GS1-5 制御による本質安全とPDCのダイレクト・ハンドリングへの適用

Essential safety by control and application to direct handling of PDC

○学 川口 直人 (明治大院) 正 杉本 旭 (明治大)

Naoto KAWAGUCHI, Meiji University, Higashimita 1-1-1, Tama-ku, Kawasaki

Noboru SUGIMOTO, Meiji University

Direct handling is newly developed gravity balancer, which assumes the safe contact by controlling torque of a motor. Passive safety introduced for active control is so important that PDC (Passive Dynamic Control) is applied to the direct handling. PDC is a mechanical system control method based on an inherently safe design using the braking mechanism positively. In this paper, the mechanism of the direct handling and application of PDC to Direct handling are discussed.

Key Words : Safety, Fail Safe, Safety Control, Safety Engineering, Robotic Safety, PDC

1. 緒 言

近年, 重量物に対して人間の自らの意志でまた自らの力で位置決め/組み立てを行うことが求められている。荷扱いの対象物を常にバランス状態にすることにより, 人間の直接的な力で空間内の任意の位置決め/組み立てが可能とする。この理論に基づきダイレクト・ハンドリングを開発した。ダイレクト・ハンドリングでは, 人間との物理的共存が条件であるため, 人間に危害を与える可能性に対する安全確保が, 実用化のための条件となる。しかし, 従来の制御方式によって, 能動的に作られたバランス状態(力の平衡)は, 制御の故障(電源異常を含む)による暴走の可能性があり, 安全を保障しない。本質安全設計方針に基づくモーションについては, 機械と人間の共存する条件で, 機械側から安全を確保するための制御方式として, PDC(Passive Dynamic Control)が提案されている⁽¹⁾。本報告では, PDC を適用したダイレクト・ハンドリングについて述べる。

2. パッシブダイナミック制御(PDC)

2・1 本質安全設計

機械安全(ISO12100)⁽²⁾では, 本質安全設計方針が優先される。すなわち, 危険源を除去すること, また危険源が存在する場合は人間に危害を生じない制御条件を設計の段階で確保すべきことを定めている。機械的出力に対する ISO10218⁽³⁾の規定によると, 人間に許容される力は 150N 以下, 速度は 250mm/s 以下だとされる。しかし, この条件を駆動源の能力(例えばモータ 80w)で制限すれば, 機械の持つ能力の低下を来す。出力は機械の能力指標の重要なひとつであり, 人間が機械の大きな出力を安全に操作するための制御条件をいかに達成するかを検討すべきである。

2・2 パッシブダイナミック制御(PDC)⁽⁴⁾⁽⁵⁾

機械的位置決めでは, 制御対象を目的位置に移動させる制御(移動操作)と, 目的位置で外力等の制御対象にかかる力を打ち消して力を平衡にするバランス制御(平衡操作)とが必要である。しかし, 安定した不平衡を維持しつつ移動するため, 従来の制御方法ではこれら 2

つの能動的制御が安定判別の条件で同時に実行されている。ここで能動的方法とは, センサにより停止位置との偏差を検出し, 偏差が無くなる位置で力の平衡を完了するという制御であるが, この方法で得た力の平衡は物理的に真の安全ではなく, また故障等による不意の起動の可能性もある。一方, 平衡操作には受動的な方法がある。これは, 平衡を物理的手段の有する受動特性に委ねるものである。受動的方法とは, 静/動摩擦特性を利用した機械的ブレーキ, 機械的エネルギーを蓄積するバネ, 運動エネルギーを消散するダッシュポットなどを用いることであり, 力の平衡の受動的な手段としては後述するように機械的ブレーキとバネが利用される。PDC では, 平衡操作と移動操作を分けて実行し, それぞれの安全条件を確保する。平衡操作では, 平衡状態の安全と, 平衡状態を生成する制御に伴う安全, また, 移動操作では, 移動時に生ずる人間との接触に伴う安全(力の本質安全条件)と, 移動空間の安全に分けられる。ただし, 本報告では移動空間の安全は停止操作を行う操作者に委ねるものとする。PDC では, 平衡操作をブレーキで動きを固定した状態で実行するため, 制御の誤りは危険を生じない。平衡状態を達成する機械的力はバネ(受動手段)で記憶される。移動は, 記憶されたばねを利用するため小さな操作力で実現される。そのため, 移動時の本質的安全が保証される。後で示すように, 制御プロセスにおいて安全確認が可能ないくつかのステップに分ける。各ステップにおいて, 本質安全の条件を生成し, この条件内でのみ実行が許可される。

3. ダイレクト・ハンドリング

バランスとしての駆動方法として定トルクモータを検討した。一般に, 設定したトルクを一定に保つ手段として直流モータ(DD モータ)が利用される。電流によってトルクの自由な設定が可能だが, 大きなトルクを維持する場合, 大きな電流を継続して流すので高熱となって連続の使用に耐えられない。また, 電源故障(例えば停電)によって, トルクが消失し, 定トルクが保持できない。すなわち, DD モータによる出力トルクはフェールセーフの条件を満たさないと考える。

本研究では、最も一般的に使用されるギヤードモータを使用する。この手段では、制御特性としてのブレーキの位置保持能力(平衡状態の位置の記憶)とねじりバネの機械的力の保持能力(平衡状態の力の記憶)を利用する。平衡状態の初期の生成過程では、モータを回してねじりバネのねじれに応じてトルクが増大し、平衡状態のねじれを回転ポテンシオメータで記憶させる(この状態をバランス状態と呼ぶ)。一旦平衡状態がバネのねじれ角度(回転ポテンシオメータによる平衡信号)で記憶されれば、その後の平衡操作の対象はバネのねじれ角、すなわち位置制御の形態となる。外部から与えられる操作力はトルクの変化(この状態をアンバランス状態と呼ぶ)として回転ポテンシオメータの出力に現れる。平衡信号と回転ポテンシオメータの出力との差がゼロとなるようにモータを追従操作する。これによって、バネのねじれを一定に保つ制御を行ってトルクを一定に保ち、過度のアンバランス(危険な出力)を回避した動きが可能となる。本研究では、人間の手で直接荷の移動を行うためのダイレクト・ハンドリング装置を製作した(Fig1)。

一般に、ダイレクト・ドライブ・モータは、トルクを電流で直接制御するため大型で制御も複雑であるが、バネを介在することで高ギヤ比の誘導モータの使用が可能となり、PDCの適用は、安全性のみならず、低価格化、小型化が期待できる。アンバランス状態からバランス制御をした際の応答の実験を行った。ドラムに10kgの錘を取り付け任意の力をドラムにかけることによりアンバランス状態を生成し、バランス制御を行った。実験結果の一例をFig2に示す。ロードセルからの出力によりワイヤにかかる力を計測しており、ロードセルの出力にはノイズ信号が含まれるが、任意の力を加えた場合に、故意のアンバランス状態からバランス状態への移行が行えていることが確認できる。

Fig1. Direct handling

Fig2. balance control

4. PDCのダイレクト・ハンドリングへの適用

ダイレクト・ハンドリングでは、人間が直接の力で位置決めを行うため、人間に直接危害を与える恐れがある。

そのため、高い安全性が求められる。ダイレクト・ハンドリングでは、力の安全と領域の安全を考慮する必要がある。

力の安全の条件は、本質安全設計に基づき人間が吊荷を動かす際にダイレクト・ハンドリングの力が人間の許容できる力を超えないことである。また、領域の安全の条件では、装置の暴走などにより、人間の意志した移動領域を逸脱しないこと、または人間が手を離してときに正確に止まることである。これらの安全を考慮したダイレクト・ハンドリングのPDC制御手段を示す。

- (1) バランシングの初期設定： 人の操作によりモータを回し、荷を空中でつるす。その状態を回転ポテンシオメータで計測し平衡信号としてメモリに記憶する。
- (2) 移動力発生： 人間の自らの意志により吊荷に移動力を与える。
- (3) ブレーキ作動： 人間が吊荷の移動を止めた際、ブレーキにより位置を保持する。また、人間が吊荷から手を離れた際にも正確にブレーキを作動させる。
- (4) バランシング： ブレーキ機構を操作し、確実にブレーキにより固定した後に、ポテンシオメータを(1)で記憶した出力になるようにモータの追従操作(バランシング)を行う。ブレーキが作動していない状態ではバランス制御を実行しない。
- (5) ブレーキの解除： バランス状態であることを確認し、確認できたらブレーキを解除する。

そして、次に人間により吊荷の移動が行われるまで待機し、移動がおこなわれた際は(2)に戻り制御を実行する。

5. おわりに

本報告は、定トルク制御を行うダイレクト・ハンドリングの開発の特にPDCを適用した安全制御に関する。パワーアシストを用いるシステムは一般に人間を直接介助するため安全対策が決定的に重要だと言える。本研究で開発を目指すダイレクト・ハンドリングは本質安全設計方針に基づく、パッシブダイナミック制御(PDC)を適用することに安全対策の有効性の根拠を求めた。本装置は、重量物を人間が扱う基本条件に基づいて開発したものであるが、人間の操作によって人間を安全に介助する装置が広く求められており、今後、福祉介助機器、レスキューロボット、アミューズメント装置など広く使用可能なシステムを検討していきたい。

参考文献

- (1) 南山 靖博, 清田 高德, 佐々木 卓実, 杉本 旭, “パッシブダイナミック制御による揺動型空気圧アクチュエータの位置決め(アクチュエータの機構と制御)”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2008
- (2) ISO12100, Safety of machinery - Basic concepts, general principles for design.
- (3) ISO10218, Robots for industrial environments - Safety requirements.
- (4) 南山靖博, 杉本旭, 清田高德, 野田直樹, 氏本佳宏, “PDCによるバランスサーボの一構成法”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 2005
- (5) 南山靖博, 清田高德, 佐々木卓実, 杉本旭, “パッシブダイナミック制御による外乱下での空気圧シリンダの円軌道追従”, 第14回ロボティクスシンポジウム講演