

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24791258

研究課題名(和文) 動体追跡放射線治療への応用を目的とした一方向X線透視による呼吸モニタの開発

研究課題名(英文) Real-time tumor-tracking radiotherapy system with monoscopic imaging system

研究代表者

宮本 直樹 (Miyamoto, Naoki)

北海道大学・医学(系)研究科(研究院)・特任助教

研究者番号：00552879

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、単一のX線透視装置のみにより、従来の二方向透視によるものと同等の計測精度で体内マーカー位置を計測することで、動体追跡放射線治療におけるX線透視被曝の半減と装置のコンパクト化を図ることを目的としている。実際の体内マーカーの位置関係や動きデータを用いた評価の結果、半数以上のケースで必要な測定精度が得られることを示した。また、透視装置のアライメントを最適化することで、さらに測定精度が向上することを明らかにし、提案手法による治療の実現性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, the novel monoscopic imaging system that can be utilized for gated-radiotherapy is proposed. The proposed system can reduce imaging dose due to pulsed fluoroscopy during treatment and can realize compact system. It was shown that the measurement error of the proposed technique was within acceptable level in most cases by performing the evaluations with actual marker positions and actual marker trajectories. In addition, the measurement error can be minimized by optimizing imaging geometry. As a result, the feasibility for clinical use was shown.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：4次元放射線治療 動体追跡放射線治療 X線透視 被曝低減

1. 研究開始当初の背景

呼吸などにより体内で動く腫瘍に対する放射線治療では、その動きを考慮した治療放射線の投与を考える必要がある。現在では、2方向から腫瘍周辺をX線透視し、腫瘍近傍に留置された体内マーカーの3次元位置を把握することで、所定の位置でのみ照射をおこなう呼吸同期放射線治療が有効な手法の1つとして臨床応用されている。しかし、2組のX線透視装置を用いるシステムでは、装置の設置スペースや導入時のコスト等が問題の1つとなる。

2. 研究の目的

上記の背景・課題に対し、本研究では、より汎用的な呼吸同期放射線治療を実現するために、1組のX線透視装置のみを用いて、2組のX線透視装置を用いるシステムと同様に、体内マーカーの3次元位置を計測することが可能なシステムを開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 平成 24 年度の研究開発項目と方法を以下に示す。

提案手法の測定精度を解析的に評価するために、臨床で得られたマーカーの追跡データから、振幅や周期などの動きに関するパラメータを解析するとともに、検証用のデータセットを作成し、基本的な精度評価を実施する。

治療開始時に複数のマーカーの正確な位置関係を把握するために、非同期の時系列情報として得られた2つのマーカー位置射影データから、3次元再構成をおこなうアルゴリズムを開発する。具体的には、ステレオ透視に基づく3次元位置計算をおこない、計算過程で算出される誤差指標が最小となる時間シフト量を求めることで、3次元軌跡を再構成する手法を開発する。

(2) 平成 25 年度の研究開発項目と方法を以下に示す。

リアルタイム3次元位置計測のための追跡アルゴリズムを開発する。具体的には、異なる解への収束を防ぐために、追跡中は前フレームのマーカー位置を初期値とする工夫を施し、収束時間を短縮する。また、マーカーのテンプレートパターンマッチングにおける精度を向上するために、画像処理を併用し、さらなる被曝の低減を図る。複数のロボットシリンダを組み合わせ、多軸モーションコントローラを用いた動体ファントムを製作し、マーカー位置測定の精度検証とリアルタイム追跡機能を実験的に確認、評価する。

4. 研究成果

(1) 平成 24 年度の各研究開発項目に対する研究成果を以下に示す。

実際の動体追跡放射線治療で得られた呼吸運動を解析し、解析に使用できる70例の治療から、約300の呼吸運動データを抽出し、精度評価用のデータセットを作成した。初期検討として、治療計画時に得られたマーカー静止位置データを利用し、基本的な測定精度評価を実施した。約半数で測定精度2mm以内を達成できることを確認した(図1)。測定誤差には方向依存性があり、透視方向に対する精度が他の方向と比較して誤差が大きくなる傾向にあった。これは、3次元動的動きのうちの透視方向成分が、検出器上での射影位置の変化としては、他の方向よりも小さくなるためであると考えられる。したがって、総合的な測定誤差としては5mm以上になるケースも散見されたが、測定誤差は透視の体系に依存していることがわかった。本研究では新たに透視体系の最適化アルゴリズムを考案し、マーカーの位置関係を考慮して最適化することで、測定誤差を低減できることを明らかにした(図2)。

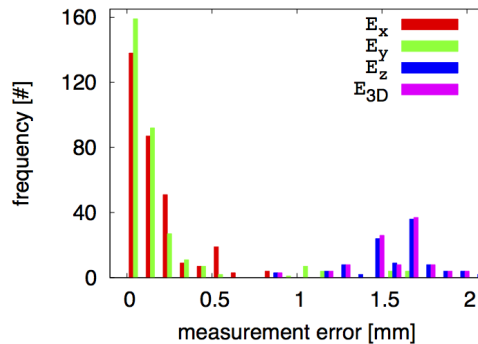


図1: 測定誤差の頻度解析。

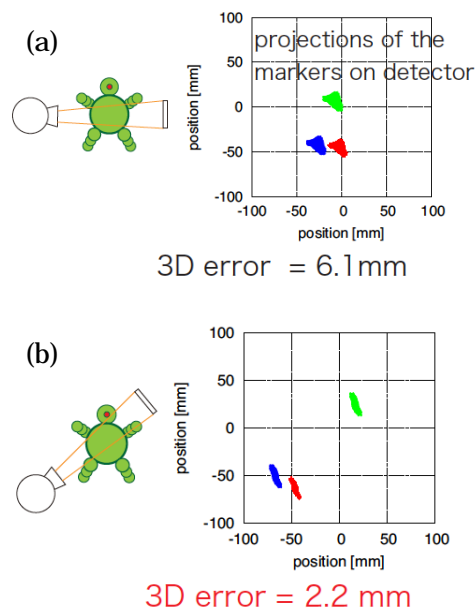


図2:(a) 通常の透視方向、(b) 最適化した透視方向それぞれにおける検出器上でのマーカー射影位置、および測定誤差。

異なる時間に得られた射影データを読み込み、あたかも同時に得られたと仮定して、ステレオ撮影の原理に基づき 3 次元再構成をおこなうことが可能な基本ソフトウェアを開発した。その中で、各時間において算出される共通垂線長(ステレオ撮影の誤差の指標)を積算し、最もその値が小さくなる時間シフトを計算する機能を実装し、3次元運動を再構成する手法を開発した。

(2) 平成 25 年度の各研究開発項目に対する研究成果を以下に示す。

ニュートン法をベースにした解の探索アルゴリズムを採用し、解の初期値をマーカーの現在値にすることで他の解への収束を防ぎ、実際の呼吸運動に追従して、マーカーをリアルタイムで追跡できることを確認した(図 3)。解への収束時間は数 msec であり、マーカー認識に必要なテンプレートパターンマッチング、画像処理と合わせても 10msec 以内であったことから、遅延時間としては許容内である。3次元動的な動きに追従できるかどうか解析的に評価し、過去の治療の半数において、3次元各方向の誤差が 2mm 以内であり、提案手法が待ち伏せ照射に応用できることを示した。

複数のロボットシリンダを組み合わせ、任意の 3 次元運動を再現可能な動体ファントムを設計・製作した(図 4)。各ロボットシリンダはプログラム動作制御が可能であり、離散的な点を入力し、それらを滑らかに補間して動作させるプログラムを開発することで、実際の体内のマーカー運動を再現することに成功した。

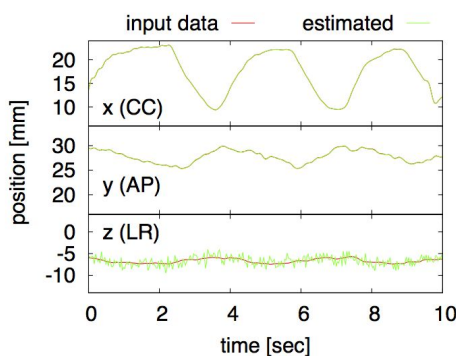


図 3 : 各 3 次元方向における実際のマーカーの動き (input data) と提案手法による測定値 (estimated)。

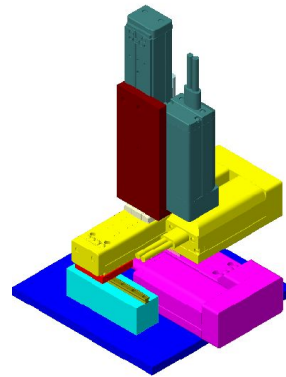


図 4 : マーカー 3 次元駆動装置の設計図。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 5 件)

1. 加藤英斗、宮本直樹、大友加奈子、鈴木隆介、西岡健太郎、清水伸一、鬼丸力也、石川正純、白土博樹、3 点の体内マーカーを用いた患者セットアップの有効性評価、第 27 回日本高精度外部照射研究会、東京、2014.2.22
2. Naoki Miyamoto, Masayori Ishikawa, Kenneth Sutherland, Ryusuke Suzuki, Taeko Matsuura, Seishin Takao, Chie Toramatsu, Hideaki Nihongi, Shinichi Shimizu, Kikuo Umegaki, Hiroki Shirato, Evaluation of the measurement accuracy of a novel monoscopic x-ray imaging system for real-time tumor-tracking radiotherapy, 4D (Treatment Planning) workshop, PSI Switzerland, 2013.11.28-29
3. 宮本直樹、動体迎撃照射の現状と未来、日本放射線腫瘍学会第 26 回学術大会 シンポジウム、青森、2013.10.18-20
4. Naoki Miyamoto, Masayori Ishikawa, Kenneth Sutherland, Ryusuke Suzuki, Taeko Matsuura, Seishin Takao, Chie Toramatsu, Hideaki Nihongi, Shinichi

Shimizu, Kikuo Umegaki, Hiroki Shirato,
Real-time tumor-tracking radiotherapy
system with mono X-ray fluoroscopy, 第
105 回日本医学物理学会、横浜、
2013.4.11-14

5. 宮本直樹、石川正純、Kenneth Sutherland、
鈴木隆介、松浦妙子、高尾聖心、寅松千
枝、二本木英明、清水伸一、梅垣菊男、白
土博樹、一方向 X 線透視による低被曝・省
スペース型動体追跡装置の開発、第 104
回日本医学物理学会学術大会、つくば、
2012.9.13-15

6 . 研究組織

(1)研究代表者

宮本 直樹 (MIYAMOTO NAOKI)
北海道大学・大学院医学研究科・特任助教
研究者番号 : 00552879

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし