

Fingering Simulator : ギター単旋律の運指推定

藤井創太^{†1}, 浜中雅俊^{†2}, 長谷川晶一^{†3}

†1 筑波大学第三学群工学システム学類

†2 筑波大学大学院システム情報工学研究科

†3 電気通信大学知能機械工学科

本稿では、ギターで単旋律を演奏する際の最適な運指経路及び押弦指を推定するシステム *Fingering Simulator* を提案する。本システムの特長は、すべての押弦位置・押弦指からなる運指経路について物理シミュレータ *Springhead2* 上で手のモデルを実際に動かすことで移動距離やトルクを算出し、最適な運指経路を決定する点である。従来の運指経路推定手法の多くは手の移動距離に注目していたのに対し、本手法では押弦指の関節のトルクに注目し最適化を行う。実験の結果、関節のトルクが運指経路の最適化に重要であること、手の大きさによって適切な運指経路が異なることを確認した。

Fingering Simulator : Guitar Fingering Estimation from Monophony.

Souta Fujii^{†1}, Masatoshi Hamanaka^{†2}, Shoichi Hasegawa^{†3}

†1 University of Tsukuba, College of Engineering Systems

†2 University of Tsukuba, Graduate School of Systems and Information Engineering

†3 University of Electro Communications, Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems

This paper describes a *Fingering Simulator* which optimizes guitar fingering of monophony by using physical simulator called *Springhead2*. Unlike most previous guitar fingering optimization systems focusing on moving distances, our method deal with the torque of the finger joints. Experimental results showed that the maximum value of the torque is important for optimization and appropriate fingerings are depending on the size of hand.

1 はじめに

本研究は、初心者が単旋律をギターで演奏する際の支援を目的とし、弦を押さえる手の動きをシミュレーションすることで演奏者に適切な運指を提示するシステム *Fingering Simulator* を構築する。

ギターでの単旋律の演奏は、無計画に演奏してしまうと途中で運指が困難な場所が生じることがある。そこで、初心者は、適切な運指を

見つけるのに試行錯誤が必要となる。なぜかという、ギターは音の高さと押弦位置が1対1に対応しておらず、同じ音高の音であっても複数の押弦位置があり、押さえる指も複数の可能性があるためである。例えばC4の音の押弦位置は2か所あり、押弦に用いる指は、人差し指、中指、薬指、小指の4本とすると2×4通りの押さえ方が考えられる。したがって、単旋律を演奏する場合には、複数の音を順番に押さえて

いくので非常に多くの経路が考えられ、それらの中から最適な経路を見つけるのは容易ではない。

従来、左手首の移動距離が最小となる経路を最適な経路と決定した後、それに合わせて押弦指を決定する手法が提案されていた[1]。その手法は計算量を削減する点で優れていたが、手首の移動距離が少ない経路を最初に選んでしまうと、適切な運指が選択されない場合があった。例えば、ハイポジション(ブリッジに近いフレット間隔のせまい位置)では一般に手首の移動距離が少なくなる反面、指がねじれたりぶつかったりして弾きにくくなることが考えられる。一方、ファジィグラフを用いて左手の移動距離と押弦指の両方を考慮した手法も提案されているが、指の長さの個人差による影響は考慮されてなかった[2]。

これに対し本研究では、実際に手を動かして運指経路を推定することを考える。仮に、すべての経路を演奏者自ら演奏すればその人にとって最適な運指経路は見つけられるが、それは困難である。そこで、実際に物体の動きなどに応じて位置や速度、回転などを計算によって求めることのできる物理シミュレータを用いることにした。物理シミュレータとしては処理が高速で安定であるという特長をもつ Springhead2 を採用した。そして、物理シミュレータ上で手のモデルを構築し、その手のモデルを動かしてすべての経路の運指の負荷や移動距離、接触を計測する。本手法の特長は手のモデルの大きさを変化させることで各個人の指の長さに応じた適切な経路を推定することができる点である。

本稿では以下 2 節で物理シミュレータ Springhead2 上で手のモデルとギターのモデ

ルを構築しそれを実際に動かす方法を説明する。3 節では実験により関節のトルクの最大値が小さい経路が適切であること、手の大きさによって適切な運指経路が異なることを確認する。そして 4 節ではまとめと今後の課題を述べる。

2 手とギターの物理モデルにより運指推定を行う Fingering Simulator

図 1 は運指経路探索部と物理シミュレーション実行部からなる Fingering Simulator の全体像である。運指経路探索部では可能なすべての運指の組み合わせを求める。一方物理シミュレーション実行部では、運指経路探索部で求めた各運指経路に対してシミュレーションを実行し、各経路のトルクや移動距離を算出する。そして、そのトルクや移動距離を用いて運指経路探索部でさらに探索を進める。

2.1 物理シミュレータ Springhead2

物理シミュレータとはコンピュータ上で初期条件を入力すると物理法則に基づき物体の動きをシミュレーションするものである。具体的には、微分方程式を用いて物体の未来の状態を求めることで、現実世界と同様に物体を動かし、トルクや回転、移動距離などを算出することができる。

本研究では物理シミュレータとして Springhead2 を用いる。その理由は凸多面体・直方体・球での接触判定、跳ね返り係数、静止摩擦、動摩擦の接触力計算、様々な関節(ジョイント)、安定なバネダンパモデルを設定できるだけでなく、オープンソースで変更がしやすいこと、研究用途での計測や検証に十分な性能を持っていることである。

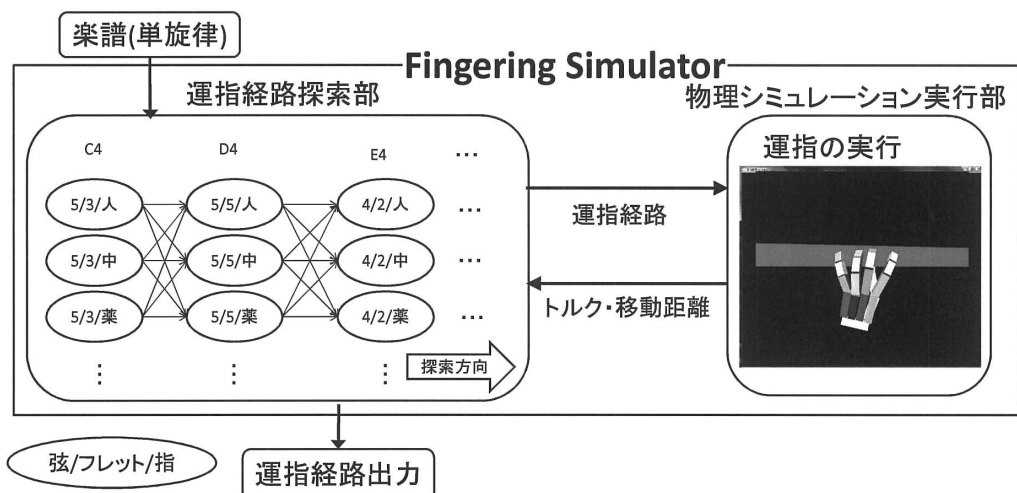


図 1:Fingering Simulator の全体像

2.2 手, ギターの物理モデル

左手のモデルは手の骨格標本を参考にして構築した. 物理シミュレータで骨格を構築する場合, 骨を表す剛体と関節を表すジョイントを組み合わせて作ることになる. 手のひらは皮膚で覆われているため一見平らに見えるが, 実際には皮膚の下に人差し指から小指までの 4 本の骨が並んでいる. 手を開いているときには親指の付け根も手のひらの一部のように見えるが, ギターを演奏しているときには親指はギターを支えるように 4 本の指と向かい合う位置にある. 上記のことを考慮してできる限り忠実に手のモデルを構築した.

図 2 は我々が構築した手のモデルである. 親指は 3 個の剛体(骨)からなり第 1 関節は 1 自由度, 第 2 関節は 2 自由度を持つ. それ以外の指は 4 個の剛体からなり, 第 1, 第 2 関節は 1 自由度, 第 3 関節は 2 自由度を持つ. 指の関節は 1 自由度ごとにヒンジジョイントで連結し, 関節それぞれに可動範囲およびバネ, ダンパの値を設定してある.

ギターのネックのモデルはフレット数を 21 とした. 手の指の長さ, ギターの大きさはとも

に変更可能である. これにより, さまざまな手の大きさに対して適切な運指経路を推定することができる. ギターの大きさを変化させるとフレット位置も適切に変化するようにした.

左手のポジションが変化するとき, ギターに対して左手が滑らかに移動するよう左手の親指の先とギターのネックの裏をスライドジョイントで連結した. 演奏する際に, 押弦位置に手全体を動かしていくことは少なく, 指から近づき手首は遅れて動くが, スライドジョイントに適切な強さのダンパを設置することでそのような動きがシミュレーションできるようにした.

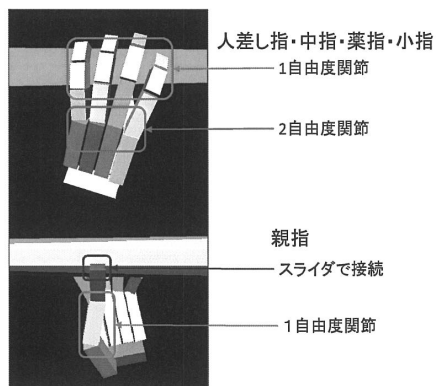
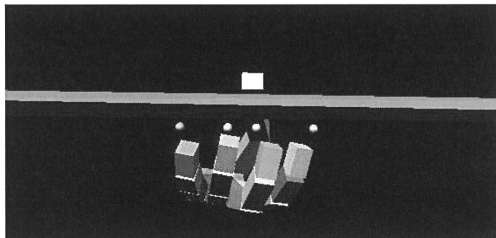


図 2: 手のモデル

2.3 手の動かし方

構築した手のモデルを動かす手法には、関節にトルクを付加する方法と、剛体に目標位置を設定する方法の2通りがある。ギター運指の場合には運指板上に目標位置を設定すればよいので後者の方法を選択する。具体的には、動かす指に目標位置を設定し、指先と目標位置をバネでつなぐことで指を目標位置まで動かすことが可能となる。動かし終わるとバネを外すことで指は初期状態の関節角度に戻る。親指はギターとスライドジョイントで接続してあるので、他の指の動きに従いギターのネックの裏側をスライドする。すべての指を解放した状態(図 3a)と人差し指だけに目標位置とバネを設定した状態(図 3b)を示す。

(a) 全開放の場合



(b) 人差し指のみ押弦の場合

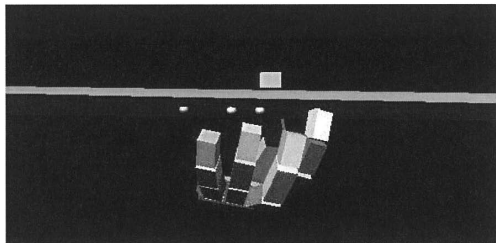


図 3: 押弦動作の例

2.4 運指経路の探索

Fingering Simulator では運指を実行した際、1回の押弦ごとに指の関節にかかるトルクや押弦に用いた指先の移動距離を算出できる。本研究ではこれらの値を用いて適切な

運指経路を探索する。探索はまず単旋律の先頭からの2音で行い、1音ずつ追加していく。その際、探索範囲を狭めるため、明らかにトルクや移動距離が他の経路よりも大きいものに関しては探索を打ち切ることとした。ここで注意すべきは、運指は連続的な動きなので、過去のコンテキストが重要であるため DP マッチングのように効率的に計算量を削減する探索手法の適用が困難である点である。例えば、ある指である弦のあるフレット位置を押さえている場合、それが一連の動きの中で無理なく押さえられているものであるのか、もしくは無理にストレッチして押さえたものであるのかによって次の運指は大きく異なってくる。したがって、他の経路よりも明らかにトルクや移動距離が大きいもののみについて探索を打ち切る方針とした。

3 運指推定の実験結果

運指経路を推定するにあたって、まず何が重要なパラメータであるのかを求めなくてはならない。そこで、3.1 では2音の運指における平均移動距離、最大トルクを比較し重要なパラメータについて検討を行う。3.2 では、同じ楽譜でも手の大きさによって運指経路が異なることを確認する。

3.1 指のトルクと移動距離

Fingering Simulator を用いて C4 と D4 の2音で運指を実行した際の指の最大トルクと、移動距離を図 4 に示す。横軸は2音の押弦位置と指の組み合わせから 64 通り (C4, D4 ともに 2 か所の押弦位置があり、それぞれ 4 本の指の可能性があるので、 $(2 \times 4) \times (2 \times 4) = 64$) の経路が考えられる。縦軸の最大トルクと移動距離は正規化していないため数値自体に意味はない。

図 4 の最大トルクと移動距離は比較的似通

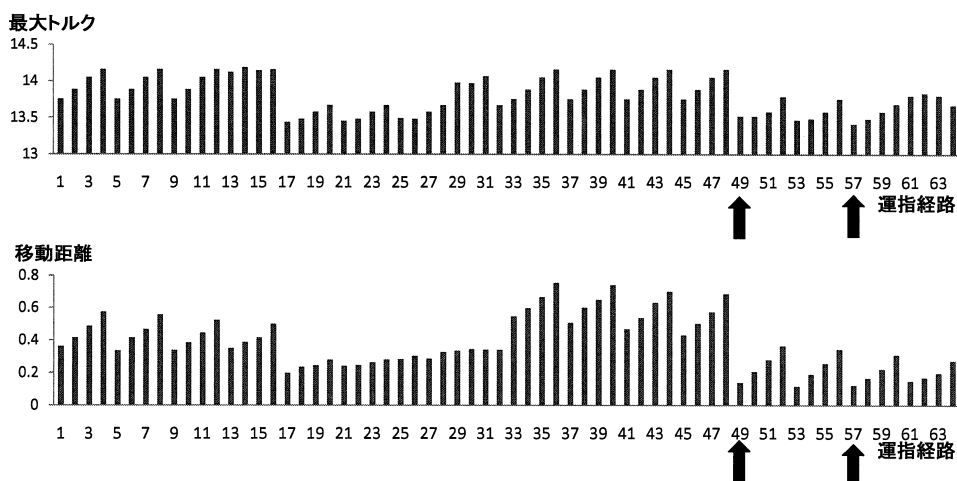


図 4:各運指経路における最大トルクと移動距離

った結果となったが、一部違いが見られた。例えば、最大トルクが最小となった経路は 57(6 弦 8 フレットを人差し指で押さえた後に、6 弦 10 フレットを薬指で押さえる運指)であるが、これは移動距離も小さな値となった。

一方移動距離が小さな値となった経路 49(6 弦 8 フレットを人差し指で押さえた後に、6 弦 10 フレットを人差し指で押さえる運指)の最大トルクは値が大きくなった。経路 49 に比べ、経路 57 のほうが明らかに滑らかな運指であることから最適な運指経路を求める上で最大トルクを最小にすることが重要であると考えられる。最大トルク、移動距離以外にも様々なパラメータを試したが、重要なものはなかった。

3.2 手の大きさの違い

演奏者の手の大きさの違いによって適切な運指が異なることを確認するため、指の長さを 1.2 倍にした手のモデルと(図 5a)、0.8 倍にしたモデル(図 5b)でシミュレーションしその結果を比較する。比較した運指経路は図 6a と図 6b である。

表 1 はその結果をまとめたもので、経路 a は 1.2 倍のサイズの手のモデルのほうがより小さなトルクで演奏できた。一方経路 b では、0.8 倍のサイズの手のモデルのほうが小さなトルクで演奏できた。以上の結果より、手の大きさにより適切な運指経路が異なることが確認できた。参考までに図 7 にその様子を示す。

(a) 1.2 倍 (b) 0.8 倍

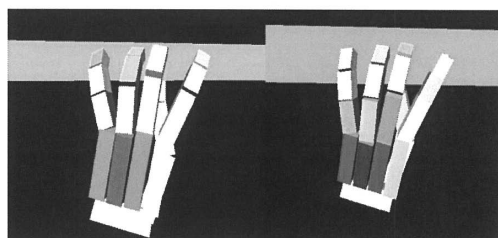


図 5:1.2 倍にしたモデルと 0.8 倍にしたモデル

表 1:手の大きさによるトルクの違い

最大トルク	1.2 倍の手	0.8 倍の手
経路 a	13.940996	14.330825
経路 b	14.065546	13.903176

4. まとめ

本研究では、物理シミュレータ Springhead2 を用いて複数の運指経路の最大トルク、移動距離を求め運指経路を探索するシステム Fingering Simulator について述べた。実験の結果、最大トルクが運指経路の推定に重要であること、手の大きさによって適切な運指経路が異なるとを確認した。今後、詳細な評価実験を行っていく。

5. 参考文献

- [1] 三浦雅展, 柳田益造: 単旋律ギター演奏における最適押弦位置決定システムの構築, 音楽情報科学学会 情報処理学会研究報告, Vol.2002, No.40, 2002-MUS-45-22, pp. 127-133 (2002).
- [2] 浜中雅俊, 稲井田次郎, 箭内顯彦, 箭内美智子, 津田栄, 山下元: ファジィ理論を応用したギター運指経路の選択法, 数学教育学会春季年間発表論文集, pp. 161-163 (1999).
- [3] 林田巧, 伊藤雅: 単旋律におけるギター押弦運指の最適化, 電気学会 電気学会論文誌 Vol. 124, No. 7, pp. 1396-1403 (2004).
- [4] 長谷川晶一, 藤井伸旭, 赤羽克仁, 小池康晴, 佐藤誠: 力覚インタラクションのための多面体の接触体積に基づく実時間剛体運動シミュレーション, 計測自動制御学会 計測自動制御学会論文集 Vol.40, No.2, pp. 122-131 (2004).

(a)

T										
A										
B	3	5	7	8	5	7	9	10		
	人	中	薬	小	人	中	薬	小		

(b)

T										
A										
B	8	6	7	8	10	7	9	10		
	人	薬	人	中	小	人	薬	小		

図 6: 比較した運指経路

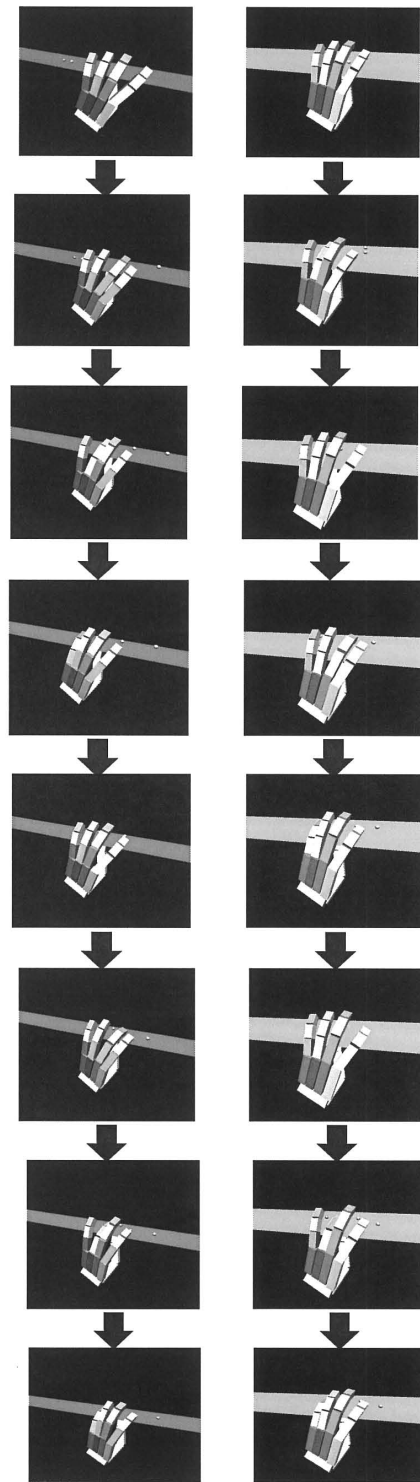


図 7: 1.2 倍の手(左), 0.8 倍の手(右)の運指