

Robust och kostnadseffektiv automatisering av mekanisk ogräsbekämpning för ekologisk odling av sockerbetor

Robust and cost-effective automation of mechanical weed control for the cultivation of organic-grown sugar-beets

Projekt nr: 0344011

Organisation: SLF

Bakgrund och Mål

Den världsomfattande miljöproblematiken främjar utvecklingen av miljövänliga produktionssystem för livsmedel. Sedan femtiotalet har jordbruket i västvärlden blivit mer och mer beroende av kemisk bekämpning av ogräs och skadedjur. Den negativa påverkan detta har på miljön och på själva grödan har ökat efterfrågan efter ekologisk odlade grödor. Idag rensas ogräs för hand i kravodlingen. Detta är relativt dyrt och det är svårt att hitta personer som vill utföra detta jobb. Detta medför att kravodlingen är begränsad i storlek. För att öka volymen av de ekologisk odlade grödorna och minska kostnaderna för ogräs rensningen behövs det en automatisering av den mekaniska ogräsbekämpningen i den ekologiska odlingen. Undersökningar har visat att man med effektiv ogräsrensning i ekologisk odling, av exempelvis sockerbetor, kan få minst lika hög skörd jämfört med konventionell odling.

Målet med detta forskningsprojekt är att, baserat på vår tidigare forskning [1], utveckla praktisk omsättbar kunskap och teknik. Målet är att utveckla våra metoder för plantigenkänning så att de klarar av att hantera variationer mellan fält, som t.ex. plantstorlek och jordtyp. Målet är även att utveckla ett specialanpassat datorsystem och rensningsverktyg så att ett kostnadseffektiv system uppnås. Utförliga försök på olika fält är planerade för att kunna uppnå en robust automatisering och för att få kunskap hur den ekologiska odlingen bör bedrivas, t.ex. plantavstånd, för en effektiv automatisering.

Material och Metoder

I tidigare forskningsprojekt så har vi utvecklat en mindre försöksmaskin för rensning av ogräs mekaniskt [1]. Denna plattform har använts för att verifiera metoderna i fält med avseende på realtidsegenskaper och robusthet. Försöksmaskinen har även används för att generera adekvata databaser med bilder som sedan har använts för metodutveckling och verifiering. Databaserna är viktiga för att kunna korsvalidera metoderna inom och mellan olika fält för att verifiera robusthet mot variationer inom och mellan fält.

Baserat på vår tidigare forskningsresultat och för att ta denna helt nya teknik ett betydligt steg närmare användning har det gjorts tillämpad forskning inom två områden:

A) En vidare utveckling av våra metoder så att de klarar av att hantera skillnader som finns mellan olika delar av fältet, mellan olika fält och mellan olika odlingar. Skillnader kan handla om plant storlek, ogrässtryck, jordtyp med mera. För att klara av de olika skillnaderna krävs det en manuell justering av oss som har utvecklat systemet. Målet är att det inte skall behövas någon justering alls, dvs. våra metoder skall klara av de

nödvändiga justeringen på egen hand, eller att en odlare lätt kan göra justeringen själv. För att uppnå detta mål krävs det många tester i fält på olika ekologiska odlingar. Dessa tester ger ökad kunskap om hur variationerna inom och mellan fält påverkar metoderna, samt ger kunskap hur den ekologiska odlingen bör bedrivas, t.ex. vad gäller plantavstånd och maximal tillåtna ogrästryck, för en effektiv automatisering.

B) Det andra som gjorts är forskning och utveckling av en maskinteknisk lösning som är kostnadseffektiv och som kan anpassas till olika typer av redskapsbärare. En nyckelkomponent är utvecklingen av ett speciellt datorsystem som är tillräckligt beräkningskraftigt samt kostnadseffektivt. Utvecklingen av datorsystemet bör ske i nära samverkan med utvecklingen av metoder (som i slutändan är en programvara), eftersom de ömsesidigt påverkar varandra för att nå en tillräckligt snabbt och kostnadseffektiv lösning. En annan nyckelkomponent är utvecklingen av ett kompakt, snabbt och energisnålt rensningsverktyg.

Problemet att plantor och ogräs överlappar har inte täckts in av tidigare forskning och detta kräver utveckling av speciella metoder. Här samarbetar vi nära med Forskningscentrum Bygholm i Danmark, där en av projektmedlemmarna gästforskat i två månader. Metoden baseras på att närmare analysera plantornas konturer med en metod som heter ASM "Active Shape Modelling" [2,3]. ASM går ut på att en modell byggs utifrån ett antal träningsbilder (i detta fall bilder på sockerbeter i första örtbladsstadiet). I träningsbilderna markeras formen på sockerbetan och utifrån detta byggs en modell över hur en medelmodell kan deformeras, men fortfarande likna en sockerbeta. För segmentering placeras sedan modellen över en tidigare osedd planta och deformeras så att den passar den nya plantan så bra som möjligt (utefter de kriterier som sattes i modellbyggandet).

Resultat

Igenkänning av grödorna med hjälp av såmönstret

För att hantera variationer inom och mellan fält behövs metoder för identifiering av ogräs och gröda som ej är beroende av dessa variationer. Ett sätt är att utnyttja grödans position på fältet, se Figur 1. Många grödor odlas i rader i ett definierat mönster med ett fixt avstånd mellan grödorna. Detta mönster är en viktig egenskap, som kan användas för att skilja ut grödan från ogräs, och som är oberoende av plantvariationer i färg och form. Vi har under projektets gång utvecklat och förfinat en metod som vi kallar för kontextmetoden. Kontextmetoden bygger på att vi har gjort en matematisk modell av raden med grödor (sockerbeter) och denna modell används sedan för att hitta de plantor som har störst sannolikhet att vara en gröda. Vi har testat denna metod mot en databas med bilder av rader med sockerbeter. I den aktuella databasen så var ogrästrycket i raden ca 50 ogräs/m² och uppkomsten ca 70%. Sockerbetorna var i första örtbladsstadiet. Omkring 90% av betorna hittades, och ca 60% av ogräset hittades. Förklaringen till att 40 % av ogräset inte hittades är att uppkomsten var låg. Detta innebär att om ett ogräs är placerat i närheten av den position där en sockerbeta skulle ha stått, så tolkas denna som sockerbeta.

Kontext metoden har även testats i fält hos en ekologisk odlare sommaren 2004. Två tester genomfördes med vår försöksmaskin inklusive prototyp till rensningsverktyg, se figur 2 och 3. Uppkomsten var ca 80% och sockerbetorna var i första örtbladstadiet. Testet visar att 99% av sockerbetorna stod kvar och att cirka 60 % av ogräset i raden togs bort [4]. Anledningen till att en del ogräs stod kvar beror på:

- Att uppkomsten inte är 100%. Vår kontext metod räknar med en uppkomst på 100%. Detta kan lösas genom att komplettera med en annan metod (se nästa stycke).
- Att rensningsverktyget hade vissa begränsningar. Detta kan lösas genom att vidareutveckla rensningsverktyget.
- Att en del ogräs var hopväxta med sockerbetorna (överlappande plantor). Detta kan lösas genom vidareutveckling av bildbehandlingsmetoder eller tidig rensning.



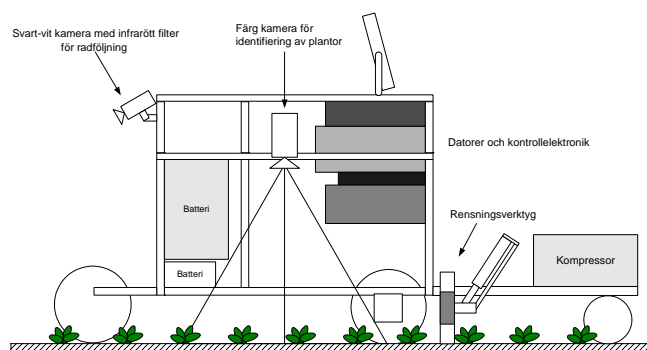
Figur 1. Plantor kan identifieras på dess egenskaper, t. ex. färg eller form, eller dess position i bilden. De inringade plantorna är sockerbetor planterade med ca 15 cm mellanrum i raden.

Igenkänning av grödorna med hjälp av såmönstret och plantors utseende.

Problemet med låg uppkomst och att därigenom ogräs anses vara en betplanta, på de ställen där det inte kommer upp en betplanta, kan lösas genom att kombinera kontextmetoden med metoder av klassificering av enskilda plantor m h a plantornas utseende såsom färg, form och storlek. Problemet med att använda färg och form hos den enskilda plantans för igenkänning av grödan är, som tidigare nämnts, att plantornas utseende kan variera kraftigt mellan och inom fält. Detta kan bero på att uppkomsten sker vid olika tidpunkter på olika delar av fältet och att ogräsförekomsten samt artsammansättningen hos ogräs varierar inom och mellan fält. Det har visats i ett flertal studier, och även av oss [5], att det går att få en hög igenkänningsgrad, över 90% om man använder färg och form. Problemet är att dessa igenkänningsmetoder måste tränas på ett urval av bilder på gröda och ogräs och är därför känslig mot variationer i plantornas utseende (d.v.s. det är osäkert hur väl träningsdatat representerar situationen i fält). Genom att kombinera kontextmetoden med metoder av klassificering av enskilda plantor har vi visat [5] att man blir mindre känslig för träningsfel hos klassificeraren som använder sig av färg och form och därmed också mer robust. Man blir också mer robust mot högt ogrästryck. Förutom detta så ökar den totala klassificeringsgraden med 3-8% jämfört med att bara använda sig av färg och form. Vi har utvärderat metoden på två databaser och den totala klassificeringsgraden var mellan 92%-98%. Vi har av tidskäl inte kunnat testa i fält, bara mot databaser, men vi förväntar oss att ogräsreduktionen på 60% kan höjas till över 90%.



Figur 2. En mindre försöksmaskin användes vid provning av plantigenkänning (här utan rensningsverktyg).



Figur 3. Principskiss av försöksmaskinen. Färgkameran i mitten används för att identifiera de enskilda plantorna och bestämma dess position. Den svartvita kameran används för att identifiera raderna för navigering av roboten

Adaptivt system

Genom att kombinera kontextmetoden med metoder av klassificering av enskilda plantor blir man mindre känslig mot träningsfel hos klassificeraren som använder sig av färg och form. De metoder som vi använder för igenkänning med hjälp av plantans utseende har tränats offline, mot olika databaser [5]. Databaserna representera bara ett urval av de situationer som kan uppstå i fält. För att bättre hantera nya situationer i fält och därmed få ett system som är mer generellt och robust i fält har vi undersökt möjligheten att träna klassificerarna online. För att göra detta möjligt har vi studerat metoder som kategoriseras som "unsupervised learning", d v s självlärande system. För att få ett fungerande adaptivt system krävs att indata automatiskt kan separeras i olika kluster samt metoder för att tala om vilken eller vilka kluster som tillhör beta eller ogräs.

Vi har testat olika metoder (ex. k-means, competitive learning) för att separera data i olika kluster [6]. Resultaten visar att det är fullt möjligt att dela upp indata i kluster. Genom att välja rätt kluster kan man få resultat fullt jämförbara med klassificerare tränade offline. Problemet är dock att veta vilka kluster som tillhör vad, dvs. är sockerbetor eller ogräs. Eftersom varje art har, till viss utsträckning, en unik färg och form, så skulle teoretiskt sett varje art ha ett motsvarande kluster. I praktiken är det inte så och en art kan bestå av flera kluster och ett kluster av flera arter. För att veta vilka kluster som tillhör sockerbetor och vilka som tillhör ogräs har vi testat tre olika metoder för att klassificera kluster automatiskt. Gemensamt för alla klusteralgoritmer är att man bestämmer antalet kluster i förväg och initierar startcentrum för kluster. Den ena metoden utgår från en databas (Databasmetoden, dvs. en databas skild från det fält som testas) för att initiera kluster center och den andra utnyttjar såmönstret för att klassificera kluster (Kontextmetoden). En tredje metod (Expertmetoden) är att man manuellt initierar kluster genom att ge exempel från aktuellt fält (databas).

Vid online träning med "competitive learning" erhöles en klassificerings grad på 86% för Expertmetoden, 93-96% för Databasmetoden, beroende på vilken databas som användes som referens, och 94% för Kontextmetoden. Jämförbart resultat för en offline

tränad klassificerare är 94%. Resultaten visar alltså att man med online klassificering, dvs. ett adaptivt system, kan nå likvärdiga resultat som offline-tränad klassificerare [6].

Överlappade plantor

Att ogräs och sockerbeter växer ihop ökar med ökad ogräsförekomst. För att särskilja mellan ogräs och sockerbeter har vi använt ASM för att segmentera och klassificera sockerbeter från ogräs. För segmentering används ASM till att sätta ihop vilka blad som tillhör en sockerbeta och även till att plocka bort ogräs som växer ihop med sockerbetan. Figur 4 visar hur ASM kan användas till att ta bort ogräset. För segmentering visar resultaten att $\frac{3}{4}$ av sockerbetan kommer finnas innanför den deformerade modellen och att $\frac{2}{3}$ av ogräset som täcker sockerbetan har blivit borttaget. [7] beskriver metoder för att segmentera sockerbetsbladen var för sig och dessutom plocka bort överlappande ogräs.



Figur 4 ASM för segmentering mellan ogräs och plantor.

För klassificering kan ASM användas till att extrahera klassificeringsparametrar. Modellen placeras över plantan som ska testas och deformerar så att den passar plantan så bra som möjligt. Är det en sockerbeta kommer den deformerade modellen att passa plantan bättre än om det är ett ogräs. Hur bra modellen lyckas att anpassa sig efter den nya plantan beror en del på hur initial modellen placerades. Placerar den centralt över plantan och med rätt skala och rotation blir sökresultatet betydligt bättre än om den har placerats illa. Hur noggrann som man måste vara när man placerar initialmodellen har undersökts och resulterat i [8]. Som regel kan man säga att modellen får vara max dubbelt så stor som plantan, vara placerad med centrum innanför en cirkel med radie som halva plantans radie och den kan vara roterad upp till 18 grader fel. Ca. 80% av plantorna blir rätt klassade när ASM används för segmentering och parameterextrahering. Om dessutom plantans area och färg används som klassificeringsparametrar stiger klassificeringsgraden till 90%. Klassificeringsparametrarna som är framtagna för ASM har jämförts med traditionella formparametrar och en kombination av ASM parametrar och traditionella parametrar ger ca 88% rätt klassificerade plantor utan att area- och färgparametrar har använts. Klassificeringsparametrarna har jämförts mellan dataseten och ASM- och formparametrar ligger betydligt stabilare än vad area- och färgparametrarna gör. Totalt sett ökar klassificeringsgraden för överlappade plantor från

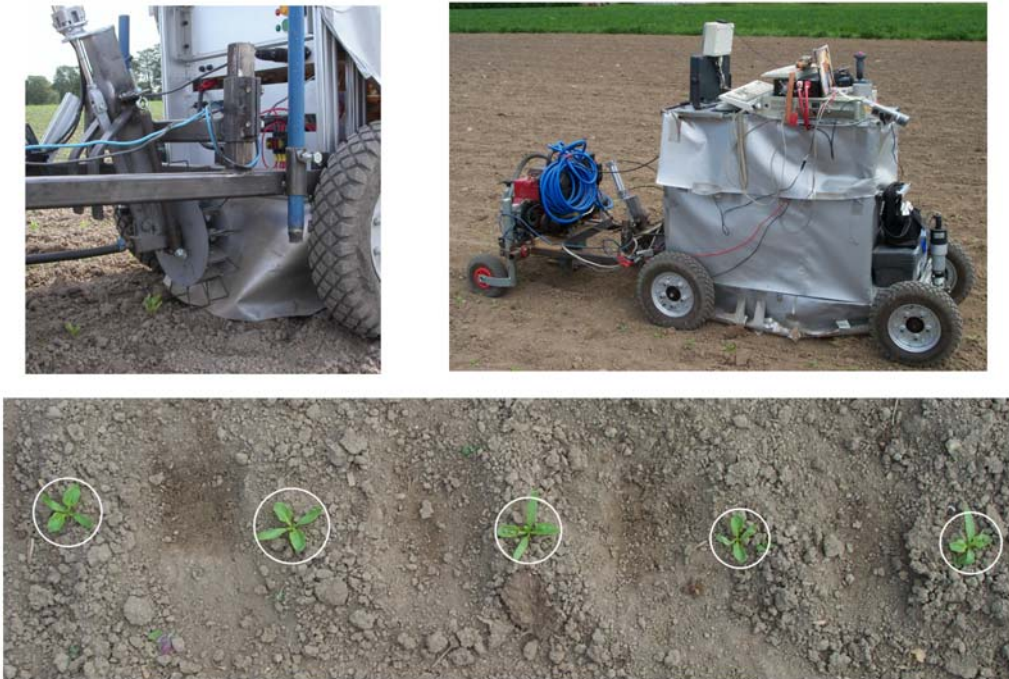
88% till 95% med ASM jämfört med att använda metoder som baseras på egenskaper beräknade på plantans färg och form.

Kamera- och datorsystem

Vi har utvecklat ett integrerat kostnadseffektiv kamera- och datorsystem baserat på en cmos-kamera och en signalprocessor [9]. Systemet har en uppskattad materialkostnad på cirka 5000 kronor. Detta arbete har rönt nationell intresse och var nominerat till bästa bidrag inom inbyggda system - en återkommande tävling i Sverige. Systemet har ställts ut på tekniska mässan i Stockholm. Systemet har testas i fält och tar bilder av god kvalitet. Vi har även integrerat delar av vår mjukvara på systemet för att utvärdera prestanda. Preliminära resultat visar att systemet är snabbt nog för den tilltänkta applikationen [10].

Rensningsverktyg

Ett ny prototyp till rensningsverktyg har också utvecklats och har testats och provats på vår försöksmaskin [1], se figur 5, med goda resultat. 60% av ogräset togs bort och 99% av sockerbetan stod kvar.



Figur 5. Resultat efter rensning. Vi kommer inte tillräckligt nära grödan p.g.a. rensningsverktyget, vilket vi skall förbättra.

Diskussion

Målet med projektet var att vidareutveckla våra metoder så att de bättre hanterar variationer inom och mellan fält. Genom att kombinera kontextmetoden med metoder som använder sig av färg och form, samt att göra den senare metoden adaptiv, har vi uppnått ett system som bättre hanterar variationer inom och mellan fält. Försök i fält visar på bra resultat vid rensning, 60% av ogräset reducerades och 99% av sockerbetorna stod kvar då vi endast använder oss av kontextmetoden. Av tidskäl har vi inte testat de

kombinerade och adaptiva metoder i fält ännu men vid test mot databaser visar dessa metoder på att vi ökar mängden ogräs som tas bort till över 90%.

För att hantera överlappande plantor har vi använt oss av ASM för segmentering och klassificering. Fördelen med att använda ASM för segmentering är att ASM kombinerar ihop sockerbetsblad som hör ihop och dessutom klipper bort eventuellt ogräs som sitter ihop med sockerbetan. Nackdelen är att modellen som är byggd främst hanterar plantor i första örtbladsstadiet. Om sockerbetan är i hjärtbladstadiet behövs en egen modell för detta. Det samma gäller för plantor med flera örtbladspår. ASM kan användas enbart för segmentering, men även för klassificering. Att kombinera parametrar som enbart kan fås genom att använda ASM med traditionella parametrar ger en ökning av klassificeringsgraden. Om en klassificerare ska fungera i verkligheten och kunna flytta mellan olika fält utan att parametrarna ska behöva justeras varje gång behövs parametrar som är stabila mellan olika fält. Formparametrarna (både ASM och traditionella) har visat sig vara mer stabila mellan dataseten än vad area och färg är. Area och färg är dock bra parametrar så länge som man håller sig inom ett fält, så om dessa parametrar kan justeras automatiskt kan det öka stabiliteten i ett system som går att flytta mellan fälten.

Det andra målet med projektet var att utveckla ett specialanpassat datorsystem och rensningsverktyg så att ett kostnadseffektivt system uppnås. Vi har inte integrerat rensningsverktyget med kamera och datorsystemet men delarna är dock utvecklade och testade var och en för sig i fält.

Utblick

Genom att introducera ny teknik som bildbehandling får man samtidigt möjlighet att utföra nya uppgifter. Man kan exempelvis utföra *kartering* av fältet och beräkna uppkomst och hur bra det växer på olika delar av fältet för att sedan kunna styra exempelvis gödning. Med systemet är det även möjligt att införa *gallring* vilket skulle kunna motverka dålig uppkomst, genom att man sår mer plantor och sedan gallrar, och därigenom öka avkastningen.

Våra metoder för särskiljning mellan ogräs och gröda kan även med fördel användas för selektiv sprutning av konventionellt odlade fält. Kemisk bekämpning har inte bara en negativ påverkan på miljön utan är även kostsam, för sockerbetor upp till 2000 kr/ha. Med selektiv sprutning på *plats* eller *plant* specifik nivå kan man uppnå en avsevärd reduktion av mängden bekämpningsmedel. I [11] gjordes en fyra årig studie av *plats*-specifik ogräsbesprutning i majs, sockerbetor vete och korn. De visade att man kan reducera ogräsmängden signifikant genom att bara spruta där det är mycket ogräs. För sockerbetor fick de den största reduktionen för stråogräs och mindre för örtogräs. Deras slutsats var också att områden med låg ogräsförekomst, som inte sprutades, inte genererade mer ogräs följande år. Slaughter et al [12] har utvecklat ett system för *plant*-specifik ogräsbesprutning i bomull och visat att de kan spruta 89% av ogräsen emedan 79% av bomullsplantorna inte sprutades. Detta resulterade i att bara 25% av bekämpningsmedlet behövde användas jämfört med bandsprutning. En liknade studie med selektiv besprutning har de även gjort för tomater [13]. I båda fallen använde de sig av metoder som utgick från plantornas form för att särskilja mellan plantor och ogräs.

Våra metoder är även intressanta för andra radodlade grödor, exempelvis sallad och lök.

Referenser

1. Åstrand B., Baerveldt A.-J., An Agricultural Mobile Robot with Vision-Based Perception for Mechanical Weed Control, *Autonomous Robots*, Vol. 13, No. 1, pp. 21-35, 2002
2. T.F.Cootes, A.Hill, C.J.Taylor, J.Haslam, "The Use of Active Shape Models for Locating Structures in Medical Images." *Image and Vision Computing* Vol.12, No.6 July 1994, pp.355-366
3. T.F. Cootes, D. Cooper, C.J. Taylor and J. Graham, "Active Shape Models - Their Training and Application." *Computer Vision and Image Understanding*. Vol. 61, No. 1, Jan. 1995, pp. 38-59
4. Åstrand B., Baerveldt A. -J., Plant recognition and localization using context information, *Mechatronics and Robotics 2004 – special session Autonomous Machines in Agriculture*, Aachen, Germany, September 13-15, (2004)
5. Åstrand B., Vision based perception for Mechatronic weed control, PhD Thesis, ISBN 91-7291-646-X, Chalmers University of Technology, 2005.
6. Jelacic M., Unsupervised Learning for Plant Recognition, technical report, IDE06, Halmstad University, 2005.
7. Johansson M., Baerveldt A.-J, Segmentation of Partly Occluded Plant Leaves, *Swedish Society for Automated Image Analysis (SSBA)*, pp.77-80, (2005).
8. Johansson M., Sjøgaard, H. T., Baerveldt A. -J., Robustness of Plant Recognition Based on Active Shape Models, *Mechatronics and Robotics 2004 – special session Autonomous Machines in Agriculture*, Aachen, Germany, September 13-15, (2004).
9. Brolin T., Hardware platform for image processing, technical report, IDE04, Halmstad University, 2004.
10. Oberndorfer T., Vision based intra-row weeding system, technical report, IDE06, Halmstad University, 2005.
11. R. Gerhards, M. Sökefeld, C. Timmermann, Site-specific weed control in maize, sugar beet, winter wheat, and winter barley, *Precision Agriculture*, 3, 25-35, 2002.
12. DC Slaughter, DK Giles, RD Lamm, and WS Lee, Robotic Weed Control Systems for California Row Crops, *EurAgEng 2000*, 2-7 July, Warwick, UK.
13. W.S. Lee, D.C. Slaughter, D.K. Giles, Robotic weed control system for tomatoes, *Precision Agriculture* 1, 1999, pp. 95-113.

Publikationer och Resultatspridning

Vetenskapliga publikationer

- Åstrand B., Baerveldt A. -J., Plant recognition and localization using context information, *Mechatronics and Robotics 2004 – special session Autonomous Machines in Agriculture*, Aachen, Germany, September 13-15, (2004)
- Åstrand B., Vision based perception for Mechatronic weed control, PhD Thesis, ISBN 91-7291-646-X, Chalmers University of Technology, 2005.

- Johansson M., Baerveldt A.-J, Segmentation of Partly Occluded Plant Leaves, Swedish Society for Automated Image Analysis (SSBA), pp.77-80, (2005).
- Johansson M., Sjøgaard, H. T., Baerveldt A. -J., Robustness of Plant Recognition Based on Active Shape Models, Mechatronics and Robotics 2004 – special session Autonomous Machines in Agriculture, Aachen, Germany, September 13-15, (2004)

Konferenser och Workshops

- Agrobotics workshop 2004, Bygholm, Horsens, Danmark, 11/11 2004
<http://www.agrobotics.dk/workshop2004.htm>
- Precision Crop Protection, workshop, ecpa 2005, Uppsala, Sverige, June 12, 2005
<http://www-conference.slu.se/ecpa/programme/cropprot.htm>
- Automatisering av mekanisk ogräsbekämpning, Ekologiskt Lantbruk, Vägar Val Visioner, Sammanfattning av postrar och föredrag, Ultuna 18-19 november 2003, sid.247-248.
- Robust och kostnadseffektiv automatisering av mekanisk ogrärensning för ekologisk odling av socker, Konferensrapport, Jordbrukskonferensen, SLU, Uppsala, 23-24 November 2004, sid. 157.
- Robust och kostnadseffektiv automatisering av mekanisk ogrärensning för ekologisk odling av socker, Sammanfattningar av föredrag och postrar, Ekologiskt lantbruk, Att navigera i en ny tid, Konferens, 22–23 november 2005 Ultuna, Uppsala, s. 329.

Publikationer i Facktidskrifter inom området

- Mekanisk ogrärensning av sockerbetor, Betodlaren, Nr 2 2005, sid. 45-46.
- Robot rensar ogräs, Potatis&Grönsaker, Nr 2, Juni 2005, sid. 18-19.

Demonstrationer i fält

- Demonstration av ogräsrobot i sockerbetsodling för 10 ekologiska lantbruks- och trädgårdsrådgivare (20050512)

Massmedia

- Västnytt (SVT), (20050927)
- Kunskapskanalen (SVT), (20051109)
http://www.forskning.se/servlet/GetDoc?meta_id=87659
- Hallandsposten (20050915)– Roboten rensar rent
<http://www.hallandsposten.se/artikel.asp?oid=84265>
- NyTeknik (050913)
http://www.nyteknik.se/pub/ipsart.asp?art_id=42044
- Forskning.se (20050907)
http://www.forskning.se/servlet/GetDoc?meta_id=87155
- Kravmärkt nr3 2005 - De ekologiska innovatörerna
http://www.krav.se/ArticlePages/200504/18/20050418115830_public411/20050418115830_public411.dbp.asp

Projektets hemsida

På projektets hemsida finns material som beskriver projektet och även filmklipp från försök.

<http://www2.hh.se/staff/bjorn/dst/>