

遠隔地に住む家族の足音を伝達するための 拡張が容易な足音伝達システムの提案

越後宏紀^{†1} 小林稔^{†2}

概要：我々はこれまで、離れて暮らす家族を対象とし、遠隔地に住む家族があたかも近く存在するように感じる足音記録伝達システムの実現に取り組んできた。マイクロホンを用いて足音を収録し再生する代わりに、距離センサを用いて足音を表現する手法を開発する過程で、距離に応じて足踏みの音源を音量調整することで足音を表現する手法を開発した。この手法を応用して、本論文では遠隔地の距離センサと、それに対応する足音再生装置の対を、生活空間に複数組配置することで、家族の生活感を適度に共有することができる足音伝達システムを提案する。

キーワード：足音, アウェアネス支援

The Easy-to-extend Footstep Transmission System for Transmitting Footsteps of Families Living in Remote Areas

HIROKI ECHIGO^{†1} MINORU KOBAYASHI^{†2}

Abstract: We have been working on the realization of footstep transmission system for families who live far away and feel as if the family living in a remote place exists nearby. Instead of recording footsteps using a microphone, in the course of developing a method for expressing footsteps using a distance sensor, we developed a method for expressing footsteps by adjusting the volume of the footstep sound source according to the distance. In this paper, we proposed a footstep transmission system that can share the family's feeling of life moderately by arranging multiple pairs of remote distance sensors and corresponding footstep sound reproduction devices in the living space.

Keywords: Footsteps sound, Awareness support

1. はじめに

学生の一人暮らしや高齢者の独り身世帯、単身赴任といった離れ離れに暮らす家族が近年増加している。日本の国勢調査によると、2015年の時点で全世帯の約34.5%が一人世帯となっている[1]。遠隔地の状況が把握できないことで、遠隔地に住んでいる家族が元気に生活しているかどうか心配に感じたり、電話するタイミングを伺ったりしてしまうことがある。一方で、常に遠隔地から監視されていたり、生活の状況を全て把握されたりすると生活しづらいと感じてしまう。そのため、我々は足音の動きを伝達することで、遠隔地に住む家族があたかも近く存在するように感じる足音記録伝達システムの実現に取り組んできた[2-6]。足音の聴衆者は、部屋の天井に取り付けた足音再生装置から足音を聴くことで、離れて暮らしている人があたかも上の階に住んでいるように感じる(図1)。マイクロホンを用いて足音を収録する代替手法として、距離センサを用いて距離に応じて足踏みの音量を調整する手法を開発した[4]。この手法を応用して、本論文では遠隔地の距離センサと、それに対応する足音再生装置の対を、生活空間に複数組配置する



図1 本研究のイメージ図。本研究は遠隔地に住んでいる家族があたかも近くにいるように感じるシステムを目指している。

Figure 1 Image of the proposed system. Our goal is to realize a system that shares the sound of footsteps from the household of a distant family to create the impression that the family is nearby.

ことで、家族の生活感を適度に共有することができる足音伝達システムを提案する。また、本研究の評価手法および貢献について議論する。

^{†1} 明治大学大学院先端数理科学研究科先端メディアサイエンス専攻
Program in Frontier Media Science, Graduate School of Advanced Mathematical
Sciences, Meiji University

^{†2} 明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科
Department of Frontier Media Science, Faculty of Interdisciplinary Mathematic
Science at Meiji University

2. 関連研究

2.1 遠隔地のアウェアネス支援

遠隔地のアウェアネス支援の研究では、Portholes[7]やVideoWindow System[8]のように、多くの情報を伝達することができるシステムと、みまもりポット[9]、Peek-A-Drawer[10]のようにプライバシーの保護を考慮しながら限られた情報を伝達するシステムがある。Dourish らのPortholes[7]は、いくつかの部屋の状況をそれぞれの部屋のカメラで撮影された画像から見ることができ、離れていても遠隔地の情報を一目で把握することができる。Robert らのVideo Window System[8]は、映像と音声で遠隔地の部屋と常時接続し、遠隔地の状況を大型の超ワイドスクリーンで表示することで、あたかもすぐ近くにいるように感じることができる。象印のみまもりポット[9]はポットを利用した通知が遠隔地に届くようになっており、ポットの利用状況によって遠隔地の人の生存を確認できる。椎尾らのPeek-A-Drawer[10]は引き出しの中身をカメラで自動的に撮影し、遠隔地の引き出しに共有することで、あたかも遠隔地と共有の引き出しを利用しているかのように感じることができる。辻田らのSyncDecor[11]は、ゴミ箱が遠隔地のゴミ箱と同期されており、片方を開閉するともう片方も同じように開閉するシステムや、ランプの明るさが遠隔地のランプと同期されているシステムである。これにより、遠隔地にいる人と繋がっている感情が得られる。本研究では、遠隔地にいる人があたかも近くにいるように感じるが、遠隔地の人が何を着ているのか、何を持っているのかなどの情報は伝達しない。ただし、電化製品の利用状況や引き出しの中身、ゴミ箱の開閉ではなく、遠隔地の人の動きのみを伝達することで、遠隔地の活動状況を伝達するシステムを目指している。

2.2 位置計測について

屋内位置測位はWi-Fi[12]やビーコン[13]などを用いた計測手法が多いが、計測の対象者がWi-Fiを受信する装置やビーコンを携帯する必要がある。計測の対象者が携帯せずに計測する手法として、三角測量[14]やToF(Time of Flight)[15]などがあげられる。本研究では、離れて暮らす家族を対象としており、家庭内で利用することを想定しているため、計測の対象者が装置を携帯することは好ましくないと考える。また、本研究では、ロバストな位置計測をする必要はなく、遠隔地に伝達する範囲内に誰か人がいるのか、近くにいるのか遠くにいるのか、ということが把握できればいいと考えている。そのため、伝達する空間に距離センサを設置し、計測の対象者との距離を推定する。詳しい位置計測については4.2.1で述べる。

2.3 音源定位

聴覚による空間知覚は、両耳間レベル差と両耳間時間差の2つを制御することによって作り出すことが可能である[16]。また、北岸らのAR型仮想TAエージェント[17]のように、パラメトリックスピーカを利用することで足音の発生位置を一意に定める手法も提案されている。しかし、聴衆者は近づいていることや遠ざかっていることは分かるものの、音源位置を正確に把握することは難しい。田村らの立体音響バーチャルリアリティシステム[18]では、一辺が3mの立方体の空間内に5台の音源モジュール、16台の立体音響生成装置、4台のサウンドミキサー、8台のスピーカを利用し精度の高い立体音響空間となっている。しかし、本研究では、正確な音源位置を把握できるようにするのではなく、家庭内で利用することを想定しているため、設置のしやすさや様々な環境で利用できるシステムを目指している。また、正確な音源位置を把握できないことで、「誰かがその空間にいる」、「複数人がいて賑やかである」といった遠隔地の活動状況のみを伝達することができると考えるため、本研究では両耳間レベル差を主として足音の動きを表現するシステムを開発する。

3. 提案システムの設計方針

足音記録伝達システムは、遠隔地に足音を伝達するが、実際にマイクロホンで足音を直接録音して伝達するのではなく、一定の音量である足踏みの音源を音量調整することで、あたかも人が動いているかのように伝達する仕組みとなっている。詳しいシステムフローについては4.1.2で述べる。本章ではこの仕組みを取り入れた理由について、先行研究のマイクロホンを利用した実験の結果を踏まえて3.1および3.2で述べる。また、提案システムの特徴である位置計測装置と足音再生装置が対となっているシステムについて3.3で述べる。

3.1 移動の把握

我々はまず、マイクロホンで直接足音を録音し、遠隔地に足音を伝達する仕組みを検討し、足音の聴衆者がどのように感じるのか先行研究[3]において実験を行った。足音をマイクロホンで直接録音したものを伝達した際、足音を聴いた実験参加者は、遠隔地の人があたかもジャンプして移動したり、歩いている途中で一度消え、違う場所に瞬間移動したりしているように聴こえてしまうという問題があった(図2)。これは、マイクロホンの指向性が影響していると考え、マイクロホンに代替する手法として、一定の音量である足踏みの音源を徐々に音量調整する仕組みを考案した[4]。足と地面が接したときに生じる音が一定の音量である足踏みの音源を利用し、音量を徐々に調整することで足音の動きを表現するのである。先行研究[4]では、足踏みの音

源を音量調整する手法を複数種類比較し、実験を行った。その結果、人の動きが比較的自然而滑らかに伝達できる音量調整の手法が確認された。詳しい音量調整の手法については4.2.3で述べる。このことから、足踏みの音源を音量調整することで、遠隔地の人が移動している様子を感じ取りやすいと考え、システムの設計方針として定めた。

3.2 プライバシーの保護

マイクロホンで直接足音を録音しない理由として、先行研究[3]の実験結果による問題の他に、プライバシーの保護がある。マイクロホンで足音を録音する場合、話し声や生活音など足音以外の情報も伝達されてしまうことが懸念される。また、マイクロホンが設置されていることで、伝達する側のユーザは盗聴されているように感じてしまい、居心地が悪くなったり、緊張してしまったりとプライバシーへの配慮が難しくなってしまう。そこで、距離センサを用いて、人の位置のみを計測し伝達することで、伝達される情報を制限できると考えた。詳しい計測方法については4.2.1で述べる。

3.3 位置計測装置と足音再生装置の対

提案システムの特徴として、位置計測装置と足音再生装置が対となっており、位置計測装置同士や足音再生装置同士で同期する必要がなく、組数を容易に増やすことが可能である。この設計方針は、プロトタイプシステムとしてマイクロホンとスピーカを直接有線ケーブルで接続したものを4組利用し、このシステムを理想形として研究開発を進めてきたためである[2]。先行研究[3]では、Raspberry Piを用いて録音した足音を遠隔地に送るシステムを開発した(図3)。USBマイクロホンで録音した足音を対になっていて遠隔地にある再生装置に送り、その足音を再生装置は受信し再生する仕組みになっている。本稿で提案するシステムは、この対になっている構成を参考に開発した。提案システムは様々な家庭で利用できることが理想であり、遠隔地と共有するスペースであったり、様々なスペースの形状であったりと様々な状況で利用できる必要がある。そのため、位置計測装置と足音再生装置が対になっていることで、理想とする利用方法が実現できるのではないかと考える。提案システムの詳しいシステムフローについては4.1.2で述べる。

4. 提案システム

本章では、まず4.1で提案システム全体の構造について述べる。次に、4.2で提案システムの構成について、位置計測装置、足音再生装置、足音変換手法の順に述べる。4.3ではシステムの利用について先行研究の例を踏まえながら述べる。

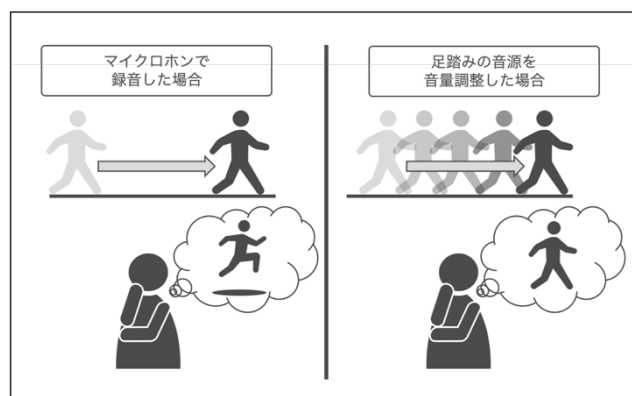


図2 足音から連想する聴衆者の遠隔地の様子の比較。マイクロホンで録音した場合、聴衆者はジャンプしているように感じ(図左)、足踏みの音源を音量調整した場合、歩いているように感じる(図右)。

Figure 2 Comparison of the remote location of the audience associated with footsteps. When recording with a microphone, the audience feels like jumping (left in the figure), and when adjusting the volume of the footsteps sound source, it feels like walking (right in the figure).

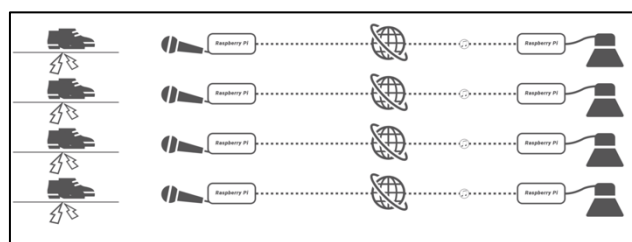


図3 先行研究[3]で開発したシステムの足音の録音から再生までの流れ。録音から再生までが対になっている。

Figure 3 Flow from footstep recording to playback of the system developed in the previous study [3]. From recording to playback is paired.

4.1 システム全体の構造

4.1.1 システムの目的

提案システムは、遠隔地にいる人の足音が天井から聴こえるように設計することで、あたかも上の階にいるように感じることを目的としている(図1)。また、3.3で述べたように、位置計測装置と足音再生装置を対として利用できるようにすることで、設置の容易さや利用する範囲によって拡張可能など、様々な利点がある。

4.1.2 システムフロー

提案システムのシステムフローについて述べる。それぞれの装置や足音変換手法の詳細については4.2で述べるため、ここでは伝達する流れのみを述べる。位置を計測する側を歩行者、足音を聴く側を聴衆者とし、歩行者から聴衆

者に足音を伝達する一連の流れを説明する。まず、位置計測装置によって歩行者の位置を計測する。その後、位置計測したデータを足音再生装置に送信する。足音再生装置は、送信された位置計測のデータを、足音変換手法を用いて足踏みの音源の音量として変換し、変換された音を再生する。システムフローを図4に示す。

4.2 システム構成

4.2.1 位置計測装置

位置計測装置では、超音波距離センサを利用して距離を計測する。先行研究[5]で複数のセンサを用いてそれぞれ位置計測を行い、計測する環境に応じたガイドラインを作成したが、携帯不要であることや、活動状況を把握することなどを考慮して再検討した結果、超音波距離センサを用いることとした。位置計測装置は、Arduino UNO と複数の超音波距離センサモジュール(SEEED-101990004)、焦電型赤外線センサモジュール(SB412A-01-012)、Wi-Fi モジュール(ESP-WROOM-02)で構成されている(図5)。焦電型赤外線センサは歩行者の動きを検出するために用いており、歩行者が動いているときのみ超音波センサで計測したデータを送信する。複数の超音波距離センサの土台は3Dプリンタで生成しており、利用している超音波距離センサモジュールが1個で最大30度の角度まで計測できることから、30度ごとに配置できるようになっている。現在は1つの位置計測装置につき4個の超音波距離センサを配置し、最大120度まで測ることが可能である。計測は先行研究[3][4]から一歩あたりの歩速が約0.6秒であったことから、0.6秒ごとに計測している。4個の超音波距離センサで計測し、最も距離が小さかったものをその時間に計測されたデータとして採用し、データを足音再生装置に送信する。

4.2.2 足音再生装置

足音再生装置は、Raspberry Pi と Bluetooth スピーカ(ソニー製 SRS-XB10)から構成されている(図6)。先行研究[2-4,6]の実験では、床から2m離れた高さのところにスピーカの部分を下向きに設置しており、このとき足音再生装置を固定する部品は3Dプリンタで生成している。位置計測装置から位置計測のデータを受信し、足音変換手法を用いて位置計測のデータを足音の音量に変換し再生する。足踏みの音源は、事前にRaspberry Piに登録しておいたものを再生する。現在使用している足踏みの音源は、効果音ラボ[19]で公開されている“フローリングの上を歩く2”である。現在は受信した位置計測のデータをすぐに足音の音量に変換して再生しているが、先行研究[5]より位置計測のデータを蓄積することも可能である。蓄積する場合、データとともにデータを蓄積した時刻も記録する必要がある。このとき、Raspberry Piの個々の時刻では誤差が生じることが先行研究[3]より確認されているため、Raspberry Piの時刻は

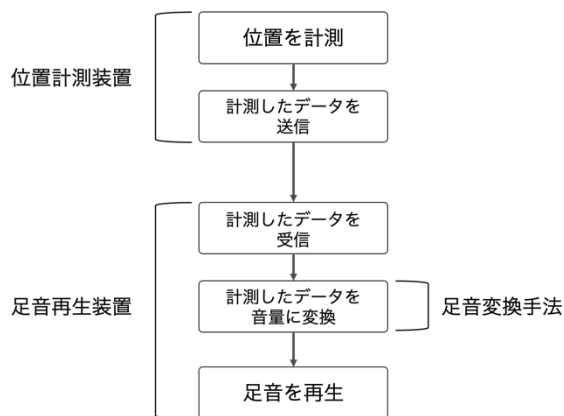


図4 システムフロー。

Figure 4 System flow.

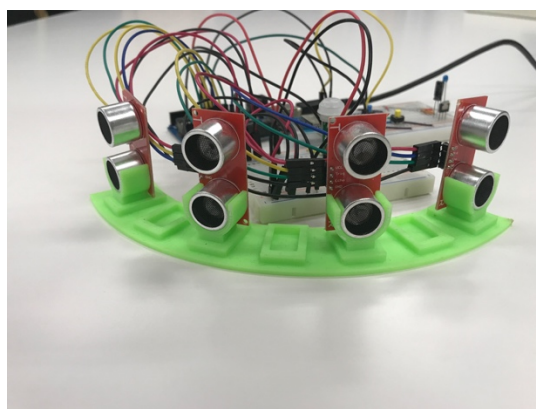


図5 位置計測装置。超音波距離センサは4個ついており、最大120度まで計測可能である。

Figure 5 Position measuring device. There are four ultrasonic distance sensors that can measure up to 120 degrees.



図6 足音再生装置。Raspberry Pi と Bluetooth スピーカから構成される(図ではモバイルバッテリーを用いて Raspberry Pi に電源を供給している)。

Figure 6 Footstep playback device. Consists of Raspberry Pi and Bluetooth speaker.

NTP(Network Time Protocol)になるように設定しておく。

4.2.3 足音変換手法

足音変換手法は、先行研究[4]の実験結果から、音量を $G(\text{dB})$ 、位置計測装置を 2 つ以上用いた場合の位置計測装置間の距離を $L(\text{m})$ 、位置計測装置と歩行者との距離を $d(\text{m})$ としたとき、以下の式で表すことができる。

$$G = -36 \frac{d}{L}$$

このとき、 G で表している音量はアンプや音の大きさを表すものと同じく、0 が最大音量である。位置計測装置をひとつで利用する場合、超音波距離センサが計測できる範囲が 4m までであることから、 L には 4 を代入して変換する。この足音変換手法の式を利用し、実際に足踏みの音源を音量調整した例を図 7 に示す。図 7 では、歩行者が位置計測装置のすぐそばから徐々に遠ざかっていく様子を表しており、位置計測装置間の距離を 2.61m ($L=2.61$) としたときの音量となっている。音量 G の単位はデシベルであり、対数尺度となっているため、図 7 の縦軸は音の強さの倍率 Power で表している。図 7 より、足踏みの音源を音量調整した値はほぼ式の通りに推移しているのがわかる。

4.3 システム利用

提案システムは様々なスペースで利用することが可能であるが、本節ではどのように位置計測装置と足音再生装置をスペース内に設置するのかについて、先行研究[2-4,6]を参考に説明する。本節では、位置計測装置と足音再生装置の対を 4 組利用し、設置する。実際に先行研究[3]の実験で利用したスペースを図 8 に示す。

まず、位置を計測する側と足音を聴く側で共通している点について述べる。遠隔地と共有するスペース(以下、利用スペースとする)は、1 辺が 2.61m の正方形で、高さは床から 2m の範囲とする。この利用スペースの大きさは、江戸間の 4.5 畳と同等のスペースとなっており、カーペットやラグが販売されている大きさであることや、歩行者が自由に歩けるスペースであることを考慮して設定している。

位置を計測する側の利用スペースでは、利用スペースの各頂点に位置計測装置を設置する。このとき、位置計測装置は床から 1m の高さに設置する。位置計測装置の高さは、位置計測する歩行者の身長に合わせて調整する必要があるが、本論文では身長 170cm の成人男性が利用した場合を想定して 1m の高さに設置した。位置計測装置は、超音波距離センサが利用スペース内を向くように設置し、4 個の超音波距離センサの両端にある超音波距離センサが、それぞれ利用スペースの辺上に位置するように設置する(図 9)。

足音を聴く側の利用スペースでは、利用スペースの各頂点に仮設ポールを設置し、それぞれの仮設ポールの床から 2m の高さに足音再生装置を設置する。このとき、足音再生装置のスピーカを下向きに設置する。

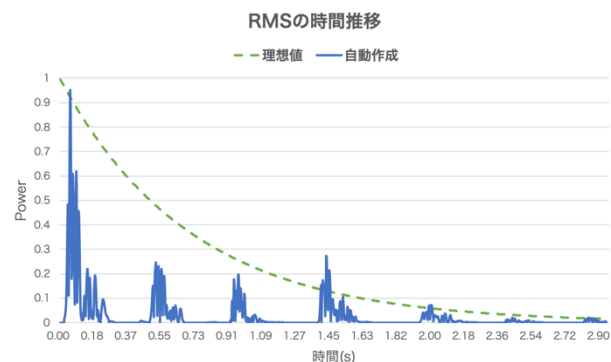


図 7 足音変換手法を用いて音量調整された足踏みの音源。(式による理想値を緑の点線、音量調整した足踏みの音源を青い実線で表している。)

Figure 7 Footsteps sound source with volume adjusted using footsteps conversion technique.



図 8 提案システムの利用スペース。この画像は先行研究[3]の実験の様子である。

Figure 8 Space for using the proposed system. This image shows the state of the experiment in the previous study [3].

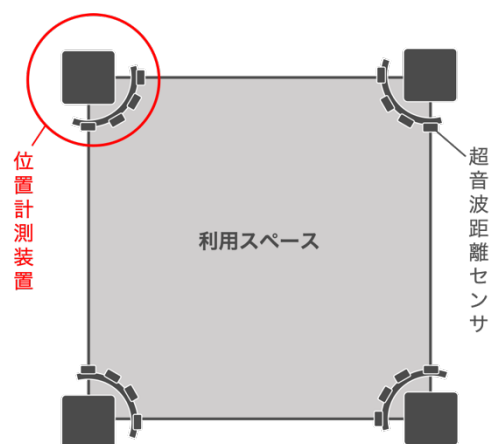


図 9 利用スペースに位置計測装置を設置する例

Figure 9 An example of installing a position measurement device in the space.

5. 議論

著者らは、これまでに足音を用いたアウェアネス支援を目的とした研究を行ってきたが[2-6]、本論文では一連の研究の貢献はどこにあるかについて再検討した。その結果、拡張可能性、適度なアウェアネス支援の両立を目指したシステム設計方法になっていることが重要な貢献ではないかと考え、本論文はこの貢献をもとに本研究を整理し直したものである。本章では、4章で述べたシステムを利用し、今後どのように評価することで、本研究の貢献となるのか議論する。

5.1 拡張可能性

まず、拡張可能かどうかを定量評価する。提案システムを複数利用した場合、位置計測装置同士が近すぎたり遠すぎたりすることにより、位置計測データの精度がどの程度低下するのかについて調査し、位置計測装置同士の適切な距離を定める必要があると考える。適切な距離を定めることができると、利用スペースの大きさや形状によって適切な組数を選択し、提案システムを有効に利用できる。様々な状況に応じて提案システムの組数を拡張できることは、位置計測装置と足音再生装置が対になっている利点であるため、精度を定量的に評価し検証することは本研究の貢献となると考える。

5.2 適度なアウェアネス支援

次に、適度なアウェアネス支援について評価する定性評価である。提案システムの組数によって、遠隔地にいる人の活動状況を、足音を聴いた人が足音を聴いてどのように感じるのか調査する必要がある。先行研究[3]では、足音再生装置が1組と2組に比べ、4組あると足音の動きを比較的把握しやすくなることが確認されている。しかし、4組以上利用していないことや、遠隔地の人がどの位置にいて活動はどのようなことをしていると感じるかについてなど、詳しい調査はしていない。

また、遠隔地にいる人の人数を変更した場合、足音を聴く人はどのように感じるのかについて調査する必要がある。先行研究[3]では、遠隔地にいる人は1名であり、複数人が活動しているときにどのように活動していると推測できるかについては調査していない。

これらの未解決な課題に対して、提案システムを利用して実験し、足音を聴く人にアンケートを取ることで、定性的に評価する。この評価は遠隔地の活動状況を伝達したいという本研究の貢献となると考える。

6. まとめと今後の展望

本研究では、遠隔地に住む家族があたかも近くに存在するように感じる足音記録伝達システムの実現を目指してい

る。本論文では、距離センサを用いた位置計測装置と足音再生装置という対を複数セット利用することで、遠隔地の人の活動状況のアウェアネスを提供できるのではないかと捉えて説明を整理し、評価方法を検討することを試みた。研究の貢献について再検討した結果、伝達する空間の大きさによって適正な組数について評価するとともに、聴衆者は遠隔地の活動状況がどのくらい把握できるのかについて評価する必要があると考える。今後、この評価手法をもとに実験を行い、本研究の貢献とする予定である。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 JP18K11410 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] “平成 27 年国勢調査人口等基本集計結果”，総務省統計局，<https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/kekka.html>, (参照 2019-10-11).
- [2] 越後宏紀, 小林稔. アウェアネス支援を目的とした足音記録伝達システムの検討. ワークショップ 2018(GN Workshop 2018)論文集, 2018, p.1-8.
- [3] 越後宏紀, 小林稔. アウェアネス支援のための足音伝達手法の検討. 研究報告グループウェアとネットワークサービス, 2019, vol.2019-GN-106, No.20, p.1-8.
- [4] 越後宏紀, 小林稔. アウェアネス支援のための足音表現手法の検討. 研究報告グループウェアとネットワークサービス, 2019, vol.2019-GN-107, No.12, p.1-7.
- [5] 越後宏紀, 小林稔. アウェアネス支援を目的とした位置計測手法の検討. 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2019), 2019, Vol.2019, p.1322-1329.
- [6] Echigo, H., Kanno, M., Matsu, K., Endo, T., and Kobayashi, M. FootstepsMixer: A Tool to Express Multiple People's Footsteps in a Footstep Transmission System for Awareness Support. Proceedings of the 25th International Conference of Collaboration Technologies and Social Computing (CollabTech2019), 2019, p.144-158.
- [7] Dourish, P. and Bly S. Portholes: Supporting Awareness in a Distributed Work Group. Proc. CHI '92, 1992, p.541-547.
- [8] Robert, S. F., Robert, E.K. and Barbara, L. C. The Video Window System in Informal Communications. In Proc. of ACM Conf. on Computer Supported Cooperative Work, 1990, p.1-11.
- [9] “みまもりほっとライン | 象印マホービン株式会社”. <http://www.mimamori.net/>, (参照 2019-10-11).
- [10] Siio, I., Rowan, J., Mima, N. and Mynatt, E. Digital Decor: Augmented Everyday Things. in Graphics Interface 2003, 2003, p.159-166.
- [11] 辻田眸, 塚田 浩二, 椎尾 一郎. 遠距離恋愛者間のコミュニケーションを支援する日用品“SyncDecor”の提案. インタラクティブシステムとソフトウェア, 2009, Vol.26, No.1, p.25-37.
- [12] Yang, C. and Shao, H. WiFi-Based Indoor Positioning. IEEE Commun. 2015, Mag.53(3), p.150-157.
- [13] 杉野恭兵, 片山真也, 丹羽佑輔, 白松俊, 大園忠親, 新谷虎松. Bluetooth ビーコンを用いた居場所情報に基づく見守り支援システムの試作. 電子情報通信学会, 2014, p.1-6.
- [14] Wang, Y., Yang, X., Zhao, Y., Liu, Y. and Cuthbert, L. Bluetooth Positioning using RSSI and Triangulation Methods. In IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2013, p.837-842.
- [15] Galov, A. and Moschevkin, A. Bayesian filters for ToF and RSS measurements for indoor positioning of a mobile object.

International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 2013, p.1-8.

- [16] 舘璋, 佐藤誠, 廣瀬通孝, 日本バーチャルリアリティ学会 (編). 日本バーチャルリアリティ学. 特定非営利活動法人 日本バーチャルリアリティ学会, 2011.
- [17] 北岸佑樹, 米澤朋子. 講演中の聴衆の聴講態度に応じて移動する音響 AR 型足音 TA エージェントの検証. 2017 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, 2017, p.1-8.
- [18] 田村祐一, 佐藤哲也, 陰山聡, 藤原進, 中村浩章. 数値シミュレーションデータ表現のための音情報機能を付加したバーチャルリアリティシステムの開発. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2000, Vol.5, No.3, 9.943-948.
- [19] “効果音ラボ”. <https://soundeffect-lab.info/sound/various/>, (参照 2019-10-11).