

光学センサの統合に基づく歩行機能の計測評価

中島 麻耶子[†] 須藤 陸[‡] 小川 賀代[†] 三枝 亮[‡]

[†]日本女子大学 理学部 [‡]神奈川工科大学 創造工学部

1 はじめに

近年、日本では少子高齢化社会が急速に進んでおり、高齢者の要介護状態の予防は重要な意味を持つ [1]。高齢者が要介護状態となる主な原因として転倒が挙げられ、日常的な歩行機能の評価により転倒や骨折の可能性を早期に発見できれば、要支援や要介護の予防につながる [2]。歩行機能の簡易な計測方法として、Timed Up & Go Test (TUG) が臨床現場で用いられている。TUG は日常生活機能とも関連性が高く、高齢者の身体機能評価としても活用されている [3]。しかしながら、標準的な TUG の計測項目は目標動作の所要時間のみのため、TUG に現れる要素動作の特徴が歩行機能の評価に十分に活かされていない。

本研究では、3つの光学センサを統合し、TUG の計測評価の質を向上する方法を提案する。本システムは座面センサ、深度カメラ、測域センサより構成され、動作の開始終了タイミング、動作時の全身姿勢、両脚の位置速度を測定する。これらの測定情報を統合することで、TUG の計測評価を自動化し、苦手動作を推定する。また、計測対象者を追従認識することで計測時の補助者の立ち入りを許し、計測時の安全性を高める。

2 歩行計測システム

本研究で提案する歩行計測システムを図1に示す。本システムは測域センサと深度カメラを同一の矢状面内に備え、歩行者の歩行パターンを計測する。椅子からの起立や着座は座面上に設置したセンシングデバイスで検知する。以降ではこれを座面センサと呼称する。システム構成を図2に示す。

座面センサにはフォトトランジスタ、マイコン、Bluetooth モジュールが搭載され、無線 (Bluetooth) または

Measurement and Evaluation of Locomotive Function Based on Optical Sensor Fusion

Mayako NAKAJIMA[†], Riku SUDOU[‡], Kayo OGAWA[†], Ryo SAEGUSA[‡]

[†]Faculty of Science, Japan Women's University, 112-8681, Mejirodai 2-8-1, Bunkyo, Tokyo, Japan

[‡]Faculty of Creative Engineering, Kanagawa Institute of Technology, 243-0203, Shimoogino 1030, Atsugi, Japan

{m1916061nm, kogawa}@fc.jwu.ac.jp, {riku.sudou, ryo.saegusa}@syblab.org



図 1: 歩行計測システム (左) と TUG の歩行経路 (右)

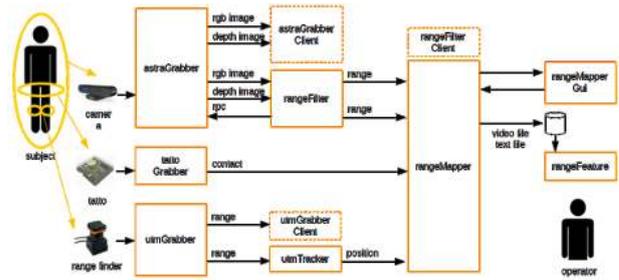


図 2: システム構成

有線 (USB) で計算機に接続する。計測された座面上の明るさの情報は、マイコンを介してシリアル通信で計算機へ伝送される。有線接続時は USB ケーブルより、無線接続時はボタン電池より電源が供給される。これらの接続方法はデバイス側で認識され、自動で切り替わる。座面センサを図3に示す。

深度カメラで取得される3次元点群の情報より、計測対象者を追従して認識する。計測対象者の追従には、カルマンフィルタを用いた。カルマンフィルタは状態空間モデルに基づいて時間変化する対象を予測する計算アルゴリズムである。ここでは、時刻 k の3次元点群のバウンディングボックスの位置と速度を状態値ベクトル x_k 、観測された位置を観測値ベクトル y_k で表し、状態方程式を式 (1)、観測方程式を式 (2) で定義する。

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k v_k, \quad (1)$$

$$y_k = C_k x_k + w_k. \quad (2)$$

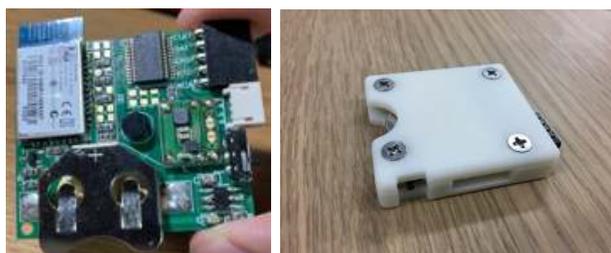


図 3: 座面上のセンシングデバイス

ここで A_k, B_k, C_k は係数行列, v_k は状態ノイズベクトル, w_k は観測ノイズベクトルを表し, いずれも零平均の多変数正規分布に従うものとする. 予測ステップと更新ステップの計算を繰り返して, 計測対象者の位置を追従する. 計測対象者の追従認識を図 4 に示す.

測域センサでは, 水平面内の物体までの距離を 270deg の視野角で計測し, 計測対象者の両足を独立して認識する. 計測対象者が測域センサに対して横向きになった際に一方の脚が隠れてしまうことがあるが, 計測システムが補完することで両脚の追跡が維持される. 着地のタイミングは追跡中の両脚の速度情報から検出する.

3 実験

歩行計測システムの機能を検証するため, 2022 年 11 月に神奈川県海老名市の文化会館を訪れた 50 代から 80 代の被験者 25 人を対象として, TUG の歩行動作を計測する実験を行った. 歩行経路内で折返しの位置を示す目印と開始終了の場所となる椅子は, 計測装置からそれぞれ 2m, 5m の位置に配置し, 計測時の歩行動作は「できるだけ早く走らずに目印で折り返し座る」よう指示した. 実験前に測定した起立と着座の繰り返し動作に関する座面センサの測定データを図 5 に示す. 横軸は時刻 (秒), 縦軸は明るさの強度を示す. 起立, 着座, システム待機の 3 状態をもつ有限オートマトンを計算機に実装し, 被験者の起立と着座のタイミングを検知させて歩行動作の自動計測を実現した.

計測対象者のバウンディングボックス内の 3 次元点群について, 最高点の高さ方向の座標値 y_n , 深度カメラの最近点の進行方向の座標値 z_n を取得し, これらの座標値から歩行動作を起立, 往路, 旋回, 復路, 着座の要素動作に分けて所要時間を計測できることを確認した. 実験後は, 転倒経験に関するアンケートを行い, 回答結果を分析した. 問診の回答から, 転倒不安を感じる要因として, つまづき, 踏み外し, 滑りの回答が多

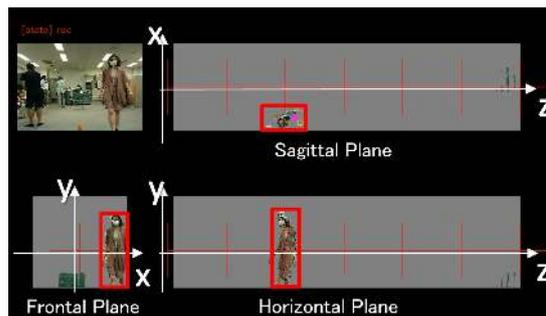


図 4: 計測対象者の追従認識

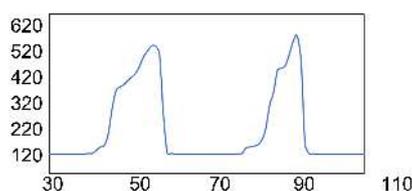


図 5: 起立と着座に関する座面センサの測定データ

数あり, 転倒する可能性のある場面としては, 段差がある場所, 足元が不安定な場所, 地面が濡れている場所を挙げた回答が多かった. 転倒予防のためには, 地面の状態の注意が必要であり, 歩行時には意識的な足上げが重要であることが示唆された.

4 まとめ

本研究では歩行の計測評価に関する質の向上を目的として, 座面センサによる起立, 着座の自動検知と計測対象者の追従認識を実現し, 計測評価の自動性や歩行計測時の安全性を高めた. 実験後に行った転倒経験に関するアンケートでは, 転倒予防には地面状態への注意や意識的な足上げが重要であることが示唆された. 今後は転倒経験と相関の高い歩行特徴を計測データから機械学習で抽出する仕組みを検討し, 転倒リスクの自動判定を目指す.

謝辞

本研究は神奈川県立工科大学先進技術研究所の助成を受けた.

参考文献

- [1] 国立社会保障 人口問題研究所, 日本の将来推計人口 (平成 29 年推計), pp.3.
- [2] 内閣府, 平成 30 年版高齢社会白書 (全体版) 第 1 章 齢化の状況, 第 2 節 高齢期の暮らしの動向 2. 健康福祉 (2)65 歳以上の者の介護.
- [3] 一般社団法人 日本運動器科学会.