

遠隔超音波診断のためのロボットシステムの開発

Development of the robot system for remote ultrasonic diagnostic device

○ 田上潤, 小山浩幸, 米田隆志, 佐藤正行 (芝浦工業大学)

Jun TAGAMI Hiroyuki KOYAMA Takashi KOMEDA Masayuki SATO, Shibaura Institute of Technology

Abstract: We are developing a remote control robot system for ultrasonic diagnostic. The system consists of Master-slave system in order to use a probe which is used at the Slave robot. This paper presents making an assessment on time lag by difference of communication environment and safety systems for patients. This equipment must touch the body directly at diagnosis. So it is necessary to apply the safety systems on the master slave robot. We made some systems by various conditions for safety of patients. There are danger avoidance system, operating range limit and pressing force limit. By the same token, we decide control techniques for construction of kinesthetic sense tracking measurement system.

Key Words: Ultrasonic, Master-slave system, Probe, Time lag

1. 研究背景

現在、離島や過疎地では医師の数が患者の数に対して十分な病院が少なく、設備も不足している。そのため、必要な医療を受けられない患者が多数存在する。適切な診療科で受診できず高度な医療を受ける際に、設備の整っている都心部の総合病院へ移動し受診しなければならない。しかし、長距離の移動は患者へ金銭的にも体力的にも大きな負担になる可能性がある。そこで、期待されているのが遠隔医療診断である。この医療技術により、地域別の医療格差の是正、患者の金銭面や体力面への負担が軽減すると考えられる。また、今後世界中が迎えると予想されている超高齢社会においても効果が期待されている。

2. 研究目的

本研究は、人間ドックの腹部超音波画像診断を遠隔医療で行うため、また、車載型マスタスレーブロボットシステムの構築を目的としている。開発を進めるうえで超音波画像診断がより容易なものとなるような構造、制御系を目指す。遠隔超音波診断に用いるマスタスレーブロボットシステムの動作は患者に対して安全である必要がある。しかし、現在のシステムには患者の安全を確保するためのスレーブ側の押し付け力を検出し、マスタ側に返す力フィードバックが行えない。そこで、スレーブ側の超音波プローブの押し付け力を検出し、その力を操作者に提示するシステムを構築する。また、人体に対して危険な押し付け力の値を検出した場合には入力に対して訂正・補助を行えるシステムの構築を目的とする。

3. システム構成

3-1 マスタスレーブのシステム構成

システム構成を Fig.1 に示す。本システムは以下の 8 点から構成されている。

- 1)マスタスレーブロボット
- 2)フットスイッチ
- 3)システムコントローラ
- 4)超音波診断装置
- 5)監視用カメラ
- 6)画像サーバ
- 7)ユーザインタフェース
- 8)ホスト PC

本研究室では、通信環境に学内ネットワークとテレビ会議システムを利用してため、システム構成図に TV、ビデオサーバ、マイクが明記してある。

またマスタ、スレーブロボットの Motion 対応図を Fig.2 に示す。ネットワークを介してマスタロボットを操作することで遠隔地にあるスレーブロボットを追従動作させ患者に対して遠隔操作で超音波画像診断を行う。

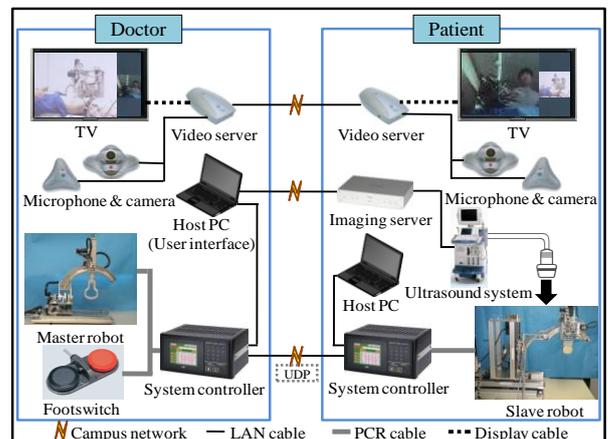
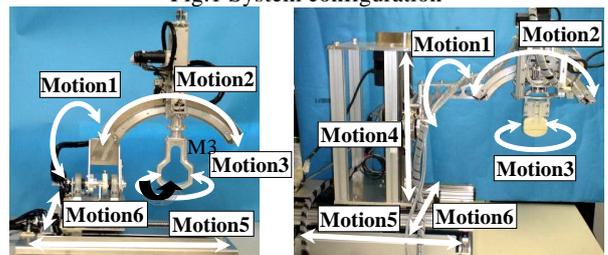


Fig.1 System configuration



(a)Master robot (b)Slave robot

Fig.2 Master slave robot

4. 患者の安全を確保するための機能

4-1 押し付け力の提示

ユーザインタフェースには、プローブを押し付けられる力を操作者に視覚的に提示する機能 (Fig.4 の E) がある。この機能は、操作性を向上させるためだけでなく、過度なプローブの押し付けを未然に防ぐことができる。

4-2 押し付け力によるロボットの動作制限

被験者 10 人に対して肝臓と腎臓の診断画像を得る実験の結果から、15[N]より大きいプローブを押し付ける力は不必要であると判断した。その値を閾値としてロボットのプローブを押し付ける動作に制限を設け、過度な押し付け力が加わる動作を停止させる。この機能はプローブを押し付

ける力を6軸力センサにより計測、患者側のシステムコントローラ内で処理してプログラムを実行するため、通信による遅延またはエラーを起こす危険性はない。

4-3 危険回避システム

患者側には、超音波診断装置の設定やシステムの管理を行う助手が必要となる。操作者と助手はホストPC、患者は医師の操作と関係なく、緊急停止スイッチによりボタン一つでプローブを腹部から離すことができる。

5. 専用回線における遠隔実験

5-1 実験目的

比較的遅延の少ない専用回線が整っている芝浦工業大学の学内ネットワーク環境において、システムの有効性と操作性を評価するために以下の項目について遠隔実験を行い、評価と検討を行う。

- (1)遠隔での動作確認
- (2)遅延時間の計測
- (3)任意の診断画像を取得するのに要する時間の計測

5-2 実験目的

実験の様子を Fig.5 に示す。実験は芝浦工業大学の豊洲校舎と大宮校舎間(直線距離 34.8[km])で行う。遅延時間については、実験中にマスタとスレーブロボットのカメラ映像、配信された超音波画像を同時に撮影し、ビデオ映像を解析して求める。この計測方法は先行研究である名古屋工業大学の遠隔手術ロボットシステムの計測方法を参考にしている^[1]。フレームレートによるコマ落ちを計測回数で補うため、動作毎に10回ずつ計測値を取得し、その平均を得る。遅延時間計測の項目を以下に示す。

- 1) 監視カメラ映像上のスレーブロボット
- 2) 超音波映像
- 3) 押し付け力提示
- 4) マスタスレーブロボットの追従動作
- 5) 監視カメラ映像の伝送

監視カメラ映像上のスレーブロボットはマスタ入力から監視カメラ映像上のスレーブロボットが追従動作するまでの時間を計測する。マスタスレーブロボットの追従動作に要する時間と監視カメラ映像の伝送時間は、大宮側に設置したビデオカメラ映像をもとに計測したスレーブロボットとモニタ上のマスタとの時間遅れを用いて間接的に求める。

次に項目(3)については、医師ではない操作者がロボットを遠隔操作し、参考文献^[2]に記載されている肝臓と腎臓の診断画像と同等の画像を取得できるまでに要する時間を計測する。肝臓の診断は被験者が仰向けの状態で行い、腎臓の診断は横向きに寝た状態で行うため、条件の異なる場合の実験結果を得ることができる。

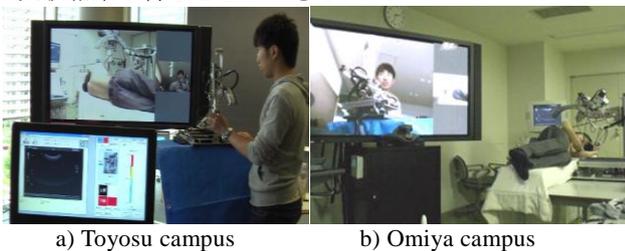


Fig.5 Remote experiment

5-3 実験結果・考察

5-1 の(1)について、マスタスレーブロボットは正常に追従動作し、患者の安全を確保するための機能である押し付け力による動作制限と緊急停止スイッチも正常に動作することを確認した。

5-1 の(2)について、監視カメラ映像上のスレーブロボットの遅延時間計測の結果を Table.1 に、その他の遅延時間計

測の結果を Table.2 に示す。監視カメラ映像上のスレーブロボットの遅延時間計測について、Motion1, 4 は比較的遅延時間が短いながらも差が生じた動作はなく、どのような操作を行っても遅延時間はほぼ一定であると言え、全動作の平均は約 3.0×10^2 [ms] である。Motion1 と Motion4 の遅延時間が短いのは、他の動作とは異なるモータとモータドライバを使用したこと、フットスイッチを用いた操作であることが原因であると考えられる。ユーザインターフェース上の超音波映像と押し付け力提示の遅延時間については、スレーブロボットのカメラ映像と超音波映像、押し付け力提示との遅延時間は、 $1.2[\times 10^2 \text{ms}]$ と $1.4[\times 10^2 \text{ms}]$ となっており、操作には問題ないという被験者の評価を得られた。また、今回の実験におけるマスタスレーブロボットの追従動作が実現するまでの時間は $0.5[\times 10^2 \text{ms}]$ であり、監視カメラ映像の伝送時間は $2.5[\times 10^2 \text{ms}]$ であった。先行研究では、追従動作が実現するまでの遅延時間 350 [ms] 程度の環境下において、操作入力に対するプローブの応答性に特段のストレスを感じることはないとの医師の評価を得ている^[3]。よってこの結果は良好な結果であると言える。

Table.1 Delay time of surveillance footage

動作	遅延時間 $[\times 10^2 \text{ms}]$
Motion1	2.8
Motion2	3.0
Motion3	3.1
Motion4	2.6
Motion5	3.1
Motion6	3.0
Motion1~6	3.2

Table.2 Delay time of system

項目	遅延時間 $[\times 10^2 \text{ms}]$
超音波映像	1.2
押し付け力提示	1.4
ロボットの追従動作	0.5
監視カメラ映像	2.5

5-1 の(3)について、各5回ずつ計測し、その平均を求めた。初期位置から診断画像を取得するまでに掛かる時間は肝臓ではおよそ2分、腎臓ではおよそ1分半という結果を得た。以上より2分以内には任意の位置までロボットを操作することが可能であることがわかった。また、操作性については監視カメラ1台では奥ゆきを把握しにくいと、被験者が横向きの状態で行う腎臓の診断は、操作が難しいという問題点がわかった。今後検討する必要がある。

6. おわりに

専用回線下で、システムの動作確認と遅延時間計測、操作性の評価を行った。その結果、先行研究より良い結果を得られることができた。今後、医師の評価を得ることと、ブロードバンドの一般回線の環境下において実験を行う必要がある。また、このシステムで診断する際、操作者は超音波画像とスレーブロボット動作を確認するカメラ2台の映像、押し付け力提示機能を見ながら操作することになる。視覚的情報が多すぎるため、操作ミスを生む恐れがある。そのため、より直感的な操作を可能にする必要がある。

参考文献

- (1) 遠隔医療-ロボティクス; 光石衛, 第21回生体生理工学シンポジウム論文集, 2006
- (2) 腹部エコーの基礎; 東義孝著, 秀潤社, 2005
- (3) 遠隔超音波診断システムの構築法に関する研究; 小泉憲裕, ロボット学会誌25巻2号, 2007.