

Gewasafhankelijk spuiten met een laanbomenmastspuit

Theo Lambers

16-11-2010



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN UR



Gewasafhankelijk sproeien met een laanbomenmastspuit

Naam vak : Bachelorafsluiting agrotechnologie
Nummer : FTE-80812
Omvang : 12 credits
Datum : 22-11-2010

Student : T. Lambers
Registratienummer: 89-05-11-497-070
Opleiding : BSc Agrotechnologie

Begeleiders : Dr. Ir. A.T. Nieuwenhuizen (PRI)
Dr. Ir. J.W. Hofstee
Examinator : Prof. Dr. Ir. E.J. van Henten
Leerstoelgroep : Agrarische bedrijfstechnologie
Bornse Weilanden 9
6708WG Wageningen
Tel: (0317) 48 29 80
Fax: (0317) 48 48 19
E-mail: Webmaster.FTE@wur.nl



WAGENINGEN UNIVERSITY

WAGENINGEN UR

Voorwoord

Voor u ligt het verslag van mijn bachelorafsluiting gewasafhankelijk spuiten met een laanbomenmastspuit. Mijn keuze is op dit onderwerp gevallen omdat ik graag iets in de richting van spuittechniek wilde doen. Mijn onderzoek valt binnen het project over de mastspuit. Dit is mijn eerste verslag van deze omvang en dit ging niet altijd even eenvoudig, gelukkig had ik twee begeleiders die me goed geholpen hebben. Als eerste wil ik graag mijn begeleider Ard Niewenhuizen bedanken voor de dagelijkse besprekingen en het meedenken in oplossingen. Daarnaast wil ik mijn tweede begeleider Jan Willem Hofstee bedanken voor de nieuwe inzichten, vooral in het maken van het verslag. Het onderzoek is in samenwerking met Damcon uitgevoerd, graag wil ik hen bedanken voor beschikbaar stellen en het aanpassen van de mastspuit naar onze wensen. En als laatste Arie van Gaalen van PPO Randwijk voor het rijden met de mastspuit tijdens de praktijktest.

Het uitvoeren van mijn onderzoek vond ik interessant en leerzaam. Met het eindresultaat hoop ik een goede bijdrage geleverd te hebben aan het project van de mastspuit.

Theo Lambers

Samenvatting

In de laanbomenteelt wordt voor het spuiten veelal gebruik gemaakt van een axiaalspuit. Deze axiaalspuiten veroorzaken drift. Om dit te reduceren is de mastspuit ontwikkeld. De mastspuit is even hoog als de laanbomen en spuit het middel recht opzij de bomen in, in plaats van het middel omhoog te blazen. Daarnaast is de mastspuit voorzien van ultrasoonsensoren. Wat voor de bachelorafsluiting gedaan moest worden, was het algoritme schrijven dat de secties met doppen automatisch in- en uit schakelt als respectievelijk wel en geen boom gedetecteerd wordt.

De spuit is voorzien van tien ultrasoonsensoren, vijf aan elke zijde. De onderste sensoren moet het grote deel van de spuit aansturen en inschakelen als een boom gedetecteerd wordt. De bovenste sensoren moeten de lijn van de boomtoppen volgen. Begonnen was met het onderzoeken welke inputs en outputs benodigd waren en wat het algoritme globaal moest doen. Aan de hand van deze gegevens is het algoritme geschreven.

Na het maken van het algoritme is hier een testbestand doorheen gehaald om te simuleren of het algoritme werkte. De resultaten hiervan waren positief. Het algoritme gaf goede outputs en reageerde als verwacht op de inputs.

Daarna is een praktijktest uitgevoerd langs een windhaag met een gat in de haag. Hier werd langs het gat gereden en gekeken of de spuit binnen de gestelde eisen uit en aan ging. Bij de test voldeden de resultaten niet aan de gestelde eisen. De spuit kon wel op het goede moment inschakelen, maar kon niet binnen 25 cm, de in de eisen gestelde afstand, na een boom uitschakelen. De reden hiervoor is dat de sensoren op de mastspuit dicht

bij de doppen zitten en de ultrasoonsensoren een brede kijkhoek hebben. Daarnaast heeft het in- en uitschakelen van de spuit een vertraging. Een test in een laanbomenperceel moet nog uitgevoerd worden, hier kan nog winst gehaald worden, omdat de spuit dan dicht langs de bomen rijdt.

Om het systeem te laten voldoen aan de eisen zal de hardware veranderd moeten worden, een veelbelovende oplossing zou het plaatsen van een laserrangescanner zijn, in plaats van het gebruik van ultrasoonsensoren. Hier moet nog meer onderzoek naar gedaan worden. Een tweede aanbeveling is de snelheid te meten, dit geeft de boer meer vrijheid in het rijden in een perceel.

Inhoudsopgave

Voorwoord	IV
Samenvatting	VI
1 Inleiding.....	1
2 Literatuur	3
3 Materiaal en methode	5
3.1 Hardware.....	5
3.1.1 De Mastspuit.....	5
3.1.2 Sensoren	5
3.1.3 Rekeneenheid en I/O.....	6
3.1.4 Kleppen en relais	6
3.1.5 Doppen	6
3.1.6 Definities.....	7
3.2 Inputs	8
3.3 Outputs.....	10
3.4 Blokschema.....	11
3.5 Formules.....	12
4 Simulatie	14
4.1 Materialen en methode	14
4.2 Resultaten.....	14
4.3 Discussie	17
4.4 Conclusie	18
5 Praktijktest	20
5.1 Materiaal en methode	20
5.2 Resultaten.....	20
5.2.1 Snelheidstest.....	20
5.2.2 Reactietijdtest van doppen.....	21
5.2.3 Visuele test.....	21
5.2.4 Reactietijdtest van het algoritme.....	22

5.2.5	Gemeten afstand door sensor en werkelijke afstand	22
5.3	Discussie	23
5.4	Conclusie	25
6	Algehele conclusie	26
7	Aanbevelingen.....	27
8	Literatuurlijst.....	28
9	Bijlagen.....	29
9.1	Bijlage A: Praktijktest	29
9.2	Bijlage B: Pseudo code	31

1 Inleiding

Laanbomen worden gespoten met een axiaalspuit, dit is een spuit die het gespoten middel omhoog blaast in plaats van gericht te spuiten op de bladerkroon van de bomen. Door deze manier van spuiten kunnen de toppen van de bomen niet bereikt worden en daarnaast veroorzaakt het drift. Als alternatief voor de axiaalspuit is een mastspuit ontwikkeld. Deze spuit heeft dezelfde hoogte als de bomen en kan daarom horizontaal de bomen bespuiten. Dit geeft vooral bovenin een betere bedekking en helpt de drift te verminderen door een gerichte luchtstroom richting het bladerdek.

Binnen een laanbomenperceel zijn in de rijen gaten van al gerooide bomen en zijn niet alle bomen even hoog. Normaal gesproken spuit de mastspuit hier gewoon door. Om in deze situaties niet onnodig door te spuiten, zijn op de mastspuit ultrasoonsensoren en afsluitbare spuitdoppen geplaatst. Op de spuit werken tien ultrasoonsensoren, vijf links en vijf rechts. De bovenste vier zijn om de boomtoppen te kunnen volgen en de onderste detecteert of wel of geen boom aanwezig is, zodat de spuit alleen spuit waar het nodig is en minder middel verspild wordt en ook minder drift optreedt.

De ultrasoonsensoren zijn al gemonteerd op de mastspuit, maar de doppen worden nog niet aangestuurd. De spuit spuit dus door op de plekken waar geen boom staat. Er moet een algoritme ontwikkeld worden die de spuit aanstuurt. Dus kan een algoritme gemaakt worden die de doppen aanstuurt?

Het algoritme gaat zorgen dat de doppen aan gaan als een boom gedetecteerd wordt en uit gaan als geen boom gedetecteerd wordt. De sensoren zijn al getest en de data hiervan is al beschikbaar, ook zijn de volgende eisen opgesteld:

- Bij het begin en einde van de rij moet de spuit binnen 25 cm aan en uit gezet worden. Hier moet rekening gehouden worden met de kleppen en de doppen die zelf ook een traagheid hebben.
- Het in- en uitschakelen moet net buiten de rij, zodat alles bespoten wordt.
- Rijnsnelheid moet 7.2 km/h zijn ($2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Standaard is 5.4 km/h ($1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).
- Rijafstand is tussen de 1.6 en 2.4 meter. Standaard is 2 meter.
- Rijbreedte is tussen de 0.8 en 1.5 meter. Standaard is 1 meter.

Naar aanleiding van het probleem en de eisen zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

- Kan een algoritme ontwikkeld worden die de doppen aanstuurt op basis van sensorsignalen?
- Kan de spuit voldoen aan alle bovengenoemde eisen?
- Wat is de relatie tussen de snelheid en de precisie van de spuit?

In dit onderzoek wordt een algoritme ontwikkeld en worden dit algoritme en de spuit getest op de gestelde eisen. Later wordt nog een driftmeting met de spuit gedaan, maar dit valt buiten het onderzoek.

Als eerste moet een algoritme gemaakt worden. Dit algoritme wordt gesimuleerd met al eerder verkregen data en wordt geanalyseerd op verbeterpunten. Met deze simulatie kunnen de eerste en de laatste onderzoeksvraag beantwoord worden. Na deze verbeterpunten toe te passen, wordt het algoritme op de mastspuit getest. Met deze praktijktest kan een antwoord gegeven worden op de tweede onderzoeksvraag. Daarnaast wordt in de literatuur gezocht naar gelijksoortige systemen.

Het onderzoek voor gewasafhankelijk spuiten zal bestaan uit onderstaande onderdelen:

- Literatuurstudie naar al bekende systemen voor plaatsspecifiek spuiten in de bomenteelt.
- Hardware op de mastspuit.
- Benodigde in- en outputs.
- Ontwikkeling van het algoritme.
- Simulatie van het algoritme.
- Praktijktest van de mastspuit langs een windhaag.
- Aanbevelingen voor de mastspuit

2 Literatuur

Volgens Stover (2002) wordt in de citrusteelt in Amerika al gebruikt gemaakt van technieken om bomen te detecteren en de spuit op basis van deze waarden in- en uit te schakelen. Hiervoor zijn twee verschillende soorten sensoren in gebruik; in sommige gevallen laser, maar meestal ultrasoonsensoren. Wat opvalt is de plaatsing van de sensoren. Deze zitten voorop de spuit. Als ultrasoonsensoren gebruikt worden, worden vaak drie sensoren per zijde geplaatst. Voor Towersprayers is dit aantal vaak vijf per zijde. Een towersprayer is een vorm van een mastspuit, maar dan een Amerikaans model. Deze hebben veelal een mast met daarop een aantal clusters met doppen, elk cluster heeft vaak ook zijn eigen ventilator. Deze spuiten worden vaak tot een hoogte van 4.5 m gemaakt. Elke sensor stuurt meerdere doppen aan. Elke dop een eigen sensor geven, levert waarschijnlijk wel besparing op, maar hier zijn nog geen experimenten mee gedaan. De spuiten uitgerust met ultrasoonsensoren schakelen ongeveer 15 cm voor de boom in en 15 cm na de boom weer uit. Het in- en uitschakelen gaat veelal met luchtdruk, maar met oliedruk is ook mogelijk.

Tumbo et al. (2002) hebben een onderzoek gedaan naar het meten van het volume van de bomen. Deze methode kan ook gebruikt worden in de precisielandbouw om meer te spuiten op plekken waar een grote boom staat en minder op plekken waar kleine bomen staan. In dit onderzoek is het verschil in nauwkeurigheid gemeten tussen handmatig meten, met ultrasoonsensoren meten en met een laserscanner meten van het volume van de bomen. De relatie tussen het meten met de hand en de beide sensoren is vrij goed, met een correlatie R^2 voor de ultrasoonsensoren van 85% en voor de laserscanner van 90%. De correlatie tussen ultrasoonsensoren en de laserrangescanner is hoger, namelijk 98%. Dit kan verklaard worden omdat de resolutie van de laserscanner het hoogst is en de resolutie van het handmatig meten het laagst. Hierdoor kan de laserscanner de inhoud beter benaderen dan de ultrasoonsensoren. Een tweede voordeel van de laserscanner is de hoge datasnelheid. Het signaal komt sneller binnen. Ondanks dit geeft ook de ultrasoonsensor goede resultaten weer.

Gil et al. (2006) hebben in een wijngaard onderzocht of er besparingen behaald kunnen worden met het spuiten op basis van ultrasoonsignalen. Bij dit onderzoek werd een spuit met luchtondersteuning gebruikt. Aan elke kant van de spuit zaten drie ultrasoonsensoren. Deze ultrasoonsensoren maten de afstand tot de bomen en hieruit werd de inhoud van de boom berekend. Op basis van de inhoud van de boom werd een bepaalde hoeveelheid spuitmiddel gespoten. De besparingen die hier werden gemeten, waren gemiddeld 57%. Voor het midden was dit lager, maar voor het ondereind en de top van de boom was dit hoger. Verder onderzoek naar de preciese besparingen moeten nog gedaan worden.

Volgens Stover (2002) kunnen met het gewasafhankelijk spuiten in citrusboomgaarden besparingen behaald worden die erg verschillen per boomgaard. Een besparing die veel genoemd wordt is ongeveer 25%. In een jonge boomgaard als de gaten tussen de bomen groot zijn, in een boomgaard waar veel bomen missen of waar de bomen veel in hoogte verschillen, kan de besparing groter worden. Wat een groot effect op de besparing heeft is de veiligheid van het extra spuiten. Omdat hier meestal 15 cm voor genomen wordt, moet het gat minimaal 30 cm zijn voordat de spuit uit gaat.

Zaman en Schumann (2005) hebben onderzoek gedaan naar het in kaart brengen van een citrusboomgaard met behulp van DGPS en ultrasoonsensoren. Vanuit vooronderzoek is gebleken dat als ultrasoonsensoren iets dichtbij meten, een sterk signaal teruggeven en dat de nauwkeurigheid dan hoger is. Grotere afstanden geven een zwakker signaal terug met grotere kansen op fouten. Dit komt overeen met de conclusie dat de sensoren betere resultaten geven in jonge nauwe boomgaarden dan in oudere boomgaarden met bredere rijpaden. De resultaten die de ultrasoonsensoren geven, zijn voor de verschillende boomgaarden wel allemaal betrouwbaar.

Van der Lans et al. (2009) hebben onderzoek gedaan naar de werking van de mastspuit ten opzichte van de in Nederland vooral gebruikte axiaalspuiten; de kleine axiaalspuit en de grotere axiaalspuit met meer luchtvermogen. Beide axiaalspuiten maken een werveling van lucht en blazen hiermee het middel omhoog. Voor deze test zijn de bomen bespoten met de bladmeststof CUL 900. Dit middel zorgt dat de bladeren van de boom afvallen. De spuiten zijn vergeleken en bij de mastspuit blijft in veel gevallen minder als een vijfde van de bladeren aan de boom hangen ten opzichte van de axiaalspuiten. De grote axiaalspuit is in het midden van de kroon, op een hoogte tussen de 1 en de 2 m beter dan de kleine axiaalspuit, daarboven zit tussen de axiaalspuiten vrijwel geen verschil (van der Lans et al. 2009).

3 Materiaal en methode

In dit hoofdstuk worden de gebruikte materialen beschreven; het gaat hier om de hardware. Verder wordt de ontwikkeling van het algoritme besproken. De methode van de testen wordt niet hier, maar in de verdere hoofdstukken besproken.

3.1 Hardware

De beschrijving van de hardware geeft de benodigde achtergrondinformatie om te begrijpen hoe en waarom het algoritme werkt. De feitelijke beschrijving van de ontwikkelde algoritmes en programmatuur volgt na de beschrijving van de hardware.

3.1.1 *De mastspuit*

De mastspuit werd gebouwd op basis van een minimastspuit van het type Dragone Krumm (Dragone, 2004). Hier werden een aantal aanpassingen aan gedaan. De spuitmast werd verhoogd naar een hoogte van 5.60 meter en heeft over de gehele hoogte spuitdoppen. De spuitdoppen werden 25 cm van elkaar af geplaatst en achter elke spuitdop werd een blaasmond geplaatst die het spuitmiddel de bomen in blaast. Het grote verschil met de axiaalspuit is dat het spuitmiddel nu horizontaal en niet meer omhoog de bomen in wordt geblazen. Ook het onderstel werd veranderd van één enkel wiel naar een pendelend onderstel, zodat de mast stabiel recht omhoog blijft staan en de bomen niet beschadigt onder het rijden.

3.1.2 *Sensoren*

Voor de spuitdoppen werden sensoren geplaatst die waarnemen of wel of geen boom staat op het betreffende punt. De sensoren die gebruikt werden, zijn ultrasoonsensoren van het type LV-MaxSonar-WR1 (Maxbotix 2008). De sensoren sturen een geluidsgolf uit die weerkaatst wordt. De tijd die het kost, wordt in de sensoren omgezet naar een percentage van de inputspanning. Voor de maximale afstand, 6.45 m, wordt de outputspanning gelijk aan de inputspanning. Deze spanning werd later omgerekend naar de afstand in cm. De sensoren kunnen elke 49 ms een meting uitvoeren, maar omdat de sensoren tegelijk een waarde af moesten geven, werden de sensoren getriggerd. De computer triggerde de sensoren eens per 50 ms, dit kwam neer op 20 keer per seconde een meting. Door het triggeren liepen alle sensoren met elkaar in lijn. De sensor heeft tijd nodig om zich op de juiste spanning in te kunnen stellen. De waarde van de sensoren moest dus verkregen worden net voordat de sensoren opnieuw getriggered werden. Het algoritme liep in een loop van 50 ms, om de beste waarde van de sensoren te krijgen werd elke milliseconde een meting uitgevoerd. De laatste meting bevatte de data die nodig is voor de rest van het algoritme en werd bewaard. De andere waarden werden weer verwijderd. De maximale afstand die de sensor kan meten is 6.45 meter, dit was voldoende omdat de rijen niet verder uit elkaar staan dan 2.4 meter en alleen de naastliggende rij van belang was. De minimale afstand die gemeten kon worden is ongeveer 30 cm. Ook dit was voldoende omdat de objecten die dichterbij waren wel gezien werden, maar als afstand 30 cm mee kregen.

De spuit heeft tien ultrasoonsensoren, vijf aan elke kant. Aan elke zijde van de mast was één ultrasoonsonor beschikbaar om te detecteren of wel of geen boom aanwezig was en de andere vier

waren geplaatst in de top van de spuit om te detecteren hoe de top van de boom verliep (zie ook Figuur 1). De sensoren waren op een rail geplaatst, deze rail staat 0.5 m voor de doppen. Eventueel kon de hoogte van de sensoren veranderd worden.

3.1.3 *Rekeneenheid en I/O*

De data van de sensoren kwam binnen via twee National Instruments USB-6008 Multifunctional I/O kasten (National Instruments Corporation 2008). Elke kast stuurde één kant van de mastspuit aan. Er kwamen vijf analoge waarden met de data van de ultrasoonsensoren binnen en vijf digitale waarden om de ultrasoonsensoren te triggeren. Daarnaast werden vijf digitale waarden om de secties aan te sturen werden uitgestuurd. Daarnaast gaf kast 1 ook nog aan wat de bronspanning voor de ultrasoonsensoren was en zorgde voor de referentiespanning van de relaiskaart. De laptop die voor de berekeningen gebruikt werd heeft een processorsnelheid van 1.6 GHz. Deze laptop was voorzien van Labview 8.5, hiermee werd het algoritme geprogrammeerd. Het algoritme werkte op basis van softwaretiming, de ultrasoonsensoren werden dus door de laptop aangestuurd om te gaan meten.

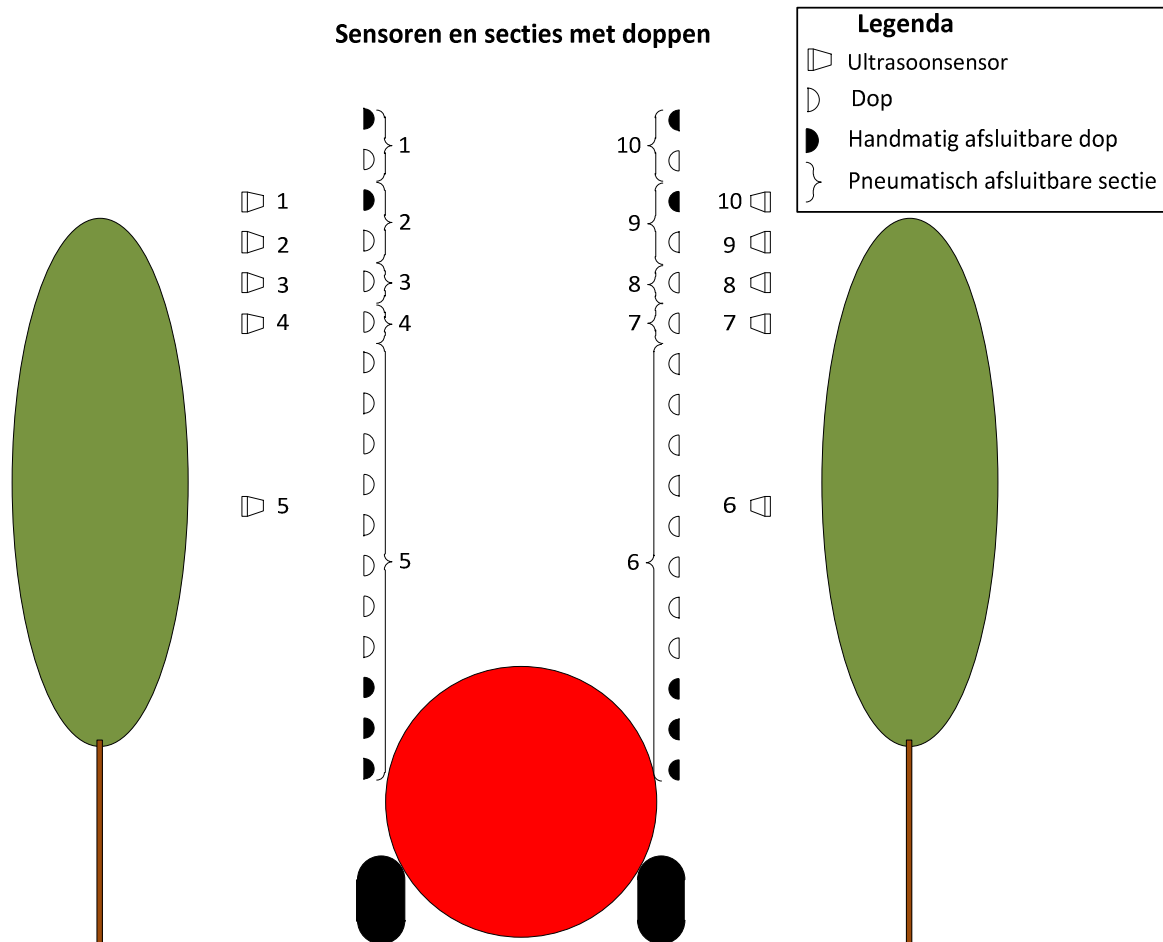
3.1.4 *Kleppen en relais*

De signalen die door de NI USB-6008 uitgestuurd werden hebben een laag vermogen en kunnen de kleppen niet aansturen. Daarom werd hier een relaiskaart tussen gezet, gekozen werd voor de DIO24MxS2 (Easydac). Deze relaiskaart heeft genoeg aansluitingen om de tien kleppen aan te sluiten en in de toekomst eventueel uit te breiden. De relaiskaart kreeg een referentiespanning van de NI USB-6008, de voeding is 12V en werd evenals de spanning voor de kleppen, door de tractor geleverd. De kleppen die gebruikt werden zijn de elektrische variant van de Bosch Rexroth 579 series (Bosch Rexroth 2010). Deze kleppen stuurden elk een sectie van doppen aan. Elke klep werd gerelateerd aan een ultrasoonsensor.

3.1.5 *Doppen*

De doppen werden voorzien van Arag Flowstop (Kramp 2010) pneumatische afsluiters. Elke dop is afzonderlijk af te sluiten, maar de spuit werd verdeeld in secties. Elke sectie bestaat uit één of meer doppen, zie Figuur 1. Elke sectie was afzonderlijk af te sluiten, daarnaast was ook een deel van de doppen handmatig af te sluiten door de luchttoevoer te stoppen. Dit geldt voor de onderste drie doppen aan elke zijde en de bovenste dop van de secties 1, 2, 9 en 10. De kronen van de bomen binnen een perceel zaten allemaal vrijwel op dezelfde hoogte, dus was de keuze gevallen op handmatige kranen, zodat geen enkele dop alleen stammen spuit. De andere handmatig afsluitbare doppen werden hiervan voorzien om de dop uit te schakelen als geen enkele boom op de hoogte van de dop was, maar wel op die van de dop eronder.

In het volgende figuur is de indeling van de spuit in secties te zien. Daarnaast is aangegeven op welke hoogte de ultrasensoren zitten. De namen die zowel de ultrasoonsensoren als de secties in het figuur hebben gekregen zijn ook op deze manier in het verslag opgenomen.



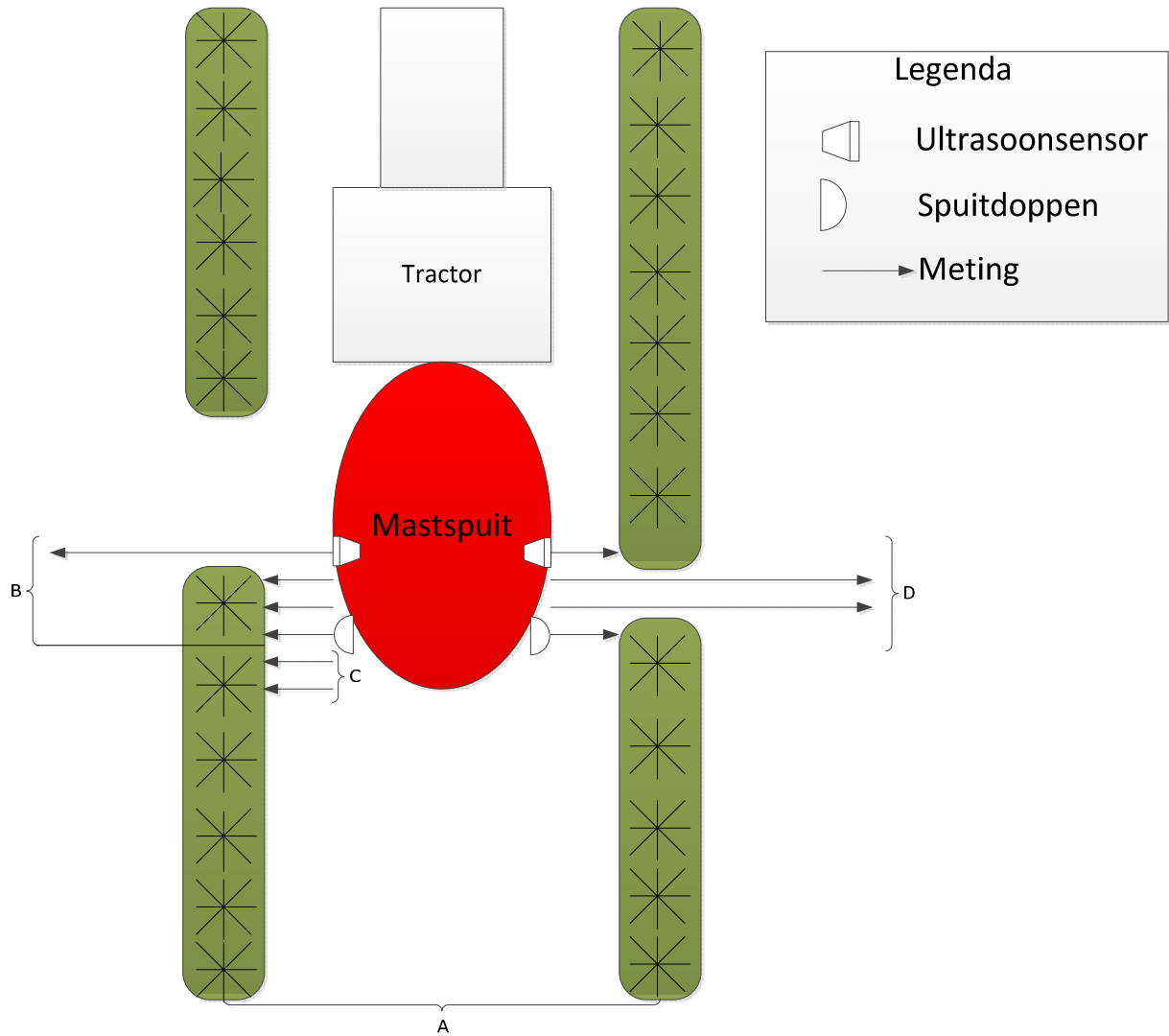
Figuur 1 Schets van de indeling van sensoren en secties zoals op de mastspuit aanwezig.

3.1.6 *Definities*

In Figuur 2 wordt een aantal begrippen verduidelijkt. De rijbreedte (A) is de hart op hart afstand tussen de bomen. Het aantal metingen die gebruikt kunnen worden (B) zijn metingen die door de ultrasoonsensoren zijn gedaan en de dop nog niet gepasseerd zijn. Dus de ultrasoonsensor voert een meting uit en de spuit rijdt door. Tegen de tijd dat de ultrasoonsensor een nieuwe meting uitvoert, is de vorige meting gedaan op een plek waar de sensor al voorbij is, maar die de dop nog niet bereikt heeft. Zodra de dop voorbij de plek gereden is waar de meting uitgevoerd is zoals bij C, wordt deze meting niet meer gebruikt omdat het niet meer relevant is. Dan wordt gekeken naar plekken die al gepasseerd zijn en die bieden geen nieuwe informatie. Het aantal metingen kan wel kleiner gekozen worden. De gebruikte metingen beginnen dan bij de dop en als meer metingen gebruikt worden worden de metingen richting de sensor gebruikt.

Het aantal kleine afstanden is het aantal maal dat een boom gedetecteerd wordt in het aantal metingen. Bij B is het aantal metingen vier en het aantal kleine afstanden drie, bij D is het aantal metingen ook vier en het aantal kleine afstanden twee.

Ook is er nog het aantal kleine afstanden achter elkaar. Dit is het aantal kleine afstanden die achter elkaar liggen zonder dat daar een grote afstand tussen zit. Bij B is het aantal kleine afstanden achter elkaar drie, bij D is het slechts één. Bij D zitten wel twee grote afstanden achter elkaar, maar daar wordt verder niet naar gekeken.



Figuur 2 Uitleg begrippen, A is rijbreedte. B is het maximaal aantal metingen. C zijn metingen die niet meer relevant zijn, zitten achter de doppen. Bij B is het aantal metingen 4, het aantal kleine afstanden 3 en het aantal kleine afstanden achter elkaar 3. Bij D is dit respectievelijk 4,2,1.

3.2 Inputs

De inputs zijn de gegevens die het algoritme nodig heeft om de berekeningen uit te voeren. Alle inputs worden hieronder beschreven.

- Data van de sensoren in centimeters

Dit zijn de waarden die van de sensoren komen, als een waarde niet terugkomt, wordt automatisch de waarde van 645 cm gegeven; dit is de maximale waarde van de sensor. Daarnaast kunnen onverwachte waarden van de sensor terugkomen, omdat de sensor bijvoorbeeld tussen de bladeren door zendt en pas een rij verder een boom tegenkomt.

- **Rijsnelheid van de machine in meter per seconde**
De tractor rijdt met een bepaalde snelheid, maar deze snelheid is niet constant. Op dit moment wordt deze snelheid niet doorgegeven aan de spuit, maar wordt een constante genomen als snelheid. Het programma is gemaakt om in de toekomst de snelheid als input binnen te krijgen.
- **Rijbreedte**
Dit is de hart op hart afstand tussen de rijen. Deze breedte is nodig om te bepalen welke waarde de sensor mag geven om te bepalen waar wel en waar niets gedetecteerd wordt.
- **Correctiefactor voor de rijbreedte**
Als bomen gedetecteerd worden met als referentie de rijbreedte, wordt te vaak een boom gedetecteerd, ook worden dan bomen van de naastgelegen rij gedetecteerd. Om dit te voorkomen wordt de rijbreedte vermenigvuldigd met een correctiefactor. Deze factor zal in de buurt van 0.5 zijn. Dit komt omdat de rijbreedte van hart tot hart is en de spuit ongeveer in het midden van de rij rijdt. Naar het hart toe is dan ongeveer 0.5 maal de rijbreedte.
- **Afstand tussen de sensor en de dop in meter**
Dit is de afstand tussen de sensor en de dop, deze afstand bepaalt de lengte van de buffer. Het buffer is gevuld met metingen, de lengte van het buffer is het aantal metingen. Het aantal metingen wordt bepaald door de snelheid en de afstand tussen de sensor en de dop, zie ook figuur 2.
- **Cyclustijd in milliseconde**
De tijd die de sensor nodig heeft om de meting uit te kunnen voeren en op te sturen. Na deze tijd geeft de software een nieuwe puls zodat alle sensoren tegelijk weer een nieuwe meting starten. Deze tijd bepaalt samen met de snelheid de afstand die per cyclus wordt afgelegd.
- **Versnellen reactiesnelheid in milliseconde**
Deze input kan de reactietijd van het algoritme aanpassen. Als hier een positieve waarde ingevoerd wordt, zal de dop eerder in- en ook eerder uitschakelen. De dop wordt virtueel verplaatst naar een punt dichterbij de sensor. Deze input wordt gebruikt om de reactietijd van de doppen op te heffen.
- **Gewenst aantal metingen**
Dit is het aantal metingen dat gebruikt wordt om de output te genereren. Als het aantal metingen één is, dan gebruikt het algoritme alleen de laatste waarde uit het buffer. Het aantal metingen dat gebruikt wordt in het algoritme mag nooit groter zijn dan de lengte van het buffer. Is dit wel het geval, dan wordt het aantal metingen in het algoritme aangepast.
- **Gewenst aantal kleine afstanden**
Dit is de drempelwaarde van het aantal keer dat een afstand kleiner dan de rijbreedte X correctiefactor waargenomen wordt in het aantal metingen. Is het aantal metingen met een kleine afstand groter of gelijk aan deze drempelwaarde, dan moet de sectie aan gaan. Deze waarde mag niet groter zijn dan het aantal metingen. Is dit wel het geval, dan wordt het aantal kleine afstanden in het algoritme aangepast.
- **Aantal aaneengesloten kleine afstanden in meting**
De tweede drempelwaarde geeft het aantal afstanden kleiner dan de rijbreedte X correctiefactor weer die aaneengesloten moeten staan. Is het aantal aaneengesloten

metingen met een kleine afstand groter of gelijk aan deze drempelwaarde, dan moet de sectie aan gaan.

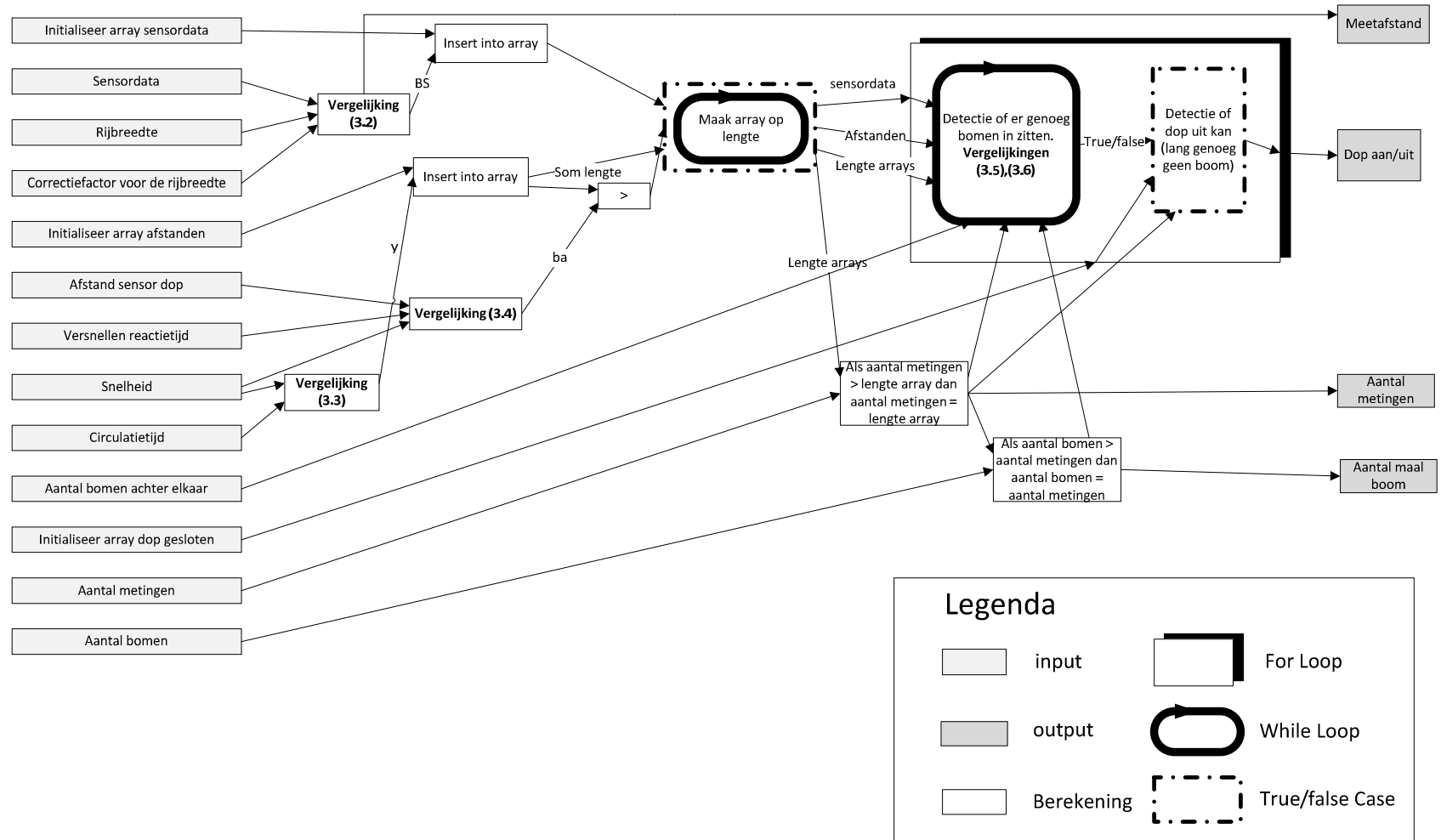
3.3 Outputs

De outputs zijn de waarden die de mastspuit aan moeten sturen, maar ook waarden die gebruikt worden om te controleren of het algoritme goed werkt.

- Dopwaarden in boolean
Een rij met tien waarden, voor elke sectie één waarde die aangeeft welke sectie wel en welke sectie niet aan moet zijn tot na 50 ms de volgende meting plaats vindt.
- Meetafstand
De rijbreedte X correctiefactor.
- Aantal metingen
Het aantal metingen dat daadwerkelijk gebruikt is door het algoritme, na het aanpassen op de lengte van het buffer. Als de lengte van het buffer het toe laat, is deze waarde hetzelfde als het gewenste aantal metingen.
- Aantal kleine afstanden
Het aantal kleine afstanden waar daadwerkelijk naar gezocht wordt, na het aanpassen op het aantal metingen. Als het aantal metingen het toe laat, is deze waarde hetzelfde als het gewenste aantal kleine afstanden.

3.4 Blokschema

In het blokschema wordt een overzicht gegeven hoe het algoritme in elkaar zit.



3.5 Formules

De formules die in het ontwikkelen van het algoritme gebruikt zijn, worden hieronder toegelicht.

Bepaal lengte “afgelegde afstanden” (l) volgens:

$$l = \frac{x}{v \cdot (t/1000)} \quad (3.1)$$

Waarin,

l = de afgelegde afstand in m

x = de afstand tussen de sensor en de dop in m (constant)

v = de snelheid van de spuit in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, voor de initialisatie 1

t = de tijd benodigd per loop in ms (constant 50 ms)

Bepaal “Boolean sensordata” (BS) volgens:

$$BS_i \begin{cases} 1 \Rightarrow S_i \leq r \times c \\ 0 \Rightarrow S_i > r \times c \end{cases} \quad (3.2)$$

Waarin,

i = element van array

BS = de array “Boolean sensordata” in Boolean

S = de array “sensordata” in cm

r = de rijbreedte in cm

c = de correctiefactor voor de rijbreedte

Bepaal de afgelegde afstand (y) volgens:

$$y = v \cdot t \quad (3.3)$$

Waarin,

y = de afgelegde afstand in m

v = de snelheid van de spuit in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

t = de tijd benodigd per loop in ms (constant 50 ms)

Bepaal buffer afstand (ba) volgens:

$$ba = x - \left(\frac{g}{1000} \cdot v\right) \quad (3.4)$$

Waarin,

ba = de afstand tussen sensor en dop na corrigeren voor “versnelling” in m

x = de afstand tussen de sensor en de dop in m (constant)

g = de “versnelling” van het totale systeem in ms^{-2}

v = de snelheid van de spuit in $m \cdot s^{-1}$

Bepaal "aantal kleine afstanden gezien" (m) volgens:

$$m = \sum w_i \quad (3.5)$$

Waarin,

i = element van array

m = "aantal kleine afstanden gezien", bij initialisatie 0

w = Array met waarden van één sensor. Waarde 1 bij kleine afstand, waarde 0 bij grote afstand, bepaald uit de array "sensorwaarden"

Bepaal "Aantal kleine afstanden achter elkaar gezien" (n) volgens:

$$n = (n + w_i) \cdot w_i \quad (3.6)$$

Waarin,

i = element van array

n = "aantal bomen achter elkaar gezien", bij initialisatie 0

w = "value" 1 bij kleine afstand, 0 bij grote afstand, bepaald uit de array "sensorwaarden"

4 Simulatie

4.1 Materialen en methode

Voor de simulatie werd het effect van verschillende inputs op het algoritme getest, elke test werd in drie snelheden uitgevoerd om het effect van de snelheid te onderzoeken. Voor de simulatie werd de data gebruikt die verkregen was bij het testen van de sensoren. Bij het testen werd met een snelheid van $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ gereden. De snelheden die in simulatie gebruikt werden waren: $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (hier was tijdens de testen mee gereden), $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (dit was de maximum snelheid die gehaald moest worden om aan de eisen, zoals besproken in de inleiding, te voldoen).

Voor alle drie de snelheden werd dezelfde datafile gebruikt. Om te corrigeren voor de verschillende snelheden werd bij een snelheid van $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na elke gebruikte waarde één waarde verwijderd, bij $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na elke waarde twee waarden verwijderd en bij $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na elke waarde drie waarden verwijderd.

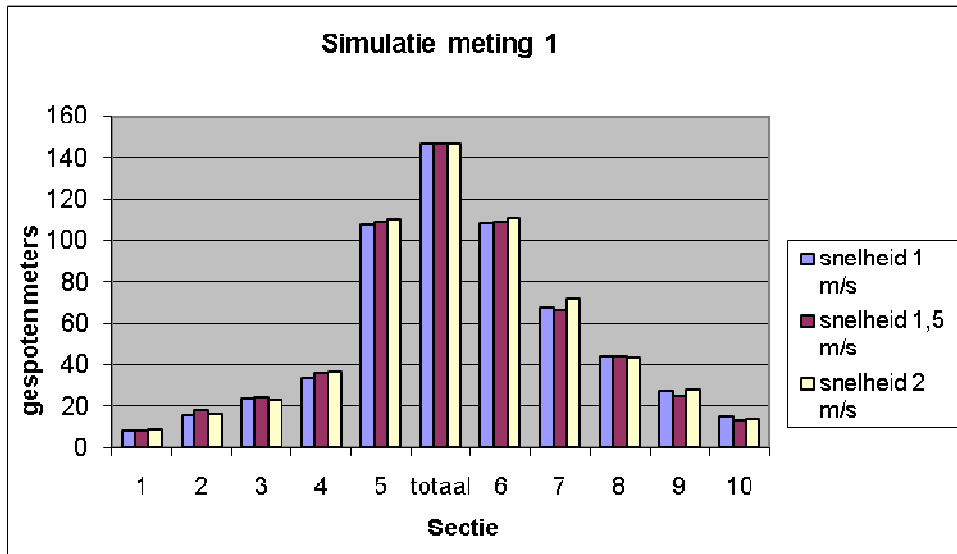
Voor de inputs varieerde het aantal metingen, het aantal kleine afstanden dat aanwezig moest zijn en het aantal kleine afstanden achter elkaar. De gebruikte instellingen staan in Tabel 1. Het aantal metingen wordt verhoogd. In meting 3 werd het maximaal aantal metingen getest. Het aantal metingen werd gelimiteerd door de snelheid, anders zouden metingen achter de dop gebruikt worden. Het aantal kleine afstanden werd in meting 4 zo gekozen dat deze verdeling zo goed mogelijk overeen kwam met de verdeling van het aantal metingen. In meting 5 werd ook het aantal kleine afstanden achter elkaar zo gekozen dat deze zo goed mogelijk overeen kwam met de verdeling van het aantal metingen. Voor een uitleg van de begrippen zie Figuur 2 en hoofdstuk 3.2.

Tabel 1 Uitgevoerde metingen met bijbehorende instellingen

	Aantal metingen			Aantal kleine afstanden			Aantal kleine afstanden achter elkaar		
	$1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
meting 1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
meting 2	3	3	3	2	2	2	2	2	2
meting 3	6	4	3	2	2	2	2	2	2
meting 4	6	4	3	4	3	2	2	2	2
meting 5	6	4	3	4	3	2	3	2	2

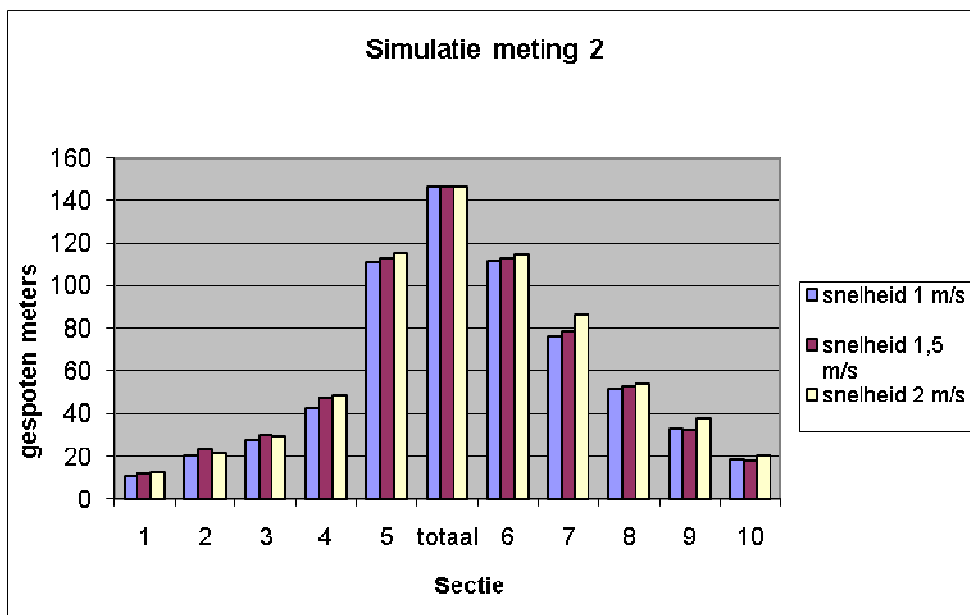
4.2 Resultaten

De weergegeven resultaten staan in grafieken en geven de afstand weer die een sectie moet spuiten. In het midden is een balk geplaatst die de lengte van het volledige perceel aan geeft. Daarnaast staat de uitkomst van het algoritme (voor de plaatsing van de secties zie Figuur 1). Elke balk bestaat uit drie kleinere balken. Elk van deze balkjes geeft een snelheid weer en laat zo het verschil tussen de snelheden zien. De titel van de grafiek geeft aan welke meting het is en de instellingen zijn te vinden in Tabel 1.



Figuur 3 Simulatie meting 1(Tabel 1). Op de Y-as staat het aantal gespoten meters en op de X-as staan alle secties met spuitdoppen. Elke sectie bevat 3 snelheden. Totaal is de lengte van het perceel.

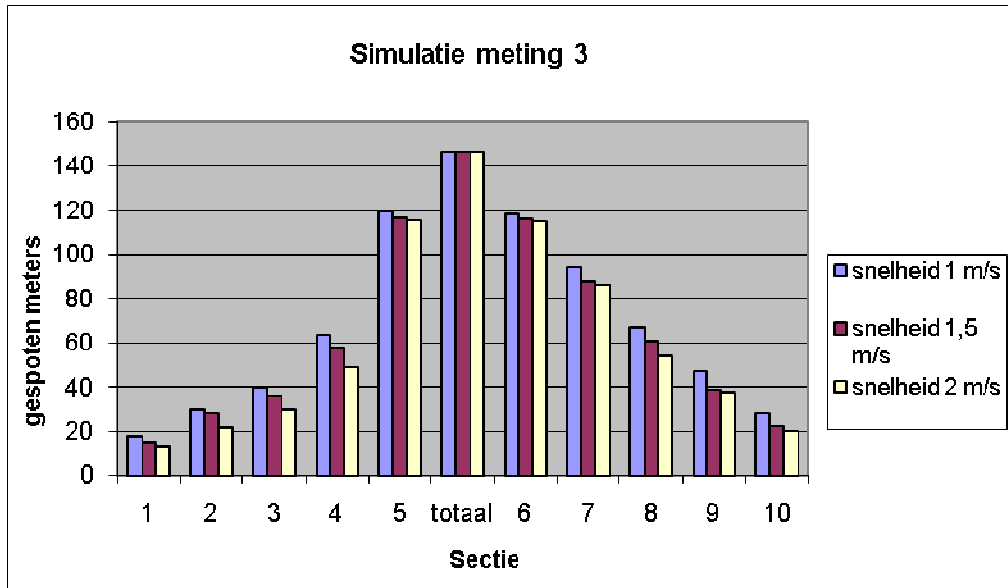
Bij meting 1 heeft de snelheid heeft weinig effect op de resultaten, een hele lichte stijging is waar te nemen in aantal gespoten meters naarmate de snelheid hoger wordt. Verder is heel duidelijk te zien dat de laagste secties, secties 5 en 6, het meeste spuiten.



Figuur 4 Simulatie meting 2(Tabel 1) . Op de Y-as staat het aantal gespoten meters en op de X-as staan alle secties met spuitdoppen. Elke sectie bevat 3 snelheden. Totaal is de lengte van het perceel.

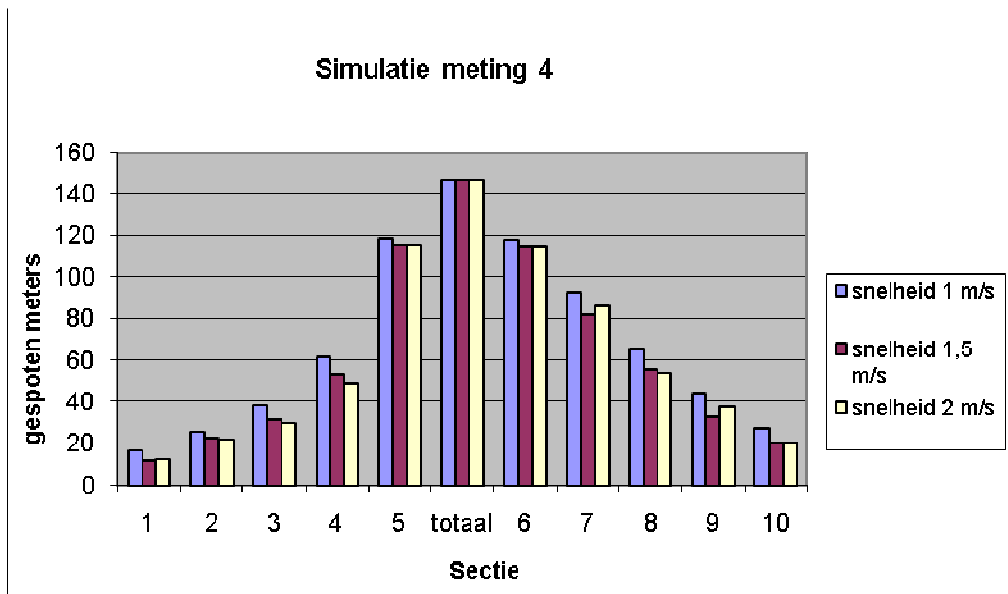
Bij meting 2, (weergegeven in Figuur 4) is net als bij meting 1, (weergegeven in Figuur 3) een lichte stijging in aantal gespoten meters te zien naarmate de snelheid omhoog gaat. Hier vormen de secties 2,

3, 9 en 10 een uitzondering op. Maar bij alle secties is het aantal gespoten meters bij $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ hoger dan bij $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Alle secties spuiten meer meters dan in Figuur 3.



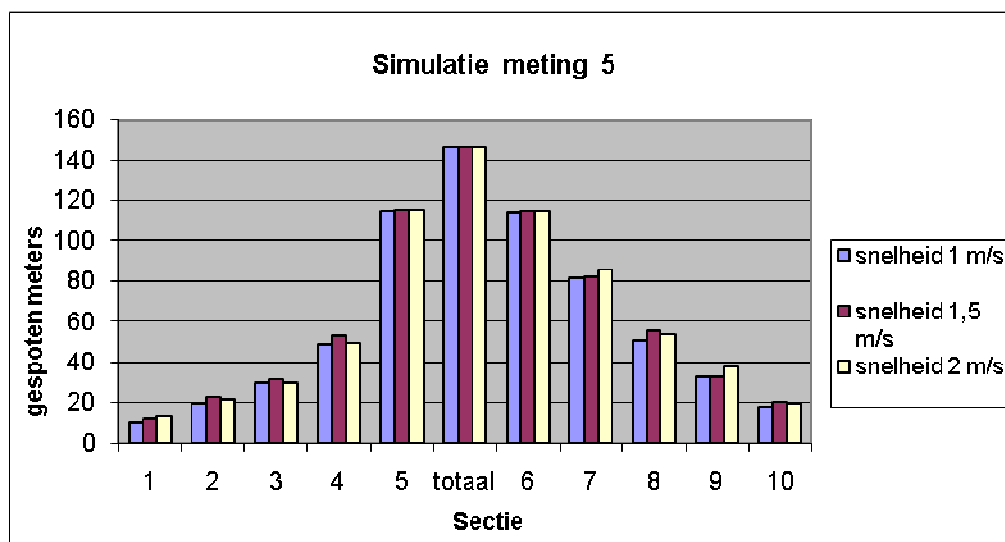
Figuur 5 Simulatie meting 3(Tabel 1) . Op de Y-as staat het aantal gespoten meters en op de X-as staan alle secties met spuitdoppen. Elke sectie bevat 3 snelheden. Totaal is de lengte van het perceel.

Bij meting 3 is voor de lagere snelheden meer gespoten dan voor de hogere snelheden. Daarnaast wordt in alle secties meer gespoten dan in meting 2, weergegeven in Figuur 4.



Figuur 6 Simulatie meting 4 (Tabel 1) . Op de Y-as staat het aantal gespoten meters en op de X-as staan alle secties met spuitdoppen. Elke sectie bevat 3 snelheden. Totaal is de lengte van het perceel.

In meting 4 wordt bij een snelheid van $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bij elke dop de grootste afstand aan bomen gedetecteerd, bij de hogere snelheden is dit verschil niet zichtbaar. In vergelijking met meting 3, weergegeven in Figuur 5 wordt hier minder gespoten.



Figuur 7 Simulatie meting 5 (Tabel 1) . Op de Y-as staat het aantal gespoten meters en op de X-as staan alle secties met spuitdoppen. Elke sectie bevat 3 snelheden. Totaal is de lengte van het perceel.

In meting 5 geven bijna alle doppen bij een snelheid van $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ de hoogste afstand bomen gedetecteerd aan. Alleen sectie 7 en sectie 9 wijken hiervan af. Hier is echter geen echte structuur in te vinden. De resultaten van $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ zijn lager dan in Figuur 6.

Van de laatste meting is ook de besparing in gespoten middel berekend, de resultaten zijn weergegeven in Tabel 2 Mogelijke theoretische besparing in simulatie. De berekening houdt rekening met de grootte van de verschillende secties. Voor elke sectie is het percentage van het perceel dat gespoten moet worden bekend. De mogelijke theoretische besparing is ongeveer 30%.

Tabel 2 Mogelijke theoretische besparing in simulatie, voor elke dop is bepaald hoe lang gespoten is en uitgedrukt in procenten. De percentages zijn gecombineerd. Hiervoor is meting 5 gebruikt(Tabel 1).

	snelheid		
	$1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
% gespoten middel	65.6	66.5	66.4
% besparing	34.4	33.5	33.6

4.3 Discussie

In de vergelijking tussen meting 1 en meting 2 zijn de resultaten in meting 2 over het geheel hoger. Dit is te verklaren omdat in meting 2 (Figuur 4) meer metingen gebruikt worden dan in meting 1, maar in die metingen is het aantal kleine afstanden dat gedetecteerd moet worden hetzelfde. Dit betekent dat in plaats van 100% nu nog maar 67% een kleine afstand hoeft te zijn, dit resulteert in secties die vaker aan zijn.

In meting 2 is duidelijk te zien dat bij een hogere snelheid meer gespoten wordt. De reden hiervoor is dat bij alle snelheden hetzelfde aantal metingen gebruikt wordt, maar dat een meting bij een hogere snelheid een grotere afstand beslaat. Elke 50 ms vindt een meting plaats, bij een snelheid van $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ is dit een afstand van 5 cm, terwijl dit met $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ een afstand van 10 cm is. Als drie metingen gebruikt worden betekent dit dat met een snelheid van $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ de secties 15 cm voor de boom aan gaan en 15 cm na de boom weer uit. Bij een snelheid van $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ is dit een afstand van 30cm voor en na de boom. Een voordeel is dat als de snelheid lager wordt en niet meer metingen uitgevoerd worden, de spuit preciezer gaat spuiten.

In meting 3 (Figuur 5) worden bij een lagere snelheid meer metingen uitgevoerd. Nu gaan de secties op dezelfde afstand voor de boom aan en op dezelfde afstand na de boom weer uit. Het valt nu op dat een lagere snelheid resulteert in meer meters spuiten. De reden hiervoor is dat er bij een hoge en lage snelheid hetzelfde aantal kleine afstanden gevonden moet worden, terwijl het aantal metingen verdubbelt is. En zoals al uitgelegd; als in meer metingen gekeken wordt naar hetzelfde aantal bomen is de kans dat de bomen gevonden worden ook groter. Anders geformuleerd; bij een lage snelheid mag het percentage kleine afstanden lager zijn om een boom te detecteren dan bij een hoge snelheid.

In meting 4 (Figuur 6) is getracht het aantal metingen en het aantal kleine afstanden in goede verhouding met elkaar te brengen. Meer uitgevoerde metingen betekent meer bomen die gedetecteerd moeten worden. De waarden voor de verschillende snelheden komen inderdaad weer dicht bij elkaar te liggen. En bij de lagere snelheden worden dus minder kleine afstanden gezien.

In meting 5 (Figuur 7) is het aantal kleine afstanden achter elkaar verhoogd voor de snelheid $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nu is het aantal gedetecteerde meters voor de laagste snelheid minder als voor de hogere snelheden. Dit geeft aan dat vrij vaak twee kleine afstanden, maar geen drie kleine afstanden, achter elkaar gezien worden.

Niet alle inputs zijn gebruikt om te vergelijken wat het algoritme voor output geeft. Dit komt omdat sommige inputs constant zijn, de cyclustijd, de afstand tussen sensor en dop en de rijbreedte. Daarnaast is de input versnellen reactiesnelheid niet meegenomen. De reden hiervoor is dat deze input de reactietijd van het algoritme verandert en in de simulatie reactietijd niet van belang is. Maar bij de praktijktest is deze input wel van belang, omdat het dan kan zijn dat de doppen te langzaam reageren. De rijbreedte is ook constant genomen. Als de waarde hiervan veranderd wordt betekent dat een andere drempelwaarde. Als deze waarde te groot gekozen wordt, kan de spuit twee rijen meenemen. Als deze afstand daarentegen te klein genomen wordt, kan het voorkomen dat de spuit de rij niet detecteert.

4.4 Conclusie

Het algoritme werkt naar behoren en reageert op het veranderen van de inputs. Daarnaast is een theoretische besparing haalbaar van 30%.

In de verdere conclusies worden een paar begrippen gebruikt. Hieronder wordt uitgelegd wat er mee bedoelt wordt.

- Met precisie wordt bedoeld de plek waar de spuit aan en uit gaat. Als de precisie omlaag gaat, betekent dit dat de spuit verder voor de boom aan gaat en verder na de boom uit gaat. De spuit spuit meer en wordt dus minder precies
- Met de betrouwbaarheid wordt bedoeld de kans dat alles gespoten wordt. Als er één meting gebruikt wordt, is de kans dat een boom niet gespoten wordt groter dan wanneer er meerdere metingen gebruikt worden. Als de kans dat een boom niet gespoten wordt groter wordt, gaat de betrouwbaarheid dus naar beneden.

Uit de metingen kunnen de volgende conclusies getrokken worden over het veranderen van de inputs:

- Veranderen van het aantal metingen
 - Als het aantal metingen dat in het algoritme gebruikt wordt, groter wordt, dan gaat de precisie van de spuit omlaag, maar de betrouwbaarheid van de outputs wordt groter, mits de andere inputs ook goed afgesteld zijn.
 - Als het aantal metingen verkleind wordt, gaat de precisie omhoog, maar de betrouwbaarheid naar beneden. Het aantal metingen moet altijd kleiner zijn dan de lengte van het buffer. De lengte van het buffer is bij een lage snelheid groter dan bij een hoge snelheid.
- Verandering van het aantal kleine afstanden
 - Als het aantal kleine afstanden groter gemaakt wordt, is de kans dat de spuit aan gaat kleiner. Het algoritme wordt dan preciezer, maar tegelijk wordt de kans op fouten groter. Deze waarde kan niet groter worden dan het aantal metingen.
 - Als het aantal kleine afstanden kleiner gemaakt wordt, is de kans dat de output hoog wordt en de spuit aan gaat groter. De spuit spuit dan meer, maar de kans dat een boom niet gespoten wordt, is kleiner.
- Aantal kleine afstanden achter elkaar
 - Als het aantal kleine afstanden achter elkaar verhoogd wordt, is de kans dat de spuit aan gaat kleiner. Bij sommige metingen is deze input overbodig, omdat altijd eerder of tegelijk voldaan wordt aan het aantal kleine afstanden.
- Aanpassen van de rijbreedte
 - Deze waarde is constant en moet goed gekozen worden. Als deze waarde niet goed gekozen wordt, zal de spuit te vaak of niet spuiten.

5 Praktijktest

5.1 Materiaal en methode

De spuit werd buiten langs een windhaag getest, voornamelijk om te kijken of het mogelijk was de doppen op het juiste moment aan en uit te zetten. Dus of er egaal gespoten werd op de stukken waar gespoten moest worden en niet gespoten op open plekken. Voor deze test waren een aantal stappen nodig.

Als eerste werd de snelheid gemeten. Om de pomp van de spuit aan te drijven moest de tractor met een vast toerental rijden. De meetopstelling bestond uit twee stokken met een tussenruimte van 25 meter waar de tractor langs reed. De tijd die het duurde om van stok 1 naar stok 2 te komen, werd geklokt en hieruit de snelheid berekend. De snelheid werd als constant beschouwd.

Daarna werd de reactietijd van de doppen getest door te kijken hoe lang het duurde om een egaal spuitbeeld te krijgen als de dop aangezet werd en hoelang het duurde tot de dop dicht ging als de spuit uitgeschakeld werd. Als laatste werd de snelste tijd van de combinatie van in- en uitschakelen gezocht.

Met de gebruikte inputs van de simulatie en de twee voorgaande testen waren alle inputs aanwezig om de spuit te starten. Bij deze test werd gekeken of de mastspuit op tijd aan en uit ging. Aanpassingen werden gedaan op basis van de conclusies van de simulatie. Deze afstelling werd voor twee verschillende snelheden uitgevoerd. Zie ook bijlage A voor een uitgebreide toelichting.

Nadien werden nog twee tests uitgevoerd. Als eerste werd een test uitgevoerd om de reactietijd van het algoritme te bepalen. Omdat de spuit niet snel genoeg uitgeschakeld kon worden, werd getest of het algoritme sneller zou kunnen reageren. Eerst was de input een kleine afstand, zodat de doppen aan waren, daarna werd de afstand vergroot zodat de doppen uitschakelden.

Bij de tweede test werd de kijkbreedte van de ultrasoonsensoren bepaald. Dit werd gedaan door de afstand van het open gat in de windhaag met de hand op te meten en naderhand te vergelijken met de door de sensoren gemeten afstand van het gat.

5.2 Resultaten

5.2.1 *Snelheidstest*

Als eerste werd de snelheid van de tractor getest. De resultaten staan in Tabel 3. Te zien is dat de gereden snelheden bijna overeenkomen met de gewenste snelheid van 1 en 2 m·s⁻¹ voor de test

Tabel 3 Rijsnelheden, één maal gemeten. Met de afstand tussen de twee stokken, de door de tractor benodigde tijd en de gemeten snelheid van de tractor.

	afstand (m)	tijd (s)	snelheid (m·s ⁻¹)
snelheid ± 1 m·s ⁻¹	25	25.7	1.0
snelheid ± 2 m·s ⁻¹	25	13.0	1.9

5.2.2 *Reactietijdtest van doppen*

Bij de test voor de reactietijd van de doppen is gekeken hoe snel de doppen aan en uit kunnen. Dit is continue gemeten; in het algoritme kon de tijd van de sectie aan en sectie uit geregeld worden. Gekeken werd naar de langzaamste secties, dit zijn secties 5 en 6 omdat deze secties meer doppen aansturen en meer lucht moeten verplaatsen. De resultaten staan in Tabel 4. Te zien is dat het systeem sneller reageert als de spuit uit een stabiele situatie komt, dan wanneer er snel tussen aan en uit geschakeld wordt.

Tabel 4 Reactietijdtest van doppen, een continu proces waarin de kortste tijd bepaalt wordt voor de spuit om de dop dicht te krijgen of een egaal spuitbeeld te vertonen.

	tijd (ms)		Beschrijving
	aan	uit	
meting 1	500	2000	Bepalen van de kortste tijd "aan"
meting 2	2000	600	Bepalen van de kortste tijd "uit"
meting 3	750	750	Bepalen van de kortste gecombineerde tijd "aan"/ "uit"

Van de tijd die benodigd is voor het in- en uitschakelen van de spuit, is voor de verschillende snelheden berekend welke afstand afgelegd wordt voordat de dop daadwerkelijk aan of uit is. De resultaten staan in Tabel 5. Dit betekent dat als de spuit aangezet wordt met een snelheid van $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, het 50 cm duurt voordat de spuit aan is.

Tabel 5 afgelegde afstanden in cm, berekent uit de reactietijd uit Tabel 4. De afstand die het kost bij verschillende snelheden om de spuit aan en uit te schakelen.

snelheid	Aanzetten(cm)	Uitzetten(cm)	Combinatie(cm)
1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	50	60	75
1.5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	75	90	112.5
2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	100	120	150

5.2.3 *Visuele test*

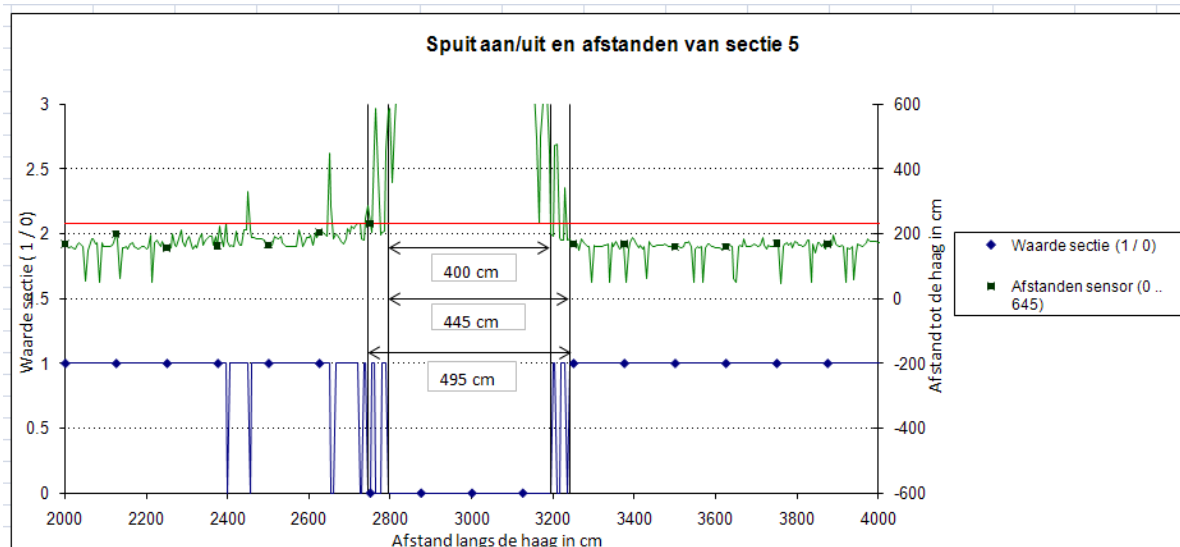
Voor de visuele test is langs een windhaag met een gat gereden. Bij dit gat is gekeken op welke plek de spuit aan en op welke plek de spuit uit ging. Bij de eerste maal rijden, werd de input versnellen reactiesnelheid op een waarde van 450 ms gezet. De dop kwam dan bij de gereden snelheid van $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ virtueel 45 cm dichterbij de sensor. Uit de reactietijdtest bleek dat het minimaal 600 ms moet zijn voor het uitschakelen. Dit is niet mogelijk, omdat dit bij de snelheid van $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ zou 60 cm zou zijn, dit is 10 cm voor de sensoren en dit is nog niet gemeten. Bij deze test ging de spuit pas na ongeveer één meter na de windhaag uit en ging de spuit wel ongeveer 25 cm voor de windhaag weer aan. De instellingen waren een aantal maal gewijzigd, maar de uitkomsten bleven vrijwel gelijk. Geen groot verschil werd opgemerkt. Met elke instelwaarde werd minimaal drie keer gereden.

5.2.4 *Reactietijdtest van het algoritme*

Een test werd uitgevoerd om te onderzoeken of het mogelijk was om het algoritme sneller te laten reageren. Een inputsignaal werd gegeven met kleine afstanden, dit resulteerde in het inschakelen van de secties. Toen alle secties aan waren, werd het signaal gewijzigd naar een grote afstand. Dit resulteerde in het uitschakelen van de spuit. De in- en output signalen waren gelogd en hieruit bleek dat de eerste keer dat het signaal grote afstand gegeven werd, de output het signaal uit gaf. Voor deze test waren dezelfde instellingen gebruikt als ook bij de visuele test gebruikt werden. In deze test was dus de dop virtueel naar voren gebracht.

5.2.5 *Gemeten afstand door sensor en werkelijke afstand*

Tijdens de praktijktest was de vraag gerezen welke breedte het signaal van de sensor heeft. Oftewel, wat de sensor aan de zijkant nog allemaal meet. Om dit te testen, werd het gat met de hand opgemeten en daarna vergeleken met de grootte van het gat die de sensoren gemeten hadden. Deze sensorwaarden staan samen met de uitput in Figuur 8. De met de hand gemeten afstand van het gat is 495 cm.



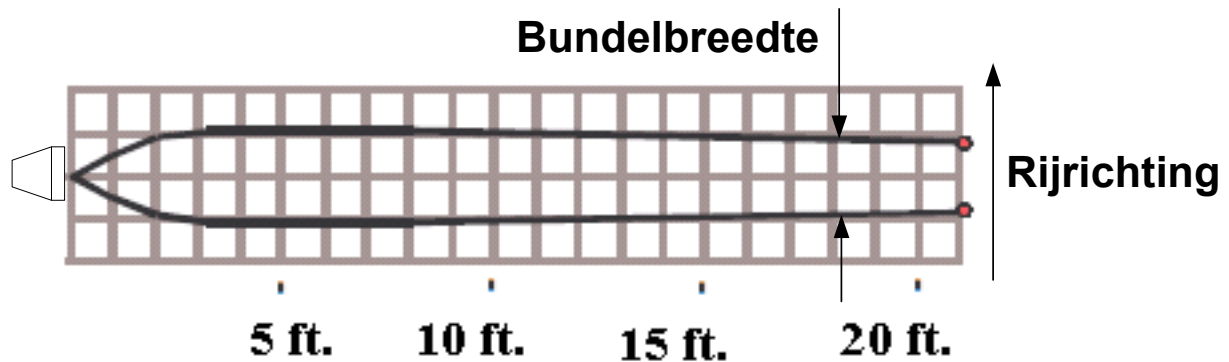
Figuur 8 Op de X-as de afstand langs de haag in cm, op de linker Y-as de waarde van de sectie, aan / uit en op de rechter Y-as de afstand tot de haag. De gebruikte sectie is sectie 5, de gereden snelheid is $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

In dit figuur zijn de “afstanden sensor” de afstanden die de sensor elke keer gemeten heeft. De rode lijn rijbreedte X correctieafstand is de drempelwaarde die gemeten moet worden. De gemeten afstand van het gat is de afstand van de eerste waarde boven de drempelwaarde tot de eerstvolgende waarde onder de drempelwaarde. Op de x-as staat de afgelegde afstand in cm. De lengte van het gemeten gat is 400 cm. Voor de afstand van “waarde sectie” is op hetzelfde punt begonnen, maar is doorgemeten tot de laatste waarde 0. Dit omdat de kleppen niet eerder aan gaan. Het aangaan kost tijd. Het verschil in afstanden staat in Tabel 6.

Tabel 6 Afstanden, de lengte gat is met de hand gemeten en gemeten is door de sensor gemeten. Afstanden is van de laatste kleine afstand tot de eerstvolgende kleine afstand. Waarde sectie is van de laatste kleine afstand tot de laatste grote afstand.

	Afstand (cm)		
	lengte gat	gemeten	verschil
volgens afstanden	495	400	95
volgens waarde sectie	495	445	50

De fabrikant geeft zelf ook het zendbereik van de sensoren, dit is te zien in Figuur 9. Te zien is dat de afstand in de rijrichting tot iets wat de sensor nog waar kan nemen ongeveer 1 voet, ofwel 31 cm is. Dit betekent dat de ultrasoonsensor al 30 cm voordat de sensor bij de boom is, de boom ziet.



Figuur 9 Zendbereik van de ultrasoonsensor. Met links de sensor. In de figuur is de eenheid voet gebruikt, 1 voet komt ongeveer overeen met 31 cm (MaxBotix inc. 2008).

5.3 Discussie

De spuit is ingesteld op het zo snel mogelijk reageren. Dit betekent dat het algoritme maar één meting in zijn buffer heeft. Dat levert op dat een groot deel van het algoritme overgeslagen wordt en de input gelijk aan de output wordt. De betrouwbaarheid van het algoritme gaat zo naar beneden.

Uit Tabel 5 blijkt de afstand die minimaal nodig is om de spuit aan te schakelen 50 cm is bij een snelheid van $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. De afstand tussen de sensoren en de dop is ook slechts 50 cm. Het systeem zou dus niet al 25 cm voor de boom kunnen reageren. Toch blijkt uit de visuele resultaten dat dit wel mogelijk is. De reden hiervoor is dat de sensor uitzendt in de vorm van een kegel. In Figuur 9 is dit te zien. Hierin is te zien dat de afstand tot iets wat de sensor nog waar kan nemen ongeveer 31 cm is. Dit maakt de afstand tussen de dop en de sensor 80 cm. En als het 50 cm kost om aan te gaan, kan de sensor 30 cm voor de boom al aan gaan.

De kijkhoek van de sensor heeft ook een nadeel; de boom wordt pas niet meer gezien als de sensor 30 cm voorbij de boom is. Dit maakt de afstand tussen de sensor en de dop 20 cm. En als de sensor 60 cm nodig heeft om uit te gaan, kan de dop pas uit zijn als de spuit 40 cm voorbij de boom is. Dit komt niet overeen met de gestelde eisen. Om dit te kunnen vervroegen, is de reactietest van het algoritme

uitgevoerd. Het algoritme reageerde al gelijk bij de eerste waarde en kan daarom niet versneld worden. Het gat tussen twee bomen moet nu een minimum grootte hebben van 60 cm om door de sensoren opgemerkt te worden en moet om uit te kunnen gaan een minimum grootte hebben van 65 cm. Hier is de hele tijd uitgegaan van de datasheet van de ultrasoonsensoren met een kijkhoek van 60 cm. Uit onze test tussen de met de hand en door de sensoren gemeten afstand is gebleken dat de sensor meer als 30 cm voorbij de boom moet zijn om uit te gaan.

Bij de praktijktest reed de tractor op een afstand van ongeveer 2 m van de bomen af. Deze afstand is in een laanbomenperceel veel kleiner; de pootafstand van de bomen is tussen de 1.6 en 2.4 m. De top van de boom hoort in het midden van de boom te zitten, wat betekent dat de top van de boom op een maximum afstand van 1.2 m van het midden van de spuit zit. Omdat de sensoren aan de zijkant van de spuit zitten, zal de afstand tussen de sensor en de top van de boom ongeveer 1.0 m zijn. Hier is geen rekening gehouden met het zwiepen van de mast, wat nog weer verandering in de afstand kan brengen. Daarnaast is de afstand in het midden van de boom nog kleiner en zitten de takken bijna voor de sensoren. Hier is de kegelvorm van het meetbereik van de sensor niet zo breed. Bij een afstand van 30 cm zou het ongeveer 15 cm aan elke kant zijn (Figuur 9). Een eis is dan dat de input voor de "rijbreedte" per sensor bepaald wordt en voor de laagste sensoren dan ook naar 30 cm gezet moet worden. Het te kort instellen van de "rijbreedte" kan als gevolg hebben dat de sensor geen boom ziet terwijl wel een boom aanwezig is. De bomen zijn namelijk bij de stam breder dan aan het uiteinde. Bij een homogeen veld zou hier gebruik van gemaakt kunnen worden door te voorspellen waar de boom ophoudt. Als de spuit al 20 cm voordat de sensoren bij het einde van de boom zijn, uitgeschakeld kan worden zijn de doppen binnen 25 cm na de boom uit.

Een oplossing om de spuit snel genoeg uit te kunnen krijgen, zou het vergroten van de afstand tussen de sensor en de dop zijn. Deze oplossing heeft ook nadelen. Een tweede mast zou gebouwd moeten worden voor de sensoren, die dan of voorop de tractor komt of voorop de spuit. Voorop de tractor is onhandig, omdat dan de spuit uit twee delen bestaat en het veel tijd kost om de spuit aan te koppelen. Het belangrijkste nadeel aan de tweede mast is de extra kans op beschadigingen aan de boom. Een ander groot nadeel zijn de kosten. Door een tweede mast worden de kosten voor een spuit ook veel hoger en dus minder rendabel.

Een andere oplossing waar aan gedacht, is de hoek van de sensoren verplaatsen zodat ze niet meer zover naar achteren kijken. Het nadeel hieraan is dat ze meer naar voren kijken en de minimum grootte van het gat dat gedetecteerd wordt groter wordt.

Alle testen zijn gedaan met een snelheid van $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Als de snelheid naar $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ verhoogd wordt, gaat het resultaat nog verder achteruit. De spuit gaat nog later uit en ook te laat aan. Bij het uitgaan van de doppen blijft de afstand tussen de spuit en doppen 20 cm, maar de afgelegde afstand voor de reactietijd van de doppen is 120 cm. Dit betekent dat de spuit pas een meter na de bomen uit kan zijn. Ook is geen berekening gedaan naar de besparingen omdat daar geen meting naar gedaan is. In dat geval zou de verspoten vloeistof gemeten moeten zijn. De tijd die het algoritme de spuit aan heeft laten staan, is niet representatief voor de hoeveelheid verspoten middel.

5.4 Conclusie

De belangrijkste conclusie is dat de mastspuit bij de praktijktest niet aan de gestelde eisen kon voldoen. Zowel de eis voor de snelheid van $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ is niet gehaald, als ook de eis om de spuit binnen 25 cm na een boom uit te schakelen is niet gelukt. De resultaten zouden in de praktijk beter kunnen zijn, omdat in een laanbomenperceel andere afmetingen zijn dan langs een windhaag zoals bij de praktijktest.

Een goede instelling van de spuit kan nog winst opleveren en zorgen dat de spuit beter aan de eisen voldoet. Omdat het algoritme zo snel moet reageren, is de betrouwbaarheid niet heel hoog. Maar om de betrouwbaarheid hoger te krijgen, moet het buffer langer worden en kost het meer tijd voor de spuit reageert.

Het probleem dat de spuit niet aan de eerder gestelde eisen kan voldoen, is niet op te lossen door de software te veranderen. Hier zal een hardwareaanpassing plaats moeten vinden.

6 Algehele conclusie

Het algoritme is gesimuleerd en getest en werkt naar behoren. Het algoritme reageert zo snel als mogelijk is en reageert goed op de inputs.

De spuit is te traag en kan niet op tijd uitschakelen. Dit betekent dat niet aan de eisen voldoen kan worden. De eis dat de spuit binnen 25 cm na de boom uit moet zijn is niet gehaald. Daarnaast duurt bij een snelheid van $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ het aanschakelen ook te lang wat betekent dat de spuit pas aan gaat als de doppen al voor de boom zitten. Dan wordt niet alles gespoten.

Er is een relatie tussen de snelheid en de precisie van de spuit. Naarmate de spuit sneller rijdt, gaat de precisie naar beneden en wordt er meer mee gespoten. Deze relatie is linear.

7 Aanbevelingen

De spuit kan niet aan de eisen voldoen, omdat het systeem niet snel genoeg is. De sensoren die gebruikt worden zijn ultrasoonsensoren. Deze sensoren hebben een brede kijkhoek in vergelijking met laserscanners. De tien ultrasoonsensoren zouden vervangen kunnen worden door één laserrangescanner. Deze sensoren sturen een laserstraal uit; dit zijn stralen en die convergeren niet, daarnaast meten ze per seconde net zo vaak of meer. Dit vraagt wel veel aanpassingen in de software en een grotere rekenkracht van de computer omdat een laserrangescanner meer waarden teruggeeft dan ultrasoonsensoren.

De sensoren staan niet op dezelfde plek als dat de doppen zitten. Uit de praktijktest is gebleken dat de sensoren conisch kijken, dus ook omhoog en omlaag. De bovenste sensor zit nu voor de derde dop van boven (Figuur 1). Deze meet of een boom aanwezig is 30 cm onder de sensor, dit is ongeveer de plek waar de vierde dop van boven zit. Dit is ongeveer 50 cm te laag en de dop zal dus veel te vaak aan zijn. De sensoren kunnen dus het beste 1 dop hoger geplaatst worden dan waar ze voor moeten meten. Dit levert meer besparingen op.

De snelheid komt nu als constante binnen in het algoritme. Als dit veranderd wordt door een sensor op de spuit te plaatsen die de snelheid meet en deze snelheid als input aan het algoritme meegeeft, levert dat twee voordelen op. Als eerste wordt de spuit preciezer; het kan rekening houden met de snelheid en zorgen dat de spuit op het goede tijdstip aan en uit gaat. Het tweede voordeel is voor de boer zelf; die hoeft geen constante snelheid meer te rijden, maar kan zo hard rijden als het veld op dat moment toe laat. In een open stuk harder dan op een plek waar de bomen heel dicht staan.

8 Literatuurlijst

Bosch Rexroth (2010). 3/2-way valve, series 579. Bosch Rexroth. Bekeken op 16-11-2010, van

http://www.boschrexroth.com/pneumatics-catalog/content/allplatforms/vornavigation/xmedia/internet/en/pdf/PDF_p31054_en.pdf

Dragone (2004). Dragone Krumm. Dragone, Italië. Bekeken op 16-11-2010, van

<http://www.damcon.nl/beheer/plaat/krumm.pdf>

Easydaq. DIO24MxS 24 channel relay cards. Easydaq, Verenigd Koninkrijk. Bekeken op 16-11-2010, van

[http://www.easydaq.biz/Datasheets/Data%20Sheet%201%20\(DIO24MxS%20-%2024%20Chan%20Power%20Relay%20card\).pdf](http://www.easydaq.biz/Datasheets/Data%20Sheet%201%20(DIO24MxS%20-%2024%20Chan%20Power%20Relay%20card).pdf)

Gil, E., Escolà, A., Rosell, J.R., Planas, S., Val, L., (2006). Variable rate application of plant protection products in vineyards using ultrasonic sensors. Bekeken op 01-12-2010, van

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T5T-4MM25NY-3&_user=533256&_coverDate=08%2F31%2F2007&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1567986759&_rerunOrigin=google&_acct=C000026798&_version=1&_urlVersion=0&_userid=533256&md5=5e1c7dba1a6d64770c2e36a5d9bb74b6&searchtype=a

Kramp (2010). Arag Flowstop. Arag. Bekeken op 16-11-2010, van

http://www.kramp.com/shop/action/product_60_-1_568553_10201_226208_0_Arag+Flowstop

Lans, A. Van der, Michielsen, J.M.G.P., Zande, J.C. Van de, (2009). Effect spuitvloeistofverdeling van emissiereducerende technieken in laanbomen. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving B.V.

MaxBotix Inc. (2008). LV-MaxSonar-WR1 High Performance Wheater Resistant Sonar Range Finder.

MaxBotix Inc., USA. Bekeken op 16-11-2010, van <http://www.maxbotix.com/uploads/LV-MaxSonar-WR1-Datasheet.pdf>

National Instruments Corporation (2008). User Guide and Specifications NI USB-6008/6009. National Instruments Corporation, USA. Bekeken op 16-11-2010, van

<http://www.ni.com/pdf/manuals/371303l.pdf>

Stover, E. (2002). Sensor-Controlled Spray Systems for Florida Citrus. University of Florida. Bekeken op

16-11-2010, van http://ucce.ucdavis.edu/freeform/spray_app_tech/documents/Sensor-Controlled_Spray_Systems9451.pdf

Tumbo, S.D., Salyani, M., Whitney, J.D., Wheaton, T.A., Miller, W.M., (2002). . Applied Engineering in Agriculture Vol. 18(3): 367-372.

Zaman, Q.U., Schumann, A.W. (2005). Performance of an ultrasonic tree volume measurementSystem in Commercial Citrus Groves. University of Florida. Bekeken op 01-12-2010, van

<http://www.springerlink.com/content/b363utkv771jl2x6/fulltext.pdf>

9 Bijlagen

9.1 Bijlage A: Praktijktest

Donderdag 4 november 2010

Praktijktest mastspuit

Testen snelheid, het toerental moet voor de pomp van de spuit constant zijn, waarschijnlijk 540 toeren. Dit betekent een motortoerental van 2000

- Neerzetten 2 palen, 25 meter uit elkaar
- Met de tractor een vast toerental rijden, de tijd klokken.
- Berekenen van de snelheid, afstand delen door de tijd. Testen bij 2 snelheden, bij voorkeur $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (snelheid die een eis is).

Testen van de reactietijd van de doppen

- Programma laten lopen op test reactietijd.
- Tijd instellen voor de tijd aan en voor de tijd uit (instellen 2000 ms)
- Tijd voor tijd aan verlagen totdat het spuitbeeld slechter wordt. Reactietijd voor dop aanzetten.
- Tijd opnieuw instellen op 2000 ms
- Tijd voor tijd uit verlagen totdat spuitbeeld slechter wordt. Reactietijd voor dop uitzetten.
- Langste tijd gebruiken voor input versnelling

Visueel testen van de spuit

- Instellen waarden:
 - Rijbreedte afstand in cm meten tot hart boom en vermenigvuldigen met 2
 - Correctiefactor rijbreedte 0.75
 - Snelheid uit test 1 in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (ongeveer $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)
 - Afstand sensor dop 0.5m
 - Aantal metingen 2 (later eventueel aan te passen)
 - Aantal bomen (achter elkaar) 1
 - Versnellen reactiesnelheid als in test 2
- Afstellen alle waarden voor optimaal resultaat (maximaal 1 per keer), gebruik de volgende punten
 - Als te weinig bomen gedetecteerd worden kunnen de volgende punten het probleem vormen
 - De sensor moet te vaak het signaal boom geven en/of te vaak achter elkaar het signaal boom geven
 - Het aantal metingen staat te laag en moeten meer metingen genomen worden
 - De rijbreedte staat te smal (stop eerst het programma)
 - Als de spuit te vaak aan staat
 - De rijbreedte staat te breed

- Het aantal metingen staat te hoog in combinatie met het aantal bomen dat gevonden moet worden
- Als de spuit te vroeg aan gaat en ook te vroeg uit
 - De vertragingstijd moet langer
- Als de spuit te laat aan gaat en ook te laat uit
 - De vertragingstijd moet korter
- Als de spuit te vroeg aan gaat en te laat uit
 - Het aantal metingen moet omlaag(nauwkeuriger)
 - Denk aan het aantal bomen dat gevonden moet worden
- Als de spuit te laat aan gaat en te vroeg uit
 - Het aantal metingen moet omhoog(minder nauwkeurig)
- Als de spuit te weinig metingen uit kan voeren
 - De snelheid is te hoog, verlaag de snelheid, ook in de software(stop eerst het programma)

Visueel afstellen van de spuit deel 2

- Verander de snelheid naar ongeveer $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (wat uit test 1 komt)
- Pas de waarden aan naar optimaal resultaat

9.2 Bijlage B: Pseudo code

Het algoritme zoals in het blokschema weergegeven wordt hier in meer detail met pseudo-code weergegeven.

START INITIALISATION

Geef waarde "rijbreedte"
Geef waarde "afstand sensor/dop"
Zoek waarde "tijd"(50 milliseconden)
Initialiseer array "aantal maal geen boom" met lengte tien
Initialiseer array "afgelegde afstanden" Bepaal de lengte van de array (**vergelijking (3.1)**)
Initialiseer 2-D array "sensorwaarden" met 10 rijen, het aantal kolommen is gelijk aan de lengte van de array "afgelegde afstanden"

INITIALISATION FINISHED

WHILE

Krijg array "sensordata"
Geef waarde "Correctiefactor rijbreedte"
Geef waarde "snelheid"
Geef waarde "versnellen reactiesnelheid"
Geef waarde "gewenste aantal metingen"
Geef waarde "gewenst aantal kleine afstanden"
Geef waarde "aantal kleine afstanden achter elkaar"

Zet array "sensordata" om naar Boolean "Boolean sensordata" (**vergelijking (3.2)**)
Plaats array "Boolean sensordata" op kolom 0 in de 2-D array "sensorwaarden"

Bereken "afgelegde afstand" (**vergelijking (3.3)**)
Plaats "afgelegde afstand" in de array "afgelegde afstanden" op index 0
Verwijder de laatste waarde van array "afgelegde afstanden", nu "afgelegde afstanden -1"
Maak "buffer afstand" (**vergelijking (3.4)**)
IF som "afgelegde afstanden -1" groter gelijk aan "buffer afstand"
 WHILE "afgelegde afstanden -1" groter gelijk aan "bufferafstand"
 Verwijder laatste kolom 2-D array "sensorwaarden"
 Verwijder laatste waarde array "afgelegde afstanden"
 Verwijder laatste waarde "afgelegde afstanden", nu "afgelegde afstanden -1"

ELSE
 "sensorwaarden" is "sensorwaarden"
 "afgelegde afstanden" is "afgelegde afstanden"

Bepaal lengte van de array "afgelegde afstanden", "lengte array"
IF "gewenste aantal metingen" groter dan "lengte array"
 "aantal metingen" is "lengte array"

ELSE
 "aantal metingen" is "gewenste aantal metingen"

IF "gewenst aantal kleine afstanden" groter dan "aantal metingen"
 "aantal kleine afstanden" is "aantal metingen"

ELSE

“aantal kleine afstanden” is “gewenst aantal kleine afstanden”
“lengte array” is “lengte array”-1

FOR elke rij van 2-D array “sensorwaarden”
AND elke waarde van array “aantal maal geen boom”
Initialiseer “aantal kleine afstanden gezien”, zet op 0
Initialiseer “aantal kleine afstanden achter elkaar gezien”, zet op 0
WHILE iteratie kleiner dan “aantal metingen”
OR “aantal kleine afstanden” kleiner dan “aantal kleine afstanden gezien”
OR “aantal kleine afstanden achter elkaar” kleiner dan “aantal kleine afstanden achter elkaar gezien”

“Array length” – iteration, nu “index”

Krijg waarde, “value”, uit array “sensorwaarden” met plaats “index”

Zet “value” om in 0 of 1.

Nieuwe waarde “aantal kleine afstanden gezien” (**vergelijking (3.5)**)

Nieuwe waarde “aantal kleine afstanden achter elkaar gezien”

(vergelijking(3.6))

IF “aantal kleine afstanden” groter dan “aantal kleine afstanden gezien”

OR “aantal kleine afstanden achter elkaar” groter dan “aantal kleine afstanden achter elkaar gezien”

“Output” is True

ELSE

“Output” is False

IF “Output” is True

“Output” is True

Waarde “aantal maal geen boom” is 0

ELSE

Waarde “aantal maal geen boom” is “aantal maal geen boom” + 1

IF “aantal metingen” groter dan waarde “aantal maal geen boom”

“Output” is False

ELSE

“Output” is True

Next FOR iteration

Next WHILE iteration