

論文の内容の要旨

| | |
|--------------|-----------------------|
| 論文題目 | モバイル環境における触覚を用いた聴覚の拡張 |
| 学 位 申 請 者 | 岡崎 龍太 |

コンサート鑑賞，楽器演奏，花火大会，球技のように，我々の日常生活の中には単一の物理現象によって触覚と聴覚を同時に生じる状況が多数存在している．聴覚のみで知覚される場合と比べ，触覚によっても知覚されることは，人と対象物が接している，あるいは極めて近い距離に位置することを伝える大きな手がかりとなり，臨場感や距離感に寄与していると考えられる．こうした利点から，映画やゲームのようなデジタルコンテンツにおいても，音と振動を組み合わせ提示する試みが数多く行われており，これらのデジタルコンテンツにおける触覚は視覚，聴覚に続いて重要な感覚提示チャンネルとして注目されている．

しかし近年急速に普及が進んでいるモバイル環境では，モバイルデバイスの重量やサイズ，ユーザの動きを妨げない非拘束性といった制約上，触覚刺激の提示方法，範囲，強度に制約があり，従来の環境設置型と同様の効果を持つ触覚提示を行うことが困難であった．

本研究はこれらの制約を持つモバイル環境において，聴覚刺激を伴うコンテンツ体験（以下本論文では聴覚体験と定義）を触覚刺激によって拡張することを目的とする．本論文においてモバイル環境とはユーザの動きを妨げない非拘束性のある環境全体を指す．また聴覚体験の拡張とは，本来触覚と聴覚が同時に発生するという状況を再現することにとどまらず，個々の聴覚体験の主観的価値を高めることを指す．

本論文では聴覚と触覚を同時に生じうる状況を次の二つに分類した．第一は振動源から空気伝搬された振動が聴覚刺激を生じ，それに伴って触覚刺激を生じる状況である．第二は振動源から振動が直接身体に伝わり，それに伴って聴覚刺激を生じる状況である．本論文ではこの二つの状況における触覚提示による聴覚体験の拡張を，モバイル環境において実現する．

身体全体への振動提示が可能な環境設置型と比較すると、モバイル環境では提示面積と供給可能なエネルギーが大幅に制限されてしまうことから、従来と同じ触覚提示方法では同等の効果を得ることは困難である。そこで本論文では触聴覚間で生じる相互作用(触聴覚クロスモーダル現象)を利用した効率的な提示を行う。刺激の提示方法や提示部位をモバイル環境の特性に合わせて限定した状況下で、触聴覚クロスモーダル現象を生じることを確認し、これに基づいてより効率的に聴覚体験を拡張する触覚提示手法を提案、ユーザの各体験に対する主観的評価が向上することを心理物理実験によって検証する。

本論文の構成は以下のとおりである。

第1章では、我々が日常生活において常に知覚、利用している聴覚と触覚の関係性を基に、触覚を伴う聴覚体験の状況を分類するとともに、モバイル環境における触覚を用いた聴覚体験拡張の課題を整理する。

第2章では、本論文で扱う触聴覚クロスモーダル現象の理解に必要な触覚および聴覚に関する知見をまとめる。触覚・聴覚に関する生理学的な知見に関して述べ、次章以降で扱う触聴覚クロスモーダル現象に関して必要な知識を共有する。

第3章では、モバイル環境下で触覚刺激によって聴覚体験を向上させるという目的に対して、触覚刺激の波形の寄与に関する基礎的検討を二つの観点から行う。第一の観点は、触覚の提示によって聴覚を強く感じることが出来るか、というものであり、第二の観点は、触覚と聴覚が同一の振動によるものとして感じる事ができるか、というものである。この結果として、幅広い周波数帯域を持つ刺激であっても触覚は聴覚を強めること、また聴覚刺激と触覚刺激の周波数が倍音関係にある時に、従来聴覚で知られてきた協和度が知覚可能であることを示す。

第4章では前章の知見を元に、「振動源から空気伝搬された振動が聴覚刺激を生じ、それに伴って触覚刺激を生じる」状況の代表として、モバイル環境下における音楽の聴取に着目する。触覚と聴覚の知覚可能周波数範囲の隔たりに対処するため、聴覚刺激の周波数を2の階乗分の1となるよう分周し、触覚刺激として手掌部より提示する手法を提案、検証する。

第5章では、モバイル環境下で触覚刺激によって聴覚体験を向上させるという目的に対して、触覚刺激の部位の寄与に関する検討を行う。手掌部への振動提示では困難な、身体広範囲へ振動提示可能かつ小型軽量でユーザの非拘束性を損なわない触覚提示装置の開発について述べる。ユーザの鎖骨に振動を提示し、骨格を介して振動を上半身に伝搬させる手法を提案し、物理的な振動計測および心理物理実験により聴覚体験への影響を検証する。

第6章では二つ目の分類に当たる「振動源から振動が直接身体に伝わり、それに伴って聴覚刺激を生じる状況」の代表として、打撃時の衝突感を触覚で提示することを試みる。触覚によって知覚可能な情報である打撃の強度、対象物の材質感、位置、距離のうち、特に聴覚で提示が困難とされる対象物の前後方向の距離定位に対して触覚提示によって操作する手法を提案、検証する。

最後に第7章では第3章から第6章で述べた研究を総括する。各研究を通じて得られた知見を元に、モバイル環境下における聴覚体験拡張手法を分類し、その適用範囲、今後の展望についてまとめる。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 岡崎 龍太

審査委員主査 梶本 裕之

委員 兼子 正勝

委員 坂本 真樹

委員 広田 光一

委員 野嶋 琢也

本論文は、聴覚を伴う日常体験を聴覚体験と称し、その触覚による拡張手法を、特にハードウェア上の制約の多いモバイル環境に適応できる形で提案・検証することを目的としている。聴覚と触覚を同時に生じうる状況を、振動源と身体との空間的關係性によって二つに分類し、それぞれの状況における触覚提示を、提示信号および提示部位の二側面に関して検討することを通じて、モバイル環境における触覚による聴覚体験拡張の体系化を試みている。

まず第1章では、モバイル環境における聴覚体験拡張の課題を見出し、本論文の目的について述べている。また聴覚と触覚を同時に生じうる状況を次の二つに分類している。第一は振動源から空気伝搬された振動が聴覚刺激を生じ、それに伴って触覚刺激を生じる状況である。第二は振動源から振動が直接身体に伝わり、それに伴って聴覚刺激を生じる状況である。

第2章では、本論文で扱う触聴覚クロスモーダル現象の理解に必要となる触覚および聴覚に関する知見をまとめている。

第3章では、モバイル環境下で触覚刺激によって聴覚体験を向上させるという目的に対して、触覚刺激の寄与に関する基礎的検討を二つの観点から行っている。第一の観点は主観的強度に関するものであり、触覚の提示によって聴覚を強く感じることが出来るかというものである。第二の観点は周波数知覚に関するものであり、触覚と聴覚が同一の振動によるものとして感じる事ができるかというものである。検証の結果、幅広い周波数帯域を持つ刺激であっても触覚は聴覚を強めること、また聴覚刺激と触覚刺激の周波数が倍音関係にある時に、従来聴覚で知られてきた協和度が知覚可能であることを示している。

第4章では第3章の知見を元に、第一章で分類した第一の状況である「振動源から空気伝搬された振動が聴覚刺激を生じ、それに伴って触覚刺激を生じる状況」における聴覚体験の拡張を行っている。具体的には音楽の聴取状況を取り上げ、触覚と聴覚の知覚可能周波数範囲の隔たりに対処するため、聴覚刺激の周波数を2の階乗分の1となるよう分周して手掌部より提示する手法を提案、検証している。検証の結果、特に触覚で知覚できない高周波を主に含む音楽に関して分周による手法が有効であること、また従来多く採用されてきた単一周波数による振動よりも有意な音楽体験の向上が見込めることを示している。

第5章では、身体広範囲へ振動提示可能かつ小型軽量でユーザの非拘束性を損なわない触覚提示装置を開発、検証している。ユーザの鎖骨に振動を提示し、骨格を介して振動を上半身に伝搬させる手法を提案し、物理的な振動の計測と心理物理実験による主観的な聴覚体験への影響の検証を行い、身体広範囲に振動が伝搬すること、および音楽体験が向上することを示している。

第6章では第一章で分類した第二の状況である「振動源から振動が直接身体に伝わり、それに伴って聴覚刺激を生じる状況」の具体例として、打撃時の衝突感を取りあげている。特に聴覚で提示が困難とされる対象物の前後方向の距離定位に対して触覚提示によって操作することを試みている。その結果、手掌部に触覚を提示することで音像との主観的距離を制御できること、触覚提示の空間的な分布を工夫することでも振動源との主観的距離を表現できることを示している。

第7章ではこれまでに提案、検証したモバイル環境下における聴覚体験拡張手法をまとめている。そのなかで聴覚体験の状況と触覚提示手法との対応関係を見直し、本論文における提案手法が結局、触覚提示の信号および空間分布の二側面に関する工夫を、聴覚体験の二つの状況に対して行うことで、対象と自己との空間的関係性を拡張する研究であったことを述べ、本論文のまとめとしている。さらに今後の展望として個々の体験の文脈に即した触覚提示手法を用いる必要性に言及している。

以上のように、本論文は従来散発的に提案されてきた触覚による聴覚体験の拡張を、対象と自己との空間的関係性という観点から体系化したという点、およびモバイル環境というハードウェア上の制約のある状況で取りうる手法を提案、検証したという点で、この研究分野における発展に重要な寄与をもたらすものである。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものであると認める。