

バーチャル把持のための局所滑り覚呈示法

Method for Displaying Sense of Local Slip for Virtual Grasp

非 毛利 優之(慶大) 正 前野 隆司(慶大) 正 山田 陽滋(豊田工大)

Masayuki MORI, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama 223-8522

Takashi MAENO, Keio University

Youji YAMADA, Graduate School of Toyota Technological Institute

The stick/slip distribution in the contact area between the finger and grasped object is important information for precision grip of human. The deformation of finger in precision grip depends on the stick/slip distribution. Therefore the device displaying sensation of local slip makes it easy to grasp objects using remote controlled mechanical hand. The purpose of this paper is to design the device displaying sensation of local slip using finite element analysis. As a result of analysis, it is confirmed that there is possibility of displaying sensation of local slip using the tactile display device which stimulates finger through the deformation of an elastic body.

Key Words : Tactile Display, Stick/Slip Distribution, Local Slip, Finger

1. 結論

ヒトが指先で物体を把持する場合、指腹部と対象物との接触中央部には固着領域が、接触端部には局所滑り領域が現われる⁽¹⁾。固着領域とは、指腹部表面が対象物に固着している領域であり、局所滑り領域とは、指腹部表面が対象物の表面を滑っている領域である。触覚受容器の一つであるマイスナー小体は、局所滑り領域が広がった際に発火頻度が高いことが知られている。このため、マイスナー小体の発火状態から滑り領域の変化を知覚することによって、ヒトは把持力を制御していると考えられる⁽¹⁾。したがって、遠隔操作ロボットハンドの操作装置に局所滑りが生じている際の指の変形を再現する簡便な局所滑り覚呈示装置を装着すれば、ロボットハンドと対象物の接触部全体が滑る直前の現象をヒトに知覚させることが可能となり、遠隔操作ロボットハンドと対象物との摩擦係数の値にかかわらず、対象物を滑り落とさずに把持することができると考えられる。このため、本研究では有限要素法を用いて局所滑りが生じている際の指の変形を解析するとともに、同様の変形を再現する局所滑り覚呈示装置の設計指針を得ることを目的とする。

2. 有限要素解析

2.1 剛体平板と指の接触解析

(a) 方法

図1に示すように、剛体平板を指の有限要素モデル(指モデル)⁽²⁾に1mm押し付けた状態で接線方向にずらすことによって、局所滑りが生じている際の指の変形を再現した。剛体平板と指モデルの摩擦係数は0.25, 0.5, 0.75とした。なお、図中に示した丸印は各指紋の中央に存在する節点(指紋中央節点)の位置を示し、三角印は各マイスナー小体の位置を示している。また、図中指モデルの左側から*i*番目に存在する指紋中央節点およびマイスナー小体を、それぞれ ER_i , MC_i と定義する。なお、固着率は剛体平板に接触している指紋中央節

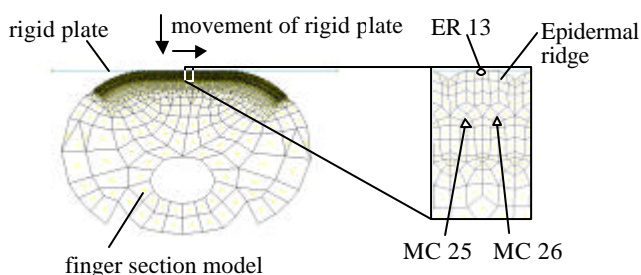


Fig. 1 Finite element method of finger and rigid plate

点の総数と剛体平板に固着している指紋中央節点の総数の比から算出した。また、ヒトの触覚受容器の神経インパルス発射頻度は触覚受容器位置でのひずみエネルギーと相関があること、マイスナー小体は速度を検出していることが知られている⁽²⁾。したがって、マイスナー小体の発火状態を推定するための物理量として、本解析での1stepあたりのマイスナー小体位置におけるひずみエネルギー変化量の絶対値 ΔE を用いることとする。

(b) 結果

摩擦係数0.5, 固着率6割のときの各指紋中央節点の変位増加量を図2に示す。ここで、変位増加量とは、剛体平板が指モデルに1mm押し込まれた状態を基準にした各指紋中央節点の接線方向の変位増分である。図より、局所滑り領域における変位増加量は、固着領域と比較して小さいことがわかる。また、摩擦係数0.25, 0.75の場合にも同様の傾向がみられた。これらより、局所滑り覚を呈示するためには、変位量が空間的に分布する刺激を指腹部に与えればよいことがわかる。

2.2 離散的に配置した刺激子と指の接触解析

図2より、各指紋中央節点の変位増加量は、変位増加量が小さい局所滑り領域と、変位増加量大きい固着領域に分けられることがわかる。したがって、図3(a)のように局所滑り領域および固着領域に位置する指紋の直上にそれぞれ刺激子を配置し、それぞれの刺激子に異なる変位を与えることによって、局所滑りが生じている際の指の変形を再現することができると考えられる。なお、図2の横軸は、指紋中央節点の位置を示す番号である。

(a) 方法

図3(a)中央の刺激子に与える接線方向変位は、剛体平板と指モデルの接触解析における指腹部中央の指紋中央節点の接線方向変位とした。また、両端の刺激子に与える接線方向変位は、固着率が0の状態において両端の刺激子と接触する領域の中央付近に存在する指紋中央節点の接線方向変位とした。

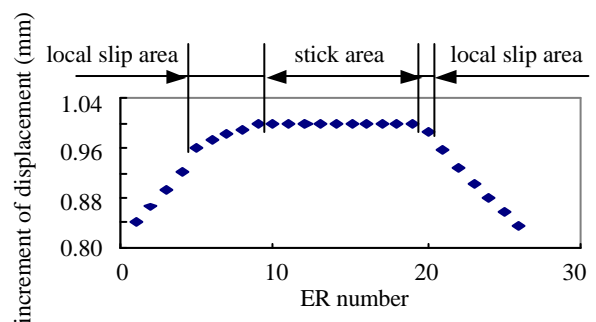
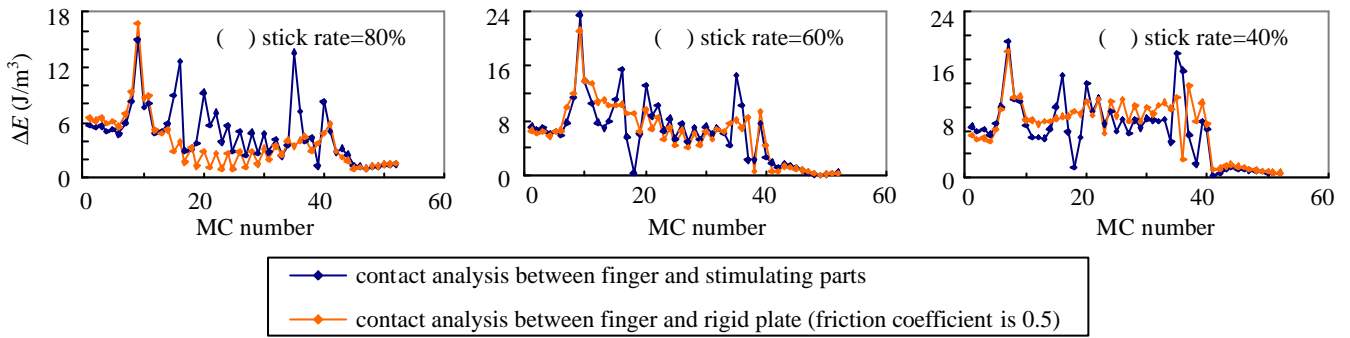
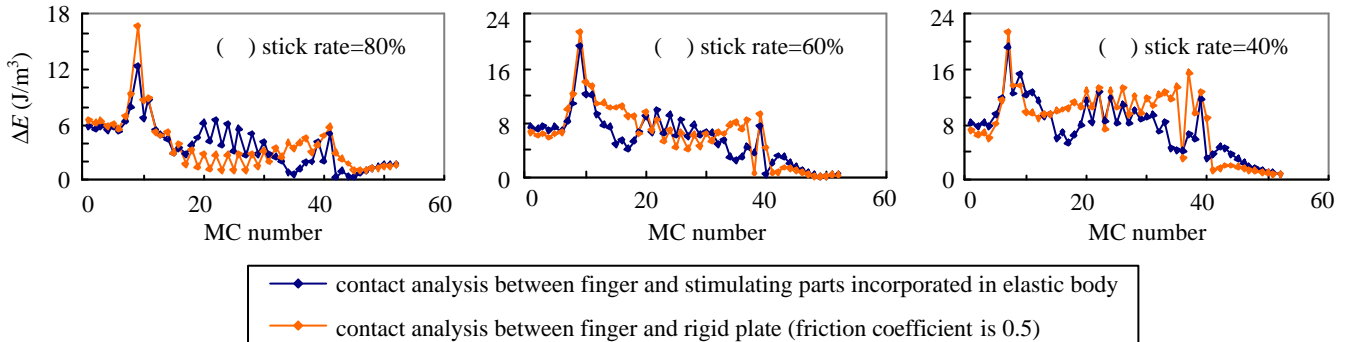


Fig. 2 Increment of displacement of epidermal ridge

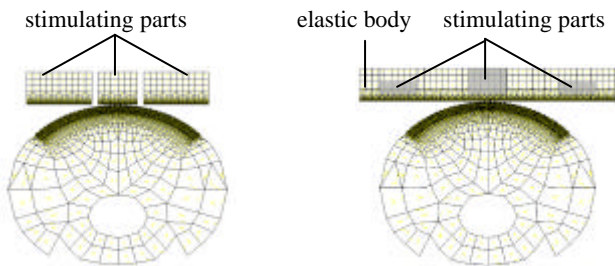


(a) Distribution of ΔE at Meissner's corpuscles in contact analysis between finger and stimulating parts



(b) Distribution of ΔE at Meissner's corpuscles in contact analysis between finger and stimulating parts incorporated in elastic body

Fig. 4 Distribution of ΔE at meissner's corpuscles



(a) Stimulating parts in contact with finger directly (b) Stimulating parts incorporated in elastic body

Fig. 3 Finite element model of finger and device displaying local slip

(b) 結果

図 4(a)にメイスナー小体位置における ΔE を示す。図中の横軸は、メイスナー小体の位置を示す番号である。図を見ると、メイスナー小体位置における ΔE の分布パターンは、局所滑りが生じた状態での分布パターンとは異なる位置に大きなピーク値が存在することがわかる。このため、刺激子を直接指に接触させた場合には、局所滑り覚をヒトに呈示するのは困難であると考えられる。また、ピーク値が存在する位置は、刺激子端部の直下に位置しているため、刺激子の離散感をヒトに強く感じさせてしまうと考えられる。

2.3 刺激子を挿入した弾性体と指の接触解析

2.2節より、刺激子を直接指に押し当てた場合には、局所滑りが生じた状態でのメイスナー小体位置における ΔE の分布パターンを再現することは困難であり、また、刺激子の離散感をヒトが強く感じる可能性もあることがわかった。これを解決する方法として、刺激子の数を増やすことが考えられるが、装置の製作が困難になるという問題点がある。図 2を見ると、局所滑り領域では、接触領域の外側にいくにつれて変位増加量が連続的に小さくなっていることがわかる。そのため、図 3(b)のように刺激子を弾性体の中に挿入し、弾性体の連続的な変形を介して指に刺激を与えれば、局所滑り領域での各指紋の変位増加量を再現できると考えられる。

(a) 方法

図 3(b)の刺激子部分の節点に接線方向強制変位を与えた。中央の刺激子に与える接線方向変位は、剛体平板と指モデルの接触解析における指腹部中央の指紋中央節点の変位とした。また、左右の刺激子に与える変位は、指モデルに1mm押し込んだ状態で刺激子の直下付近にある指紋中央節点の変位とした。なお、弾性体の物性値は、シリコンゴムの物性値である縦弾性係数 2.06MPa、ポアソン比 0.45 とした。

(b) 結果

図 4(b)にメイスナー小体位置における ΔE を示す。図 4(a)と図 4(b)を比較すると、弾性体を介する場合(b)の方が、メイスナー小体位置における ΔE 分布が実際の局所滑り時の ΔE 分布に近いことがわかる。同様に、摩擦係数が 0.25, 0.75 の場合においても、弾性体を介する場合の方が、メイスナー小体位置における ΔE 分布は局所滑りを再現した際の結果により一致していた。これらより、局所滑りが生じている際の指の変形を再現するためには、弾性体の連続的な変形を介して指に刺激を与える手法が有効であるといえる。

3. 結論

ヒトに局所滑り覚を知覚させるためには、弾性体の連続的な変形を介して指に刺激を与えることによって局所滑りが生じている際の指の変形を再現する手法が有効であることを確認した。今後は、局所滑り覚呈示装置の詳細設計および製作を行い、局所滑り覚を呈示する心理物理実験を行うことによって、弾性体の連続的な変形を介して局所滑り覚を呈示する本手法の有効性を確認する予定である。

参考文献

- (1) 広光, 前野, 物体把持時におけるヒト指腹部の固着・滑り分布と触覚受容器応答, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 68, No. 667, pp. 202-207, 2002
- (2) 小林, 前野, ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係(第 2 報, 動的接触解析手法および移動する平面と指の接触解析結果), 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 64, No. 628, pp. 4798-4805, 1998