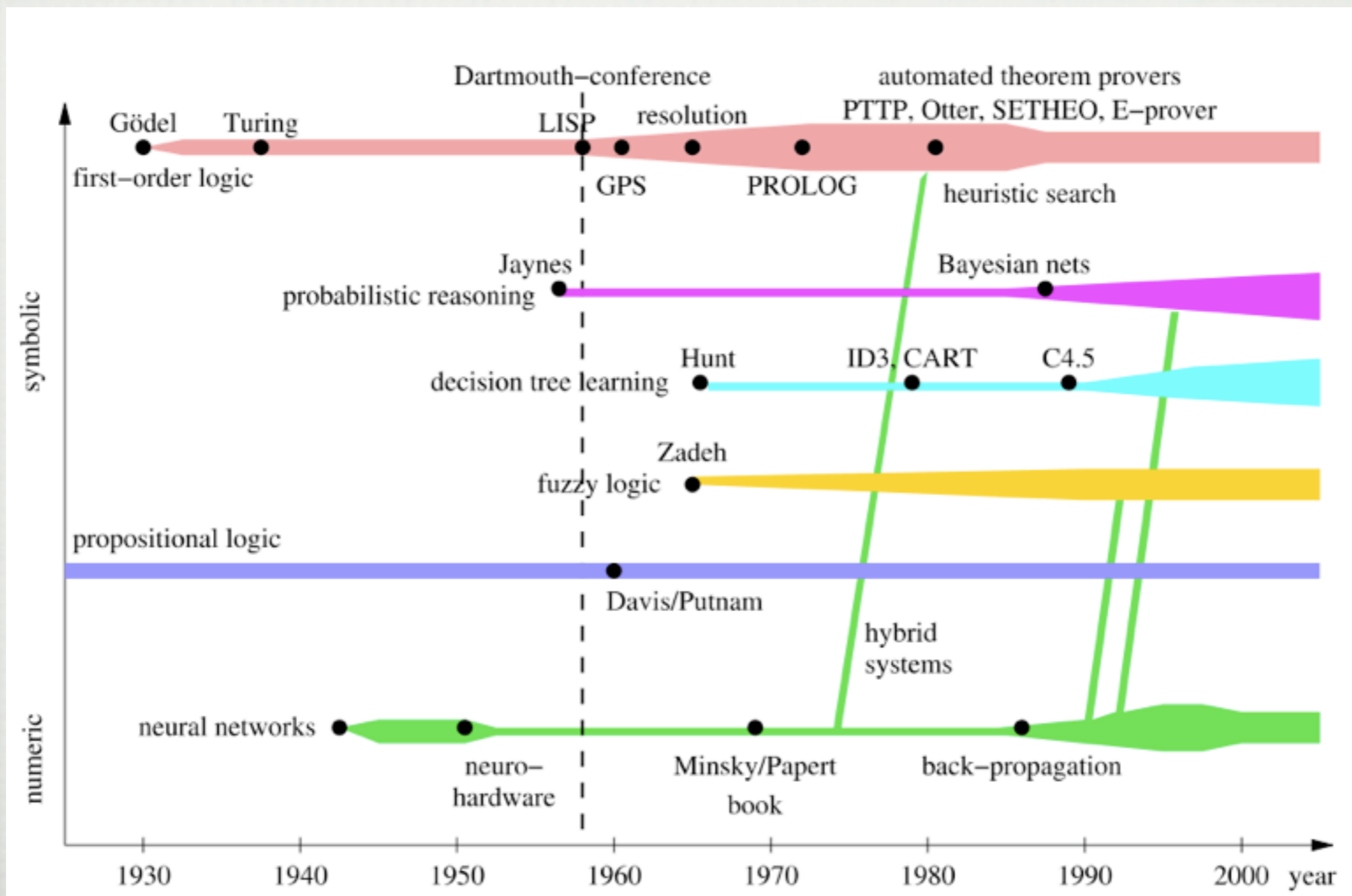
- \* ERI NEUROVERKKOTYYPEILLÄ ON OMAT SOVELLUKSENSA
- \* ETEENPÄIN SYÖTTÄVIÄ VERKKOJA VOI KÄYTTÄÄ MM. OHJATTUUN KONEOPPIMISEEN JA FUNKTIOIDEN APPROKSIMOINTIIN
- \* TAKAISINKYTKETYVIÄ VERKKOJA VOI KÄYTTÄÄ MM. VIKASIETOISINA MUISTEINA
- \* ITSEORGANISOIVIA KARTTOJA VOI KÄYTTÄÄ DATAN VISUALISOINTIIN

# NEUROVERKOT SUHTEESSA MUIHIN MENETELMIIN

---

- \* NEUROVERKOT KUULUVAT JAOTTELUSSA "GOFAI" VS "MODERNI AI" JÄLKIMMÄISEEN RYHMÄÄN  
  
(SYMBOLINEN VS "SUBSYMBOLINEN" TAI DIGITAALINEN)
- \* JOTKUT NEUROVERKOT OVAT PROBABILISTISIA (ESIM. BOLTZMANNIN KONE), JOTEN PROB. MENETELMIÄ VOI SOVELTAA NIIHIN
- \* VOIDAAN SOVELTAA ESIM. KONEOPPIMISESSA JA VISUALISOINNISSA (SOM)
- \* PERINTEINEN TEKOÄLYN OSA-ALUE, MUTTA NYKYÄÄN EHKÄ JÄÄMÄSSÄ VAIN YHDEKSI MALLIKSI MONIEN MUIDEN JOUKOSSA

# NEUROVERKOT SUHTEESSA MUIHIN MENETELMIIN



LÄHDE: ERTEL: INTRODUCTION TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE, SPRINGER, 2011.