

Functional magnetic resonance imaging of the human object-vision system : methodological and empirical contributions

Citation for published version (APA):

Kriegeskorte, N. (2004). *Functional magnetic resonance imaging of the human object-vision system : methodological and empirical contributions*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Universiteit Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20041014nk>

Document status and date:

Published: 01/01/2004

DOI:

[10.26481/dis.20041014nk](https://doi.org/10.26481/dis.20041014nk)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Summary

Motivated by the question how visual images of natural objects are processed by the human brain, this thesis combines empirical and methodological contributions to cognitive neuroscience. All contributions involve magnetic resonance imaging (MRI), a noninvasive method allowing the measurement of the anatomy and activity of the human brain. The methodological developments concern the analysis of anatomical and functional MRI (fMRI) data and are motivated by the neuroscientific questions addressed. Each methodological development (Chapters 1 and 3) is applied in the empirical investigation presented in the following chapter (Chapters 2 and 4), but the novel methodologies are generally applicable beyond the domain of object-vision studies.

Chapter 1: Topologically correct cortex segmentation

To understand the function of the human cortex, we need to be interested in its anatomy. We present a method revealing the spatial structure of the cortex in anatomical magnetic resonance volumes. An explicit representation of the unique folding structure of each individual subject's cortex (Figure 1.1) allows the visualization of activity distributions on cortical flatmaps (see Chapter 2, Figure 2.5) and is required for a number of advanced methods of statistical analysis of functional neuroimaging data.

The human cortex is a folded sheet: Opposite banks of a sulcus are nowhere grown together through the pia mater to form rings. This interesting topological property of ringlessness is built into our method as an a-priori assumption. Our method ensures that the resulting representation of the cortex is topologically consistent with normal human neuroanatomy.

We start from a rough presegmentation of the white matter obtained by established techniques including intensity thresholding. Such presegmentations are 3D objects (defined in a voxel grid) that typically contain many ring structures, i.e. topological errors. Our method cuts each ring at its thinnest point or fills in its hole to obtain a ringless (and thus topologically correct) object with minimal changes to the presegmentation (Figure 1.3).

The core component of our algorithm is a region growing process that is seeded deep inside the white-matter voxel object provided by the presegmentation. The region grows inside the object, keeping maximal distance to the object surface, thus avoiding obstacles and becoming increasingly complex as its shape approaches that of the object. While the region grows, it is never allowed to touch

itself such that a ring would result (Figure 1.2). In the final state, the region represents a topology-corrected replacement for the white-matter presegmentation. The algorithm involves two such regions growing from within and without the white-matter object until their boundaries come to define the cortical sheet interactively.

Chapter 2: Object recognition from a visual motion flow-field

Visual object recognition is known to involve the ventral stream of visual cortex. The dorsal stream, in contrast, processes information about object motion and location. Dorsal and ventral streams are traditionally conceptualized as separate subsystems, though they are known to be in interaction. When static photographs of objects are viewed, recognition may take place in the ventral stream with minimal involvement of the dorsal stream. This is the experimental situation in most object-recognition studies, including that presented in Chapter 4. In the natural world, in contrast, objects are often in motion relative to the observer, so the dorsal stream is coactivated.

To study the interaction between dorsal and ventral visual subsystems during object recognition, we constructed moving-dot stimuli that define object surfaces (Figure 2.1). Moving dots can evoke a percept of a 3-D object's spatial structure in the absence of other visual cues. This phenomenon, called structure from motion (SFM), suggests that the motion flowfield represented in the dorsal stream can form the basis of object recognition performed in the ventral stream. SFM processing is likely to contribute to object recognition whenever there is relative motion between the observer and the object viewed.

Our SFM stimuli elicit strong surface percepts and involve an extended dorso-ventral network of cortical regions (Figure 2.2 and Figure 2.5). From early visual areas, this network extends dorsally into the human motion complex and parietal regions, and ventrally into object-related cortex. When the surface encoded in the SFM stimulus was a face, a response was elicited in the fusiform face region, a face-selective ventral-stream region found in the fusiform gyrus.

Our results suggest that the motion-flowfield representation in the dorsal-stream human motion complex can indeed serve as the basis of ventral-stream object recognition. Furthermore, the motion complex appears to represent not merely the motion flowfield but also the surface structure of the object. The motion complex and a region in the intraparietal sulcus reflected the motion of the object implicit to the SFM stimulus—*independent of the retinal motion flowfield*. This suggests a higher-order dorsal-stream representation of object motion.

Chapter 3: Information-based functional brain mapping

Visual objects are represented by a combinatorial code in ventral visual cortex. Combinatorial representation means that a perceived object's category or identity is not unambiguously encoded in any single cell's response, but can be inferred from the activity pattern across a population of cells. This widely accepted view is the product of a paradigm shift in electrophysiology, which took

place in the 1970s and was incited on the empirical front by the lack of evidence for single cells that exclusively respond to particular complex objects and on the theoretical front by the representational power afforded by combinatorial codes. Beyond the domain of object vision, combinatorial cell-population codes are believed to represent complex perceptual, cognitive, and motor information.

Recent studies suggests that population codes play a major representational role not only at the microscopic scale of individual neurons but at the macroscopic scale accessible to fMRI as well. To be explicit about the spatial scale, we refer to the latter variety as *macropopulation* codes. Neuroimaging may be undergoing a paradigm shift similar to that of electrophysiology—at a coarser spatial scale of analysis.

To be able to locate such macroscopic population codes in the brain, we propose a novel method of functional brain mapping based on fMRI data. The currently dominant brain mapping approach is *activation-based* in that it localizes regions that are activated as a whole in one condition as compared to a control condition. Our approach, by contrast, is *information-based* in that it localizes regions whose intrinsic spatial response pattern contains information about the experimental condition, thus addressing a more general question. The information in local contiguous response patterns is mapped out by scanning the imaged volume with a spherical “searchlight” (Figure 3.3), whose contents are analyzed multivariately at each location in the brain.

Our approach addresses an important current challenge in functional brain mapping: While human fMRI already operates at a resolution of one to two millimeters, the spatial correspondence mapping across brains provided by Talairach space has a much lower spatial precision. Information in the fine-grained structure of the data, thus, averages out in conventional group analysis, entailing a reduction of the spatial complexity of the measured signal by at least an order of magnitude.

A better (e.g. cortex-based) spatial correspondence mapping may provide greater precision, but the problem is not merely one of methodology. Instead it concerns the fundamental neuroscientific question how closely different brains are related in terms of their functional structure and its spatial layout. It is certain that a cross-subject spatial correspondence cannot be established at the level of single neurons. For most parts of the human brain, it is not known to what precision a functional spatial correspondence exists.

We therefore approach group analysis without the assumption of precise spatial correspondence. While allowing for the fine-grained spatial response patterns to be individually unique, we do assume that corresponding macroscopic regions encode the same information. Each macroscopic region’s fine-grained response pattern (comprising many voxels) is multivariately analyzed for each subject separately. Group analysis is performed at a coarser scale by combining all subjects’ information effects for a given macroscopic region. This two-scale approach allows us to statistically integrate individually unique fine-grained multivariate effects to obtain group-level characterizations of the distribution of a given type of information across brain regions.

Chapter 4: Single-object-image response patterns in ventral visual cortex

To explore the representation of visual objects in ventral visual cortex with the method of information-based functional brain mapping, we measured brain activity with fMRI while subjects viewed grayscale photographs of faces and houses.

Previous neuroimaging studies of object recognition have focused on the representation of object categories. They demonstrated the existence of category-selective regions as well as the widely distributed representation of category information. These studies analyzed differences between category-average responses.

In this chapter, we explore ventral-stream response patterns to *single images* of objects (two faces and two houses, see Figure 4.1). The single-image approach eliminates the somewhat arbitrary grouping of images into categories, brings us closer to what happens on a single trial of perception of a particular object, and allows us to investigate how exemplars within the same category are (differentially) represented. To match this move of focus into the categories in terms of measurement, we target activity patterns at a finer spatial scale than previous studies, utilizing the high spatial resolution (1–2 mm) of fMRI at high magnetic field strength (3T and 7T). In our analysis, we look into each region of interest, considering not merely its spatial-average response but the shape of its spatial response pattern. Furthermore, we search the measured volume for macropopulation codes using information-based functional brain mapping.

Fusiform face and parahippocampal place regions both contain category information not only in the spatial-average response usually studied but also in the spatial shape of their response patterns (Figure 4.2). The combinatorial representations in these posterior ventral-stream regions seem to reflect mainly object category at the resolution provided by fMRI—possibly abstracting from the difference between exemplars of the same category. Whereas face-exemplar information appeared absent in the fusiform face region, it was found more anteriorly in ventral temporal cortex (Figure 4.5), casting doubt on the view that the fusiform face region is the main locus of individual-level face representation.

Conclusion and future directions

This thesis demonstrates the advantages of developing theory, experiment, and statistical analysis methods in close interaction. This interaction is in evidence in the first half (Chapters 1 and 2), but even closer in the second half (Chapters 3 and 4). In the second half, a theoretical prediction (the existence of macropopulation codes) motivated the development of a new analysis technique (information-based functional brain mapping). In conjunction with a novel experimental approach (the single-object-image approach), the analysis technique lead to the challenge of a widespread assumption (that the fusiform face region represents faces at the individual level) and suggested the existence of a functional region that has not previously been described (the anterior inferotemporal face-exemplar region).

These advances merely represent a first step in the context of a more general research program of information-based functional brain mapping. Visual object recognition will be a major domain of application, but the method can be applied in any domain of brain function. In the currently dominant activation-based approach to brain mapping, information contained in the spatial microstructure of the fMRI signal is discarded—by explicit spatial smoothing, by Talairach-based intersubject integration, or by selective reporting of large foci of activation only. Since our approach has the potential to utilize fine-grained spatial information, while providing a coarse-grained intersubject summary of information effects, it is likely to become more important as fMRI spatial resolution increases. Many statistical, empirical, and theoretical challenges are yet to be confronted.

Samenvatting

Gemotiveerd door de vraag hoe de menselijke hersenen visuele beelden van natuurlijke objecten verwerken, worden in deze dissertatie empirische en methodologische bijdragen aan cognitieve neurowetenschappen gecombineerd. Bij alle bijdragen, empirisch en methodologisch, is magnetic resonance imaging (MRI) betrokken, een methode waarmee op onschadelijke wijze de anatomie en activiteit van de menselijke hersenen gemeten kan worden. De methodologische ontwikkelingen hebben betrekking op de analyse van anatomische en functionele MRI (fMRI) gegevens en vinden hun oorsprong in de neurowetenschappelijke probleemstellingen die worden behandeld.

Elke nieuw ontwikkelde methode (Hoofdstuk 1 en 3) wordt toegepast in de empirische onderzoeken die worden gepresenteerd in het daaropvolgende hoofdstuk (Hoofdstuk 2 en 4), hoewel de nieuwe methoden ook algemener zijn toe te passen dan in het domein van object visie studies.

Hoofdstuk 1: Topologisch correcte cortexsegmentatie

Om de functie van de menselijke cortex te begrijpen, dient men zijn anatomie nader te onderzoeken. Wij presenteren een methode die de ruimtelijke structuur van de cortex reconstrueert uit anatomische magnetische resonantie beelden. Een expliciete representatie van de unieke plooien van de cortex van iedere individuele proefpersoon (Figuur 1.1) maakt het mogelijk activatiepatronen op het tweedimensionale corticale oppervlak zichtbaar te maken (zie Hoofdstuk 2, Figuur 2.5). Deze representatie is vereist voor een aantal geavanceerde statistische analysemethoden van fMRI data.

De menselijke cortex is een geplooid oppervlak: tegenover elkaar liggende zijden van een sulcus buigen nergens over de pia mater om ringen te vormen. Deze interessante topologische eigenschap van ringloosheid is een a-priori veronderstelling in onze methode. Onze methode verzekert dat de resulterende representatie van de cortex topologisch consistent is met de normale menselijke neuro-anatomie.

We beginnen vanuit een ruwe presegmentatie van de witte stof die verkregen is met behulp van gevestigde technieken inclusief intensiteitsbegrenzing. Zulke presegmentaties zijn 3D objecten (gedefinieerd in een voxelrooster), die doorgaans vele ringstructuren vertonen, dwz. topologische fouten. Onze methode snijdt elke ring op het dunste punt door of vult de leemte om een ringloos (en dus topologisch juist) object te verkrijgen met minimale wijzigingen aan de presegmentatie (Figuur 1.3).

De kern van ons algoritme is een groeiproces dat wordt geïnitieerd diep in het witte stof voxelobject dat het resultaat is van de presegmentatie. De regio groeit in het object, dusdanig dat het maximale afstand houdt tot het objectoppervlak en zodoende obstakels vermijdt. De vorm wordt steeds complexer wanneer het de vorm van het object benadert. Terwijl de regio groeit, wordt het deze nooit toegestaan om zichzelf te raken zodat een ring zou ontstaan (Figuur 1.2). In de uiteindelijke toestand van het object representeert de regio een topologisch gecorrigeerde vervanging van de presegmentatie van de witte stof. Het algoritme gebruikt twee van dergelijke regio's die respectievelijk van binnenuit en van buitenaf naar het witte materie object toe groeien totdat hun grenzen op interactieve wijze het corticale oppervlak definiëren.

Hoofdstuk 2: Objectherkenning vanuit een visueel bewegings-stroomveld

Het is bekend dat het ventrale pad van de visuele cortex betrokken is bij visuele objectherkenning. Dit in tegenstelling tot het dorsale pad, dat informatie over objectbeweging en -locatie verwerkt. Dorsale en ventrale paden worden traditioneel voorgesteld als twee gescheiden subsystemen, hoewel bekend is dat ze informatie uitwisselen. Wanneer statische foto's van objecten worden bekeken, kan het herkenningproces plaatsvinden in het ventrale pad, met een minimale betrokkenheid van het dorsale pad. Dit is de experimentele opstelling in de meeste onderzoeken naar visuele objectherkenning, inclusief het onderzoek gepresenteerd in Hoofdstuk 4. In de natuurlijke wereld zijn objecten echter vaak in beweging ten opzichte van de waarnemer, zodat ook het dorsale pad geactiveerd is.

Om de interactie tussen de dorsale en ventrale visuele subsystemen gedurende objectherkenning te bestuderen, construeerden we stimuli van bewegende punten die tezamen een objectoppervlak definiëren (Figuur 2.1). Bewegende punten kunnen in de afwezigheid van andere visuele aanwijzingen de waarneming van de ruimtelijke structuur van een object oproepen. Dit fenomeen, structuur uit beweging (structure from motion, SFM) genoemd, suggereert dat het bewegings-stroomveld, gerepresenteerd in het dorsale pad, de basis kan vormen voor de objectherkenning die wordt uitgevoerd in het ventrale pad. Het is aannemelijk dat SFM verwerking bijdraagt aan objectherkenning wanneer er relatieve beweging is tussen de waarnemer en het object dat waargenomen wordt.

Onze SFM stimuli roepen sterke waarnemingen op van een oppervlak waarbij een uitgebreid dorsoventraal netwerk van corticale gebieden betrokken is (Figuur 2.2 en Figuur 2.5). Vanuit de vroege visuele gebieden strekt het netwerk zich dorsaal uit tot in het human motion complex (een gebied gevoelig voor bewegende stimuli) en pariëtale gebieden, en ventraal tot in de inferotemporale cortex, betrokken bij objectherkenning. Wanneer het oppervlak dat in de SFM stimulus werd getoond een gezicht definieerde, werd een reactie opgeroepen in het fusiform gezichtsgebied, een gebied dat gevoelig is voor gezichtsstimuli en dat gelegen is op de fusiforme gyrus in het ventrale pad.

Onze resultaten dragen bij aan het idee dat de representatie van het bewegings-stroomveld in het dorsale human motion complex inderdaad als de basis kan dienen voor ventrale objectherkenning. Bovendien blijkt het motion complex niet

enkel het bewegingsstroomveld te representeren, maar ook de oppervlaktestructuur van het object. Het motion complex en een gebied in de intrapariëtale sulcus gaven de beweging van het object weer die impliciet was in de SFM stimulus. Dit suggereert dat er een hogere order representatie van objectbeweging in het dorsale pad bestaat.

Hoofdstuk 3: Informatiegestuurde functionele hersenkartering

Visuele objecten worden in de ventrale visuele cortex gerepresenteerd door een combinatorische code. Een combinatorische representatie houdt in dat de categorie of identiteit van een waargenomen object niet ondubbelzinnig wordt gecodeerd in de reactie van één individuele cel, maar afgeleid kan worden uit het gezamenlijke activatiepatroon van een groep cellen. Dit wijds geaccepteerde standpunt is het product van een paradigmaverschuiving in de elektrofysiologie, welke plaatsvond in de jaren '70. Deze werd aan het empirische front ingeleid door het gebrek aan bewijs voor individuele cellen die exclusief reageren op specifieke complexe objecten en aan het theoretische front door het vermogen van combinatorische codes om een veelvoudigheid aan objecten en hun eigenschappen efficiënt te representeren. Ook buiten het domein van objectwaarneming wordt aangenomen dat combinatorische celpopulatiecodes complexe perceptuele, cognitieve en motorische informatie representeren.

Recente onderzoeken impliceren dat populatiecodes een hoofdrol spelen in representatie, niet alleen op de microscopische schaal van individuele neuronen maar ook op de macroscopische schaal die toegankelijk is voor fMRI. Om expliciet te zijn over de ruimtelijke schaal, refereren we aan de laatstgenoemde variant als *macropopulatie codes*. Neuroimaging zou een gelijke paradigmaverschuiving kunnen ondergaan als die in de elektrofysiologie—op een grovere ruimtelijke schaal van analyse.

Om het mogelijk te maken dergelijke macropopulatie codes te lokaliseren, presenteren we een nieuwe methode voor het in kaart brengen van hersenfuncties gebaseerd op fMRI gegevens. De op dit moment dominerende benadering tot hersenkartering is gebaseerd op *activatie*, in dat het gebieden lokaliseert die in een conditie als een geheel zijn geactiveerd, vergeleken met de controle conditie. Onze benadering is echter gebaseerd op *informatie*, in dat het gebieden lokaliseert waarvan het intrinsieke ruimtelijke reactiepatroon informatie bevat over de experimentele conditie, en behandelt zodoende een algemenere kwestie. De informatie in lokale, aaneengesloten reactiepatronen is in kaart gebracht door het doorzoeken van het gescande volume met een sferisch “zoeklicht” (Figuur 3.3), waarvan de inhoud op elke locatie met multivariate statistische methoden wordt geanalyseerd.

Onze benadering behandelt een belangrijke actuele uitdaging in functioneel hersenkartering: terwijl fMRI voor mensen al mogelijk is op een resolutie van één of twee millimeter, is het in overeenstemming brengen van de ruimtelijke structuur van meerdere breinen met behulp van de Talairach ruimte veel minder precies. Informatie aanwezig in de fijne structuur van de data wordt zodoende uitgemiddeld in conventionele groepsanalyses, en de ruimtelijke complexiteit van het gemeten signaal wordt daardoor sterk gereduceerd.

Een betere (b.v. cortexgebaseerde) benadering tot het in kaart brengen van de ruimtelijke overeenkomst zou waarschijnlijk nauwkeuriger zijn, maar het probleem is niet alleen maar methodologisch van aard. In plaats daarvan betreft het de fundamentele neurowetenschappelijke vraag hoe nauw de verschillende hersenen aan elkaar gerelateerd zijn met betrekking tot hun functionele en ruimtelijke structuur. Het is zeker dat een ruimtelijke correspondentie over meerdere proefpersonen niet bereikt kan worden op het niveau van individuele neuronen. Voor de meeste delen van het menselijk brein is niet bekend tot op welke hoogte functionele ruimtelijke overeenstemming bestaat.

Daarom benaderen we groepsanalyse zonder de veronderstelling van nauwkeurige ruimtelijke overeenstemming. We gaan er vanuit dat overeenkomstige macroscopische gebieden dezelfde informatie coderen, terwijl we toestaan dat fijnkorrelige ruimtelijke activatiepatronen individueel uniek zijn. Het fijnkorrelige activatiepatroon van elk macroscopisch gebied (dat vele voxels bevat) wordt per proefpersoon met multivariate statistische methoden geanalyseerd. Op een grovere schaal wordt een groepsanalyse uitgevoerd door het combineren van alle informatie-effecten van de proefpersonen voor een gegeven macroscopisch gebied. Deze tweeledige benadering maakt het mogelijk om op groepsniveau de individueel unieke fijnkorrelige multivariate effecten statistisch te integreren om karakteristieken van de verdeling van een gegeven type van informatie over meerdere hersengebieden te verkrijgen.

Hoofdstuk 4: Reactiepatronen op afbeeldingen van individuele objecten in de ventrale visuele cortex

Om de representatie van visuele objecten in de ventrale visuele cortex te onderzoeken met behulp van de informatiegestuurde functionele hersenkartering, hebben we de hersenactiviteit met fMRI gemeten terwijl de proefpersonen foto's zagen van gezichten en huizen in grijstinten.

Eerdere neuroimaging onderzoeken naar objectherkenning richtten zich op de representatie van objectcategorieën. Deze onderzoeken toonden het bestaan aan van gebieden die selectief zijn voor categorieën evenals de gedistribueerde representatie van de categorie-informatie. In deze onderzoeken werden verschillen in reacties tussen categoriegemiddelden geanalyseerd.

In dit hoofdstuk onderzoeken we reactiepatronen in het ventrale pad op beelden van *individuele* objecten (twee gezichten en twee huizen, zie Figuur 4.1). Deze aanpak elimineert de enigszins arbitraire groepering van plaatjes in categorieën, brengt ons dichterbij wat er plaatsvindt gedurende één enkele waarneming van een bepaald object en staat ons toe te onderzoeken hoe individuele objecten binnen eenzelfde categorie (verschillend) worden gerepresenteerd. Om deze focusverschuiving naar binnen de categorieën zelf door te voeren in de meetmethoden, richten we ons op activatiepatronen op een fijnere ruimtelijke schaal dan eerdere onderzoeken door het gebruik van de hoge spatiele resolutie (1–2 mm) in fMRI op een hoge magnetische veldsterkte (3T en 7T). In onze analyse bekijken we elk gebied van interesse, waarbij we niet alleen de over de ruimte gemiddelde respons in acht nemen maar ook de vorm van het ruimtelijke activatiepatroon. Verder zoeken we in het gemeten volume naar macropopulatie codes met gebruik van informatiegestuurde functionele hersenkartering.

Fusiform gezichts- en parahippocampale plaatsgebieden bevatten beide categorische informatie. Deze informatie betreft niet alleen het over de ruimte gemiddelde activatiepatroon dat gewoonlijk wordt bestudeerd maar ook de ruimtelijke vorm van deze activatiepatronen (Figuur 4.2). De combinatorische representaties in deze posterieure ventrale gebieden lijken, met de resolutie haalbaar met fMRI, voornamelijk de categorie van het object weer te geven—wellicht weg abstraherend van de verschillen tussen individuen in eenzelfde categorie. Waar de individuele gezichtsinformatie afwezig bleek in het fusiform gezichtsgebied, werd het meer anterior gevonden in de ventrale temporele cortex (Figuur 4.5), wat twijfel oproept over de veronderstelling dat het fusiform gezichtsgebied de belangrijkste rol speelt in de representatie van gezichten op individueel niveau.

Conclusie en toekomstige richtingen

Deze dissertatie demonstreert de voordelen van het interactief ontwikkelen van theorie, experiment en statistische analysemethoden. Deze interactie is evident in de eerste helft (Hoofdstuk 1 en 2), maar nog duidelijker aanwezig in de tweede helft (Hoofdstuk 3 en 4). In de tweede helft motiveerde een theoretische voorspelling (het bestaan van macropopulatie codes) de ontwikkeling van een nieuwe analysetechniek (informatiegestuurde functionele hersenkartering). Samen met een nieuwe experimentele aanpak (op grond van beelden van individuele objecten), leidde deze analysetechniek tot het ter discussie stellen van een wijdverspreide veronderstelling (dat het fusiform gezichtsgebied gezichten op individueel niveau representeert) en suggereerde het bestaan van een functioneel gebied dat voorheen nog niet is beschreven (het anteriore inferotemporale gebied waarin individuele gezichten gerepresenteerd zijn).

Deze ontwikkelingen representeren slechts een eerste stap in het kader van een algemener onderzoeksprogramma over informatiegestuurde functionele hersenkartering. Visuele objectherkenning zal een belangrijk toepassingsdomein zijn, maar de methode kan worden toegepast in elk domein van cognitieve en perceptuele functies. In de benadering die op dit moment dominant is wordt informatie die gevat is in de ruimtelijke microstructuur van het fMRI signaal genegeerd door expliciete spatiale filtering, door de Talairach-gebaseerde integratie tussen proefpersonen, of door het selectief noemen van enkel de grotere geactiveerde gebieden.

Daar onze benadering het potentieel heeft om fijnkorrelige ruimtelijke informatie te benutten en tegelijkertijd een grofkorrelige samenvatting van informatie-effecten over verschillende proefpersonen te bieden, wordt het waarschijnlijk belangrijker zodra de spatiële resolutie van fMRI toeneemt. Vele statistische, empirische en theoretische uitdagingen moeten nog worden aangegaan.

