

Sare neuronal artifiziala

A. Tapia & J. Florez

Gaur egun, informazioa prozesatzeko behar den ia guztia, ordenadore digitalen bitartez lortzen da. Ondorioz, egoera honek, aipatutako prozesatze-lana ordenadore digitaletan baino oinarriz ez delako ustea zabaldu du. Dena den, konputazio-teknologia optikoen azken garapenei eta 60.eko hamarkada baino lehen garatutako ordenadore analogikoei begiratuz gero, argi geratzen da beste konputazio-bide batzuk ere badaudela.

Zibernetikaren ikuspuntutik begiraturaz gero, ordenadore digital ezagunenetan erabiltzen diren prozesatzeko teknikez gain, beste posibilitate batzuk ere agertzen dira. Gehien ikertzen ari den norabideetako bat, gizakiarengan nahiz beste bizidunengan aurki daitezkeen portaera-printzipioak eta egitura berberak erabiltzen dituzten prozesatzeko sistemak garatzeko posibilitatea da. Honek, ordenadore berriak sortarazi ditu: neuroordenadoreak. Bien artean desberdintasun garrantzitsua dago. Ordenadore digitalak, kanpoan aurkitzen den guztiaren agerpen sinbolikoak maneiatzeko diseinatu diren sistema sekuentzialak dira. Bestalde, neuroordenadoreak, kanpoko informazioa zuzenean prozesatzeko erabiltzen diren sistema paraleloak dira, hau da, agerpen sinbolikoak erabili gabe prozesatzen dute. Neurokonputazioaren atzean dagoena ulertzeko, neurobiologiaren printzipioak eta berauek konputazio superrazkarraren duten garrantzia ulertzea oso interesgarria da.

Neurokonputazioaren oinarriak

Neuronak zelula nerbioak dira, eta sare neuronalak, zelula horietaz osatutako sareak. Garuna, sare neuronalen adibide naturala da. NSA (Sare Neuronal Artifizial) izeneko sare artifizialez betidanik izan den interesaren zergatia, kontsiderazio anatomiko eta psikologikoetan oinarrituta zegoen. Neuronartartifizialen lehen erdutzapenak egin zituztenak, neurona biologikoen estimulua/erantzuna erlazioa eta gainera neuronaren barne-egitura agertzen ere saiatu ziren. Hau da, fisika- eta injinerutza-arloetan nabarmenenak, neuronaren "konputazio-ezaugarriak" izan ziren. Logika, matematika, konputazio-zientzia eta fisikaren arloetan lan egiten dutenek

arazo honetaz izan duten interesa urteetan zehar gora eta behera ibili arren, gaur egun, goi-mailan dago. Honen arrazoia, orain arte erabili diren konputazio-sistemei konpondu ezin diren arazoei irtenbidea emango dieten ordenadore boteretsuak sortzean datza.

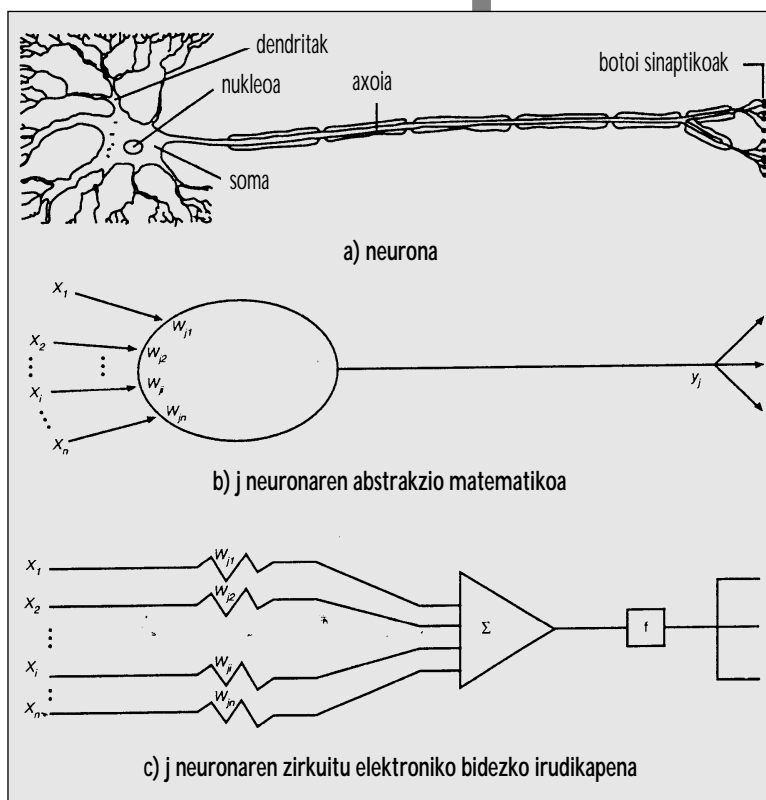
Oinarriko kontzeptu biologikoak

Gaur egun dakigunaren arabera, neurona biologiko baten anatomia ondoko hau da:

- * Adar-egitura, dendrita izeneko zelulak dituen eta beste neuronetatik seinaleak hartzeko gunea dela pentsatzen delarik.
- * Zelularen gorputza, soma izeneko.
- * Lerroz osatutako transmisio-egitura luzea, axon deritzona.
- * Axon-aren buztanaren azkenean kokatutako brotxa antzeko egiturak, botoi sinaptiko deritzenak.

1.a. irudian, aipatutako neurona biologiko baten estruktura aurkezten dira. 1.b. irudiak, neuronaren abstrakzio matematikoa aurkezten du. Irudi honetan x_1, x_2, \dots, x_n , j neuronara iristen diren sarrerak dira; w_{ij} , erresistentzia sinaptikoak eta y_j , neuronaren irteera. 1.c. irudian, 1.b. irudiko abstrakzio matematikoari dagokion zirkuitu elektrikoa erakusten da. Kasu honetan x_i bakoitza tentsioa da eta w_{ij} , bakoitza, potentziometro batez aurkezten da. Bere barnean batuketa-zeinua duen hirukia, batuketa-eran konfiguraturako anplifikadore operazionala da. f kantitate berriz, lineala ez den edozein funtzio izango da. 2.a. irudian, neurona biologikoen sare bat ikus daiteke. Sare horretako bi neurona oso hurbil kokatuta daudenean, elkartze-pun-

1. irudia. Neurona biologiko eta artifizialak (matematikoa eta elektronikoa).

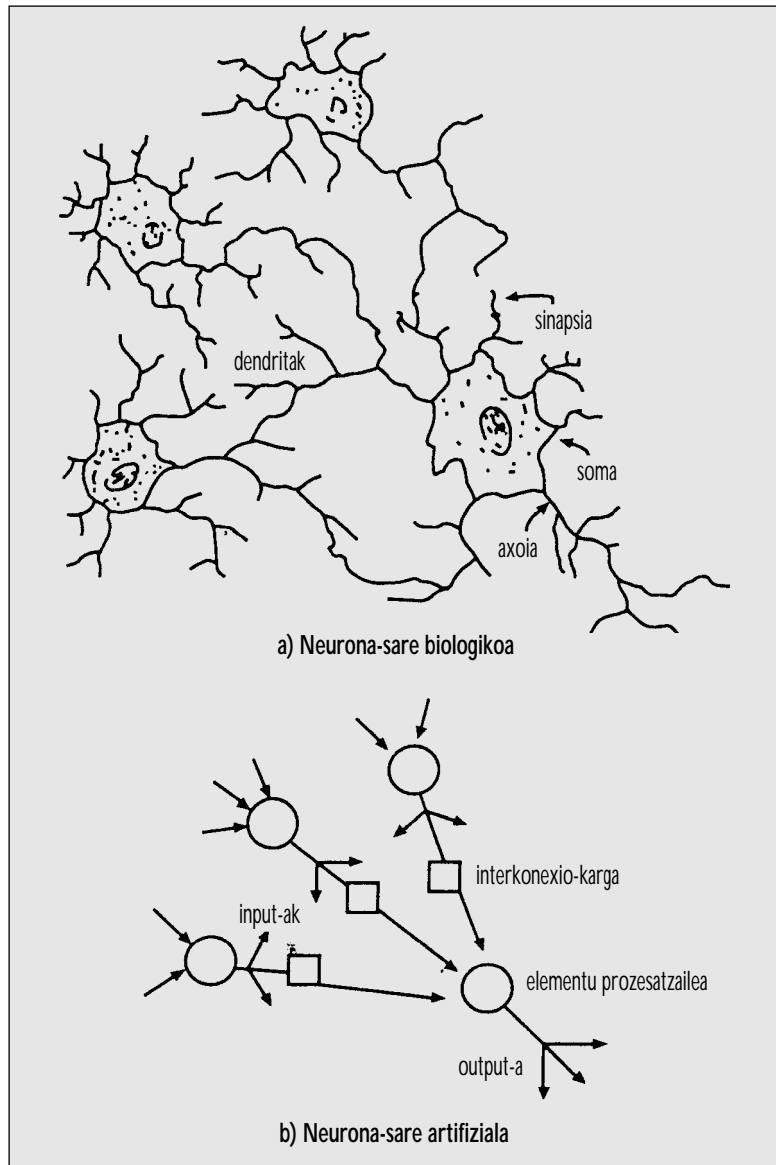


ADIMEN ARTIFIZIALA

tuari sinapsi deritzo. Ukitze-puntuan neuronen artean izaten den eragina, elektromekanikoa da. Sinapsia ez da benetako ukipen fisikoa. Seinale bat pizte-sistema bezala portatzen da, hau da, seinalearen kontzentrazioak muga bat gainditzen duen arte ez da informazioa pasatzen. Hori gertatzen denean, potentziala sortzen da informazioa hartzen duen zelulan.

Neurona batek aldamenekoetik kontaktu sinaptikoen bitartez informazioa hartzen duenean, elkarren segidan datozen pultsuen bidez hartzen du. Orduan, sarreren batuketa algebraiko azaltua egin, batuketa horren euste-funtzioa konputatu eta (funtzioaren balioak muga-balioa gainditzen badu) irteera sortzen da. Kontaku sinaptikoetan transmisioa norabide bakarrean egiten denez, sarrerako eta irteerako pultsuak dendritetatik somara, hemendik axonera eta azkenik, botoi sinaptikoetara joaten dira. Neurona biologikoen oinarritzko konputazio-mekanismoak batuketa ponderatua eta euste-funtzioa direnez gero, funtzio biologiko horiek NSA sareen bidez emulatzeko saiaturiko gara.

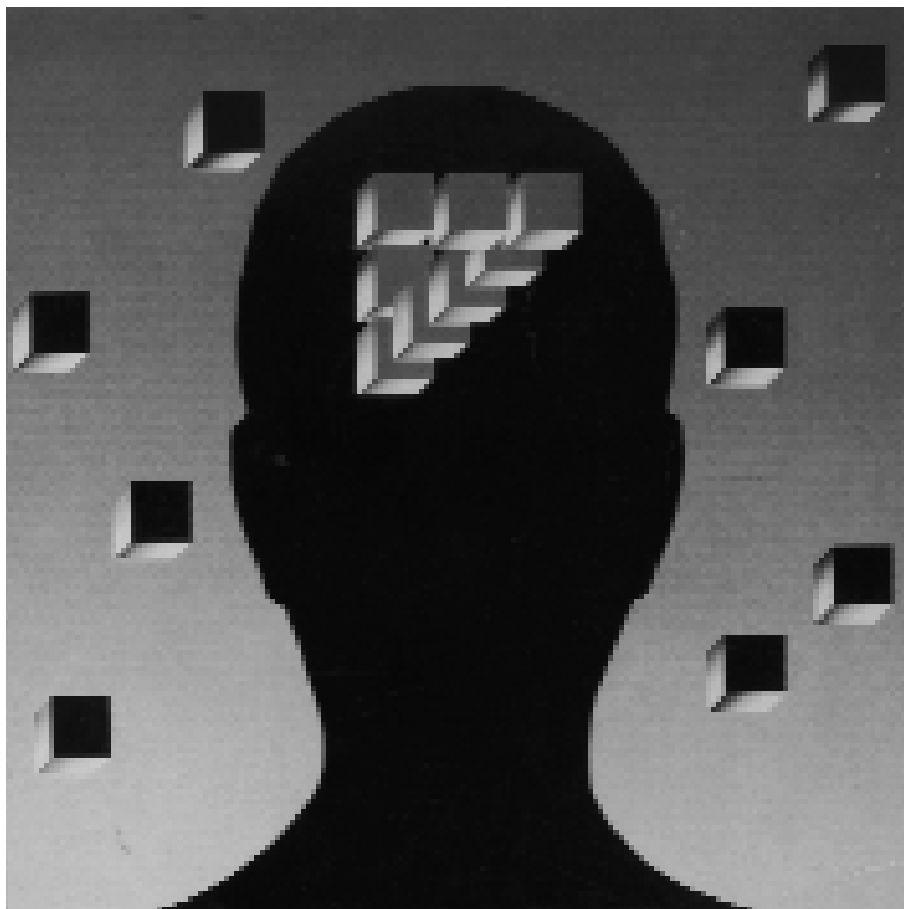
Gizakiaren garunak 10^9 eta 10^{12} bitarteko neurona-kopurua duela estimatu da, beren artean 10^{15} kontaktu sinaptiko baino gehiago daudelarik. Zelula horiek, garuneko oinarritzko informazioa prozesatzeko unitateak dira. Gainera, neurona arrunt batek beste 10.000 neuronetatik informazioa jasotzen eta informazio hori, behar bada 1.000 neuronetara bidaltzen duela estimatu da. Neurona bakanen portaera eta neuronen arteko konexioak nolakoak diren jakin arren, neurona-taldeak batera ari direnean duten portaeraren berri ez dugu. Beraz, egin dezakegun gauzarik onena, egitura berberari jarraituz sare artifizialen portaera ere nolabait berdintsua izango dela kontsideratzea da. Egitura horri zeharo ja-



rraitzea ezinezkoa da. Dena den, NSA oso funtzio bereziak beteko dituen sarea denez gero, neurona biologikoak baino egitura simpleagoa izan dezake. Gainera, garunean gertatzen den informazio-prozesatzea paralelo soilik ez dela ongi frogatua dago; ongi kokatutako funtzioak ere badaude. Neuropatologia, neurohistologia eta neurofarmakologiatik ateratutako informazioen arabera, konputazioaren gehienezko zatia gutxi gora-behera 1.000 eremutan (modulutan) gertatzen da. Adibidez, hitz egiteko gaitasuna, garuneko ezker lobulu frontalean dagoen Broca-ren guneari lotuta dago, eta lengoia naturala uler-

2. irudia. Neurona-sare biologiko eta artifizialak.

tzeko gaitasuna berriz, ezkerreko eta lobulu tenporalaren atzeko zatian dagoen Wernicke-ren guneari lotuta dago. Beraz, goi-mailako operazioak eremu berezietan egiten direla esan daiteke, eremu horiek beren artean nolabait komunikatzen direlarik. Informazioa prozesatzean lan egiten duten osagaiak, zerebeloa, hipokanpoa, amigdalak eta kortex zerebrala direla pentsatzen



da. Guzti honek, gizakien garuna funtzioen arabera eremutan banatuta dagoen egitura dela pentsarazten digu, prozesatzea era paraleloan egiten delarik. Gainera, neuronen lan paraleloa asinkronoki egiten dela dirudi, hau da, sinkronizazio-zentrurik gabe (erlojurik gabe). Arrazoi hauen-egatik, askok prozesaketa era paraleloan burutzen duten taldeen bitartez (beren arteko komunikazio nahiz funtzioen banaketa asinkronoki eginez) sare neuronal hobeki agertuko litzatekeela pentsatzen dute.

Sareen funtzionamendua

NSA sareen bidez egindako konputazio-prozesua honako hau da: (NA) "Neurona artifizial" (edo (PE) prozesatze-elementu) batek beste NA batetik edo kanpoko estimulu batetik hartzen ditu sarrerak. Sarrera hauen batuketa

astatuak, funtzio aktibatzailearen (edo transferentzi funtzioaren) argumentua osatzen du. Neuronaren ezaugarriak definitzen dituen funtzio hau, normalean ez da lineala izaten. Funtzio aktibatzailearen emaitza, NA-ren irteera da. Irteera hau, beste NA baten konexioetan zehar banatu egiten da. Konexio hauek egiteko moduak (hau da, topologia), sarean zehar gertatzen den informazio-fluxua definitzen du eta sarearen arkitektura deritzo. Arkitekturako konfigurazio erabilienak, geruza batekoa, geruza anitzekoa, berrelikadurazkoa, elikadura aurrerantza egiten duena eta alboko konektibitatea erabiltzen dutenak dira. Arkitektura hauetako konexio astatuek duten garrantzia oso handia da eta ondorioz, konputazio-eredu konektibo gisa ezagutzen dira.

Sarea prestatzean egiten den pi-suen egokitze-prozesuari, ikaste-ko erregela deritzo. Hau da, sare

neural artifizialen sistemak ez dira programatzen; irakatsi egiten zaie. Ikaste-prozesu hori ikuskatua edo ikuskatu gabea izan daiteke. Ikuskatutako ikaste-erregelan gehien erabiltzen dena, atzerantz programatzeko (BP) metodoa da. Ikuskatu gabeko metodo bat auto-organizaziokoa da. Laburtuz, NSA sareetan oinarritutako konputazio-sistemetan behar-beharrezkoak diren hiru osagaiak, transferentzi funtzioa, arkitektura eta ikaste-erregela dira. Honelako konputazio-ereduek, benetako garunen antza metaforikoa besterik ez dutela esan behar da.

Eredu konputazional egokia lortzen denean, sistema ezartzeko, konputazio-osagai digital, optiko edo analogikoak erabil daitezke eragiketa-bloke bezala. Injineru elektrikoen artean ezaguna den eta nolabait neuronen antzera portatzen den osagaia, integradore gisa konfiguraturako amplifikadore operazionala da. Beren artean potentziometro bidez konektaturako ehundaka integradore ikuskatuz gero (potentziometroak sinapsiak direlarik), NSA baten lehen hurbilketa gisa azter daiteke. Potentziometro horiek ikaste-algoritmoa irudikatzen egokitzen badira, sare neuronalerako hurbilketa hobea lortuko litzateke. Konputazio analogikoaren funtzionamendua ezagutzen duen edonork daki konputazio-konfigurazio hori (eta ondorioz sare neuronal deskribatzeko eredu matematikoa) lineal ez diren eta akoplatutako ekuazio diferentzialen talde batez osatuta dagoela. Hau da, NSA-k, programatzen diren sistema dinamiko gisa ikus daitezke. Beraz, ikasketa-prozesua, sistema dinamikoak energia minimoko egoera lortzen duen artean, parametroen (ekuazio diferentzialen koefizienteen) egokitze-prozesua gisa ager daiteke. Honela, matematika zabalago erabil daiteke.

ADIMEN ARTIFIZIALA

Aurrean emandako deskribapenak neurona artifizialaren eta NSA-ren nahikoa aurkezpen egozia izan arren, oraindik NSA-ren definizioa ezin da guztiz zehaztu. NSA, elkarrekin konektatuta dauden prozesatze-osagai anitz dituen banatutako konputazio-sistema gisa defini daiteke. Beste definizio bat, NSA bere kabuz ikasteko gaitasuna duen egokitzaille eta paralelo den sistema dela esatea da, informazioa prozesatzeko lanak egiteko ere gai delarik.

Neurona biologiko eta artifizialen arteko desberdintasunak

Aurrean aipatutakoa hobeto ulertzeko, neurona biologikoez eta neurona artifizialez osatutako sareen artean dauden desberdintasunak aurkeztuko dira:

1. Neuronak simulatzeko erabiltzen diren osagai elektronikak oso azkarrak dira, baina konexio gutxikoak. Neurona biologikoak berriz, dentsitate handiz konektatutako unitate analogikoak dira. Unitate hauen denbora-konstateak milisekundokoak izanik, benetako neuronen lana, artifizialena baino mantsuagoa da. Neurona artifizialek irteera-eskala-reak sortzen dituzte, irteera hauek neurona biologikoei sortzen dituzten pultsuen batezbesteko neurrikoak direlarik. Neurona batetik bestera pultsu bat transmititzen denean, abiadura mantsuan egiten da; 0,5etik 120 metroraingoa egiten dira segundo batean. Parametro hauen arabera, lehenago aipatu diren lan guztiak neurtutako denbora laburretan garunak nola egin ditzakeen ezin da jakin. Dena den, garunaren funtzioak egin nahian ereduak garatzen ari den ikertzaile asko dago.

2. Neurona biologiko batek bera ukituz dauden neuronei lan eginarazi edo geldiarazi egiten die, baina bi gauzak batera ezin ditu egin. Hau, Eccles-en legea dela esaten da. Badirudi NSA sistemak erregela honi ez zaizkiola jarraitzen.
3. Sistema nerbio errealeko informazio-kodeak, NSA sistemak erabiltzen duenarekin desberdintasunak ditu. Adibidez, neurona biologiko batek irteera sortzen duenean, irteera hori elkarren segidako pultsuen taldea da. Irteera honen frekuentzia, neuronara iristen diren sarrera-kopuruen batuketa algebrakoarekin era logaritmikoan erlazionatzen da. Frekuentzia hau, 1 eta 100 ziklo segundokoa da gutxi gorabehera. Honek, neurona batetik besterako informazioaren transmisioan erabilitako bit-ak, oso gutxi direla adierazten du.
4. Azkenik, benetako garunak azaleko konputazio-egiturak direla dirudi, hau da, oso geruza gutxikoa, antzekotasun-maila handia delarik. Bestalde, ordenadore digital arruntetan oinarritutako ereduak sekuen-

tzialak dira eta egitura konputazional sakona dute.

Etorkizuna

Gaur egun badira sare neuronal hauek arrakasta handiz aplikatzen ari direneko arloak: ikusmen artifiziala, lengoia naturalen itzultzaileak, etab.

Dena den, sare hauen ikaste-prozesua nahiz berauen dentsitateari lotutako arazoak, ez dira oraindik zeharo gainditu. Bestalde, VLSI (very large scale integration) teknologiarekin eta optika, optoelektronika eta teknologia holografikoan gertatzen ari diren aurrerapenekin, arazo hauei irtenbidea emango zaiela dirudi.

Honela, sare neuronalez osatutako eta digital ez diren ordenadore-mota berri hauek gure eguneroko bizitzan eragingo duten iraultza teknologikoa izugarria izango da: segurtasun-sistematan, kalitatezko kontrol-sistematan, medikuntza-arloan, etab. etan. ➡

