

追跡用 3 軸旋回装置

Three-Axis Turret for Camera Tracking System

鳴海 昇 荒川 顕一 豊嶋 毅

■ NARUMI Noboru

■ ARAKAWA Kenichi

■ TOYOSHIMA Takeshi

近年、重要な社会インフラに対する保安監視や、ITS（高度道路交通システム）での交通情報支援などの分野において、ITV（工業用テレビ）カメラによる追跡装置を用いた監視システムが種々商品化されている。カメラ画像の中から対象物をより分け、その位置を追跡する画像センサシステムがそれである。

今回東芝は、これらの用途に広く応用が可能な追跡用 3 軸旋回装置を開発・試作し、所期の性能を達成した。この装置の特長は、(1) 様々な応用を想定し、どのような位置関係にある対象物に対しても安定した追跡を可能とする冗長系の 3 軸姿勢制御の採用、(2) 車両や航空機などへの搭載を考え振動・動揺などの外乱の抑制、(3) 複数の対象物を順次追跡できるよう指向時間の短縮、である。

Surveillance cameras on motor-driven turntables have recently become prevalent in various settings such as security surveillance of important social infrastructure, traffic information gathering in intelligent transport systems (ITS), and so on.

With a wide range of applications in mind, Toshiba has developed a three-axis gimbal-stabilized turret with the following features: (1) rapid and assured angular acquisition and tracking of a target in any relative direction within the hemispherical field of view by utilizing a novel gimbal-control algorithm, (2) extremely stable look-angle pointing accuracy for various vehicle-mountable applications, and (3) agile angle-steering capability for sequential looks at multiple targets in a period short enough to track those targets simultaneously.

1 まえがき

近年、空港やプラントなどの大型施設、及び発電所や水道施設などのライフラインにかかわる施設での保安設備、並びに ITS などの交通情報支援システムにおいて、ITV カメラを用いて対象物を追跡し、継続した監視や詳細な情報を入手するシステムが多く商品化されている。

今回東芝は、これらの用途に広く応用が可能な追跡用 3 軸旋回装置を開発した。

この装置では、様々な環境において、どのような位置関係にある対象物に対しても、その方向への安定した追跡ができるよう、半球全域への指向・追跡が可能な 3 軸姿勢制御方式を採用した。

また、地上設置型だけでなく、プラットフォームとして車両、船舶又は航空機などを想定し、小型かつ耐振性を考慮した構造で、振動・動揺に対する外乱抑制を行っている。

更に、複数の対象物を順次、追跡できるように、旋回速度を高速化し、各対象物への指向を短時間に行える設計とした。

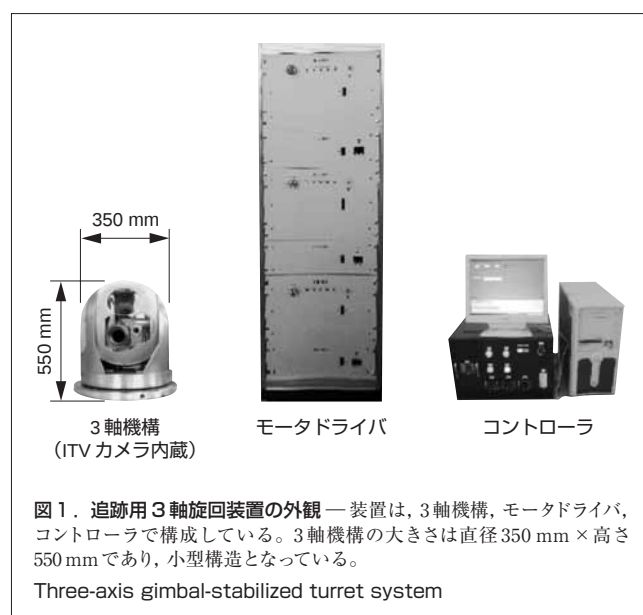
以下に、開発した追跡用 3 軸旋回装置の概要と主要な技術について述べる。

2 追跡用 3 軸旋回装置の概要

2.1 装置の構成

装置の外観を図 1 に、機能系統を図 2 に示す。

この装置は、3 軸機構、モータドライバ及びこれらを制御するコントローラから構成される。



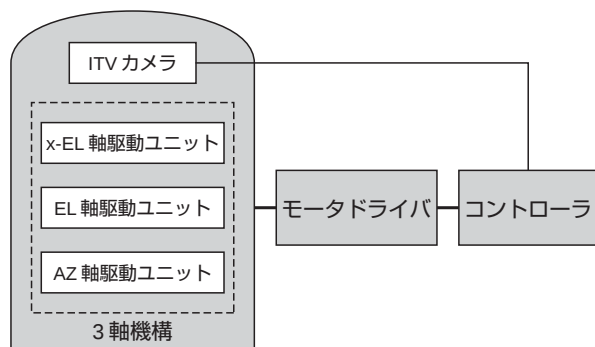


図2. 装置の機能系統 — ITVカメラの視野内の対象物から座標を計算し、対象物が画面の中心になるよう3軸機構を駆動する。

Functional outline of system

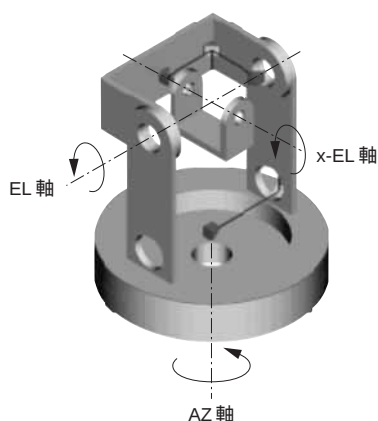


図3. 3軸ジンバルの構成 — アジマス(AZ)軸、エレベーション(EL)軸及びクロスエレベーション(x-EL)軸の3軸構成となっている。

Mechanism of 3-axis gimbals

3軸機構は、後述する特異姿勢問題への対策として、アジマス(AZ)軸、エレベーション(EL)軸及びクロスエレベーション(x-EL)軸の3軸構成のジンバル構造となっており(図3)、ジンバルの内部には対象物を撮像し検出するためのITVカメラを搭載し、半球全域にITVカメラの視軸を指向できるようになっている。

試作品の動作としては、まず、搜索指令によってジンバルを駆動し、ITVカメラの視野内に対象物を捕らえる。ITVカメラは、約35万画素のCCD(電荷結合素子)センサを搭載し、そこで得られた画像から対象物を抽出して、その座標(対象物位置)を出力する。対象物の位置と画面中心からの偏差をゼロにするようにジンバルを駆動することで対象物を追跡する。

2.2 装置の特長

今回開発した追跡用3軸旋回装置は、以下の特長を備えている。

表1. 追跡用3軸旋回装置の仕様

System specifications

項目	仕様	備考
外形寸法	φ350 × 550 mm	3軸機構部
質量	55 kg	3軸機構部
追跡可能領域	半球全域	
ジンバル軸構成	AZ軸, EL軸, x-EL軸の3軸構成	
反転指向時間	0.5 s以下	
空間安定性	約0.08°	10° P-P, 1 Hzの正弦波に対するシミュレーション結果
ITVカメラ	視野	4.3° × 4.3°
	画素数	約35万画素

- (1) 冗長制御による特異姿勢問題の回避
- (2) 振動搭載環境下における対象物追跡
- (3) 高速駆動による短時間での対象物指向

追跡用3軸旋回装置の仕様を表1に示す。

3 主要な技術

3.1 冗長制御による特異姿勢問題の回避

任意の方向にカメラ視軸を指向させるには、一般に2軸のジンバル構造でよい。

しかし、対象物を動的に追跡する場合、2軸構成では追跡不能となる特異姿勢が存在する。この状態をジンバルロックという。ジンバルロックの概念を図4に示す。

図4に示すように、AZ軸-EL軸構成では、EL軸の指向方向がAZ軸の回転軸と一致した場合がジンバルロックの状態である。この状態では、EL軸の回転方向と直交する方向に対象物が移動した場合にAZ軸を瞬時に(無限大の角速度で)90°回転する必要があるが、現実的には連続した対象物追

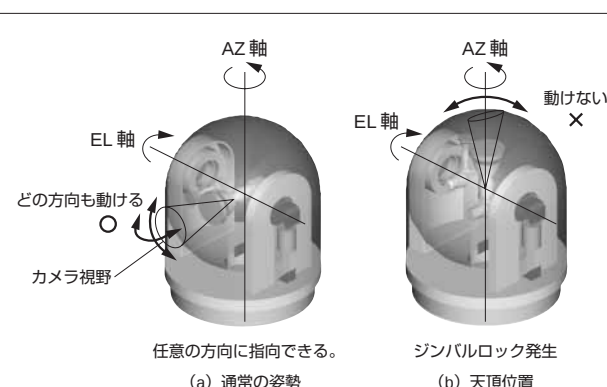


図4. ジンバルロックの概念 — 2軸(AZ軸, EL軸)制御の場合、EL軸がAZ軸と一致する方向(天頂位置)を指向すると、EL軸の回転方向と直交する方向(x-EL軸)には駆動できない。

Effect of gimbal-lock

跡を行うことができない。

この問題を回避する方法として、軸構成を1軸追加し、3軸構成(AZ軸, EL軸, x-EL軸)にする方法が知られている。一般的には、EL軸の角度が小さい場合は、AZ軸とEL軸の2軸で制御し、EL軸の角度が大きくなりAZ軸と一致する前に、制御方式を他の2軸(EL軸, x-EL軸など)の組合せに切り換える方式がとられている。しかし、この方法では3軸目(x-EL軸)の可動範囲を大きくとる必要があり、装置のサイズが大きくなってしまいう問題があった。

今回の開発においては、3軸構成による特異姿勢制御の方法として冗長制御の概念を導入し、この問題の解決を図った。

本来、ある方向を指向するために必要な2自由度に対して3自由度(3軸)を用いているので、1自由度の余裕がある。冗長制御とは、この1自由度を有効に活用することで、3軸ジンバルの角速度ベクトルの大きさをできるだけ小さくしつつ、かつ3軸目のジンバルが可動範囲を超えないように適切な指向角配分を行う制御である。すなわち、2軸であればジンバルロックが発生する角度からAZ軸とEL軸を遠ざける要素に、3軸目(x-EL軸)が可動範囲の限界に近づかないように制御する要素を加えた評価関数を演算し、評価関数が最大となる解を各軸への駆動指令として出力する方法である。

図5は、EL軸の回転方向と直交する方向に対象物が移動した場合の、この方法による3軸姿勢制御の状況を示すものである。通常の2軸制御では、AZ軸の回転が追いつかず追跡が困難な対象物に対して、角速度が過大とならないようにAZ軸とx-EL軸の動作を配分しながら対象物を追跡している。

3.2 振動搭載環境下での対象物の追跡

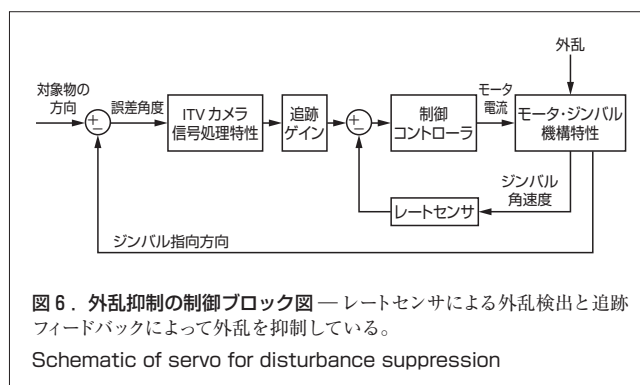
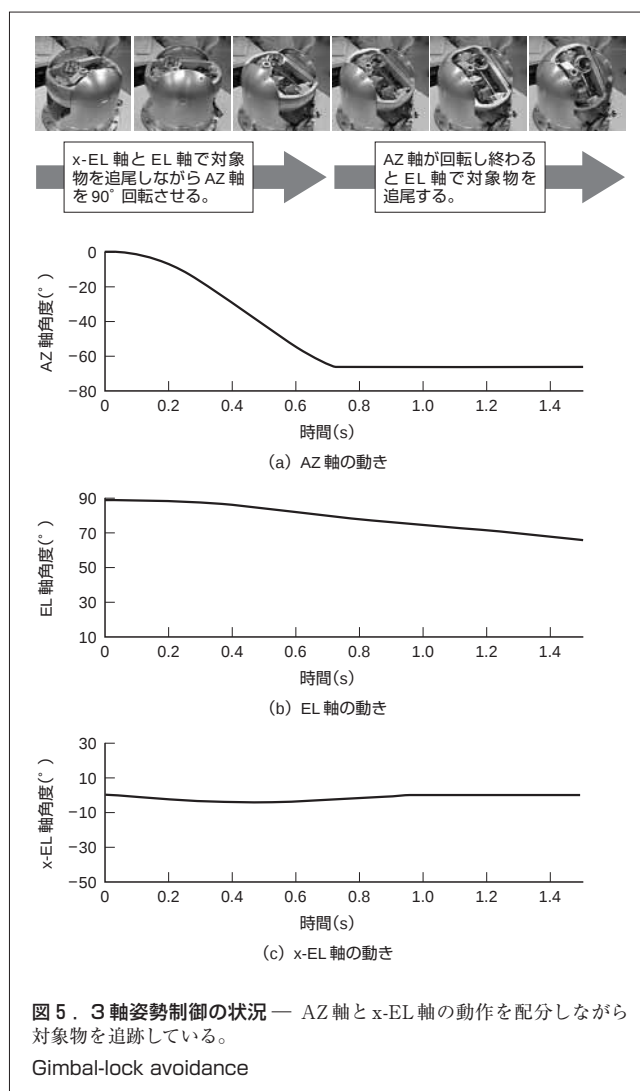
この装置では、車両、船舶又は航空機などへ搭載されることも考慮して、振動環境下での搭載でも安定して対象物を追跡することができるよう、振動や動揺といった外乱に対する処理を行っている。外乱抑制のブロック図を図6に示す。

対象物の画面中心からの位置偏差をゼロにする追跡フィードバックループ(外側のループ)に、各ジンバルの角速度をレートセンサ(角速度計)により検出し、外乱によって発生する角速度を相殺するようにモータを制御する内側のループを加えることによって、外乱抑制性能の向上を図っている。

外乱抑制の一例として、 10° P-P, 1 Hzの正弦波動揺を入力した場合のシミュレーション結果を図7に示す。シミュレーション結果として、 10° P-Pの動揺に対してジンバルの振れ角は 0.08° P-Pに低減している。

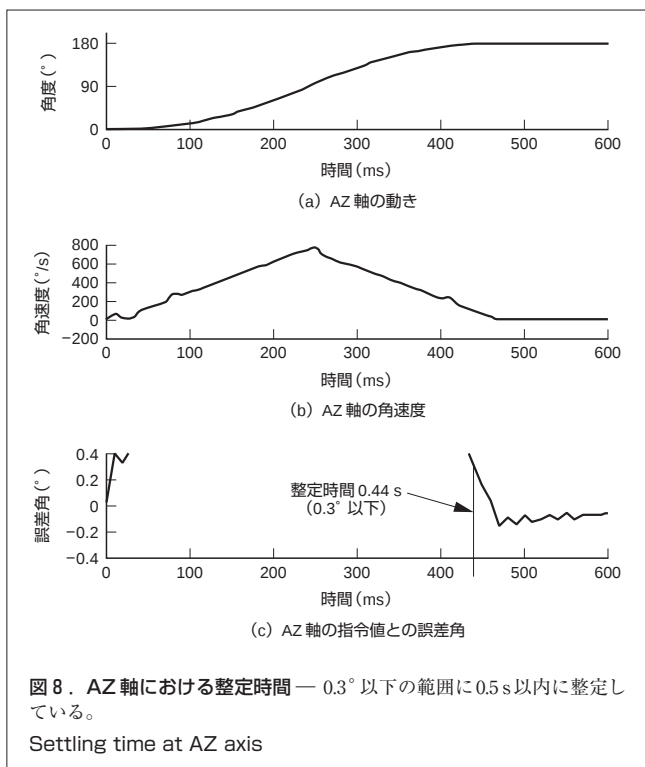
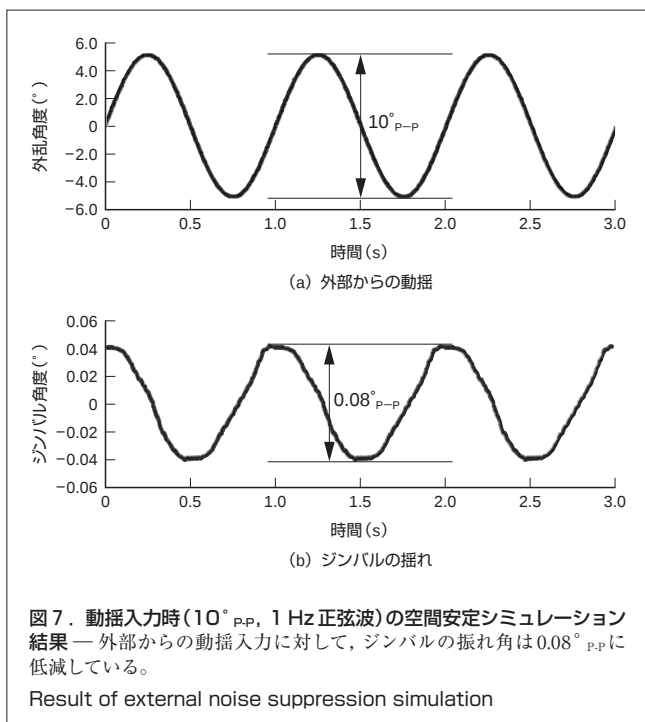
3.3 短時間での対象物指向

監視システムとして幅広い応用を考えた場合、対象物方向への指向時間の短縮化が要求される。このシステムでは、



複数の対象物へ短時間に順次対応できるように、対象物をITVカメラの視野内に捕らえるまでの時間を0.5s以下で設計した。

角度指令による指向は、AZ軸とEL軸の2軸によって行っている。各軸には、駆動用ダイレクトドライブモータと角度検出用レゾルバを備えており、指令値の角度方向に指向す



るよう制御される。慣性モーメントがもっとも大きく、厳しい条件であるAZ軸が0°から180°に指向する場合の整定時間の結果を図8に示す。

整定時間は、ITVカメラの視野の中心±7%である0.3°以内で規定した。各軸ともに、オーバーシュート量も含め0.5s以内に整定している。

4 あとがき

重要な社会インフラに対する監視システムやITSにおける交通情報支援など、ITVカメラによる追跡装置を用いたシステムへの幅広い応用を狙いとしてこの開発を行い、所期の性能を達成することができた。

追跡用3軸旋回装置は、広い追跡範囲と、地上設置型から車両などへの搭載型までの動作環境を考慮した設計となっており、今回の成果をもとに、種々の監視システムへの適用を進めていく。



鳴海 昇 NARUMI Noboru
社会ネットワークインフラ社 小向工場 レーダ・センサ技術部
主務。官公庁向けセンサシステムの開発・設計に従事。
Komukai Operations



荒川 顕一 ARAKAWA Kenichi
社会ネットワークインフラ社 小向工場 レーダ・センサ技術部。
官公庁向けセンサシステムの開発・設計に従事。
Komukai Operations



豊嶋 毅 TOYOSHIMA Takeshi
生産技術センター メカトロニクス開発センター研究主務。
製造設備の要素技術開発に従事。日本ロボット学会会員。
Mechatronics Development Center