

ギター演奏支援のための構造特徴追跡を利用したマーカレス AR 表示

元川 洋一[†] 齋藤 英雄[†]

[†] 慶應義塾大学大学院 理工学研究科

ギターの演奏は複雑で慣れない指使いが必要となるため、初心者にとって非常に難しい。本稿では、拡張現実感技術を用いることによってギター演奏を支援するシステムについて紹介し、システムを実現するための、ギターの構造を効率的に利用することによるギターの追跡手法を提案する。本手法はネック部に広範囲に存在する特徴を利用するため、オクルージョンに強く、高精度な位置合わせが可能である。また、マーカを利用しないため、前準備に手間がかからず、マーカが物理的に演奏の妨げになることもないといった利点がある。

Markerless AR Display Using Structural Feature Tracking for Supporting Guitar Play

Yoichi Motokawa[†], Hideo Saito[†]

[†] Graduate School of Science and Technology, Keio University

Playing the guitar is very difficult for beginners because the complex and unfamiliar hand positions is required. In this article, we introduce a support system for guitar playing using augmented reality, and we propose the method to realize the system by using the structure of the guitar effectively. The system can track the guitar movement even when a part of the guitar is occluded and the visual aid information can be projected at the proper position with high accuracy because our method tracks the feature existing wide range of the neck part of the guitar. Furthermore, we don't need to attach the visual marker on the guitar, so there are no obstacle to play the guitar and the preparation required beforehand is very easy.

1 はじめに

楽器の演奏は初心者にとって非常に難しいために、演奏できるようになるまでには大きな苦勞を要する。そのような背景から、ユーザの楽器演奏を支援するようなシステムのニーズがある。

初心者の楽器演奏を支援する手段の一つに、曲にあわせて押すべきキーを光らせて教えてくれるキーボード [1] や、弦の部分に光るスイッチに置き換えることで押さえ方の提示を可能にしたギター [2] などのように、楽器に直接的にシステムを搭載し、楽器上への支援情報を表示可能にする方法が考えられる。

また、演奏支援のための別のアプローチとして、近年、拡張現実感 (AR) の技術を利用したシステムが提案されている。樋川らはピアノの演奏学習の一つの方

法として、手本映像をプロジェクターにより鍵盤上に投射する方法を提案している [3]。AR の技術を演奏支援に利用する利点は、PC のディスプレイやプロジェクタを通して演奏支援情報の重畳表示を行うため、見本となる手の動きなどの、より直感的な情報を表示することができるということである。また、本物の楽器をそのまま利用できるため、楽器を弾くことに対する現実感も損なわれにくいといった利点もある。また著者らはギター演奏を対象とした、AR による支援システムを提案している [4]。著者らのシステムでは、CG で作成された手のモデルなどを PC のディスプレイを通してギター上に重ね合わせて表示することで、弦の押さえ方を演奏者に直感的に教えることができる。ギター演奏においては特に複雑で慣れない指使いが必要

となるために、多様な表示による支援が可能な AR 技術が有効であると考えられる。また、ギター の構造上の問題からも、実際の弦の構造を変えずにそのまま使用できるという点で AR は適しているといえる。

提案システムを実現する上で重要な課題となるのは、仮想的な物体である演奏支援情報をギター上に正確に位置合わせをして投影することである。著者らは AR によるギター演奏支援を実現するための、正方形のマーカと自然特徴をハイブリッドで用いることによる安定な位置合わせ手法を提案している。しかし、マーカを貼り付ける手法ではマーカの存在が物理的に演奏の妨げとなることや、マーカの貼り付け・メンテナンスに手間がかかること、ギターとマーカ間の相対的な位置関係の計測が困難であること、またマーカがオクルージョンに弱いことなどの問題があった。そこで本稿で新たに、一般的なギター の構造に特有の特徴を検出することによる、マーカレスで AR 表示可能な手法を提案する。本手法では事前にマーカを貼り付ける必要がないため、ユーザが行う前準備が非常に簡単であり、手持ちのギターで手軽にシステムを利用することができる。また、ギターの広範囲に存在する特徴を利用するため、高精度な位置合わせが可能であり、オクルージョンに強いといった利点もある。

本稿では、まず著者らが提案している、AR によるギター演奏支援システムの概要について記述する。その後、新たに提案する、マーカレスでの AR 表示手法について記述する。最後に、本手法を用いた位置合わせ実験について記述する。

2 AR によるギター演奏支援

ここでは、提案システムの概要を説明する。図 1 にシステムの概略図を示す。提案システムは PC に接続された 1 台のディスプレイと 1 台の Web カメラから構成されている。

ユーザはギターを持ち、ディスプレイの前に置かれた Web カメラの前に座る。するとディスプレイには、ちょうど鏡を見ているかのように、ギターを持った自分の姿が映し出される。そして、ディスプレイ中のギターの上には、CG で作られた手や線などの、ユーザのギター演奏を支援するための情報が重ね合わせて表示される。ユーザは、表示された情報と照らし合わせながら自分の手を動かすことで、直感的に弦を押さえる

ることができる。

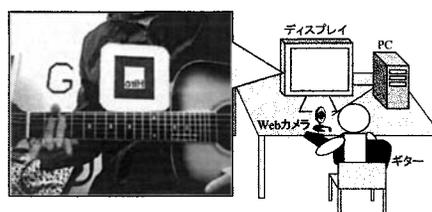


図 1: AR によるギターの演奏支援システム

ここで、著者らのこれまでのシステムでは、ギター の動きを追跡するために、ギターに正方形マーカを取り付けるということが必須であった。しかし、ギターはその構造上、マーカを貼り付ける場所に制限があり、マーカの貼り付けに手間がかかることや、マーカを張り付け替える度に困難なマーカとギター間の位置関係の計測が必要であったこと、またマーカが物理的に演奏の妨げになるといった問題があった。そこで、そういった問題を解決するために著者らが新たに提案する、マーカを用いない AR 表示の方法を次に述べる。

3 マーカレス AR 表示システム

本手法では、マーカを使用しない代わりに、ギターに特有の構造を効率的に利用し、高精度な位置合わせを実現する。さまざまなギターに対して本手法を適用可能にするために、多くのギターに共通の特徴である次の 2 つの特徴を主に利用する (図 2)。なお、演奏者が握る板の部分全体をネック、ネック上にある指で押さえる黒い板の部分を指板と呼ぶ。

- フレット：ギター のネック上に打ち込まれた棒状の金属。
- ポジションマーク：フレット番号を直感的に知るために数フレット間隔で配置される目印。本手法では、ネック部中央に一直線上に並んでいるもののみを用いる。

フレットの間隔や数、ポジションマークの位置や数はギターによって異なるため、事前にギター の情報をシステムに登録しておく必要がある。そして登録されたギター情報をもとに、ギター の追跡処理を行い、演奏支援情報の表示を行う、という構成になっている。



図 2: ギターの自然特徴



図 4: ギター構造の認識

4 ギター登録処理（モデルの作成）

本システムでは、あるギターをはじめて使用する時には一度だけその情報をシステムに登録する必要があるが、その際にフレットやポジションマークの検出を自動化することでユーザにかかる負担を軽減しているため、ユーザは非常に手軽に自分の持っているギターで演奏支援システムを利用できる。なお、本システムにおいてギター構造を登録ということは、そのギターのフレットや弦、ポジションマークの位置情報を持つモデルを作成するということと等価である。

ギター構造の登録では、ユーザの手動によるギターのスケールの測定と、画像処理によるギター構造の認識によって登録が行われる。

はじめに、ユーザが手動で3箇所を測り、PCに入力する。その後、Webカメラによってギターの撮影を開始する（このとき、ギターのネック部にオクルージョンが発生しないようにする）。すると、図4左のようなウィンドウが立ち上がり、ウィンドウ左上部の数字が0からカウントアップされていく。そしてカウントが10になったら処理が終了し、図4右のような解析結果が表示される。フレットやポジションマークが漏れなく正しく検出されていることが確認されたらギターの登録は終わりであり、以降そのギターを本システムにおいて使用することが可能となる。



図 3: 測定箇所

ギター撮影時には、システム内部で以下のような処理が行われている。

1. 画像処理により、フレットの数・位置やポジシ

ョンマークの数・位置を計算

2. 1で得られた情報と、手動で測定したスケールの情報からギターのモデルを作成する。
3. 2で作成されたモデルの妥当性を評価する。妥当であると評価されたらカウントアップする。
4. 1~3を数フレームに渡って繰り返し、カウントが10になったら、その10回の中からフレット数、ポジションマーク数が最も多いときのモデルを最終的に正しいものとする。

ここで、処理を10回繰り返しているのは、フレットやポジションマークの検出漏れの可能性を軽減するためである。なお、ポジションマークやフレットの検出方法に関しては5.1や5.2で説明する手法と同じものである。またモデルの妥当性は、そのモデルを画像中に投影した際の、画像中のギターとの重なり具合によって評価する。

5 AR表示処理

演奏支援情報を正しい位置にAR表示するためには、ギターの位置・姿勢を正確に推定する必要がある。本手法ではギターの位置・姿勢を算出するために、平面射影行列 H から位置・姿勢を得る手法 [5, 6] を利用する。平面射影行列を算出するための特徴点として、フレットの端点を利用する。よって、画像処理の目標はフレットの端点を検出することであり、検出された端点が何番目のフレットのものであるかを正確に識別する必要がある。ここで、原理的には4点以上の特徴点が検出できれば平面射影行列を算出することが可能であるが、精度向上のためにはできるだけ多くのフレットが検出されることが望ましい。

次にAR表示処理の流れを述べる。初めに、画像からポジションマークを検出し、それぞれのマークに番号付けを行う。そして、検出されたポジションマーク

の位置情報や、登録処理で用意されたギターモデルの情報を利用して、フレットの検出とフレット番号を割り当てを行う。得られた情報をもとに、ギターの位置・姿勢を算出し、AR表示を行う。以降でそれぞれの処理について詳しく述べる。

5.1 ポジションマークの検出

ポジションマークを検出する過程を図5に示す。はじめに、画像全体からギターの存在するおおよその位置を知るために、Hough変換を使ってネック部の外枠や弦などの、長い直線が存在する範囲を抽出し、その範囲にマークが存在すると仮定する。次に、しきい値処理によって2値化を行い指板領域とマークやフレット領域に分ける。このとき、自動で適切なしきい値を決定するため、2値化前のグレースケール画像においてヒストグラムを作成しておき、最も大きい山の部分が指板領域であるとしきい値を決定する。そして、2値化された入力画像にため・細め処理を繰り返すことで、ネック部の弦やフレットの線を除去した画像を作る。その後ラベリングを行い、各ラベルの面積・位置関係をもとに、各マークを特定する。

以上のような処理を行うのは初期フレーム（追跡を開始する初めのフレーム）のみであり、2フレーム目以降は、前フレームで検出されたマークの近傍をテンプレートマッチングによって追跡する。



図5: ポジションマークの検出

5.2 フレットの検出

5.1で得たしきい値によって得られた2値画像を用いてフレットを検出する。フレットは画像中の白画素として表れていると仮定し、次の処理を行う。

まず、すでに検出済みのポジションマーク上を通るように直線を引く。同時に、その直線の上下数pixel離れた位置にも同様に直線を引く(図6左)。次に、それぞれの直線上で白画素を探索し、フレットの候補点を選択する(図6中央)。そして、それぞれの直線から1点ずつを対応付け、対応点間の線分上を探索し、白画素数の割合が一定以上存在した線分を通る直線上にフレットが存在するものと決定する(図6右)。



図6: フレット線の検出

次に、フレットの端点を抽出するために、得られた直線上で線幅を計算していく。そして、線幅が突然大きく変化する場所をフレットの端点として保存する(図7)。

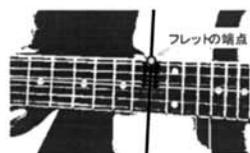


図7: フレットの端点検出

5.3 フレット番号の割り当て

フレット番号は、フレットと検出されたポジションマークとの位置関係から決定する。図のように、マークによって複数の区間に分け、それぞれの区間ごとに、割り当てられる可能性のあるフレット番号の中から最もギターモデルがフィッティングするような場合の組み合わせを選ぶことで番号付けを行う。

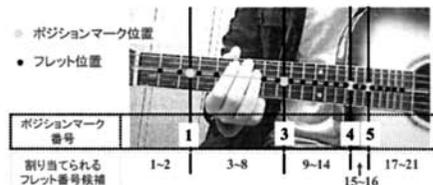


図8: フレット番号の割り当て

5.4 ギターの位置・姿勢の算出

これまで得られたフレットの端点の画像座標と、ギターモデル上の点との対応関係から平面射影行列 \mathbf{H} を算出する。 \mathbf{H} は、内部パラメータ \mathbf{A} 、回転行列の成分 r_i 、並進ベクトル t で構成される。これは、射影行列 \mathbf{P} の r_3 成分がない場合と等しい。

$$\mathbf{P} = \mathbf{A}[\mathbf{R}|t] = \mathbf{A}[r_1 r_2 r_3 t] \quad (1)$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{A}[r_1 r_2 t] \quad (2)$$

\mathbf{H} から全ての位置・姿勢パラメータを求めるために、 r_1 、 r_2 の2つの回転行列の成分の外積を用いることで残りの回転行列の成分を補間する。

$$\mathbf{R} = [r_1 r_2 r_1 \times r_2] \quad (3)$$

以上の処理により、平面射影行列 \mathbf{H} からギターの位置・姿勢パラメータを算出することができ、演奏支援情報を AR 表示することが可能となる。

6 実験と検討

次のような実験環境において、本手法による位置合わせ精度を調べるための実験を行った。

- CPU : Pentium4 2.93GHz
- メモリ : 2GB
- 画像サイズ : 640 × 480

ギターを様々な位置・角度に動かす様子を撮影した動画画像列において本手法を適用し、本手法による位置合わせについて検討する。実験には、フレット数 21、マーク数 6、ネック長 340mm のアコースティックギターを用いた。本手法の精度を調べるためにギターのネック部のモデルを投影した結果の一部を図 9 に、手のモデルを表示した結果を図 10 に示す。ギターの移動や角度に伴い、適切な位置にギターのモデルや手の CG が投影されていることがわかる。また、ユーザの手によりネック部にオクルージョンが発生した場合や、ギターの一部が画面から外れた場合でも、正確に位置合わせが行われている。これは、一部のフレットが隠れても、他の見えている多数のフレットを正しく検出することができ、またそれらのフレットに正しく番号付けが行われているためである。

なお、処理速度は表示する支援情報量によって変化するが、ギターの位置・姿勢算出のみでは 0.04~0.06 秒 (初期フレームのみ 0.15~0.3 秒) 程度であり、オ

ンラインで使用可能な程度の高速な処理が実現できている。



図 9: 位置合わせ結果



図 10: CG の手の表示

次に、我々が従来使用していた、マーカとギターのエッジをハイブリッドで使用する手法との比較をするために、150 フレームの同一の画像列に対して、本手法と従来手法とで投影の成功率を調べた。ここで、投影の成功率は、ギターのモデルをフレットと弦で複数のモデルに分割したときの、全てのモデル数に占める正確に投影されたモデル数の割合として定義する。例えば、6 弦 20 フレットのギターは 120 のモデルに分割することができ、そのうち 60 のモデルが正確に投影されているとすれば成功率は 50% である。このとき、

分割されたそれぞれのモデルの投影が成功かどうかは目視で判断するが、そのときの判断基準として、画像中の各弦位置の上下に弦間隔の1/4程度の幅をとってこれを正解範囲とし、正解範囲の中に対応する投影モデルの3/4以上が存在するような場合に、そのモデルは正しく投影されている、と判断した。成功率の結果を表1に、また、ギターのモデルを投影した結果画像の一部を図11にそれぞれ示す。

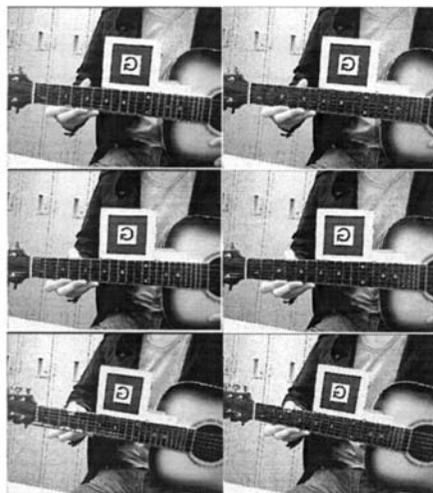
表 1: 投影成功率の比較

	平均投影成功率 (%)	測定不能フレーム数 (フレーム)
従来手法	84.2	0
本手法	97.0	1

表1のように、1フレームだけギターの追跡に失敗して位置・姿勢が算出できずに投影成功率が測定不能に終わったフレームがあったが、全体的には本手法は従来手法に比べて投影精度が高かった。また、図11にも表されているように、従来手法では位置ずれが発生しているような場合でも、本手法では正確に位置合わせがなされている場合が存在することがわかる。これは、本手法で位置合わせに利用しているネックの範囲が従来手法で利用していた正方形マーカ以上に広いために、従来手法よりも広い範囲で精度を維持できることが原因であると考えられる。また、ギターにマーカを貼り付ける場合にはマーカを貼り付けた位置からギターまでの相対的な位置関係の測定が必要であるが、3次元的に厳密な測定をすることは非常に困難なために誤差が発生してしまい、それが最終的な投影誤差に影響しているおそれがある。これに対し、本手法ではユーザが手動で計測する箇所はあいまいさのない単純なものに限られているため、最終的な投影誤差として影響が出ることはない。これも本手法が高精度である理由の1つである。

7 おわりに

本稿では、ARによるギター演奏支援のための、ギターの構造特徴を効果的に利用することによる位置合わせ手法を提案した。本手法では、マーカを貼り付ける必要がないために、演奏の妨げになるものが存在せず、マーカの貼り付けやメンテナンスの手間もかからない。さらに、ギターの構造を自動で認識できるために、事前の準備においてユーザの手間を最小限に抑えることができる。実験により、著者らがこれまでに提案していたマーカとギターのエッジを併用した手法と



(a) 従来手法 (b) 本手法

図 11: 従来手法との比較

同等以上の精度が得られることが確認できた。

参考文献

- [1] CASIO : 光ナビゲーションキーボード, <http://casio.jp/>
- [2] YAMAHA : 光るギター EZ-EG, <http://www.yamaha.co.jp/ez/product/ez-eg/index.php>
- [3] 樋川直人, 大島千佳, 西本一志, 苗村昌秀 : The PHANTOM of the PIANO : 自学自習を妨げないピアノ学習支援システムの提案, インタラクシオン2006論文集, pp69-70 (2006)
- [4] 元川洋一, 斎藤英雄 : 拡張現実表示技術を用いたギターの演奏支援システム, 映像情報メディア学会論文誌, vol.61, No.6, pp.789-796 (2007)
- [5] G.Simon, M.Berger : Reconstructing while registering: a novel approach for markerless augmented reality, Proc. of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp285-294 (2002)
- [6] Y.Uematsu, H.Saito: Vision-based Registration for Augmented Reality with Integration of Arbitrary Multiple Planes, Proc. of the 13th International Conference on Image Analysis and Processing, pp.155-162(2005)