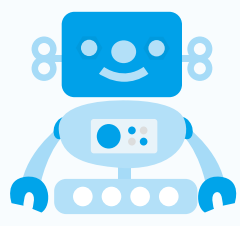


.....05 組み込みシステムの共通問題：飛行船システム競技

—工学教育の基礎である計測から考察する—



小倉信彦（東京都市大学） 久保秋真（(株) チェンジビジョン）



共通課題と計測

MDD/ESS ロボットチャレンジにおける小型屋内型飛行船システム競技（以下、飛行船システム競技とする）は、組み込みシステムの共通課題を作成するにあたって求められる、システムの性質としてリアルタイム性、並行性、通信、ハードウェアや物理制約を持つなどの要求を満たすべく作られた課題である。同時に計測は、ソフトウェア、制御のいずれの側面においても、組み込みシステムが持つ制御対象の性質や状態の把握に必要であり、組み込みシステム教育に求められる、実践的な開発経験の獲得、工学的な基礎力の育成のためには欠かすことができない。

たとえば、飛行船を着陸地点へ誘導して着陸させる（図-1）ためには、環境や飛行船の特性に加え、着陸地点と飛行船の位置関係、飛行船の姿勢や速度等がリアルタイムに分かることが必要である。

飛行船システム競技は、分野を超えたバックグラウンドの異なるメンバが集まることを想定している。また、コンテストに向けた開発のなかに十分な計測ができるとは限らないという状況を与え、外乱を取り除くための工夫や、方式上の工夫によって精度を向上し、計測の不確定さを補う方法を試みることができるよう課題を設定している。

MDD/ESS ロボットチャレンジの開発課題概略

飛行船システム競技において開発する飛行船自動航行システムは、おおむね図-2のような構成となっている。飛行船のサイズや安全性に関する規定はあるものの、飛行船、周辺の機器ともに、ハードウ



図-1 自動航行による着陸

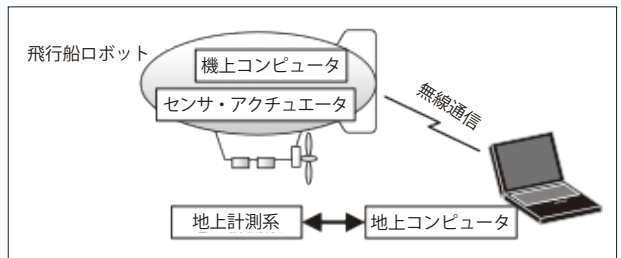


図-2 飛行船システムの構成

ェア構成や実現方式に関する自由度を制限する規定等は極力排しており、構成するシステムの詳細は、参加チームごとに異なるものとなる。

規約上の浮力（60～200g）や積載重量の制限から、すべてを飛行船に搭載した機器で完結させることは難しく、地上機器の支援が前提となる。このため、それぞれの機器に担わせる機能を切り分けることや、通信の遅延や障害を考えた制御やソフトウェアの仕組みが必要となっている。

実行委員会とチームの作成した計測系

飛行船ロボットの自律航行を実現するには、気圧と気温（浮力に影響）、風向と風速、浮力やおもりのつり合いなどを測ることが必要である。

特に重要となるのが、自律航行中の機体の姿勢と位置である。必要な精度で姿勢と位置を得るために、さまざまな計測方式が試されている（表-1、図-3）。実行委員会が提供した参照機では、2005

年度	計測方式
2004 年～	赤外線+超音波, 超音波エコー
2005 年～	ジャイロ스코プ, 超音波時間差 天井設置カメラ
2006 年～	磁気方位センサ
2007 年～	機上カメラ+機上画像処理
2009 年～	機上カメラ+地上画像認識
2011 年～	チーム設置の地上センサ (2 種), レーザレンジファイン ダ(地上), OpenCVによる画像認識
2012 年～	Kinect

表-1 計測方式の推移

年度以降は、高度は超音波エコーを用い、位置は超音波時間差を用い、姿勢はジャイロ스코プを用いて計測している。参照機を使わないチームは、参照機と異なるさまざまな計測方法も試みている。

各チームの計測方式が異なるため、チームによっては競技スペースにさまざまな機器を設置する必要がある。競技運営上の都合からこのような機器の設置を制限するコンテストが多いが、本コンテストの実行委員会は、競技の運営を工夫することで、チームが独自の試みに取り組みやすいよう機器の設置要望等に柔軟に対応している。

たとえば、いくつかのチームのセンサ群とその配線を先に設置し、その上に画像処理に地上マーカを用いるチームがマーカを重ねておくことで設置・撤去の手間を減らし、準備時間を延ばすことなく競技が進行できるよう工夫している。

初期の MDD/ESS ロボットチャレンジから使われてきたいくつかの計測方式に共通していることは、容易に方式や特性を調べて、必要に応じて改良することができたことである。このことは、チャレンジを通じてチームに獲得させたい学習課題について、指導者が提案できる自由度を与えている。

たとえば、位置制御の性能を確保するために重要となる速度を直接（少ない遅延で）計測するために、受信信号の位相変化を調べて高さ方向の速度を計測できるように改良したいとする。参照機に搭載されている高度計が使用する超音波は 40KHz 程度と電氣的にもソフトウェア上でも扱いやすい低い周波数であり、改良に要する立式・実装・実験までの困難は少ない。また、参照機の超音波位置計測データに

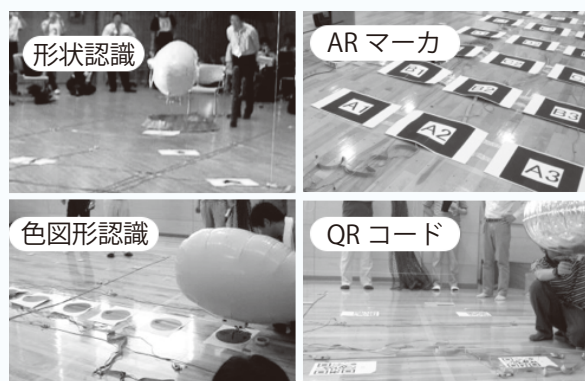


図-3 機上カメラによる位置計測の例

対して、有効なフィルタを検討するといったことを課題としたチームもあった。

計測に必要な +α の工夫

飛行船が動く範囲は、年度と会場によって異なるが、おおむね水平方向十数メートル垂直方向 5～7m 程度である。この競技フィールドの広さが少しだけ計測の工夫を必要とすることも面白い点である。

たとえば、市販の空中超音波送受波素子を用いれば床面反射を用いた超音波による高度の計測ができるが、高度（7m）の往復（14m）の計測を考えると素子の能力を少しだけ超えているものが多い。また、2005 年に実行委員会で準備した天井カメラは競技フィールドをカバーするのに 4 個のカメラを必要としたため原理は単純でもやや複雑な処理が必要であった。最近ではロボットの位置決めで Kinect を用いた報告を目にするが、Kinect 標準的には計測可能な範囲はカメラ前 4m 程度であり、MDD/ESS ロボットチャレンジで設定されている十数 m のフィールドの計測をしようと思うと若干の工夫が必要になる。

計測に必要な、さらなる工夫

飛行船の動作が影響することも考慮すると、位置や姿勢の計測にはさらなる工夫が必要である。

飛行船は、風船部分の下に重量のあるゴンドラがあることで、ロールとピッチの軸（前後軸と左右軸）に対しては安定している。このため、制御で主に考



図-4 姿勢変化によって超音波による高度計測が影響を受ける例

えるのは3次元位置と、ヨー軸（上下軸）周りの回転となる。しかし（図-4の状況など）ロールとピッチの動きが計測結果にも影響を与えるので、計測と駆動は協調する必要がある。

また、高高度では超音波エコーによる高度計測はできなくなる一方で、低高度では地上センサを使って計測できる領域が限られるなど、飛行船の位置によって計測可能性が変わる。競技スペースの中の計測できる範囲を飛ぶこと、計測範囲を外れた場合の処理を想定すること、代替の計測手段を用意することなどが必要となる。

これからの課題

MDD/ESS ロボットチャレンジにおける計測の仕組みは、手作りの要素が大きかった。現在では、小型ロボットによる教育の広まりとともに、手軽に使える位置・姿勢センサや通信モジュール、マイコンボードなどが飛躍的に増えている。たとえば、計測に使うセンサモジュールとしては、安価で軽量なレーザ測距モジュール、10m程度での距離で使えるオプティカルフローによる姿勢—速度計測モジュールといった高性能なものが、動作原理や構造を知らなくても利用できるようになってきている。画像処理の方法についてもOpenCV（2006年リリース）やKinect（2010年リリース）など、手軽に使える方法が提供され始めている。

これらのデバイス等の登場によって組込み開発の実習が手軽に実施できるようになったことは喜ばしいことであるが、同時に、原理や制御方法が分から

なくても利用できるブラックボックスが増えたことは、計測や制御を応用するシステムを開発する方法を学ぶには困った状況でもある。たとえば、広く出回っているZigBee無線通信モジュール（多くはシリアル通信透過な通信機能を提供する）を使えば、信頼性のある連続するデータの送受信が手軽に実現できる。その代わりに、通信の信頼性を確保するのに誤り検知や再送が必要なことや、制御ループ内で通信を扱う場合の遅延を意識できなくなり、モジュールが隠蔽している制御側面を考える機会を失ってしまっている。

もちろん、でき合いのものを使って短時間で機器を作り上げることができることは、末端の機器の制御方法に拘泥せずにシステム全体が利用者に提供する機能やサービスについて考えやすくなることにつながる。しかし、新しい機器を開発する組込み開発者には、制御の確保と機能の提供の双方をこなす能力が必要である。そのためには、欲しい情報が容易に計測できない環境と向き合い、想像力を発揮し、トラブルに対処し、機能を考え性能を向上させる力も欠かすことはできない。

MDD/ESS ロボットチャレンジは、2013年から対象とするロボットを飛行船から掃除機ロボットに変更して、一区切りがついたところであるが、従来とは違った状況において、どのような設定をすると $+\alpha$ の工夫が必要となる課題ができるのか、さまざまな分野のチームやその指導者と情報交換をしながら検討し、急速な技術進歩による変化を乗り越えて教育研究題材を提供していきたい。

参考文献

- 1) 大山恭弘，橋本洋志：図解ロボット技術入門シリーズ ロボットセンシング—センサと画像・信号処理—，オーム社（2007）。（2014年10月3日受付）

小倉信彦 ogura@tcu.ac.jp

1997年東京工業大学大学院理工学研究科修士修了。博士（工学）2005年より武蔵工業大学講師。現在、東京都市大学メディア情報学部情報システム学科准教授。信号処理に関する研究に従事。

久保秋真（正会員） kuboaki@gmail.com

1998年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。（株）チェンジビジョン勤務。早稲田大学非常勤講師、日本大学非常勤講師。モデル駆動開発、ソフトウェア技術教育に興味を持つ。