



Quelle/Source: PHOCAD GmbH

Schnitt durch eine eingefärbte Punktwolke der Andreaskirche in Düsseldorf im digitalen Auswertesystem Phidias // *Cross-section through a pigmented point cloud of the Church of St. Andreas in Düsseldorf in the Phidias digital analysis system*

Aktuelle Entwicklungen im Laserscanning

Current developments in laser scanning

Autor/Author: Christoph Effkemann

Laserscanning ist seit einigen Jahren ein etabliertes Verfahren in der Vermessung und wird für die detaillierte Aufnahme von Gebäuden, Anlagen oder Geländeoberflächen eingesetzt. Die physikalischen Gesetze, auf denen die Messung der Laufzeit von Laserimpulsen oder der Phasenverschiebung beruht, sind zwar noch immer die gleichen wie vor 20 Jahren, jedoch hat sich die Art und Weise des Einsatzes von Laserscanning seit den späten 1990er-Jahren kontinuierlich verändert und weiterentwickelt.

For some years, laser scanning has been an established measurement procedure in surveying and for detailed 3D data acquisition of buildings, facilities or ground surfaces. The physical laws on which the measurement of the round-trip time of laser impulses or phase shifting are based are still the same as twenty years ago, but the way in which laser scanning is used has continuously changed and developed further since the late 1990s.

Ein wesentlicher Grund für die rasante Verbreitung des Laser-scannings ist die exponentielle Steigerung der Messgeschwindigkeit im Laufe der Zeit. Anfangs existierten noch starke Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den verschiedenen Scannertypen: Instrumente mit Phasenvergleichsmessung (kurz: Phasenmessung) waren um den Faktor 100 bis 1000 schneller als Instrumente mit Impulslaufzeitmessung (kurz: Impulsmessung), dafür wiesen Letztgenannte größere Reichweiten auf. Heute sind die Unterschiede kaum noch relevant. Die Messrate der Laufzeitmessung beträgt derzeit bis zu 1 Mio. Punkte/s, was mit einem Einzellaser auch kaum noch zu verbessern ist, da das Licht „zu langsam“ ist. Bei einer Messrate von 1 Mio. Punkten/s ist ein Impuls, der in 150 m Entfernung reflektiert wurde, nämlich noch in der Luft, bevor der nächste Impuls ausgesendet wird. Eine weitere Steigerung der Geschwindigkeit würde damit zu Lasten der Reichweite gehen. Im Airborne-Bereich werden daher spezielle statistische Analyseverfahren eingesetzt, um gleichzeitig eine hohe Reichweite und hohe Messfrequenz zu ermöglichen.

Multizielbarkeit

Das Impulslaufzeitverfahren hat gegenüber der Phasenmessung den Vorteil, dass für jeden ausgesendeten Impuls mehrere Reflexionen erfasst werden können. Instrumente mit Full-Waveform-Analyse (z. B. Riegl VZ-400i [1]) sind damit in der Lage, Mehrfachziele zu registrieren und zu klassifizieren. Beim Scan eines Gebäudes wäre es z. B. möglich, für eine Richtung mehrere Zielpunkte zu messen: eine teilweise Reflexion auf einem Baum vor dem Gebäude, die nächste Reflexion auf der Fensterscheibe, ein weiterer Punkt auf der Innenwand und zuletzt die Reflexion eines im Glas der Fensterscheibe gespiegelten Objekts. Mit geeigneten Filtermethoden, die das Signal und die Verteilung der Punkte in der Umgebung analysieren, ist es möglich, unsichere Punkte zu

A major reason for the rapid spread of laser scanning is the exponential increase in measurement speed over the course of time. Initially, there were large differences in speed between different scanner types: instruments with phase shift measurement (abbr.: phase measurement) were 100 to 1000 times faster than instruments with pulse round-trip time measurement (abbr.: impulse measurement), although the latter demonstrated greater coverage ranges. Today, the differences are hardly relevant. The measurement rate for impulse measurement is currently up to 1 million points/s, which can hardly be improved upon with a single laser as the light is “too slow”. At a measurement rate of 1 million points/s, an impulse which was reflected at a distance of 150 m is still in the air before the next impulse is transmitted. Any further increase in speed would be to the detriment of range. In the airborne sector, special statistical analysis procedures are therefore used to permit a long range and high measurement frequency simultaneously.

Multi-target capability

Compared to phase measurement, the impulse measurement procedure has the advantage that several reflections can be recorded for each impulse transmitted. Instruments with full waveform analysis (e.g. Riegl VZ-400i [1]) are therefore able to register and classify multiple targets. When scanning buildings it would, for example, be possible to measure several target points for one direction: a partial reflection from a tree in front of the building, the next reflection on a glass pane, a further point on the interior wall and finally the reflection of an object reflected in the glass of the window pane. With suitable filter methods which analyse the signal and the distribution of the points in the vicinity, it is possible to remove or classify outliers. However, the procedure reaches its limits if the targets are so close that the impulses overlap and the signals merge.

Glossar

Impulsmessung	Entfernungsmessung aus der Zeitdifferenz zwischen ausgesendetem und empfangenem Laserimpuls.
Inertialmesseinheit	Kombination aus jeweils drei senkrecht zueinander stehenden Beschleunigungssensoren und Drehratensensoren. Die Geschwindigkeit und Position im Raum werden durch Integration der Messwerte abgeleitet. Inertialsensoren werden häufig mit Magnetfeldsensoren und GNSS kombiniert.
Kinematisches Scanning	Laserscanning während der Bewegung, so dass für jeden Zeitpunkt die Position und Rotation des Scanners ermittelt werden müssen.
Phasenmessung	Entfernungsmessung durch Vergleich des Phasenwinkels zwischen ausgesendetem und reflektiertem Signal bei der Verwendung modularer Laser.
SLAM	Anhand der Sensordaten wird gleichzeitig ein Modell der Umgebung erstellt und die Trajektorie innerhalb des Modells bestimmt.
Stop-&-Go-Scanning	Der Scanner befindet sich während der Messung kurz in Ruhe, sodass für jede Scanposition nur die absoluten 3D-Koordinaten und die Ausrichtung zu bestimmen sind.
Trajektorie	Bahnkurve, die für jeden Zeitpunkt die Position und Rotation eines Körpers beschreibt.

Glossary

Impulse measurement	Distance measurement from the time difference between a transmitted and a received laser impulse.
Inertial measurement unit	A combination of three vertically arranged acceleration and angular rate sensors. The speed and position in space are derived by integration of the measurement values. Inertial sensors are often combined with magnetic field sensors and GNSS.
Kinematic scanning	Laser scanning during movement so that the position and rotation of the scanner must be determined for each moment.
Phase measurement	Distance measurement by comparing the phase angle between transmitted and reflected signals using modulated lasers.
SLAM	With the sensor data, a model of the vicinity is also simultaneously created and the trajectory within the models is determined.
Stop & go scanning	During measurement, the scanner is briefly at rest so that for each scan position only the absolute 3D coordinates and the orientation need to be determined.
Trajectory	Path which describes the position and rotation of a body at any given moment.

entfernen oder zu klassifizieren. Das Verfahren stößt jedoch an seine Grenzen, wenn die Ziele so nah beieinander liegen, dass die Impulse sich überlagern und die Signale verschmelzen.

Kinematisches Laserscanning

Die hohe Messgeschwindigkeit hat neben anderen Faktoren dazu geführt, dass die kinematische Messung praktikabel wurde. Nahe liegend wurden zunächst Luftfahrzeuge mit kinematisch messenden Systemen ausgerüstet, da die zur absoluten Positionierung notwendige hochpräzise GNSS-Messung aufgrund der ständig guten Satellitensichtbarkeit am Himmel am einfachsten realisierbar ist. Weitere Sensoren (z. B. Inertialmesseinheiten (IMU)) sind jedoch erforderlich, um auch die Rotation des Scanners zu bestimmen und die Trajektorie mit höherer Auflösung aufzuzeichnen. Vergleichbare Systeme werden heute für das „Mobile Mapping“ mit Landfahrzeugen als Träger vorwiegend für die Vermessung und Inspektion von Verkehrsinfrastruktur, aber auch für die 3D-Stadtmodellierung eingesetzt (z. B. Topcon IP-S3/RD-M1 [2], Trimble MX-Serie [3], Riegl VMX-Serie [4]). Auch kompakte Mobile-Mapping-Systeme (MMS) für kleine Trägervehikel oder von Personen getragen (z. B. Robin [5] oder Leica Pegasus [6]) sind zunehmend auf dem Markt verfügbar. Für MMS sind die Bedingungen jedoch schwieriger als für Airborne-Systeme, da insbesondere in Städten die Qualität der GNSS-Messung aufgrund von Abschattungen deutlich geringer ist. Die Genauigkeit der kinematisch erzeugten Punktwolke liegt typischerweise zwischen 2 cm und einigen Dezimetern im Vergleich zu wenigen Millimetern bei statischen Scans [5].

Indoor Mapping

Für die Aufnahmen innerhalb von Gebäuden, in Tunneln, Bergwerken oder anderen Bereichen ohne Satellitensichtbarkeit scheidet die Verwendung von GNSS aus. Aber auch unter Verzicht auf die Satellitennavigation können durch Verwendung alternativer Verfahren zur präzisen Positions- und Orientierungsbestimmung

Kinematic laser scanning

Together with other factors, the high measurement speed has led to kinematic measurement becoming feasible. Self-evidently, aircraft were initially equipped with kinematically measuring systems, since the highly accurate GNSS measurement necessary for absolute positioning is easiest to realise in the sky due to constantly good satellite visibility. Further sensors (e.g. inertial measurement units (IMU)) are, however, necessary to also determine the rotations of the scanner and to record the trajectory with high resolution. Today, comparable systems are mainly used for mobile mapping with ground vehicles as carriers for the measurement and inspection of traffic infrastructure and also for 3D city modeling (e.g. Topcon IP-S3/RD-M1 [2], Trimble MX series [3], Riegl VMX series [4]). Compact mobile mapping systems (MMS) for small carrier vehicles or carried by a person (e.g. Robin [5] or Leica Pegasus [6]) are increasingly available on the market. However, the conditions for MMS are more difficult than for airborne systems, as especially in cities the quality of GNSS measurement is significantly less due to shading effects. The accuracy of the

Ingenieursdienste für UAV/UAS/Drohnen

- 3D-Modelle und Visualisierungen
- Direct Terrain Scan (Lidar)
- Inspektionsflüge
- Orthofotografie
- Vermessung
- Thermografie

Besuchen Sie uns auf der Intergeo bei Autodesk:
Halle A1, Stand F1.077

www.geospector.de



Quelle/Source: RIEGL LMS

RiCopter mit VUX-SYS // RiCopter with VUX-SYS

– beispielsweise mithilfe von Inertialsensorik (z. B. Trimble TIMMS [7]) – Mappingsysteme realisiert werden. Mithilfe von SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) ist es sogar möglich, ohne direkte Georeferenzierung im Postprocessing die Trajektorie aus den kinematischen Scandaten zu rekonstruieren, z. B. mit dem „GeoSLAM ZEB1“ [8]. Die Bestimmung der sechs Freiheitsgrade der Scannerorientierung für jeden Zeitpunkt setzt jedoch voraus, dass die Umgebung für dieses Verfahren geeignet ist. Es muss möglich sein, in den überlappenden Scanbereichen Objekte, wie ebene Flächenstücke, zu identifizieren. Diese Objekte müssen gut verteilt sein, unterschiedliche Ausrichtungen haben und die Entfernung zum Scanner darf nicht zu groß sein.

Kinematisches Stop-&-go-Scanning

Um die Nachteile von SLAM, also die geringe Genauigkeit und die Abhängigkeit von der Art der Umgebung, zu kompensieren, hat sich mit dem kinematischen Stop-&-go-Scanning eine Zwischenlösung herausgebildet. Dieses Verfahren ist deutlich schneller als das rein statische Scanning, bei dem häufig noch ein Passpunktfeld signalisiert und tachymetrisch aufgenommen werden muss. Die relativ geringe Verschiebung von einer Scanposition zur nächsten wird mithilfe zusätzlicher Sensoren wie z. B. MEMS IMU, GNSS oder auch einem Tachymeter bestimmt. In der Regel ist die Verschiebung und Rotation zwischen den Scanpositionen nicht mit ausreichender Genauigkeit bekannt, aber die Näherungswerte sind genau genug, um die exakte Positionierung anhand der überlappenden Punktwolke vollautomatisch berechnen zu können. Die Systeme Leica ProScan [9], Z+F Imager 5010x [10] und Riegl VZ-400i mit der Software RiSolve [1] fallen beispielsweise in diese Kategorie.

kinematisch produzierte Punktwolke ist typischerweise zwischen 2 cm und mehreren Dezimetern im Vergleich zu wenigen Millimetern bei statischen Scans [5].

Indoor mapping

GNSS kann nicht für die Datenerfassung in Gebäuden, in Tunneln, Minen oder anderen Bereichen ohne Satellitensichtbarkeit verwendet werden. Aber auch ohne Satellitennavigation können Mapping-Systeme durch alternative Verfahren für genaue Positions- und Orientierungsdetermination – zum Beispiel mit Hilfe von Inertialsensortechnik (z. B. Trimble TIMMS [7]). Durch SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping) ist es sogar möglich, die Flugbahn aus den kinematischen Scan-Daten im Nachbearbeiten ohne direkte Georeferenzierung, zum Beispiel mit dem GeoSLAM ZEB1 [8]. Allerdings, die Bestimmung der sechs

Freiheitsgrade der Scannerorientierung für jeden Punkt in der Zeit erfordert, dass die Umgebung für diesen Prozess geeignet ist. Es muss möglich sein, Objekte wie ebene Flächenstücke in den überlappenden Scanbereichen zu identifizieren. Diese Objekte müssen gut verteilt und unterschiedlich ausgerichtet sein, und die Entfernung zum Scanner darf nicht zu groß sein.

Kinematisches stop & go scanning

Kinematisches stop & go scanning wurde als eine vorläufige Lösung entwickelt, um die Nachteile von SLAM zu kompensieren, in anderen Worten: die niedrige Geschwindigkeit und die Abhängigkeit von der Umgebung. Dieses Verfahren ist deutlich schneller als das rein statische Scanning, bei dem häufig noch Kontrollpunkte signalisiert und tachymetrisch bestimmt werden müssen. Die vergleichsweise geringe Verschiebung von einer Scanposition zur nächsten wird mit Hilfe von zusätzlichen Sensoren wie MEMS IMU, GNSS oder auch einem Tachymeter bestimmt. Normalerweise ist die Verschiebung und Rotation zwischen den Scanpositionen nicht mit ausreichender Genauigkeit bekannt, aber die Näherungswerte sind genau genug für die Berechnung der Position vollständig automatisch durch die überlappenden Punktwolken. Als Beispiel: Die Leica ProScan [9], Z+F Imager 5010x [10] und Riegl VZ-400i-Systeme mit RiSolve [1] Software gehören zu dieser Kategorie.

UAV – Unmanned flying systems

Laser-Scanner sind (noch) nicht die leichtesten Sensoren für die Vermessung. Allerdings sind mittlerweile Scanner verfügbar, die auch an UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) montiert werden können. Der RiCopter, ein ferngesteuertes Mehrrotorflugzeug von Riegl mit VUX-SYS [11], wiegt insgesamt 25 kg und hat einen Laserscanner mit einer Reichweite von

UAV – Unbemannte Flugsysteme

Laserscanner gehören (noch) nicht zu den leichtgewichtigen Sensoren, die in der Vermessung eingesetzt werden. Dennoch werden mittlerweile Scanner angeboten, die auch von UAV (Unmanned Aerial Vehicles) getragen werden können. Das Gesamtgewicht des ferngesteuerten Multicopters von Riegl, dem RiCopter mit VUX-SYS [11] beträgt 25 kg bei einer Reichweite des Lasers von ca. 900 m. Aus technischer Sicht gibt es viele Anwendungsbereiche für Laserscanning mit UAV, z. B. die Vermessung kleinerer Flächen, für die der Einsatz bemannter Vermessungsflugzeuge unwirtschaftlich ist. Allerdings ist die rechtliche Lage von Land zu Land sehr unterschiedlich. In Deutschland wurde im Juli das maximale Gewicht für UAV, für die eine allgemeine Aufstiegs Genehmigung erteilt werden kann, von 5 kg auf 10 kg angehoben, wodurch der Einsatz von Scannern auch auf kleineren, kostengünstigen Flugsystemen realistischer wird.

Herausforderung der automatisierten Datenauswertung und Modellierung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der technologische Fortschritt im Laserscanning zur Entwicklung von immer vielfältigeren Geräten mit verschiedenen Technologien geführt hat. Damit wird auch der Anwendungsbereich immer weiter wachsen. Die Spannweite reicht vom Handheld-Scansystem zur Vermessung kleiner Innenräume bis zu Airborne-Systemen zur Erfassung ganzer Länder. Auch wenn die Entwicklung der Hardware vermutlich nicht mit der gleichen Geschwindigkeit fortschreiten wird wie bisher, gibt es noch einige Potenziale für die Zukunft, insbesondere im Bereich der Software zur Auswertung der massenhaft anfallenden Daten. In den seltensten Fällen ist eine 3D-Punktwolke oder ein unstrukturiertes Dreiecksflächennetz bereits das Endprodukt. Immer häufiger werden veredelte Daten, wie 3D-Gebäudemodelle für das Building Information Modeling (BIM) oder die Stadtmodellierung gewünscht, die mehr als nur einfache Geometrien enthalten. Bislang gelingt die Ableitung von höherwertigen Modellen aus Punktwolken jedoch nur mit einem hohen manuellen Auswerteaufwand, der häufig in keinem Verhältnis zur hocheffizienten Datenerfassung steht. Die höher automatisierte Ableitung von bauteilorientierten Gebäudemodellen aus einer dichten, aber unstrukturierten Punktwolke erfordert jedoch noch herausfordernde Entwicklungsarbeiten. Eine besondere Herausforderung für die Zukunft ist es, automatisch aus einer dichten, aber unstrukturierten Punktwolke Gebäudemodelle mit einzelnen Bauteilen abzuleiten.

Autor und Kontakt:

Author and contact details:

Dipl.-Ing. Christoph Effkemann

Phocad GmbH Aachen/Geodätisches Institut der RWTH Aachen

approximately 900 m. From a technical point of view, there are many application areas for laser scanning with UAVs, for example the measurement of smaller areas for which the use of manned measurement aircraft is not cost-effective. However, the legal situation differs greatly from country to country. In Germany, the maximum weight for UAVs for which a general flying permission can be issued has been increased from 5 kg to 10 kg, which makes the use of scanners on smaller, cheaper flying systems more realistic.

The challenge of automated data analysis and modelling

In summary, it can be said that the technological progress in laser scanning has led to ever more versatile devices with various technologies. This means that the area of application will also continue to grow. This ranges from hand-held scanning systems for the surveying of small internal spaces to airborne systems for 3D data acquisition of entire countries. Even if hardware development will probably not progress at the same speed as it has so far, there is still a fair deal of potential for the future, especially in the area of software for analysing the huge quantity of data accumulated. 3D point clouds or an unstructured triangular surface network are very rarely the end product. More and more frequently, processed data such as 3D building models for building information modeling (BIM) or city modelling which contains more than just simple geometries is required. So far, however, the derivation of higher-value models from points clouds is only possible with a great deal of manual analysis which is often disproportionate to the highly efficient data recording. A particular challenge for the future is therefore the derivation of object-oriented building models from dense but unstructured point clouds with the highest possible degree of automation.

Quellen // Sources

- [1] www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/48/
- [2] www.topconpositioning.com/mass-data-and-volume-collection
- [3] www.trimble.com/Imaging/land-mobile.aspx
- [4] www.riegl.com/products/mobile-scanning/
- [5] www.3dlasermapping.com/robin/
- [6] <http://leica-geosystems.com/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus-backpack>
- [7] www.applanix.com/products/timms-indoor-mapping.htm
- [8] <http://geoslam.com/hardware-products/zeb1/>
- [9] <http://leica-geosystems.com/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-proscan>
- [10] www.zf-laser.com/Z-F-IMAGER-R-5010X.3d_laser_scanner.0.html
- [11] www.riegl.com/products/unmanned-scanning/ricopter-with-vux-sys/