

Användning av robotsvärmare som verktyg inom räddningstjänsten

Rasmus Ek

Åbo Akademi

Fakulteten för Naturvetenskaper och Teknik, Datavetenskap

Handledare: Luigia Petre

01.04.2015

Referat

Svärmrobotik är ett relativt nytt koncept för ko-ordination och samarbete i stora grupper av relativt enkla robotar. Denna avhandling diskuterar möjligheten att använda dylika system för räddningsarbeten, och eventuella andra framtida användningsområden. Avhandlingen tar även upp användningen av robotik i allmänhet i räddningsarbeten, och hur användningen av robotsvärmar istället för traditionell robotik löser vissa problem som traditionell robotik har i sådana arbeten. Även svärmrobotikens grundprinciper tas upp, samt eventuella framtida användningsområden för robotsvärmar, och hur de principer som kunde användas inom svärmrobotik för räddningstjänsten även kan ha positiva effekter på dessa andra användningsområden.

Sökord: svärm, robot, räddning, sökning

Innehållsförteckning

1. Användning av robotik inom räddningstjänsten
 - 1.1 Allmänna principer
 - 1.2 Problem
2. Svärmrobotik
 - 2.1 Svärmintelligens
 - 2.2 Allmänna principer
 - 2.3 Tillämpningsmöjligheter
3. Svärmrobotar som räddningsverktyg
 - 3.1 Varför svärmar?
 - 3.2 Problemlösning
4. Svärmrobotikens framtid
5. Slutsats
6. Litteraturförteckning

1. Användning av robotik inom räddningstjänsten

1.1 Allmänna principer

När en katastrof såsom en jordbävning, översvämning eller explosion sker så är det arbete som räddningstjänster utför, dvs. sökning och räddning av överlevande, en mycket farlig och komplicerad uppgift. Även om verktyg för flyttning av material finns att använda, så krävs väldigt mycket tid att leta igenom området och gräva fram alla överlevande, särskilt då man bör arbeta på ett sådant sätt att man inte orsaka mera skador.

Räddningspersonalen bör vara mycket försiktig, så inte instängda människor krossas vid utgrävningar eller liknande sökningsarbete. Även räddningsarbetarna själva kan komma till skada om stenras eller liknande orsakas. Om katastrofen i fråga sker vid ett industri- eller militärområde, finns det även explosionsrisker som bör iakttas, så att inte räddningspersonalen själva kommer till skada. Exempelvis så bör inte utrustning som blir varm eller orsakar gnistor användas om det finns risker för gas- eller kemikalieleckor, så att man inte i misstag orsakar bränder som ytterligare förstör både egendom och människoliv.

Ordet robot har sin grund i det tjeckiska ordet *robota*, vilket betyder arbetskraft. [1] Enda sedan ordet först användes i ett skådespel, *RUR*, år 1920, så har det antytt på artificiella arbetare som utför uppgifter som är svåra eller farliga för människor. Man kan således enkelt se att robotar vore en enorm hjälp för räddningstjänstens arbeten. I sådana miljöer där en människa skulle ha svårt att ta sig fram, så kan en robot tillverkas sådant att den är mycket liten, och kan ta sig fram i nästan vilken miljö som helst med larvband eller till och med propellrar. När en människa skulle ha problem att hitta överlevande efter en byggnadskollaps, så kan en robot tillverkas med värmekameror och känsliga mikrofoner för att hitta de minsta spår av levande människor.

I dagens läge är det ännu inte helt möjligt att tillverka robotar som är tillräckligt avancerade för att autonomt utforska ett område och söka efter spår av människor, men fjärrstyrda robotar är mycket vanliga. Fjärrstyrningsteknologi används till och med i leksaker, användande av liknande teknologier med större bandbredd för mera information och större

signalstyrka för längre räckvidd kan enkelt användas för robotar. Så tidigt som 2006 undersöktes detta koncept, och man upptäckte tidigt att robotar för räddningsuppgifter bör vara mycket flexibla. [2] Antalet möjliga terrängar i katastrofmiljöer är väldigt många, likaså är de uppgifter som en robot eller grupp robotar kan behöva utföra i en dylik miljö. Ett sätt att överkomma detta är med modulära robotenheter, så att varje robot kan ges lämplig mobilitet och lämpliga verktyg för de uppgifter som den förväntas klara av. Man kan även på ett liknande sätt ha en robot bestående enbart av mindre moduler, som kan länkas ihop till olika stora slutgiltiga robotar beroende på hur terrängen i katastrofområdet. Ibland kan en stor robot som klarar av att flytta på stora hinder vara att föredra, och ibland kan en liten robot som kan hitta springor och andra sätt att ta sig igenom eller förbi hinder vara mycket mera användbar.

Om man istället för fjärrstyrda använder autonoma robotar, så tillkommer en del hinder som bör planeras för, då roboten bör på egen hand förstå den data som dess sensorer ger den för att antingen hitta och rädda överlevande på egen hand, eller hitta dem och ge informationen vidare till människor för vidare analys och räddning. Detta innebär att roboten i fråga behöver mycket mera invecklad struktur, för att ha plats för processorer och sensorer som möjliggör automatisk operation på detta vis.

1.2 Problem

Orsakerna till varför robotar inte vanligen används vid katastrofer i annat än specialfall, är till största delen kostnadsrelaterade. Kostnaderna för att utveckla ett robotsystem som är tillräckligt avancerat och flexibelt för att kunna användas i de olika situationer som räddningsarbete kan tänkas behöva utföras i, är fortfarande alltför hög för att resurser ej istället helt enkelt allokeras till utbildning och mera traditionell utrustning åt mänsklig räddningspersonal.

Även reparationskostnader kan bli mycket stora, särskilt om robotsystemet är väldigt avancerat, så som autonoma robotar bör vara för att kunna utföra sin uppgift. Även om förlusten av en robot eller en del av en robot är att föredra framför förlusten av människoliv, så kan

kostnaderna för reparationer vara mycket stor. Reparationsarbetet kan även vara mycket komplicerat, och således kräva ännu mera tid.

Med traditionella robotar tillkommer även flera andra problem. Om roboten i fråga är modulär, vilket vore den bästa lösningen eftersom så många olika förmågor krävs, så behövs tid och utrymme för att utrusta roboten före den kan användas i fältet. Eftersom räddningsarbeten är väldigt tidskänsliga, dvs. de bör utföras så snabbt som det är möjligt att hålla arbetet säkert både för de överlevande och de människor som utför arbetet, kan denna utrustningsperiod vara ett stort förhinder. Under den tid som det tar för teknisk utbildad personal att kontrollera robotens mekaniska skick och utrusta den för en uppgift, kan flera överlevande redan ha omkommit. Ifall roboten som används även är av modulär typ, och således inte har alla sina funktioner hela tiden, utan utrustas för sin uppgift, kan även extra tid gå åt för tillägg av funktioner som inte förväntades vara nödvändiga, och ännu flera överlevande kan omkomma.

Slutligen kan man alltså inse, att även om robotar vore ett mycket användbart hjälpmedel för de uppgifter som räddningsarbetare utför vid en katastrof, så är konceptet inte helt problemfritt. Vissa bekymmer bör ännu lösas förrän robotar kan användas felfritt inom räddningstjänsten, framför allt problemen med att ta i bruk systemet så snabbt som möjligt efter en katastrof, och de problem som kommer med ett robotsystems elektroniska natur: reparation, installation och underhåll.

2. Svärmrobotik

2.1 Svärmintelligens

Svärmrobotiken har sin grund i begreppet *svärmintelligens*, som beskriver en kollektiv intelligens i en grupp autonoma agenter med låg intelligensnivå. Agenterna påverkar varandra eller deras lokala miljö och använder decentraliserade principer för att fatta beslut. Med termen *svärmrobotik* menas tillämpningen av svärmintelligens på multirobotsystem, vars mål är att skapa flexibla robotsvärmar för olika uppgifter. [8]

2.2 Allmänna principer

Likt de kollektiva beteenden som kan ses i naturens bi- och insektssvärmar, så ligger svärmrobotikens grund inte i att varje enskild individ är intelligent, utan snarare i att man har ett stort antal individer, och med samarbetet mellan dem får ut komplexa beteenden. Istället för att ha en enskild intelligent agent, som således blir väldigt komplex, och ofta även väldigt stor, så har man en stor mängd relativt enkla och mindre robotar.

I naturen så bygger myror stora stackar, samarbetar för att jaga byten och samla material, och bin försvarar sina bon mycket effektivt. Trots att det i naturen inte existerar någon form av central styrning eller koordinationssystem i svärmar av denna typ [3], uppvisar de ändå intelligenta beteenden som är robusta och flexibla, och dessa beteenden tycks vara mycket skalbara. I artificiella svärmar av robotar är dessa förmågor mycket önskvärda.

Med robusthet menas i detta fall svärmens förmåga att fortsätta prestera, även om individer stöter på mekaniska problem, eller på annat sätt förhindras från att prestera. Liknande förmågor kan ses i många typer av sociala insekter, som t.ex. myror. En koloni av myror är mycket svår att utrota, då varje enskild individ inte påverkar helheten särskilt mycket, så man är tvungen att förinta en stor mängd individer för att förhindra ett visst beteende. I en robotsvärm är detta en mycket önskvärd förmåga. Den uppgift som en förstörd individ utförde bör kunna övertas direkt av vilken

annan individ som helst i systemet. Även det decentraliserade samarbete som sociala insekter uppvisar är önskvärd: förlusten av en enskild individ ej bör förhindra samarbetet mellan de kvarlevande. I en artificiell svärm är det även viktigt för individerna i svärmen att effektivt kunna dela på sensorinformation; om en individ ser ett objekt som är viktigt för den uppgift som svärmen har instruerats att utföra, så bör samtliga individer snabbt vara medvetna om var objektet finns.

Flexibiliteten hos en svärm sociala insekter är även en förmåga som svärmrobotiken önskar kopiera. Systemet bör kunna finna lösningar på problem som kan utföras i delar, det vill säga lösningen bör vara modulär. Om svärmen t.ex. stöter på ett hinder som den ej kan finna en väg runt, så bör den kunna åtminstone kunna försöka använda många individer för att försöka antingen flytta på hindret eller på något sätt bygga en väg förbi det.

Skalbarhet är dock den viktigaste förmågan som en robotsvärm bör ha. Efter att svärmen har uppnått en viss mängd individer, så bör inte prestandan påverkas negativt ifall flera individer ansluts till svärmen. Det bör alltså vara möjligt att ha robotsvärmar av godtycklig storlek, beroende på de problem som man önskar lösa med svärmen. Storleken och kostnaden för varje enskild individ bör även vara låg, så att det är möjligt att ha mycket stora svärmar, ifall det behövs. Trots detta är det även viktigt att individerna är relativt robusta, så att kostnaden för att hålla en svärm i bruk är så liten som möjligt.

Enkelhet är också viktigt, då alla individer bör kunna kommunicera med varandra effektivt. Om varje individ i svärmen har många olika typer av sensorer, så behövs opraktiskt mycket bandbredd för att dela denna data bland alla individer i svärmen. Vid det hittills mest lyckade experimentet med svärmrobotik [4] användes 1024 små robotar, som var och en endast hade sensorer för att veta vad som fanns direkt bredvid den. Ingen direkt kommunikation mellan individerna behövdes, och således var konceptet mer eller mindre oändligt skalbart. Även kostnaden för varje enskild robot hölls mycket låg tack vare detta. Potentiella användningar för denna svärm var dock mycket få, då varje robot ej kunde göra mera än röra på sig och se vad som fanns direkt

bredvid den.

Det är dessa fyra huvudprinciper som skiljer svärmrobotik från en grupp av traditionella robotar. En grupp av robotar som alla har egen intelligens kommer troligtvis inte att följa alla fyra av dessa principer, och kan således inte klassas som en svärm.

2.3 Tillämpningsmöjligheter

Trots att de robotsvärmar som finns i dagens läge är väldigt enkla, med endast ett fåtal tänkbara användningsändamål, så finns det otaligt många möjligheter för att använda svärmrobotik. I dagens läge är det inte möjligt att tillverka robotar tillräckligt smått, men allt eftersom tekniken gör framsteg kommer det att bli mer och mer sannolikt att se svärmar av mikro- eller nanorobotar i bruk. Med olika typer av sensorer vore dylika svärmar ytterst lämpade för att finna fel i stora system eller till och med i människokroppen.

Redan i dagens läge vore det lämpligt att använda en robotsvärm med sensorer för att undersöka och hålla reda på miljön i t.ex. sjöar och andra vattendrag, för att få en helhetsbild över situationen och undersöka var i området eventuella problem ligger. Enligt samma princip är en robotsvärm även mycket lämplig för övervakning av farliga miljöer, t.ex. områden där läckor av kemikalier eller andra farliga substanser har skett. En robotsvärm kunde då, till skillnad från en mer traditionell lösning med sensorer, ej enbart hitta källan på problemet, utan även möjligtvis binda samman till en kompakt helhet för att temporärt förhindra ytterligare läckage.

Robotsvärmar är även mycket lämpade till att arbeta i områden som är för farliga för människor och även traditionella robotar att arbeta i. Ett utmärkt exempel på detta är minröjning, där en traditionell robot bör vara ytterst försiktig och väl skyddad för att förhindra att roboten tar skada och inte kan fullfölja sin uppgift. En robotsvärm däremot, kunde arbeta mera riskabelt, då enskilda robotar kan förloras utan att svärmens prestationsförmåga minskar märkbart. Ytterligare så vore ett område som en svärm röjt från minor säkrare än ett område som en traditionell robot eller till och med en grupp av robotar kunnat röja, då en svärm mera

grundligt kan gå över området i fråga.

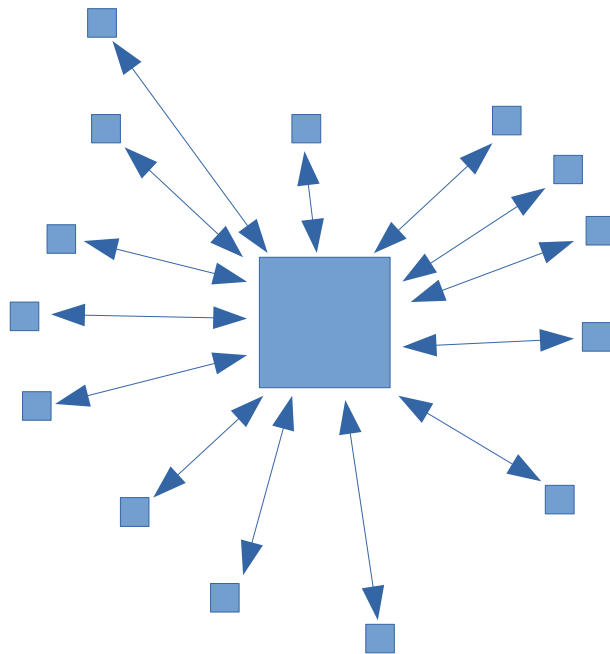
Skalbarheten hos en robotsvärm är även en mycket bra egenskap för vissa uppgifter, där uppgiften kan expanderas med tiden. Ett klart exempel på detta är oljeläckage, där mer och mer olja kan läcka ut ur ett fartyg med tiden, eftersom havsvatten och andra naturliga fenomen kan skada flera behållare på fartyget och släppa ut mer olja. Traditionella röjningsprocedurer vore i dylika fall mindre lämpade, då kostnaderna att expandera dessa ofta är mycket dyra. Med en robotsvärm kunde man enkelt tillsätta flera individer i svärmen och således öka dess operativa kapacitet.

Även robotsvärmars robusthet är mycket önskvärd, framför allt inom militära applikationer. Förlusten av en enskild individ i svärmen innebär endast en minskning på prestanda, systemet kan fortsätta med sin uppgift även om delar av svärmen förstörs av fiende eld. Detta vore mycket önskvärt till exempel inom militär kommunikation; systemet kunde konfigurera om automatiskt om vissa individer i svärmen förstörs, och således hålla kommunikationslinjer öppna även i strid.

3. Svärmrobotar som räddningsverktyg

3.1 Varför svärmar?

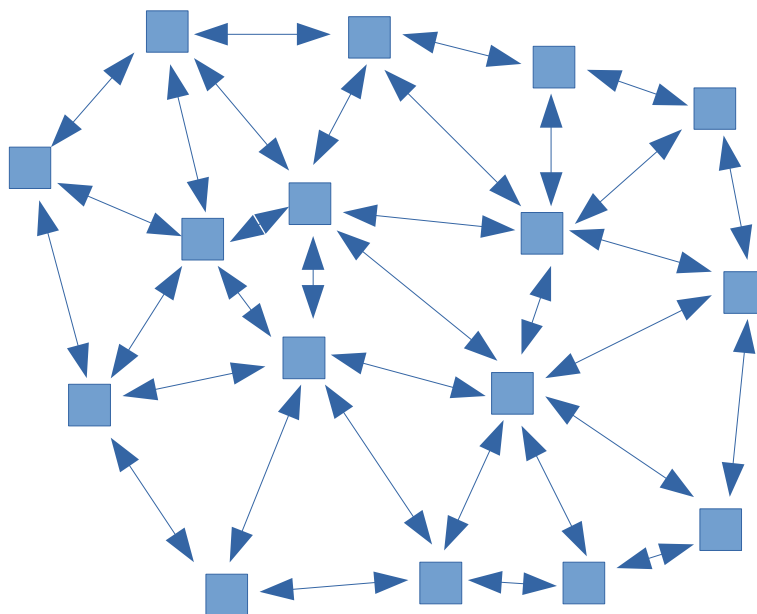
Räddningsarbetet efter en katastrof är mycket tidskänsligt. Det första dygnet är det mest kritiska [6], överlevnadssannolikheten för offren vid en jordbävning faller från 81% under de första 24 timmarna till 37% efter 24 timmar. Under detta första dygn man ännu har möjlighet att rädda sådana människor som blivit svårt skadade av katastrofen. Tyvärr är även detta första dygn den tid som utförs med minst utrustning, då utgrävningsmaskiner och annan tung utrustning ännu inte hunnit fram till katastrofområdet. Även om räddningspersonalen i fråga är redo att använda robotar som hjälpmedel, är dessa inte till någon större hjälp om de inte finns på plats och är redo för användning direkt efter katastrofen.



Figur 1: Centraliserat nätverk

Traditionella robotar fungerar ofta som en centraliserat nätverk. [5] Nätverkets noder är mindre robotar, som kommunicerar till en central server, eller mänsklig operator, mycket likt hur arbetare kommunicerar med en förman, som delar ut uppgifter och övervakar arbetet. (Se figur 1) Robotarna kommunicerar således ej med varandra, utan styrs av en central auktoritet, vanligen en mänsklig användare med fjärrstyrning. Detta betyder att varje enskild robotenhet ej är medveten om mera än de data som den ges av sina egna sensorer, samt eventuella data som ges ut av

denna centrala auktoritetet. Systemets effektivitet är helt beroende av denna auktoritets förmågor, och om denna auktoritet slås ut eller inte kan nås, är systemet mer eller mindre fullständigt oanvändbart.



Figur 2: Decentraliserat nätverk

I en robotsvärm finns däremot, som tidigare nämnts, ingen central auktoritet, utan svärmen fungerar mera likt ett decentraliserat nätverk (se figur 2). Information som en robot får från sina sensorer delas vidare i svärmen, och samtliga robotar samarbetar för att lösa en uppgift. Det behövs ingen central auktoritet, varken en autonom robot, server eller mänsklig handledare, för att leda svärmen, utan den fungerar mer eller mindre helt på egen hand. Informationen som svärmen samlar in om terräng, faror i området samt position och tillstånd för eventuella överlevnande kan sedan tillämpas av svärmen själv eller mänskliga räddningsarbetare för att rädda de människor som drabbats av katastrofen.

Fördelarna med en svärm över ett mera traditionellt robotsystem är således betydligt enklare användning, eftersom mycket lite tid behövs för att sätta systemet i bruk vid ett nytt område. Om svärmen programmerats med de uppgifter som behövs, kan man enkelt introducera svärmen till ett område och omedelbart påbörja räddningsarbete. Detta till skillnad från en traditionellt system, som ofta kräver installation och övervakning för att fungera korrekt. Eftersom räddningsarbete är så pass tidsberoende, så är

en robotsvärm att föredra i nästan samtliga tänkbara situationer.

3.2 Problemlösning

Huvudprinciperna inom svärmrobotiken - robusthet, flexibilitet, skalbarhet samt enkelhet, löser flera av de problem som finns hos användning av traditionella robotsystem inom räddningsverksamheten. Kostnaden att ta i bruk och använda ett svärmbaserat system är mycket mindre, tack vare svärmrobots enkelhet. Man kan införskaffa en liten mängd svärmrobotar och sedan enkelt expandera svärmen vid ett senare tillfälle genom att införskaffa flera. Då kostnaden för varje enskild robot troligtvis hålls låg tack vare denna enkelhet, så är den slutgiltiga kostnaden för systemet lägre. Problemet som ett traditionellt system har där hela eller stora delar av systemet slås ut när en robot eller en del av en robot går sönder (transistorbaserad elektronik är ofta väldigt känslig för fel) existerar ej hos ett svärmrobotsystem, då det i grunden är uppbyggt att fortsätta fungera trots förluster av svärmrobotar. När ett traditionellt system skulle kräva förberedelser och underhåll för att fungera felfritt, så skulle istället en robotsvärm, när den programmerats korrekt, fungera autonomt.

Eftersom katastrofområden är mycket varierande, med otänkbara många terrängar och katastroforsaker, så vore robustheten och flexibiliteten hos ett svärmrobotiksystem mycket användbara egenskaper. När ett traditionellt robotsystem, vare sig autonomt eller fjärrstyrt, skulle kräva omprogrammering eller vidare utbildning för att kunna behärska nya miljöer och faror, så är istället en robotsvärm så pass flexibel att den hittar egna lösningar. Svärmens enskilda robotindivider kan gå förlorade vart eftersom svärmen "lär" sig faror och vilka metoder som är bäst för en viss typ av hinder; detta är inget problem för fortsatt operation. Detta till skillnad från ett traditionellt robotsystem, där en enskild robot kan vara värd stora summor, och således inte kan ta lika stora risker för att lära sig en ny miljö på egen hand.

En robotsvärm som introduceras till ett katastrofområde mycket snabbt efter att katastrofen skett, skulle kunna söka igenom området och skicka information om områdets utseende, terräng, faror och överlevandes position och situation. Denna information kunde sedan sammanfattas till

en karta, som kunde vidarebefodras till mänskliga räddningsarbetare. Med denna information i hand kunde sedan räddningsarbetare mera enkelt fatta beslut om hur man kunde rädda så många som möjligt med minsta risk för sina egna liv. En liknande uppgift är målet för RoboCup Rescue - tävlingen [5], som är en tävling i att använda robotar för räddningsuppgifter.

Medan en robotsvärm troligtvis inte kommer att ersätta traditionella räddningsverktyg såsom mänskliga arbetare, hundar och grävningssutrustning, så kan den hjälpa till med att använda dessa andra verktyg så effektivt som möjligt, till exempel genom att uppbygga ett redundant kommunikationsnätverk, genom att sprida sig ut över katastrofområdet med sina sensorer och söka igenom hela området och hela tiden vara i kommunikation med varandra. Således kunde information om faror, troliga positioner för överlevande och katastrofområdets terräng vara direkt tillgängliga för mänskliga räddningsarbetare.

4. Svärmrobotikens framtid

De grundläggande principer som räddningsarbete skulle använda hos svärmrobotiken kan också användas i andra uppgifter. Möjligheten att snabbt sprida ut över ett område och göra upp en karta med eventuella faror och intressepunkter i området; något som är en mycket enkel uppgift för en korrekt planerad robotsvärm, vore även utmärkt andra uppgifter som kräver information om ett område.

Ett tidigare exempel som togs upp är miljöövervakning. Enligt samma principer som i räddningsarbete, så kunde en robotsvärm introduceras till exempelvis en sjö eller annat vattendrag, samla in information om terräng och eventuella faror. På detta vis kunde man snabbt få mycket information om tillståndet hos sjön, och fatta beslut om eventuella åtgärder som bör tas; på en mycket kortare tid än manuell provtagning och utforskning. Liknande principer kunde även användas för utforskning av grottsystem vid gruvarbeten. En robotsvärm kunde introduceras till en nyfunnen grotta och söka igenom grottan för att bygga upp enkla kartor, med troliga punkter för olika malmådror insatta. Således kunde gruvarbete snabbt fortsätta, utan att behöva sätta människor i risk för att utforska grottsystemet i förhand. Ifall vidare utveckling sker inom svärmrobotiken vore det även möjligt för en robotsvärm att utföra mera komplexa uppgifter på egen hand, t.ex. rensa bort kontaminanter från en sjö eller placera ut sprängladdningar i en grotta för att spränga fram malmådror.

Likaså kunde en robotsvärms förmåga att göra upp en karta över ett område mycket användbar för farliga miljöer, såsom minerade militärområden. Svärmen kunde sprida sig ut och hitta dessa faror i området och göra upp en karta över vilka områden som är säkra för människor; en uppgift som kunde ta en grupp människor betydligt längre tid, då människor (och även mera komplexa robotar för den delen) behöver vara mera försiktiga för att inte skada sig själva. Robotsvärmen kunde även bli kvar i området efter att det tagits i bruk av människor, och således övervaka området och förhindra eventuella nya faror, och upprätthålla robusta kommunikationslinjer.

När miniaturiseringen av elektronik nått en sådan nivå att svärmrobotar kan konstrueras på mikro- och nanonivå, kan dessa kartläggningsprinciper användas på mycket intressanta sätt. På mikrometernivån kunde svärmrobotarna ta sig in i mycket små utrymmen. En människas röda blodceller är vanligen 7.2 mikrometer i diameter [7, sid 100], även om en enskild svärmrobot vore aningen större än detta, kunde man med hjälp av robotsvärmar bygga upp kartor över kroppens insida. Dessa kartor kunde sedan användas för att planera eventuella kirurgiska ingrepp, eller för att mera precist kunna bestämma en patients behövda medicin. Om svärmrobotarnas storlek kunde fås ner till nanometernivån kunde man kanske till och med kartlagga cellers insidor, och således få helt nya insikter i hur sjukdomar attackerar dem.

5. Slutsats

Svärmrobotik, ett relativt nytt koncept för hantering av grupper av robotar, har mycket intressanta möjligheter. Allt från övervakning av miljön till kartläggning av katastrofområden, redan i dagens läge. Även framtiden för konceptet ser mycket intressant ut, med möjliga tillämpningar inom medicin som mikro- och nanosystem för övervakning och diagnosticering. Konceptets grunder i naturens insektssvärmar visar att man kan hitta mycket användbara idéer på de mest otänkbara av platser. Vart konceptet är på väg är mycket svårt att säga, med dess otaliga tillämpningsmöjligheter kan det användas inom så många olika fält.

Räddningstjänsten, med sitt otroligt svåra och viktiga jobb, skulle ha stor nytta av svärmrobotik, men om dagens teknologi är tillräckligt avancerad för att bygga svärmar med tillräckliga funktioner för deras bruk, återstår att se.

Litteraturförteckning:

1. Dominik Zunt 2004 – *Who did actually invent the word "robot" and what does it mean?*
<http://capek.misto.cz/english/robot.html>
(hämtat 20.03.2015)
2. Kyungmin Jeong, Jongkyu Kang, Geunhyung Lee, Sung-uk Lee, Yongchil Seo, Seunggho Jung, Seunggho Kim – *A Remotely Operated Robotic System for Urban Search and Rescue* – SICE-ICASE International Joint Conferance 2006
3. Camazine, S., Deneubourg, J.L., Franks, N., Sneyd, J., Theraulaz, G., Bonabeau, E. -*Self-Organisation in Biological Systems*. Princeton University Press, NJ, USA (2001)
4. *The Kilobot Project* - Self-organizing Systems Research Group - Harvard University - 2014
<http://www.eecs.harvard.edu/ssr/projects/progSA/kilobot.html>
(hämtat 10.02.2015)
5. Gamini Dissanayake, Jonathan Paxman, Jaime Valls Miro, Oliver Thane, Hue-Tuan Thi - *Robotics for Urban Search and Rescue* - First International Conference on Industrial and Information Systems - ICIIS 2006, 8 - 11 Augusti 2006, Sri Lanka
6. Stormont, Daniel P. - *Autonomous Rescue Robot Swarms for First Responders* - IEEE International Conference on Computational Intelligence for Homeland Security and Personal Safety, 2005
7. Mary Louise Turgeon - *Clinical Hematology: Theory and Procedures* - Lippincott Williams & Wilkins 2005

8. Marco Dorigo - *Swarm-Bots and Swarmanoid: Two Experiments in Embodied Swarm Intelligence* - 2009 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology - Workshops