

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	9
I	Robuste Bildregistrierung von Niedrigkontrastaufnahmen	13
2	Überblick über Registrierungsverfahren	15
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
3	Robustes Verfahren zur Registrierung von Hochenergiebildern	33
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
4	Entkopplung von Translation und Rotation mittels Autokorrelationsfunktionen	57
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
5	2D-3D Bildregistrierung	81
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
II	Schnelle Berechnung von Kegelstrahlprojektionen	125
6	Verbindung zur Computertomographie	127
6.1	Rekonstruktion aus Projektionen	127
6.2	Kegelstrahltomographie	129
7	Mathematische Transformationen und Relationen	131
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
8	Beschreibung des Algorithmus	145
8.1	Berechnung des rampengefilterten Sinogramms	145
8.2	Verbesserung des Verfahrens	147
9	Implementierung der Cone-Beam-Projektion	151
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 radiales 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
10	Schnelle 2D-Rückprojektion	169
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
11	Schlußfolgerungen	181
11.1	Zusammenfassung	181
11.2	Ausblick	183
	Literaturverzeichnis	189