



1 Grafische Nutzeroberfläche von MIRA

MIRA – Multicriteria Interactive Radiotherapy Assistant

Die von der Abteilung Optimierung in wissenschaftlicher Kooperation mit dem Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ, Heidelberg), dem Universitätsklinikum Heidelberg und dem Massachusetts General Hospital (MGH, Boston) entwickelte Software Multicriteria Interactive Radiotherapy Assistant (MIRA) ermöglicht die Berechnung Pareto-optimaler Bestrahlungspläne und bietet Suchverfahren für die Auswahl eines Plans, welcher den Anforderungen des Behandlungsplaners entspricht. Das Planungssystem ist auf www.project-mira.net für Forschungszwecke frei erhältlich.

Die Interaktion zwischen Planer und MIRA erfolgt in Echtzeit über eine grafische Nutzeroberfläche. Die Auswahl eines Planes erfolgt über die Planungskriterien. Verbessert man einen Aspekt des aktuellen Bestrahlungsplans durch Schieben der Regler im Navigationsstern, erhält man sofort Informationen über das Ausmaß der Veränderungen in den übrigen Bewertungen. Dazu werden alle Aktionen des Benutzers mit dem Navigationsstern als Optimierungsprobleme auf der errechneten Datenbank formuliert und in Echtzeit gelöst. Dies erlaubt eine flüssige Interaktion mit MIRA. Die parallele Visualisierung der Dosisverteilung und statistischer Daten vermittelt dem Entscheidungsträger ein klares Bild über die Möglichkeiten und Einschränkungen, so dass die Auswahl eines Therapieplanes letztlich auf gut strukturiertem Wissen basiert.

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

Fraunhofer-Platz 1
67663 Kaiserslautern

Kontakt
Dr. Philipp Süß
Telefon +49 631 31600-42 95
philipp.suess@itwm.fraunhofer.de

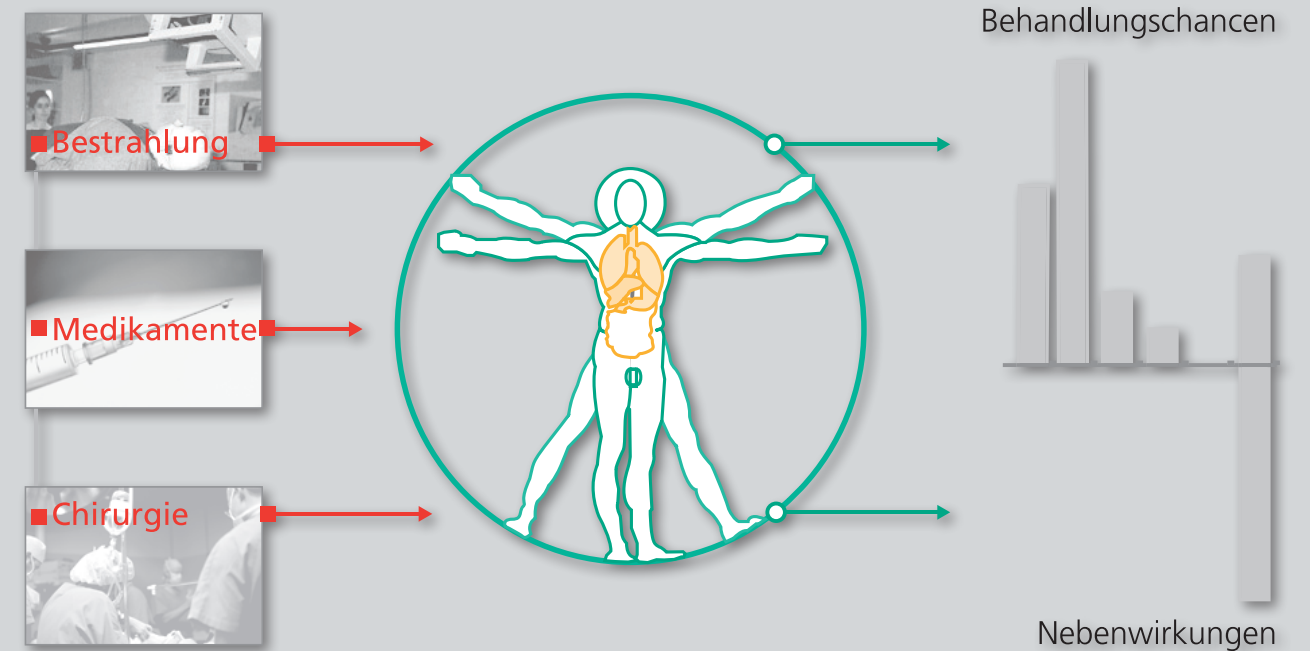
Prof. Dr. Karl-Heinz Küfer
Abteilungsleiter
Telefon +49 631 31600-44 91
kuefer@itwm.fraunhofer.de

www.itwm.fraunhofer.de

Ausgewählte Projektpartner

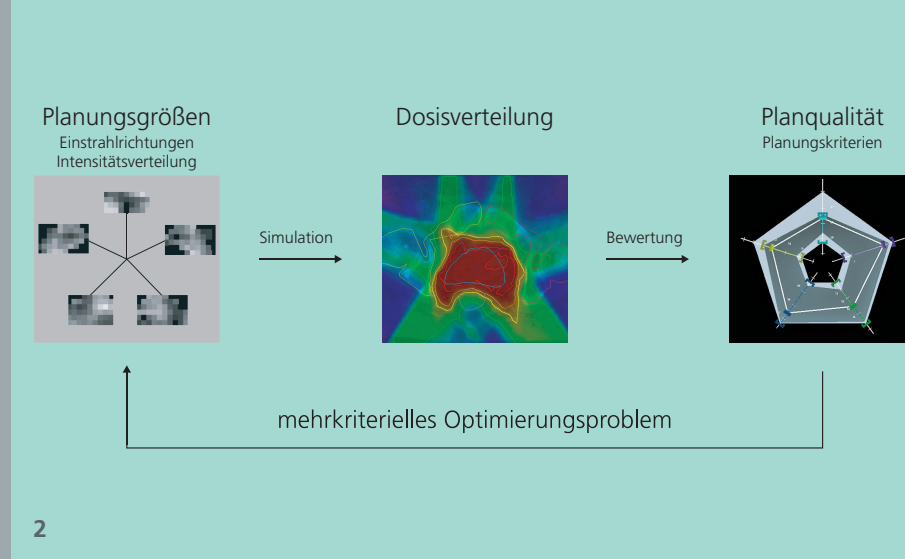
- Deutsches Krebsforschungszentrum DKFZ, Heidelberg
- Universitätsklinikum Heidelberg
- Massachusetts General Hospital, Boston (USA)
- Siemens Healthcare, Heidelberg

STRAHLENTHERAPIEPLANUNG





1



2

1 Strahlentherapie-Einheit von Siemens

Mehrkriterielle interaktive Optimierung von Strahlentherapieplänen

Strahlentherapie

- bedeutendste Krebsbehandlung neben Chirurgie und Chemotherapie
- Zerstörung von Tumorzellen durch hohe Strahlungsdosis mit ionisierender Strahlung (Photonen, Protonen, Schwerionen)

Therapieplanung

- numerische Simulation der Dosisverteilung im Gewebe als Planungsgrundlage
- Realisierung einer hohen Dosis im Tumor bei gleichzeitiger maximaler Schonung des umliegenden gesunden Gewebes
- Vorgaben an der Dosisverteilung führen zu einer inversen Planungsaufgabe für Einstrahlrichtungen und Intensitätsverteilungen

Modellierung

- Bewertung der Planqualität durch getrennte Betrachtung der Dosisverteilung in allen Planungsstrukturen (Tumore, gesunde Organe) führt zu mehrkriteriellem Optimierungsproblem
- Gesamtheit der Pareto-Lösungen des mehrkriteriellen Problems eröffnet Vielfalt jeweils optimaler Therapievorschlüsse

Planungssystem MIRA

- erlaubt echte mehrkriterielle Strahlentherapieplanung
- berechnet automatisch eine repräsentative Auswahl therapeutisch sinnvoller Pareto-Lösungen
- ermöglicht schnelle Lösungsberechnung durch speziell entwickelten numerischen Solver
- approximiert Pareto-Menge durch Online-Interpolation
- erlaubt interaktive Auswahl von Pareto-Lösungen in Echtzeit mit ergonomischem Navigationswerkzeug

Inverse Problemstellung und mehrkriterielle Handhabung

Zentrale Aufgabe der Strahlentherapieplanung ist die Ermittlung eines Therapieplanes, der das Tumorgewebe durch Applikation hinreichend hoher Strahlungsdosen zerstört und gleichzeitig das umgebende gesunde Gewebe durch Reduktion der Dosisbelastung bestmöglich schont. Ein Therapieplan ist hierbei durch eine Vielzahl von Parametern wie den Einstellungen des Behandlungsgerätes und den Intensitäten der emittierten Strahlung beschrieben. Dieser Planbeschreibung wird über eine numerisch aufwändige Simulation eine Dosisverteilung im Körpergewebe zugeordnet.

Therapieplanung als Optimierungsproblem

Die Suche nach dem Therapieplan mit der qualitativ bestmöglichen Dosisverteilung stellt eine komplexe Planungsaufgabe dar. Diese kann aufgrund der vielen Parameter und des großen Simulationsaufwandes für die Dosisverteilung zielgerichtet nur mithilfe von Optimierungsproblemen gelöst werden. Zu diesem Zweck wird die Dosisqualität bezüglich der einzelnen Planungsstrukturen mittels Kriteriums-funktionen modelliert und die verschiedenen Planungsaspekte als Anforderungen an die jeweiligen Funktionswerte formuliert.

Mehrkriterielle Modellbildung

Aufgrund verschiedener, teilweise gegenläufiger Planungskriterien wie z. B. der Dosisbelastung in den einzelnen gesunden Planungsstrukturen ist dieses Optimierungsproblem mehrkriteriell. Die Lösungen solcher Probleme sind Pareto-optimal: Eine Verbesserung in einem Planungskriterium führt zu einer Verschlechterung in einem anderen. Das Ermitteln dieser Lösungen und die Bestimmung einer Therapie unter einer Vielzahl Pareto-optimaler Pläne erfordern moderne Lösungsverfahren und flexible Entscheidungsunterstützung.

Schneller numerischer Solver

Die schnelle Berechnung von Therapieplänen erfordert einen speziell entwickelten numerischen Solver. Für das Ermitteln einer Pareto-optimalen Lösung ist eine hoch auflösende Simulation von Dosisverteilungen nicht im gesamten Gewebe erforderlich, sondern nur in dem für die mathematische Optimierung relevanten Teil. Durch adaptive Anpassung der Auflösung während der Berechnung können deshalb die Rechenzeiten drastisch reduziert werden.

Interaktive Auswahl von Pareto-Lösungen

Für die Kompromissbildung zwischen den einzelnen Planungskriterien benötigt der Planer Informationen über die planerischen Möglichkeiten und Beschränkungen für den jeweiligen klinischen Fall. Diese werden durch eine aus einer Vielfalt fallspezifischer Planvorschlüsse bestehende Datenbank zur Verfügung gestellt, welche vorab berechnet wird. Nach der Berechnung beginnt der interaktive Teil der Planung. Der Entscheidungsträger erkundet dabei über eine grafische Nutzeroberfläche durch gezielte Kompromissfindung den für ihn relevanten Bereich des Lösungsraums.

2 Das Optimierungsproblem der Strahlentherapieplanung