



Video: Se slimdyret danne intelligente netværk:
ing.dk/k#796x

På slimsporet af det ideelle netværk

At designe det optimale netværk er lidt af en kunst. Et encellet slimdyr kan måske sætte ingeniører på sporet.

BIODESIGN

Af Robin Engelhardt roe@ing.dk

Slimdyr er meget egoistiske. De lever på skovbunden og finder let den korteste vej fra den ene næringskilde til den næste. Efterlader man nogle syltetøjsklatter på havebordet i flere dage, kan det ske, at man kommer tilbage til et glinsende netværk af grøn-gule tråde, der effektivt forbinder alle krummer og klatter på bordet.

Uden sammenligning i øvrigt forsøger også mange ingeniører at finde den optimale vej gennem netværk. De gør det bare ikke helt så godt, viser det sig. Forskerhold fra både Japan og England har brugt slimdyret 'Physarum polycephalum' til at simulere en løsning for dels strukturen af jernbanelinjen omkring Tokyo, dels motorvejsnettet i England, og sammenlignet slimløsningen med de faktisk designede netværk.

Atsushi Tero og hans kolleger fra Hokkaido Universitet i Sapporo, Japan, kan i fagbladet Science vise, hvordan P. polycephalum (PP) spiste sig vej fra Tokyo og gennem 36 forstæder, repræsenteret af 36 havreflager, der var placeret i nøjagtige positioner på en 17 cm bred plade. Ufremkommelige bjerge og bugter i landskabet omkring Tokyo blev simuleret ved hjælp af bestråling, der forhindrede slimdyret i at vokse dér. Det encellede dyr kunne altså kun selv gro og lave forbindelser der, hvor der var et nogenlunde fladt landskab.

Professor of unconventional computing Andrew Adamatzky fra University of the West of England viste i en artikel sammen med Jeff Jones to måneder tidligere, hvordan slimdyret kan genskabe Englands motorvejsnet, og at en ny motorvej burde gå fra Newcastle til Glasgow.

Forskerne viser, hvordan PP i løbet af få timer udvikler forbindelser, der til forskelslign ligner de faktiske transportnetværk. Dets tubuli angiver ikke kun den korteste og mest effektive vej gennem alle byer. Der er også redundante ekstraforbindelser,

der ligesom i virkeligheden gør det muligt at undvige i tilfælde af nedbrud på en hvilken som helst anden strækning. Slimdyrene kan med andre ord sagtens konkurrere med transportingeniørernes gennem mange år udviklede design, både hvad angår omkostninger, effektivitet og modstandskraft mod nedbrud.

»Når Physarum spænder over havreflager i sit netværk af protoplasmatiske rør, udføres der en optimal forageringsstrategi,« forklarer Adamatzky.

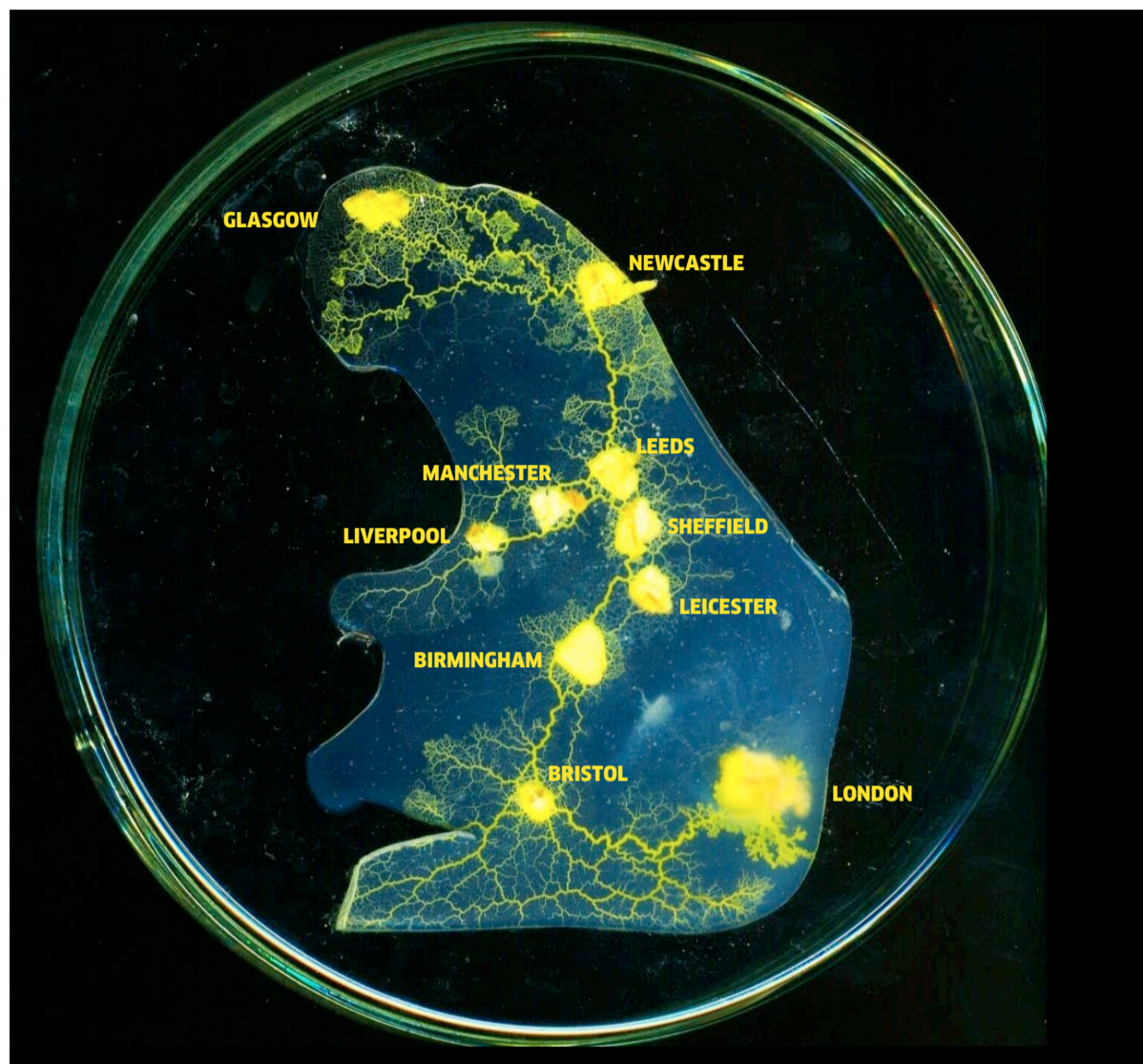
»Netværket er bygget til at effektivisere overførslen af næringsstoffer mellem de forskellige dele, til at dække området med et netværk af sensorer, til at minimere skader fra potentielle farer, osv. Slimdyret kan altså bruges som en god biologisk model for udviklingen af transportforbindelser, hvad enten det er jernbaner, motorveje, el-, olie- eller vandledninger,« siger Adamatzky.

Elegant og effektivt

For transportingeniører og netværksdesignere gælder det om at være økonomisk bevidste og balancere service med holdbarhed og effektivitet. Når der er megen trafik, skal man kunne øge kapaciteten og have høj fleksibilitet, og når der er for lidt trafik, kan det gå ligesom med de små jernbaner i Jylland – truet af lukning.

Desværre har det vist sig at være umådeligt svært at beregne optimale designs af netværk ad ren matematisk vej. Men man kan til gengæld finde tilnærmelsesvis løsninger, som er næsten lige så gode. Sådan er det også med slimdyrene, og måske endda bedre, fordi de er selvorganiserede, adaptive, og uden central kontrol. Lokale regler og gentagne processer er nok til at producere løsninger, som er lige så gode som, eller bedre end, hvad matematiske modeller kan præstere for jernbanerne omkring Tokyo. Og meget billigere.

Desuden viser det sig, at de levende systemer indeholder masser af frihedsgrader til at justere cost-benefit-rat og til at fremhæve andre ønskede egenskaber såsom fejltolerance, variable belastninger eller øget effektivitet. Parameterkontrollen er langt nemmere i de levende organismer end i de siliciumbaserede computere,



ENGLANDS MOTORVEJSNET stort set genskabt af slimdyret *Physarum polycephalum*. 'Byerne' udgøres af havreflager, og fra sit udgangspunkt i London finder P. polycephalum selv ud af at skabe et netværk, der på optimal vis udnytter de fødekilder, der er placeret i Englands andre større byer.

fordi den naturlige udvælgelse har lært dem at være adaptivt selvoptimerende, at have en effektiv fødeindtagelse, minimere energiforbruget og undgå skader.

Langsom udvikling

Spørgsmålet er derfor, hvorfor ingeniører ikke for længst er gået i gang med at kaste slimdyr hen over rutingsprotokoller og topologikontrol-kort for mobile, trådløse og andre ad hoc-netværk. Svaret er, at der stadig er alt for store praktiske barrierer.

»Plasmodiet af Physarum er en celle med myriader af cellekerner, med

et sofistikeret cytoskelet og hundreder af sammenflettede metabolismer,« forklarer Adamatzky.

»Slimdyrets adfærd er derfor bestemt af mange faktorer, der ligger hinsides vores kontrol eller viden. Selv i det mest simple eksperiment integrerer slimdyret signaler fra egne fotoreceptorer og fra diverse kemo-receptorer. Det kan registrere fugtigheden og pH-værdien af substratet, og der er flere spatio-temporale bølger og andre dynamiske mønstre af elektrisk og kemisk art.«

PP har været studeret af både matematikere, fysikere og kemikere som

et eksempel på en organisme, der har en biologisk funktion, der minder om intelligens uden at have et nervesystem. Men selvom eksperimenterne er svære at kontrollere, gøres der små fremskridt hele tiden. Professor Ke Li fra University of Delaware i Newark har for nylig brugt PP til at forbinde trådløse sensorer med hinanden, og vist, at de kan skabe effektive og robuste netværksprotokoller.

Lektor Preben Graa Sørensen fra Københavns Universitet mener dog også, at der er lang vej til at man forstår og kan kontrollere slimdyrets adfærd.

Altruisme er en refleks

Ny forskning tyder på, at uselviske beslutninger foretages på ubevidst plan.

PSYKOLOGI

Af Jesper Gormsen redaktion@ing.dk

Hvad er altruisme? Er det bevidste moralske valg, der overtrumfer egoistiske impulser eller handler man helt intuitivt, når man foretager en uselvisk handling? Ifølge Niels Bohr gæsteforsker ved Aarhus Universitet Chris Frith kan det sidste meget vel være tilfældet.

Sammen med sin kollega Masahiki Haruno fra Tamagawa University i Tokyo designede Frith sidste år to forsøg, hvor 39 forsøgspersoner blev præsenteret for forskellige forslag til fordeling af et pengebeløb mellem dem selv og en indbildt partner, mens de lå i en MRI-scanner. Delta-gerne bestod af to grupper – en med markant individualistiske holdninger og en med markant 'prosociale' holdninger – og skulle med tryk på en knap give udtryk for, hvor ønskelige de enkelte forslag var.

Forventningen var, at hvis prosocial værdiorientering er en intuitiv

modvilje mod uretfærdighed og ulig-hed, så burde man finde aktivitet i hjerneområdet kaldet insula eller i amygdala, hvor blandt andet risikobevindelse foregår.

Hvis uselviske beslutninger derimod er bevidste valg, så ville man se aktivitet i den præ-frontale del af hjernen.

Det eneste sted, man kunne måle en forskel mellem individualister og prosociale, var i amygdala. Hos de sidstnævnte steg aktiviteten i denne del af hjernen, når de blev præsenteret for særligt uretfærdige fordelingsfor-søg. Forsøget blev derpå gentaget,

men med den forskel, at forsøgspersonerne også blev bedt om at huske et femcifret tal for at teste, om kognitiv belastning ville have indflydelse på prosocial adfærd. At en del af bevidstheden var optaget af et tal, ændrede imidlertid ikke de prosociale beslutninger, men den gjorde individualisternes svar endnu mere konkurrencebetonede.

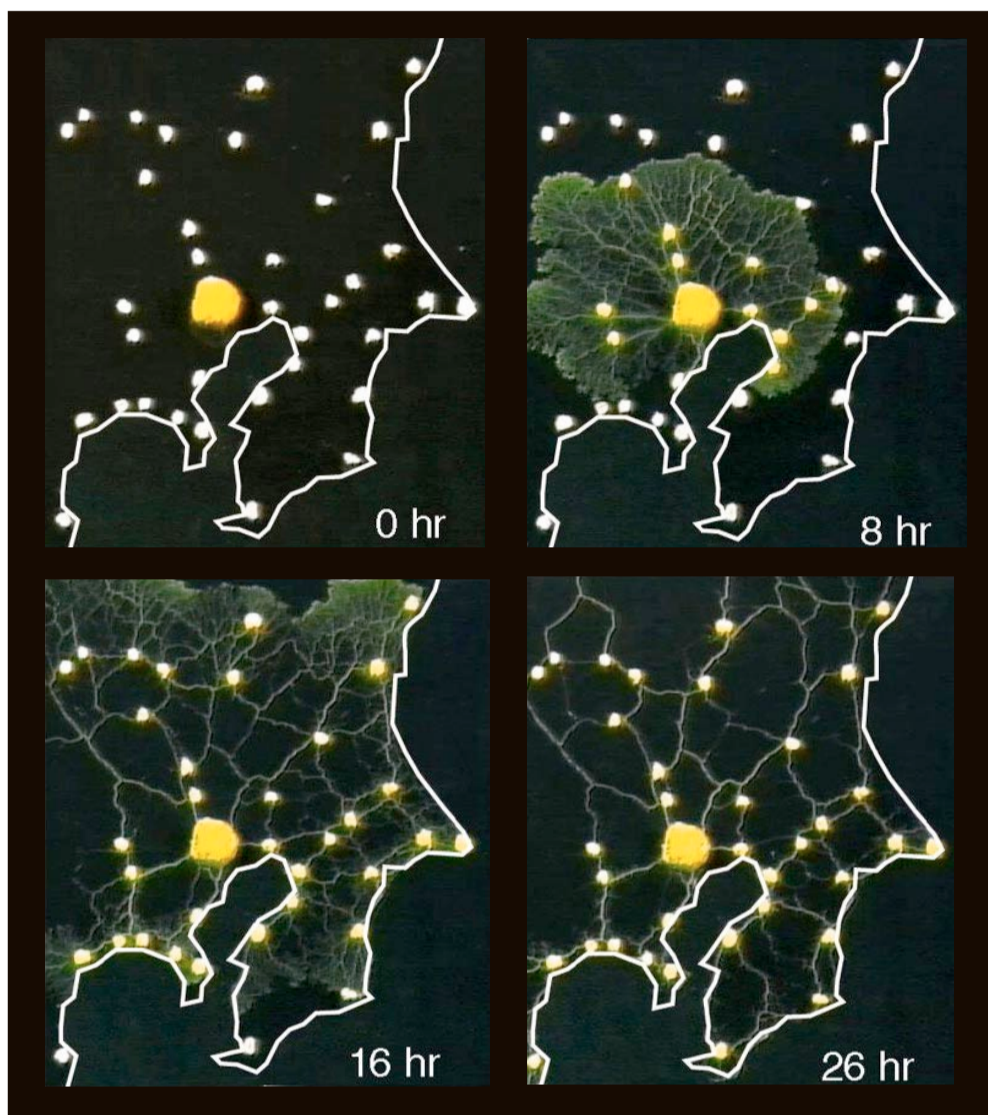
Hjernens alarmcentral

Resultaterne, der blev offentliggjort i Nature Neuroscience kort før årsskiftet, tyder med andre ord på, at der ligger en automatisk behandling af fø-

leler i amygdala til grund for prosocial værdiorientering. Amygdalae er to mandelformede legemer i hjernens tindingelap, der blandt andet står for afkodning af følelsesmæssige stimuli.

»Hvis man ser en vred tiger eller en voldsmand, så bliver betydningen afkodet i amygdala og efter moden overvejelse inddrager den andre dele af hjernen,« forklarer Albert Gjedde, professor i neurobiologi og farmakologi ved Københavns Universitet.

At uselviske beslutninger behandles samme sted som potentielle farer, betyder imidlertid ikke, at uselvisk-



I ET LIGNENDE FORSØG har P. polycephalum 'spist sig vej' gennem Tokyo og byens mange forstæder. I løbet af kun 26 timer skabte den encellede organismes tubuli et netværk, der ikke kun viste den korteste og mest effektive vej gennem alle byer, men også indeholdt redundante ekstraforbindelser.

»Der findes grove matematiske modeller baseret på PP's opførsel i simple eksperimenter, som i nogen grad kan forklare observationerne,« siger Graa Sørensen.

»Men man er meget langt fra en forståelse på basis af kemiske reaktionsnetværk. Det store problem er stadig, hvordan global information om netværket kommunikeres til lokale ændringer. Oscillationer og bølger er måske nøglen til forståelsen.«

Graa Sørensen tvivler derfor på, at et analogt system som PP vil være mere effektivt end en computer til at løse et konkret optimeringsproblem.

»På den anden side demonstrerer PP's strategi, at det kan være langt bedre at optimere det samlede problem i stedet for på forhånd at splitte det op i simple enkeltproblemer (som at optimere vejføringen mellem et givent sæt af byer) og optimere delene hver for sig,« siger han.

Slægten Physarum hedder på dansk støvknop. Den er hverken et dyr, en plante eller en svamp og går under klassifikationen 'protist', sammen med amøber og visse alger. Biologisk er PP en manglekernet slimklump uden cellevægge, der kan ændre netværket på få timer og derfor

reagerer hurtigt sammenlignet med egentlige svampe. Adamatzky og Jones har spekuleret på, hvorvidt man kunne betragte slimdyret som en biologisk variant af et kemisk reaktions-diffusionsystem, der er indkapslet i en elastisk membran. I så fald (og hvis man kan kontrollere systemet) vil det kunne fungere som en massiv parallelcomputer med flere inputs og outputs, der kan reagere intelligent på eksterne stimuli. Slimdyret kan altså betragtes som en amorf og decentraliseret robot.

De har kaldt denne biorobot for en 'Plasmodium', og kunnet programmerer den ved hjælp af lys og elektromagnetiske stimuli. Forskerne har vist, at de komplekse kemiske reaktioner kan fungere som logiske gates, der kan løse grafproblemer (Voronoi-diagrammer), finde korteste afstande, og have hvad man kunne kalde en primitiv hukommelse og beslutningsevne.

Design af nye netværk

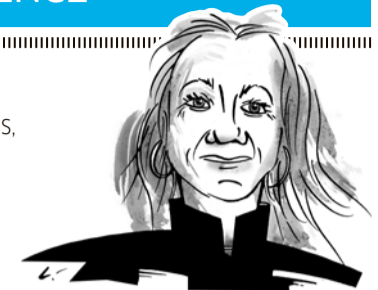
Adamatzky og Jones har også forsøgt at placere slimdyret på en vandoverflade sammen med flydende fødekilder for at se, om det stadig danner netværk på samme måde, eller om slimdyret også er i stand til at bevæge fødekilderne i mere fordelagtige retninger. Det viser sig, at slimdyret både kan skubbe og trække i føden, alt efter hvilke lyskilder og kemiske sammensætninger, der dominerer.

Slimdyret kan altså ikke kun finde et tilnærmet optimalt netværk for en given konfiguration, men i princippet også forbedre en given konfiguration af hubs ud fra et givent sæt af randbetingelser. Man kunne derfor forestille sig, at PP engang i fremtiden vil kunne designe bedre transportnetværk og informere ingeniører om, hvor der bliver brugt uforholdsmæssigt mange ressourcer, og hvor der mangler infrastruktur.

Man kunne måske endda bruge slimdyret som en upartisk dommer i de politiske afgørelser omkring alle de jyske motorveje og jernbaner. Ja, måske ville det endda kunne bruges til at kortlægge de skjulte politiske interessenetværk omkring den slags beslutninger. Men OK – måske findes der nogle ting, som selv slimdyr ikke vil røre ved. ■

META SCIENCE

Af Theresa Schilhab
Ph.d., lektor,
Forskningscenter GNOSIS,
Aarhus Universitet
redaktion@ing.dk



Mennesket – hundens bedste ven?

DEN GODE hundeopdrager udstikker kognitive opgaver. Holder drilsk en tørret ansjos op og slipper den først, når hunden har vist selvkontrol. Han tester dens erkendelse af rangorden ved at snuppe benet for snuden af den. Og når den store hanschæfer løfter overlæben og blottes det perlemorsfarvede rovdyrporcelæn, er 'dræbermaskine' den sidste tanke. Derimod får hunden klap og kærtegn.

HVAD ER baggrunden for denne kontakt? Ideen om at skabe venskaber på tværs af arter er både velgørende og besynderlig. Kamphund eller ikke, hvorfor åbne sit hjem for et rovdyr, hvis smidighed og snarrådighed gør dens vildtlevende forfader, den grå ulv, til en mere end jævnbyrdigt fjende? Domesticeringen af ulve er af nyere dato. Den tidligst daterede hund, som genetisk menes at adskille sig fra ulven, levede for ca. 15.000 år siden. Traditionelt forklarer man fordelene for datidens ulve, som lod sig tæmme, med en lettere tilgang til måltider og sikkerhed fra andre rovdyr. Ulvene måtte tilsidesætte angsten for mennesker til fordel for den mad og husly, de tilbød. Fordelen

for mennesker var, at de tæmmede ulve holdt ikke-tæmmede ulve i skak. Men oldhunden blev også brugt til jagt, som lastdyr og som hyrde. En sådan symbiose er mulig, fordi mennesker og ulve i vidt omfang deler social adfærd. Ulve har ligesom mennesker et naturligt behov for at være en del af et hierarki; med hækkeorden, kommunikation og samarbejde.

HUNDE HAR anlæg for alsidig indlæring og besidder stor social intelligens. De kan let aflæse menneskers hensigter. Forsøg, rapporteret i Animal Cognition i 2008 af Range et al., sammenlignede papegøjer, hundes og børns villighed til at observere andres sørgen efter mad. Forsøgene viste, at hunde faktisk brugte længere tid på at observere mennesker, end på at observere andre hunde. Sikkert fordi deres erfaring er, at mennesker ofte er koblet til belønning.

HVILKEN BETYDNING har det så, at mennesket, den hårløse abe, har taget sin 'grooming' (i biologien bruges det bl. a. om primaters aftusningsadfærd) med i samværet med hunden? Mennesket kan med sine mobile forlemmer, hænderne, kæle og berøre hunden på måder, som den aldrig ville blive berørt af en artsfælle. Når den gladeligt blottes sin strube og underkaster sig, mens den bliver kløet på brystkassen, får den langt mere konkret berøring, end sammen med en anden hund. Med tanken om, hvad babymassage betyder for spædbørn (og berøring for mennesker i det hele taget), er det værd at overveje, om hunden har føjet en ekstra dimension til sin intelligens på grund af kontakten med menneskefinger. En virkning er, at nydelsen ved berøringen kobles til menneskelig kontakt og det sociale bånd derved styrkes. Men en anden kunne være, at fingre, som går dybt i pelsen og på de fleste kroppsområder, reelt giver hunden mulighed for at mærke omridset af sin krop. Dens kropslige selvbillede bliver så at sige styrket fra en sensorisk vinkel.

HVAD BETYDER det at have et udviklet kropsbillede? At 'kende' sine egne grænser er med til at definere én i forhold til omgivelserne. Skellen mellem sig selv og andre er involveret i såkaldt 'theory of mind' (når vi tilskriver andre tanker og hensigter). Måske har hunden styrket sin intelligens ved tilfældigt at få adgang til grooming- adfærd, som kun kan udføres af dyr med mobile forlemmer. Måske er dens intelligens endda blevet trukket i mere menneskelig retning, fordi mennesker knytter bånd ved sofistikeret kropskontakt? ■



En samvittighedsfunktion som altruisme er langt hen ad vejen indlært.
Albert Gjedde, professor, KU

har indkodet en angst over for slanger og edderkopper, uanset om man nogensinde har set disse dyr eller ej.

Chris Frith forudsiger, at man fremover vil finde flere eksempler på, at visse personlighedstræk er nedarvet, men at socialisering også spiller en stor rolle, ligesom rationelle argumenter kan overtrumfe indsocialiserede normer. ■



Slimdyret kan altså bruges som en god biologisk model for udviklingen af transportforbindelser. Andrew Adamatzky, professor of unconventional computing, University of the West of England

hed er en rent ubevidst handling – eller at den er genetisk betinget.

»Det er en problematik, som forsøget slet ikke angriber,« forklarer hjernen bag undersøgelsen, Chris Frith. »Enhver tidlig læring vil føre til en automatisering af reaktionsmønstre, der så bliver administreret på et ubevidst plan i amygdala. Men prosocial beslutninger bliver formentligt ikke kun truffet i amygdala, det er formentligt en proces, der inddrager flere dele af hjernen, men vi kan kun registrere ændret aktivitet i amygdala,« siger gæsteforskeren ved Center for Funktionelt Integrativt Neurovi-

densk på Aarhus Universitet. Han bakkes op af sin kollega Albert Gjedde.

»En samvittighedsfunktion som altruisme er langt hen ad vejen indlært. Hvis dine forældre var 68'ere, eller hvis de tvang dig til at forære dine ting væk, og disse værdier er indkodet tilstrækkeligt grundigt i dit følelsesmæssige register, så vil du reagere instinktivt, hvis du ser noget uretfærdigt. Alle værdier kan formentlig indkodes,« siger Gjedde, der dog påpeger, at visse reaktionsmønstre tilsyneladende ligger i generne. En række forsøg har f.eks. vist, at alle