

感圧導電シートとチップサーミスタを用いた グローブ型圧力・温度分布計測センサの開発

梶本 裕之* (電気通信大学), 佐藤 克成 (奈良女子大学)

外山 敬三 (日本メクトロン株式会社), 吉原 秀和 (日本メクトロン株式会社)

Development of Glove-type pressure and temperature distribution sensor using conductive pressure-sensitive sheet and chip thermistor

Hiroyuki Kajimoto*(The University of Electro-Communications)

Katsunari Sato (Nara Women's University)

Keizo Toyama, Hidekazu Yoshihara (Nippon Mektron, Ltd.)

This paper introduces glove-type tactile sensor that can simultaneously measure temperature and pressure distribution while the user wears the glove. The sensing elements are pressure-sensitive conductive layer and chip thermistors, both are acquired by measuring resistance change. The preliminary experiment showed that the system can measure at up to 2.7kHz sampling rate, which is fast enough to capture collision phenomenon. Our final prototype covers three fingers, each finger comprises 5 by 10 pressure sensing points and 8 temperature sensing points for each finger, stably transferring data at 60 Hz sampling rate.

キーワード: 指, 圧力分布, 触覚センサ, テレイグジスタンス, 温度分布, ウェアラブル
(finger, pressure distribution, tactile sensor, telexistence, temperature distribution, wearable)

1. はじめに

触覚センサの用途は幅広く, 情報機器の入力装置としてのタッチパネル, ロボットに触知覚能力を与えるためのロボットフィンガ[1][2][3], 産業用途や人間の行動計測一般のための圧力分布センサなど多岐にわたる. 本稿は人が装着し, 何らかの作業の際の触覚を記録するための, 装着型触覚センサを扱う. こうした装着型の触覚センサは, 例えば触覚ディスプレイと組み合わせることで, 遠隔ユーザの触覚情報を共有するために利用できる. また人の巧みな作業を支える触覚の要素を明らかにし, 同様に巧みな作業を行うロボットを研究開発するために利用できると考えられる.

装着型の触覚センサは, 指先本来の触覚を阻害しないことが望ましい. このためこうした触覚センサは, 例えば指の側面にひずみゲージを配置したり[4], 爪の色変化[5]や爪上の振動[6][7][8]を計測したりといった工夫により指腹部を覆わないように設計される場合が多い. ただしこうした手法では, 指全体に加わる力や振動は計測できるものの, 指表面に加わる圧力分布や温度分布を計測することはできない.

人は例えば鉛筆や箸を扱う際に, 把持しているそれらの

道具の方向を容易に判別し, 把持姿勢や位置の微調整を行っている. このことから, 指全体に加わる力のみならず指皮膚で判断されるエッジや形状の情報も, 我々の日常的な作業に欠かせない情報であると考えられる. また人が対象物の材質や表面性状を判断する際に温度知覚が重要であることが知られているため[9][10], 前述のような遠隔ユーザの触覚情報の共有という状況では温度についても計測できることが望ましいと考えられる.

そこで我々は, 人の触知覚能力と同程度の時間・空間分解能をもち, 温度分布も計測可能な, 複数指への装着に対応したグローブ型の触覚センサを開発した(図1). 圧力分布センシングに関しては感圧導電シートを用い, 温度センシングに関してはチップサーミスタを用いた. グローブ型の触覚センサはこれまで多数開発されており, その多くが感圧導電性のインクないしシートを用いている[11][12]. またグローブ内に圧力分布センサと触覚ディスプレイを内蔵し, センシングと同時に得られた触覚情報を増幅して提示するシステムも提案されている[13]. しかしこうした試みの多くは時間応答性については言及しておらず, 人の触知覚の時間的, 空間的分解能との直接的な比較は難しい. 近年では例えばニッタ株式会社の High-Speed I-SCAN システ

ム[14]は 720Hz で計測が可能である。ただしこれまで、温度分布計測と圧力分布計測が共存した、装着可能な触覚センサシステムは、筆者らの知る限り存在しなかった。



図 1 3本指用圧力・温度分布計測センサ外観

Fig. 1 Overview of the pressure and temperature distribution sensor for three fingers.

2. センサ構造

図 2にセンサの構造を示す。全体はグローブの布で覆われており、グローブに最も近い最外装にはシート状の導電層が配置されている。この導電層は圧力によって抵抗値が変化する感圧性を持ち、その抵抗値変化を2つの電極によって計測する。電極はフレキシブル基板上に形成されており、この基板の反対面にはチップサーミスタ (TDK, B57232V5103F360)が配置されている。

ユーザはこのチップサーミスタを直接触る形で使用する。この構造によりサーミスタは普段は指先の温度を計測し、対象物に接触した際にはそこからの温度低下を計測することになる。対象物の温度計測という観点では、温度計測素子は最外層に配置することが理想であるが、チップサーミスタの破損の危険性を避ける観点からこのような構造を取った。なお人の知覚に近づけるといふ観点では、このように体温からの温度低下を計測する状況は望ましいと考えられる。

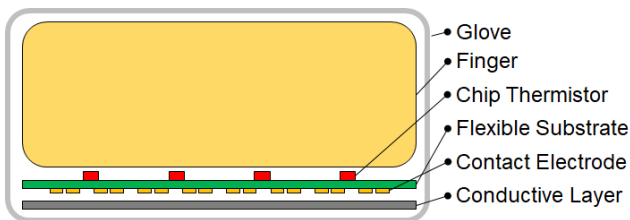


図 2 センサ構造

Fig. 2 Structure of the sensor.

図 3に読み出し回路の構成を示す。感圧フィルムとチップサーミスタは共に抵抗値変化する素子である点では共通している。このため一般的な抵抗マトリクスの検出回路を構成した。マイクロプロセッサ(mbed NXP LPC1768)からのデジタル出力によってセンサマトリクスの一行を選択し、固定抵抗によって分圧された電圧出力を多チャンネル

AD変換器 (Texas Instruments, ADS7953) によって検出した。AD変換器もマイクロプロセッサによって制御され、PCとマイクロプロセッサ間のUSBシリアル通信によって計測データがリアルタイムに送信される。

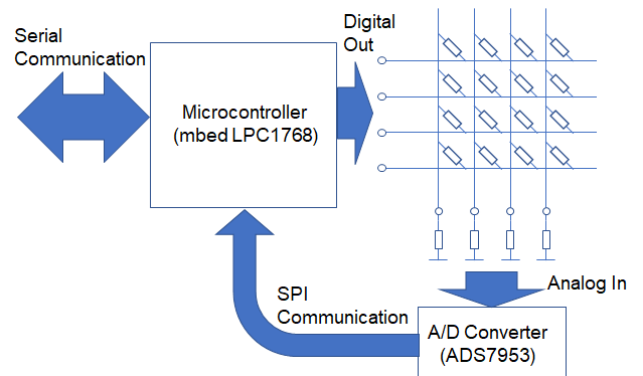


図 3 回路構成

Fig. 3 Circuit diagram.

<2.1> 圧力分布センサの応答性検証

図 4に、圧力分布センサに関する予備的な試作を示す。本試作は読み出し回路の性能検証を目的とし、指先センサとは別に作成した同一素材の圧力分布センサを用いて行った。センサ素子の個数は 256 点(16×16)であり、センサ間隔は 4mm である。今回は PC との通信のオーバーヘッドの影響を除き、センサ読み出しの速度の上限値を求めるため、計測データは一時的にマイクロプロセッサのメモリに保存する方式を取った。この結果、16×16の圧力分布を 2.7kHz で 100 回(37ms)計測することができた。これは 256 点の計測一回に要する時間が 0.37ms 程度であったことを意味する。

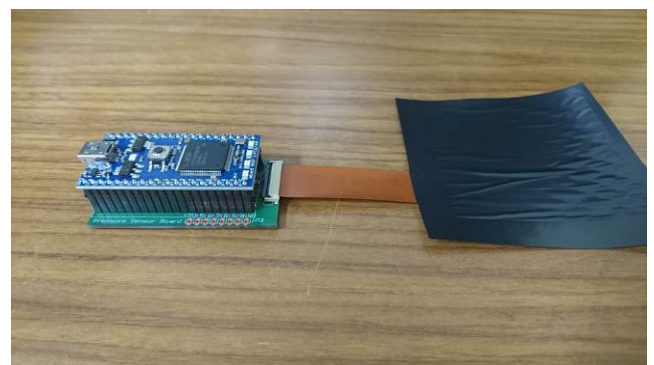


図 4 圧力分布計測評価用セットアップ

Fig. 4 Setup of pressure distribution measurement.

図 5に、ゴムボールをセンサに落下させた際の圧力分布の時間変化を示す。16×16のセンサ出力のうち 8×8の部分を取り出して表示している。圧力分布が広がっていく様子と、辺縁部に圧力が集中している様子が観察できる。本計測結果はセンサ素子自体の物理的応答性を示すものでは

ないが、少なくとも接触開始時と終了時、連続したフレーム間で明瞭な変化が見られることから（例えばフレーム 1 から 3、13 から 15）高い応答性を持つと考えられる。

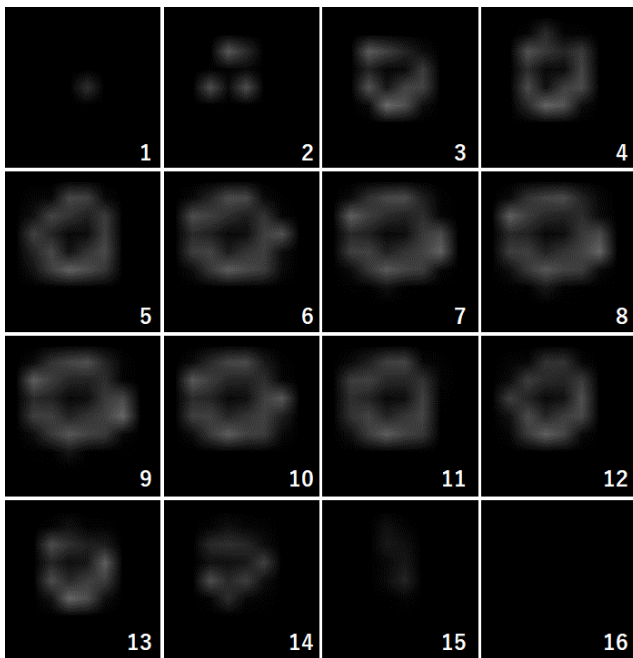


図 5 2.7kHz サンプリングで計測されたゴムボール衝突時の圧力分布変化

Fig. 5 Pressure distribution measurement of rubber ball hitting the surface, at 2.7kHz sampling rate.

3. グローブ型センサ

図 6に3本指用の圧力、温度分布計測センサの内部の様子を示す。指一本あたり、圧力分布は50点(5×10)、温度分布は8点での計測点を持つ。センサ素子の間隔は2mmである。フレキシブル基板は指の曲げに対応するために蛇行させている。

図 7にセンサ部を拡大した様子を示す。図 2で模式的に示したように、フレキシブル基板の外側に導電層が、内側にチップサーミスタが配置されている。チップサーミスタはOの字型に8個配置している。これは指が対象物に斜めに接したとしても温度計測が頑健に行われることを目指した配置となっている。

計測データの点数は $(50+8) \times 3 = 174$ 点である。これを1点あたり1byteでPCにリアルタイムに送信する場合、1392bitとなる。USB経由のシリアル通信の標準的な上限である921600bit/秒で送信する場合、概算で600Hz程度のリフレッシュレートが達成可能である。これはセンシングにかかる時間を無視した値であるが、前章で述べたようにセンシングに要する時間は通信に要する時間より桁程度小さく、影響は少ないと考えられる。実際にこの速度での計測を継続的に実行できることを確認した。ただしUSBインタフェースを介したシリアル通信を用いているため、予測不可能な通信遅延が発生する可能性は存在する。

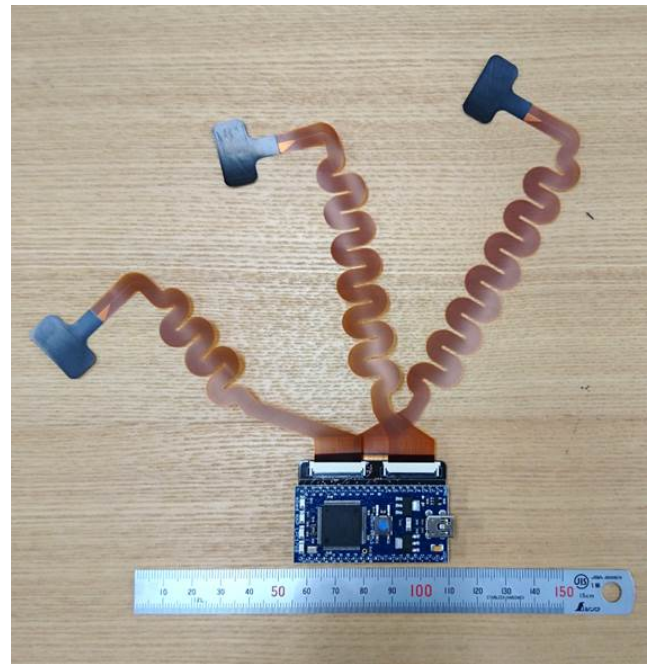


図 6 3本指用圧力・温度分布計測センサ内部

Fig. 6 Internal components of pressure and temperature distribution sensor for three fingers.



図 7 センサ部拡大

Fig. 7 Magnification of Sensing parts.

図 8に実際の計測の様子を示す。ここでは画面に表示するため計測と通信は60Hzのリフレッシュレートで行った。画面の上半分は指ごとの圧力分布を表しており、下半分は温度分布を表している。図 8(上)はドライバを把持した際の圧力分布を示しており、各指に線状の圧力分布が観察されている。図 8(下)は高温の液体の入ったコップを把持した際の温度分布を示している。チップサーミスタの凹凸により圧力分布計測に影響が出る危険性が考えられたが、実際の圧力分布計測ではチップサーミスタの影響は見られなかった。これは指皮膚の柔軟性によりチップサーミスタが埋没したためと考えられる。

謝辞: 本研究は JST-ACCEL 身体性メディアプロジェクト(JPMJAC1404)の助成を受けて行われた。

文 献

- [1] Su, Z., Hausman, K., Chebotar, Y., Molchanov, A., Loeb, G. E., Sukhatme, G. S., Schaal, S., "Force Estimation and Slip Detection/Classification for Grip Control Using a Biomimetic Tactile Sensor," Proceedings of IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, 297-303, 2015.
- [2] Lin, C. H., Erickson, T. W., Fishel, J. A., Wettels, N., Loeb, G. E., "Signal Processing and Fabrication of a Biomimetic Tactile Sensor Array with Thermal, Force and Microvibration Modalities," Proceedings of Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, 129-134, 2009.
- [3] Sato, K., Kamiyama, K., Kawakami, N., Tachi, S., "Finger-Shaped GelForce: Sensor for Measuring Surface Traction Fields for Robotic Hand," IEEE Trans. on Haptics, 3(1), 37-47, 2010.
- [4] Nakatani, M., Kawasoe, To, Shiojima, K., Kinoshita, S., Wada, J., "Wearable Contact Force Sensor System Based on Fingerpad Deformation," Proceedings of IEEE World Haptics Conference, 323-328, 2011.
- [5] Mascaro, S.A., Asada, H., "Photoplethysmograph Fingernail Sensors for Measuring Finger Forces without Haptic Obstruction," IEEE Trans. on Robotics and Automations, 17(5), 698-708, 2001.
- [6] 橋本, 湯村, 米村, 飯塚, 前田, 安藤, "爪上振動を利用したなぞり動作における触覚伝送手法," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 16(3), 399-408, 2011.
- [7] Kurogi, T., Nakayama, M., Sato, K., Kamuro, S., Fernando, C. L., Furukawa, M., Minamizawa, K., Tachi, S., "Haptic Transmission System to Recognize Differences in Surface Textures of Objects for Telexistence," Proceedings of IEEE Virtual Reality, 137-138, 2013.
- [8] Maeda, T., Peiris, R., Nakatani, M., Tanaka, Y., Minamizawa, T., "Wearable Haptic Augmentation System Using Skin Vibration Sensor," Proceedings of Int. Conf. and Exhibition on Virtual Technologies and Uses, 2016.
- [9] Ho, H. N. and Jones, L.A., "Contribution of Thermal Cues to Material Discrimination and Localization," Perception & Psychophysics, 68 (1), 118-128, 2006.
- [10] Yamamoto, A., Yamamoto, H., Cros, B., Hashimoto, H., Higuchi, T., "Thermal Tactile Presentation Based on Prediction of Contact Temperature," Journal of Robotics and Mechatronics, 18(3), 226-234, 2006.
- [11] Wang, Z., Holledampf, J., Buss, M., "Design and Performance of a Haptic Data Acquisition Glove," Proceedings of Int. Workshop on Presence, 349-357, 2007.
- [12] 驚坂, 大村, 長久保, 国吉, 尾崎, "皮膚の変形に追従する高密度触覚センサグローブ," 日本ロボット学会論文誌, 30(7), 711-717, 2012.
- [13] 神谷, 梶本, 佐藤, 柳田, "Haptic-Through Systems: 被覆物透過型触覚伝達システムの提案," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 22(3), 359-368, 2017.
- [14] ニッタ株式会社, 面圧分布測定システム HIGH SPEED I-SCAN <https://www.nitta.co.jp/product/sensor/hi-speed-i-scan/>

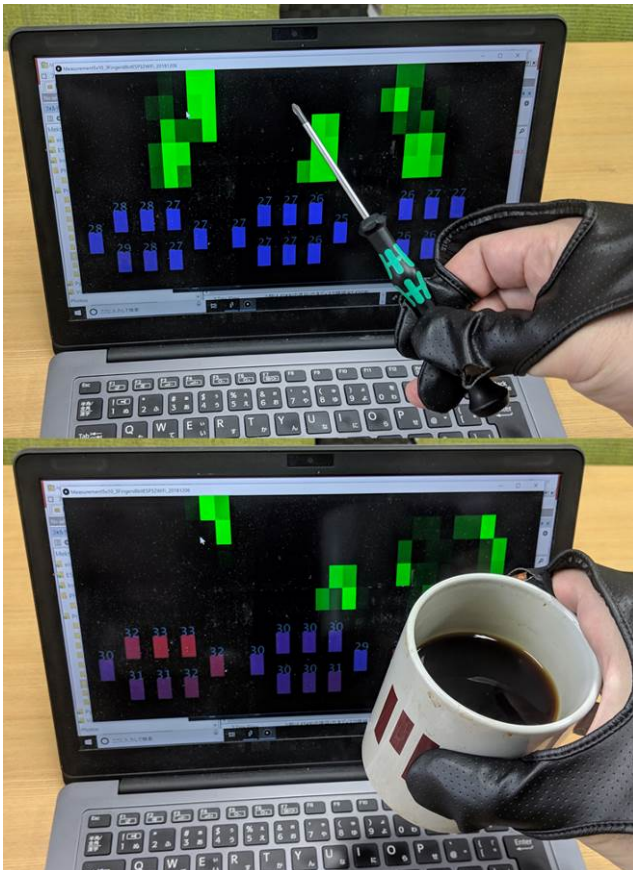


図 8 計測の様子。画面上半分が各指の圧力分布, 下半分が温度分布を表す。(上) ドライバを把持した際の圧力分布 (下) 高温のコップを把持した際の温度分布計測。

Fig. 8 Overview of the measurement. Upper half of the display shows pressure distribution for each finger, and lower half shows temperature distribution. (Top) Pressure distribution when grasping a driver. (Bottom) Temperature distribution when holding a hot mug.

4. おわりに

本稿では人が装着することを前提とした指先用触覚センサグローブの開発について報告した。圧力分布センサの値の読み出しの結果から数 kHz 程度の応答性を持ちうることが示唆され, 実際に作成した 3 本の指に対応したセンサシステムにより, 実作業時の圧力と温度の分布をリアルタイムに計測できることを示した。

なお圧力の計測可能範囲や線形性, 温度計測の時間応答性などについては未評価である。特に温度計測についてはグローブと感圧層, およびフレキシブル基板を介した計測のため応答が悪いと考えられる。

こうした基本的な性能評価とは別に, 圧力分布センサの応答性の高さが観察により明らかになっていることから, 例えば stick-slip のような振動現象を計測できるかどうか, さらに触覚領域のみならず聴覚領域の計測も可能かどうかも検討していきたいと考えている。