

Datorsimulering av myror

En studie av kollektivt beteende

Jonas Magnusson

Examensarbete för 20 p, Institutionen för datavetenskap, Naturvetenskapliga fakulteten,
Lunds universitet.

Thesis for a diploma in computer science, 20 credit points, Department of Computer
Science, Faculty of Science, Lund University.

Datorsimulering av myror

En studie av kollektivt beteende

Sammanfattning

Den här rapporten handlar om myrors kollektiva beteende, och dess relevans inom datalogi. Både vanliga myrors beteenden och datorapplikationer med dessa som inspirationskälla tas upp.

Inom ramen för arbetet har jag konstruerat en modell för en datorsimulering av ett myrsamhälle, som bygger på helt autonoma mjukvaruagenter med strikt reaktivt beteende, samt begränsad tillgång till information om omvärlden. För att finjustera modellen har jag experimenterat med dess parametrar med hjälp av en genetisk algoritm. Den genetiska algoritmen har hittat olika inställningar som beskriver myrsamhällen med olika specialiseringar, som också finns i naturen. Detta ger modellen ett visst mått av trovärdighet.

Computer simulation of ants

A study of collective behaviour

Abstract

This paper is about the collective behaviour of ants, and the relevance of this in computer science. Both the behaviour of ordinary ants and computer applications inspired by these will be covered.

Within this thesis I have constructed a model for a computer simulation of an ant colony. The model is based on autonomous software agents with a strictly reactive behaviour. Each agent has restricted access to information regarding the surrounding world. To tune the model, I have used a genetic algorithm to experiment with its parameters. Using the genetic algorithm, various settings has been found that describes ant colonies with various specialities also found in nature. This gives the model a certain amount of credibility.

Innehåll

1 Inledning	5
1.1 Myror	5
1.2 Kopplingen till datalogi	7
1.3 Syfte	9
1.4 Upplägg.....	10
2 Samarbete hos myror	10
2.1 Kooperativ transport	10
2.2 Rekrytering	11
3 Min modell	12
3.1 Ramverket	12
3.2 Samarbete.....	16
3.3 Antaganden och förenklingar.....	19
4 Resultat	20
4.1 Beteendevektorn	21
4.2 Egna tester.....	21
4.3 Genetisk algoritm.....	23
4.4 Experiment.....	26
4.5 Slutsatser.....	28
5 Diskussion	28
5.1 Resultatens värde	28
5.2 Förenklingars betydelse och biologisk validitet	29
5.3 Utökningar	30
6. Referenser	31

1 Inledning

Den här uppsatsen handlar om myror, och om datorprogram där myrors beteenden används som inspirationskälla eller till och med där syftet är att modellera myrors beteende. För att ge en bakgrund till detta, och förståelse för varför myror är så intressanta ur ett datalogiskt perspektiv behandlar kapitel 1.1 myror så som vi känner dem, det vill säga i naturen. Därefter ges en liten orientering om varför myror är datalogiskt intressanta, och syftet med det här arbetet.

1.1 Myror

Generellt kan man säga om myror att det är en social insekt. De flesta myrarter har ett väl utbrett samarbete både inom och utom stacken. Genom att lägga luktspår, så kallade feromoner, efter sig kan en myra få andra myror att följa efter. När sedan en myra hittat mat lägger den feromonspår efter sig på vägen hem så att andra i stacken hittar dit. Det finns oftast endast en drottning i stacken och hon är den enda som lägger nya ägg. Ordet drottning är ganska missvisande då hon inte har någon egentlig makt över arbetarna, utan endast är deras reproduktionsmaskin. Däremot är arbetarna väldigt rädda om henne, och försvarar henna med sina liv, det är ju nämligen hon som för deras gener vidare. [11, 15]

Ovanstående passar in på de flesta, men dock inte alla myrarter. Det finns till exempel arter som inte lägger feromoner, och det finns arter som har flera drottningar, men beskrivningen stämmer in på de flesta arter [11]. I det här kapitlet tas två ganska speciella myrfamiljer upp, nämligen vandringsmyran och bladskärarmyran.

1.1.1 Vandringsmyror

Vandringsmyrorna, mer kända under sitt engelska namn Army Ants, är som namnet antyder en vandrande grupp av myrarter. En av de mest studerade arterna av vandringsmyrorna är *Eciton burchelli*, som återfinns i Mellanamerika och norra Sydamerika [11], och det är den arten det här kapitlet ska handla om.

Eciton burchelli har ingen permanent stack, utan bygger istället en stack av sina egna kroppar för att skydda drottningen och larverna. På dagarna gör de myror som inte ingår i stacken råder utåt för att få tag i mat åt larverna, och på nätterna emigrerar hela kolonin, inklusive stacken, till något annat ställe där samma mönster upprepas. Om myrorna stöter på ett vattendrag eller liknande hinder under emigreringen kan arbetare bilda en bro av sina egna kroppar för att hjälpa resten av kolonin att komma förbi. [6, 11]

När larverna förpuppas efter ungefär 15 dagars vandring stannar kolonin på ett ställe under de 20 dagar det tar för pupporna att växa färdigt och kläckas. Under tiden gör myrorna råder efter mat, men inte längre varje dag, då de inte längre har några larver att mata. Honan lägger även nya ägg nu, så att de kläcks precis då det är dags att börja vandra igen. [6, 11]

Eciton burchellis råder är väldigt imponerande. Uppåt 200 000 myror bildar en 20 meter bred front som skövlar allt i sin väg. Det bildas en motorväg från den temporära stacken till fronten, där specialiserade bärare hjälper till att transportera byten [9, 11]. För att upprätthålla effektivitet i transporten har vandringsmyrorna ett speciellt system: de håller reda på hasigheten. Om ett byte transporteras för långsamt hjälper några till med det, och om det går för snabbt hoppar några myror av. På så sätt hålls en konstant hastighet vid alla transporter, och trafikstockningar undviks [6]. De har till och med ett system med olika filer för olika riktningar [3], mer om det i kapitel 1.2.

Anledningen till att myrorna hjälps åt med att bära byten, och inte stycker upp dem på plats för att sedan bära delarna var för sig, är att det är det effektivaste. Genom att maximera antalet ben i marken samtidigt och balansera bytet bra, minskar energiåtgången hos de enskilda myrorna. En grupp på till exempel fem myror kan alltså bära långt mycket mer än vad fem myror kan bära var för sig. Mer om detta i kapitel 2.1. [6, 7, 11]

1.1.2 Bladskärrmyror

Bladskärrmyrorna lever på att odla svamp, vilket man inte gissar när man hör namnet. De gräver tunnlar i marken där de bor, och långt nere under markytan odlar de svamp som de äter. Anledningen till att de heter bladskärrmyror är att de odlar sin svamp på

en bädd av söndertuggade löv, som stora specialiserade arbetare är ute och hämtar. Det finns även mindre arbetare, som är många gånger mindre än de stora, och de håller till nere i gångarna och sköter svampodlingen. [11]

Kolonins storlek har hos vissa arter uppmätts till så mycket som åtta miljoner myror, och dess gångar kan sträcka sig ner till sex meter under marken. De olika arterna finns i Syd- och Mellanamerika där växtligheten och myrorna har anpassat sig till varandra under miljontals år. Bladskärarmyror bryter ner växter väldigt snabbt, samtidigt som de gräver runt i jorden. På så sätt berikar de jorden och många växter är direkt beroende av detta. Men om bladskärarmyror skulle ha införts i till exempel Afrika skulle det kunna innebära en ekologisk katastrof då växtligheten där inte på något sätt är förberedd på en sådan effektivt skördande insekt. [11]

De som far mest illa av bladskärarmyran är människorna. Myrorna kan snabbt uppnå enorma populationer om det finns gott om mat, vilket det finns på böndernas odlingar. Bladskärarmyror har inga naturliga fiender, och det enda sättet att komma åt dem är massförgiftning, vilket i sig kanske inte heller är ekologiskt önskvärt. [11]

En intressant detalj som observerats hos bladskärarmyror är att deras gångar i jorden har ett inbyggt ventilationssystem. De mest perifera ingångarna tar in luft som sedan strömmar genom kolonin och ut ur ingångarna närmast mitten av nästet. En annan intressant iakttagelse är att de stora arbetarna som letar blad utomhus kan gå förbi stora bestånd av växter som växer nära boet, för att istället välja blad som växer uppåt 100 meter från boet. Det finns olika teorier om varför detta beteende uppkommit. Kanske är det för att myrorna vill hålla växtligheten frisk runt sitt bo, eller så har det att göra med att de faktiskt är ganska kräsna vad gäller val av blad, och bara tar det bästa som finns att tillgå. [11]

1.2 Kopplingen till datalogi

Vad är det då som är intressant med ovan beskrivna beteenden ur ett datalogiskt perspektiv? Jo, trots att myrsamhällen visar upp en hög nivå av organisation och en ganska slående effektivitet består de fortfarande bara av små, individuella och ointelligenta myror. Det finns alltså ingen centralstyrning, inget gemensamt medvetande

och ingen övergripande intelligens, utan myrornas kollektiva effektivitet uppkommer ur individernas enskilda beteenden.

Myrornas samarbete består mest av indirekt kommunikation. Vad de gör är att de genom sina handlingar förändrar sin miljö, till exempel genom att lägga feromoner eller flytta något, och då reagerar andra myror på det. Myrornas arbete och handlingar är alltså främst resultat av att de direkt och helt utan eftertanke reagerar på vad de uppfattar i sin omvärld. När en myra påbörjar ett arbete, reagerar nästa myra på att det är påbörjat och hjälper då till. Detta kallas *stigmergy* på engelska [1] men jag har inte hittat någon svensk term för det. Det är således inte så att myrorna samarbetar i vår mening, utan alla gör sin sak, och detta resulterar i ett väl koordinerat samarbete. [1]

Detta tankesätt kan användas inom olika problemställningar i datavetenskap. Ett exempel på en applikation är AntNet. AntNet är en algoritm som optimerar nätverksflöden genom att datapaket lägger ut spår efter sig för att guida andra paket, mycket liknande myrornas feromonspår. Ett annat användningsområde är algoritmer för approximering av handelsresandeproblemet och andra grafproblem. Algoritmerna låter fiktiva myror springa längs bågarna i en graf, och de lägger ut feromoner för de efterkommande myrorna. Dessa algoritmer presterar mycket bra i det vanliga handelsresandeproblemet, men visar främst sin effektivitet då det gäller en dynamisk graf. Det pågår forskning på många olika problem inom kombinatorisk optimering och nätverksrouting med hjälp av myror, och ett samlingsnamn för dessa algoritmer är Ant Colony Optimization (ACO). [1]

I övrigt kan det tyckas att myrorna som inspirationskälla för problemlösande algoritmer har viss likhet med hjärnan som inspirationskälla för neurala nätverk. De är inte enbart lika för att de båda är biologiskt förankrade, utan även för att de båda använder ett distribuerat beräkningssätt med många små enkla enheter, istället för en central styrning. Detta tankesätt bäddar för ett hållbart och tåligt system, där förlusten av en enhet inte behöver spela någon större roll i den övergripande prestationen. Dessutom har de två områdena likheter i att de låter lösningar till problem på en viss nivå av komplexitet växa fram från interaktioner mellan enheter som arbetar på en lägre nivå. [5, 10]

En helt annan angreppsvinkel är att vi med hjälp av datorsimuleringar bättre kan förstå myrsamhällen. Nigel Franks var en av de första entomologerna som började använda sig av datorprogram för att pröva hypoteser om myror [13], och det är han som författat många av artiklarna på området. Det fungerar som så att man programmerar in ett enkelt beteende (A), som man observerat hos riktiga myror, i ett datorprogram som simulerar myror (mer eller mindre förenklat), och därefter ser man om det ger upphov till ett annat beteende (B), som även det observerats i verkligheten. Man har visserligen fortfarande inte bevisat något, men man har visat att det är möjligt att beteende A kan ge upphov till beteende B. På så sätt ger man stöd åt en hypotes som är svår att pröva i verkligheten. Jag ger två exempel nedan för att förtydliga.

Man har observerat att vandringsmyran *Eciton burchelli* gärna bildar tre filer på sin motorväg till fronten, varav den mittersta är den där byten transporteras tillbaka till stacken, och de två yttre är arbetare på väg tillbaka till fronten. Couzin och Franks [3] hade en teori om att detta inte har något med höger eller vänstertrafik att göra, utan snarare att de enskilda myrorna som bär på något har en lägre benägenhet att väja än de som inte bär på något. De testade detta i en datorsimulering och det visade sig att detta beteende gav upphov till en trefilig struktur. Ett annat försök som gjorts är då Franks et al. [8] hade en hypotes om att vandringsmyrornas svärmmönster till stor del bestäms av hur deras byten ser ut. Med en datorsimulering lade de ut byten på olika sätt, många men små byten eller få men stora byten, och observerade sedan hur de datorsimulerade myrorna betedde sig. De som fick många små byten fick ett rådmönster liknande det hos *Eciton burchelli*, vilket också stämmer med artens diet, och de som fick stora men få byten uppförde sig likt de arter av vandringsmyror som jagar sådana byten, till exempel *Eciton rapax* [8].

1.3 Syfte

Syftet med det här arbetet är att pröva en generell modell för en simulering av ett myrsamhälle. Modellen omfattar födosökande beteende hos myrorna, kommunikation i form av rekrytering med hjälp av feromonläggning samt samarbetande myror som hjälps åt att bära hem mat till boet. Modellen implementeras i ett datorprogram.

En grundtanke i det här arbetet är att göra det biologiskt trovärdigt. Därför koncentrerade jag mig på att göra modellen väldigt minimalistisk, och inte anta något som inte är biologiskt motiverbart. Det kändes också viktigt att hellre underskatta än överskatta myrornas uppfattningsförmåga och tillgång till information om omvärlden, och därför ville jag hålla mig till strikt reaktiva beteendemönster. All koordination mellan myrorna sker via indirekt kommunikation, det vill säga myror ändrar världen runt omkring sig då de gör något, och varje myra agerar utifrån hur världen ser ut.

Arbetet med simuleringen i ett datorprogram görs genom att först implementera en generell modell för ett enkelt men effektivt beteendemönster hos myrorna, som fungerar för att leta mat och lägga feromonspår. Därefter införs förmågan att samarbeta i den existerande modellen, utan att förändra grunden i den.

Slutligen körs programmet genom en genetisk algoritm, där parametrarna optimeras, och därmed uppnår simuleringen ett effektivt matletarbeteende.

1.4 Upplägg

I nästa kapitel presenterar jag teori inom området samarbete hos myror, tillsammans med existerande modeller. Kapitel 3 beskriver datorsimuleringen jag har gjort inom ramen för detta arbete, och tar upp såväl implementationstekniska aspekter som biologiska kopplingar. I kapitel 4 redovisas resultaten av mitt arbete, och dessa diskuteras. Slutligen tar jag i kapitel 5 upp en diskussion om detta arbetssätt ur ett större perspektiv, och om vilka utökningar som kan vara intressanta i framtiden.

2 Samarbete hos myror

2.1 Kooperativ transport

Kooperativ transport är ett fenomen som uppträder hos myrarter som använder sig av rekrytering för att hitta mat [11]. Det ser ut på ungefär samma sätt överallt: en myra försöker rubba ett byte och om det går för dåligt tillkallas extra hjälp.

Anledningen till att myror gärna bär byten tillsammans istället för att stycka upp dem på plats för att sedan bära hem dem var för sig är, som jag nämnde i inledningen, att de kan bära mycket mer tillsammans. Devisen att ett myrsamhälle är så mycket mer än summan av dess delar gör sig väldigt tydlig och konkret i just det här området. Undersökningar har visat att myror i extrema fall har burit upp till tio gånger mer vikt per myra när de deltagit i en grupp än när de jobbat ensamma [11]. Denna extra effektivitet tror man dels beror på att myrorna hanterar rotationskrafterna bättre, då tyngdpunkten ligger annorlunda i större objekt, och dels på att de maximerar antalet ben i marken per viktenhet och därför kan lyfta mer [7].

Hos vissa arter betar sig myrorna på ett sätt när de transporterar byten ensamma, och ett annat då de samarbetar. Bland annat använder de sina ben och käkar på ett annat sätt då de bär bytena. Som kontrast till detta står att vissa andra myrarter uppvisar exakt samma beteende då de är ensamma som då de hjälps åt. [1]

Kooperativ transport har inte studerats så mycket i datormodeller, men har varit en inspirationskälla för arbete inom ämnet robotik [1]. Där har man dock inte kunnat utnyttja myrparallellen fullt ut, då teorierna om myrors samarbete till stor del bygger på deras stora antal, något som är svårt att uppnå med robotar.

2.2 Rekrytering

Det krångliga inom kooperativ transport är rekryteringen. Hur myror lyfter upp byten med hjälp av sina käkar och ben är inget jag ska ta upp i min modell, utan jag fokuserar på deras sätt att rekrytera hjälp då det behövs. Såvitt man vet använder de inte ljud för att kommunicera, och vissa myrarter är så gott som blinda, så då fungerar inte visuell kommunikation [4, 8]. Jag tar upp några olika teorier och observationer här.

Hos ett par myrarter har man observerat följande beteende: Det börjar med att en myra hittar något den vill ta hem till stacken. Därefter börjar den försöka lyfta upp bytet eller dra i det. Om detta inte fungerar börjar myran rekrytera fler myror för att hjälpa till. Det första den gör är att avsöndra ett luftburet feromon som drar till sig myrors uppmärksamhet på ett par meters avstånd. Detta kallas kortdistansrekrytering (short-range recruitment). Kan inte heller de myror som reagerat på detta rubba bytet, eller om

de kan flytta det men det går för långsamt, börjar kurirer springa mot stacken och lämnar efter sig ett vanligt feromonspår som attraherar myrorna i stacken. Detta kallas långdistansrekrytering (long-range recruitment). En myras benägenhet att kalla på hjälp verkar i det här fallet inte ha att göra med att myran observerar tyngd eller storlek på bytet, utan istället verkar det bero på hur svårt det är att transportera. Detta har visats med försök där man satt fast byten i marken och sedan låtit myror försöka bära iväg det. Man har dessutom lagt märke till att ju svårare bytet är att rubba, desto mindre tid behöver en myra på sig för att avgöra om hon behöver hämta hjälp. [1, 11]

Ett annat sätt att sköta transportererna har observerats hos vandringsmyran *Eciton burchelli*. Istället för att kontrollera svårigheterna i att få hem bytet börjar en myra transportera det, oavsett vad det väger, längs motorvägen mot stacken. På denna motorväg råder ett jämnt flöde, och så fort någon är för långsam märker de andra myrorna det och hjälper till. På så sätt får alla byten tillräckligt många myror till transporten för att det ska gå i samma jämna hastighet som allt annat. Det är alltså även viktigt att det inte går för snabbt, då även detta förstör det jämna flödet. [6]

3 Min modell

Jag har konstruerat en modell för en simulering av ett myrsamhälle, och implementerat den i programspråket java. Simuleringen fungerar som så att en virtuell värld byggs upp, där det finns mat, myror och en myrstack. Myrornas uppgift är att hitta maten och hämta hem den till stacken, och genom att en myra som hittat mat lägger feromonspår efter sig kan andra myror också hitta till matplatserna.

3.1 Ramverket

Modellen består av en tvådimensionell yta som representeras av en matris. Ytan består av fyrkantiga rutor, och i varje ruta kan det finnas ett eller flera objekt.

Varje ruta i modellen kan beskrivas med två koordinater x och y , och innehåller information om vad som finns på just den rutan. Detta kan vara mat, myror, en myrstack och feromonspår, eller ingenting alls. Dessutom innehåller varje ruta sitt eget avstånd

till stacken. Detta är åtkomligt för myrorna och är endast ett sätt att lösa problemet med hur myrorna vet vägen hemåt. Mer om detta nedan i kapitel 3.1.2 och 3.3.

Programmet går i en loop, och i varje loop exekveras ett steg i världen. I varje steg får var och en av myrorna flytta sig en gång (eller stå stilla, se 3.1.2 nedan) och alla feromonerna räknas ner (se 3.1.4 nedan).

3.1.1 Mat

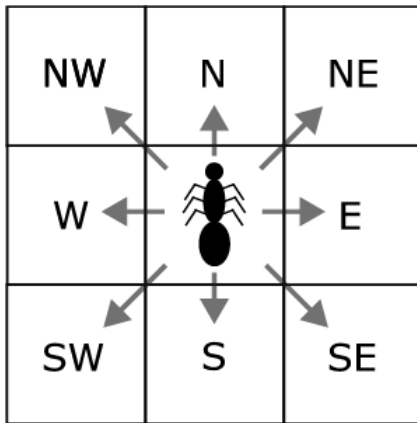
Varje matobjekt innehåller information om hur mycket mat det är. För närvarande är maxvärdet för hur mycket mat som ryms i ett matobjekt 12. Det är denna information som avgör hur mycket mat som tillförs boet, avgör om en myra kan bära det ensam samt påverkar hastigheten en myra kan hålla när den bär maten. En myra kan bära ett matobjekt av storlek upp till 8 själv, men den saktas ner proportionerligt mot storleken på matbiten den bär.

3.1.2 Myror

Ett myroobjekt, alltså en myra i simuleringen, innehåller ett antal variabler och konstanter som styr dess beteende, men framförallt en vektor som innehåller vikter som bestämmer hur myran ska reagera på sin omgivning. Myran är nämligen helt reaktiv, och vad den gör bestäms nästan uteslutande av vad den ser i angränsande rutor i modellen. Det finns två saker som kan påverka myrorna som inte finns i angränsande rutor, detta är dels hur länge de har varit ute och gått utan att se något av intresse, och dels riktningen till stacken.

Modellen som bestämmer vilken riktning en myra ska röra sig i fungerar så här: För var och en av de åtta angränsande rutorna kontrollerar myran hur mycket det finns av respektive mat och feromonspår, samt hur mycket längre den kommer från stacken om den går till just den rutan. Dessutom slumpas ett värde fram mellan noll och ett¹. Dessa värden myran har fått fram multipliceras sedan vart och ett med en vikt, specifik för varje värde. Sedan summeras alla produkter i en ruta, och den ruta som sedan har fått högst värde blir den ruta som myran väljer att gå till.

¹ En dator producerar normalt inte riktiga slumpmässiga värden, utan använder pseudoslumpvärden. Jag kommer dock att referera till dessa som slumpvärden i resten av arbetet.



Figur 1.

Om myran bär på mat, eller om den varit ute för länge, byts uppsättningen vikter mot en alternativ uppsättning som sätter ett negativt värde på avståndet till stacken, och på så sätt söker sig myran hemåt. Även där finns feromonföljning och slump med, men inte i riktigt lika stor utsträckning. En tänkbar utökning här är att göra beteendevektorn dynamisk. Det skulle innebära att myran gradvis ändrar sitt beteende istället för att tvärt vända då den varit ute och gått för länge.

Innan myran bestämmer sig för vilket håll den ska gå åt tillämpas ett antal statiska regler, för att myran ska plocka upp och släppa ifrån sig mat med mera. Nedan följer en schematisk beskrivning av vad myran gör vid varje drag:

1. Statiska regler tillämpas:

- Om myran står på en ruta där det finns mat plockas maten upp.
- Om myran bär på mat, och det inte redan ligger för mycket feromon i rutan där den står, läggs ett feromonspår.
- Om myran bär på mat, och den är i stacken, så släpper den maten.

2. Avgör vilken angränsande ruta som är bäst att gå till:

Var och en av de åtta angränsande rutorna tilldelas ett värde som ges av följande formel.

$$A * v_0 + B * v_1 + C * v_2 + D * v_3$$

Där

A = Mängden mat i rutan.

B = Mängden feromon i rutan.

C = Skillnaden mellan rutans avstånd till stacken och myrans aktuella avstånd till stacken. Ett positivt värde betyder således att rutan leder bort från stacken, och ett negativt värde betyder att den leder mot stacken.

D = Slumpvärde mellan 0 och 1.

V är beteendevektorn som innehåller vikter, och det är dessa man ändrar på för att uppnå olika beteenden. Det finns två uppsättningar av v, den alternativa används då myran ska vara på väg hemåt, det vill säga då den bär på mat. Den stora skillnaden ligger i att den alternativa vektorn har ett negativt värde på vikten för avstånd, och på så sätt söker sig myran mot stacken istället för från den.

3. Sakta ner:

Beroende på hur mycket myran bär på saktas den ner, och det bestäms här. Detta fungerar helt enkelt så att om myran bär på en matbit med tyngd 2, kan den bara förflytta sig varannan runda, om den bär på en matbit med tyngd 3, var tredje runda, och så vidare.

3.1.3 Myrstacken

Det finns bara en myrstack i min modell, men den täcker en viss area, och därför finns alltså myrstacken i flera rutor. Myrstacken har ingen egentlig funktion utan finns endast för att myrorna ska ha ett ställe att återvända till med maten. När en myra släpper en bit mat i myrstacken försvinner maten, och myrstacken lägger till den mängden mat till sitt förråd.

3.1.4 Feromoner

Feromonobjekten innehåller likt matobjekten bara information om mängden feromon som ligger just där. Men huvudprogrammet ser till att detta räknas ner varje omgång för att simulera evaporation. Då en myra lägger feromoner lägger den ett feromonobjekt av storlek 1, eller, om det redan ligger ett feromonobjekt där, ökar det med 1. En myra

lägger inte feromon på en ruta om det redan ligger ett feromonobjekt av storlek 2 eller mer där.

Det är lämpligt att låta evaporeringshastigheten anpassa sig efter hur långt bort från stacken myrorna tillåts röra sig, något som i sin tur är beroende av hur stor yta man vill simulera.

3.2 Samarbete

För att införa förmågan till samarbete i ovan beskrivna modell, har jag bara behövt lägga till ett litet antal extra saker och de ska jag förklara här.

Det första jag ska ta upp är hur jag tekniskt implementerat att fler myror än en bär på samma bit mat. I varje matobjekt har jag infört en lista över vilka myror som bär på maten. Den myra som står först i listan är ledaren som bestämmer hur myrorna ska gå med maten, och resten följer med. Det fungerar alltså som så att den första myran bestämmer vart den ska gå på det vanliga sättet, och resten av myrorna som hjälper till märker att maten de bär på har förflyttat sig en ruta, och de följer därmed efter för att fortsätta hjälpa till. Tyngden som varje myra bär på då det ska räknas ut hur snabbt den kan gå, är matens tyngd som delas med ett värde som beror på hur många som hjälper till. Detta värde är alltid mer än antalet myror som hjälper till för att effektiviteten per myra ska öka ju fler som samarbetar. Hur mycket effektivare grupper är än ensamma myror varierar kraftigt mellan arter och mätningar [1, 7, 11], men jag har använt mig av en lista där tyngden per myra divideras med 3 om två hjälps åt och med 5 om tre hjälps åt. I min simulering behövs inte fler värden då det inte finns så stora matbitar. Maxvärdet för matobjekten är fortfarande 12, och en myra kan bära objekt av storlek 8 själv, men vill gärna ha hjälp redan då storleken överskrider 4.

Då myror som hjälps åt gärna ska gå åt samma håll, är det den myran som först plockade upp maten som bestämmer riktningen, och de andra följer med och hjälper till. Ungefär så här fungerar samarbete hos bland andra vandringsmyran *Eciton burchelli* [7], men inte hos alla myrarter. Anledningen att jag valt denna lösning är inte biologisk, utan ett resultat av att det var väldigt svårt att implementera på något annat sätt. Normalt har de lag av myror som hjälps åt att bära tunga byten ingen ledare, utan myrorna sliter

och drar åt olika håll tills de börjar röra sig någonstans, och det stimulerar i sin tur myrorna att börja dra åt det hållet [1]. Att lägga in detta beteende i min modell skulle ha krävt att myrorna höll reda på olika krafter, samt att de skulle behöva komma ihåg information om lite olika riktningar de rört sig i. Detta ansåg jag gick emot min generella idé om hur enkla regler de enskilda myrorna skulle bete sig efter, och därför löste jag det på det här sättet.

Ett annat tillägg är att en myra kan avgöra om en annan myra vill ha hjälp med att bära det hon bär på, förutsatt att de båda står på samma ruta. Tekniskt går det till så att den första myran "frågar" om den andra myran behöver hjälp, och får en siffra tillbaks vars storlek indikerar hur mycket hjälp den behöver. Siffran fås enkelt av formeln $M - K$, där M = hur mycket mat myran bär på, och K = hur mycket mat en myra kan bära på utan att vilja ha hjälp. Detta värde har jag sedan lagt till bland sakerna en myra undersöker i varje närliggande ruta, och därför har jag också lagt till en vikt för detta i vektorn med vikter.

Jag har också varit tvungen att införa ett par statiska regler till, dessa framgår av den schematiska beskrivningen nedan.

Myran håller numera även reda på hur länge den burit på något. Detta är för att kunna upptäcka att den inte kommer någon vart med sitt byte. Då tiden överstiger ett visst tröskelvärde släpper myran maten, och använder sig av den alternativa vektorn för att ta sig hem, samtidigt som den lägger ut feromoner för att locka dit fler myror. Siffran som visar hur länge myran burit på något nollställs inte förrän hon är tillbaka i stacken, eller då hon plockar upp något nytt. På så sätt vet hon att hon ska lägga ut ett feromonspår även om hon inte bär på något, och det är alltså en lösning på hur en myra kommer ihåg att hon vill locka dit andra myror på så sätt som beskrivs i kapitel 2.2. Jag har begränsat mig till långdistansrekrytering i min simulering då kortdistansrekrytering inte verkar lika vanligt bland olika myrarter [11].

3.2.1 Utökad schematisk beskrivning

Här följer en utökad schematisk beskrivning av hur varje myra fungerar. Saker som tillkommit då samarbetsförmågan lagts till är markerade med fetstil, i övrigt är det samma modell som ovan i kapitel 3.1.2.

1. Statiska regler tillämpas:

- Om myran står på en ruta där det finns mat plockas maten upp.
- Om myran bär på mat **eller har burit något för länge**, och det inte redan ligger för mycket feromon i rutan där den står, läggs ett feromonspår.
- Om myran bär på mat, och den är i stacken, så släpper den maten.
- **Om myran har burit på något för länge, och ingen hjälper den, släpp det. Eftersom att myran har burit något för länge, kommer den att lägga feromonspår på vägen tillbaka. Detta är alltså långdistansrekryteringen.**
- **Om myran inte bär på något och en annan myra på samma ruta behöver hjälp, hjälp denna myra.**

2. Avgör vilken angränsande ruta som är bäst att gå till:

Var och en av de åtta angränsande rutorna tilldelas ett värde som ges av följande formel.

$$A * v_0 + B * v_1 + C * v_2 + D * v_3 + E * v_4$$

Där

A = Mängden mat i rutan.

B = Mängden feromon i rutan.

C = Skillnaden mellan rutans avstånd till stacken och myrans aktuella avstånd till stacken. Ett positivt värde betyder att rutan leder bort från stacken, och ett negativt värde betyder att den leder mot stacken.

D = Slumpvärde mellan 0 och 1.

E = Värdet på om en myra behöver hjälp i den rutan.

V är precis som i kapitel 3.1.2 beteendevektorn som innehåller vikter, och det är dessa man ändrar på för att uppnå olika beteenden. Det finns två uppsättningar av v, den alternativa används då myran ska vara på väg hemåt, det vill säga då den bär på mat. Den stora skillnaden ligger i att den alternativa vektorn har ett negativt värde på vikten för avstånd, och på så sätt söker sig myran mot stacken istället för från den.

3. Samarbeta:

Om myran hjälper en annan myra, och ledarmyran har förflyttat sig, följ efter. Detta ersätter vad som valts enligt metoden ovan då myran ska föredra att fortsätta hjälpas åt framför att gå därifrån. Anledningen till att den här punkten inte kom in efter nästa punkt är att programmet måste veta vart myran ska gå innan det kan börja räkna ut hur mycket myran ska saktas ner.

4. Sakta ner:

Beroende på hur mycket myran bär på saktas den ner, och det bestäms här. Detta fungerar helt enkelt att om myran bär på en matbit med tyngd 2, kan den bara förflytta sig varannan runda, om den bär på en matbit med tyngd 3, var tredje runda och så vidare. **Är det mer än en myra som bär på matbiten divideras dess tyngd med ett värde baserat på hur många som hjälps åt.**

3.3 Antaganden och förenklingar

I en sådan här modell av ett komplext fenomen taget från verkligheten är det ofrånkomligt att göra en hel del förenklingar. Till att börja med är världen i modellen diskret och inte kontinuerlig, vilket får många olika biverkningar. Jag har valt att representera världen i ett rutnät av vanliga kvadratiska rutor, vilket medför komplikationer med diagonaler. Om en myra rör sig diagonalt kommer den ju rent geografiskt längre bort än om den rör sig rakt, men båda alternativen kan göras på en runda, då det inte finns halva rundor. Detta hade kunnat åtgärdas med en värld bestående av sexkantiga enheter, men det hade å andra sidan varit väldigt mycket mer komplicerat vid visualiseringen av implementationen, och därför har jag ignorerat det. Efter vad jag observerat har detta inte någon större effekt på myrornas prestation.

En annan sak är att myrorna vet riktningen hemåt. Detta verkar vanliga myror helt enkelt veta, och det finns olika teorier om varför [2, 11], men det är inget som är av intresse för min modell och därför har jag utelämnat det.

En tredje förenkling jag gjort är att jag har ignorerat populationstekniska aspekter. I min modell finns inget utrymme för myror att dö och födas, och således inte heller för myrkolonin att bli mer reproduktiv ju mera mat den får. Jag har experimenterat med

matinsamlingen, och lämnat populationsexperiment som en möjlig utökning, om man vill göra modellen till en mer generell simulering snarare än en miljö för specifika experiment.

En väldigt övergripande förenkling jag gjort är att jag inte utgått från någon speciell myra, utan snarare konstruerat en generell agent inspirerad av hur myror i allmänhet fungerar. Därför har jag inte använt mig av egenskaper som bara observerats hos någon speciell sorts myra, utan försökt skapa en sorts "medelmyra".

På en ruta kan hur många myror som helst vara samtidigt. Detta är en förenkling som mest är av tekniska skäl: när världen är så här pass diskretiserad kan man behöva införa sådana här saker för att undvika trafikstockningar. Det finns stöd i programmet för införandet av en gräns för hur många myror som kan vara på samma ruta, men försök med detta har resulterat i onaturligt stora trafikstockningar, som inte har förmåga att självupplösas. De yttersta myrorna vill bara inåt och de innersta vill bara utåt, helt utan kompromisser.

4 Resultat

Det finns många variabler och konstanter i min implementering som man kan experimentera med, och alla påverkar hur simuleringen ser ut i slutändan. Utöver de två vektorerna som styr myrornas beteende finns det saker som i allra högsta grad påverkar effektiviteten. Ett exempel är feromonerna. Man kan ställa in hur snabbt de evaporerar, hur mycket en myra lägger vid varje tillfälle samt hur mycket feromon som kan ligga på en plats (olika myror har nämligen visat sig vara ganska selektiva med hur mycket feromon de lägger kontra hur mycket hjälp de behöver [11]). Ett annat exempel är att man kan ställa in hur maten är fördelad i världen. Få och stora byten ger ett helt annat matletarbeteende än många och små byten, som jag beskrev i kapitel 1.2. Slutligen kan man också ändra på en del av myrornas statistiska beteenden, det vill säga beteenden som inte styrs av beteendevektorerna. Exempel på detta är hur lång tid en myra går omkring utan att se något av intresse innan hon vänder hem igen, hur lång tid myran försöker rubba ett byte innan hon ger upp och kallar på hjälp, samt hur mycket mat en myra kan bära utan att vilja ha hjälp.

4.1 Beteendevektorn

Två saker bör påpekas angående beteendevektorn för att förtydliga följande kapitel. Den första är att de olika vikterna i vektorn inte har samma betydelse. Två lika stora vikter för till exempel mat och feromoner i vektorn gör inte nödvändigtvis att myran värderar dessa lika högt, då maxvärdet för mat på en ruta i världen skiljer sig från maxvärdet för feromoner (se kapitel 3.1.1 och 3.1.4).

Den andra saken är att det är värdena i förhållande till varandra som spelar någon roll, inte deras storlek i sig. Detta då myran väljer vilket håll hon ska gå åt genom att jämföra dessa värden med varandra, och inte med något annat.

4.2 Egna tester

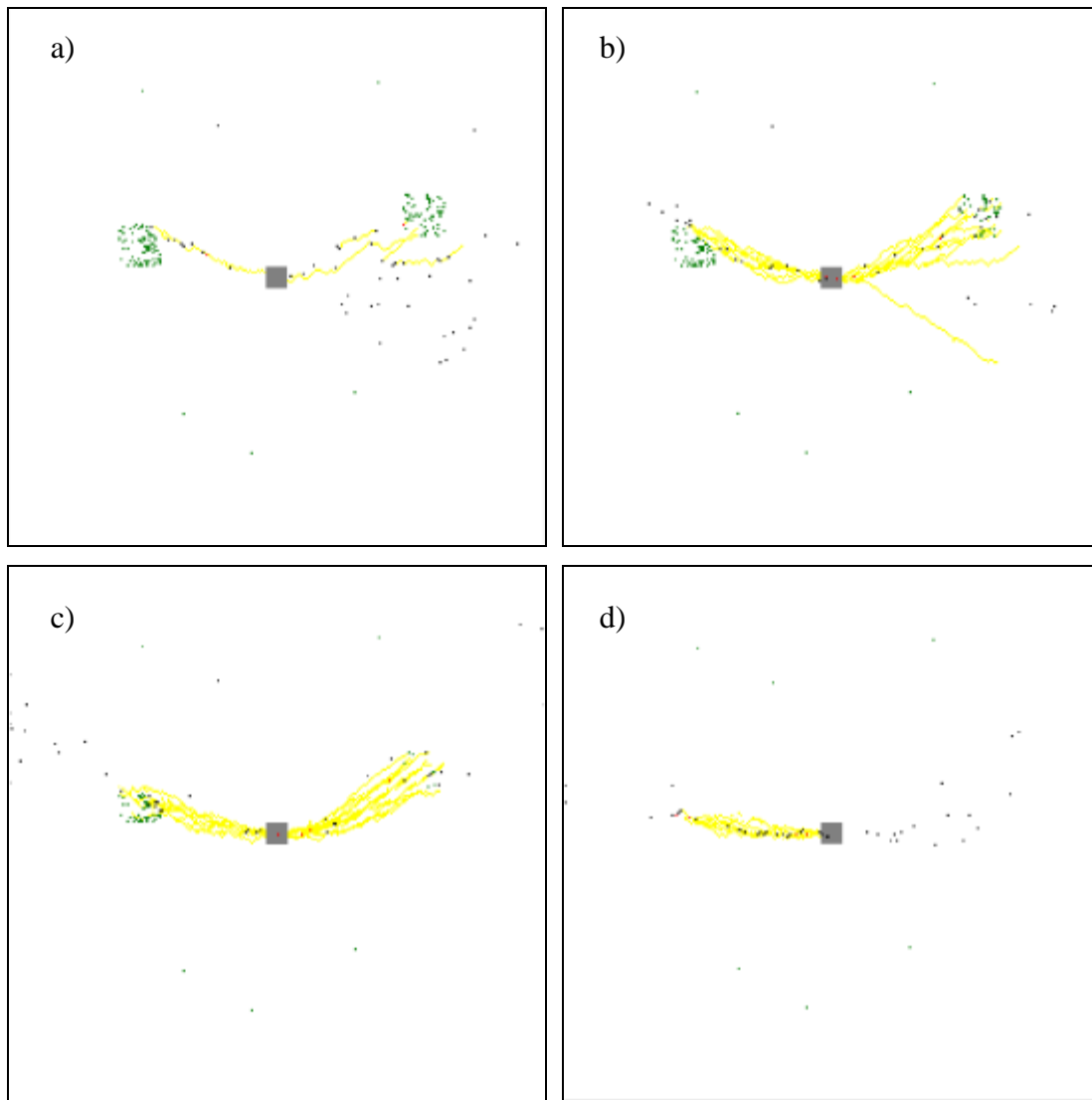
För att uppnå ett effektivt och någorlunda naturligt beteende hos de simulerade myrorna krävs att man hanterar vikterna i beteendevektorn rätt. Jag har under mitt arbete kommit fram till bra värden genom upprepade experiment och gissningar. Jag tänker inte redovisa någon statistik på effektiviteten här, men jag ska ändå ta upp vilka värden som gett mig bra resultat: Om en ruta innehåller mat ska myran gå dit och därefter plocka upp det, och därför måste vikten för mat vara väldigt hög. Den ska helst inte kunna bli åsidosatt av en annan vikt. Om en myra ser mat i en ruta bör hon gå dit, oavsett vad som finns i övriga angränsande rutor, möjligtvis med undantag för viljan att samarbeta. Vikten för feromonspår måste också vara ganska hög, men inte för hög, för då fastnar myrorna i spåren helt och kommer inte utanför. Att söka sig bort från stacken är viktigt, men den vikten kan ändå vara väldigt låg. Myran går ändå bortåt, men utan risk att det här beteendet förstör spårföljandet. Slutligen är vikten för slump väldigt hög. Slumpvärdet garanterar att myrorna hittar mat vid sidan om huvudspåren och att de hittar nya matkällor. Experiment med simuleringar utan slump har varit katastrofalt dåliga då myrorna bara går i gamla spår och aldrig hittar utanför dem. Dessutom har slumpvärdet en stor betydelse för den biologiska validiteten i min modell. Det kompenserar lite för många av de förenklingar som måste göras. Framförallt gäller detta förenklingen att jag bortser från alla faktorer i naturen som inverkar på myrnas beteende, till exempel ojämnheter i marken, väder, vegetation och individuella avvikelser bland myrorna.

Vikterna i beteendevektorn som jag använt under utvecklingen av simuleringen visas i tabell 1.

Fält	Värde
Mat	30
Feromonspår	7
Avstånd till stacken	5
Slumpvärde	15
Vilja att hjälpa andra	30

Tabell 1.

Resultatet av detta är att myrorna arbetar väldigt effektivt. De börjar med att röra sig rakt utåt från stacken, och de som hittar mat återvänder med den och lämnar ett feromonspår efter sig. Då de som inte hittat något till slut återvänder följer de något av de feromonspåren som förhoppningsvis finns, annars fortsätter de leta. Oftast bildas ganska snart en stort spår från stacken till den närmsta matkällan, samt ett lite mindre spår till en matkälla åt något annat håll. Beteendet att upprätthålla flera olika spår mot olika matkällor har observerats hos olika riktiga myror [14]. Figur 2 visar hur förloppet ser ut i en simulering.



Figur 2. Händelseförloppet i en simulering. a) Myrorna har gått utåt från stacken på ett slumpmässigt sätt, och några har stött på mat som de sedan burit hem och lämnat spår efter sig. b) De flesta myror som inte hittade något har följt de spår som finns, och bara några få är kvar och letar utanför feromonspåren. c) En av matkällorna har nästan tagit slut, men spåret dit finns fortfarande kvar så många myror söker sig fortfarande dit. d) Det ena spåret har helt evaporerat, och de flesta koncentrerar sig på det kvarvarande spåret.

4.3 Genetisk algoritm

Då jag ville få fram vikter till beteendevektorn att jämföra med mina egna intuitiva har jag implementerat en genetisk. En individ i algoritmen är en simulerad myrstack, och inte en simulerad myra som man skulle kunna tro. Inom en myrstack sker ingen genetisk utveckling, det är bara drottningen som lägger ägg [11]. Det råder alltså en uppoffrande altruism inom myrstacken. Den genetiska utvecklingen sker då nya drottningar lämnar stacken för att bilda nya samhällen. Därför är det relevant att här

betrakta en myrstack som en genetisk individ. Fitnessvärdet i algoritmen är mängden mat ett myrsamhälle samlat in under en viss tid.

För att den genetiska algoritmen ska göra någon som helst nytta har jag varit tvungen att göra något åt alla slumpvärden i simuleringen. Att en genetisk algoritm ska ge resultat inom rimlig tid bygger nämligen till stor del på att en uppsättning värden får samma resultat om man testat det två gånger, det vill säga en deterministisk funktion. Om funktionen inte är deterministisk krävs betydligt större sökrymd och antal generationer, något som blir opraktiskt i en funktion som denna. Det skulle uppskattningsvis ta ett par veckors beräkningstid på en snabb dator för att få fram ett bra resultat. För att lösa detta har jag använt mig av en funktion som ger slumpvärden, men samma serie av slumpvärden varje gång. På så sätt får programmet slumpartade värden, men samma vid varje körning.

Det finns många variabler i simuleringen som man hade kunnat inkludera i den genetiska algoritmen, men jag har valt att endast utveckla beteendevektorn på det här sättet. Värdena i beteendevektorn har tillåtits vara mellan -10 och 30.

Resultaten från den genetiska algoritmen har varit varierande, och då jag inte kunnat använda mig av tillräckligt stora populationer har de inte heller någon avgörande betydelse, men det har ändå varit intressant att se vad som händer, och vissa tendenser kan vara värda att observera. I tabell 2 redovisas resultaten från fem olika körningar av algoritmen, med en population på 40 individer. Algoritmerna har tillåtits stanna då 100 generationer i följd har haft samma bästa resultat. Utvärderingen av en generation i den genetiska algoritmen tar ungefär 30 minuter.

Fält	Körning 1	Körning 2	Körning 3	Körning 4	Körning 5
Mat	7.4	30.0	12.5	12.2	23.1
Feromonspår	10.2	9.6	12.6	8.1	14.4
Avstånd till stacken	11.4	9.3	10.3	6.8	12.7
Slumpvärde	23.4	19.7	27.4	18.3	26.8
Vilja att hjälpa andra	6.9	22.9	24.2	6.4	19.6

Tabell 2.

Innan jag resonerar kring resultaten skulle jag vilja ta upp problemet med en genetisk algoritm i det här fallet. Min simulering kan, förutsatt att slumpvärdena är förutbestämda, betraktas som en deterministisk funktion, men en oerhört komplex sådan. Därför hade det egentligen varit önskvärt med en mycket större population än den i min implementering, men det hade tagit väldigt lång tid att köra. Som jag tidigare uppskattade skulle det röra sig om veckor eller månader på en modern dator. Dessutom skulle resultaten vara av större värde om jag hade kunnat testa algoritmen med flera olika serier av slumpstal, men även detta skulle ta för mycket tid i anspråk. Dock har mina körningar gett vissa intressanta resultat.

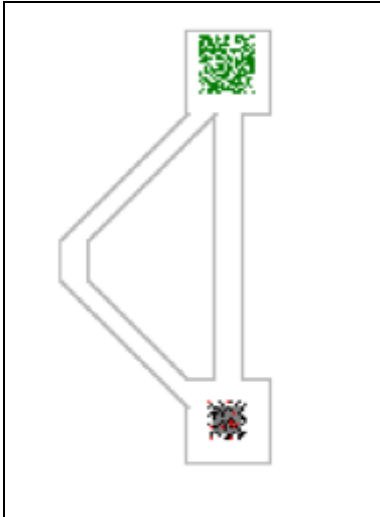
Som synes skiljer sig resultaten i mina körningar av den genetiska algoritmen åt markant, men det finns ändå ett par intressanta observationer här. Notera hur värdena för att följa feromonspår och att söka sig bort från stacken alltid håller sig i närheten av varandra, samt hur värdet för slump förhåller sig ungefär likadant till de två nämnda värdena i alla körningarna. Värdena för att reagera på mat och att reagera på att andra myror behöver hjälp skiljer sig dock åt, både i förhållande till varandra och i förhållande till de övriga värdena.

Tolkningen av resultaten är att det övergripande beteendet är ganska lika för de olika uppsättningarna med gener, förhållandena mellan generna som styr matletarbeteendet är förhållandevis lika mellan körningarna, men när det gäller att bära hem mat har de olika samhällena utvecklat olika beteenden. Vissa har utvecklat ett beteende som i högre grad än de andras går ut på att koncentrera sig på stora byten och att hjälpa varandra hem med dem, och att ignorera mindre byten. Värt att notera är även faktumet att slumpvärdet alltid är högt i förhållande till myrornas beteende för att leta efter mat, vilket innebär att det inte bara är en kompensation för förenklingar i simuleringen, utan även något som ger effektivitet i matletandet.

Det ska också nämnas att resultaten från den genetiska algoritmen presterade ungefär femtio procent bättre än en simulering med mina intuitiva värden.

4.4 Experiment

För att slutgiltigt testa min modell genomförde jag ett experiment. Jag lät myrstacken och en matkälla vara separerade från varandra, med två olika långa gångar som sammankopplade dem. Figur 3 visar hur experimentet är upplagt.

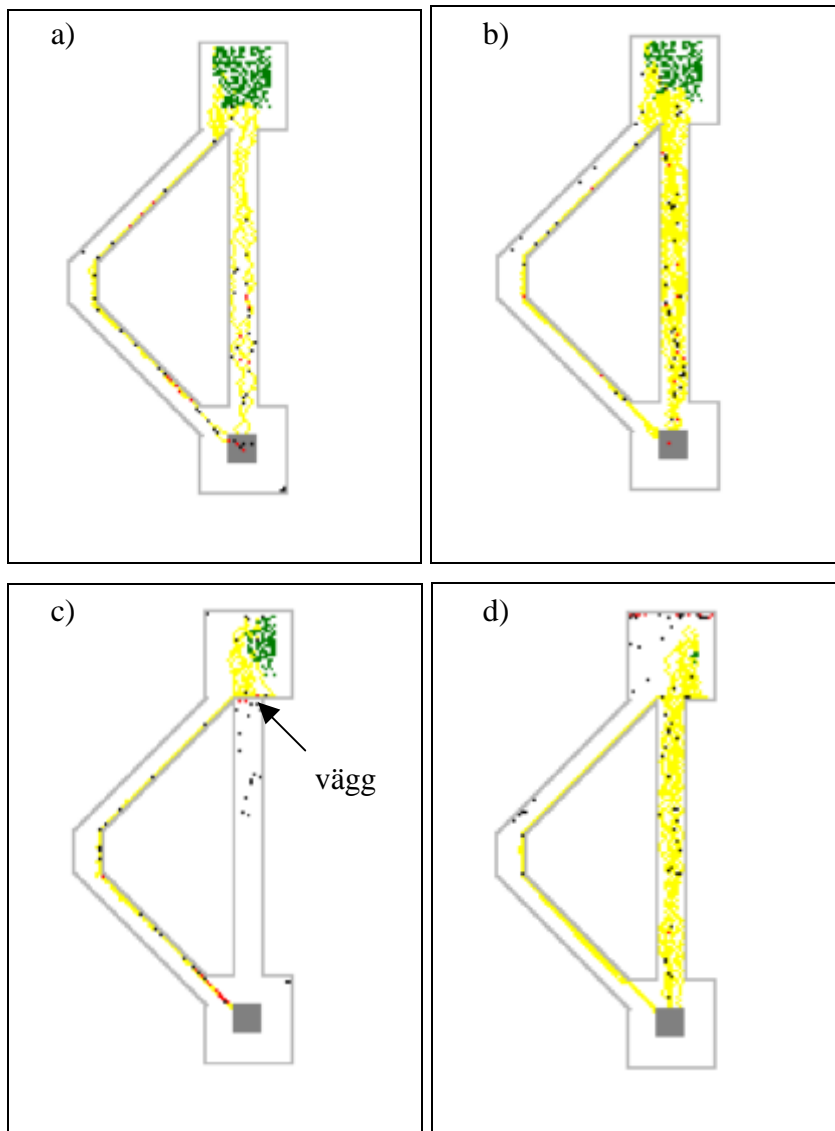


Figur 3. Myrorna och stacken är i den nedre rutan, och maten är i den övre.

Därefter observerade jag vad myrorna gjorde. Till en början var fördelningen av myror på de två olika gångarna jämn, men efter ett tag blev det uppenbart att de flesta valde den kortare gången. Detta fenomen uppstår på grund av att då det går snabbare för de myror som väljer den kortare vägen, och därför blir också koncentrationen av feromoner större där. Dock fanns det hela tiden några stycken som valde den längre.

Efter ett tag lades en vägg in i den kortare gången så att myrorna inte längre kom fram den vägen. Många myror fortsatte ändå försöka gå där eftersom att feromonspåret fortfarande var starkt där. När feromonerna som låg kvar på den korta vägen slutligen evaporerat rörde sig hela flocken gemensamt längs den långa gången, då där fanns ett litet spår att följa.

Efter ytterligare ett tag togs väggen bort, och genast valde de flesta att gå den korta vägen tillbaka med maten, och på så sätt bildades ett nytt starkt feromonspår där. Hela förloppet visas i figur 4.



Figur 4. a) Simuleringen har precis startats, och myrorna är jämnt fördelade på de två vägarna. b) Myrorna har börjat föredra den rakaste vägen. c) En vägg har blockerat den rakaste vägen, och feromonerna där har precis evaporerat. Myrorna börjar istället gå den långa vägen. d) Väggen har försvunnit, och myrorna föredrar återigen den rakaste vägen.

Experiment liknande det här har gjorts på riktiga myror med blandade resultat [1]. Vissa myrarters feromoner har alldeles för långsam evaporeringshastighet för att de ska kunna anpassa sig på sådana snabba förändringar. De fångas helt enkelt i en dålig lösning om det är den de får testa först. Andra myrarter upptäcker snabbt när det finns en bättre väg. Min modell klarar av att simulera båda beteendena. Om man ställer in feromonerna på att evaporera väldigt långsamt fastnar många myror i den raka gången trots att den är blockerad.

4.5 Slutsatser

Jag har med mitt arbete lyckats visa att det går att uppnå ett effektivt kollektivt beteende hos autonoma agenter med begränsad tillgång till information, inspirerat av hur myror beter sig i naturen. Vad detta skulle kunna säga om myror lämnar jag åt biologerna, men det visar att man kan utforma autonoma mjukvaruagenter som med väldigt begränsad information, och utan förmåga att resonera, kan utföra komplicerade uppgifter.

Dessutom har jag visat att man utan större modifikationer i den här modellen kan få agenterna att samarbeta med varandra.

Körningarna med den genetiska algoritmen visar också att samarbetet i min modell har viss betydelse, och utvecklingen av olika preferenser hos myrorna vad gäller val av mat ger modellen viss trovärdighet. Den genetiska algoritmen har också visat sig överträffa de intuitiva inställningar jag använt genom utvecklingen med god marginal.

5 Diskussion

5.1 Resultatens värde

Min simulering av ett myrsamhälle undersöker inte något specifikt beteende som observerats hos riktiga myror, och den använder inte heller myrkopplingen för att lösa något datalogiskt problem. Däremot är den ett intressant experiment inom den gren av artificiell intelligens som undersöker hur de små och till synes obetydliga beräkningarna i en större mängd kan ge upphov till ett mer övergripande intressant beteende.

Douglas R. Hofstadter är en av de som propagerar för att forskning inom artificiell intelligens bör börja från botten istället för från toppen. Med detta menar han att man bör koncentrera sig på de enkla underliggande strukturerna som med sitt enkla beteende tillsammans ger upphov till en annan nivå av beteende. Detta i kontrast till mycket forskning inom artificiell intelligens som istället försöker efterlikna beteenden, utan att se på vad som orsakar dessa på en lägre nivå. Hofstadter föreslår alltså att man istället för att programmera in ett beteende direkt, bör man programmera in den underliggande nivån, som i sin tur orsakar beteendet man vill åt. [5, 10, 12]

Ett exempel är just myrstacken, som består av ett stort antal enskilda och enkla enheter. Ingen av myrorna är medveten om att det ska hämtas mat för att larverna ska kunna äta, eller att det behövs löv för att kunna odla svamp (se kapitel 1.1), utan detta är ett resultat av att varje myra betar sig enligt ett antal enkla regler och instinkter. Det finns ingen övergripande intelligens som har kontroll över vad som händer i myrstacken, utan det vi kallar kollektiv intelligens framträder här ur myrornas sammanlagda beteende.

Min modell har sin stora fördel i att den använder ett minimum av information. Myrorna är nästan helt blinda, helt reaktiva, och de har nästan ingen kunskap utöver det de kan uppfatta precis runt omkring sig. Det finns inget program som styr hela processen, utan myrorna är helt autonoma. Ändå uppnår samhället som helhet vad man skulle kunna kalla ett kollektivt medvetande. Myrorna i sig vet ingenting, men man kan säga att kolonin som helhet känner till var maten är, genom att det finns spår som leder dit.

Min modell kan tjäna som plattform för olika experiment på datorsimulerade myror, eller som inspirationskälla om man vill använda datorsimulerade myror för att lösa problem.

5.2 Förenklingars betydelse och biologisk validitet

I en modell av en sådan här stor och komplex del av verkligheten är det nödvändigt att göra förenklingar. Dels är det omöjligt att få med alla faktorer som vi känner till i naturen, och dels får vi ändå inte med de vi inte känner till.

Det är viktigt att göra modellen minimalistisk. Då man aldrig kan få med samtliga inverkanse faktorer bör man istället försöka begränsa sig. Alla kringliggande faktorer i naturen har större eller mindre betydelse, och det är omöjligt att få med dem. Istället bör man koncentrera sig på de saker som har mest betydelse för vad man vill uppnå med simuleringen, och kanske lägga in en viss kompensation av något slag för det man filterat bort.

I min simulering har jag medvetet bortsett från många faktorer, och de nämner jag i kapitel 3.3. Dessa har jag till stor del kompenserat för genom att använda mig av många

slumpvärden. Dessa har visat sig inte bara vara ett störande moment för myrorna, utan tvärtom. Det var väntat från början att en liten slumpfaktor är nödvändig för att myrorna ska kunna hitta nya saker utanför sina spår, men resultaten från körningarna av den genetiska algoritmen visar att det är nödvändigt med en hög slumpfaktor för att överhuvudtaget uppnå bra resultat.

5.3 Utökningar

Om man skulle fortsätta bygga på min modell i framtiden finns det ett antal utökningar som skulle kunna vara intressanta att genomföra:

- Anpassa simuleringen så att den efterliknar en specifik myrart.
- Noggrannare undersöka hur detaljer i miljön bör vara konfigurerade för att likna verkligheten, till exempel matens storlek och fördelning, feromoners evaporeringshastighet samt hur mycket feromon myrorna verkligen lägger efter sig.
- Utöka modellen till att omfatta populationstekniska aspekter, till exempel matförbrukning, nativitet och mortalitet.
- Undersöka hur modellen kan anpassas för att kunna hantera fallet då flera rivaliserande eller samarbetande myrsamhällen möts.
- Experimentera med en dynamisk beteendevektor som ändras beroende på faktorer som hur mycket mat som behövs, hur långt bort från stacken myran är och så vidare.
- Fler objekt, till exempel byggnadsmaterial till stacken.

6. Referenser

- [1] Bonabeau E., Dorigo M., Theraulaz G., *Swarm Intelligence, From Natural to Artificial Systems*, Oxford University Press, 1999
- [2] Bourcier P., *Using A-Life to Study Bee Life: The Economics of Central Place Foraging*, From animals to animats 4, Proceedings of the fourth international conference on simulation of adaptive behavior, Massachusetts Institute of Technology, 1996
- [3] Couzin I. D., Franks N. R., *Self-organized lane formation and optimized traffic flow in army ants*, Proceedings of the Royal Society Biological Sciences Series B, Vol. 270, Nr. 1511, s. 139-146, 2003
- [4] Deneubourg J. L., Goss S., Franks N. R., Pasteels J. M., *The blind leading the blind: Modeling chemically mediated army ant raid patterns*, Journal of Insect Behavior, Vol. 2, Nr. 5, 1989
- [5] Forrest S., *Emergent computation: Self-organizing, collective, and cooperative phenomena in natural and artificial computing networks*, Physica D, Vol. 42, s. 1-11, 1990
- [6] Franks N. R., *Army Ants: A Collective Intelligence*, American Scientist, Vol. 77, s. 138-145, 1989
- [7] Franks N. R., *Teams in social insects: group retrieval of prey by army ants*, Behavioral Ecology & Sociobiology, Vol. 18, s. 425-429, 1986
- [8] Franks N. R., Gomez N., Goss S., Deneubourg J. L., *The blind leading the blind in army ant raid patterns: Testing a model of self-organization (Hymenoptera: Formicidae)*, Journal of Insect Behavior, Vol. 4, Nr. 5, 1991

- [9] Franks N. R., Sendova-Franks A. B., Anderson C., *Division of labour within teams of New World and Old World army ants*, *Animal Behaviour*, Vol. 62, Nr. 4, s. 635-642, 2001
- [10] Hofstadter D. R., *Artificial intelligence: Subcognition as computation*, Technical Report 132, Indiana University Computer Science Dept, 1982
- [11] Hölldobler B., Wilson E. O., *The Ants*, Harvard University Press, 1990
- [12] Pallbo R., *Myror I huvudet – Om kollektiv intelligens*, 1999
- [13] Shouse Ben, *Getting the Behaviour of Social Insects to Compute*, *Science*, Vol. 295, 2002
- [14] Stickland T. R., Britton N. F., Franks N. R., *Complex trails and simple algorithms in ant foraging*, *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences Series B*, Vol. 260, Nr. 1357, s. 53-58, 1995
- [15] Wilson E. O., *The Sociogenesis of Insect Colonies*, *Science*, Vol. 288, Nr. 4707, s. 1489-1495, 1985