

高難度のカメラ応用への鍵、パンチルト・ポジショナの確度と精度

リサ・ゲルブラハト、カイ・モンチーノ

遠隔監視やビデオトラッキングシステムにおいて、パンチルト・ポジショナは高い再現性を備えるとともに、指向の確度と精度をペイロードや画像処理の要件に応じて最大限にできなければならない。

高い精度と確度を備えるポジショニングシステムは、遠隔監視やビデオトラッキングシステムを適切に実装するために不可欠である。飛行物体の追尾、建設現場の正確な画像データベースの構築、無人地上センサによる潜在的脅威の特定と識別など、システムの用途は多岐にわたる。パンチルト・ポジショニングシステムは、要件の厳しい多くの用途に対応するが、ポジショニング(位置決め)の確度、再現性、精度については、よくある誤解がいくつかあり、それらを正しておく必要がある。

ポジショナの基礎

パンチルト・ポジショナは、センサやカメラの方向調整のほか、対象物の追尾をリアルタイムに行うために用いられる2軸モーション・コントロール機器である。センサがパンチルト・ポジショナに搭載されており、操作員またはコンピュータによってパン軸とチルト軸の速度と位置を制御することによって、センサの向きを目標方向に維持する。

カメラやセンサシステムの設計時にパンチルト・ポジショナを選択する際には、ペイロード(重量)、キャパシテ

(容量)、サイズ、価格のすべてが重要な要素である。無人航空機(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)を追尾する場合など、コマンドに従って正確な場所にカメラを向けることが重要である場合は、ポジショニングの確度が最も重要な要素となる。遠隔監視やビデオトラッキングを行う視野(FOV: Field Of View)の狭いセンサを扱う場合は特に、確度を慎重に検討することがシステム設計者に求められる。たとえば、6000mの距離にある移動目標を検出するための $4^{\circ} \times 3^{\circ}$ FOVのセンサには、高い確度が必要である。その距離では、 0.04° のポジショニング誤差で、目標物を見失う可能性がある。

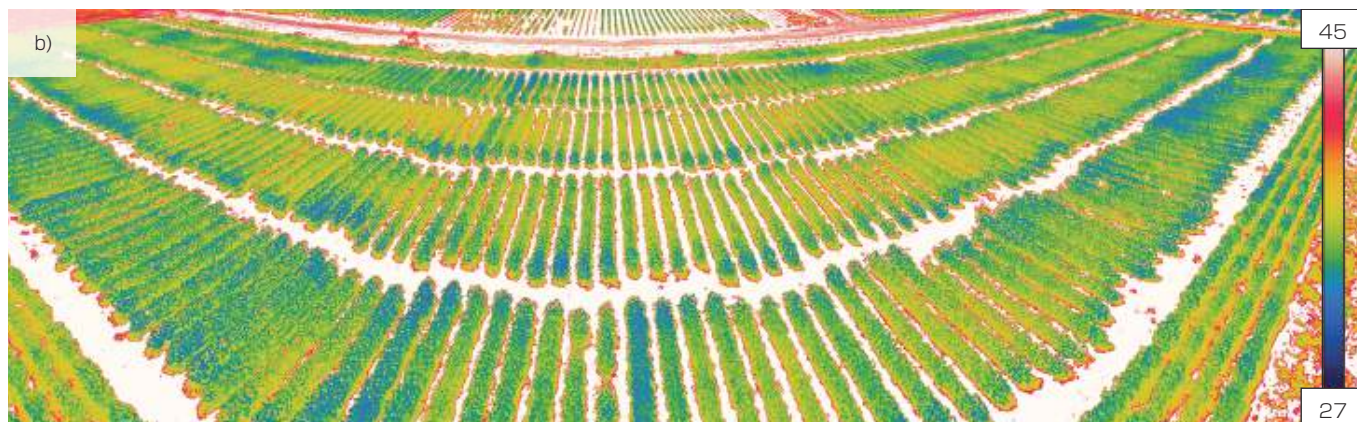
確度とは、指向角度がコマンドで指

a)



図1 作物キャノピーの温度を監視する米スマートフィールド社(Smartfield)のシステム(a)。カメラと電子センサで構成される。パンチルト・ポジショナの高い再現性によって、熱画像を正しくつなぎ合わせることができる(b)。(提供:スマートフィールド社)

b)



示された角度にどれだけ近いかを示す尺度である。カメラシステムに対して左に90°という方向指示を与えた場合、パンチルト・ポジションの精度仕様が $\pm 0.05^\circ$ であるとする、指向角度は、正確に90°の角度を指していると示されていたとしても、実際には89.95°～90.05°の間になる。

ここで、再現性と精度は密接に関連している。精度は、何らかの世界測地系を基準に一貫した方向を指すことを示す尺度であるのに対し、再現性は、固定ポイントに一貫して戻ってくることを示す尺度である。たとえば、対象範囲内の特定の位置(空港のセキュリティチェック検問所など)に戻ってくるセキュリティカメラの場合、180°の可動範囲に対する標準的なパンチルトの再現性の値は0.1°である。

GPS座標などの手段を利用して外部の位置を基準にシステムを校正することで、ユーザーは実際の指向精度を確認することができる。外部校正を行わない場合は、パンチルト・ポジションの再現性を参考にすることが、合理的で許容できる確認手段である。

角度分解能とは、パンチルト・システムが調整可能な最小ステップサイズである。高性能パンチルト装置の場合、最小ステップサイズとして0.003°オーダーの調整が可能である。低価格のパンチルト装置の場合、0.1°の最小ステップサイズが一般的である。中には、モータのマイクロステップ駆動によって分解能が調整可能なパンチルト装置もある。

分解能が高いほど、動きは「円滑」になり、特に遠距離の画像処理に有効である。たとえば、1km以上離れた位置にある車両や人間を検知する国境警備が挙げられる。パンチルト・システムの指向分解能が用途に対して十分で



図2 2台のカメラと周波数妨害装置を装備するパンチルト・システムは、ドローンの無力化に使用することができる。(提供:米ブラックセージテクノロジーズ社[Black Sage Technologies])

ない場合は、センサやカメラで捉えられない範囲が生じる可能性がある。距離が遠くなるほどこの問題は深刻になる。モーションの一定の角度に対応する、範囲内の半径方向距離が長くなるためである。

指向誤差に寄与する要因

パンチルト・システムは、複雑な電気機械機器である。その構成要素のすべてが、指向精度と再現性に影響を与える。構成要素には、経時劣化が生じるギア/ベルト/レデューサー、リミットセンサに依存するホーミング(帰還)または校正システム、剛性が誤差に寄与する筐体または駆動システムなどがある。

パンチルト動作が、所定の走査リストに従って両方の軸で同じパターンで繰り返される場合は、プリセット位置には必ず同じ方向から入ることになる。ギアは必ず同じ側からプリロードされるため、バックラッシュ(遊び、

ガタ)やギアの摩耗に起因する指向誤差は顕著にはならない可能性がある。

一方、移動物体を追尾しながら頻繁に方向を変更する必要がある用途では、同じシステムでも指向誤差が大きく現れる可能性がある。また、激しい突風の中で方向調整を行う場合は、パンチルト・システムのバックラッシュに起因する誤差が生じる。

パンチルト・システムの再現性は、ある方向から目標位置に着いた後に別の方向から目標位置に着く場合に観測することができる。たとえば、パン軸で90°を指すように指示した場合、システムは左側からその位置に入る場合もあれば、右側から入る場合もある。ギアに機械的コンプライアンスやバックラッシュがあれば、それが指向誤差に寄与する。

誤差が複数の軸で生じると、全体的な誤差はさらに大きくなる可能性がある。一方の軸の誤差が0.15°で、他方の軸の誤差が0.1°である場合、実際の位置



図3 パンチルト・ポジショナ「PTU 5」は、出力にエンコーダを搭載することで、0.05°の再現性を達成している。(提供：米フリーアール・モーションコントロールシステムズ社[FLIR Motion Control Systems])

は0.18°(斜辺の長さに相当。 $a^2+b^2=c^2$)ずれている可能性がある。偏摩耗やぶれも、軸の範囲によって指向確度が異なるという状況を招く恐れがある。

科学研究に用いられるシステムでは、パンチルト・ポジショナからの位置データをバイロードからのセンサデータと相関させることが必要な場合がある。レーザレンジファインダーやGPSを用いることで、非常に正確なデータを収集することができる。しかし、パンチルト・システムが30Hz以上のレートで位置データを繰り返し走査して報告する場合、システム遅延が知覚誤差に寄与する可能性がある。これは、位置と速度の情報がユーザーに届く前に、パン軸とチルト軸が動くことに起因する。軸速度が毎秒120°よりも速ければ、この知覚誤差はさらに大きくなる。

パンチルトの位置と速度データに対してタイムスタンプを適用することによって、遅延誤差を補償することができる。米フリーアール・システムズ社(FLIR

Systems)のパンチルト位置および速度データは、90 MHzで動作するコントローラボードからの内蔵クロックデータとともに報告することができる。

各種用途における課題

パンチルト・ポジショナは、建設現場、作業現場、または重要なインフラの遠隔監視に一般的に使用される。速度や位置を操作員が制御しない自動システムの場合は、コマンドで指示されたとおりに装置の方向を調整する能力に、システムの成否がかかっている。

作物キャノピーの温度監視などの農業用途では、収集された画像からデータベースが構築され、時間にもなう温度変化の追跡や、注意を要する範囲の特定が行われる(図1)。パンチルト・ポジショナの指向誤差が大きいと、画像を正しくつなぎ合わせたり、正しい位置を参照したりといった処理ができない。建設現場監視用の類似システムにおいても、高い再現性(毎回同じ位

置に戻ってくる能力)が求められる。

指向確度は、UAVやドローンなどの移動物体を正確に追尾することが必要なビデオトラッキングシステムにおいても非常に重要な要素である(図2)。この場合、1台目のパンチルト・ビデオトラッカーを装備するカメラシステムによってドローンを検出して位置を特定し、周波数妨害装置を装備する2台目のパンチルト・システムによって通信を妨害する。ビデオトラッカーと周波数妨害装置の両方にパンチルト装置を装備するシステムにおいて、速度の確度は非常に重要である。カメラがドローンを追尾する速度が正確でなければ、システムはドローンを正しく追跡することができない。スレーブ側のパンチルト装置も、正しい速度情報を受信してそれに応じて応答しなければ、妨害システムは有効に機能しない。

無人地上センサでは、パンチルト・ポジショナに搭載されたカメラを起動して、レーダーなどのセンサによって特定された目標位置にできる限り迅速に向けることが行われる。この用途に使用されるカメラは、長い距離にわたって高い解像度の画像を提供するために狭視野である場合が多い。解像度の高い画像が得られる一方で、校正誤差やポジショニング誤差に起因して目標物を見失うリスクも高くなる。

確度と再現性の向上

モーション・コントロールの多くの用途が、指向確度や再現性にもなう問題の影響を特に受けやすいようなものではない。センサが広視野であれば、多少のポジショニング誤差は気にならない。小さな誤差は、人間の操作員がジョイスティックで無意識のうちに修正しているかもしれない。しかし、確度と再現性が重要となる用途では、パ

ンチルト装置が大きな違いを生む可能性がある。センサデータとパン／チルト角度との相関を行ったり、指示された場所にカメラペイロードを迅速に移動させたり、数日、数週間、さらには数カ月後にも比較が可能な画像データベースを作成したりする用途がこれに当たる。

パンチルトの良好な再現性を確保する1つの方法は、フィードバックシステムを設けることである。ポテンシオメータ、レゾルバ、またはエンコーダによって、これを行うことができる。

ポテンシオメータは、可変抵抗に基づいて角度を測定する機器である。この抵抗は、時間と温度にもなって変化するため、ポテンシオメータは他のフィードバック方法ほど正確ではない。ポテンシオメータの再現性は一般的に、約0.25°である。

レゾルバは、固定要素の内部に回転要素が配置された構造をとり、2つの正弦波を生成する。2つの正弦波の位相差を測定することによって、回転位置を検出することができる。コンピュータ制御のパンチルトに使用するには、アナログ信号をデジタル変換して処理する必要がある。これによって確度は、一般的に0.1°までに抑えられる可能性がある。

エンコーダは、離散パルスまたは位置カウントを入力することによって動作する。光学式エンコーダは、エンコーダディスクを透過する光を検出し、エンコーダディスク上のラインパターンによって回転位置が示される。この方法では、0.05°またはそれを上回る確度を得ることができる。

エンコーダをモータ背面に配置する

と、モータのコギングやすべりを検出することができるが、ギアのコンプライアンスやバックラッシュの問題は検出されない。出力シャフトにエンコーダを搭載すると、バックラッシュを含むコンプライアンスに起因する指向誤差をシステムで補正することができる。「PTU 5」などのFLIR社のパンチルト・システムでは、出力にエンコーダを搭載することによって、0.01°の指向分解能と±0.05°の再現性が実現されている(図3)。

パンチルト・システムのポジショニング誤差を低減する方法は他にもある。外部パネを追加するか、センサを意図的に非対称に取り付けることによって、ギアを片側にプリロードすることができる。これにより、ギアメッシュ内のスペースやシステム内のその他のコンプライアンスを取り除くことができる。また、主に一方向に動くようにシステムをプログラムすることもできる。これによって、各目標位置には毎回同じ方向から入ることになり、システムのコンプライアンスや摩耗の影響は最小限に抑えられる。最後に、移動を終えたあとに小さな遅延を入れるようにシステムをプログラムすることができる。これにより、ペイロードの振動が収まるのを待つことができる。

再現性に加えて、パンチルトの確度を改善するための方法としては、GPSなどの外部センサを使用して、パンチルト角度を実際の目標と相関させることができる。システムに位置と方向を学習させ、パンチルト角度とGPS位置の間の座標変換を行うために、セットアップ時に校正が必要となる。

著者紹介

リサ・ゲルブラハト(Lisa Gerbracht)は、米フリーア・システムズ社(FLIR Systems)のOEMセールスマネージャー。カイ・モンチーノ(Kai Moncino)は同社メカニカルエンジニア。

e-mail: lisa.gerbracht@flir.com URL: www.flir.com/mcs

LFWJ

pco.

on the cutting edge

pco.edge family
now with advanced sCMOS
image sensor

1.1 GByte/s image data bandwidth

up to 82% quantum efficiency

LinkHS

www.pco.de
www.pco-tech.com