



時分割超音波刺激による動的な点列の方向知覚

藤井陽太¹⁾, 藤丸晃浩²⁾, 松林篤³⁾, 牧野泰才¹⁾³⁾, 篠田裕之¹⁾²⁾³⁾

Yota FUJII, Akihiro FUJIMARU, Atsushi MATSUBAYASHI, Yasutoshi MAKINO, and Hiroyuki SHINODA

1) 東京大学大学院情報理工学系研究科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

2) 東京大学工学部計数工学科 (〒 113-8654 東京都文京区本郷 7-3-1)

3) 東京大学大学院新領域創成科学研究科 (〒 277-0882 千葉県柏市柏の葉 5-1 - 5 新領域基盤棟)

概要: 触覚刺激を離散的に移動させた際, 刺激の提示時間間隔が小さい場合に限り, 連続的な移動感を知覚する仮現運動が生じる. 一方で空中超音波触覚ディスプレイ (AUTD) の強みとして刺激位置を微調整できることが挙げられる. このことを活用して刺激間距離を詰めることで提示時間間隔を広げ, 空き時間に別の点を提示することで複数点の独立した刺激を提示することができる. 本研究ではこのような時分割な点列提示における, 複数点列の提示が知覚に与える影響について検証を行った.

キーワード: 感覚・知覚, 触覚, 仮現運動, AUTD

1. 背景と目的

近年, 触覚提示技術はその応用範囲が広がり, 研究が盛んに行われている分野の一つである. 触覚は視覚や聴覚と並ぶ重要な感覚であり, 触覚提示技術は多岐にわたる分野での応用が期待されている. 中でも, 空中超音波触覚ディスプレイ (AUTD) [1] を使用した触覚提示の研究が進められている. AUTD 上では図 1 のように振動子が格子状に配置されており, 各振動子の位相を制御することで所望の位置に超音波の焦点を形成し, 点刺激を提示することが可能である. 加えて, 焦点が形成される位置を移動させることにより, 触覚刺激の移動を再現することが可能である.

ここで, 離散的な 2 つの刺激を提示する際, 2 点間での滑らかな運動が知覚される仮現運動が生じることが知られている. 視覚における仮現運動が一般に広く知られている一方, 触覚においても振動刺激 [2]・電気刺激 [3] および熱刺激 [4] で仮現運動の発生が報告されている. このうち, Kirman ら [5] は, 指上に電気刺激を与える点を配置した実験により, 刺激の提示時間と提示間隔が仮現運動の生起の有無を決定するパラメタであるとした. 適切に刺激間のパラメタを設計することにより, 仮現運動の生起を制御し, 連続的な触覚提示に活用することができる.

従来の触覚における仮現運動では, 運動を滑らかに感じさせたい場合, 図 2 上のように移動を感じさせる点同士の距離を広く取る一方で, 点刺激をオーバーラップさせて提示するなど, 時間的に近接させる必要があった. 一方, AUTD を用いて点刺激を提示する強みとして, 刺激点の位置をサブミリ単位で細かく設定・移動させることが可能な点が挙げられる.

そこで本研究では, 図 2 中のように, 空間的には密な代わりに, 時間的に疎な刺激提示手法を提案する. このように提示する利点として, 刺激が提示されない時間区間について, 異なる時系列刺激を提示することが可能であること

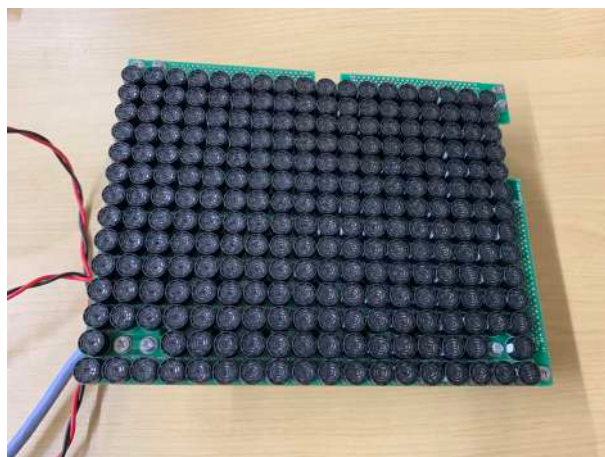


図 1: AUTD を上部から撮影した図.

が挙げられる. その結果, 図 2 下のように, 複数点の移動感覚を, 時分割手法により提示できるのではないかと考えた. 以下, 本提案手法を「時分割な手法」と記述する.

時分割な手法においては各時刻ごとに提示されている刺激は 1 点のみであるため, 提示した点列の刺激同士が影響を及ぼさないかを検証する必要がある. このことを踏まえ, 本研究では, メインの点列とサブの点列の刺激を交互に提示し, メインの点列の知覚がどの程度サブの点列に影響されるかを確認する実験を行った.

2. 実験

2.1 実験機材と被験者

本実験においては, 図 3 のように 12 台の AUTD からなるセットアップを使用した. 5 名の被験者 (全員男性, 平均年齢 22.2 歳) が実験に参加した.

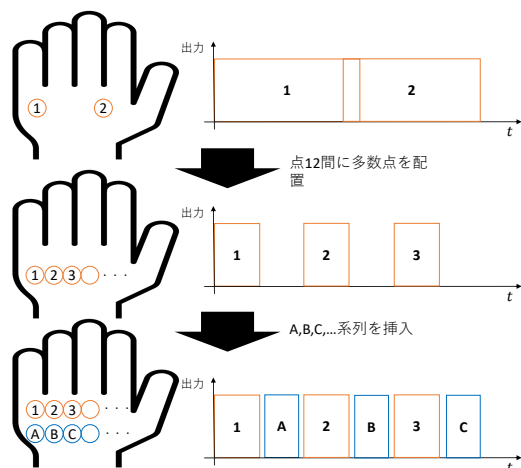


図 2: 時分割な複数焦点の提示手法.

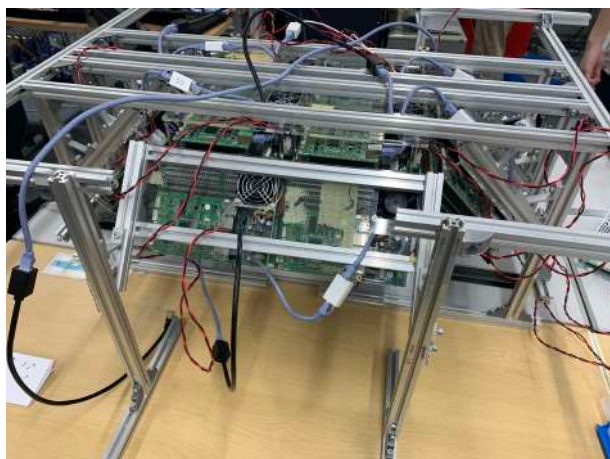


図 3: AUTD12 台を使用したセットアップ. AUTD 間に隙間はなく、いずれも水平面と平行または 45 度傾いている。

2.2 実験方法

本実験では、メイン刺激を直線状に 10 [mm] 間隔で並んだ 5 点に配置した。各刺激の提示時間は 50 [ms] とし、刺激間の空き時間は 50 [ms] とした。サブ刺激は「なし」「固定点」「移動点」の 3 通りとし、メイン刺激の空き時間の中央に提示した。サブ刺激の提示時間は 5, 25, 50 [ms] の 3 通りとし、「なし」を含めて合計 7 通りのサブ刺激で比較を行った。刺激の提示順序およびメイン刺激とサブ刺激の位置関係を図 4 に示す。また、メイン刺激の方向による影響を確認するため、メイン刺激は水平方向に対し 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 [度] の 8 通りで実験を行った。メイン刺激の方向によらずメイン刺激とサブ刺激との位置関係は固定した。各被験者に対しサブ刺激 7 通り、メイン刺激の方向 8 通りの計 56 通りの刺激を提示した。各刺激提示において、刺激を 5 回ずつ被験者の手掌に提示した後、上記の 8 通りの方向のうちどの方向の直線的な動きを主に感じるかを被験者に回答させた。被験者への刺激の提示はランダムな順番で行い、16 種類提示する毎に

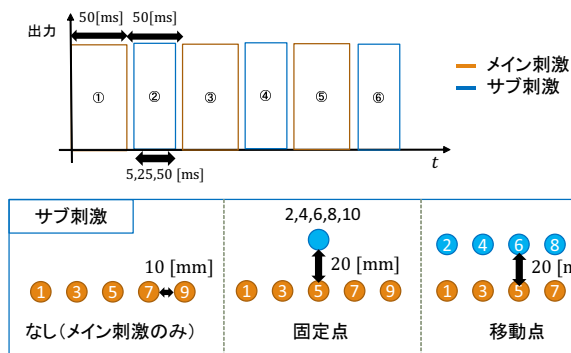


図 4: メイン刺激とサブ刺激の提示法を示した図. 図上: 刺激の提示順序・提示時間を示した図. 図下: サブ刺激の空間配置を示した図.

休憩を与えた. AUTD の駆動音の影響を低減するため、被験者はヘッドホンでホワイトノイズを聞きながら実験に参加した。

2.3 結果

サブ刺激の種類に着目した結果を表 1 に示す。被験者ごとの正答率の平均値はサブ刺激がなくメイン刺激のみの場合は 87.5 [%] と最大であり、サブ刺激の付加に伴い正答率平均が低下した。また、サブ刺激が固定点の場合および移動点の場合のいずれにおいても、サブ刺激の提示時間の増加に伴い正答率平均は低下しており、固定点で提示時間が 50 [ms] の場合が 55.0 [%] と最小であった。真の移動方向からの回答角度のずれの平均値はサブ刺激なしおよび固定点の場合と比較し、移動点の場合で大きな負の値をとった。移動点同士で比較した場合、角度ずれ平均はサブ刺激の提示時間が 5 [ms] の場合に -13.5 度と最小であり、提示時間が長くなるにつれ増加した。

また、水平方向からの角度に着目した結果を表 2 に示す。正答率平均はメイン刺激が 270 度、すなわち手掌上部から下部への移動の場合が最大となっており、225 度、すなわち手掌右上部から左下部の場合で最小であった。また、被験者の全回答を角度別に分類した結果、角度を 270 度とする回答が最も多く、0 度および 180 度とした回答が最も少なかった。

2.4 考察

サブ刺激の付加により正答率が低下したことから、本実験での提示時間の設定において、サブ刺激の種類によらず、時分割に提示を試みたメイン刺激の知覚がサブ刺激により影響を受けたといえる。そのため、時分割な手法で独立した複数点を提示する場合には、提示時間の設定を変更する必要があるといえる。また、サブ刺激の提示時間が長いほど、正しい移動方向を知覚しづらくなると考えられる。また、角度ずれ平均に関する結果から、特にサブ刺激が移動点の場合に、回答がサブ刺激のある側に偏っているといえる一方、固定点ではこの傾向が見られない。このことから、点の移動方向の知覚はその点に近い別の刺激点に引っ張られてしまう可能性が示唆される。さらに、移動点同士での比較から、移動点

サブ刺激	なし	固定点		
		5ms	25ms	50ms
正答率平均 [%]	87.5	70.0	62.5	55.0
角度ずれ平均 [度]	-1.13	-4.50	6.75	-5.63
角度ずれ絶対値平均 [度]	5.63	15.8	24.8	21.4

サブ刺激	移動点		
	5ms	25ms	50ms
正答率平均 [%]	75.0	70.0	67.5
角度ずれ平均 [度]	-13.5	-9.00	-7.88
角度ずれ絶対値平均 [度]	13.5	15.8	14.6

表 1: サブ刺激の種類に着目した実験結果. 上段は正答率平均, 中下段はそれぞれ正しい移動方向からの角度ずれおよびその絶対値の平均を表す.

水平方向からの角度 [度]	0	45	90	135
正答率平均 [%]	65.7	77.1	74.3	68.6
回答数	26	37	37	30
水平方向からの角度 [度]	180	225	270	315
正答率平均 [%]	60.0	57.1	82.9	71.4
回答数	26	34	54	36

表 2: 角度に着目した実験結果. 上段はメイン刺激の角度別の正答率平均, 下段は被験者の回答数を表す.

50 [ms] のようにメイン刺激とサブ刺激が対称な場合と比べ, 移動点 5 [ms] のようにメイン刺激とサブ刺激が非対称な場合にずれ方が大きくなると考えられる.

角度に関する結果から, 手掌上で上から下への移動は正しく知覚しやすいうえ, 左上から右下, あるいは右上から左下のような刺激が, 上から下への刺激と混同されていると考えられる. このように, 直線状の移動の知覚がほかの点にどの程度影響を受けるかは, 直線の向きにも依存すると考えられる.

3. 結論

本研究では, AUTD を用いた触覚提示を活用し, 時分割で 2 点の提示を行う際の知覚への影響について実験を行った. 実験の結果から, 直線的な移動における方向知覚が, 別の刺激により影響を受けること, 移動点刺激がメインの刺激を引っ張る方向に影響を与えることや, 影響度合いが提示した直線刺激の方向により異なることを示した.

参考文献

[1] Shun Suzuki, Seki Inoue, Masahiro Fujiwara, Yatsutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda. "AUTD3: Scalable airborne ultrasound tactile display." IEEE Transactions on Haptics, Vol. 14, No. 4, pp. 740-749, 2021.

[2] 和気典二. "仮現運動からみた触空間の有無." 第 4 回感覚代行シンポジウム, pp. 81-87, 1978.

[3] Sherrick, Carl E., and Ronald Rogers. "Apparent haptic movement." Perception Psychophysics, Vol. 1, No. 3, pp. 175-180, 1966.

[4] 西村崇宏, 唐澤洋之, 瀬尾明彦, 土井幸輝. "ヒト手掌部での温度感覚による仮現運動において温度刺激の提示時間と SOA が発生率に及ぼす影響の評価." 日本感性工学会論文誌, Vol. 11, No. 3, pp. 475-481, 2012.

[5] Jacob H. Kirman. "Tactile apparent movement: The effects of interstimulus onset interval and stimulus duration." Perception Psychophysics, Vol. 16, No. 1, pp. 1-6, 1974.

[6] Sherrick, Carl E. "Studies of apparent tactual movement." The skin senses, pp. 331-344, 1968.