



Photogrammetrie
+ Laserscanning
= Range Imaging

Wilfried Karel
Institut für Photogrammetrie & Fernerkundung
TU Wien

Inhalt

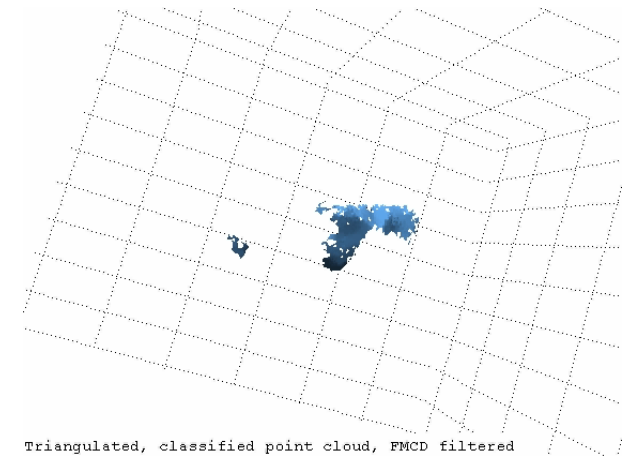
- Range Imaging – Einführung
 - Eine Kombination von Vorteilen
 - Verfahren der Distanzbestimmung
 - Serienproduktion: PMD-Range-Kameras
- Distanzfehler von PMD-Range-Kameras und deren Kalibrierung
 - Zufällige Fehler
 - Systematische Einflüsse
 - Kalibrieransatz
 - Ergebnisse
- Erste Anwendung in der Geodäsie
 - Modellierung einer Einkaufspassage

Range Imaging als Kombination von Vorteilen

Photogrammetrie

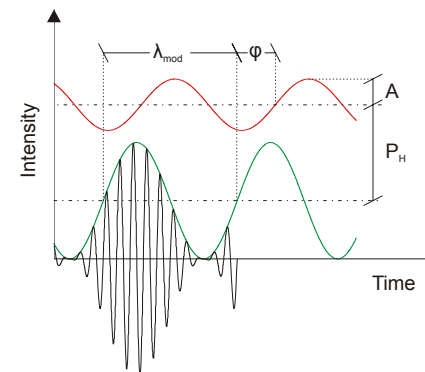
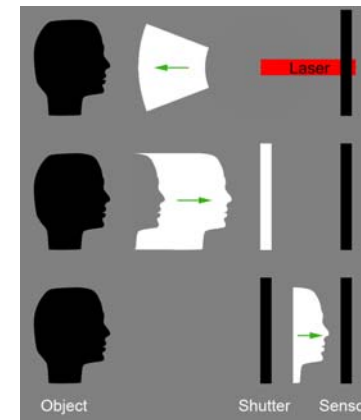
- Flächenhafte, simultane, robuste Distanzbestimmung über Laufzeitmessung eines emittierten Signals
 - Geeignet für kontrastarme Oberflächen
 - Keine homologen Punkte nötig
- Keine bewegten Teile
- Niedriger Strombedarf
- Leicht, kompakt, mobil
- Kostengünstig
- Vektorbündel
 - Erleichtert indirekte Orientierung auf bewegten Plattformen
 - Simultane Erfassung dynamischer Objekträume

Laserscanning



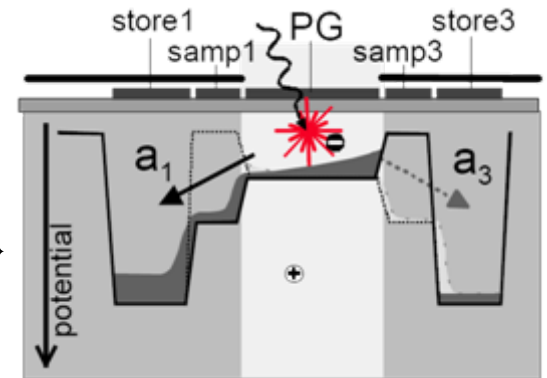
Verfahren der Distanzbestimmung

- $d = 1/2 c t$
- Allgemein:
 - NIR
 - Amplitudenmodulation
- Gepulste Modulation
 - Lawinenphotodioden: APD
 - APD im Geiger-Modus: SPAD
 - Mehrfache Kurzzeit-Doppelbelichtung: MDSI
- Kontinuierliche (CW-) Modulation
 - Heterodyne Mischung
 - Homodyn (Photomischdetektor, PMD)



In Serie: PMD-Sensoren

- Photonen \rightarrow p-Silizium \rightarrow Elektronen-Loch-Paare
- Elektronen \rightarrow elektrisches Feld moduliert mit Referenzsignal \rightarrow Integration in 1 von 2 Kondensatoren „Elektronenschaukel“
- Referenzsignal = LED-Signal + $\{0, \pi/2, \pi, 3\pi/2\}$ \rightarrow Korrelationsfunktion \rightarrow Phasenwinkel
- Kein kohärentes, kein monochromatisches Licht nötig, nur bis zu 30 MHz \rightarrow günstige LEDs verwendbar, kein hochgenauer Frequenzgeber nötig



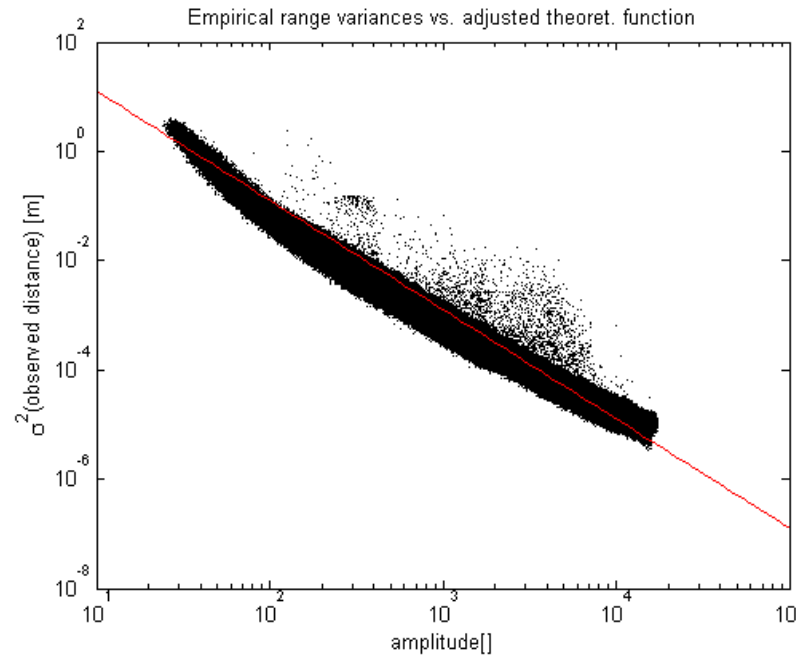
PMD: typ. techn. Daten

Swissranger SR-3000			
Bildmatrix	144x176px ²	Modulation	5-30MHz
Blickfeld	39.6°x47.5°	Eindeutigkeitsbereich	30-5m
Max. Bildrate	25 fps	Abmessungen	50x67x42.5m m ³
Beleuchtung	1W	Gewicht	162g
Trägerwelle	850nm	Brennweite	8mm

Präzision: \cong **cm** äußere Genauigkeit \cong **dm**



PMD: Zufällige Distanzfehler



Empirisch bestimmte $\sigma^2_{\text{obsDist}}$ vs. mittl. Amplitude

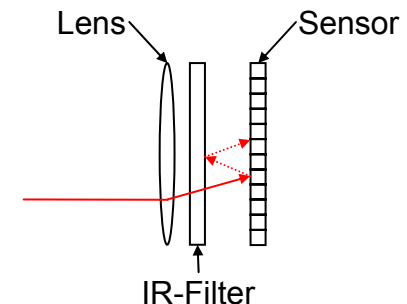
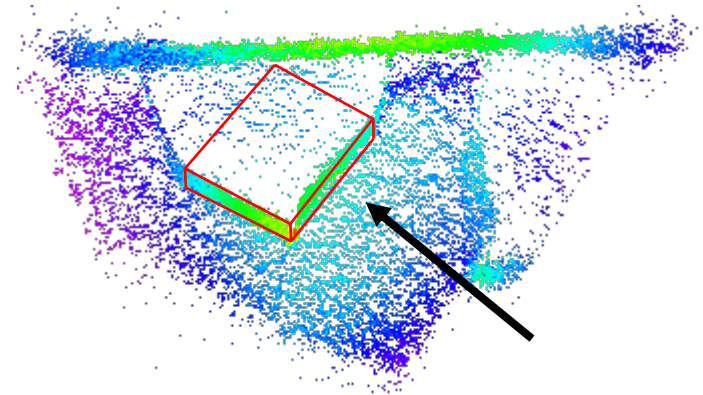
$$\sigma^2_{\text{obsDist}} \sim 1/A^2$$

PMD: Systematische Distanzfehler

- Viele Einflüsse nachgewiesen:

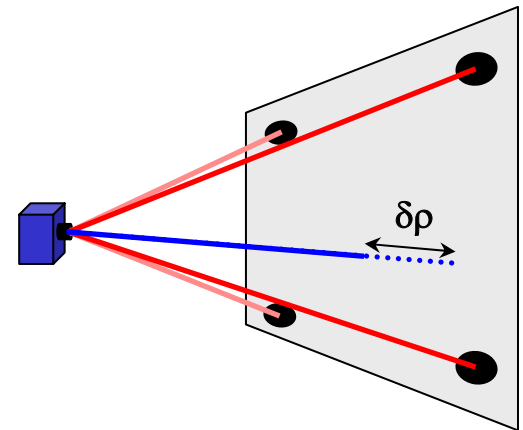
- Distanz selbst
- Position am Sensor
- Amplitude
- Reflektivität / Material
- Integrationszeit
- Interne / Umgebungstemperatur
- Inzidenzwinkel
- Mehrwegeeffekte:
 - Intern (Scattering)
 - Extern (vgl. Multipath)

- Gegenseitige Abhängigkeiten unklar



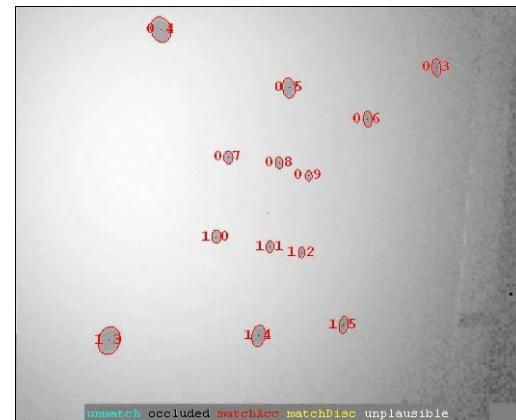
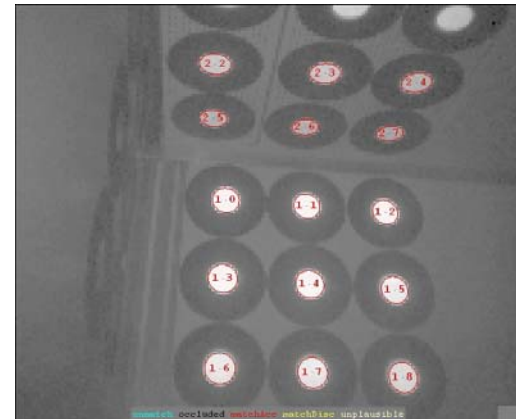
Distanz-Kalibrieransatz

- Selbstkalibrierung: Nachweis unabhängiger Parameter / Modellwahl / Parameterschätzung aller Einflussgrößen auf Basis eines einzigen Datensatzes
- Amplituden weisen geringeres Rauschniveau auf und sind lokal geringer deformiert
- Laterale Auflösung sehr niedrig (Sensormatrix) → sparsame Verwendung des Bildraumes → kreisförmige, nicht kodierte Zielmarken
- ebenes Testfeld: kein Multipath, geringes Scattering
- Bündelblockausgleich → IOR & EOR
- EOR → Maskierung des Testfeld-Bereiches: verwende nur Bereiche auf Testfeld, außerhalb Zielmarken, Distanzresiduen
- Prüfe Residuen auf Zusammenhang mit möglichen Einflussfaktoren (visuell, Ausgleichung)



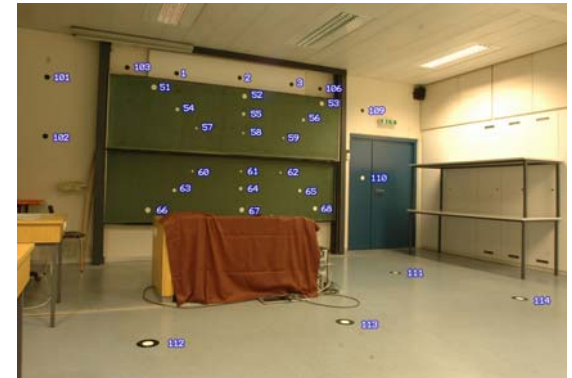
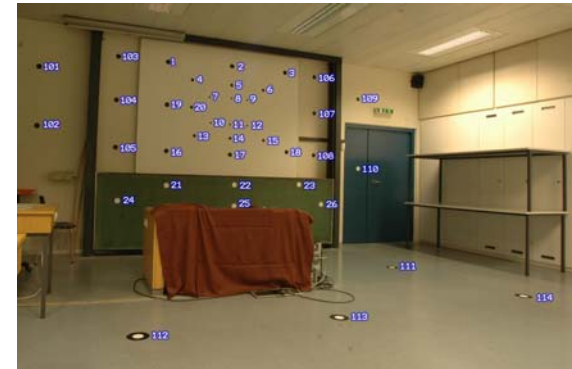
Kalibrierung mittels Range-Videos

- Relativ niedrige laterale vs. rel. hohe zeitliche Auflösung:
25kPixel vs. 25fps
 - verwende Bildsequenzen
 - Handgeführte Bedienung → permanente, zufällige Bewegungen, dichtes Sampling des Parameterraumes
 - Automatische Zielmarkenverfolgung
 - 6000 Bilder
 - Nur Distanzen < 2.5m:
 - $A \sim 1/d^2$
 - Bewegungsunschärfe

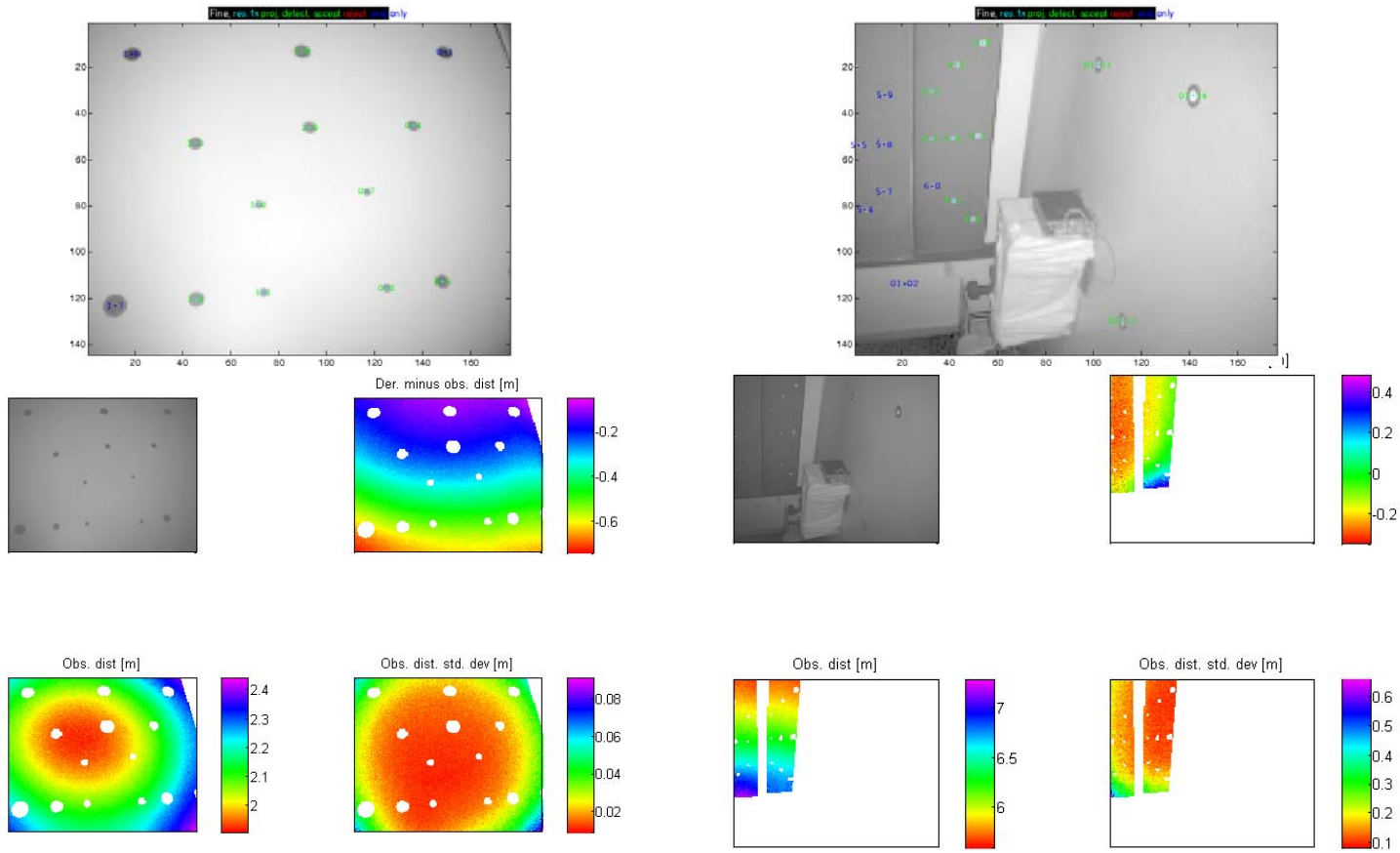


Kalibrierung mit Standbildern

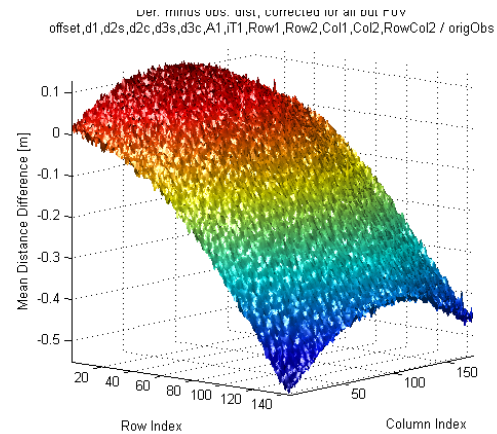
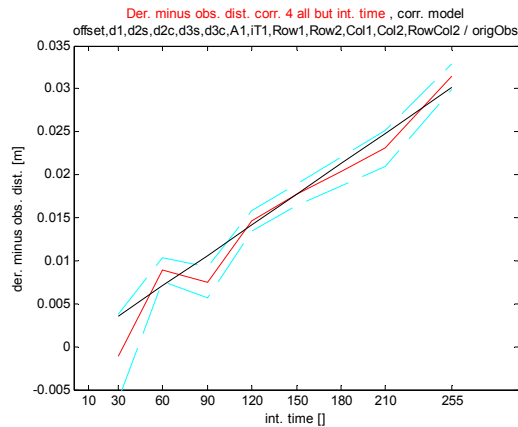
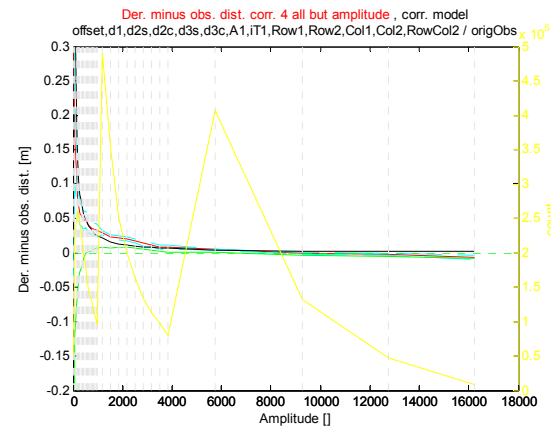
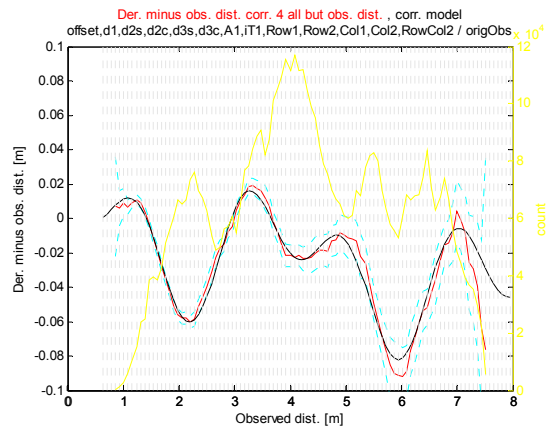
- Mittelung vieler frames mit $EOR=const$ -> geeignet für gesamten Distanzmessbereich
- Automatische Zielmarkendetektion und Orientierung
- Suche nach Korrespondenzen: sehr rechenaufwändig (keine Kodierung)
- 850 Bilder
- 2 Testfelder mit unterschiedl. Reflektivitäten



Orientierung, Maskierung, Residuen der Standbilder



Modellauswahl, Parameterschätzung



Kalibrierung: Ergebnisse

- Grobe Fehlereinflüsse eliminiert
- Probleme bei extrem niedrigen Amplituden

Erste geodätische Anwendung: Modellierung einer Passage

- Diplomarbeit Stefan Niedermayr
- Große Objektdistanzen, extrem niedrige Amplituden
- Stop-and-go-Modus mit fahrbarem Stativ
- Näherungs-EOR über Verfolgung von Merkmalspunkten
- ICP mit Exzenter-Bedingung



Modell Palais Ferstel

