

‘De eenvoudige scherpzinnigheid van ons visueel systeem’

door Charlotte Sleurs

Een kortfilm

Stel dat we onze kijk op de wereld zouden vertragen, welke weg zou de visuele informatie over de wereld precies afleggen in ons brein? Zien we eerst het gemak om te gaan zitten en nadien pas de stoel, of zien we eerst zijn uiterlijke kenmerken en begrijpen we nadien pas om welk voorwerp het eigenlijk gaat? Kortom, op welke wijze kan ons brein voorwerpen op de meest efficiënte wijze herkennen? Zijn er überhaupt eenvoudige regels die het brein consequent volgt tijdens het bekijken van objecten? Aangezien dit proces zo snel verloopt, lijken deze vragen op het eerste zicht moeilijk te beantwoorden. Desalniettemin deden wij een poging om te achterhalen of ons visueel systeem inderdaad gevoeliger is voor bepaalde geometrische eigenschappen dan voor andere. Om na te gaan welke specifieke geometrische eigenschappen ons brein als meest noodzakelijk beschouwt in onze omgeving, stelden wij het visueel systeem dan ook op een weloverwogen wijze op de proef.

De goede oude tijd

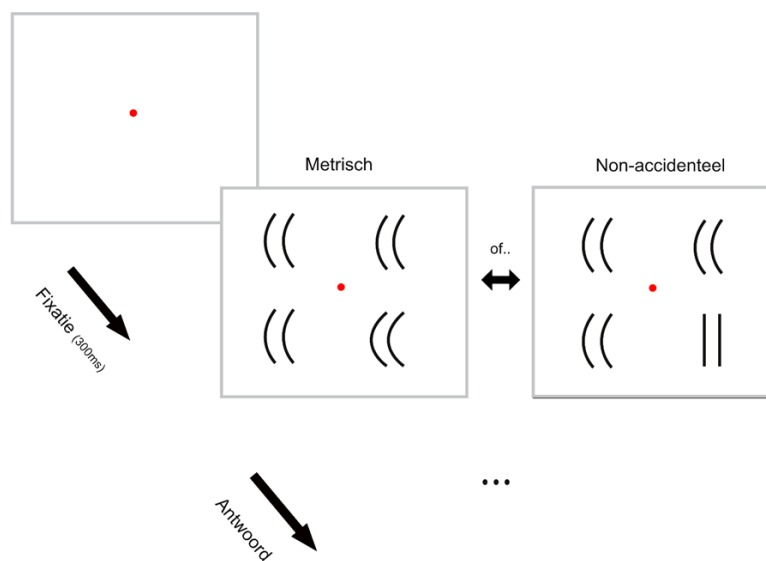
Sinds reeds geruime tijd is het in neurowetenschappelijk onderzoek welbekend dat er bepaalde gebieden in het brein instaan voor de verwerking van de meer globale informatie, terwijl andere gebieden gespecialiseerd zijn voor meer gedetailleerde informatie. Zo zouden de eerste gebieden van de visuele stroom instaan voor bv. de verwerking van de oriëntatie van lijnen, terwijl de zogenaamde "hogere-orde gebieden" ons helpen bij het herkennen van voorwerpen. De vraag naar welke eigenschappen van voorwerpen ons brein belangrijk acht bij deze verwerking, bleef tot nog toe echter onbeantwoord. Welke geometrische eigenschappen leiden nu sneller tot de perceptie van een geheel?

Tijdens de zoektocht naar een antwoord haalden vele theoretici reeds het belang aan van de impliciete assumpties die we maken. Zo zou onze statistische inschatting van de werkelijkheid een belangrijke rol spelen. Bijvoorbeeld, wanneer we naar onze eettafel kijken, valt er een

tweedimensionale projectie van zijn contouren op ons netvlies. Aangezien de kans groot is dat een rechte lijn in deze projectie ook van een rechte rand afkomstig is, leiden we al snel af dat het voorwerp ook werkelijk een rechte rand heeft in de realiteit. Desalniettemin kan je per toeval ("accidenteel") ook een rechte lijn als projectie van een gebogen rand op het netvlies ontvangen. Om die reden werd een rechte contour een "non-accidentele" eigenschap genoemd. Aangezien een dergelijke eigenschap ons dus o.b.v. kansberekening veel informatie biedt over de driedimensionale realiteit, stelden wij als hypothese dat ons brein zodanig ontwikkeld is om inderdaad meer waarde aan deze eigenschappen te hechten. Sterker nog, zou ons brein zodanig gesofisticeerd zijn om deze non-accidentele eigenschappen reeds in tweedimensionale projecties te ontdekken, en dit zonder enige informatie over objecten? Wij zochten het voor u uit!

Het experiment

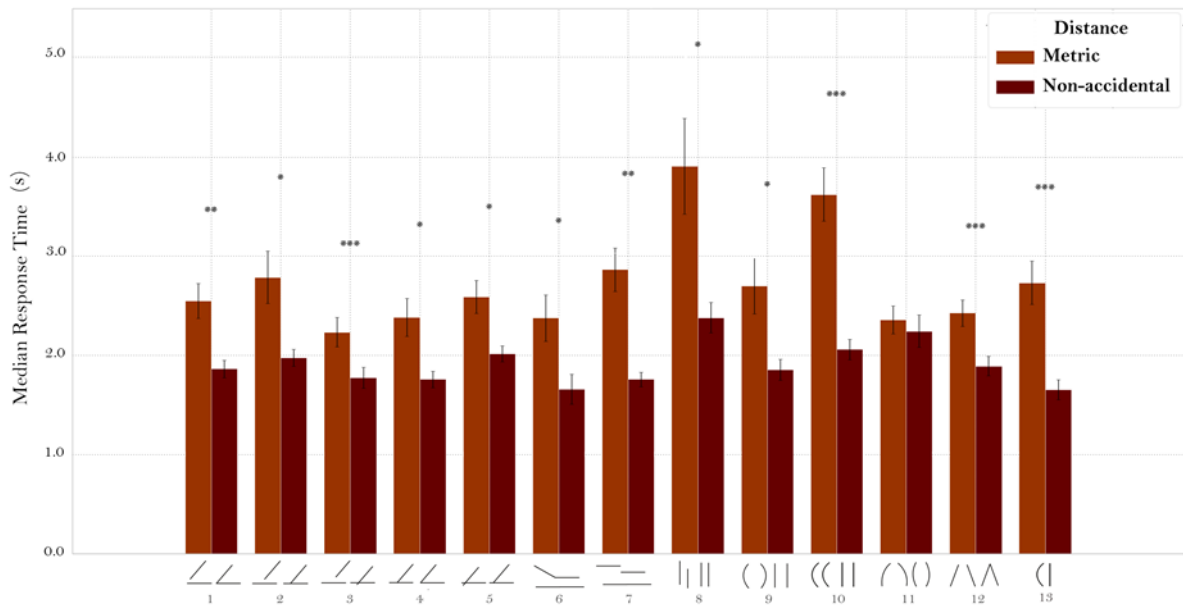
Tijdens onze computertaak verschenen viermaal twee lijnen op het scherm, driemaal dezelfde combinaties en eenmaal een afwijkende. De opdracht voor participanten luidde dan ook om zo snel mogelijk de afwijkende figuur aan te duiden. Zoals het in de onderstaande afbeelding is weergegeven, zag een deelnemer bijvoorbeeld drie figuren van twee gebogen lijnen en een figuur van twee rechte lijnen.



Mocht ons visueel systeem inderdaad gevoeliger zijn aan de eerder genoemde “non-accidentele eigenschappen” op twee dimensionaal niveau, zouden we verwachten dat wanneer een deelnemer het onderscheid moest maken tussen een figuur met rechte lijnen en een figuur met gebogen lijnen, dit sneller zou verlopen dan wanneer men onderscheid

moest maken tussen gebogen lijnen en lijnen met een nog sterkere curve; hoewel we toch exact dezelfde metrische aanpassing deden t.o.v. de basisfiguur (in dit geval een aanpassing van de graad van curvatuur). Kortom, door na te gaan of we inderdaad sensitiever zijn voor een verschil in non-accidentele eigenschappen (die ons veel statistische informatie bieden over de werkelijkheid; bv. collineariteit, parallelisme, curvatuur, coterminatie, junctie type) dan voor een gelijkaardig verschil zonder dit

statistisch voordeel (bv. gebogen lijn naar extremer gebogen lijn), konden we achterhalen of ons brein selectief is voor deze eigenschappen, en dit reeds op tweedimensionaal niveau... Om u niet langer in spanning te houden, wat bleek? Wel, graag nodig ik u uit even mee te kijken naar onze resultaten...



Zoals ook u het bij deze kan zien, werd de non-accidentele eigenschap inderdaad keer op keer sneller ontdekt dan de bijhorende metrische aanpassing! Met andere woorden, hoewel het belang van non-accidentele eigenschappen reeds lange tijd

werd aangehaald in de context van 3D object herkenning, toonden we voor het eerst in de geschiedenis een gelijkaardige sensitiviteit voor deze geometrische eigenschappen, dit keer zelfs zonder enige ruimtelijke informatie.

Take home

Kennelijk maakt ons visueel systeem aldus gebruik van de zogenaamde non-accidentele eigenschappen, zelfs wanneer er geen driedimensionale informatie aanwezig is. Wanneer u dus na het lezen van dit artikel nog eens een blik werpt in de ruimte rondom u, wees er u dan van bewust dat u wellicht wiskundiger bent aangelegd dan u misschien eerder dacht. Uw visueel systeem is klaarblijkelijk vernuftig als geen ander!

Bibliografie “Sensitivity to non-accidental properties in two-line configurations” - Charlotte Sleurs

- Amir, O., Biederman, I., & Hayworth, K. J. (2011). The neural basis for shape preferences. *Vision Research*, 51(20), 2198-2206.
- Amir, O., Biederman, I., & Hayworth, K. J. (2012). Sensitivity to nonaccidental properties across various shape dimensions. *Vision Research*, 62, 35-43.
- Barrow, H. G., & Tenenbaum, J. M. (1981). Interpreting line drawings as three-dimensional surfaces. *Artificial Intelligence*, 17(1), 75-116.
- Ben-Arie, J. (1990). The probabilistic peaking effect of viewed angles and distances with application to 3-D object recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12(8), 760-774.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94(2), 115.
- Biederman, I., & Gerhardstein, P. C. (1995). Viewpoint-dependent mechanisms in visual object recognition: Reply to Tarr and Bülthoff (1995). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(6), 1506-1514.
- Biederman, I., Kayaert, G., & Vogels, R. (2004). Systematic investigation of shape tuning in macaque IT. *Journal of Vision*, 4(8), 80-80. doi: 10.1167/4.8.80
- Biederman, I., Yue, X., & Davidoff, J. (2009). Representation of shape in individuals from a culture with minimal exposure to regular, simple artifacts: Sensitivity to nonaccidental versus metric properties. *Psychological science*, 20(12), 1437-1442.
- Burns, J. B., Weiss, R. S., & Riseman, E. M. (1993). View variation of point-set and line segment features. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(1), 51-68.
- Burns, K. J. (2001). Mental models of line drawings. *Perception*, 30(10), 1249-1262.
- Carpenter, R. H. S., & Blakemore, C. (1973). Interactions between orientations in human vision. *Experimental Brain Research*, 18(3), 287-303.
- Chen, L. (2005). The topological approach to perceptual organization. *Visual Cognition*, 12(4), 553-637.
- Claessens, P. M., & Wagemans, J. (2008). A Bayesian framework for cue integration in multistable grouping: Proximity, collinearity, and orientation priors in zigzag lattices. *Journal of Vision*, 8(7), 33. doi: 10.1167/8.7.33
- Davis, G., & Holmes, A. (2005). Reversal of object-based benefits in visual attention. *Visual Cognition*, 12(5), 817-846.
- Elder, J. H., & Goldberg, R. M. (2002). Ecological statistics of Gestalt laws for the perceptual organization of contours. *Journal of Vision*, 2(4), 5. doi: 10.1167/2.4.5
- Feldman, J. (1996). Regularity vs genericity in the perception of collinearity. *Perception*, 25, 335-342.
- Feldman, J. (1997). Regularity-based perceptual grouping. *Computational Intelligence*, 13(4), 582-623. doi:10.1111/0824-7935.00052
- Feldman, J. (1997). Curvilinearity, covariance, and regularity in perceptual groups. *Vision Research*, 37(20), 2835-2848.
- Feldman, J. (1999). The role of objects in perceptual grouping. *Acta Psychologica*, 102(2), 137-163.
- Feldman, J. (2003). Perceptual grouping by selection of a logically minimal model. *International Journal of Computer Vision*, 55(1), 5-25. doi:10.1023/A:1024454423670
- Feldman, J. (2007). Formation of visual “objects” in the early computation of spatial relations. *Perception & Psychophysics*, 69(5), 816-827.
- Field, D. J., Hayes, A., & Hess, R. F. (1993). Contour integration by the human visual system: Evidence for a local “association field”. *Vision Research*, 33(2), 173-193.
- Gibson, B. M., Lazareva, O. F., Gosselin, F., Schyns, P. G., & Wasserman, E. A. (2007). Nonaccidental properties underlie shape recognition in mammalian and nonmammalian vision. *Current Biology*, 17(4), 336-340.
- Helmholtz, H. von (1925). *Treatise on Psychological optics*. Translated from the 3rd German edition (1910), Southall, J. P. C (Ed.), Washington: Optical Society of America.
- Hess, R. F., Hayes, A., & Field, D. J. (2003). Contour integration and cortical processing. *Journal of Physiology-Paris*, 97(2), 105-119.

- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *The Journal of Physiology*, 160(1), 106.
- Jacobs, D. W. (2003). What makes viewpoint-invariant properties perceptually salient? *Journal of the Optical Society of America*, 20(7), 1304-1320.
- Kayaert, G., Biederman, I., & Vogels, R. (2003). Shape tuning in macaque inferior temporal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 23(7), 3016-3027.
- Kayaert, G., Biederman, I., & Vogels, R. (2005). Representation of regular and irregular shapes in macaque inferotemporal cortex. *Cerebral Cortex*, 15(9), 1308-1321.
- Kayaert, G., & Wagemans, J. (2010). Infants and toddlers show enlarged visual sensitivity to nonaccidental compared with metric shape changes. *i-Perception*, 1(3), 149-158.
- Kim, J. G., & Biederman, I. (2012). Greater sensitivity to nonaccidental than metric changes in the relations between simple shapes in the lateral occipital cortex. *NeuroImage*, 63(4), 1818-1826.
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. New York, NY: Harcourt, Brace and World.
- Kubilius, J., Wagemans, J., & de Beeck, H. P. O. (2011). Emergence of perceptual Gestalts in the human visual cortex: The case of the Configural-Superiority Effect. *Psychological Science*, 22(10), 1296-1303.
- Kubilius, J., Wagemans, J., & de Beeck, H. P. O. (2013, December). *Encoding of regularity in the visual cortex*. Poster presented at the Christmas conference of the Applied Vision Association, Leuven, Belgium.
- Kubilius, J. (2014, March). *Psychopy_ext*. Retrieved from https://github.com/qbilus/psychopy_ext.
- Lazareva, O. F., Wasserman, E. A., & Biederman, I. (2008). Pigeons and humans are more sensitive to nonaccidental than to metric changes in visual objects. *Behavioural Processes*, 77(2), 199-209.
- Li, Z. (1998). A neural model of contour integration in the primary visual cortex. *Neural Computation*, 10(4), 903-940.
- Lowe, D. (1985). *Perceptual organization and visual recognition*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
- Lowe, D. G. (1987). Three-dimensional object recognition from single two-dimensional images. *Artificial Intelligence*, 31, 355-395.
- Marr, D. 1982. *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. San Francisco, CA: Freeman.
- Motoyoshi, I., Kingdom, F.A.A. (2010). The role of co-circularity of local elements in texture perception. *Journal of Vision*, 10(1), 3. doi: 10.1167/10.1.3
- Ons, B., & Wagemans, J. (2011). Development of differential sensitivity for shape changes resulting from linear and nonlinear planar transformations. *i-Perception*, 2(2), 121-136.
- Peissig, J. J., Young, M. E., Wasserman, E. A., & Biederman, I. (2000). Seeing things from a different angle: The pigeon's recognition of single geons rotated in depth. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 26(2), 115-132.
- Poljac, E., de-Wit, L., & Wagemans, J. (2012). Perceptual wholes can reduce the conscious accessibility of their parts. *Cognition*, 123(2), 308-312.
- Pomerantz, J. R., Sager, L. C., & Stoeber, R. J. (1977). Perception of wholes and of their component parts: some configural superiority effects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3(3), 422-435.
- Pomerantz, J. R., & Portillo, M. C. (2011). Grouping and emergent features in vision: Toward a theory of basic Gestalts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 37(5), 1331.
- Roelfsema, P. R., Lamme, V. A., & Spekreijse, H. (1998). Object-based attention in the primary visual cortex of the macaque monkey. *Nature*, 395(6700), 376-381.
- Sigman, M., Cecchi, G. A., Gilbert, C. D., & Magnasco, M. O. (2001). On a common circle: natural scenes and Gestalt rules. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 98(4), 1935-1940.
- Shepard, R. N. (1987). Toward a universal law of generalization for psychological science. *Science*, 237(4820), 1317-1323.
- Stettler, D. D., Das, A., Bennett, J., & Gilbert, C. D. (2002). Lateral connectivity and contextual interactions in macaque primary visual cortex. *Neuron*, 36(4), 739-750.

- Tadin, D., Lappin, J. S., Blake, R., & Grossman, E. D. (2002). What constitutes an efficient reference frame for vision?. *Nature Neuroscience*, 5(10), 1010-1015.
- Todd, J. T., Weismantel, E., & Kallie, C. S. (2014). On the relative detectability of configural properties. *Journal of Vision*, 14(1), 18. doi: 10.1167/14.1.18
- Van Lier, R., van der Helm, P., & Leeuwenberg, E. (1994). Integrating global and local aspects of visual occlusion. *Perception*, 23(8), 883-903.
- Vanrie, J., Willems, B., & Wagemans, J. (2001). Multiple routes to object matching from different viewpoints: Mental rotation versus invariant features. *Perception*, 30(9), 1047-1056.
- Vanrie, J., & Wagemans, J. (2001). Viewpoint-dependency versus -independency of 3-D object perception: A direct comparison. *Psychologica Belgica*, 41, 115-129.
- Vogels, R., Biederman, I., Bar, M., & Lorincz, A. (2001). Inferior temporal neurons show greater sensitivity to nonaccidental than to metric shape differences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(4), 444-453.
- Wagemans, J. (1992). Perceptual use of nonaccidental properties. *Canadian Journal of Psychology*, 46(2), 236-279.
- Wagemans, J., Van Gool, L., Swinnen, V., & Van Horebeek, J. (1993). Higher-order structure in regularity detection. *Vision Research*, 33(8), 1067-1088.
- Wertheimer, M. (1938). *Über Gestalttheorie*. In W. D. Ellis (ed. & trans.) *A Source Book of Gestalt Psychology* (pp. 71-88). London: Kegan Paul, Trench, Trubner & Company. (Original work published in German, 1923).