

少数のセンサを用いた離床・歩行支援機器使用者の重心位置推定

Estimation of CoG for Standing/Walking Support Robot Users Based on Reduced Sensor Measurements

○ 武田洸晶（東北大学） 平田泰久（東北大学） 小菅一弘（東北大学）

Mizuki TAKEDA, Tohoku University
Yasuhisa HIRATA, Tohoku University
Kazuhiro KOSUGE, Tohoku University

Abstract: In this study, we propose a method to estimate CoG of welfare robot users that requires reduced quantities of sensors. Recently, the demand for welfare robots is increased. There are many researches measuring or estimating states of the user for advanced type of supporting or data acquisition for developing support robots. However, setting many sophisticated and expensive sensors on the robot or making users put some of them routinely is difficult. We focus on the CoG, and we consider how to estimate it using a few sensors. If there are less sensors than required to calculate the human link model, we can't calculate the CoG. However, by considering the angular range of joints and their relation, we can calculate candidates of CoG. By comparing results of different CoG candidate using several groups of measurements, we can determine which sensors to use and where to install them on the welfare robots.

Key Words: Walking Support Robot, Standing Support Robot, Welfare Robot

1. 緒言

近年，世界的に高齢化が問題となっている。我が国では他に例を見ない速度で高齢化が進んでおり，平成 25 年現在の 65 歳以上の高齢者人口は総人口の 25.1% を占める 3,190 万人となっている。この数字は今後も増加していくことが予想されている。また，高齢化に伴い，主に自宅での歩行時や起立・着座時における転倒事故も年々増加している。

転倒事故を防止するために，歩行や起立・着座を支援する機器が開発されている。歩行支援においては杖や歩行器などが高齢者を中心に広く使用され，ロボット技術を用いて制御する歩行支援機の開発も進められている^①。起立・着座支援では一般的にはトイレの手すりなどが普及しており，ロボット技術を用いて体を押し上げる，あるいは引っ張ることで起立を支援するようなシステムの開発も進められている^②。また，歩行と起立・着座をともに支援可能なシステムの開発も進められている。

このような支援システムには使用者の状態に応じて適切な支援を行うことが求められるため，使用者の状態推定・判別が重要となる。また，支援システムの開発のためにも実際に支援機器を使用している使用者のデータは必要とされている。使用者の状態を精密に計測あるいは推定することは困難であり，人体を簡易的なリンクモデルなどで表して推定する研究が多く行われている。また，人間の状態を表す指標として重心位置に着目した研究もあるが，正確な重心位置を計測するには多くのセンサが必要となり，一般家庭での使用を考えるとコストの面で課題が残る。

そこで本研究では，少数のセンサを用いて人間の重心位置の候補を推定する手法を提案する。支援機器への適したセンサの搭載や必要なセンサを考慮した支援機器製作に応用するために，種々のセンサの組み合わせや配置に対して推定される重心候補の精度を検証する。

2. リンクモデルと未知変数

2.1 平面リンクモデル

人体を Fig. 1 に示すような，yz 平面上の簡易的なモデルで考える。各リンクの長さは既知であるとする。使用する 6 リンクモデルでは自由度は 6 となり，センサ情報をもとに各リンクの位置や関節の回転角度などの変数を求めることで人体をモデル化することができる。また，各リンクの質量中心比をもとにリンク毎の重心位置が求められ，各リンクの質量比から重心位置 (y_{CoG}, z_{CoG}) を求めることができる。

2.2 リンクモデルの未知変数

2.1 節で述べたようにリンクモデルの変数を求めて人体をモデル化する際にセンサの数が少ない場合，未知変数が存在し，人の姿勢や重心位置は一意に定まらない。この時，回転角度が定まらない関節に関して，取りうる回転角度の範囲を考慮することによって，幾何学的に人の姿勢の候補を計算して重心候補を求めることができる。そこで本節では，リンクモデルの未知変数の考え方について述べる。

リンクモデルの未知変数の数は，Kutzbach and Grübler's criterion による可動度 (Mobility) を用いて表現する。可動度はリンク機構の自由度を表す指標であり，リンクの数や関節の自由度などから表される。関節の位置を計測できると仮定すると人体リンクモデルは，位置を計測した関節を固定リンクの端とする閉鎖と開鎖の組み合わせであると考えられる。関節位置以外の情報をセンサで計測する場合，前述の可動度に加えて，そのセンサ情報によってリンクモデルの未知変数が減ることを考慮する必要がある。得られるセンサ情報を考慮して計算されるリンクモデルの未知変数の数を X とすると，センサ情報が少ない場合 $X > 0$ となり，人の姿勢や重心位置は一意に定まらない。

センサ情報が少ない場合に支援機器使用者の状態を推定するために，第 3 章では支援機器使用者の重心位置の候補を計算する手法について述べる。

3. 支援システムと重心候補

支援システムの構成によって取り付けられるセンサの種類や位置が変わるため，得られる人体の情報は数種類に制限される。本章では，代表的な支援システムに対して設置可能だと想定されるセンサとそれによって取得できる人体の情報をまとめ，第 2 章の

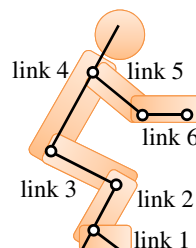


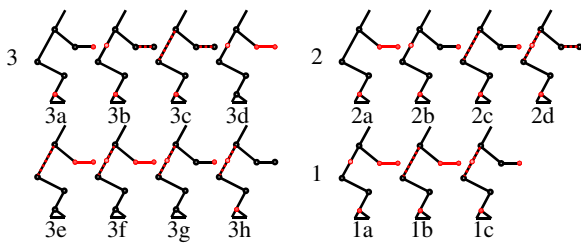
Fig.1 Linkmodel



Fig.2 Silver Car



Fig.3 Walker



- ※ Red Point: Position of the point is measured
- ※ Red Line: Position of the link is measured
- ※ Red Dash Line: Angle of the link is measured

Fig.4 Patterns of Sensor Informations

Table 1 Range of Joints

Joint	Range of Joint [deg]	
	Sitting and Standing	Walking
Shoulder	80~190	90~180
Elbow	-145~0	-145~0
Wrist	-90~20	-90~0
Hip	0~135	0~60
Knee	-110~0	-90~0
Ankle	80~120	30~150

未知変数の数 X を利用して分類し，それぞれに対して重心候補を計算することでその精度について考察する。

3.1 支援システムとセンサ情報

歩行や起立・着座を支援する代表的な支援機器には Fig.2 のような手押し車型のものや Fig.3 のような肘置き型のものがある。この2種類の支援システムに関して，搭載され得るセンサと取得可能な使用者の情報を考える。

まず，把持部に静電センサや圧力センサなどを搭載することで把持部への接触の有無を測定することができると考えられる。したがって，手押し車型のものは手首関節の位置，肘置き型の場合は手首および肘関節の位置を既知であるとして行うことができる。支援機器に光センサや超音波センサなどの測距センサを搭載することで足首関節の位置や上体リンク上の1点の位置が計測できる。また，ウェアラブルセンサやスマートフォンに搭載されている姿勢センサなどを用いることで上体や前腕の傾きも計測することができると思われる。

上記のセンサから選択して支援システムに搭載し，人体の情報を計測した場合について，第2章の未知変数の数によってそれらのパターンを分類する。未知変数の数が多すぎる場合には人間の重心位置を精度良く推定することは困難であると考えられるため，分類した中から未知変数の数が $1 \leq X \leq 3$ となる，Fig.4 に示した15パターンについて考える。

3.2 センサ情報と重心候補

2.2節で述べたように，各関節の回転角度の範囲を考慮することで未知変数がある場合でも重心位置の候補を計算することができる。Table 1 に各動作を行う際に通常動かすと考えられる関節の回転角度の範囲を示す。各動作における関節の回転角度の範囲は，関節の可動域の文献値⁽⁵⁾と，実際にそれらの動作を行った際の各関節の回転角度をモーションキャプチャによって取得したものをを用いて定めた。使用したモーションキャプチャシステムは Motion Analysis 社の Raptor-E という赤外線カメラ8台と，専用のソフトウェア Cortex である。

上記のモーションキャプチャシステムを用い，歩行器などの支

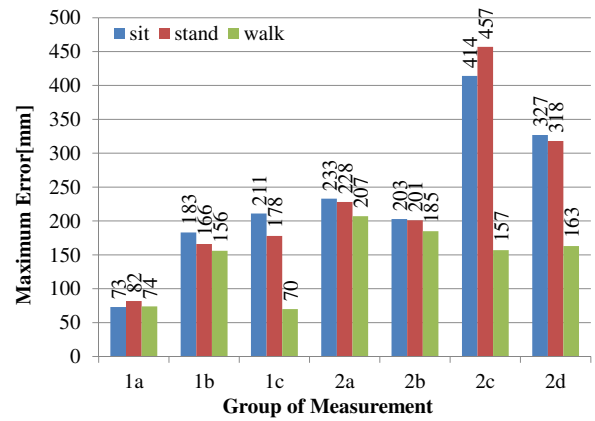


Fig.5 Maximum Error of Candidates

援システムを使用していることを想定して起立・歩行・着座の各動作を行った際の人間の動きを計測し，Table 1 の各動作における関節の回転角度の範囲を用いて重心候補を計算した。stand は座面から臀部が離れてから立位に移行するまでとし，walk は歩行中とした。また，sit は膝を曲げはじめてから臀部が座面につくまでが各動作の中で特に重心の移動が大きく姿勢が不安定になると考え，その間の重心候補を計算した。計算した重心候補の，実際の重心位置からの最大誤差を計算し，各動作中での最大値を求めたものを Fig.5 に示す。今回はリンクモデルを用いて推定した重心位置を実際の重心位置として使用した。

Fig.5 から，起立・歩行・着座の3種類の動作に関して総合的に判断すると，1a で示したセンサ情報を用いることが有効であるということが確認できた。また，コスト面を考慮してパターン1a よりも搭載できるセンサが少ない場合を考えると， $X = 2$ の中ではパターン2b が最も誤差が小さく， $X = 1$ であるパターン1b や1c に近い精度であることが分かる。また，上体リンク上の1点の位置の代わりに肘の位置を使用するパターン2a も2b に近い精度で重心位置の候補を計算できていることが分かった。

このように，各パターンにおいて計算される重心候補の精度を比較することで，様々な支援機器について，種々の動作を行う際の使用者の重心候補を推定するのに適したセンサ配置を決定することができる。

4. 結言

本研究では起立・着座や歩行を支援するシステムにおける状態推定や，それらのシステムの開発時のセンサ選定や機器の設計への応用を目指し，少数のセンサを用いて人間の重心候補を推定する手法を提案した。また，支援システムの使用を想定して各動作を行い，モーションキャプチャを用いて重心候補を計算し，有用なセンサの組み合わせを提示した。

今後は様々な機器にセンサを搭載し，実際のセンサによる重心位置推定の精度の検証や，実際に支援機器を必要とする高齢者の方々の重心がどの程度の精度で推定できるかを検証する。

参考文献

- (1) 平田ら，パッシブロボティクス概念に基づいた知的歩行支援機の開発，日本ロボット学会誌，vol.24, no.2, pp.270-276, 2006.
- (2) 初雁ら，個人特性に適応する立ち上がり動作支援システム，福祉工学シンポジウム，pp.166-167, 2006.
- (3) 小原ら，人体を測る計測値のデザイン資料，日本出版サービス，pp.81-85, 1986