Vol.2017-MUS-114 No.23
2017/2/27

最適な多視点カメラワークを自動生成する遠隔ピアノレッスン支援システムの設計と実装

松井遼太 [1,a)]　竹川佳成 [2,b)]　平田圭二 [2,c)]

概要：本研究では，物理的に離れた 2 地点間でピアノレッスンを行うことを支援するための，遠隔ピアノレッスンシステムの構築を目指す. 遠隔環境においては相手側の手指や打鍵位置を視覚的に把握することが出来ず，直接的な楽譜への書き込みや指示出しが難しい．そこで提案システムは，複数カメラや鍵盤へのプロジェクションマッピングを用いて, 遠隔環境においても対面環境と同様な指導ができることを目指す．また，遠隔環境におけるジェスチャーや楽譜の共有により，直観的な指導も可能となる．また，ニューラルネットワークを用いたカメラワークの自動化により, 複数カメラの中から常に相手側の最適な映像を提示できる．

キーワード：ピアノ指導，遠隔レッスン，遠隔コミュニケーション，カメラワーク

1. はじめに

ピアノ演奏においては，譜読み，指示されている鍵への正確な打鍵，適切な運指（指使い），リズム感覚，打鍵の強弱，テンポなど，さまざまな技術が求められ，それらの修得には長期間の基礎的な訓練を必要とする．これらの技術の修得には長期間の基礎的な訓練を必要とする．ピアノ演奏には多大な時間と労力を必要とするため，敷居の高さに利用を断念したり，習熟効率の低さから挫折してしまう演奏者が後を絶たない．特に独学の場合，読譜した音と実際に打鍵した音が誤っている場合や運指やリズムの間違いなどは気づきにくく, 悪癖が身についた際の修正が難しい．そのため，うまく弾けない箇所の攻略方法を発見できず練習のモチベーションが低下してしまい挫折する可能性が高い[1]．したがって, 効率的なピアノ演奏技術の向上のためには指導者からレッスンを受講することが不可欠である．しかし，身近にピアノ教室があふれているという環境は多くなく，通学時間や教室の待ち時間なども発生する場合があり，時間に余裕がある人でなければレッスンに通うことは難しい．大人のピアノ学習者の多くは，仕事や家事，育児などに追われてしまいレッスンに通う時間を確保できない．ピアノレッスンは基本的にマンツーマンで実施されるため，教え方や性格のあう教師から指導されることが上達やモチベーションの維持には重要である．しかし，自宅から定期的に通える範囲にはレッスン教室の数が限られており，レッスン受講希望者は定期的に通えるという距離的制約が教室選びの必要条件となる．

一方，近年ICT 技術の発展に伴い，様々な場面において遠隔コミュニケーション技術が用いられるようになった．身近な例だとスカイプなどを用いたビデオ会議や，遠隔地の作業者にロボットで直接指示を出す遠隔作業システムなど，その例は多岐にわたる．しかし，単にビデオ通話を利用した遠隔地同士におけるピアノレッスンでは効果的な指導が難しい．相手の楽譜が直接見えないため，書き込みをしたり，楽譜に指をさして「ここから弾いて」などと指示を出すことは困難である．さらに，相手側の視点が定点かつ視点数が少ない場合，相手側の打鍵位置や身体動作が詳しく見えないため，生徒の根本的な技術の改善につながらず，生徒側からも教師の手指を見て模倣するという学習方法が難しい．ピアノ指導においては，図1のように手指や身体動作を視覚的に把握しなければ指導できない要素が多く含まれている．そのため，遠隔環境におけるピアノレッスンでは相手側の視点数を限定せず，多視点映像の送受信が必要となる．

[1] 公立はこだて未来大学大学院
Graduate School of Future University Hakodate
[2] 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate
[a)] g2116043@fun.ac.jp
[b)] yoshi@fun.ac.jp
[c)] hirata@fun.ac.jp

ⓒ2017 Information Processing Society of Japan

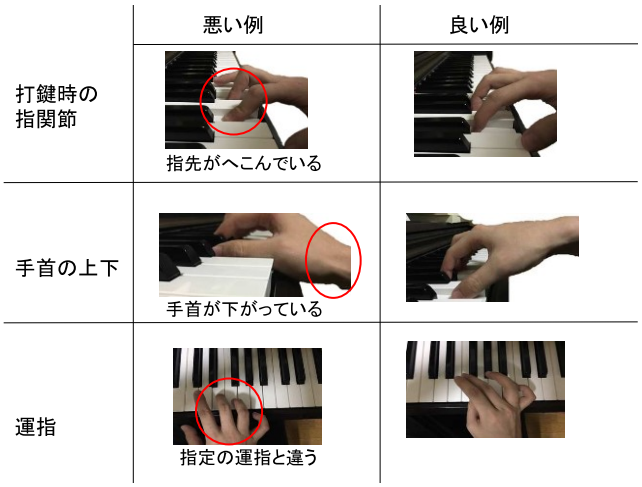


図 1 ピアノ指導における手指の視覚的把握

本研究では物理的に離れた2地点間で対面環境のように円滑なピアノレッスンを行うことを支援するためのシステムの構築を目的とする．提案システムは，互いの打鍵位置や音声，映像，楽譜を共有できる．また，相手の打鍵位置を鍵盤上に投影したり，楽譜上に指をさした際の位置や書き込みを瞬時に共有するインタラクティブな機能により，対面環境と同様に直観的な指導やコミュニケーションが可能となる．

多視点映像を送受信する方法としてカメラワークの自動化を提案する．ニューラルネットワークを用いて小節ごとの最適な視点を予測し鍵盤周辺に配置された複数カメラの中から，演奏に合わせて常に最適な映像を提示する．本稿では，指導やコミュニケーションを補助する機能とカメラワークの自動化機能の設計および実装について報告する．

以下，2 章で関連研究について説明し，3 章で設計と実装について述べる．4 章でカメラワークの自動化について説明し，最後に5 章で本研究のまとめを行う．

2. 関連研究

これまでもピアノ学習支援に関する試みはいくつか行われている．自宅に居ながら教師のアドバイス付きで独学で学習できるピアノ用のe-ラーニング教材がある[1][2]．これらは動画内で教師が楽曲全体の解説や演奏で注意すべき点などの説明をするにとどまっている．動画による解説はピアノが身近にない環境でも，動画を見ることで練習中の楽曲の学習ができる．しかし，これらは教師が生徒の楽曲の理解度や演奏の進度を確認できず，生徒も教師への質問が出来ないために，一方通行的なシステムであり，生徒個人の実力や弾き癖にあった指導が出来ず，効率的な演奏技術の上達は難しい．

独習用に特化したシステムでは，蓄積された演奏データから演奏者の苦手な奏法を割り出し集中的にトレーニングするシステム[3][4][5][6][7]や演奏を自動的に評価しアドバイス文や誤りを譜面上に提示[8] するシステムがある．これらは，取得した打鍵情報から打鍵ミスや打鍵の強さなどを評価している．Piano Tutorは[9] 演奏追従認識による自動譜めくり機能や，ビデオや音声による模範演奏の提示や，演奏者の演奏データを解析し改善点をテキストなどで指示する機能などをもつ．これらの研究で使用しているリアルタイムな打鍵情報からの打鍵の正誤判定や演奏追従認識などの技術は本研究においても要素技術として活用できる．

竹川らのシステム[10][11][12]では，ピアノの上部にプロジェクタを設置し演奏を支援する情報を鍵盤やその周囲に提示することで，演奏初期段階における打鍵位置や運指の習熟を高める学習支援が可能である．これらの研究では演奏初期段階の学習者にとって，鍵盤への補助情報の提示などの直観的な方法は有用だと判明している．本研究においては打鍵情報などのレッスン補助情報を同様の方法で提示することで，遠隔環境におけるピアノレッスンにおいても効果的な支援を提供できる可能性がある．

遠隔教育，演奏に関するものでは，iSessionという楽器間を光回線で接続することができる装置を（株）ヤマハが開発し，教育現場や演奏の場で試験的に導入されてきた．

遠隔地から指示を出し作業を行う遠隔作業において，葛岡ら[14] は，実際に作業を行うユーザーを「作業者」，遠隔地から指示を出すユーザーを指示者と呼び，指示者によるハンドジェスチャを作業者のヘッドマウントディスプレイに提示することで両者の協調的作業を促すシステムを構築した．しかしピアノレッスンの場合，演奏者にとってヘッドマウントディスプレイやウェアラブルカメラなどの機器の装着は，演奏に支障をきたす可能性が考えられるため，本研究では用いていない．

遠隔指導や遠隔作業においても，視線や視線の移動方向を他者に伝達することは有効的であると判明している．遠隔演技指導において視線を活用したシステム[13]が存在する．また，樋口ら[15] は，作業空間をモニタを介して閲覧する指示者の視線情報を計測し，作業者への指示に応用する研究を行った．その結果ハンドジェスチャのみの指示だしの場合よりも，指示者の視線情報とハンドジェスチャを組み合わせた指示出しのほうが，作業効率が向上することが判明した．本研究においても今後，視線情報を活用したコミュニケーション手法や指導方法を取り入れることで，より効果的な遠隔ピアノレッスンが期待できる．

3. 設計と実装

1章で述べたように，遠隔環境においても相手の打鍵位置や指示箇所を瞬時に理解し，対面環境と同様に円滑なレッスンを行うことを目指す．

ⓒ2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-MUS-114 No.23
2017/2/27

3.1 システム構成

図 2 に示したように，提案システムは，電子鍵盤楽器，投影用プロジェクタ，複数カメラ，タッチパネルディスプレイなどから構成される．これらの機材は，教師側および生徒側環境の両方に設置される．生徒，教師側の双方に配置された PC 間では鍵盤の打鍵位置情報，打鍵速度情報が送受信され，両者のディスプレイ上の仮想鍵盤に可視化して表示される．またこれらの打鍵情報は鍵盤の上方に設置されたプロジェクタによって実際の鍵盤上にも表示される．プロジェクタを鍵盤の真上に設置することで，鍵盤上やその周囲にさまざまなレッスン補助情報を提示できる．

教師や生徒の表情・指示・指や手の形などを視覚的に確認するためにアングルの異なる複数台のカメラを設置する．カメラの映像情報は相手側環境のディスプレイに提示され，実際のレッスンと同様に教師が生徒の指使いを確認したり，生徒が教師の演奏方法を模倣できる．また，カメラ映像の画像解析により，教師が演奏している手指を生徒側の鍵盤上に投影する機能や，指差し箇所を認識しその箇所を相手に伝える機能をもつ．タッチパネルディスプレイにはカメラ映像だけでなく楽譜も提示され，楽譜上に音声・テキスト・タッチペンなどでメモや気づきを記入する機能，それらを保存し相手と共有する機能をもつ．さらに，ディスプレイ上の楽譜に指をさした際には同様の箇所を相手側の楽譜にも瞬時にアニメーション付きで表示する機能ももつ．

3.2 提示コンテンツ

図3，図4を用いて提案するシステムの動作画面および提示コンテンツについて説明する．図中の番号は，以下の箇条書き番号に対応している．

ⅰ) 書き込み共有楽譜

レッスン中の気づきや指摘を直観的に記録できるよう音声認識によるメモ機能やそれぞれの書き込みを教師および生徒の双方が確認できるように楽譜の共有機能をもつ．書き込む箇所をタッチで指定すると音声入力で書き込むことができ，通常のキーボード入力でも書き込むことができる．これらの楽譜への書き込みはそのまま画像として保存できるので，レッスン後の振り返りの学習にも役立てることができる．

ⅱ) 仮想鍵盤

相手の打鍵位置をディスプレイ上に表示された仮想鍵盤で把握することができる．相手の打鍵位置を直接目視できない遠隔環境下では，いまどこを打鍵しているか，を判別するための重要な要素となる．

ⅲ) 複数カメラ視点

鍵盤周辺に設置した複数カメラの視点を表示する．対面環境のように様々な角度から，指使いや力み具合，手首の上下運動などの演奏技術に直結する情報を目視できる．運指に関しても，カメラ視点を見ることで教師の指使いを生徒が直観的に模倣することができる．

ⅳ，ⅴ) 動体検知カメラモードおよび切り替えボタン

画面右下に配置されたボタンをタッチすることで，カメラ視点が動体検知カメラモードに移行する．このモードでは動いている物体を自動で検知し，その周囲を緑色で表示する．さらにその中心座標に赤い丸を表示する．この機能によって演奏の際に動かす必要のない身体の部位が動いていると一目でわかり，遠隔ではわかりづらい身体の細かな動き

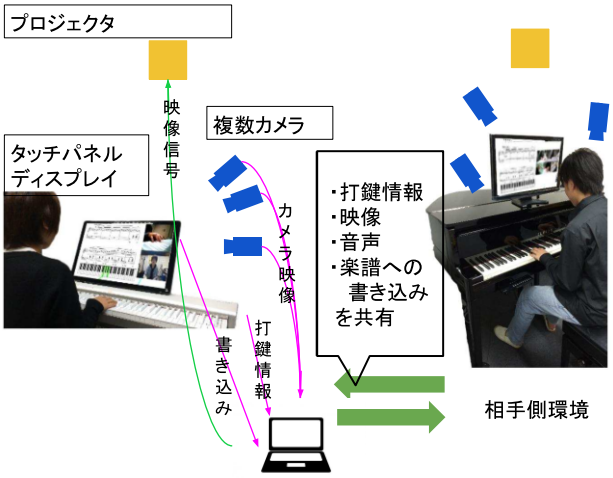


図 2　システム構成



図 3　提示コンテンツ

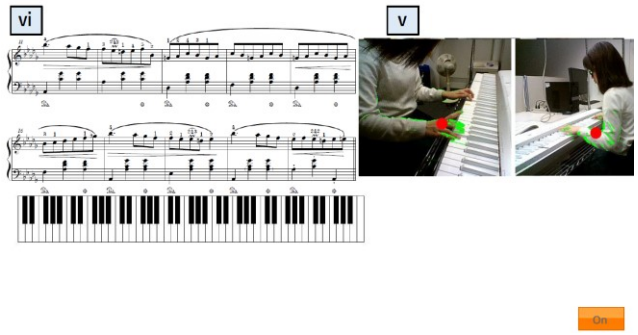


図 4　動体検知カメラモード

ⓒ2017 Information Processing Society of Japan

にも的確な指示を出せる．

vi）書き込み共有機能

音声認識機能による「次のページ」という言葉に反応して自動で譜めくりが行われる．ピアノ学習者は対面環境における通常のレッスンの際も楽譜を見ながら弾くことが多く，従来通りのレッスンでは紙媒体の楽譜を使用することがほとんどだが，演奏中にページをめくることは難しく，慣れないうちは紙が破れたり，見たいページを飛ばしてしまったりすることも多い．また両手を使用する演奏中に楽譜をめくる動作は，一度演奏を中断しなければならず，煩わしく感じる奏者も多い．そこでディスプレイに表示される電子楽譜の譜めくりを音声認識で行うことによって，従来の譜めくりの煩わしさを解消する．

3.3 遠隔レッスン補助機能

遠隔レッスンにおけるコミュニケーションの難しさから生じる指導の難しさや煩わしさを解消するための機能について説明する．

3.3.1 打鍵位置投影機能

図 5 のように生徒および教師の現在の打鍵位置をお互いの鍵盤上に投影する．両者の打鍵位置はディスプレイ上の仮想鍵盤にも表示されるが，実際の鍵盤上にも投影することで，より直観的な指導や演奏ができる．これは同室レッスンにおける，教師が楽譜に指を指して指摘し生徒は目で見て確認する，指摘した音と対応する鍵盤に手を置き，鍵盤上の場所を教えるという動作を模倣した機能である．これにより教師は生徒の打鍵の間違いを指摘し，生徒は直観的に正しい打鍵位置を模倣できるため，指導が非常に容易となる．

3.3.2 予備動作付き楽譜ポインティング機能

ピアノレッスンは通常，教師と生徒が同一の空間にいる環境で行われるため教師が楽譜に指示を出したり生徒が指示された部分を容易に確認できる．しかし遠隔レッスンの場合カメラ映像だけでは，互いの発言の意図が正しく理解されなかったり，カメラの死角になっている箇所があり，両者のコミュニケーションがとりにくい．遠隔環境において円滑なコミュニケーションを実現する有効な方法の1つに，ジョイントアテンションがある[16]．ジョイントアテンションとは他者と同じものに注意を向けることである．例えば楽譜に指をさして生徒に指示を出す場合，対面環境のピアノレッスンでは教師が楽譜の該当箇所に指をさして詳しく指示を伝える．しかし遠隔環境の場合相手側の手元や楽譜が見えないため，そのような指示の出し方は相手に伝わりづらい．

一方，指示した箇所さえわかれば円滑な指導が可能なわけではなく，相手の指示した個所がどこなのかを理解する速さが，遠隔環境における円滑なコミュニケーションには欠かせない．対面環境では楽譜に指をさした際に指示箇所がどこかを探す動作は発生しない．それは指示する予定の箇所に指を持っていくという，指示を出すまでの予備動作を生徒が観察できるためである．そこで本システムでは楽譜に指をさすまでの予備動作を再現した楽譜ポインタを搭載する．図 6 のように，指をさした箇所の周囲に円が収縮するアニメーションを付与し，そのまま指を滑らすことでアニメーションごと移動する．指示する予定の箇所まで指を移動させ，そのまま指を離すとポインタのみが楽譜上に残る．

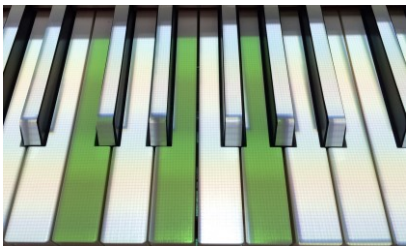


図 5 打鍵位置の投影機能

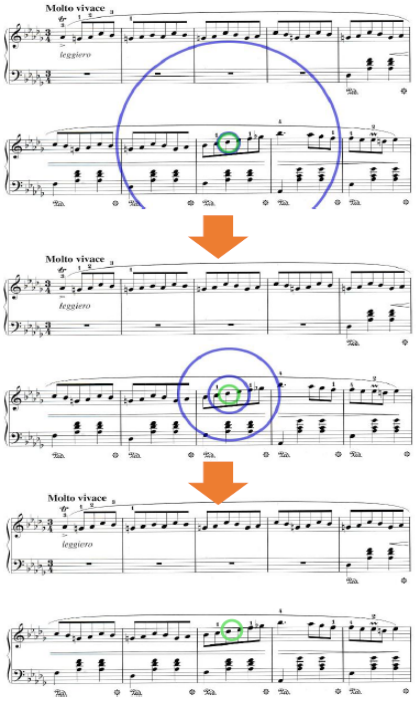


図 6 予備動作付き楽譜ポインティング機能

3.4 実装

前述の遠隔ピアノレッスン支援システムのプロトタイプを実装した．PC は Dell 社の Inspiron を使用した．また，MIDI 鍵盤として CASIO 社の PriviA PX-110 を使用し，プロジェクタとして BenQ 社の MP776 ST を使用した．なお，プロジェクタの鍵盤投影領域は 6 オクターブ（72 鍵）で，プロジェクタの映像がよく見えるように黒鍵を白く塗装し

ⓒ2017 Information Processing Society of Japan



図 7 表示する視点数が多い場合

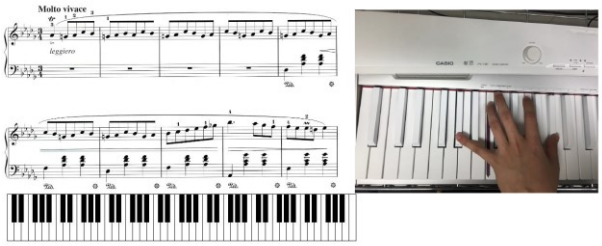


図 8 表示する視点数が少ない場合

た．複数カメラとして Web カメラは Microsoft 社の Microsoft Lifecam を使用した．PC 上のソフトウェアの開発は，Windows 8 上で Processing と Python，Intel 社の OpenCV ライブラリを用いて行った．

4. カメラワークの自動化

3章で設計および実装を行ったシステムのプロトタイプを実際にユーザーに試験的に使用してもらったところ，指示出しやコミュニケーションの円滑さについては概ね好意的な意見を得られた．その反面，「映像が多すぎてどこを見ていいかわからない」「画面内のカメラ視点が多すぎて混乱する」などの，提示するカメラの視点数が多すぎることへの意見が多かった．

そこで本研究では表示する視点を1つに絞り，カメラワークを自動化することで，多数の視点候補の中から常に最適な視点を表示することを目指す．カメラワークの自動化はニューラルネットワークを用いた小節ごとの最適な視点の予測と，実際にカメラを切り替える際のルールベースの2つのアルゴリズムから行う．

4.1 視点数と画面の視認性

ピアノを指導するうえで,手指や身体動作の視覚的把握は非常に重要となる．例えば指先の関節がへこんでいたり，手首が不必要に上下していると，打鍵時に余計な力が入るためにミス打鍵が増えてしまう．これらのミスは音を聞いただけではわかりづらく，図1のように，実際に相手の手指を目で見なければ指摘は難しい．そのため，遠隔環境においては様々なアングルから手指を見ることが出来るように複数カメラを配置する必要がある.図7のように同時に複数の視点を表示すると視点が多い分見逃す可能性は低くなるが，教師または生徒はどこを見るべきかわからずに混乱してしまう.さらに視点数が多ければ多いほど画面を圧迫し，個々の視点が小さくなってしまう．

一方で，図8のように視点が一箇所であれば，広い表示領域を確保でき，当該視点を詳細に閲覧できるが，表示していない視点における重要箇所を見逃してしまう.したがって，視点数と視認性にはトレードオフが存在する．

4.2 視点の予測

フィードフォワードニューラルネットワークを用いて小節ごとにそのとき見るべき最適な視点を予測する．過去の演奏，現在の演奏，楽曲構造，カメラ位置を入力パラメータとし，合計13個の入力パラメータが存在する．入力ノード数は対象楽曲の小節数×入力パラメータ数で，出力ノード数は使用するカメラの個数とする．出力については出力値が最大のものを1とし,それが該当小節で使用するカメラとなり，それ以外のものを0として扱うことで，出力値と使用カメラを制御する．あらかじめ使用する楽曲によって各カメラの優先度を定めておくことで，ほぼ同値の出力が得られた場合でも，カメラを予測することが出来る．また，各カメラの使用率については大きく差が出ない場合も考えられるため，中間層のノード数は6とした．

4.3 入力パラメータ

4種類の入力パラメータがカメラを予測する際の入力となる．過去の演奏については，レッスンごとの演奏データを記録し,それを入力パラメータとして用いる.具体的には，当該小節での前回演奏時のミスの有無と，前後の小節でのミス頻発小節の有無がある．ミス頻発小節とは過去の演奏データのうち，小節ごとのミスなく弾けた回数を今まで弾いた回数の合計で割り，閾値0.7を下回ったものをミス頻発小節と設定する．現在の演奏に関してはDPマッチング(Dynamic Programming)を通して現在の打鍵位置の同定を行い，予測する小節と合致しているかを判定する．

楽曲構造に関しては,当該小節の最高音，最低音，小節頭の音の傾き，休符長，音数，最短音長，最長音長を入力とする．また，前後のカメラ位置に関しては，予測小節前後の前回予測時のカメラ位置を入力する．これは，前後のカメラ位置がその後の小節のカメラ位置に影響を与えるパラメータとなりえるからである．

4.4 カメラワーク自動化のルールベース

カメラワークを切り替える際の全体に適応させるルールとして，以下のものがある．

ⓒ2017 Information Processing Society of Japan

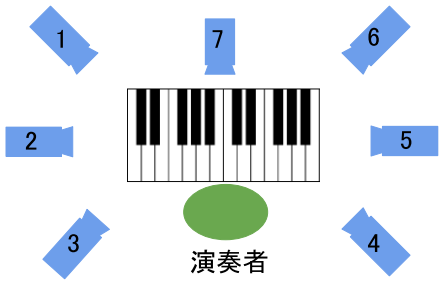
① 繰り返し部分は全く同じカメラワークを使用
② カメラ切り替えタイミングの候補は毎小節頭
③ 一度カメラを切り替えたら最低2小節は切り替えない

①に関して，曲中の類似部分ではなく，リピートなどの全く同様の繰り返し部分に関して適応される．②に関して，小節の途中で切り替えるのではなく，毎小節の頭にカメラを切り替えるタイミングが用意される．③に関して，毎小節ごとにカメラが切り替わると，目が追い付かなくなる可能性があるため,一度切り替えたらその小節を含めて2小節間はカメラの切り替えを行わない．

課題曲の予測結果

F. F Chopinの子犬のワルツの中間部を除く全113小節でカメラの切り替え予測を行った．各カメラの配置場所は図9のとおりである.過去の演奏データは8回分の演奏データを用意し，カメラは合計7個使用した．正解のカメラ位置のデータは楽曲構造と課題曲の演奏動画を基に筆者の主観で決定し，それを正解データとした．8-fold cross validationでカメラ予測の正解率を算出したところ，68.1%の正解率が得られた．図10は小節ごとの各カメラの使用割合である．

課題曲内には繰り返しでなくとも和声的に類似した構造が多く，現在入力としているパラメータのみでは分類が難しいと思われる箇所が存在するため,正解率は低くなった．また,図10からわかるように,アングルがあまり変化せず,使用割合が大きく異なるカメラもある．今後はカメラをグループ化して，現在の演奏データから演奏位置を同定し，ある程度使用するカメラを絞り込むなどの手法も有効であると考えられる．



カメラ番号 1: 左前方
カメラ番号 2: 左
カメラ番号 3: 左後方
カメラ番号 4: 右後方
カメラ番号 5: 右
カメラ番号 6: 右前方
カメラ番号 7: 俯瞰

図 9 各カメラの配置

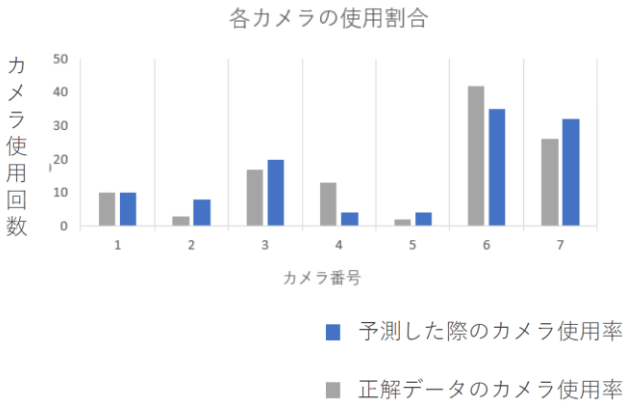


図 10 各カメラの使用割合

5. まとめ

本研究では物理的に離れた 2 地点間における遠隔ピアノレッスンを支援するためのシステムを構築した．楽譜への書き込みの共有や相手の打鍵位置を鍵盤上に投影し，直観的に把握できる機能を持つ．また，楽譜に指を指した際のポインタに予備動作を付けることで対面環境と同様の円滑な指示出しができる．さらに，複数カメラと表示視点数の問題をニューラルネットワークとルールベースを用いたカメラワークの自動化によって解決を目指した．小節ごとのカメラ視点の予測の正解率は 68.1%であった．今後はより予測精度を高めるために，アルゴリズムの改良や，カメラワーク自動化モードを使用したユーザーテストを行い，問題点を洗い出し，さらなるシステムの改善を行いたい．

参考文献

[1] 河合楽器製作所：簡単!ピアノマスター．http://www.kawai.co.jp/cmusic/products/pm/index.html.
2013-EC-27，2013.
[2] 一般社団法人全日本ピアノ指導者協会: ピティナ e-ラーニング．http://www.piano.or.jp/seminar/elearning/.
[3] 大島千佳, 井ノ上直己: 不得手要素を克服させるピアノ学習支援システムにむけて, 情報処理学会研究報告(音楽情報科学研究会 2007-MUS-71),Vol. 2007, No. 81, pp. 185-190 (2007).
[4] M. Mukai, N. Emura, M. Miura, and M. Yanagida: Generation of Suitable Phrases for Basic Training to Overcome Weak Points in Playing the Piano, Proceedings of International Congress on Acoustics, MUS-07-018(2007).
[5] T. kitamura and M. Miura: Constructing a Support System for Self-learning Playing the Piano at the Beginning Stage, Proceeding of International Conference on Music Perception and Cognition, pp.

ⓒ2017 Information Processing Society of Japan

258-262, (2006).
[6] S. Akinaga, M. Miura, N. Emura, and M. Yanagida: An Algorithm to Evaluate the Appropriateness for Playing Scales on the Piano, Proceedings of International Congress on Acoustics, MUS-07-005, (2007).
[7] S. Akinaga, M.miura, N. Emura, and M.YAnagida: Toward Realizing Automatic Evakuation of Playing Scales on the Piano, Proceedings of International Conference on Music Perception and Cognition, pp. 1843-1847, (2006).
[8] 森田慎也, 江村伯夫, 三浦雅展, 秋永晴子, 柳田益造: 演奏特徴の強調およびアドバイス文呈示によるピアノ基礎演奏の独習支援, 日本音響学会平成 20 年度秋季研究発表会, pp. 933-934, (2008).
[9] R. B. Dannenberg, M. Sanchez, A. Joseph, P.Capell, R. Joseph, and R. Saul: A Computer-Based Multi-Media Tutor for Beginning PianoStudents, Journal of New Music Research, 19(2-3), pp. 155–173, 1990.
[10] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: 運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp. 917-927, (2011).
[11] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: ピアノ演奏補助情報からの独立を促す学習支援システムの構築, 音楽情報科学研究会, 2012-MUS-96. (2012).
[12] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: リズム学習を考慮したピアノ演奏学習支援システムの構築, 情報処理学会インタラクション 2012, pp73-80, (2012).
[13] 藤重想, 山崎剛, 呉洋, 岡田謙一: 演出家による舞台役者への遠隔演技指導支援, 情報処理学会研究報告, 2014-MUS-71),Vol. 2014, No. 44, (2014 年).
[14] 葛岡英明, 庄司裕子: 空間型共同作業の評価手法の提案とその利用, 電子情報通信学会論文誌, Vo1. J 77－A No. 6 pp. 915 － 922, 1994.
[15] 樋口啓太, 米谷竜, 佐藤洋一,: 遠隔作業支援シナリオにおける中止位置可視化の効果, Workshop on Interactive Systems and Software, 2015.
[16]. B. Scassellati, Imitation and Mechanisms of Joint attention: A Developmental Structure for Building Social Skills on a Humanoid Robot,in Computation for Metaphors, Analogy and Agents, Vol.1562 of Springer Lecture Notes in Articial Intelligence, pp.176 – 195, Springer Verlag, 1999.

ⓒ2017 Information Processing Society of Japan