

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	2脚口ボットの歩行・走行歩容生成と姿勢制御
Title(English)	
著者(和文)	竹中透
Author(English)	Toru Takenaka
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第4120号, 授与年月日:2015年11月30日, 学位の種別:論文博士, 審査員:山北 昌毅,三平 満司,井村 順一,岡田 昌史,塚越 秀行,梶田 秀司
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4120号, Conferred date:2015/11/30, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(論文博士)

論文要旨 (和文2000字程度)

報告番号	乙 第	号	氏 名	竹中 透
<p>(要 旨)</p> <p>本論文では, 2脚ロボットに, 歩行, 走行など多様な形態で自在に移動する能力を与え, かつ, この能力を活かした多様な姿勢復元動作によって, 踏ん張りだけでは得られない高いバランス能力を獲得させるための, リアルタイム自在歩容生成と姿勢制御から成る制御システムを提案する.</p> <p>[第1章: 緒論]</p> <p>第1章では, 背景と本研究の目的, 本研究の位置付け, および本論文で提案するシステムの概要を説明する.</p> <p>[第2章: ロボットの機構]</p> <p>第2章では, 筆者が研究に用いている人間型ロボットASIMOの実験機の機構を概説する. 本実験機には, ガイド付きゴムブッシュと発泡ゴムインナーソールから成る足部柔軟構造を備える.</p> <p>[第3章: 2脚ロボットの動力学]</p> <p>第3章では, 本論文での理論展開において前提とする動力学を説明し, 目標歩容の床反力の並進力鉛直成分がほぼ一定であるならば, 転倒力モーメントは, 実COPと目標ZMPとの距離にほぼ比例することを示す.</p> <p>[第4章: 自在歩行歩容生成]</p> <p>第4章では, ZMPを規範とする目標歩行歩容をリアルタイムに自在に生成する手法を提案する. 具体的には, 脚運動の影響を考慮しつつ, 部分的に線形性を有する, 線形倒立振子質点, 支持脚足部質点および遊脚足部質点から成る3質点モデルを提案する. また, 今回歩容に続く定常歩容を暫定的に設定し, 今回歩容の終端発散成分が定常歩容の初期発散成分に一致するように, 今回歩容の目標ZMP軌道パラメータを修正する歩容生成手法を提案する. この手法により, 目標ZMP軌道の修正量は比較的小さく抑えられ, 修正されたZMP軌道は支持多角形から逸脱しにくくなると共に, 今回歩容は定常歩容に漸近する.</p> <p>[第5章: 自在走行歩容生成]</p> <p>第5章では, 走行など全体重心鉛直加速度の変動が激しい歩容を, 復元力余裕が高くかつスリップしにくいように生成する手法を提案する. 具体的には, 鉛直床反力に応じて水平床反力の許容範囲を設定し, この範囲を超えないように, 上体水平運動に対応する倒立振子と, 上体回転運動に対応するフライホイールの運動を決定することにより, スリップしにくい走行歩容を生成する手法を提案する. また, 「鉛直方向の加速度変化を伴う倒立振子の運動に対する発散成分」という概念を提案し, 今回歩容終端発散成分と, 暫定的に設定された定常歩容の初期発散成分とが一致するように, 今回歩容を修正する手法を提案する. この手法により, 第4章の手法と同様の効果を得る. 本章の手法では, 滞空期は, 鉛直床反力を0, 水平床反力許容範囲を$[0, 0]$とすることで表現され, 滞空期と接地期が統一的に扱われる.</p> <p>[第6章: フルモデル補正]</p>				

第6章では、第4章または第5章で生成される近似歩容を、詳細な動力学モデルを用いて、より精度の高い歩容に補正する手法を提案し、その有効性をシミュレーションと9[km/h]の実機走行結果により示す。本手法では、水平床反力と目標ZMPまわりの床反力モーメントの水平成分の許容範囲を設定し、この範囲を越えないように、鉛直床反力の変化を考慮した補正用の摂動動力学モデルを用いて、近似歩容の上体位置と姿勢角を補正する。

[第7章：初期の歩行制御システムと姿勢安定化制御]

第7章では、開発初期の床反力制御であり、足首を曲げることによって床の凹凸の吸収と姿勢安定化を図る「足首コンプライアンス制御」について、制御特性を議論すると共に、両脚支持期にかえって姿勢を転倒させる床反力モーメントを発生してしまう問題点を指摘する。

[第8章：複合コンプライアンス制御]

第8章では、足首コンプライアンス制御の問題点を解決するために開発された「複合コンプライアンス制御」を紹介する。目標ZMPを回転中心として両足部を公転させる動作と、各足部の目標COPを中心として各足部を自転させる動作によって、床の凹凸を吸収しつつ、姿勢を安定化するために必要な床反力モーメントを目標ZMPまわりに発生させる制御である。本制御により、片脚支持期、両脚支持期いずれにおいても、上体位置・姿勢偏差の挙動は、目標ZMPを支点とする倒立振子の挙動とほぼ等しくなるので、姿勢安定化制御設計（目標ZMPまわりに発生すべき床反力モーメントの決定）が容易になる。

[第9章：大局的姿勢安定化制御]

人は、歩行中あるいは直立中に倒れそうになると、足裏の一部を床に強く押し付けて踏ん張り、それでもこらえきれなくなると、足腰の運びを変えたり足を踏み出したりして姿勢の回復を試みる。第9章では、この機能をロボットにおいて実現することをねらいとした大局的姿勢安定化制御を提案すると共に、その有効性を理論的に示す。大局的姿勢安定化制御は、前述の「複合コンプライアンス制御」を用いた床反力制御と「モデルZMP制御」と「長期シナリオ修正制御」とから構成される。モデルZMP制御は、上体傾き偏差を低減するために、目標歩容を生成する動力学モデルに仮想外力を加える制御であり、仮想外力が目標ZMPまわりに作用するモーメントの(-1)倍の姿勢復元力が、実ロボットに発生する。長期シナリオ修正制御は、モデルZMP制御によって崩された目標歩容の現在時刻状態を初期状態として、所定の目的が達成されるように長期シナリオ（目標歩容列）を修正する制御である。

[第10章：結論]

最後に、第10章では、本論文の主な成果をまとめ、今後の発展性を議論する。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(論文博士)

論 文 要 旨 (英 文)

(300語程度)

(Summary)

報告番号	乙 第	号	氏 名	竹中 透
------	-----	---	-----	------

(要 旨)

In this paper, a control system consisting of real-time gait generation and posture control for biped robots is proposed for the purpose of not only providing them with locomotive ability in various modes such as walking and running but also enabling them to obtain a high balancing ability, which cannot be gained solely from GRF (Ground Reaction Force) control, by the full use of the said locomotive ability in different modes for posture recovery.

Specifically, to generate a variety of approximate gaits, a dynamics model comprising two foot masses, an inverted pendulum representing the horizontal motion of the upper body of a robot and a flywheel representing the bending motion of its upper body is proposed.

As a way to prevent slipping and falling down of an actual robot, the motion of the inverted pendulum and that of the flywheel are combined so as to satisfy the target ZMP and the limit of the horizontal GRF. The “divergent component of the motion of the inverted pendulum under the time-varying vertical GRF” is defined in order to guarantee the continuity of gait generation and is used as the boundary condition between the current and a temporary cyclic gait.

For the purpose of reducing dynamics errors of approximate gaits, a method for error compensation for a gait in which the vertical GRF varies is also proposed.

In order to achieve the above-mentioned posture control method which can be applied to a gait with varying vertical GRF such as of running, the control system consisting of “combined compliance control”, “model ZMP control” and “long-term scenario control” is proposed.

The “combined compliance control” is a method in which one foot of the walking robot is raised and the other is lowered as if trying to tilt a seesaw back and forth having the target ZMP as its fulcrum, while each of the soles is flexibly inclined pivoted on its own target COP so that the robot can adjust itself to the unevenness of the ground and generate the required GRF moment for posture stabilization.

In order to reduce inclination errors of the actual robot, the “model ZMP control” applies the virtual external force to the dynamics model for gait generation.

The “long-term scenario control” revises the scenario altered by the “model ZMP control”.

The effectiveness of the above proposed methods is demonstrated by simulations of gait generation and a 9[km/h] running experiment.

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).