

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 25 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23390302

研究課題名(和文) 拡張現実感技術を用いた新しい放射線治療のセットアップ手法の開発

研究課題名(英文) The development of a new setup method of radiotherapy using augmented reality

研究代表者

中村 和正 (Katsumasa, Nakamura)

九州大学・大学病院・准教授

研究者番号：20284507

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,000,000円、(間接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、放射線治療室内の実空間から得られた患者の体表等の位置座標と、治療計画CTから取得された体輪郭等の3次元情報を同一空間に表示することにより、新しいセットアップ技術を開発することである。

Time of Flight(ToF)方式のカメラ方式のカメラを用いて、リアルタイムに対象ファントムの3次元画像を取得した。位置誤差の検証のためにToFカメラから得られるrange imageとCT画像間でのずれを計測するプログラムを開発した。頭部、骨盤部のファントムのCT画像を取得し、ToFカメラと同じ空間座標に配置し、本システムの精度を検証した。測定誤差は2 mm程度であった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a new setup method of radiotherapy using augmented reality which can match the CT images and the three-dimensional surface images acquired from the patient in the treatment room of radiotherapy.

A pelvic or head phantom was scanned by a CT scanner, and used as a reference planning CT image. Range images of the phantom with several different positions, which were considered as setup errors, were acquired by a time-of-flight (ToF) camera. The range images were registered with the planning CT images using an iterative closest point (ICP) algorithm, and position errors were calculated. This study suggested that patient setup errors could be visually monitored with the errors less than 2 mm by using range images acquired via a time-of-flight (ToF) camera.

研究分野：放射線科学

科研費の分科・細目：放射線治療学

キーワード：放射線治療 画像誘導放射線治療 拡張現実感

1. 研究開始当初の背景

近年、放射線治療の精度はめざましく向上しており、特に治療計画時および治療時のセットアップ位置の再現性が重要となっている。X線透視画像、CT画像等を用いて治療直前のセットアップ位置を、治療計画時と同じ位置に再現する技術は、画像誘導放射線治療(Image-guided radiation therapy, IGRT)と呼ばれ、急速に発達、普及しつつある。最新の放射線治療装置には、リニアックにフラットパネルポータルイメージングシステムが取り付けられており、治療寝台上にて、2次元的なX線写真、または3次元的なコンベームCTを撮影することにより、治療直前の患者の位置を正確に認識することができる。しかし、治療計画時の体位等を記録しているわけではなく、身体の曲がり、腕の上げ具合、あごの上げ具合、足の開き具合などを正確に再現する技術は実現していない。フラットパネルポータルイメージングシステムでの位置確認ではX線による被ばくが避けられず、CT画像の撮像・位置確認に5-10分程度必要で、治療中の動きはまったく検出できないという欠点があった。

拡張現実感技術(AR, Augmented Reality)とは、現実世界にコンピュータの情報を融合させる技術のことで、コンピュータの性能向上により、現在、さまざまな分野で利用が試みられている。医療分野では、手術支援として、カメラで撮影した映像上に、CT画像から得られた正常臓器や腫瘍の位置を融合させ、ディスプレイで見ながら手術するという方法などが導入されている。

我々は、拡張現実感技術を放射線治療に利用することには、以下の利点があると考えた。

- ・放射線治療では、治療計画に使用したCT画像に、実際の治療時の患者を合わせ込む必要がある。つまり、治療計画でのCT画像から合成した画像をAR技術で表示させ、その画像に合わせ込むシステムは非常に有用なツールとなる。

- ・放射線治療の治療計画では、患者の体輪郭、ターゲットなどを入力する必要がある。つまり、通常の治療の流れで作成された体輪郭、ターゲットをそのまま本方法に利用できる。

- ・現在は、患者体表面に書かれた+線を中心に合わせ込みをしていた。これが、本方法を使用することにより、患者体表面のマーキングを省略または簡略化できる可能性がある。

- ・身体の曲がり、腕の上げ具合、あごの上げ具合、足の開き具合などの一致させて、セットアップができるようになる。また、ターゲットを表示させることにより、実際の光照射野に含まれていることが目視で確認できる。

- ・リアルタイムで治療時の患者の動きもモニタできる。また、治療中の患者の痩せ等の体表面の変化も把握できる。

- ・患者取り違えの予防となる。

2. 研究の目的

本研究は、放射線治療室内の、実空間から得られた患者の体表等の座標と、治療計画CTから取得された体輪郭等の3次元情報を同一空間に表示することにより、従来とはまったく異なった新しい、放射線治療のセットアップ技術を開発することである。

3. 研究の方法

(1) 治療計画時の体表等の3次元情報を取得するための、3Dカメラを選定する。同時に位置認識精度検証のためのツールを選定する。

(2) 3Dカメラから得られた患者/ファントムの画像情報と、CT画像のサーフェスレンダリングの画像との位置のずれを検出するプログラムを開発する。本プログラムは、MATLABを使って開発する。

(3) ファントムを使って、システムの精度を検証する。

(4) さらに高い位置認識精度を目指して、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ミラーを利用した超高速三次元計測小型カメラの応用を検討する。

4. 研究成果

(1) 位置認識精度検証方法の確立と3Dカメラの導入

放射線治療の位置精度検証ツールについては、Cubic-QA (Phantom 内部に挿入されている幾何学的スケールを用いた放射線照射野対レーザー位置検証QAツール) 及びRT-XYZステージ(高精度のX,Y,Z移動が可能なファントム台専用固定具)を用いた。本システムにより、ファントムをX, Y, Z軸方向(移動分解能: 0.01mm)に精密に動かすことができ、本研究で開発するセットアップ技術の位置精度評価が可能となった。

また、本研究での新しいセットアップ技術の開発のためには、治療計画時の体表等の3次元情報を取得する技術が必要となる。その実現のため、3DカメラとしてPMD CamCube3.0を選定した。PMD CamCube3.0は、三次元距離イメージセンサーを搭載した3D-ToF(Time of Flight)方式のカメラで、リアルタイムに3次元画像が取得できることを確認した。

(2) 3Dカメラによる位置認識ソフトウェアの開発

3D-ToFカメラ(PMD CamCube3.0)から得られるrange imageとCT画像の位置のずれを検出するシステムを開発した。位置誤差の検証のために、iterative closest point (ICP) registration techniqueを用いて、ToFカメラから得られるrange imageとCT画像間でのずれを計測するプログラムを開発した。

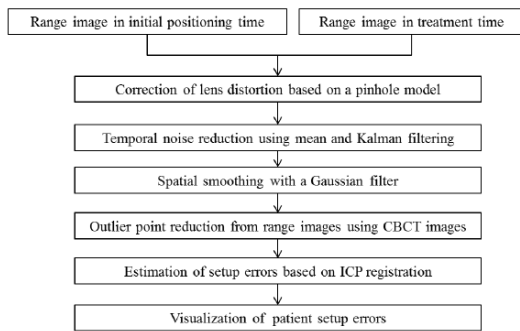


図 1. 患者の位置情報の検出のフローチャート

(3) 3D-ToF カメラの位置認識精度検証

骨盤部のファントムを 3mm スライス、512 x 512 のマトリクスサイズにて CT 画像を取得、ファントム表面の voxel を抽出、セットした ToF カメラと同じ空間座標に配置した。ファントムを右左方向に 5 ± 0.5 mm 移動させ、さらに前後軸に対し $5 \pm 0.05^\circ$ 回転させて配置し、ToF カメラがずれをどの程度検証できるかを調べた。

左右方向では測定誤差は 2.1 ± 0.74 mm、回転方向の測定誤差は $0.76 \pm 0.11^\circ$ であった。

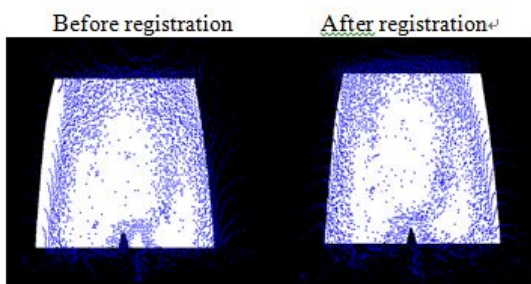


図 2. 骨盤部のファントムでの画像認識

次に実際のリニアックの治療寝台上に頭部ファントムを設置し、ToF カメラのずれの検証精度を測定した。



図 3. 治療室内での ToF カメラの精度検証

頭部ファントムを使つての精度検証では、

ToF カメラの測定誤差は 2.33 ± 2.85 mm であった。

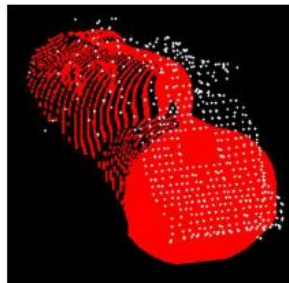


図 4. 頭部ファントムの画像と ToF カメラから得られた点群データ

本システムの欠点として、3D-ToF 方式では、距離の計測に光の位相差を利用するため、特に深さ方向の誤差が大きくなり、カメラと対象物の距離が遠い場合、位置誤差が大きくなることが明らかとなった。

(4) そこで、これらの欠点を解決し、より精度の高い位置認識システムを開発するため、MEMS ミラーを利用した超高速三次元計測小型カメラを用いることを試みた。

本システムは、パターン投影方式の三次元計測位置認識システムで、電磁駆動方式の MEMS ミラーを用いることにより、高速にスキャン可能で (500Hz ~ 8kHz)、高速 (8 msec ~ 0.5 msec) に画像を取得できる。

既存の MEMS ミラーを使った超高速三次元計測小型カメラによる予備実験では、頭部ファントムの三次元表面データを取得し、同ファントムの治療計画 CT から再構成した Surface rendering 画像をコンピュータ上でマッチングさせ、位置誤差は ± 0.2 mm 以下であることを確認した。

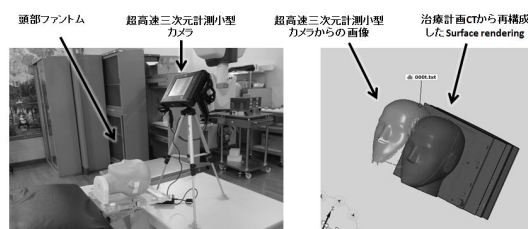


図 5. MEMS ミラーを使った超高速三次元計測小型カメラによる予備実験

本研究により、高い精度での位置認識が可能なシステムの開発の可能性が示唆された。

また、派生研究として、サーモグラフィによる画像が放射線治療の位置合わせ等に利用できないかの基礎実験を行った。

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)

〔雑誌論文〕(計 10 件)

- Yoshitake T, Nakamura K, Shioyama Y, Sasaki T, Ohga S, Shinoto M, Terashima K, Asai K, Matsumoto K, Matsuo Y, Baba S, Honda H. Stereotactic body radiation therapy for primary lung cancers clinically diagnosed without pathological confirmation: A single-institution experience. *Int J Clin Oncol* in press.
- Terashima K, Nakamura K, Shioyama Y, Sasaki T, Ohga S, Yoshitake T, Atsumi K, Shinoto M, Asai K, Matsumoto K, Hirata H, Shioyama Y, Nishie A, Honda H. The Effect of Treatment Position on Rectal and Bladder Dose-Volume Histograms for Prostate Radiotherapy Planned with 3-Dimensional Conformal Radiotherapy, Intensity-Modulated Radiotherapy and Volumetric Modulated Arc Therapy. *Int J Med Phys Clin Eng Radiat Oncol* in press
- Terashima K, Nakamura K, Shioyama Y, Sasaki T, Ohga S, Nonoshita T, Yoshitake T, Atsumi K, Asai K, Hirakawa M, Anai S, Yoshikawa H, Honda H. Can a Belly Board Reduce Respiratory-induced Prostate Motion in the Prone Position? - Assessed by Cine-magnetic Resonance Imaging. *Technol Cancer Res Treat*. 2013 ; 12:447-53. doi: 10.7785/tcrt.2012.500334.
- Ohga S, Nakamura K, Shioyama Y, Sasaki T, Yoshitake T, Atsumi K, Terashima K, Asai K, Matsumoto K, Yoshikawa H, Kawano Y, Honda H. Radiotherapy for Early-stage Primary Ocular Adnexal Mucosa-associated Lymphoid Tissue Lymphoma. *Anticancer Res*. 2013 ;33(12): 5575-8.
- Shinoto M, Shioyama Y, Nakamura K, Nakashima T, Kunitake N, Higaki Y, Sasaki T, Ohga S, Yoshitake T, Ohnishi K, Asai K, Hirata H, Honda H. Postoperative radiotherapy in patients with salivary duct carcinoma: clinical outcomes and prognostic factors. *J Radiat Res* 2013;54:925-30. doi: 10.1093/jrr/rrt026.
- Hirata H, Nakamura K, Kunitake N, Shioyama Y, Sasaki T, Nonoshita T, Inoue K, Nagashima A, Ono M, Honda H. Association between EGFR-TKI Resistance and Efficacy of Radiotherapy for Brain Metastases from EGFR-mutant Lung Adenocarcinoma. *Anticancer Res* 33, 1649-1656, 2013
- Chikui T, Obara M, Simonetti AW, Ohga M, Koga S, Kawano S, Matsuo Y, Kamintani T, Shiraishi T, Kitamoto E, Nakamura K,

Yoshiura K. The principal of dynamic contrast enhanced MRI (DCE-MRI) and its application in the head and neck region. *Int J Dentistry*. 2012, Article ID 480659, 10 pages, 2012. doi:10.1155/2012/480659.

Yoshitake T, Nakamura K, Shioyama Y, Sasaki T, Ohga S, Nonoshita T, Terashima K, Asai K, Matsumoto K, Honda H. Stereotactic Body Radiation Therapy for Stage I Non-small Cell Lung Cancer Patients with Chronic Respiratory Insufficiency Requiring Domiciliary Oxygen Therapy. *Anticancer Res*. 2012;32:4041-4.

Hatakenaka M, Nakamura K, Yabuuchi H, Shioyama Y, Matsuo Y, Ohnishi K, Sunami S, Kamitani T, Setoguchi T, Yoshiura T, Nakashima T, Nishikawa K, Honda H. Pretreatment Apparent Diffusion Coefficient of the Primary Lesion Correlates with Local Failure in Head-and-Neck Cancer Treated with Chemoradiotherapy or Radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 81: 339-45, 2011

Nakamura K, Akimoto T, Mizowaki T, Hatano K, Kodaira T, Nakamura N, Kozuka T, Shikama N, Kagami Y. Patterns of Practice in Intensity-modulated Radiation Therapy and Image-guided Radiation Therapy for Prostate Cancer in Japan. *Jpn J Clin Oncol*. 2012;42:53-7.

〔学会発表〕(計 7 件)

中村和正. 当院における固定具の開発の現状と今後. 第 12 回九州放射線治療システム研究会. 2014.1.25 福岡市

Soufi M, Arimura H, Nakamura K, Shioyama Y, Hirose T, Umedu Y, Toyofuku F. Automated estimation of intra-fractional patient setup errors by using range images obtained via time-of-flight camera. The 14th international symposium on advanced intelligent system. 2013.11.13-11.16 Daejeon, Korea.

Soufi M, Arimura H, Nakamura K, Shioyama Y, Hirose T, Umedu Y, Toyofuku F. Real-time monitoring of intra-fractional patient setup errors using range images acquired from time-of-flight camera. 日本放射線腫瘍学会第 26 回学術大会. 2013.10.18-10.20 弘前市

中村和正. 呼吸性移動の制御と放射線診療—放射線腫瘍医の立場から—第 41 回日本放射線技術学会秋季学術大会、福岡市 2013.10.17-19

Soufi M, Arimura H, Nakamura K,
Iwasaki A, Shioyama Y, Toyofuku F,
Hirata H. Automated method for
monitoring of patient positioning during
treatment time based on range images
acquired from time-of-flight camera. 第
105 回日本医学物理学会学術大会.
2013.4.11-4.14 横浜

中村和正. 「IMRT/ブラキセラピーの登場
による前立腺癌の治療方針の PS」(シン
ポジウム)日本放射線腫瘍学会第 25 回学
術大会 2012.11.23-25. 東京

中村和正. 「放射線治療部門システムへの
提言：現状と将来を考える」日本放射線腫
瘍学会第 24 回学術大会 神戸市
H23.11.17-19 中村和正. 「放射線治療の
実際と問題点、そして今後の展望」第 2
回医療放射線技術研究会 2012.3.3 大阪市

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

[http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/
details/K001997/index.html](http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K001997/index.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 和正 (NAKAMURA Katsumasa)
九州大学・大学病院・准教授
研究者番号：20284507

(2) 研究分担者

有村 秀孝 (ARIMURA Hidetaka)
九州大学・医学研究院・准教授
研究者番号：20287353

塩山 善之 (SHIOYAMA Yoshiyuki)
九州大学・医学研究院・研究員
研究者番号：10323304

穴井 重男 (ANAI Shigeo)
九州大学・大学病院・診療放射線技師
研究者番号：90380469

吉留 郷志 (YOSHIDOME Satoshi)
九州大学・大学病院・診療放射線技師
研究者番号：70419612

(3) 連携研究者

なし