



身体の物理的接触を拡張するウェアラブルデバイス (第 17 報) : 身体接触をインタフェースとするビデオゲームの設計

Wearable Device Augmenting Human-Human Touch Interaction XVII:
Designing Video Games Using Interpersonal Touch as an Interface

海老名健太¹⁾, 蜂須拓¹⁾

Kenta EBINA and Taku HACHISU

1) 筑波大学 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, ebina, hachisu@ah.iit.tsukuba.ac.jp)

概要: 近年、同じ場所に集まる、顔を向かい合わせるといった複数名間の相互的な行動 (社会的行動) を活用しプレイヤー同士の社会交流を促進するマルチプレイヤービデオゲーム (MPVG) が台頭している。握手やハイタッチに代表される身体接触は特有の親密感を与える社会的行動である。本研究では、社会的行動として身体接触を活用した MPVG の設計・開発により社会的交流を促進することを目的とする。我々はこれまでに人と人の手指による身体接触を計測し、振動で計測結果を実時間でフィードバックするブレスレット型デバイスを開発してきた。前報では、本デバイスを改変して身体接触をインタフェースとして MPVG に組み込むためのゲームコントローラの設計について報告した。本稿では、本コントローラを用いたビデオゲームの設計・試作について報告する。

キーワード: 身体接触、ウェアラブルデバイス、振動フィードバック、マルチプレイヤービデオゲーム

1. はじめに

マルチプレイヤービデオゲーム (MPVG) は、複数のプレイヤーがゲーム内で競ったり、協力したりすることで目的を達成し、社会的交流を促進する。近年では、プレイヤー達がコントローラとモニターを通じてだけでなく、例えば Niantic 社の Pokémon Go のように物理的に同じ場所に集まらせたり、任天堂社の 1-2-Switch のように顔を向かい合わせたりする複数名間の相互的な行動である社会的行動を活用したものが人気を集めている。

握手やハイタッチに代表される身体接触は特有の親密感を与える社会的行動として発育や対人交流に肯定的な効果が報告されている [1] ことから、MPVG のプレイヤーの社会的交流を強化する手段として期待できる。ヒューマン・コンピュータ・インタラクション研究分野では、複数名の身体の物理的接触 (身体接触) を入力とした MPVG が開発されている [2, 3, 4, 5]。一方で、これらの身体接触を活用した MPVG に関する研究の挑戦的課題として、自然な身体接触を妨げない技術の確立が挙げられる。

本研究では、プレイヤーの身体接触を活用した社会的交流を促進する MPVG システムの設計・開発を目的とする。我々はこれまでに人と人の手指の皮膚同士の接触を計測し、振動で計測結果を実時間でフィードバックするブレスレット型デバイスを開発してきた。人体通信技術の応用により接触部位に素子を介在することなく身体接触を計測することを実現した [6, 7]。また、弾性体である皮膚の振動伝搬特性 [8] および錯覚現象 [9] を活用して、こちらも接触部位に素



図 1: プレイヤーの身体接触をインタフェースとするビデオゲームシステム

子を介在することなく握手中の二者間の手指に振動感覚を提示する技術 [7, 10] を確立した。前報では、本デバイスを改変した身体接触をインタフェースとして MPVG に組み込むためのゲームコントローラを設計した [11]。本稿では、本デバイスを用いたビデオゲームの設計・試作について報告する (図 1)。

2. 関連研究

2.1 身体接触を用いたエンタテインメント

ヒューマン・コンピュータ・インタラクション研究分野では、複数名の身体接触を入力としたエンタテインメントシステムが開発されている。Marshall らは一方の手で金属ハンドルを握らせ他方の手の接触強度を入力とする 2 人用アーケードゲームを実装した [5]。Kim らは、様々な距離や角度で配置された平行棒のようなバーの間をプレイヤー同士

が物理的に触れ合うことで身体を繋げて光を移動させるインタラクティブインストールを実装した [12]。どちらの研究においても必ずユーザは金属ハンドルやバーへ接触することを必要とする設置型のシステムであり、プレイヤーの運動を制限する。この制限がエンタテインメントを構成する要素と考えられる一方、より自由度の高いインタラクティブな体験を設計することは挑戦的である。

よりユーザの運動の自由度を向上した研究として、把持型または装着型デバイスを活用したものがある。Baba らは身体接触を検知する機能を搭載した一対の両手把持型ゲームコントローラを開発し、ボタンの押下と他プレイヤーとの身体接触を入力とするリズムアクションやバトルアクション等のビデオゲームを実装した [2]。Canat らはディスプレイを挟んで向き合うプレイヤー間の手指の接触ボタンを入力として活用した [3]。どちらの研究においても、2.2 節で述べる人体通信や静電容量センシングによる身体接触計測を活用したものであり、把持型・装着型デバイスによる実装で皮膚同士の接触の計測を実現しつつ、プレイヤーの運動の自由度を向上している。しかし、安定して身体接触を検知するためにデバイスの有線接続が必要であり、プレイヤーの自由な動きを制限する要因となりうる。

Isbister らは無線通信機能を有したグローブ型デバイスを装着したプレイヤー同士の身体接触を入力として音や光、映像でフィードバックを行う協力型ゲームを開発した [4]。無線装着型デバイスにより、プレイヤーの運動を妨げることなく、身体接触を活用したインタラククションを実現している。しかし、身体接触の検知はグローブに搭載された機械的な接触センサにより行うため、接触部位に介在する素子が皮膚同士の接触の妨げとなる。皮膚同士の直接的な接触は物理・社会的距離が最小となることから、プレイヤー間の親密感や社会的交流をさらに高まることが期待される。

また、上記の研究では身体接触に対するフィードバックは視聴覚を介したものがほとんどである。特にモニタを利用するものではプレイヤーの注意がゲームコンテンツに向きやすく、接触相手であるパートナーに向きにくい [5]。本研究では、触覚フィードバックを導入しプレイヤーの注意が接触部位に向きやすくすることで、プレイヤー同士の関わり合いを強化し、社会的交流が促進されることを期待する。

身体接触を利用するビデオゲームのデザインフレームワークはまだ十分に調査・理解されていない領域である。この分野の研究は限られており、特に身体接触を入出力とするインタラククションの設計に関する体系的なガイドラインは確立されていない。しかし、いくつかの先行研究がこの課題に対して有益な知見を提供している。Watts らは身体接触を利用するビデオゲームの設計において、多くのプレイヤーにとって実際のゲームプレイ行為よりも社会的交流の行為の方が重要であり、プレイヤーに身体接触を通じてインタラククションを行うように促すことを推奨している [13]。それによりプレイヤー間の社会的障壁を取り除き、さらなる対話を促すことができると説明している。Marshall らは、一

般にゲームが没入感を持つためにはプレイヤーが現実の環境から切り離された感覚を持つべきであるのに対して、身体接触を利用するビデオゲームにおいては、現実の環境の感覚を意識するように設計することを推奨している [5]。現実の状況に対する意識がなければ、ゲームをプレイするために隣にいる他プレイヤーの存在感も薄れてしまうはずである。プレイヤー間のインタラククションをより強調する設計とするために、接触部位に刺激を提示できる触覚フィードバックの利用は有効と考えられる。

2.2 人体通信による身体接触計測

我々はこれまでに複数名の接触した手指間で微弱な電流を流して通信する電流式人体通信技術を応用したブレスレット型デバイスを実装し、デバイスを装着した複数名の手指同士の接触の計測を実現した [6, 7]。特筆すべき点として、本デバイスは二点接触方式 [14] を採用した電極設計により有線接続を必要とすることなく身体接触を計測可能である。さらに、ブレスレット間に流れる電流量 (受信信号強度) より接触面積を推定可能であることを示した [6]。本研究では、これらの身体接触計測技術を活用し、プレイヤーの運動を妨げずに推定した接触面積を MPVG の入力として利用する。

2.3 皮膚の振動伝搬と錯覚現象

我々はこれまでに身体接触を計測するブレスレット型デバイスからのフィードバックについて、弾性体である皮膚の振動伝搬特性 [8] および錯覚現象 [9] を活用して、デバイスからの振動刺激によって身体接触中の二者間の手指に感覚提示する手法を報告してきた。デバイスが発する振動は装着者手首から手指、さらに接触相手に伝搬し、装着者だけでなく接触相手にも知覚される。これを利用して、両者のデバイスから提示する振動刺激の強度比により二者間の手指の任意位置に振動しているように感じるファントムセンセーション [9] を提示する手法を報告した [10]。これにより、接触部位に素子を介在せずに、接触部位に感覚提示する技術を実現している。

3. マルチプレイヤービデオゲームシステム

前報 [11] と同様に 2 名のプレイヤーを想定し、本システムを 2 つのブレスレット型デバイス (送信機および受信機)、モニタ、およびホストコンピュータより構成する。

3.1 ブレスレット型デバイス

ブレスレット型デバイスを制御基板、3D プリンタで作成した筐体およびリストバンドより構成する (図 2)。図 2A に示すように、筐体上面 (手首と接触する面と反対の面) には一般的なゲームコントローラのような十字キーと 2 つのボタンを配置する。図 2D-F に示すように、送信機および受信機いずれの制御基板も 2 層で構成する。図 2D に示すように、上層の基板の表面にタクトスイッチとフルカラー LED を実装し、裏面のコネクタよりフレキシブルケーブルを介して下層の基板と接続する。図 2E-F に示すように、下層の基板の表面にマイクロコントローラ、振動子ドライバ、慣性センサ、人体通信モジュール (3.1.1 および 3.1.2 項参

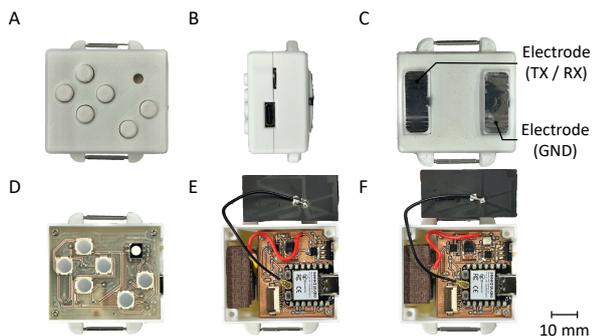


図 2: プレスレット型デバイス: A) 筐体上面; B) 筐体側面; C) 筐体底面; D) 制御基板上層; E) 制御基板下層 (送信機); F) 制御基板下層 (受信機)

照)、Bluetooth Low Energy (BLE) 用のアンテナを、裏面にリチウムイオンポリマ電池および人体通信用の電極を実装する。慣性センサおよび振動子ドライバをマイクロコントローラより Inter-Integrated Circuit 通信を介して制御する。制御基板に加えて筐体内に振動子を実装する。

マイクロコントローラは BLE 通信を介してホストコンピュータへの入力として筐体上面のボタンの押下状態、慣性センサの計測値、および受信機のみ後述の接触状態を示す受信信号強度の計測値を送信する。また、ホストコンピュータから出力として振動子ドライバ IC およびフルカラー LED への指令値を受信する。

3.1.1 送信機

送信機の人体通信モジュールを発振子より構成する。発振子はマイクロコントローラより制御し、信号出力時に電圧 $3.3 V_{PP}$ 、周波数 10.7 MHz の矩形波を出力する。出力信号を筐体底面の一方の電極 (図 2C) を介して手首の皮膚に印加する。なお、他方の電極を制御基板のグラウンドに接続する。

3.1.2 受信機

受信機の人体通信モジュールをバンドパスフィルタおよび中間周波数アンプより構成する。筐体底面の一方の電極 (図 2C) への入力信号をバンドパスフィルタを介して中間周波数アンプの IF 入力ピンに入力する。中間周波数アンプは入力信号の電圧に対数比例した電圧を RSSI (受信信号強度) 出力ピンより出力する。マイクロコントローラはこの出力を内蔵されたアナログ・デジタル・コンバータ (ADC) を介して計測し、BLE 通信を介してホストコンピュータへ送信する。

3.2 ホストコンピュータ

ホストコンピュータはゲームエンジン (Unity) より、BLE 通信を介して送られたプレスレット型デバイスからの入力 (ボタンの押下状態、慣性センサの計測値、受信信号強度の計測値) に応じたゲーム映像を生成しモニタに表示する。受信信号強度の計測値に関しては、2つの閾値を設定し3つの接触状態 (非接触、弱い接触、強い接触) を判定する。また、入力もしくはゲーム内のイベントに応じて2つのプレスレット型デバイスへの出力を計算し振動子ドライバ IC およ

びフルカラー LED への指令値を送信する。必要に応じて、我々が確立した振動提示技術 [7, 10] を基にしたアルゴリズムにより振動の強度および提示時間を計算、指令することで任意位置への振動感覚の提示や一方から他方へ振動が運動する感覚の提示を行う。

4. マルチプレイヤービデオゲーム

4.1 設計

2.1 節で述べた先行研究を基に、3. 章で述べたシステムを使用して開発する協力型ビデオゲームに対して以下の設計要件を設定した。

1つ目はプレイヤー同士の協力が必要な身体接触を入力とすることである。一方が他方に一方的に触れるのではなく、プレイヤー同士の連携や協力が必要な接触を求めることでゲーム体験の中でより深い交流が生まれることを期待する。2つ目はゲームコンテンツだけでなく接触部位もしくはパートナーに注意が向くようにすることである。モニタを使用したゲームの場合、視覚的フィードバックが主となることからプレイヤーの注意がゲーム画面に集中しすぎてしまい、接触相手への意識が薄れる可能性がある。触覚フィードバックを導入にして接触部位に感覚提示することで、プレイヤーの注意を接触部位ひいては接触相手に向けさせる。これによりプレイヤー同士の関わり合いが強化されることを期待する。3つ目はプレイヤー同士の共同作業によるゲームの成績が数値化ないし明示されることである。共同作業の成果が視覚的にフィードバックされることはゲームひいてはパートナーとの共同作業に対する報酬となり、モチベーションが向上することを期待する。

4.2 試作

試作したビデオゲームのキャプチャ画面を図 3 に示す。本ゲームはキャラクタ (きつね) をステージ上で左右に操作して落ちてくるチェリーをキャッチすることで得点を稼ぐアクションゲームである (図 3A)。途中で落下してくる爆弾を回避することで減点を避けたり (図 3B-C)、アイテム以外が暗転されるときは後述の振動を手がかりにキャラクタを操作する必要がある (図 3D)。

プレイヤーはパートナーと握手することでキャラクタの操作 (移動) が可能となり、手を放すことでキャラクタが半透明になり操作ができなくなる。操作可能状態では、握手中の手の傾きによりキャラクタを操作する。このとき手を傾ける方向がプレイヤー間で同じになるように協力する必要がある。操作不可能状態では、操作ができなくなりアイテムとの接触判定がなくなる (図 3B)。これを利用して障害物アイテムを回避することができるが、プレイヤー間で手を放しあうよう協力する必要がある。

キャラクタのステージ上での位置はモニタおよび手指間で感じられる振動位置より確認することができる。振動位置はファントムセンセーションによる位置感覚提示技術 [10] を用いてキャラクタの 1 ステップ毎に提示する。暗転時はこの振動位置を手がかりにキャラクタを操作する必要がある



図 3: 試作ビデオゲームのキャプチャ画面：A) 手を繋ぎ傾けることでキャラクタを操作しチェリーをキャッチすると得点；B) 手を放すことで爆弾を回避；C) 爆弾に当たると減点；D) 暗転時は振動を手がかりにキャラクタを操作

り、より接触部位に注意を払う必要がある（図 3D）。

5. おわりに

本稿では、プレイヤー同士の社会的交流を促進する身体接触を活用した MPVG の設計・開発を目指し、身体接触をインタフェースに組み込むブレスレット型ゲームコントローラを用いたビデオゲームシステムの設計について報告した。また、協力型ビデオゲームに対して 3 つの設計要件を設定し、試作を行った。

今後は本コントローラの性能評価と改善を図るとともに、試作したゲームのビジュアルの改善や難易度の調整を行う。また、実験参加者を募り開発した MPVG の社会的交流を促進する効果の評価を行う。

参考文献

- [1] T. Field: “Infants’ need for touch”, *Human Development*, **45**, 2, pp. 100–103 (2002).
- [2] T. Baba, T. Ushiyama, R. Tsuruno and K. Tomimatsu: “Video game that uses skin contact as controller input”, *ACM SIGGRAPH 2007 Emerging Technologies*, SIGGRAPH ’07, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 4–es (2007).
- [3] M. Canat, M. O. Tezcan, C. Yurdakul, O. T. Buruk and O. Ozcan: “Experiencing human-to-human touch in digital games”, *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA ’16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 3655–3658 (2016).
- [4] K. Isbister, K. Abe and M. Karlesky: “Interdependent wearables (for play): A strong concept for design”, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 465–471 (2017).
- [5] J. Marshall and P. Tennent: “Touchomatic: Interpersonal touch gaming in the wild”, *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems*, DIS ’17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 417–428 (2017).
- [6] T. Hachisu, B. Bourreau and K. Suzuki: “Enhanced-touchx: Smart bracelets for augmenting interpersonal touch interactions”, *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–12 (2019).
- [7] T. Hachisu and K. Suzuki: “Representing interpersonal touch directions by tactile apparent motion using smart bracelets”, *IEEE transactions on haptics*, **12**, 3, pp. 327–338 (2019).
- [8] T. Hachisu, G. Reardon, Y. Shao, K. Suzuki and Y. Visell: “Interpersonal transmission of vibrotactile feedback via smart bracelets: Mechanics and perception”, *IEEE Transactions on Haptics*, pp. 1–13 (2023).
- [9] G. v. Békésy: “Funneling in the nervous system and its role in loudness and sensation intensity on the skin”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, **30**, 5, pp. 399–412 (1958).
- [10] K. Ebina and T. Hachisu: “Interpersonal vibrotactile phantom sensation between hands via actuated bracelets”, *2023 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 28–33 (2023).
- [11] 海老名, 蜂須: “身体の物理的接触を拡張するウェアラブルデバイス (第 15 報): 身体接触をインタフェースとするブレスレット型ゲームコントローラの設計”, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024* (2024).
- [12] S. Kim, J. Hong, J. Lee, H.-S. Choi, G. Lee and W. Lee: “Touchbranch: Understanding interpersonal touches in interactive installation”, *Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference*, DIS ’18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 535–546 (2018).
- [13] C. Watts, E. Sharlin and P. Woytiuk: “Helping hands: Designing video games with interpersonal touch interaction”, *Entertainment Computing - ICEC 2010* (Eds. by H. S. Yang, R. Malaka, J. Hoshino and J. H. Han), Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, pp. 55–66 (2010).
- [14] K. Doi, M. Hashimoto, M. Koyama, Y. Suzuki and T. Nishimura: “Data transmission system using a human body as a signal transmission path”, *U.S. Patent 6864780* (Mar. 8, 2005).