

飛翔体の軌跡表示システム「ショットビュー」

～ゴルフボールの3次元位置の可視化～

山内 結子* 加藤 大一郎** 野口 英男* 阿部 一雄** 榎並 和雅*

NHK放送技術研究所 先端制作技術研究部* 記録機構研究部**

〒157 世田谷区砧1-10-11

スポーツなどの生中継において、カメラの映像だけではわかりにくいボールなどの対象物の3次元位置を正確に伝えるために、三角測量の原理を用いて軌跡表示システム「ショットビュー」を開発した。操作する2台のカメラの角度と、カメラ間の距離から位置計算を行なう手法を取っており、システムに必要なカメラ角度の精度を求めて、ゴルフボールの弾道を可視化する実験を行なった。その結果、カメラの設置位置と、表示に制限を加えることにより、ゴルフ中継への適用を可能にしたので報告する。また、放送用にリアルタイムのシステムを構築し、実験機を使用して放送した例について紹介する。

Realtime Locus Indication System "Shot View" for Flying Object -Visualization of Three Dimensional Position of Golf Ball-

Yuko Yamanouchi* Daiichiro Kato** Hideo Noguchi* Kazuo Abe** Kazumasa Enami*

Program Production Technology Research Division*

Recording and Mechanical Engineering Research Division**

NHK Science and Technical Research Laboratories

1-10-11 Kinuta Setagaya-ku Tokyo, 157 Japan

This paper describes a newly developed real time locus indication system for a golf ball in flight. The system, named "Shot View", detects the three dimensional position of the ball according to triangulation principles using the motion angle of two cameras to track the ball, and indicates the locus on a course layout background. The experiments conducted to ascertain its applicability to golf, and the system has been applied to long drives shots at a distant hole during several golf broadcasts.

1. はじめに

TVにおけるスポーツ生中継などでは、あたかもその場にいるかのような迫力ある映像と正確な情報を視聴者に伝えることが要求される。そのため、放送では熟練したカメラマンが選手の表情やボールの動きを追うことによりその番組効果をもたらしている。しかし、カメラで捕えた2次元の映像だけでは、選手やボールなどの対象物の3次元での位置を把握しにくいことも事実である。特にボールなどの飛翔体の3次元位置を正確に視聴者に知覚させることは難しい。そこで、3次元空間での物体の運動を抽出し、その動きを可視化する一手法として、飛翔体の実時間軌跡表示システム「ショットビュー」を開発した。

対象物が、細工を施せるものや大型であれば、GPSを利用した手法⁽¹⁾や、レーザー反射を利用した手法などが考えられる。しかし、ゴルフボールのように対象物が小型であり、加工が加えられない場合、これらの手法は利用できない。そこで、一般によく知られている三角測量の原理を用いて、放送でカメラマンが使用する2台のカメラの角度情報を瞬時に得ることにより飛翔体の3次元位置を計算し、軌跡をリアルタイムに表示することとした。

今回、特にゴルフ中継での使用を目標とし、2台のカメラの角度情報とカメラ間の距離から3次元位置を計算し、そのときに必要な角度の精度を求めて、CGによる表示手法を検討したので報告する。また、放送用にリアルタイム軌跡表示システム「ショットビュー」⁽²⁾を試作して、番組に使用した例を紹介する。

2. 飛翔体軌跡表示システムの測量手法

飛翔体軌跡表示システム「ショットビュー」は、三角測量の原理を応用して飛翔体の3次元位置の計算を行なう。まず、三角測量の原理について簡単に述べる。図1に概念図を示す。

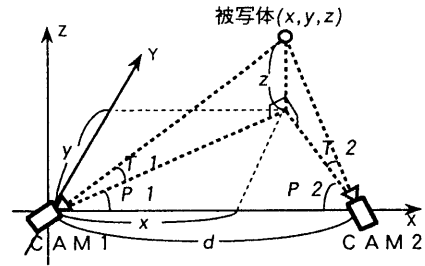


図1 三角測量の原理

2台のカメラ間の距離を d としたとき、被写体に向けたカメラのパン角度（水平方向） $P1$ 、 $P2$ 、チルト角度（垂直方向） $T1$ 、 $T2$ とすると被写体の3次元位置は式1のように表わされる。

$$x = \frac{d \cdot \tan(P2)}{\tan(P1) + \tan(P2)}$$

$$y = x \cdot \tan(P1)$$

$$z = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \tan(T1)$$

式1 三角測量による位置計算式

ショットビューシステムではこの三角測量の原理を応用して被写体を追う2台のカメラの角度をリアルタイムに検出し、被写体の3次元位置を計算するものである。そのとき画面の中心部分に被写体を捕えてフォローするという条件のもとで、操作角度のみから計算を行なっている。つまり、カメラの光軸で被写体を追っていれば、上式を適用できる。しかし、2台のカメラの角度が少しでも上式の角度よりずれていると、実際には光軸同士が交点をもつことはほとんどない。よって今回のシステムにおいて各カメラの角度から交点を求める上式の手法では、交点は近似であり、誤差を含む。そこで、カメラの検出角度の誤差が位置計算にもたらす影響を検討する必要がある。

3. カメラの角度誤差の検討

カメラの角度に誤差があるとき、図2の概念図に示すように被写体の位置計算の結果は幅をもつことになる。

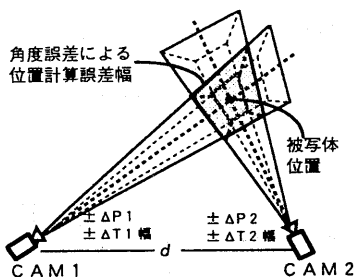


図2 カメラ角度誤差と位置計算の関係

これを水平方向について限定して、2台のカメラがそれぞれ $\Delta P1$ 、 $\Delta P2$ の角度誤差をもっているとき、求めた位置の誤差 ΔG は式1から次式のように求められる。

$$x' = \frac{d \cdot \tan(P2 \pm \Delta P2)}{\tan(P1 \pm \Delta P1) + \tan(P2 \pm \Delta P2)}$$

$$y' = x' \cdot \tan(P1 \pm \Delta P1)$$

$$\Delta G = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2}$$

式2 角度誤差含む時の位置計算誤差

今回、飛翔体のなかでも、特にゴルフボールの軌跡を表示するためのシステムの開発を目的としているので、ゴルフ中継で使用するカメラについて式2の誤差を検討する。ゴルフ中継で使用するカメラレンズは、平均して水平画角2度程度を使用している。そこで、画面中央1/2程度に収めることができると仮定して、カメラの角度誤差が ± 0.5 度の場合の位置の誤差を図3に示す。

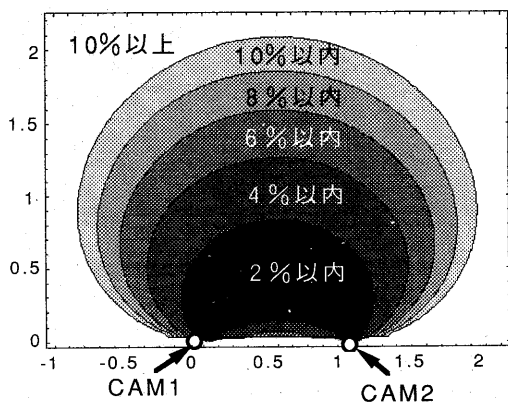


図3 角度誤差 ± 0.5 度での位置計算誤差

カメラ間の距離を1として、位置の誤差を2%以内のエリア、4%以内のエリアのように誤差の範囲を等高線で表わしている。三角測量の計算では2頂点から被写体方向の内角の和が0度、180度では、当然のことながら解が得られない。また、その近辺では位置の誤差も大きいことがわかる。

4. カメラマンによる実験

角度誤差の検討結果を踏まえて、2台のカメラが実際にゴルフボールを追った場合の軌跡表示実験を行った。図4に実験条件を示す。カメラマンにはボールを画面の中心付近に捕える要望を伝えて実験を行った。

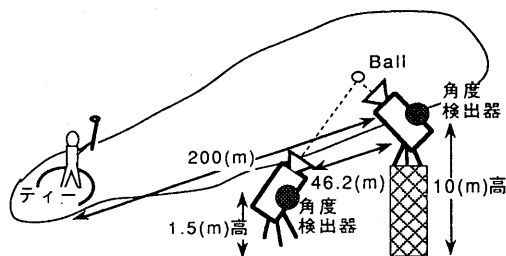


図4 ゴルフボール軌跡表示実験構成

実験の結果、逆光などの問題がなければ、カメラマンにとってゴルフボールを追うことは高い確率で可能であった。2台のカメラの角度を検出してボールの軌跡表示を行ない、図5に示すような結果となった。

この図から、ティーショット付近では実際の弾道と軌跡表示は異なっていたが、後半は軌跡表示が実際と一致していた。これは、ティーショット付近ではボールのスピードが早く、カメラマンも静止状態から急激にカメラを動かすために、ボールの位置は画面の中心からはずれやすく、後半はボールのスピードが衰え、カメラマンが余裕で振っていることを示している。つまり、ティーショット付近では、角度の誤差が大きくなり、位置計算の誤差が大きくなっていることを示している。

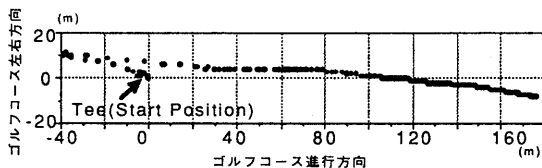


図5 軌跡表示結果

また、ティーショット付近では図3で示すように角度誤差が位置計算に影響する度合いが大きいエリアであり、落下地点は影響しにくいエリアにある。軌跡を表示する際には図3の誤差の少ない地点にボールとカメラの位置関係があることが理想であるが、カメラの設置位置には制限があり、ボールの移動範囲は広範囲であるためどの地点でも同条件にすることは不可能である。そこで、放送では着地点で最も正確な位置表示を行なうために、ボールの着地点で角度誤差の影響が少なくなるカメラ位置を最適として、カメラを設置する場所を決定することとした。

5. 表示手法

最終的にはTV画面上にボールの軌跡表示を行なうことから、表示エリアの大きさに対して、ボールの位置の誤差が表示に影響する割合を考慮する必要がある。ボールの飛距離に合ったコース図面を軌跡表示の背景としてTV画面を構成するので、放送で使用した例で検討する。放送では、350m程度のコース図面を画面垂直方向に配していることから、距離1mは、画面の1~2画素程度に対応している。

図4の実験の条件より、カメラ間の距離が約50m離れているので、図4の2%以内の位置の誤差の範囲のところではボールの位置は1m以内の誤差であり、表示への影響は少ない。その他の範囲では誤差が大きくなるに連れて表示上に影響する。

そこで図3について、20~40タップの移動平均を行ない、不適切な位置の表示をカットすることで、図6のように表示することができた。この結果、カメラの動きがスムーズでないときの角

度誤差を吸収して、軌跡表示を滑らかにすることが可能になった。これらの機能を追加することにより、放送で適用することができる。

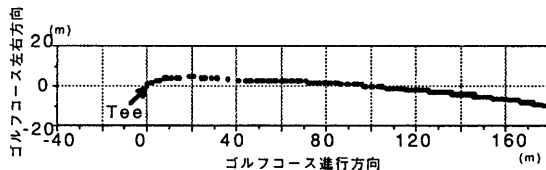


図6 40タップの移動平均とカット機能をいれた軌跡表示結果

6. 放送用のシステム構成

ショットビューの全体構成を図7に示す。角度検出部はジャイロセンサーとA/D変換ボックスで構成され、検出したカメラの角速度を中継車にある位置計算部にシリアル伝送する。三角測量の原理に基づき3次元位置を計算し、軌跡表示部で軌跡と飛距離をリアルタイムに表示している。

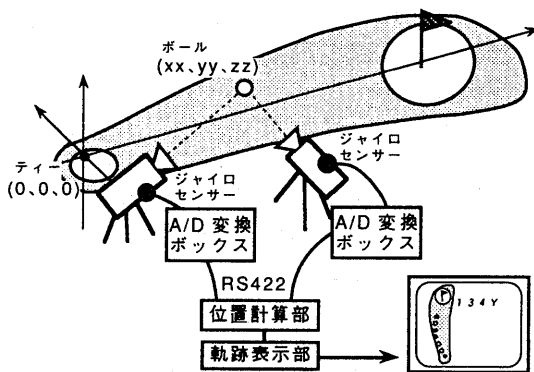


図7 放送用に試作したシステム構成

(1) 角度検出部

スポーツ中継に使用するために、写真1のように小型のジャイロセンサーを中継カメラに簡易に取付けている。1台のカメラに2個のジャイロセンサーを取付け、パン方向とチルト方向の角速度をアナログ電圧で検出している。位置計算部まで

500m程度長距離伝送するためにA/D変換を行ない、TVのフィールド(1/60秒)単位にRS422方式で伝送している。

ジャイロセンサーを用いた理由としては、中継現場でその場で取付け加工が可能であり、角度センサーの精度も0.2度以下程度に押さえられていることから選択している。しかしながら、ジャイロセンサーは、長時間の使用で電圧のオフセット値が変化していく現象があるため、運用上は、定期的にオフセット校正を行ない、問題なく動作した。

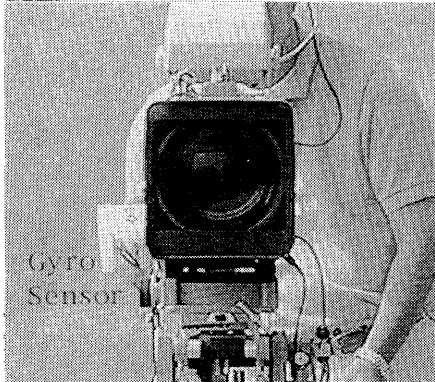


写真1 カメラに取付けたジャイロセンサー

(2) 位置計算部

中継車に設置されたノート型パソコンで位置計算を行なっている。角度検出部と同じ同期で駆動し、角速度データを積分してパン、チルト角度を求め、ボールの3次元位置を三角測量の原理に基づき計算し、フレーム単位(1/30秒)で軌跡表示部に転送している。

(3) 軌跡表示部

表示用パソコンで、3次元位置データに基づき、軌跡と飛距離の表示を即時に行なう。機能としては、前述の移動平均のタップ数の設定、起りえないデータのカット機能の他に、表示位置の設定、表示サイズの拡大縮小などを備えている。背景のゴルフコースの静止画については別系統で作成し、後で合成している。

7. ゴルフ中継番組への適用

94年6月4、5日のNHKの放送で、日本プロシニアゴルフ選手権の18番ホールティーショットで初めてショットビューを使用した。打球のコースをカメラで表現するのは難しい場面であり、写真2に示すようにリアルタイムに軌跡が描かれていくショットビューの表示は非常に効果的であり、視聴者にわかりやすい番組となった。

同年7月2、3日の放送では、フィランスロビーゴルフトーナメントの18番ホールティーショットで使用した。写真3のように、表示を実線から点表示に改良し、見やすいものとなった。また、リアルタイムに軌跡と飛距離を表示するだけでなく、ボールの着地点からの残距離の表示も行なった。

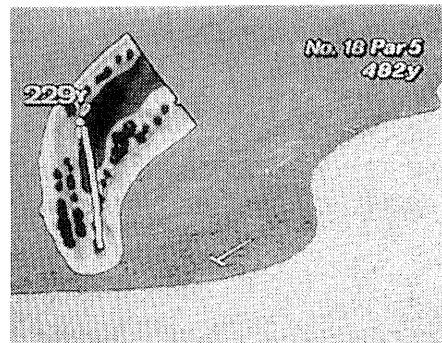


写真2 日本プロシニア選手権
(94年6月3、4日)



写真3 フィランスロビーゴルフトーナメント
(94年7月2、3日)

また、94年9月29日～10月2日の日本オープンゴルフ選手権でもショットビューを使用した。今年度は実用機を製作し、95年6月3、4日の日本プロシニアゴルフ選手権から使用している。

8. おわりに

三角測量法により飛翔体の3次元位置を計測し、軌跡を表示する「ショットビュー」を開発し、ゴルフ放送に適用し、新しい番組効果をもたらした。特に今回は、カメラマンが操作するカメラの角度情報のみを利用して計算することから、カメラの角度の誤差が位置計算に与える影響を検討し、ボールの飛行範囲、カメラの設置位置を考慮し、表示手法を改良した結果、放送で使用可能となった。

放送ではゴルフコースの俯瞰図で軌跡表示を行なったが、3次元位置を求めているので、高さ方向の表示や、3次元CG表示も可能である。また、2台のカメラで被写体を追うだけで3次元位置を求められることから、スキージャンプなど他のスポーツ番組への応用も考えられる。

今後は三角測量法の角度誤差の影響を軽減するために、画像認識で角度補正する手法を検討していきたい。

謝辞

本システムを構築するにあたりご協力頂いた、(株)NHKテクニカルサービス、(株)NHKコンピュータサービス、(株)テクノネットに深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 緒方他、1992年 TV学会技術報告
(vol.16, No14, pp25-29)
- (2) 山内他、1994年 信学会 秋季全国大会 D-258