平行軸のロックステップ(送りピッチの固定)による完全同期制御

著書：Mike McDonald, アプリケーションエンジニア

はじめに

多くのアプリケーションでは､複数の方向または軸の移動が必要です。これらのアプリケーションの多くでは、1軸あたり1位置決めシステムで十分です。 図Aは、3つの位置決め要素を備えた位置決めシステムを示しています。 これは、通常、「XYZ軸」または「デカルト」システムと呼ばれます。この場合、下部水平位置決めステージはX軸方向に移動していると見なします。 Y軸は第2の水平軸を構成し、Z軸は垂直移動を定義します。 Y軸とZ軸が比較的短い場合、またはそれらの負荷が比較的低い場合､デカルトシステムは良い解決策です。

図A：Zaber X-LRM-E　リニアステージを使用したXYZシステム

カンチレバー（片持ち）荷重

これらの軸の移動範囲に於いて、移動軸からの距離で力が作用し始める荷重をX軸に対すカンチレバー荷重と呼びます。各ステージには、カンチレバーの最大荷重に対する定格許容値があります。定格値を超えると、システムの性能に応じた以下の様な何らかの影響生じます。

- ベアリングやレールがすぐに摩耗それにより寿命が短縮
- 摩擦による最高速度および推力（トルク）の低下をもたらす
- 調整済みの構成要素の緩み、精度の低下生じる

定格を超えていない場合でも片持ちの荷重がたわみを生じ、多軸システムの精度に影響します。 たわみの量は、ステージの剛性定格に依存します。Zaberのテクニカルサポートは、上記の効果があなたのアプリケーションにどれくらいの配慮をしているかを判断するのに役立ちます。

ガントリーシステム

カンチレバーローディング(片持ち荷重）に対処する必要がある場合は、X軸の第１軸に平行な第2軸を追加することができます。これにより、片持ち荷重のバランスが取れ、剛性誤差が大幅に低減されます。 我々は、一般に、これらの種類の構造をガントリーシステムと呼んでいます。図Bは、いろいろ考えられる潜在的な構成を示します。

テクノロジーリンク株式会社
TECHNOLOGYLINK,LTD.
〒171-0022 東京都豊島区南池袋 3-18-35
OK ビル 2 階
Tel: 03-5924-6750　Fax:03-5924-6751
E-mail: sales@technology-l.com
URL: http://www.technology-link.jp

© 2016 Zaber Technologies Inc.

図B : 長いストロークのZaberリニアステージと、相対する受動レールを使用する特別構成ガントリーシステム。位置決め精度がそれほど重要ではない場合、これは良い解決策です。

パッシブレールガントリー
（受動（駆動機能の無い）レールにて支持されたガントリー）

追加サポートの1つのオプションとして、モーターまたは駆動機構を持たないステージ、パッシブ（受動）レールを使用する方法があります。 パッシブレールを使用するガントリーシステムは、シンプルで費用対効果の高い解決法です。Zaberのリニアステージシリーズのほとんどにパッシブ（受動）レール版が利用可能です。適切なソリューションを提供するサードパーティの企業もあります。

しかし、パッシブ（受動）レールガントリーには潜在的な制約があります。受動レールにてシステムに摩擦が加わるので、最大速度と推力の低下は完全になくす事はできません。 受動レールが1つしかない場合、それからの摩擦は、駆動される軸から離れたところで作用し、ねじり力を発生します。ねじれは片持ち荷重と同様であり、軸間の距離が大きい場合には同様の懸念が生じます。

同期ステージガントリー

別の選択肢は、両方の並列ステージを駆動することです。この解決法では、カンチレバーと摩擦の両方の荷重が平均化されているため、バランスを無くした荷重は最早生じません。両方の軸を駆動するための鍵は、それらが同期して駆動されることを保証することです。それらが「同期していない」場合は、システムに損傷を与える可能性があるねじれを発生します。機械的またはデジタル的に軸を同期させるには2通りの方法があります。

機械的動機

機械的なレベルで同期させるには、軸の駆動機構を結合する必要があります。 機械的な同期機構を使用することは、2つの軸を対にする最も確実な方法です。

一般的な方法は、タイミングベルトとプーリーを使用して2つのリードスクリューを連結しそれらが同時に動作するようにし、1つのモーターを使用して両方を駆動する方法です。 このソリューションは、両方の軸が一緒に駆動されることを保証し、多くのアプリケーションに適しています。この方法を使用するガントリーの例を図Cに示します。

この方法では、次のような制約が生じます。

- 1つのモーターの動力が2つの軸間で分割されているため、速度と推力は単軸（非ガントリー）ソリューションより小さくなります。
- プーリーを組み込むのに、通常、モーター組み込みエンコーダのスペースを使用するので、この方法では、位置フィードバックを組み込むことは困難です。
- プーリー間のタイミングベルトなど、システムのサイズに合わせた特定のメカニック（機工）が必要です。張力を掛ける必要がある場合もあります。

Zaber社では、一連の標準的な機械的同期式ガントリーシステムをご提供します。 これらのシステムには、すべての機械的取付け要素部品と電気結線要素含まれており、出荷時には、事前に出荷前調整を行い、必要部品を全て揃えて出荷されます。

図C : Zaber社の標準G-LSQシリーズガントリーシステム
これらは、あらかじめ組み立てられ、整備され、多くのアプリケーションに簡単に組み込みができる容易なソリューションです。

© 2016 Zaber Technologies Inc.

デジタル同期方式

デジタル同期では、両方の並列ステージに、多軸ドライバ/コントローラに接続された独自のモーターが装備されています。 コントローラは、2つの軸の位置が常に一緒に動くようにする機能を備えていなければなりません。 2つのモーターで動力が倍増し、推力が高くなり、速度が上がります。 これは、重力に負けない高推力が必要な平行な垂直軸を必要とするアプリケーションの場合特に役立ちます。 軸を物理的に同期させるために必要なコンポーネントが少なくて済み、デジタル同期システムをより柔軟にセットアップすることができます。 この方式の場合、フィードバックにて精度を保証するために、エンコーダを簡単に取り付けることができます。デジタル同期方式は機械的な同期方式と違ってねじれに対しては堅牢ではありませんが、エンコーダのフィードバックをシステムに組み込むことで、ねじれが発生する前にそれを検出することができます。これについては後で、詳しく説明します。

Zaber社のASCIIプロトコルのlockstep（ロックステップ）コマンドを使用すると、Zaber社多軸（2軸）コントローラを使用して、複数の電動軸を互いに同期して駆動することができます。 図Dは、lockstepコマンドを使用して可能になったシステムを示しています。

図D：ロックステップを使用すると、パラレルドライブ（平行駆動機構）間の機械的接続の必要性が無くなるので、幅広い種類のガントリーシステムを構成することができます。

ここでは、この記事の残りの部分でlockstepコマンドを使用するデジタル同期システムに焦点を当てます。最適にシステムを組み立てる方法、lockstepコマンドセットを設定して使用する方法、およびシステムのねじれを管理するための懸案事項について説明します。

他のタイプのガントリーシステムについてもっと知りたい場合は、アプリケーションエンジニア（contact@zaber.com）に連絡し、ガントリーシステムの利点に関するアプリケーションノート（Advantages of Gantry Systems）を参照してください

取り付け調整作業

多軸システムの組み立て時には注意深い位置合わせが重要ですが、2本の平行軸を使用するシステムの場合は更に重要です。 X軸、Y軸、Z軸が垂直であることに加えて、2つのX軸の平行度も保証する必要があります。 X軸、Y軸、およびZ軸が垂直でない場合、指定した座標は正確ではなくても、システムは移動します。 2つのX軸が平行でない場合、クロスメンバからの軸間の接続間隔が狭くなったり広がったりするため、動きが失速する可能性があります。 軸の平行性と垂直性を保証する方法の1つとして以下の手順に従ってください。

ステップ 1 – 平行軸を緩く固定

平行な軸を取り付け面に固定します。 平行な軸の1つをしっかりと締めますが、ファスナーを緩めたままにしておきます。 この1つのステージを緩目に固定すると、後で並列性を保証するのが容易にします。

ステップ2 – 平行軸の原点復帰

取り付け後、homeコマンドを使用して各軸を個別に原点復帰させます。 この手順で、システムを一緒にマウントするときに、両方のステージが基準位置にあることを確認します。 lockstepコマンドでは位置の誤差に対応できるため、重要ではありません（詳細は設定と移動のセクションを参照してください）が、ステージの全移動範囲が確認できます。

ステップ3 – 直交軸の接続

次に、クロスメンバ（交差軸）を固定軸に90度の角度で取り付けます。クロスメンバは、Y軸が取り付けられるプレートまたは延長したプレートでも構いません。Y軸ステージがX軸に直接取り付けられても良いです。いずれにしても、正方形を使用して、クロスメンバ（交差軸）の長いエッジが最初のX軸ステージのベースに垂直であることを確認します。 クロスメンバをこの段階でしっかりと固定してください。

© 2016 Zaber Technologies Inc.

ステップ 4 - システム固定

片方の面を垂直にして、クロスメンバー（交差軸）と緩く取り付けられたステージの間で直交四辺形形成プロセスを繰り返します。 ステージとクロスメンバが垂直になるまで調整できるように、ステージを緩めに締めます。 垂直になったら、クロスメンバをステージにしっかりと固定します。

ステップ 5 – 試験走行

2つのX軸ステージは平行になるはずですが、第2軸をしっかりと固定する前に、移動範囲全体でステージを動かすことで、第2軸が平行であることを確認できます。 これを行うには、作業前に、ロックステップモードでシステムをセットアップします（詳細については、「設定と移動」のセクションを参照してください）。 平行軸は一緒に移動し、移動中に緩く取り付けられたステージをしっかりと固定します。調整中にステージを一緒に動かし、すべてがしっかりと固定されるまで締付けます。 この最終ステップでは、移動中の任意の位置でシステムがきしんだりしないことを確認してください。

ロックステップと同期動作の有効化

動作軸が整列して固定されているので、ロックステップを有効にすることで、軸を独立した動きから同期した 動きに切り替えることができます。

この例のデバイス#1は、Zaber ASCIIプロトコルを使用して通信するように設定された多軸コントローラ (X-MCB2) であり、両軸ともそれに接続されています。ロックステップを有効にするコマンドは次のとおりで す。

```
/1 lockstep 1 setup enable 1 2
```

有効になると、ロックされたペア軸は、lockstep 1 setup disableコマンドが送信されるまで同時にロックされた状態になります。 コントローラの電源を入れ直しても、軸はペア状態のままです。

ロックステップを有効にすると、個々の軸移動コマンドは拒否されます。 両方の軸に対処し、両方の軸を一 緒に移動させるこれらの軸に対しては、ロックステップ移動コマンドのみが許可されます。 たとえば、両方 の軸を5000マイクロステップだけ前進させるには、次のコマンドを送信します。

たとえば、両方 の軸を5000マイクロステップだけ前進させるには、次のコマンドを送信します。

```
/1 lockstep 1 move rel 5000
```

ロックステップを有効にすると、セットに含める軸を指定します。 最初のコマンドでは、軸1と軸2をペア にしました。これらが指定されている順序は、リストされている最初の軸が主軸と見なされるため重要です。 絶対位置に移動するコマンドは、基準位置の主軸位置を使用します。

したがって、現在の軸の位置が軸1：10000、軸2：12000の場合、コマンドは次のようになります。

```
/1 lockstep 1 move abs 15000
```

両方の軸を 5000 マイクロステップだけ前方に移動させて 15000 と 17000 の位置に移動します。 したがっ て、ロックステップセットを有効にしたときの軸の位置に基づいて確立された2つの位置の間で、一定の差異 が維持されます。この差はオフセット値として知られており、上の例では2000マイクロステップです。

オフセットを知ることで、コントローラは両方の軸の移動限界を設定することができます。 第1軸の移動範 囲内で、第2軸の移動範囲外の位置への移動コマンドは拒否されます。同様に、両方の軸の原点（ホーム） センサが重要視されます。 ホームコマンド（指令）：

```
/1 lockstep 1 home
```

この指令が出されると、両方の軸がいずれかのホームセンサが検出されるまで戻り、両方とも停止します。 センサの検出されたステージの設定に従い、ロックステップペアのオフセット値が適用され、両方の軸の位置が更新され、移動限界が 強制設定されます。

© 2016 Zaber Technologies Inc.

ねじれ補正と公差

同期ロックステップでの並列モーターの駆動は柔軟で強力なソリューションですが、機械的な同期と比較すると限界があります。機械的な同期では、ステージが同期したままになるという物理的な保証があります。問題なくオープンループでシステムを実行できます。オープンループでのロックステップによる同期駆動に頼っている場合、モーターの1つが停止すると、位置情報の同期が外れ、システムのねじれが発生する可能性があります。システムのねじれが原因で、システムの位置が不正確になったり高負荷が発生し、機械的なチューニングが維持できなくなる可能性があります。

各平行軸にエンコーダを追加することで、オープンループ制御からクローズドループ制御に変更できます。 これにより、エンコーダがどのシステムにも同様の効果がある失速（ストール）検出機能が追加されます。 いずれかの軸でストール状態を検出することにより、1軸が失速停止したときに両方の軸を停止することができます。 これにより、ねじれがシステムに及ぼす負荷が軽減されます。 コントローラは、両方の軸の位置を知ることによって、1つの軸を独立して移動させて、位置を修正することができます。

ストールを検出できることに加えて、エンコーダの利点は、コントローラが移動中にシステム内のねじれを迅速に検出できることです。 各軸の位置情報が監視され、いずれかの軸が進みすぎたり、遅れていればそれを検出し停止するか修正することができます。 システム内でねじれが許容できるねじれの度合は用途ごとに違います。軸間の接続の剛性、それらの間の距離、負荷、およびステージが駆動される速度などに依存して異なります。許容可能なねじれは、ロックステップ・許容値を調整することによって設定することができます。

解決策

多軸システムの最適な選定条件は、荷重や移動距離などの要件に依存します。 片持（カンチレバー）荷重が大きな問題ならば、ガントリー構造がしばしば最良の解決策であり、それらを実現する方法はいくつかあります。ロックステップ機能を使用してガントリーを作成するデジタル同期並行軸は、さまざまな構成を可能にする柔軟な解決策です。

ユーザの用途に最適な解決策を見つけるためには、Zaberのアプリケーションエンジニアチーム（contact@zaber.com）にご連絡ください。 ロックステップ機能の詳細については、ASCIIプロトコルマニュアルを参照してください。
http://www.zaber.com/wiki/Manuals/ ASCII_Protocol_Manual
＃lockstep

Mike McDonald氏は、Zaber Technologies Inc.のアプリケーションエンジニアです。Zaberは、光学、フォトニクス、産業オートメーション、バイオメディカルなど多くのアプリケーションに使用されるステッパーモーターベースの精密リニアアクチュエーター、リニアスライド、その他のモーションコントロール製品を設計、製造しています。 詳細については、www.zaber.comをご覧ください。

上記の情報が興味深いとお考えでしたら、ニュースレターを購読して製品のお知らせ、ユーザーへのヒント、特別なプロモーション（通常、ご選択製品から100ドル相当のお値引き）を得てください。www.zaber.comでオンライン購読してください。