

SPEKTRALA MÄTNINGAR PÅ POTATISPLANTOR MED SPEKTROMETER OCH KAMERASPEKTROMETER

Fredrik Bergholm, CVAP, Inst. för Numerisk Analys och Datalogi, KTH. epost: fredrikb@nada.kth.se

Anders Larsolle, institutionen för Biometri och Teknik, SLU. epost: Anders.Larsolle@bt.slu.se

Hamed H. Muhammed, Uppdaga HB. epost: hamed@uppdaga.com

Förord

Detta är en slutrapport till Stiftelsen lantbruksformskning för ett pilotprojekt där en teknik för kameraspectrometri studeras (SLF projnr 0433044 "Kameraspectrometer för ogräsdetektion och växtnäringsstatus"). Projektutförarna vill rikta ett varmt tack till Stiftelsen lantbruksformskning för finansiering av denna studie. Vi vill även tacka Janni Hagman, SLU, som gett oss tillträde till potatisförsök i Ultuna och Skara.

Denna studie kommer inom kort att publiceras i mer utförlig form i rapportserie vid institutionen för Biometri och Teknik vid SLU.

Uppsala 12/1 - 2007

Inledning

Precisionsjordbruk kan potentiellt leda till effektivare resursanvändning och minimerad miljöbelastning. För att möjliggöra platsspecifika fältinsatser måste man ha information om hur behovet varierar över fältet. För bl.a. växtskydds- och växtnäringsinsatser är det en fördel att kunna bestämma status i växande gröda under säsongen. Metoder där reflekterat ljus mäts och relateras till olika egenskaper i lantbruksgrödor har studerats, se till exempel [3]–[6].

Spektrometertechniker som är delvis bildgivande är dyra linjespektrometrar som måste svepas fram över grödan. Dessa ger en linje med spektrometersvar, dvs lika många spektra som det finns sensorer på en linje. Linjesensorer med spektra har använts för ogräsdetektion (Vrindts m.fl., 2002) men ger ej ögonblicksbilder, och till skillnad från exempelvis flygfoto eller satellitbilder är det svårt att scanna fram bra 2D-bilder.

Detta är en pilotstudie för att undersöka användbarheten av kameror försedda med färgmosaiker för spektrala mätningar av reflekterat ljus, exempelvis för att kontrollera näringsstatus. En mer traditionell teknik är att använda spektrometer. Skillnaden i det förstnämnda fallet med färgmosaik, är att man får många (litet grövre) spektra på en gång samt bilder. I de fall själva mätobjektet inte är jämnt fördelat över marken, t.ex. en eller ett fåtal grupperade plantor eller fläckvist fördelade skörderester, kan det vara en fördel med bildgivande instrument.

Material, metoder och resultat

Tekniken som denna studie baseras på, här kallad kameraspectrometer, innebär en anordning med extra färgfiltermosaik(er) som utökar antalet färgband tillsammans med en digitalkamera på ett sådant sätt att den kan ge en bild i många färgband och därmed approximationer av spektra i många bildpunkter. Den extra färgfiltermosaiken kan exempelvis läggas i ett linssystem som har en reell mellanbild. Tekniken är patentsökt [1] [2].

Mosaikfilter

För en kort teoretisk bakgrund definieras följande variabler:

$S(\lambda)$ = infallande ljus som funktion av våglängd λ

$R(\lambda)$ = transmissionfunktion (dimensionslös) rödfiltrerad pixel

$G(\lambda)$ = transmissionfunktion (dimensionslös) grönfiltrerad pixel

$B(\lambda)$ = transmissionfunktion (dimensionslös) blåfiltrerad pixel

$\rho(\lambda)$ = reflektans (dimensionslös) som funktion av λ

Värdet i en pixel (bildpunkt) filtrerad med ett rött filter inom våglängdsområdet $a - b$ nm blir då:

$$r = \int_a^b R(\lambda) S(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

Vi har som konvention att använda motsvarande små bokstäver för filtersvar (pixelvärden). Dvs. r, g, b svarar mot filtren R, G, B . Om vi har ett magentafärgat filter (=rödviolett) M , i kombination med ett rött filter, blir alltså värdet för en pixel täckt med $M \cdot R$ -filter:

$$m_R = \int_a^b M(\lambda) \cdot R(\lambda) S(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

Vi talar här om t.ex. MR -värden och menar då $m_R(i, j)$, där (i, j) är pixelposition i bilden.

Kamerafabrikanterna styr över de färgmosaiker som placeras framför sensorerna i digitala kameror. Ett vanligt färgmosaikmönster i en kamera med CCD- eller CMOS-sensorer är den s.k. Bayermosaiken som är ett "schackmönster" med rött, grönt och blått (RGB) som upprepas över bilden.

G	R
B	G

(3)

Så är inte fallet med en kameraspektrometer. Den bygger på att en färgmosaik placeras på optisk väg, dvs *inte på* själva sensorytan, och just detta möjliggör användningen av egenproducerade färgmosaiker. I ett patent av Bergholm & Muhammed (2004), [1], föreslås bl.a. att en färgkameran färgmosaik kombineras med *ytterligare en* färgmosaik på optisk väg. Med andra ord får man fler färgband än normalt i en kamera och kan styra över valet av färgband via valet av färgmosaik

Två av författarna till denna rapport, Fredrik Bergholm och Hamed Muhammed, började 2003 med att ta fram mycket billiga färgmosaiker, genom att helt enkelt använda en färgkopiator på overheadfilm. Man kunde få exempelvis en upplösning på 150 x 150 fält med filtren: magenta, cyan, gult och transparent (M, C, Y, T). Tillsammans med en vanlig digital färgkamera med RGB -mosaik får man 12 färgband genom produkterna:

$M \cdot R, M \cdot G, M \cdot B, Y \cdot R, Y \cdot G, Y \cdot B, C \cdot R, C \cdot G, C \cdot B, T \cdot R, T \cdot G, T \cdot B$.

där $TG = G, TR = R, TB = B$ om $T = 1$, dvs. fullständig transparens. Egentligen bygger de flesta kameror på att det finns ett extra filter, betecknat H , för *het spegel*, som tar bort närinfrarött ljus, eftersom kiselsensorer (CCD, CMOS) är känsliga i infrarött (750-1000 nm). Produkterna ovan bör egentligen skrivas HR, HG, HB, HMR osv, men vi tar *het-spegelfiltret* för givet och utelämnar oftast H i beskrivningen, om det inte krävs för tydlighetens skull. (Ibland plockar vi bort H -filtret i använda kameror.)

I många tillämpningar behövs bättre färgmosaiker än de som kan åstadkommas med färgkopiator. Exempelvis, kan man vilja ha smalare färgband (våglängdsintervall), färgband centrerade kring vissa våglängder, band i närinfrarött (NIR), samt högre bildupplösning (dvs mindre mosaikfält). Det är alltså en grundinvestering i en färgmosaik som krävs för riktigt bra resultat. Detta är en av flaskhalsarna för att öka precisionen i tekniken och dess användbarhet. Lovande tester (ej finansierat av SLF) har gjorts men ytterligare investering och arbete krävs för att få användbara mosaiker.

Därför har vi i detta projekt nöjt oss med att demonstrera principiellt hur färgmosaiker i optisk väg kan vara till nytta i kameraspektrometrar, i synliga delen av ljuset. Förutom själva valet av mosaik återstår

att visa att metoden är praktiskt användbar. Tester av denna typ har inte utförts överhuvudtaget tidigare. Det krävs en hel del både av optik, kamera och programvara för att meningsfulla mätningar ska åstadkommas.

Vi valde att utföra mätningarna med befintliga färgmosaiker (synligt ljus) i optisk väg, de s.k. färgkopiatormosaikerna, väl medvetna om att bättre resultat skulle kunna åstadkommas med finare färgmosaiker.

Mätningar i NIR gjordes med filterhjul. Det finns fina interferensfilter exempelvis med bandbredd 40 nm som ger utmärkta bilder. Tester med sådana NIR-filter gjordes av oss först 2006, eftersom den kamera som användes för experimenten 2005 var en vanlig digitalkamera där det inte är möjligt att ta loss NIR-filtret som är ett het-spegelfilter *H*.

Vid mätningar med en s.k. IPX-kamera (se nedan) utan NIR-filter (kameran levereras utan NIR-filter om man ber om det) våren 2006 har vi testat ett filterhjul med 3 olika filter, ett 800 ± 20 nm filter, ett $900 (\pm 20)$ nm filter och en het spegel. Detta filterhjul kan också användas i jordbrukstillämpningar. Med sin höga precision, den fina bildupplösningen och sin enkelhet är filterhjul också en intressant teknik, givet att motivet inte rör på sig mycket.

Kameror

Färgmosaiken monterades i ett specialbyggt linssystem som monterades på respektive kamera. En strategi vi tidigt bestämde oss för i projektet var att använda flera olika kameror, av olika kvalitet, för att se vad som kan åstadkommas i de olika fallen.

En möjlighet var att använda en vanlig kommersiell digitalkamera (Minolta) med ett extra linssystem framför innehållande den extra färgmosaiken. En fördel med Minoltakameran var att man (a) kunde förstora upp bilden (optisk zoom upp till 8 ggr) och (b) hade autofokus. Med autofokus kunde man få (delar av) färgmosaiken i fokus (riktigt skarp). Den stora nackdelen med Minolta-kameran och generellt beträffande kommersiella digitalkameror är att man inte styr över den automatiska vitbalanseringen och gammakorrigeringen, dvs. pixelvärdena kan egentligen inte jämföras från en bild till en annan. Det finns också andra nackdelar som också har att göra med att man inte har kontroll över färgsignalerna. Trots dessa potentiellt oönskade egenskaper hos digitalkameran, beslöt vi oss för att använda den i fält, eftersom mosaikrutorna blev så skarpa och fina.

2006 användes en RGB-kamera med kända transmissionsfunktioner för R,G,B och utan het spegel *H* (IPX). Sensorsvaren är linjära och vitbalansering kontrolleras av användaren. Den har 12 bitars precision. IPX-kameran är egentligen ingen typisk utomhuskamera, utan är enklare att använda inomhus. IPX-kameran tillsammans med linssystemet där färgfiltermosaiken monterades visas i figur 1.

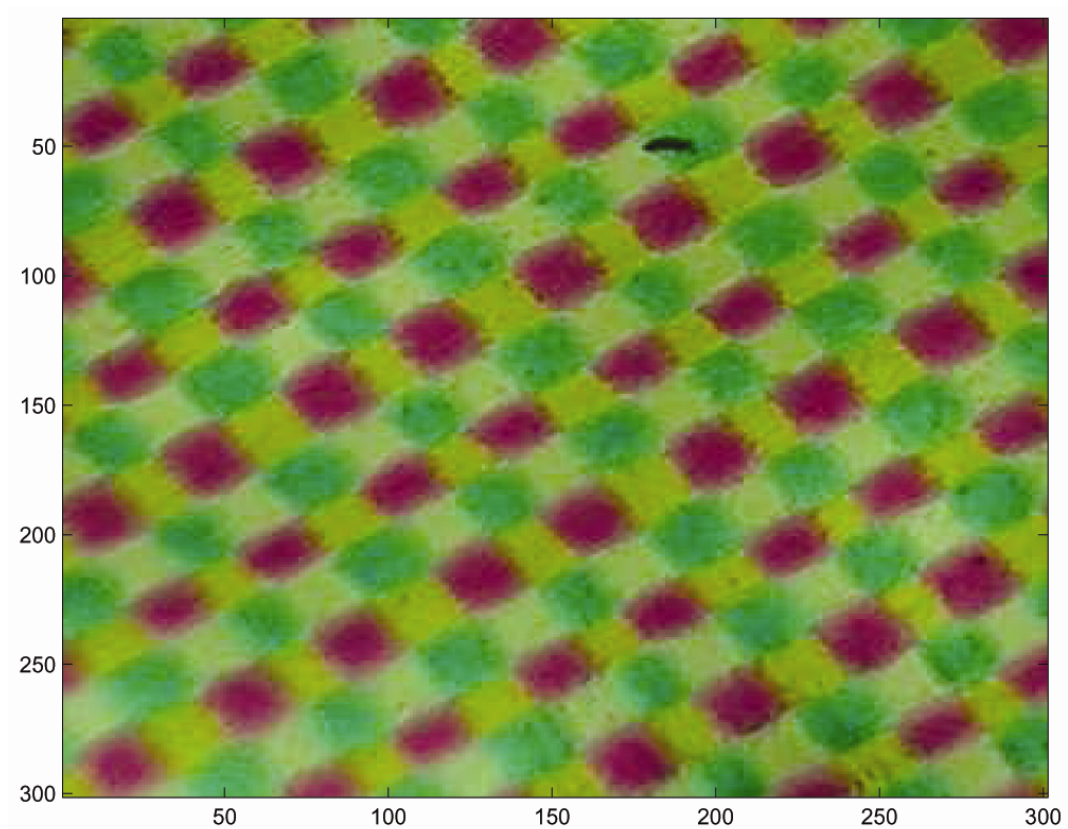
Vi tog också 2005 några bilder med en webbkamera (Logitech). I webbkameran hade NIR-filtret tagits bort. Det är emellertid obekvämt att använda data från två olika kameror, och de NIR-data vi får blir NIR plus synligt ljus, i alla 3 sensorerna (R,G,B). Färgmosaiken blev skarp även i Logitechkameran men färgerna blev inte oväntat ganska brunaktiga.

Spektrometer

För att göra referensmätningar av reflektans i fält användes i spektrometer. Spektrometerinstrumentet mäter simultant irradians, dvs. infallande ljus från en hemisfär, samt radians från grödan/marken. Instrumentet är framtaget i tidigare SLFprojekt av Larsolle (2003) [7]. Spektrometrarna mäter mellan 360 och 900 nm i ca 160 band.



Figur 1. Kameran spektrometersystem. IPX-kamera (a) med påmonterat linssystem med filtermosaik (b)



Figur 2. Uppförstoring av RGBbild med filtermosaik i magenta, cyan, gult och transparent (M, C, Y, T)

Bildanalys

Vid användning av externa färgmosaiker måste man själv beräkna var mosaikrutorna ligger i bilden, och sampla värden i dessa mosaikrutor. Detta kräver en del bildbehandling som bygger på att färgfälten segmenteras och upplinjeras. Efter att mosaikregionerna för M, C, Y, T hittats kan man sampla: MR, MG, MB, YR, YG, YB, CR, CG, CB, TR, TG, TB.

Experiment i fält, Ultuna 22 juni 2005

I ett fältförsök med förgroningstester i potatis vid Ultuna gjordes mätningar 22 juni 2005 med kameraspektrometer (Minoltakameran) och vanlig spektrometer på potatisplantor. Ljusförhållandena under senare delen av experimentet var relativt goda. Det var ett ganska jämnt soldis. I början var det mer molnigt och större variationer i ljusstyrka.

Med Minoltakameran har vi inte full kontroll över optiken, eftersom Minoltakamerans egen optik är en "svart låda". Detta gör att vi inte kan få en skarp mosaik i hela bildfältet, och vi lyckades inte heller få både mosaiken och motivet helt skarpa samtidigt. Det senare är mest en estetisk sak, eftersom ett svagt suddigt motiv inte spelar någon roll vid mätningar på potatisplantor. Det kan t.o.m. vara en liten fördel. Vi ansträngde oss därför inte att få perfekt skarpa bilder av motivet. Hade målet varit att producera vackra bilder, skulle man givetvis försökt trimma optiken så att både motiv och mosaik blev skarpa.

En del plantor var små och det var opraktiskt att ta spektrometermätningar av dem eftersom vi inte hade utrustning för att krypa alldeles intill dem och mäta spektra. Det var i dessa fall svårt att undvika att del av marken kommer med i spektrometerns synfält. Alla mätningar togs på samma höjd över marken, cirka en halvmeter. Spektrometern för radians har ett synfält på cirka 20 grader.

Jämförelse mellan spektrometer och kameraspektrometer

Vi gör här en jämförelse mellan spektrometermätningar och kameraspektrometermätningar (Minolta). Vi jämför först radiansmätningar från spektrometern med kameramätningar. Vi har valt att göra jämförelsen med tre band i synligt ljus. Dessa tre band ser vi som en grov parametrisering av underliggande spektrum. Den är rimlig ur synpunkten att reflektansspektra för växter har en enkel struktur med en topp i grönt och den s.k. röda vegetationskanten (red edge) till en plattå i närinfrarött. Mellan den gröna toppen och "red edge" kan formen på spektrum variera. Vi kunde ha lagt till ett extra grönt band, men dessa band är litet snarlika. Vi har valt att redovisa (MB, YG, MR), men CG-bandet kan vara användbart. Vi tog ej med det bandet i tabellerna för att inte komplicera dem. I framtiden vill vi ha ett närinfrarött filter i filtermosaiken, och kommer då att arbeta med en fyrdimensionell vektor.

Ett antal omvandlingar av spektrometerdata behövs för denna jämförelse. Först måste spektrometerdata bandintegreras. Detta förutsätter kunskap om vilka filter kameran har använt. Filtren i vår externa filtermosaik är lätta att mäta. Man kan trycka större rutor med färgkopiator och mäta med spektrometer deras transmissionsfunktioner. Detta är en av fördelarna med externa färgmosaiker. (Alternativt kan man i mikroskop mäta rutornas transmission.)

Vad som är svårare att veta, är vad en digitalkamera har för transmissionsfunktioner för de röda, gröna och blå filtren (alldeles oavsett vitbalanseringsproblemet). Kamerafabrikanten talar inte om detta. Vi har inte haft tid att med diverse kalibreringsövningar utröna transmissionsfunktionerna för R, G och B (känslighetsfunktionerna). Istället har vi utgått från de vanligaste R, G och B-transmissionsfunktionerna från beskrivningar av CCD-färgkameror (resp. bra CMOS-sensorer) och antagit approximativa $R(\lambda)$, $G(\lambda)$, $B(\lambda)$ från dessa uppgifter. Vi har också antagit att det finns en het spegel H som klipper det synliga ljuset vid 700 nm. Detta ger [400,510] nm för MB, [590,700] nm för MR, [480,700] nm för YG.

Jämförelse i potatisrad 1

Vi har valt ut fyra bilder i rad 1 som tycks ha liknande belysningsförhållanden (undvikit mörka bilder),

och tre av dem, rutorna 6,7,8 har liknande utseende, geometriskt. Bilderna innehåller 1580 x 2000 pixlar. I tabellerna nedan avser "bildposition" specificering av bildfönstrets läge i bilden som vi anger som a:b, c:d där a är första rad, b är sista rad, c är första kolumn och d sista kolumn. Origo i bilderna är övre högra hörnet. Vi har valt det inuti den del av bilden där gröna växtdelar uppträder. Utkanterna av bilderna är av dålig kvalitet eftersom mosaikrutorna där avbildas suddigt. Detta beror på avbildningsfel i optiken som brukar bli mer markanta för zoomlinser.

I alla experiment använder vi bildfönster av storlek 300 x 300 pixlar, som i detta fall är en rimlig storlek för lokala mätningar, oavsett om plantan täcker hela bilden eller bara en mindre del av den. Sandpartier större än detta, kan vara svårt att hitta på grund av suddigheten i kameranpektrometerbildernas utkanter. I tabellerna nedan tittar vi bara på gröna växtdelar utom sista raden i tabell 1a, där rödaktig sand som potatisen växer i, studeras. Spektrometern kan givetvis ha både växtdelar och mark (sand) i synfältet. Det vi kallar rött och grönt nedan är banden MR och YG (YGbandet är cirka 15 procent smalare än en vanlig RGB-kameras gröna band och med annan känslighetsprofil).

Tabell 1. Mätningar av banden MB,YG,MR i potatisförsök 2005, rad 1. Kameranpektrometer: normaliserade tal, dividerade med medelintensitet. Spektrometer: integrerat radiansspektrum, normaliserade tal, multiplicerade med skalfaktor i syfte att ha liknande värden i kolumn "MB".

ruta	Kameranpektrometer				Spektrometer		
	MB	YG	MR	bildposition	MB	YG	MR
6:	0.9342	2.0460	1.7593	800:1100, 800:1100	0.9210	2.1904	1.7380
8:	0.9737	2.5291	2.1668	samma	0.9852	2.7799	2.2336
7:	0.9281	2.3841	1.9881	samma	0.9086	2.5958	1.9702
1:	0.9750	1.9110	1.7873	600:900, 800:1100	1.0228	2.2894	2.3109
1:	0.9682	1.5698	2.0035	1000:1300, 700:1000			

I tabell 1, visar vi dels kameranpektrometerns värden, dels spektrometerns radianssvärden, integrerade inom samma intervall med MB-, YG- och MR-funktioner. Vi har multiplicerat värdena med diverse konstanter så att de blå banden blir nästan lika. Jämförelsen avser därför grönt och rött (dvs YG- och MR-bandet).

Betrakta ruta 6, 7, 8 i Tabell 1. Man kan se att värdena mellan kameranpektrometer och spektrometer för grönt bara skiljer sig åt med mellan 7 och 9 procent. Det gröna värdet är systematiskt lägre i kameran, troligtvis p.g.a något felaktiga transmissionsfunktioner i uträkningen, eller vitbalanseringen. Det röda värdet (MR) skiljer mellan 1 och 4 procent och har god överensstämmelse.

Ruta 1 är intressant. Det är en liten planta med mycket rödaktig sand omkring. Vi har valt två olika utskurna bildfönster (Tabell 1a) det ena inne på gröna växtdelar och den andra huvudsakligen med bara sand. Kameranpektrometern ger två olika (MB,YG,MR)-värden. Det ena ganska grönt (men inte lika grönt som ruta 6,7,8), och det andra klart rödaktigt ($MR=2.0035 > 1.5698=YG$). En intressant slutsats är att spektrometern här misslyckats med spektrum i ruta 1, $MR=2.31$ och en smula större än $YG=2.28$. Denna relation mellan rött och grönt är inte typisk i mätningarna (jmf ruta 6,7,8). Det torde vara ett blandspektrum av gröna växtdelar och rödaktig sand.

I potatisrad 1, ruta 1, finns en liten planta, med variabel grönska. Vi har tagit ett antal olika delfönster och mätt (MR,YG,MB)-värdena för att illustrera variationen över en plantas växtdelar. Fyra 300 x 300 pixlars bildfönster, som tillsammans täcker större delen av de gröna växtdelarna, har studerats. Kvoten mellan röda och gröna bandet (dvs. MR/YG) är 0.98, 0.96, 0.93, 0.86 så den varierar mellan 0.86 och 0.98. Det tycks finnas en del gulaktiga stråk på de gröna växtdelarna som drar upp kvoten ibland, samt skuggregioner som drar ner kvoten (mätvärdet 0.86).

Spektrometer mätte alltså blandspektra, medan kameranpektrometern mätte såväl separat gröna växtdelar och underliggande jord (sand), som variationen inom det gröna.

Jämförelse i potatisrad 4

En liknande jämförelse gjordes för rad 4, se Tabell 2. Vi valt ett 300 x 300 pixlars bildfönster och redovisar (MR,YG,MB) för detta val av delbild. Klassningen i Tabell 2 gjordes med enkel 2-dimensionell klustering. När $|YG-MR| < 0.1$ eller $MR > YG$ kallar vi resultatet för "inverkan av sand" (ruta 5 och 13). För spektrometern visas även resultatet av klassning baserad på normerad reflektans istället för radians (reflektans = radians dividerat med irradians). Jämför erfarenheterna från potatisrad 1.

Klassningarna i övrigt är med några få undantag relativt samstämmiga. Ett sådant undantag är ruta 3. I denna bild är de gröna delarna i mitten av plantan faktiskt mycket variabla med en del gulaktiga stråk. Man kan förvänta sig olika resultat om man mäter hela plantan (spektrometer) eller mittpartiet (valet av bildfönster för kameran-spektrometern). Vi återkommer till ruta 7 och 8.

Ruta 1 är en liten planta där inverkan av sand kan ha snedvridet spektrometerresultatet reflektansmässigt. Ruta 16 tycks helt klart vara problematisk för spektrometern, se sista kolumnen i Tabell 2, som redovisar klassning baserat på spektrometerreflektans. För kameran-spektrometern hamnar dock dessa små plantor i annan klass. Eventuellt har kameran-spektrometern också genomlysande sand, mitt i plantan, i sitt bildfönster i ruta 16, och samma problem som spektrometern för denna lilla planta. Ruta 1 har ingen sådan enkel förklaring vad avser kamerareultatet. Klassningen verkar rimlig (gulaktighet).

Vi har inte valt bildfönstrena listigt för ruta 5 och 13, vilket leder till att kameran-spektrometern också får inverkan av sand i Tabell 2. Detta kan undvikas med bättre val av bildfönster.

Tabell 2. Mätningar av banden MB,YG,MR i potatisförsök 2005, rad 4, med klassning med hjälp av 2-dimensionell klustering. Kameran-spektrometer: normaliserade tal, dividerade med medelintensitet.

Spektrometer: integrerat radiansspektrum, normaliserade tal, multiplicerade med skalfaktor i syfte att ha liknande värden i kolumn "MB".

ruta	Kameran-spektrometer				Spektrometer				
	MB	YG	MR	kategori	MB	YG	MR	kategori	kategori ^R
1	1.0000	2.4607	2.3236	klass 1	1.0000	2.4340	2.1507	klass 3	klass 1
2	1.0000	2.4515	2.0681	klass 2	1.0000	2.6478	1.9474	klass 2	klass 2
3	1.0000	2.3592	2.0303	klass 2	1.0000	2.3540	1.7719	klass 3	klass 3
4	1.0000	2.0079	1.8243	klass 3	1.0000	2.3683	1.8198	klass 3	klass 3
5	1.0000	1.8167	2.0560	*	1.0000	2.2643	2.329	*	*
6	1.0000	2.0713	1.8005	klass 3	1.0000	2.4927	1.9256	klass 3	klass 3
7	1.0000	2.4906	2.1091	klass 2	1.0000	2.6712	2.2418	??	??
8	1.0000	2.4668	2.0932	klass 2	1.0000	2.5594	2.3035	??	??
9	1.0000	2.3626	2.0525	klass 2	1.0000	2.8629	2.2697	klass 2	klass 2
10	1.0000	2.3310	2.0076	klass 2	1.0000	2.6784	2.1711	klass 2	klass 2
11	1.0000	2.4275	2.0718	klass 2	1.0000	2.8680	2.3169	klass 2	klass 2
12	1.0000	2.1288	1.8621	klass 3	1.0000	2.4590	2.1157	klass 3	klass 3
13	1.0000	1.9452	1.9263	*	1.0000	2.0995	2.3450	*	*
14	1.0000	2.3608	2.0744	klass 2	1.0000	2.7642	2.2464	klass 2	klass 2
15	1.0000	2.5279	2.0994	klass 2	1.0000	2.5799	2.1642	klass 2	klass 2
16	1.0000	2.0863	1.9597	klass 4**	1.0000	2.2502	1.8780	klass 3	*

^R Klassning baserad på normerad reflektans

* inverkan av sand

** ev. inverkan av sand

?? otydlig klass

Det verkar som om kameran-spektrometern ger stabilare mätningar av det vi kallat 'klass 2 och 3'.

Standardavvikelsen är mindre i gruppen. En orsak till detta kan vara att spektrometern får med sand i utkanten av synfältet eller mellan bladen. Exempelvis, ruta 7 och 8 (klassat som klass 2 av kameran) är något mindre plantor och spektrometervärdena för normaliserat rött och normaliserat grönt är närmare varandra än i resten av gruppen, medan kameran spektrometern inte har denna effekt. Vi vet att sand medför att rött växer och det kan leda till att rött *närmar sig* grönt, eller blir högre än grönt. Denna effekt för ruta 5 och 13 är tydlig och i tabellerna har diagnosen "inverkan av sand" angetts, eftersom det är osannolikt att någon annan effekt än denna sandorsakade rödförskjutning ligger bakom så stora förändringar i rött relativt grönt. Sammanfattningsvis är kameran spektrometern mindre känslig än vanlig spektrometer för variationer i täckningsgrad av gröna växtdelar.

Diskussion kring metoden

Om man betraktar en rad med försöksrutor med potatisplantor, t.ex. den fjärde raden som togs under relativt konstanta belysningsförhållanden, kan man i kamerabilderna se en ganska subtil färgskillnad mellan ruta (3,4,6,12) och (2,7,8,9,10,11,14,15). Visuellt kan man ana att de förra är en aning blåaktigare. Men det kan bero på ändrad belysning eller ändrad vitbalansering i kameran. Man kan alltså inte "bevisa" att nyansskillnaden har en innebörd skild från belysningseffekter. Detta är en generell svaghet när man bara har radianismätningar. Därför lade vi in ett vitt referenskort i visitkortsstorlek på själva plantan för att kunna dividera bort belysningsförändringar. Men korten blev överexponerade, och man måste i framtiden använda grå referenskort. Bättre metoder att få in infallande himmelsbelysning i kameran finns i Muhammeds och Bergholms gemensamma patent [2].

Vi har mest sett vitbalansering som något som förstör ett mätinstrument. Men, om vitbalanseringen motverkar belysningsförändringen kan det paradoxalt nog vara en delvis positiv faktor.

Kan vi på något annat sätt verifiera de aningen blåaktiga plantorna i rutorna (3,4,6,12)? Jo, spektrometermätningarna mäter ju reflektans också (ej redovisat här) och dessa mätningar bekräftar att reflektansen i gruppen rutor (3,4,6,12) skiljer sig från den andra gruppen. Därför bör den uppmätta blåaktigheten med kameran spektrometer vara reell. Det kan bero på att belysningsförhållanden var tämligen konstanta när dessa bilder togs, eller att vitbalansering hade en icke-negativ effekt på avbildningen.

Experiment i fält, Skara, 3 juli 2006

År 2006 gjordes mätningar i ett potatisförsök (ref. J. Hagman) i Skara, med fyra block och två kvävegödslingsnivåer: 60 och 120 kg N/ha. Den typ av spektrala experiment som gjordes i juni 2005 upprepades delvis här, men med en annan kamera, IPX-kameran. Den har ingen vitbalansering, och spektrala transmissionskurvor för rött, grönt, blått (R,G,B) i kamerans Bayermönster är exakt kända. Ingen zoom i kameran användes, så mosaikmönstren börjar närma sig pixelnivå. Detta gör att man ser bilden mycket tydligare (enskilda blad, skuggor etc.) och mosaikgrupperna läge i förhållande till det man avbildar framgår mycket klarare. Exempelvis kan man (om man vill) analysera spektra på ömse sidor om mittlinjen i ett blad, den solbelysta delen respektive den halvbelysta delen.

De enskilda Bayerpixlarna kan nås (dessa är dolda för användaren i en kommersiell digitalkamera). En annan nyhet var att vi försökte göra nästan samtidiga mätningar med spektrometer och kameran spektrometer. Då minskar risken för att belysningsförhållanden ändras under tiden. Allmänt sett var den 3 juli en dag med strålende sol och klar himmel.

Tabell 4 nedan visar några data från försöket som bearbetades hösten 2006. Vi har i block IV valt att titta på ett antal plantor och försöksrutor. Totalt gjordes 32 mätningar: 32 reflektansspektra, samt 32 bilder i synligt ljus med IPX-kameran.

Båda mätmetoderna antyder att plantan är aningen (men obetydligt) *grönare* vid den högre N-tillförseln. Detta framgår av tabell 5 där helt enkelt skillnaderna mellan mätvärdena i raderna angivits,

exempelvis mellan spektrum 28 och 26.

I fältmätningarna 2006 tog vi även bilder med filterhjul i närinfrarött (ett 40 nm brett band kring 900 nm). Vi har alltså även närinfraröda värden (NIR) i detta försök i ungefär samma bild, dock ej exakt i samma position.

Tabell 4. Mätningar av band MB,YG,MR i potatisförsök 2006. Normaliserade värden

	MB	YG	MR
Spektrum 26 (Block IV, ruta A, 60 kg N/ha)			
kameraspektrometer	1.0	2.64	3.03
spektrometer	1.0	2.84	2.23
Spektrum 28 (Block IV, ruta A, 120 kg N/ha)			
kameraspektrometer	1.0	3.24	3.43
spektrometer	1.0	2.95	2.25
Spektrum 30 (Block IV, ruta J, 60 kg N/ha)			
kameraspektrometer	1.0	3.26	3.67
spektrometer	1.0	3.08	2.36
Spektrum 32 (Block IV, ruta J, 120 kg N/ha)			
kameraspektrometer	1.0	3.46	3.67
spektrometer	1.0	3.45	2.55

Tabell 5. Mätningar av band MB,YG,MR i potatisförsök 2006. Skillnader mellan spektra.

	-	YG	MR
Skillnader mellan spektrum 28 och 26:			
kameraspektrometer	-	0.60	0.40
spektrometer	-	0.11	0.02
Skillnader mellan spektrum 32 och 30:			
kameraspektrometer	-	0.20	0.0
spektrometer	-	0.37	0.20

Ökad grönheter i plantor kan bero på att bladen är grönnare eller att plantan innehåller så mycket skuggiga partier beroende på mängden skuggor och mörka mellanrum som bladkonfigurationen skapar. Man bör alltså inte automatiskt dra slutsatsen att ökad kvot mellan grönt och rött beror på grönnare blad. Vi har dock med kameraspektrometern försökt analysera mer belysta delar av växten, som just nämnts i föregående sektion, så det är sannolikare att det trots allt rör sig om grönnare blad. Fler bilder från Skara-försöket bör analyseras.

Slutsatser

Kameraspektrometer Denna teknik mäter spektra bättre om själva mätobjektet är ojämnt fördelat i bilden, t.ex. ett fåtal grupperade plantor.

Mätningar av spektra i potatis i fält 2005 och 2006 med kameraspektrometer tillsammans med jämförande mätningar med spektrometer, visade likartade spektra av blad.

Kameraspektrometerbilder med små mosaikfält gav skarp bild där detaljer kunde urskiljas. Områden med avvikande spektra i bilden, t.ex. kraftigt skuggade partier av plantan, kunde därmed exkluderas.

De plantor som tillförts dubbla mängden N per ha i försök i Skara 2006, tycktes vara grönnare, både för kameraspektrometer och spektrometer.

Vanlig spektrometer hade svårigheter med synfältet som ofta inkluderar marken och ger därmed ett blandspektrum. Med kameraspektrometer kan man välja att mäta endast i en del av bilden och fånga gröna växtdelar alternativt jord i separata spektra.

Publikationer och resultatförmedling till näringen

Projektet presenterades i samband med en entreprenörsutbildning vid Handelshögskolan i Göteborg hösten 2006. Kursdeltagarna genomförde ett projektarbete med en feasibility-studie för tekniken.

Projektet presenterades som poster på:

- 5ECPA: 5th European Conference on Precision Agriculture, 9-12 June 2005 in Uppsala, Sweden.

Resultat kommer att presenteras på:

- 6ECPA: 6th European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June 2007 in Skiathos, Greece.

En utförligare rapport i rapportserie vid institutionen för Biometri och Tekni vid SLU håller på att sammanställas och kommer att publiceras senast april 2007.

Referenser

- [1] Muhammed H.H., Bergholm F., Multispectral and hyperspectral imaging, Svensk patentansökan SE 0402576-3, Okt. 2004 (prioritetsgivande)
- [2] Muhammed, H.H., Bergholm F., Multispectral and hyperspectral imaging, Patentansökan, PCT/SE2005/001607, aug. 2005, PCT/SE2005/001204, okt. 2005.
- [3] Rausch, S., Optimum waveband selection for determining the nitrogen uptake in winter wheat by active remote sensing, in Proc. Precision Agriculture '05.
- [4] Wojtowicz, A; Piekarczyk, J., Monitoring of Phytophthora infestans development with a luminacemeter. Journal of Plant Protection Research (Poland). 41 256-265, 2001.
- [5] Heath, WL; Haydock, PPJ; Wilcox, A; Evans, K; Bryson, RJ. 2000. The potential use of spectral reflectance from the potato crop for remote sensing of infection by potato cyst nematodes. Remote sensing in agriculture, Royal Agricultural College, Cirencester, UK, 26-28 June 2000. Aspects of Applied Biology, 60, 185-188, Juni 2000.
- [6] Vrindts, E; de Baerdemaeker, J; Ramon, H. 2002. Weed detection using canopy reflection, in 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, Denmark, 1999.
- [7] Larsolle, A. 2003. Instantaneous measurement of reflectance spectra in the open field using diode array spectrometers. Biosystems Engineering, 86, 1-8