

Vergleich von Abstandssensoren für die Präzisionslandwirtschaft

V. Dworak, J. Selbeck und D. Ehlert

Abteilung Technik im Pflanzenbau
Leibniz-Institut für Agrartechnik
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam
vdworak@atb-potsdam.de
jselbeck@atb-potsdam.de
dehlert@atb-potsdam.de

Abstract: Moderne Sensoren werden im Bereich der Präzisionslandwirtschaft benötigt, um teilflächenspezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen optimieren zu können. In der Fernerkundung sind zahlreiche Forschungsaktivitäten mit Ultraschall-, LiDAR- und Radar-Sensoren zu verzeichnen, um über Abstandsmessungen Parameter von Pflanzenbeständen zu bestimmen. Eine Bewertung der drei Sensorgruppen hinsichtlich ihrer Anwendungseignung auf Landmaschinen verdeutlicht, dass Ultraschall und Radarsensoren nur beschränkt eingesetzt werden können.

1 Einleitung

Aufgrund des enormen Bevölkerungszuwachses und einer geforderten Nachhaltigkeit ist die Präzisionslandwirtschaft aufgefordert, die Erträge zu steigern und gleichzeitig die natürlichen Ressourcen zu schonen. Dies gelingt nur mit Hilfe des Einsatzes moderner Sensoren und Algorithmen für die Datenverarbeitung. Aus landwirtschaftlicher Sicht sind Sensoren und Systeme von besonderem Interesse, die - im Gegensatz zu den Flugzeug und Satellit gestützten - eine Steuerung und Regelung von Prozessparametern in Echtzeit ermöglichen. Um Pflanzenparameter auf landwirtschaftlichen Flächen zu ermitteln, sind gegenwärtig Forschungsaktivitäten im Bereich der Abstandssensoren aus der Fernerkundung zu verzeichnen. Über den gemessenen Abstand zwischen Sensor und Pflanze beziehungsweise Boden können weitere lokale Parameter wie Bestandsvolumen und Biomasse bestimmt werden. Die Messungen werden oft noch durch die Bestimmung spektraler und polarisierender Eigenschaften ergänzt. Diese Forschungsaktivitäten fokussieren sich auf den Einsatz aktiver Ultraschall-, Radar- und LiDAR-Sensoren (Light Detection And Ranging); vergleichende Aussagen zur Abschätzung des Einsatzpotenzials liegen nicht vor. Gegenstand dieses Beitrags ist daher ein Vergleich dieser Sensoren hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit für fahrzeuggestützte landwirtschaftliche Anwendungen.

2 Aktive Abstandsmessung

Die Abstandsdetektion kann mit unterschiedlichen Messmethoden erfolgen. Passive Systeme, zum Beispiel die Triangulation mit Autofokussing- und Stereokameras, haben den Nachteil, dass sie stark von den Umgebungsbedingungen abhängig sind. Aktive Systeme können hingegen verschiedene Signalverbesserungstechniken nutzen und sind somit wesentlich unabhängiger. Allerdings erfassen die aktiven Systeme nicht so große Bildbereiche wie die Passiven und benötigen dementsprechend für große Detektionsflächen mehr energetischen und apparativen Aufwand. Die hohen Bildgrößen können hierbei durch Rasterung entstehen.

2.1 Wellen als Sonde

Für die Abbildung beziehungsweise Abstandsmessung werden Wellen genutzt, da für Wellen ein strenger Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Medium gegeben ist und über eine Laufzeitmessung der Abstand ermittelt werden kann. Wellen haben den Vorteil, dass sie zerstörungsfrei messen, ihre Frequenz an die benötigte Wechselwirkungsempfindlichkeit angepasst werden kann, sowie ihre Polarisationsinformation (nur elektromagnetische Wellen) und ihre Überlagerungseigenschaften für Interferometrie und Modulationstechniken genutzt werden können.

2.2 Laufzeit Messung

Die Laufzeitmessung wird üblicherweise in drei verschiedenen Arten verwendet: Die Erste nutzt einen kurzen Puls oder eine scharfe Sprungfunktion für die Einschaltzeit der emittierten Welle. Das ausgesendete Wellenpaket trifft nach der Flugzeit auf die Probe und wechselwirkt mit dieser. Ein Teil der Intensität gelangt nach der Flugzeit von der Probe zum Detektor, der sich üblicherweise neben dem Sender befindetet. Der Probenabstand ergibt sich dementsprechend aus der Hälfte der Gesamtflugzeit multipliziert mit der Wellengeschwindigkeit. Die Wellengeschwindigkeit in Luft beträgt hierbei ca. $3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ für Licht und 342 ms^{-1} für Schall bei 20 °C Lufttemperatur. Die Zweite nutzt eine kontinuierlich eingeschaltete Welle, die in ihrer Amplitude moduliert wird. Für die von der Probe zurückkommende Welle liegt in Abhängigkeit von der Laufzeit eine Phasenverschiebung zum Modulationssignal vor. Die Phasenverschiebung wird zum Beispiel in sogenannten Photonic Mixer Device zur Umrechnung des Abstandes genutzt. Die Dritte nutzt eine, zum Beispiel linear, rampende Frequenzmodulation der ausgesendeten Welle. Der Frequenzunterschied zwischen eintreffender und ausgehender Welle ist direkt proportional zum Objektabstand.

2.3 Phasen oder Antennen Arrays

Im Gegensatz zum Licht lassen sich andere elektromagnetische und akustische Wellen nicht so leicht fokussieren, um eine hohe Ortsauflösung zu erhalten. Eine genaue Adressierung eines Raumpunktes kann aufgrund der konstruktiven Überlagerung von Wellen dennoch erreicht werden. Werden mehrere Antennen gezielt zeitversetzt mit dem

Messpuls angesteuert, so interferieren die Wellenpakete im Raum und es entsteht eine Signalüberhöhung am gewünschten Messort. Hierdurch werden die Signalqualität und die Ortsauflösung erheblich gesteigert.

2.4 Mehrfachechos

Fliegt ein Teil des ausgesendeten Wellenpaketes an dem ersten Objekt vorbei, so können noch weitere Objekte detektiert werden. Einige Systeme zeichnen für nachfolgende Objektstreifer höhere Echonummern auf, andere speichern mit einer hohen Abtastrate den gesamten zeitlichen Verlauf des Detektorsignals auf. Ist zudem die Form des Wellenpaketes bekannt, so kann mit Hilfe der (Rück- oder) Entfaltung ein detaillierteres Echoabbild erzeugt werden [Wa06; Br08]. Allerdings ist die Möglichkeit der Auswertung von höheren Echos begrenzt, denn sie hängt von der Pulsform und -länge ab. Ein 3,3 ns Puls hat für Licht eine Ausdehnung von einem Meter, so dass Objekte mit Abständen unter 0,5 m nur schwer unterschieden werden können. Weiterhin gehen bei der Anwendung der Rückfaltung immer auch Informationen verloren und eine eindeutige und wahre Aussage über die Objekte kann nicht garantiert werden. Echos höherer Ordnung können für die Pflanzenbestandsanalyse von Vorteil sein, wenn die Form des Messpulses ausreichend kurz ist. Dies ist für filigrane Pflanzenstrukturen oft nicht gegeben und zudem hat auch die verwendete Wellenlänge aufgrund von Interferenzauslöschung bei langen Radarwellenlängen einen negativen Einfluss [Dr81].

3 Fahrzeugbasierte Abstandsmessung für die Bestandsanalyse

Die Ermittlung von Bestandsparametern mit Abstandssensoren hängt sehr von der Art des verwendeten Sensors ab. Die im Bereich der Forschung am häufigsten verwendeten Sensoren Ultraschall, Radar und LiDAR unterscheiden sich stark hinsichtlich ihrer Strahldivergenz, Reichweite, Auflösung, Probenwechselwirkung und Messwerterfassung. Liegen günstige Bedingungen vor, wie die senkrechte Sensororientierung zum Bestand, so eignen sich alle drei Sensoren [Re09; PS02; Eh09; Tu02]. Werden zudem nur gemittelte Werte benötigt, so stört auch die hohe Strahldivergenz, verbunden mit einem großen Messspot von Ultraschall und Radar Sensor, nicht. Eine Hauptaufgabe für die Sensoren ist aber die frühzeitige lokale Bestandserfassung vor den Landmaschinen. Da aber aus Gründen des freien Sichtfeldes und anderen Sicherheitsvorschriften zum Beispiel vor dem Schneidwerk eines Mähdreschers keine Gestänge mit Sensorhalterungen angebaut werden dürfen, müssen die Sensoren vorzugsweise vom Fahrzeugdach mit einem Winkel nach vorn blicken. Hierdurch entstehen schräge Einfallswinkel und der Messabstand liegt zwischen 2 bis 10 m. Desweiteren muss für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung auch die Variation über die Arbeitsbreite ermittelt werden. Ultraschallsensoren haben einen typischen maximalen Arbeitsabstand von 3 m und nur einige spezielle Sensoren kommen bis 7,6 m [SZ05]. Diese Werte verringern sich jedoch stark, bei schrägen Einfallswinkeln. Radarsensoren haben deutlich höhere Arbeitsabstände, aber auch hier wird die Signalinterpretation bei schrägen Einfallswinkeln deutlich schwieriger, so dass zusätzlich der Polarisationskontrast mit ausgewertet wird [Bo91]. Sowohl für Radar als

auch für Ultraschall würden entsprechend viele Sensoren benötigt um die Arbeitsbreite der Landmaschine abzudecken. Elektronisch rasternde Systeme sind nur im medizinischen und militärischen Bereich vorhanden und deren Messbereiche sind nicht kompatibel zu den geforderten Messabständen auf Landmaschinen. LiDAR Systeme sind für die geforderten Messweiten erhältlich und sind oft bereits als Scanner ausgelegt. Hierbei wird mit einem rotierenden Spiegel der Messstrahl über den Probenbereich gerastert. Die hohe Auflösung in Kombination mit dem eindimensionalen Scannen ermöglicht zusammen mit der Fahrzeugbewegung die Erstellung von dichten Punktwolken, die den Bestand und den Boden repräsentieren (Abbildung 1). Die Auswertung höher geordneter Echos in landwirtschaftlichen Kulturen bedarf allerdings noch der Algorithmenentwicklung und ist nicht so weit erforscht wie z.B. in der Forstwirtschaft [MB09].

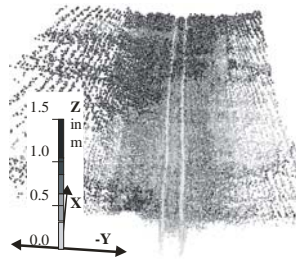


Abbildung 1: Darstellung eines Roggenfeldausschnitts mit dem Echo 1. Ordnung.

Literaturverzeichnis

- [Eh09] Ehlert, D., Adamek, R., & Horn, H.-J.: Laser rangefinder-based measuring of crop biomass under field conditions. *Precision Agriculture*, 10, 395-408
- [Tu02] Tumbo S.D.; Salyani M.; Whitney J.D.; Wheaton T.A.; Miller W.M.: Investigation of laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume. In: *Applied Engineering in Agriculture*, MAY 2002; Band: 18, Ausgabe: 3; S.: 367-372
- [SZ05] Schumann A.W. & Zaman Q.U.: Software development for real-time mapping of ultrasonic tree canopy size. In: *Comput. Electron. Agr.*, 2005; 47(1); S. 25–40.
- [Bo91] Bouman B. A. M.: Crop Parameter Estimation from Ground-Based X-Band (3 cm Wave) Radar Backscattering Data. In: *Remote Sens. Environ.*, 1991. Band: 37; S.:193-205.
- [Wa06] Wagner W.; Ullrich A.; Ducic V.; Melzer T.; Studnicka N.: Gaussian decomposition and calibration of a novel small-footprint full-waveform digitising airborne laser scanner. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2006; Band: 60; S.:100-112.
- [Br08] Bretar F.; Chauve A.; Mallet C.; Jutzi B.: Managing Full Waveform LIDAR Data: A Challenging Task for the Forthcoming Years. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, 2008. Band: XXXVII; Part: B1; S. 415-420.
- [Dr81] Drake V. A.: Target Density Estimation in Radar Biology. *J. theor. Biol*, 1981; 90; S. 545-571.
- [PS02] Paul W. & Speckmann H.: Measuring crop density and soil humidity by pulsed radar. *EuAgEng*, Paper No. 02-AE-001, AgEng 02 Int. Conf., Budapest, 2002 Hungary.
- [MB09] Mallet C. & Bretar F.: Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2009; Band: 64; S.:1-16.