OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	A Model of Flexible Human Gait with Intermittent Control
Author(s)	Fu, Chunjiang
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/52063
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name （Fu Chunjiang）	
Title	A Model of Flexible Human Gait with Intermittent Control (間欠制御を用いた柔軟なヒト二足歩行のモデル)

Abstract of Thesis

Stability of human gait is determined by a number of cross-related factors, including gait trajectory, joint impedance and neural control strategies. Here we consider a control strategy that can achieve stable steady-state periodic gait while maintaining joint flexibility with the lowest possible joint impedance. To this end, we study a heel-toe footed biped model with hip, knee and ankle joints and a heavy head-arms-trunk (HAT) in the sagittal plane. The model assumes a motion-captured periodic desired joint angle trajectory and a proportional-derivative (PD) feedback controller to track it, whereby the joint impedance is parameterized by the PD-gains. A maneuver is used, prior to performing the forward dynamic simulations of the model, to specify a desired steady-state gait (i.e., a HAT motion that cannot be specified by the desired joint angles) and its associated ground reaction force profile that are consistent with the equation of motion, allowing us to construct a feedforward controller for the desired gait and to isolate only the joint-impedance-related stability issue from the cross-related factors. We show first that the desired gait can be established as a stable limit cycle for an appropriate set of large PD-gains. As the PD-gains decrease for lowering the joint stiffness, stability of the limit cycle is lost only in a few dimensions, while leaving the remaining large dimensions quite stable, by which the limit cycle becomes saddle-type, accompanied by a low-dimensional unstable manifold and a high dimensional stable manifold. The low dimensionality of the unstable manifold maintains even when the PD-gains decrease far below the instability point. We then propose an intermittent neural feedback controller that is activated only for a short period of time at an optimal phase of every stride. We show that the intermittent controller can better stabilize the unstable limit cycle with small PD-gains by driving the state to the stable manifold, not directly to the limit cycle itself, leading to a flexible gait.

様式7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　Fu Chunjiang　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主査　教授	野村泰伸
	副査　教授	大城　理
	副査　教授	田中正夫

論文審査の結果の要旨

本論文はヒト二足歩行モデルの安定性および不安定性を定量的に評価するともに，不安定な歩行を安定化する神経制御戦略として間欠制御モデルを提案している．ヒトの運動制御に関する研究では，脳神経系は力学的に不安定な姿勢や運動の安定化するために，身体関節のインピーダンス（粘弾性）を高くすることで目標とする姿勢や運動軌道からの偏差を小さくするインピーダンス制御を用いていると考えられてきた．しかし，高い関節インピーダンスは，各関節の拮抗筋の同時収縮によって実現されるため，エネルギー効率が低下する．さらに，高いインピーダンスを伴う運動は剛直となり，インピーダンス制御はヒトの柔軟な運動を実現する神経制御戦略としては必ずしも妥当であるとは限らない．

本論文が提案する間欠制御では，神経指令に伴う能動的なフィードバック制御（インピーダンス制御）が間欠的（オン・オフ的）に交番する．制御がオフである時間帯では関節インピーダンスが低下するため，制御がオフである期間が長い程，実現される運動の柔軟性は向上するが，一方で運動の安定性が低下するというトレードオフが発生する．そこで，申請者はフィードバック制御がオフであるときの歩行運動系を非線形力学系として捉え，その不安定周期解（不安定リミットサイクル）近傍の力学構造を解析し，サドル型不安定周期解の安定および不安定多様体の構造を明らかにした．その上で，不安定周期解近傍の状態点を安定化の目標であるリミットサイクルそのものではなく，不安定周期解の安定多様体に近づけることを目的としたフィードバック制御を間欠的に加えることで上述のトレードオフ問題がロバストに解決されることを示した．

このように本論文で提案された間欠制御は，柔軟性を保ちながらも二足歩行運動をロバストに安定化するヒト神経系の運動制御戦略の有力な候補であると同時に，サドル型の不安定性を有する周期解の安定化制御に関する一般的な知見を与えるものと評価される．よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める．