

Lägg gärna till din
organisations logotyp.

Slutrapport

Projekttitel

Autonom styrning för förbättrad växtproduktion

Projektnummer:

O-19-21-317

Projekttidsperiod:

2020-01-01 – 2020-12-31 (förlängt)

Huvudsökande:

Namn, organisation, e-postadress

Gunnar Larsson, SLU, gunnar.larsson@slu.se

Medsökande:

För alla aktiva i projektet: namn, organisation

Jonas Engström, Joel Svensson (Marvin Damchen), ri.se

Mats Andersson, Mapro System

Olle Gelin (Tobias Semberg), Skogforsk

Gustav Eskhult, SLU

Krstina Kunert, Uppsala Universitet

Jens Ekengren, Örebro Universitet

(i de fall där en person står inom parantes har denne under projektperioden tagit över medsökandes roll)

Del 1: Utförlig sammanfattning

Kort beskrivning av syftet, metoder, huvudsakliga resultat och nytta för näringen samt rekommendationer. Sammanfattningen måste skrivas på engelska om rapporten är på svenska, och vice-versa.

Description & conclusions per research areas:

- Safety/identification of people. A system using a stereo camera (ZDK), single-board computer and publicly available software (ZDK SDK) was evaluated. A stereo camera was used in order to make it possible to get data on distance (something that is of vital importance for vehicles), without using (costlier) LIDAR.
- At distances greater than 10 meters the distance estimation is difficult. At a distance of 5 meter soverall performance is very good. Factors such as strong sunlight and water droplets on the camera pose potential challenges.

Projekt har fått finansiering genom:

- In order to increase reliability, the following measures can be useful: complement distance estimation with people detection without distance estimation for distances > 10 meters, enhance camera protection to protect it from the elements, complementary sensors that identify people using other information than the visual spectrum for example using infrared.
- A proof-of-concept application using ROS was developed and tested. It could control a relay based on vehicle position. An area was defined by the edge coordinates of a polygon and the relay activated when the vehicle entered the polygon. This can be used to control a tool based on position, for example to start or stop a tool as soon as the vehicle enters or leaves the cultivation field, start a recording from other sensors or check the seed or fertilizer application based on where in the area the vehicle is.
- A small tractor has been fitted with a self-driving steering system (described at https://github.com/RISE-Dependable-Transport-Systems/rise_sdvp). The system has been adopted to the tractor and for agricultural use by complementing pre-existing software with functions and algorithms relevant for agriculture, in particular an algorithm to return driveable routes with a polygon (i.e. an agricultural field).
- The control system was found to produce good accuracy and very good repeatability. Mean absolute deviation from a straight path over an agricultural field was measured using GPS to be 2-5 cm depending on the conditions of the test. However, GPS in itself has a measurement uncertainty about 2 cm. When tests were performed with discs attached to the vehicle (akin to a harrow) the grooves produced were repeatable.
- During evaluation important factors to reduce the time required for start-up and downtime during the tests included: reduced number of (possible missed) steps during start-up, minimized heat load on electronics and maximum communication capability.
- A battery-powered vehicle and with the environmental impact that Lagnelöv et al present (of a tractor of similar dimensions to the one used), means that up to two battery-powered autonomous tractors are profitable from the entrepreneur's perspective. Up to three vehicles is still a profitable investment if external costs for society are included. In this case, the cost of additional mineral extraction to manufacture the vehicles, and the life cycle perspective on how the vehicles affect human health using "Functionally Adjusted Life Years" (DALY).

Utility for the agricultural sector

- Open source software for the basics of rapid development of software systems. Because the software is openly available and released under a free license, it is possible to use with relatively little effort on other vehicles. During the project, in addition to the vehicle that was mainly used ("MacTrac", a small tractor with articulated steering), it was also tested on a vehicle that was radically different in its physical structure ("Drängen" smaller platform). In other projects it is applied to a large tool carrier ("Drevern") and to a smaller feed carrier for indoor use.

- The time required to implement the physical changes required (for research projects) is short, about three days for Drängen and two weeks for MacTrac. This makes it easy to apply the software to other vehicles.
- In addition, the software is developed by RISE in order to make it more modular and to limit the hardware required for the control to components that are easily accessible and produced in large volumes.
- The equipment used during the project will in the near future (spring 2022) be evaluated in the area that is common complementary activities for agricultural tractors, such as snow shovelling of cycle paths (project “Barmark III”).
- Close contact with manufacturers (of autonomous vehicles) facilitates this spread. Participants in the project group have recurring meeting with other actors in the burgeoning autonomous agricultural vehicle sector in Sweden, such as Ekobot, Tegbot, Agrodroids, Texactor)
- The runs have shown that it is possible to achieve that which is repeatable with millimetre precision with the existing configuration. Such a high precision facilitates a lot of agricultural work as it above all places demands on high repeatability (when a seed is sown in a certain place, other operations must be performed relative to this to ensure that eg the plant from good access to fertilizer, but is not taken for a weeds in weed control).

Del 2: Rapporten (max 10 sidor)

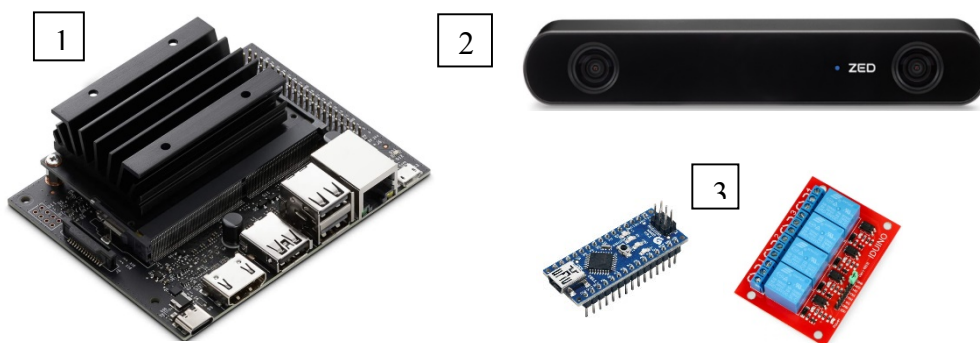
Inledning

Personigenkänning

Den autonoma redskapsbäraren ("MacTrac") som använts i det här projektet är tänkt att verka på stora områden som är svåra att helt spärra av från människor. Dels för att den autonoma redskapsbäraren kanske inte är den enda enhet som verkar i området, dels för att fysiska staket skulle innebära stora hinder för verksamheten.

För att kunna bibehålla god säkerhet för personer i området som redskapsbäraren verkar i har ett kamerabaserat system med personigenkänning tagits fram.

Hårdvara



Dator – Nvidia Jetson nano (1)

Datorn som är ungefär lika stor som en stor tändsticksask har trots sin storlek kapacitet för bildanalys. Den är mycket energisnål, drivs av 5 V och har inga rörliga delar vilket gör den lämplig för fordonsapplikationer. Datorn är monterad i ett chassi innehållandes en fläkt som används för kylning men den är inte kritisk för datorns funktion.

Kamera – Stereolabs ZED2 (2)

Då autonoma fordon verkar i ett område där människor normalt befinner sig räcker det inte med att ha ett system som kan identifiera att det finns en människa i bild. Detta skulle leda till allt för många stopp. Därför föll valet av kamera på en stereokamera. Skillnaden mot en vanlig kamera är att denna kamera har två linser som jobbar tillsammans. Dessa linser sitter på ett avstånd i sidled vilket gör att kameran dels ger en vanlig bild av vad den ser men kan också placera varje pixel i ett tredimensionellt punktmoln vilket gör att det går att placera vart enskilda bildpixlar befinner sig i rummet.

Att valet föll på just den här kameran baseras på tidigare positiva erfarenheter av den här kameran samt att tillverkaren tillhandahåller en ROS-nod för kameran.

Mikroprocessor och Reläkort (3)

Systemet är utrustat med ett reläkort som kan slå av och på strömmen till olika funktioner på fordonet. Då datorns hårdvarututgångar inte kan driva så stora laster som

mekaniska reläer sattes en mikroprocessor in som kommunicerar med datorn via usb och slår av och på reläer utifrån den signal som datorn ger. Tanken med funktionen är att kunna styra olika varningstutor och eventuellt i sista hand bryta strömmen till motorn för ett hårt nödstopp av maskinen.

Materiell och metoder

Du kan använda underrubriker för olika delar av projektet (till exempel laborarieexperiment, fältförsök)

Personigenkänning

Personigenkänningssystemet baseras på ROS (Robot Operating System) som är ett linuxbaserat open source-system för robotsyrning.

Systemet består av ett par noder som kommunicerar med varandra. De noder som tagits fram i projektet har alla skrivits i programspråket Python.

Systemet är gjort för att köras utan skärm och systemet startar automatiskt när datorn får ström. Vid uppstart läses en konfigurationsfil där följande parametrar kan ställas in:

- **led_output** - Sätts till true om systemet ska kommunicera ut sin status på lysdioder kopplade till datorns hårdvaruutgångar
- **distance1, 2, 3** - Sätter de tre avståndsnivåerna som systemet ska reagera på.
- **confidence** - tröskelvärde för hur säker algoritmen ska vara på att ett objekt är en mänsklig.
- **robot_ip, udp_port** - Kommunikationsadress och port för robotens styrsystem via Ethernet.

Utöver att slå av och på reläer beroende på vilket område den närmsta personen befinner sig kommuniceras avståndsnivån ut till robotens styrsystem via UDP. Detta så att även robotens styrsystem vet om att det finns människor i riskområdet. Funktionen kan kort beskrivas så att när ett eller flera objekt i bilden identifieras som personer slås ett relä för den avståndsnivån till. Systemet skickar även ut avståndsnivån via UDP så att signalen kan tas in i robotens styrsystem.

ROS

På Örebro universitet har två amanuenser arbetat med att integrera styrningssystemet Rise-sdvp med den mer allmänna robotplattformen ROS (Robot Operating System, <http://www.ros.org>), med support från bland andra Ri.se.

ROS är uppbyggt av moduler som kan 1) ta in sensorinformation, 2) styra fysiska eller elektroniska komponenter eller 3) behandla information eller en kombination av dessa tre funktioner. Generellt gäller filosofin KISS (Keep It Simple), så att en modul ska göra en sak bra, men bara den saken. Mellan modulerna sker kommunikation bland annat genom s k topics. En modul kan publicera meddelanden på en topic eller bevaka inkommande meddelanden. Det finns även hjälpsystem som kan användas för att planera och styra rörelser för avancerade fysiska moduler, som robotarmar med flera leder.

Den befintliga styrsystemskoden modifierades, tillsammans med utvecklarskompetens från Ri.se, så att nuvarande position, beräknat från signaler från GNSS-RTK och accelerometrar, kan behandlas i ROS-systemet. En nod i ROS läser in informationen från styrsystemet och publicerar positionsmeddelanden så att andra noder kan använda denna information, exempelvis för att korrelera bränsleåtgång, kraft som behövs för bearbetning eller foton av växtlighet med positions- och tidssignalerna.

Styrning

För att styra fordonet används en hydraulik. Denna har till skillnad från de elektriska enheter som kodbasen tidigare använts till ett icke-linjärt beteende. Detta innebär att inom ett relativt brett intervall kommer förändrade styrparametrar inte att innebära en mycket lite förändrad position för hydrauliken. För att hantera detta lades ett "dödband" in i koden så att denna enbart returnerar värden. I övrigt bevarades den existerande styralgorithmen, men med ändrade värden för relevanta variabler kopplade till fordonets geometri och dess PID-algoritmen

En algoritm (funktion "fillConvexPolygonWithZigZag") har utvecklats som returnerar körbara rutter för konvexa polygoner. Algoritmen kan anpassas för olika redskapsbredder och olika körmönster. Alternativen gör det möjligt att [om fordonet efter att ha vänt på vändtegen ska ta "nästa" rad (förskjuten en redskapsbredd från föregående rad) tillbaka eller hoppa över ett fixt antal rader/redskapsbredder för att få en större vändradie. Det finns även möjlighet att använda tredjeparts-program för att producera XML-filer som programmet kan läsa. Denna fil består av ett antal noder (motsvarande punkter/positioner på en karta) som har information om X- och Y-position relativt basstation, eftersträvd körhastighet och satta attribut för redskapsstyrning. Under projektets gång har kod producerats både i javascript (för användning i webbläsare) och i matlab för att framställa banor.

Koden för att hantera anslutning mellan laptop och fordon har gjorts om för att använda "wireguard". Wireguard är ett kommunikationsprotokoll för att skapa virtuella privata nätverk. Detta har bidragit till drastiskt minskad tid att sätta upp systemet och förbättrad tillförlitlighet.

Utvärdering:

För att underlätta utvärdering har position på fält och knapptryckningar på den laptop som styr fordonet loggats.

Som beskrivits ovan kan programvaran leverera körbanor som är relativt flexibla. För utvärderingar kan det dock vara fördelaktigt med väldefinierade banor. Det finns ett antal sätt att mäta hur rakt ett fordon kör i litteraturen. I samtliga fall är utgångspunkten att fordonet ska täcka ett rektangulärt block som avgränsas med vändtegar på bägge sidor. Mellan att fordonet lämnar den ena vändtegen och att den när den andra vändtegen förväntas fordonet köra längs ett (imaginärt) rakt sträck. Kvaliteten på körningen har utvärderats med avseende på följande parametrar:

- Absolut medelavstånd till tänkt rak linje över fältet
- Ökning av körväg = (Faktiskt körd sträcka – Fågelvägen) / Fågelvägen

- RMS-värde av körvinkel –Vid en helt rak körning över fältet kommer fordonets vinkel i kartesiska koordinater vara samma hela tiden, men om rutten avviker kommer RMS-värdet att ge ett mått på “bruset”. En nackdel är att dessa är mer känsliga för hur ofta och med vilken precision som de olika mätpunkterna togs, d.v.s. bruset kan komma från både traktorns faktiska och från mätfel i mätning av traktorns position.

Styralgoritmer innehåller ett antal värden som kan varieras och anpassas efter tillämpning, bl.a. en vanlig PID-algoritm. Dessa har justerats för att uppnå bästa värden. Mjukvaran har anpassats för att göra dessa variationer så enkla som möjligt för att underlätta för detta och kommande projekt.

Appen “NetAnalyzer” användes för att utvärdera nätsituationen på testbädden där körningarna utfördes. Denna kan ta fram data på bandbredd på egen uppkoppling nät, latens, signalstyrka på wifi nätverk m.m.

Ekonomi

För att bedöma den samhällsekonomiska nyttan av en batteridrivna lantbruksmaskin har underlag från Lagnelöv et al (2021a och 2021b) använts. Lagnelöv et al 2021a analyserar kostnader och intäkter från att driva ett jordbruk med antingen en maskin framdriven av en förbränningsmotor samt styrd av en operatör eller en autonom batteridrivna maskin. Lagnelöv 2021b analyseras de externa effekter av de två olika teknikerna ur ett livscykelperspektiv. Här används metodik från nederländska institutet för folkhälsa och miljö, och då i synnerhet framtagandet av tre kategorier; bedömning av hälsoeffekter i ”funktionsjusterade levnadsår” (DALY), ytterligare kostnad av naturresursuttag samt miljöbelastning (RIVM, 2016). Dessa tre kategorier används för viktning av t ex olika projektförslag, i fallet Lagnelöv et al (2021b) en jämförelse mellan ett autonomt el- och batteridrivna fordon jämfört med ett drivet på förbränningsmotor.

För att kunna bedöma kostnader och nyttor över dess livslängd används en social diskonteringsränta på 3 procent över en projekttid på 20 år (Boardman et al, 2011).

Antaganden om kostnader i Lagnelöv et al (2021a) utgår ifrån ett jordbruk brukar 200 hektar åkermark med olika grödor som kräver fältarbete av olika slag åtta gånger per år. Jordbruket antas ha intäkter på motsvarande ca 125 000 € oavsett vilken maskin som arbetar i fält.

En traktor med förbränningsmotor (**ICE**) beräknas ha en motorkraft på ca 250 kW och i det här scenariot saknar autonom styrning och behöver ha en förare heltid som sköter maskinen. En traktor tar i snitt 20 minuter per hektar, medan det autonoma fordonet tar ca en timme. Detta för att få en skattning av lönekostnad, då en maskinförare förväntas jobba heltid med sin maskin i åtta timmar/dygn, medan en robot kan gå på fältet i 24 timmar/dygn. För en traktor med förbränningsmotor på 250 kW krävs investering första året om ca 190 000 € som antas behöva bytas ut det 15:e året. Den förväntade löpande kostnaden av arbetskraft och ev. underhåll är ca 17 300 € per år, där den absoluta merparten är lönekostnaden. Den autonoma batteridrivna lantbruksmaskinen (**BEV**) har

en motorkraft på ca 50 kW. Därför antas det att det autonoma fordonet tar desto längre tid på sig att bearbeta marken. Det autonoma systemet kräver olika grader av översyn från en operatör. Det antas att ungefär 20 procent av tiden som en det autonoma fordonet är i fält behöver den övervakas av en operatör. Samt ca 30 procent av tiden som den transporteras via väg och 10 procent av tiden som den laddas vid en laddningsstation.

För ett autonomt fordon antas det att den behöver ett nytt batteri ca vart tredje år till en kostnad av 2920 €. Det beräknas att fordonet samt dess autonoma styrning behöver bytas ut efter 15 år till en kostnad av 56 000 €. Det antas att en ny laddningsstation behövs införskaffas det 20:e året, till en kostnad av 60 000 €. Alla dessa investeringskostnader vid det första året. Den förväntade löpande kostnaden av arbetskraft och ev. underhåll är ca 11 500 € per år.

För en samhällsekonomisk analys används skattningen av ytterligare resursuttag och kostnad för en DALY för att bygga och använda en maskin mät per hektar och per år. För resursuttag finns redan skattningar i Lagnelöv et al (2021b). Definitionen av en DALY är samlade måttet av antingen levnadsår av sjukdom eller funktionsnedsättning eller förtida död. En DALY beskriver ett år av hälsosamt leverne förlorat. I det här fallet skattas DALY utifrån olika utsläpp till miljön i tillverkning och drift som kan få följder för människors hälsa. En DALY skattas, genom att applicera ett värde för "cost of burden of disease". För välutvecklade länder, såsom dem i norra Europa, skattas kostnaden för en DALY vara ca 69 000 € (Daroudi et al, 2021). Miljöbelastning har också en inverkan mät i antal arter per hektar och år. Lagnelöv (2021b) konstaterar att ett autonomt batteridrivet fordon antas ha en mindre påverkan på biodiversitet än en traktor som drivs med förbränningsmotor. Men eftersom att det är inneboende svårt att ekonomiskt skatta biodiversitet i den breda bemärkelsen, kan inte kostnader beräknas och således uteblir biodiversitet ur analysen.

Resultat och diskussion

Du kan använda underrubriker för olika delar av projektet (till exempel laboratorieexperiment, fältförsök). Variation kring medelvärden (till exempel SE, SEM) och resultat från statistiska analyser ska anges i figur eller tabell om tillämpligt.

Personigenkänning

Kameran har en maxgräns för persondetektering på 20 meter men det finns många faktorer som påverkar systemets tillförlitlighet. Exempelvis starkt solljus och vattendroppar på linsen. Vid praktiska tester av systemet har det visat sig vara svårt att få en tillförlitlig avståndsbedömning på avstånd större än 10 m. Vid 5 m presterar systemet väldigt bra förutsatt att inte yttre faktorer påverkar systemet. En tänkbar lösning för att få in personer på större avstånd än 10-20 m är att komplettera systemet med att bara detektera om en människa finns i kamerans blickfång utan att försöka bestämma avståndet till personen.

ROS

En proof-of-concept-applikation som kan styra en reläutgång baserat på position togs fram. Ett område definieras av en polygon utifrån inmatade koordinater, och reläutgången aktiveras om fordonets position befinner sig inom polygonen. Detta kan

användas för att styra ett verktyg baserat på position, för att exempelvis starta eller stoppa ett verktyg så fort fordonet kommer in eller lämnar odlingsfältet, starta en inspelning från andra sensorer eller kontrollera frö- eller gödselgivan baserat på var inom området fordonet befinner sig. Exempelapplikationen testades under fältförsök på SLU/Ultuna.

En ROS-modul för styrning av såddaggregat har också utvecklats. Modulen kan styra aggregatet antingen stegvis så att en enda frögiva kan levereras, eller kontinuerligt med varierbar hastighet så att en fördefinierad mängd frö levereras per längdenhet. Tillsammans med positionsangivelsen från styrsystemet ger detta en mångsidig möjlighet att finkornigt styra planttäthet eller tillsats av exempelvis mineraler beroende på jordmånsanalyser eller bilder från drönare.

Kod från denna delen finns tillgänglig på: <https://git-e.oru.se/humamh151/RISE>.

Styrning & utvärdering

Efter praktiska tester lades en anpassningsmöjlighet för höjning/sänkningen in för att ta hänsyn till den tid det tar att höja/sänka ett redskap (d.v.s. jämfört med en tänkt rakt linje som avgränsar vändtegen så bör redskapet höjas före fordonet når linjen så att redskapet är i luften när fordonet är på vändtegen [och kommer att utföra en eller ett antal svängningar], på motsvarande sätt bör redskapet börja sänkas innan det kommer ut ur vändtegen så att det når marken så snart det lämnat vändtegen).

Ibland uppstår kommunikationsproblem när videoströmning är påslagen, vilket antyder att bandbreddssituationen i detta fall är problematisk. Detta har dock inte kunnat korreleras till några data tagen från NetAnalyzer Pro.

Under körningar sommartid visade det sig att utrustning potentiellt kan uppnå temperaturer som gör att elektronik upphör att fungera alternativt inte fungerar optimalt / med maximal kapacitet. Detta var fallet med en ursprunglig routerplacering under en glaskåpa. Varma sommar dagar (närmare 30 °C) bidrog detta till frekventa stopp, till skillnad från körningar vid lägre temperatur. Det gällde även den dator (Raspberry Pi) som fungerar som styrenhet för fordonet. Dess temperatur studerades vid en körning med värmekamera, vilken visade en temperatur på 57-60 °C. Detta för en värmemässigt relativt skyddad position (under fordonets "golv" och därigenom skyddad från direkt belysning, även på relativt gott avstånd [över 50 cm, med många andra enheter emellan] från förbränningsmotorn. Baserat på ovanstående erfarenheter är det viktigt var elektroniken är placerad. Inga direkt problem kopplade till vibrationer observerades (annat än när komponenter inte visat sig vara korrekt fastsatta).

För de variabler som listas i metoddelen så var snittavståndet till tänkt rakt linje 1-5 cm, kvoten extra körsträck/fågelvägen upp till $10 \cdot 10^{-3}$ och rms av vinkeln ungefär 0,1. Jämfört med tidigare tester utförda på traktor med både förare och GPS-styrning är värdet för snittavståndet till en tänkt linje lägre än för GPS-styrningen, medan kvoten

för extra körsträck och rms av vinkeln är högre. Detta antyder att fordonet kör nära satt linje, men den en viss "ryckighet" i körningen.

Värdena ovan är baserat på data från fordonets GPS. Denna innehåller i sig ett mätosäkerhet. I figuren nedan visas två foton på fall där > 10 körningar under olika dagar genomförts med samma satta bana (bilden till höger visar tester på gräsbevuxen mark under 2020 och bilden till höger tester på barmark under 2021). En video finns tillgänglig på <https://www.youtube.com/watch?v=QXocugd6DT0>.



Fortsatt utvärdering kommer att ske i mer utmanande miljöer som motionsbanor och cykelbanor (projekt "Barmark III") under våren 2022.

Systemet är kapabelt att styra flera fordon samtidigt (däremot är gränssnittet än så länge inte väl anpassat för detta). Vid en kortare test kördes både projektfordonet ("MacTrac") och ett mindre fordon utrustat med samma mjukvara ("Drängen") framgångsrikt från programmet. Elektroniskt stängsel har installerats och utvärderats att det fungerar (kör innanför stängslet, stannar så fort fordonets GPS-position är utanför).

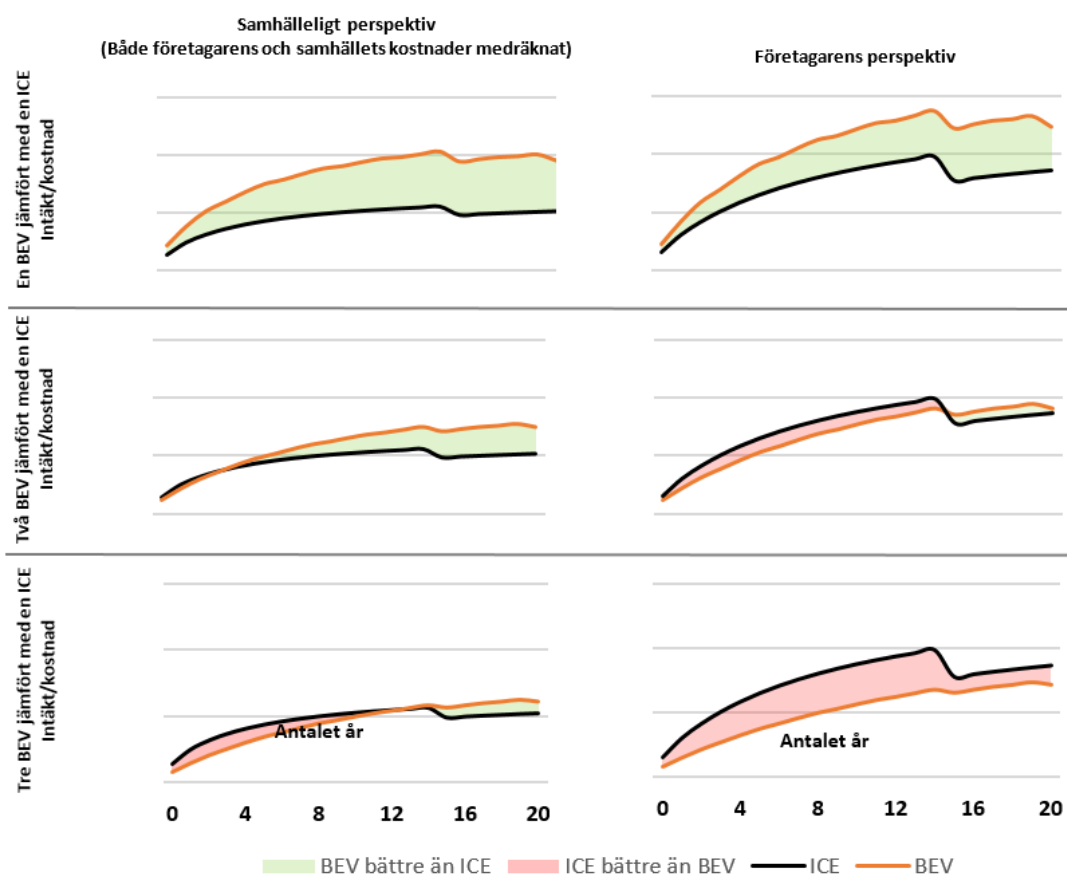
Koden finns tillgänglig https://github.com/RISE-Dependable-Transport-Systems/rise_sdvp samt även klonad på https://github.com/GunnarLarssonSLU/rise_sdvp med en del testspecifika ändringar.

Ekonomi

För båda typer av maskiner innebär det en diskonterad ackumulerad intäkt på ca 1,9 miljoner € över en 20 års period. Kostnaden för att bedriva ett jordbruk med en autonom batteridrivna lantbruksmaskin (**BEV**) förväntas kosta ca 380 000 € med investeringar

och löpande kostnader, och ur ett livscykelperspektiv åsamka samhället skador motsvarande 110 000 €. Alla kostnader är ackumulerade och diskonterade. En traktor med förbränningsmotor (**ICE**) förväntas kosta ca 540 000 € ackumulerat för en 20 års period med investeringar och löpande kostnader, och ur ett livscykelperspektiv åsamka samhället skador motsvarande 360 000 €.

Ur ett företagsperspektiv förväntas en BEV ge avkastning på investering motsvarande 5 € medan en ICE förväntas ge en avkastning motsvarande knappt 4 €. Ur ett samhällsperspektiv där skador på samhället räknas med i kostnader, blir avkastningen för BEV 4 € och för ICE 2 €. I figuren bedöms dessa genom att se på det 20:e året.



Hur många BEV är det värt att investera i jämfört med en traktor, sett ur företagets perspektiv och ur samhällets perspektiv? Figuren ovan illustrerar detta. Två BEV skulle innebära att kostnaden för företagaren under större delen av 20 års perioden vara en förlust jämfört med en ICE. Break-even jämfört med ICE nås då maskinerna byts ut efter 15 år. Tre BEV når aldrig samma lönsamhet som en ICE. Ur samhällets perspektiv är alltid en investering i BEV att föredra i jämförelse med en ICE.

Denna analys tar dock ingen hänsyn till att det kan vara samma förare på alla autonoma fordon, oavsett om det är ett fordon eller tre stycken fordon. Analysen tar enbart hänsyn till lönekostnaden för en person eller procent av en persons uppmärksamhet som krävs på fordonen under en t ex timmes arbete.

Slutsatser

- Personigenkänningssystemet baserat på en stereokamera och objektidentifiering baserat på öppet tillgängligt tränat nätverk fungerar bra för att detektera om människor befinner sig i maskinens direkta närhet. Tillförlitligheten på korta avstånd är mycket god förutsatt att yttre faktorer så som smuts och direkt solljus in i kameran inte påverkar systemet.
- Ett batteridrivet fordon och med den miljöpåverkan som Lagnelöv et al presenterar (2021a och 2021b), innebär att upp till två batteridrivna autonoma är lönsamt ur företagarens perspektiv. Upp till tre fordon är fortfarande en lönsam investering om externa kostnader för samhället tas med. I det här fallet kostnaden av ytterligare mineralbrytning för att framställa fordonen, och livscykelperspektivet på hur fordonen påverkar människors hälsa med hjälp av "Funktionsjusterade levnadsår" (DALY).

Nytta för näringen och rekommendationer

Om så är fallet, beskriv fortsättning av projektet eller vad som behövs för att tillämpa resultaten.

- Öppen programvara underlättar snabb utveckling och spridning av mjukvara som kan utnyttjas av andra aktörer. Under projektet har den utöver på det fordon som huvudsakligen använts ("MacTrac", liten traktor med midjestyrning) även testat på ett till sin fysiska uppbyggnad radikalt annorlunda fordon ("Drängen" mindre plattform). I andra projekt tillämpas den på en stor redskapsbärare ("Drevern") samt på en liten fodermaskin för inomhusbruk. Den tid som krävs för att genomföra de fysiska förändringar som krävs (för forskningsprojekt) är kort, omkring tre dagar för Drängen och två veckor för MacTracen. Detta gör det enkelt att tillämpa programvaran på andra fordon. Därutöver sker en utveckling av programvaran av RISE i syfte att göra den mer modulerbar och att begränsa den hårdvara som krävs för styrningen till komponenter som är lättillgängliga och produceras i stora volymer.
- Nära kontakt med tillverkare (av autonoma fordon) underlättar denna spridning. Deltagare i projektgruppen har återkommande kontakt med andra aktörer inom den spirande autonoma jordbruksfordonssektorn i Sverige, såsom Ekobot, Tegbot, Agrodroids, Texactor)
- Utrustningen som använts under projektet kommer i närtid (våren 2022) att utvärderas inom området som är vanliga för jordbrukstraktorer, som snöskottning av cykelbana (projekt "Barmark III").
- Körningarna har visat att det är möjligt att uppnå som är repeterbar med milimeterprecision med den existerande konfigurationen. En såpass hög precision underlättar mycket jordbruksarbete då det framförallt ställer krav på hög repeterbarhet (när en frö såts på en viss plats ska övriga operation utföras

relativt denna för att säkerställa att t.ex. växten från god tillgång på gödning, men inte tas för ett ogräs vid ogräsbekämpning).

Referenser

Referenser som är citerade i rapporten inklusive referenser till tidigare stiftelsefinansierade projekt.

Boardman, A.E., Greenberg, D.H., Vining, A.R. & Weimar, D.L. (2011). Cost-benefit analysis : concepts and practice . 4. ed. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.

Daroudi, R., Akbari Sari, A., Nahvijou, A. & Faramarzi, A. (2021). Cost per DALY averted in low, middle- and high-income countries: evidence from the global burden of disease study to estimate the cost-effectiveness thresholds. Cost effectiveness and resource allocation, 19 (1), 7–7. <https://doi.org/10.1186/s12962-021-00260-0>

Lagnelöv, O., Dhillon, S., Larsson, G., Nilsson, D., Larsolle, A. & Hansson, P.-A. (2021a). Cost analysis of autonomous battery electric field tractors in agriculture. Biosystems engineering, 204, 358–376.

<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.02.005>

Lagnelöv, O., Larsson, G., Larsolle, A. & Hansson, P.-A. (2021b). Life Cycle Assessment of Autonomous Electric Field Tractors in Swedish Agriculture. Sustainability (Basel, Switzerland), 13 (20), 11285–.

<https://doi.org/10.3390/su132011285>

RIVM - National Institute for Public Health and the Environment. (2016). ReCiPe 2016 v1.1—Report I: Characterization; Ministry of Health, Welfare and Sport: Bilthoven, The Netherlands

https://pre-sustainability.com/legacy/download/Report_ReCiPe_2017.pdf

WHO – World Health Organisation. (2013). WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2011. Global Health Estimates Technical Paper WHO/HIS/HSI/GHE/2013.4

https://www.who.int/healthinfo/statistics/GlobalDALYmethods_2000_2011.pdf

Del 3: Resultatförmedling

Ange resultatförmedling av projektet, inklusive titel, referens, datum, författare/talare, och länk till presentation eller publikation om tillämpligt. Planerade publiceringar (med preliminära titlar) ska ingå i tabellen. Ytterligare rader kan läggas till i tabellen.

Vetenskapliga publiceringar	Planerat artikel
Övriga publiceringar	Medialt har resulterat i tidningartikel 9 november 2021: https://www.atl.nu/atl-tv-har-kor-minitraktorn-utan-forare
	Styrning: Den förekommer även i ett antal kloner. Förutom https://github.com/RISE-Dependable-Transport-Systems/rise_sdvp finns den även klonad på https://github.com/GunnarLarssonSLU/rise_sdvp med en del testspecifika ändringar.
	ROS: https://git-e.oru.se/humamh151
Muntlig kommunikation	Vid kurserna “Fossilfritt bränsle” (17 juni 2020) och “fossilfritt lantbruk” (25 november 2021) arrangerade av hushållningssällskapet som en del av grön ..
	Vid partnerskapsmöte arrangerat av Västmanlands län 19 november 2020.
Studentarbete	
Övrigt	Demonstration vid Hushållningssällskapetets maskindemodag i Uddetorp 23 september 2021. Detta arrangemang var riktat mot ny och etablerade trädgårds- och grönsaksodlare.

	Youth Institute 24 september 2020 Detta arrangemang var riktat mot gymnasieelever vid Uppsalas högstudier (som SLU försöker rekrytera som studenter). Demonstration för stiftelsen lantbruksforskning 19 november 2021. En demonstration för agronomstudenter vid SLU i Uppsala är planerad till januari 2022.