



Doctoral Thesis

Patient Motion Compensation via Treatment Couch in Radiotherapy

Author(s):

Jöhl, Alexander

Publication Date:

2018

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000314354> →

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

Diss. ETH No. 25501

Patient motion compensation via treatment couch in radiotherapy

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

Alexander Jöhl

MSc ETH in Mechanical Engineering
born on 22.06.1990
citizen of Amden SG

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Mirko Meboldt
Prof. Dr. Melanie Zeilinger
Dr. Marianne Schmid Daners
Dr. Stephanie Tanadini-Lang

2018

Abstract

Radiotherapy next to surgery and chemotherapy is an established option for cancer treatment. In external beam radiotherapy, the tumor is irradiated with ionizing radiation. High precision radiotherapy can spare the healthy tissue surrounding the tumor, while the tumor receives the prescribed radiation dose. However, the precision can only be achieved if the location of the tumor remains static and known. Tumors that move due to respiration or other physiological processes can introduce high uncertainty about their position. Consequently, motion mitigation methods were proposed and developed to handle such cases. One proposed method is the couch tracking approach, in which the robotic couch moves the patient such that the tumor motion relative to the irradiation beam is reduced. The analysis of such a couch tracking system and the investigation of difficulties that may arise in the implementation are the topic of this thesis.

A possible difficulty is the reaction of the patients to the motion of the robotic couch, which might express as motion sickness or even changes in breathing pattern. A study is described that using a prototypical couch tracking system measured the reaction of volunteers to breathing synchronized couch motion. The results were a significant reaction but of negligible magnitude, such that the patient reaction does not obstruct the couch tracking approach.

Another potential difficulty is the motion of the patient induced by the motion of the robotic couch. Because the patient's body is not perfectly fixed to the robotic couch, the body's motion may not be identical to the couch motion, which would reduce the motion compensation effectiveness of couch tracking. This difficulty was investigated in the above-mentioned study as well. The results showed that the couch tracking induces motion of the body and increases the uncertainty of the body position relative to the couch. However, that uncertainty was an order of magnitude smaller than tumor motion amplitudes and, therefore, it does not obstruct the couch tracking approach.

Couch tracking requires a minimal time delay between the actual tumor motion and the reaction of the robotic couch. However, currently available systems for measuring the tumor motion and robotic couches

Abstract

exhibit large time delays, which diminish the effectiveness of couch tracking. In the case of tumors moving due to respiration, the approximately periodic pattern of the respiratory motion can be exploited by algorithms. These algorithms (commonly denoted prediction filters) predict the tumor motion a certain time ahead to overcome the time delay. A large number of prediction filters were proposed but no clear statement about which prediction filter performs best was stated. Therefore, the question is investigated which of these actually perform well. In addition, the influence of the respiratory motion pattern on the prediction filter performance is investigated. Highly performing prediction filters were identified for various measurement noise levels and time delays. Furthermore, there seem to be no general respiratory pattern characteristic that is useful for estimating prediction filter performance.

For the task of static positioning of the patient, robotic couches are well established and fulfill the corresponding requirements. However, the couch tracking method poses new requirements to the robotic couches. The characteristics of the tumor motion have to be replicated perfectly by the robotic couch. Therefore, the requirements for the robotic couches are formulated based on the tumor motion data. Then, currently available robotic couches were tested regarding these requirements. The findings indicated that the requirements are feasible for current robotic couches. However, the robotic couches could benefit from modifying the position control to consider not only the demanded position but also its time derivatives.

To summarize, this thesis showed that the patient, the robotic couch, and the controller do not pose hurdles that cannot be overcome. Therefore, the couch tracking approach is a viable option for the management of intrafractional tumor motion in radiotherapy.

Zusammenfassung

Die Strahlentherapie ist neben der chirurgischen Entfernung und der Chemotherapie eine etablierte Option zur Krebsbehandlung. Bei der externen Strahlentherapie wird der Tumor mit ionisierender Strahlung bestrahlt. Hochpräzise Strahlentherapie kann das gesunde Gewebe um den Tumor herum schonen, während der Tumor die vorgeschriebene Strahlendosis erhält. Die Präzision kann jedoch nur erreicht werden, wenn die Lage des Tumors statisch und bekannt ist. Tumore, die sich durch Atmung oder andere physiologische Prozesse bewegen, können eine hohe Unsicherheit über ihre Position haben. Daher wurden Methoden zum Management von sich bewegenden Tumoren vorgeschlagen und entwickelt, um solche Fälle zu behandeln. Eine vorgeschlagene Methode ist der Couch-Tracking-Ansatz, bei dem die Roboterliege den Patienten so bewegt, dass die Tumorbewegung relativ zum Bestrahlungsstrahl reduziert wird. Die Analyse eines solchen Couch-Tracking-Systems und die Untersuchung von Schwierigkeiten, die bei der Umsetzung auftreten können, sind das Thema der vorliegenden Arbeit.

Ein mögliches Hindernis für Couch-Tracking ist die Reaktion der Patienten auf die Bewegung der Roboterliege, die sich als Reisekrankheit oder sogar als Veränderung des Atemmusters äußern kann. Eine Studie wird beschrieben, in welcher mit Hilfe eines Prototyp Couch-Tracking-Systems die Reaktion von Freiwilligen auf die atmungssynchronisierte Bewegung der Couch gemessen wurde. Die Ergebnisse waren signifikant, aber von vernachlässigbarer Größe, so dass die Reaktionen von Patienten den Couch-Tracking-Ansatz nicht verunmöglichen.

Ein weiteres mögliches Hindernis ist die Bewegung des Patienten verursacht durch die Bewegung der Roboterliege. Da der Körper des Patienten nicht perfekt an die Roboterliege fixiert ist, kann die Bewegung des Körpers möglicherweise nicht identisch mit der Bewegung der Couch sein, was die Wirksamkeit der Bewegungskompensation des Couch-Tracking Ansatzes verringern würde. Dieses Hindernis wurde auch in der oben beschriebenen Studie untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass Couch-Tracking eine Bewegung des Körpers induziert und die Unsicherheit der Körperposition relativ zur Couch erhöht. Diese

Zusammenfassung

Unsicherheit war jedoch um eine Größenordnung kleiner als die Amplituden der Tumorbewegung und behindert daher den Couch-Tracking-Ansatz nicht.

Das Couch-Tracking erfordert eine minimale Zeitverzögerung zwischen der eigentlichen Tumorbewegung und der Reaktion der Roboter-couch. Allerdings weisen derzeit verfügbare Systeme zur Messung der Tumorbewegung und die Roboter-couches große Zeitverzögerungen auf, die die Effektivität des Couch-Tracking vermindern. Im Falle von Tumorbewegungen durch Atmung kann das approximativ periodische Verhalten der Atembewegung durch Algorithmen ausgenutzt werden. Diese Algorithmen (Prädiktionsfilter) berechnen die Tumorbewegung eine bestimmte Zeit voraus, um die Zeitverzögerung zu überwinden. Es wurde eine große Anzahl von Vorhersagefiltern vorgeschlagen, aber es wurde keine klare Aussage darüber getroffen, welcher Vorhersagefilter am besten funktioniert. Daher wird die Frage untersucht, welche davon tatsächlich gut abschneiden. Zusätzlich wird der Einfluss des Atemverhaltens auf die Prädiktionsperformance untersucht. Es wurden hoch performante Prädiktionsfilter für verschiedene Rauschpegel und Zeitverzögerungen identifiziert. Außerdem scheint es keine allgemeine Charakteristik des Atemverhaltens zu geben, welche für die Abschätzung der Prädiktionsperformance nützlich ist.

Für die Aufgabe der statischen Lagerung des Patienten sind Roboter-couches etabliert und erfüllen die entsprechenden Anforderungen. Das Couch-Tracking-Verfahren stellt jedoch neue Anforderungen an die Roboter-couch. Die Eigenschaften der Tumorbewegung müssen von der Roboter-couch perfekt nachgebildet werden können. Daher werden die Anforderungen an die Roboter-couch auf Basis der Daten von Tumorbewegungen formuliert. Anschließend wurden die derzeit verfügbaren Roboter-couches hinsichtlich dieser Anforderungen getestet. Die Ergebnisse zeigten, dass die Anforderungen für aktuelle Roboter-couches realisierbar sind. Die Roboter-couches könnten jedoch von einer Modifikation der Positionsregelung profitieren, um nicht nur die geforderte Position zu jedem Zeitpunkt, sondern auch deren zeitliche Ableitung, zu berücksichtigen.

Diese Arbeit zeigt, dass der Patient, die Roboter-couch und die Regelung keine Hürden darstellen, die nicht überwunden werden können.

Daher ist der Couch-Tracking-Ansatz eine praktikable Option für das Management der intrafraktionellen Bewegung von Tumoren in der Strahlentherapie.