

Autonoma system

Björn Löfgren

SkogForsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står skogsbolagen, skogsägareföreningarna, stift, gods, allmänningar, plantskolor, SkogsMaskinFöretagarna m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd. Forskning och utveckling med fokus på fyra centrala frågeställningar: Produktvärde och produktionseffektivitet, Miljöanpassat skogsbruk, Nya organisationsstrukturer samt Skogsodlingsmaterial. På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Serien *Arbetsrapporter* dokumenterar långliggande försök, inventeringar, studier m.m., distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från SkogForsk publiceras i följande serier:

SkogForsk-Nytt: Nyheter, sammanfattningar, översikter.

Resultat: Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

Redogörelse: Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

Report: Vetenskapligt inriktad serie.

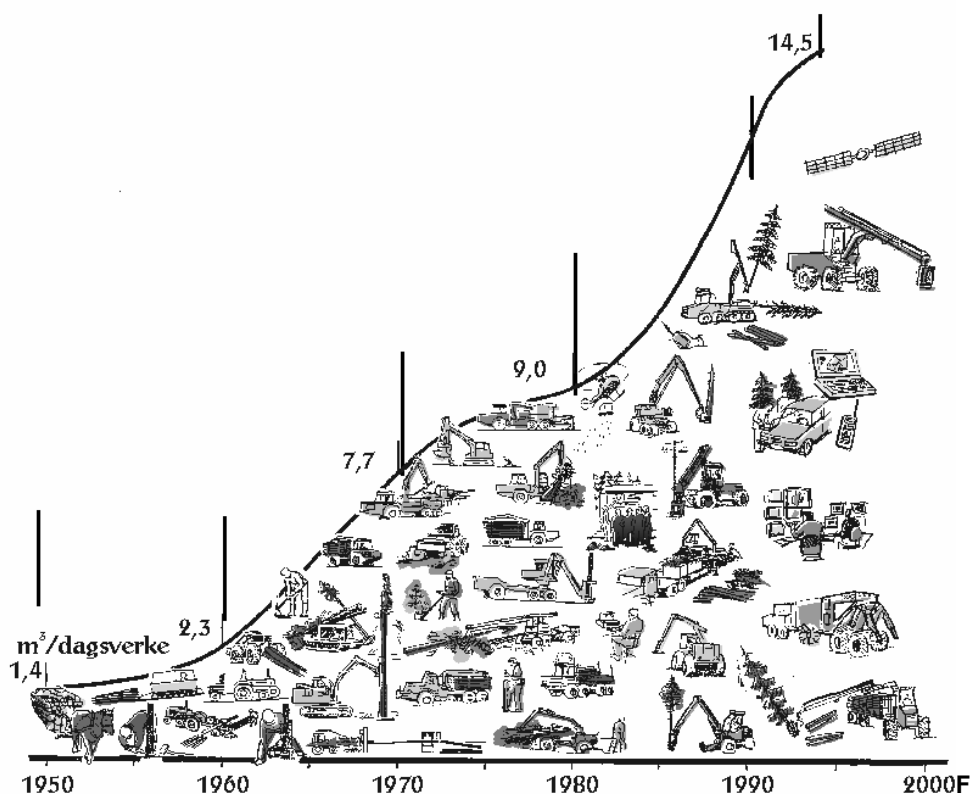
Handledningar: Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

Innehåll

Bakgrund	3
Syfte	4
Autonoma system.....	4
Problemområden	5
Fordon.....	5
Kontrollsystem/reglering	6
Sensorer	7
Död-räkning.....	7
Undvikande av hinder.....	7
Självdagnostiserande sensorer.....	8
Navigering.....	8
Kommunikation	9
Perception	9
Interaktion.....	9
Kunskap och inläring.....	10
Aktörer	10
Sverige	10
KTH	10
Linköping tekniska högskola	11
Luleå tekniska högskola	11
Chalmers tekniska högskola.....	11
WEB-sidor	11
Diskussion.....	12
Slutsatser	12
Referenser	13

Bakgrund

Det svenska skogsbruket har under de sista 40 åren genomgått ett antal språngvisa utvecklingssteg som har ökat produktiviteten avsevärt. Dessa steg har framför allt kommit till genom olika tekniska lösningar, som motorsåg, skotare och skördare. Den maskintekniska utveckling som nu pågår är mest en förfining samt en höjning av tillgängligheten i dagens befintliga system. Vi börjar nu komma till ett stadium då utvecklingskurvan ser ut att börja plana ut och vi måste börja fundera på vad nästa utvecklingssteg kan vara.



Figur 1.
Produktivitetsutvecklingen i Sverige under de senaste 50 åren.

Visioner om framtida skogsbruk handlar i dag mycket om hög produktivitet i samklang med biologisk mångfald, ekologi och människor. Visionerna handlar inte mycket om maskinteknik utan mer om meningsfulla arbeten, effektiva organisationer, kunskap och kompetens. I visionerna handlar det också om att ta vara på skogsråvarans olika egenskaper och om ekonomi i balans med naturen. Även om visionerna berör ”mjuka” områden innebär det inte att teknikutvecklingen kommer att stå still. Kraven på biologisk mångfald, organisationseffektivitet och ekologiskt samspel med naturen kräver att tekniken utvecklas i rätt riktning för att möta dem. Skogsmaskintekniken är långtifrån färdigutvecklad.

Hallonborg (1996) har utifrån samspelet mellan maskiner och arbetskraft presenterat en långsiktig vision – ingen man på maskin – som går ut på att

man utvecklar förarlösa maskiner, vilka kan köras dygnet runt, sju dagar i veckan. Med en sådan lösning nås rationaliseringsmöjligheter inom två områden, maskinteknik och organisation.

Vägen fram till helt autonoma maskiner, enligt visionen, är mycket lång. En autonom maskin skall kunna känna av, köra omkring i och samspela med sin omgivning. Den skall också kunna överleva eventuella störningar och samtidigt utföra ett uppdrag t.ex. att fälla träd. För att en maskin skall kunna genomföra allt detta krävs mycket sofistikerad teknik.

Syfte

Syftet med denna studie har varit att övergripande undersöka vilka problemområden man kan ställas inför, när man diskuterar att införa autonoma system och fordon inom skogsbruket. Syftet har även varit att undersöka om det finns några aktörer i Sverige som arbetar med utveckling av autonoma system.

Autonoma system

Med autonom (självstyrande) maskin menas en maskin som kan ta vara på sig själv utan inblandning från någon eller någonting annat.

När man pratar om autonoma fordon brukar man dela in dem i tre olika grupper (Meyorowitz et al. 1966):

AUV = Autonomous Underwater Vehicle

AGV = Autonomous Ground Vehicle, (Autonomous Guided Vehicle)

UAV = Unmanned Air Vehicle

Vi kommer förstås inte att behandla AUV och UAV, men problematiken är ganska snarlik för alla autonoma fordon och då framför allt styrningen och regleringen av fordonet.

Att ett autonomt markfordon (AGV) faktiskt måste vara en högst kompetent problemlösare beror på att den skall klara sig i en naturlig, avlägsen och främmande omgivning. Om man t.ex. har en karta tillgänglig, kanske den inte har en tillräckligt noggrann modell av terrängen. Kartan kommer inte heller att innehålla alla detaljer om de dynamiska förändringar som sker när man kör över hinder. Man kommer inte heller att i förväg ha någon information om hur maskinen i sig själv påverkar och förändrar sin omgivning när den utför en arbetsuppgift. Baserat på information från olika givare måste det autonoma fordonet vara kapabelt att göra sina egna kartor som representerar omgivningen så att den själv kan navigera sig fram, alternativt skapa sig nya vägar.

Dessutom behöver mjukvaran som styr fordonet vara så pass effektiv att den i realtid klarar av att svara mot de snabba förlopp som sker i fordonets omgivning.

Problemområden

Om man skall ge sig in på mobila autonoma skogsmaskiner kommer man snart att inse att det är ett område som omfattar flera olika discipliner, såsom mekanik och elektronik, reglerteknik, robotik, visionsteknik, artificiell intelligens, programmeringsspråk etc.

Enligt ovan har vi ett antal olika undersystem på en autonom maskin av vilka några kan sägas vara viktigare (Gellerstedt, et al. 1966):

- Fordon
- Kontrollsystem/reglersystem
- Sensorer
- Navigering
- Interaktion
- Kommunikation
- Kunskap/inläring
- Perception

Fordon

I skogsbruket finns det i huvudsak två tänkbara typer av fordon, hjulgående och gående, alternativt en kombination av båda. Gående maskiner anses ha följande för- och nackdelar (Gellerstedt et al. 1966):

- En gående maskin har flexibilitet att ta sig fram i vilken riktning som helst i en mycket ojämn terräng.
- En gående maskin kan horisonteras för att underlätta arbete i terräng (gäller förarstyrda maskiner).
- En gående maskin har större möjlighet att klättra i brant terräng.
- En gående maskin har mycket lite slip – skadorna på marken blir mindre.

- En stor nackdel är den låga hastigheten som en gående maskin kan ta sig fram med i jämförelse med hjulgående fordon, framför allt då terrängen inte är svår.
- Gående maskiner kräver en komplexare konstruktion och en högre grad av styrsystem för att överhuvudtaget kunna fungera, oavsett om maskinen kontrolleras av en förare eller är helt autonom. Hjulgående maskiner är både enklare att konstruera och lättare att reglera.

Valet av fordonstyp bör avgöras utifrån den arbetsuppgift som är tänkt att utföras. Med stor sannolikhet kommer i framtiden hjulgående fordon att användas för de flesta arbetsuppgifter inom skogsbruket. En eventuell arbetsuppgift för en gående maskin skulle kunna vara plantering eller möjligen avverkning.

Kontrollsystem/reglering

Styrning och reglering av en autonom maskin sker med hjälp av ett antal datorer, (distribuerad intelligens), var och en med sin speciella uppgift. Datorerna kommunicerar med varandra i ett nätverk. Mjukvaran i ett sådant system kan vara uppdelad i ett antal olika nivåer, minst två, där den högsta kan sägas vara en "handledare" eller vara hierarkisk. Den högre nivån kan t.ex. planera fordonets rörelser och sända kommandon som hastighet och styrvinklar till den lägre nivån, vilken översätter dessa kommandon till hjulrörelser eller cylinderrörelser beroende av vilken kinematik man har på fordonet.

En delfunktion i reglermjukvaran är att hantera fordonets givare. Det kan vara att bestämma vilken givare som skall aktiveras beroende på arbetsuppgiften. Det innefattar också att upptäcka och om möjligt, att rätta till givarfel. Det kan göras genom att man använder redundanta givare eller genom att den givare som är trasig kopplas bort.

En annan delfunktion är att styra och reglera fordonets motor, så att rätt varvtal och moment används. Samma sak gäller för hydraulpump, hydraulmotorer, cylindrar, växellåda etc.

Ytterligare en delfunktion kan vara att styra och reglera kranen som en robot där spetsen med aggregat skall gå mot ett träd och gripa det.

Ovanstående exempel visar på att mjukvaran för en autonom maskin är komplex och den kommer i framtiden att bli ännu mer komplex. På senare tid har man börjat fokusera på en mer intelligent kontroll där man hämtar idéer från artificiell intelligens, expert- och kunskapsbaserade system och neurala nätverk.

Expertsystem används för att tyda och dra slutsatser ur data. Neurala nät har möjligheten att känna igen mönster i en brusig datasignal. Detta kan användas för radarsignaler, att känna igen trender i data och att upptäcka gradvisa uppkomna händelser.

En annan reglerstrategi för en ostrukturerad omgivning, som finns i skogen kallas för subsumption. En direkt översättning blir subsummerande. Det kan enklast beskrivas med ett exempel. Om vi går i skogen har vi ingen karta på träden eller på själva terrängen. Vi använder ögonen för att skapa en lokal karta av vår omedelbara omgivning framför oss och denna lokala karta uppdateras hela tiden när vi går. Vi går mot ett förutbestämt mål men utan någon direkt bestämd riktning. I stället är vi beroende av små enkla beteenderegler som att gå runt en större sten, lyfta på fötterna för att kliva över hinder etc. Subsumption reglering förutsätter att en maskin har tillräckligt med givare kopplat till ett antal beteenderegler som beskriver alla tillstånd i en omgivning. I en subsumption arkitektur kan beteenden (som att köra rakt fram, undvika kollision etc.) arbeta parallellt nästan helt oberoende av varandra. Subsumption arkitektur kräver ingen central styrning. Den kräver heller ingen modell av maskinen eller av den omgivning som den befinner sig i.

Sensorer

Sensorer räknas som integrerade komponenter i ett autonomt system. Det är en stor variation av givare som appliceras på en mobil robot. Endast några kommer att beröras här.

Död-räkning

Död-räkning är den mest vanliga metoden på mobila robotar i dag. Metoden innebär att man använder sig av beräknad körd riktning och körd sträcka med hjälp av sensorer på själva roboten. Den största nackdelen är det fel som uppstår i beräkningarna. Felet ackumuleras med tiden och med körd sträcka. Det kan avhjälpas med korrektion vid vissa tidsintervall för att uppnå noggrannhet, med hjälp av referenser. Man använder sig av i princip tre typer av givare som vardera kan känna av:

- Det interna tillståndet på en maskin, t.ex. hjulsensorer.
- Maskinens rörelser relativt omvärlden, genom gyron, dopplersensorer eller visuella sensorer som känner av omvärlden.
- Partiell position i en absolut mening, t.ex. en magnetisk kompass som känner av riktning och läge.

Undvikande av hinder

Autonoma maskiner måste undvika att köra på saker såsom träd större stenar, människor och andra maskiner. Det betyder att en autonom maskin

måste ha sensorer, kunskap och rörlighet för att klara av oväntade situationer på ett intelligent och flexibelt sätt utan att stanna eller utan inblandning av någon människa.

De mest använda typen av sensorer är ultraljud, IR, ljus och stötfångare. Det viktiga kommer att vara att lokalisera hinder och sedan tackla den uppkomna situationen när den dyker upp.

Självdagnostiserande sensorer

På en autonom maskin behöver man ha sensorer som övervakar maskinens ”hälsa”. Till det behövs det flödessensorer, tryckvakter, bränsle och energiförbrukning, interna och externa temperaturer etc. Problemet är inte själva sensorerna i sig själva utan det är mjukvaran och reglerstrategier som skall känna igen olika störningar och problem.

Navigering

Lokaliserings- och navigeringssystem är oundgängliga delsystem i ett autonomt system. De flesta system i dag, på forskningsnivå, använder sig av naturliga eller artificiella landmärken för att kunna navigera. Detta går bra om man har landmärken. Problemet uppstår då det inte finns några. Saknas landmärken måste man använda andra typer av sensorsystem. Ett sätt kan vara död-räkning alternativt GPS.

Ett absolut läge för en autonom maskin får man med hjälp av landmärken som har någon slags identifiering. Med de aktiva landmärkena behöver inte maskinen kunskap i förväg för att hålla reda på sin egen position.

Artificiella landmärken är märken som ger ifrån sig en signal. Ett typiskt exempel på landmärke är GPS, ett annat är ljusfyrrar. Passiva landmärken kan vara reflektorer som används tillsammans med radar. Naturliga landmärken kan vara stenar, träd etc. Svårigheten är att känna igen dem.

Man använder sig också av olika slags kartor. Topologiska kartor används där man har aktiva landmärken. Naturliga landmärken passar till topologiska kartor. Geometriska kartor passar när man har givare som ger geometrisk information såsom laser eller ultraljud. Än så länge används sådana system i relativt enkla miljöer. En annan typ av kartor är de som finns i CAD-program eller kartor uppmätta för hand. Ett exempel är körning på vägar med en autonom bil.

Planering av färdväg är ett oerhört stort verksamhetsfält. Planering innebär att bestämma hur man kommer från punkt A till B. Det finns ett antal olika metoder som kan tillämpas. De metoder man använder för inomhusbruk kan mycket väl användas för utomhusbruk. Man har kommit mycket långt inom området planering.

Det finns tillräckligt bra lösningar för att navigera inom kända omgivningar med artificiella landmärken och med tillräckligt bra sensorer. Navigering i okänd terräng däremot är fortfarande ett olöst problem. För att kunna navigera där krävs det bättre perception och att systemet automatiskt skall kunna göra sina egna kartor.

Kommunikation

Ett autonomt fordon utför någonting under sin egen kontroll. Resultatet är helt beroende av lagrad information i datorns minne och möjligheten till att dra slutsatser utifrån denna information. Kommunikationslänkens bandbredd är ett mått på mängd data som måste överföras samt tillåten tid för överföringen. Typen av givare som används på ett fordon påverkar genererade datamängder. Signaler från givare har t.ex. en låg överföringshastighet, medan video och ultraljud kräver en hög överföringshastighet. Att tolka information från kameror och lasrar kräver mycket stor datorkapacitet och kunskap inlagd i datorn.

Data skall också kunna sändas till/från det autonoma fordonet till/från en kontrollplats. För det ändamålet kan man använda sig av satelliter eller den teknik som man har på mobiltelefoner.

Det krävs mycket mer forskning på området för att kunna föra över stora datamängder.

Perception

Med perception menas iakttagelseförmåga eller uppfattningsförmåga, (inom psykologin säger man varseblivning). Människan har förmågan att kunna avgöra när man ser ett stycke mark, om man kan gå eller inte på marken eller vilken beskaffenhet marken har. En autonom maskin behöver den kunskapen för att klara sig. Kunskapen kan läggas in i mjukvaran, vilket innebär att man i förväg skall kunna förutsätta alla situationer som uppstår. Systemet kan också vara adaptivt, vilket innebär att det lär sig efter hand att klara av vissa situationer.

Vilken perception ett system har är helt beroende på vilka givare man har i systemet.

Detta är ett område som för tillfället är ganska okänt och kommer att vara föremål för mycket forskning i framtiden.

Interaktion

Ett autonomt fordon måste först kunna samspela med omgivningen, sedan med människan och sist med andra fordon.

Styrning av en kranarm på en autonom skogsmaskin är ett stort forskningsområde i sig självt. Kranen med aggregat måste själv hitta ett träd utan att träffa några hinder, hitta vägen till trädet etc. Det finns en del applikationer redan i dag, fast det är då robotar i industrin. Där har man fasta punkter som roboten skall gå till. Situationen blir helt annorlunda i skogen.

Ett steg innan man har full autonomi på skogsmaskiner kan vara semi-autonomi. Det innebär att människan utför vissa delmoment i arbetet t.ex. att välja träd. Man kan också utnyttja semiautonomi på så sätt att den semiautonoma maskinen lär sig av föraren hur man skall gå till väga och på det viset successivt bygga upp kunskap.

Kunskap och inläring

Kunskap kommer att behövas i ett autonomt system, alltifrån den lägsta nivån (styrning och reglering) till den högsta (beslutsfattande). Kunskap och beslutsfattande kommer att vara en mycket väsentlig del i ett autonomt mobilt system. När man ger sig in i detta område hamnar man inom ämnet AI (Artificiell Intelligens), vilket är ett så stort område att det överhuvudtaget inte tas upp i denna översikt.

Inläring är liksom kunskap en viktig del i ett autonomt system. Kopplingen mellan inläring och autonoma system är lite känd i dag. Inläring är tidskrävande, vilket är ett stort problem, samtidigt som man vill glömma gammal kunskap för att kunna ändra beteende med en föränderlig omgivning. Det finns en del tekniker för inläring men det är ett relativt obearbetat område, där krävs mycket mer forskning.

Aktörer

Den litteratursökning som är gjord på mobila robotar och AGV gav ca 2 700 artiklar och referenser. Det är med andra ord ett område som intresserar många och varje teknisk högskola eller universitet med självaktning runt om i världen arbetar inom området autonoma mobila maskiner, alla med sin speciella inriktning. Jag räknar inte upp alla som arbetar med autonoma maskiner runt om i världen utan håller mig till Sverige.

Sverige

I Sverige är det framför allt de tekniska högskolorna som arbetar med autonoma mobila maskiner i någon form. Här vill jag nämna några.

KTH

På KTH har man arbetat mycket med visionsteknik och programmering av autonoma mobila robotar. KTH har från och med 1 januari 1997 startat upp ett centrum för autonoma system. Syftet är att under en 5-årsperiod bygga

kunskap och teknik så att man blir en av de fem bästa högskolorna i världen på autonoma system. Man skall också utbilda ett antal doktorer och civilingenjörer inom ämnet, som sedan skall slussas ut till industrin. Planerna är att arbetet skall omfatta hela spektrat av discipliner inom autonoma system.

I planerna ingår också att man skall bygga ett antal demonstrationsobjekt med industriell anknytning. Det man tänkt sig är:

- En intelligent servicerobot.
- Ett autonomt system för besvärlig terräng.
- En industriell prototyp som har verklighetsanknytning.

Det är ett mycket ambitiöst program. För att kunna klara av ett sådant ambitiöst program krävs det mycket pengar. Den totala budgeten för KTHs program under en 5-årsperiod är 120 mnkr, varav man får 60 mnkr av Strategiska Stiftelsen.

Linköping tekniska högskola

Linköpings högskola kommer att arbeta med autonoma flygplan. Man finansierar ett projekt, totalt 40 mnkr, med pengar från Strategiska Stiftelsen, 20 mnkr.

Luleå tekniska högskola

Luleå högskola har arbetat en hel del med navigering av mobila robotar. Vi saknar information om vad de gör i dag.

Chalmers tekniska högskola

Chalmers arbetar överhuvudtaget inte med autonoma maskiner.

WEB-sidor

För de som är intresserade finns det några adresser på Internet. Här kan man se vad olika företag och universitet arbetar med inom områdena robotik och autonoma maskiner. Det finns en sida där många som jobbar med gående maskiner är noterade, ca 35 st.

<http://www.mcs.net/~jz/web/robot.html>

<http://www.sm.luth.se/csee/er/sm-roa/Robotics/MobileJump.html>

<http://www.cee.hw.ac.uk/~acc/conf-list.html>

<http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/%7Eetom/rjs.html>

<http://iseran.ira.uka.de/~schult/Praktikum/PraktikumHomePage.html>

<http://www.frc.ri.cmu.edu:80/robotics-faq/>

Diskussion

Syftet med denna studie har inte varit att ge fullständig genomgång och belysning av området autonoma system. Vi har bara skummat lite på ytan. Varken tid eller resurser medger något annat. Genomgången visar ändå att det har gjorts en hel del inom autonoma system, alltifrån vision-teknik, programmering, navigering, sensorer, hjulbaserade och gående fordon. Mycket av arbetet har inriktats på inomhusmiljöer i väl känd omgivning. Ytterst lite har gjorts på system för utomhusbruk i okänd terräng. Mer och mer av arbetet hos olika parter börjar dock styras över och koncentreras på att de autonoma systemen skall komma ut i okänd terräng.

De största arbetsinsatserna inom autonoma system kommer framöver att ske på delområdena perception, kunskap och inläring.

Det man också kan konstatera är att området är oerhört stort och mycket komplext. Vidare är det många olika tekniska discipliner som skall samarbeta för att erhålla ett helt fungerande autonomt system. Detta gör att man blir tvungen att samarbeta mellan ett antal institutioner och företag. Ingen kan ensam klara av att göra ett autonomt system.

Skall man införa autonoma system inom skogsbruket innebär det att man ger sig in på ett svårt, om än inte omöjligt område. Förutom att en skogsmaskin skall kunna navigera och ta sig fram i terrängen kan det betyda att en skördare även ska kunna välja, fälla och aptera ett träd, vilket är ytterligare en dimension av autonomi.

Slutsatser

En slutsats är att om SkogForsk och skogsbruket ämnar engagera sig inom området autonoma system och robotik, kommer det att krävas mycket stora resurser oavsett om arbetet genomförs i etapper eller inte.

De fonder man kan tänka sig för finansiering är Strategiska Stiftelsen, EU och Nordiska Industrifonden. Finansiering från Strategiska Stiftelsen är troligen inte aktuell då man redan satsar 100 mnkr inom området autonoma system, till KTH och LiTH, under en kommande femårsperiod. EU känns också avlägset just nu, då man redan beviljat pengar till Timberjack, STORA, ett franskt och ett tyskt företag ca 20 mnkr, för att inom en tvåårsperiod utveckla en ny typ av skogsmaskin. Med stor sannolikhet kommer den nya maskinen att innehålla en hel del robotik och andra datorstyrda finesser. Nordisk Industrifond innebär, att endast nordiska företag och institutioner kan vara med. Storleken på beviljade medel är också begränsade.

Det man skall ha i åtanke är att marknaden för skogsmaskiner är liten, ca 2 200–2 300 st/år, hela världen. Den svenska marknaden är ca 500 st/år, d.v.s. 20–25 % av totalmarknaden. Det innebär att kostnaden per såld enhet i Sverige kommer att bli mycket hög och därmed riskera att göra konceptet ointressant. Samtidigt kommer det att krävas lång tid av forskning inom autonoma system.

Det alternativ som förfaller mest realistiskt för SkogForsks fortsatta ambitioner inom detta område är att se om semiautonomi, t.ex. kranarbete, kan vara lämplig att införa på dagens skogsmaskiner. I övrigt får man avvakta tills tekniken och kunskaperna om autonomi är mer mogna och sedan arbeta för att tillämpa dessa på skogsmaskiner.

Referenser

- Hallonborg, U. 1996. Framtidsteknik – ingen man på maskinen. SkogForsk Stencil.
- Proceedings of the 1992 Intelligent Vehicles Symposium.
- Proceedings of the 1993 Intelligent Vehicles Symposium.
- Proceedings of the 1995 Intelligent Vehicles Symposium.
- Proceedings of the 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation
- Proceedings of the 1995 Intelligent Autonomous Vehicles Conference.
- Gellerstedt, S. et al. 1996. Robotics with applications of forestry. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för skogsteknik. Uppsatser och resultat nr 285.
- Johansson, K.& Uhlin, T. 1996. Autonomous Mobile systems: A study of Current research. Report from Assembly Systems Lab Dept of Manufacturing Systems. Royal Institute of Technology.
- Meyorowitz, D. et al. 1996. Autonomous Vehicles. Proceedings of the IEEE. Vol. 84. No. 8.
- Gellerstedt, S. 1995. Robotik och informationsbehandling i skogliga produktionsmiljöer. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för skogsteknik. Arbetsdokument nr 1, version 2.