

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22659366
 研究課題名（和文）口腔外科領域における拡張現実感技術を用いた次世代立体画像手術支援システムの開発
 研究課題名（英文）Development of a next-generation three-dimensional computer aided surgery system using augmented reality technology in oral surgery
 研究代表者
 高戸 毅 (TAKATO TSUYOSHI)
 東京大学・医学部附属病院・教授
 研究者番号：90171454

研究成果の概要（和文）：口腔外科分野では、とくに三次元的な形態・位置・方向を正確に把握することが重要である。術者が直接見ることのできない部位を直接視覚的に認識するには、異分野における先進的技術の積極的な導入が不可欠である。本研究では、手術支援システムに拡張現実とコンピュータビジョンを導入し、三次元画像マッチングによりマーカレスにて三次元 CT 画像を実空間に高速・高精度・非侵襲にレジストレーションすることを可能とした。

研究成果の概要（英文）：In the field of oral surgery, it is important to understand particularly three-dimensional form, position, direction. The active introduction of the advanced technique in the different field is essential to recognize the site which a surgeon cannot watch directly visually directly. In this study, we introduced augmented reality and computer vision into a surgical support system to allow markerless high-speed/high-precision/non-invasive registration of three-dimensional CT images in real space by three-dimensional image matching.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	0	1,500,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	390,000	3,190,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学、外科系歯学

キーワード：手術支援システム、立体画像、拡張現実

1. 研究開始当初の背景

歯科・口腔外科分野では、とくに三次元的な形態・位置・方向を正確に把握することが重要である。術者が直接見ることのできない部位を直接視覚的に認識するには、異分野における先進的技術の積極的な導入が不可欠である。

ナビゲーション手術では、CT 画像（コンピ

ュータ空間）と患者位置（実空間）の空間的対応関係を求める処理（レジストレーション）が必要である。レジストレーション方法には、固定用スクリューや位置決め用スプリントなどにマーカフレームを用いる方法、レーザーを用いた皮膚表面のスキャニングによるマーカレスレジストレーションなどがある。しかしながら、マーカフレームの緩みによる誤差、マーカフレームによるワ

ークスペースの拘束、手動によるレジストレーションではポイントマッチングによる誤差などがある。軟組織を用いたレジストレーションは精度が低い。また、ナビゲーションのための情報が術野でなくモニタに表示されるので、術者は術野とモニタを交互に見なければならない。

また、最近のコンピューターグラフィックス演算処理テクノロジーの急速な進歩により、裸眼立体映像技術の様々な分野への応用が進んできている。次世代の裸眼立体映像方式として注目されている空間像再生方式のインテグラル方式は、ホログラムと異なり撮影・表示ともレーザーは使用せずに、空間内に被写体が存在する場合と同様な光線を再生する方式である。すなわち、この方式は、観察者の見る位置に応じて映像が自然に変化するとともに、像の見かけの位置と光学的な位置が一致する。したがって、両眼視差方式の立体映像で生じるような眼の生理的疲労がなく、特殊な立体用のメガネをかけずに見る位置を上下左右に変化させても、われわれが現実の空間で被写体を観察するのと同様に、立体映像を観察することが可能である。

インテグラル方式である Integral Videography (IV) 裸眼立体ディスプレイは、現実空間と Virtual Reality 空間を重ね合わせる Augmented Reality (AR) 技術であり、液晶ディスプレイとレンズアレイを用いて空間結像を生成するという三次元画像表示方法で、術前画像から構成した三次元画像による手術シミュレーションを術野に重ね合わせ、術者が術野から目が離さずに直接的に三次元画像を実空間にて視覚化できるシステムである。

本研究では、現実環境にコンピュータを用いて情報を付加提示する技術である AR と Computer Vision (CV) による画像認識により物体の位置・姿勢の取得を行う三次元画像マッチングを統合して CV 立体映像手術支援システムとして用いる。

2. 研究の目的

AR により実空間上に浮かんで見える三次元 CT 画像と手術部位を三次元画像マッチングによりマーカーレスにて自動でレジストレーションを行う方法を開発する。位置合わせ精度や処理時間について検証し、本システムの有用性について検討する。

3. 研究の方法

(1) 立体映像の表示

AR による実空間への立体映像の表示には、IV 裸眼立体ディスプレイを用いた。高密度の

背面液晶ディスプレイと凸レンズアレイから構成され、背面ディスプレイの各画素から発する光線が凸レンズを通して実空間の正しい位置に結像するように画素値を計算した。医用画像処理オープンソースソフトウェア 3D Slicer の機能を拡張し、IV 立体映像を作成するためのグラフィックス用演算ユニット (GPU) を用いた独自のアルゴリズムを用いた。顎骨の三次元データは CT スキャナ Aquilion ONE (Toshiba) により取得し、歯の三次元データは三次元スキャナ Rexcan DS2 (Solutionix) により取得した。歯・顎骨の三次元 CT 画像を画像処理ソフトウェア Mimics (Materialise)、Geomagic Qualify (geomagic) にて構成した。

(2) IV ディスプレイのキャリブレーション

三次元画像マッチングには、2 台の CV カメラ E0-0813CCD (Edmund Optics) の視差画像を用い、HALCON10 マシンビジョン構築ツール (MVTecSoftware) およびオープンソースソフトウェア OpenCV による動的閾値処理により実空間上に浮かんで見えるキャリブレーション用画像と CV カメラの座標系を統合した。この CV システムの XY 方向の計測分解能は 0.1mm、Z 方向の計測分解能は 0.48mm である。

(3) 三次元 CT 画像と患者位置のレジストレーション

三次元画像マッチングにより、CT 画像と患者位置の座標系を統合した。歯の解剖学的特徴を利用し、各輪郭点について特徴量を与え、画像から抽出される特徴量の類似度に基づいてマッチングを行なった。高精度のレジストレーションのために検出される特徴点が 200 点以上を条件とした。検出された歯の特徴点は歯の三次元 CT 画像上の対応している特徴点に対応させた。三次元画像マッチングにおける認識時間および位置誤差を評価した。歯の表面に 14 評価点を作成し、三次元画像マッチング後に位置誤差を計 10 回計測した。計測には CV カメラ E0-0813CCD を用いた。

4. 研究成果

三次元画像マッチングによる自動計測法により IV ディスプレイのキャリブレーション用画像が認識された。同様に、自動的に歯の領域を検出し、歯の輪郭を生成して三次元 CT 画像と患者位置のレジストレーションがなされた。マーカーレスにて三次元 CT 画像を実空間に表示した。三次元画像マッチングによる認識時間は、特徴点検出・マッチングに 0.6 ± 0.05 秒、変換行列計算に 2.3 ± 0.2 秒を要した。三次元的な誤差は、 0.63 ± 0.23 mm であった (平均±標準偏差)。

本システムでは、歯の解剖学的特徴により全自動のレジストレーションが可能であった。この方法は、AR と CV による三次元画像マッチングを用いるため非接触・非拘束で高速・高精度・非侵襲なレジストレーションができる特徴がある。物体認識に用いる「マーカー」を必要とせず、物体そのものを認識して動きに追従することで三次元的にリアルな CT 画像情報を現実空間にリアルタイムで高精度に立体表示することが可能であった。

歯のように対象物が複雑な立体形状をなしている、その形状が三次元形状データで与えられているときに有効な手法である。本研究に用いた CV システムの XY 方向の計測分解能は 0.1mm、Z 方向の計測分解能は 0.48mm であり、本システムの位置合わせ精度の限界は理論上 0.52 mm である。計測上は、0.63 ± 0.23mm (平均 ± 標準偏差) であり理論値に近似した。今後、さらに精度や処理速度を上げるには、カメラの高解像度化、ディスプレイの高精細化、コンピュータの計算能力の向上などの必要がある。

本システムにおける AR と CV を導入した三次元画像マッチングでは、マーカーレスにて三次元 CT 画像を実空間に高速・高精度・非侵襲にレジストレーションすることが可能である。歯は体外に露出する唯一の硬組織であり、三次元画像マッチングによる画像認識の対象として有用である。

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 2 件)

- ① 齊藤健太郎、末永英之、杉山円、宇波雅人、大久保和美、瀬戸一郎、小笠原徹、星和人、森良之、高戸毅：革新的異分野技術を融合した歯科を主導とする次世代デバイス開発プロジェクト、日本歯科医学会誌 31:39-43, 2012
- ② 末永英之、チャンフィーホワン、杉山円、宇波雅人、高橋直子、長濱浩平、大久保和美、瀬戸一郎、小笠原徹、森良之、廖洪恩、正宗賢、土肥健純、高戸毅：患者と 3 次元立体画像を重ね合わせる拡張現実感表示技術の歯科・口腔外科領域への応用、日本歯科医学会誌 30:35-39, 2011

[学会発表] (計 4 件)

- ① 末永英之、杉山円、倉林くみ子、阿部雅修、安部貴大、瀬戸一郎、西條英人、小笠原徹、森良之、高戸毅：インテグラルビデオグラフィを用いた歯の三次元拡張

現実感表示、第 65 回 日本口腔科学会総会、2011 年 4 月 21-22 日、タワーホール船堀、東京

- ② 末永英之、宇波雅人、瀬戸一郎、阿部雅修、杉山円、小笠原徹、森良之、高戸毅：ボーンサージェリーに対する拡張現実感ナビゲーションシステムの導入に関する検討、第 55 回 日本口腔外科学会総会 2010 年 10 月 16-18 日、幕張メッセ、千葉

- ③ 末永英之、宇波雅人、杉山円、齊藤健太郎、前田祐二郎、長濱浩平、大久保和美、近津大地、森良之、須佐美隆史、高戸毅：顎矯正手術に対する拡張現実感ナビゲーションシステムの導入に関する検討、第 20 回日本顎変形症学会総会、2010 年 6 月 15-16 日、札幌プリンスホテル、札幌

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://plaza.umin.ac.jp/~oralsurg/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高戸 毅 (TAKATO TSUYOSHI)
東京大学・医学部附属病院・教授
研究者番号：90171454

(2) 研究分担者

土肥 健純 (DOHI TAKEYOSHI)
東京大学・情報理工学系研究科・教授
研究者番号：40130299

森 良之 (MORI YOSHIYUKI)
東京大学・医学部附属病院・准教授
研究者番号：70251296

末永 英之 (SUENAGA HIDEYUKI)
東京大学・医学部附属病院・特任講師
研究者番号：10396731

杉山 円 (SUGIYAMA MADOKA)
東京大学・医学部附属病院・助教
研究者番号：90 451814

(3)連携研究者

正宗 賢 (MASAMUNE KEN)
東京大学・情報理工学系研究科・准教授
研究者番号：00280933