

空間音響を用いた仮想的な方向感が付与された音が通知の記憶性に与える効果

飯塚 陸斗^{1,a)} 川口 一画^{2,b)}

概要：人々はPCやスマートフォン等のデバイスから画面中のポップアップや音、振動を用いた通知を介して情報を受け取る。音による通知は視覚情報が占有される作業を行っている際に、その妨げになりにくいという特徴を持つ。既存の研究は、音による通知において、音を聴いて即時的に何の通知であるかを弁別できることや音と情報を対応づける学習性を向上させる音の質的性質の設計に着目されてきた。これに対し、本研究では何らかの作業下における音による通知を想定した時、作業中に何の通知を受け取ったかを記憶しておくことで効率的に作業を行えるのではないかと考え、音による通知において記憶性を高めることに着目した。我々はワーキングメモリに関する知見を考慮し、記憶性を高めるアプローチとして通知に用いる音に仮想的な方向感を持たせる手法を提案した。本研究では実際に仮想的な方向感を持った通知が記憶性を向上させるかどうかを検証するための実験を行った。実験において、方向感を持つ通知と持たない通知で比較を行った。仮想的な方向感を持った通知は記憶性を向上させる可能性が実験によって示された。

1. はじめに

昨今、人々はPCやスマートフォン等のデバイスから多くの情報を受け取っている。特に何らかの作業を行う際、人々はデバイスのバックグラウンドで起動されているアプリケーションより通知を介して情報を受け取っている。通知には主に音や振動、画面中のポップアップ表示が用いられる。特に音による通知は視線の移動を必要としないため、何らかの作業下において使用される。しかし、音による通知は予め決まった限られた情報しか伝達することができないため、詳細な情報を伝達することが難しい。例えば、メールを受信した際の通知では、通知の音の種類から「メールを受信した」という情報は得られるものの、それ以上の詳細な情報は伝達されない。

この課題に対し、視線の移動を必要としない音による通知を介して即時的に音と情報を対応づける音の設計が研究がされてきた。それらの研究は、音を聴いて即時的に何の通知であるかを弁別できるようにすることを目的とし、音の質的性質（大きさや高さ、音色等）および情報（アプリケーションから受信した通知）の関係を調査している [1], [2]。それらの結果から、即時的に音と情報を対応づける通知は、フォアグラウンドで行われる作業を妨

げることなく情報を伝達することが可能であることが明らかになった。

一方で、日常的な作業場面において、通知を受け取ってすぐに通知が示す内容を確認することが困難な場面がある。例えば、フォアグラウンドで行っている作業に集中していて、通知を行ったアプリケーションをすぐに開いて内容を確認できない場合がある。このような状況では、ユーザは通知が示す内容の確認を後回しにする。さらに、作業の間に複数回の通知を受け取る場面も考えられる。ユーザは作業の終了後、それらの後回しにした通知が示す内容を確認しなければならない。ここで、ユーザは作業中に何の通知を受け取ったかを記憶しておく必要がある。すなわち、我々は即時的に何の通知であるかを弁別できる設計だけでなく、記憶性の高い音の設計が必要であると考えた。

本研究において、記憶性を「記憶の記録しやすさ」とする。

しかし、これまでの研究では、即時的に音と情報を対応づける通知に焦点が当てられ、作業下において利用される音による通知の記憶性に焦点を当てた研究はほとんどない。よって本研究では何らかの作業場面における、音による通知の記憶性を向上させることを目的とする。そのためのアプローチとして空間音響を用いて通知に仮想的な方向感を持たせる。

本研究において、空間音響を「頭部伝達関数を用いて生成された空間的性質が再現された音」とする。これを通知

¹ 筑波大学情報理工学位プログラム

² 筑波大学システム情報系

^{a)} iitsuka@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

^{b)} kawaguchi@cs.tsukuba.ac.jp

に利用することにより仮想的な方向感（聴こえる方向）を持たせる．ここで人間の記憶に関連するワーキングメモリに関する知見 [3] において、音の質的情報と空間的情報は別の機構によって処理されるとされている．また、それらの機構が互いに干渉することにより記憶性が高まることが期待される．

そこで本研究において、空間音響を用いて通知に仮想的な方向感を持たせることにより記憶性が向上するかどうかを検証するために実験を行った．そして実験の結果から、記憶性を高める音による通知の設計について、記憶性および学習性の観点から考察を行う．

2. 関連研究

本章では、まず既存の音による通知に関する研究について説明する．次に、人間の記憶に関わるワーキングメモリに関する知見について説明し、その後空間音響を用いた研究について説明する．最後に本研究の立ち位置について述べる．

2.1 音による通知の研究

音による通知の設計について調査した研究において、通知として利用される音は3通りに分類される [1]．1つ目は Speech である．これは言語である音声を用いて情報を伝達する．しかし、Speech は情報の受け取りに時間がかかり、また頻繁な通知は作業の妨げになるため、作業下における利用において適さないと考えられる．2つ目は Earcon である [4]．これは強度、音色、音域が変化する短いリズムミカルなピッチのシーケンスで構成される非言語的な音である．3つ目は Audio icon である [5]．これは、情報をその情報に関連する実際の音（例えば、ドアの閉まる音やガラスの割れる音）を用いた通知により伝達する．これまでの研究より Earcon および Audio Icon について、音と伝達する情報を即時的に対応づけることが可能である場合、フォアグラウンドで行われている作業を妨げないことが示されている．

2.2 ワーキングメモリに関する知見

人間の記憶に関連するワーキングメモリに関する知見において、人間は外界から取得した情報を、「音韻ループ」および「視空間スケッチパッド」という2つの下位機構で一時的に保持するとされている [3]．ワーキングメモリの各機構は独立して働き、それらが互いに干渉することによりワーキングメモリが効率的に運用され、記憶性が高まる [6]．これらのメカニズムを考慮すると、方向感のない通常の音による通知は主に「音韻ループ」によって情報が保持されると考えられる．これに対し、方向感を持つ音による通知は「音韻ループ」および「視空間スケッチパッド」の両機構において保持され、それらが互いに干渉することにより記憶

性が高まることが期待される．

2.3 空間音響に関する研究

空間音響について、これまでの研究からインタフェースに空間音響を用いることによりシステムの操作における直感性が向上することが示されている [6], [7], [8]．また通話システムに用いることで会話の記憶性が向上することが示されてきた [6], [9]．

2.4 本研究の立ち位置

既存の研究において、音による通知の設計は、音を聴いて即時的に何の通知であるかを弁別できるようにすることや音と情報を対応づける学習性を向上させることを目的としており、記憶性を向上させる通知の設計について着目されていなかった．そこで我々は記憶性の向上について、ワーキングメモリに関する知見より、空間音響を通知に用いることによって音韻ループおよび視空間スケッチパッドの両方の機構によって情報が保持され、結果として記憶性が向上すると考えた．ここで、空間音響に関する研究において、システムの操作における即時的な理解や通話システムにおける会話の記憶性が向上することが示されてきた．しかし空間音響を用いて通知に仮想的な方向感を持たせた場合の記憶性に関する調査は行われていない．そこで本研究では、空間音響により仮想的な方向感を持った通知が、記憶性を向上させるのかを明らかにするために調査を行った．

3. 実験

本研究において、「空間音響を用いて通知に仮想的な方向感を持たせることにより、記憶性が向上する」という仮説を検証するための実験を行った．実験では、参加者は音を連続でランダムに呈示された後、呈示された音の名前を回答するタスクを実施した．また空間的特性（仮想的な方向感）を持つ音で行う条件と、持たない条件で比較を行った．本章では、実験条件、実験アプリケーション、実験設計、評価項目、および仮説について説明する．

3.1 実験条件

本実験において、以下の条件を比較する．

空間条件 空間音響を用いた仮想的な方向感を持つ通知を想定した条件．方向感を持つことにより記憶性が向上すると考えられる．

非空間条件 方向感のない通常の音による通知を想定した条件．

3.2 実験アプリケーション

参加者は音を連続でランダムに呈示された後、呈示された音の名前を回答する．本実験では音の呈示、および参加者による呈示された音の回答を行うアプリケーションを開

表 1 本実験で使った音の設計.

名前	楽器 - パターン	(水平角, 仰角)
A-1	ピアノ - Up	(-90,0)
A-2	ピアノ - Flat	(-90,35)
A-3	ピアノ - Down	(-90,70)
B-1	フルート - Up	(0,0)
B-2	フルート - Flat	(0,35)
B-3	フルート - Down	(0,70)
C-1	鉄琴 - Up	(90,0)
C-2	鉄琴 - Flat	(90,35)
C-3	鉄琴 - Down	(90,70)

発した.

まず本実験において使用した音を表 1 に示す. 学習が容易である音の数は 4 個から 6 個であり, 音の数が 10 個を超えた場合, 学習効率が大幅に下がる [10] ことから, 通知の数の上限を 9 個とした. 音の設計について, 通知を想定し Earcon において使われる楽器の音を使用した. 明確な弁別を可能にするため, それらの音を音の設計指針に基づき, 音色 (楽器) とピッチ (パターン) を変化させた [4]. 楽器はピアノ, フルード, 鉄琴の音を使用した. パターンについて Up は「ドレミ」と上がっていく音, Flat は「レレレ」と一定の音, Down は「ミレド」と下がる音である. 音の長さは全て 2.0 秒である. また方向感を持った音の配置について, 明確に方向感の弁別が可能な配置を調査した事前調査の結果より, 9 つの音を 3×3 のグリッド状に配置した. 本研究では, 水平角と仰角を組み合わせで構成された極座標系を用いる. 具体的には, 水平面方向について, 真正面方向を 0 度とし, 真後ろ方向を 180 度, もしくは -180 度とする. 時計回りを正とし, 右方向を 90 度, 左方向を -90 度とする. この角度を水平角とする. また, 正中面方向について, 耳の高さ真正面方向を 0 度として, 真上を 90 度とする. この角度を仰角とする. 本実験において, 水平角方向の配置は楽器の種類を表しており, 仰角方向の配置は音のパターンの種類を表している.

実験用アプリケーションは Unity^{*1}を用いて実装した. また, 空間音響の生成は ResonanceAudio^{*2}を用いた. 実験に用いたアプリケーションを図 1 に示す. 参加者が呈示された音の名前を回答する際, グリッド状に配置されたボタンを用いた. 実際の通知システムを想定した場合, 作業後に通知の内容を得るために対応するアプリケーションを開くことが考えられる. そのため, PC におけるデスクトップ画面やスマートフォンにおけるホーム画面のアイコンをイメージしてグリッド状に作成した. 本実験では, 実装したアプリケーションを用いて実験を行った.

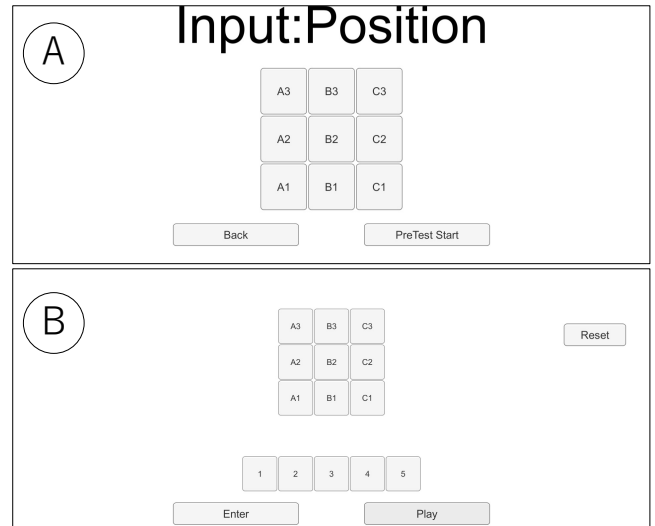


図 1 Unity を用いて実装された実験アプリケーション. (A) トレーニング画面. (B) 実験画面.

3.3 実験設計

実験参加者は 12 名 (男性 12 名, 平均 22.58 歳, $SD=0.79$ 歳) であり, 全員が大学生, もしくは大学院生であった. 音から受け取る情報に個人差を無くすため, 音楽経験が 5 年以下の参加者を採用した. カウンターバランスを考慮し, 半数は空間条件から始め, 残りの半数は非空間条件から実験を始めた. 参加者はヘッドホンを用いて音を聴取した.

実験はトレーニングセッションおよび実験セッションから構成される. まず参加者はトレーニングセッションを行う. トレーニングセッションにおいて, 参加者は音の学習を行う. 空間条件では楽器およびパターンに対して名前と空間的配置を対応させる. 非空間条件では楽器およびパターンに対して名前のみを対応させる. 十分に学習したと参加者本人が判断した場合, 確実に学習したことを確かめるためにプレテストを行う. プレテストにおいて, 参加者はランダムに呈示される 1 つの音に対してその名前を回答する. それを連続で全ての音を正解するまで行う. 1 つでも間違えると初めから回答を行う. 9 つ連続で正解できた場合, トレーニングセッションを終了し, 実験セッションを行う.

実験セッションにおいて, 参加者は音を連続でランダムに呈示された後, 呈示された音の名前を回答する. また正答率が一定を超える毎に連続で呈示する音の数が增加する. 参加者にまず 9 つのうちランダムに 3 つの音を連続で呈示する. 全て聴き終わるとそれらの音の名前を呈示された順番通りに回答する. 視覚的な影響を考慮し, 参加者は目を閉じて音を聴いた. 呈示された音を全て正しく回答できた場合を正解とした. 呈示された音を回答した後, 参加者は回答に対してどれだけ自信を持っているかを確信度として回答した. 音が呈示されてから確信度を回答するまでを 1 セットとする. これを 5 セット行い, そのうち 3 セッ

*1 <https://unity.com/>

*2 <https://resonance-audio.github.io/resonance-audio/>

ト以上正解した場合、連続で呈示される音が1つ増え、4つの音が連続で呈示されるタスクを5セット行う。以上の流れを正解が2セット以下となる、または9つの音が連続で呈示されるタスクを5セット終わるまで繰り返す。

各条件において両方のセッションを行う。また、2回目の実験セッションの終了後、参加者は好みを調査するアンケートに回答した。

3.4 評価項目

本実験において評価のためにタスクの成績を記録した。タスクの成績は、呈示された順番通りに正しく回答（系列再生）できた成績および順番問わず全ての音について正しく回答（自由再生）できた成績を用いる。例えば、「A-1, B-2, C-3」と呈示された音に対し、「A-1, B-2, C-3」と順番通りに回答した場合、正しく系列再生されたとした。また、「A-1, B-2, C-3」と呈示された音に対し、「A-1, C-3, B-2」と順番問わず全ての音を回答した場合、正しく自由再生されたとした。本実験では、タスクの成績を最後に3セット以上正解した、連続して呈示された音の数を得点として算出した。また正解が3セットに満たなかった場合に、正解したセット数が2つの時、得点に0.5を加えた。また参加者の好む設計を調査するために、記憶のしやすさについてのアンケートおよび確信度を評価に用いる。アンケートにおいて参加者は記憶のしやすさを5段階のリッカート尺度を用いて回答した。

また各参加者の初めのトレーニングセッションにおいて、トレーニング時間および音の聴取回数を記録し、評価として用いる。

3.5 仮説

本実験では2つの仮説の検証を行う。

H1. 記憶性の向上

空間条件は空間音響を用いることで音が仮想的な方向感を持つ。これにより、空間条件は非空間条件に比べ、記憶性が向上すると考えられる。これを検証するための評価として、タスクの成績を用いる。

H2. 学習性の向上

空間条件はそれぞれの音と方向感の配置が一对一で対応している。これにより、空間条件は非空間条件に比べて学習性が高いと考えられる。これを検証するためにトレーニング時間、および聴取回数を用いる。

4. 実験結果

本章では、各評価項目に対する結果を報告する。

4.1 タスクの成績

タスクの成績を図2に示す。

分析において、まず Shapiro-Wilk 検定を行い、正規性

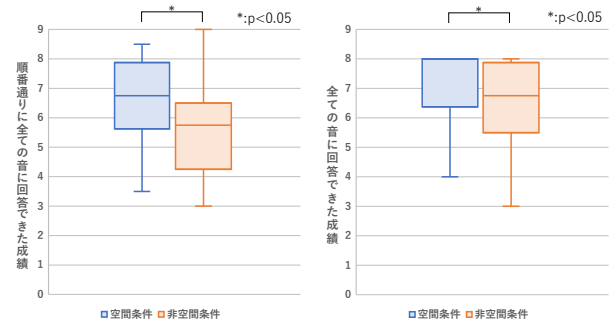


図2 呈示された順番通りに正しく回答（系列再生）できた成績および順番問わず全ての音について正しく回答（自由再生）できた成績。

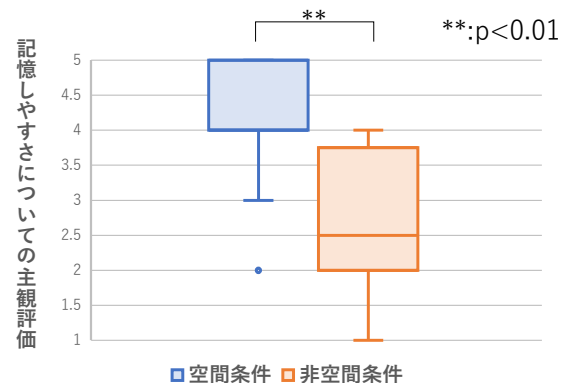


図3 アンケートから得た記憶しやすさに対する主観評価。

を調査した。その結果、自由再生における空間条件にのみ正規性がないことが明らかになった。よって自由再生において、条件間における、Wilcoxon 符号順位検定を行った。その結果、 $p = 0.0429 < .05$ で空間条件は非空間条件に比べて有意に成績が高かった。また、系列再生において対応のあるt検定を行った。その結果、 $p = 0.0246 < .05$ で空間条件は非空間条件に比べて有意に成績が高かった。

4.2 確信度および記憶のしやすさに関するアンケート

アンケートから得た参加者の記憶しやすさに対する主観評価を図3に示す。まず正規性を調査し空間条件に正規性がないことが明らかになった。よって Wilcoxon 符号順位検定を行った。その結果、 $p = 0.0026 < .01$ で空間条件は非空間条件に比べて有意に評価が高かった。以上より、参加者は空間条件を好むと考えられる。

また、タスクにおける確信度の比較を図4に示す。Levelは連続して呈示された音の数とする。記憶が容易である序盤は両方の条件に違いはない。しかし、記憶の難易度が上がるにつれ、空間条件の確信度の方が高くなっている。これは記憶において回答する難易度が高くなるほど、思い出すための手がかりの多い空間音響が好まれることを示唆していると考えられる。

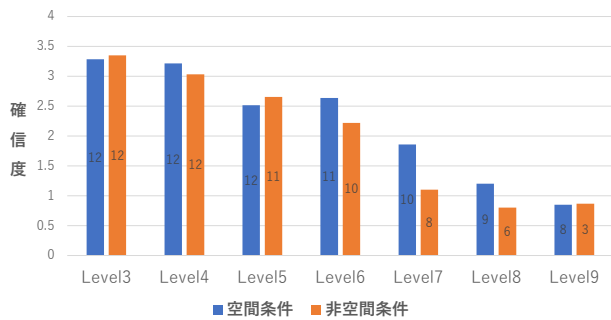


図 4 タスクにおける確信度の比較。Level は連続して呈示された音の数を示している。グラフ内の数字はグラフに含まれるデータ数を示している。

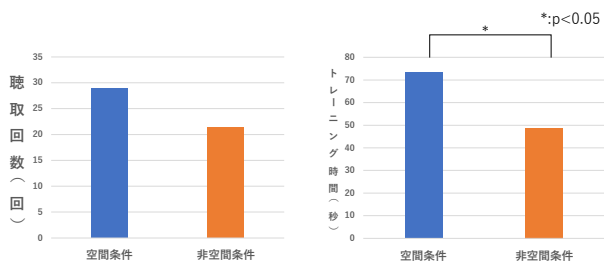


図 5 トレーニングセッションにおけるトレーニング時間、およびトレーニングのために音を聴取した回数。

4.3 トレーニングにおける所要時間と聴取回数

トレーニングセッションにおけるトレーニング時間、およびトレーニングのために音を聴取した回数を図 5 に示す。分析において、まず正規性と等分散性があることを確認した。その後、Student の t 検定を行った。その結果、トレーニング時間において $p = 0.0438 < .05$ で空間条件は非空間条件に比べて有意に時間が長く、空間条件の方がトレーニングに時間がかかることが明らかになった。また、聴取回数において有意差はなかった。しかし平均値の比較から、空間条件の方がトレーニングのために音を聴取した回数が多いことが示唆された。

5. 考察

本章では実験結果から得られた各仮説に対する考察を述べ、最後に本研究の制約と今後の方針を述べる。

5.1 H1. 記憶性の向上に関する考察

タスクの成績において、系列再生および自由再生の両方で空間条件が有意に成績が高かった。よって、空間音響を用いることにより記憶性を向上させることが可能であると考えられる。アンケートによる自由記述において、非空間条件は名前として覚えた一方で、空間条件は頭の中で図形的に覚えた場合や、空間的性質と名前を組み合わせで覚えた場合が見受けられた。

以上のことから、「空間音響を用いて通知に仮想的な方向感を持たせることにより、記憶性が向上する」という仮

説は支持されたと考える。

5.2 H2. 学習性の向上に関する考察

実験の結果より空間条件の方がトレーニングに時間がかかることが明らかになった。また聴取回数において空間条件の方が回数が多いことが示唆された。以上のことから仮説は立証されなかったことが考えられる。これは空間音響から情報を受け取るためには、音および空間的配置の少なくともどちらかを対応づけることができれば良いのに対し、学習においては、情報に対して音と空間的配置の両方を対応づける必要がある。そのため、音のみと情報を対応づける非空間条件に比べて空間条件は対応づける項目が増える。これにより多くのトレーニング時間を必要としたのではないかと考えられる。

5.3 本研究の制約と今後の方針

空間音響を用いた情報の受け取りにおいて、記憶性が向上することが明らかになった。また参加者の主観評価および確信度において、空間条件が好まれることが明らかになった。以上より、空間音響を通知に用いることにより、記憶性が向上し、またそれが好まれることが示唆された。しかし、本実験は作業下であることが考慮されていないため、今後調査をする必要がある。

一方で、本実験において空間条件は学習性が低いことが示された。つまり、空間音響を用いた通知において、記憶性の向上が期待されるが、確実な学習には時間がかかると考えることができる。よって空間音響を用いた通知システムにおいて、音に方向感を付与するだけではなく、学習を支援するような設計が必要である。

今後は本実験で得た知見をもとに、空間音響を用いた通知システムを設計し、そのシステムの有用性を確かめるための実験を行う。実験は、何らかの作業下を想定し、PC およびスマートフォンにおいて使用される音による通知に仮想的な方向感を持たせる。本実験と異なり、通知の情報を記憶するための一連の処理がバックグラウンドで行われることを想定する。また、記憶性や学習性等の評価だけでなく、実際の利用を想定した、フォアグラウンドで行われている作業の成績や、次の作業への取り掛かりの早さを評価として取り入れることを検討している。

6. おわりに

既存の研究において、音による通知は直感的に何の通知であるかを弁別することを目的としており、記憶性の向上に着目してはいない。それに対し、本研究では記憶性の向上に着目し、空間音響を用いて通知に仮想的な方向感を持たせるアプローチを調査する実験を行った。実験において、空間条件と非空間条件について、各条件の記憶性を比較した。また、学習性についても比較を行った。実験の結

果、空間音響を用いて付与された仮想的な方向感により記憶性が向上し、ユーザが空間条件に対して好ましい印象を持っていることが明らかになった。一方で、学習に時間が必要であることも明らかになった。今後はこれらの知見をもとに、通知システムを実装し、その有効性を調査するための実験を行う。

参考文献

- [1] Garzonis, S., Jones, S., Jay, T. and O'Neill, E.: Auditory Icon and Earcon Mobile Service Notifications: Intuitiveness, Learnability, Memorability and Preference, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 1513–1522 (online), DOI: 10.1145/1518701.1518932 (2009).
- [2] Garzonis, S., Bevan, C. and O'Neill, E.: Mobile Service Audio Notifications: Intuitive Semantics and Noises, *Proceedings of the 20th Australasian Conference on Computer-Human Interaction: Designing for Habitus and Habitat*, OZCHI '08, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 156–163 (online), DOI: 10.1145/1517744.1517793 (2008).
- [3] Baddeley, A.: The episodic buffer: a new component of working memory?, *Trends in cognitive sciences*, Vol. 4, No. 11, pp. 417–423 (2000).
- [4] Brewster, S. A., Wright, P. C. and Edwards, A. D. N.: An Evaluation of Earcons for Use in Auditory Human-Computer Interfaces, *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '93, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 222–227 (online), DOI: 10.1145/169059.169179 (1993).
- [5] Gaver, W. W.: Chapter 42 - Auditory Interfaces, *Handbook of Human-Computer Interaction (Second Edition)* (Helander, M. G., Landauer, T. K. and Prabhu, P. V., eds.), North-Holland, Amsterdam, second edition edition, pp. 1003–1041 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-044481862-1.50108-4> (1997).
- [6] Baldis, J. J.: Effects of Spatial Audio on Memory, Comprehension, and Preference during Desktop Conferences, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '01, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 166–173 (online), DOI: 10.1145/365024.365092 (2001).
- [7] Holland, S., Morse, D. R. and Gedenryd, H.: AudioGPS: Spatial Audio Navigation with a Minimal Attention Interface, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 6, No. 4, pp. 253–259 (online), DOI: 10.1007/s007790200025 (2002).
- [8] Kajastila, R. and Lokki, T.: Eyes-free Methods for Accessing Large Auditory Menus, pp. 223–230 (2010).
- [9] Kilgore, R., Chignell, M. and Smith, P.: Spatialized Audioconferencing: What Are the Benefits?, *Proceedings of the 2003 Conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative Research*, CASCAN '03, IBM Press, pp. 135–144 (2003).
- [10] Patterson, R. D.: Auditory warning sounds in the work environment, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, Vol. 327, No. 1241, pp. 485–492 (1990).