

Detection of Temporal Patterns and Events in Time-Dependent Acceleration Data Using the Example of Vienna's Metro Rails

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

im Rahmen des Studiums

Business Informatics

eingereicht von

Alexander Litzellachner

Matrikelnummer 0825266

an der
Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien

Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Peter Filzmoser
Mitwirkung: Dr. Markus Ossberger

Wien, 17.08.2017

(Unterschrift Verfasser)

(Unterschrift Betreuer)

Detection of Temporal Patterns and Events in Time-Dependent Acceleration Data

Using the Example of Vienna's Metro Rails

MASTER'S THESIS

submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of

Diplom-Ingenieur

in

Business Informatics

by

Alexander Litzellachner

Registration Number 0825266

to the Faculty of Informatics
at the TU Wien

Advisor: Univ.-Prof. Dr. Peter Filzmoser

Assistance: Dr. Markus Ossberger

Vienna, 17th August, 2017

Erklärung zur Verfassung der Arbeit

Alexander Litzellachner, BSc
Heindlgasse 11/6, 1160 Wien

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit - einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen -, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

Wien, 17. August 2017

(Unterschrift Verfasser)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Prof. Filzmoser, der meine Diplomarbeit betreut und begutachtet hat. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinem Vorgesetzten Dr. Ossberger und bei meinem Kollegen Peter Piekarz bedanken, die mir mit viel Geduld, Interesse und Hilfsbereitschaft zur Seite standen. Bedanken möchte ich mich für die zahlreichen inspirierenden Debatten und Ideen, die maßgeblich dazu beigetragen haben, dass diese Diplomarbeit in dieser Form vorliegt.

Abschließend bedanke ich mich besonders bei meinen Freunden Philipp Huber und Marcus Lebesmühlbacher für den starken emotionalen Rückhalt über die Dauer meines gesamten Studiums.

Alexander Litzellachner,

Wien, 17. August 2017

Acknowledgements

At this point, I would like to thank all those who supported and motivated me during the preparation of this diploma thesis.

First of all, my thanks go to Prof. Filzmoser, who has supervised and assessed my diploma thesis. I want to express my gratitude for the helpful suggestions and the constructive criticism in the preparation of this work.

I would also like to thank my supervisor Dr. Ossberger and my colleague Peter Piekarz, who supported me with a lot of patience, interest and helpfulness. I greatly appreciate the many inspiring debates and ideas that have contributed to overcoming the challenges set forth by the scientific aim of this diploma thesis.

Finally, I especially thank my friends Philipp Huber and Marcus Lebesmühlbacher for their strong emotional support over the course of my entire studies.

Alexander Litzellachner,

Vienna, August 17th 2017

Kurzfassung

Diese Arbeit hat zum Ziel, bestimmte Muster und temporäre Events am Gleisstrang der Wiener U-Bahn-Linien mit Hilfe der in Smartphones verbauten Beschleunigungssensoren zu identifizieren und analysieren. Beispiele hierfür sind gefahrene Kurven, Beschleunigung, Weichen und Gleisschäden. Hierzu wurden acht Smartphones in unterschiedlicher Qualität angeschafft, um auch die daraus resultierenden Unterschiede in den Messergebnissen zu analysieren. Mit diesen acht Handys wurden mehrere Messfahrten im Wiener U-Bahn-Netz durchgeführt. Deren aufgezeichnete Sensordaten wurden sodann mit verschiedenen statistischen Methoden analysiert, z.B. Korrelationsanalyse, multiple lineare Regression und SCARM, eine Funktion in R zur Signalextraktion aus mit Rauschen und Ausreißern hinterlegten Datenströmen. Die Smartphonesensoren messen allesamt in etwa das Gleiche, unterscheiden sich jedoch in deren maximalen Sensorabtastraten sowie in deren Varianzen. Auch ähneln die ebenfalls erfassten Gyroskopdaten der Handys stark der gemeinsam mit dem Gleismesswagen von Wiener Linien aufgezeichneten Kurvenkrümmung. Anhand der Beschleunigungsdaten kann die Geschwindigkeit geschätzt werden, welche wiederum zusammen mit den Kurven mittels Sensor-Fusion eine Rekonstruktion des gefahrenen Pfades und somit eine ungefähre Lokalisierung im U-Bahn-Netz ermöglichen. Weichen können mit den Beschleunigungssensoren der Smartphones erfasst werden. Allerdings nur, wenn das Smartphone starr im Zug verbaut ist bzw. am Boden des Fahrgastraumes liegt. Wird das Smartphone hingegen in der Hand gehalten, konnten Weichen und auch leichte Gleisschäden nicht identifiziert werden, da der menschliche Körper die Erschütterungen zu stark absorbiert.

Abstract

This thesis aims to identify and analyze specific patterns and temporal events at the railroad tracks of the Viennese metro lines using the accelerometer sensor installed in smartphones. Examples of this are driven bends, acceleration, switches and track damage. For this purpose eight smartphones were purchased in different qualities, in order to also analyze the thereof resulting differences in their measurements. These eight mobile phones were used to carry out a series of test runs in Vienna's metro network. Their recorded sensor readings were then analyzed via various statistical methods, including correlation analysis, multiple linear regression and SCARM, a function in R for signal extraction from noisy and outlier-interfered data streams. The smartphone sensors all measure approximately the same, but differ in their maximum sensor sampling rates as well as in their variances. Also, the gyroscope data of the mobile phones, which was also recorded, is very similar to the curvature recorded by Wiener Linien's rail test car. Based on the acceleration data, the speed can be estimated, which, together with the bends, allows a reconstruction of the driven path via sensor fusion and thus an approximate localization in the metro net. Switches can be detected with the accelerometers of the smartphones. However, this was possible only if the smartphone was rigidly installed in the train or on the floor of the passenger compartment. If the smartphone was held in the hands, switches and also slight track damage could not be identified, as the human body absorbs the vibrations too strongly.

Table of contents

1	Introduction.....	1
1.1	Problem statement.....	1
1.2	Aim of the work.....	3
1.3	Methodological approach.....	4
1.4	Structure of the work.....	5
2	State of the art	7
2.1	Literature studies.....	7
2.2	Summary of existing approaches	9
3	Technical principles	11
3.1	Smartphone.....	11
3.1.1	Smartphone sensors.....	12
3.2	Rail condition monitoring.....	16
3.2.1	Rail test car (RTC).....	17
4	Statistical methods used	19
4.1	Correlation.....	19
4.2	Linear regression model (LM)	21
4.3	LOESS: Local Polynomial Regression Fitting.....	22
4.4	SCARM: Slope Comparing Adaptive Repeated Median	26
5	Data acquisition.....	31
5.1	Preparation	31
5.2	Data collection	34
5.3	Data synchronisation.....	38
5.4	Data scaling	40

6	Results.....	43
6.1	Comparison of smartphone data and RTC Data	43
6.2	Estimation of speed by means of the smartphone accelerometer data	46
6.3	Detection and classification of bends.....	50
6.4	Estimation of the travelled path via sensor fusion.....	53
6.5	Prediction of bends by use of linear regression	56
6.6	Detection of railway switches by use of SCARM filter	63
7	Summary and future work	69
	Bibliography.....	73
	Acronyms	78
	Appendix.....	79