アーティスティックロボット”J²”の 動作シミュレーションと実機検証

Behavior simulation and experiment of an artistic robot “J²”

○ 学 福島一 (九工大) アミール A. F. ナシライ (北九州産業学術推進機構ロボティクス研究所)
正 石井和男 (九工大)

Hajime Fukushima, Kyushu Inst. of Tech.
Kazuo Ishii, Kyushu Inst. of Tech., ishii@brain.kyutech.ac.jp
Amir A. F. Nassiraei, Kitakyushu FAIS RRI

Abstract: This paper describes acrobatic behavior simulation and actual experiment of J² the artistic robot. J² has 4 kinds of actuators for acrobatic motions that are Inertia Actuator, Cam Charger, Hip Joint and Knee Joint. A main objective is to realize somersault motion. The motion is simulated and a result is shown possibility. It is reflected experiment for actual robot. We obtain a possibility of somersault motion and properness of simulation model by comparing simulation and actual experiment.

Key Words: J², Artistic robot, Acrobatic motions, behavior simulation

1. 緒言

近年、ロボットは工業分野をはじめ、様々な分野において応用されている。近年、ロボットと人との距離は近づきつつあり、特に娯楽用ロボットが注目されている。産業技術総合研究所は2005年愛知万博に恐竜型二足歩行ロボットを出展している。また、Asimo(本田技研)やQrio(ソニー)といった二足歩行ロボットは動作や音声によって人々を楽しませている。また、二足歩行ロボットが介護・支援・救助などの人間を補助する分野で発展する可能性が報告されている[1][2]。これらロボット開発が盛り上がりを見せるとともにロボットの移動法に関する検討が盛んである。特に災害救助分野において、人間の住む町並みや建築物内部の移動、建築物の瓦礫が作るであろう高低差の乗り越え及び間隙の回避、倒壊する建築物の破片回避などの為に踏破能力や不整地移動性及び高運動性はロボットが活動する上で不可欠な要素である[3]。ここで述べる「高運動性」とは、急激な速度変化を伴う運動を行う能力を指すこととする。一方で、人間や動物の歩行や走行、跳躍等は、不整地等の多様な環境に対応する注目すべき能力であり、走行・跳躍能力を持つロボットの研究・開発が報告されている[4][5]。これら多くの研究では動力に油圧や空気圧などを利用する直動アクチュエータを用い、外部からエネルギー供給しているものが多い。災害救助においては、外部との電源線や通信線は行動範囲を制限する原因となりうるため、独立稼動可能であることが望ましいと考える。そこで本研究ではアクロバティックな動作が可能な自己完結型ロボットの実現を目標として、アーティスティックロボットJ²: Jumping Joeを開発している(図1)[6]。本稿では開発したロボットを用いたアクロバティックな運動のシミュレーションと実機での検証結果及びその考察について述べる。

2. J²について

J²は、元来脚式移動機構が持つと考えられる高移動性に、高い運動性能を付加させることを目標として開発されたロボットである。J²はInertia Actuator: I.A., Cam Charger: C.C.及び2自由度股関節(Hip Joint: H.J.), 1自由度膝関節(Knee Joint: K.J.)を実装する。I.A.は高速回転する回転子を制動機構を用いて急停止させトルクを得る。C.C.はカムを回転させ、ねじり棒バネを圧縮した後解放することによって力を発生させる。股関節及び膝関節はリンク機構を応用し高トルクを発生させる。いずれの機構も原動力より大きな力を得ることが可能であるという特徴を持つ。J²は急激な動作を考慮した4つの機構を搭載することにより、モータのみをアクチュエータとして使用する従来の二足歩行ロボットと比較し高運動性を持つと考えられる。また、J²はそれぞれのアクチュエータをモジュールとして独立させており、状況に応じてロボットの構成を組み替えることにより柔軟な運用を可能としたモジュール指向型ロボットである。J²の設計仕様を表1に示す。

Fig. 1 Figure of J² (center) and J² Jr. (left, right side)

Table 1 Design specification of J²

parts	Width Length [mm] Height	Weight [kg]	Characteristic parameters	
			Braking time (Torque)	Rotor velocity
Inertia Actuator	266.0	5.00 (Rotor: 1.68)	0.2 [s] (Max 12 [Nm])	36000 [deg/s] = 6000 [rpm]
	159.0			
	130.0			
Hip Joint	118.9	0.94	Torque [Nm]	Dynamic range [deg]
	138.1		10.0	-10 to +90 (pitch)
	165.0			-10 to +50 (roll)
Knee Joint	78.0	0.75	Torque [Nm]	Dynamic range [deg]
	149.7		8.0 to 12.0	0 to +110
	86.0			
Cam Charger	70.0	1.80	Spring rate [Nm/deg]	Charge angle [deg]
	250.4		3.0(*2)	15
	136.0			
Total	Height 580.0	about 13.0		

3. 動作シミュレーション

シミュレーションは機構解析ソフトMSC Visual Nastran 4Dを用いて行う。本稿ではJ²のバリエーションの一つであるJ² Jr. 2を対象とする。シミュレーションを行う動作は、回転及び跳躍等、J²に搭載されている全アクチュエータの動作を総合的に組み合わせて使用する前転宙返りとし、動作可能性を検討する。

3.1. シミュレーションモデル

動作シミュレーションに用いたシミュレーションモデルを図2に示す。シミュレーションモデルの外形はCADファイルより取得したが、複雑な形状についてはCADデータの形状を用いるとシミュレーション負荷が過度に増大するため、最大寸法の直方体の組み合わせとして表現した。I.A.部内部には回転子(1.68[kg])を置き、実機と同様に回転子を回転・停止させることによってトルクを得る。C.C.の内部には地面を蹴るための可動部（ジャンピングパーツ）を持たせている。C.C.の外側部とジャンピングパーツとは、バネ状拘束によって接続されており、バネの特性を鑑みたシミュレーションが可能である。以上のことにより実機の動特性を表現した。重量及びアクチュエータ性能は設計仕様と同じものとする(表2)。

Fig. 2 Simulation model of J² Jr. 2 (combined I.A., H.J. and C.C.)

3.2. シミュレーション条件

前転宙返り動作の条件を述べる。

I.A.へは回転子の角速度を、H.J.へは関節角度を、C.C.へはジャンピングパーツの角度を指示値として与える。H.J.にはサーボモータが使用されており、内部にPD制御器を搭載しており、出力には限界がある。そこで、サーボモータの動特性を表現するために角度を入力、トルクを出力としたPD制御器を用い、さらにトルク制限を行う。H.J.のトルクは設計仕様通り10.0[Nm](pitch方向)に制限される。また、I.A.の発生トルクは回転子とその速度によって最高出力に制限があり、跳躍中の短時間(約0.5[sec])にロボット全体を回転させる回転力としては十分とはいえない。前転宙返りを可能とするためにはI.A.のだけでなく、各アクチュエータを連動させる必要がある。そこで以下の指針の下、アクチュエータへの指示値を決定した。

- ・ 関節によって慣性モーメントが小なる姿勢を得る。
- ・ C.C.の跳躍力も回転力の一部として利用する。

以上のことを考慮して決定したI.A.回転子への指示値(角速度)を図3に、H.J.及びC.C.への指示値(角度)を図4に示す。図3,4の横軸はいずれも時刻を示す。大まかな動作を述べる。時刻3.0[sec]までに回転子を36000[deg/sec] (6000[rpm])で回転させ、H.J.関節角度を7.0[deg]とし、C.C.の動作によって回転力得る姿勢を作る。跳躍時である3.0[sec]から3.2[sec]の間に回転子を停止(0[deg/sec])させ、同時に3.0[sec]でH.J.の関節角度を100[deg]へ急激に屈曲させ、慣性モーメントの小さな姿勢へ変化させる。C.C.も同時に作動させ、跳躍力と回転力得ることを狙っている。シミュレーション結果を次節にて述べる。

Table 2 Specification of simulation parameters

parts	Width Length [mm] Height	Weight [kg]	Characteristic parameters	
			Braking time (Torque)	Rotor velocity
Inertia Actuator	259.0	5.680 (Rotor: 1.680)	0.2 [s] (Max 8.75 [Nm])	36000 [deg/s] = 6000 [rpm]
	178.0			
	135.0			
Thigh (Hip Joint)	80.0	1.200	Torque [Nm]	Dynamic range [deg]
	115.0		10	-10 to +90 (pitch)
	80.0			0 to +30 (roll)
Shin (Knee Joint)	80.0	0.375	Torque [Nm]	Dynamic range [deg]
	138.0		8 to 12	0 to +110
	80.0			
Foot (Cam Charger)	70.0	1.80	Spring rate [Nm/deg]	Charge angle [deg]
	255.0		3.0	15.0
	115.0

Fig. 3 Command of actuators (H.J. and C.C.)

Fig. 4 Command of rotor velocity (I.A.)

3.3. シミュレーション結果

シミュレーションの様子を図5に、シミュレーションによって得られたH.J.の関節角度を図6に示す。図5は時刻3.0[sec]から0.1[sec]ごとの画像を左上より右へ順に示している。図5により、シミュレーションにおける動作の可能性は示される。図6は、H.J.の角度が3.2[sec]付近から3.5[sec]付近まで指令値に追従できておらず、関節の伸張方向にずれていることを示している。追従できない理由としては回転に対抗する向心力不足、即ちH.J.のトルク不足が考えられる。このとき、J²の姿勢は空中で回転中であり、C.C.をI.A.部に近づけ、直立状態と比較して慣性モーメントを低減している状態である。本シミュレーション結果から、H.J.はこのとき指定角度を維持できず、I.A.部からC.C.が離れ、慣性モーメントを抑えられず、指定角度を維持可能である場合と比べ、速度が減ぜられていると考察できる。しかしながら、本シミュレーションが実機の動特性を良く表現しているならば、実機においても前転宙返りは可能である。次節では実機による検証の結果を示し、シミュレーション結果との比較を行い、シミュレーションモデルの妥当性や実機での動作可能性について述べる。

Fig. 5 Simulation result of somersault motion

Fig. 6 Trajectory of H.J. pitch angle

4. 実機による動作検証

シミュレーション結果から、前転宙返りの可能性が示された。本節ではシミュレーションに用いた指示値を実機に与え、実機での前転宙返り動作を検証する。図7に約0.1[sec]間隔の実験画像を左上より順に示す。シミュレーションで動作可能性が示されたとおり、美しい着地こそ得られなかったが、実機においても跳躍開始から着地までの間にロボットはほぼ1回転の前転宙返りに成功した。シミュレーションと比較すると、1. 跳躍から約0.2秒後にI.A.部からC.C.が離れ始めている、2. ロボット全体の回転角度も図5のものと同等である、3. 跳躍から着地までのタイミングがほぼ同じである。以上のことから、本シミュレーションモデルは実機の動特性を良く表現しているといえる。したがって、シミュレーションにより前転宙返りの可能性が良く示されており、実機実験前の動作可能性をシミュレーションにより確認することは、実機の安全性や動作の可能性を検証する上で有効であるといえる。

5. 結言

アーティスティックロボットJ²のアクロバティックな動作の可能性をシミュレーションにより示した。また、実機検証を行い、シミュレーションモデルの妥当性を確認した。今後は、J²における前転宙返りの成功を目指し、実機の改良及び実機の性能を反映したシミュレーションモデルの作成が課題である。

Fig. 7 Experiment result of somersault motion

参考文献

- [1] 比留川博久: “人間型ロボットの近未来応用”, 日本ロボット学会誌, Vol. 22, No. 1, pp. 6-9, 2004.
- [2] 井上博允: “人間型ロボットが拓く未来社会と新産業の創成”, 日本ロボット学会誌, Vol. 22, No. 1, pp. 2-5, 2004.
- [3] 田所諭: “ロボカップレスキュー”, 日本ロボット学会誌 Vol.20, No.1, pp.20-23, 2002
- [4] 松岡清利: “反復跳躍運動の機械モデル”, バイオメカニズム Vol.5, pp. 251-258, 1980.
- [5] M. Raibert. Legged Robots that balance. MIT Press, Cambridge, 1986.
- [6] A. A. F. Nassiraei et al. , Concept and Design of An Artistic Robot “Jumping Joe”, proceedings of 36th International Symposium on Robotics: TH3C6, 2005

謝辞

J²は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託を受けて開発したロボットです。