日本バーチャルリアリティ学会　第29回日本バーチャルリアリティ学会大会

糸を使った指の縦方向の接触面積変化による柔らかさ提示機構の検討

白川愛深　長谷川晶一

東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

東工大 長谷川（晶）研 Haselab

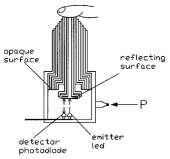
背景

非言語コミュニケーションにおける触覚の役割[1]
・感情を伝える
・お互いの存在感を高める
→物体の硬さや人肌等の柔らかさまで幅広く体験できることの重要性大

仮想空間でのコミュニケーションを円滑にする触覚デバイス要件
①ユーザーの自然な行動を阻害しない
・使用空間に制限がない　→ウェアラブル
・身体に負荷がかかりにくい　→小型・軽量
②実空間と仮想空間での作業を両立できる
・着脱が容易・または着脱の必要がない
・指腹部分の障害が少ない
・指につけた装置同士が干渉しない

柔らかさ提示
指先への接触面積に応じた反力を変化させることで提示可能[2][3]

図:[2]より引用



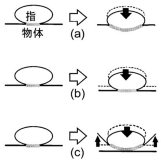
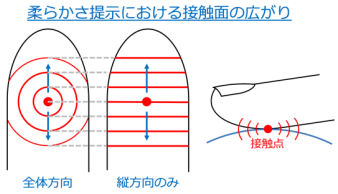


図:[3]より引用

上記のデバイス要件を満たす柔らかさ提示システムの仮説

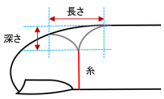
従来デバイス[1]による全方向への接触面積の広がりの縦方向部分を取り出し、指腹部分の障害が小さく横幅を取らない糸を用いて柔らかさ提示ができないだろうか？



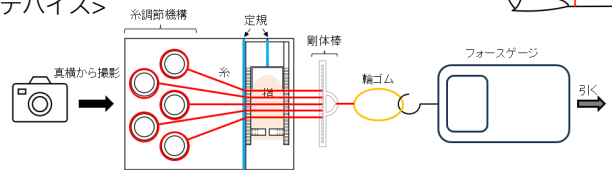
糸による柔らかさ知覚に影響を与える要素
・糸の素材, 太さ, 強度
　→耐久性が高く細い糸にPE ライン 0.8 号の釣り糸を採用
・糸の配置
　→接触点上に配置する糸を中央にし上下対象に配置
・**糸にかける力と指の皮膚変形の関係**
・**糸の本数・間隔**
・**各糸を引くタイミング**
　} **実験にて検証**

実験

予備実験
複数本の糸を間隔を変えて張り、指腹部分の皮膚の変形具合を測ることで、かけるべき力の範囲と糸の本数・間隔条件を決定した
<条件>
・加える抗力：糸1本あたり40mN～0.8N
・本数：3本と5本の2条件
・間隔：3本は2,4,6,8mmの4条件, 5本は2,4mmの2条件



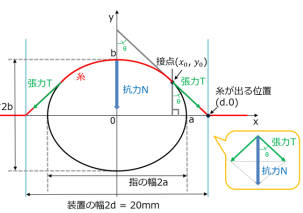
<実験デバイス>



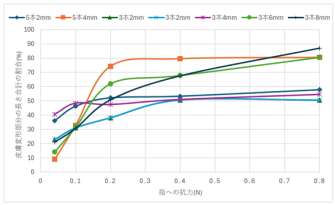
<糸により指にかかる効力の計算方法>

実験装置で糸を真横から引っ張った時の張力Tによる指先への抗力Nは、指の幅と高さの測定により、楕円に近似することで以下のように計算を行った

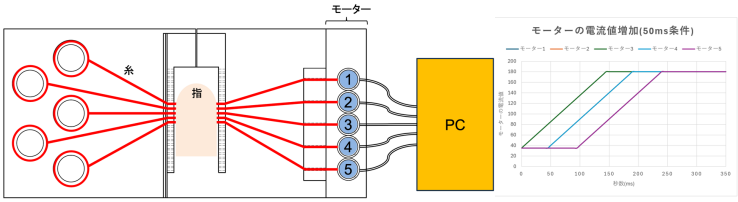
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{d\sqrt{1-\frac{a^2}{d^2}}}{b}\right), \quad T = \frac{N}{2\cos\theta}$$



<結果>
・上限を0.2N程度とした抗力の提示が望ましい
・指腹の局所的な曲率や柔らかさの違いによる糸ごとの抗力の差や糸のずれが発生する条件があった
→3本4mmと5本2mmの2条件で刺激の広がりが上手く提示できた



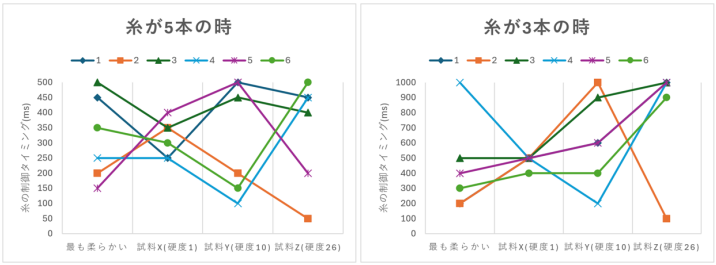
実験
糸を引き始めるタイミングに差をつけた場合の柔らかさ知覚にもたらす影響について、調整法を用いた評価実験を行なった
<条件>
・本数と間隔： 5本で2mm, 3本で4mm間隔の2条件
・加える抗力：糸1本あたり約80mNに設定
・糸を引き始めるタイミング：
　5本の時に50ms間隔で0, 50, 100…500msの11条件
　3本の時に100ms間隔で0, 100, 200…1000msの11条件
・柔らかさ試料：
　Type Cデュロメーターで硬度が1(試料x), 10(試料y), 26(試料z)の3種類
　(※ 硬度が小さい方が柔らかい)
<実験デバイス>
デバイス上のモーターを上から1,2,3,4,5番とすると、モーターに送る電流値の増加は以下のグラフのようになり(50ms間隔条件時)、中心のモーターから徐々に外側のモーターが駆動するようになっている



また糸による抗力を個人間で一定にする為に、指を置く高さを調整することで前述のθ値を一定にした。
<手順>
イヤーマフにより聴覚を遮断した上で実験は行われた
1. 提示される刺激11種類のうち最も柔らかく感じた刺激を回答
2. 目隠しされた柔らかさ試料に触れ、最も似ていると思った刺激を回答

結果・考察

実験は20代の男女6名を対象にして行われ、結果を以下に示す



・0ms条件が一度も回答されなかった
　→糸の制御タイミングは差をつけた方が柔らかさを感じやすい可能性
・接触面積の広がりが早い方が柔らかいと言う仮説に基づくと糸が5本の時より3本の時の方が予想と近い結果となった
・個人差が大きい結果となった原因としては、刺激提示の合間に生じる糸のたるみや、各モーターまでの糸にかかる摩擦の違い、モーターの駆動がうまくいかなかったことなどの理由により、同じ刺激を提示しても指にかかる抗力が変化し、刺激の提示が安定していなかったことが原因として考えられる

今後の課題

・デバイスの駆動の仕方を工夫し、提示刺激が安定するようにする
・今回は糸による接触面積変化のみパッシブタッチ実験のみを行ったが、アクティブタッチ実験を行うことで、現実に近い柔らかさは糸で提示できるのか、探究していく予定である

[1] Matthew J Hertenstein 1, Dacher Keltner, Betsy App, Brittany A Bulleit, Ariane R Jaskolka : Touch communicates distinct emotions, Emotion, Vol 6, No.3, pp.528-533, 2006
[2] Antonio Bicchi, Enzo P. Scilingo, and Danilo De Rossi, "Haptic Discrimination of Softness in Teleoperation: The Role of the Contact Area Spread Rate," IEEE Transactions on Robotics and Automation, No.16, Issue 5, 2000, pp.496-504.
[3]鈴木隆裕，池田篤俊，高松淳，小笠原司: 把持型触覚提示デバイスを用いた振動による柔らかさ提示：日本ロボット学会誌，30巻，7号，pp.718-726，2012