

ペン型力覚インタフェースを用いた表面ラフネスの提示

谷道 健治 酒井 幸仁 橋本 周司
早稲田大学 理工学部 応用物理学科

1. はじめに

物体表面のラフネスなどを触覚・力覚情報として提示するために、ユーザの皮膚に対して直接的に機械的振動や電氣的刺激を与えて擬似的な触覚を提示する方法があるが、皮膚の状態(温度・湿度)に感覚が依存するため安定したパフォーマンスは期待できない[1]。一方、面をなぞる時の反力の仮想提示にはペン型力覚インタフェースが有効であるという報告がある[2]。そこで、SensAble Technologies社のペン型インタフェース PHANToM Omniを用い、紙の表面の三次元的ラフネスをペンを介して間接的に提示するシステムを検討した。本システムでは、デジタル顕微鏡で計測した紙の表面の凹凸情報と仮想ペンの先端部の形状から、仮想的な接触面をあらかじめ計算しておくことで、紙に文字を書いたときの、ペン先形状や紙質による書き心地の相違を直感的に把握できる。

2. システムの概要

システムはデジタル顕微鏡、PC、モニター、PHANToM Omni から構成される(Fig. 1)。キーエンス社のデジタル顕微鏡 VK-9500にて試料表面の高さデータを取得し、PCに取り込む。取り込まれたデータはOpenGLおよびPHANToM OmniのSDKにより、三角メッシュでポリゴン化され、試料の表面形状が視覚的・力覚的にレンダリングされる。ユーザはモニターを見ながら PHANToM Omniのペンを操作して、ジンバル(Fig. 2)に対応するペン先カーソルで仮想物体に触れることが出来る(Fig. 3)。

3. 高さデータの加工

力学提示システムを変更せず、高さデータを加工することで、同じ材質に対してペン先を変えた時の書き心地の変化を表現した。まず、高さデータ $f(i-k, j-l)$ に移動平均による平滑化を行った。次に、先が平面状および球状のペンで試料の面をなぞった場合の見かけの表面を高さデータから作成した。

3.1 移動平均

ペン先が接触する点 (i, j) を中心として移動平均処理を行う。

$$g_m(i, j) = \sum_{l=-M}^M \sum_{k=-M}^M f(i-k, j-l) a(k, l) \quad (1)$$

(f, g : 高さ、 a : 平滑化フィルタ)

加重 $a(k, l)$ はペン先からの加力によって表面が変形して沈み込むことを近似的に表すことになる。

3.2 平面状

ペン先を中心とした平面 S を想定し、中心が頂点の真上に来ると仮定してデータを加工する。具体的には平面 S に覆われる領域に存在する頂点の高さを比較し、最大値を求めてそれをペン先の高さ $g_p(i, j)$ とする。この処理を S の中心を1頂点ずつ動かして、試料の全領域を覆うまで行う。Fig. 4に次元の場合を示す。

$$g_p(i, j) = \max_{(k, l) \in S} f(i-k, j-l) \quad (2)$$

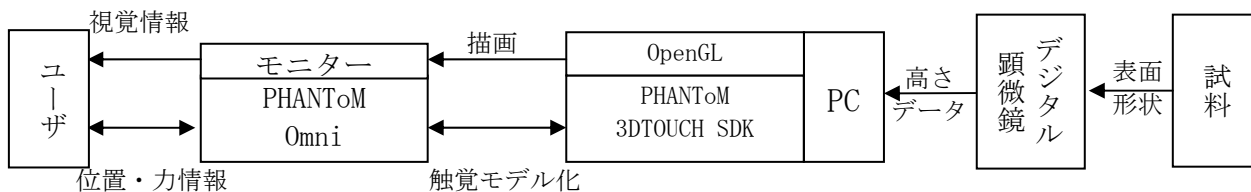


Fig. 1 システム概略図

Rendering of surface-roughness by pen-shaped haptic interface
Kenji Tanimichi, Yukihiro Sakai, Shuji Hashimoto
Department of Applied Physics, Waseda University
Contact author: taniken@shalab.phys.waseda.ac.jp



Fig. 2 PHANToM Omni

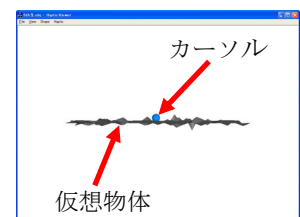


Fig. 3 仮想物体の表示画面

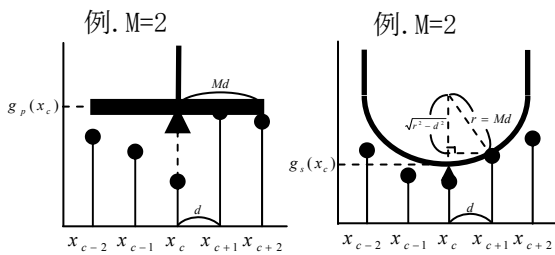


Fig. 4 平面形状

Fig. 5 球状

3.3 球状

球の中心は頂点の真上に位置するとし、球を上から下ろした時に最初に当たる頂点を算出してその時の球の中心から半径 r だけ下をペン先の高さ $g_s(i, j)$ とする。

$$g_s(i, j) = \underset{(kd)^2 + (ld)^2 < r^2}{\text{Max}} \{f(i-l, j-k) + \sqrt{r^2 - (kd)^2 - (ld)^2}\} - r \quad (3)$$

(d : データのサンプリング間隔)

この処理を球の中心を1頂点ずつ動かして、試料の全領域に対して行う。Fig. 5 に次元の場合を示す。

4. 実験

試料として上質紙を採用した。デジタル顕微鏡 VK9500 で紙表面(1.3mm×1.0mm)の高さデータをサンプリング間隔 $d=5.2\mu\text{m}$, 高さ精度 $10\mu\text{m}$ で49152点取得し、PCに取り込んだ。実験ではレンダリングには試料中央(0.13mm×0.09mm)の475点のみを用い、また高さに関してはPHANToM Omniの力覚提示分解能を考慮して拡大し、加工データをユーザに提示してなぞり感を調べた。

4.1 移動平均

平均をとる範囲はペン先を含めた 3×3 点、 5×5 点、 7×7 点の3種類を用意し荷重は一定とした。移動平均の領域が増すにつれ、凹凸は減少し、49点で平均した際はほぼ平面となることが視覚的にも力覚的にも確認された(Fig. 6)。

4.2 平面形状

平面は正方形とし、辺長としては $2Md=10.4, 20.8, 31.2, 41.6, 52.0\mu\text{m}$ の5種類を用意した。辺の長さを $10.4\mu\text{m}$ から拡大していくと始めは多くの凹凸を感じていたのが、階段をなぞっている様な感覚に変わった。ただし、 $41.6\mu\text{m}$ と $52.0\mu\text{m}$ では視覚的にも力覚的にも違いを感じ取れなかった。これは仮想物体全体がもはやほとんど平面になってしまった結果であり、視覚的にも確認できる(Fig. 7)。

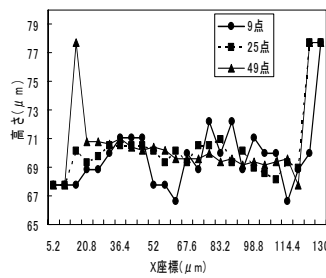


Fig. 6 移動平均

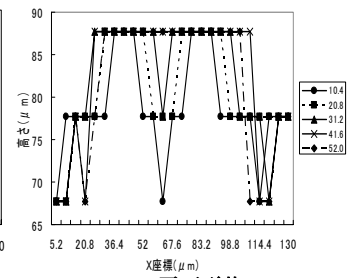


Fig. 7 平面形状

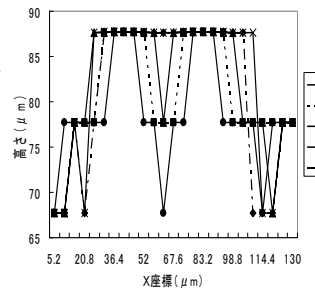


Fig. 8 球状

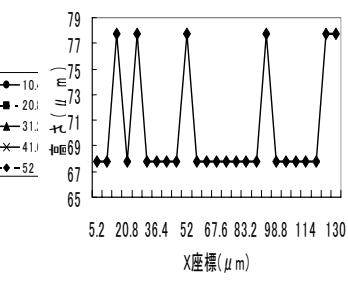


Fig. 9 生データ

4.3 球状

球の直径として $2Md=10.4, 20.8, 31.2, 41.6, 52.0\mu\text{m}$ の5種類用意した。直径を段階的に大きくすると凹凸が階段状に変化し、 $41.6\mu\text{m}$ 以上は変化しないと知覚された。だが、平面形状と比較した力覚の差は僅かで視覚的にも認識は難しい(Fig. 8)。

5. まとめ

ペン型インタフェース PHANToM Omni を用い、ペン先形状の変化に伴う上質紙の書き心地の変化を提示するシステムについて述べた。本システムを用いることで、実際に紙やペンを製造する前に書き心地を体感することが可能となるばかりでなく、自由度の少ないペン型インタフェースでも表面のラフネスを提示できることが判る。今後は高さ情報以外に摩擦係数や弾性係数の情報を利用した、より忠実な感覚の提示を予定している。

参考文献

- [1] Tanimichi, K., Suzuki, K., Hartono, P., and Hashimoto, S., "Sensing distant objects by tele-haptic interface," Proc. of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003), Japan (July 2003)
- [2] 下垣徹、水田忍、増田徹、松田哲也：3次元反力取得・表示システムを用いた仮想物体と実物体の力覚情報比較、日本バーチャルリアリティ学会誌 vol. 8, No. 2, pp. 145-154(2003)