



Swarm Touch:触覚フィードバックによる 群ロボットの所有感生成

Swarm Touch: Generating a Sense of Ownership in Swarm Robots Through Tactile Feedback

市瀬友基¹⁾, 平野稔樹¹⁾, 吉田琉伽¹⁾

Yuuki ICHINOSE, Toshiki HIRANO, and Ruka YOSHIDA

1) 東京都立多摩科学技術高等学校（〒184-8581 東京都小金井市本町 6-8-9, 042-381-4164）

概要：ヒトは特定条件下において群ロボットを自己身体の一部として身体化できることが近年明らかとなっている。群の柔軟性や頑強性といったユニークな特性の獲得は、災害現場での作業支援や遠隔地におけるインタラクティブなコミュニケーションなどへの応用が期待される。本企画では、既存システムが提供する視覚情報に加え、群身体としての触覚「群触覚」の取得を目指す。個体群が物体と接触した際、対応する身体部位への触覚提示により、より自然で直感的な群の身体化体験を実現することを目的とする。

キーワード：群ロボット, 触覚フィードバック, 身体所有感, サイバネティックアバター

1. 企画概要

1.1 はじめに

私は「群」になりたい。群は単なる個体の集まりではない。アリのように、鳥のように、それらはまるで一つの生命体のように振る舞う。私はそんな群を、群ロボットを用いて”自分の身体”として獲得してみたいと考えた。それは群として群ロボットの高い柔軟性や拡張性、ロバスト性といったユニークな特性に起因するものであり、現実空間における自身の身体では到底なし得ない能力を獲得できることを意味するからだ。「Swarm Touch」では接触検出モジュールを搭載した群ロボットをHMD（ヘッドマウントディスプレイ）と触覚提示装置を通して操作し「身体が群となる」没入的な擬似体験の実現を目指す。ユーザーの身体部位を群として分散し、広がり、外界と直接触れることにより「群としての触覚」を提示することが目的である。

1.2 手段

本企画では以下の技術的手段により、上記の目的を達成する。

- ・群ロボットシステムの構築
外界との接触情報を取得可能であるモジュールを搭載した個体群を構築する。
- ・HMDによる主観視点提示
ユーザーにHMDを通して群ロボットを身体部位とする主観視点を提示することで没入感を向上させる。
- ・触覚提示装置との連動
個体が外界の物体等に接触した際、対応する身体部位に装着された触覚提示装置が動作。群によって構築された身体への「触覚情報」の付与を試みる。
- ・双方向通信
ユーザーの身体部位を取得し群ロボットを制御する。また同時に群ロボットの接触情報等の取得し触覚フィードバックを行い体験者と群ロボットのインタラクションを実現する。



このように Swarm Touch では身体性の拡張, 群ロボット, 触覚フィードバックという 3 つの要素を融合することにより, これまでにない没入体験を提供することを狙いとする。

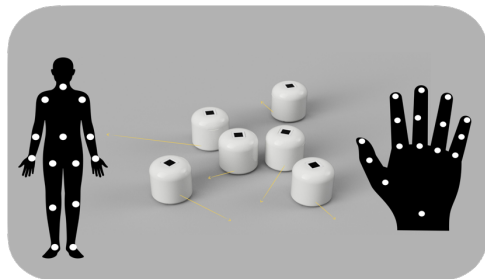


図 1 身体化された群のイメージ

1.3 先行研究

YOSHIDA SHIGEO 氏らによる Swarm body では, 個体の大きさ, 群の密度, 特定の条件下において群ロボットを身体化できる可能性が高いと結論づけている, しかし, どれもが身体化可能な群ロボットシステムというのは, いまだ実現していない. 身体化感覚の個人差や, 個体間での衝突によって移動が阻害され運動同期性の低下が主な課題と結論付けている。

そこで私たちは, ユーザーに対して, 触覚情報の提示を行うことで, 群ロボット, ユーザー間でのインタラクションが向上し, 身体化感覚, 「自分の身体の一部である」といった感覚を持ちやすくなると考えた. Grégoire Richard 氏らによる Studying the Role of Haptic Feedback on Virtual Embodiment in a Drawing Task では, グローブから力覚と振動情報を提示した際, グローブなしと比較して身体所有感が有意に向上したと報告されているため, 本プロジェクトにおける, ハプティックグローブの触覚情報の提示は, 身体所有感の向上に貢献すると予想される。

2. システム構成

2.1 全体構成

全体構成は図 1 のようになっている. 図中の矢印は各ユニット間の通信, 関係性について大まかに示したものである. 尚, 本企画においてはユーザーの身体部位のうち, 特に「手」を群とすることを前提として進める。

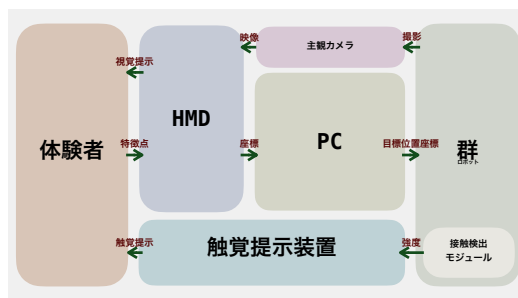


図 2 システム構成図

2.2 要素の詳細説明, 使用機材

2.2.1 HMD

Meta Quest2 を使用する. 内臓フロントカメラでユーザーの手の特徴点を取得し, それらを 2 次元座標として群ロボット制御用 PC に転送する. また, 群ロボットの動作の様子を動作フィールドに設置された主観カメラの映像を視覚情報として提示することで没入感の向上を図る。

2.2.2 群ロボット

本企画における群ロボットは Sony Interactive Entertainment が提供する toio (図 2) によって構成される. toio は 2 次元平面上を自由に移動可能な小型ロボットであり, 専用マットを用いることで, その絶対位置座標を取得可能である. 本システムでは各個体の目標位置座標を指定することで制御する. ユーザーの装着する HMD によって取得した特徴点と群ロボットの位置座標が対応している. 処理された各特徴点の座標データは PC から対応する個体の目標位置座標として制御される。



図 3 toio

2.2.3 接触検出モジュール

各個体に搭載される接触検出モジュールである. これにより, 群の各構成要素が物理的な接触や衝突を検出し, そ



の情報をユーザーへリアルタイムに触覚として提示する。
本企画では主に以下の 2 方式を検討している。

■ 曲げセンサ方式

柔軟に変形可能な曲げセンサを用いることで、力のかかり具合やその方向、質感などを多様な触覚をセンシングすることが可能である。



図 4 曲げセンサ方式

■ フォトリフレクタ+クッション材方式

フォトリフレクタを用いた方式は比較的安価かつ小型で実装可能であり、各個体の省スペース化とコスト削減に寄与する。クッション材越しに押圧を受けた際の反射光の変化を読み取ることで接触の有無と接触強度を取得する。

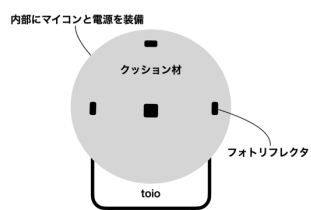


図 5 フォトリフレクタ方式

2.2.4 ハプティックグローブ（触覚提示装置）

振動子（ERM）を搭載した手袋。体験者が装着し振動子が動作することで、触覚情報の提示を行う。振動子は各指の腹にあたる位置に取り付けられている。接触検出モジュールが群ロボットの状況に合わせて計測した強度を、PC を通して無線で受信し、同等の強度で振動を提示する。群ロボットの状況に合った、振動を出力することで、より精度の高いフィードバックを行うことができる。また本企画では、プロトタイプ開発を通して振動子以外の提示方法も検討中である。



図 6 円盤型振動子と固定パーツ



図 7 試作のハプティックグローブ

2.2.5 主観カメラ

群ロボットの動作フィールドに設置され HMD を通して視覚情報として提示する。

2.2.6 PC

体験者の手の特徴点を元に個体群の制御を行う。PC と個体群は Bluetooth で接続され PC で処理された位置座標へ移動する。

2.3 プロトタイプ状況

本企画の実現可能性と接触検出モジュールの必要性の検証を目的とした。HMD は使用せず、ユーザーの身体部位の特徴点検出は MediaPipe で代替する仕様とし、接触検出モジュールは toio 標準機能である接触検出機能で実装した。また、振動子を搭載した試作のハプティックグローブの製作した。PC、別のマイコンを介して、toio からグロ



ープへ通信，操縦者への触覚情報の提示，触覚フィードバックを実装した．

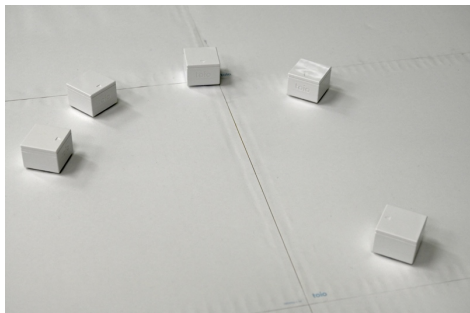


図 8 手の形状をした群ロボット



図 9 群ロボットで物体を運搬している様子

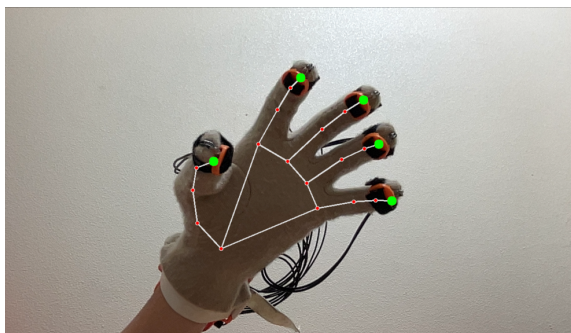


図 10 Media Pipe で特徴点を検出している様子

3. 体験の流れ

体験者は HMD とハプティックグローブを装着する．群ロボットの動作フィールド内には一般的な日用品等の物体（実物）が設置されている．体験者は操作を通じて物体を「見て」「触る」ことで群となった擬似体験をすることができる．

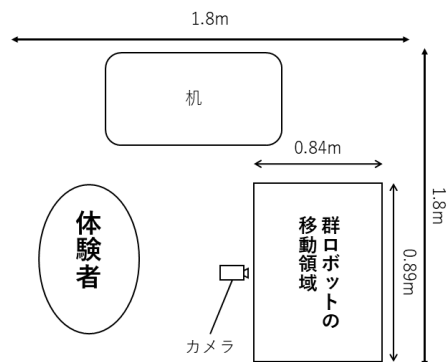


図 11 体験スペース計画

4. 制作スケジュール

4.1 ソフトウェア部門

7 月中：個体群制御システムと触覚提示システム開発

8 月中：全体チューニング

4.2 ハードウェア部門

6 月中：接触検出モジュールの開発

7 月中：ハプティックグローブの開発

8 月中：チューニング

5. 参考文献

- [1] YOSHIDA SHIGEO : Body 新たな身体性の獲得（オンライン），入手先
https://shigeodayo.me/ja/works/swarm_body/ .
- [2] 中川雅人，柏野善大，吉田成朗，稲見昌彦：ロボットの身体化に関する予備検討（オンライン），入手先
<https://conference.vrsj.org/ac2021/program/doc/2C1-5.pdf> .
- [3] toio コアキューブ（単体）：Sony Interactive Entertainment，入手先
<https://toio.io/platform/cube/>
- [4] Grégoire Richard, Thomas Pietrzak, Ferran Argelaguet, Anatole Lécuyer, Géry Casiez : Studying the Role of Haptic Feedback on Virtual Embodiment in a Drawing Task（オンライン），入手先
<https://www.frontiersin.org/journals/virtual-reality/articles/10.3389/frvir.2020.573167/full>