

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23700213

研究課題名(和文) 静脈像にもとづく触覚機能の解明およびタッチインタフェースの開発

研究課題名(英文) Investigation of Tactile Sensation and Development of Touch Interface Based on Vein Image

研究代表者

星 貴之(Hoshi, Takayuki)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80537704

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、指の皮膚内部の静脈を「生体内にあらかじめ配置されたマーカー」とみなし、それを活かして皮膚内部の変形を非侵襲的な観察やタッチインタフェースとしての応用を目指した。静脈は赤外線により観察される。まず皮膚表面の変位と内部(静脈像)の変位の関係を定量的に調べる実験を行った。そして静脈の変位の詳細な観察に向けて、拡大レンズを導入した。さらに超音波を利用して、撮像を妨げることなく皮膚表面に触覚刺激を与えた。また指表面に加えられた力の大きさと向き(4自由度X, Y, Z,)を推定するソフトウェアを開発した。最後にそれぞれの成果を整理・統合し、リアルタイムで動作するユーザインタフェースを開発した。

研究成果の概要(英文)：Veins running in finger skin are utilized as markers embedded in advance in this study. Noninvasive observation of deformation under skin and a new type of touch interface are possible applications. They can be observed by infrared. First, experiments on the relationship between surface deformation and inside deformation (displacement of veins) were conducted. Next, a magnifying lens was employed to observe more closely and ultrasound-based noncontact tactile stimulation was used not to interrupt the line of sight. Then, software that automatically estimates the amplitude and direction of force in real-time was developed. Finally, a user-interface system working in real time was developed.

研究分野：触覚工学

キーワード：触覚 タッチインタフェース 静脈撮像 赤外線

1. 研究開始当初の背景

人間の触覚機能は、外界からの刺激を受け取る触覚受容器すら今なお解明し尽くされていない。その一因として、触覚受容器に関する知見がマイクロニューログラムあるいは心理物理実験によって得られてきたことが挙げられる。前者は前腕の神経に針を挿し指先に振動ピンで刺激を与えた時の神経パルスを観察する方法である。後者は多くの被験者を集め、刺激を与えて質問に答えさせることにより、弁別域や周波数感度についての知見を得る方法である。皮膚表面に刺激が与えられたことを認識するまでの伝達経路は (1) 皮膚組織による触覚受容器への振動の伝達、(2) 触覚受容器における振動から神経パルスへの変換、(3) 神経パルスにもとづく脳での解釈、に分類される。マイクロニューログラムは (1) と (2)、心理物理実験は (1) ~ (3) の効果を区別しない方法と言うことができる。例えば、マイクロニューログラムの結果から触覚受容器の時間応答特性などが得られているが、それは実際には「触覚受容器が皮膚組織に埋もれている場合の特性」なのである。皮膚組織は粘弾性体であり、また複雑な構造によって非線形性を有する可能性も指摘されている。触覚受容器の特性を解明するには、皮膚組織 (1) と触覚受容器 (2) を分離して考える必要がある。

触覚受容器 (2) は 1 mm 以下と微小であり皮膚から取り出すことが困難なので、皮膚組織 (1) の変形に着目した研究が主になされてきた。ただし直接観察することは容易でないため、有限要素シミュレーションによるものであった。それらは実際の変形と比較できるまでは仮説にすぎない。皮膚内部を観察可能な方法としては MRI や OCT が挙げられる。しかし MRI は磁気にもとづく計測法であるため振動刺激を与えるアクチュエータや回路など金属を含む機材を使うことができない OCT は干渉を用いるため精密な光学系が必要である。またどちらも据置型の装置に指を挿入して実験を行うため、拘束感が強く、実験の自由度も限られる。

2. 研究の目的

前述の背景をまとめると、「皮膚の内部変形を」「簡易な装置で」計測できる方法が求められている。岩本ら [1] は皮膚内部の静脈を観察することにより、皮膚内部の変形を推定する方法を提案した。これは静脈の「皮膚内部にもともと存在している」「近赤外光を用いて容易に観察可能である」という特徴を積極的に利用するものである。文献 [1] では指表面に変位を与えることにより静脈像も変位することが確認されている。

本研究課題では、静脈撮像にもとづく皮膚内部の観察法を引き継ぎ、発展させる。赤外線 LED とカメラという簡易な計測系で観察できることからウェアラブル化も期待され、

触動作中の皮膚内部変形の観察や、タッチインタフェースとしての応用が期待される。

なお研究代表者と岩本氏の間には同時期に同じ研究室に在籍していたという関係があり、当時から静脈撮像について議論をしていた。また本研究課題については事前に岩本氏の許可を得ている。

[1] 岩本貴之, 篠田裕之: 静脈像を利用した皮膚変形推定, 第 8 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp. 503-504, 2007.

3. 研究の方法

静脈は以下のようにして観察される。波長 700 ~ 1200 nm 程度の近赤外光は生体組織に吸収されにくい。それを指先に照射すると内部に透過し、強く散乱される (図 1、図 2)。またこの帯域では血液中のヘモグロビン (とメラニン) による吸収が支配的である。結果として皮膚表面近くを走行している静脈が散乱光の影として観察される。図中の対象物体は赤外線に対して透明な材質が望ましい。静脈認証の分野では透過型・反射型の両方が使われている。光強度を上げて高コントラストにできる透過型、機器をコンパクトにできる反射型、という特長があり、目的によって使い分けられている。

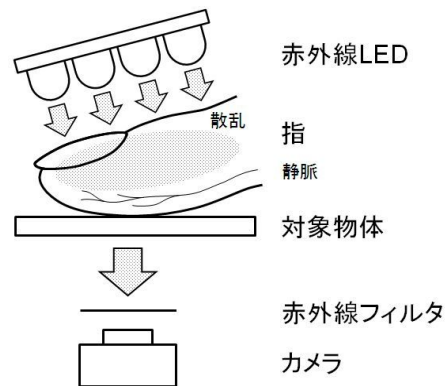


図 1 静脈撮像法 (透過型)

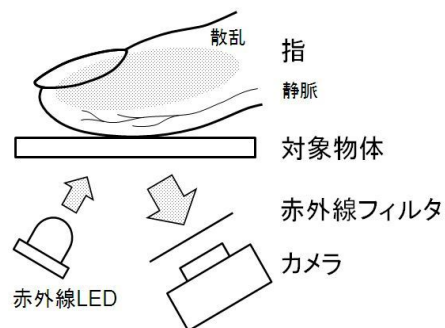


図 2 静脈撮像法 (反射型)

ウェブカメラ、赤外線透過フィルム、赤外線 LED (850 nm) を用いて透過型の計測系を事前に試作した。撮影した画像を図 3 に示す。

また静脈像を細線化した画像を図4に示す。これは Dilatation (膨張) および Erosion (侵食) 演算を行い、明度の上下を適当な閾値で打ち切ったあと正規化したものである。アクリル板に触れたまま指を水平方向に動かすと、それに応じて静脈も動くことが動画で確認されている [2]。

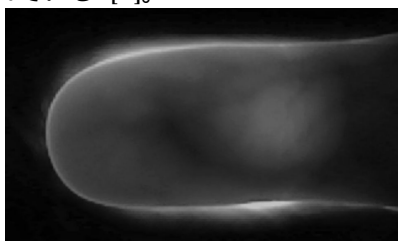


図3 静脈像の例 (研究代表者の右手示指)

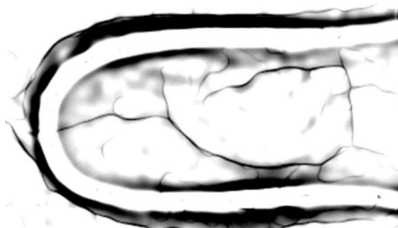


図4 図3を細線化した画像

[2] 星貴之: 静脈をマーカーとして用いる指変形観察の試み, 第 29 回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集, pp. 277-278, 2010.

4. 研究成果

本研究課題では静脈撮像にもとづく皮膚内部の観察法の理解と応用に取り組んだ。まず基礎的性質として、皮膚の表面に与えた変位と皮膚内部 (静脈像) に生じた変位の関係を定量的に調べた。次に拡大レンズを搭載したカメラを採用することにより静脈像を詳細に観察する計測系の構築を試みた。また皮膚表面に与えた力を自動で推定するソフトウェアの開発に取り組んだ。さらに面実装の赤外線 LED を採用することによりウェアラブル性の高いデバイスを開発した。以下それぞれについて報告する。

(1) 静脈像変位の定量化

本実験には、事前に試作した計測系を調整・固定したものを使用した。すなわち指の爪側に赤外線 LED を装着し、腹側で透明アクリル板に触れた。それを板の反対から赤外線のみを透過するフィルム越しにカメラで撮影した。指表面に法線方向 (z)、接線方向 (x, y) 回転方向 (θ) の変位 (図5) を順次与えた際の様子を記録した。

法線方向 (z)

触動作中には指を対象に押し付けるが、その際に血流が阻害されて静脈像が見えにくくなる。そこで静脈像を取得可能な押し付け力を調べる実験を行った。計測系を電子秤に載せ、押し付け力と静脈像を記録した。

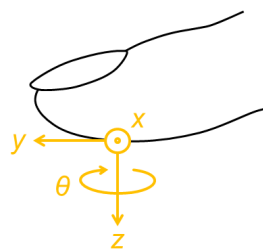


図5 指先を動かす方向

これを確認した実験結果を図6に示す。押し付け力が大きくなるとともに静脈と周囲の輝度値の差が減少していき、0.30 N と 0.35 N の間で消失する様子が観察された。このことから、0.3 N までの力であれば静脈像の取得が可能と判断した。また輝度値の変化から力の推定も可能と考えられる。

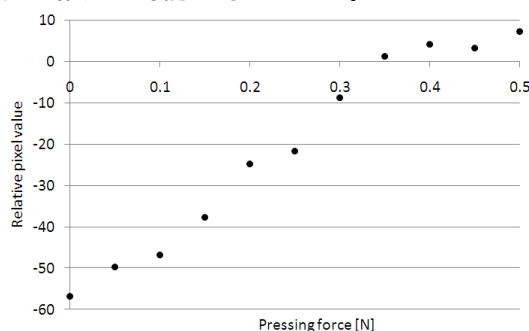


図6 静脈像と周囲の輝度値の差

接線方向 (x)

静脈の観察が可能な範囲内の押し付け力をかけながら、指とアクリル板の接触面をずらさないように指を左右に往復させたときの様子を観察した。このとき静脈は皮膚の浅い部分を走行しているためほぼ動かず、指の輪郭だけが移動する。すなわち指の輪郭と静脈像の相対距離が変化する。

これを確認した実験結果を図7に示す。若干のヒステリシスが見られるものの、ほぼ線形の関係であることが分かった。

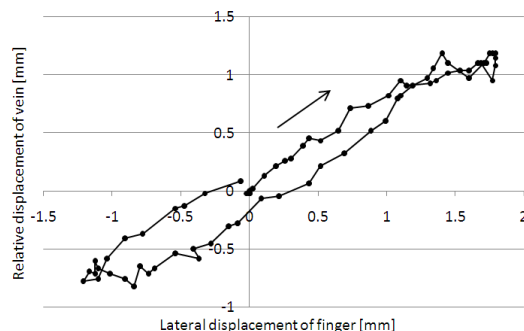


図7 指先を左右に往復させたときの輪郭の移動量と、静脈像と輪郭の相対距離

接線方向 (y)

静脈の観察が可能な範囲内の押し付け力をかけながら、指とアクリル板の接触面をずらさないように指を前後に往復させたときの様子を観察した。骨と同じ方向なので左右

に動かす場合よりも変形が小さいことが予測される。

これを確認した実験結果を図8に示す。ほぼ線形の関係であることが分かった。試行後に原点から離れた位置へ戻っているのは、指を手前に引いたとき接触面が移動したためと考えられる。変位の代わりに力を計測すれば、このようなずれは除外できる。

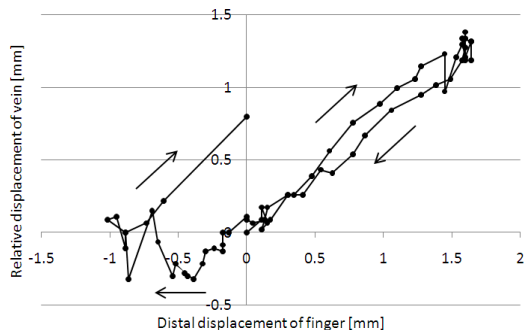


図8 指を前後に往復させたときの輪郭の移動量と、静脈像と輪郭の相対距離

回転方向 (θ)

静脈の観察が可能な範囲内の押し付け力をかけながら、指とアクリル板の接触面をずらさないように指を回転させたときの様子を観察した。

これを確認した実験結果を図9に示す。処理の都合上、分解能 1 deg で角度を計測した。ヒステリシスが見られるものの、輪郭の回転角度に応じて相対回転角度も変化する様子が確認された。これは静脈と輪郭の高さが異なっており回転によりねじれの関係をしたことを意味する。

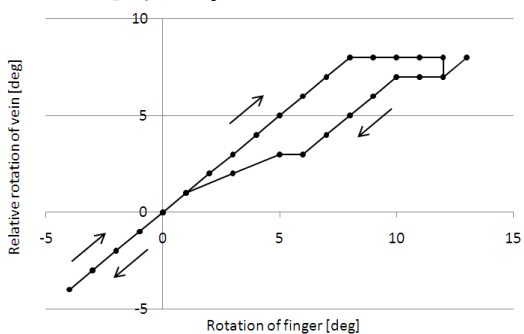


図9 指先を回転させた時の輪郭の回転角度と、静脈像と輪郭の相対回転角度

(2) 静脈像の詳細な観察

静脈の変位の詳細な観察に向けて、拡大レンズを介した撮像素と、超音波を用いて撮像を妨げることなく皮膚表面に触覚刺激を与える実験系を構築した。

実験の結果、想定していたよりも皮膚が赤外線を散乱するため、細かい枝分かれなどの詳細な観察は困難であることが分かった。

(3) 力推定の自動化

指表面に加えられた力の大きさと向き (4 自由度 x, y, z, θ) を推定するソフトウェアを

開発した。ここまでの実験結果は、記録したデータをオフラインで処理したものであった。この自動化を目指した。

精度とロバスト性を高める目的で、空間方向の情報の利用としてパターンマッチングを、時間方向の情報の利用としてオプティカルフローを導入することを試みた。ところが静脈像は押し付け力の変動によってコントラストが変化しやすく、部分的な消失も起こることから、これらの手法は適用が難しいことがわかった。簡易な代替策として、静脈像の特徴的かつ消失しにくい部分をトラッキングする手法を採用した。

(4) システム構築

これまでの成果を統合して、リアルタイム動作するタッチインタフェースシステムの構築に取り組んだ。特に装着デバイスについては、砲弾型 LED では重心が高い位置にあり、指に載せたとき安定しないという問題があった。面実装型 LED を採用してデバイスを薄型化することで、安定性と装着感の向上を図った ($40 \times 15 \times 4 \text{ mm}^3$) (図10)。

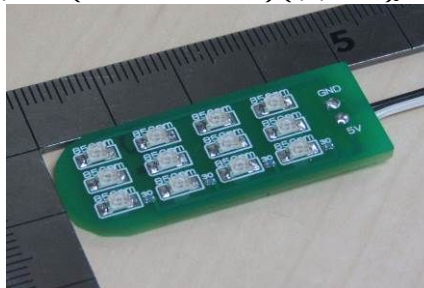


図10 薄型化した装着デバイス

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

星 貴之、静脈像にもとづくタッチインタフェース、第15回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2014年12月16日、東京国際展示場(東京都・江東区)

星 貴之、静脈像にもとづくタッチインタフェースのための基礎的検討、第28回センシングフォーラム、2011年10月13日、慶應義塾大学日吉キャンパス(神奈川県・横浜市)

〔その他〕

ホームページ等

http://star.web.nitech.ac.jp/index_j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

星 貴之 (HOSHI, Takayuki)

名古屋工業大学・若手研究イノベータ養成センター・助教

研究者番号： 80537704