



Automatische Erfassung präziser Trajektorien in Personenströmen hoher Dichte

Maik Boltes

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institute for Advanced Simulation (IAS)
Jülich Supercomputing Centre (JSC)

Automatische Erfassung präziser Trajektorien in Personenströmen hoher Dichte

Maik Boltes

Schriften des Forschungszentrums Jülich
IAS Series

Band 27

ISSN 1868-8489

ISBN 978-3-95806-025-8

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziel und Aufbau der Arbeit	4
2	Existierende Verfahren zur Lokalisierung von Personen	7
2.1	Abgrenzung zu ähnlichen Gebieten	8
2.2	Verfahren zur Erfassung der Position einer Person	11
2.3	Erfassungstechnik	15
2.3.1	Kamera	15
2.3.1.1	Hintergrundsubtraktion	18
2.3.1.2	Klecks-Analyse	18
2.3.1.3	Vorlagen-Abgleich	19
2.3.1.4	3D-Form-Modell	21
2.3.1.5	Detektion mit Vorwissen	22
2.3.2	Stereokamera	26
2.3.3	Mehrkamerasystem	31
2.3.4	Infrarotkamera	33
2.3.5	Wärmebildkamera	35
2.3.6	3D-Kamera	36
2.3.7	RGB-D-Sensor	37
2.3.8	Laufzeit-Kamera	39
2.3.9	Laserscanner	40
2.3.10	Weitere Systeme	41
2.3.11	Vergleich	43
2.4	Tracking	45

3 Erfassung von Laufwegen	47
3.1 Kalibrierung	48
3.1.1 Vermessung	48
3.1.2 Entzerrung	53
3.2 Detektion mit Marker	56
3.2.1 Marker mit Strukturelementen	61
3.2.2 Farbmarker	66
3.3 Tracking	69
3.3.1 Neuberechnung und Qualität	75
3.3.2 Extrapolation	76
3.3.3 Fehlbilder	77
3.3.4 Bereinigung	78
3.3.5 Verschmelzung	80
3.4 Positionsbestimmung	82
3.4.1 Farbkodierung	84
3.4.2 Disparität	87
3.4.3 Fehler der Disparität	96
3.5 Detektion ohne Marker	99
3.5.1 Hintergrundsubtraktion	102
3.5.2 Isolinien gleicher Disparität	104
3.5.3 Approximierende Ellipsen	109
3.5.4 Ellipsenpyramiden	109
3.5.5 Identifikation	111
3.6 Ergebnisse	119
3.6.1 Kalibrierung	121
3.6.2 Größenbestimmung mittels Disparität	123
3.6.3 Trajektorien mit Strukturelementen markierter Personen	127
3.6.4 Trajektorien mit Farbmarkern markierter Personen	132
3.6.4.1 Parameterwahl	133
3.6.4.2 Fehler durch perspektivische Sicht	135
3.6.4.3 Fehlerbetrachtung anhand virtueller Person	138
3.6.4.4 Glattheit der Trajektorien	140
3.6.5 Disparität zur Personenerkennung	141
3.6.6 Trajektorien aus Stereoaufnahmen	148
3.6.6.1 Fehler bei der Erkennung der Personen	148

3.6.6.2	Genauigkeit der Position	156
3.6.6.3	Glattheit der Trajektorien	162
3.6.7	Feldstudie	163
3.6.7.1	Vergleich der kommerziellen Systeme	166
3.6.7.2	Selbstentwickeltes Verfahren	168
3.6.8	Rechenzeit	169
3.6.9	Fehlereinfluss auf Maße der Fußgängerdynamik	174
3.6.9.1	Fehler bei der Erkennung	174
3.6.9.2	Ortsabhängiger Fehler	176
3.6.9.3	Ortsabhängige Fehlervarianz	177
3.6.9.4	Ungenauigkeit des Detektionsortes	177
3.6.10	Vergleich der Detektionsmethoden	178
4	Versuche	181
4.1	Durchführung	183
4.1.1	Erfassungstechnik	183
4.1.1.1	Verdeckung	187
4.1.1.2	Sichtfeld und überlappende Kameras	188
4.1.1.3	Brennweite und Sensorgröße	192
4.1.1.4	Belichtung und Beleuchtung	192
4.1.1.5	Bildwiederholrate	193
4.1.1.6	Sonstige Kameraeigenschaften	194
4.1.1.7	Übertragungsschnittstelle	195
4.1.1.8	Synchronisation	196
4.1.1.9	Speicherung	196
4.1.1.10	Montage	198
4.1.2	Probanden und Aufbauten	198
4.2	Auswertung	200
4.3	Messmethode	202
4.4	Anwendung	206
4.4.1	Engstelle	207
4.4.2	T-Kreuzung	211
4.4.3	Evakuierungsassistent	215
5	Zusammenfassung und Ausblick	217
5.1	Zusammenfassung	217
5.2	Ausblick	219

Literatur	224
A Teilveröffentlichungen	273
B Zeitschriften und Konferenzen	277
B.1 Zeitschriften und Bücher	277
B.2 Konferenzen und Schulen	278
C Videos	283
D Implementationsbeschreibung	289
D.1 Voraussetzungen	289
D.1.1 Hilfsmittel	289
D.1.2 Programmbibliotheken	289
D.2 Aufbau von PeTrack	290
D.3 Nutzung von PeTrack	292
D.4 Nutzung von combine	295
E Kommerzielle Produkte zur Personenerfassung	297
F Nomenklatur	301
F.1 Symbolverzeichnis	301
F.2 Einheiten	303
G Glossar	305

Simulationen können helfen, Verkehrsanlagen für Fußgänger komfortabel und sicher zu gestalten. Das Verständnis über die Fußgängerdynamik ist dabei wesentlich für die Entwicklung verlässlicher Modelle. Hierfür sind detaillierte und reproduzierbare Daten realer Bewegungen von Menschenmassen und Individuen nötig, um das Bewegungsverhalten zu analysieren, daraufhin Modellideen zu entwickeln, deren Umsetzung zu kalibrieren und am Ende das Ergebnis zu validieren.

Diese Arbeit beschreibt die Erhebung solcher Bewegungsdaten, die aus Überkopfaufnahmen von Kameras gewonnen werden. Dabei werden individuelle Laufwege jeder Person extrahiert. Mit Hilfe dieser Trajektorien werden die wichtigsten Messgrößen zur Beschreibung der Dynamik von Menschenströmen wie u. a. die Personendichte, die Geschwindigkeit und damit der Personenfluss bestimmt.

Besonders bei Stau und Gedränge ist mit kritischen Situationen zu rechnen. Daher ist es für die zur Extraktion der Laufwege entwickelten Verfahren wichtig, dass diese auch für hohe Personendichten verlässlich anwendbar sind.

Die Bewegung von Fußgängern wird von vielen Faktoren wie z. B. der Geometrie, der Personendichte, der Motivation und dem Kulturkreis beeinflusst. Zur Untersuchung dieser Vielzahl an Einflussfaktoren sind eine große Anzahl an Versuchen mit zum Teil hohen Personenzahlen durchzuführen. Die automatische Erfassung der Laufwege bietet im Vergleich zur manuellen Erfassung deutliche Vorteile hinsichtlich des Zeitaufwandes, der Genauigkeit und der Reproduzierbarkeit.

Die Prozesskette der Extraktion besteht aus der Kalibrierung der Bilder, der Detektion der Personen, dem Tracking und der Bestimmung des realen Aufenthaltsortes. Für die Detektion einer Person wurden verschiedene den unterschiedlichen Anwendungsfällen und örtlichen Gegebenheiten angepasste Marker mit entsprechenden Erkennungsverfahren entwickelt. Insbesondere für Feldstudien ist zudem ein markerloses Verfahren erarbeitet worden, das mit Hilfe von Stereokameras auch in dichten Menschenmassen eine hohe Erkennungsrate aufweist. Alle Entwicklungen sind in die den gesamten Prozess abbildende Software PeTrack eingeflossen. Für die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse wird neben den Verfahren auch die technische Umsetzung der Erfassung beschrieben.

Diese Publikation wurde vom Jülich Supercomputing Centre (JSC) herausgegeben, einem Teilinstitut des Institute for Advanced Simulation (IAS). Das IAS vereint Simulationswissenschaften und Supercomputing unter einem Dach. Es umfasst diejenigen wissenschaftlichen Institute des Forschungszentrums Jülich, die Simulationen auf Supercomputern als vorrangigste Forschungsmethode verwenden.