



IÑIGO IBÁÑEZ

GORKA AZKUNE GALPARSORO

(Azpeitia, 1982). EHU*n* ikasi zuen Informatika Ingeniaritza. Karrera-amaierako proiektua Optika Kuantikoko Max Planck Institutuan egin zuen, Ignacio Ciracen zuzendaritzapean. Tecnalia*n* aritu zen lanean robotika eta adimen artifizialaren arloetan. Deustuko Unibertsitatean doktore-tesia egin zuen, sistema adimentsuen esparruko ikerketetan sakontzeko. Gaur egun, Deustuko Unibertsitateko Ingeniaritza Fakultatean dihardu ikerlari eta irakasle.

Intuizioaren bide ilunak argitzen

Albert Einstein fisikari handiak esan zuen intuizioa dela benetan balio duen gauza bakarra. Einsteinek ez ezik, badirudi beste guztiok ere intuizio-gaitasun itzelak ikusten ditugula zientzialari, politikari eta era guztietako estrategia nabarmenenen atzean. Esan genezake arazo konplexuak askatzeko behar-beharrezkoa dela intuizioa, arrazonamenduarekin eta ezagutzarekin batera. Baina zer da intuizioa? Gizakiok soilik dugun ahalmen berezi bat al da?

EZAGUTZA EZ-ARRAZIONALA

Intuizioaren inguruan, pentsalari askok egin dute lan historian zehar, hala nola Descartesek, Kantek edo Husserlek. Gaur egun, ordea, psikologoek eta neurologoek aztertzen duten kontzeptu bat da intuizioa, eta, horretarako, zientzia modernoaren tresnak eta bideak erabiltzen dituzte. Ez ditugu haien lan sakonak ekarriko hona. Nahikoa zaigu jakitea azken teorien arabera bide ez-arrazionaletatik sortzen den ezagutza dela intuizioa. Ondorioz, ezagutza-mota hori ezin dugu ez azaldu, ezta hitzetan jarri ere [1]. Eman garrantzia kontzeptu horri, berriro ere azalduko zaigu eta.

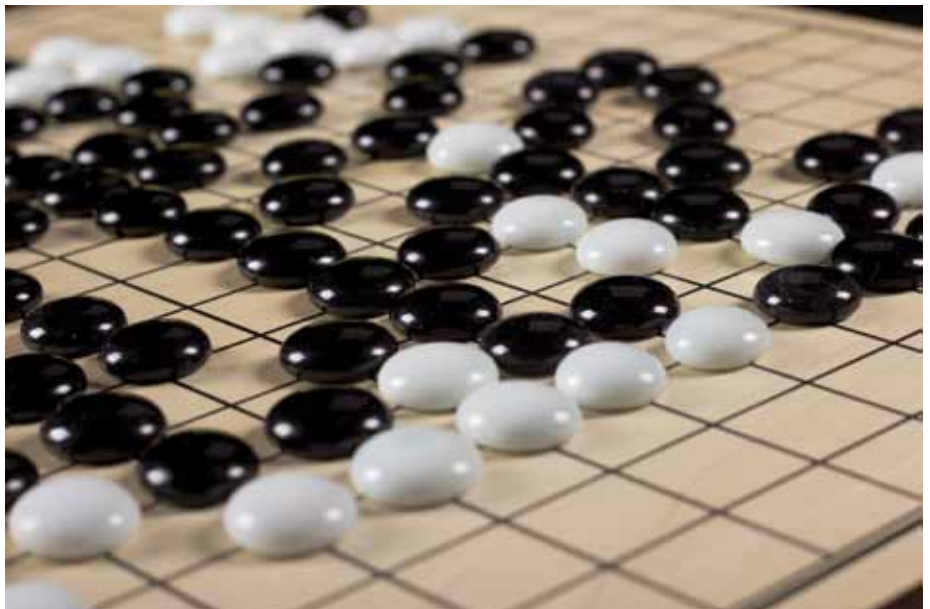
Artikulu honetan zehar ikusiko dugu ea intuizioa gizakiok soilik dugun ezaugarri bat denetz. Horretarako, lehenbizi, xakean jokatzeko duten ma-

kinak aztertu eta ulertuko ditugu. Ondoren, *Science* aldizkariarentzat 2016. urteko lorpen zientifiko handienetako bat dena ikusiko dugu [2]: *AlphaGo*, Go txinatar jokoaren menderatu duen adimen artifiziala.

XAKEA ETA DEEP BLUE MAKINA

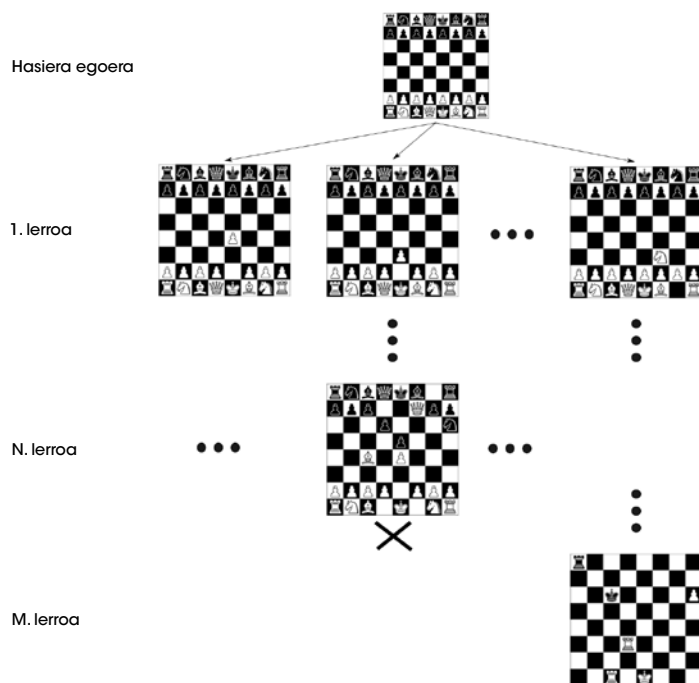
Mendebaldeko kulturaren, xakea izan dugu mahai-jokoaren estrategia-jokoaren gailurra. Saia gaitetzen joko hori zenbakien bidez aztertzen. Xakean, jokalariek bakoitzak 6 motatako 16 pieza ditu hasieran. Mota bakoitzeko pieza era ezberdinetan mugitu daitezke. Beraz, jokoaren edozein egoeratan, jokalariek batek 35 mugimendu ezberdin egin ditzake.

Zuhaitz-erako egiturak erabiliz azaldu daitezke xakea eta halako jokoak. Zuhaitzaren erroan, partidaren hasierako egoera adierazten da, pie-



© DOLLARPHOTOCLUB/LENZENDORFMARCUS

1. irudia. Xake-partida batean egin daitezkeen mugimenduen errepresentazioa zuhaitz moduan. GORKA AZKUNE



za bakoitza hasierako posizioan egonik (1. irudia). Demagun hasierako egoeratik peoi bat mugitzen dugula. Egoera berri hori gure zuhaitzaren lehen lerroan egongo litzateke, beste pieza guztien mugimendu posible guztiak batera. Egoera berri bakoitzetik, mugimendu posible adina adar berri irtengo dira, eta, horrela, bukaerara iritsi arte.

Jotzen da xakean sor daitezkeen jokoen kopurua, hau da, zuhaitzaren nodo-kopurua, 10^{120} inguru dela. Zenbaki horren handitasuna argi-ago ikusteko, pentsa, kalkulu onenen arabera, gure unibertsoan 10^{80} atomo daudela!

Lehenbizikoz xake-maisu handi bat garaitu ahal izan zuen makina *Deep Blue* izan zen, 1997an [3]. IBMk programatutako superkonputagailu hark xakearen zuhaitza erabiltzen zuen erabakiak hartzeko. Zuhaitz osoa gordetzea ezinezkoa denez, joko-egoera bat adierazten zuen nodotik abiatuta, hurrengo sei sakonera-lerroak aztertzen zituen makinak. Sakonera haietan zeuden nodoak ebaluatzen zituen, ikusiz zein nodo zen txarrena beretzat eta zein onena. Ebaluazio horren ondoren, nodorik txarrena ekiditeko egin beharreko mugimendua hartzen zuen.

Joko-estrategia horren gakoa nodoak ebaluatze gaitasuna da. Horretarako, IBMk xake-jokalari handiekin egin zuen lan, haien ezagutzarekin irizpide programagarriak lortzeko. Irizpide horiek *heuristiko* deitzen zaie. IBMk sekulako lana egin zuen heuristiko haiek definitu eta programatzeko, eta, azkenean, Gary Kasparov bera garaitu zuen.

GO TXINATAR JOKOA

Xakearekin alderatuz, go jokoa arauak sinpleagoak dira, baina joko askoz ere konplexuagoa da. Kalkuluen arabera, 10^{171} joko posible daude goan! Baina hori ez da txarrena: xakean heuristikoak programatzeko posible da, baina goan ia ezinezkoa da behar bezala funtzionatzen duten irizpideak ongi definitu eta programa bihurtzea. Adituak, oro har, ados jartzen dira mugimendu bat on ala txarra izan den erabakitzeko, baina ezin izaten dute azaldu zergatik pentsatzen duten hori. Badirudi intuizioa dela goan jokatzeko gakoa. Eta, noski, oraindik ez dakigu intuizioa hitzetan jartzen, formula matematiko bilakatzen edo programa gisa idazten.

Hori dela eta, aditu gehienek esaten zuten, orain dela ez urte asko, go-jokalari onenei irabaziko zien makinarik ez genuela ikusiko hogeitaz bueltan. Bada, ikusi dugu. 2016ko martxoan, Deep Mind enpresak [4] *AlphaGo* makinarekin irabazi zion munduko txapeldun handienetako bati, Lee Sedol korearrari.

ALPHAGO ETA IKASTEKO BOTEREA

Deep Mindeko zientzialariek argi ikusi zuten goa oso joko egokia izan zitekeela ikasteko gaitasuna duten makinentzat. Beraz, neurona-sareak erabiltzen hasi ziren goan jokatzeko [5]. Ikasteko algoritmo arrakastatsuenak dira, gaur egun, neurona-sareak [6]. Garuneko neuronon antzera, neurona artifizialek seinale batzuk jasotzen dituzte (datuak) eta, ikasitakoaren arabera, aktibatu egiten dira ala ez. Ikasteko prozesuan zehar definitzen du neurona-sareak zer daturen aurrean aktibatu eta aktibazio ho-

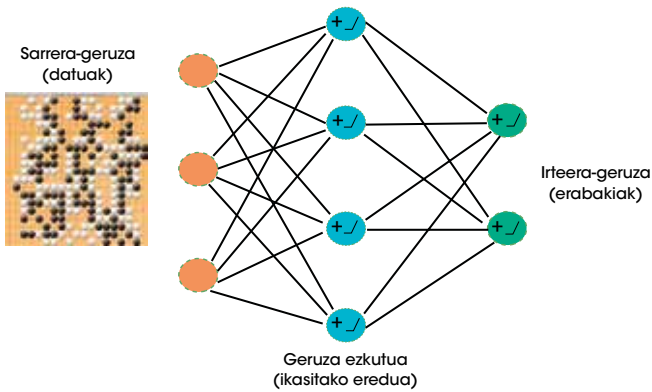
rien intentsitateak nolakoak izan behar duten. Neurona artifizialak elkarrekin lotuz, geruzak eratuz, portaera oso konplexuak ikas ditzakete sare hauek (2. irudia).

AlphaGok bi neurona-sare garrantzitsu ditu: alde batetik, politika-sarea dugu, eta, bestetik, balio-sarea. Politika-sarearen helburua da joko-egoera bat emanda hurrengo mugimendu onena zein izango den asmatzea. Horretarako, bi ikasteko-estrategia konbinatzen dira. Hasieran, gizakiek jokatzeko 30 milioi jokaldi erakutsi zitzaizkion sareari, ikasteko gainbegiratu erabiliz. Hots, sareak ikusten zuen joko-egoera baten zehar, hurrengo mugimendua zein zen erakusten zitzaion. Adibide haietatik orokortzen ikasi zuen. Mugimendu guztiak prozesatu eta ikasteko amaituta, gizaki baten mugimenduak aurreikusten zituen politika-sareak, % 57ko asmatze-tasarekin.

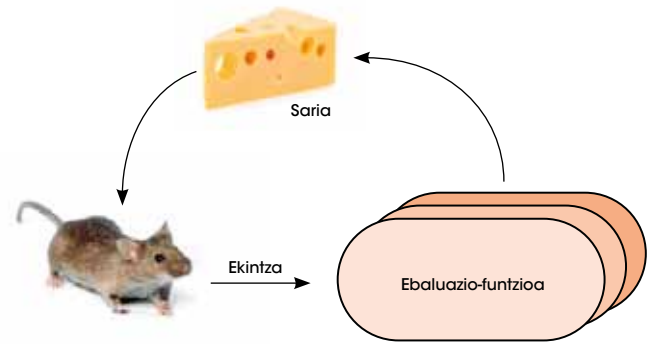
Bigarren fase batean, politika-sarea bere buruaren aurka jokatzeko jarri zuten. Horrela, errefortzu bidezko ikasteko erabiliz, hurrengo mugimendu onena zein zen erabakitzeko gaitasuna hobetu zuen sareak. Ikasteko-mota honetan, sareari erabakiak hartzeko askatasuna ematen zaio. Erabaki horien ondorioz irabaztea lortzen badu, saria ematen zaio. Baina galtzen badu, zigorra ematen zaio. Sari-kopurua ahalik eta handiena izan dadin, geroz eta erabaki hobeak hartzen ikasten du sareak (3. irudia).

Balio-sareak beste helburu bat du. Haren egitekoa da, joko-egoera bat emanda, irabazteko probabilitatea balioztatzea. Sare hori entrenatzeko, *AlphaGok* bere buruaren aurka jokatzeko milaka partida erabili ziren. Hainbeste partida ikusi ondoren, balio-sareak ikasi zuen behar bezala kalkulatu zer aukera duen jokalarik batek joko-egoera baten aurrean irabazteko.

Nola konbinatzen dira bi neurona-sare horiek goan jokatzeko? Horretarako, berriro ere, joko-zuhaitza erabili behar dugu. *AlphaGok*, joko-egoera bat emanda, politika-sarea erabiltzen du hurrengo mugimendu onenak zein diren aurreikusteko. Mugimendu horientzako partidak simulatu ditu sakonera jakin bateraino. Partida horien azken joko-egoerak balio-sareari pasatzen zaizkio, irabazteko probabilitatea kalkulatu dezan. Horrela, politika-sarearen ustez onenak diren mugimenduen artean, balio-sareak irabazteko probabilitate handiena ematen dion jokoadarrari eusten dio *AlphaGok* (4. irudia). Kontu egin, gainera, partida gehiago jokatzeko behar du, bai politika-sarea bai balio-sarea hobeak bilakatzen direla beren lanean.

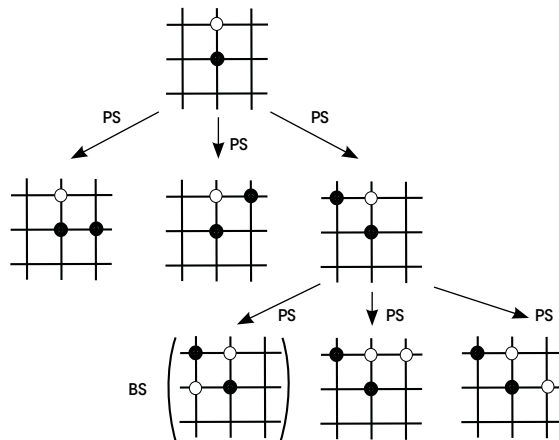


2. irudia. Go jokoarentzat balio dezakeen neurona-sare baten irudikapena. Sarrera-geruzan, joko-egoera ematen zaio. Geruza ezkutuan, neurona bakoitzak batuketak egiten ditu (+), jasotako datuen gainean, eta, ondoren, aktibazio-funtzioa aplikatzen du (-). Irteera-geruzan, estrategia berari jarraituz, erabakiak hartzen ditu (adibidez, partida hau irabaz dezaket ala ez). GORKA AZKUNE



3. irudia. Errefortzu bidezko ikasketaren irudikapena. Saguak ekintza bat burutzen du, eta, ondorioz, ebaluazio-funtzioaren arabera sari bat emango zaio (gazta) ala ez. Horrela, saria irabazten laguntzen dioten ekintzak ikasiko ditu saguak. GORKA AZKUNE

4. irudia. Joko-egoera jakin batetik abiatuta, mugimendu onenak aukeratzeko politika-sareak (PS) (irudi honetan, hiru bakarrik jarri ditugu); sakonera jakin batera iritsitakoan, balio-sareak (BS) joko-egoera guztiak baloratzen ditu; "onena" aukeratzeko (bere ustez onena), eta, beraz, egoera horretara eramango lukeen mugimendua aukeratzeko makinak. GORKA AZKUNE



DEEP BLUEVS ALPHAGO

Ecija da bi makinek joko-zuhaitzean bilaketak eginez hartzen dituztela erabakiak. Baina alde ikaragarria dago zuhaitz horiek aztertzeke garaian. *Deep Blueren* kasuan, adituek eskuz programatu zituzten joko-egoerak ebaluatzeko irizpideak. Beraz, *Deep Blue*ek ezingo luke xakea ez den beste joko batean jokatu. Eta, noski, haren jokatzeko gaitasuna beti bera izango da, adituren batek heuristikoak hobetzen ez dituen bitartean.

AlphaGok bi neurona-sare darabilta mugimendu onenak eta joko-egoerak baloratzeko. Sare horiek ez ditu inork eskuz programatu. Ikasiz lortzen dute, beren gaitasuna eta, beraz, bi abantaila nagusi dituzte:

1. Beste edozein mahai-jokotarako balio dezakete.
2. Partida gehiago jokatzen den heinean, jokalaria hobe bilakatzen da *AlphaGo*.

Bi makinaren funtzionatzeko moduak adimen artifizialaren munduan historikoki izan diren bi paradigma nagusien adierazgarri bikainak dira:

Deep Blueren ezagutzara bideratutako adimen zurruna eta *AlphaGoren* ikasteko gaitasuna. Makinak eskuz programatetik, beren kasa ikas dezaten uzteraino. Gaur egun, nahiko argi ikusi dugu bigarren ideia, ikasteara, askoz boteretsuagoa dela, *AlphaGo* eta halako beste adibide batzuekin.

ONDORIOAK

Intuizioa ezagutza ez-arrazionala omen da. Goan jokatzen duten adituek intuiziora jotzen dute beren erabakiak eta analisiak azaltzeko garaian. Badakite nola jokatu, baina ez dira gai behar bezala azaltzeko. Ezin esan dezakete zergatik den mugimendu bat beste bat baino hobea.

AlphaGok intuizioaren funtzioa imitatu ahal izan du, ikasteko gaitasunaz baliatuz. Joko-egoera baten aurrean, intuizioz erabakitzen du zein den hurrengo mugimendurik onena, gizaki batek egiten duen antzera. Intuizioz erabakitzen du, halaber, joko-egoera batek irabaztera eramango duenetz. Eta badirudi haren intuizioa gizakienaren gaitetik dagoela.

Lee Sedol txapeldun handiak hainbat estrategia erabili zituen *AlphaGo* menderatzeko asmoz. Partida batean, nahita, gaizki jokatu omen zuen, gaizki jokatzen zuen gizaki baten aurrean *AlphaGok* zer egin jakingo ez zuelakoan. Huts egin zuen. Sedolek partida bakarrean irabazi ahal izan zuen, inork gutxik espero zuen mugimendu bati esker. Ingeniarien arabera, *AlphaGok* mugimendu hura aurrekusi omen zuen, baina oso probabilitate baxua eman zion. Beraz, Lee Sedolek makina harrিতuta utzi zuen mugimendu harekin. Behin bakarrik, ordea.

Etorkizunerako erronka da *AlphaGok* darabiltzan neurona-sareak eta ikasketa-teknikak gure eguneroko arazoak konpontzeko erabiltzea. Ikasteko gaitasuna duten makinek laguntza ikaragarria eman diezagukete industrian, zerbitzuetan, medikuntzan eta baita zientziaren garapenean bertan ere. Intuizioa gakoetako bat izaten da domeinu horietan guztietan, eta badirudi jada badakigula zer egin makinek intuizio hori lor dezaten.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Intuizioaren teoriak: <https://es.wikipedia.org/wiki/Intuici%C3%B3n> (azken bisita: 2016/12/28)
- [2] Science's top 10 breakthroughs of 2016: http://www.sciencemag.org/news/2016/12/ai-proteinfolding-our-breakthrough-runners?utm_source=sciencemagazine&utm_medium=twitter&utm_campaign=6319issue10031 (azken bisita: 2016/12/28).
- [3] Deep Blue (chess computer): [https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_Blue_\(chess_computer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_Blue_(chess_computer)) (azken bisita: 2017/01/21)
- [4] Deep Mind: <https://deepmind.com/> (azken bisita: 2017/01/29)
- [5] SILVER, D. ET AL.: "Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search". *Nature*, 529.7587 (2016), 484-489.
- [6] LECUN, Y., BENGIO, Y., HINTON, G.: "Deep learning". *Nature*, 521.7553 (2015), 436-444.