

[研究助成 (A)]

仮想空間における触れあいインタラクションに着目した プレタッチの研究

Investigation of Pre-Touch Reaction Distance in a Virtual Reality Environment

2201008



研究代表者

慶應義塾大学 理工学部

訪問研究員

木本 充彦

[研究の目的]

人は抱擁や撫で、握手などの接触動作を通して、精神的意図や感情を表現し伝え合う。介護現場では、優しく撫でることによって高齢者の不安を解消することが行われているなど、人の精神的安寧にとってこうした身体接触を伴うインタラクションは重要な役割を持つ。本研究では、仮想空間（VR空間）において、人と自然に触れあい、関わり合うことのできるバーチャルエージェントの実現を目指す。

[研究の内容, 成果]

1. はじめに

VR空間において触覚刺激を利用したインタラクションの研究が進んでいる。例えば、自然な触覚刺激を提示する新たなデバイスの開発や、人間の触覚に対する認知を利用した触覚刺激提示アルゴリズムの開発が進んでいる。こうした研究を通じて、VR空間においてバーチャルエージェントとの触覚刺激を伴うインタラクションが可能になりつつある。しかし、これらの研究は人がバーチャルエージェントに触れた際や触れた後の振る舞いに着目しており、人から触れられる前の状況は着目されてこなかった。そのため、バーチャルエージェントが人から触れられる前にどのように振る舞うべきか、は明らかでなかった。人と接するエージェントの振

る舞い設計の際には、接触といった動作が生じた時点やそれ以降だけでなく、それが行われる前の所作が、人が抱く自然な印象や、心的負担の軽減に重要であることが指摘されている。例えばロボット研究の場合では、ロボットが人から触れられる際には、人が反応を示すのと同様の距離で接触より前に反応を示すことが、自然な印象の形成にとって重要であると報告されている。

本研究では、このような接触が行われる前の振る舞い設計に焦点を当て、VR空間において人から触れられる前に自然な反応を示すことのできるバーチャルエージェントの開発に取り組んだ。具体的には、人が他者から触れられる前に反応を示す距離であるプレタッチ反応距離に着目し、VR空間における人のプレタッチ反応距離を調査した。そして、得られた結果に基づき、人と同様に触れられる前に自然な反応動作を示すことのできるバーチャルエージェントの開発に取り組んだ。

2. プレタッチ反応距離の調査

バーチャルエージェントの触れられる前の反応動作設計に役立てるため、まず、人がVR空間において接触前にどの程度の距離まで接近行動を許容できるのか、すなわち、どの程度の距離で反応動作を示すのかを調査した。具体的には、対人距離研究で広く用いられる stop-distance 法に基づいた計測法を設計し、人がVR空間でバーチャルエージェントから顔や身

体に手を近付けられた際に、どの程度の距離まで手が接近すると不快感を抱くのかを調査した。

2.1. システム概要

プレタッチ反応距離計測のため、VR空間で実験参加者が操作可能なアバタ、手を近づけてくるバーチャルエージェント、近づいてくる手の任意のタイミングでの停止や、その際の距離測定機能などで構成されるシステムを開発した。

実験参加者は、椅子に座った状態もしくは起立した状態でヘッドマウントディスプレイを装着し、コントローラを握った状態で実験に参加した。コントローラは、実験参加者の実空間における手の動きのVR空間への反映と、近づいてくるバーチャルエージェントの手の停止処理に利用された。実験参加者は任意のタイミングでコントローラのボタンを押下可能であり、これ以上手を近づけられたくないという不快感を抱いたタイミングでボタンを押下した。システムはボタンが押下された時点での、バーチャルエージェントの手と近付ける手の目標点となっていた実験参加者のアバタの顔もしくは身体との距離を計測した。

2.2. アバタとバーチャルエージェント

アバタの外見や形状などは、それを操作する人が感じる、アバタの身体をあたかも自己の身体であるかのように感じる感覚、身体所有感に影響を与えることが知られている。本研究で扱うプレタッチ反応距離は、自己の身体へ手を近づけられた際の感覚に関わる距離であり、このようなアバタの種類が反応距離に影響を与えることが考えられる。例えば、実際の身体と類似したアバタとかけ離れたアバタでは、身体所有感が異なり、VR空間内で手の接近を許容できる距離が異なることが考えられる。そこで、アバタとして男性・女性・ロボットの3種類の3Dモデルを用いた(図1)。ロボットの3Dモデルには、SoftBank Robotics社が販売するロボット、Pepperを利用した。手を近づけてくるバーチャルエージェントも同様に、男性・女性・ロボットの3種類の3Dモデルを用いた



図1 実験で利用したアバタとエージェント

(図1)。これらアバタとバーチャルエージェントのモデルは関節を備えており、実空間における動作のアバタへの反映や、バーチャルエージェントによる手の接近動作を行うことが可能である。

2.3. 接近動作の実装

バーチャルエージェントの手の接近動作として、VR空間での実験参加者アバタの顔と身体へ右手を近づける動作を実装した。具体的には、顔へ手を近づける動作として、アバタの顔正面方向に対して、水平方向に15度刻みで±30度まで5通り、垂直方向に15度刻みで±45度までの7通りを掛け合わせた合計35通りの角度から手を近づける動作を実装した(図2a)。身体へ手を近づける動作としては、アバタの身体の13点(首、胸部、腹部、両肩、両肘、両手、腰の左部、腰の右部、両膝)の正面方向から手

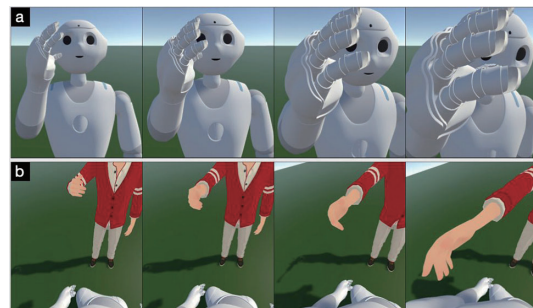


図2 バーチャルエージェントの手の接近動作例

を近付ける動作を実装した (図 2b)。バーチャルエージェントの手は、まずアバタから 70 cm 離れた位置に表示され、約 0.2 m/s の速さで目標点へ接近するように実装した。また、顔、身体への接近動作はそれぞれランダムな順番で選択され、最終的に全てのパターンが実施された。

2.4. 実験手順

実験参加者は実験説明を受けた後、同意書に記入した。そして、ヘッドマウントディスプレイの装着と調整を行った。その後、以下の手順でプレタッチ反応距離の計測を行った。実験には男女各 10 名の合計 20 名が参加した。

1. 操作するアバタの体験
2. 顔のプレタッチ反応距離の計測
3. 身体のプレタッチ反応距離の計測

まず実験参加者は、手順 1~3 で利用するアバタを約 2 分間体験した。具体的には、起立した状態のアバタの手や頭部を動かしながら、その様子をアバタの正面に置かれた鏡を通して眺めた (図 3)。その際、実空間での人の頭部や腕部の動作は、ヘッドマウントディスプレイと実験参加者が両手に持つコントローラの位置を環境センサで認識することでアバタの動作として反映された。

アバタを体験した後、まず顔への手の接近動作に対するプレタッチ反応距離を計測した。計測が始まると、まずバーチャルエージェントの右手が停止した状態で表示された。そして、実験参加者がコントローラのボタンを押下すると、手の移動が開始された。実験参加者はこれ以上手を近付けられたいという不快感を抱いた時点でもう一度ボタンを押下した、システムは、その時点でのバーチャルエージェントの手とアバタの顔との距離を計測した。これを 2.3 節で述べた角度からランダムな順番で繰り返した。



図 3 鏡の前に立ちアバタを体験する様子

顔へのプレタッチ反応距離計測の際、アバタの顔向きは正面方向に固定されており、手の接近角度は全ての参加者で同一だった。

次に、身体への手の接近動作に対するプレタッチ反応距離の計測を、顔への場合と同様の方法で行った。ただし、アバタの顔向きは固定せず、実験参加者には身体へ接近してくる手を眺めながら、これ以上近付けられたいと感じた時点で手を停止するよう指示した。両腕を含む身体的位置は固定されており、手の接近動作は全ての参加者で同一だった。身体のプレタッチ反応距離の計測の後、手を近付けてくるバーチャルエージェントの種類を変更し、再度手順 2~3 を行った。これを、3 種類のバーチャルエージェントで繰り返した。全てのバーチャルエージェントで計測を行った後、アバタの種類を変更し、手順 1~3 を行った。実験参加者はこれらを全てのアバタで繰り返した。最終的に実験参加者は、アバタ 3 種類×バーチャルエージェント 3 種類の合計 9 種類の条件を体験した。

2.5. 結果と考察

顔周りの全ての角度における平均距離と身体全体の部位の平均距離をそれぞれ図 4 に示す。顔の平均プレタッチ反応距離は 14.4 cm、身体の前平均プレタッチ反応距離は 9.26 cm であった。関連研究において実空間で人を対象として得られた顔のプレタッチ反応距離の平均は 19.97 cm であり、これと比較して VR 空間ではより近くまで接近動作を許容できることが分かった。得られたデータに対して、アバタの種類 (Avatar: 男性, 女性, ロボット)、バーチャルエージェントの種類 (Agent: 男性, 女性, ロボット)、実験参加者の性別 (Gender: 男性, 女性) を要因として分散分析を行った。

まず、顔のプレタッチ反応距離に関して、アバタ種類要因 ($F(2,36) = 10.31, p < 0.001, \eta^2 = 0.036$) とエージェント種類要因 ($F(1.47, 26.48) = 34.74, p < 0.001, \eta^2 = 0.073$) に有意な主効果が認められた。要因間の交互作用及び実

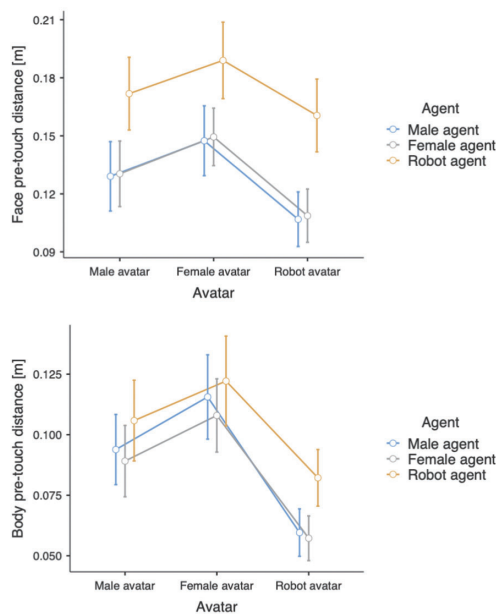


図4 顔と身体へのプレタッチ反応距離

験参加者の性別要因については有意な効果は認められなかった。アバタの種類要因に関する多重比較の結果、女性アバタ条件では男性アバタ条件 ($p=0.024$) やロボットアバタ条件 ($p=0.005$) よりも有意に値が大きいことが示された (female avatar > male/robot avatar)。バーチャルエージェントの種類要因に関する多重比較の結果、ロボット条件では、男性エージェント条件 ($p<0.001$) や、女性エージェント条件よりも有意に値が小さいこと ($p<0.001$) が示された (robot agent > male/female agent)。

次に、身体へのプレタッチ反応距離に関して、アバタ種類要因 ($F(1.36, 24.41) = 14.251, p < 0.001, \eta^2 = 0.094$) とエージェント種類要因 ($F(2.36) = 5.773, p = 0.007, \eta^2 = 0.014$) に有意な主効果が認められた。実験参加者の性別要因については有意な効果は認められなかった。アバタの種類要因に関する多重比較の結果、女性アバタ条件は男性アバタ条件 ($p=0.010$) や、ロボットアバタ条件よりも有意に値が大きい ($p=0.001$) こと (female avatar > male/robot avatar)、また、男性アバタ条件はロボットアバタ条件よりも有意に値が大きいこと (male avatar > robot avatar, $p=0.014$) が示された。

バーチャルエージェントの種類要因に関する多重比較の結果、ロボットエージェント条件では男性エージェント条件 ($p=0.026$) や女性エージェント条件 ($p=0.040$) よりも有意に値が大きいことが示された (robot agent > male/female agent)。

以上の結果はプレタッチ反応距離が、実験参加者の性別によらずVR空間における身体の形体によって変化しうること、また、手を近づけてくる相手の身体の形体によって変化しうることを示している。特に、女性アバタを利用すると許容できる距離が遠ざかること、ロボットエージェントからの接触動作に対して許容できる距離が遠ざかることが明らかになった。

3. プレタッチ反応を示すエージェント

得られた結果に基づき、顔と身体への手の接近に対して反応を示すバーチャルエージェントを開発した。具体的には図5aに示すようにアバタの種類ごとに反応を示すべき面を設計し、その距離まで手が近づいた際に反応を示すバーチャルエージェントを実装した。手の接近に対して反応を示す様子の例を図5bに示す。

[今後の研究の方向, 課題]

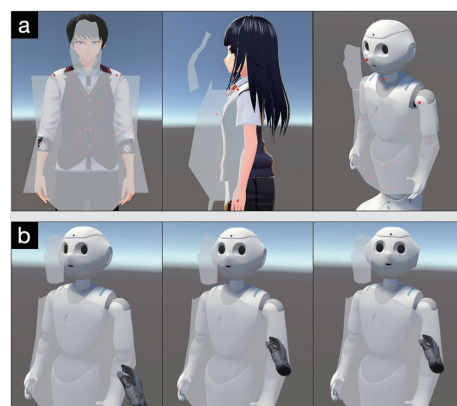


図5 正面方向からの手の接近に対して反応を示すべき面の例と反応を示すバーチャルエージェント

VR空間におけるプレタッチ反応距離を調査し、人と同様の距離で反応を示すバーチャル

エージェントの開発を行った。本研究を通して、VR空間でのプレタッチ反応距離の特徴、例えば、実空間における身体でなくVR空間内での身体の影響を受けることなどが明らかとなったが、アバタの身体のどのような特徴が結果に影響を与えたのか主要因は明らかとなっていない、その特定は課題である。今後は、本研究で得られた知見を活かしつつ、触れあいインタラク

ションを通じて、人と豊かな関係性を構築可能なエージェントの開発を目指す。

[成果の発表, 論文等]

- [1] 木本充彦, 齊藤青葉, 飯尾尊優, 下原勝憲, 塩見昌裕, “仮想空間におけるプレタッチ反応距離の調査,” 情報処理学会第83回全国大会, Virtual Conference, 7E-04, Mar. 2021.