

CTガイド下穿刺補助システムにおける 位置情報推定手法の提案

福間 健太¹ 後藤 佑介¹ 酒井 晃二² 増井 浩二²

概要: 近年, CT(Computed Tomography) 画像を用いた画像誘導穿刺である CT ガイド下穿刺が広く利用されている. CT 画像では, 体のどの部位についても範囲にほぼ制限なく画像を取得できる. このため, CT ガイド下穿刺では, 体内のすべての部位にあるターゲットに対して理論上は穿刺可能であるが, 穿刺可能な範囲の制限, 医師の修練期間の確保, および CT スキャンにおける被曝線量の増加といった課題が挙げられる. 筆者らの研究グループでは, 京都府立医科大学大学院放射線診断治療学講座と共同で, CT ガイド下で様々な方向からの穿刺を補助する CT ガイド下穿刺補助システムを提案しており, 筆者らは穿刺センサデバイスの設計および実装を行っている. 本研究では, CT ガイド下穿刺補助システムにおいて体内の針先の位置情報を推定する手法を提案する. 提案手法では, 赤外線センサを用いて手術中に取得した医師の手の位置情報をもとに, 穿刺針の針先の位置を推定する. 評価では, 提案手法をもとに実装した穿刺センサデバイスのプロトタイプを用いて, 穿刺針の位置情報の精度および医師による有用性を確認した. 精度評価実験では, 提案手法で推定したユークリッド距離と CT 画像上のユークリッド距離の誤差を測定し, 最大値は 2.451 mm, 最小値は 0.670 mm, 平均誤差は 1.813 mm となり, 医師が事前に設定した誤差 5 mm 以内を満足した. また, 有用性評価では, 医師が実際に穿刺センサデバイスのプロトタイプを利用し, 穿刺時に提案手法が有用であることを示した.

1. はじめに

現在, 医療現場で US (Ultrasonography) 画像や CT (Computed Tomography) 画像をガイドとして用いて穿刺を行う画像誘導穿刺が利用されている. 穿刺とは, 体外から穿刺針と呼ばれる針状の医療機器を体内に刺し, 細胞の摘出, 薬品の注入, および放射線照射による治療を行う医療行為である. 医師は, 肺腫瘍, 肝腫瘍, 腎腫瘍, および椎間膿瘍といったターゲットに対して, 画像を見ながら穿刺針を挿入し, 治療を行う. 画像誘導穿刺技術を用いることで, 体内の様子を画像で確認しながら, 体外から見えない病巣を正確に穿刺できる. この技術は, 医療現場で生検, 膿瘍ドレナージ, および癌の局所治療に用いられており, 有用な治療法である.

これまでの画像誘導穿刺では US 画像を用いてきたが, US 画像で表示可能な体の範囲に限界があり, 近年は CT 画像を用いた画像誘導穿刺である CT ガイド下穿刺 [1] が

広く利用されている. CT 画像では, 体のどの部位についても範囲にほぼ制限なく画像を取得できる. このため, CT ガイド下穿刺では, 体内のすべての部位にあるターゲットに対して理論上は穿刺可能である. しかし, 穿刺可能な範囲の制限, 医師の修練期間の確保, および CT スキャンにおける被曝線量の増加といった課題が挙げられる.

筆者らの研究グループでは, 京都府立医科大学大学院放射線診断治療学講座と共同で, CT ガイド下で様々な方向からの穿刺を補助する CT ガイド下穿刺補助システムを提案している. 本研究では, CT ガイド下穿刺補助システムにおいて, 体内に挿入した穿刺針の針先の位置情報 (以下, 穿刺針の位置情報) を推定する手法を提案する. 提案手法では, 赤外線センサを用いて, 手術中に取得した医師の手の位置情報をもとに, 穿刺針の位置情報を推定する.

2. CT ガイド下穿刺

2.1 概要

CT ガイド下穿刺の様子を図 1 に示す. 医師は, 肺腫瘍, 肝腫瘍, 腎腫瘍, および椎間膿瘍といったターゲットに対して, CT 画像を見ながら穿刺針を挿入し, 治療を行う. 画像誘導穿刺技術を用いることで, 医師は体内の様子を CT 画像で確認しながら, 体外から見えない病巣を正確に穿刺

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Natural Science and Technology,
Okayama University

² 京都府立医科大学大学院放射線診断治療学講座
Department of Radiology, Kyoto Prefectural University of
Medicine

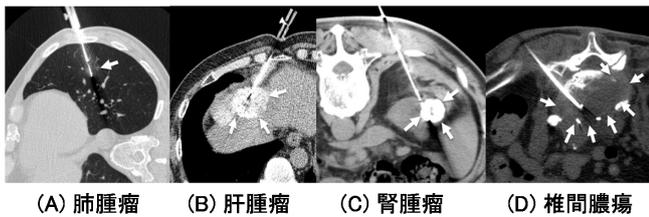


図 1 CT ガイド下穿刺の例

できる。この技術は、医療現場で生検、膿瘍ドレナージ、および癌の局所治療に用いられており、有効な治療法である。

2.2 現状の課題

CT 画像は、体のどの部位についても範囲にほぼ制限なく画像を取得できる。このため、CT ガイド下穿刺は、体内のすべての部位にあるターゲットに対して、理論上は穿刺可能である。しかし、現在の CT ガイド下穿刺は CT 断面に沿った穿刺が基本であるため、穿刺可能な範囲は限定される。また、CT 断面に沿って確実に穿刺するため、針の位置情報や穿刺経路といった様々なパラメータを一致させる必要があり、医師は一定期間以上の修練を確保する必要がある。さらに、熟練医師であっても、穿刺が複雑な場合は手技時間が長くなり、手術中に行う CT スキャンによる被曝線量が増加する。

3. CT ガイド下穿刺補助システム

3.1 概要

筆者らの研究グループでは、CT ガイド下で様々な方向からの穿刺を補助する CT ガイド下穿刺補助システム [2] を提案している。提案システムでは、穿刺針に搭載されたセンサデバイスを用いて穿刺針の位置情報を継続的に取得することで、CT ガイド下でターゲットと穿刺針の位置関係を空間的に把握できる。また、CT 画像をもとにボリュームレンダリング技術で作成した 3D 画像を利用することで、CT 画像のみの情報による断面に沿った穿刺だけでなく、様々な方向からより最適な穿刺経路を見つけることが可能となる。さらに、穿刺情報表示機能により、現在の穿刺針からターゲットまでの穿刺経路を提示することで、熟練した医師でなくても正確にターゲットへ穿刺できる。

3.2 システム構成

図 2 に示すように、提案システムは 4 種類の処理部で構成される。以下の項で、順番に説明する。

3.2.1 センサデバイス情報処理部

穿刺針に組み合わせたセンサデバイスを用いて、穿刺針の位置情報を定期的に測定する。また、穿刺位置が事前に選択した経路と比較して一定以上離れた場合、穿刺位置情報処理部からの要求に応じて、センサデバイスは医師に穿刺経路の修正を伝える。

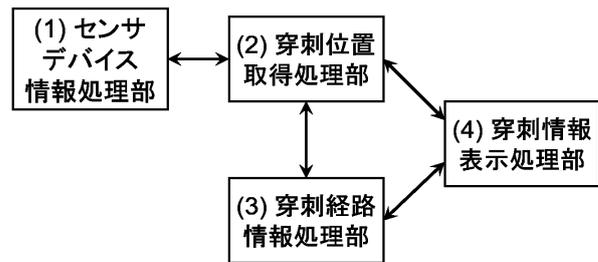


図 2 システム構成

3.2.2 穿刺位置情報処理部

センサデバイス情報処理部から取得した穿刺針の位置情報に基づいて、穿刺針の先端部の位置情報を出力する。また、2D の CT 画像をもとに、3D による CT 画像のデータを構築する。

3.2.3 穿刺経路情報処理部

穿刺位置情報処理部で出力した 3D による CT 画像をもとに、経路候補を選択するアルゴリズムを用いて、穿刺に適した複数の穿刺経路を求める。

3.2.4 穿刺情報表示処理部

3D による CT 画像の情報、穿刺針の針先の位置情報、および医師が選択した穿刺経路の情報を組み合わせて、手術室内に設置した端末上のディスプレイに表示することで、医師による穿刺を補助する。

3.3 実現項目

提案システムを実現するため、(1) 穿刺センサデバイスの設計および実装、(2) 穿刺経路選択アルゴリズムの提案、および (3) 穿刺情報表示機能の設計および実装の 3 項目が必要である。以下の項で順番に説明する。

3.3.1 穿刺センサデバイスの設計および実装

本システムで穿刺針の位置情報を取得するセンサデバイスの利用例を図 3 に示す。人体に穿刺針を挿入する場合、穿刺針が骨、臓器、および血管を傷つけないように注意するため、医師は、事前に選択した経路と実際の穿刺による軌跡との誤差をミリ単位で定期的に確認する必要がある。そこで、LeapMotion [3] といったモーションセンサデバイスを介して穿刺針を扱う医師の手の位置情報を計算機に送り、穿刺針の位置情報を推定することで誤差を確認する。

3.3.2 穿刺経路選択アルゴリズムの提案

人体の皮膚からターゲットまでの穿刺において、骨、臓器、および血管といった穿刺できない部位の情報に基づき、できるだけ患者の負担が少ない経路を求める必要がある。このため、最適な穿刺経路を選択する手法を提案する必要がある。具体的には、複数枚の CT 画像をもとに 3 次元再構成処理で出力した 3D の CT 画像を用いて、穿刺可能な領域を求める。また、皮膚からターゲットまでの距離ができるだけ短く、かつ穿刺中に許容される誤差ができるだけ大きい経路を選択する。

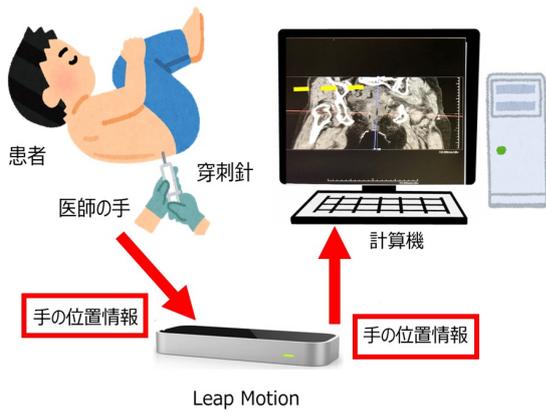


図 3 センサデバイスの利用例

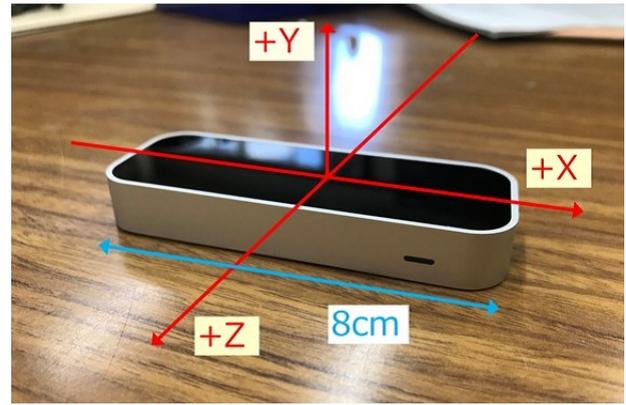
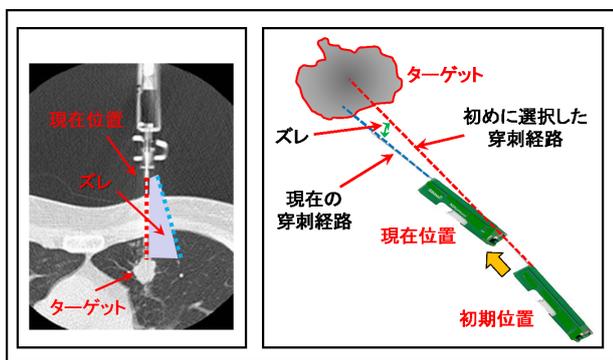


図 5 Leap Motion



穿刺用ディスプレイ

図 4 穿刺情報表示機能

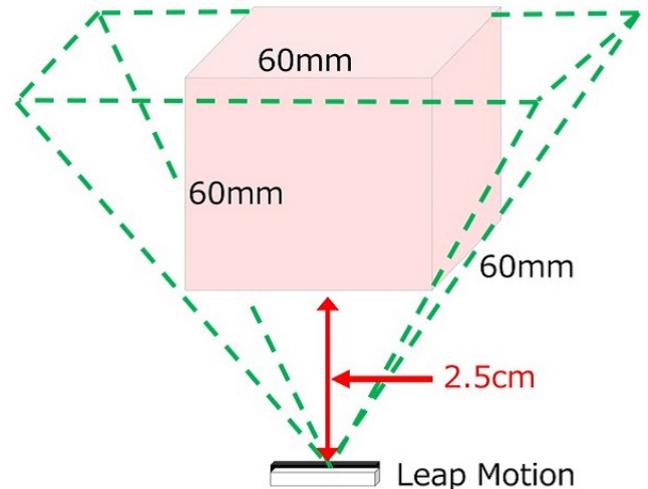


図 6 Leap Motion の検出可能範囲

3.3.3 穿刺情報表示機能の設計および実装

従来の CT ガイド下穿刺において、CT 画像が表示されたディスプレイを見ながら医師が穿刺を行うため、穿刺情報表示機能を設計および実装する必要がある。提案システムでは、図 4 に示すように、現在の穿刺針の位置情報と選択経路を CT 画像上で組み合わせることで表示する。このとき、穿刺経路の軌跡と事前を選択した穿刺経路との誤差を可視化することで、医師による正確な穿刺を補助する。

4. Leap Motion

本研究では、手術中における医師の手の位置情報を取得するため、手や指先の検出に特化した赤外線センサである Leap Motion [3] を用いる。Leap Motion のデバイスの外観を図 5 に示す。

Leap Motion のハードウェアは 3 個の赤外線 LDE と 2 個のステレオカメラで構成され、赤外線 LED が測定対象物に照射した光の反射を 2 個のステレオカメラで撮影し、手や指の動きを認識する。このため、マウスやタッチパネルを利用せずにジェスチャのみで直観的にコンピュータを操作できる。また、高精度な赤外線センサが、1 秒間で 200 フレームを処理し、0.01 mm オーダの精度で手や指の動きを検出できる。

Leap Motion の使用例として、両手や指 10 本の動きの情報をコンピュータに保存したり、空中に書いた指の軌道をディスプレイ上に表示できる。また、解析専用のソフトウェアを用いて、上下左右、前後、捻りといった複雑な 3 次元の手や指の動きを検出できる。Leap Motion で認識可能な範囲を図 6 に示す。Leap Motion では、デバイスの 2.5 cm 上方、60 × 60 × 60 cm の逆ピラミッド型の 3D 空間内で手や指の動きを検出する。

Leap Motion が検出できるパラメータの例を表 1 に示す。また、Leap Motion で取得した情報の表示例を図 7 に示す。Leap Motion を用いて取得できる情報は、手や指の位置、方向、および速さといったパラメータである。位置情報の座標は、図 5 に示す座標の 3 軸の向きをもとに、Leap Motion が自動で設定する。これらの情報を用いることで、位置情報に関するシステムやアプリケーションを開発できる。

5. 関連研究

Zerobot [4] は、CT 透視画像や X 線透視画像を用いて針やカテーテルを体内に挿入することで治療を行う Inter-

表 1 Leap Motion が取得できるパラメータ例

検出対象	パラメータ
手	手の中心位置 手の法線ベクトル モーション
指	指先の位置 関節の位置 指先の方向ベクトル



図 7 Leap Motion が取得した情報の表示例

ventional Radiology (IVR) において、遠隔操作が可能な穿刺ロボットである。医師が治療中に発生する放射線被爆量を低減するロボットは開発されているが、医師の操作を支援する機能のみ対応しており、被曝を完全に防ぐことはできない。そこで、Zerobot では、ロボットを設置してから針を穿刺するまでのすべての過程を遠隔で操作することで、医師の放射線被爆を防ぐことができる。しかし、針を自動で患者の腫瘍の位置まで誘導するレジストレーション機能が未実装であるため、患者にとって安全な穿刺とは言えない。また、穿刺針は、手術前に取得した患者の CT 画像に基づいて決定された穿刺経路上でのみ移動できる。このため、Zerobot は、手術中に患者の体内組織の変形や呼吸運動によるターゲットの位置情報の変化に対応できず、医師が正確に穿刺できない場合がある。

Takao らの研究 [5] では、医師の放射線被爆とターゲットの位置の変化を考慮した遠隔制御ロボットを開発している。このロボットでは、リアルタイムで CT 画像を用いた穿刺誘導を行うことで、挿入中の穿刺針の位置を調整できる。人体模型および動物実験を用いた評価では、ロボットの操作における正確性を確認した。

6. 提案手法

6.1 概要

本研究では、3.3 節で述べた実現項目のうち、「(1) 穿刺センサデバイスの設計と実装」の実現において必要となる穿刺針の位置情報を求めるため、Leap Motion を用いた位

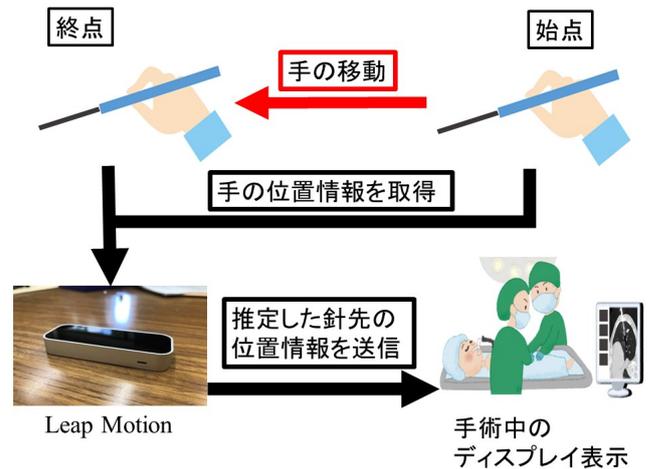


図 8 提案手法の構成

置情報推定手法を提案する。Leap Motion は医療システムの研究 [6] でも用いられている。

6.2 提案手法の処理手順

提案手法の構成を図 8 に示す。提案手法における処理手順は、以下の通りである。

1. 医師の判断に基づき、CT 画像上で穿刺を行う始点の座標を設定
2. 始点の位置に穿刺針の針先を設置
3. Leap Motion で事前に決定した始点における手の位置情報を取得
4. 穿刺針を移動させ、任意の契機で Leap Motion 上の座標から移動した終点となる手の座標を取得
5. Leap Motion で取得した手の始点と終点の位置情報をもとに 3 軸の増加量を算出
6. 5. で算出した増加量を CT 画像上で決定した始点に加えて CT 画像上の終点を推定

7. 穿刺センサデバイスのプロトタイプ

7.1 概要

穿刺センサデバイスの有用性と提案手法の位置情報の検出精度を検証するため、穿刺センサデバイスのプロトタイプを作成する。

7.2 要求定義

デバイスの設計で必要となる要求定義を作成した。以下に箇条書きで示す。

- ・ 手術中の周辺機器への影響を考慮し、センサと計算機の通信は有線通信であること。
- ・ 手術を妨げないため、デバイスは最小限の機器で構成されていること。
- ・ 穿刺デバイスに用いるセンサの精度はミリ単位で測定できること。



図 9 作成したグリップ

- ・ 実際の穿刺針の位置と測定された穿刺針の位置の誤差は ± 5 mm 以内であること。

7.3 実装

7.3 節で述べた要求をもとに、穿刺デバイスのプロトタイプを実装する。

7.3.1 穿刺治療中における医師の手を固定するグリップ

穿刺治療中に医師の手を固定するグリップを作成する。本研究で作成したグリップを図 9 に示す。グリップを装着する穿刺針は、手術において実際に利用されるものである。

熟練医師が普段利用する穿刺針は、握り方や握る位置が決まっておらず、評価における利用は困難である。そこで、穿刺中に医師が扱う穿刺針の握り方、握る位置を固定し、医師の手の位置情報を誤差なく取得するため、評価者の手の形にあったグリップを穿刺針に装着する必要がある。図 9 は、提案手法の評価者である増井の手の形に基づいたグリップである。本研究では、評価実験の前に、プラスチック粘土を使用して評価者の手の形に合ったグリップを作成した。

7.3.2 針先の位置情報

本研究では、穿刺針の位置情報を求めるため、Leap Motion を用いて穿刺針を扱う医師の手の位置情報を取得する。Leap Motion は、グリップを握る手の位置情報を測定し、定期的に計算機へ送信する。また、評価では、穿刺針の挿入において始点から終点までの直線距離に関する精度を測定する。このため、本研究で実装するプロトタイプで

は、6.2 節で述べた提案手法の処理手順をもとに、始点と終点の 2 点における手の位置情報のみを計算機に保存する。

7.3.3 Leap Motion の利用環境

本研究における Leap Motion の利用環境は以下の通りである。

- ・ 計算機 : 1 台
- ・ OS : Windows 10
- ・ ソフトウェア : Leap Motion SDK
- ・ 開発環境 : Visual Studio 2017
- ・ 使用言語 : Python

8. 評価実験

8.1 評価環境

提案手法の評価では、人体モデルを想定したファントム、ターゲット、CT 画像データ、および穿刺デバイスのプロトタイプを用いる。ファントムは医療工学の研究 [7], [8], [9] で広く用いられる。

ターゲットは、画鋸とゴムボールの 2 種類を用いる。画鋸は終点が明瞭となるため、Leap Motion の精度を正確に評価できる。また、ゴムボールは腫瘍の形に似ており、医師は実際の穿刺に近い形で穿刺デバイスのプロトタイプの有用性を評価できる。

ファントムは、人体への穿刺を想定して、10 cm 立方のプラスチックケースを用いる。ファントムを構成するゼリー状の部分は、アガーと呼ばれる海藻を原料とした植物性のゼリーの素に水を加えて作成する。画鋸を用いたファントムを図 10、ゴムボールを用いたファントムを図 11 にそれぞれ示す。

CT 画像データは、画鋸を用いたファントムを CT 装置で撮影して作成する。撮影では、京都府立医科大学で実際に利用されている CT 装置を用いる。画鋸を用いたファントムの CT 画像データを図 12 に示す。

穿刺デバイスのプロトタイプは、7.4 節で作成したグリップと Leap Motion を用いて作成する。

8.2 評価内容

本研究では、2 種類の評価を行う。一つ目は、Leap Motion による位置情報取得の精度評価である。二つ目は、穿刺医療に従事する医師による穿刺センサデバイスのプロトタイプの有用性評価である。

提案手法の精度評価では、6.2 節で述べた提案手法の処理手順のうち、手順 1 から手順 4 は穿刺センサデバイスのプロトタイプで行う。また、手順 5 から手順 6 は手計算で各点の位置情報を求める。はじめに、事前に作成したファントムを CT で撮影した後、CT 画像上で、体内への侵入位置を始点、ターゲットの中心位置を終点としてそれぞれ設定する。次に、CT 画像上における始点から終点までのユークリッド距離、および Leap Motion で取得した位置



図 10 ファントムの画像 (画鋏)



図 11 ファントムの画像 (ゴムボール)

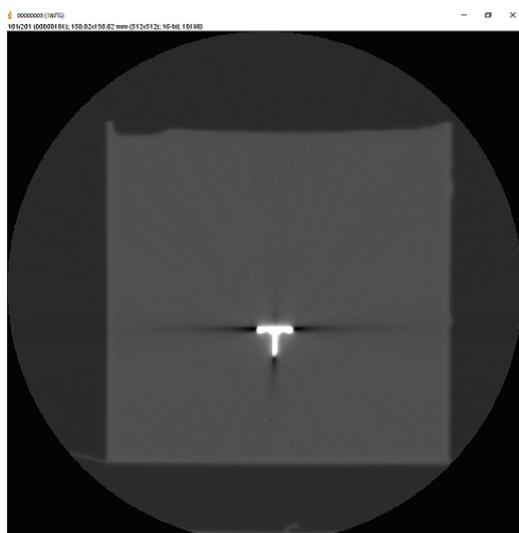


図 12 評価に用いた CT 画像 (画鋏)

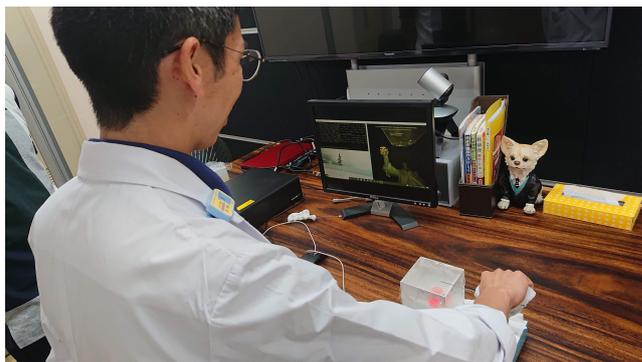


図 13 評価実験の様子 (ゴムボール)

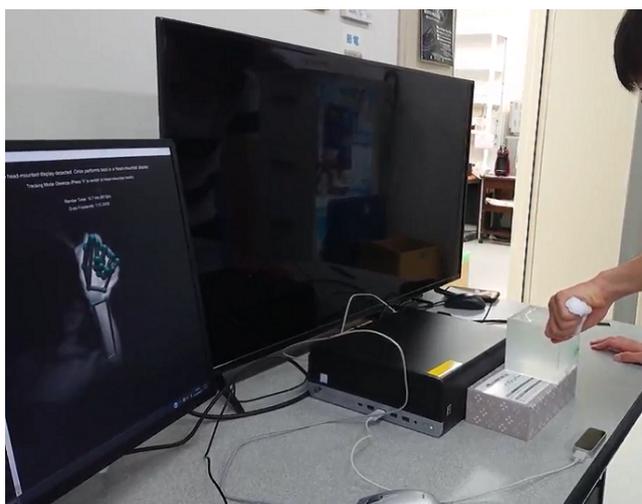


図 14 評価実験の様子 (画鋏)

情報をもとに始点から終点までのユークリッド距離をそれぞれ算出する。最後に、これら 2 種類のユークリッド距離を比較し、穿刺位置の誤差を算出する。

提案手法の有用性評価では、熟練医師が評価者を担当し、穿刺デバイスのプロトタイプで人体モデルを想定したファントムに穿刺針をターゲットまで挿入した後、穿刺デバイスの有用性評価に関するアンケートに回答する。評価者は、共同研究者の増井が担当する。

2019 年 7 月 29 日に、京都府立医科大学附属病院でゴムボールのファントムを用いた有用性評価実験を行った。実験では、評価者が穿刺デバイスを用いてファントムに穿刺した後、アンケートに回答した。また、2019 年 9 月 11 日に、同所で画鋏のファントムを用いた精度評価実験を行った。実験では、筆者である福間が穿刺デバイスを用いてファントムに穿刺し、位置情報を取得した。有用性評価実験の様子を図 13、および精度評価実験の様子を図 14 にそれぞれ示す。

8.3 ユークリッド距離

空間ネットワーク上に存在する 2 個のオブジェクトについて、オブジェクト間の直線距離をユークリッド距離と

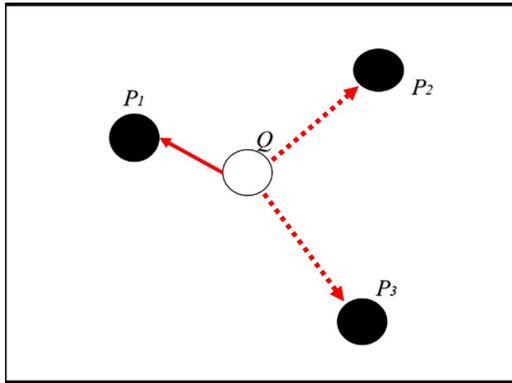


図 15 オブジェクト間のユークリッド距離

呼ぶ。例えば、空間ネットワーク内に 2 個のオブジェクト $A(x_1, y_1, z_1)$, $B(x_2, y_2, z_2)$ が存在する場合、ユークリッド距離 $d_{(A,B)}$ は以下の式で表される。

$$d_{(A,B)} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (1)$$

ユークリッド距離は、経路上に存在する障害物の有無に関わらず、2 個のオブジェクト間の最短距離となる。図 15 にユークリッド距離の例を示す。図 15 の場合、オブジェクト Q から P_1, P_2, P_3 までユークリッド距離をそれぞれ求めた場合、もっとも近いオブジェクトは P_1 となる。

8.4 評価項目

精度評価と有用性評価の評価項目をそれぞれ以下に示す。

8.4.1 精度評価実験

CT 画像および Leap Motion の 2 種類それぞれについて、始点から終点までの直線距離の誤差を取得する。始点から終点までの直線距離は、8.2 節で述べた 2 点間のユークリッド距離で算出する。また、穿刺回数について、ファントムの上方 4 箇所頂点から各 1 回、合計 4 回の穿刺を行った。誤差の許容範囲は、7.3 節で述べた要件定義をもとに、CT 画像から取得した直線距離の ± 5 mm とする。

8.5 有用性評価実験

評価者は、以下の 2 項目をアンケート形式で回答する。アンケート用紙を図 16 に示す。

(1) 有用性に関する 5 段階評価

実際の穿刺治療と比較した穿刺デバイスの有用性について、実際の穿刺治療における有用性の評価基準を 3 と設定し、1 を不便、5 を快適とした 5 段階評価のアンケートを作成した。評価者は、穿刺デバイスのプロトタイプの有用性を評価するため、穿刺実験後にアンケートに回答する。

(2) 自由記述

評価者は、穿刺実験における意見および感想を述べるため、穿刺実験後にアンケートに回答する。

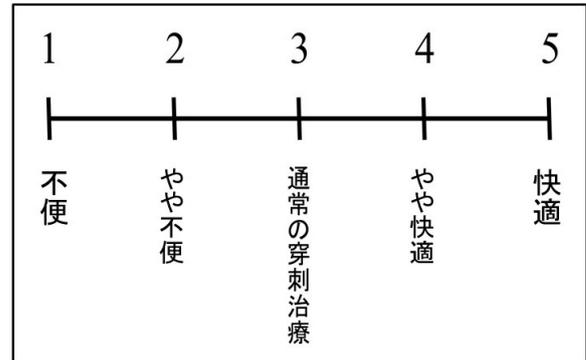


図 16 アンケートの形式

表 2 精度実験の評価結果 (mm)

穿刺回数	CT 画像上の直線距離	Leap Motion の直線距離	誤差 (絶対値表記)
1 回目	91.013	88.687	2.326
2 回目	92.561	95.012	2.451
3 回目	92.561	90.757	1.804
4 回目	91.013	90.343	0.670

8.6 評価結果

8.6.1 精度評価実験

精度に関する評価結果を表 2 に示す。誤差の最大値は 2.451 mm、最小値は 0.670 mm であり、4 点の平均誤差は 1.813 mm であった。この平均誤差は、7.3 節で述べた要件定義で熟練医師が設定した許容誤差 ± 5 mm 以内であった。

8.6.2 有用性評価実験

アンケート形式による穿刺デバイスの有用性に関する 5 段階評価について、結果は 2 (やや不便) であった。

また、自由記述の項目では、以下の 3 点が挙げられた。

- 穿刺針に関して持ち方が固定されることが通常の穿刺よりもやや不便に感じた。
- 実験自体は簡便でやりやすかった。
- ファントムの寒気が軟らかすぎると、穿刺標的が穿刺針によって押されて動いてしまう点が改善できるとよいと考える。

9. 考察

9.1 概要

本章では、提案手法における精度評価実験および有用性評価実験の結果を考察する。

9.2 精度評価実験

評価結果より、許容誤差は ± 5 mm 以内であった。体内で穿刺針の針先の位置情報を取得するため、穿刺針を扱う医師の手の位置情報をもとに穿刺針の針先の位置情報を推定する手法は有用であると言える。しかし、実際の医療現場でこの手法を用いる場合、許容誤差をさらに小さくする必要がある。

誤差が出る要因として、Leap Motion で取得する終点の位置確認を目視で行ったため、CT 画像上で決定した終点との誤差が発生したと考えられる。このため、Leap Motion を複数台用いることで位置情報をより正確に推定する必要がある。

9.3 有用性評価実験

アンケートの回答結果より、評価者は有用性の観点で、提案手法で用いたプロトタイプは普段用いる穿刺針に比べてやや不便に感じたと述べた。原因として、手の位置情報を正確に取得するため、穿刺針にグリップを作成したことが挙げられる。また、アンケートの自由記述で、穿刺針を扱うときに、「穿刺針に関して持ち方が固定されることが通常の穿刺よりもやや不便に感じた。」と回答があった。今後の課題として、医師がより快適に穿刺できるグリップの作成が必要である。

10. おわりに

本研究では、CT ガイド下穿刺補助システムにおいて、医師による CT ガイド下穿刺を補助するため、穿刺時に必要となる体内の穿刺針の位置情報をリアルタイムで取得することで体内の針先の位置情報を推定する手法を提案し、穿刺センサデバイスのプロトタイプの作成および評価を行った。提案手法では、手術中の医師の手に注目し、赤外線センサを用いて体内の針先の位置情報を推定する手法を提案した。穿刺センサデバイスのプロトタイプ作成では、共同研究先である京都府立医科大学大学院放射線診断治療学講座において CT ガイド下穿刺を行う熟練医師および研究者にヒアリングを行い、要求定義を作成した。

評価では、医師が実際にプロトタイプを利用して、要求定義の確認を行った。ファントムを用いた提案手法の精度評価実験では、誤差の最大値は 2.451 mm、最小値は 0.670 mm、平均値は 1.813 mm となり、医師が要件定義として挙げた許容誤差 ± 5 mm 以内に収まった。また、穿刺デバイスのプロトタイプの有用性評価実験では、熟練医師がアンケート形式で回答し、穿刺時における提案手法の有用性を確認した。

今後の予定として、穿刺情報表示機能と連携してより正確なユークリッド距離の算出機能の設計および実装が挙げられる。また、振動、発光、発音およびテキスト表示を用いて医師に穿刺経路の修正を伝える機能の設計および実装が挙げられる。

謝辞 本研究は、文部科学省による Society 5.0 実現化研究拠点支援事業によって行われたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 山田隆之, 磯部義憲, 上野恵子, 新見晶子, 山田明義: CT ガイド下穿刺による生検およびドレナージ, 日本医学放射線学会雑誌, Vol.48, No.6, pp.694-701 (1988).
- [2] 後藤佑介, 増井浩二, 福岡健太, 花田真輝, 山下万乃楓, 酒井晃二: CT ガイド下穿刺補助システムの提案, 情報処理学会第 81 回全国大会講演論文集 (分冊 3), pp.25-26 (2019).
- [3] LeapMotion (online), available from < <https://www.leapmotion.com/ja/> > (accessed 2019-10-30).
- [4] 松野隆幸, 亀川哲志, 平木隆夫, 杉山晃平, 長尾明哲, 木村和志, 石井創, 見浪護: CT 透視下 IVR 用針穿刺ロボットにおける穿刺支援機能の開発, 第 35 回日本ロボット学会学術講演会, No.AC2J1-05, pp.1-4 (2017).
- [5] Hiraki T., Kamegawa T., Matsuno T., Sakurai J., Kirita Y., Matsuura R., Yamaguchi T., Sasaki T., Mitsunashi T., Komaki T., Masaoka Y., Matsui Y., Fujiwara H., Iguchi T., Gobara H., Kanazawa S.: Robotically Driven CT-guided Needle Insertion: Preliminary Results in Phantom and Animal Experiments, Radiology, Vol.285, No.2, pp.454-461 (2017).
- [6] Agundezl A.G., Goosses M., Konrad R., Stork M., Becker H., Göbel S., Kalbe E.: PDPuzzleTable: A Leap Motion Exergame for Dual-Tasking Rehabilitation in Parkinson's Disease. Design and Study Protocol, Joint International Conference on Entertainment Computing and Serious Games, pp.402-406 (2019).
- [7] 中村優, 三上可菜子, 大浦邦彦, 二川佳央: ダイナミックファントムモデルを用いた MRI による非侵襲体内温度差測定の検討, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J102-D, No.4, pp.364-366 (2019).
- [8] 渡邊裕之, 橋本雄幸, 馳澤憲二, 中世古和真, 新田勝, 加藤京一, 篠原広行: 頭部ファントムを使用した CR ポータル画像と DRR 画像の位置照合プログラムの検証, 日本放射線技術学会雑誌, Vol.74, No.8, pp.779-788 (2018).
- [9] Ichishima Y., Shindo Y., Iseki, Y., KATO K.: Heating Characteristics of Developed Rectangular Resonant Cavity Applicator for Non-contact Hyperthermia Treatments, Thermal Medicine, Vol.35, No.1, pp.1-11 (2019).