

ウェイトトレーニングにおける重量と回数の記録システム

鄭 ユウ^{1,a)} 真鍋 宏幸^{1,b)}

概要：人々の健康意識がより高まったこともあり、世界のフィットネス業界は着実に成長し続けている。フィットネス業界の発展の方向性として、ユーザの運動を自動的に記録するなどのスマートジムが考えられており、多くの研究がなされている。しかし、ジム内でのユーザ識別に関する研究は多くはない。本研究では、個々のダンベルおよび各ユーザの手首にマイコンを装着することで、それぞれのユーザが使用したダンベルの重量と運動の回数を推定するシステムを提案する。

1. はじめに

2025 年の世界の健康およびフィットネスクラブ市場規模は約 1215.1 億ドル、それが 2030 年までに 2026.5 億ドルにまで成長すると予測されている [1]。この顕著な市場拡大の傾向は、人々がフィットネスや健康サービスに対する需要を持続的に高めていることを示している。新型コロナウイルス感染症流行後、健康リスクの高まりや生活習慣の変化により、多くの人々が身体の健康を維持する重要性を再認識した。その結果、運動や健康的な生活への関心が著しく高まり、これがフィットネス業界の繁栄を直接的に後押しする要因となった [2][3]。

また、急速な技術発展は従来のフィットネス業界に新たな活力を注ぎ込んでいる。特に、モノのインターネット (IoT) 技術の幅広い応用は、複数の業界における運営モデルを根本的に変革しつつある。IoT 技術は、その強力なデータ収集および分析能力を活かし、スマートシティ、スポーツ、医療といった多くの分野で大きな可能性を示している [4][5][6]。

このような状況から、IoT 技術を従来のフィットネスに融合させたスマートジムは、今後のフィットネス業界の発展の方向性となることが期待されている。

2. 関連研究

Khurana らは GymCam システム [7] を提案している。このシステムは、ジム内の高さ 4 メートルの壁にカメラを設置し、複数の同時進行する運動を追跡し、機械学習を用いて運動の種類を識別する。運動認識精度は 92.6% であり、さらに運動回数も計算可能で、その誤差は ± 1.7 である。

C.Crema らは、IMU を利用してフィットネス動作の自動モニタリングと分類を実現する手法を提案した [8]。機械学習を用いた運動種類の識別の平均精度は約 85% である。

Liu らは DEEM システムを提案している [9]。RFID を用いてユーザが手にしているダンベルの関連情報を確認し、カメラによってユーザの手の動きの情報を記録する。そして、これら 2 つの情報を組み合わせることでユーザ識別を行い、ユーザの運動情報を記録する。しかし、認識されるのは一人だけである。このシステムのユーザマッチング成功率は 95% に達し、運動判定 (回数および種類) の平均正解率は 94% である。

既存研究においては、重量の計算や回数の計測、運動種類の識別が主なテーマであり [7][8][9][10]、ユーザ認識に関する研究は少ない。ここで言うユーザ認識とは、どのユーザが運動をしたのかをシステムが判定することを指す。ユーザ認識を行う研究は一般的にカメラを使用するが、カメラはプライバシーを侵害するリスクが伴う [11][12]。

本研究は、ジムで使用可能なシステムの実現を目的としており、プライバシーを侵害することなく、各ユーザが自分の運動データを受け取れることを目指す。

3. 提案手法

ウェイトトレーニングの例として、ダンベルを用いて腕のトレーニングを行うことを考える。この場合、ダンベルとユーザの手首はほぼ同じ運動を行うことになる。同じ運動をするダンベル群を特定し、それらのダンベルを合計すれば、トレーニングの重量となる。また、ダンベルあるいは手首の動きから、運動の回数を判定することができる。手首に装着した IMU、マイコンに対して結果を通知すれば、ユーザを認識する必要もない。そこで本研究では、それぞれのダンベルと、ユーザの手首に IMU を装着し、IMU

¹ 芝浦工業大学

^{a)} ma21097@shibaura-it.ac.jp

^{b)} manabehiroyuki@acm.org



図 1 提案手法の構成要素

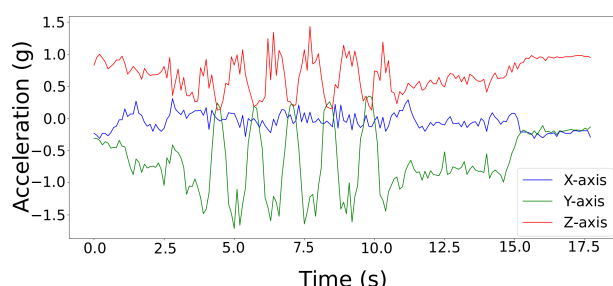


図 2 三軸の加速度波形

のデータから重量と回数、およぼどのユーザが運動を行ったのかを判定する手法を提案する。

本手法は、カメラを使用せず、またユーザ認識を行う際に事前にユーザデータベースを構築する必要がないため、プライバシー侵害のリスクを軽減できる。

4. 実装

図 1 に、提案手法の構成要素を示す。ダンベルには M5StickC Plus を装着し、ユーザは手首に M5StickC Plus2 を巻く。ユーザは運動前に手首のマイコンのボタンを押す、運動終了後に再度ボタンを押す。それぞれのマイコンは PC と無線で接続しており、IMU で 10Hz サンプリングで計測された三軸加速度データと入力された重量データを 100ms ごとに送信する。PC では受信したデータの保存と分析を行う。計算された回数および重量は、運動を行ったユーザに通知される。なお、現状の実装では、運動時にユーザが装着する M5StickC Plus2 とダンベルに取り付けられた M5StickC Plus の向きをユーザが一致させる必要がある。

4.1 回数の計算

回数の計算等を行うために、XYZ の三軸加速度の中から最適な軸を選択する必要がある。今回の回数計算では、ダンベルを持ち上げ、腕を水平（地面と平行）な位置まで

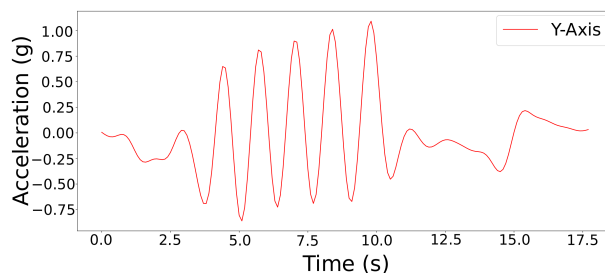


図 3 フィルタ処理された Y 軸波形

上げた後、再びダンベルを下ろすという単一の動作を対象として分析を行っている。図 2 に、手首に装着した IMU で得られた加速度の時系列データを示す。図 2 に示すように、X 軸には明確な周期的変化が見られない。Y 軸の周期的変化は運動回数と一致している。一方、Z 軸の周期的変化は運動と逆の動きを示している。そのため、回数計算には Y 軸のデータが最適である。そこでまず、Y 軸の波形に対して、バンドパスフィルタ（高域カット周波数は 1Hz、低域カット周波数は 0.05Hz の 4 次のバターワースフィルタ）を用いてフィルタリングを行う。このようにして、周期的に明確な波形を得ることができる（図 3）。その後、零点交差法を用いて、運動の回数を計算する。これらの手順は既存手法 [10] と同じである。

4.2 重量の計算

ダンベルプレートに装着されている M5StickC Plus には、あらかじめそのプレートの重量が記録されている。なお、ダンベルは同じ重量の 2 枚をペアとして利用するため、M5StickC Plus を装着しているのはペアのうち一方のみである。次に、ユーザと全てのダンベルプレートの運動データを比較し、相互相関係数を算出する。相互相関係数を計算する目的は、ユーザが使用しているダンベルを確定することである。ユーザのデータと全てのダンベルプレートのデータを比較した後、算出された相互相関係数を大きい順に並べる。もし、最大相互相関係数との差が 0.2 以内であれば、そのダンベルプレートも同一のユーザによって使用されているとみなす。最後に、これらのダンベルプレートの重量を合計し、その和に 2 を掛けることで、ユーザがトレーニング中に使用している重量を算出する。

4.3 ユーザ認識

ユーザがボタンを押下した後、PC がユーザとダンベルの運動データの記録を開始する。その後、ユーザが再度ボタンを押すことにより、記録が停止される。そのため、システムは特段ユーザを認識する必要はない。計算が完了した後、計算されたデータは、M5StickC Plus2 の IP アドレスを名前としたファイルに保存され、対応するユーザに結果を送信する。

表 1 重量計算と回数計算の正解率

	一人	二人 (条件 a)	二人 (条件 b)	二人 (条件 c)	二人 (条件 d)	二人 (条件 e)
重量	94.4%	0%	100%	16.7%	0%	100%
回数 (± 1)	88.9%	100%	66.7%	83.3%	100%	100%

5. 実験

ダンベルを持ち上げて、腕を平行な位置にまで上げ、その後ダンベルを下ろす、を必要回数繰り返す特定の 1 種類の運動を対象とした実験を行う。運動を一人でのみ行う場合と、二人が同時に行う場合の両方で評価を行う。一人のみで行う場合には、(1)10 秒以内に 5 回の運動、(2)15 秒以内に 10 回の運動、(3)30 秒以内に 15 回の運動、の 3 パターンを 6 名の実験参加者で行い、回数と重量の認識結果を評価する。

二人で行う場合には、運動の開始/終了時間、運動速度、運動回数がそれぞれ同じあるいは異なる、以下の 5 つの条件で評価を行う。(a) 開始と終了時間、速度、回数が全て同じ、(b) 開始と終了時間は同じ、速度と回数は異なる、(c) 開始と終了時間は異なり、速度と回数は同じ、(d) 開始時間と速度が同じ、終了時間と回数が異なる、(e) 開始時間と回数が同じ、終了時間と速度が異なる。これらの条件を、3 名の実験参加者を 3 通りの 2 人のペアに組み分けて比較する。

5.1 結果

全実験での回数計算の平均誤差は 0.58 回であった。ここで、計算された回数と実験の運動回数の誤差が 1 以下であれば、回数計算を正解としたときの実験結果を表 1 に示す。二人ユーザ実験では、一人ユーザ実験と比べて重量計算の成功率が大幅に低下している。特に、条件 (a)、(c)、(d) で重量計算の成功率が非常に低かった (a: 0%, c: 16.7%, d: 0%)。これらの条件では、運動の速度が同じであり、運動の速度が同じ場合に誤りが多くなることがわかる。提案手法の原理上、条件 (a) の誤りを減らすことは難しい。しかし、条件 (c) や (d) については改善が可能である。例えば、今回は図 2 に示すように、今回はユーザがボタンを押してから、再びボタンを押すまでの間のデータを全て計算に用いていたが、この間で実際に運動が開始/終了したタイミングを推定し、それを用いる方法が考えられる。

6. 議論

本研究では、ユーザの運動データを対応するユーザに送信するシステムの実現に成功した。しかし、現状のシステムでは、運動種類の識別は行っていない。この課題については、既存の研究で既に解決されているため、組み合わせることが重要となる。

また、提案システムではユーザが装着する M5StickC

Plus2 とダンベルに装着された M5StickC Plus の向きを一致させる必要があり、煩わしい。これを解決するためには、IMU の Y 軸加速度データのみを分析するのではなく、IMU が取得する全てのデータを入手し、分析する必要がある。また、M5StickC Plus のバッテリー持続時間が短いため、頻繁な充電が必要となる。今後、この課題の解決が望まれる。

7. まとめ

本研究では、ジム内の各ユーザが自身の運動データを受け取れるシステムを提案した。本システムは、ユーザとダンベルのデータを分析し、計算された重量と運動回数を対応するユーザのデバイスに送信する仕組みである。実験を通じて、運動の重量や回数を計算できることを確認できた。

参考文献

- [1] Mordor Intelligence: Health And Fitness Club Market Analysis-Industry Trends, Size & Forecast Report (2025-2030), <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/health-and-fitness-club-market> (2024).
- [2] Knell, G. et al.: Health Behavior Changes During COVID-19 Pandemic and Subsequent “Stay-at-Home” Orders, *MDPI*, Vol. 17, No. 17 (2020).
- [3] 山田崇史, 信定佑芽: 緊急事態宣言前・中・後における外出行動変化と健康に関する意識, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 86 巻, No. 786 号, pp. 2147–2157 (2021).
- [4] Zanella, A. et al.: Internet of Things for Smart Cities, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 1, No. 1, pp. 22–32 (2014).
- [5] 馬込卓弥: IoT/センサ技術を用いたスポーツ分析とスポーツ医学への展開, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, Vol. 12 巻, No. 2 号, pp. 112–116 (2018).
- [6] Farahani, B. et al.: Towards fog-driven IoT eHealth: Promises and challenges of IoT in medicine and healthcare, *Future Generation Computer Systems*, Vol. 78, No. 2, pp. 659–676 (2018).
- [7] Khurana, R. et al.: GymCam: Detecting, Recognizing and Tracking Simultaneous Exercises in Unconstrained Scenes, *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 2, No. 4, pp. 1–17 (2018).
- [8] C.Crema et al.: IMU-based solution for automatic detection and classification of exercises in the fitness scenario, *2017 IEEE Sensors Applications Symposium* (2017).
- [9] Liu, Z. et al.: Deeper Exercise Monitoring for Smart Gym using Fused RFID and CV Data, *IEEE INFOCOM 2020 - IEEE Conference on Computer Communications* (2020).
- [10] 本田悠貴, 井尻 敬: Portable Smart Gym: センシングデバイスを用いた持ち運び可能な筋力トレーニング種目推定, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2024-HCI-206, No. 22, pp. 1–8 (2024).

- [11] Bugeja, J. et al.: An Investigation of Vulnerabilities in Smart Connected Cameras, *2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops* (2018).
- [12] Li, J. et al.: Your Privilege Gives Your Privacy Away: An Analysis of a Home Security Camera Service, *IEEE INFOCOM 2020 - IEEE Conference on Computer Communications*, pp. 387–396 (2020).