

Manipulação de Objetos Virtuais em VR utilizando Eixos de Transformação Personalizados

Daniel Mendes, Rodrigo Lorena, Alfredo Ferreira, Joaquim Jorge
INESC-ID Lisboa, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa
Lisboa, Portugal

{danielmendes, rui.rodrigo.lorena, alfredo.ferreira, jorgej}@tecnico.ulisboa.pt

Abstract—Os cada vez mais comuns ambientes de Realidade Virtual são capazes de oferecer metáforas de interações naturais. Contudo, é difícil colocar com precisão objetos virtuais na posição e orientação desejadas usando gestos no ar. Estudos anteriores concluíram que a separação dos graus de liberdade e transformações escaladas conduziram a melhores resultados. No entanto, estes benefícios vêm com um aumento no número de transformações necessárias, o que tem um custo adicional no tempo de realização de tarefas complexas. Neste trabalho, propomos uma nova técnica de manipulação de objetos no ar, MAiOR. Esta recorre a movimentos escalados sobre eixos de transformação personalizados com o objetivo de diminuir o tempo de realização das tarefas em comparação aos tradicionais referenciais fixos, mantendo os mesmos níveis de precisão.

Keywords—Realidade Virtual, Interfaces 3D, Manipulação de Objetos, Separação de Graus de Liberdade

I. INTRODUÇÃO

Apesar do elevado interesse em Realidade Virtual (VR: *Virtual Reality*) e respetiva popularização nos últimos anos, ainda existem diversos desafios de interação em aberto dignos de estudo. Como em qualquer ambiente 3D interativo, a manipulação de objetos em VR é um elemento fulcral. O input espacial tipicamente associado a configurações VR consegue oferecer manipulações com metáforas naturais, permitindo agarrar, mover e rodar objetos de forma semelhante ao que se faz no mundo físico. No entanto, gestos no ar comprometem a precisão na colocação dos objetos, quer seja por limitações tecnológicas no seguimento dos gestos, quer por limitações da própria destreza humana.

Interfaces tradicionais para manipulação de objetos recorrem a ecrãs 2D, rato e vários atalhos de teclado para mudar entre vistas e aplicar restrições. Por outro lado, os dispositivos multi-toque, que já se tornaram parte da vida quotidiana, permitem formas diretas de interagir com objetos virtuais. Quando se pretende interagir em ambientes 3D com este tipo de configurações, e contrariamente do que acontece em VR, é necessário desenvolver soluções de mapeamento do input 2D para as desejadas transformações 3D. Para interações baseadas em toque, as abordagens que separam graus de liberdade (DOF: *degrees-of-freedom*) tornaram-se as mais comuns, facilitando este mapeamento.

Para VR, apesar da questão do mapeamento não ser colocada, já se mostrou que a restrição de transformações através de separação de DOF também consegue melhorar significativamente a precisão na colocação de objetos no ar. Todavia,

para executar manipulações complexas em dois ou mais eixos, é necessário fazer múltiplas operações consecutivas. Assim sendo, estas abordagens, para além de comprometerem a naturalidade da interação, têm um impacto negativo no tempo de execução de tarefas de colocação.

Neste trabalho propomos uma nova técnica de manipulação, MAiOR (*Mid-Air Objects on Rails*). Pretendemos, com esta técnica, explorar a restrição de transformações a eixos de transformação personalizados, ao invés dos tradicionais referenciais fixos, para beneficiar do aumento de precisão associados à separação de DOF, mas sem o impacto no tempo necessário para a execução de tarefas mais complexas.

II. TRABALHO RELACIONADO

Interfaces tradicionais para interação 2D geralmente usam rato e teclado para uma manipulação indireta. Na maioria das abordagens, os utilizadores têm que recorrer a atalho de teclado e a *widgets* para selecionar uma transformação e um eixo para executar uma manipulação simples sobre um objeto. Exemplo disso são as Virtual Handles [7], que usam um conjunto de *widgets* associados a eixos e transformações, muito populares em aplicações de edição 3D, como o Autodesk Maya ou o Unity 3D.

Superfícies multi-toque permitem abordagens mais diretas. Os utilizadores podem interagir diretamente com os objetos apresentados na superfície. A abordagem RST, ou *Two-Point Rotation & Translation* [10], é um standard para manipulações 2D em dispositivos multi-toque. É direta e baseada no comportamento dos objetos no mundo físico, o que a torna mais fácil de perceber e mais rápida de executar. Para manipulações 3D, existem técnicas que estendem a RST para a terceira dimensão, nomeadamente a Sticky Fingers [9] e a Screen-Space Formulation [14]. Manipulações diretas são rápidas, mas podem originar transformações indesejadas e oferecem pouca precisão. Para atacar este desafio, a DS3 [11] foca-se na separação de DOF. Outras técnicas abordaram este conceito através de *widgets* virtuais ou gestos na superfície. A GimbalBox [2] e a tBox [6] usam *widgets* para permitir aos utilizadores controlarem translações, rotações e escalas de forma independente em eixos específicos. Schmidt et al. [16] introduziram uma abordagem para interfaces baseadas em esboços. Após indicar o objeto a ser transformado, o utilizador pode esboçar um traço e o sistema responde criando *widgets* de translação e rotação com base no eixo candidato mais

próximo do traço. Os eixos candidatos incluem os referenciais do objeto e do mundo. A técnica Multi Touch Gestures [1] depende apenas dos gestos da mão para aplicar restrições e para manipular objetos em relação aos eixos candidatos. Já a Touch Sketch [18] tem um menu de restrições para separar os DOF, mas torna a manipulação menos natural. Estudos concluíram que, nos vários casos, separação de DOF é melhor do que integração de DOF, embora seja menos natural. Esta separação beneficia tarefas que requerem algum grau de precisão, pois há menos DOF modificados em simultâneo.

Técnicas de manipulação no ar, recorrendo a um seguimento espacial das mãos dos utilizadores, são mais adequadas para simular manipulações de objetos no mundo físico. Com um seguimento da posição e rotação da mão em 6-DOF, a Simple Virtual Hand [3] permite aos utilizadores mover e rodar objetos simultaneamente. A Handle-Bar [17] utiliza a posição das duas mãos de um utilizador para mover, rodar e escalar objetos simultaneamente, usado a metáfora de uma barra. A Spindle+Wheel [5] utiliza a mesma metáfora, mas, possuindo um seguimento 6-DOF das mãos do utilizador, permite ainda rotações em torno da barra. Foi demonstrado [12] que técnicas de manipulação diretas como a Handle-Bar [17] e a Simple Virtual Hand [3] são as mais rápidas e naturais.

No entanto, estas abordagens diretas podem sofrer de problemas de precisão. Com este desafio em mente, a técnica PRISM [8] foi proposta. Esta reduz dinamicamente o movimento da mão virtual dos utilizadores para diminuir a instabilidade causada pela mão real e aumentar a precisão. De forma semelhante às abordagens multi-toque descritas anteriormente, *widgets* virtuais também já foram explorados no ar. A 7-Handle [13] explora este tópico, mas o complexo design dos *widgets* tornou a curva de aprendizagem muito acentuada, tendo um desempenho pior que uma abordagem direta 6-DOF. O impacto da separação explícita de DOF em tarefas de manipulação no ar já foi também avaliado [15]. Após uma comparação de abordagens incluindo a manipulação direta com 6-DOF, a PRISM [8] e uma implementação de *widgets* virtuais para separação de DOF, concluiu-se que a separação de DOF consegue aumentar a precisão e prevenir transformações indesejadas, mas prejudica o tempo de execução de tarefas mais complexas. Deste estudo foi extraído um conjunto de quatro diretrizes para técnicas de manipulação no ar: (1) manipulação direta 6-DOF é adequada para transformações rápidas e grosseiras; (2) separação de transformações ajuda a prevenir resultados inesperados; (3) transformações 1-DOF são úteis para pequenos ajustes finais; (4) movimentos escalados reduzem eficazmente o erro de posicionamento em translações.

Neste trabalho, propomos uma abordagem de manipulação no ar com base nas diretrizes referidas. Considerou-se a separação de DOF com movimentos escalados sobre eixos personalizados, visando melhorar a precisão na manipulação de objetos e tentado minimizar o impacto no tempo de realização das tarefas.

III. ABORDAGEM PROPOSTA: MAIOR

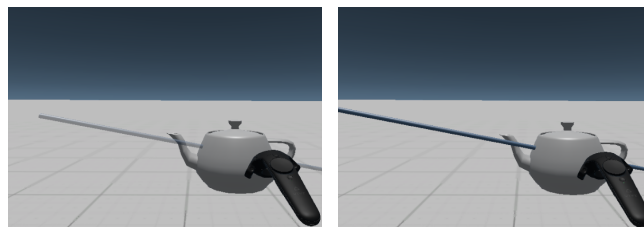
MAIOR (Mid-Air Objects on Rails) é uma técnica de manipulação de objetos 3D no ar, que fornece separação de transformações e operações com um único DOF sobre eixos personalizados. Também oferece manipulação direta via 6-DOF e movimentos escalados para transformações rápidas e precisas, respetivamente.

A. Translação

A operação de translação consiste em agarrar diretamente o objeto desejado. A manipulação do objeto ficará restringida a translações em 3-DOF. Um eixo azul transparente é desenhado desde a posição inicial do objeto e passando pela posição atual do mesmo (Figura 1(a)). À semelhança de algumas abordagens para superfícies interativas [1], [16], se o eixo tiver 10 graus ou menos de desvio em relação a qualquer eixo candidato, quer do referencial do mundo quer do objeto, é mostrado em vez o eixo candidato mais próximo e a sua cor é mudada para verde (referencial do mundo) ou amarelo (referencial do objeto), sem afetar a movimentação do objeto nesta fase.

O eixo apresentado pode depois ser usado para restringir a translação exclusivamente a esse mesmo eixo. Este eixo pode ser selecionado e bloqueado a qualquer altura após iniciar uma translação, restringindo as transformações do objeto a translações 1-DOF. Quando o eixo é bloqueado, torna-se opaco (Figura 1(b)) e infinito para ambos os lados. Caso tenha sido selecionado um eixo candidato, o objeto é reposicionado de forma a que a translação efetuada desde que foi agarrado coincida com o eixo. Daí em diante, as variações na posição da mão do utilizador são projetadas no eixo selecionado, passando as translações no objeto a serem executadas apenas nesse eixo, seguindo a metáfora de um objeto sobre um carril.

Uma vez que movimentos escalados melhoram o rácio de precisão quando são necessários pequenos ajustes na colocação do objeto [4], [8], [15], implementámos translações escaladas, utilizando um fator de escala fixo. Isto pode ser utilizado tanto em translações 3-DOF como 1-DOF, fechando a mão não dominante quando se está a mover o objeto. Tendo em conta a média do erro na posição obtida com separação de DOF no ar [15], a velocidade do movimento do objeto é escalada para $\frac{1}{4}$ da velocidade da mão dominante. Naturalmente, ao escalar o movimento desta forma, existirá um desfasamento entre a posição do objeto e a mão.



(a) Transparente, ilustrando translação 3-DOF. (b) Opaco, ilustrando translação restringida a 1-DOF.

Fig. 1. Eixo azul de translação da MAIOR.

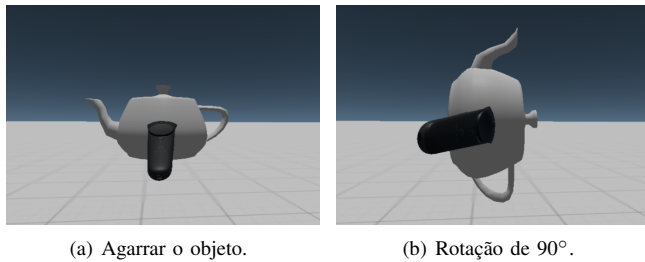


Fig. 2. Gestos para desbloquear a manipulação direta 6-DOF.

B. Manipulação Direta 6-DOF

Como a manipulação direta diminui o tempo de realização de transformações grosseiras que requerem um maior número de operações, a MAiOR também oferece este tipo de manipulações com 6-DOF. Para aceder a estas manipulações o utilizador pode rodar a mão 90 graus (em qualquer sentido), enquanto está no modo de translação (Figura 2). Este gesto assemelha-se ao gesto de destrancar uma porta, e foi metaforicamente usado pois o objeto deixa de estar bloqueado a translações 3-DOF. Sempre que se desbloqueia o 6-DOF, o objeto é imediatamente rodado com os mesmos graus que a mão rodou para executar o gesto de desbloqueio, por forma a garantir que a orientação do objeto é coerente com a orientação da mão que o está a agarrar.

C. Rotação

As rotações seguem os mesmos princípios da separação de DOF da translação. Os utilizadores começam por rodar o objeto em 3-DOF e depois podem seleccionar um eixo para rodar em 1-DOF. Para isto, os utilizadores têm primeiro que fechar uma mão fora dos objetos para mostrar uma barra virtual (Figura 3(a)). Esta barra irá funcionar como uma alavanca para efetuar rotações nos objetos. Depois de anexar a alavanca ao objeto desejado, este estará pronto para ser rodado em 3-DOF. Esta abordagem é baseada em técnicas como a Handle-Bar [17] e a Spindle+Wheel [5], que demonstraram ter bons resultados em estudos anteriores. No entanto, na nossa abordagem substituímos uma das mãos pelo centro do objeto, visto não efetuarmos translações neste modo e para manter este ponto como centro da rotação. Assim, a rotação a aplicar ao objeto será calculada de acordo com a variação na

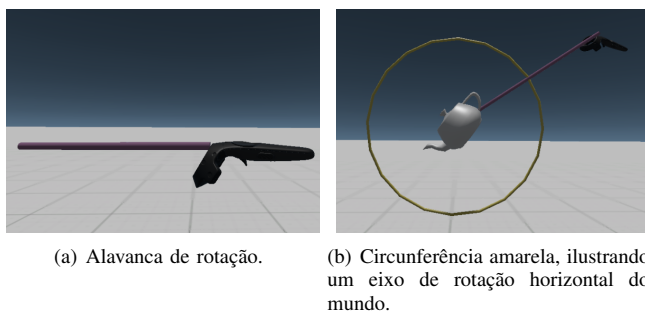


Fig. 3. Rotação com a MAiOR.

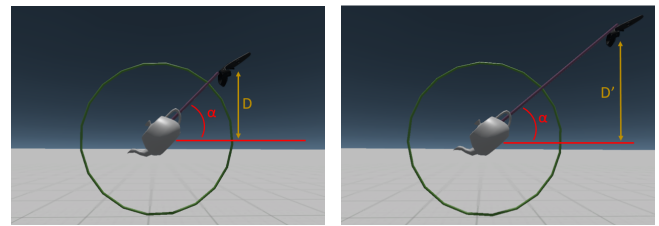


Fig. 4. Rotações implicitamente escaladas com a MAiOR. Para o mesmo ângulo α , a distância D' é maior que D , devido ao maior afastamento entre a mão e o objeto.

orientação da alavanca através da posição da mão do utilizador, de forma a que o ponto de interseção com o objeto se mantenha inalterado. Adicionalmente, também implementámos rotações em torno do eixo definido pela alavanca, utilizando rotações do pulso.

Após entrar no modo de rotação 3-DOF, uma circunferência azul transparente é mostrada à volta do objeto ilustrando a rotação atual do objeto, tendo em conta a variação na posição da mão (rotações em torno do pulso não são consideradas para este efeito). Semelhantemente à translação, se o eixo de rotação calculado tiver 10 graus ou menos de desvio em relação a um eixo candidato, será mostrada uma circunferência de rotação em seu torno e de cor verde ou amarela (Figura 3(b)). Os utilizadores podem depois bloquear a rotação ilustrada, restringindo a rotação a 1-DOF em torno do respetivo eixo. Daí em diante, para efeito do cálculo da rotação, os movimentos da mão do utilizador serão projetados no plano definido pela circunferência ilustrada.

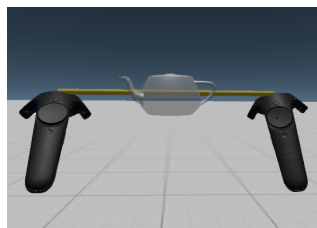
Visto escalar directamente rotações ter um efeito negativo nos utilizadores [8], [15], não implementamos um modo explícito de precisão nas rotações. Contudo é possível escalar rotações de forma implícita, tendo em mente a matemática detrás do movimento circular. Ao afastar a mão do objeto enquanto se agarra na alavanca anexada, aumenta-se a distância entre o objeto e a mão, por sua vez a alavanca estica dinamicamente para se ajustar a essa distância. Quanto mais longa é esta distância, mais a mão terá que se mover para rodar o objeto e mais lentamente ele irá rodar (Figura 4). Este conceito pode melhorar o rácio de precisão quando se pretende fazer pequenos ajustes na orientação do objeto.

D. Escala

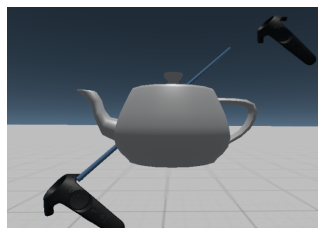
Apesar de não ser o foco deste trabalho, a MAiOR também fornece transformações de escala, tanto uniforme como fixa a um eixo. Esta abordagem também é baseada na Handle-Bar [17]. Com ambas as mãos fechadas, um cursor virtual é apresentado no seu ponto médio (Figura 5(a)). Fazendo colidir o cursor com o objeto desejado e fechando uma das mãos com força, o cursor é transformado numa barra que se ajusta dinamicamente à distância entre as mãos. A barra ilustra o eixo sobre o qual o objeto será escalado, o qual poderá ser alterado pelo utilizador antes de efetuar a escala. Para confirmar o eixo de escala, o utilizador deverá fechar a outra mão com força. Daí em diante, afastar as mãos uma da outra aumenta a escala



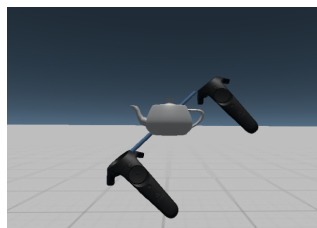
(a) Cursor no ponto médio das mãos.



(b) Eixo de escala coincidente com um eixo horizontal do objeto.



(c) Aumentar a escala do objeto afastando as mãos.



(d) Diminuir a escala do objeto aproximando as mãos.

Fig. 5. Escala com a MAiOR.

do objeto, enquanto que aproximar as mãos diminui a mesma (Figuras 5(c) e 5(d)).

De forma semelhante às transformações descritas nas secções anteriores, se o eixo escolhido estiver suficientemente perto de algum eixo candidato (aqui apenas são considerados eixos do referencial do objeto), ele é convertido para esse eixo e a sua cor alterada (Figura 5(b)). Selecionar a barra quando esta está azul ativará a escala uniforme. Caso contrário, ativa-se a escala não uniforme e será efetuada sobre o eixo escolhido.

IV. AVALIAÇÃO PRELIMINAR

Realizamos uma avaliação subjetiva preliminar com três participantes, para obter primeiras impressões sobre a MAiOR. Usando uma configuração baseada no HTC Vive, os participantes tinham que realizar a tarefa de colocar um bule num local pré-determinado, podendo deformá-lo com escalas no final. Segundo os participantes, a MAiOR permitiu fazer múltiplas operações seguidas e ter um controlo preciso do objeto, principalmente na translação, enquanto evitando transformações indesejadas. Contudo, necessitaram de mais tempo de aprendizagem para perceber bem o modo de funcionamento da rotação, a qual se demonstrou algo complexa. A operação de escala foi considerada fácil pelos participantes, visto que funciona como populares soluções para ecrãs multi-toque.

V. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A manipulação de objetos no ar ainda apresenta alguns desafios, nomeadamente no que diz respeito à precisão. Técnicas com interfaces de rato e toque tendem a recorrer à separação de DOF para aumentar o desempenho das manipulações. Por outro lado, técnicas no ar em ambientes imersivos usam geralmente abordagens diretas, permitindo manipulações rápidas e naturais. Neste trabalho propusemos a MAiOR, uma

nova técnica de manipulação que explora a separação das transformações (translação, rotação e escala) sobre eixos de transformação personalizados, permitindo movimentos escalados para aumentar a precisão. Uma avaliação preliminar sugere que a MAiOR é eficaz no seu objetivo, mas que a metáfora utilizada para a rotação é um pouco complexa, necessitando de um maior período de aprendizagem. Como trabalho futuro pretendemos efetuar uma avaliação detalhada, tanto objetiva como subjetiva, cobrindo todos os aspetos da interação e de desempenho da técnica proposta.

AGRADECIMENTOS

O trabalho deste artigo foi parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através dos projectos IT-MEDEx (PTDC/EEISII/6038/2014), UID/CEC/50021/2013 e da bolsa de doutoramento SFRH/BD/91372/2012.

REFERENCES

- [1] O. K.-C. Au, C.-L. Tai, and H. Fu. Multitouch gestures for constrained transformation of 3d objects. *Computer Graphics Forum*, 31(2pt3), 2012.
- [2] B. Bollensdorff, U. Hahne, and M. Alexa. The effect of perspective projection in multi-touch 3d interaction. In *Proceedings of GI '12*, 2012.
- [3] D. Bowman, E. Kruijff, J. J. LaViola Jr, and I. P. Poupyrev. *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Addison-Wesley, 2004.
- [4] D. A. Bowman and L. F. Hodges. An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments. In *Proceedings of I3D '97*. ACM, 1997.
- [5] I. Cho and Z. Wartell. Evaluation of a bimanual simultaneous 7dof interaction technique in virtual environments. In *3DUI '15*. IEEE, 2015.
- [6] A. Cohé, F. Dècle, and M. Hachet. tbox: A 3d transformation widget designed for touch-screens. In *Proceedings of CHI '11*. ACM, 2011.
- [7] B. D. Conner, S. S. Snibbe, K. P. Herndon, D. C. Robbins, R. C. Zeleznik, and A. Van Dam. Three-dimensional widgets. In *Proceedings of I3D '92*. ACM, 1992.
- [8] S. Frees, G. D. Kessler, and E. Kay. Prism interaction for enhancing control in immersive virtual environments. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 14(1), 2007.
- [9] M. Hancock, T. ten Cate, and S. Carpendale. Sticky tools: Full 6dof force-based interaction for multi-touch tables. In *Proceedings of ITS '09*. ACM, 2009.
- [10] M. S. Hancock, F. D. Vernier, D. Wigdor, S. Carpendale, and C. Shen. Rotation and translation mechanisms for tabletop interaction. In *Proceedings of TABLETOP '06*. IEEE, 2006.
- [11] A. Martinet, G. Casiez, and L. Grisoni. The effect of dof separation in 3d manipulation tasks with multi-touch displays. In *Proceedings of VRST '10*. ACM, 2010.
- [12] D. Mendes, F. Fonseca, B. Araújo, A. Ferreira, and J. Jorge. Mid-air interactions above stereoscopic interactive tables. In *3DUI '14*, 2014.
- [13] T.-T. H. Nguyen, T. Duval, and C. Pontonnier. A new direct manipulation technique for immersive 3d virtual environments. In *Proceedings of ICAT-EGVE '14*. Eurographics Association, 2014.
- [14] J. L. Reisman, P. L. Davidson, and J. Y. Han. A screen-space formulation for 2d and 3d direct manipulation. In *Proceedings of UIST '09*. ACM, 2009.
- [15] F. Relvas, D. Mendes, A. Ferreira, and J. Jorge. Separating degrees of freedom for object manipulation in vr. In *Computação Gráfica e Interação (EPCGI), 2016 23º Encontro Português de*. IEEE, 2016.
- [16] R. Schmidt, K. Singh, and R. Balakrishnan. Sketching and composing widgets for 3d manipulation. *Computer Graphics Forum*, 27(2), 2008.
- [17] P. Song, W. B. Goh, W. Hutama, C.-W. Fu, and X. Liu. A handle bar metaphor for virtual object manipulation with mid-air interaction. In *Proceedings of CHI '12*. ACM, 2012.
- [18] S. Wu, A. Chellali, S. Otmane, and G. Moreau. Touchsketch: A touch-based interface for 3d object manipulation and editing. In *Proceedings of VRST '15*. ACM, 2015.