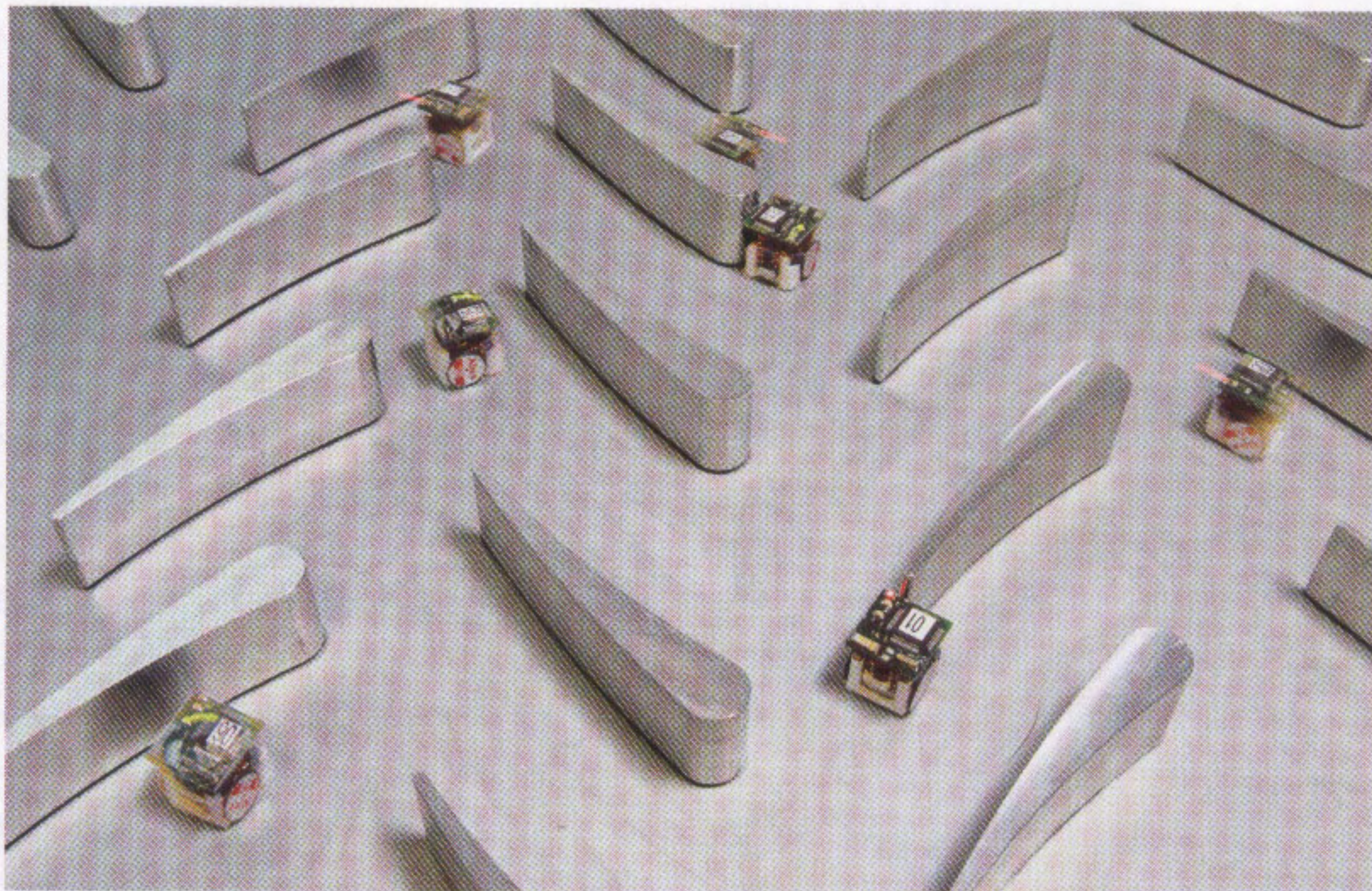




In een Zwitsers laboratorium verspreidt een groep minuscule robots zich door het model van een turbinemotor. Voor een efficiëntere inspectie van elk afzonderlijk rotorblad communiceren de prototypen onderling via infraroodsensoren.

“Als je in de biologie naar groepen met veel individuen kijkt, zijn er maar heel weinig voorbeelden waarin een centrale figuur optreedt,” zegt Vijay Kumar, hoogleraar technische mechanica aan de University of Pennsylvania. “Er is een sterke spreiding: niet alle individuen communiceren met elkaar. Ze handelen op basis van informatie uit hun directe omgeving. En ze zijn allemaal anoniem. Het maakt me niet uit wie de stoel verplaatst, zolang iemand het maar doet. Bij het overschakelen van één robot op meerdere zijn deze uitgangspunten alledrie vereist.”

Kumar hoopt binnen vijf jaar een netwerk van robotvoertuigen operationeel te hebben. Een mogelijke toepassing is de noodhulpvoorziening: “Stel, een alarmdienst krijgt een oproep: er is ergens brand. Je wilt niet dat mensen erop afgaan, je wilt dat eerst machines uitrukken die doorgeven wat er aan de hand is. Voordat je brandweerlieden een brandend gebouw instuurt, kun je toch ook robots naar binnen sturen?”

Marco Dorigo's onderzoeksgroep in Brussel gaat nog een stap verder. Dorigo leidt een Euro-

pees project voor de ontwikkeling van een ‘*swarm*’-manoid, een groep samenwerkende robots met elkaar aanvullende vaardigheden: ‘voetrobots’ die zaken over de grond kunnen verplaatsen, ‘hand-robots’ die tegen een muur kunnen opklimmen en voorwerpen kunnen manipuleren, en ‘oog-robots’ die rondvliegen en de andere robots van informatie voorzien.

Het Amerikaanse leger kijkt watertandend naar deze toepassingen. Op 20 januari 2004 lieten onderzoekers een horde minuscule robots los in een leeg kantoorgebouw in een oefenterrein bij Fredericksburg in Virginia. Hun opdracht: het vinden van in het gebouw verborgen doelwitten.

De dertig centimeter lange, rode robots schoten op hun drie wielen razendsnel alle richtingen uit door de centrale hal. Elke robot was uitgerust met acht sonars om botsingen met de muur en andere robots te voorkomen. Ze verspreidden zich en gingen de ene na de andere kamer binnen, met hun cameraoog speurend naar verdachte objecten. Wanneer een robot een andere tegenkwam, werd informatie uitgewisseld via een draadloos netwerk. (‘Hé, ik heb dat stuk van het gebouw al doorzocht, ga ergens anders kijken.’)

Achter in een vertrek vond een robot iets verdachts: een roze bal in een open kast (de groep was getraind in het vinden van roze objecten). De robot bleef roerloos staan en stuurde een afbeelding naar zijn menselijke supervisor. Al snel vormden een aantal andere robots een cirkel rond de roze indringer. Binnen een halfuur

Wellicht worden ooit groepen robots ingezet om ergens terroristen te verjagen.

waren alle zes verborgen voorwerpen gevonden. De onderzoeksgroep die het experiment uitvoerde, noemde de oefening een succes. Vervolgens begonnen ze een nieuwe test.

Deze demonstratie was onderdeel van een onderzoek naar de samenwerking van een honderdtal robots die een opdracht moesten uitvoeren. Als dat mogelijk zou zijn, dan kunnen wellicht ooit groepen robots een vijandig dorp worden ingestuurd om terroristen te verjagen of gevangenen te lokaliseren. Of ze kunnen bij aardbevingen beschadigde gebouwen ingaan om slachtoffers te vinden; op een chemisch verontreinigd terrein gevaarlijk afval onderzoeken; langs een grens patrouilleren om indringers te betrappen. Amerikaanse militaire instellingen hebben inmiddels diverse robotprogramma's gefinancierd – zwermen helikopters en vliegtuigen, scholen torpedovormige onderwatervoertuigen en horden onbemande landvoertuigen spelen daarin de hoofdrol.

“Toen we met het programma begonnen, vonden we het allemaal een idioot plan,” vertelt Régis Vincent, onderzoeker van SRI International in Menlo Park, California. “Nu kijken we of we het ook met duizend robots kunnen doen.”

IN DE NATUUR verplaatsen dieren zich uiteraard in nog veel grotere aantallen. Als leden van een grote groep, of het nu een zwerm, school of kudde is, vergroten ze hun kans om natuurlijke vijanden op te merken, voedsel te vinden, te paren of een trekroute te volgen. Voor deze dieren is het op elkaar afstemmen van hun doen en laten een zaak van leven of dood.

“Het is veel moeilijker voor een predator om te voorkomen dat hij wordt opgemerkt door duizend vissen dan door één vis,” zegt bioloog Daniel Grünbaum van de University of Washington. “Het nieuws dat een vijand nadert, verspreidt zich snel door een school, omdat de vissen aan hun burens merken dat er iets aan de hand is.”

Als een roofdier een school vissen aanvalt, is de school in staat zich te verspreiden en daarbij dusdanige patronen te vormen dat waarneming van

individuele vissen vrijwel onmogelijk wordt. De school kan in een flits exploderen, een soort bewegende bel rond het roofdier vormen of uiteenvallen in talloze bubbels, alvorens zich te hergroeperen tot één geheel en weg te zwemmen.

Landdieren doen grotendeels hetzelfde, zo stelde wildbioloog Karsten Heuer in 2003 vast toen hij en zijn vrouw Leanne Allinson vijf maanden lang de kariboes van de enorme Porcupine-kudde volgden. Ze trokken ruim 1500 kilometer met de dieren mee en legden gegevens vast over hun trek van het overwinteringsgebied in de Canadese Yukon Territory tot aan het Arctic National Wildlife Refuge in Alaska, waar de wijfjes kalven.

“De trekkende kudde leek onderweg veel op de schaduw van een wolk die over het landschap trok, of een massa dominostenen die alle tegelijk omvallen en van richting veranderen,” vertelt Karsten. “Het was net of elk dier wist wat zijn buur ging doen en die ernaast ook en die ernaast eveneens. Er was anticipatie noch reactie, geen oorzaak en gevolg. Het gebeurde gewoon.”

Op een dag, toen de kudde zich vernauwde om vlak bij de boomgrens een smalle geul te passeren, zagen Karsten en Leanne een wolf naderbij sluipen. De kudde reageerde met een typisch verdedigingsmechanisme van een kudde.

“Zodra de wolf binnen een bepaalde afstand van de kariboes kwam, was de waakzaamheid van de kudde opeens maximaal,” vertelt Karsten. “Er was geen enkele beweging meer. Elk dier bleef stokstijf staan en keek aandachtig toe.” Toen de wolf nog eens honderd meter dichterbij kwam, overschreed hij een tweede drempel. “De dichtstbijzijnde kariboe keerde zich om en rende weg, en die reactie plantte zich als een golf door de hele kudde voort, tot alle dieren renden. De dieren het dichtst bij de wolf, aan de achterzijde van de kudde, gedroegen zich als een plotseling uiteenrafelende deken, wat vanuit het perspectief van de wolf bijzonder verwarrend moet zijn geweest.” De wolf joeg achter de ene na de andere kariboe aan en verloor bij elke wisseling van doelwit meer terrein. Uiteindelijk ontsnapte de
(Vervolg op pagina 176)



Een roodgekleurde ring betekent 'grijp me', een blauwe 'blijf uit de buurt'. In een Brussels laboratorium werken robots nauw samen. Hun doel: iets voor elkaar krijgen wat alleen niet lukt, zoals het verplaatsen van een zwaar voorwerp.

FOTO: MARK THIESSEN





Een door vuurvliegjes verlichte boom in Indonesië knippert aan en uit doordat de insecten hun lichtpulsen afstemmen. Zulk zelforganiserend gedrag heeft veel weg van het synchroon pulseren van hartspiercellen of het ritmisch applaus van een menigte.

FOTO: MITSUHIKO IMAMORI, MINDEN PICTURES

Elke kariboe wist wanneer het tijd was om te gaan rennen, ook al wist hij niet precies waarom.

kudde over de bergrug, een hijgende en sneeuw proestende wolf achterlatend.

Elke individuele kariboe had het grootst mogelijke risico gelopen, en toch bleek uit het vluchtgedrag van de kudde geen spoor van paniek, juist precisie. (Vergelijk dit met het tumult dat zou ontstaan als een hongerige wolf zou worden losgelaten in een menigte mensen.) Elke kariboe wist wanneer het tijd was om te gaan rennen en welke kant hij op moest, ook al wist hij niet precies waarom. Er was geen leider die de bewegingen van de kudde bepaalde; elk dier had gewoon gehoorzaamd aan eenvoudige regels die zijn ontstaan in de loop van de duizenden jaren waarin wolven hen al lastig hebben gevallen.

Dat is het bijzondere aan swarm-intelligence: of het nu over mieren, bijen, duiven of kariboes gaat, de ingrediënten van intelligent groepsgegedrag – gedecentraliseerde controle, reactie op prikkels in de directe omgeving, eenvoudige basisregels – vormen tezamen een slimme handelingsstrategie in complexe omstandigheden.

“We hebben eigenlijk nog geen idee van wat we er allemaal nog meer mee kunnen doen,” zegt Eric Bonabeau, complexiteitstheoreticus en expert in swarm-intelligence. “We zijn niet gewend gedecentraliseerde problemen ook op gedecentraliseerd niveau op te lossen. We kunnen een verschijnsel als het verkeer niet beheersen door na elke meter een verkeerslicht te plaatsen. Om het verkeer nu te modelleren als een zelf-organiserend systeem, is zeer boeiend.”

Sociale en politieke groeperingen hebben inmiddels primitieve zwermacties ontwikkeld. Bij de massaprotesten acht jaar geleden in Seattle gebruikten actievoerders tegen globalisering mobiele communicatieapparatuur om snel nieuws over politiebewegingen te verspreiden. Zo veranderden ze een anders onhandelbare verzameling mensen in een ‘intelligente meute’, die zich als een school vissen kon opsplitsen en weer herorganiseren.

➤ **Online** Meer beelden van zwermgedrag in de natuur en andere foto's van dit fenomeen vindt u op onze website nationalgeographic.nl of be.

De grootste veranderingen vinden misschien plaats op het internet. Neem de manier waarop zoekmachine Google groeps kennis gebruikt om zoekresultaten te presenteren. Wanneer een zoekterm wordt ingetypt, speurt Google zijn geïndexeerde servers miljarden webpagina's af naar de meest relevante. Vervolgens worden de resultaten gerangschikt op volgorde van het aantal pagina's dat ernaar verwijst; deze links worden geteld als stemmen (de populairste sites krijgen gewogen stemmen, omdat de kans groter is dat ze betrouwbaar zijn). De pagina's die de meeste stemmen krijgen, staan zo boven aan de lijst. Op deze manier, aldus Google, gebruikt de zoekmachine ‘de collectieve intelligentie van het web om te bepalen hoe belangrijk een pagina is’.

Ook Wikipedia, de encyclopedie op internet, is een groot succes en biedt miljoenen teksten in ruim tweehonderd talen over alle denkbare onderwerpen. Iedereen kan teksten toevoegen of bewerken. “Enorme aantallen mensen kunnen nu collectief nadenken, op een manier die we ons een paar decennia geleden niet konden voorstellen,” zegt Thomas Malone van het Massachusetts Institute of Technology. “Geen enkel individu weet alles wat nodig is om de problemen waar we als maatschappij voor staan, zoals in de gezondheidszorg of op het gebied van klimaatverandering, het hoofd te bieden. Maar collectief is er veel meer kennis aanwezig dan we tot nu toe hebben kunnen aanspreken.”

Dit soort gedachten onderstreept een belangrijk aspect van collectieve intelligentie: groepen zijn alleen verstandig als de individuele leden zich verantwoordelijk gedragen en hun eigen beslissingen nemen. Als leden elkaar imiteren, slaafs rages volgen of afwachten tot iemand anders zegt wat ze moeten doen, zal de groep niet intelligent opereren. Of een groep intelligent is – mieren of advocaten, het maakt niet uit – hangt af van de bereidheid van de leden hun steentje bij te dragen. En voor wie zich soms afvraagt of het echt zin heeft die extra fles in de glasbak te gooien om onze planeet te sparen, is er de boodschap dat ons handelen wel degelijk invloed heeft, ook al zien we niet hoe precies.



Denk aan de honingbij in haar bijennest. Als er buiten een koude wind opsteekt, gaat ze rillen om warmte op te wekken, warmte die tegelijk de larven in haar omgeving op temperatuur houdt. Ze heeft er geen idee van dat honderden werkbijen elders in het nest hetzelfde doen op hetzelfde moment, wat het welzijn van de toekomstige generatie ten goede komt.

“De honingbij ziet niet meer van het grote geheel dan u of ik,” zegt bijenexpert Thomas Seeley. “Niemand van ons weet wat de samenleving als geheel nodig heeft, maar we kijken om ons heen en zeggen: er zijn op school vrijwilligers nodig, of iemand om het gazon bij de kerk te maaien, of iemand die kan helpen bij een politieke campagne.”

Wie op zoek is naar een voorbeeld hoe zich te gedragen in een complexe wereld, kan iets slechter verzinnen dan het imiteren van bijen. □

Ontelbare sprinkhanen in Mauritanië, in West-Afrika, stijgen op als één zwarte wolk, verslinden elk gewas dat ze tegenkomen en laten een spoor van honger en sterfte na. Het voorkómen van zulke plagen vereist een beter begrip van zwermgedrag en de wijze waarop ons leven erdoor wordt beïnvloed.