

拡張現実表示技術を用いたギターの演奏支援システム

Support System Using Augmented Reality Display for Use in Teaching the Guitar

元川 洋一[†], 正会員 斎藤 英雄[†]

Yoichi Motokawa[†] and Hideo Saito[†]

Abstract The complex and unfamiliar hand positions required to produce notes on the guitar mean that a beginner player usually finds learning to play a difficult process. We propose a system that makes use of augmented reality. The way to correctly hold the strings is shown by overlaying virtual hand models and lines onto a guitar via a display. By mirroring their hand movements with the image shown on a visual guidance, the player learns the correct hand positions. Accurate registration between the visual guidance and the guitar is a vital part of this system, so we need to track both the hand positions and the position of the guitar. We also propose a method of tracking the guitar by hybridizing a visual marker and the natural features of the guitar. Our tracking method enabled the system to continually display visual guides at the required position.

キーワード：拡張現実感, ギター演奏支援, 位置合わせ

1. ま え が き

ギターは非常に人気のある楽器であるが、その演奏は初心者にとって非常に難しい。その理由の一つとして、ギターの弦を押さえる際に、複雑で不慣れな指使いが必要になる、という点が挙げられる。

そこで、演奏者にギター演奏に必要な指使いを直感的に提示することで初心者のギター演奏を支援するようなシステムが求められる。すでに市販されているギター演奏を支援するための楽器として、「光るギター」¹⁾と呼ばれるものがある。この楽器は、ネック部の弦がキーボード状になっており、押さえるべきキーを曲に合わせて光らせることで、直感的に押さえるべき位置を知ることができる、というものである。しかしこの楽器においては、確かに押さえるべき弦の位置を直感的に理解することができるが、どのような手の形を作ってどの指でどの場所の弦を押さえるべきかという、より具体的な情報は演奏者に提示されない。そのような情報が提示されなければ、初心者はどのように弦を押さえればよいかわからずに戸惑ってしまうであろうと考えられる。また、「光るギター」の構造は、本来のギターの構造とは大きく異なっており、ギターを弾くことの現実感を損なってしまう、といった点においても問題があるとい

える。

近年、拡張現実感（Augmented Reality）と呼ばれる技術が注目されている²⁾。拡張現実感とは、仮想的な物体をあたかも現実空間に存在するかのように重ね合わせて表示する技術である。この技術を用いることにより、ただ現実空間を見ているだけでは得られないような情報を仮想物体の重ね合わせという方法で付加させることができる。この技術を応用させることで、医療や都市デザイン、ナビゲーションシステム、エンターテインメントなど、さまざまな分野での実用化が期待されている。

本研究では、拡張現実感の技術を利用して、弦の押さえ方を示す演奏支援情報をわかりやすく演奏者に提示するギターの演奏支援システムを構築することを目的とする³⁾。提案システムでは、演奏支援情報を仮想的な物体として、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演奏者のギター演奏を支援する。拡張現実感の技術を利用する利点は、ディスプレイを通して演奏支援情報の重畳表示を行うため、弦の押さえ方の見本を示す手のCGを表示する、といったように、ギター演奏において非常に重要な情報を表示することができるということである。さらには、本物のギターをそのまま利用できるため、ギターを弾くことに対する現実感も損なわれないといった利点もある。

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。本研究と類似の研究で、ピアノの鍵盤の上に手本映像を投射することでピアノの学習

2006 年 10 月 31 日受付, 2007 年 2 月 6 日再受付, 2007 年 3 月 27 日採録

[†] 慶應義塾大学大学院 理工学研究科

(〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, TEL 045-563-1141)

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

(3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi 223-8522, Japan)

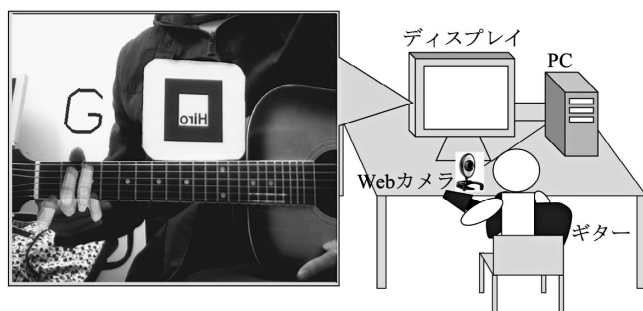


図 1 システムの概要
Outline of proposed system.

を支援する、といったものがあるが⁴⁾、ピアノの場合は楽器が常に静止しているため、位置合わせ問題は極めて単純なものになる。しかし、ギターを演奏するときには楽器の移動が起こるため、ギターの動きを追跡する、といった特別な処理が必要になる。従来研究において、ギターの動きと同時に演奏者の手の位置を、画像処理によるマーカ検出によって追跡し、ギターの演奏動作をキャプチャしようという試みがあるが⁵⁾、この研究ではギターや手の追跡をマーカのみを追跡に頼っているため、マーカのオクルージョンや誤検出等による追跡失敗が大きな問題となり得る。そこで本研究では、マーカと自然特徴をハイブリッドで使用する位置合わせ手法を提案する。本手法では、従来研究と同様に追跡の対象物体となるギターに平面マーカを配置し、画像処理によってマーカを追跡する手法を利用するが、マーカの追跡失敗時には、ギターの自然特徴を追跡する手法に切り替えることで、安定な仮想物体の位置合わせを実現する。

本論文では、まずシステムの概要について詳しく記述し、その後実験によって本手法が提案システムに有効に働いているかを検証する。また、複数の被験者を対象としたシステムの評価実験により、拡張現実感の技術をギター演奏支援システムに応用することの有効性を示す。

2. 提案システム

2.1 システムの概要

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。

具体的には、提案システムは次のような使い方が可能である。

<コードの押さえ方の練習>

ギターには、複数の位置の弦を同時に押さえて弾くことで和音を出す「コード」という奏法がある。コードの演奏に

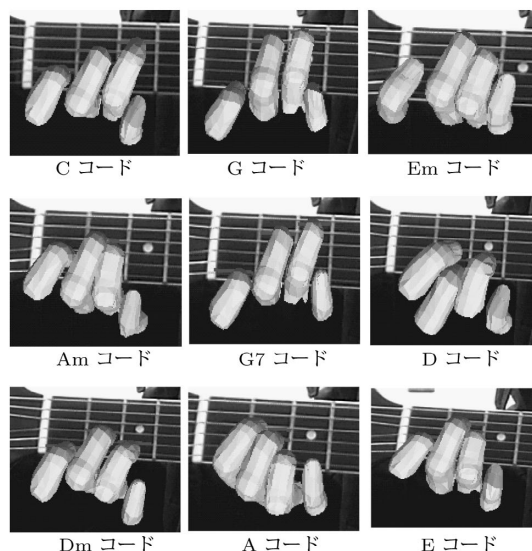


図 2 弦を押さえる手の CG
CG models of the playing hands.

おいては、複数の弦を同時に押さえないといけないために、左手のどの指でどの位置の弦を押さえれば効率よく押さえることができるか、といった情報が重要である。提案システムには図 2 のような、コードの模範的な押さえ方を示す手の CG が数種類用意されている。提案システムでは、これらの手の CG をディスプレイ中のギター上に重ね合わせる事が可能であり、ユーザは練習したいコードを選んで表示された CG の手と重ね合わせるように、自分の手を变形させて弦を押さえることで、直感的にコードの押さえ方を練習することができる。ここで、CG の手の存在によってユーザの手が隠れてしまわないようにするため、CG の手は半透明にすることが可能であり、透明の度合いはユーザが自分の好みに応じて変更することができる。

<曲の演奏の練習>

あらかじめ曲の楽譜の情報をシステムに入力しておくことで、その楽譜情報に合わせた演奏支援情報をギター上に表示させることができる。例として、「大きな古時計」の楽譜情報をシステムに登録しておいた場合の支援情報を図 3 に示す。あらかじめ登録された「大きな古時計」の情報をシステムが参照し、曲の流れに合わせて、ギターのどの場所を押さえて演奏すればよいかという情報が次々と切り替わって表示されていく。ユーザは表示されていく演奏支援情報の通りに手を動かしてギターを弾くだけで、「大きな古時計」を直感的に演奏することが可能となる。また、曲の音源も用意しておけば、流れてくるメロディに合わせてコード進行の部分の演奏支援情報が表示され、コード進行のみを自分で演奏する、といった使い方もできる。

2.2 位置合わせ手法

ここでは、提案システムを実現するために本研究で提案する、ギターと CG の演奏支援情報との位置合わせ手法について説明する。この手法は、マーカと自然特徴をハイブリッドで用いるものであり、両方の特徴を併せ持った安定



図 3 システムの使用例
Use example of our system.

な位置合わせが実現できる。

(1) 位置合わせに必要な情報

提案システムを実現する上で最も重要な課題は、CGの手や線などの演奏支援情報をギター上の正しい位置に表示することである。そしてそのためには、次の三つの情報が必要である。

- 演奏支援情報の 3 次元形状
- Web カメラの内部パラメータ
- Web カメラに対するギターの位置・姿勢

ここで、演奏支援情報である CG の手や線などは、事前にモデル作成ソフト等で作成しておくものとし、同時に 3 次元形状も得られているものとする。また、Web カメラの内部パラメータも既知であるものとする。以上の二つの情報は、システムを使用する上で常に不変であるため、事前に得られてさえすれば再び求める必要はない。しかし、ギターの位置・姿勢に関しては、手に持って演奏するというギターの奏法上、演奏中に変化するものである。よって、システムの使用中に、ギターの位置・姿勢をリアルタイムに求め続ける必要がある。そしてギターの位置・姿勢がフレーム毎に精度良く求まりさえすれば、その情報をもとに CG の演奏支援情報を回転・並進させてレンダリングを行うことで、演奏支援情報を正確な位置に表示することができる。そこで本論文では、位置合わせ手法として、ギターの位置・姿勢を求めることに特に焦点をあて、記述していく。

(2) 手法の流れ

本手法の流れを図 4 に示す。本手法ではギターに正方形のマーカを取り付け、Web カメラによって撮影された画像中で、そのマーカを検出することでギターの位置・姿勢を求める。マーカの検出に失敗した場合には、前フレームで算出されたギターの位置・姿勢の情報とギターの自然特徴の情報を利用することで、現フレームでのギターの位置・姿勢を求める。そして算出されたギターの位置・姿勢の情報と、事前に求めておいた Web カメラの内部パラメータ、演奏支援情報の 3 次元形状の情報を利用し、演奏支援情報

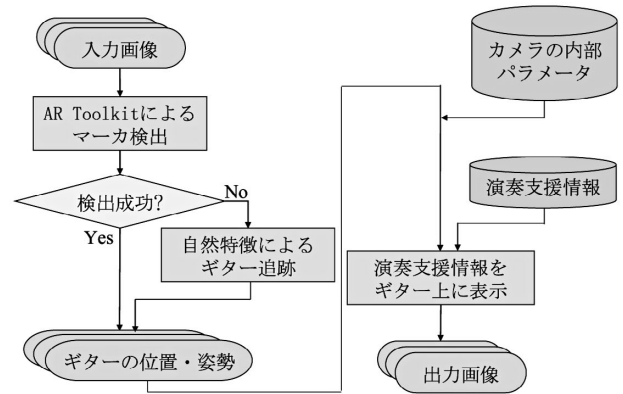


図 4 本手法の流れ
Outline of the proposed method.

をディスプレイ中のギター上の正確な位置に表示する。

(3) マーカ検出を利用したギターの追跡

本手法ではギターの位置・姿勢を求めるために、ギターに取り付けたマーカの検出を利用する。マーカを検出する技術として、AR Toolkit[®] と呼ばれるソフトウェアを利用する。AR Toolkit とは画像処理によって、正方形のマーカをカメラによって撮影された画像中から検出し、マーカの位置と姿勢を高速に精度良く算出するソフトウェアであり、拡張現実感の分野において広く利用されているものである。システムを利用している最中では、フレーム毎に AR Toolkit によってマーカ検出が行われ、マーカ検出が成功した場合には、マーカの位置と姿勢が即座に得られる。即ち、マーカとギターが固定されており、事前にマーカとギターとの相対的な位置関係が計測済みであれば、この処理によってギターの位置と姿勢が得られる。そしてギターの位置・姿勢情報をもとに、CG の演奏支援情報を回転・並進させてレンダリングを行うことで、演奏支援情報をギター上に表示することが可能となる。

(4) マーカ検出失敗の判断

本手法では、マーカ検出が失敗した場合には、ギターの自然特徴を利用した手法に切り替えてギターの位置・姿勢を算出する、という方法を取っている。そのため、マーカ検出が成功したかどうかを正確に判断できるかどうかがシステムの安定性に大きく影響する。マーカの検出失敗の原因としては、以下の 2 通りの場合が考えられる。

● オクルージョンによりマーカの一部が隠れてしまった場合

● マーカではない部分をマーカであると誤認識してしまった場合

一つ目の場合に関しては、マーカの検出が失敗したことを容易に判断できるが、二つ目の場合では、マーカの検出が失敗したことを判断する特別な基準を設ける必要がある。その方法について以下に記述する。

マーカの誤検出の判断基準には、AR Toolkit の出力値であるマーカ位置の変化量を利用する。一般的に、処理速度が速ければ連続するフレームにおいて激しいギターの位置

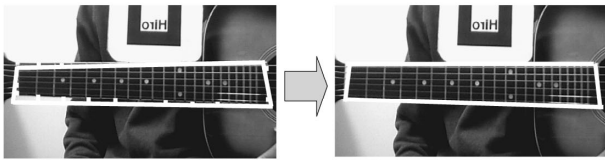


図 5 エッジを利用したギター的位置・姿勢の算出
Estimation of the pose and the position of the guitar using edges.

の変化は起こらないはずである。よって、マーカの検出が成功し続けている場合、連続するフレームにおいてマーカ位置の変化は小さいはずである。しかし、マーカを誤検出した場合には、マーカが本来の場所とは別の場所にあるものと認識してマーカ位置を算出してしまうため、前フレームからの位置の変化量が不自然に大きくなると考えられる。

そこで、マーカ位置を表すパラメータである並進ベクトルの三つのベクトルそれぞれに対して前フレームからの変化量を算出する。あらかじめある閾値を設定しておき、前フレームからの変化量がその閾値以上になったパラメータが検出された場合に「マーカを誤検出した」と判断する。マーカ検出が失敗したと判断された場合には、以降の処理によってギターの位置・姿勢を算出する。

(5) 自然特徴を利用したギターの追跡

マーカ検出失敗時には、ギターに存在する自然特徴を追跡することで、ギターの位置・姿勢を算出する。ここで、自然特徴として、ギターのネック部の外枠のエッジ情報を利用する⁷⁾⁸⁾。また、マーカ検出が失敗したフレームの直前のフレームにおけるギターの位置・姿勢情報を保存しておき、その情報も同時に利用する。

ギターのネック部のエッジを利用したギターの追跡手法の流れを以下に記述する。

まず、前フレームのギターの位置・姿勢情報を利用して、ギターのネック部のエッジの3次元モデルを現フレームの画像上に投影する。もし前フレームからギターが移動していれば、ギターの位置・姿勢も変化するため、エッジのモデルは画像中のギターのネック部の外枠との間にずれ（投影誤差）が発生した形で表示される（図5左）。次に、この投影誤差の大きさを調べるために、投影されたエッジのモデル上に一定間隔でサンプル点を設け、各サンプル点からエッジのモデルと直交する方向に沿って画素の明度変化を調べる。エッジは明度変化が大きい部分に存在すると考えられるので、明度変化が一定の閾値を初めて超えた点を、エッジのモデルとの対応点として認識し、その間の距離を算出する。

この距離をすべてのサンプル点について算出し、それらの自乗和をとったものを投影誤差とする(1)。

$$E = \sum_i \sum_j \Delta(E_i, e_{i,j}) \quad (1)$$

($\Delta(E_i, e_{i,j})$: エッジ E_i と対応点 $e_{i,j}$ 間の距離)

表 1 位置合わせの失敗回数
The failure number of times of registration.

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均
手法 1	5 回	7 回	6 回	7 回	10 回	7.0 回
手法 3	0 回	1 回	1 回	0 回	2 回	0.8 回

この誤差が最小になるときのギターの位置・姿勢が、現フレームでの最適な位置・姿勢であるといえる。そこで、(1)を評価関数として、最急降下法を施し、投影誤差が最小になるときのギターの位置・姿勢を算出する（図5右）。

以上の処理によって得られたギターの位置・姿勢を利用して、演奏支援情報の表示を行うことができる。

3. 位置合わせ実験

3.1 実験の概要

ここでは、マーカと自然特徴を併用するという本手法の有効性を示すために行った位置合わせ実験について記述し、以下の三つの手法の比較・検討を行う。

- 手法 1：マーカのみを利用した位置合わせ
 - 手法 2：自然特徴のみを利用した位置合わせ
 - 手法 3：マーカと自然特徴の両方を利用した位置合わせ
- 本実験で用いた PC のスペックは以下の通りである。
- CPU : Intel Pentium4 Processor 3.2 GHz
 - メモリー : 1024 MB
 - OS : Windows XP

まず、ユーザが実際に提案システムを利用してギターを弾くシーンにおいて、それぞれの手法を用いて 5 回ずつ曲を演奏し、1 曲あたりの位置合わせの失敗回数を調べた。失敗回数とは、位置合わせが失敗してから次に復帰するまでの期間で 1 回とするものであり、その失敗期間が 1 フレームの場合も数フレームに及ぶ場合も、同じ 1 回とカウントした。実験に使用した曲の長さは 53 秒である。手法 1 と手法 3 の実験結果をまとめたものを表 1 に示す。なお、手法 2 を用いた場合は、いずれも最初の約 10 秒以降は位置合わせに失敗し、追跡を継続できなかったため、失敗回数を評価することができなかった。また、手法 1 と手法 3 での 1 回あたりの位置合わせ失敗期間はいずれも 1~3 フレーム程度であった。

次に、ある同一の、ギター移動を含む入力画像列に対して各手法を適用し、出力される位置・姿勢パラメータの数値的变化を調べた。ここで、通常本システムを使用する上でギターの移動は、そのほとんどがユーザがギターを持った左手を上下に動かす動作によって起こる、といった特徴に注目し、ここではそのようなギターの移動に限定して調査を行う。また、調べるパラメータは、ギターの上下方向の並進成分を対象とする。フレーム毎のギターの上下方向の並進成分のパラメータ推移をグラフにしたものを図 6 に示す。この図を見ると、手法 1 では突然不自然にパラメータが変化するフレームがあり、また手法 2 では 34 フレーム付近での急なギター移動に対応できずに（実際はここで

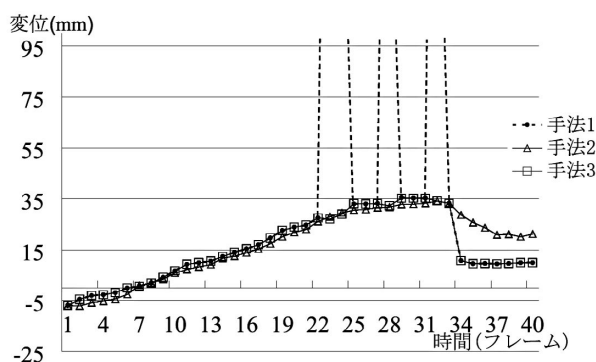


図 6 各手法を用いた場合に出力されたギターの変位
Displacement of the guitar which was output in each method.

1 フレームに 25mm 程度のギターの移動が起こっている), いずれも追跡に失敗しているフレームが存在する. 一方で, 手法 3 ではパラメータ変化が常に安定しており, またギターが急な移動をした場合にも対応できている. 以降で, それぞれの手法に関する検討を行う.

3.2 位置合わせ実験の検討

(1) マーカのみを利用した位置合わせ

AR Toolkit によるマーカ検出は, マーカを検出できる範囲内であり, 誤検出することもないければ, 精度よくギターの位置・姿勢を求めて演奏支援情報を正確な位置に表示することができる, といった利点がある. このことは, 図 7 に示される出力結果例のように, ギターが動いてもそれに合わせて演奏支援情報が正確な位置に表示されている, ということからもうかがえる. しかし, マーカの誤検出やオクルージョンが原因で, 位置合わせに失敗する場合もある. 特にギターにはネック部のフレットや弦などにより, 四角い形状のテクスチャがいくつも形成されるため, ネック部のテクスチャをマーカと誤検出してしまう場合がある. マーカを誤検出した場合の出力結果の例を図 8 に示す. この図においては演奏支援情報がまったく見当違いの位置(丸で囲った部分)に, また見当違いの大きさで表示されていることがわかる. このように, マーカ検出失敗の特徴は, 突然大きく失敗してしまうということであり, この特徴は図 6 における急激なパラメータの変化にも表れている. 今回の実験では, 1 曲あたり平均 7 回のマーカ検出失敗が起こっており, マーカのみを利用したのではシステムとして不安定な部分が残るといえる.

(2) 自然特徴のみを利用した位置合わせ

図 6 より, 自然特徴を利用した位置合わせでは, マーカを利用した場合とは異なり, 前フレーム情報を利用するために, 突然大きく位置合わせに失敗するという事はない. しかし, ギターが突然大きく移動してしまうと位置合わせに失敗してしまい, 一度失敗してしまうと元の状態への復帰も困難である. ここで, 自然特徴のみを利用した場合の追跡可能な移動量を求めるために, 入力画像におけ

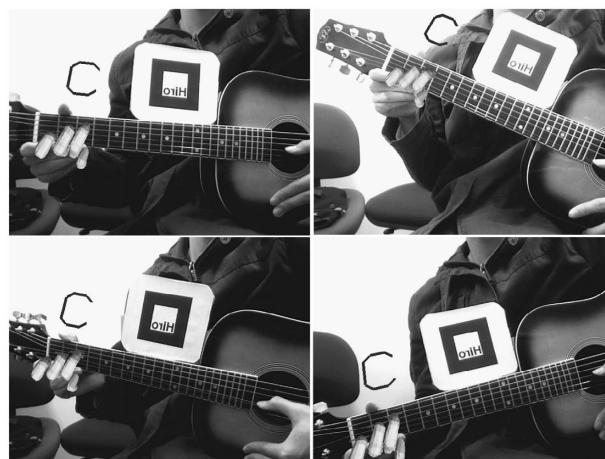
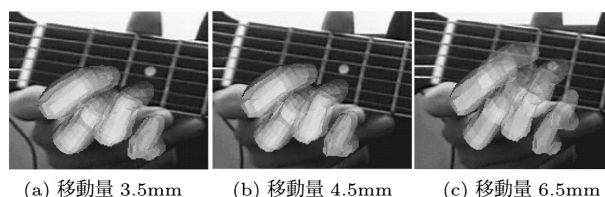


図 7 マーカによる位置合わせ結果
Result of the registration using marker.



図 8 マーカの誤検出例
Example of wrong marker detection.



(a) 移動量 3.5mm (b) 移動量 4.5mm (c) 移動量 6.5mm

図 9 ギター移動の増加に伴う位置合わせ結果
Result of registration with increase of guitar movement.

る 1 フレーム間でのギターの移動量を徐々に増やしていき, 正解値と実測値による位置合わせ結果を比較することで位置合わせが成功する限界の移動量を調査する実験を行った. 実験結果を図 9 に示す. ここでは, マーカの誤検出のない場面での AR Toolkit の出力値を正解値として用い, それによって表示した CG の手と, 自然特徴追跡による位置合わせ結果を表す半透明な CG の手を比較している. 前フレームからの移動量が 3.5mm (左図) と 4.5mm (中央図) の場合では, 二つの CG がほぼ重なり合っており, ギター演奏の上で問題になるほどの位置ずれは発生していないが, 移動量が 6.5mm の場合は, 二つの CG の間に大きく誤差が発生している. このことから, 自然特徴のみを用いた場合に追跡可能なギターの上方向の移動量の限界は, 1 フレームで約 4.5~6.5mm 程度であるといえる.

(3) マーカと自然特徴を利用した位置合わせ

図 6 より, マーカと自然特徴を併用した手法を位置合わせに用いた場合, 突然位置合わせに失敗することなく, また大きな移動に対しても対応できていることがわかる. こ

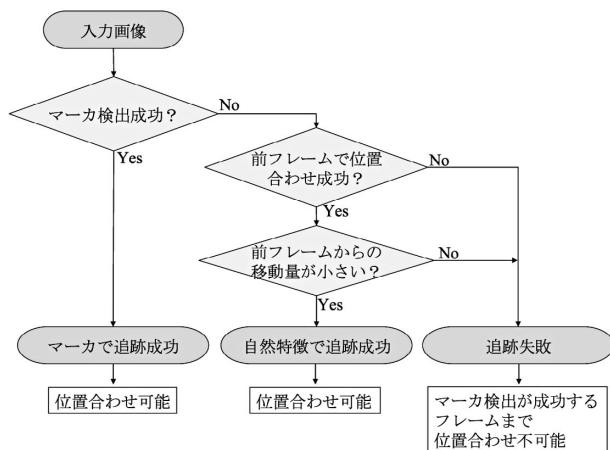


図 10 追跡の状況
Case of the tracking.

れは、AR Toolkit がマーカー検出を突然失敗してしまう場合があるという欠点を、前フレーム情報を利用した自然特徴追跡によって効率よく補うことができているからであると考えられる。本手法で追跡が失敗する場合は、マーカーの検出に失敗し、さらに自然特徴点の追跡にも失敗する、といった場合であるが、実験結果から、1 曲あたり 0.8 回と、ほとんど失敗しないということがわかる。また、失敗した場合でも、マーカー検出に再び成功すれば、追跡失敗状態からの復帰が可能である。ここで、本論文で提案したマーカーと自然特徴のハイブリッド手法の追跡の状況をまとめると次の 3 パターンがあり、これらの関係を表したものが図 10 である。

- マーカーで追跡成功
- 自然特徴で追跡成功
- 追跡失敗

4. システムの評価実験

提案システムの有効性を示すために、8 人の被験者を対象として、以下の二つの実験を行った。

- 他システムとの比較実験
- 使用感の評価実験

ここで、提案システムはギターの初心者を対象としていることから、8 人の被験者にはいずれもギターをほとんど弾いたことのない初心者を選んだ。

4.1 他システムとの比較実験

提案システムの最も大きな特徴は、ギター演奏支援システムに拡張現実感の技術を取り入れる、という点にある。そこでこの実験では、拡張現実感を用いていない他システムと提案システムを比較することで、拡張現実感の技術を取り入れることの有効性を示す。ここで用いた比較システムとは、図 11 のようにコードの押さえ方を表現した図を、ギターの移動にかかわらず常に静止した状態でディスプレイに表示するものである。なお、この図は実際にギター教本に記載されているものを模倣したものである。

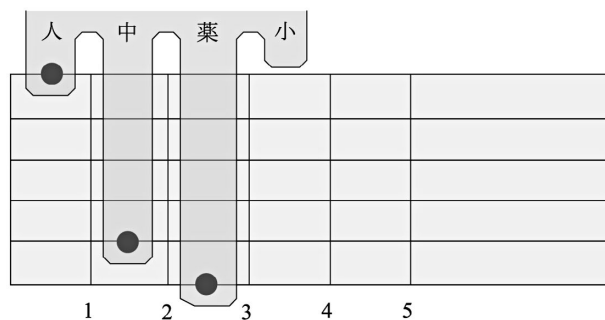


図 11 比較システムの表示画面
Display of the compared system.

表 2 他システムとの比較実験結果
Comparison experiment result with the other system.

	所要時間 (秒)		視線移動 (往復)	
	比較システム	提案システム	比較システム	提案システム
被験者 1	16.4	11.7	4.6	1.3
被験者 2	11.0	8.1	3.4	1.1
被験者 3	11.6	6.6	3.8	1.0
被験者 4	10.1	7.7	4.2	1.6
被験者 5	7.9	7.4	3.0	0.8
被験者 6	11.1	9.0	2.9	1.7
被験者 7	14.2	9.7	3.8	0.4
被験者 8	13.2	11.3	3.8	1.3
平均	12.0	8.9	3.7	1.2

<実験の概要>

G コード、G7 コード、C コード、Em コード、D コード、Dm コード、A コード、Am コード、A7 コードの九つのコードについて、提案システムと比較システムで交互に押さえ方を表示し、被験者が正しく弦を押さえ弾くまでの所要時間と、被験者のディスプレイとギターとの間の視線移動の往復回数を計測した。計測は、1 名の調査員が実験の場に立ち会い、所要時間はストップウォッチによって計測し、視線の往復回数は実際に目で見えてカウントする、という方法で行った。ここで、例えば、片方のシステムで G コードを押さえさせた後、すぐにもう一方のシステムで G コードを押さえさせてしまうと、後のシステムの方では押さえ方に慣れてしまい、押さえるまでの所要時間に影響してしまうと考えられるので、コードはランダム順番で（例えば、提案システムの G コード→比較システムの C コード→提案システムの A コード→比較システムの D コードといった具合に）表示し、最終的にはすべてのコードが提案システム、比較システムでそれぞれ 1 回ずつ表示されるように調整した。

<実験結果>

8 人の被験者の、コードを押さえる平均所要時間と、視線移動の平均往復回数をまとめたものを表 2 に示す。

被験者 5 のみ、比較システムと提案システムではほとんどコードを押さえる際の所要時間に差が見られなかったが、それ以外の 7 人の被験者においては、提案システムの方が明らかに時間が短くなるという結果が得られた。全被験者の平均では 3.1 秒短縮されている。また、視線移動の往復回数も提案システムでは平均 2.5 往復少なくなっており、こ

表 3 使用感のアンケート結果
Questionnaire result of a feeling of use.

質問 1: 鏡状のディスプレイに違和感があるかどうか	
違和感はなく、弦を押さえやすい。	7 人
やや違和感があり、少し支障がある。	1 人
違和感が大きく、弦を押さえづらい。	0 人
質問 2: 処理速度の遅延による違和感があったか	
違和感はなかった。	5 人
少し違和感があったが、許容範囲内であった。	3 人
許容できないほどの違和感があった。	0 人
質問 3: ギターの弾き方が直感的でわかりやすかったか	
直感的でわかりやすい。	8 人
どちらともいえない。	0 人
直感的ではなくわかりづらい。	0 人
質問 4: 提案システムがギター演奏支援に有効であると感じたか	
有効であると感じた。	8 人
どちらともいえない。	0 人
有効ではないと感じた。	0 人

の点からもギターコードを押さえる際の負担が軽減されていることがわかる。さらに、二つのシステムを使って曲に合わせたコード進行を演奏してもらいどちらのシステムが演奏しやすいかと質問したところ、すべての被験者が提案システムの方が演奏しやすいと回答した。これは、比較システムではディスプレイとギターとの間を何回も視線移動を繰り返しているうちに曲が進行してコードが切り替わってしまうのに対し、提案システムは一度にギターと押さえる位置とを参照でき、曲の進行に手がついていきやすいためである。以上のことから、ギター演奏支援システムに拡張現実感の技術を取り入れることの有効性を示すことができたといえる。

4.2 使用感の評価実験

8 人の被験者に対して、提案システムの使用感に関するアンケートを行った。アンケートの項目と結果は表 3 の通りである。

表 3 のように、提案システムの鏡状のディスプレイに違和感を感じた人は 1 人のみであり、またその人でもシステムに慣れれば違和感は問題にならないと回答した。また、本システムでは 640 × 480 の画像サイズで約 15fps の処理速度が実現できているが、遅延については 8 人中 5 名が違和感なしと回答し、他の 3 名も許容範囲内であると回答した。また、すべての人がギターの弾き方が直感的にわかりやすいと感じ、提案システムがギター演奏の支援に有効であると回答した。以上のことから、提案システムの使用感に関しては良好な結果が得られたといえる。

5. 今後の展望（右手の支援について）

ギター演奏が難しい最も大きな原因は、複雑な弦の押さえ方が要求されることであるため、我々は特に弦を押さえる左手の支援を対象として提案システムを構築してきた。しかし、ギターを弾く上では右手でどのように弦を弾くのか、ということも重要な要素である。そこで、今後は右手の支援にも力を入れたいと考えている。現在のところは、次の

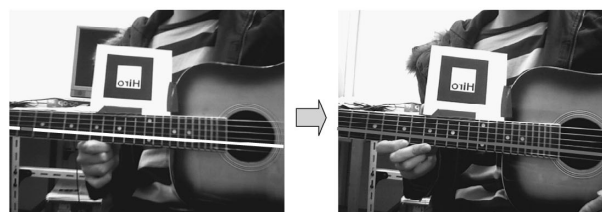


図 12 弾く弦を示す線の表示
Indication of lines showing the strings to play.

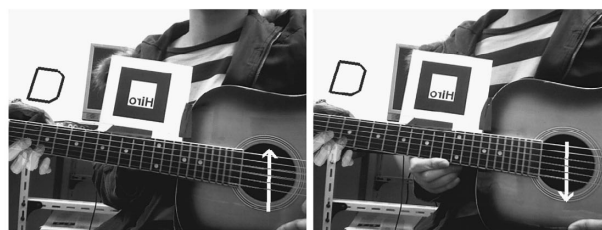


図 13 弦を弾く方向の提示
Indication of a direction to play the string.

ような右手の支援が可能である。

＜弾く弦を示す線の表示＞

図 12 左のように、次に弾くべき弦に CG の線を重ね合わせて表示することができる。また、CG の線を別の色にタイミングよく変化させることで、ユーザに弦を弾くタイミングを提示することが可能である（図 12 右）。ただ、突然弾くタイミングを提示してもユーザは反応しにくいので、事前に弾くタイミングを予告するような工夫が必要であると考えている。

＜弦を弾く方向の提示＞

ギター演奏においては、弦を上下どちらの方向に弾くべきかという情報が必要になる場合がある。例えば、コードの弾き方には上から下へ弾くダウン・ストロークと、下から上へ弾くアップ・ストロークの 2 種類がある。提案システムでは、どちらの方向へ弾くべきかという情報を矢印によって提示することができる（図 13）。

また、現時点でのシステムでは、単音を指弾き（ピックを使わずに 5 本の指を使い分けて弦を弾くこと）で演奏する場合の指使いについては十分に支援することはできない。指弾きをする場合、特にテンポの速い曲を演奏する場合には、効率良く指を使い分けて弾くということが重要になる。よって、指弾きを支援するためには、一音ごとに、どの指で弾くと効率の良い演奏をすることができるか、ということを表示する必要があるといえる。逆に、コードを演奏する場合や、単音でもピックを使って演奏する場合には、本システムにおいて支援が充分可能であると考えられる。

6. む す び

本研究では、拡張現実感の技術を利用してギター演奏に必要な運指方法を PC のディスプレイを通してユーザに提示するギターの演奏支援システムを提案した。

さらに本論文では、提案システムを実現するための、AR

Toolkit によるマーカ認識と、ギターの自然特徴の追跡を併用することによる、リアルタイムで作動する安定した位置合わせ手法を提案し、実験により本手法の正確性や安定性について検証した。

また、複数のギター初心者に対する提案システムの評価実験により、提案システムの有効性を示すことができた。

〔文 献〕

- 1) <http://www.yamaha.co.jp/>
- 2) Ronald T. Azuma: "A Survey of Augmented Reality", In Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6, 4, pp.355-385 (1997)
- 3) 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", インタラクシオン 2006 論文集, pp.177-178 (2006)
- 4) 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, pp.69-70 (2006)
- 5) Ozan Cakmakci and Francois Berard: "An Augmented Reality Based Learning Assistant for Electric Bass Guitar", In Proc. 10th International Conference on Human - Computer Interaction (2003)
- 6) 加藤博一, Mark Billinghurst, 浅野浩一, 橘啓八郎: "マーカ追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション", 日本バーチャルリアリティ学論, 4, 4, pp.607-616 (1999)
- 7) Luca Vacchetti, Vincent Lepetit, Pascal Fua: "Combining Edge and Texture Information for Real-Time Accurate 3D Camera Tracking", In Proc. of the Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2004), pp.48-57 (2004)
- 8) Georg Klein and Tom Drummond: "Sensor Fusion and Occlusion Refinement for Tablet-based AR", In Proc. of the Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2004), pp.38-47 (2004)



もとかわ よういち
元川 洋一 2006 年, 慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在, 慶應義塾大学大学院理工学研究科前期博士課程に在学中。コンピュータビジョン, 特に拡張現実感に関する研究に従事。



さいとう ひでお
斎藤 英雄 1992 年, 慶應義塾大学大学院博士課程修了。同年同大学助手, 1995 年, 専任講師, 2001 年, 助教授, 2006 年, 情報工学科教授。コンピュータビジョン, 画像処理に関する研究に従事。1997~1999 年, 日本学術振興会海外特別研究員として米国カーネギーメロン大学ロボティクス研究所へ留学。2000~2003 年科学技術振興事業団さきがけ 21『情報と知』研究員。博士(工学)。正会員。