

適応的剛性調節を用いたロボットシステムの省エネルギー制御法

植村 充典

近年深刻化している環境問題の影響から、エネルギーの効率的利用に対する社会的要請が急激に強まってきている。また、エネルギー効率の向上は機械システムにとっても最も基本的な要求の一つである。特に、歩行ロボットや歩行補助ロボットはバッテリーを内蔵する必要があり、エネルギー効率の向上は重要となる。生物にとっても、少ないエネルギーで運動することは重要である。よって、効率的な運動生成法の解析は、科学としての生物の運動解析にも有用と考えられる。

一方、機械システムが周期的な運動を行う場合、エネルギー効率を最適化するためには共振の概念が有効である。しかし、従来の共振は線形なダイナミクスを持つ¹自由度システムの単振動を対象とした概念であるため、複雑な制御系には直接適用できない。

そこで、本博士論文では非線形で複数の自由度を持つ多関節ロボットや目標とする周期運動が複数の周波数成分を含む場合、制御システムが人間と協調する場合において省エネルギー化を実現する制御方法の理論的枠組みを提案する。提案方法では、アクチュエータと機械的弾性要素を併用し、機械的弾性要素の剛性を適応的に最適化することで、省エネルギー化を実現する。

対象とするロボットシステムと制御目的は、以下の4つの場合を考える。1.非線形なダイナミクスと多自由度を有する多関節ロボットを制御対象とし、制御目的は各関節における目標とする単振動運動の生成とする。2.線形なダイナミクスを持つ¹自由度システムを制御対象とし、制御目的は複数の周波数成分を含む目標運動の生成とする。3.パワーアシストシステムを制御対象とし、制御目的は人間の発揮トルクの増幅とする。4.弾性要素を介してアクチュエータを人間に取り付ける機構を用いたパワーアシストシステムを制御対象とし、制御目的は人間の発揮トルクの増幅とする。

提案制御法を用いた制御系の安定性は、数学的に証明する。また、提案制御法による剛性の調節効果を示すため、それぞれの制御対象に対して最適剛性を定義する。最適剛性は、アクチュエータトルクを最小化する剛性であり、従来の共振を非線形多自由度システムや複数の周波数を含む運動の場合に拡張したものとなる。提案制御法は、制御対象のパラメータを利用しなくても、目標運動をできる限りアクチュエータトルクを用いずに生成できる。提案方法の有効性は、シミュレーションや実機実験により確認する。