

From 3-D Printing to 3-D Sprinting

独自のアルゴリズムによる2倍速3Dプリントの実現

ミシガン大学の S2A (Smart and Sustainable Automation : スマートで持続可能な自動化) ラボの研究者達は、3D プリンタでプリント品質を低下させずに2倍の速さで出力できる方法を開発しました。この方法では、プリンタの不要な振動を低減するソフトウェアアルゴリズムが利用されています。この実現に向け、研究者達は dSPACE DS1007 PPC Processor Board および DS5203 FPGA Board を使用しました。



デ ストップ型の 3D プリントは、最近では至る所で見ることができます。3次元の物体を作成できるこれらのプリントは魅力的ですが、単純な物体を出力するだけでも何時間もの時間が必要となる場合があります。また、これらのプリントは、販売価格を抑えるため、軽量かつ柔軟に設計されていますが、その結果、ステッピングモーターが出す振動の影響を受けやすくなります。こうした過剰な振動によって、製品を出力する際に表面のうねりが出たり、不正確な垂直方向の積層が発生したりします(図 1b)。産業レベルの 3D プリントやその他の製造機械には、振動に起因する同様の限界があります。これに対する一般的な解決策は、動作速度を低下させるか、または減衰を追加するということとなりますが、これらを実施すると出力完了までの時間が長くなり、生産性が低下します。そこで、ミシガン大学の S2A (Smart and Sustainable Automation : スマートで持続可能な自動化) ラボの准教授である Chinedum Okwudire 氏とラボに所属する学生エンジニアチームは、振動により発生するこの誤差の問題の解決に取り組みました。同チームのケーススタディでは、高い造形品質を維持しながら、3D プリントの実効速度を 2 倍にすることができました。なお、研究プロジェクトはすでに完了しています。出力プロセスの向上の基盤となったのは、Okwudire 氏および同チームが開発したソフトウェアアルゴリズムです。このアルゴリズムを使用すると、3D プリントにおける誤差やゆがんだ部分の主な原因である不要な振動を回避または低減する動作コマンドを生成することができます。 >>



ミシガン大学機械工学部准教授である Chinedum Okwudire 氏は、研究エンジニアの学生である Molong Duon 氏(左) および Deokkyun Yoon 氏(中央) と共に、より高速な新しい 3D プリントアルゴリズムについて研究しています。



加速度限界	1 m/s ²	3 m/s ²	5 m/s ²	10 m/s ²	30 m/s ²
出力時間	3:59 h	2:42 h	2:21 h	2:06 h	1:50 h
ベースライン					N/A
FBS					

図 1a：市販の 3D プリントを dSPACE システムで制御。

図 1b：ソフトウェアアルゴリズムにより、同様の品質を維持しながら出力時間を半減させることができます。写真：Deokyun Yoon 氏、ミシガン大学工学部

不要な振動の軽減

Okwudire 氏は、准教授になる以前は、工作機械業界に勤めていました。同氏は、低速で機械のモーターを操作すると、振動による誤差が発生しないことが多いと気づきました。Okwudire 氏は、「適切なアルゴリズムを使用してソフトウェアで振動を補正すれば、精度を落とすこともハードウェアに追加コストを発生させることもなく、速度および加速度を高めることができますと確信していました」と述べています。「ただし、工作機械の大きな制限として、一般的にコントローラに実装できる変更は限られているため、新しい制御アルゴリ

ズムを使用することは困難でした」。この制限があったため、Okwudire 准教授と研究チームは、自身で作成したアルゴリズムを 3D プリントでテストすることにしました。これらのプリンタにも振動の問題があるため、速度や加速度が制限されますが、コントローラは変更可能です。Okwudire 准教授と研究チームが開発したソフトウェアアルゴリズムでは、生産性を低下させることなく振動による誤差を軽減することができます。このアルゴリズムは、FBS (Filtered B-spline) 振動補正技術を利用しています。Okwudire 准教授は、「FBS アルゴリズムを使用すると、プリンタが過

剰に振動する可能性があるタイミングを予測し、それに応じて動きを調整することで、時間的遅延を生じさせることなく、機械の運動限界で生じる振動によるトラッキング誤差を最小限に抑えることができます」と述べています。

動作コマンドの最適化

同チームは、プリントヘッド (x 軸) およびビルドプラットフォーム (y 軸) におけるステッピングモーターのあらゆる動作を考慮し、積極的に制御する方法を使用しました。この場合、ビルドプラットフォームの動作を加速させると、慣性負荷がモーターの保持トルクを超えてしまい、モーターがカウントをスキップしてポジショントラッキングができなくなってしまうという点に注意が必要でした。そのため、トラッキングをあらかじめ設定された一定のレベルに維持できるオンラインシステムに 3D プリントを接続することで、振動率を制御しました (限定プレビュー FBS アプローチ)。アルゴリズムにより、状況を事前に予測し、パラメータを計算して調整することで、動作コマンドの最適化を図ることができました。

高品質な部品をより高速に出力

Okwudire 准教授と研究チームは、アルゴリズムをテストするため、ケーススタディを実施しました。ここでは、米国議会議事堂の 3D ミニチュアの造形を行いました。ただし、最初の一連の造形物には、FBS アルゴリズムの手法を用いませんでした。この場合、出力プロセスを従来の方法で加速すると、振動による重大な登録誤差が発生してしまい、出力された 3 次元の物体はすべて使い物になりませんでした。次の一連の造形物には、FBS アルゴリズムの手法を適用しました。すると、極めて確実に見当誤差を回避することができました。ベースラインの出力結果と比べて、



「dSPACE は、アルゴリズムのプロトタイピングを極めて短期間で行うための、使い易く信頼性に優れたプラットフォームを提供してくれました。」

Chinedum Okwudirev 氏、機械工学准教授、ミシガン大学

アルゴリズムの詳細

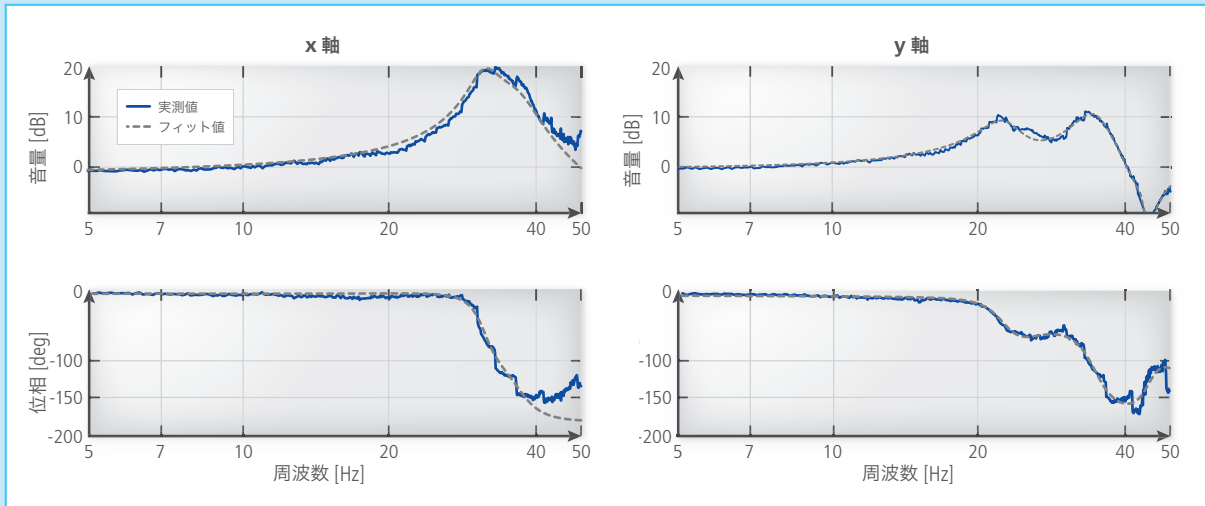


図2：3Dプリンタのx軸とy軸の周波数応答関数。最小二乗法を使用して、軸レベルのダイナミクスを特定します。

図2は、3Dプリンタにおけるx軸とy軸の周波数応答関数 (FRF) の実測値とフィッティング値を示しています。FRFでは、プリンタのステッピングモーターに掃引正弦波加速度信号を適用することにより、計測を行います。さらに、加速度計を使用してビルドプラットフォームとプリントヘッドの相対加速度を取得します。フィットモデルの生成には、MATLAB® の invfreqs 関数が使用されています。FBS (Filtered B-spline) 方式を実装するため、プリンタ独自のモーションコントローラはバイパスされています。その代わりに、DS1007 PPC Processor BoardとDS5203 FPGA Boardで構成されたdSPACEリアルタイムシステムが、ステッピングモータードライブ (Pololu DRV8825) を介して

1 kHzのサンプリングレートでプリンタのステッピングモーターに軸レベルの動作コマンドを送信します。

dSPACEシステムは、Gコードテキストファイルをロードし、データを解釈したうえで、FBS振動補正アルゴリズムをリアルタイムに実行して動作軌道を最適化し、振動による誤差を最小限に抑えます。dSPACEシステムは、最適化した動作軌道をステッピングパルスや方向パルスに変換し、デジタルチャンネルを介して0.075 msのパルス幅でステッピングドライブに送信する場合にも使用されました。

FBSアルゴリズムの手法では出力時間をはるかに短縮しながら高品質の造形を行うことができました。ミシガン大学工学部のチームは、FBSアルゴリズムの手法を実装することで、造形品質を低下させずに、3Dプリントに要する時間を50% (3倍の安全率で4時間から2時間に) 短縮することができました。この研究により、FBSアルゴリズムベースの手法を活用すれば、3Dプリンタのファームウェアをアップグ

レードできるようになり、追加コストなしで既存の3Dプリンタの処理速度を高められることが判明しました。■

ミシガン大学のご厚意により寄稿



アルゴリズムの詳細については、次の動画をご覧ください。
www.dspace.jp/go/dMag_20191_UM