

二足歩行ロボット

リンツ大学が
二足歩行ロボットの
開発に dSPACE
ハードウェアを使用

dSPACE DS1005
PPC ボードによる制御

0.5 km/h の歩行速度

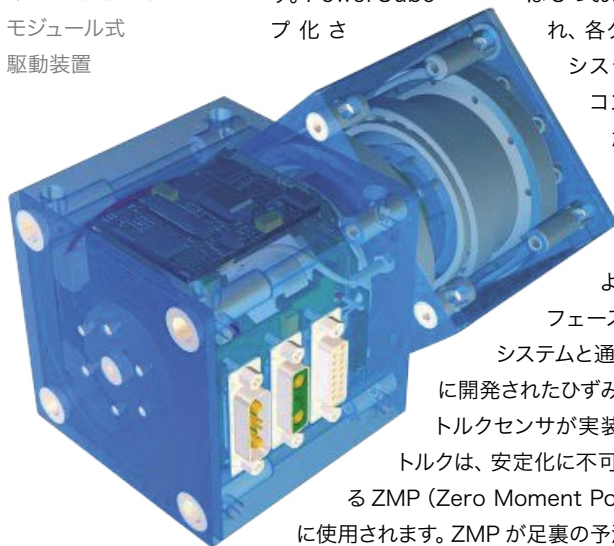
リンツ大学は、数年にわたり二足歩行の徹底的な研究を行ってきました。プロジェクトには、新しい義足の開発や革新的な駆動概念の構築だけでなく、dSPACE ハードウェアによって制御される二足歩行機械の開発が含まれています。二足歩行機械の関節は、ハーモニックドライブを備えた DC モーターで動きます。目標は、完全に自律的なロボットを実現することです。

歩行機械の研究はこの数年で大きく拡大しました。歩行機械は、車輪型ロボットと比べ、起伏が多く近づきにくい地形を非常にうまく移動できるという利点があります。歩行機械の用途としては、人間にとって極めて危険な放射能汚染地域や化学物質により汚染された地域での作業、山岳地帯での救難捜索における荷物の運搬などが考えられます。

二足歩行機械の構造

歩行機械は、身長 1.80 メートル、体重 40 キロで、ドイツのベルリンにある Amtec Robotics 社製の 14 個の PowerCube によって駆動されます。PowerCube は電子制御モーターと遊びのないハーモニックドライブから構成される小型のロータリユニットで、制御および駆動といったエレクトロニクス全体が統合されています。二足歩行機械は人間の歩き方をまねるように設計されていて、人間と同程度の運動の自由度を持っています。すなわち、足首に 2 つ、ひざに 1 つ、腰の各関節に 3 つの運動方向を持っており、そのため、各関節に 1 つ、2 つ、または 3 つの PowerCube が直列に装備されています。脚は、CAN バスを介して 500 kbit/s の速度で PowerCube と通信する dSPACE の DS1005 システムによって完全制御されます。PowerCube は 3 つおよび 4 つずつグループ化され、各グループは DS1005 システムの 1 つの CAN コントローラを使用した駆動系を構成します。ロボットの足首には、マイクロコントローラおよび RS232 インターフェースを介して dSPACE システムと通信するために、特別に開発されたひずみゲージ付きフォーストルクセンサが実装されています。力とトルクは、安定化に不可欠なパラメータである ZMP (Zero Moment Point) を判断するために使用されます。ZMP が足裏の予測可動範囲内にあれば、歩行は安定します。

▼ PowerCube
モジュール式
駆動装置



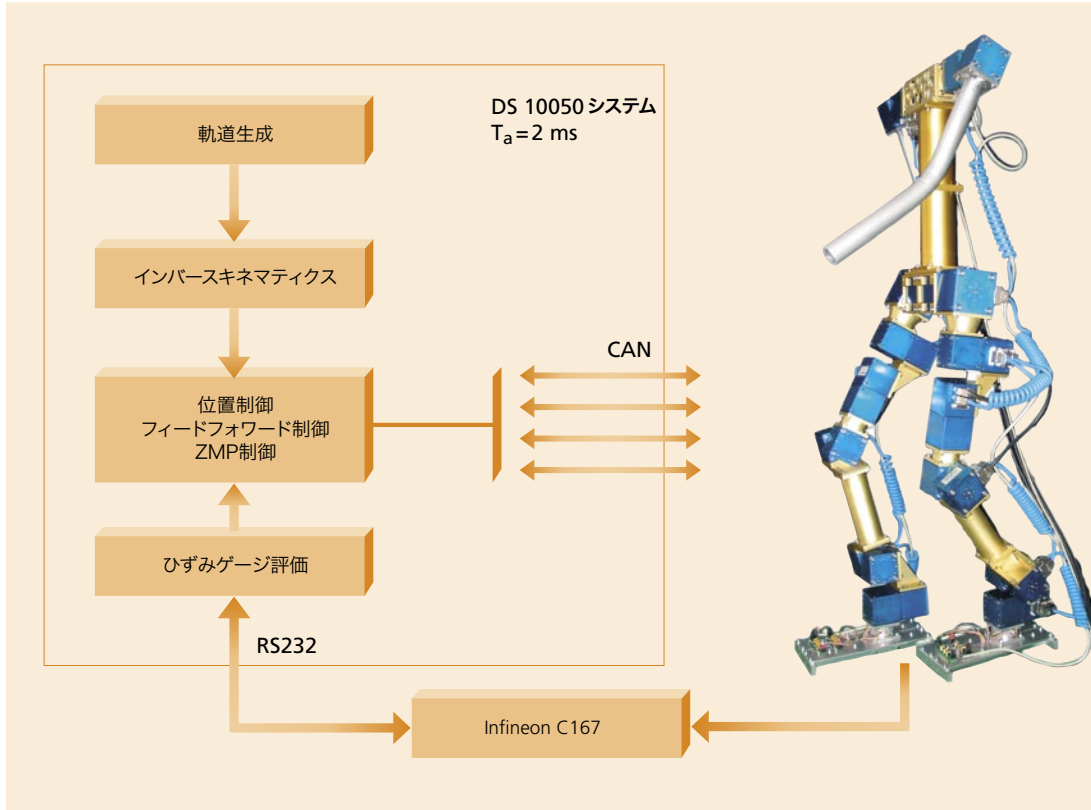
制御概念

制御は、MATLAB[®]/Simulink[®] で設計されており、dSPACE リアルタイムシステムで動作します。設計を最大限明瞭にするため、MATLAB/Simulink のステートチャートとしてシーケンス制御が実装されています。すべての計算はリアルタイムで実行される必要があります。

- 制御の計算は、ロボットの現在位置を起点として、ロボットが移動する必要がある 3 次元空間内の方向から開始されます。そして、このデータを軌道ジェネレータが使用して、慣性系での位置および方向がカルダン角で表される、腰と 2 つの足の連続軌道を計算します。腰の軌道の計算は、適切な微分方程式を解いて安定した歩行を実現する倒立振子に基づきます。
- 軌道はワールド座標で取得し、インバースキネマティクスによって二足歩行機械の関節座標に変換されます。脚の構造上の理由から、インバースキネマティクスは解析解を持っておらず、ニュートン法によって数値的に解決される必要があります。
- ここから取得された角度が、位置制御への入力になります。位置制御は、基本的に、オーバーレイされた PD 関節コントローラを使用した制御で構成されます。この制御では、ランタイム時におけるロボットのフォワードダイナミクス全体の計算とギア弾性の補正が行われます。PD 制御により関節の安定が確保され、不正確なパラメータ配置や摩擦の影響などの要素が均等化されます。
- ZMP コントローラは、歩行の安定性を確保するために PD 制御の上にオーバーレイされます。ZMP は、足首の関連する力とトルクの商によって与えられます。制御システムは、ZMP が必ず足裏領域の凸部内に収まるようにします。

高性能リアルタイムシステム

すべての計算は、2 ミリ秒のサンプリング速度で実行されます。モデルを修正しやすいということは、決定的な優位性を持っているということです。我々のパートナーは、ロボッ



▲ 制御概念の概略図：dSPACE システムとロボットの足首に実装されたフォーストルクセンサとの間の、マイクロコントローラおよび RS232 インターフェースを介した通信

ト工学の分野における 2 つのエキスパートである Amtec Robotics 社と dSPACE です。

展望

ロボットの現在の実装では、0.5 km/h の歩行速度に達することが可能です。制御概念の拡張により、この速度はこれからの数ヶ月間で伸びていくでしょう。また、追加センサによる環境のスキャンも行う予定です。計画では、3次元環境を立体映像で知覚して、ロボットが自律的に動くことを可能にする 2 つのカメラを使用します。

Hubert Gattringer
Institute for Robotics
Johannes Kepler University of Linz
オーストリア

用語解説

ハーモニックドライブ - 高いギアレシオと高い精度を持つ小型で軽量な変速装置

フォーストルクセンサ - たとえば、ロボットの脚の動きにおける有効な力とトルクの方向と大きさを評価するセンサ

Zero Moment Point (ZMP) - ロボットに作用するすべての力とモーメントトルクがゼロであるポイント

軌道 - 計算されたモーションパス