

2. nationaal nieuws 2.1

oogstvoorspellingen met behulp van rs-informatie

Jan den duk

vakgr. theoretische teeltkunde landbouwhogeschool, wageningen

Inleiding

Een van de projecten die in het kader van het L en V/WB-fonds worden uitgevoerd is het project "Software-ontwikkeling betreffende oogstvoorspelling met behulp van Remote-Sensing informatie". De bedoeling van het project is een koppeling tot stand te brengen tussen enerzijds de kennis op het gebied van gewasgroei en -ontwikkeling en anderzijds de kennis op het gebied van reflectie in gewassen.

De gekozen werkwijze in het project houdt in dat een gewasgroei-simulatie uitgevoerd wordt voor een bepaald gewas voor een lopend groeiseizoen, en dat RS-gegevens gebruikt worden om deze simulatie "bij te sturen". Tevens zal onderzocht worden in hoeverre de RS-gegevens en daarmee de bijsturing beïnvloed wordt door toevallige niet-landbouwkundig relevante factoren (wind, natte bladen). Dit is nodig om een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van het gehele proces.

In dit artikel wordt achtereenvolgens ingegaan op de onderdelen:

- dynamische gewassimulatie;
- gewas als reflektor;
- modellering van de optische en geometrische eigenschappen van een gewas.

Tenslotte worden enkele modelberekeningen besproken. Maar eerst wordt aandacht besteed aan de motivering van de gekozen methode en de koppeling tussen groeisimulatie en RS-gegevens.

Motivering van de gekozen methode

De stand van zaken met betrekking tot de kennis van de groei en ontwikkeling van gewassen is zodanig dat, mits voldoende bekend is omtrent de standplaatsfactoren die van invloed zijn op het gewas, een betrekkelijk goede dynamische simulatie van de groei en ontwikkeling van dit gewas mogelijk is "groei" betreft het gewicht aan droge stof van een plant, "ontwikkeling" het stadium waarin een plant verbeert: zoals knopontwikkeling, bloei, afrijpen. De groei wordt voornamelijk be-

(Uit : Remote Sensing ; Nieuwsbrief , no 20 , september 1984).

paald door licht, vocht en nutriëntenvoorziening; de ontwikkeling door temperatuur en daglengte).

Dit betekent dat een oogstvoorspelling tot stand komen door het simuleren van een gewas, waarbij gebruik gemaakt wordt van de gegevens van bodem en klimaat als bekende invloeden. Een simulatie die op deze wijze uitgevoerd wordt leidt tot een globale opbrengstvoorspelling. Deze is te verbeteren door over het al verlopen deel van het groeiseizoen niet het klimaat (= het gemiddelde weersverloop), maar het aktuele weersverloop als drijvende grootheid voor de simulatie te gebruiken. Maar ook een op deze wijze uitgevoerde simulatie kan (en zal) niet volledig synchroon lopen met de gesimuleerde groei. Als over grotere oppervlakken voorspellingen gedaan moeten worden, kan het niet anders dan dat zich afwijkingen gaan voordoen. Deels omdat de informatie over standplaats en weer te grootschalig is, deels omdat de invloed van lokale verstoringen (bijv. parasieten) niet gemodelleerd is.

Koppeling tussen gewassimulatie en Remote Sensing gegevens

De kwaliteit van de simulatie kan waarschijnlijk beduidend opgevoerd worden als gedurende het groeiseizoen een bijsturing zou plaatsvinden waarbij de simulatie weer "in de pas" gebracht zou worden met de aktuele veldsituatie. En hiertoe zouden met behulp van Remote-sensing technieken verkregen gegevens een goed hulpmiddel kunnen zijn, mits, en daar zit de quintessens, uit de gegevens die vanuit een vliegtuig of een satelliet verkregen worden voldoende nauwkeurig de momentane stand van het gewas te reconstrueren is. Voor deze koppeling zijn drie procedures denkbaar:

Statistisch

Op een groot aantal test-plekken wordt onder zoveel mogelijk verschillende omstandigheden het verband tussen de veldgegevens (soort en ras, LAI, bodemgegevens, enz.) en de reflectie gemeten. Deze gegevens worden gebruikt om een ijktabel op te stellen die daarna gebruikt kan worden om vanuit de gemeten reflectie en de (deels) bekende veldgegevens de stand van het gewas af te leiden. De gevonden verbanden zijn volledig empirisch.

Vanuit de gemeten reflectie

De RS-gegevens worden gebruikt om een schatting te maken van de gewasgeometrie, en daarna wordt de toestand van het gewas berekend.

Afwijkingen tussen de gesimuleerde en berekende toestand van het gewas worden gebruikt om de simulatie bij te sturen. Bij deze methode moet bedacht worden dat de reflectie het resultaat is van een groot aantal factoren. Een aanzienlijk aantal aannames over de relaties tussen de verschillende factoren is nodig. Rekentechnisch leidt dit waarschijnlijk tot erg grote problemen.

Vanuit het gesimuleerde gewas

Vanuit het simulatiemodel wordt de toestand berekend. De berekende gewas-toestand wordt gebruikt om de RS-gegevens te simuleren. De verschillen tussen de berekende en de gemeten reflectie worden gebruikt om de simulatie bij te sturen. Deze methode is meer gedetermineerd dan de vorige. De aannames beperken zich tot de verbanden tussen gewasgroei en geometrie en optische eigenschappen van het gewas.

Keuze voor een methode

In het onderzoek is gekozen voor de derde methode en wel om de volgende twee redenen:

1. Het proces op deze wijze beschreven is een gedetermineerd proces; er hoeven geen inversies gepleegd te worden die van reflectie leiden tot gewasstructuur.
2. Om de optische eigenschappen van een gewas te kunnen berekenen uit de biomassa, structuur en optische eigenschappen van de bladen is een gewasgeometrie-model nodig dat zo min mogelijk beperkingen kent in de modellering van deze fenomenen. Tevens dient in alle drie de geschetste mogelijkheden onderzocht te worden hoe verschillen in reflectie die het gevolg zijn van een andere "stand van het gewas" in landbouwkundige zin zich verhouden tot verschillen die het gevolg zijn van genoemde verstoringen zonder landbouwkundige betekenis. Inmiddels is een model ontwikkeld dat hiervoor geschikt is.

Gewasgroei-simulatie

De groei en ontwikkeling van een gewas op een bepaald moment kunnen gesimuleerd worden door de momentane groei te beschrijven als een functie van de "stand van het gewas" op datzelfde moment, en de abiotische factoren zoals licht, temperatuur, vochtvoorziening. De complexiteit van de processen brengt met zich mee dat een eerste orde integratie (dus van het type $S_{t+\Delta t} = S_t + \Delta t * R_t$; S = toestand, R = snelheid, t = tijd) het meest voor de hand ligt. Afhankelijk van het type model kunnen bepaalde perifere verschijnselen als onderdeel van het model meege-

simuleerd of als drijvende kracht beschreven worden. Het karakter van deze simulaties is zodanig dat de integralen betrekking hebben op fysieke massa's, en dat de rates betrekking hebben op produktie van massa, transport van massa tussen reservoirs en op afbraak van massa. Ontwikkeling in fenologische zin wordt gesimuleerd als een oneigenlijke integraal, waarvan de integrand afhangt van de factoren die de veroudering bepalen. Een voorbeeld van de relaties binnen een (zeer eenvoudig) model is weergegeven in figuur 1.

Gewas als reflektor

De afgelopen 20 jaar zijn door verschillende onderzoekers modellen gemaakt voor de beschrijving van de reflektie-eigenschappen van gewassen. Idso en De Wit beschreven in 1970 een model voor de penetratie van licht in een gewas. Suits volgde in 1972 met een sterk gesimplificeerd model dat een analytische berekening toeliet. De beperkingen van dit soort modellen is dat een aantal eigenschappen die voor de reflektie van belang zijn verondersteld worden van een (te) simpele structuur te zijn (blad als Lambertiaanse diffusor) of geen variatie te vertonen (azimutale bladhoekverdeling). In de praktijk zijn bladhoekverdelingen veel ingewikkelder en gedragen bladen zich niet Lambertiaans.

Om de belangrijkste van de geschetste fenomenen te kunnen modelleren is een model nodig waarin de volgende eigenschappen gedefinieerd kunnen worden:

- ruimtelijke bladstandsverdeling;
- optische eigenschappen van de bladen, waarbij ook glans gemodelleerd moet kunnen worden.

Deze grootheden dienen met de hoogte van het gewas te kunnen verlopen, en zelfs scherpe overgangen te kunnen hebben.

Modelleren van het gewas

Het zal duidelijk zijn dat als alle relaties die bedoeld zijn beschreven worden als continue functies van hoogte en richting (ruimtelijk, dus ϕ en θ) een oplossing niet gezocht dient te worden in het berekenen van een analytische oplossing. Een discrete oplossing is wel mogelijk. Hiertoe zijn de volgende discretisering toegepast:

- het gewas wordt verdeeld in homogene lagen;
- de bladhoekverdeling voor elke laag wordt beschreven als een verdeling over een eindig aantal richtingen.

In de berekening is nodig dat het totale bladoppervlak per laag niet te hoog is, zodat effecten als onderlinge beschaduwing en dubbele reflektie binnen een laag

verwaarloosd kunnen worden. Goudriaan (1977) suggereert hiervoor een LAI van 0.1; modelberekeningen en een theoretische afleiding bevestigen deze keus.

Als nu de straling in de te onderscheiden richtingen op een bepaalde gegeven hoogte beschreven wordt als de elementen van een vector, kan de invloed van een laag op het invallende licht beschreven worden als een matrix (fig. 2 en 3).

Een speciale rekentechniek wordt gebruikt om de eigenschappen van de verschillende lagen te combineren tot de eigenschappen van het totale gewas. Deze Adding-methode is beschreven door Van de Hulst (1980). De basis ervan is dat uit de matrices die de eigenschappen van de bodem en de onderste laag beschrijven een gecombineerde reflectie matrix berekend wordt. Deze berekening wordt herhaald voor de één na onderste laag en de combinatie onderste laag + bodem. Herhaalde berekening leidt tot de matrix die de reflectie van het gehele gewas beschrijft.

Keuze van de richtingen

Het aantal te onderscheiden richtingen wordt bepaald door twee tegenstrijdige randvoorwaarden;

- de mate van precisie waarmee het gewas beschreven moet worden;
- beperking van de rekentijd: deze is ongeveer evenredig met de derde macht van het aantal onderscheiden richtingen;

Gebruikelijk is om een aantal azimuthale (ϕ) en inclinatie (θ) richtingen te onderscheiden en dan elke combinatie (ϕ, θ) te gebruiken (als meridianen en breedte-cirkels op een globe). Een eigenschap van deze verdeling is dat individuele vlakken naar de "polen" steeds kleiner en tevens rechthoekiger worden. Dit betekent dat de berekeningen voor de richtingen met grote inclinatie onnodig nauwkeuriger zijn dan die die betrekking hebben op nagenoeg horizontale richtingen. Daarom is voor het onderhavige model een verdeling gekozen van 46 vijf- en zes-hoeken op een bol die de eigenschap hebben dat ze:

- alle even groot zijn (0.1366 sr);
- onderling ongeveer even grote hoeken vertonen (≈ 0.4 rad.).

Deze vlakken worden gebruikt voor het representeren van bladrichtingen, de normaalvectoren op hun middens als lichtrichtingen.

Dit betekent:

- dat geen gewichtsfuncties nodig zijn om verschillen in oppervlakte te verdisconteren;
- dat de berekening in alle richtingen even nauwkeurig is.

Deze richtingen worden zowel gebruikt als drager-vector voor de lichtrichtingen als normaal op de bladrichtingen (fig. 4).

Resultaten

Met het beschreven model zijn een aantal berekeningen gemaakt, deels om het model te testen en te vergelijken met berekeningen van anderen, deels om een indruk te krijgen van de effecten van verstoringen in de geometrie die het gevolg zijn van bijv. wind. Ook is gekeken naar het effect van het modelleren van bladglans. Hoewel het aantal berekeningen nog te klein is om deze uitgebreide conclusies te trekken, kunnen enkele voorlopige resultaten gegeven worden:

1. Met gegevens over bladstandsverdelingen zoals deze gemeten zijn aan katoen door Lang (1972) is een berekening uitgevoerd van de helderheid in verschillende richtingen voor rood en infrarood licht. Deze is vergeleken met de helderheid van een gewas met een random-bladhoekverdeling. De resultaten staan in tabel 1. We zien dat zowel de ratio's als de invloed van de bladhoekverdeling sterk richtingsafhankelijk zijn. Zelfs vertikaal kijkend is de invloed van de bladhoekverdeling op de IR/R-verhouding vergelijkbaar met een toename van de LAI van de orde van grootte van 1.
2. Voor een theoretisch gewas dat in één richting verwaaid is, blijkt afhankelijk van de zonsrichting de IR/R-verhouding een factor 2 te verschillen (tussen 20 en 9!).
3. De invloed van bladglans is sterk afhankelijk van de bladhoekverdeling en de zon. Bij een gewas met erecte bladeren neemt de reflectie af bij hogere zonnestrallen; bij lagere zonnestand neemt de reflectie toe.

Vervolg van het onderzoek

In de literatuur zal gezocht worden naar meer gegevens over de relatie "stand van het gewas"-geometrie en bladeigenschappen. Tevens zullen de invloed van wind en zon op bladstanden nagegaan worden, evenals de invloed van andere verstoringen. Met deze gegevens zullen simulatieberekeningen gedaan worden. De resultaten hiervan kunnen dan dienen als bouwstenen voor het koppelmechanisme.

Tabel 1: Berekende veranderingen in de reflectie als gevolg van kijkrichting en bladstand voor katoen. De bladhoekverdeling is gemeten door Lang (1973). De LAI is 3. De zon stond in de berekeningen in noordoostelijke richting 45° boven de horizon (Australië). De berekende waarden zijn alle genormaliseerd door ze te delen door de waarde die berekend is voor vertikaal kijken naar een sferisch gewas met een random-bladhoekverdeling.

kijkrichting	bladstand					
	random			katoen (Lang, 1973)		
azimut. & inclin.	R	IR	IR/R	R	IR	IR/R
zenith	1	1	1	1.11	1.18	1.07
zuidwest, 45°	.62	1.01	1.63	.69	1.01	1.47
noordoost, 45°	1.38	1.12	.81	1.58	1.47	.93
noordwest, 45°	.95	1.20	1.25	1.28	1.34	1.05
zuidoost, 45°	.95	1.20	1.25	1.00	1.14	1.14

Referenties

- Goudriaan, J., 1977. Crop micrometeorology: A simulation study. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, 249 pp. (thesis).
- Hulst, H.C. van de, 1980. Multiple light scattering. Academic Press, London.
- Idso, S-B. & C.T. de Wit, 1970. Light relations in plant canopies. Appl. Opt. 9: 177-184.
- Lang, A.R.G., 1973. Leaf orientation of a cotton plant. Agric. Meteor. 11: 37-51.
- Suits, G.H., 1972. The calculation of the directional reflectance of a vegetative canopy. Rem. Sens. Env. 2: 117-125.
- Wit, C.T. de., R. Brouwer & F.W.T. Penning de Vries, 1970. The simulation of photosynthetic systems. In: Prediction and measurement of photosynthetic productivity. Proceedings of the IBP/PP Technical Meeting, Trebon.

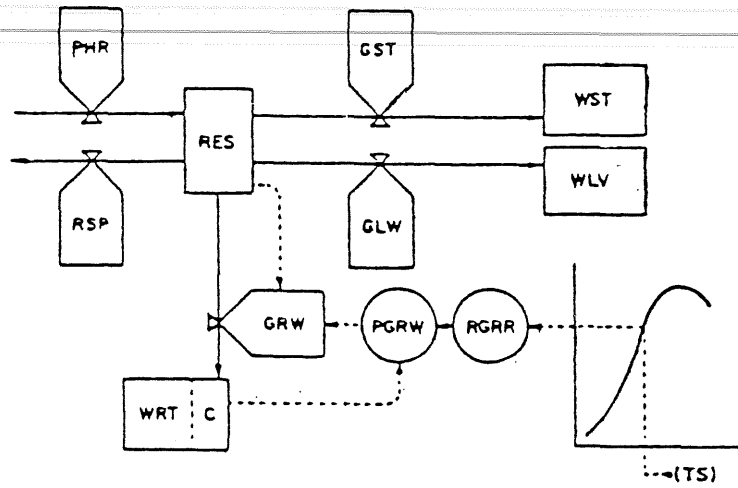
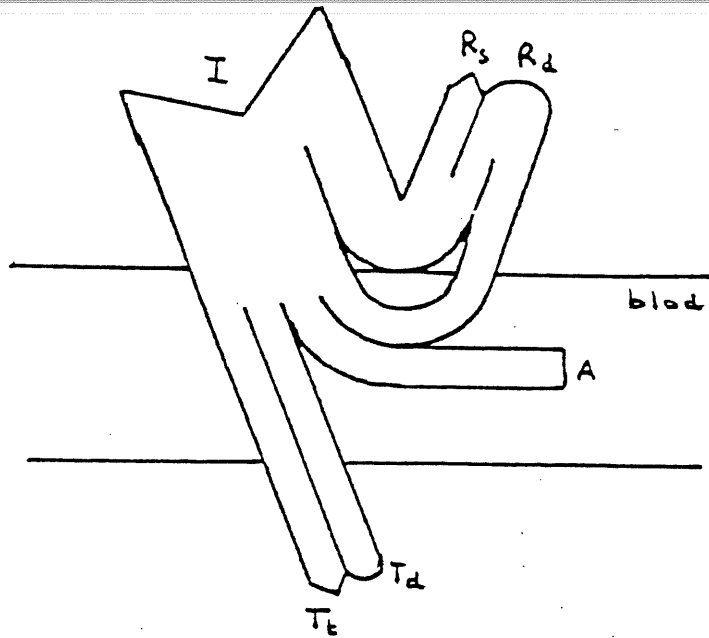


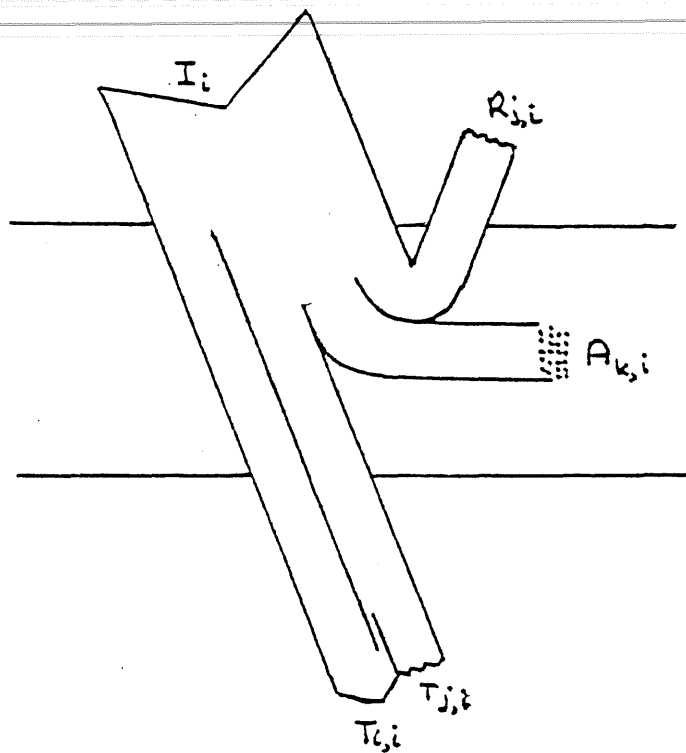
Fig 8.1 The relational diagram of the central part of ELCROS.

Figuur 1. Voorbeeld van de relaties binnen een heel eenvoudig gewasgroei model. In dit model bestaan 4 integralen (wortelgewicht WRT, bladgewicht WL_V, stengelgewicht WST en een pool in reservebouwstoffen RES). Het overgrote deel van de mechanismen die de "stroomsnelheden" in het model bepalen zijn niet getekend. (Overgenomen uit C.T. de Wit et al., 1970).



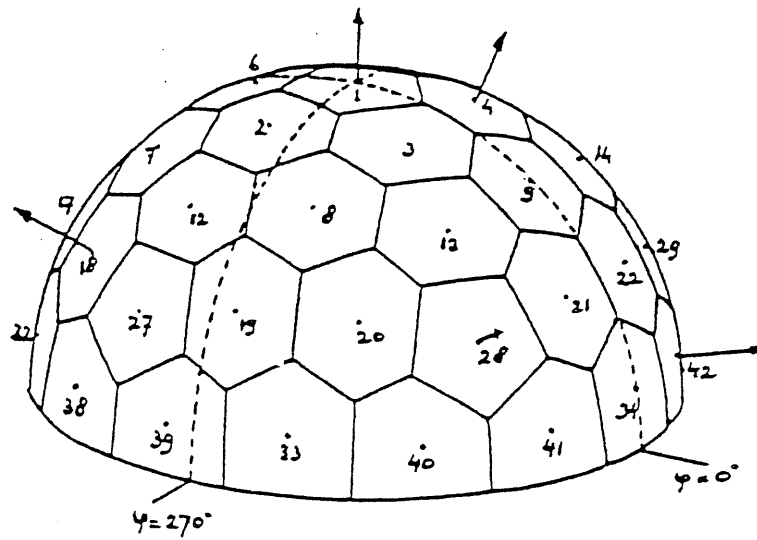
Figuur 2. Verdeling van onderschept licht I door een blad (schematisch).

- R_s : spiegelreflektie
- R_d : diffuse reflectie
- A : absorptie
- T_d : diffuse transmissie
- T_t : transparante transmissie



Figuur 3. Verdeling van licht uit richting i in een laag (schematisch).

$R_{j,i}$	reflektie
$A_{k,i}$	absorptie
$T_{j,i}$	transmissie
$T_{i,i}$	transmissie in invalrichting, dus inclusief "gaten" in de laag.
j	1..46 (voor $T_{j,i} : j \neq i$)
k	1..46



Figuur 4. De verdeling van vijf- en zeshoeken op de halve bol. Voor enkele richtingen is ook de vector door het centrum getekend (1, 4, 18, 28 en 42).