

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月30日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700134

研究課題名（和文） 動的マルチタスク環境における状況認識を支援する可聴化技術の開発

研究課題名（英文） Development of Sonification Technique to Enhance Operator's Situation Awareness under Dynamic Multi-Tasking Environment

研究代表者

堀口 由貴男（HORIGUCHI YUKIO）

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50362455

研究成果の概要（和文）：本研究では、元来知覚できないデータやデータ間の関係を知覚可能な音響信号に変換して呈示する「ソニフィケーション」技術について、データから音への効果的なマッピング方法をさまざまな実験を通じて調査した。操作対象の状態を目標状態に一致するようにコントロールする作業を用いて種々のマッピングを比較した結果、刻々と変化する作業対象の状態を人に伝達するためのソニフィケーションの設計に広く適用可能な指針を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：In this research project, various parameter-mapping sonification designs were empirically examined to find practical guiding principles for developing effective auditory displays for a multi-tasking environment where simultaneous processing of information from multiple sources are required. The series of experiments led to the findings on polarity and scaling design for mapping a data stream(s) onto acoustic parameters like amplitude and frequency of sound, which would be applicable to a wide range of auditory display design problems.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：人間機械系，ユーザインタフェース，操作支援，情報呈示，可聴化

1. 研究開始当初の背景

人間－自動化系においてオートメーションサプライズ（automation surprises）を誘発するモードエラーの要因として、自動化の状態と動作についての不明瞭な表示と欠陥のあるメンタルモデルの問題が指摘されて

いる。これに対して、複雑化したシステムの問題点を抽出するために、ユーザインタフェースを含めたシステムの動作仕様とユーザのメンタルモデルの整合性を形式モデルに基づいて厳密に評価する数々の技術が研究されている。このような技術は必要かつ有用

な技術である一方で、正しくインタフェース上に表示されていたモード情報にユーザが気づけなかったためにサプライズが発生したという事例が報告されているとおり、仕様の具体化・実装において人間の認知特性に関する知見が不足している。ユーザは自動化の活動状態を含む環境のさまざまな変化を追跡して時機を得た情報取得と操作介入の実践を求められるが、そのような動的なマルチタスク環境における人間の認知特性について理解し、その知見をインタフェース設計に活用できるようにする必要がある。

監視すべき情報が多岐にわたる場合、それらをどのような表示形態でユーザに呈示するかは難しい設計問題である。通常、大部分の情報伝達は視覚表示に依存するが、視覚には表示物を能動的に見にいかなければ情報が取得できないという指向性の問題が存在する。複数の監視対象が空間的に分散し、それぞれが動的に変化するタスク環境では、視覚表示のみに依存した情報呈示には限界があり、ユーザの状況認識を支援するための情報呈示方法の工夫が求められる。視覚表示との組合せが前提ではあるが、そのための情報呈示技術として、イベントの発生を報知するよりも、変化が起きつつあることを示唆する周辺情報の提供によってユーザに前注意的な状況モニタリングを促すことが有望といえる。この目的に適う、無指向で注意喚起に優れた聴覚への情報呈示技術として、『ソニフィケーション (sonification)』とよばれる技術がある。ソニフィケーションとは、元来人が知覚できないデータ間の関係情報を知覚可能な音響信号に変換することでユーザにより直感的に理解させることを目的とした可聴化技術の一種である。ソニフィケーションは、多変量のデータをシステムティックに可聴化することができる反面、データから音へのマッピングに関して確固たる設計理論はまだ確立されていない。

2. 研究の目的

可聴化によってユーザの前注意的な状況モニタリングを促し、自動化が介在する動的マルチタスク環境でのユーザの状況認識を支援する情報呈示技術の開発を目標とする。そのために、可聴化音の呈示効果の比較実験を通じて、データ変量から音へのマッピングに関してソニフィケーション設計のための指針を得ることを目的とする。さらに、視覚表示と組み合わせて用いた際の可聴化の呈示効果について調査することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 可聴化音の呈示効果を調査するために、監視対象の情報が視覚的に入手できない操作タスク環境を計算機上に構築し、それを

いて可聴化の設計の違いがパフォーマンスに与える影響を評価する被験者実験を実施した。

- ① 最も基礎的なタスク環境として、図1に示す1次元トラッキングタスクの環境を構築した。
- ② 可聴化の対象となる変量が①より増加したタスク環境として、2次元トラッキングタスクの環境を構築した。
- ③ 可聴化による視覚的認知資源制約に対する補償効果を調査するために、図2に示す、経内視鏡的関節軟骨評価のための超音波プローブの操作を模擬したタスク環境を構築した。この環境では、プローブを対象面に対して垂直になるように角度を操作する一方で、対象面とプローブの距離を一定に保つことが求められ、タスク達成のために同時に複数の変量への注意配分が求められる。

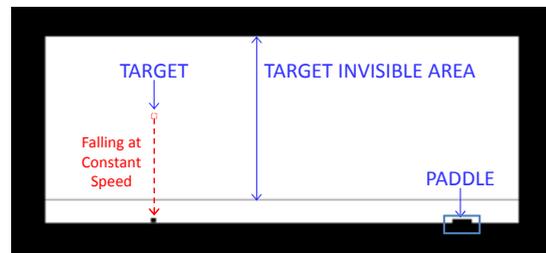


図1 1次元トラッキングタスク環境

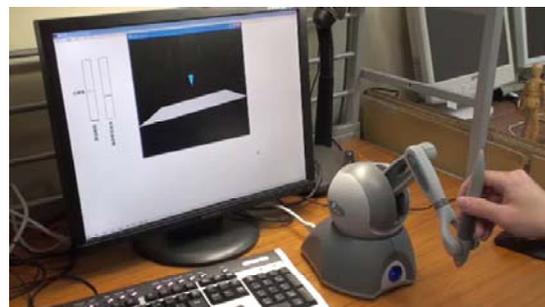


図2 プローブ操作タスク環境

(2) 各実験では、伝達すべき変量群を特定の法則に従って機械的に音の物理パラメータに関連づけるパラメータマッピング型のソニフィケーション (parameter-mapping sonification) を可聴化技術として用いた。その理由は、パラメータ操作と可聴化音の変化の対応関係が直接的で、よりシステムティックに可聴化を構成できるためである。パラメータマッピングによって、タスク達成のために解消すべきシステム状態の目標からのズレの変化が、音波の波形や振幅、周波数といったパラメータの変化を介して発生するモノラル音の聴こえの変化に反映された。

- ① 現在の状態と目標状態のズレの大きさ

(距離)を可聴化するために比較されたマッピングの例を図3に示す。このマッピングでは、距離の変化が音波の振幅と周波数の変化に変換される。

- ② 可聴化の対象となる変数の数の増加や変数間の依存関係の有無に応じて複数のマッピングパターンが用意され、polarity (変数の大小とパラメータの大小の対応関係) や scaling (変数の変化をどのようにパラメータの変化に反映させるか) などの観点から効果的なマッピング方法が比較検討された。図4は振幅変化の scaling を比較するために用意したマッピングを示す。

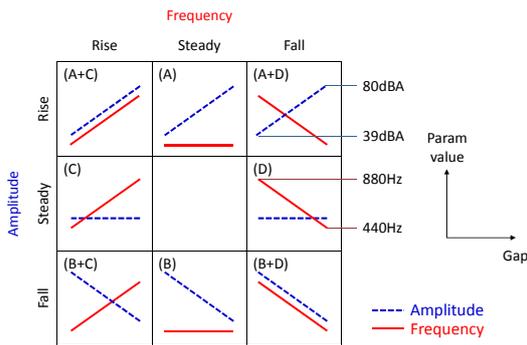


図3 データから音へのマッピング例 1: 目標状態からの距離と振幅/周波数の対応づけにおける polarity の違い

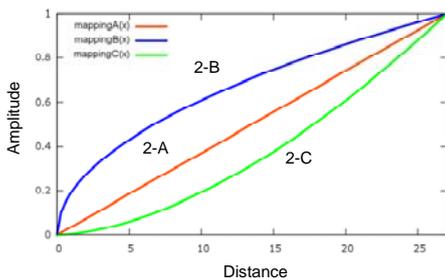


図4 データから音へのマッピング例 2: 目標状態からの距離と振幅の対応づけにおける scaling の違い

(3) 各可聴化の呈示効果は、追従誤差や誤操作量といったトラッキングタスクのパフォーマンス評価を通じて比較された。また、可聴化音の変化を検知してその意味を解釈するのに要する認知的負荷を比較するために、主観的作業負荷の評価指標が用いられた。

4. 研究成果

(1) 1次元トラッキングタスク環境を用いた可聴化呈示効果の比較実験より、下記の点が明らかになった。

- ① 目標状態からの距離 (比例尺度) を音波の振幅に変換する可聴化では、距離が0になる時に音量が0になるマッピングの polarity が好ましい (図5内AとBの比

較)。これは、可聴化で特定の値を判断するための基準音を聴取者が自身の内部に記憶保持することの難しさを表している。距離の減少にともなう音の振幅が小さくなるマッピングでも、最小音量が0になるかならないかの違いによる有意なパフォーマンス差を確認した。

- ② 目標状態からの距離を周波数と対応づける可聴化では polarity の違いによる有意差は見られなかった (図5内CとDの比較)。一方で、距離に応じて振幅と周波数を同時に変化させる可聴化は、polarity の組合せ次第でより高い呈示効果を示した。これは、音の大きさと高さの知覚に相互作用が存在することを示している。距離が小さくなるにつれて、音が小さく低くなるマッピング (図5のA+C) がより好ましい。

- ③ 目標状態とのズレの方向 (1次元トラッキングタスクでは名義尺度) を波形の違いによって異なる音色で表現する可聴化は、その情報を伝達しない可聴化に比べて誤った方向への操作を防ぐという意味で、有意に高いパフォーマンスを示した (図6内1-Aと1-Cあるいは1-Bと1-Dの比較)。一方で、このような設計によってより複雑化する可聴化が、主観的に感じる作業負荷の上昇を招く可能性が示唆された。

- ④ 目標状態からの距離の振幅を通じた可聴化に関しては、音の聴こえの大きさ、すなわちラウドネスを考慮した scaling (図4内2-C) の使用が効果的であることを確認した。音量の大きな領域では距離の変化に対して音量変化が大きく、逆に音量の小さな領域では音量変化が小さいマッピングが好ましい。

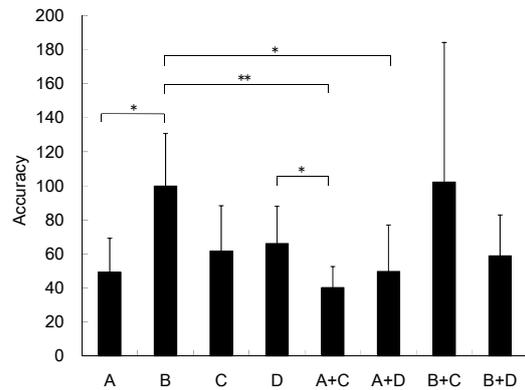


図5 1次元トラッキングタスクの追従誤差の比較 (マッピングは図3と対応: *p<0.05, **p<0.01)

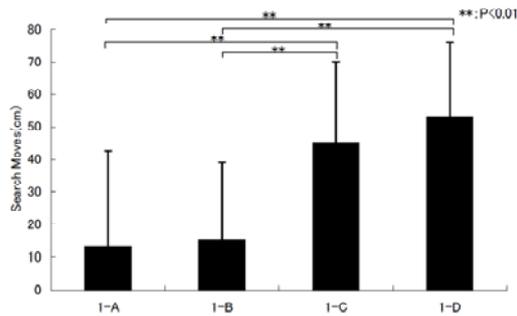


図6 1次元トラッキングタスクの誤操作量の比較
(最小音量と音色の有無)

(2) 2次元トラッキングタスク環境を用いた可聴化呈示効果の比較実験より、下記の点が明らかになった。

- ① 各変量が独立に操作できる場合には、(1)の1次元トラッキングタスク環境に対して有効だった可聴化を変量ごとに周波数を変えて生成し、それらを重ね合わせることで適切にシステムの状態を伝達できることを確認した。合成音の利用は選択的注意 (selective attention) によるもので、各次元について順番に目標とのズレを縮めるという操作戦略がもたらされた。
- ② 連続音と断続音という異なる時間変化パターンの音を組み合わせることで、2つの変量の変化の聴き分けをより容易にできる可能性が示唆された。しかし、これはこのタスク環境では有意なパフォーマンス上の差としては観察されず、変量間で周波数に差を設けることができれば十分に聴き分けさせることが可能であったといえる。

(3) プローブ操作タスク環境を用いた可聴化呈示効果の比較実験より、下記の点が明らかになった。

- ① 可聴化音への反応には、振幅が変化する方向によって、同じ大きさの変化であっても認識される変化の大きさに非対称性が存在することが確認された。目標状態からの距離が拡大するにつれて音が大きく高く変化する可聴化は、同じ距離情報が可視化された操作系に比べて、距離が大きくなる変化に対してより敏感に反応する傾向が見られた。
- ② 視覚表示は大きさの基準を設ける (同時に呈示する) ことが容易だが可聴化はそうでないため、可聴化された情報が示す値の認識は視覚表示に比して不正確で、変量の可聴化のみではシステムを操作する最終局面において目標状態との一致の判断が遅くなることが確認された。そのため、基準を満足したことを報知する可聴化音の追加や、局面の変化に応じ

た視覚表示への誘導を検討する必要があるといえる。

(4) 以上に述べた一連の実験調査によって、動的に変化するシステム状態を可聴化する情報呈示の設計に関して、データ変量をパラメータマッピングによって効果的に可聴化するための明確な設計指針を示すことができた。特にマッピングの polarity と scaling に関する知見は、ソニフィケーション設計に広く適用可能な指針である。一方で、複数の変量を同時に可聴化する技術に関しては、十分に追究できていない。特に、変量間の関係に満たすべき制約が存在する場合については、各変量の可聴化の合成では複合音の呈示効果が見込めないことが実験より明らかになっている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① 堀口由貴男, 福寿竜一, 榎木哲夫: 操作応答関係の類似性がモード認識にもたらす影響, 計測自動制御学会論文集, 45(11), pp. 546-554, 2009, 査読有

[学会発表] (計5件)

- ① Yukio Horiguchi, Keisuke Yasuda, Hiroaki Nakanishi, and Tetsuo Sawaragi: Data-to-sound Mapping to Sonify Ongoing System Status in Continuous Manual Control Task, The 55th Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society, 2011 2011年9月22日, Red Rock Hotel, Las Vegas, Nevada, USA
- ② 安田圭佑, 堀口由貴男, 中西弘明, 榎木哲夫: 操作支援のためのパラメータマッピングによる可聴化の検討, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010, 2010年9月8日, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス
- ③ 堀口由貴男, 自動化システムの操作応答関係の類似性がドライバのモード認識に与える影響, SICE マンマシンシステム部会主催第2回ヒューマンマシンシステム研究会, 2009年10月22日, 筑波大学大塚キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀口 由貴男 (HORIGUCHI YUKIO)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 50362455

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし