

# 牽引力錯覚を要素技術とした 場所の制約を受けない力覚インタラクションの検討

雨宮 智浩<sup>\*1</sup> 前田 太郎<sup>\*2</sup> 安藤 英由樹<sup>\*1</sup>

Haptic Interaction Based on Perceptual Attraction Force without Constraint of Location

Tomohiro Amemiya<sup>\*1</sup>, Taro Maeda<sup>\*2</sup>, and Hideyuki Ando<sup>\*1</sup>

**Abstract** - In this paper, we discuss application possibilities of force perception technologies for hand-held devices in the field of entertainment. We developed an interactive system with the force perception technology called "Come Over Here, or Catch You!", which consists of a hand-held haptic interface and a position and posture identification system. Since the hand-held haptic interface does not require an external ground, it can be used outside the laboratories and does not interrupt human's behavior. We verified the feasibility of the system through results of questionnaires by the experienced.

**Keywords** : Haptic Display, Perception, Wearable and Mobile Computing, Interaction, Interface using Sensory Illusion

## 1 はじめに

手を引く歩行誘導は、たとえば親が子の手を引くように日常生活で自然に行われている。それにもかかわらず、こうした情報提示は視聴覚による誘導手法に比べ技術的難易度から実装された例が少ない。そのため、エンタテインメントの分野で力覚提示装置を用いて牽引される体験はそれ自体が新鮮である。しかしながら、力覚情報の提示には反力を支持するため、床などの基底部に固定する必要があり装置が大掛かりなものになる傾向があった [1][2]。また、基底部に固定をせずに力覚情報を提示する場合、空気圧などが作用できる限られた空間内でのインタラクションにとどまっていた [3]。

一方で、場所の制約を受けずに利用するためのモバイル式の力覚提示手法として、ジャイロ効果を利用した方式 [4] や角運動量変化を利用した方式 [5] などが提案されてきた。しかし、これらの方式ではごく短い時間でのトルク感覚のみが提示可能で、たとえば並進方向に連続的な力を提示するようなインタラクティブ作品は実現できない。近年、トルク感覚の提示だけでなく、非固定ながら並進方向の力を提示する方法として、揺動クランクスライダ機構によって非対称な加速度運動を生成する方法 [6]、二つの偏心回転子の位相と速度を制御する方法 [7]、ばねとカム機構によって非対称な加速度運動を生成する方法 [8] が提案されている。

本稿では場所の制約を受けずに力覚情報提示する手法として人間の錯覚を利用した手法 [6][9] を

採用し、外部に非固定な状態で力感覚を体験できるインタラクティブ作品への要素技術としての適用可能性を検討する。具体的には当該手法を用いたインタラクティブ作品 (Come Over Here, or Catch You!, 図 1) を制作し、その適用可能性についてアンケートを通じて議論する。

## 2 力覚インタラクション

### 2.1 力覚モダリティの特性

力とはある質量を持った物体に加速度を発生させるベクトル量のことである。力感覚はこのベクトルを物理的接触により人間の感覚器官を刺激させることで生成される。そのため、力感覚によるインタラクションには、そのベクトルの性質を活かした引力および斥力による相互作用や、接触者のみが行われる情報授受の私的選択性を活かした相互作用が有効であると考えられる。

前述 [1][2] のように従来のインタラクティブ作品においても力覚を用いたものは存在したが、本稿では特に力覚モダリティの特性のうち、引力による相互作用を検討する。物体間に引力の相互作用がはたらくとき、運動の変化、たとえば移動とい



図 1 Come Over Here, or Catch You!  
Fig. 1 Come Over Here, or Catch You!

<sup>\*1</sup> 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

<sup>\*2</sup> 大阪大学大学院 情報科学研究科

<sup>\*1</sup> NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation

<sup>\*2</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

3 実装

インタラクションが生じる。ここで引力の加わる物体を体験者と設定したとき、人間の移動スケールを補うような広範囲における引力のインタラクションを検討する必要がある。そのため、場所の制約を受けずに提示可能な力覚提示手法が求められる。本稿ではこれを実現する要素技術として牽引力錯覚による力覚提示手法 [6][9] を採用する。

2.2 牽引力錯覚による力覚提示の効果

要素技術である牽引力錯覚の効果を分析し、それを基に特性を活かしたアプリケーションを模索する。そのため、牽引力錯覚の体験者からの内観報告が重要と考え、実演展示の場において体験者に牽引力錯覚発生モジュールを両手で把持したときに力を感じるかのアンケートによる回答結果を分析した。実演展示の場は ACM SIGGRAPH 2006 Emerging Technologies およびインタラクティブ東京 2006 であり、それぞれ 590 名、80 名の計 670 名から回答を得た (うち男性 566 名、女性 104 名)。図 2 にアンケートに用いた 4 つの質問および結果をそれぞれ示す。

Q1.1 の結果から 80 % 以上の体験者が評定 4 以上を回答し、非固定ながら牽引力が知覚されることが確認された。また、Q1.2 や Q1.3 の結果から、同じ携帯端末でも体験者の物理的移動を伴うような場面で、直観的に方位情報のような空間情報を伝達できるような体験がアプリケーションの実装例として望まれていることがわかった。同様に自由記述形式のアンケートの結果からも、視覚的情報の乏しい場面、例えば消防士の誘導などへの期待が高かった。これらの結果を基に、牽引力錯覚による直観的な方位情報の提示を行うアプリケーションを実装した。以下の章で詳細に述べる。

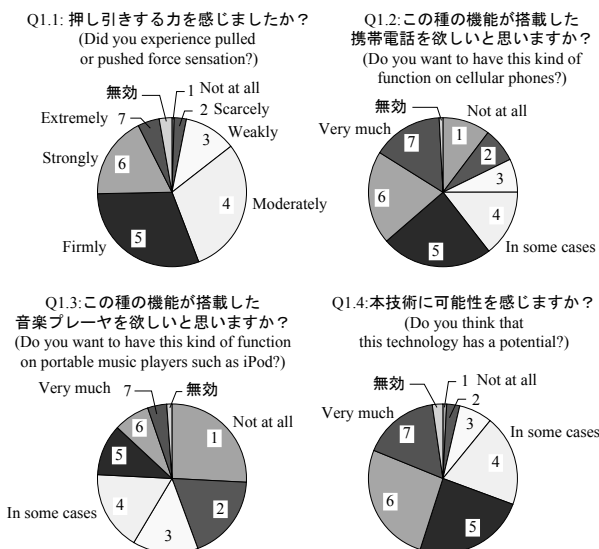


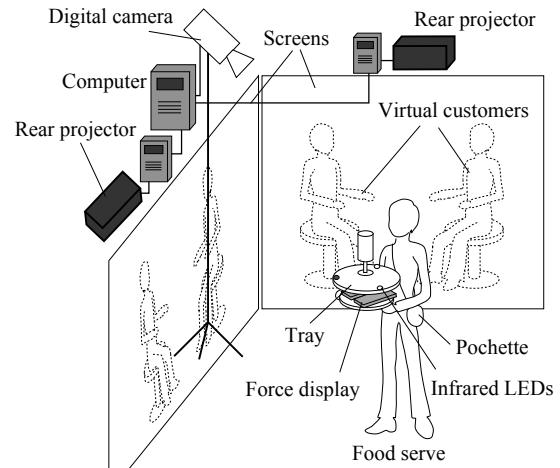
図 2 SIGGRAPH Emerging Technologies 2006 およびインタラクティブ東京におけるアンケート結果 Fig.2 Result of Questionnaire in Exhibitions.

3.1 シナリオ概要

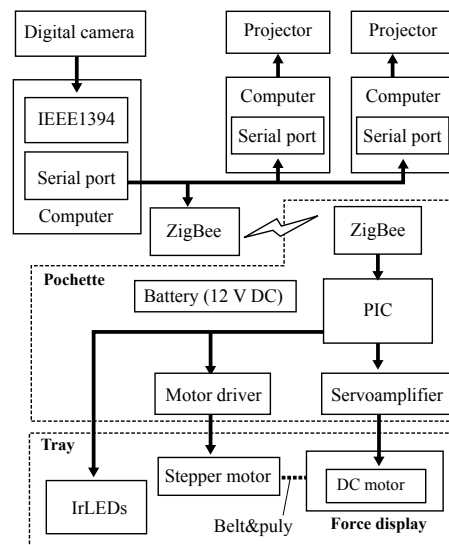
カフェの店員 (体験者) は店内の客 (目標物) に注文された飲み物を届けたいが、その客の場所がわからない。しかし、「賢いトレイ」が注文した客の場所まであたかも引力がはたらいているかのように引っ張って教えてくれる。店員は引力によって情報を享受するため、直観的かつ私的選択性 (場所がわからないことを客に知られずに届けることが出来る) といった力覚特性を活かして誘導されるというアプリケーションである。

3.2 システム構成

本システムは体験者が両手で把持するトレイ (約 750 g)、バッテリーおよび制御回路が入ったポシェット (約 300 g)、および赤外発光 LED と広角カメラを用いた画像処理による距離姿勢方向検出システムで構成されている (図 3)。トレイには牽引力錯覚発生モジュール、および力覚提示の方向変換機構が組み込まれている (図 4)。



(a) 体験者とインタラクティブシステムの様子



(b) システム構成

図 3 システムの構成図 Fig. 3 System Configuration.



図4 力覚提示装置の外観  
Fig. 4 Overview of the force display.

### 3.2.1 牽引力錯覚発生モジュール

牽引力錯覚発生モジュールは往復で強度の大きく異なる力を発生させ、片方を閾下に設計することで一方向のみに力が発生したように錯覚させる装置である [6][9]。ここでは、250 g の二層式揺動クランクスライダ機構の力覚提示装置 [10] を用い、5 Hz で駆動した。

### 3.2.2 距離姿勢検出システム

体験者の距離および姿勢の検出には、トレイ上に等辺 100 mm の直角二等辺三角形の頂点の 3 箇所に配置された超高輝度の赤外発光 LED (OD-100, OPTO Diode Corp., ピーク波長 880 nm, ビーム角 120 度) と広角レンズ (画角 175 度) が取り付けられた IEEE1394 接続モノクロ CMOS カメラ (Firefly MV, Point Grey Research Inc.) を用いた。LED の発光とカメラの撮影を同期させ、取得したカメラ画像から輝度値を二値化し、輝点領域の重心座標を求めると各 LED の位置座標を計算した。本アプリケーションではトレイに乗った飲み物を運ぶという状況設定のため、体験者はトレイを水平になるように保持する。このためトレイが水平であるという仮定のもと、3 点のうち少なくとも 2 点を検出することで姿勢が推定できる。撮像レートは約 7 fps であった。ブースのサイズを 3.0 m × 3.0 m × 2.5 m, カメラの高さは約 3.0 m で俯角は約 45 度とした。

本手法を用いたときの位置精度の計測誤差は 3 点が取得できているとき最大 100 mm であり、実演展示では目標物間が約 1,000 mm であることから体験者の位置を検出するには十分な精度であるといえる。

### 3.2.3 力覚提示方向変換機構

牽引力錯覚発生モジュールは 1 方向の力を提示するため、その提示方向を回転させることで水平面の任意の方向への力の提示が可能となる。牽引力錯覚発生モジュールが取り付けられたターンテーブルと、ステッピングモータ (バイポーラ, ステップ角 1.8 度, 1/4 マイクロステップ駆動, KH42HM2-851; 日本サーボ株式会社) に取り付けられたプーリにそれぞれベルトが係合し、ステッピングモータに入力する駆動パルス数をマイクロコンピュータ (PIC18F2525) が制御することで提

示する力の方向を制御した。駆動パルスは 1 kHz とした。また、減速比は 1/6 とした。方向変換装置の誤差は人間の角度知覚の分解能である 15 度程度 [9] より十分小さく、本アプリケーションの方向提示に十分な精度であるといえる。

### 3.3 処理手順およびデモの流れ

背面投影プロジェクタによって 4 組の客の映像がスクリーンに投影されている。体験者 (店員) は知覚される牽引力の方向をもとに給仕すべき客の前に移動する。提示される力覚情報の方向は、画像処理による姿勢検出システムを基に目標物の方向を牽引力錯覚発生モジュールが向くように制御された。制御指令は 3 撮像レート毎に 2.4 GHz の無線周波数帯を用いた ZigBee モジュール (BTX025 ZIG-100B) を用いてコンピュータからマイクロコンピュータへ指令が送られた。

体験者がある領域内に停留したときにその目の前に投影された客を選択したとし、注文した客と体験者が飲み物を届けた客が一致したかに応じた映像が再生される。客の映像はシリアル通信により切り替えた。

## 4 評価と考察

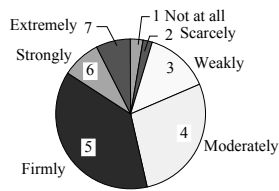
実装したシステムとアプリケーションを用いて Laval Virtual ReVolution 2007 において実演展示を行った (図 5)。体験者は約 500 名で、そのうち 120 名が体験後にアンケートに回答した。アンケートは英語および仏語で行われた。アンケートの項目およびアンケート結果を図 6 に示す。

Q2.1 の結果は前回のアンケートと同様の傾向 (中央値, 四分位) となり、本アプリケーションでも牽引力が知覚されることが確認された。Q2.2, Q2.3 ともに評定値 5 以上が半数を占め、牽引力の提示によって方位の情報がうまく伝わっていること、直観的な情報提示であったことが強く示唆された。Q2.4 では体験者の多くがインタラクティブ作品における力覚の重要性を認識していることが確認され、本手法を含めた力覚インタラクション全般に対する期待も伺われる。また、体験者からのコメ

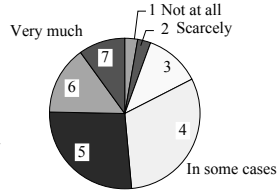


図5 実演展示の様子  
Fig. 5 Overview of the demonstration.

Q2.1: 押し引きする力を感じましたか?  
(Did you experience pulled or pushed force sensation?)



Q2.2: 力覚によって方向が分かりましたか?  
(Did you find a directional cue?)



Q2.3: 力覚による情報提示は直観的でしたか?  
(Was it intuitive to present directional information?)



Q2.4: インタラクティブシステムに力覚は必要だと思いますか?  
(Do you think that haptic sensations are necessary for interactive systems?)

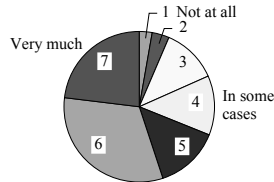


図6 Laval Virtual 2007 でのアンケート結果  
Fig.6 Result of Questionnaire in Laval Virtual 2007.

ントを分類すると、体験の新鮮さや提示手法のアイデアの新規性への評価に関するコメントがほとんどを占め、どこにも固定されずに力覚情報で誘導される体験に対するエンタテインメント性が示唆される。

体験者が正しくお客に給仕した割合は 83.3 % であり、チャンスレベルが 25 % であったことから誘導が適切かつ効果的に行われたことを示している。この結果から提案する手法による方位情報提示の有用性が強く示唆された。誘導の失敗の原因は主に体験者の回転とステップモータの回転の遅延および追従誤差によると考えられる。また、牽引力の効果についてはトレイやターンテーブルの固定部分によって、生じる力感覚は減衰したと考えられ、この減衰も誘導の失敗に関与していると考えられる。

また、実演展示において体験者が赤外発光 LED を遮蔽し、3 点ともうまく取得できない状況が観察された。他の位置・姿勢センサとの連携させることでロバスト性をさらに向上すると考えられる。

## 5 おわりに

本稿では実験室外でも利用可能な、力覚特性を活かしたインタラクティブ作品を制作し、その適用可能性について議論した。力覚提示装置の体験者からのアンケート結果を受けて 1 つのアプリケーションを作成し、実演展示を行った。その体験者からのアンケート結果からインタラクティブ作品への適用の有用性が示唆された。今後は GPS 機能等を含めた位置情報取得と組み合わせてさらに広域な場でのシステムを実装し、評価を進めていきたい。また、力覚が視聴覚などの他モダリティと比較したときの直観性の検証は今後の研究課題である。

## 参考文献

- [1] S. Hasegawa et al.: Human Scale Haptic Interaction with a Reactive Virtual Human in a Realtime Physics Simulator, ACE 2005, 149-155, 2005.
- [2] S. Jeong, N. Hashimoto, and M. Sato: A novel interaction system with force feedback between real - and virtual human: "virtual catch ball", ACE 2004, 61-66, 2004.
- [3] Y. Suzuki, M. Kobayashi, and S. Ishibashi: Design of Force Feedback Utilizing Air Pressure toward Untethered Human Interface, CHI 2002, 808-809, 2002.
- [4] 吉江, 矢野, 岩田: ジャイロモーメントを用いた力覚提示装置, 日本 VR 学会論文誌 7 (3), 329-337, 2002.
- [5] 仲田ほか: 角運動量変化を利用した力覚提示デバイス, 日本 VR 学会論文誌 6 (2), 115-120, 2001.
- [6] 雨宮, 安藤, 前田: 知覚的非線形性を利用した非接地型力覚惹起手法の提案と評価, 日本 VR 学会論文誌 11 (1), 329-337, 2006.
- [7] 中村, 福井: 非接地型力・トルク提示インターフェースの開発, 日本 VR 学会論文誌 11 (1), 87-90, 2006.
- [8] T. Amemiya, H. Ando, and T. Maeda: Hand-held Force Display with Spring-Cam Mechanism for Generating Asymmetric Acceleration, World Haptics Conference 2007, 572-573, 2007.
- [9] 雨宮, 安藤, 前田: 非接地型力覚提示装置を中空で把持したときの効果的な牽引力錯覚の生起手法, 日本 VR 学会論文誌 11 (4), 545-556, 2006.
- [10] 雨宮, 川渕, 安藤, 前田: 携帯型力覚提示インターフェースの総重量が牽引力錯覚の生成に与える影響, 日本機械学会 ROBOMECH '07, 1P1-B08, 2007.

(2007 年 4 月 24 日受付)

## [筆者紹介]

雨宮 智浩 (正会員)



2002 年 東京大学 工学部機械情報工学科卒業, 2004 年 同大学大学院 情報理工学系研究科修士課程修了, 同年 日本電信電話株式会社入社. 現在 NTT コミュニケーション科学基礎研究所にてウェアラブルインタフェース, 力触覚の錯覚現象の解明, 障害者支援の研究に従事.

前田 太郎 (正会員)



1987 年 東大・工・計数工卒. 工博. 同年通産省工業技術院機械技術研究所. 1992 年 東大先端研助手, 1994 年 同大学院・工助手, 1997 年 同大学院・工講師, 2000 年 同大学院情報学環講師. 2002 年 NTT CS 基礎研究所主幹研究員. 2007 年 大阪大学大学院教授.

安藤 英由樹 (正会員)



1998 年 愛知工業大学大学院 工 電気電子工 修士課程修了. 同年同大学院博士課程. 1999 年 理化学研究所 BMC JRA 配属. 2000 年 JST「協調と制御」領域グループメンバーを経て, 現在 NTT CS 基礎研究所 RA. 博士 (情報理工学).