

500 円 DIY ヘッドトラッカ計画

クイックプロトタイピングを支援する低コスト・オープンソースハードウェア基幹コンポーネントの開発実装

川内見作[†] 末田航[†]

ドローンによる空撮カメラ操作や VR 機器の基幹部品の一つである格安なヘッドトラッカを開発した。簡単に入手可能なセンサ等を使用し、全部品を 5 米ドル以下で調達可能な構成としたオープンソース (各種設定用 GUI とファームウェア)・オープンハードウェア (使用コンポーネントを簡易に接続できる回路基板) のヘッドトラッカとして開発実装及び GitHub へ公開した取り組みを紹介する。今後の展開として、現在ヘッドトラッカやカメラ操作用ジンバルの需要の高い空撮ドローンのコミュニティに向け公開することで、有志の開発者による改善や応用アプリケーション開発促進をめざすだけでなく、簡易に制作導入可能なヘッドトラッカの激安化によって、必要としながらも従来導入を躊躇していた用途への導入促進もめざす。

5 dollar DIY Head tracker project

KENSAKU KAWAUCHI[†] KOH SUEDA[†]

We have developed open source software/hardware for ultra-low cost DIY head tracker using existing common components including Arduino clone chip board and MPU6050. Head tracker is not only one of most important component for gimbal controlling but also useful for robotics, motion capturing, etc.

1. はじめに

昨今のメイカームーブメントなど、個人や整備された製作環境を持たない中小組織が、迅速なプロトタイピングを繰り返し、電子機器などのハードウェアを市場投入する開発スタイルが注目を集めている。その背景には、3Dプリンタによる立体造形や電子機器を構成する Arduino などの開発プラットフォームや、スマートフォンのコモディティ化などでカメラや加速度センサなどのコンポーネントが大量に流通するようになったことなど複数の要因が考えられるが、そのほとんどは、誰もがこれらを安価に入手することが可能で、その開発ノウハウなどの先行事例がインターネットを通じて共有されるようになったことで、参入のハードルが従来よりも低くなった点が通底している。本プロジェクトも元々は、カラスと対話を実現するドローンを開発[5]のためスタートアップ研究資金を獲得した過程で、小型軽量の機載カメラジンバルとその操作をするためのコントローラを安価に調達する方法を模索したことが動機となった。そして、カメラジンバルがドローンによる空撮や FPV(first person view)など VR 体験を担保するための重要な視界移動の基幹部品であることから、効率的な開発と利用価値の向上を目指すため、安価な DIY ヘッドトラッカとしてオープンソース・オープンハードウェアのプラットフォームやコミュニティでの公開をすることとした。

2. 関連分野の現状

本プロジェクトで開発したヘッドトラッカは、著者らの開発するドローン用にジンバルカメラを制御する安価なヘッドトラッカを多数調達する過程で、RC のコミュニティで公開されているオープンソースハードウェアのプロジェクト[1]を採用したことが発端となった。採用時点でコンポーネントのコストは 30 米ドル、2017 年 6 月現在 15 米ドル程度で、市販の同等モデルからは相当に安価であったが、現在 Invensense 社製の 6 軸ジャイロスコープセンサ MPU6050[2]が大量に出回り動作に最低限必要なコンデンサや抵抗が実装された集積基板の実勢価格が 1 米ドル程度になったことに加え、大量流通に伴い同センサの高性能な利用ライブラリが数多く出回っていること、そして必要なコンポーネントを半田付けする際の信頼性と効率を考慮しオリジナルのプリント基板を自前で外注製作してもコスト的メリットが高かったことから GUI も含めた開発に踏み切った。このようなことは、以下に述べる昨今の状況無くしては実現しなかった。

2.1 ヘッドトラッカ

頭の動きをセンシングするヘッドトラッカは VR 用ゴーグルや、モーションキャプチャに置ける基幹コンポーネントであり、市販の VR 機器が登場した当初から標準的に装備をされていた。ヘッドトラッカには主にモーションキャプチャに用いられる光学式と、加速度センサなどを用いる慣

性式が採用されているが、今現在では光学式の設備が大掛かりで高価になりがちなこと、加速度・ジャイロセンサモジュールの小型低廉化や、急速に普及浸透をしているドローンの主要な用途として空撮時のカメラ操作に用いられるなどが相まって、後者の普及が進んでいる。特に空中作業用ドローンや空中実況カメラ用などの FPV(First Person View)機器の普及が進むにつれて、両手を使わずにカメラ操作ができるヘッドトラックは、2020年に130億ドル程度の市場規模となるとされるドローン市場(a)の発展の過程でもニーズが増えると考えられる。本プロジェクトのヘッドトラックもドローンでの使用を主対象とし、既存のドローン操作に利用されている標準操作プロトコルと入出力端子に準拠し開発をしている。

2.2 クイックプロトタイピング

クリスアンダーソンの著書によれば、3DプリンタやArduinoなどのオープンソースハードウェアの登場によって、メイカームーブメントが起こり、「製造業の民主化」(これまで金型や高価な工作機器が必要だったモノづくりができるようになった)につながったとしている[3]。さらに、モノのデザインの敷居が下がっただけでなく、従来のモノづくりのサイクルが低コストで繰り返すことが容易となったことで、製品開発のスピードと効率も向上したとされる。しかし各種機器同士の接続や制御に関しては専門知識が必要であり、電子回路についてもプリント基板製作設備が必要なため、製品化を見据えたプロトタイプを複数用意することは容易ではなかった。しかし2010年ごろからSeed Studio (b)などの中国企業が顧客のCADデータをオンラインで受け付け、数十点単位の小ロットで迅速に、かつ日本国内の10分の1程度の安価で出荷をするなど、一般のメイカー(c)がモックアップの外注を繰り返したり量産体制を取ったりせずに電子機器を製造できるようになった。

2.3 オープンソースハードウェア化・開発環境の標準化

オープンハードウェアは、ソフトウェアのソースコードを公開し誰でも利用できるようにするオープンソースの考えをハードウェアに適用したものである。対象となるハードウェアを構築する為に必要な回路図やそのハードウェアを動かすためのソースコードを公開し、誰でも利用可能にする行為である。これを代表するものの1つにArduinoというハードウェアラピッドプロトタイピングツールがある。Arduinoは電気制御をコンピュータで記述したコードによっておこなう。ユーザは自由に公開されている回路図を使用することができるため、利用シーンに合わせて変更や加工が出来き、オリジナルのボードを作成することができる。

また、商用利用が可能なため様々な派生機が存在する。ハードウェアを作りたいユーザは、それら派生機を用途に合わせて選択したり自作するなどして、新しいハードウェアの開発や発明が可能になった。そして、作りあげたものをウェブに公開し、それを見た人が影響を受けて改良したり新しいものを生み出す流れが出来ている。それはオープンハードウェアにより、ハードウェアデバイスを作りたいと考えている人に要求されるハードウェアの知識要求を下げ、ハードウェア制作の敷居を下げたことによる効果である。また、Arduinoを使用するユーザの増加にともない、システムの設計やセンサの設計がArduinoを基準にピンレイアウトやサンプル資料が用意されるようになった。オープンにすることで、ユーザを囲い込みデファクトスタンダードとして機能している。逆に、誰でもArduinoを基準に仕様を考えれば良いので、企業や開発者の立場においても参入の敷居を下げている。

しかし、オープンハードウェアにより、ハードウェアの作成が容易になったが、そのハードウェアやそこで使用されているセンサを制御することは、依然改善されていない。ハードウェアの動作制御用プログラムの作成とハードウェアに作成したプログラムを書き込む仕組みは、Arduinoの開発環境だけでなく様々なアプローチで研究がなされている。しかし、センサの制御は、プログラムやハードウェアの知識だけでなく、使用しているセンサの特性を理解する必要があるため、また異なる技能が必要になっている。

2.4 VRとドローン空撮、ロボティクス等でのヘッドトラックの活用

ヘッドトラックはその名の通り、頭部の姿勢変化をトラッキングするモーションキャプチャ装置であり、VR環境での視点を頭部の動きに追従して操作するコントローラなどとして利用される。全く同じ原理で、身体の一部に同様の装置を装着し、ロボットの操作や各種レイグジスタンス・システムの操作に用いられている。ヘッドトラックによってVR環境でのタスクや、没入感が向上することは機器の完成度が未熟であった頃から指摘[1]をされており、最近ではドローンのカメラ越しに実空間の視点移動をヘッドトラックで行うことで、操縦でふさがった両手を使わずに直感的に飛行をするFPV(First Person View)用のカメラジンバルが発売され、1人のオペレータが操縦と空撮を同時に行うことができるようになった。

2.5 低コスト化とリパース・イノベーション

従来イノベーションは先進国の先端的な研究開発を発端にし

a World Drone Market Seen Nearing \$127 Billion in 2020, PwC Says - Bloomberg. <https://goo.gl/KduWMY>

b <https://www.seedstudio.com/>

c 「MAKERS - 21世紀の産業革命が始まる」では、メイカームーブメントに参加する人と定義

て起きるとされていたが、その真逆の現象として、購買力や使用環境やユーザのリテラシーに制約のある途上国向けの安価で機能をシンプルに開発し直した発明品が、全世界に普及し、その結果として新たなサービスが生まれ、人々の暮らしや考え方が大きく変わるなどのリパース・イノベーションが注目を集めている[4]。目新しさのない既存の製品であってもそれを躊躇なく大量に導入したり、トラブルや故障があっても即座に破棄交換が可能であったり、扱いやすさに注力した結果として、今まで想定されなかったサービスが登場するなど、様々なリパース・イノベーションの事例が知られているが、根本的には低コスト化がもっとも重要な要素である。同様に本プロジェクトの成果も、調達と使用の両面で誰もが低コストにヘッドトラックが導入できることによって、本来の用途を超えた利用ケースが創出されることを期待し、広く公開することにした。

3. 開発指針

3.1 ラジコン操作規格の採用～標準の操作プロトコルの選定

ラジコンの標準操作プロトコルとしての PPM と PWM 方式が採用されている(d)。現在多く流通している受信機ではアクチュエータを操作する信号が 1 チャンネル毎 1 本の配線を使って通信する PWM 波を出力するものが一般的であるが、送信側とのやりとりは各チャンネルの位相を 1 つのチャンネルに合成した PPM 波を用い、受信機で各チャンネルの PWM 波にデコードするが一般的である。また、多くのコントローラ（送信側）は練習用コントローラなどの外部コントローラの送受信用に PPM 端子を備えていることが多い。そのため、コントローラの外部接続機器は操作信号のやりとりに PPM 波を送信する仕様になったものが多く、同様に本プロジェクトで用いるヘッドトラックも姿勢情報の出力プロトコルとして採用した。

3.2 簡単な実装を可能にする入手が容易で安価な Arduino クローン製品の導入

オープンソースハードウェアの Arduino (e)は、その設計仕様を一般に公開しており、統合開発環境の普及も相まって、安価な非公式クローンが多く流通するようになり、2017 年 6 月現在、Arduino Nano 3.0 が 22 米ドルで販売されているのに対して、中国企業が製造する非公式クローンの実勢小売価格は 1 米ドル台である(昨年同月の半額以下)。また本ヘッドトラックの姿勢検知に使用する 6 軸加速度センサ MPU6050 を実装し Arduino 開発環境で簡単に接続可能なユニット基板の GY521 についても単品価格が 1 米ドルを割り込みつつある。これにニュートラル設定用のタクトスイ

ッチと信号出力端子価格を 1 米ドル概算しても 4 米ドル弱となり、これに各部品を接続するプリント基板については 50 個ロットで日本へ発送して 40 米ドルで、すべての部品のコストは 5 米ドル(約 500 円)以下に抑えられる。

3.3 GitHub への公開

本プロジェクトは、オープンハードウェアによる普及を目的としており、作成したすべての回路設計図、ソフトウェアソースコードを GitHub で公開した。GitHub はソフトウェア開発におけるソースコード共有管理システムである。更新履歴など複数人での開発を円滑に管理運営するために設計されている。また、ソースコードを公開する場合、課金する必要がないので、ソフトウェア公開の場としても使われている。

ソースコード以外にもファイルをアップロードできるので、全てのデータを一度にユーザにまとめて提供できる。また、ソースコードの挙動に関する報告なども受け付けられるような仕組みになっている。よって、オープンソースにすることで、協力してシステム品質を向上させることや改善することを容易に実現するプラットフォームとなっているので本件で採用した。

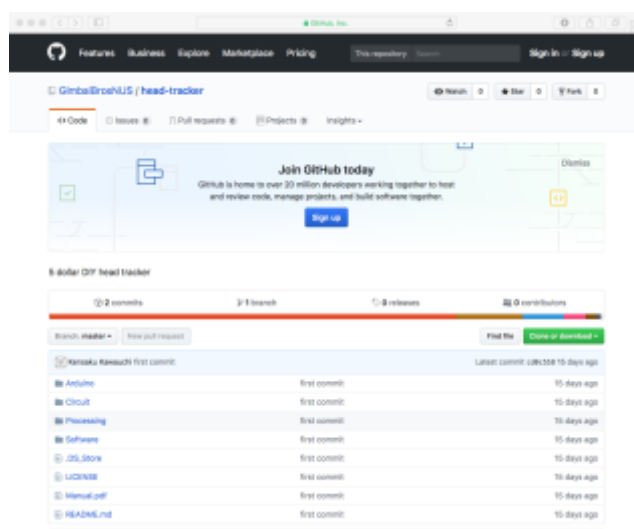


図 1 Head Tracker のソースコードを公開している GitHub のスクリーンショット(f)

Figure 1 GitHub screenshot of Head Tracker Project (f)

4. 実装

今回提案する 500 円 DIY ヘッドトラックは、既成品のモーションセンサモジュールと Arduino の半田を手助けするための基板、センサモジュールの姿勢情報を取得するプログラム、2 種類の異なる主力方式のサポートとセンサパラメ

d [http://www.dronetrest.com/rc-radio-control-protocols-explained-ppm-pcm-sbus-ibus-dsmx-dsm2/1357](http://www.dronetrest.com/rc-radio-control-protocols-explained-ppm-pwm-pcm-sbus-ibus-dsmx-dsm2/1357)
e <https://www.arduino.cc/>

f <https://github.com/GimbalBrosNUS/head-tracker>

ータを調整するためのソフトウェアで構成されている。ソフトウェアは、開発環境からソースコードまで我々が開発したものを含めて無料で利用できる。

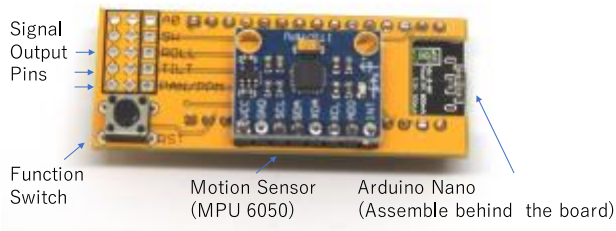


図 2 作成したボードとモジュール接続完成図

Figure 2 Developed Head Tracker Module

4.1 ハードウェア構成

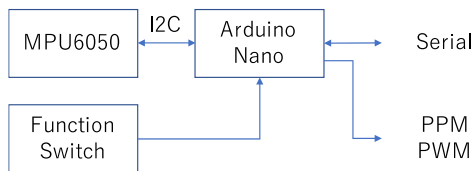


図 3 ハードウェアシステムダイアグラム

Figure 3 Hardware System Diagram

DIY ヘッドトラッカで使用する方角検知センサと波形による出力などの機能は、すべて既製品により実現している。演算処理と信号出力制御には Arduino Nano を使用した。

Arduino はハードウェア制御をするための開発基板である。使用した Arduino Nano は、Arduino というプラットフォームの中に含まれる 1 つである。コンピュータ上で、C 言語をより簡素にしたプログラムで制御方法を記述し、Arduino に書き込むことで制御する。既製品では Arduino に対応した形状のものや、制御用ライブラリが公開されている。よって、ハードウェアプログラムの知識がない人でもハードウェアを用いたシステム開発が制御可能である。また、オープンハードウェアなので、部品を調達すれば誰でも自作可能になっている。そのため、正規品以外にも様々な種類の Arduino が存在し、誰でも自分の用途にあったものを来ることができる。本件で使用した Arduino Nano は、Arduino の標準規格である Arduino Uno よりもサイズが小さく、プログラム書き込みが USB を用いることで実現できる最小の規格である。Arduino pro mini など Arduino Nano よりも小さい規格は存在し、より小さいものを作ることは可能であるが、誰でも調達可能な規格でありパソコン所持者が新たに特殊な機材を用いなくて利用できる点を考慮して Arduino Nano を採用した。

方角検知には、MPU6050 のモーションセンサを用いた。このセンサは加速度と重力加速度それぞれを検知するセンサが 1 つのチップに搭載されている。このセンサ内部には姿勢制御を得られたセンサーデータから解析する機構が搭載されている。加速度センサと重力加速度センサはそれぞれ異なる事象をはかるために存在するが、それぞれのノイズを相互に打ち消すためにも利用されている。基本的には、姿勢を推定するセンサでは、実際には静止状態にもかかわらず出力されるセンサの値に微小な変化がノイズとして含まれる。そのため、ノイズが小さな値であっても、ノイズが積み重なることで誤差が大きくなる現象がある。それを回避するための工夫が必要であるが、センサ間で相互にノイズにより誤差が発生しているのかをチェックする機構が MPU6050 にはそなわっている。Digital Motion Processor と呼ばれる機能で、その機能を Arduino で利用可能にし、さらに応用することで精度を向上させることに成功したオープンソースライブラリ(g)を用いた。その値を使い続けることで、ノイズに強い姿勢制御を可能にしている。しかしながら長時間使用すると誤差が蓄積されていくので、物理スイッチにより直接リセットできるようにした。この機能の実装により、長時間使用を可能にしている。MPU6050 の次の型番として電子コンパスを追加した 9 軸モーションセンサ MPU9150 が存在する。MPU6050 とデータへのアクセス方法が同じであり、扱い方は変わらない。しかし、高压電線付近でのセンサ精度が極端に落ちるため電子コンパスを用いないようにしている。そのため、本提案で使用する MPU6050 と変わりが無い。また、MPU9150 よりも古い型番である MPU6050 は安く調達できるため、価格を抑えるという観点でも有効である。

出力ピンは、既存製品のサーボや PWM 出力ボードで採用されているレイアウト(GND, VCC, Signal)にした。サーボモータなど直接使用する場合でも、ワイヤーレイアウトを変更しないで利用でき、異なるレイアウトでもワイヤリングを変えれば 5v 制御のものは使用可能である。サーボモータを直接使用する場合は、PWM 出力に変える必要がある。しかし、設定を変更することで PWM と PPM 出力の設定を変更できるので、Head Tracker から得た情報によるアクチュエータ制御アプリケーションはプログラムの書き込みし直しせずに実現可能である。

Arduino Nano とモーションセンサを接続するためのボード上には 1 つの物理スイッチがある。起動中は角度情報の基準位置設定に使用する。MPU6050 モーションセンサの角度の基準となる方角は設置位置に関係なく固定されている。

g <https://github.com/alexvonduar/mpu9150-arduino-lib/tree/master/libraries/MotionDriver>

使用者が意図する方角を原点にするためにはソフトウェア上で処理しなければならない。ボタンを押すことで、押した位置を始点とした角度情報を出力する。設置後の基準合わせだけでなく、使用し続けた場合のドリフトによる誤差修正としても機能する。また、押したまま電源を入れると出力方式を変更できる。

4.2 システム制御ソフトウェア

Arduino 内部のプログラムは、Arduino の開発環境である Arduino IDE 上でコンパイルして書き込む。一度書き込みと、再度プログラムを書き込む必要がない。プログラムの書き込みは通常書き込み方法と同じであり、パラメータ変更のためにソースコードを変更する必要がないように設計した。そのため、プログラミングの知識がない人でも利用できる。また、このシステムは、センサ情報取得し結果を出力するだけでなく、パラメータ調整のためにコンピュータ上のソフトウェアと通信可能なように実装されている。

センサ情報の取得には、i2c というシリアル通信規格によりデータ取得する。チップ内で自動的に姿勢制御演算を自動でしてくれるので、マイクロコントローラでは得られた情報からどのようにアウトプットへ出力するのかに注力している。異なる姿勢制御センサを用いる場合は、センサの仕様に合わせてデータ取得するプログラムを変更することで代替可能である。

本システムの出力は、PWM と PPM の 2 つの種類出力方法を選択できるようになっている。PWM(Pulse Width Modulation)とは、スイッチのオンとオフを交互に繰り返し出力される電力を制御する。一定電圧の入力から、パルス列のオンとオフの一定周期を作り、オンの時間幅を変化させる電力制御方式を PWM と呼ぶ。PPM (Pulse Position Modulation) は、パルスの長さにより表現する。PWM との違いは、PWM はある一定期間におけるスイッチのオン時の割合に対し、PPM は、オン出力時の時間によって表現する。ラジコンではラジコン制御に使うプロポが PPM によってデータ転送する。そのため、プロポ経由で角度情報を転送するために、PPM 波で出力できる必要がある。一方、プロポを用いない場合、PWM でモータ制御する。姿勢制御情報によりモータ制御する両方の場合に対応できるようにすることで、汎用性を高めた。

4.3 パラメータ調整用 GUI

ユーザ毎で、head tracker の設置位置や用途が異なり、最低限のパラメータチューニングが必要になる。通常はプログラム自体を書き換えることで調整するが、USB を接続し専用のソフトウェアを用いることで姿勢情報の可視化とパラメータの調整を可能にした。本件では、誰でも利用できる

という点を考慮し、GUI は Processing で実装した。Processing は Java で実装されている簡易 GUI 開発環境で、オープンソースとして公開されている。また、Java で実装されているので、複数の OS で動くように設計されている。そのため、OS 依存にならず誰でもダウンロードして実行するだけで利用可能である。変更できるパラメータは、PPM/PWM の出力タイプの変更から PPM 出力の場合の出力チャンネルの割り振り、最大回転指示可能角度の設定、回転基準軸の反転などである。GUI からデバイスへアクセスすると角度情報が取得できる。デバイスを実際に設置した状態で実際のデータを確認しながら調整できる。また、保存した結果は電源を切った後でも有効であるため、毎回設定を変更する必要がない。

PPM・PWM の出力方式の変更方法は 2 つある。ボード上にあるスイッチを押しながら電源を入れる方法と、GUI 選ぶ方法である。ボタンを押した状態で電源を入れると、設定されている出力方式と違う方式で出力するようになる。例えば、PPM で信号を出力するように設定されている場合、ボタンを押しながら電源をつけると PWM で信号を出力するようになる。このやり方で出力方式を変更した場合、電源を消すとリセットされる。常にボタンを押さずに同じ出力方式を使用したい場合は、GUI で変更することで可能になる。PPM 方式での出力の場合、1 つのピンで複数の信号をチャンネルによって分けて送信する。そのため、複数の信号を同じチャンネルに割り振ることができない。ラジコンの操作で用いるプロポから姿勢制御信号を送信する場合、プロポで使用しているチャンネルを避けなくてはならない。それを考慮して各角度情報をどのチャンネルで送信するのかを選べるようにした。



図 4 開発したパラメータ調整用 GUI

Figure 4 Developed software for adjusting sensor parameter

そのほかに、角度情報の調整用コマンドを実装した。これは、モータの回転可能領域が製品により異なり、稼働領域

外へまわそうとすることにより壊れるのを防ぐ役割と、回転具合の感度調整を行えるようにするためである。本システムでは、指定した最小角度と最大角度の範囲に収まらない場合には、指定した上限値、下限値を出力するようにした。

5. 既製品との性能比較 提案機器と既製品を特定周期で回転するモータの上に乗せ性能評価

本システムの性能をサーボモータの上に乗せて評価した。サーボモータを5秒に1度ずつ回転させ、0度から90度の間を行き来した。そして、サーボモータで指定した角度と開発したシステムから得られた角度情報を比較した。収集を30分実施した。本検証では、オープンハードウェアのDIY Head Trackerプロジェクトで使用されている既製品のヘッドトラッカの精度とも同時に比較した。その製品ではモーションセンサとしてGY-85が搭載されている。これは9軸モーションセンサでMPU9150と同様に電子コンパスも姿勢推定に用いられている。



図5 検証風景

Figure 5 Environment for evaluation.

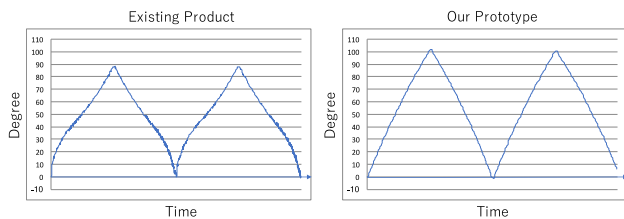


図6 検証結果 (左: 既製品 右: 試作したデバイス)

Figure 6 Evaluation result (left: existed product, right: our prototype).

図3は、横軸を時間軸としてyaw軸の回転角度情報をグラフにした。既製品が角度情報をコンピュータへ送信する間隔と試作したシステムが角度情報をコンピュータへ送信する間隔が異なる。試作した基板が4倍多く送信しているた

め、グラフを分けた。試作基板は、回転に対しては追跡できているが、回転角度の最大最小の値の差が100度となっており、90度よりも大きな値を示している。一方、既製品は、モータの回転に対する追跡ができており、最大最小の値の差が90度であった。しかし、角度の変化による増減が線形ではなかった。回転は一定であり試作した基板の角度情報の増減が線形に近いことから、角度の変化は本試作の方が優れていると考えられる。

検証した場所がシンガポールの屋内である。シンガポールでは部屋の壁の中を高圧電線が入っており、電子コンパスに磁場の影響を与えている可能性がある。yaw軸の回転角度は、電子コンパスから得られたデータを用いる。既製品は電子コンパスの情報を用いて姿勢情報を求める。そのため、線形ではなく非線形で追跡しているのではないかと考えられる。

6. 議論と今後の展開

これまで本稿では低コストで簡単に導入することを目的としたDIYヘッドトラッカの開発について述べた。今後の展開としてはこれら本成果のメリットを活かし、ヘッドトラッカを必要とする一般のユーザに向けて、如何に手広く扱ってもらえるか、その結果として一般のユーザから本成果の改善を含めた開発に参加をしてもらえるのかを検討する必要があるだろう。そのための方法の一つとして、安価で簡単に扱うことのできるヘッドトラッカでできるアプリケーションを参考事例として誰にでもわかりやすく紹介することも必要であろう。本章ではそのために現時点で考えられる具体的なアクションについて検討する。

6.1 各分野のコミュニティへのアプローチと貢献

本プロジェクトに先立って存在していた、Dennis Frie氏の「DIY Head Tracker」は、ラジコン飛行機やドローンのコミュニティで有名な掲示板サイトRC group.com (h)にて、ラジコンの基礎知識はあるがヘッドトラッカの機能やメリットを知らない人でも理解ができるデモ動画と各部品の組み立てや初期設定の教則動画に加え、ヘッドトラッカのファームウェア必要な部品の調達元への複数のリンクや価格までもがリストされている。そのため、導入検討当初ヘッドトラッカの基礎知識のなかった著者らも、複数の情報源をあたらずに、ごく短時間で部品調達を完了することができた。本プロジェクトはすでにGitHubにて公開済みであるが、こちらにアクセスを促進するために、各種コミュニティへ向けて同様の準備をする必要があるだろう。

h <https://www.rcgroups.com/forums/index.php>

6.2 ヘッドトラッカを用いたアプリケーション

本ヘッドトラッカの使用例として以下にいくつかのアプリケーションを紹介する。尚紹介するアプリケーションの一部は本シンポジウムでデモを行う予定である。

6.2.1 Cheap Flying Head

樋口らは頭部の動きをドローンの操縦に利用する「Flying Head」で、初心者がジョイスティックなどを用いることなく直感的な操作が可能なユーザインタフェースを提案している[1]。本ヘッドトラッカを使用し、市販の RC コントローラに接続することにより、実勢価格 2 万円台でほぼ同体験(i)が可能なドローンを実現できる (図 2)。提案システムはモーションキャプチャ環境を使用し、背中ノートパソコンを背負うなど高価で大掛かりであったが、安く簡単に導入が可能になることで、このアイデアを利用した新たな作品やコンテンツが生まれる可能性がある。



図 7 Cheap Flying Head の構成
Figure 7 Set of Cheap Flying Head.



図 8 カラスと対話する装置(地上型)
Figure 8 Dummy talker for crow (ground system)

6.2.2 ジェスチャーコントローラ

ヘッドトラッカは頭部の姿勢変化取得するモーションキャプチャデバイスであるが、当然頭部以外の姿勢変化も取得できる。下記の図 4 は DJI 社のドローンなどが採用しているジェスチャーコントロールと同様の機能実勢価格 1 万円以下で実装した例である。前節の例と同様に、現在の仕様上

i 3 軸を姿勢変化のみに割り当てているため、スロットルによる上昇下降にチャンネルが割り当てられない。

上昇下降はジェスチャでコントロールすることはできないが、初心者用のトイドローンには高度維持機能が付いたものが数多く出回っているため、一度離陸をさせてしまえば以降は問題なく操縦できると考えられる。下記図 5 は著者らの提案するカラスと対話をする剥製カラスロボの頭部操作のインタフェースをして実装したものである。カラスの反応を見ながら、ロボットを遠隔で操作しながらタイミングを見計らってカラスの音声を再生するため、視点を手元へ向けることなくロボットとカラスの間合いを確認しながら操作が可能となっている。このように遠隔でロボットやマペットを操作することにも使用が可能である。



図 9 ハンドジェスチャー操作ドローン
Figure 9 Gesture controlled toy drone

6.3 オープンなシステムの普及による社会への影響

オープンソースハードウェアのコンポーネント組み合わせることで、利便性の高い新たなデバイスが生まれると、公開された仕様をもとに製品化され大量生産されることで、さらに安くなるサイクルが続く。本ヘッドトラッカを構成する Arduino も 2, 3 年前までは 20 米ドルだったが、今現在は 1 米ドル台で、この価格であれば USB メモリを配布する感覚でオリジナルのデバイスを配布するケースなどでくる可能性がある。デバイスを動作させるファームウェア等についても、例えば本ヘッドトラッカに姿勢制御部分のセンサ MPU6050 についても、最近になって精度の高いライブラリが公開(g)になったことで実現の目処がたった。ヘッドトラッカを始め、モーションキャプチャツールが上記と同様に安価に配布できる状況ができれば、コンテンツ制作やビジネスモデルが変わる可能性もあるだろう。そのためには、まずは成果物を興味のあるコミュニティに広く公開し、多くのユーザや開発者との関わりの中で発展と改善が進むことが望ましいと考えている。

6.4 システムの更新

本論文で使用したセンサは、加速度センサと重力加速度センサの 2 種類のセンサを用いた 6 軸モーションセンサである。オープンソースで多数のユーザが使用してきたことに

よるソースコードの改良により、9 軸モーションセンサを用いた既製品に近い性能を示した。オープンソースにすることで多くの人に利用してもらい、システム自体の性能を向上させることは可能であることを示唆している。

今回は、安価に入手しやすいモジュールを使いヘッドトラックを作成した。安価なものを使い続けることで利用するユーザを増やすことができ、システムの性能を向上させつづけることができる。しかし、安価で高性能なモーションセンサや制御用基板が出てくることは容易に想像が付き、常にそれらに対応していかなければならない。例えば、制御用基板に搭載されているチップに応じて、高速に処理可能なプロセスと負荷がかかる処理が異なる。そのため、それぞれのチップに合わせてプログラムを変更する必要がある。このデータ更新について人が容易に更新へ参画できる環境作りが重要になってくる。単純なソースコードや基板の公開だけでなく、改変を容易にする仕組みを今後考えていく必要がある。

7. まとめ

ドローンによる空撮カメラ操作や VR 機器で用いられるヘッドトラックを低価格な既成品で構成される機構で実現した。本来、製品を開発するにあたり品質を向上させつづけることは難しい。本研究では、安価な部品で実装を可能にし、オープンソースにより公開することで誰でも参画しやすい環境を構築することを目指した。利用が増えることで、様々な用途へ利用シーンが増えるだけでなく、保守点検やシステムのアップデートを利用者が行う機会も増える。その循環を可能にするために、誰でも容易に調達可能であり安価に実装できる環境を目指した。本論文では、特別な知識を必要としないで構築できるように、ヘッドトラックのシステムだけでなく、センサパラメータの調整ソフトウェア、ハードウェアの接続を容易にする基板を作成・開発した。そして、それを誰でも利用可能にするために、GitHub にて公開した。開発したシステムと既成品のシステムを比較した結果、ほぼ同等の性能をしめした。特に、シンガポールの屋内において、追跡感度は我々が作成したシステムの方が優れていた。今後は、システムの更新や性能向上を使用したユーザがいかに参画しやすいようにするのが課題であり、その仕組みを構築していく。

謝辞 This research is supported by the National Research Foundation, Prime Minister's Office, Singapore under its International Research Centres in Singapore Funding Initiative. 東北大学電気通信研究所平成 28 年度・29 年度共同プロジェクト研究の支援を受けた。本プロジェクトの推進にあたり多大なる協力を得たシンガポール国立大学の丹野嘉信氏に感謝する。

参考文献

- 1) Dennis, F. DIY Headtracker (Easy build, No drift, OpenSource) - RC Groups. 2012. [https://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?1677559-DIY-Headtracker-\(Easy-build-No-drift-OpenSource\)](https://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?1677559-DIY-Headtracker-(Easy-build-No-drift-OpenSource)).
- 2) InvenSense. MPU-6000/6050. <http://www.invensense.com/mems/gyro/mpu6050.html>.
- 3) アンダーソンクリス・. MAKERS - 21世紀の産業革命が始まる. 2012. <http://amazon.co.jp/o/ASIN/B009SKVI90/>.
- 4) ビジャイ・ゴビンダラジャン and クリス・トリンブル. リバース・イノベーション. ダイヤモンド社, 2012.
- 5) 末田航 and 塚原直樹. (1) 【クラウドファンディング成功】 Talking Drone - カラスと話すドローン開発 - ホーム. <https://www.facebook.com/talkingdrone/>.