遠隔医療診断ロボットシステムの構築 — 人体三次元計測の操作支援及び診断記録への応用 —

Tele-medical diagnosis system using Internet-based teleoperation

— Operation assistance and diagnosis recording based on 3D-shape-measurement of human body —

正 伊藤 友孝 (静岡)

○ 鍋木 大樹 (静岡)

Tomotaka ITO and Daiki KABURAGI, Shizuoka University, Johoku 3-5-1, Hamamatsu, Shizuoka

Key Words : Internet-based teleoperation, Robotic tele-medical diagnosis, 3D-shape measurement

1. はじめに

近年、山間部や島部などの僻地では医療技術者や医療施設が不足しており、都市部に比べ高度な医療技術の恩恵が受けにくく、都市部の医療施設への移動時間もかかることから、初期診療が遅れ深刻な問題となっている。本研究では、ロボット遠隔操作技術とインターネット通信技術を融合したインターネットベース遠隔医療診断ロボットシステムの開発を行ってきた^[1,2]。僻地の診療所や役場等の公共施設、あるいは移動診療車等に医師の手の代わりとなる診断用ロボットシステムを設置し、都市部の医療施設から医師が遠隔操作して、問診や聴診、エコー診断、心電測定、触診などの広範な診断を遠隔で行うことができれば、患者は居ながらにして高度な医療診断を受けることが可能になる。

本稿では、開発したシステムを改良することを目的とし、診察時に患者の体の三次元形状を計測し、医師の診断操作の視覚的支援や効果的な診断記録、安全対策などに応用するための手法について基礎的な検討を行う。

2. 遠隔医療診断ロボットシステム

遠隔医療診断ロボットシステムの概要を図1に示す。医師は、遠隔地の患者の様子をモニタ画面で監視しながら、手元のロボット操縦デバイスを操ることで、自身の腕のかわりに患者側の診断ロボットを遠隔操作し、インターネット経由で聴診やエコー診断、心電測定など専門的な医療診断を実施する。図2、3は診察実験システムである。図2は患者側診察室で、映像音声伝送システムや複数の監視用カメラ、各種診断装置、診断用ロボット（理論研究を先行したため、三菱重工製 PA10 を用いているが、現在、安全に配慮したロボットシステムを研究開発中である）等が配置されている。図3は医師側操縦室で、各種情報を呈示するディスプレイと映像音声伝送システム、6 自由度ロボット操縦デバイス（研究室にて開発）、医師側映像を撮影するカメラ等から成る。システムは、インターネットの通信遅れが操作に影響しないよう補償がなされ、診断中は力覚呈示による支援に加え、ロボット操作用のモニタ画面には、例えば図4のように強化現実的に種々の視覚的に支援情報が表示される。実際に往復 1.2 秒の大きな通信遅れの存在下で医師による模擬診断実験（問診、聴診、エコー検査）を実施し、システムの有効性を確認した。図5は遠隔診断で取得した心臓のエコー画像の例である。

Fig.1 Outline of tele-medical diagnosis system

Fig.2 Consultation room in remote site

Fig.3 Operation cockpit

(a) In non-constrained space

(b) In constrained space

Fig.4 Monitor display for robot teleoperation

Fig.5 Ultrasound image

Fig.6 Scan of 3D-model

3. 人体三次元計測の操作支援及び診断記録への応用に関する基礎的な検討

開発システムでは、俯瞰視点で患者とロボットを観察する雲台/ズーム機能付き定点カメラと、ロボット手先に取り付けた移動視点カメラを併用して医師に視覚情報を呈示しているが、一般にカメラ配置には制約があり視点が限られるため、モニタ映像だけでは患者との位置関係がつかみ難く操作に支障をきたすことがある。そこで、測距センサを用いて患者の体をスキャンし、患者の 3D 形状をモデル化することで、診察支援情報として用いることを考える。3D モデルが得られれば、カメラ映像とは別に任意の視点で診断状況の追加表示を行え、診断ロボットのモデルと同時に表示すれば、患者に対して手先がどの位置にあるかを様々な角度から見る事が可能となる。また、診察中は患者が大きく動かないと仮定すれば、3D モデルを利用し、診断ロボットが患者に一定距離以上近づくと速度を緩めるようにするなどの安全対策にも応用できると考えられる。更に、患者モデルとロボットの運動データ、診断データを同時に診断記録として残すことで、医療診断の透明化を図るだけでなくセカンドオピニオンの聴取にも利用できる。特にエコー診断では、実際に診察を行った医師でないとプローブと患者との位置関係がわからず画像だけで

は診断が難しいと言われ、本手法が解決の一助となり得る。

〔測距センサによる人体計測〕 近赤外線方式の測距センサ(北陽電機製 PB9-12)を使用し、人体モデルの生成に関して実験的に検討を行った。このセンサは、前方 162° の半円状のフィールドをスキャンし、91 分割(1.8° 間隔)で各方向の対象物までの距離測定を行える。ベッドに横たわった患者に対し、例えば図 6 のように頭から足先へ向かって一定の間隔で縦方向に体全体をスキャンすることで、3D 形状モデルを構築することを考える。ここで、センサの測定データは 91 方向の対象物までの距離を示す離散的な点データでしかないため、今回のような応用を考えると、対象物体の形状を示す体積を持った“ボリュームデータ”として保持しなければならない。

まず、センサの測定面に対して $m \times m$ の配列 (m は 3D 形状モデルに必要な分解能を満たすように決定) を用意し、値を 2 で初期化する。そして、スキャンによってセンサから得られた n 番目と $n+1$ 番目の方向の障害物検出点とセンサ原点とを結んだ三角形の内側を 0 で埋めていく(図 7)。91 方向のスキャンが終了した後、周囲に一つでも 0 が存在する昇目のデータを 1 に置き換える。こうすることで、物体が何も無い空間を 0、物体の内部を 2、境界を 1 として形状モデルを取得・保存できる。これを図 6 のように患者の頭から足の方向に向かってセンサを移動させながら別々の配列に保持を繰り返すことで、全体の 3D 形状を得ることができる。ただし、実際には単一のラインでスキャンを行うと、センサから直接見えない領域を物体があるものとして認識してしまい図 8 のように対象物のエッジが正確に表現できない場合が出てくる。そこで、複数のラインで対象を縦方向にスキャンし、そのデータをマージして、3D 形状を求めることにした。

〔人体計測の確認実験〕 想定どおり応用可能かどうか確認するため、ベッド上にレールを設置して手でセンサの位置をずらしながら、実際にベッドに横たわった患者の形状を計測した。図 9 は取得した形状(ボリュームデータ=1 の境界部分)を OpenGL でワイヤフレーム表示したものである。次のようにこのデータを遠隔医療診断システムに取り込み、ロボットを動かして模擬診断実験を行った。また、図 10 は操作用モニタに支援表示を行ったものである。カメラ映像の上に強化現実的に人体モデルを重ね合わせ表示し、右端部分に患者とロボットとの位置関係をモデル表示している。また、診断の様子についてもロボットの運動データを記録できるようにし、後から視点を自由に変更しながら患者の 3D 形状とロボットの 3D モデルを合わせて再生できるようにした。実験により、ロボット手先と患者との位置関係の把握がしやすくなり、診断記録としても十分利用できそうであることが確認できた。

Fig.7 Data processing

Fig.8 Error of edge measurement

Fig.9 Scan of human body

Fig.10 The monitor of master side

4. 遠隔診断システムへの実際の導入に関する追加検討

現在は、実際に遠隔医療診断システムに組み込むための追加検討を行っている。基礎検討の段階では近赤外線方式の測距センサを用いていたため、測定精度が低く、またソフトウェアノイズフィルタによる応答性の劣化により測定時間が短縮できないなどの問題が生じた。そのため、クラス 1 安全レーザ方式の小型測距センサ(北陽電機製 URG)を診断用ロボットの手先に取り付け、計測法の改良検討を行っている。ロボット手先にセンサを取り付けることで、自由軌道により患者をスキャンでき、必要に応じて詳細な患者情報が得られる。また、単純な距離センサでは対象物のテクスチャ情報を取得できないため、距離画像センサ(松下電工製 EKL3101)の応用についても検討している。近赤外線による距離測定と同時に、反射強度から対象物の画像を取得できるセンサで、各画素点の方向の対象物距離を算出できる。テクスチャを含む診断記録に応用でき、リアルタイム性が高いため安全対策にも応用できる可能性がある。現在、センサの歪補正・キャリブレーションを行い応用法について検討中である。(図 11)

Fig.11 Calibrated 3D-Pixel-Data with depth value (EKL3101)

5. おわりに

本稿では、遠隔医療診断ロボットシステムを改良することを目的に、診察時に患者の体の 3 次元形状を計測し、医師の診断操作の視覚的支援や効果的な診断記録、安全対策などに応用するための手法について基礎的な検討を行った。

参考文献

- [1] 伊藤, 鈴木, 鈴木, 松井, 中村, 寺川, “インターネットベース実画像テレオペレーションシステムの構築と遠隔医療診断への応用”, 第 10 回ロボティクスシンポジウム, pp. 385-392 (2005)
- [2] 伊藤, 鈴木, 松井, 中村, 寺川, 実画像テレオペレーション技術を応用した遠隔医療診断システムの構築, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P1-N-109 (2005)