

観察者の動作を利用した視知覚位置予測技術 — 一手のリーチング動作を利用した予測に リーチング距離が及ぼす影響 —

海野 浩 * ・ 鈴木 雅洋 ** ・ 高沢 溪吾 *** ・ 上平 員丈 * , ** , *** ・ 金沢 歩 *

* 神奈川工科大学 情報学部

** 神奈川工科大学 ヒューマンメディア研究センター

*** 神奈川工科大学 大学院工学研究科

〒 243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030

1. はじめに

画面から飛び出して見える3D映像と、その観察者の身体とが直接相互作用するアプリケーションは、多くの研究で検討されている^{1,2)}。このようなアプリケーションでは、身体が3D映像の視知覚位置に到達したときに、3D映像を呈示しているシステムが相互作用のための処理を実行する。3D映像の視知覚位置は、両眼視差が幾何光学的に定義する奥行きと仮定されることが多い。しかし、両眼立体視の研究によれば、観察者は、両眼視差が幾何光学的に定義する奥行きを必ず知覚するとは限らない³⁻⁸⁾。したがって、例えば、3D映像に触れているように見えているのに相互作用できない、あるいは、触れているように見えていないのに相互作用できてしまうという不自然な事態が生じてしまう。そこで、筆者らは、観察者の動作を利用した視知覚位置予測技術によって、触れているように見えているときのみ相互作用できる自然な相互作用を実現しようとしている⁹⁻¹⁸⁾。本研究では、その技術の適用範囲の検討の一環として、手のリーチング動作を利用した予測にリーチング距離が及ぼす影響を検討する。

3D映像と身体とが直接相互作用するアプリケーションでは、相互作用の自然さがアプリ

ケーションの効率性に影響する。例えば、実物と同じように、触れているように見えているときに相互作用できる自然な事態では、触れているように見えているのに相互作用できない不自然な事態よりも、アプリケーションの効率性は高いだろう。自然な相互作用の実現には、3D映像の視知覚位置に身体が到達したときに相互作用の処理を実行しなければならない。これまでは、3D映像の視知覚位置を、その両眼視差が幾何光学的に定義する奥行きと仮定することが多かった。

しかし、観察者はしばしば、両眼視差が幾何光学的に定義する奥行きとは異なる奥行きを知覚する³⁻⁸⁾。このような場合、従来の技術では、自然な相互作用は実現しない。3D映像の視知覚位置に身体が到達したときに相互作用の処理を実行するためには、そのシステムが3D映像の視知覚位置を知る必要がある。しかし、そのようなことを可能とする技術は、これまでのところ、確立していない。

そこで、筆者らは、観察者の動作を利用して3D映像の視知覚位置を予測する技術を提案、評価した⁹⁻¹⁸⁾。この技術では、動作の普遍的な特性を予測のための情報として用いる。例えば、物に触れようとして手を伸ばすリーチング動作には、軌道が直線的や、速度のプロファイルがベル型になるという特性がある¹⁹⁻²¹⁾。評価では、リーチング動作を利用した予測を検討して、提

案した技術の実現可能性を示した⁹⁻¹⁸⁾。

筆者らの目的は、観察者の動作を利用した視知覚位置予測技術によって、3D映像と身体との自然な相互作用を実現することである。本研究では、視知覚位置予測技術の適用範囲の検討の一環として、リーチング動作を利用した予測にリーチング距離が及ぼす影響を検討する。視知覚位置予測技術の詳細は次節で述べる。第3節では、本研究の検討の詳細を述べる。

2. 観察者の動作を利用した視知覚位置予測技術

提案した技術の原理を、リーチング動作を利用した予測を例として説明する。図1は、その説明図である。図1の下図は、リーチング動作における時間と速度との関係を示している。速度が0になる時刻 T_E で、観察者の手は物に触れる。つまり、3D映像に触れようとして手を伸ばした場合であれば、3D映像に触れる。したがって、奥行き距離 P_E は、3D映像の視知覚位置となる。筆者らは、リーチング動作における時間と速度との関係を次式のガウス関数に適合することで視知覚位置を予測できると考えた。

$$v(t) = \frac{P_E}{P_2 \sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{-2 \frac{(t-P_1)^2}{P_2^2}} \quad (1)$$

ここで v は速度、 t は運動時間、 P_1, P_2 は適合

のための定数であり、 P_E は視知覚位置である。リーチング動作開始時刻0からその手が位置 P_m ($< P_E$) に達したときの時刻 T_m までの速度データに対して、最小二乗法を用いてガウス関数を決定する。ガウス関数を決定するとは、式(1)の定数 P_1, P_2, P_E を決定することである。筆者らはこれまでに、 $T_m = (3/4)T_E$ とした区間 $[0, T_m]$ の速度データに対してガウス関数を適合することで、精度良く視知覚位置を予測できることを確認した^{12,13)}。

3. リーチング動作を利用した予測にリーチング距離が及ぼす影響

3.1 目的

リーチング動作を用いた視知覚位置予測技術におけるリーチング距離の適用範囲を検討する。具体的には、3D映像の両眼視差が幾何光学的に定義する奥行きは一定、リーチング動作の開始位置を実験変数として、その動作を測定する。測定の結果から視知覚位置の実測値と予測値とを算出して、比較する。

3.2 方法

3.2.1 リーチング動作の測定

実験は照明した部屋で実施した。装置の配置を図2に示す。3D映像の呈示には、CRTモニター(飯山電機 A201H)と液晶シャッター眼鏡(MacNaughton 60GX)とを用いた。CRTモニターは被験者の正面に70cmの距離に設置した。被

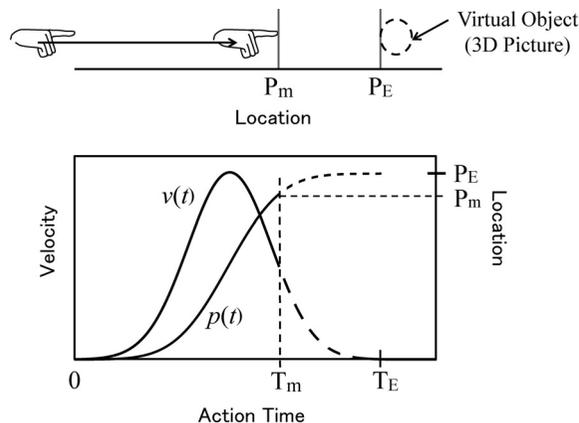


図1 リーチング動作における時間・位置・速度の関係

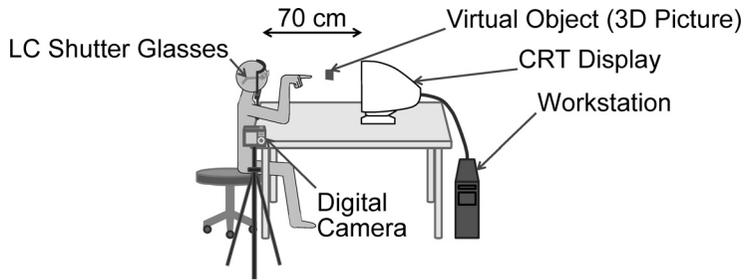


図2 実験装置の概略

験者は、液晶シャッター眼鏡を装着して椅子に座り、頭部をあご台に固定した。リーチング動作の測定には、デジタルカメラ（パナソニック DMC-G10K）を用いた。デジタルカメラは、動作全体を撮影できるようにするために被験者の真横方向に三脚（ハクバ写真産業 FT-367）を用いて設置した。デジタルカメラの撮影設定は Motion JPEG 形式の動画撮影モードとした。記録画素数は 1280×720 画素（30 コマ/秒）であった。使用したレンズ（パナソニック H-FSO14042）の焦点距離は 14mm であった。ピント合わせはマニュアルフォーカスで行った。

3D 映像は、画面上での一辺の長さが 5 cm の赤色の正方形とした。正方形の中心を被験者の右方 5 cm の位置に呈示した。両眼視差で幾何光学的に定められる正方形の位置は、被験者から 40 cm 前方とした。

被験者は神奈川工科大学の学生 14 名であり、全員正常な視力（矯正視力を含む）を有した。

被験者に右手を伸ばして人差し指で 3D 映像に触れる課題を与えた。なお、人差し指が 3D 映像と重なり両方が同じ奥行に見えるとき、“触れた”と判断するように教示した。被験者は課題遂行前に右肘を頭部の右側の机に置き、右手人差し指を水平になるように伸ばし、それ以外の指は握った状態にした。リーチング動作の開始点は、肘の位置でコントロールした。被験者の真横を 0 cm として、10 cm, 20 cm の 3 条件を設けた。被験者は各条件を 5 回繰り返した。

3.2.2 視知覚位置の実測値の算出

視知覚位置の実測値は、人差し指が正方形に

触れたと被験者が判断し、その指を維持した位置とした。具体的には、200 ms の間に測定された人差し指の位置に対してその標準偏差を計算し、その値が 2mm 未満ならばその位置は維持されたものみなした。人差し指の位置が維持された期間に測定された位置の平均を計算し、これを視知覚位置の実測値と定義した。

3.2.3 視知覚位置の予測値の算出

視知覚位置の予測値は、運動時間の関数としての人差し指の速度にガウス関数を適合する方法を用いた。まず速度を人差し指の位置から計算した。次に、試行の初めから最高速度の 2 分の 1 以下になった時までの速度の結果を予測に用いた。すなわち速度の結果を式 (1) に入れた。なお、 P_E を視知覚位置の予測値とした。適合は非線形の最小二乗法のための Levenberg-Marquardt アルゴリズムを用いた。

3.3 結果と考察

3.3.1 視知覚位置の実測値

繰り返し 15 試行（リーチング動作の開始点 3 条件 × 5 試行）の平均値を各被験者の代表値として、被験者 14 名の平均値と 95% 信頼区間とを算出した。その結果を図 3 に示す。両眼視差が幾何光学的に定義した正方形の位置、つまり、40 cm 前方は、95% 信頼区間から外れていた。また、 z 検定を行ったところ、1% 水準で有意差があった ($z = -2.87, p = .01$)。これらの結果から、視知覚位置の実測値は、両眼視差が幾何光学的に定義した位置よりも有意に大きかったといえる。このように、実際の視知覚位置を両眼視差から知ることは困難である。実際の視知覚

位置を知るためには、筆者らが提案した技術が必要である。

3.3.2 視知覚位置の予測値

繰り返し 15 試行（リーチング動作の開始点 3 条件 × 5 試行）の平均値を各被験者の代表値として、被験者 14 名の平均値と 95% 信頼区間とを算出した。その結果を図 3 に示す。視知覚位置の予測値は、両眼視差が幾何光学的に定義した位置（40 cm 前方）よりも、視知覚位置の実測値に近かった。視知覚位置の予測値と実測値との差について t 検定を行ったところ、有意差はなかった ($t_{(13)}=1.68, n.s.$)。これらの結果は、筆者らのこれまでの研究と合致して、筆者らが提案した技術をサポートする。このように、実際の視知覚位置は、観察者の動作を利用して知ることが可能である。

3.3.3 リーチング距離の影響

最初に、予測値と実測値との差を各試行で算出した。次に、リーチング動作開始点の各条件の繰り返し 5 試行の平均値を各被験者で算出した。最後に、各被験者の平均値を代表値として、被験者 14 名の平均値と標準偏差とをリーチング動作開始点の各条件で算出した。その結果を図 4 に示す。横軸はリーチング動作の開始

点、縦軸は予測値と実測値との差である。なお、縦軸の正符号は予測が過大であったことを、負符号は予測が過小であったことを意味する。また、平均値は予測の確度に、標準偏差は予測の精度に対応する。

予測値と実測値との差の平均値について、リーチング動作開始点の条件間の差を検定するために、分散分析を行った。Mauchly の球面性検定の結果、帰無仮説を棄却しなかったため ($W=.84, \chi^2_{(2)}=2.04, n.s.$)、自由度は修正しなかった。分散分析の結果、リーチング動作開始点の主効果は有意ではなかった ($F_{(2,26)}=5.59, MSE=2.91, n.s.$)。リーチング距離が予測の精度に影響したとはいえない。

リーチング距離が予測の精度に影響したかを検討するために、リーチング動作開始点の条件間での分散の同質性を検定した。その結果、帰無仮説を棄却しなかったため ($L_{mwc}=0.54, \chi^2_{(6)}=8.50, n.s.$)、リーチング動作の条件間で分散が異なったとはいえない。これらの結果から、リーチング距離が予測の精度に影響したとはいえない。

動作時間の関数としての手の速度を図 5 に示す。左はリーチング動作開始点の 0 cm 条件、中

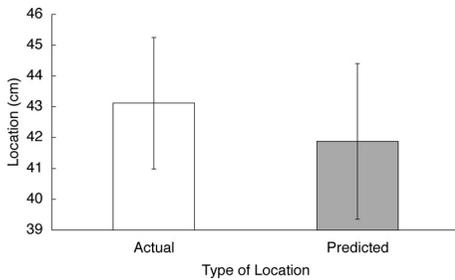


図 3 実測値と予測値

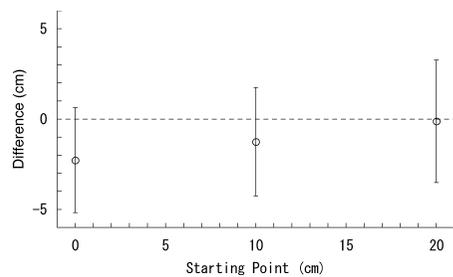


図 4 リーチング距離の影響

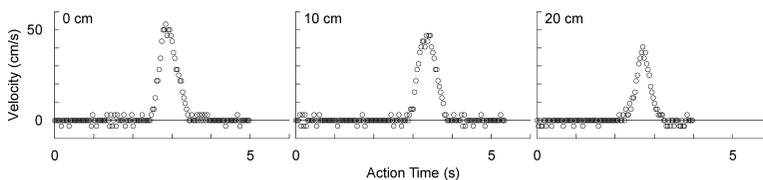


図 5 動作時間の関数としての手の速度

央は 10 cm 条件, 右は 20 cm 条件である。横軸は動作時間, 縦軸は手の速度である。典型的な結果を示している。リーチング動作開始点のどの条件でも, 速度のプロファイルはベル型となった。これらの結果は, リーチング動作の速度の特性がリーチング距離に対して頑健であることを示している。筆者らが提案した技術は, リーチング距離の広い範囲で適用できるといえる。

4. おわりに

本研究では, 3D 映像の視知覚位置をリーチング動作から予測する技術について, そのリーチング距離の適用範囲を検討した。実験では, 3D 映像を呈示する位置, 具体的には, 両眼視差が幾何光学的に定義する位置を一定とし, 手のリーチング距離を実験変数とした。その結果, リーチング距離は予測に影響を及ぼさないことを明らかにした。我々が提案した技術は, 広いリーチング距離の範囲で適用できるといえる。今後の課題としては予測の精度をさらに向上させることなどがある。

文 献

- 1) 角所 考, 萩原史郎, 美濃導彦: 拡張現実感による仮想物体操作過程を利用した適応的レジストレーション。電子情報通信学会論文誌, **J85-D-II(11)**, 1701-1713, 2002.
- 2) 飯尾裕一郎, 橋本直己, 佐藤 誠: 力覚と触角の組み合わせによる接触感提示に関する検討。電子情報通信学会技術研究報告, **107(242)**, 25-29, 2007.
- 3) M. F. Bradshaw, A. Glennerster and B. J. Rogers: The effect of display size on disparity scaling from differential perspective and vergence cues. *Vision Research*, **36**, 1255-1264, 1996.
- 4) 東 巧, 中溝幸夫: 輻輳と網膜像差と知覚された奥行き量の関係。VISION, **8**, 87-95, 1996.
- 5) W. Richards: Anomalous stereoscopic depth perception. *Journal of the Optical Society of America*, **61**, 410-414, 1971.
- 6) M. Ritter: Effect of disparity and viewing distance on perceived depth. *Perception & Psychophysics*, **22**, 400-407, 1977.
- 7) 下野孝一, 中溝幸夫, 土田明美: 両眼網膜像差にもとづく見えの奥行き量と絶対距離。福岡教育大学紀要, **39**, 265-271, 1990.
- 8) H. Wallach and C. Zuckerman: The constancy of stereoscopic depth. *American Journal of Psychology*, **76**, 404-412, 1963.
- 9) 鈴木雅洋, 横野 稔, 上平員丈: 観察者の身体と仮想対象との相互作用に関する基礎的な検討。映像情報メディア学会技術報告, **32(14)**, 19-22, 2008.
- 10) 鈴木雅洋, 横野 稔, 上平員丈: 観察者の運動を利用した仮想対象の視覚的知覚位置の推定。画像電子学会第 37 回年次大会予稿集, 2009.
- 11) M. Suzuki, M. Yokono and K. Uehira: New technique for prediction of visually perceived location of virtual object in mixed/augmented reality using observer's action. *11th IEEE International Symposium on Multimedia*, 418-424, 2009.
- 12) 高沢溪吾, 鈴木雅洋, 上平員丈: 対象に触れる身体運動を利用した立体表示仮想対象の視知覚位置推定技術—視知覚位置の推定精度・精度における身体運動距離の依存性—。電子情報通信学会技術研究報告, **111(155)**, 41-45, 2011.
- 13) K. Takazawa, M. Suzuki and K. Uehira: Prediction of visually perceived location of virtual objects using observer's reaching motion—Influence of reaching distance on precision and accuracy—. *International Conference on Imaging and Printing Technology*, 106-110, 2011.
- 14) K. Uehira, M. Yokono and M. Suzuki: Prediction of visually perceived depth of virtual objects from observer's actions using approximation obtained by Gaussian function. *Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Reality and Telexistence*, 189-192, 2010.
- 15) 横野 稔, 鈴木雅洋, 上平員丈: ミクストリ

- アリティにおける身体と仮想対象との相互作用に関する基礎的な検討. *VISION*, **20**, 43, 2008.
- 16) 横野 稔, 鈴木雅洋, 上平員丈: 複合/拡張現実感における仮想対象の視覚的知覚位置の実時間推定: 観察者の運動の利用に関する基礎的な検討. 映像情報メディア学会技術報告, **33**(17), 17-20, 2009.
- 17) 横野 稔, 鈴木雅洋, 上平員丈: 複合/拡張現実感における仮想対象の視覚位置の実時間推定: 観察者の運動の特性を利用した推定. 電子情報通信学会技術研究報告, **109**(75), 55-58, 2009.
- 18) 横野 稔, 鈴木雅洋, 上平員丈: 仮想対象の視覚的知覚位置の実時間推定—ガウス関数を利用した推定—. 電子情報通信学会技術研究報告, **109**(261), 47-50, 2009.
- 19) C. G. Atkeson and J. M. Hollerbach: Kinematic feature of unrestrained vertical arm movements. *Journal of Neuroscience*, **5**, 2318-2330, 1985.
- 20) E. Bizzi and F. A. Mussa-Ivaldi: Geometrical and mechanical issues in movement planning and control. *M. I. Posner (ed): Foundations of cognitive science*, MIT Press, Cambridge, MA, 769-792, 1989.
- 21) P. Morasso: Spatial control of arm movements. *Experimental Brain Research*, **42**, 223-227, 1981.