

平成22年05月18日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009年度

課題番号：20760153

研究課題名（和文） 脱力運動が可能なマニピュレータの実現

研究課題名（英文） Implementation of the relax motion in a manipulator

研究代表者

大槻 真嗣 (OTSUKI MASATSUGU)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・助教

研究者番号：50348827

研究成果の概要（和文）：本研究では、人間の腕のように自然な運動をするマニピュレータの実現を目指している。そして、腕の筋肉が弛緩している状態を「脱力」と呼び、新たな関節機構によりこの「脱力」と通常駆動を切り換えることで、「必要最小限の力」、「必要最小限の時間」、「必要最小限の距離」を達成し、かつ高精度な位置決めも可能なマニピュレータを実現することを目的とした。結果として、提案する関節機構と同じ機能を持つ小型化されたハードウェアを用いて位置決め制御実験をしたところ、明らかに全駆動の場合より必要なエネルギーが少なく、必要なトルクも小さいことが確認できた。また、非駆動関節動作をさせた場合は非ホロノミック運動することが確認でき、非駆動関節のみの場合より位置決め性能が向上していることも確認できた。ただし、現状では切換タイミングを駆動関節の停止後と決め、順列的に行っている。今後、非ホロノミック運動から全駆動運動への切換タイミングの最適化を行い、具体的には等速運動状態の際に駆動へと切換えることにより、効率の向上を試みる。

研究成果の概要（英文）：This study presented the manipulator with the new joint which can passively switch free state to drive state and vice versa. The manipulator with the free-state joint is categorized as a system subjected to a nonholonomic constraint; hence, its smooth feedback control cannot be implemented. Firstly, the issues on its control were clarified through the test with the experimental setup of the manipulator with a free joint. Furthermore, the manipulator with the switching joint was also developed and its effectiveness was verified through the experiment. In particular, we confirmed the relax motion in free state through the experiment; and the maximum power consumption during its positioning was dramatically reduced. In the future study, they are planned to compensate the offset with target, due to inertial motion and to optimize switching time of joint state for reducing overshoot.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，機械力学・制御

キーワード：脱力運動，非駆動関節，切換制御，運動と振動の制御，大域的最適化，2自由度制御系，マニピュレータ，定性的評価基準

1. 研究開始当初の背景

本研究では、人間の腕のように自然な運動をするマニピュレータの実現を目指す。例えば、野球の投手がボールを投げるときには、腕の筋肉の弛緩と緊張が時間を追うごとに巧みに切り換えられて、その動作が実現されている。これは非常に効率的にボールへ力を伝達する動作であり、この動作をマニピュレータにより実現するには、ハードウェアでは筋肉の代わりとなる関節機構、ソフトウェアでは切換制御方法、これら両方の側面から工夫が必要である。

従来のマニピュレータは全関節が駆動可能であることが一般的であり、モータやギヤ、リンク機構を用いるため、関節部の剛性が非常に高い。この場合に人間の脱力運動を実現するためには、まず脱力運動の軌道を作成し、その軌道へ関節角度を追従させる方法が考えられるが、これは非常に効率的でない。さらに通常動作させるだけでも、ギヤの摩擦補償や手先側のリンク反力を基礎側の駆動装置により支持しなくてはならないため、余分なエネルギーを必要とする。

一方、非駆動関節を持つマニピュレータでは、自由関節に取り付けられたリンクはその前後にあるリンクが駆動した際に生じる慣性力のみで駆動されることになり、移動に要するエネルギーが非常に少ない。ただし、条件に応じて非ホロミック系となるため、Brockett の定理から滑らかな連続的フィードバック制御ができないだけでなく、重力補償や最終的な位置決め精度などに問題があるため実用化された例がない。一方、宇宙環境下でマニピュレータの自重を支える必要がない場合や関節を外部から操作者が自由に動かしたい時などには、エネルギー効率や重量、操作性の観点から非駆動関節は有望視されている。さらに、慣性の小さい非駆動関節を両端に持つリンクには曲げが発生しにくいことが実験的に確認されており、この応用も望まれている。

2. 研究の目的

そこで本研究では、腕の筋肉が弛緩している状態を「脱力」と呼び、新たな関節機構によりこの「脱力」と通常駆動を切り換えることで、「必要最小限の力」、「必要最小限の時間」、「必要最小限の距離」を達成し、かつ高精度な位置決めも可能なマニピュレータを実現することを目的とする。まず、力を入力軸から出力軸側へのみ伝える受動機構を採用することで、外部からの操作に対して自由関節となるような機構を作成する。その外部

操作に対する「非駆動」と制御入力による「駆動」とを、大域的な軌道計画の追従制御と局所的な位置決め制御中に、適切に選択することで、人間の腕の動きのような自然な運動をマニピュレータに表現させる。非駆動と駆動、二つの特徴ある関節の利点を活かし、それらを条件や時間に応じて切り換えることで、脱力運動つまり効率的な移動と高精度な位置決めをマニピュレータに実装する。このように、非駆動と駆動の二つの関節を受動的に選択可能な従来研究はなく、その制御自体も過去にはない新しいものである。

3. 研究の方法

本研究でハードウェアにおいて解決すべき課題は「非駆動と駆動が受動的に切換可能な関節機構の開発」であり、ソフトウェアの観点では「大域的な振動抑制付軌道追従と局所的な高精度位置決め切換手法の構築」である。

まず、明らかにすべき点が3つある。第一に関節機構自身が製作可能かどうか、第二に非駆動と駆動を切り換えることで本当に任意の二点間の移動が高効率になるのか、最後にシステム要件にある自然な動きと機械の高精度な動き、これらが一連の動きの中で直列的に実現されているかどうかである。これらが満足されていることを確認した上で、さらに性能を向上させる作業を実施していく。

4. 研究成果

腕の脱力運動とは必要最小限の力（最小限の筋肉の緊張）だけを使い、しかもそれを必要最小限の時間だけ筋肉を収縮させ、腕を必要最小限の距離だけ移動させることである。日常生活において、無意識に行っているこの脱力運動、つまり最も自然な動作を機械的なマニピュレータで実現することは今後のロ

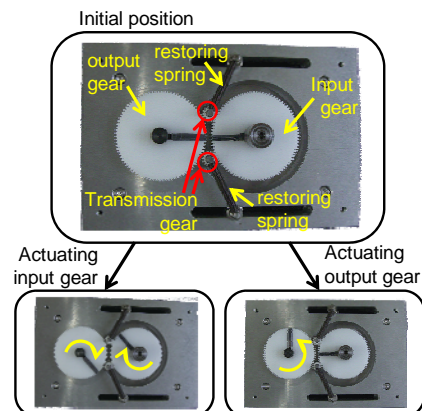


図1 受動切換関節機構の機能

ロボットの発展に資すると思われる。この研究で鍵となる課題のひとつは、関節機構ハードウェアをどのように作成するかである。この関節機構は、いわば従来の駆動関節と非駆動関節が一つにまとめられ、それらの機能が受動的に選択される装置と言える。図1のように簡易版の関節機構を製作し、それが動作することを確認した。この関節機構はばねやギヤといった単純な要素で構成されている。入力軸を駆動した場合のみ出力軸が稼働し、出力軸側をいくら操作しようが入力軸側が動くことはない。

次に、非駆動と駆動を切り換えることで本当に任意の二点間の移動が高効率になるのかを確認した。前述の関節機構を組み込んだ図2、3にあるマニピュレータを製作し、それをを用いた実験によりその効率性を確認した。結果として、第一関節と第二関節を120度、30度に位置決めする際、表1のように、最大電流、最大消費電力、(柔軟アームの場合に)最大加速度が極めて低減されることが確認でき、有効性があると判断された。

最後にシステム要件にある自然な動きと機械の高精度な動き、これらが一連の動きの中で直列的に実現されているかどうかである。

図4に受動切換関節を用いた場合の位置決めプロファイルを表示している。ここで、当

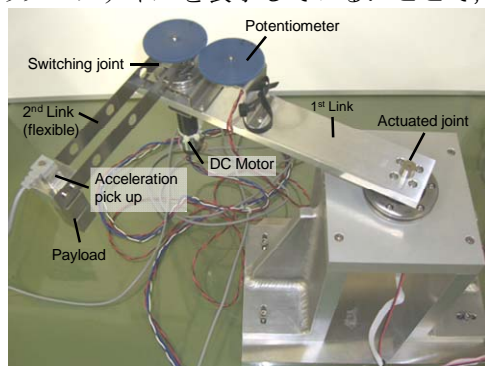


図2 実験装置外観図

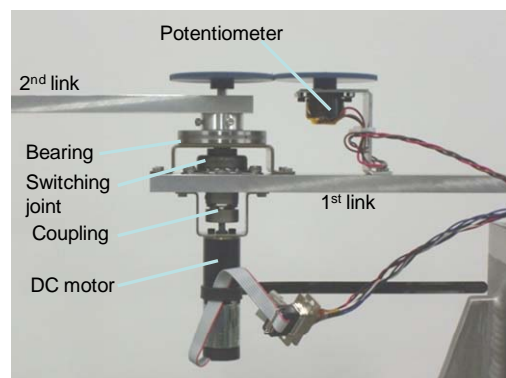


図3 関節機構外観図

表1 実験結果

Case conclusion	rigid	flexible
Free	1-a	2-a
Full-actuated	1-b	2-b
Switching joint	1-c	2-c

Case	Max current in the second motor [A]	Max power consumption in the first motor [W]	Max acceleration of tip in the second link [m/s ²]
1-a	0	1.42	-
1-b	0.239	2.99	-
1-c	0.105	1.13	-
2-a	0	2.74	2.18
2-b	0.27	5.66	6.76
2-c	0.161	2.29	2.22

初、マニピュレータは非駆動関節を持つマニピュレータとして駆動されているため、第二関節が第一関節と反対方向に動いていることが確認できる。これが、「脱力」運動であり、生物の慣性力に逆らわない自然な動きである。ただし、第一関節が停止後、第二関節は駆動されて、目標位置に収束していることも確認できた。つまり、効率的かつ自然な動きから、高精度な位置決めを実現することができ、本研究の目標のひとつは達成されたと考えられる。

以上、生物の腕のように効率的に動き繞うマニピュレータが実現できた。宇宙ロボットの分野では、地球軌道上や小惑星探査のためのサンプリング、操作用インターフェース、地上では人間がマニピュレータをティーチングさせるためのインターフェース装置、介護ロボットなどに応用が今後期待できる。

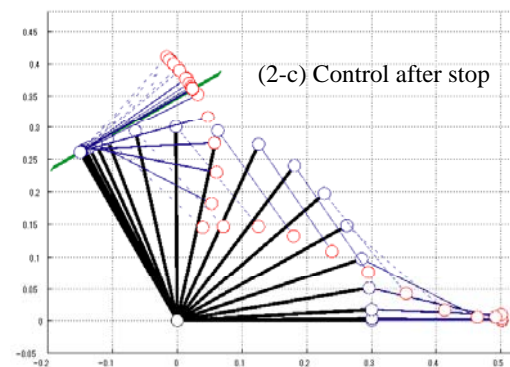


図4 各リンク位置の時刻歴 (受動切換関節の場合)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

Masatsugu Otsuki, Noriaki Mizukami, Takashi Kubota, Simultaneous Control for Position and Vibration of Planetary Rover with Flexible Structures, J. Advanced Robotics, Vol.24, 2010, pp.387-419

[学会発表] (計 1 件)

Masatsugu Otsuki, Flexible Space Robotic Manipulator with Passively Switching Free Joint to Drive Joint, Proc. International Conference on Robotics and Automation 2010, Anchorage in Alaska, 2010

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大槻真嗣 (OTSUKI MASATSUGU)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙
科学研究本部・助教

研究者番号 : 50348827

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :