

Optische Kfz-Innenraumüberwachung

VOM FACHBEREICH ELEKTROTECHNIK DER
GERHARD-MERCATOR-UNIVERSITÄT - GESAMTHOCHSCHULE DUISBURG

ZUR ERLANGUNG DES AKADEMISCHEN GRADES EINES
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN
GENEHMIGTE DISSERTATION

von

Su-Birm Park

aus

Jeon-Buk, Süd-Korea

Referent: Prof. B.J. Hosticka Ph.D.
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. D. Timmermann
Tag der mündlichen Prüfung: 17.10.2000

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Angestellter am Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS in Duisburg und zeitgleich als Doktorand der Bayerischen Motorenwerke AG im Forschungs- und Ingenieurzentrum in München im Rahmen eines Vorentwicklungsprojektes.

Für die freundschaftliche Unterstützung und Zusammenarbeit, die trotz der weiten Entfernung der beiden Arbeitsplätze über rein fachliche Anregungen hinaus ging, möchte ich mich bei allen Kollegen der Abteilung SYS1 des IMS und allen Kollegen der Gruppen EE-130 und EE-100 der BMW AG herzlich bedanken.

Im besonderen möchte ich Dr. Germar Triftshäuser, Dr. Andreas Teuner, Dr. Thomas Herpel, Christina Seidel, Christoph Luthe, Lutz Eisenmann, Dr. Michael Schanz, Christian Nitta, Mathias Hillebrand, Arndt Bußmann, Thomas Eckart, Carsten Koch, Michael Paulini, Quoc-Hoang Trinh, Bartono Adiprasito, Andrea Schiffer, Nenad Stevanovic, Martin Petermann, Jose Santos Conde, Dr. Paul Willutzki, Dieter Rohsa, Isaac Trefz, Dr. Ulrich Stahl, Uri Iurgel, Jörg Michael, Bernd Huber und Heinrich Abich meinen Dank aussprechen.

Mein besonderer Dank gilt meinem wissenschaftlichen Betreuer Prof. B.J. Hosticka, Ph. D. für die Ermöglichung der Arbeit, seinem unermüdlichen Einsatz und den vielen Anregungen zu dem sehr interessanten Themengebiet.

Dem Leiter des Fraunhofer-Instituts IMS, Herrn Prof. Dr. G. Zimmer danke ich für die Möglichkeit und die Flexibilität, die Arbeit auf diese Art und Weise an beiden Orten erstellen zu dürfen.

Meinen Gruppenleitern Reiner Friedrich, Dr. Ulrich Heiden, meinem Abteilungsleiter Axel Deicke und Hildegard Lebioda danke ich für die gute und reibungslose Zusammenarbeit.

Herrn Prof. Dr. Timmermann von der Universität Rostock danke ich für die Bereitschaft, das Korreferat zu übernehmen.

Meinen Eltern und ganz besonders meiner Frau danke ich für ihr Verständnis und die unermüdliche Unterstützung.

Su-Birm Park, im Dezember 2000

Kurzfassung

Die optische Kfz-Innenraumüberwachung befaßt sich mit Anwendungen, die auf Basis der optischen Erfassung und Auswertung, unterschiedliche Funktionen zur Verfügung stellen. Die Schwerpunkte dieser Arbeit sind die optische Belegungszustandserkennung und der optische Innenraumschutz.

Der Innenraumschutz ist ein Bestandteil des Fahrzeugalarmsystems und hat die Aufgabe unerlaubtes Eindringen in den Innenraum zu erkennen. Ein sehr wichtiges Kriterium neben der hohen Erkennungsrate von eindringenden Objekten ist eine niedrige Fehlalarmrate, die über die hohe Ortsauflösung eines optischen Systems erzielt werden soll. Zusätzlich muß der Energieverbrauch eines Fahrzeugalarmsystems extrem niedrig gering sein. Dies soll durch den Einsatz moderner CMOS-Bildsensoren erreicht werden.

Die Aufgabe der Belegungszustandserkennung ist aus dem bisher ungelösten Problem der Kindersitzerkennung und der Out-Of-Position Erkennung entstanden. Tragische Unfälle mit rückwärts gerichteten Kindersitzen auf Beifahrersitz mit Beifahrer-Airbag, haben die Notwendigkeit der Kindersitzerkennung und der Erkennung zusätzlicher kritischer Situationen verdeutlicht. Unter der optischen Belegungszustandserkennung werden die Systeme Sitzbelegungs-, Kindersitz- und Out-of-Position Erkennung, die bislang – wenn überhaupt – getrennt realisiert wurden, zusammengefaßt. Bei dieser Anwendung sind die stark variablen Verhältnisse während der Fahrt und die extrem kurzen Antwortzeiten, die gefordert werden, die schwierigsten Anforderungen.

Systeme, die eine optische Innenraumüberwachung darstellen, wurden bislang weder in der Forschung noch in der Entwicklung intensiv behandelt.

Mit Hilfe von Kameras, die unterschiedliche CMOS-Bildsensoren einsetzen, werden die optischen Einflüsse im Fahrzeug untersucht. Unter dem Aspekt mehrere Anwendungen mit einem System zu ermöglichen, wird eine Position der Kamera(s) und der sich daraus ergebenden optischen Einflüsse untersucht.

Im Fall des optischen Innenraumschutzes sollen Algorithmen entwickelt werden, die das Eindringen von Objekten in das Fahrzeug erkennen können. Aufgrund des niedrigen Energieverbrauchs, dürfen diese Algorithmen nicht zu komplex und somit nicht rechenaufwendig sein. Die Integration einer Vorverarbeitung in den Bildsensor und schaltungstechnische Maßnahmen bieten sich bei der CMOS-Bildsensorik zur Energieeinsparung an.

Für die optische Belegungszustandserkennung werden Konzepte entwickelt, die bei niedrigem Rechenaufwand eine kombinierte Verarbeitung mit dem Innenraumschutz ermöglichen soll. Hierdurch soll eine hohe Bildwiederholrate erzielt werden, die bei diesen Systemen unabdingbar ist. Dazu sind Algorithmen erforderlich, die den Zustand auf dem jeweiligen Sitz sehr schnell bestimmen können. Da die optische Belegungszustandserkennung sicherheitskritisch ist, werden auch Algorithmen untersucht, die eine sehr genaue Bestimmung, bis hin zur Objekterkennung, ermöglichen.

Abstract

The optical monitoring of the automobile passenger interior compartment is concerned with applications based on optical coverage and image processing in order to provide various functionalities. The emphases of this thesis are optical occupant state recognition and optical interior protection.

The interior protection is an integral part of the car alarm system and must be able to detect unauthorized entry. A significant judgement criterion apart from the high detection rate of penetrating objects is a low false alarm rate, which should be achieved using a high spatial resolution of an optical system. Additionally the power dissipation of car alarm systems must be extremely low. This can be obtained when employing modern CMOS image sensors.

The task of occupant state recognition arose from the unresolved problem of rear facing infant seat detection and Out-of-Position detection. Tragic accidents involving rear facing infant seats placed in the passenger seat have exemplified the necessity for the detection of infant seats and other critical situations. Optical occupant state recognition encompasses seat occupancy, infant seat detection, and Out-of-Position detection, which up until now have been realized separately - if at all. The critical requirements of this application are adaptability to strongly varying environmental conditions and fast response time.

Optical systems for use in passenger compartment monitoring have not yet been the subject of extensive research.

By employing cameras based on CMOS image sensors the optical stimuli within the vehicle are measured. In order to enable several applications with one system, the position of the camera(s) and the optical influences at this position are examined.

In the case of the optical interior protection, algorithms have to be developed enabling the detection of the penetration of objects. Due to the restriction of low power dissipation, these algorithms should not be too complex. The integration of on-chip preprocessing and other electronic features can be combined to make CMOS image sensors power efficient.

For optical occupant state recognition concepts with a low cost of computation have to be developed, which are also capable of working in conjunction with the interior monitoring. Thus a high frame rate has to be obtained with these systems. In addition algorithms are necessary that can determine the status of each respective seat. Since the optical occupancy state recognition is a security-sensitive application, additional algorithms are examined that detect very accurately (up to object recognition) the occupation state of the vehicle.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit	2
1.3	Aufbau der Arbeit	3
2	Aktueller Stand und Tendenzen der Kfz-Innenraumüberwachung	4
2.1	Motivation	5
2.2	Innenraumschutz im Kfz-Innenraum	7
2.2.1	Funk-Innenraumschutz (FIS)	11
2.2.2	Ultraschall-Innenraumschutz (USIS)	11
2.2.3	Tendenzen des Diebstahlschutzes	12
2.3	Präsenzsensorik im Kfz-Innenraum	12
2.3.1	Die Sitzbelegungserkennung	13
2.3.1.1	Dehnungsmeßstreifen (DMS)	13
2.3.1.2	Piezoelektrische Kabel	16
2.3.1.3	Lichtwellenleiter	16
2.3.2	Die Kindersitzerkennung	16
2.3.2.1	Resonatoren	17
2.3.2.2	Transponder	17
2.3.3	Smart-Airbag Systeme	18
2.3.3.1	Smart-Airbag Systeme mittels kapazitiver Messung	19
2.3.3.2	Triangulationssensoren	19
2.3.3.3	Ultraschallsensoren	20
2.3.3.4	Multisensor-Systeme	21

2.3.4	Tendenzen der Sitzbelegungs- und Kindersitzerkennung	23
2.3.4.1	Elektronisch-Optische Bildverarbeitungssysteme	23
2.3.4.2	<i>Adaptive Restraint Technologies</i> von Delphi	24
2.3.4.3	Lichtschnittverfahren	24
2.3.4.4	3D-Kamera	26
2.4	Zusammenfassung	28
3	Technische Realisierungsaspekte einer optischen Kfz-Innenraumüberwachung	30
3.1	Motivation	31
3.2	Kameraposition	32
3.3	Dynamik der Beleuchtung im Fahrzeug	39
3.3.1	Globale Dynamik im Fahrzeug	40
3.3.2	Lokale Dynamik im Fahrzeug	44
3.3.3	Einfluß optischer Filter	50
3.4	Vergleich der CMOS- und CCD-Technologie	53
3.5	CMOS-Kameras	59
3.6	NIR-Bildaufnahme	66
3.7	Kalibration	75
3.8	Zusammenfassung	78
4	Optische Fahrzeugalarmsysteme	80
4.1	Motivation	81
4.2	Pixelorientierte Verarbeitung	83
4.2.1	Referenzbild-Verarbeitung	84
4.2.2	Differenzbild-Verarbeitung	86
4.2.3	Zeitrekursive-Verarbeitung	89
4.2.3.1	Einfache Zeitrekursion	89
4.2.3.2	Erweiterte Zeitrekursion	91
4.2.4	Kalman-Filter	93
4.2.5	Adaptive Schwellwertbestimmung	101
4.2.5.1	Methode nach Otsu	103

4.2.5.2	Iterative Schwellwertbestimmung	106
4.3	Regionenorientierte Bildauswertung	108
4.4	Zusammenfassung	117
5	Optische Präsenzsensoren im Fahrzeug	119
5.1	Motivation	120
5.2	Extraktion der Merkmale	122
5.2.1	Pixelorientierte Verarbeitung zur Extraktion von veränderten Re- gionen	122
5.2.2	Extraktion symmetrischer Punkte mit dem Symmetrie-Operator . .	125
5.2.3	Merkmalsextraktion mit der Principal Component Analysis (PCA)	129
5.3	Bestimmung des Belegungszustandes	135
5.3.1	Regionenorientierte Auswertung zur Belegungszustandserkennung .	135
5.3.2	Biometrische Klassifikation zur Belegungszustandserkennung	138
5.4	Zusammenfassung	146
6	Zusammenfassung	149
6.1	Ausblick	151
A	Das Verfahren der minimalen Varianz	162
B	Principal Component Analysis (PCA)	165
C	Die Karhunen-Loève-Transformation (KLT)	168

Abbildungsverzeichnis

2.1	Crash-Sequenz mit Kindersitz	5
2.2	Crash-Sequenz mit und ohne Fahrer-Airbag	6
2.3	Sitzbelegungserkennung mit Sensormatte	14
2.4	Sensormatte zur SBE	14
2.5	Klassifikation von Personen mit der Gewichtsverteilung	15
2.6	Gewichtsklassifikation	15
2.7	Reboard-Kindersitz	17
2.8	Kindersitzerkennung mit Resonatoren	18
2.9	Schema eines Triangulationssystems	19
2.10	Adaptive Airbag System	21
2.11	KSE mit Resonatoren	22
2.12	Occupant Position Detection von BSRS	22
2.13	AOS von Bosch	23
2.14	Adaptive Restraint Technologies von Delphi	24
2.15	Prinzip: Lichtschnitt-Sensor	25
2.16	Funktion: Lichtschnitt-Sensor	26
2.17	Messungen zum Lichtschnittverfahren zur KSE und SBE	26
2.18	3D-Kamera mittels Laufzeitmessung	27
2.19	Knie-Airbag	28
3.1	Kamerapositionen	33
3.2	Innenraumaufnahme aus Position Nr. 5	35
3.3	Innenraumaufnahme aus Position Nr. 6	35
3.4	Innenraumaufnahme aus Position Nr. 7	36

3.5	Innenraumaufnahme aus Position Nr. 2	37
3.6	Innenraumaufnahme aus Position Nr. 4	37
3.7	Innenraumaufnahme aus Position Nr. 1	38
3.8	Innenraumaufnahme aus Position Nr. 6 mit Person	39
3.9	Spektrale Verteilungsdichte des Sonnenlichts	41
3.10	Meßaufbau mit Powermeter im Fahrzeug	42
3.11	Messung 1 der globalen Bestrahlungsstärke im Fahrzeug	43
3.12	Abbildung mit einer Sammellinse	45
3.13	Abbildungsmaßstab	46
3.14	Meßaufbau mit Kamera im Fahrzeug	47
3.15	Regionen der lokalen Dynamik	47
3.16	Messung lokaler Maxima	48
3.17	Messung lokaler Minima	49
3.18	Übertragungsfunktion eines NIR-Interferenzfilters	50
3.19	Messung Powermeter mit NIR-Interferenzfilter	51
3.20	Messung Powermeter mit Crash-Beleuchtung	52
3.21	Messung Powermeter Tag-Nacht-Zyklus	52
3.22	MOS-Kondensator in Inversion	54
3.23	Aufbau eines CCD-Bildsensors	54
3.24	Transportmechanismus eines CCD Elements	55
3.25	Smearing und Blooming eines CCD-Sensors	56
3.26	Aufbau von CMOS-Bildsensoren	57
3.27	Vergleich zu Abb. 3.25	57
3.28	Pixelstruktur des logarithmischen Pixels	59
3.29	Kennlinie des logarithmischen Pixels	60
3.30	MFM-Kamera mit log. CMOS-Sensor-Array	60
3.31	FPN der MFM-Kamera	61
3.32	Pixelstruktur des linearen Pixels	61
3.33	Kennlinie der hochdynamischen Kamera bei einer Integrationszeit und drei Verstärkungsfaktoren bei $\lambda = 630nm$	62

3.34	Kennlinien der hochdynamischen Kamera bei vier Integrationszeiten und drei Verstärkungsfaktoren bei $\lambda = 630nm$	62
3.35	Hochdynamische Kamera	63
3.36	Aufnahme der hochdynamischen Kamera	63
3.37	Pixelstruktur des HFR-Pixels	64
3.38	Kennlinie der HFR-Kamera	65
3.39	HFR-Kamera	65
3.40	Kennlinie der IVP-Smart-Camera	66
3.41	Kamera von IVP	67
3.42	IVP-Smart-Camera	67
3.43	Quantenwirkungsgrad der hochdynamischen Kamera	70
3.44	Spektrale Transparenz eines NIR-Filters	71
3.45	Quantenwirkungsgrad der Kombination aus NIR-Filter und CMOS-Bildsensor	71
3.46	CMOS-Kamera mit NIR-Beleuchtung	72
3.47	NIR-Bildaufnahme	73
3.48	Sequenz von NIR-Bildern	74
3.49	SBE- und KSE-Sequenz aus NIR-Bildern	74
3.50	Verschiebung des Bildes bei Translation	75
3.51	Verschiebung des Bildes bei Rotation	76
3.52	Kalibration: Maskenerzeugung	77
3.53	Endgültige Masken	77
3.54	Überwacher Bereich aus Kameraposition Nr. 6	78
4.1	Diebstahl-Sequenz	83
4.2	Fehlalarm-Sequenz	84
4.3	Schema der Referenzbild-Verarbeitung	85
4.4	Ergebnis: Referenzbild-Verarbeitung Diebstahl-Sequenz	85
4.5	Ergebnis: Referenzbild-Verarbeitung Fehlalarm-Sequenz	86
4.6	Schema der Differenzbild-Verarbeitung	87
4.7	Beispiel Differenzbild-Verarbeitung	87
4.8	Ergebnis: Differenzbild-Verarbeitung Diebstahl-Sequenz	88

4.9	Ergebnis: Differenzbild-Verarbeitung Fehlalarm-Sequenz	89
4.10	Schema der einfachen Zeitrekursion	90
4.11	Ergebnis: Einfache Zeitrekursion Diebstahl-Sequenz	91
4.12	Ergebnis: Einfache Zeitrekursion Fehlalarm-Sequenz	91
4.13	Schema: Erweiterte Zeitrekursion	92
4.14	Ergebnis: Erweiterte Zeitrekursion Diebstahl-Sequenz	93
4.15	Ergebnis: Erweiterte Zeitrekursion Fehlalarm-Sequenz	94
4.16	Prädiktion des Hintergrundbildes mit einem Kalman-Filter	94
4.17	Lineares System abgeleitet aus Gleichung (4.12)	95
4.18	Ergebnis: Kalman-Filter Diebstahl-Sequenz	99
4.19	Ergebnis: Kalman-Filter Fehlalarm-Sequenz	100
4.20	Hintergrund-, Eingangs-, Differenzbild, Histogramme des Eingangs- und Differenzbildes	101
4.21	Test-Sequenz für adaptive Schwellwert-Verfahren	102
4.22	Simulationsergebnis der Test-Sequenz mit dem Kalman-Filter	103
4.23	Simulationsergebnis der Test-Sequenz mit adaptivem Schwellwert nach der Methode von Otsu	105
4.24	Schwellwertverlauf: Methode nach Otsu	105
4.25	Maske: Iterative Schwellwertbestimmung	107
4.26	Schwellwertverlauf: Iterative Schwellwertbestimmung	107
4.27	Pixelanzahl: Diebstahl-Sequenz	109
4.28	Pixelanzahl: Fehlalarm-Sequenz	109
4.29	Pixelanzahl Innenraum: Diebstahl- und Fehlalarm-Sequenz	110
4.30	Pixelanzahl Außenraum: Diebstahl- und Fehlalarm-Sequenz	111
4.31	Formmerkmale: Diebstahl-Sequenz	112
4.32	Formmerkmale: Fehlalarm-Sequenz	112
4.33	Größe der Objekte in der Diebstahl-Sequenz nach Außen- und Innenraum getrennt	113
4.34	Extrempunkte der Objekte in der Diebstahl-Sequenz	114
4.35	Größe der Objekte in der Fehlalarm-Sequenz nach Außen- und Innenraum getrennt	115
4.36	Extrempunkte der Objekte in der Fehlalarm-Sequenz	115

4.37	Einstiegssequenz mit geometrischen Schwerpunkten	116
4.38	Schwerpunkte der Diebstahl-, Fehlalarm- und Einstiegssequenz	116
4.39	Optischer Innenraumschutz	117
4.40	Schema einer pixelorientierten On-Chip Verarbeitung	118
5.1	Smart Airbag: Klassen	120
5.2	Beispiel: Mögliche Belegungszustände	121
5.3	Beispiel zur Berechnung der binären Maske mit der erweiterten Zeitrekursion	123
5.4	Zwei Beispiele aus der Person01-Sequenz: NIR-Bilder und binäre Masken .	124
5.5	Zwei Beispiele aus den RFCS01- und FFCS01-Sequenzen: NIR-Bilder und binäre Masken	124
5.6	Symmetrie zweier Punkte	126
5.7	Simulationsergebnisse des Symmetrie-Operators	128
5.8	Phasen der Merkmalsextraktion mit der PCA	129
5.9	Trainings-Bilder aus den Datenbanken	131
5.10	Gesichts-Bilder	131
5.11	Raum F und sein orthogonaler Komplementärraum \bar{F}	131
5.12	Mittelwert-Gesicht und mittelwertfreie Gesichter	133
5.13	Eigen-Gesichter	133
5.14	Rekonstruktion mit unterschiedlich vielen Eigenvektoren	134
5.15	Einteilung der Beifahrerseite in Regionen	135
5.16	System zur Detektion von Personen	138
5.17	Graph des Modell-Gesicht	140
5.18	Ergebnis der Gesichtsdetektion	141
5.19	Ergebnis der Augendetektion	141
5.20	Simulationsergebnisse der Test Gesichts-Bilder	144
5.21	Simulationsergebnisse der Personen auf dem Beifahrersitz	144
5.22	Simulationsergebnisse der Kindersitze auf dem Beifahrersitz	145
5.23	Detektionsraten der verschiedenen Bilder/Sequenzen	145
5.24	Optische Belegungszustandserkennung	146
6.1	Optische Kfz-Innenraumüberwachung	150

6.2	Bestimmung des Bekleidungs Zustands	152
6.3	Bestimmung des Beleuchtungsgradienten	152
6.4	Einstellung des Lüftungsg grill	153
B.1	Raum \mathfrak{R}^{PCA} eines Clusters im Raum \mathfrak{R}^{NM}	166

Tabellenverzeichnis

3.1	Kamerapositionen	34
3.2	Globale Dynamik der Bestrahlungsstärken im Fahrzeug	42
3.3	Lokale Dynamik der Bestrahlungsstärken im Fahrzeug	49
3.4	CCD- vs. CMOS-Bildsensor	58
4.1	Rechenaufwand und Speicherbedarf pro Pixel der verschiedenen Methoden	100
4.2	Rechenaufwand und Speicherbedarf pro Schwellwert der adaptiven Schwellwertmethoden	106
5.1	Beschreibung der Belegungszustände mit Formmerkmalen	136
5.2	Ergebnis der regionenorientierten Auswertung zur Belegungszustandserkennung	137
5.3	Beschreibung der Klassifikationsparameter	142

Abkürzungen

α	Adaptionskoeffizient für den Hintergrund
β	Adaptionskoeffizient für den Vordergrund
β'	Abbildungsmaßstab
δ_{kn}	Kronecker Delta
$\Gamma(p)$	Menge der Verbindungslinien die durch p verlaufen
λ	Wellenlänge in m
$\tilde{\mathbf{P}}(k)$	Kovarianzmatrix des Schätzfehlervektors
$\mathbf{A}(k)$	Systemmatrix
\mathbf{C}	Kovarianzmatrix
$\mathbf{C}(k)$	Meßmatrix
\mathbf{I}	Einheitsmatrix
$\mathbf{K}(k)$	Kalman-Verstärkungsmatrix
$\mathbf{P}(k)$	Kovarianzmatrix des Zustandsvektors
$\mathbf{P}^*(k)$	Kovarianzmatrix des extrapolierten Schätzfehlervektors
$\mathbf{V}(k)$	Kovarianzmatrix des Störvektors
$\mathbf{W}(k)$	Kovarianzmatrix des Meßfehlers
μ	Mittelwert
μ_H	Mittelwert der Klasse Hintergrund
μ_V	Mittelwert der Klasse Vordergrund
∇_p	Gradient der Grauwerte am Punkt p

Ω	Raumwinkel in sr
Φ_e	Strahlungsfluss in W
σ^2	Varianz
$\sigma^2(L)$	Varianz der Grauwerte eines Frames
$\sigma_B^2(T)$	Varianz der Grauwerte zwischen den Klassen Vordergrund und Hintergrund
σ_H^2	Varianz der Klasse Hintergrund
σ_V^2	Varianz der Klasse Vordergrund
$\sigma_W^2(T)$	Varianz der Grauwerte in den Klassen Vordergrund und Hintergrund
Θ_k	Phase des Gradienten ∇_{p_k}
$\tilde{\vec{x}}(k)$	Schätzfehlervektor
$\varphi(i, j)$	Richtung der Symmetrie der Punkte p_i und p_j
$\vec{v}(k)$	Störvektor
$\vec{w}(k)$	Messfehler
$\vec{x}(k)$	Zustandsvektor
$\vec{y}(k)$	Ausgangsvektor
A	Fläche in m^2
$B(t)$	Hintergrundbild
$C(i, j)$	Amplitude der Symmetrie der Punkte p_i und p_j
$D(t)$	Differenzbild
D_σ	Funktion zur Gewichtung der Entfernung zweier Punkte
DR_{dB}	Dynamik Bereich in dB (Dynamic Range)
$E\{\}$	Erwartungswert
f'	Brennweite in m
H_e	Bestrahlungsstärke in W/m^2
h_H	Auftrittswahrscheinlichkeit der Klasse Hintergrund
h_i	normierte Häufigkeit des Grauwertes i
h_V	Auftrittswahrscheinlichkeit der Klasse Vordergrund
I	Strom in A

$i(p, t)$ Grauwert i des Pixels p zum Zeitpunkt t
 $I(t)$ Eingangsbild
 I_e Strahlstärke W/sr
 $M(t)$ Maskenbild
 $M_\sigma(p)$ Amplitude der Symmetrie in p
 n_i Häufigkeit des Grauwertes i
 P Leistung
 $P(i, j)$ Funktion zur Gewichtung der Orientierung zweier Punkte
 $p(x, y)$ Pixel an der Koordinate (x, y)
 Q elektrische Ladung
 R_e Empfindlichkeit in A/W
 r_k Betrag des Gradienten ∇_{p_k}
 T Schwellwert
 v_k Gradientenvektor nach Betrag und Phase
 w Feldwinkel
 BMW Bayerische Motorenwerke
 CAN Controller-Area-Network
 CCD Charged Coupled Devices
 CDS Correlated Double Sampling
 CMOS Complementary Metal Oxid Semiconductor
 DMS Dehnungsmessstreifen
 DWA Diebstahlwarnanlage
 EMV Elektromagnetische Verträglichkeit
 EWS Elektronische Wegfahrsperrung
 FAS Fahrzeugalarmsystem
 FPN Fixed-Pattern-Noise
 FTP File Transfer Protocol
 HFR High-Frame-Rate

IrDA Infrared Data Association
ISDN Integrated Services Digital Network
KLT Karhunen-Loève-Transformation
KOZ Keep-out-Zone
KSE Kindersitzerkennung
LWL Lichtwellenleiter
MFM Multifunktionsmodul
MOS Metal Oxid Semiconductor
MPEG Motion Picture Expert Group
NEP Noise Equivalent Power
NIR Nah-Infrarot
OBE Optische Belegungszustandserkennung
OIS Optischer Innenraumschutz
OOP Out-of-Position
PCA Principal Component Analysis
RAM Random Access Memory
RMS Root Mean Square
SBE Sitzbelegungserkennung
StVO Straßenverkehrsordnung
TCP-IP Internet Protocol