

モーショントラッキングによる手ぶれ可視化システム

鹿野雄輝[†] 松下宗一郎[†]

概要: 手の位置や姿勢を正確に制御する必要がある作業では、これを阻害する大きな要因の1つである手ぶれをどのようにして抑制するのかが問題となる。手ぶれの発生原因としては、緊張といった精神的要因や、重量物を把持することによる物理的負荷といったものが考えられるが、適切な姿勢や効果的なトレーニング方法を客観的な評価によって決定することは困難であった。そこで本研究では利用者の手首に装着する小型軽量のモーショントラッキングデバイスにより、手ぶれの状況を手首の姿勢角とともに分かりやすく可視化するシステムの検討を行った。

Hand Tremor Visualization System using a Motion Tracking Device

YUKI KANO[†] SOICHIRO MATSUSHITA[†]

Abstract: It is inevitable to control hand action tremor caused by both psychological and physical factors while performing precision works. It is also said that the action tremors may be reduced by learning appropriate posture. We have investigated a wrist-worn motion tracking device to clarify the relationships between the hand action tremor and the wrist attitude angle.

1. はじめに

人間が行う精密作業の多くは、運動自由度が高く、繊細な位置や姿勢を意図的に決定することができる「手」によって行われている。そのような中で、手には常に細かな振動が生じており、写真撮影における手ぶれに代表されるような、ほぼ完全な静止が必要となる状況での作業を阻害する大きな要因となっている。このような、本来は望ましくない運動としての手の震えは、細かな回路部品を取り付けるハンダ付けや、外科手術における手術鉗子の操作等において、結果に重大な影響を与える要素となっている。一般的には、これらの作業において震えを抑えるためには、できるだけ脇を締めるといった方法が知られている。しかしながら、この方法では手の自由な運動を大きく制約する場合がある上、その効果は撮影された写真の出来映えといった作業結果により間接的に判断されることから、必ずしもベストな手法として確立されたものとはなっていなかった。

実際に姿勢が作業に影響をあたえることを客観的に評価した研究としては、ジェンガと呼ばれる一種の積み木ゲームに関する事例が報告されている[1]。ここでは、親指と人差し指に取り付けた加速度センサによる震えの計測を行っており、単に手を静止させる場合には、机上に肘をつくことで指の震えが抑制されるものの、不安定な積み木をつかみ取る寸前では、かえって震えが増大していた。一方、手指の震えによる微かな運動が手首においても検出できることを利用し、腕時計型の高感度な角速度センサによる手の震え評価を行った事例が報告されている[2]。この研究では、手首位置にて観測される角速度信号を用いて計算される角加速度軌跡長 (AATL : Angular Acceleration Trace Length)

において、競技用のモデルガンを片手にて構えた際の手ぶれの度合いを客観的な数値にて評価している。また、手首位置における手ぶれは、主に前腕中心軸周りの回転角速度として観測されるが、角速度の時間平均値は必ずしも手ぶれの状況を正しく反映していない可能性が指摘されている。

以上のようなモーションセンサを用いた手ぶれ評価手法では、作業対象との位置関係や、作業時の身体姿勢といった精密作業のより詳細な状況を知るためには、ビデオカメラによる撮影記録等を併用する必要が生じることが多い。しかしながら、モーションデータにラベルづけを行うアンケートの作業では、センサの感度軸を意識しつつ、個々の運動構成要素との関連づけを行う必要があり、事前に実験内容を詳細に決定した上でなければ有意な結果を得ることは困難である。そこで本研究では、3軸角速度信号の時間積分によるモーショントラッキング計算にて姿勢角の変化を計測すると同時に、手ぶれの状態を角加速度軌跡長 AATL にて重畳表現する手法の検討を行うこととした。

2. 手首装着型モーションセンサデバイス

図1に3軸角速度センサ ($\pm 1000\text{dps}$)、3軸加速度センサ ($\pm 8\text{G}$, $1\text{G} = 9.8\text{m/s}^2$)、16ビットマイクロコントローラ、及び 2.4GHz ワイヤレス通信モジュールを搭載した手首装着型デバイスと、その使用状況を示す。運動信号のサンプリング周波数は 100Hz であり、積み木作業やモデルガンを構えるといった準静的な動作をはじめ、外科手術における手術鉗子の操作といったやや動的な作業状況に対応できる速度とした。また、手首装着を行うためのベルトや充電式バッテリー等を含めたデバイスの総重量は約 60 グラムであり、成人男性用腕時計の約半分程度となっていることから、精密作業自体への影響は最小限度に留められている。

[†] 東京工科大学コンピュータサイエンス学部
School of Computer Science, Tokyo University of Technology

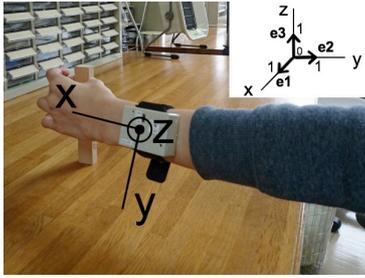


図 1 手首装着型モーショントラッキングデバイス

Figure 1 Wrist-worn motion tracking device

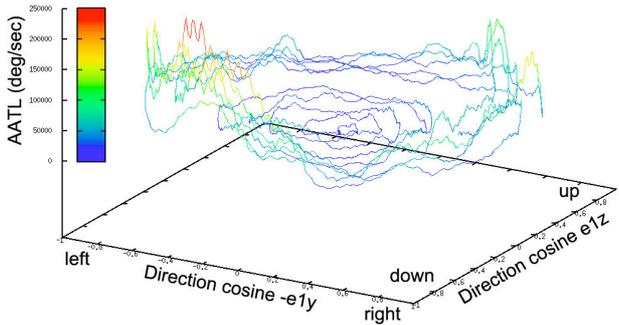


図 2 円を描く運動における手ぶれの観測結果

Figure 2 Observation of hand tremor while drawing circles

このデバイスでは、内部にて角速度信号を時間積分することによるモーショントラッキング計算を行っており、センサの各感度軸に沿った3つの単位ベクトル e_1, e_2, e_3 により姿勢角を冗長表現している[3]。また、計測の冒頭に腕を真っすぐ前方に伸ばして静止させた状態におけるセンサ軸を基準座標軸 (X, Y, Z 軸) とし、単位ベクトル e_1 の射影長 e_{1x}, e_{1y}, e_{1z} にて手首が向かう方向を表記することとした。また、3つの単位ベクトルの時間変化を3Dグラフィックス画面に投影することで、別途ビデオカメラによる録画記録を行わなくとも、被験者が行っている運動を分かりやすく再現することができる。一方、3軸角速度の計測値によって計算される AATL を、手ぶれの度合いを示す運動パラメータとして用い、軌跡長の積算時間を 0.1 秒とすることで、精密な手作業における動的な運動への対応を図っている。また、センサ雑音の影響を評価したところ、十分な信号対雑音比が確保されていることが確認されている。

図2は右手首にデバイスを装着し、前方中央より徐々に半径の大きな円を描く動作を行った際の、姿勢角に対する AATL 値の変化を示したものである。ここでは合計 10 個の円を約 30 秒間にて、できる限り同じ回転速度にて描く運動に対し、手首の姿勢角に対する手ぶれの度合いを直感的に表現することができた。この結果からは、被験者の前方中央付近に小さな円を描く運動では、AATL の値は比較的低い値に留まっており、円の半径が大きくなると、被験者より左下の方向へと手首が向かっている状況にて、手ぶれの度合いが顕著に大きくなる様子が見て取れる。

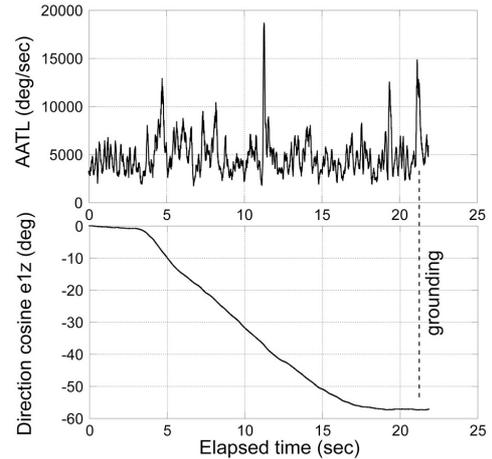


図 3 積み木作業における手ぶれの発生状況

Figure 3 Observation of hand tremor while placing a block

3. ジェンガゲームにおける実験

本研究による手ぶれ評価手法の有効性を検証するため、ジェンガゲームに使用されるブロックを机上に置かれた別のブロックの上に積み上げる作業の観測を試みた。積み上げを行うブロック面のサイズは約 $25\text{mm} \times 15\text{mm}$ であり、図1に示す状況にて高さ約 75mm のブロックを2段積みとするには、やや慎重な動作が必要となる。図3は被験者が1つのブロックを指で保持して静止した状態から腕をゆっくりと下へと降ろし、ブロックを2段積みとするまでの AATL 並びに手首仰角 e_{1z} の変化を示したものである。ここでは、ブロックが下降し始めた直後と、机上に到達する直前の2カ所に加え、実験開始後約 12 秒経過時点でやや大きな手ぶれが発生していることが分かる。また、姿勢角の変化を同時に計測することで、作業のどの部分にて手ぶれが大きくなったのかを分かりやすく表現することができた。

4. まとめ

本研究ではモーショントラッキングと運動センサのデータを組み合わせることにより、運動を行う際の姿勢変化と手ぶれの関係の直感的な表現を試みた。その結果、ビデオカメラによる録画記録を行うことなく、手首の方向と手ぶれの度合いとの関係が分かりやすく可視化され、多様な作業内容に対する適用の可能性が示唆された。

参考文献

- [1] 武村 康弘, 板倉 直明, ジェンガゲームにおける手の動作と生理的指標との関連性について, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.108, No.282, pp.171-174, Oct. 2008
- [2] 伊藤聡, 松下宗一郎, 他, 力みを検知する腕時計型角速度センサの検討, 情報処理学会シンポジウム・インタラクシオン 2015, 発表番号 A47, March 2015
- [3] 松下宗一郎, 菅野谷知佳, 甲斐美月, 鹿野雄輝: 手首装着型モーショントラッキング機器による精密作業評価, 日本コンピュータ外科学会誌 Vol. 18, No. 4, pp.239-240, Nov. 2016