

Konzepte und Techniken zur Evaluierung des Straßenzustands von Mobile-Mapping-Punktwolken

Concepts and Methods for Evaluating Pavement Condition
of Mobile Mapping Point Clouds

Bachelorarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
"Bachelor of Science"
(B.Sc.)
im Studiengang IT-Systems Engineering

Hasso-Plattner-Institut // Digital Engineering Fakultät // Universität Potsdam

vorgelegt von
Adrian Ziupka

Aufgabenstellung und Anleitung:
Prof. Dr. Jürgen Döllner
Dr. Rico Richter
Leon Masopust Sören Discher

Potsdam,
2. Juli 2021

Zusammenfassung

3D-Mobile-Mapping-Punktwolken können die Realität in einer Präzision von wenigen Millimetern genau abbilden. Deren unstrukturierte Natur macht es aber herausfordernd, direkt anhand der Punkte Objektklassifizierungen vorzunehmen. Gleichzeitig bieten vermehrt verfügbare Laserscan-Technologie sowie die erhöhte Rechenleistung der letzten Jahre Möglichkeiten, diese großen Datenmengen effizient zu verarbeiten.

Ein möglicher Anwendungsfall stellt die automatisierte Erkennung von Straßenschäden in Punktwolken dar, die zuvor mit speziell ausgerüsteten Fahrzeugen aufgenommen wurden. Eine solche semantische Segmentierung etwa von Schlaglöchern oder Flickstellen bietet das Potenzial, die bisher meist manuell und damit kostenintensiv durchgeführten Absuchungen nach Schäden durch Straßenbauämter abzulösen. Die Analyse auf den 3D-Daten bietet dabei, im Gegensatz etwa zu Bildern der Punktwolke, zusätzliche Tiefeninformationen.

In diesem Paper werden zwei Ansätze zur Detektion von Schäden auf direkter Punktbasis erläutert und miteinander verglichen. Der erste Ansatz basiert auf wohlüberlegten und durch Experimente verfeinerten Features, welche die lokale Nachbarschaft jedes Punktes charakterisieren. Dem zweiten Ansatz liegt das in der Forschung zu semantischer Segmentierung von Punktwolken bekannte neuronale Netz *PointNet* zugrunde, das ähnliche Features versucht automatisch zu extrahieren. Dabei zeigte sich, dass ...

hier Vergleich
bzgl. Qualität
und Performan
ce

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	iii
1. Einleitung	1
1.1. Terminologie	1
1.2. Projektüberblick	1
1.3. Schwerpunkte des Bachelorprojekts	1
1.3.1. BA1	1
1.3.2. BA2	1
1.3.3. BA3	1
1.3.4. BA4	1
1.4. Einordnung in den Projektkontext	1
1.5. Struktur der Arbeit	1
2. Verwandte Arbeiten	3
2.1. Objekterkennung in Punktwolken	3
2.2. Straßenschadenerkennung auf Bildbasis	3
2.3. Straßenschadenerkennung auf direkter Punktbasis	3
3. Konzept	5
3.1. Betrachtete Objektklassen	5
3.2. Preprocessing	5
3.3. Ansatz Feature-Extraction	5
3.3.1. Features	5
3.3.2. Scales	5
3.3.3. Ein- und mehrwertige Features	5
3.3.4. Uniqueness	5
3.3.5. Sonstige Verarbeitungsschritte	5
3.3.6. Prediction per Random Forest	5
3.4. Ansatz Deep Learning	5
3.5. Postprocessing	5
4. Implementierung	7
4.1. Systemüberblick	7
4.2. Preprocessing	7

4.3. Ansatz Feature-Extraction	7
4.3.1. Features	7
4.3.2. Scales	7
4.3.3. Ein- und mehrwertige Features	7
4.3.4. Uniqueness	7
4.3.5. Sonstige Verarbeitungsschritte	7
4.3.6. Prediction per Random Forest	7
4.4. Postprocessing	7
5. Evaluierung	9
5.1. Trainings- und Testdaten	9
5.2. Preprocessing	9
5.3. Ansatz Feature-Extraction	9
5.3.1. Features	9
5.3.2. Scales	9
5.3.3. Ein- und mehrwertige Features	9
5.3.4. Uniqueness	9
5.4. Ansatz Deep Learning	9
5.5. Postprocessing	9
6. Fazit und Ausblick	11
Weiterführende Literatur	13
A. Test Anhang	15
A.1. Eum Iriure Dolor in Hendrerit	15
A.2. Stet Clita Kasd Gubergren	16
B. Test Anhang2	19
B.1. Eum Iriure Dolor in Hendrerit	19
B.2. Stet Clita Kasd Gubergren	20

Kapitel 1

Einleitung

1.1. Terminologie

1.2. Projektüberblick

1.3. Schwerpunkte des Bachelorprojekts

1.3.1. BA1

1.3.2. BA2

1.3.3. BA3

1.3.4. BA4

1.4. Einordnung in den Projektkontext

1.5. Struktur der Arbeit

Kapitel 2

Verwandte Arbeiten

2.1. Objekterkennung in Punktwolken

2.2. Straßenschadenerkennung auf Bildbasis

2.3. Straßenschadenerkennung auf direkter Punktbasis

Kapitel 3

Konzept

3.1. Betrachtete Objektklassen

3.2. Preprocessing

3.3. Ansatz Feature-Extraction

3.3.1. Features

3.3.2. Scales

3.3.3. Ein- und mehrwertige Features

3.3.4. Uniqueness

3.3.5. Sonstige Verarbeitungsschritte

3.3.6. Prediction per Random Forest

3.4. Ansatz Deep Learning

3.5. Postprocessing

Kapitel 4

Implementierung

4.1. Systemüberblick

4.2. Preprocessing

4.3. Ansatz Feature-Extraction

4.3.1. Features

4.3.2. Scales

4.3.3. Ein- und mehrwertige Features

4.3.4. Uniqueness

4.3.5. Sonstige Verarbeitungsschritte

4.3.6. Prediction per Random Forest

4.4. Postprocessing

Kapitel 5

Evaluierung

5.1. Trainings- und Testdaten

5.2. Preprocessing

5.3. Ansatz Feature-Extraction

5.3.1. Features

5.3.2. Scales

5.3.3. Ein- und mehrwertige Features

5.3.4. Uniqueness

Sonstige Verarbeitungsschritte

Prediction per Random Forest

5.4. Ansatz Deep Learning

5.5. Postprocessing

Kapitel 6

Fazit und Ausblick

Weiterführende Literatur

- [1] Luis Alvarez, Pierre-Louis Lions und Jean-Michel Morel. “Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion. II”. In: *SIAM J. Numer. Anal.* 29.3 (1992), S. 845–866. ISSN: 0036-1429. DOI: <http://dx.doi.org/10.1137/0729052>.

Anhang A

Test Anhang

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi.

A.1. Eum Iriure Dolor in Hendrerit

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et

justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi.

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis.

At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur.

A.2. Stet Clita Kasd Gubergren

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in

hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi.

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis.

At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur

Anhang B

Test Anhang2

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi.

B.1. Eum Iriure Dolor in Hendrerit

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et

justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi.

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis.

At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur.

B.2. Stet Clita Kasd Gubergren

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in

hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi.

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis.

At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur

Todo list

	hier Vergleich bzgl. Qualität und Performance	iii
---	---	-----

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe des Literaturzitats gekennzeichnet. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Potsdam, 2. Juli 2021

(Ort, Datum)

(Unterschrift)