

「eChanomi – 自律平衡維持機能付き台車」

小神野 泰喜

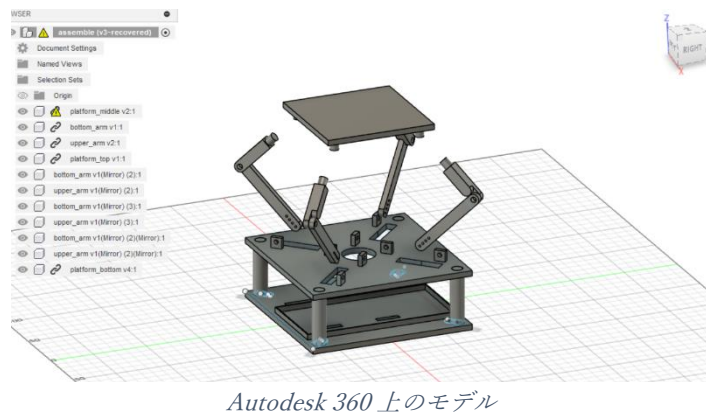
このレポートに関して

このレポートはミュンヘン工科大学での CPS(Cyber Physical Systems)に関する授業におけるプロジェクトの最終発表を日本語で要約したものである。そこでは、学生たちが四人一組のチームを組み、一学期をかけて 500 ユーロの予算のもとに CPS に関する何らかの装置を完成させることを通じて、講義の内容を実践し、より深く理解することを目的としたものであった。

プロジェクトの概要

私のプロジェクトでは、日本のお茶運び人形から着想を得て、お茶を運ぶロボットを作ることを目指した。さらにロボットが動いている時でもお茶がこぼれないように、お茶を置く台の傾きをロボットアームで調整する機能を付けることとした。最終的には以下のようなロボットが完成した。

制作過程



このロボットはすべて一台の Raspberry Pi 3B によって制御されている。ロボットの下部は市販のラジコンカーのキットを使用した。ロボットの上部については Autodesk 360 でモデリングした 3D モデルを印刷したものに、四台のサーボモータや関節部のための金属製のジョイント、そして、加速度、角速度センサーを組み合わせたものである。

機構について

まず、下部のラジコンカーについては上の部分の制御とは独立して動く。その動きと地面の傾きによって上の板の傾きが変わるが、その板の裏には加速度、角速度センサーが取り付けられており、下部に内蔵されている Raspberry Pi にそれぞれのセンサーの値を伝える。Raspberry Pi は

Complementary Filter（相補フィルタ）によりセンサーの誤差を修正し、その修正された値を板の傾きとして捉え、つまり、傾きが 0 である状態からのエラーとしてそれを 0 に戻そうとする。その修正のために Raspberry Pi は四つのサーボモータを PWM 制御用のモジュールを通じて、PID 制御により板の傾きを減らすための適切な角度になるよう計算し出力をする。このルーチンを毎秒 100 回繰り返し、板の平衡を維持する。ちなみにそれ以上の回数実行することは Raspberry Pi の性能からして不可能であった。

考察

結果として完成したロボットは地面の傾きに対して平衡を保とうと反応はするものの、その精度と速度は液体を入れたコップを上において安定するほどには至らなかった。いくつかの改善点が浮上したが、それらのうちの顕著なものを次に示す。

まず、初めにサーボモータの精度の低さである。使用したサーボモータは非常に安価な（四台で 10 ユーロから 20 ユーロ程度）のものであり、Raspberry Pi が計算し指定した角度に正確性をもってアームを調節することは難しかった。サーボモータの個体差などを考慮に入れたプログラムにより一定の改善はあったものの、その角度には依然かなりの誤差があった。

そして、パーツが樹脂製であったことによりアーム自体がたわんでしまい、上部の板自体が不安定であったことも大きな要因である。3D プリントできる部分は部品を厚くする、内部の印刷密度を高めるなどして強度を確保できたが、サーボモータとアームの連結部分に関してはどうすることもできず、それが板の傾きに大きな誤差を生じさせてしまった。

それらの要因によって生じた誤差は PID 制御におけるパラメータ調整を困難にした。板の傾きが 0 である状態が不安定であったため、パラメータを少しでも高く設定するとオーバーフィッティングを起こして板が振動してしまった。従って、パラメータの値を反応が鈍感になるように設定せざるを得なくなってしまった。

私が担当した範囲

このプロジェクトにおいて、ロボットの上部においての、設計、3D モデリング、制御プログラム、組み立て、パラメータやプログラムの調整などが私一人の担当であった。

リンク

最終発表に使用したスライド： <https://tinyurl.com/y2hw4y6p>

実際に動いているデモ： <https://tinyurl.com/5xuz4sed>

3D モデルやソースコードなど： <https://github.com/taiki-okano/eChanomi>