

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23792318

研究課題名（和文） 口腔外科領域におけるマイクロマシン・ロボット技術を用いた次世代治療システムの開発

研究課題名（英文） Development of the new medical devices using the micro-machine and robot technology in the oral surgery

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：

口腔外科手術において、骨や血管・神経の位置関係を立体的に把握することは重要である。本研究では、リアルタイム画像誘導手術支援システムによる拡張現実技術、画像処理技術、手術用ロボットを組み合わせることにより、安全な制御を可能とする手術用ロボット制御システムの基盤技術の開発を行なった。本研究で提案した画像マッチングによる立体画像の自動計測法は、位置合わせ精度の向上と単純化が可能で、口腔外科における有効性が確認された。また、マイクロマシン技術を用いた非接触駆動による骨延長マイクロ体内ロボットの基盤技術の開発を行なった。外部磁石を駆動源に用いて、外部磁石の位置を制御することで、非接触で骨延長装置を駆動することを実現した。

研究成果の概要（英文）：

In the oral surgery, it is important to grasp the three-dimension positional relationship of bones, vessels and nerves. In this study, the basic technology of surgical robot control system to enable safe control was developed by integrating the augmented reality technology, image processing technology, and surgical robots with the real time image-guided surgery support system. The automatic measurement method of a three-dimensional image by image matching proposed in this study enables the accuracy improvement and simplification in positioning, and the validity in oral surgery was confirmed. Moreover, the basic technology of a bone extension micro robot with a non-contact driving system employing micro-machine technology was developed. The noncontact driving of a bone lengthening system was realized by employing an external magnet for the driving source and controlling the position of the external magnet.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 3,200,000 | 960,000 | 4,160,000 |

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：医用ロボット、マイクロマシン、医用画像処理

1. 研究開始当初の背景

近年の外科領域における医療ロボットの進歩はめざましく、ヒトの能力を越えた新しい目と手となる手術用ロボティックシステムが盛んに研究・開発されており、ロボット

技術を用いた低侵襲医療が進んできている。また、マイクロマシンなどアクチュエータの新材料の出現や加工法の発展、ロボット技術の急速な進歩により、既存の技術では実現することができない技術的問題が解決され

つある。口腔外科学分野は、このようなマイクロマシンやロボット技術による制御手法の特徴を生かせる分野である。

2. 研究の目的

口腔外科手術において、骨や血管・神経の位置関係を立体的に把握することは重要である。CTなどの三次元画像（コンピュータ空間）を実空間中の正確な位置に表示するためには、三次元位置を計測し、グローバルな座標系（実空間）にレジストレーションをする必要がある。本研究では、画像マッチングによる自動計測法を用いた三次元拡張現実による画像オーバーレイシステムを開発し、立体映像を実空間に表示することにより、術中に視線の移動がなく、手術部位の内部構造およびナビゲーション情報を見ることを可能とする。また、マイクロマシン技術を用いたサイクロイド減速機構を連結し、磁力源をもちいることで外部から非接触で回転させる体内埋込式の骨延長装置を開発する。

3. 研究の方法

(1) 三次元拡張現実による画像オーバーレイシステム

拡張現実画像を正しい位置に立体表示するために、拡張現実画像（コンピュータ空間）と患者（実空間）の座標系を統合する必要がある。三次元位置計測には、2台のカメラの視差画像を利用し、特徴点の三次元位置を正確に計測する方法を用いた。特徴点抽出の処理では、入力画像に対して閾値により特徴点に近い輝度値を持った領域を選択した。照明などの環境の影響を軽減するために動的閾値を導入し、特徴点抽出及びマッチングを行った。口腔外科手術における有効性を評価するために顎骨モデルを利用し、求めた変換行列を使って三次元CT画像との顎骨モデルを重ね合わせた。それに基づいてスクリーを埋入して標的位置誤差を評価した。実験の評価方法として、設定された埋入経路のターゲットの位置と実際に埋入した顎骨モデル上のターゲットの位置を比較した。

(2) 非接触駆動による骨延長装置

外部の永久磁石の位置を制御し、内歯車を揺動運動させることで駆動する。外部磁石は、それぞれ内部磁石に対して吸引・反発する極性のものが回転子の腕の端に設置されている。この回転子を回すことで、内部磁石に加わる磁力の向きを制御する。外部磁石のステップ駆動によって、内歯車に加わる力を求めるために、外部磁石の駆動で内部磁石に加わる力を測定した。外部磁石の回転はステップモータを用いて制御した。

4. 研究成果

(1) 三次元拡張現実による画像オーバーレイシステム

特徴点抽出及びマッチングを行った結果、右と左カメラの画像により特徴点が検出されることが確認された。マッチング結果を利用し、拡張現実画像座標系（コンピュータ空間）からグローバル座標系（実空間）への変換行列を求めた時の基準位置合わせ誤差は1mm以下であった。顎骨モデルにおけるスクリーへの埋入実験では、拡張現実画像により歯根が可視化され、歯根位置に損傷を与えることなく、顎骨モデルにスクリーの埋入が可能であった。立体映像を術野に表示することにより、術中に視線の移動がなく、手術部位の内部構造および位置や方向などのナビゲーション情報を見ることを可能であった。本研究で提案した画像マッチングによる拡張現実画像の自動計測法の有効性が確認された。画像マッチングによる拡張現実画像の自動計測法により、位置合わせ精度の向上と単純化が可能であった。さらに、カメラのパラメータやアルゴリズムの最適化により精度を向上させることが今後の課題である。

(2) 非接触駆動による骨延長装置

4つの外部磁石から内部磁石が受ける力が八角形状の軌跡を描き、計算によって予測された形に近い軌跡を描いた。外部磁石によって実際に骨延長装置の駆動を行った結果、外部磁石はステップモータによって回転を制御した。外部磁石を90度ステップで回転させることで、内歯車を揺動運動させ、移動体を駆動した。駆動原理では、磁石には8方向の力が加わるが、実際には磁石が動く際に力のベクトルも変化する。計算結果から、内部磁石に働く力は、八角形を基準として、その間で弧を描く様な軌跡をとることが分かった。外部磁石を駆動源に用いて、外部磁石の位置を制御することで、非接触で骨延長装置を駆動することを実現した。今後さらなる発生力の向上を目指す。また、本装置をより小さな部位でも使用できるようにするため、さらなる小型化を検討していく。

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6件）

- ① Suenaga H, Tran HH, Liao H, Masamune K, Dohi T, Hoshi K, Mori Y, Takato T: Real-time in situ three-dimensional integral videography and surgical navigation using augmented reality: a pilot study, International Journal of Oral Science, doi: 10.1038/ijos.2013.26 (in press)

- ② Kadota Y, Inoue K, Uzuka K, Suenaga H, Morita T : Non-contact Operation of a Miniature Cycloid Motor by Magnetic Force, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, doi: 10.1109/TMECH.2012.2208225 (in press)
- ③ Matsuzaki Y, Kadota Y, Inoue K, Uzuka K, Suenaga H, Sasaki K, Morita T : Non-contact actuation of less-invasive bone lengthening device using embedded cycloidal motor driven by permanent magnets from the outside, Key Engineering Materials, 523-524:722-726, 2012
doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.523-524.722
- ④ 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
- ⑤ Tran HH, Suenaga H, Kuwana K, Masamune K, Dohi T, Nakajima S, Liao H : Augmented reality system for oral surgery using 3D auto stereoscopic visualization, Med Image Comput Assist Interv 14:81-8, 2011
doi:10.1007/978-3-642-23623-5_11
- ⑥ 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12件)
- ① 内保徹平、宇塚和夫、末永英之、森田剛：水晶振動子の非線形弾性率を用いた非接触力センサ、第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、2013年5月15日～17日、箱根ホテル小涌園
- ② 横瀬誉実、宇塚和夫、末永英之、佐々木健、森田剛：非接触型骨拡張デバイスの高性能化の検討、第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、2013年5月15日～17日、箱根ホテル小涌園
- ③ 末永英之、星和人、杉山円、田澤健人、岡田恵美、西條英人、森良之、高戸毅：皮下に移植された再生軟骨による体表形状変化の三次元的解析法の検討、第12回日本再生医療学会総会、2013年3月21日～23日、パシフィコ横浜
- ④ 末永英之、杉山円、瀬戸一郎、西條英人、小笠原徹、星和人、森良之、高戸毅：コンピュータビジョンと拡張現実によるマーカーレス手術ナビゲーションシステム、第57回日本口腔外科学会総会、2012年10月19日～21日、パシフィコ横浜会議センター
- ⑤ Matsuzaki Y, Kadota Y, Uzuka K, Suenaga H, Sasaki K, Morita T : Non-Contact Actuation of Less-Invasive Bone Lengthening Device Using Embedded Cycloidal Motor Driven by Permanent Magnets from the outside, The 14th International Conference on Precision Engineering, 8-10 November 2012, Awaji Yumebutai International Conference Center, Hyogo, Japan
- ⑥ 末永英之、杉山円、宇波雅人、瀬戸一郎、大久保和美、西條英人、小笠原徹、星和人、森良之、高戸毅：三次元画像マッチングによるコンピュータビジョン立体映像手術支援システム、第66回日本口腔科学会学術集会、2012年5月17日～18日、広島国際会議場
- ⑦ 正宗賢、チャンフィーホワン、桑名健太、廖洪恩、保坂晃弘、宮田哲郎、中島勸、末永英之、中川匠、鈴木孝司、村垣善浩、山下紘正、千葉敏雄、守谷哲郎、岩崎泰洋、土肥健純：患者・患部リアルタイム重ね合わせ実三次元表示システムの開発、第51回日本生体医工学会大会、2012年5月10日～12日、福岡国際会議場
- ⑧ 松崎由貴、門田洋一、宇塚和夫、末永英之、佐々木健、森田剛：骨延長器デバイスの小型化に関する研究、2012年度精密工学会春季大会学術講演会、2012年3月14日～16日、首都大学東京
- ⑨ チャンフィーホワン、末永英之、廖洪恩、桑名健太、正宗賢、土肥健純、中島勸、森良之、高戸毅：三次元画像マッチングによる手術のための拡張現実システムの開発、第20回日本コンピュータ外科学会、2011年11月22日～24日、慶應義塾大学理工学部矢上キャンパス
- ⑩ Tran HH, Suenaga H, Kuwana K, Masamune

K , Dohi T, Nakajima S, Liao H :
Augmented reality system for oral
surgery using 3D autostereoscopic
visualization, The 14th International
Conference on Medical Image Computing
and Computer Assisted Intervention
(MICCAI 2011), 18-22 September 2011,
Westin Harbor Castle, Toronto, Canada

- ⑪ 門田洋一、井上和彦、宇塚和夫、末永英之、森田剛：低侵襲型骨拡張デバイスの永久磁石による非接触駆動、第23回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、2011年5月18日～20日、愛知県産業労働センター（ウイंकあいち）
- ⑫ 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日～22日、タワーホール船堀

〔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://plaza.umin.ac.jp/~oralsurg/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし