

触覚情報の時間伸縮提示による物性・物理現象理解の アシスト手法の確立

A method of elucidation of phenomena using tactile information of
controlling expansion/ compression in time direction

2151028



研究代表者 筑波大学 システム情報系 助教 橋本 悠 希

[研究の目的]

本研究は、触覚情報を時間伸張/縮小し、人間が触知覚可能な周波数帯域に触覚情報をシフトさせて皮膚に提示することで、ユーザに対して実時間では触知覚が難しかった物体の物性や様々な物理現象を知覚させ、その判断・理解をアシストする手法を確立することが目的である。

記録された情報を時間方向に伸縮する手法は、物理現象の詳細な解明、実験データの多面的な分析、装置のデバッグ等、科学技術の分野において長年用いられ多大な功績を挙げてきた。また近年、半導体技術の大きな進展により高速度撮影が極めて低コストで行えるようになったこともあり、芸術やエンタテインメントの分野において高速度撮影&時間伸縮再生の利用が広まりつつある。例えば静止画では、高速シャッターによって一瞬の出来事を高精細に切り出し、美しさや異様さが混在する不思議な感覚をもたらすことに成功している。また動画では、スローモーション映像を用いて高い臨場感を演出したり、タイムプラス映像によって雲の流れなど実時間では知覚しにくい変化を克明に捉えることに成功している。

このように、情報の時間伸縮効果は広い分野で用いられている。しかしながら、最終的な出力は全て視覚に頼っている現状がある。聴覚の分野においてはセキュリティやAV関連分野

において音声の基本周波数を変化させる変声機が存在するが、あくまでも変調であるため映像と同じような時間伸縮とは言い難い。また、人間の聴覚は周波数に対する知覚能力が非常に高いため音声を単純に時間伸縮してしまうと変質された別物の音に聞こえてしまうという問題がある。

このような背景を受けて我々は、時間伸縮された情報出力先として新たに触覚が利用できないかと考えた。なぜなら触覚の場合、異なる速度で物性を提示しても判別が可能であるという特性を持つためである。我々が実際に物を触る場合、様々な速度で手を動かす。その場合、発生する振動周波数は異なるはずなのに、同じ物質として感じるができる。この特性を利用することで、物の特性を損なうことなく現象を捉えやすくし、感動を呼び起こすような触覚提示が可能であると推測される。

以上から、本研究では、視覚や聴覚の分野で行われてきた「人間が見える速度、聞こえる周波数」となるように情報を時間方向に伸縮させるという操作を触覚情報にも適用することで、今まで視覚や聴覚の操作だけでは理解・判断が難しかった物性や物理現象に対し、「触る」という新たな尺度を与えることを目指す(図1)。

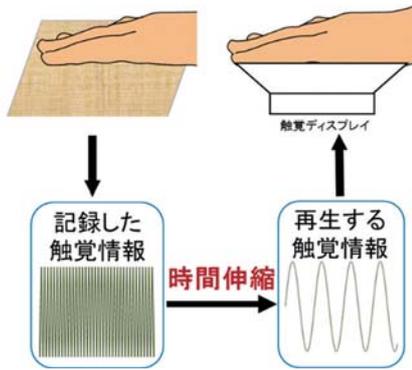


図1 本研究の概要

[研究の内容, 成果]

時間伸縮時の知覚特性および効果の検証

物体が落下・衝突したときに生じる触覚情報の記録及び時間伸縮再生を行い、得られた振動情報の特徴と理解しやすい伸縮倍率の関係を明らかにすることを試みた。

記録装置は図2に示す通りであり、板に対して物体を落下させ、その際に生じる板の振動をレーザー変位計レーザー変位計 (KEYENCE, LK-H50, LK-G3000V) で計測した。また高速カメラ (Sony, RX100 MK4) を用いて動画も同時に記録した。サンプリングレートは、レーザー変位計=1000 kHz, カメラ=1 kHzであった。再生装置は図3に示す通り、音響スピーカを用いて手とスピーカコーン内の空気圧を制御し、手のひら全体に振動を提示した。記録した

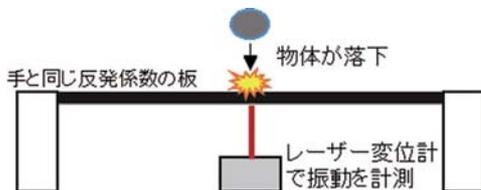


図2 衝突時の触覚情報記録システム

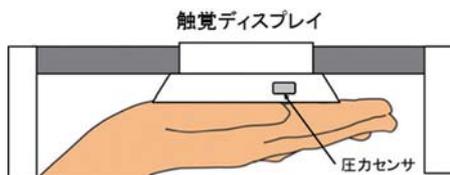


図3 衝突時の触覚情報提示システム

触覚情報の時間伸縮率の制御はPCで行い、インタフェースボード (Interface Corporation, PCI-3523A) から出力した。

上記の装置を用いて、物体衝突時の振動情報を記録し、物体の判別実験を行った。対象物体は、特徴を3種類 (カテゴリ1=剛体・粒, カテゴリ2=弾性体・球, カテゴリ3=粘弾性体) に分けたサンプルを各3種類ずつ、計9種類とした。実際に使用した物体は以下の通りである。



図4 本研究の概要

実験方法は、ある再生速度においてランダムに衝突振動を提示し、最もイメージに合うと思った物体を選択するというものとした。再生速度は伸長時で1/3倍, 1/10倍, 1/30倍, 収縮時で3倍, 10倍, 30倍, 基準速度1倍の7通りとし、各再生速度に対して物体の触覚提示それぞれ5回ずつランダムに提示した。被験者は20代男性10名であった。

実験結果を表1, 2に示す。

表1より、基準となる1倍時と比較して他の倍率の方が高い正答率となる場合が存在することが分かった。また、似通ったカテゴリの物体は正答率の変化に近いことも分かった。次に表2より、カテゴリ別の正答率を見ていくと、カテゴリ1では1/10倍再生時, カテゴリ2では1倍時, カテゴリ3では3倍時がそれぞれ最も正答率が高かった。以上から、物性によって最適が再生倍率で触覚情報を提示することで、実

表1 平均正答率(物体別)

1:米 2:ナット 3:大豆
4:ゴムボール 5:スーパーボール 6:ビー玉
7:スライム 8:シリコン 9:こんにゃく

		再生速度の倍率						
		1	1/3	1/10	1/30	3	10	30
対象物体	1 (%)	50	60	65	50	31	20	10
	2 (%)	23	30	50	23	20	15	13
	3 (%)	35	25	43	40	17	14	20
	4 (%)	40	43	25	35	35	21	23
	5 (%)	28	23	33	20	38	26	18
	6 (%)	30	18	25	18	32	21	11
	7 (%)	33	38	18	25	52	53	46
	8 (%)	48	35	28	23	50	55	39
	9 (%)	38	40	43	10	56	34	22
	平均 (%)	33	35	37	27	33	27	23

表2 平均正答率(カテゴリ別)

		カテゴリ1 (%)	カテゴリ2 (%)	カテゴリ3 (%)
再生速度の倍率	1	36	33	39
	1/3	38	28	38
	1/10	53	28	29
	1/30	38	24	19
	3	23	32	51
	10	16	23	47
	30	14	17	36

時間での判別が難しいことが判別しやすくなるというアシスト効果が認められた。

能動触に対応した装置の実装

我々が触覚情報を取得する際には、能動触（触る）と受動触（触られる）という2つの条件が存在し、それぞれ触覚特性に相違点が存在することは既に明らかになっている。そこで、これまで行っていなかった能動触における知覚特性を検証するため、新たに記録・再生装置を設計・実装した。

記録側では、加速度センサを爪上に装着し、なぞり動作時における指の振動を記録することとした。また、マイクロフォンを別途取付け、加速度センサでは記録しきれない情報があれば利用することとした（図5）。

提示側では、爪上に振動子を取付け、なぞり動作時に振動させることで指腹側に振動を知覚するという錯覚現象を用いた提示手法を用いた

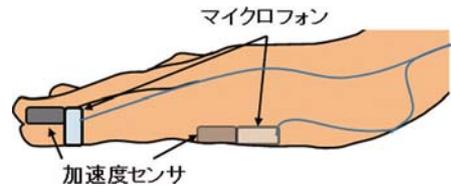


図5 能動触用記録装置

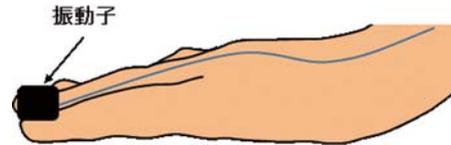


図6 能動触用記録装置

（図6）。本錯覚現象を用いることにより、指での作業を邪魔せず、必要な触覚情報を重畳提示することが出来る。

また、手のなぞり動作は、モーションキャプチャシステムで記録した。

実際に製作した装置を図7に示す。

本装置は、小型振動子、加速度センサ、小型アンプ、マイク、バッテリー、無線通信モジュールで構成されている。本装置は記録と提示両方に対応している。記録時は、加速度センサとマイクを有線で接続し、モーションキャプチャシステムによる腕や手の軌跡と同時に記録した。提示時は、腕の自由な動作に対応するため、無線通信によって振動波形を送る仕様とした。無線の場合は時間遅れが問題となるが、aptX Low Latency 技術を採用することで、概ね 40 ms 以下の時間遅延に収めることを可能とした。振動生成のための波形は音声ファイル

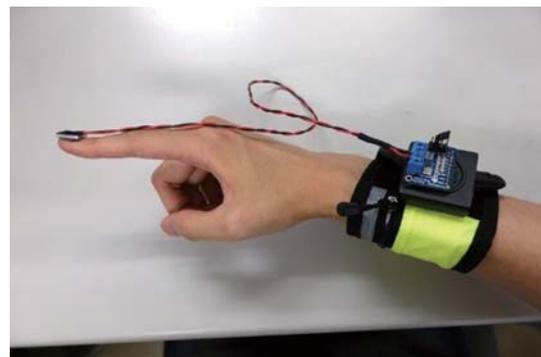


図7 製作した装置

としてPCから出力した。出力の流れは以下の通りである。

- ・ なぞり時の腕の速度と振動情報を記録
- ・ 提示装置を装着して滑らかな面をなぞる
- ・ 腕の速度に対応して再生倍率が変更された振動情報を提示する。

本システムを複数の被験者に体験して頂いた結果、腕の動作に合わせてリアルタイムに再生速度が変化するため、触覚情報を判別しやすい再生倍率に合わせることが容易になったという意見がほぼ全ての被験者からあった。そこで、予備実験としてなぞり時の触覚情報をなぞらずに知覚させた場合と比較させてみたところ、運動という手がかりが追加されたことによる判別率への影響は今のところ無かった。

最後に、本研究成果を筑波大学の専攻公開でデモ発表し、多くの方に提案手法について体験して貰う機会を設けた（図8）。

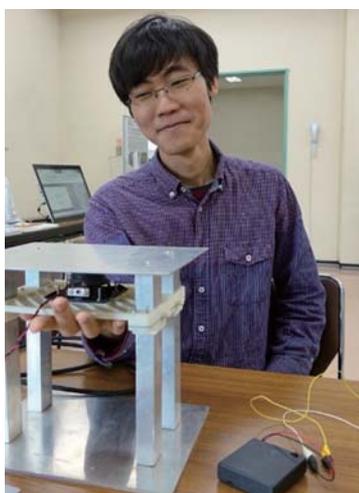


図8 デモ発表での体験風景

[今後の研究の方向, 課題]

本研究において、触覚情報を時間伸張/縮小させ、人間にとって分かりやすい触覚情報にすることで様々な物性や物理現象への判断・理解をアシストする手法を提案した。本研究機関では、実際に触覚情報を時間伸縮提示することで物性が判別しやすくなることを示した。また、能動触にも対応したシステムを製作し、提案手法の使い勝手を向上させることが出来た。今後は、本研究機関では見つけることが出来なかった能動触と受動触による違いについて、より詳細な比較を行なうと共に、実用化に向けて実際の作業現場での使用実験を行いたいと考えている。

[成果の発表, 論文等]

筑波大学大学院知能機能システム専攻・専攻公開にてデモ発表, 2016/5/7, 2016/6/4.
第17回 SICE SI2016にて発表予定.