

着座姿勢評価のための座面圧力分布計測装置の開発

武 田 隆 宏

機械システム工学科 〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1丁目10番2号

t-takeda@daiichi-koudai.ac.jp

Development of Seat Pressure Distribution Sensor for Sitting Posture Evaluation

Takahiro Takeda

Mechanical system engineering, 〒899-4395 1-10-2, Kokubu-chuou, Kirishima, Kagoshima

t-takeda@daiichi-koudai.ac.jp

Abstract: Most of our daily activities consist of standing, sitting, lying and walking. Above all, sitting behavior is said to account for more than half of the waking hours, and it can be said that it is directly connected to the quality of our lives. In this research, we will develop a device that can measure the pressure distribution on the seating surface as a measuring device for evaluating the sitting posture. The bearing pressure distribution indicates the distribution of pressure generated between the buttocks and the seating surface at the time of seating, and varies depending on the posture and wrinkles of an individual. In this paper, in order to develop a measuring device specialized for the measurement of the sitting state, the sensors arranged in an array are usually concentrated on the buttocks and the legs. The measuring device to be developed adopts a cushion type so that the sitting condition in various chairs can be evaluated, and is constituted by 16 pressure sensors and a small microcomputer. The electric resistance value which fluctuates with the pressure applied to each pressure sensor is measured with a small microcomputer, and it transmits to PC by wire connection. In the experiment, six postures and actions are classified using the created sensor.

Keywords: Seat pressure distribution, sensor, health monitoring, fuzzy inference, classification

1. まえがき

現代の生活においても、我々の日常動作のほとんどは立位、座位、臥位、歩行動作で構成されていると考えることも可能である。一般に日常生活の1/3は睡眠（臥位）で過ごしているとされ、その重要性より寝具やモニタリングシステムなど、睡眠の質を向上させるための機器が開発されている。また、運動不足の改善などの理由により歩行動作について

も多くの関心が集まっている。座位は下肢筋力を休息させることができ、長時間にわたり姿勢を保ちやすいことから、事務作業や勉強などといった創造的な作業、車の運転や公共交通機関での移動手段、食事や読書・映画鑑賞などの休息時、さらには、他者とのコミュニケーションを行う場合といった多岐に渡る状況での姿勢として使用されている。特に、コンピュータの発展により、事務仕事の多くが着座状

態で行うようになった現代では、座位での動作も増えていくことが予想される。このような座位での行動は、一日の覚醒時間における行動割合の約60%を占めるとも報告されており[1,2]、我々の健康寿命を考えていくのにあたり重要な位置を占めていると考えられる。一方で、人体の構造上、座位では腰に負担がかかり、正しい座り方が出来ていない場合、腰痛の原因となる場合が多いと言われている。また、特に車椅子の利用者にとって長時間連続した座位による褥瘡（床ずれ）が大きな悩みとなっている。

着座状態の評価には外部からのカメラや RGB-D センサを使用した視覚的な評価や、座面に設置した圧力分布センサを用いた座面圧力の解析によるものが提案されている。視覚的な評価では、上体を含めた姿勢そのものを評価可能であるため、その信頼性は高いが、計測機器の設置条件に制約やプライバシー侵害による心理的抵抗により、家庭内や職場での利用は困難であるとされている。一方で、座面圧力を用いるものは、クッション型のセンサを利用することにより簡便な計測が可能であるという利点がある。また、筆者らも先行研究で圧力分布を用いた歩行動作解析などを実施しており、圧力分布によるヒトの行動分類が可能であることを示している [3]。本研究では、日常生活で使用することを考慮し、クッション型のセンサを使用する。

我々の生活の中で着座姿勢は多岐にわたる用途で使用されており、例えば休息時と創造的な作業での最適な姿勢は異なるとされている。このように状況に応じて変わるだけでなく、活動状態によって、適した姿勢をとることにより効率的な生活をおくることができると考えられる。本研究では、姿勢の評価に先立ち、これらの日常生活における動作の分類手法について提案する。提案手法は通常姿勢や猫背といった姿勢および読書や書類仕事などの行動の分類を行う。クッション型センサより得られた圧力値を元に、ファジィ推論に基づく分類器を構築することで姿勢の推定を行う。この分類器はセンサの値に基づき分類対象となる姿勢である度合いを出力する。姿勢推定システムは分類器の出力より最も度合いの高い動作として分類を行う。

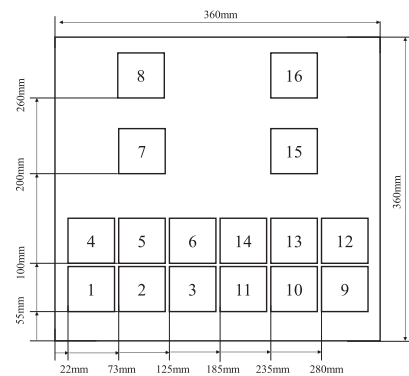


図1 センサ配置



図2 計測結果の例

2. 計測装置

本研究で使用する座面圧力分布センサは16個の圧力センサ (FSR406, Interlink Electronics Inc.) と小型マイコン (ELEGOO mega2560 R3) およびPCによって構成される。FSR406は1辺が40mmの正方形の計測範囲を持つ圧力センサであり、圧力の印加に伴い電気抵抗値を減ずる性質を持っている。“ELEGOO mega2560 R3”はArduino互換のマイコンボードであり、16個のアナログ入力を持つ。このマイコンボードへFSR406を接続し、その電気抵抗値を求めることで圧力の計測を行う。圧力値のサンプリング間隔は50msとして設定される。

図1にセンサの配置を示す。このセンサでは着座状態の計測に特化させるために、16個の圧力センサをアレイ状に配置するのではなく、臀部に12個、大腿部に4個と偏りを持って配置されている。このクッション型センサは椅子に接する層の板の上にウレタンボード層にサンドイッチされた圧力センサ層で構成される。図2に計測結果の例を示す。

3. 姿勢推定手法

姿勢推定手法により通常姿勢、猫背、反り腰といった上肢姿勢の評価および休憩、読書、書くといった動作の分類を行う。これらのデータの計測は事務机に向かって座った状態で行われる。椅子の高さは利用者の両足が地面に付き、かつ机の上で事務作業ができる高さに設定する。

ファジィ推論に基づく分類器を用いて、それぞれの姿勢に対する所属度合いを算出する。分類器は以下の知識に基づき作成される。(知識1)同一の姿勢からは類似した座面圧力分布が得られる。(知識2)姿勢により座面圧力分布の特徴的な箇所は異なる。知識1は姿勢そのものの特徴や個人の癖に基づき変動する座面圧力分布に関する知見を示している。知識2は姿勢による圧力分布の違いを表したものであり、センサ情報に対する重み付けに利用される。

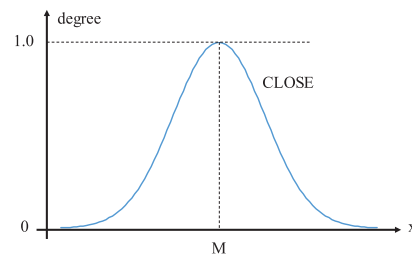
これらの知識は次のファジィ IF-THEN ルールで表現される。(ルール1) IF センサの計測値が姿勢に対する標準値に近い、THEN その姿勢である度合いが高い。(ルール2) IF センサの分類性能が高い THEN そのセンサの重要度は高い。ここで、 $M(P, s)$ は s 番目のセンサにおける姿勢 P の標準的な値を示し、本手法では学習用データに対する平均値を使用する。また、 $CS(P, s)$ は s 番目単体での姿勢 P の分類性能を示す。また $\mu_1(P, t, s)$ は圧力値 $X(t, s)$ に対する姿勢 P への所属度、 $\mu_2(P, s)$ は姿勢 P を分類する際の重要度を示し、それぞれ式(1)および式(2)で表現される。

$$\mu_1(P, t, s) = \min(CLOSE_{P,s}, S_{X_s}(x)) \quad (1)$$

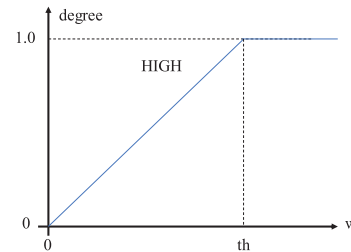
$$\mu_2(P, s) = \min(HIGH_P, S_{SC}(w)) \quad (2)$$

ここで CLOSE と HIGH はファジィ言語関数であり、それぞれ図3に示すファジィメンバーシップ関数として定義される。また、 $Sa(b)$ はファジィシングルトン関数である。

事前に計測を行い得られた学習用データを使用し、姿勢毎にそれぞれのセンサにおける平均値 $M(P, s)$ および標準偏差 $SD(P, s)$ を算出する。ファジィメンバーシップ関数 CLOSE は姿勢毎にこれらの値を使用し、次式により作成される。



(A) CLOSE



(B) HIGH

図3 ファジィメンバーシップ関数

$$CLOSE_{P,s} = \exp\left(-\frac{(x - M(P, s))^2}{2\sigma(P, s)^2}\right) \quad (3)$$

また、分類機の重要度を決定するためのファジィメンバーシップ関数 HIGH についての学習では、対象となる姿勢 P に対し、同一の姿勢および異なる姿勢の学習用データに対する平均所属度から次式で分類性能を決定する。

$$SC(P, s) = \frac{\sum_{TP} \mu_1(P, t, s)}{N_P} - \frac{\sum_{TN} \mu_1(P, t, s)}{N_N} \quad (4)$$

このように学習した分類器より特定の座面圧力分布 $X(t) = \{X(t,1), X(t,2), \dots, X(t,16)\}$ に対する各姿勢への所属度は、センサ毎の所属度の総和として算出され、最も高い所属度を持つ姿勢を利用者の姿勢として推定する。

4. 実験結果

姿勢推定手法の評価のため、精度の評価実験を行う。実験では、通常姿勢、猫背、反り腰、休憩、読書、書く（事務作業）という6動作について推定を行う。ここで、各動作は被験者が意識的に行うものとする。休憩については、椅子の背もたれに体重を預け休んでいる動作とし、読書は本を手を持った状態で行う。事務作業は机の上に置いたタブレット端末へ文字を記入する動作として計測を行う。

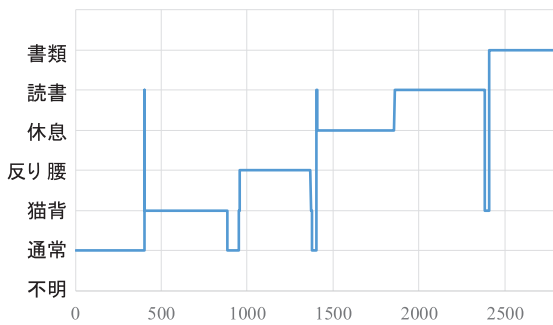


図4 連続動作に対する姿勢推定結果

項目	U. UU	U. LL
反り腰	1.67	0.00
休息	25.00	5.00
読書	25.00	5.00
書類	29.17	0.00

それぞれの動作について20秒間ずつ4回測定し、四分分割交差検定により精度の評価を行った。実験では計測データからそれぞれ150の計測点を抜き出して学習および評価を行うものとする。各姿勢の分類精度を表1および表2に示す。ここで分類精度はFalse acceptance rate (FAR) および False rejection rate (FRR)で表現する。この指標は対象としている姿勢が誤って他の姿勢（不定を含む）と認識された割合を表現しており、低いほうが分類性能の高い分類器で有ることを示す。表1に示すクロス表を見ると、読書と休息とがそれぞれ誤って推定されていることがわかる。これは、被験者の読書を行う際に体重を背もたれに預ける場合があるためだと考えられる。また、事務作業のいくらかが猫背として判定されたのは、ともに前傾姿勢であるためだと考えられる。

連続して姿勢が変更されるような動作についての推定精度の評価を行った。実験では約20秒間任意の姿勢を維持し、5秒のインターバルを挟んで次の姿勢に移る場合のデータを記録した。学習用のデータとしては1つ目の実験で使用した4回分のデータを全て使用した。推定結果を図4に示す。各動作の切り替わりのタイミングで推定に誤りが確認されるが、おおそ正しい推定結果を示していることが確認できる。

5. 結び

本論文では、覚醒時間の約60%を占めると言われている座位に関する動作分類手法について提案して

いる。本手法は姿勢評価に基づくヘルスケアシステムの構築の前処理にあたる日常生活動作の分類に関する研究として実施された。着座状態の計測のため、16個の圧力センサと小型マイコンで構築されたクッション型の座面圧力分布センサの開発を行った。開発されたクッション型センサを使用し、3つの姿勢と3つの動作に対する推定手法をファジィ推論に基づく学習手法により提案した。実験では13.4%のFRRで動作の推定が行えたことを示した。これらのことより、本論文で提案した指定推定手法により着座状態での日常生活動作の分類の可能性が示された。

今後の課題として、より多くの姿勢や動作に対する精度の評価実験を行うことにより、本手法が対応可能な姿勢について検討する。また、分類された姿勢に対する質の評価手法について検討する。

参考文献

- [1] D. W. Dunstan, B. Howard, G. N. Healy, and N. Owen, "Too much sitting – A health hazard," *Diabetes Res Clin Pract* 2012; vol. 97, issue 3, pp. 368-76, 2012.
- [2] K. Oka, T. Sugiyama, S. Inoue, A. Shibata, K. Ishii, and N. Owen, "Science of sitting behavior," *Japanese Society of Health Education and Promotion*, Vol. 21, no. 2, pp.142-153, 2013.
- [3] T. Tkaeda, "Evaluation of Autonomy Walk Based on Foot Sole Pressure Normalization," *Proc. of 2018 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 1929-1934, 2018.