



GURE BEGIEN SEKRETUAK EZAGUTZEN

TESTUA ETA ARGAZKIAK:
ESTIBALIZ GARROTE CONTRERAS
Computer Vision Group. Tecnalia

Ikusmen artifizialak irudi batean dauden elementuak aztertzen ditu. Ezagutzea da haren helburua, baina ezagutzea... laguntzeko. Itsu bati, erosten ari den esnearen marka irakurtzen lagundu; sendagile bati, kalitate handiagoko erradiografia izaten; edota torlojuak egiten dituenari, torloju horiek neurri zehatza izan dezaten, robot batek kotxe batean txertatzeko.

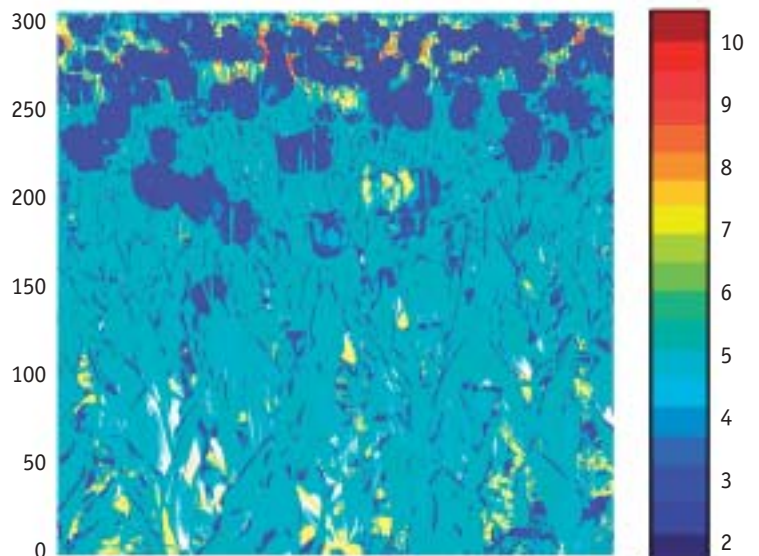
Arlo teknologiko honen atal bat kolorea jakitea da. Eginkizun ugarian, koloreak garraiatzen duen informazioa behar-beharrezkoa da: esaterako, frutaren heldutasunaren maila jakiteko, aldizkariak egoki inprimatu diren ala ez ikusteko, edo freskagarri-latak modu egoki batez litografiatuak izan diren aztertzeko.

KOLOREA

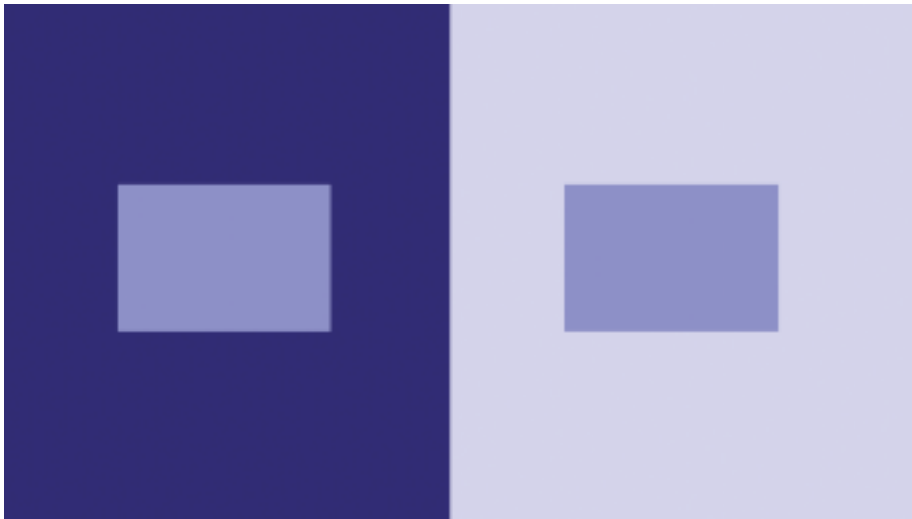
Koloreekin lan egiten dugunean, uste izaten dugu modu erraz batez ebaluatu daitezkeela. Guk uneoro egiten dugu: hurbildu koarderno gorria, edo, begira kotxe urdina. Baina sistema artifizial batentzat lan hori oso zaila da. Lehenengo zailtasuna da kamerek hiru koloreekin bakarrik lan egiten dutela: gorria, berdea eta urdina; RGB esaten zaio (*red, green* eta *blue* ingelesezko hitzak aintzat harturik). Eta bigarrena da kolorea ez dela objektu baten ezaugarri aldaezina. Paperezko orri bat eguzkitan ikusten badugu, zuria irudituko zaigu, baina gela batean argi gorri batekin begiratzen badiogu gorria irudituko zaigu. Kolorea ikustean argiak eragin handia du. Inguruan daukatena ere garrantzitsua da: hurrengo orriko irudian, kolore be-

reko bi lauki dauzkagu kolore ezberdinez inguraturik; gure begiek laukiko koloreak desberdinak direla esaten digute.

Kolorearen portaera zehaztu nahian, ikertzaileek aspaldidanik lanean dihardute. Newtonek eman zituen lehenbiziko urratsak, prisma bat zeharkatzean argia nola deskonposatzen zen aztertuz. Haren atzetik, J.C. Maxwellek eta T. Youngek, esaterako, ildo beretik jarraitu zuten; haiei zor diegu koloreari buruz gaur egun dakiguna: funtsean gizakien pertzepzio bat baino ez dela. Hau da, kolorea existitzen da guk mundua ikusten dugulako eta ikusten dugunari koloreak lotzen dizkiegulako. Hizkuntzeekin gauza bera gertatzen da: hitz batek soinu propioa izan arren, zentzua du guk geuk esanahia ematen diogulako.



Irudi originala eta erretinaren ereduko G off zelula ganglionar nanoak sortzen duen irudia.



Kolorearen aldaketa inguruan duenaren arabera. Lauki txiki biak kolore berekoak dira.

NEUROZIENTZIA

Kolorea gizakien pertzepzioaren ezaugarri bat izanik, nola ikusten dugun aztertzen hasi ginen. Horretarako beharrezkoa zen jakitea gure ikusmen-sistemaren lan egiteko era. Neurozientzia gure nerbio-sistema aztertzen duen diziplina da, eta ikusmena sistema horren barruan dago. Neuroikertzaiak ikuspuntu ezberdinetatik abiatzen dira: biologikoa, medikoa, farmakologikoa... Neurozientzia konputazionalak gure sistema neurologikoaren lan egiteko era aztertzen du, sistema artifizialak sortu ahal izateko, sistema biologikoetan oinarriturik.

GIZON-EMAKUMEEN IKUSMENA

Begiak dira gizakien ikusmenaren sarbidea. Altxor bat dira, denok daukagun altxor bat, eta aztertzen hasi bezain laster sistemaren konplexutasunaz ohartzen gara. Gizakiek bi begi daukagu, eta bakoitzak 100 milioitik gora fotorrezeptore (konoak eta makilak) ditu. Beste modu batez esanda, 100 megapixelko kamera bat daukagu begi bakoitzean, gaur egungo kamera digitalak 5-20 megapixelko tartean daudelarik. Baina, horrez gain, ordenagailu txiki bat dugu: erretina, hain zuzen ere. Ordenagailu hori 6 geruza ordenatu ezberdinez osaturik dago. Erretinako geruza bakoitza zelula ezberdinek gauzatzen dute.

EREDUA

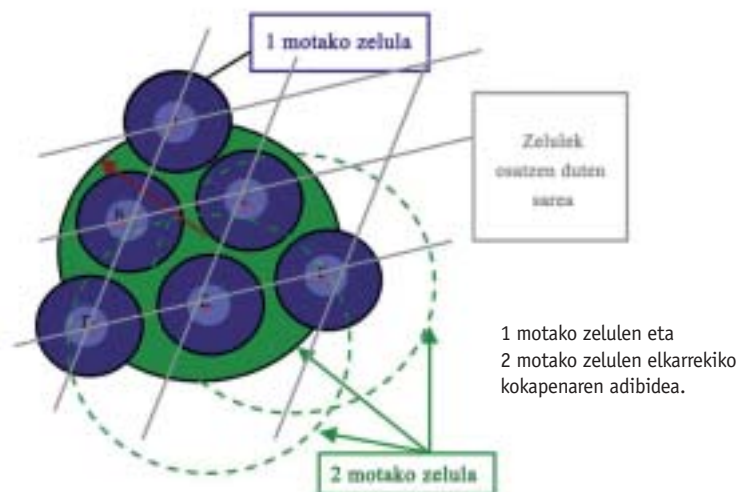
Gizakiek kolorea nola lantzen dugun aztertu ahal izateko, eredu matematikoa garatu dugu erretinaren funtzionamendua irudikatuz. Egitura hori eraiki ahal izateko, ikerketa anatomikoko eta neurofisiologikoko datuak jaso eta aztertu ditugu. Eredua osatzen duen geruza bakoitzaren definizioarekin hasten da. Geruza bakoitzeko zelula bakoitza non kokatzen den zehaztu behar dugu, estalki-maila eta hartze-eremuak definitzeko. Horrez gain, zelulak beste mota bateko

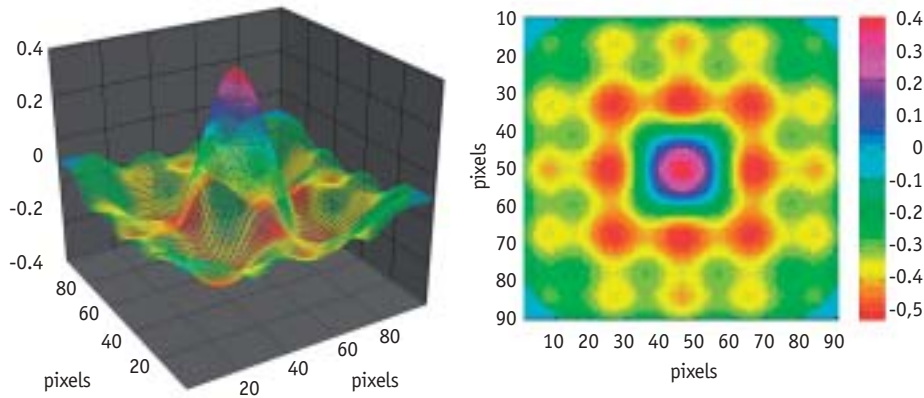
zelulekin konektatuta daude, sarrerako seinaleak jasoz eta irteerako seinaleak igorri, konexio dendritikoak eta axonikoak simulatu. Azkenik, zelulek jasotako seinaleak nola integratzen dituzten eta irteerako seinaleak nola sortzen dituzten, shunt edo konexio bateratzaileen bidez, horiek izan dira landu ditugun beste eremu batzuk.

Beraz, eredu eraiki ahal izateko, zelula bakoitza non dagoen, zerekin eta nola komunikatzen den eta zer lan-mota burutzen duen zehaztu beharra dago.

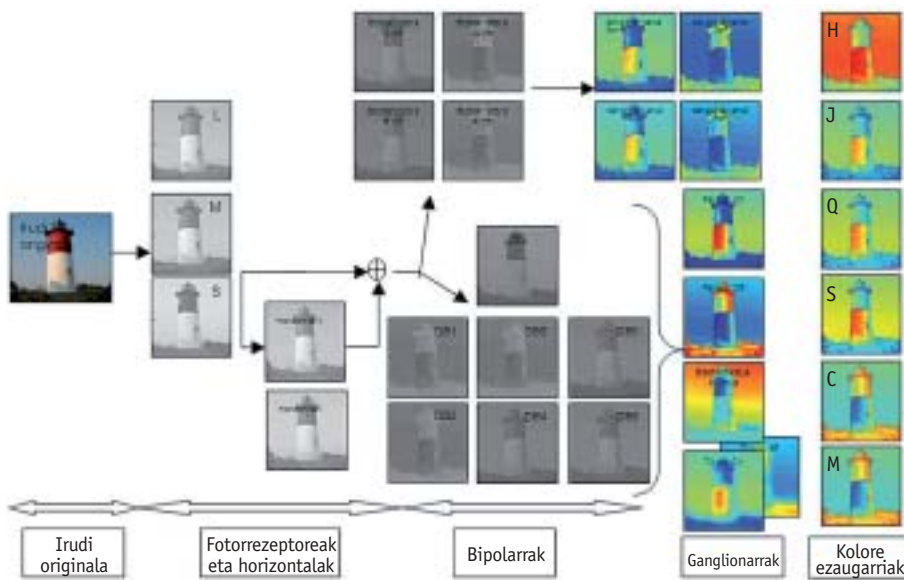
Orotara 4 zelula-mota eta 24 azpimota hartu dira eredutzat. Sistemaren irteerakanalak zelula ganglionarrak dira, eta horiek, pulsu nerbioak kodetu ondoren, nerbio optikoan zehar bidaltzen dute informazioa.

Erretinaren ereduak zelula ganglionar multzo bakoitzak sortzen dituen informazio-kanalak konbinatuz irudi baten koloreak kalkulatzeko duen sistema bat definitu dugu. Horretarako CIECAM02-k (Comission Internationale de l'Eclairage 2002 urtekoa) proposaturiko koloreen atributuen kalkuluetan oinarritu gara. Asmatutako sistema eta CIECAM02a lotuz sistema bioinspiratu bat lortu dugu, gai dena pertsonen bereizten duten eran koloreak bereizteko. Irudi baten kolore-ereduak puntu bakoitzeko ezaugarri hauek kalkulatzeko ditu: tonua, zurtasuna, argitasuna, asetasuna, kroma eta kromatasuna, bai eta ertzen detekziorako parametroak ere, osagai kromatikoetan





Zelula ganglionar nano baten hartze-eremuaren irudikapena. Ezkerrean, 3D bista, eta eskuinean, bista zenitala.



Geruza zelular bakoitzeko sortutako irudien adibideak eta kolore-atributuak erretina ereduko eskeman (H = Tonusa, J = Zuritasuna, Q = Argitasuna, S = Asetasuna, C = Kroma eta M = Kromatasuna).

zein ez-kromatikoetan. Ikerketako lanean asmatutako eredu matematikoak CIEk proposatutako azken ereduak baino emaitza hobekak lortzen ditu Munsell kolore datu-ba-seak erabiltzean. Gainera, CIE eredu labo-rategiko laginekin erabiltzen da soilik; aldiz, aurkeztutako eredu hori irudi errealekin lan egiteko ere gai da. Goiko irudian, eredu-zelula-mota ezberdinek sortzen dituzten irudiak azaltzen dira, baita pixel bakoitzeko kolore-ezaugarriak ere. Sistema horrek atek zabaltzen ditu ikusmen artifizialean izango diren aurrerapenetarako, eta orain

arte lortutako emaitzak hobetzen ditu. Erabili ahal izango da bai pertsonen bizimoduaren kalitatea hobetzeko, eta bai industrian ere. ●

Eskertzak:

Eskerrak TECNALIA FUNDAZIOARI emandako laguntzagatik, eta eskerrak EUSKO JAURLARITZARI ETORTEK programaren bidez Massachusettseko Institutu Teknologikoan eta Cambridgeko Unibertsitatean egindako ikerketentzat diru-laguntzak emateagatik.

BIBLIOGRAFIA

BEAR, M. F.; CONNORS, B.W.; PARADISO, M.A.: “Neuroscience: Exploring the Brain 3rd edition”, in Lippincott Williams & Wilkins (2007).

BOYCOTT, B.B.; WÄSSLE, H.: “Morphological classification of bipolar cells of the primate retina” in *European Journal of Neuroscience*, vol 3 (1991), pp. 1069-1088.

CARANDINI, M.; HEEGER, D.J.: “Summation and division by neurons in primate visual cortex” in *Science*, 264 (1994), pp 1333- 1336.

CHICHILNISKY, E. J.; BAYLOR, D.A.: “Receptive-field microstructure of blue-yellow ganglion cells in primate retina” in *Nature neuroscience volume 2*, no 10, (1999) pp.889-893.

CURCIO, C. A.; ALLEN, K. A., SLOAN, K. R., LEREA, C. L., HURLEY, J. B., KLOCKL, I. B., MILAM, A. H.: “Distribution and Morphology of Human Cone Photoreceptors Stained With Anti-Blue Opsin”, in *The Journal of Comparative Neurology*, 312 (1991), pp. 610-624.

DACEY, D. M.; LEE, B. B.: “The ‘blue-on’ opponent pathway in primate retina originates from a distinct bistratified ganglion cell type”, in *Nature Vol. 367* (1994), pp. 731-735.

FAIRCHILD, M. D.: *Color appearance models*. 2nd ed. Ed. Wiley (2004) 6.

HENDRY, S. H. C.; REID, R. C.: “The koniocellular pathway in primate vision”, in *Annu. Rev. Neurosci.*, 23 (2000) pp. 127-153.

HOPKINS, J. M., BOYCOTT, B. B.: “Synapses between primate retina cones and diffuse bipolar cells of a primate retina”, in *Journal of Neurocytology*, 24 (1995), pp. 680-694.

JHUANG, H.; GARROTE, E.; YU, X.; KHILNANI, V; POGGIO, T.; STEELE, A.; SERRE, T.: “Automated home-cage behavioral phenotyping of mice”, in *Nature communications*, 1(1) (2010), doi:10.1038/ncomms1064.

LENNIE, P.; WILLIAN HAAKE, P.; WILLIAMS, D.R.: “The design of chromatically opponent receptive fields”, in *Computational model of visual processing*. MIT. (1994).

LIVINGSTONE, M. S., HUBEL, D. H.: “Anatomy and physiology of a color system in the primate visual cortex” in *Journal of neuroscience*, 4 (1984), pp. 309-356.

SCHILLER, P. H.: “The ON and OFF channels of the visual system” in *TINS*, Vol. 15 (1992), No. 3.

STOCKMAN, A., MACLEOD, D. I. A., JOHNSON, N. E.: “Spectral sensitivities of the human cones” in *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 10 (1993), No. 12.