

Andreas Leich

**Ein Beitrag zur Realisierung der
videobasierten weiträumigen
Verkehrsbeobachtung**

TUD*press*

2006

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Einführung in den Stand der Technik	11
2.1	Begriffe	11
2.1.1	Verkehrskenngrößen	12
2.1.2	Videobasierte Detektoren und Weiträumigkeit	16
2.1.3	Messfehler und ihre Ursachen	17
2.2	Anwendungsgebiete	18
2.2.1	Steuerung von Lichtsignalanlagen	19
2.2.2	Verkehrszählung	22
2.2.3	Kalibrierung und Verifikation eines Verkehrsmodells	23
2.2.4	Verkehrszustandsbestimmung und Verkehrsbeeinflussung	25
2.2.5	Zusammenfassung	26
2.3	Weiträumige Verkehrsbeobachtung und Bildverarbeitung	27
2.3.1	Begriffe	28
2.3.2	Hintergrundvergleich	28
2.3.3	Bewegungsbestimmung mit einer diskreten Kostenfunktion	31
2.3.4	Kontinuierliche Kostenfunktion und Blendenproblem	33
2.3.5	Merkmalsverfolgung	34
2.3.6	Regressionsansatz	35
2.3.7	Formulierung als Variationsproblem	35
2.3.8	Zusammenfassung	36
2.4	Lösungsidee und spezielle Aufgabenstellung	37

3	Bestimmung der Verkehrsdichte mit der Kontinuitätsgleichung	39
3.1	Die Verkehrsdichte als kontinuierliche Funktion	39
3.1.1	Kontinuumshypothese und Kontinuumsapproximation	40
3.1.2	Kontinuitätsgleichung	40
3.1.3	Approximation der Funktion der lokalen Dichte	42
3.1.4	Approximation der Funktion der lokalen Geschwindigkeit	45
3.1.5	Zusammenfassung	49
3.2	Lösung der Kontinuitätsgleichung	49
3.2.1	Numerische Lösung mit einem finiten Differenzenschema	50
3.2.2	Das MACCORMACK-Verfahren und Systemstabilität	52
3.2.3	Stabilität des MACCORMACK-Verfahrens im Frequenzbereich	55
3.2.4	Methode des kleinsten Residuums	58
3.2.5	Analytische Lösung mit der Charakteristikenmethode	61
3.2.6	Numerische Lösung mit der Charakteristikenmethode	65
3.2.7	Zusammenfassung	68
4	Bewegungsbestimmung durch robuste Regression	69
4.1	Der LUCAS-KANADE-Algorithmus	70
4.1.1	Bewegungsbestimmung als nichtlineares Ausgleichsproblem	70
4.1.2	Auflösungsvermögen bei Verwendung des euklidischen Abstands	75
4.1.3	Kontinuitätsgleichung des optischen Flusses und Abtasttheorem	76
4.2	Mehrskalenanalyse im Parameterraum und Konditionsproblem	79
4.2.1	Lineare und robuste lineare Regression	79
4.2.2	Robuste Fehlerfunktion	82
4.2.3	Graduated Non-Convexity zur Lösung des robusten Regressionsproblems	84
4.2.4	Einfluss des Grauwertgradienten auf die Kostenfunktion	90
4.2.5	Das Konditionsproblem	91
4.3	Grundlagen für die Lösung des Konditionsproblems	94
4.3.1	Quadratische Form	94
4.3.2	Eigenwerte und Eigenvektoren der Hesse-Matrix	94
4.3.3	Transformation in eine isotrope quadratische Form	96

4.3.4	Präkonditionierung	99
4.4	Lösung des Konditionsproblems im Zusammenhang mit GNC	100
4.4.1	Konditionszahl von Hesse-Matrix und Gleichungssystem	100
4.4.2	Robuste Fehlerfunktion und inkrementelle Präkonditionierung	104
4.4.3	Regressionsbasierte Bewegungsbestimmung mit Präkonditionierung und GNC	107
4.5	Belegungs- und Zählinformation	107
4.6	Zusammenfassung	114
5	Experimentelle Ergebnisse	115
5.1	Numerische Verfahren zur Lösung der Kontinuitätsgleichung	115
5.1.1	Referenzfunktionen	115
5.1.2	Implementierung der Lösungsverfahren	116
5.1.3	Ergebnisse für die analytische Testfunktion	118
5.1.4	Ergebnisse für ein synthetisches und ein reales Fahrmanöver	121
5.2	Bewegungsbestimmung und Fahrzeugzählung	125
5.2.1	Software zur Durchführung der Experimente	125
5.2.2	Bewegungsbestimmung mit und ohne Präkonditionierung anhand eines Beispiels	126
5.2.3	Ergebnisse für verschiedene Szenen	130
6	Zusammenfassung und Ausblick	137
A	Mathematische Grundlagen	141
A.1	Mahalanobis-Abstand	141
A.2	Hauptachsentransformation	144
A.3	Transformation einer quadratischen Form in eine isotrope quadratische Form	144
A.4	Spektralkondition für Zerlegungen einer Matrix	145
B	B-Spline-Funktionen	148
B.1	B-Spline-Approximation	148
B.2	B-Spline-Interpolation	149
B.3	Schnelle kubische B-Spline-Approximation	151

B.4 Ableitungen der robusten Kostenfunktion für ein überbestimmtes LGS zur Bewegungsbestimmung 155