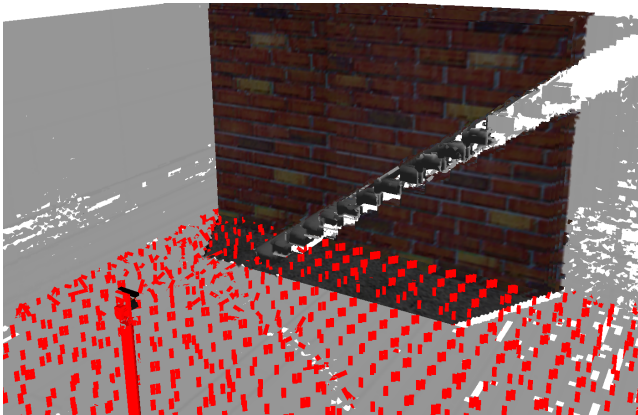


Entwicklung eines Sensorfusions-Frameworks zur Umgebungsmodellierung

Zwischenvortrag Bachelorthesis
Marius Schnaubelt



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT





- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 Stand der Forschung
- 4 Konzept
- 5 Aktueller Stand und Aussicht

- ▶ Mobile Roboter besitzen unterschiedliche Sensorsysteme
- ▶ Verschiedene Sensoren → verschiedene Eigenschaften
- ▶ Umgebungsmodellierung basierend auf unterschiedlichen Sensoren

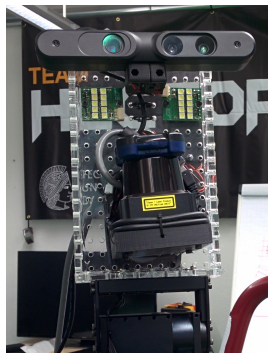


Abb.: THOR-OPs Sensorkopf



- ▶ Stärken von Sensoren kombinieren
- ▶ Schwächen ausmerzen
- ▶ Bestätigung der Daten von anderen Sensoren
- ▶ Verbesserung der Zuverlässigkeit der Umgebungsmodellierung
- ▶ Möglichkeiten eines guten (3D-) Weltmodells
 - ▶ Fußschrittplanung
 - ▶ Kollisionsvermeidung
 - ▶ Pfadplanung
 - ▶ Manipulationsaufgaben



- ▶ Unterstützung beliebig vieler Sensoren
- ▶ Modellierung der Roboter-Umgebung
- ▶ „Echtzeit“-Aktualisierungen
- ▶ Generierung von verschiedenen Umgebungsrepräsentationen
- ▶ Effiziente CPU- und Speichernutzung
- ▶ Anwendbar für verschiedene Roboter und Sensorkonfigurationen
- ▶ ROS-Integration

Grundlagen: Truncated Signed Distance Fields - TSDF

- ▶ Signed distance function $\Phi : \mathbf{R}^3 \rightarrow \mathbf{R}$
→ Distanz von Voxel zu Objektoberfläche
- ▶ Φ überschreitet Schwellwert τ
→ Wird abgeschnitten

$$\Phi_{\tau}(\mathbf{x}) = \begin{cases} \Phi(\mathbf{x}) & \text{wenn } |\Phi(\mathbf{x})| < \tau \\ \text{undefiniert} & \text{sonst} \end{cases}$$

- ▶ Gewicht vom Voxel: Gewissheit der SDF-Schätzung
- ▶ Oberflächenverlauf implizit beschrieben
- ▶ Ermöglicht hochqualitative Oberflächen

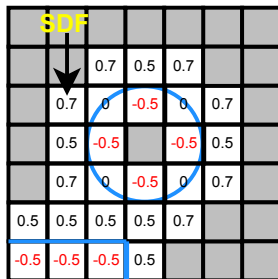


Abb.: 2D-TSDF-Voxelgitter

- ▶ TSDF in Voxelgitter: Sehr speicher- und rechenaufwändig
→ spatially-hashed TSDF
- ▶ Ausnutzung dünnbesetzter Struktur
- ▶ Aufteilung der Szene in Voxelblöcke
- ▶ Nur Blöcke mit gültigen TSDF-Daten werden gespeichert
- ▶ Zugriff auf Voxel bei gegebener Weltposition: $\mathcal{O}(1)$

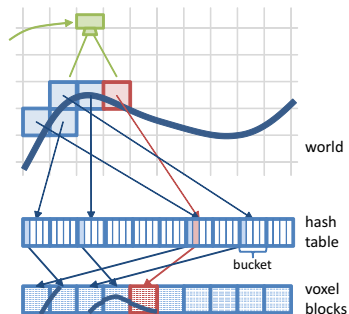


Abb.: Aufteilung der Szene in gehashte Voxelblöcke [1]

Stand der Forschung: Continuous Humanoid Locomotion over Uneven Terrain using Stereo Fusion



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Team MIT's Ansatz für Fortbewegung auf unebenem Gelände anlässlich DRC Finale
- ▶ Basiert auf Kintinous
 - ▶ 3D-TSDF-Struktur für RGB-D Sensorfusion
 - ▶ CUDA-Beschleunigung für Echtzeit-Anwendung
- ▶ Anpassung von Kintinous für Stereo Kamera (ATLAS Roboter)

[width = 6cm, height = 3.5cm,
autostart,loop, poster] video/mit.m4v

Abb.: Laufen basierend auf Kintinous [2]

Stand der Forschung: Continuous Humanoid Locomotion over Uneven Terrain using Stereo Fusion



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Vorteile

- ▶ Performant durch GPU-Beschleunigung

[width = 6cm, height = 3.5cm,
autostart,loop, poster] video/mit.m4v

Abb.: Laufen basierend auf Kintinous [2]

Nachteile

- ▶ GPU-Nutzung schränkt mögliche Anwendungsfälle ein
- ▶ Gebiete außerhalb des Kamera-Blickfeldes werden tesseliert
 - ▶ Löschen der TSDF-Daten
- ▶ Unterstützung von nur einem Sensor

Stand der Forschung: Robot-Centric Elevation Mapping



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ ETH Zürich, 2014
- ▶ Erstellung von Höhenkarten (2,5D) für mobile Roboter
- ▶ Kalman-Filter für Fusion der Höhenschätzungen inklusive Abschätzung von Unsicherheit
- ▶ ROS-Integration
- ▶ CPU-basiert

[width = 6cm, height = 3.4cm,
autostart,loop, poster] video/eth.mp4

Abb.: Erstellung der Höhenkarte [3]

Stand der Forschung: Robot-Centric Elevation Mapping

Vorteile

- ▶ Anwendung auf vielen Robotersystemen möglich durch CPU-Nutzung
- ▶ 2,5D Darstellung
 - ▶ Hohe Aktualisierungsrate
 - ▶ Geringer Speicherverbrauch

Nachteile

- ▶ Nur ein Distanzsensoren unterstützt
- ▶ Form der Welt Darstellung nicht immer geeignet

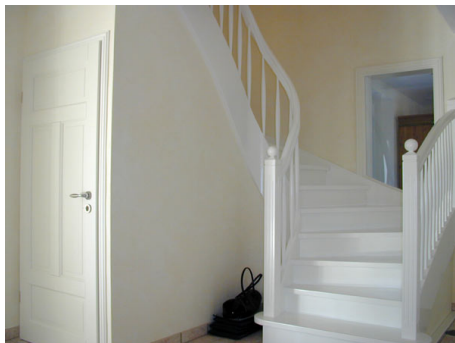


Abb.: Raum unter Treppe [4]

- ▶ TH Nürnberg, 2014
- ▶ Multisensor-Fusions-Framework für Umgebungsmodellierung
- ▶ Echtzeit-Anwendung für mobile Roboter
- ▶ CPU-gestütztes TSDF
- ▶ Keine ROS-Integration



Abb.: Einsatz von Obviously [5]

Vorteile

- ▶ Mehrere Sensoren fusionierbar
- ▶ Verschiedene Repräsentationen für Weltmodell verfügbar

Nachteile

- ▶ Voxelgitter für TSDF-Daten
- ▶ Leere Voxelblöcke werden gespeichert und aktualisiert
→ Unnötige Verwendung von Speicher und Rechenzeit
- ▶ Hinzufügen von neuen Sensoren aufwendig

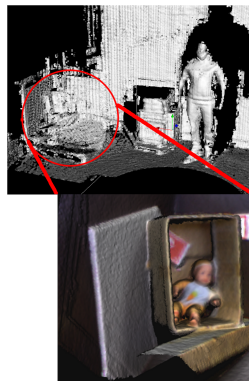


Abb.: Einsatz von Obviously [5]



- ▶ Akkumulation von Laserscans
- ▶ Octree mit fester Knotengröße
- ▶ Erzeugt Höhenkarte und Oberflächennormalen-Schätzung
- ▶ Nur Daten im Bereich um neusten Laserscan geupdated

[width = 6cm, height = 3.5cm,
autostart,loop, poster] video/drop.avi

Abb.: Laufen mit Vigir Terrain Classifier [6]



Vorteile

- ▶ Hohe Aktualisierungsraten möglich

[width = 6cm, height = 3.5cm,
autostart,loop, poster]
video/vigir_terrain.mp4

Abb.: Laufen mit Vigir Terrain Classifier [6]

Nachteile

- ▶ Keine Abschätzung der Sicherheit von Höhenmessungen
- ▶ Dynamische Objekte „zerstören“ Umgebungsmodellierung
- ▶ Nur ein Sensor wird unterstützt



- ▶ CMU, 2015
- ▶ Bibliothek für 3D-Rekonstruktion großer Volumen in Echtzeit
- ▶ Ursprünglich für mobile Geräte mit Tiefensensor
- ▶ Spatially-hashed TSDF nur mit CPU
- ▶ Beachtung von Sensor-Messfehlern

[width = 6cm, height = 3.5cm,
autostart,loop, poster]
video/chisel_trim.m4v

Abb.: Szene rekonstruiert durch CHISEL [7]

Vorteile

- ▶ ROS-Integration
- ▶ Sehr leistungsfähige Bibliothek
- ▶ TSDF-Daten bleiben erhalten

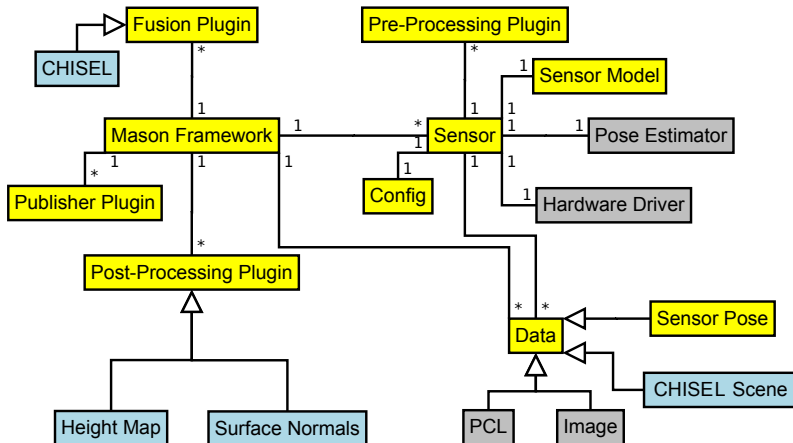
[start=35s,width = 5.5cm, height =
3.5cm, autostart,repeat,poster]
video/chisel_trim.m4v

Abb.: Szene rekonstruiert durch CHISEL [7]

Nachteile

- ▶ Support für nur einen Distanzsensor
- ▶ Keine Posenschätzung vorhanden
→ externe Posenschätzung
benötigt

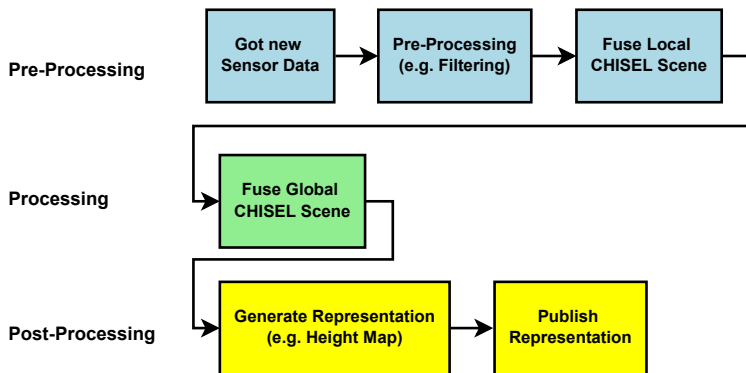
Konzept: Framework-Klassen



Konzept: Pipeline



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



- ▶ Fusion von verschiedenen Sensoren möglich
→ CHISEL Fusion-Plugin
 - ▶ Beliebige Voxelblock-Größen und Auflösungen
 - ▶ Auch mit Farbinformationen
 - ▶ Oberflächennormalen-Schätzung
- ▶ Tiefenbilder und Pointclouds integrierbar

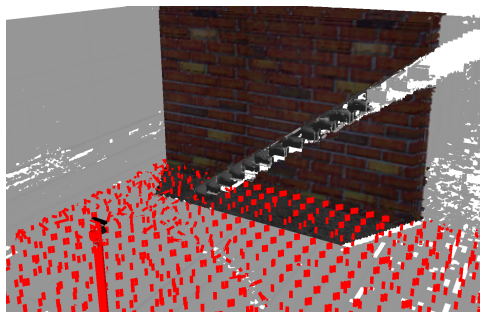


Abb.: Fusion von RGB-D- und Laserscanner-Daten



Zusammenfassung

- ▶ CHISEL als performante Basis für Multisensor-Fusions-Framework
- ▶ Spatially-hashed TSDF
- ▶ Erstellung von verschiedenen Repräsentationen aus Weltmodell

Aussicht

- ▶ Implementierung vom Framework
 - ▶ Übertragen vom aktuellen Stand in Plugins
 - ▶ Interface vom Framework zu CHISEL
- ▶ Evaluation
 - ▶ Leistung
 - ▶ Zusammenspiel verschiedener Sensorkonfigurationen (Gazebo und Roboter)
 - ▶ Zuverlässigkeit



- [1] [Nießner, 2013] M. Nießner, M. Zollhöfer, S. Izadi, et al.
Real-time 3d reconstruction at scale using voxel hashing
ACM Transactions on Graphics (TOG), 2013.
- [2] [Fallon, 2015] M. Fallon, P. Marion, R. Deits , et al.
Continuous Humanoid Locomotion Over Uneven Terrain Using Stereo Fusion
International Conference on Humanoid Robots, 2015.
Video: https://www.youtube.com/watch?v=_6WQxXH-bB4
- [3] [Fankhauser, 2014] P. Fankhauser, M. Bloesch, C. Gehring, et al.
Robot-Centric Elevation Mapping with Uncertainty Estimates
International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR), 2014.
Video: <https://www.youtube.com/watch?v=I9eP8GrMyNQ>



[4] [\[zuhause.de\]](#)

http://bilder.zuhause.de/b/56/21/79/18/id_56217918/tid_da/den-raum-unter-der-treppe-nutzen.jpg

[5] [\[May, 2014\]](#) S. May, P. Koch, R. Koch, et al.

A Generalized 2D and 3D Multi-Sensor Data Integration Approach based on Signed Distance Functions for Multi-Modal Robotic Mapping
[VMV, 2014.](#)

[6] [\[Stumpf\]](#) A. Stumpf

Vigir Terrain Classifier



- [7] [Klingensmith, 2015] M. Klingensmith, I. Dryanovski, S. S. Srinivasa, et al.
Chisel: real time large scale 3d reconstruction onboard a mobile device using
spatially-hashed signed distance fields,
[Robotics Science and Systems, 2015.](#)
Video: <https://vimeo.com/117544631>