



Automatisch onkruid bestrijden in de gewasrij

Rapport PPL Fase4C-II:
Doorontwikkelen van hardware en software

Jochen Hemming, Ard Nieuwenhuizen & Lauwrens Struik





Automatisch onkruid bestrijden in de rij

Eindrapport PPL Fase4C-II:
Doorontwikkelen van hardware en software

Jochen Hemming¹, Ard Nieuwenhuizen¹ & Lauwrens Struik²

1: Wageningen UR

2: Machinefabriek Steketee BV

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Agrosysteemkunde
December 2012

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Plant Research International, Business Unit Agrosysteemkunde.

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.



PPL-Project: Automatisch onkruid bestrijden in de rij fase 4C-II (86), Verplichting 1400008843
Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Projectnummer PRI: 3310390405

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Agrosysteemkunde

Adres : Postbus 16, 6700 AP Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : 0317 – 48 05 82
Fax : 0317 – 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
1. Inleiding	1
2. Activiteit 1: Aanpassen en testen User Interface	3
3. Activiteit 2: Aanpassen communicatie microcontroller	5
4. Activiteit 3: Implementatie remote service	6
5. Activiteit 4: Verbeteren beeldanalyse algoritmes	8
6. Activiteit 5: Hoogteregeling machine	11
7. Conclusies en vervolgstappen	13

1. Inleiding

Dit rapport bevat de voortgang, resultaten en conclusies van project “Automatisch onkruid bestrijden in de rij fase 4C-II (86), Verplichting 1400008843” dat Wageningen UR in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie heeft uitgevoerd. Het project draagt bij aan de verdere ontwikkeling en realisatie van een onkruidschoffelmachine voor het mechanisch bestrijden van onkruid in de rij. Deze machine wordt sinds 2008 in nauwe samenwerking met Steketee Machinefabriek door Wageningen UR ontwikkeld.

Het project richt zich in deze fase op het verbeteren en verkoopbaar maken van de schoffelmachine. Steketee heeft een prototype intrarijwiedmachine ontwikkeld (zie Figuur 1) die nu aangepast wordt voor marktintroductie. Daarbij zijn verschillende noodzakelijke verbeterpunten aan het licht gekomen die moeten worden opgelost voordat de machine beschikbaar komt voor de praktijk. Het is gebleken dat serviceverlening op afstand, betrouwbaar werken bij hogere rij snelheden en aanpassingen in het user interface noodzakelijk zijn om tot een 0-serie te komen. Hieronder staan de 5 activiteiten uitgelegd die beoogd zijn om de verbeterpunten aan de machine te realiseren.



Figuur 1: Prototype 2012 van de IC-Cultivator

De eerste activiteit behelst aanpassingen aan het gebruikersinterface. De user interface aanpassen in de high-level software voor gemakkelijk gebruik door eindgebruiker. Steketee geeft het user interface zelf vorm, maar de koppeling van het user interface met de achterliggende software moet gemaakt worden door Wageningen UR om de functionaliteit beschikbaar te maken. Hier hoort ook het debuggen en het testen van de user interface bij.

De tweede activiteit gaat om het aanpassen van de communicatie naar de laag niveau microcontroller. De microcontroller op de intrarijwiedmachine moet aangepast worden omdat deze niet snel genoeg kan communiceren met de hoog niveau beeldverwerking. Steketee zorgt voor een nieuwe microcontroller en het werkend maken van de code daarin. De hoogniveau software moet worden aangepast zodat met de nieuwe verbeterde microcontroller samengewerkt kan worden. Concreet is dit het aanpassen van de communicatie tussen CAN controllers en Windows services.

Als derde onderdeel wordt gewerkt aan remote toegang tot de machine. Voor Steketee en haar klanten is bij een high-tech machine goede service noodzakelijk. Daarom wordt een 3G-remote service verbinding aangelegd op de

machine zodat van afstand met de eindgebruiker kan worden meegekeken bij het oplossen van problemen en het maken van instellingen.

Vierde activiteit is dat aanpassingen aan het onkruidherkenningsalgoritme nodig zijn. Tijdens veldtesten in 2011 is gebleken dat het soms lastig is de machine in te stellen bij grote onkruiden. In de software komt een filter functie om ruis en onkruiden te filteren zodat beter om de gewasplanten heen geschoffeld kan worden.

Het vijfde en laatste onderdeel van het project gaat om de hoogteregeling van de machine. De hoogteregeling welke door Steketee in de nieuwe microcontroller ingebouwd wordt, moet ook in de hoogniveau beeldverwerkingssoftware beschikbaar worden gemaakt zodat er op de veranderingen van hoogte kan worden ingespeeld bij het aansturen van de actuator.

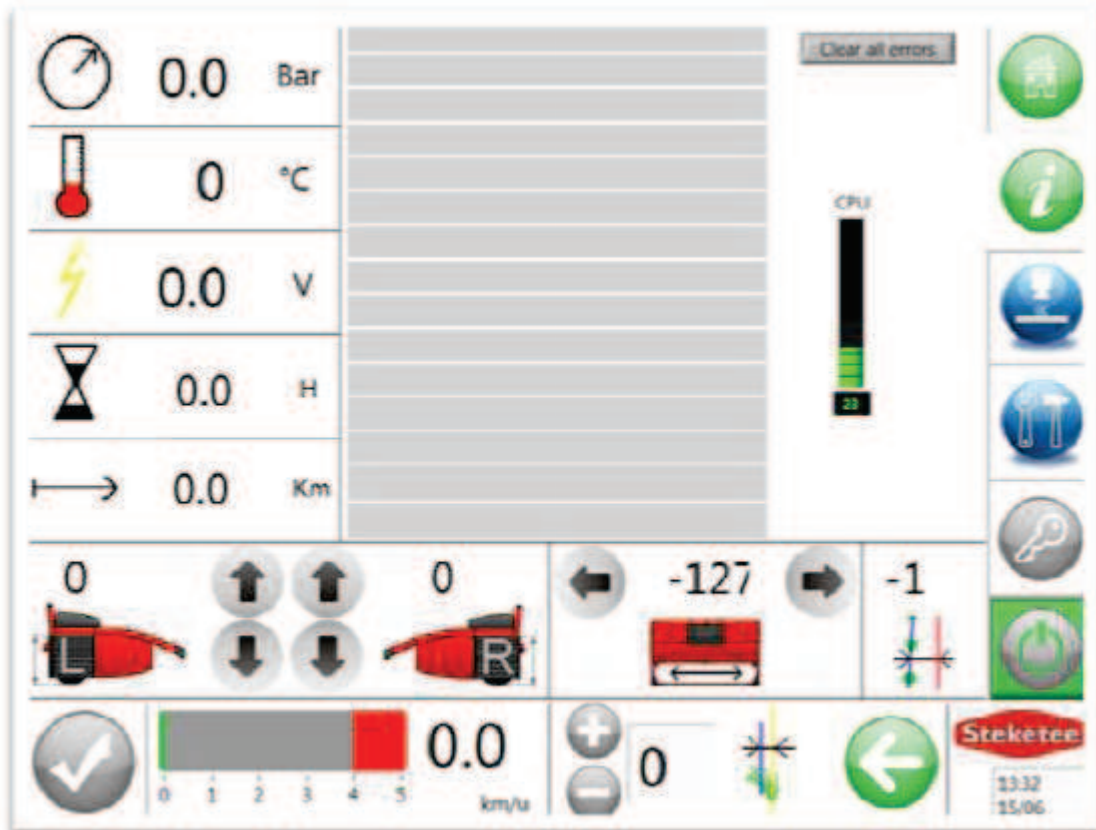
2. Activiteit 1: Aanpassen en testen User Interface

In 2012 is het user interface van de besturing van de intrarijwiedmachine aangepast in vormgeving en voor gemakkelijk gebruik door eindgebruiker. Steketee heeft de grafische elementen van het user interface zelf vorm gegeven. Op het eerste gezicht is nu niet meer zichtbaar, dat de high-level software op Labview gebaseerd is – alle buttons zijn specifiek voor deze machine ontworpen. De nieuwe versie is makkelijk via een touch-screen te bedienen. Relevante statusinformatie zoals actuele rijnsnelheid, afgelegde afstand, luchtdruk, spanningsniveau en mogelijke foutmeldingen zijn in een oogopslag zichtbaar. Het service-menu is door een wachtwoord beveiligd. De koppeling van het user interface met de achterliggende software is door Wageningen UR gerealiseerd en getest. Figuur 2 tot Figuur 4 tonen screenshots van het nieuwe interface.



Figuur 2: Hoofdscherm van het nieuwe user interface

In Figuur 2 is het hoofdscherm van de applicatie getoond waarin de kleurenbeelden van de machine zichtbaar zijn. Geschakeld kan worden tussen weergave van het actuator signaal en alleen weergave van het opgenomen beeld. Instellingen voor het detecteren van onkruiden worden gemaakt in andere tabbladen. Op het hoofdscherm wordt de rijnsnelheid weergegeven en de toestand van de machine mbt. Werking schoffelelementen en de sideshift positie. Figuur 3 laat de toestand van de machine in detail zien. Hier gaat het ook om de toestand van de machine tijdens het werk en ook als deze uit het werk is. In Figuur 4 kunnen de instellingen voor de herkenning van de onkruiden en gewasplanten gemaakt worden.



Figuur 3: Statusscherm van het user interface



Figuur 4: Configuratiescherm van het user interface

3. Activiteit 2: Aanpassen communicatie microcontroller

De bestaande microcontroller op de intrarijwiedmachine moest aangepast worden omdat deze niet snel genoeg kon communiceren met de hoog niveau beeldverwerking. Daarom is er in 2012 overgestapt naar een krachtigere en robuustere type microcontroller van het met merk EPEC 2024. Deze controller is een CANopen compatible ECU/PLC.



Figuur 5: EPEC control module (<http://www.epec.fi/>)

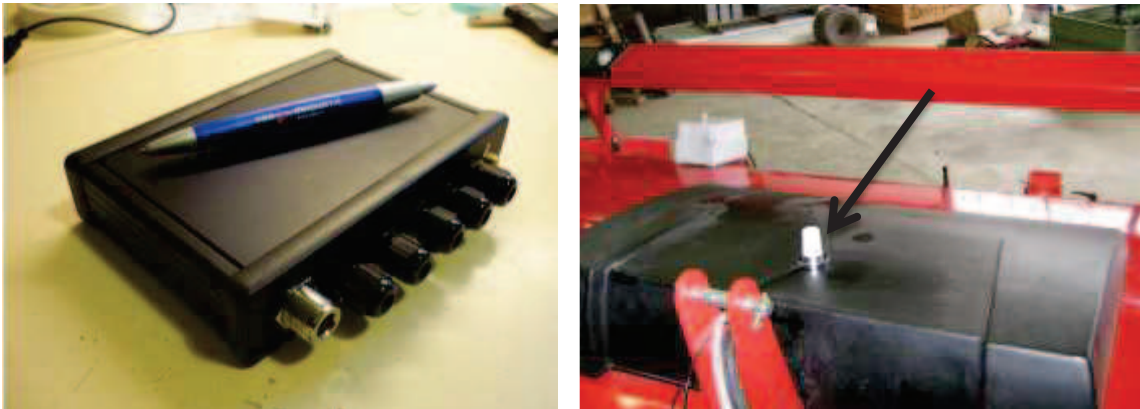
Hierdoor moest een softwarematig ingrijpende overstap van seriële communicatie naar CAN bus communicatie worden gerealiseerd. In nauwe samenwerking tussen Steketee, Wageningen UR en Bram Engineers (<http://www.bram-engineers.nl/>) zijn de benodigde CAN variabelen en communicatie instellingen en frequenties tussen microcontroller en PC uitgewerkt en zowel voor de low level EPEC (CoDeSys) alsook voor de high level Labview software geïmplementeerd. Vervolgens zijn deze modules uitgebreid getest in lab en veldtesten. De eerder opgemerkte problemen door ontbrekende of vertraagde berichten tussen PC en microcontroller zijn nu verholpen.

In het communicatieprotocol tussen microcontroller en PC zijn foutcontrolemechanismen opgenomen. Denk hierbij aan checksums die berekend worden over de berichten reeks voor aansturing van de schoffel. Als een checksum niet correspondeert, wordt de berichtenreeks opnieuw verstuurd en kan de schoffel toch correct aangestuurd worden. Tevens als een checksum niet correspondeert en correct bericht niet op tijd verstuurd kan worden, wordt de schoffel in een veilige stand geplaatst waardoor geen gewasschade hoeft op te treden. Dit is van groot belang voor een goede marktintroductie en acceptatie door de eindgebruiker.

Wat betreft snelheid is de beperkende factor in het gehele systeem nu de snelheid waarmee de camerabeelden kunnen worden geanalyseerd.

4. Activiteit 3: Implementatie remote service

Voor Steketee en haar klanten is bij een high-tech machine goede service noodzakelijk. Daarom is de mogelijkheid tot een remote service verbinding op de machine gerealiseerd. Hiermee kan van afstand met de eindgebruiker worden meegekeken bij het oplossen van problemen en het maken van instellingen. Er wordt gebruik gemaakt van de PROBOTIQ NaviBox (Figuur 6) die via USB met de PC verbonden is. In de NaviBox bevindt zich een 3G modem met SIM kaart waarmee een mobiele internetverbinding kan worden gerealiseerd. Via deze internet verbinding met de service LogMeln (www.logmein.com) de PC van de schoffel worden benaderd.



Figuur 6: PROBOTIQ NaviBox (links) en de externe GSM antenna op de machine (rechts)

De NaviBox heeft tevens een geïntegreerde dual CAN controller. Hierdoor kan de nu gebruikte USB CAN controller in toekomst vervallen. Een additionele COM-poort in de NaviBox kan worden gebruikt voor het binnenhalen van GPS posities i.c.m. een (rtkD) GPS modem. Hiermee is de machine voorbereid op het loggen van positie specifieke gegevens zoals plantdichtheid of onkruiddruk of rijsnelheid.

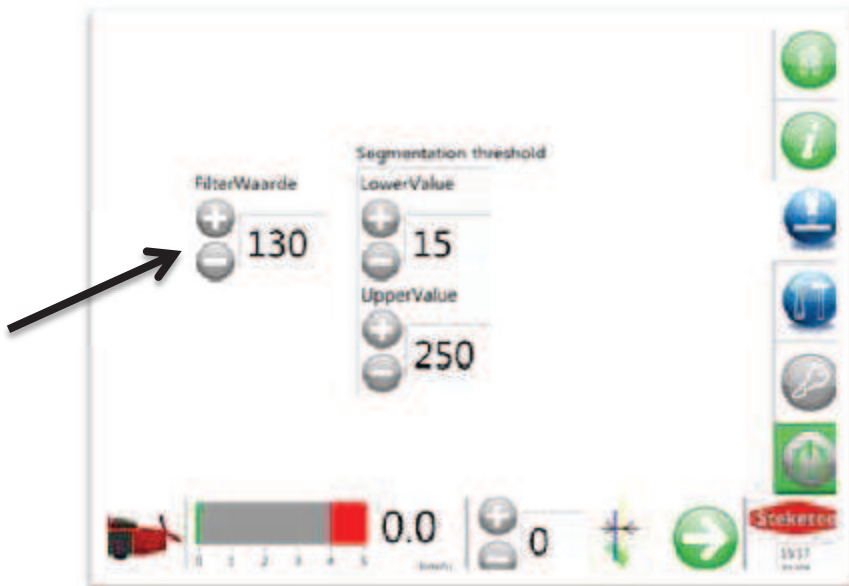


Figuur 7: DIGI wan 3G module voor remote toegang in de NAVIbox.

De werking van de remote service is in 2012 getest. Bij voldoende 3G netwerk dekking werkt de service naar behoren.

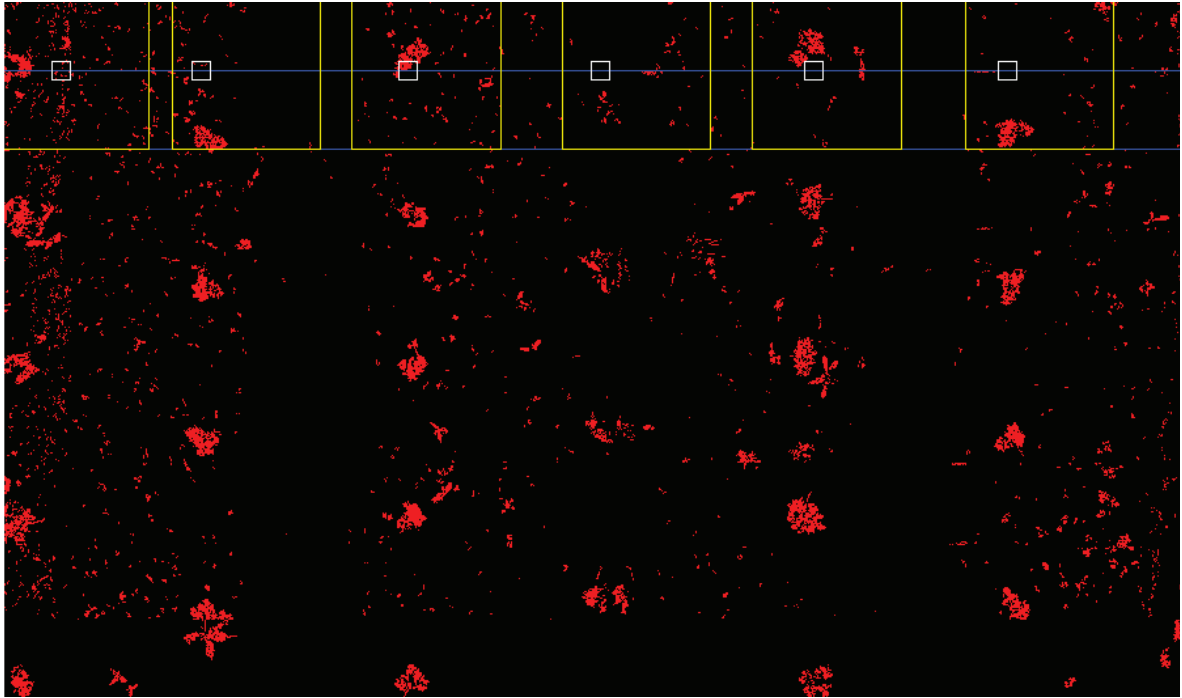
5. Activiteit 4: Verbeteren beeldanalyse algoritmes

Tijdens veldtesten in 2011 is gebleken dat het soms lastig is de machine in te stellen bij grote onkruiden. Dit was vooral het geval bij gelijktijdige hoge onkruiddruk door kleine onkruidjes. In de software is nu een filter functie toegevoegd om ruis en kleine onkruiden te filteren. Voordat de gebinariseerde beelden de verdere analyse door het FFT/inverse FFT algoritme doorlopen is een preprocessing stap toegevoegd. Met de NI_IMAQ functie "Particle Filter 2" kunnen objecten met een oppervlak kleiner dan een bepaalde drempelwaarde weggefilterd worden. De grote van deze parameter kan door de gebruiker in het nieuwe user interface ingesteld worden (Figuur 8) en wordt bij het afsluiten van het programma voor de volgende keer opgeslagen. Het effect van de filter wordt direct voor de gebruiker op het scherm zichtbaar gemaakt. Figuur 11 toont een voorbeeld van een binair beeld van een selderij gewas. De filterwaarde is in dit voorbeeld laag ingesteld (10 pixel). Figuur 12 toont dezelfde scene, maar dan met een filterwaarde van 130. Ruis door belichtingsproblemen en kleine onkruiden zijn hier niet meer zichtbaar. Deze voorbewerking zorgt ervoor, dat de verdere analyse opgeschoonde en robuustere data krijgt aangeleverd, waardoor het stuursignaal naar de schoffel verder verbeterd is.

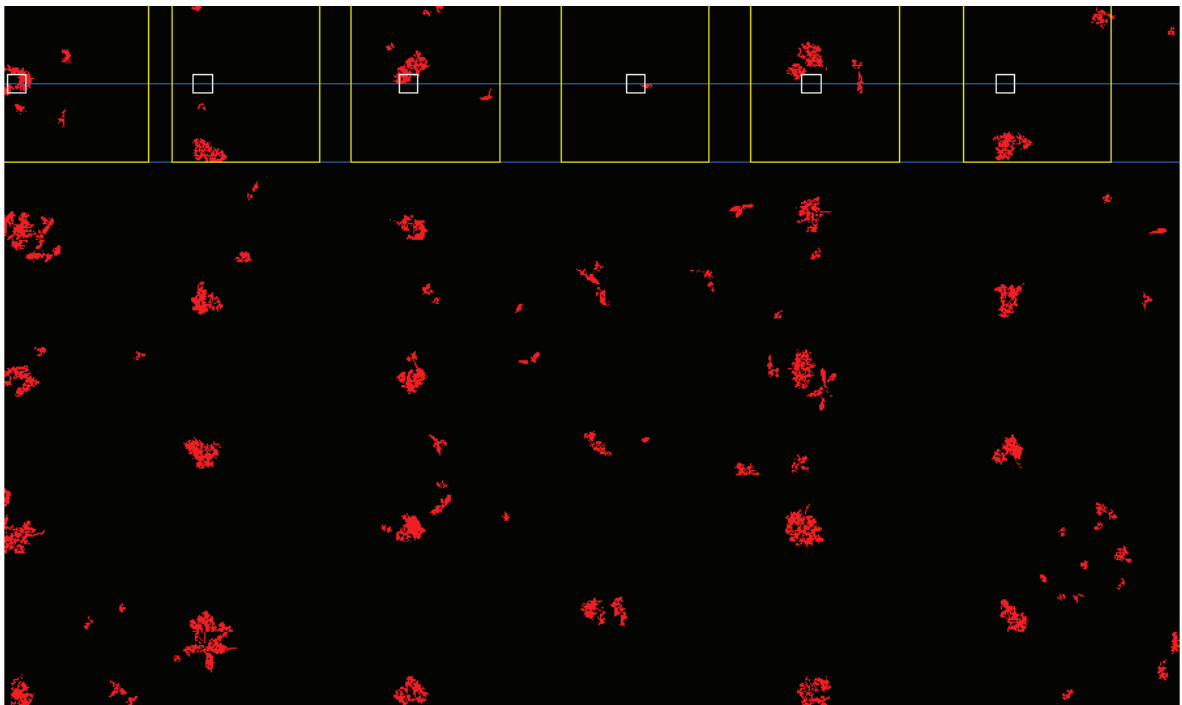


Figuur 8: GUI met mogelijkheid om de "filterwaarde" in te stellen.

In 2012 is met het nieuwe algoritme tijdens veldproeven test data verzameld en geanalyseerd.



Figuur 9: Binair beeld van een selderij gewas met onkruid, filterwaarde=10

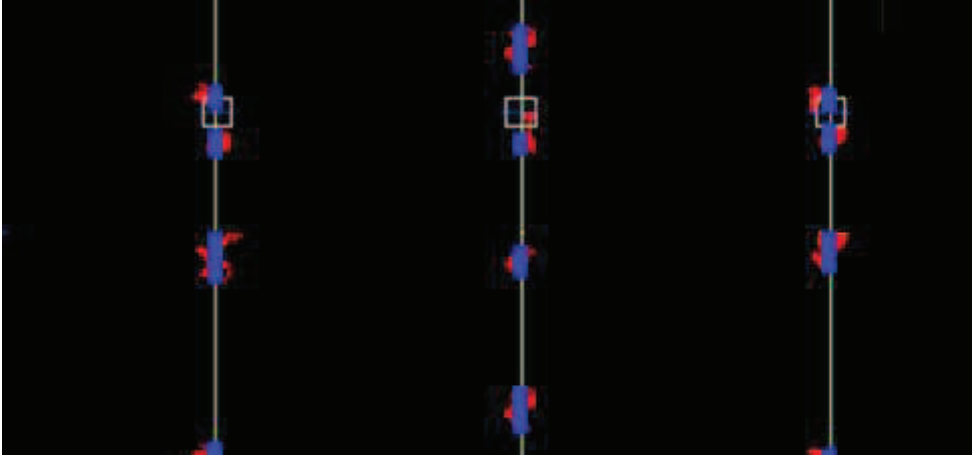


Figuur 10: Dezelfde scene dan in Figuur 9 maar dan met filterwaarde=130

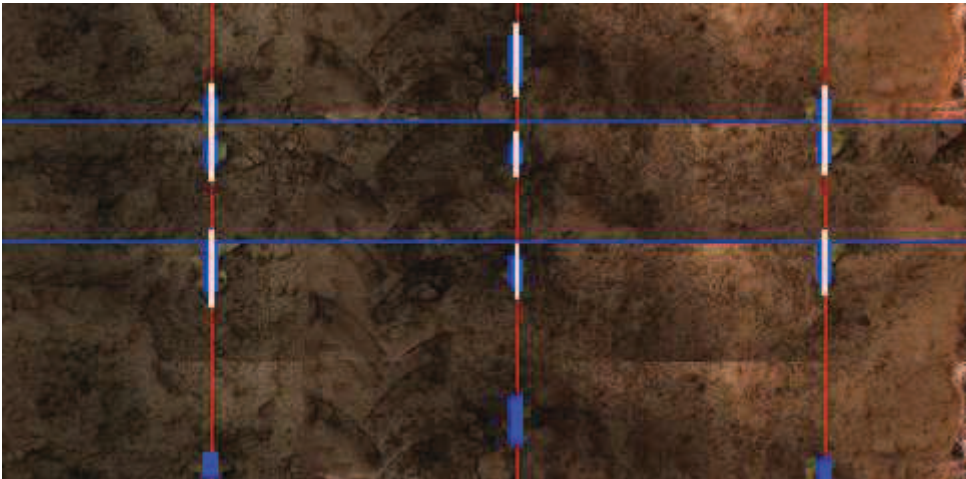
Ook is de visualisatie van het detectieresultaat en de visualisatie van het stuursignaal naar de schoffels verbeterd. Zoals in Figuur 11 weergegeven wordt nu de exacte positie van de gedetecteerde gewasplanten per plantenrij in het scherm met de gecementeerde planten weergegeven.

Zoals in de rapportages van de eerdere fases van dit project beschreven is in de software naast een snelheidsafhankelijke schakeling van de actuator een filter toegevoegd voor het weghalen van te korte stuursignalen van de actuator. Te kort, omdat de actuator in deze tijd geen volledige open/dicht beweging zou kan maken. Dit probleem kan zich bijvoorbeeld voordoen als in twee opeenvolgende beelden twee delen van dezelfde plant worden

gedetecteerd maar door bijv. een zijwaartse beweging van de machine (sideshift) deze plantdelen niet goed aansluiten. Hierdoor zou een korte onderbreking in het open sturen van de actuator kunnen voorkomen. Het filteren heeft dit probleem verholpen. Ook kan de gebruiker van de software een veiligheidsmarge voor de plant en achter de plant instellen. Deze marge geeft aan hoeveel centimeter voor de gedetecteerde plant de actuator wordt open gestuurd en hoeveel centimeter achter de plant de actuator wordt dicht gestuurd. Het werkelijke stuursignaal naar de actuators kan nu ter informatie als overlay in het live kleurenbeeld worden weergegeven. Figuur 12 toont een voorbeeld. In dit voorbeeld is te zien, dat de bovenste planten in de linker en rechter rij zijn versmolten tot één open/dicht actie van de actuator. Ook is te zien dat het stuursignaal door het toevoegen van de marges voor en achter langer duurt dan het plantensignaal alleen. Het stuursignaal wordt alleen voor de laatste 3 frames (ca. 60 cm in rijrichting) van het beeld weergegeven.



Figuur 11: Binair beeld met gedetecteerde planten. Door beeldanalyse gesegmenteerde planten (rood); gedetecteerde plantenrij (lichtgroene lijnen); door algoritme bepaalde gebieden met gewasplanten (blauw).



Figuur 12: Dezelfde scene dan in Figuur 11 met origineel kleurenbeeld. Gedetecteerde plantenrij (rood); door algoritme bepaalde gebieden met gewasplanten (verticale blauwe lijnstukken); stuursignaal naar actuator (verticale witte lijnen) die rekening houden met marge voor en achter plant en met de minimale reactietijd actuator.

6. Activiteit 5: Hoogteregeling machine

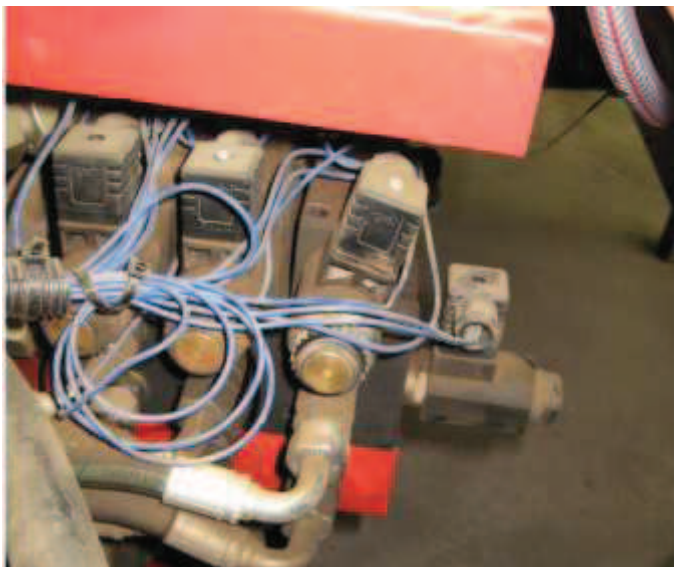
Hoogteveranderingen van de machine veroorzaakt door bijv. insporen of verschil in niveau van het zaaibed zorgen voor een verschil in afstand van de camera tot de opgenomen planten. Hierdoor verandert de geometrie van de camerabeelden onderling en ook de relatie cameraposities en actuatorposities. Voor een accurate werking van de schoffelmachine is een real-time compensatie onmisbaar. In het voorgaande prototype is de correctie softwarematig uitgevoerd op basis van data van een kalibratieobject in het opgenomen beeld of door een ultrasoon hoogtesensor die de afstand van de machine tot het zaaibed meet. Deze correctie was zeer rekenintensief en ook foutgevoelig. Daarom is besloten een mechanische hoogteregeling van de machine op laag niveau (in de microcontroller) te implementeren. Hierdoor wordt de afstand van de machine t.o.v. van het gewas continue bij geregeld en constant gehouden.

Figuur 13 en Figuur 14 laten foto's van de hardware zien. Aan de linker en rechter kant van de machine is een ultrasone sensor bevestigd die tussen de gewasrijen continue de afstand tot het gewasbed meet. In de EPEC microcontroller worden de ruwe waardes van de ultrasone sensoren gedempt door een voortschrijdend gemiddelde te berekenen over de laatste 2 meter die met de machine zijn gereden. De gemeten hoogte wordt vergeleken met de ingestelde hoogte (setpoint). Valt de waarde buiten de ingestelde dode zone (dead band) worden elektronische stuurschuiven voor de hydrauliek aangestuurd. Dit gebeurt op dezelfde manier als dit al eerder voor de sideshift regeling geïmplementeerd is.

Veldtesten in 2012 hebben aangetoond dat met deze methode van hoogteregeling de opgenomen beeldstroken goed op elkaar aansluiten.



Figuur 13: Ultrasoon sensor voor hoogte bepaling (links) en hydraulische cilinder voor hoogteregeling (rechts)



Figuur 14: Elektrische stuurschuiwen voor sideshift en hoogteregeling

7. Conclusies en vervolgstappen

Alle in deze fase geplande activiteiten zijn uitgevoerd volgens projectplan. Het user interface is aangepast voor gemakkelijk gebruik door de eindgebruiker en geheel in de huisstijl van Steketee (activiteit 1). Er is overgestapt naar een ander type microcontroller met CAN bus interface waardoor de communicatie tussen high-level PC, sensoren en actuatoren sneller en robuuster verloopt (activiteit 2). Op de machine is een remote service verbinding aangelegd zodat van afstand met de eindgebruiker kan worden meegekeken bij het oplossen van problemen en het maken van instellingen (activiteit 3). De softwarealgoritmes voor plantdetectie zijn aangepast zodat beter om de gewasplanten heen geschoffeld kan worden (activiteit 4). Een mechanische hoogteregeling van de machine is in hardware en software gerealiseerd en getest. Hierdoor kan de afstand van de camera's t.o.v. van het gewas constant worden gehouden wat de beeldkwaliteit ten goede komt en tegelijkertijd de benodigde rekentijd voor beeldanalyse en beeldkalibratie verminderd (activiteit 5).

Op dit moment zijn er nog een aantal activiteiten in parallel lopende PPL projecten die zich richten op verdere verbetering en/of uitbreiding van de functionaliteit:

Het PPL-project "Doorontwikkelen algoritmes voor herkenning onkruid in uien, peen en spinazie " (PPL-094/ZGLE.12.0053) richt zich op het doorontwikkelen van hardware en software uit het Steketee project voor de detectie van onkruiden in uien en peen. Hiervoor wordt gewerkt aan beeldanalyse algoritmes die gebruik maakt van plantspecifieke vormeigenschappen zoals lengte/breedteverhouding van objecten, rondheid, convexiteit etc. Verder wordt in dit project een verkenning van de mogelijkheden van volvelds onkruiddetectie in spinazie uitgevoerd.

Een aantal vervolgstappen en wensen zijn geïdentificeerd t.b.v. de marktintroductie van de machine:

- De gebruiker moet op intuïtieve manier (keuzeknop o.i.d.) gewas specifieke instellingen kunnen laden en kunnen opslaan voor hergebruik.
- De theoretisch maximaal haalbare snelheid bij moet voor de gebruiker worden weergegeven.
- Kopieerbeveiliging van de software
- Beeldanalysealgoritmes uitbreiden met gewas specifieke eigenschappen zoals bepalen hart van de plant bij koolplanten of samenvoegen groene pixels bij knolselderij.
- Bediening achterop op de machine?
- Uitneembaar touch-screen/afstandbediening?