

Tee-se-itse -tekoäly

Avainsanat: koneoppiminen, tekoäly, neuroverkko

Luokkataso: 6.-9. luokka, lukio, yliopisto

Välineet: kynä, muistilappuja tai kertakäyttömukeja, herneitä tms. pieniä esineitä

Kuvaus: Tässä tehtävässä tutustutaan neuroverkkojen rakenteeseen ja toimintaan, ja kokeillaan numeroita tunnistavan neuroverkon toimintaperiaatetta myös oman neuroverkkomallin avulla.

Aluksi

Oletko joskus miettinyt, miten kamera voi tunnistaa kasvosi tai miten Translator toimii? Yhtenä keinona voi hyödyntää neuroverkkoja ja koneoppimista. Neuroverkkoja käytetään mm. kuvantunnistukseen ja -muokkaamiseen, puheentunnistukseen ja konekääntämiseen. Seuraavaksi tutustutaan tarkemmin siihen, miten esimerkiksi numeroita tunnistava neuroverkko voisi oppia toimimaan.

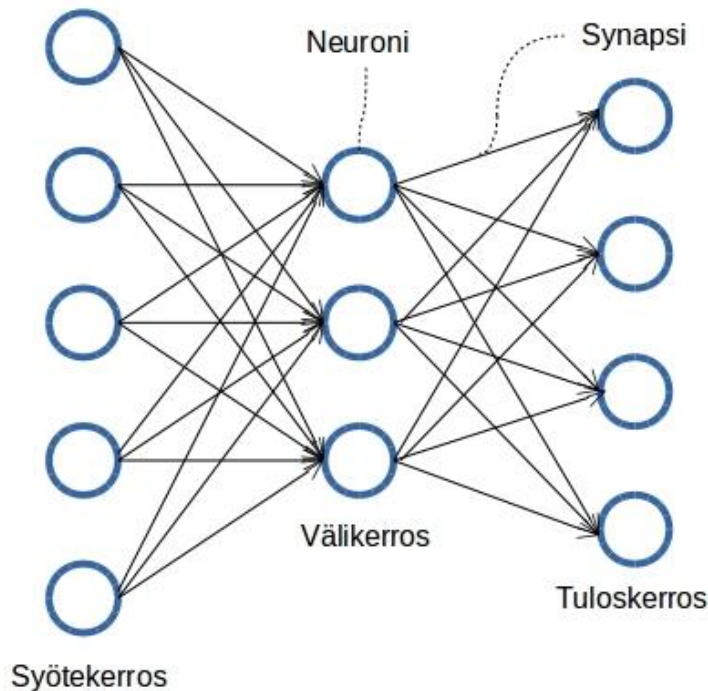


Kuva 1: Yksi neuroverkkojen sovelluksista on nk. style transfer -tekniikka, jonka avulla kuvia voidaan luoda toisen kuvan tyyliin. Kuvassa Mona Lisa tehtynä Van Goghin tyyliin. [Gene Kogan](#), Flickr.com (CC BY-NC-SA 2.0)



Neuroverkon toiminnasta lyhyesti

Keinotekoiset neuroverkot ovat yksi koneoppimisen muodoista. Neuroverkkojen nimi viittaa siihen, että ne jäljittelevät karkeasti aivojen hermoverkon toimintaperiaatteita. Neuroverkko koostuu tyypillisesti joukosta yksinkertaisia solmuja (keinotekoiset *neuronit*), joiden välillä on joukko liitoksia (keinotekoiset *synapsit*). Toiset synapseista ovat vahvempia kuin toiset, synapseilla on siis tietty *paino*.



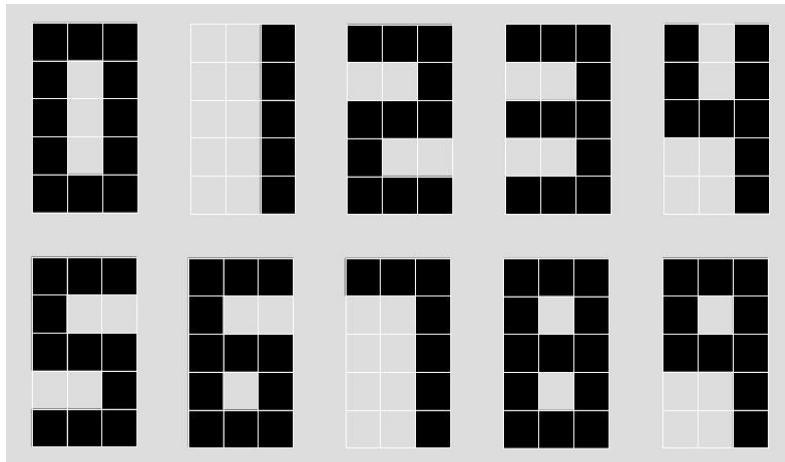
Kuva 2: Esimerkki neuroverkosta, jossa syöte- ja tuloskerroksen lisäksi yksi välikerros.

Neuroverkossa on syöte- ja tuloskerrokset, joiden välissä on yksi tai useampia välikerroksia. Esimerkiksi kuvia tunnistavan neuroverkon syötekerroksen neuronit voisivat vastata kuvan pikseleitä. Seuraava kerros voisi tunnistaa kuvasta viivoja vierekkäisten yhtä kirkkaiden pikseleiden perusteella, ja kolmas kerros voisi tunnistaa viivojen muodostamia muotoja, ja niin edelleen. Lopulta neuroverkon tuloste kertoo, mitä kuvassa on. Neuroverkon rakenteen määrittäminen siten, että syöte ja tuloste saadaan vastaamaan toisiaan, voi olla ihmiselle liian työlästä. Ratkaisuna tähän on koneoppiminen, eli verkko voi oppia toimimaan oikein siihen syötetystä tiedosta.

Toteutusehdotus

Miten neuroverkko voisi sitten oppia tunnistamaan numeroita? Tarkastellaan yksinkertaisuuden vuoksi neuroverkkoa, joka tunnistaa digitaaliselta näytöltä tuttuja numeroita (ks. kuva 3). Yksinkertaistetun tilanteen avulla on tarkoitus löytää intuitiivinen käsitys todellisen, monimutkaisen neuroverkon toiminnasta, joka voisi tunnistaa esim. käsin kirjoitettuja numeroita tai vaikkapa ihmisten kasvoja.



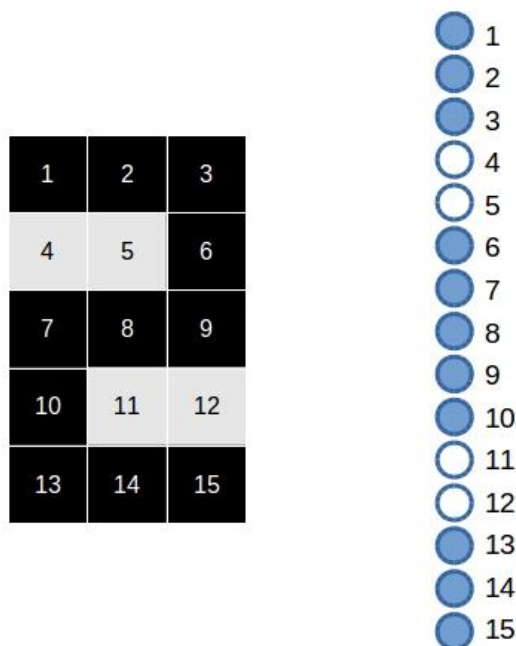


Kuva 3: Esimerkki numeroista digitaalisella näytöllä.

Tehtävänäme on siis muodostaa yksinkertaisia numeroita tunnistavaan verkkoon sen rakenne, joka voisi koneoppimisen seurauksena syntyä. Toimintaperiaatteen konkretisoimiseksi rakennetaan myös oma neuroverkko muistilappujen (tai kertakäyttökuppien) ja herneiden (tai muiden pienien esineiden, esim. helmien) avulla.

Digitaalisen näytön numerot voidaan esittää 3x5-ruudukossa, eli 15 pikselin kuvana. Kuvassa 4 on havainnollistettu, miltä esimerkiksi numero 2 näyttäisi. Näin ollen neuroverkon syötekerroksessa voisi olla 15 neuronin, jotka vastaavat kutakin kuvan pikseliä. Kuvassa 4 näkyy myös, minkälaisista syötettä numeron 2 pikselit vastaisivat. Syötteessä tumma neuronin on aktivoitunut.

Kirjoita muistilapuille numerot 1-15, ja aseta laput neuroverkon syötekerrokseksi pystyriiviksi pöydälle.



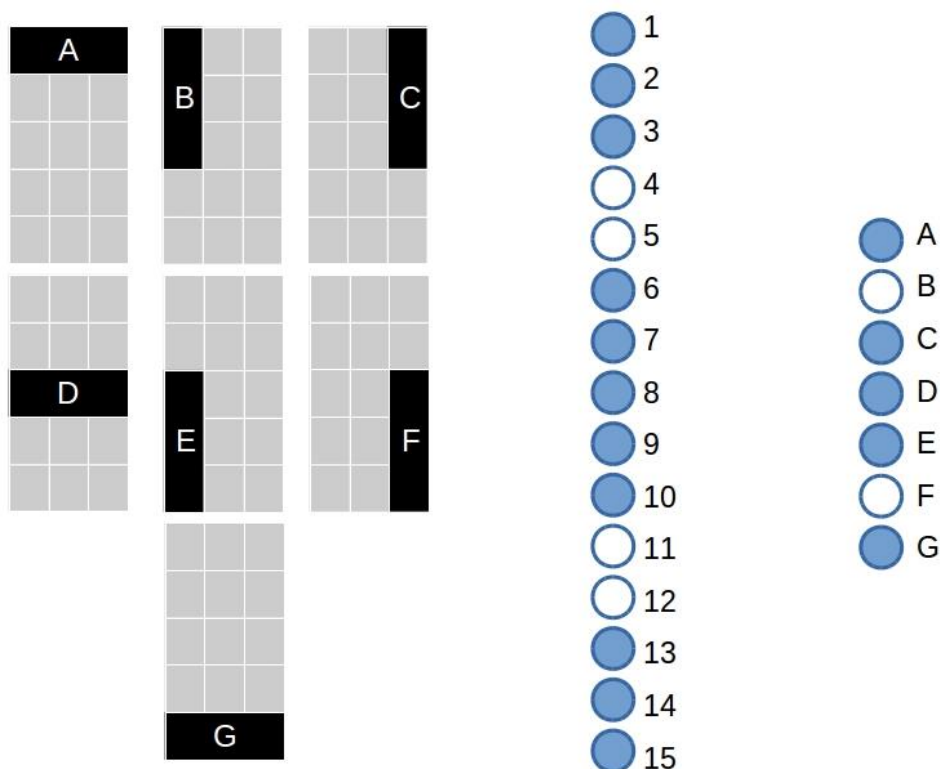
Kuva 4: Numero 2 3x5 pikselin kuvana ja neuroverkon syötekerroksen aktivoituneet (tummennetut) neuronit, kun syöte on 2.



Mieti, minkälaista syötettä vastaisi numero 7, tai numero 4. Muistilapuilla syötteen voi muodostaa laittamalla aktivoituneen neuronin (eli muistilapun) päälle herneen.

Neuroverkon seuraava taso voisi tunnistaa, mitä viivoja syötekerroksen pikselit muodostavat. Digitaalisen näytön numerot voivat koostua 7 erilaisesta viivasta, joten siksi välikerroksessa voisi olla 7 neuronia, joiden tehtävänä olisi tunnistaa pikseleiden perusteella, onko kuvassa kyseinen viiva vai ei. Kuvassa 5 on havainnollistettu, mistä eri viivoista digitaalisen näytön numerot koostuvat, ja viivat on nimetty kirjaimilla A-G.

Kirjoita muistilapuille kirjaimet A-G, ja aseta laput neuroverkon välikerrokseksi pystyriiviksi pöydälle.



Kuva 5: Kuvasta viivat A-G tunnistavan välikerroksen neuroneiden aktivoituminen, kun syötteenä oli numero 2.

Mieti seuraavaksi, minkä kaikkien syötekerroksen neuroneiden aktivoituminen vastaa tilannetta, että kuvassa on viiva A. Toisin sanoen mistä pikseleistä viiva A koostuu? Entä viiva B? Montako syötekerroksen neuronია liittyy kuhunkin viivaan?

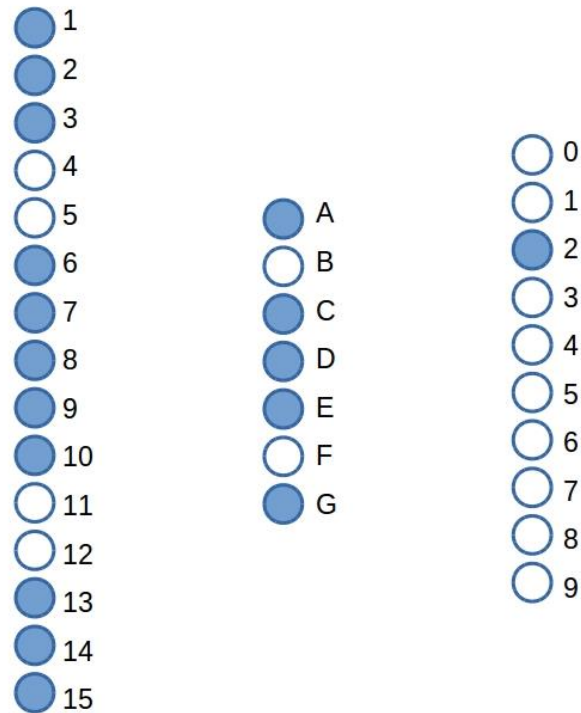
Halutaan, että jokainen välikerroksen neuroneista A-G aktivoituu vain tiettyjen, kyseiseen viivaan liittyvien, syötekerroksen neuroneiden 1-15 vaikutuksesta. Näin ollen näiden neuroneiden välillä tulee olla vahvat synapsit. Voidaan ajatella, että kyseisten synapsien paino on 1, ja muiden 0. Halutaan myös, että välikerroksen neuroni aktivoituu vain, jos kaikki 3 siihen liittyvää syötekerroksen neuronია ovat aktivoituneita. Neuroneilla on siis oltava aktivoitumisraja, joka tässä tapauksessa on 3.

Kirjoita jokaiseen lappuun A-G "Paino 1:" ja luettele niiden syötekerroksen neuroneiden (eli pikseleiden) numerot, joihin kyseinen viiva liittyy. Kirjoita lappuun myös "Aktivoitumisraja: 3".



Kun välitaso on tunnistanut, mitä viivoja syötteen kuvassa on, voidaan viivoista tunnistaa kyseessä oleva numero. Tuloskerroksen neuronit vastaavat siis numeroita 0-9. Oikeaa numeroa vastaavan neuronin pitäisi aktivoitua, kun kaikki numeron viivoja vastaavat välikerroksen neuronit ovat aktivoituneita.

Kirjoita muistilapuille numerot 0-9, ja aseta laput neuroverkon tuloskerrokseksi pystyriiviksi pöydälle.



Kuva 6: Koko neuroverkon rakenne, ja aktivoituneet neuronit, kun syötteenä on numero 2.

Mieti samaa tapaan kuin edellä, mihin välikerroksen neuroneihin kunkin tuloskerroksen numeron tulisi yhdistyä, eli mistä viivoista kukin numero koostuu. Montako välikerroksen neuronit liittyy kuhunkin numeroon, eli mikä on tuloskerroksen neuroneiden aktivoitumisraja tässä tapauksessa?

Nyt esimerkiksi numero 2 koostuu viivoista A, C, D, E ja G. Kaikkien näiden välikerrosten neuroneiden tulee olla aktivoituneina, jotta tuloskerroksen neuronin 2 aktivoituisi. Numeroa 2 vastaavan neuronin aktivoitumisraja on siis 5. Syötekerroksessa eri neuroneilla on eri aktivoitumisraja, joka riippuu siitä, kuinka monesta viivasta vastaava numero koostuu.

Kirjoita jokaiseen lappuun 0-9 "Paino 1:" ja luettele niiden välikerroksen neuroneiden (eli viivojen) kirjaimet, joihin kyseinen numero liittyy. Kirjoita lappuun myös "Aktivoitumisraja:" ja numeron muodostavien viivojen lukumäärä.

Kohtaamme lisäksi nyt ongelman, jota välikerroksen neuroneiden kohdalla ei ilmennyt:



Mitkä välikerroksen neuronit aktivoituvat, jos syötteenä on numero 8? Mitä tällöin tapahtuu tuloskerroksen neuroneissa? Mitä tälle ongelmalle voisi tehdä, jotta neuroverkko toimisi niin kuin pitää?

Ongelmana on se, että joihinkin numeroihin sisältyy samat viivat, kuin toiseen numeroon. Esimerkiksi numeron 1 viivat (C ja F) sisältyvät numeroihin 3, 4, 7, 8, ja 9. Näin ollen myös tuloskerroksen numeroa 1 vastaava neuronit aktivoituu, vaikka syötteenä olisikin ollut jokin muista edellä mainituista numeroista. Jos syötteenä on numero 8, kaikki tuloskerroksen neuronit aktivoituvat.

Neuroverkossa tämä ongelma ratkeaa asettamalla synapseille negatiivisia painoja. Sen sijaan, että niiden viivojen ja numeroiden, jotka eivät liity toisiinsa, välillä synapsin paino olisi 0, se onkin -1. Jokaisella tuloskerroksen neuronilla on oma aktivoitumisraja, joka on sama kuin numeron viivojen lukumäärä. Jos välikerroksessa on aktivoituneena viiva, joka sisältyy kyseiseen numeroon, neuronin aktivoitumisluku kasvaa yhdellä. Jos taas välikerroksessa on aktivoituneena viiva, joka ei sisälly kyseiseen numeroon, aktivoitumisluku pienenee yhdellä. Tuloskerroksen numero aktivoituu vain, jos sen aktivoitumisluku on yhtä suuri kuin sen aktivoitumisraja. Tällöin tasan oikeita viivoja vastaavat välikerroksen neuronit ovat aktivoituneina.

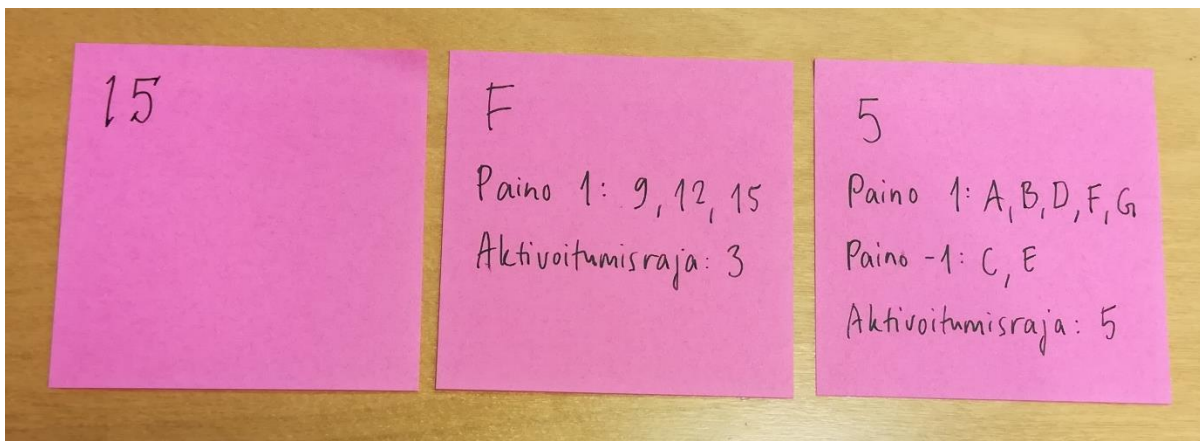
Kirjoita jokaiseen lappuun 0-9 "Paino -1:" ja luettele niiden välikerroksen neuroneiden (eli viivojen) kirjaimet, jotka eivät sisälly kyseiseen numeroon.



Neuroverkko muistilapuilla

Edellä on esitelty, miten neuroverkko rakentuu muistilapuista. Mallissa voi käyttää myös muistilappujen tilalla muita paperinpaloja tai esimerkiksi kertakäyttökuppeja, joiden kylkeen voi kirjoittaa. Yhteenvetona neuroverkko rakentuu siis seuraavasti:

1. Syötekerros koostuu 15 lapusta, jotka nimetään 1-15.
2. Välikerros koostuu 7 lapusta, jotka nimetään A-G. Lisäksi lappuihin kirjataan
 - a. Positiiviset synapsit ("Paino 1"): Niiden syötekerroksen neuroneiden (eli pikseleiden) numerot, joihin kyseinen viiva liittyy.
 - b. Aktivoitumisraja: Kuinka monesta pikselistä yksi viiva koostuu
3. Tuloskerros koostuu 10 lapusta, jotka nimetään 0-9. Lappuihin kirjataan lisäksi
 - a. Positiiviset synapsit ("Paino 1"): Niiden välikerroksen neuroneiden (eli viivojen) kirjaimet, jotka liittyvät kyseiseen numeroon.
 - b. Negatiiviset synapsit ("Paino -1"): Niiden välikerroksen neuroneiden (eli viivojen) kirjaimet, jotka eivät liity kyseiseen numeroon.
 - c. Aktivoitumisraja: Numeron muodostavien viivojen lukumäärä.



Kuva 7: Esimerkki neuroverkkomallin eri tasojen neuroneista (vasemmalta oikealle syötekerroksen, välikerroksen ja tuloskerroksen muistilappu). Kuva koko mallista löytyy viimeiseltä sivulta.

Miten verkon toimintaa voi sitten kokeilla?

1. Levitetään laput pöydälle neuroverkon kerrosten mukaisesti (ks. kuva 6)
2. Päätetään numero väliltä 0-9, ja asetetaan herne jokaisen syötekerroksen lapun päälle, joka vastaa aktivoituvaa neuronaa (ks. esimerkki syötteestä kuvassa 4). *Esimerkiksi jos valitaan numero 7, laitetaan herneet lappujen 1, 2, 3, 6, 9, 12 ja 15 päälle.*
3. Katsotaan välikerroksen lappuja ja niissä mainittuja positiivisia synapseja: Lapun päälle laitetaan niin monta herneltä, kuin syötekerroksessa on herneitä mainittujen lappujen päällä. *Esimerkiksi lapussa C positiivisissa synapseissa on mainittu luvut 3, 6 ja 9. Jos syöte oli numero 7, kaikkien näiden lappujen päällä on syötekerroksessa 1 herne, joten C-lapun päälle tulee 3 herneltä.*



4. Kaikkien välikerroksen neuroneiden aktivoitumisraja on 3, joten ne laput, joiden päällä on 3 hernetä, aktivoituvat. Ota muista lapuista kaikki herneet pois, ja jätä aktivoituneiden lappujen päälle 1 herne.
Jos syöte oli 7, aktivoituneiksi pitäisi tulla laput A, C ja F.
5. Katsotaan sitten tuloskerroksen lappuja ja niissä mainittuja positiivisia synapseja: Jälleen lapun päälle laitetaan niin monta hernetä, kuin välikerroksessa on herneitä mainittujen lappujen päällä.
Esimerkiksi lapussa 1 positiivisissa synapseissa on mainittu kirjaimet C ja F. Jos syöte oli numero 7, molempien lappujen päällä on syötekerroksessa 1 herne, joten 1-lapun päälle tulee 2 hernetä.
6. Katsotaan tuloskerroksen lapuissa mainittuja negatiivisia synapseja: Lapun päältä otetaan pois niin monta hernetä, kuin välikerroksessa on herneitä mainittujen lappujen päällä.
Esimerkiksi lapussa 1 negatiivisissa synapseissa on mainittu kirjaimet A, B, D, E ja G. Jos syöte oli numero 7, lapun A päällä on välikerroksessa herne, joten 1-lapun päältä otetaan pois 1 herne.
7. Katsotaan, missä tuloskerroksen lapussa on herneitä yhtä paljon kuin on kyseisen lapun aktivoitumisraja. Vain tällainen neuroni aktivoituu – jos verkko toimii oikein, vain yhden lapun tulisi aktivoitua, ja se kertoo mikä numero oli syötteenä.
Jos syötteenä oli numero 7, lapun 1 päällä on lopulta vain 1 herne, mutta sen aktivoitumisraja on 2. Lapun 7 päällä pitäisi olla tasan 3 hernetä, mikä on myös sen aktivoitumisraja. Näin ollen tulokseksi saadaan numero 7!

Kun on päästy jyvälle neuroverkon toiminnasta, voi pyytää kaveria keksimään numeron, joka täytyy tunnistaa. Kaveri laittaa herneet syötekerrokseen oikeille lapuille. Lisäksi muistilappujen järjestystä voi vaihtaa siten, että syöte- ja tuloskerroksen laput eivät ole numerojärjestyksessä, eivätkä välikerroksen laput aakkosjärjestyksessä. Tällöin tulosta on vaikeampi arvata etukäteen, mutta neuroverkon pitäisi onnistua numeron tunnistamisessa joka tapauksessa, kun seuraa yllä olevia ohjeita.



Sovellusehdotuksia ja muita huomioita

- Yksinkertaistetummassa toteutusversiossa voidaan jättää negatiiviset painot käsittelemättä. Sovitaan, että jos useamman tuloskerroksen neuronin aktivoitumisraja ylittyy, ainoastaan se, jonka aktivoitumisraja on suurin, aktivoituu.
- Jatkokysymyksenä voi pohtia, voisiko yllä esiteltyä neuroverkkomallia muokata siten, että se tunnistaisi myös aakkosia. Tai voisiko muodostaa kokonaan uuden aakkosia tai muita kuvioita tunnistavan neuroverkkomallin?
- Mielikuvitusta voi herätellä numeroita tunnistavan neuroverkkomallin rakentamisen jälkeen myös esimerkiksi seuraavilla kysymyksillä: Miten tilanne monimutkaistuu, jos kuvassa on muitakin sävyjä kuin mustaa ja valkoista? Entä jos kuvan koko onkin vaikka 28×28 pikseliä? Miten voidaan tunnistaa käsinkirjoitettuja numeroita, kun jokainen numero on hieman erilainen, eikä tarkalleen tiedetä, mikä pikseli liittyy mihinkin? Kun tilanne käy ihmiselle liian monimutkaiseksi, koneoppiminen astuu kuvioihin.
- Yllä esitellyssä neuroverkkomallissa on tehty isojakin yksinkertaistuksia. Jos neuroverkkojen matematiikkaan ja toimintaan haluaa tutustua vähän syvemmin, hyvänä lähteenä toimii esimerkiksi 3Blue1Brown-käyttäjän YouTube-video *"But what is a Neural Network? | Chapter 1, deep learning"*.



1			0
2			Paino 1: A,B,C,E,F,G Paino -1: D Aktivoitumisraja: 6
3		A	1
4		Paino 1: 1,2,3 Aktivoitumisraja: 3	Paino 1: C, F Paino -1: A,B,D,E,G Aktivoitumisraja: 2
5		B	2
6		Paino 1: 1,4,7 Aktivoitumisraja: 3	Paino 1: A,C,D,E,G Paino -1: B,F Aktivoitumisraja: 5
7		C	3
8		Paino 1: 3,6,9 Aktivoitumisraja: 3	Paino 1: A,C,D,F,G Paino -1: B,E Aktivoitumisraja: 5
9		D	4
10		Paino 1: 7,8,9 Aktivoitumisraja: 3	Paino 1: B,C,D,F Paino -1: A,E,G Aktivoitumisraja: 4
11		E	5
12		Paino 1: 7,10,13 Aktivoitumisraja: 3	Paino 1: A,B,D,F,G Paino -1: C,E Aktivoitumisraja: 5
13		F	6
14		Paino 1: 9,12,15 Aktivoitumisraja: 3	Paino 1: A,B,D,E,F,G Paino -1: C Aktivoitumisraja: 6
15		G	7
		Paino 1: 13,14,15 Aktivoitumisraja: 3	Paino 1: A,C,F Paino -1: B,D,E,G Aktivoitumisraja: 3
			8
			Paino 1: A,B,C,D,E,F,G Paino -1: - Aktivoitumisraja: 7
			9
			Paino 1: A,B,C,D,F,G Paino -1: E Aktivoitumisraja: 6

