

Kurzfassung

Dreidimensionale topographische Information für ausgedehnte Gebiete in hoher räumlicher Auflösung erreicht ein ständig steigendes Interesse in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen und Anwendungsgebieten. Eine bedeutende Rolle kommt der direkt gewonnenen 3D-Information zu. Dieser Begriff bezieht sich auf die direkte Bestimmung von polaren 3D-Koordinaten, von denen eine die Entfernung zwischen Sensor und Objektoberfläche ist. Diese Dissertation beschäftigt sich mit einer Datenerfassungsmethode, die sowohl eine genaue Entfernungsbestimmung wie auch die Ableitung physikalischer Objektattribute erlaubt; dies wird durch die Aufzeichnung einer abgetasteten Wellenform eines ausgesandten Laserpulses und seiner Echos ermöglicht, die von einer gescannten Oberfläche stammen. Diese Methode wird daher Full-Waveform-Laserscanning oder auch Full-Waveform-Lidar genannt.

Mathematisch betrachtet ergibt sich das Echosignal im Wesentlichen aus einer Faltung, d.h. aus einem gleitenden Integral der Wellenform des ausgesandten Laserpulses multipliziert mit einer charakteristischen Funktion der vom Laserstrahl beleuchteten Objektoberfläche. Diese Funktion wird differentieller Rückstreuquerschnitt genannt und mit $\sigma'(R)$ bezeichnet; seine Einheit ist m. Die Rekonstruktion des differentiellen Rückstreuquerschnittes mit Hilfe einer Rückfaltung bildet einen wesentlichen Teil dieser Arbeit, wobei eine Rückfaltungsmethode auf der Basis uniformer B-Splines besondere Berücksichtigung findet. Ist der differentielle Rückstreuquerschnitt bekannt, so können weitere physikalische Parameter der gescannten Oberfläche ermittelt werden: Integration liefert den Rückstreuquerschnitt $\sigma[\text{m}^2]$, durch Berücksichtigung der Entfernung R und des Einfallswinkels ϑ können ein dimensionsloser Rückstreuoeffizient γ und, bei Vorliegen eines diffusen Reflexionsverhaltens der Oberfläche, ein Reflektivitätswert ρ_d ermittelt werden.

In dieser Dissertation werden die Möglichkeiten und Grenzen der Signalverarbeitung von Full-Waveform-Daten aufgezeigt, wofür theoretische Ableitungen, simulierte und tatsächliche Scandaten zum Einsatz kommen. Die Simulationen wurden für verschiedene Oberflächengeometrien erstellt, nämlich für Ebenen, parallele Halbebenen, Kugel-, Zylinder- und sinusoidale Oberflächen. Zusätzlich wurden zwei verschiedene Leistungsdichteverteilungen im Laserstrahl untersucht; eine uniforme Verteilung, die im Nahfeld angenommen werden kann, sowie eine gaußförmige Verteilung, die näherungsweise im Fernfeld gilt.

Das Beispiel der parallelen Halbebenen erlaubt es, theoretische Grenzwerte für deren Trennbarkeit in den Full-Waveform-Signalen abzuleiten, sowohl für den differentiellen Rückstreuquerschnitt wie auch für das Echosignal. Daten aus mehreren ausgedehnten Lidar-Flugkampagnen wurden verwendet, um die Möglichkeiten der in dieser Arbeit vorgestellten Ansätze zu analysieren. Diese Datensätze ergaben übereinstimmend eine empirische Rechtfertigung dafür, jeden einzelnen ausgesandten Laserpuls in die Analyse miteinzubeziehen; sei es durch eine einfache radiometrische Korrektur mittels Amplitudennormalisierung oder aber die weitestgehende Eliminierung der Form dieses Pulses aus dem Antwortsignal durch Rückfaltung. Weiters konnte gezeigt werden, dass die Verwertung statistischer Momente aus dem zeitlichen Verlauf des differentiellen Rückstreuquerschnittes eine verbesserte Klassifizierung der gescannten Oberflächen ermöglichen könnte.

Abstract

Three-dimensional topographic information in high spatial resolution for extended areas has gained steadily increasing interest in a number of scientific disciplines and applications. Within this field directly retrieved 3D data play a significant role. The term refers to the direct determination of 3D polar coordinates, one of them being the range (distance) from the sensor to the target surface. This thesis is dedicated to a data acquisition technique where both sophisticated ranging and derivation of physically meaningful object attributes are enabled by recording sampled copies of an emitted laser pulse and of its reflections from the scanned surfaces; this technique is therefore known as full-waveform laser scanning or full-waveform lidar.

In terms of mathematics, the return signals are substantially formed by a convolution (sliding integral) of the outgoing laser pulse's temporal profile and of a characteristic function for the surface illuminated by the laser pulse. This characteristic function is referred to as differential backscatter cross-section $\sigma'(R)$ [m]; its reconstruction by means of deconvolution forms the core part of this thesis. Special emphasis is given to a deconvolution approach based on uniform B-splines. The knowledge of the differential backscatter cross-section of a target enables for calculating further physical target attributes: integration results in the backscatter cross-section σ [m²], correction for the range R and the local incidence angle ϑ allow for the calculation of a dimensionless backscatter coefficient γ and—if diffuse reflectance behaviour of the target surface can be assumed—of a reflectance value ρ_d .

In this study the possibilities and limitations of signal processing of full-waveform lidar data are presented by means of theoretical derivations, simulated examples and real-world data sets. Simulations are provided for different target geometries, i.e. extended planes, parallel half-planes, spheres, cylinders and sinusoidal surfaces. Additionally, two different power density distributions within the laser footprint are simulated: a uniform distribution is used to represent the near field while a Gaussian distribution is used to represent the far field.

For the case of parallel half-planes, theoretical limits for their separability in the lidar return signal and in the differential backscatter cross-section are derived and presented. Data from multiple extended airborne lidar campaigns are analysed in order to assess

the performance of the presented approaches. These datasets give empirical justification for considering every emitted laser pulse in the full-waveform analysis: while some instabilities of the emitted laser power per pulse can be eliminated by amplitude normalization, deconvolution allows for decreasing the pulse's influence on the return signal at the highest possible level. It is additionally shown that the exploitation of statistical moments in the reconstructed differential backscatter cross-section curve may give valuable input to enhanced surface classification.