



Doctoral Thesis

Application of online image guidance for moving tumour treatment using scanned proton therapy

Author(s):

Zhang, Ye

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010158999> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Application of Online Image Guidance for Moving Tumour Treatment using Scanned Proton Therapy

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

YE ZHANG

Degree of Master of Science

Kungliga Tekniska Högskolan (KTH)

born on *15.06.1986*

citizen of

China

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Gabor Szekely

Prof. Dr. Antony John Lomax

Prof. Dr. Philippe Cattin

Dr. Christine Tanner

Abstract

Scanned proton therapy with its physical superiority and clinical flexibility, has been demonstrated as one of the most efficient radiotherapy modality, and seem to be the future of radiation-based cancer treatment. However, currently, this technique is still restricted to static tumour treatments, due to the concerns of the interplay effects as well as the density variations, which could occur in the presence of intra-fractional organ motions. In order to expand its clinical applications for each patient, appropriate motion management approach needs to be determined during treatment planning and needs to be applied during dose delivery.

This dissertation proposes an innovative online image-guide solution, which utilises the Beams' Eye View (BEV) on-board X-ray imaging system (of PSI-Gantry2) for the clinically implementation of various motion mitigation strategies in the context of scanned proton treatment, for the purpose of maximally reducing motion induced dosimetric deteriorations with the least damage to the surrounding healthy tissues. To achieve this objective, first a dedicated geometry calibration has been performed for the imaging system. Then, two image-based tracking algorithms have been developed to obtain motion from the time-resolved BEV image sequences. However, besides real-time tracking motion at several sparse locations, dense motion information and information on the induced density variation for each pencil beam and each dose calculation position are required for either retrospectively calculating the final dose distribution after each fraction or for deriving beam compensation offsets online. To tackle this trade-off, a patient specific statistical motion model has been employed, which allows to reconstruct deformable motion from the online tracked surrogate motion. The induced density changes can be then derived afterwards. Through extensive simulations of scanned proton treatment using 4D dose calculations with realistic motions, the necessity, feasibility and potential advantage of online image guidance in scanned proton treatment using beam gating and beam tracking have been demonstrated. The results indicate that applicably combining beam gating/tracking with rescanning is beneficial for improving treatment efficiency and reducing dosimetric uncertainties.

Zusammenfassung

Die Behandlung von Tumoren mit gescannten Protonenstrahlen hat sich in den letzten Jahren als eine der effizientesten Strahlentherapieverfahren herauskristallisiert und wird eine der wichtigsten Behandlungsarten der auf Strahlung basierenden Krebstherapie der Zukunft sein. Allerdings ist diese Technik derzeit noch auf die Behandlung von statischen Tumoren beschränkt. Bei der Behandlung von bewegten Tumoren kann es durch die Wechselwirkung zwischen der sich zeitlich veränderten Patientengeometrie und der zeitlichen Charakteristik des gescannten Protonenstrahls zu Beeinträchtigung der optimalen Dosisverteilung pro Fraktion kommen. Um die gescannte Protonentherapie auch bei Patienten mit beweglichen Tumoren anwenden zu können, stehen verschiedene Bewegungs-Management-Ansätze zur Verfügung. Für jeden Patienten muss der richtige Ansatz entsprechend der Bewegungscharakteristik gewählt werden, um eine optimale Dosisverteilung zu gewährleisten.

In diese Dissertation wird eine innovative, bild-gesteuerte Lösung, basierend auf einem „Beams Eye View“ (BEV) on-board X-ray System, welches an der Gantry2 am PSI installiert ist, für die Behandlung von bewegten Tumoren mit gescannten Protonen vorgestellt. Das Ziel des Ansatzes ist die Kontrolle der Tumorbewegung, um die aus ihr resultierende Verschlechterung der Dosisverteilung und die etwaige Mitleidenschaft von angrenzendem gesunden Gewebe zu minimieren. Im Rahmen der Arbeit wurde zunächst ein geometrischer Kalibrierung Algorithmus für das BEV-Imaging-System entwickelt. Anschließend wurden zwei bild-gesteuerte Tracking- Algorithmen für zeitaufgelösten BEV Bildsequenzen erarbeitet. Mit Hilfe dieser Algorithmen lassen sich charakteristische Punkte in der Patientengeometrie in Echtzeit verfolgen. Für eine zeitaufgelöste Dosisberechnung ist allerdings die Echtzeit-Bewegungsinformation jedes Punktes in der Patientengeometrie notwendig. Dies gilt insbesondere für Protonenstrahlen, aufgrund ihrer hohen Sensitivität gegenüber Geometrieänderungen. Um aus der Bewegungsinformation von einzelnen Punkten ein dichtes Bewegungsvektorfeld für alle Punkte herzuleiten, wurden patientenspezifische Bewegungsmodelle angewendet. Anhand von umfangreichen Berechnungen von zeitaufgelösten Dosisverteilungen unter Berücksichtigung der sich realistisch bewegenden Patientengeometrie, wurde die Notwendigkeit, die Machbarkeit und die möglichen Vorteile einer online bild-gesteuerten Protonentherapie aufgezeigt. Es wurden sowohl Protonentherapie Behandlungen unter Anwendung von Gating, wie auch unter Anwendung von Tracking untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass eine optimale Dosisverteilung durch eine Kombination von Gating und Tracking mit einem zusätzlichen Re-Scanning erreicht wird.