

外科手術用支援装置の開発に関する基礎的研究

Development of Surgical Operation Navigator

○ 坂本 一典, 村山嘉延, 尾股 定夫
Kazunori Sakamoto, Yoshinobu Murayama, Sadao Omata

日本大学工学部
College of Engineering Nihon University

キーワード: 外科手術 (Surgical Operation), 位相シフト回路 (Phase Shift Circuit), 圧電セラミック素子 (Piezoelectric Ceramic Transducer) 画像処理 (Image-Processing), ポインタスキャン (Pointer Scan)

連絡先: 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地 日本大学工学部電気電子工学科
電子応用工学研究室

尾股 定夫, Tel: 024 (956) 8784, Fax: 024 (956) 8784 E-mail: omata@ee.ce.nihon-u.ac.jp

1 前 述

近年、世の中では肝硬変や動脈硬化などの病変が話題を集めているが、これらの病変は心筋梗塞などの重大な病気に発展することから早期治療が望まれる。このような病変についての一般的な治療方法は、臓器の異常部位を外科的手術によって切除する方法である。

現在患部の検査には、バイオプシーや超音波診断などによって行われているが、術中の的確な診断には触診法に頼ることが多い。術中での触診法は現在の施術の中で最も優れた技術であるが、当然のことながらこのような方法では医師の経験や年齢に左右され、しかも患部の力学的特性、即ち、硬さや軟らかさに関する情報を定量的に検出し伝達することが困難である。このため外科のみならず臨床現場などにおいて触診の定量的計測法や情報処理技術の開発が望まれている。特に今日の医療診断装置や治療機器、情報処理装置の著しい進歩には目を見はるものがあるが、最も重要な触診については未だ定量的な計測法は開発されていない。

そこで、本研究では、はじめに肝硬変などの病変を診断するための硬さ情報を計測することのできるセンサの開発を目的とした。これは医師が触診と同じ特性を持つセンサによって

臓器の硬さを定量的に診断することを目的としている。

次に、このセンサから得られた硬さ情報を、高速のインターフェイスを用いてリアルタイムに処理をした後、コンピュータ上に取り込むことで術中にビジュアル的な情報を表示することを目的とした。

第三に、これらのビジュアル的な情報と、実際に手術現場で撮影されている臓器の映像とをインポーズさせるためのシステムを開発することを目的とした。

本研究ではこれら 3 つのシステムを開発、研究することを目的としているが、従来のように映像と音声、即ち、視覚と聴覚を利用した平面的な情報認識処理システムに触覚を加味することにより、三次元的な立体認識処理が可能となり外科手術の信頼性の増加のみならず、テレロボットシステムへの開発へとつながる。

2 原理 1)-5)

(1) センサ部

今回、センサとして用いたのは、圧電セラミック素子を使用した位相シフト法による触覚センサである。このシステムは従来の「応力-歪み法」に比べ、人の手のように、硬さ及び軟

らかさを判別するのに優れている。図1は位相シフト法の回路システムで、圧電セラミック素子とその素子から得られた信号を増幅する増幅器、この信号を強制的に帰還させる帰還回路から構成した。このシステムは電気回路の位相特性、及び共振特性を利用したものである。

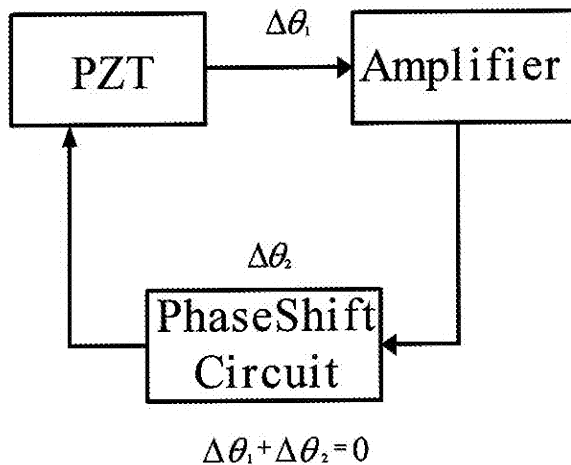


図1 位相シフト法を用いたセンサシステム

(2) 位置情報検出部

図2はセンサが臓器のどの部位を触っているかという情報、即ち、位置情報検出システムの基本構成である。

本研究では、この位置情報を知るために、計測の際、カメラを設置した。カメラから得られた画像情報はインターフェイスを介してコンピュータに取り込まれ、そのセンサの位置情報を新たに開発した判定ロジックを使い画像情報及び位置情報についての高速リアルタイム解析を行っている。この装置を使用することにより、一回の位置判定を数 10msec~数 100msec の速さで行うことができる。

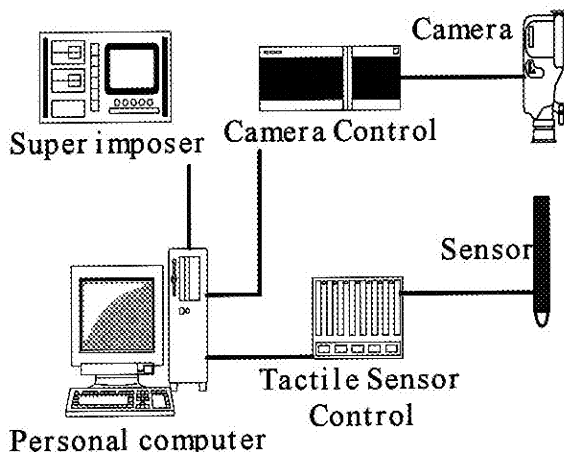


図2 システム図

(3) カメラコントロール、インポーズ部

図2のカメラを手動及び自動で制御し、画像情報をコンピュータ上に取り込み解析を行い表示する。センサから得られた硬さ情報とカメラからの位置情報を重ね合わせてリアルタイム映像として映し出すシステムを構築した。

図3に示すのは位置情報判定とセンサの硬さ情報判定に関するロジックのアルゴリズム図である。本研究で開発したロジックでは、画像取り込みから位置情報判定までのポイントスキャン部と、センサから得られた硬さ情報を画面上に出力させる硬さ情報判定部の並列進行処理を行うことによりインポーズの高速化を図っている。

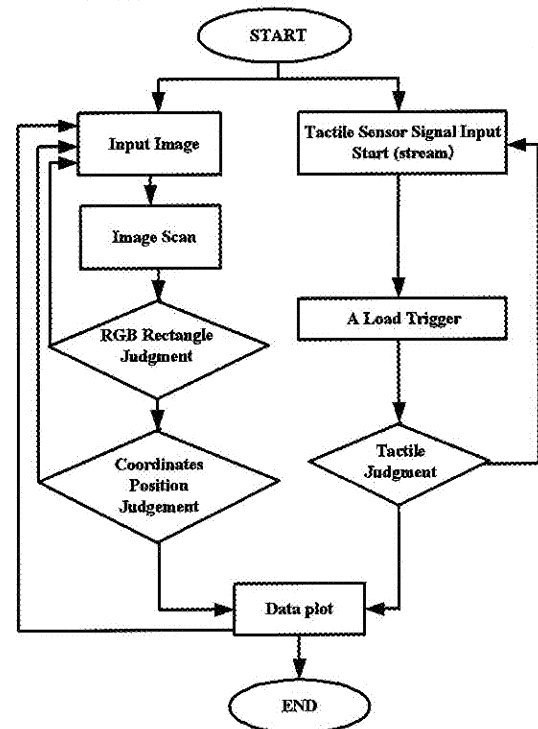


図3 画像解析原理図

3 基礎実験結果

はじめに、本システムで使用する触覚情報を得るために、センサに関する特性試験を行った。本実験で使用したセンサ素子は直径 2 mm、長さ 15 mm で、その素子を直径 8 mm、長さ約 30 cm のパイプの先端に固定して触覚プローブとした。このセンサは外側をステンドパイプで覆われており、先端には人体の中に入れても害のない素材で球型接触子を設けた。更に血液のような液体に触れても異常がないように防水加工を施した。このときの計測はセンサの基本的な特性を検討するために図4に示す計

測システムを利用した。

このセンサを使用して (1) シリコンゴム
(2) 食肉用豚の内臓について測定を行った。
測定方法はどちらの実験でもセンサに接触荷
重を徐々に加えていき、そのセンサから得られ
る信号から周波数情報だけを抽出し、変化量を
調べた。

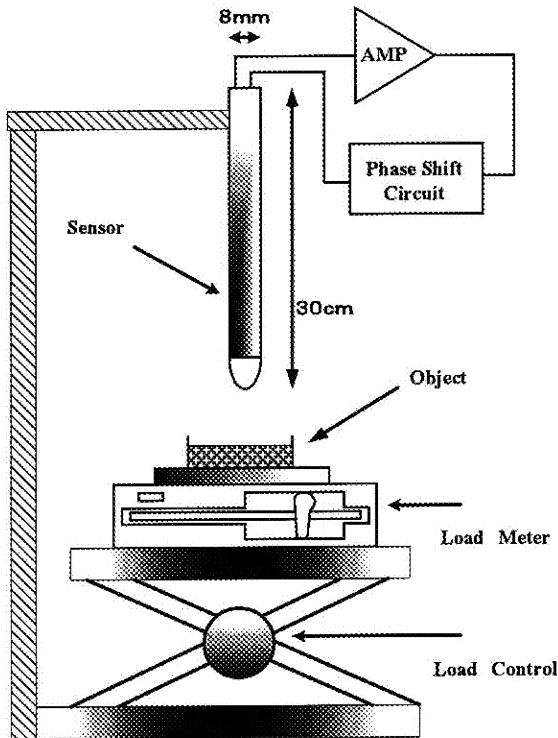


図4 基礎実験計測図

(1) シリコンゴム測定

図5は硬さの異なる濃度40, 50, 60, 70, 80, 90, 100%のシリコンゴム
を作製し、対象物に接触させたときのセンサの
特性を調べた。図5の結果より、濃度が低くな
るにつれてセンサの周波数変化量が大きくなる
特性を示した。

図6の結果ではセンサの変位を3mm一定
にし、接触荷重を無視して測定を行った。やは
りこの場合もシリコンゴムの濃度によって
硬さが異なりいずれの接触荷重によっても人
の手のように硬さを判別しているのが認めら
れる。

(2) 豚の内臓測定

図7はシリコンを測定したセンサを用い
て、臨床試験の準備として食肉用豚の内臓を
人間の内臓と見立て測定した結果である。

これらの結果に示されるように、内臓の特性
によって硬さが異なり、接触荷重に関係なく硬
さの判別が可能である。

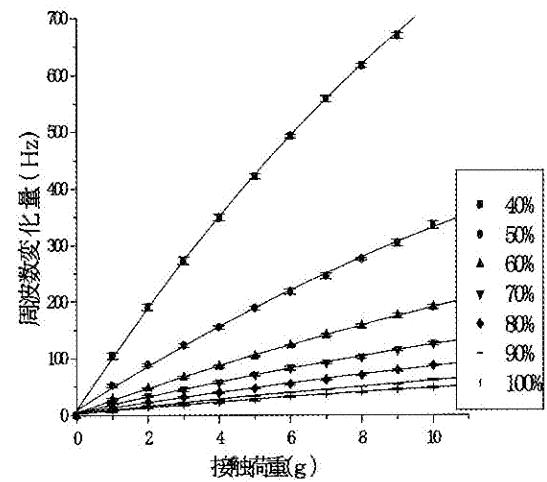


図5 シリコンゴム測定

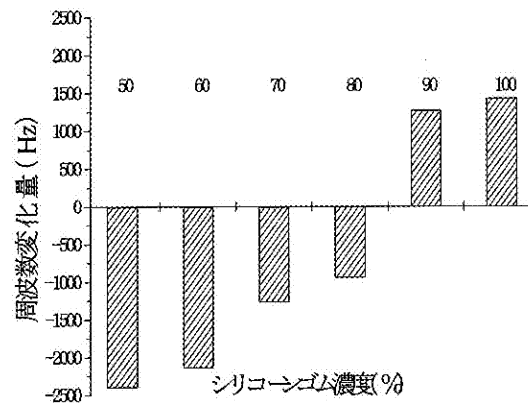


図6 シリコンゴム測定 (変位一定)

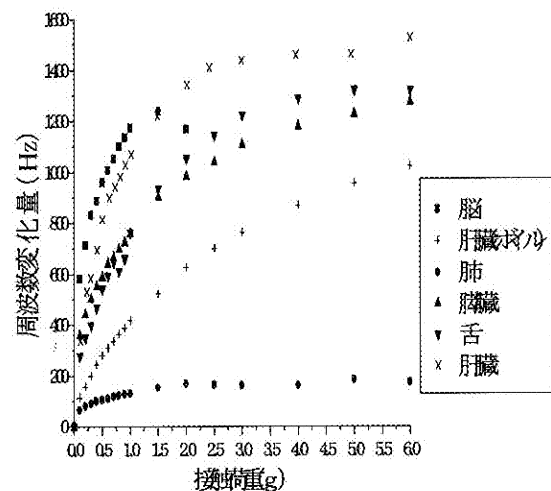


図7 食肉用豚の内臓測定

(3) 静止画における位置情報検出実験

(1)、(2) で使用したセンサに直径約 15 mm のプラスチック製のポインタを取り付け、そのセンサを上方からカメラを使い静止画像を 20 ～ 30 枚撮影した。図 8 のように、その静止画像をプログラム上でつなぎ合わせ、ポインタが移動する様子を作り出し、センサの位置検出、及び表示システムの計測実験を行った。結果としては、一回のスキャンにおいて、0.07(sec)～0.3(sec)の速さで位置情報を検出できることが確認された。

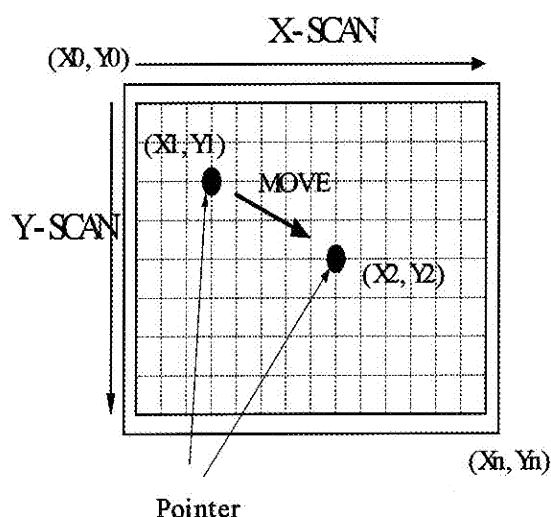


図 8 ポインタスキャン図

4 考察

このようにして、私達が提唱する外科手術用支援システムは、硬軟判別の精度が優れた位相シフト法を用いた硬さ知覚用触覚センサと、現代の CCD カメラ技術、高速演算処理を行えるコンピュータを用いた画像処理技術を組み合わせることにより、医師が外科手術において、より安全で正確な診断及び切除が行える環境を実現できるものであると考えられる。

尚、このシステムは現代医療の目指す遠隔操作による外科手術や外科手術の機械化など、また臨床現場に限らず、センサを利用した電子署名技術など、幅広く多方面へ応用しうる可能性を多く秘めていると考えられる。

5 参考文献

- 1) 畠山、佐久間、柳沼、長谷川、佐藤、小川、井上、土屋、竹之下、尾股 “超音波ドプラ検査法と硬さセンサーによる肝線維化の評価” 日本消化器外科学会雑誌、第 33 巻、第 2 号、pp. 156-162、2000
- 2) K.Miyaji, S.Sugiura, H.Hirotaka, S.Takamoto, and Sadao.Omata, “Myocardial tactile Stiffness During Acute Reduction of Coronary Blood Flow” ,Ann Thorac Surg, Vol.69, pp.151-155,2000(The Society of Theoracic Surgeons)
- 3)Omata,S Diep,N.Constantinou, “Detrusor Stiffness.New Instrumentation For The In Vitro Evaluation of Bladder Contraction”,Neurourolgy&Urodynamics, Vol.19:415-417,2000
- 4)Koji Kusaka,Yasushi Harihara,Masatoshi.Makuuchi,Sadao.Omata, “Objective evaluation of liver consistency to estimate hepatic fibrosis and functional reserve for hepatectomy”,J.Am.Coll.Surg.,Vol.191,No.1 July 2000
- 5)K.Miyaji,S.Sugiura,S.Omata “Myocardial Tactile Stiffness:A Variable of Regional Myocardial Function” J.American College of Cardiology,Vol.31(5),pp.1165-1173,1998