

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Robuste Bildregistrierung von Niedrigkontrastaufnahmen</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Überblick über Registrierungsverfahren</b>	<b>15</b>
2.1	Einleitung . . . . .	15
2.2	Merkmal- versus Intensitäts-basierte Methoden . . . . .	17
2.3	Reine Intensitätsbasierte Ähnlichkeitsmaße . . . . .	18
2.3.1	Summe von Intensitätsdifferenzen . . . . .	19
2.3.2	Normalisierte Kreuzkorrelation . . . . .	20
2.3.3	Berechnung der Korrelation im Fourierraum . . . . .	21
2.4	Verwendung räumlicher Information . . . . .	22
2.4.1	Pattern Intensity (Muster-Intensität) . . . . .	22
2.4.2	Summe der lokalen normalisierten Korrelation . . . . .	23
2.4.3	Gradienten Korrelation . . . . .	23
2.4.4	Gradienten Differenz . . . . .	24
2.4.5	Kantenbetonung durch Bandpassfilter . . . . .	24
2.5	Histogramm basierte Maße . . . . .	25
2.5.1	Mutual Information (Beiderseitige Information) . . . . .	26
2.5.2	Correlation Ratio (Korrelations-Verhältnis) . . . . .	27
2.5.3	Wahrscheinlichkeits-Verteilungs-Schätzung . . . . .	28
2.6	Optimierungsverfahren . . . . .	29
2.6.1	Suche des besten Nachbarn . . . . .	29
2.6.2	Simplex-Verfahren . . . . .	29
2.6.3	Gradienten-Verfahren . . . . .	29
2.6.4	Quasi-globale Methoden . . . . .	30
2.6.5	Verschiedene Auflösungsstufen . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Robustes Verfahren zur Registrierung von Hochenergiebildern</b>	<b>33</b>
3.1	Patientenlagerung in der Strahlentherapie . . . . .	34
3.2	Simulator und Linearbeschleuniger . . . . .	35
3.3	Hochenergiebildgebungssysteme . . . . .	35
3.4	Spezifizierung des Registrierungsverfahrens für Portal Images . . . . .	37

## Inhaltsverzeichnis

3.5	Implementierung . . . . .	38
3.5.1	Entfernung von Störungen durch die optische Abbildungskette . . . . .	39
3.5.2	Eliminierung der Punktstörstellen . . . . .	39
3.5.3	Segmentierung des Bestrahlungsfeldes . . . . .	40
3.5.4	Automatische Kontrastverbesserung . . . . .	40
3.5.5	Registrierung der Bestrahlungsfelder . . . . .	42
3.5.6	Registrierung der anatomischen Strukturen . . . . .	44
3.5.7	Verschiedene Modalitäten des Referenzbildes . . . . .	51
3.6	Ergebnisse . . . . .	52
<b>4</b>	<b>Entkopplung von Translation und Rotation mittels Autokorrelationsfunktionen</b>	<b>57</b>
4.1	Einleitung . . . . .	57
4.2	Erweiterung auf Rotation und Skalierung . . . . .	58
4.3	Transformationen . . . . .	58
4.4	Fourier-Mellin Darstellung . . . . .	60
4.5	Autokorrelationsdarstellung . . . . .	62
4.6	Implementierung . . . . .	66
4.7	Numerische Evaluation . . . . .	67
4.8	Untersuchungen an einem mathematischen Phantom . . . . .	69
4.8.1	Rauschen . . . . .	72
4.8.2	Fehlende Elemente . . . . .	72
4.9	Experimente mit Kernspinaufnahmen . . . . .	75
4.9.1	T1-T2 Registrierung . . . . .	75
4.10	Ergebnisse mit Portal Images . . . . .	77
<b>5</b>	<b>2D-3D Bildregistrierung</b>	<b>81</b>
5.1	Überblick . . . . .	81
5.2	Intrinsische und extrinsische Parameter . . . . .	82
5.3	Beschreibung der räumlichen Transformation . . . . .	84
5.3.1	Starre Transformation . . . . .	84
5.3.2	Euler Winkel . . . . .	85
5.3.3	Einheits-Quaternionen . . . . .	86
5.3.4	Achsen-Winkel-Beschreibung . . . . .	87
5.3.5	Positionierung des Dreibeins . . . . .	87
5.3.6	Mathematik der perspektivischen Projektion . . . . .	88
5.4	Generierung von künstlichen Röntgenbildern . . . . .	89
5.4.1	Theoretischer Hintergrund . . . . .	90
5.4.2	Volumen-Darstellungs-Techniken . . . . .	91
5.4.3	Strahlverfolgung . . . . .	91
5.4.4	Gescherter Objektraum . . . . .	91
5.4.5	Vorausberechnung von Projektionsstrahlen . . . . .	92
5.4.6	Darstellung mit Grafik-Hardware . . . . .	92

5.4.7	Weitere Verfahren . . . . .	93
5.5	Rückführung von 3D-Bewegungen auf 2D-Transformationen . . . . .	93
5.5.1	Genauigkeitsabschätzung der Verzerrungen . . . . .	100
5.6	Aufbau der 2D-3D Registrierung . . . . .	101
5.7	Evaluierung der 2D/3D-Registrierung . . . . .	104
5.7.1	Erfolgsbereich und Fehlerkriterien . . . . .	105
5.7.2	Generierung der Testpositionen . . . . .	106
5.8	Experimente . . . . .	107
5.8.1	Testmessungen mit mathematischem Phantom . . . . .	107
5.8.2	Registrierung von DRRs . . . . .	111
5.8.3	Exemplarische 2D-3D Registrierung von Portalbildern . . . . .	122
<b>II</b>	<b>Schnelle Berechnung von Kegelstrahlprojektionen</b>	<b>125</b>
<b>6</b>	<b>Verbindung zur Computertomographie</b>	<b>127</b>
6.1	Rekonstruktion aus Projektionen . . . . .	127
6.2	Kegelstrahltomographie . . . . .	129
<b>7</b>	<b>Mathematische Transformationen und Relationen</b>	<b>131</b>
7.1	Die 2D Radontransformation . . . . .	131
7.2	Das 2D Fourier Slice Theorem . . . . .	132
7.3	Die gefilterte Rückprojektion . . . . .	134
7.4	Numerischer Aufwand der gefilterten Rückprojektion . . . . .	135
7.5	Die 3D Radon Transformation . . . . .	137
7.6	Das 3D Fourier Slice Theorem . . . . .	138
7.7	Relation zwischen Röntgentransformation und Radontransformation . . . . .	139
7.8	Kegelstrahlprojektionen und Ableitung des 3-D Radonraumes . . . . .	141
<b>8</b>	<b>Beschreibung des Algorithmus</b>	<b>145</b>
8.1	Berechnung des rampengefilterten Sinogramms . . . . .	145
8.2	Verbesserung des Verfahrens . . . . .	147
<b>9</b>	<b>Implementierung der Cone-Beam-Projektion</b>	<b>151</b>
9.1	Fehler aufgrund ungenauer Interpolation im Fourierraum . . . . .	151
9.2	Zero-Padding . . . . .	154
9.3	Gridding . . . . .	155
9.4	Berechnung des rampengefilterten Radonraumes . . . . .	158
9.4.1	Überführung des kartesisch abgetasteten Fourierraumes in ein radielles Koordinatensystem. . . . .	159
9.4.2	Aufteilung des Raumes in Doppelpyramiden . . . . .	161
9.4.3	Abschätzung der Verteilungsdichte . . . . .	163
9.5	Auslesen der Radonschale . . . . .	164

## *Inhaltsverzeichnis*

9.6 Evaluation . . . . .	165
<b>10 Schnelle 2D-Rückprojektion</b>	<b>169</b>
10.1 Einleitung . . . . .	169
10.2 Überblick . . . . .	169
10.3 Prinzip der schnellen Rückprojektion . . . . .	171
10.4 Algorithmus der schnellen Rückprojektion . . . . .	172
10.5 Evaluation . . . . .	175
10.5.1 Rauschverhalten . . . . .	178
10.6 Schlussfolgerung . . . . .	178
<b>11 Schlußfolgerungen</b>	<b>181</b>
11.1 Zusammenfassung . . . . .	181
11.2 Ausblick . . . . .	183
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>189</b>