

ぴたっとキャプチャー 2

～ひざ下へ取り付け角度を推定する慣性モーショセンサ～

松下宗一郎^{†1}

概要：歩行における身体運動には健康状態をはじめとする重要な情報が含まれていることから、様々な手法による評価手法の研究が進められている。本研究では利用者のひざ下に設置した慣性モーショセンサについて、歩行時に計測される運動信号の特徴から装着角度を推定する手法の検討を行った。その結果、角速度信号の時間積算による姿勢角トラッキングにより、足の中心軸周りでのセンサの取り付け角度を5度程度の精度で推定できることが分かった。

1. はじめに

歩行における身体運動には健康状態をはじめとする重要な情報が含まれていることから、様々な手法による評価手法の研究が進められている。例えば、体格や歩き方の違いといった個人差に対し、複雑な変化が生じる身体運動を正確に計測する技術としては、利用者の身体上に設置した位置基準点（マーカー）をカメラにて撮影し、三次元位置座標を推定するモーショキャプチャーが広く用いられている。一方で、カメラを用いる運動計測手法では、機材設置や計測システムの運用コストといった視点からは、日常生活において気軽に利用できるものとはなっていない。そこで、近年小型ならびに高性能化が進んでいる慣性モーショセンサデバイスを利用者の身体に装着する手法の検討が行われている。例えば、Huらは可用性を高めるためにモーショセンサデバイスの台数を片足あたり4個にまで低減しつつ、下肢の運動にて高い計測精度が得られることを報告している[1]。また、甲斐らが提案している小型軽量なセンサデバイスを注目する身体部位に1箇所のみ設置するシステムでは、正確な運動情報を得ることは困難であるものの、注目部位の姿勢角変動を任意の視点から観測することで主観的な運動評価を行える可能性を示している[2]。しかしながら、センサデバイスの身体への装着位置を正確に維持するために専用の装具等を用いることが多く、圧接力が長時間作用することによる不快感といった観点からも、日常生活における気軽な利用には適していない状況となっていた。

そこで本研究では市販のひざ保護用サポーターバンドを用いることで、弱めの圧接力で設置した慣性モーショセンサデバイスの取り付け位置を推定する信号処理アルゴリズムの検討を行った。ここでは、長時間の装着における位置ずれが生じにくいとともに、日常生活における身体運動の妨げとならないことを考慮し、デバイスを足の外側に沿って装着することとした。

2. ひざ下装着型モーショセンサデバイス

図1に本研究にて用いた慣性モーショセンサデバイスを示す。デバイスには9軸慣性モーショセンサIC、マイクロコントローラ、マイクロSDメモ리카ード、並びにバッテリーを搭載しており、サンプリング周波数100Hzにて連続14時間の運動データ記録を行うことができる。センサのサイズは縦40×横55mm、厚さ20mmであり、ズボン下への装着が可能である。また、温度補償処理を行うことで角速度のゼロ点ドリフトは約0.1dps以内となっている。そして、文献[2]にて報告がなされている3×3行列による姿勢角表現（Rotation Matrix）を用いたモーショントラッキング演算により、図1に示したセンサのx, y, zの各軸の方位ベクトル（direction cosine）を絶対静止座標上にて得ることができる。ここで、デバイスは市販のひざサポーターバンドに縫い付けられた状態にて設置されているが、身体が曲面にて構成されていることや足の形状の個人差等により、取り付け位置にずれが生じる。そこで、センサ位置のずれは足を中心軸とする円周上にて起きるものと仮定し、センサのx軸が正面前方に向かっていているときを基準としたオフセット角にて表現することを考える。すなわち、オフセット角がゼロ度である場合には、センサデバイスのx軸が足の正面前方方向と一致する。

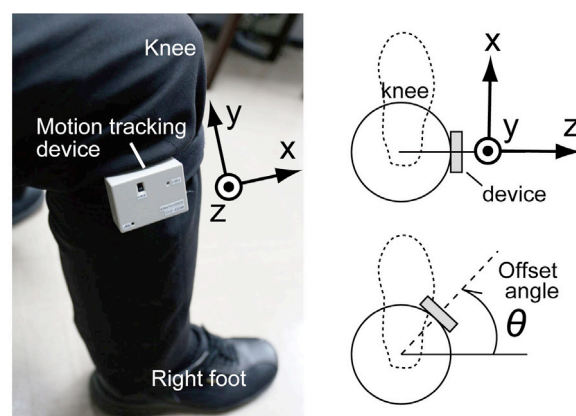


図1 ひざ下に取り付けた慣性モーショセンサデバイス

^{†1} 東京工科大学コンピュータサイエンス学部

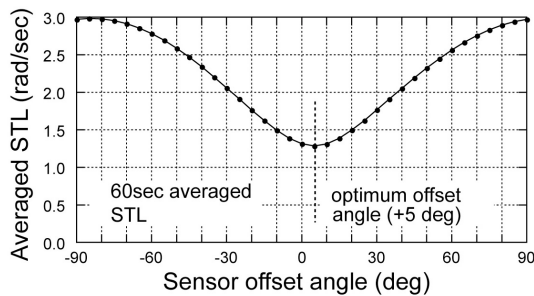


図 2 直線路歩行における STL とセンサ位置との関係

ここで、角速度センサのゼロ点ドリフトを始めとする誤差特性により、絶対静止座標上での方位ベクトルには時間経過とともに大きな計算誤差が蓄積されることが知られている。そこで本研究では、1 秒間といった単位時間内に絶対座標系上にてセンサの各軸に沿った単位ベクトルが描く軌跡長 (STL : Spherical Trace Length) を運動評価に用いることを考えた[3]。そして、センサデバイスの取り付け位置が足周りにて変化する際に、図 1 における y 軸周りでの角度変化が生じることから、オフセット角 θ の変化に対する STL を計算する。このとき、センサの z 軸と x 軸の方位ベクトルをそれぞれ a, b とすると、オフセット角 θ により補正された歩行観測軸ベクトル z' は、 $z' = a \cos \theta + b \sin \theta$ にて計算することができる。図 2 は健康者における直線路の歩行における z 軸の STL 値を、オフセット角を 5 度刻みにて変化しつつ計算した結果であり、約 5 度の位置にて極小値をとっていることが分かる。ここで、z 軸の STL は歩行を横から見た際に、ひざ下の部分に生じた姿勢のぶれを反映しており、歩行に伴う足の振りに起因する成分が STL に混入していく度合が観測されているものと考えられる。

3. センサ取り付け角度の推定実験

ひざ下でのセンサ取り付け位置を推定する計算手法の正当性を検証するため、ゆるやかな曲線路 (半径約 65m, 片道約 90m) において、異なるスピードにて歩行した際のオフセット角の推定実験を行った。また、身体装着時のセンサ z 軸は前進方向へ約 12 度回転した状態となっていた。

続いて、歩行時に計測された角速度信号からセンサ取り付けのオフセット角 (1 度刻み) に対する z 軸 STL の値を 1 秒ごとに計算し、最小の STL 値を与える角度の値を抽出した。図 3 上段はオフセット角の推移を示したものであり、下段に記載した z 軸周りの角速度変化により、歩行状況との照合を行うことができる。この結果、中速(mid.), 低速(slow), 高速(fast)での曲線路歩行に対し、概ね 10~15 度の範囲でオフセット角の推定が行えていることが分かった。

続いて、同じ被験者の日常生活におけるセンサ取り付け位置を推定する実験を行った。起床時から 14 時間にわたる運動信号計測に対し、z 軸 STL が最小値を与えるセンサ位置オフセット角を探索する計算を行ったところ、測定時間

内にて約 10 度の緩やかなオフセット角変動が認められた。ここで、数分間といった比較的短い時間の中ではオフセット角度はほとんど一定であったことから、約 10 度という取り付け角変動は、センサの取り付け位置がゆっくりとずれていったことによるものと考えられる。一方で、階段の昇降時や、極端な曲線路等にてひざ下の回旋運動が進行方向に沿っていない歩行では、オフセット角の推定値が短時間にて大きく変動していることが分かった。このような条件では、「足の振り」という視点からはセンサ取り付け位置推定の計算手法が前提としている歩行運動から大きく外れた運動が生じていたことが推察される。一方で、ゆるやかな曲線路やなだらかな勾配路における継続的な歩行では、概ね 5 度以内程度の誤差範囲での位置推定が行われていた。

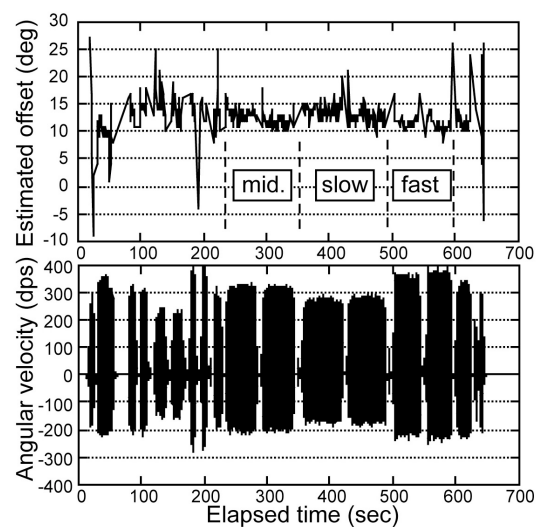


図 3 センサ取り付け位置の推定実験結果

4. 結論および今後の展望

本研究では利用者のひざ下に小型軽量なモーションセンサデバイスを 1 点のみ設置する状況において、歩行の様態に対しロバストにセンサの取り付け位置を推定することができる可能性を見出した。今後は疲労による歩行様態の変化といった運動パラメータの検討を進めることで、日常的な健康管理への適用を目指して行きたいと考えている。

参考文献

- [1] Hu X, Yao C., Soh G.S., "Performance evaluation of lower limb ambulatory measurement using reduced Inertial Measurement Units and 3R gait model, 2015 IEEE Int. Conf. on Rehabilitation Robotics (ICORR), pp.549-554 (2015).
- [2] 甲斐美月, 松下宗一郎, びたっとキャプチャー〜日常生活で使えるモーションキャプチャーの提案〜, インタラクシオン 2017, 発表番号 1-404-49 (2017).
- [3] 松下宗一郎, 菅野谷知佳, 出口智基, 八木浩一, 愛甲丞, 瀬戸泰之, 手首装着型運動センサによる内視鏡下鉗子操作技量評価〜手首傾斜角と回旋角による手術鉗子操作状況の可視化〜, 日本コンピュータ外科学会大会, J. JSCAS, Vol.20, No.4, pp. 316-317 (2018).