

Evaluation of Travel Techniques for Virtual Reality

Eduardo Cordeiro¹, Daniel Medeiros¹, Daniel Mendes¹, Maurício Sousa¹,
Alberto Raposo², Alfredo Ferreira¹, Joaquim Jorge¹

¹INESC-ID Lisboa, Técnico Lisboa, Universidade de Lisboa; ²Tecgraf, PUC-Rio Brasil

{eduardo.augusto.cordeiro, daniel.medeiros, danielmendes, antonio.sousa}@tecnico.ulisboa.pt,
abraposo@tecgraf.puc-rio.br, {alfredo.ferreira, jorgej}@tecnico.ulisboa.pt

Abstract—User experience in Virtual Reality can be compromised by choosing the wrong type of travel technique, and can be the cause of some side effect such as spatial disorientation, fatigue and cybersickness. In this work, we explore how travel time, comfort and cybersickness are affected when using target-based travel techniques. We also propose three different techniques based on previous work, by varying these parameters. With the results from this work we can assert that techniques where the system changes users' position abruptly (also called Infinite Velocity) cause less discomfort than the Linear Motion technique. We can also claim that the use of a transition in Infinite Velocity techniques does not affect neither performance nor cybersickness. The results from this work were used in the development of a new out-of-reach selection technique in virtual environments, which progressively approximates the user to the selected objects.

Index Terms—Virtual reality, travel, cybersickness, velocity, transitions.

I. INTRODUÇÃO

Novas tecnologias emergentes em Realidade Virtual (RV) facilitam o desenvolvimento rápido de técnicas e aplicações para viagens em ambientes virtuais imersivos. Viajar em ambiente virtuais é o simples ato de mover um utilizador de um ponto de partida A para um ponto de chegada B, e é uma parte essencial da experiência RV. Ainda assim, pode influenciar o utilizador e causar severos efeitos secundários, essencialmente *cybersickness*, redução de presença e desorientação. A um grau tão grande que a escolha da técnica de viagem correcta tem um papel importante na redução destes sintomas.

No que diz respeito a técnicas de viagem, *real walking* é a forma mais natural, onde a pessoa se move no mundo real e os seus movimentos são diretamente mapeados no ambiente virtual (AV). Contudo, as características do mundo físico colocam restrições consideráveis quando se considera usar este tipo de técnicas. Algumas técnicas conseguem superar este problema, mas não são capazes de replicar precisamente o movimento anatomicamente correcto de pessoas a usar sistemas de RV. Apesar disso, técnicas *Target-based* [1] resolvem este problema pois o sistema transporta o utilizador desde a posição inicial para uma posição final, com um movimento imediato (também conhecido como Teleporte [2]) ou então com uma transição gradual entre a posição inicial e final [3].

Neste trabalho estudamos mais aprofundadamente os efeitos da velocidade e das transições em viagens *target-based* [1] através da comparação de três técnicas diferentes, e qual o impacto na experiência de RV em aspetos chave tais como o conforto e *cybersickness*.

II. TRABALHO RELACIONADO

Viajar é uma das interações mais comuns em aplicações de RV. É o simples acto do utilizador se mover para uma posição onde possa realizar uma tarefa mais importante, e é composto por três principais partes: Direcção/Seleção de alvo, Velocidade/Aceleração e Condições de Entrada. Difere da parte cognitiva da navegação, que consiste em planear o caminho a ser percorrido. A sensação de presença é muito importante quando se viaja em AVs. Bowman et al. [4] propôs uma lista de factores de qualidade para técnicas de viagem que são: Velocidade, Precisão, Percepção Espacial, Facilidade de Aprendizagem, Coleção de Informação e Presença.

Técnicas para viajar podem também ser divididas em duas subcategorias: tarefas de Exploração em que o utilizador se move livremente no AV sem um objectivo pre-determinado e Procura, em que um objectivo específico tem de ser alcançado. Quanto mais natural a técnica, mais eficiente ela é para tarefas de viagem em ambiente imersivos, especialmente em tarefas de Exploração. Isto foi provado por Suma et al. [5] onde o andar natural (*real walking*) foi comparado com técnicas de *Steering* [1], como translação com base no torso (*torso-based*), apontar (*pointing-based*) e direccionadas com o olhar (*gaze-directed*). Mas em alguns casos, o andar natural não é desejável pois podem existir restrições físicas do espaço interior disponível, assim como obstáculos presentes no mundo físico. Nas tarefas típicas de Procura, o esforço físico de chegar ao objectivo pode ser inconveniente e levar a fadiga física.

Um dos factores que torna a navegação difícil em AVs é a desorientação nos utilizadores. Smith et al. [6] consideram que as duas principais causas são a ausência de pistas visuais e também problemas com navegação demasiado perto ou através de objectos. Outro factor que pode levar à desorientação em AVs é a falta de controlo enquanto se viaja. Técnicas de viagem em que os utilizadores não movem fisicamente os seus corpos, como as técnicas de *Steering*, permitem o sustento satisfatório da percepção espacial. Isto é justificado por haver um controlo pelo movimento da cabeça do utilizar para explorar o AV [7]. Apesar disso, técnicas *Target-based* (em que o sistema muda a posição do utilizador automaticamente baseado em parâmetros de velocidade pré-determinados) podem ser mais apropriadas para utilizadores que são mais suscetíveis a doença de simulador, ou *cybersickness*, em comparação com técnicas *Steering* [8].

Algumas causas de *cybersickness* em sistemas de RV

abrangem o realismo gráfico do ambiente [9], o campo de visão [10] e a velocidade de navegação [3]. Apesar das técnicas de *steering* proporcionarem uma melhor compreensão espacial do ambiente virtual, técnicas *target-based* conseguem superar sintomas não desejados em utilizadores não experientes em ambientes imersivos [8]. Neste trabalho temos como objetivo investigar mais aprofundadamente os efeitos da velocidade e das transições em técnicas *Target-based*, comparando três diferentes métodos e como é qual o impacto na experiência em aspeto chave como o conforto e *cybersickness*.

III. TÉCNICAS DE VIAGEM

Implementamos três técnicas diferentes para viajar em ambiente virtuais imersivos, como demonstrado na Figura 1.

a) *Teleporte (TP)*: Esta técnica, também conhecida como velocidade infinita, muda a posição da pessoa instantaneamente desde a sua posição atual até ao próximo checkpoint [4].

b) *Movimento Linear (LM)*: Esta técnica consiste em mover o utilizador ao longo de um caminho linear durante dois segundos com uma velocidade constante, até ao próximo checkpoint. A velocidade escolhida é baseada em trabalho prévio [3] e varia entre 30 m/s e 50 m/s, dependendo da distância a que se encontra o checkpoint.

c) *Caixa de Teleporte Animada (AT)*: A técnica Caixa de Teleporte Animada foi desenvolvida com o objectivo de combater os efeitos negativos da técnica Teleporte. Duas animações de 1.5 segundos são reproduzidas quando o utilizador está a ser movido deste a sua posição actual até ao próximo checkpoint. A primeira anima a caixa para subir e rodear o utilizador, e a segunda executa a mesma animação

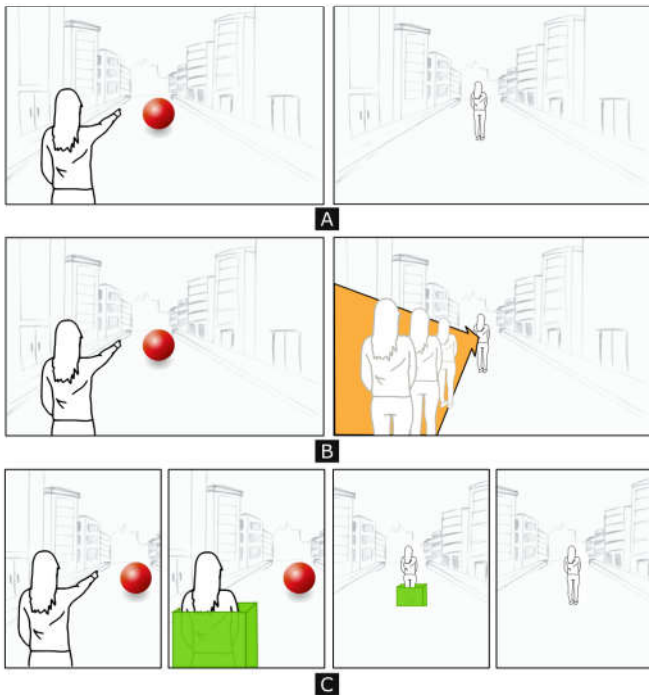


Fig. 1: Técnicas de viagem avaliadas.



Fig. 2: Ambiente Virtual.

mas na direção contrária. A caixa tem 2.3 metros em cada lado para reduzir a claustrofobia enquanto o utilizador viaja. Foi desenvolvida com a intenção de não mostrar ao utilizador que ele está ser movido, para reduzir a desorientação que pode ser sentida depois de ser movido.

IV. DESENHO DAS TAREFAS

Para validar as técnicas descritas acima, fizemos uma avaliação com utilizadores. O objetivo foi perceber qual a técnica preferida pelos utilizadores, e também qual o impacto de *cybersickness* nos utilizadores. O ambiente virtual é um modelo da cidade de Osaka no Japão (Figura 2), que foi populada com seis checkpoints esféricos, que correspondem aos locais para onde o utilizador iria viajar.

A. Metodologia

Os testes foram feitos no nosso laboratório num ambiente controlado. Cada sessão de teste adotou o mesmo protocolo, começando com as instruções iniciais sobre a experiência e com uma descrição das técnicas a ser testadas. Para evitar opiniões tendenciosas dos utilizadores se tornarem familiarizados com as técnicas e com o ambiente, os testes foram apresentados usando uma ordem parcialmente aleatória, para que todas as permutações fossem exaustadas.

Durante cada viagem os utilizadores eram informados onde estava o checkpoint seguinte (à sua esquerda ou direita) e também lhes era dito que deviam apontar para esse checkpoint antes da viagem começar. O utilizador não tinha controlo sobre o caminho que iria fazer, e estava apenas responsável por apontar para os checkpoints. Entre cada viagem havia um período de ajustamento, para o utilizador ter a certeza que sabia onde se encontrava e para onde ia ser movido. Cada sessão demorou em média trinta minutos, e acabava com o preenchimento de um questionário sobre a experiência.

B. Aparato e Participantes

Na experiência foi usado um Samsung GearVR *head-mounted display*. O GearVR tem um campo de visão de 96



Fig. 3: Participante de um teste de utilizador.

graus e é composto de um *smartphone* Samsung Galaxy S7, com uma resolução de 2560x1440 pixels e taxa de atualização (*refresh rate*) de 60 Hz. O *smartphone* também possui sensores de movimento na forma de um giroscópio e um acelerómetro que permite aos utilizadores mover a cabeça usando 3 graus de liberdade dentro do ambiente virtual.

Vinte participantes completaram os testes de utilização, nos quais dois deles eram do sexo feminino. A idade dos participantes variou entre os 19 e os 31 anos, com uma média de 24. Sete dos participantes já tinham experiência com visualização em realidade virtual (Figura 3).

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta secção apresentamos as principais observações feitas durante as sessões de avaliação, e também as dificuldades e sugestões dadas pelos utilizadores. Além disso, fazemos uma análise dos resultados obtidos.

Como a nossa amostra não segue uma distribuição normal, verificado com um teste de Shapiro-Wilk, a análise de dados

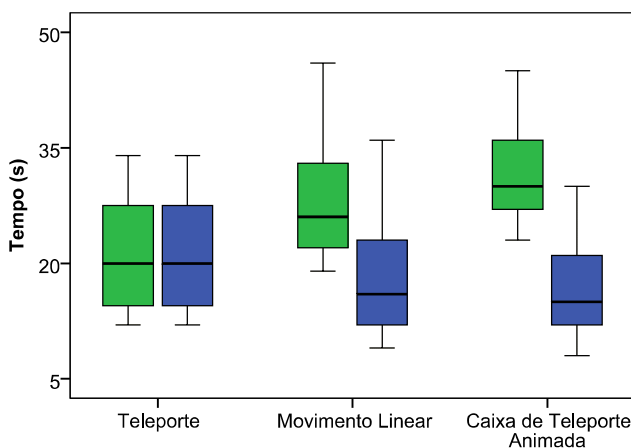


Fig. 4: Tempo decorrido em cada tarefa. *Boxplots* verdes representam o tempo total e azuis o tempo excluindo as animações de cada técnica.

Questão	Caixa Teleporte	Movimento	
	Animada	Linear	Teleporte
Foi fácil	5 (1)	5 (1)	5 (1)
Ficou satisfeito	4 (2)	4.5 (2)	4 (2)
Senti desconforto físico*	1 (1)	2 (3)	1 (1)
Senti desconforto visual	1 (1)	2 (2)	1 (1)

TABELA I: Preferências dos utilizadores: Média (Intervalo interquartil). * indica significância estatística

começou usando um teste não paramétrico Friedman para procurar significância estatística entre as três técnicas testadas. Quando diferenças estatísticas foram encontradas, foi feito um teste Wilcoxon Signed-Rank para procurar significância estatística entre cada par de técnicas com uma correção de Bonferroni adicional. Para uma melhor comparação em relação ao desempenho de cada tarefa, subtraímos os tempos das animações do tempo total usando a fórmula: $T' = T - \alpha \times (n - 1)$, onde T é o tempo total, α o tempo de viagem (3 segundos para a caixa de teleporte animada, 2 para a movimentação linear e zero para a teleporte) e n o número de viagens (6 no nosso caso). Na Figura 4 pode-se notar um desempenho ligeiramente melhor na técnica Caixa de Teleporte Animada, mas sem significância estatística. Derivado disso, podemos dizer que a eficiência é semelhante em todas as técnicas testadas.

Em relação aos dados dos questionários (Tabela I), os utilizadores sentiram mais desconforto físico usando a técnica Movimento Linear ($Z = -2.699$, $p < 0.01$ contra a técnica caixa de teleporte animada e $Z = -2.386$, $p = 0.017$ contra o teleporte). Apesar do desconforto sentido na Movimento Linear, a maior parte dos participantes considerou esta a sua técnica favorita. Os questionários foram feitos com base em escalas de Likert com valores entre 1 e 5, em que 5 significa concordância com a afirmação.

Por causa da semelhança entre as preferências dos utilizadores em ambas as técnicas Caixa de Teleporte Animada e Teleporte, conduzimos um teste adicional no tempo total para cada tarefa. Este teste confirmou um resultado melhor, em que o Teleporte não precisa de tempo adicional para mover o utilizador entre as duas posições ($Z = -3.114$, $p < 0.01$ contra a Caixa de Teleporte Animada e $Z = -2.578$, $p = 0.01$ contra Movimento Linear).

VI. CENÁRIO DE APLICAÇÃO

Os resultados obtidos serviram como critério na escolha da técnica de viagem que foi incorporada numa técnica de selecção para objectos fora de alcance em desenvolvimento. Para facilitar a selecção de objectos distantes e minorar o efeito de tremor da mão (tanto por parte do utilizador como do sistema de seguimento do utilizador), esta técnica utiliza um cone como volume de selecção e um método de refinamento progressivo [11], que altera a posição do utilizador para estar mais perto dos objetos abrangidos pelo cone. Esta alteração de posição é feita recorrendo à técnica Teleporte. Estando mais próximo dos objetos, será mais fácil seleccionar o pretendido, podendo-se iniciar um novo refinamento, caso tal se justifique.



Fig. 5: Técnica de seleção para objetos fora do alcance. A) Cone a intersectar vários objetos. B) Refinamento. C) Seleção de um único objeto. D) Fase final com objeto selecionado.

Após a fase de refinamento progressivo, e a consequente seleção do objeto, o utilizador regressa à posição inicial e o objeto permanece selecionado. A Figura 5 representa todo o processo de seleção. Em 5 A o cone a intersecta vários objetos, e o processo de refinamento vai ser ativado e a posição do utilizador vai ser alterada para mais próximo dos objetos (Figura 5 B). Depois da posição ter sido alterada (Figura 5 C), o utilizador utiliza de novo o cone para selecionar o objeto que pretende. Finalmente, o utilizador retorna à posição inicial e o objeto fica selecionado (Figura 5 D).

VII. CONCLUSÃO

Viajar é uma parte da navegação que permite ao utilizador mover-se num ambiente virtual. Pesquisa prévia mostra que técnicas naturais obtêm melhor desempenho, mas restrições como fadiga e limitações como o espaço físico tornam-nas não apropriadas em algumas situações. Técnicas indirectas como as *Target-based* e *Steering* podem superar estes problemas dando uma abordagem indirecta ao modo de viajar, mas dando orientação favorável em ambiente virtuais. Apesar das técnicas de *Steering* fornecerem uma melhor compreensão espacial em ambiente virtuais, técnicas *target-based* podem ser uma forma confiável de superar sintomas não desejados em utilizadores inexperientes em sistemas imersivos.

Neste trabalho investigamos os efeitos de técnicas *target-based* em relação a tempo de viagem, velocidade e transições. Também propomos três diferentes técnicas baseadas em trabalho prévio, variando estes parâmetros. Podemos afirmar que neste tipo de técnicas, onde os sistemas mudam a posição de uma pessoa abruptamente (também chamado de Velocidade Infinita), o desconforto sentido foi menor em comparação com a técnica Movimento Linear. Podemos também declarar que o uso de transições em técnicas de Velocidade Infinita não interfere com o seu desempenho nem com a *cybersickness* sentida.

Os resultados obtidos dos testes com utilizadores serviram como base ao desenvolvimento de uma técnica de seleção de objetos fora de alcance, e a técnica Teleporte é uma parte essencial desta técnica.

AGRADECIMENTOS

O trabalho deste artigo foi parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através dos projectos TECTON-3D (PTDC/EEI-SII/3154/2012), IT-MEDEX (PTDC/EEI-SII/6038/2014), UID/CEC/50021/2013 e da bolsa SFRH/BD/91372/2012.

REFERÊNCIAS

- [1] D. A. Bowman, E. Kruijff, J. J. LaViola Jr, and I. Poupyrev, "An introduction to 3-d user interface design," *Presence: Teleoperators and virtual environments*, vol. 10, no. 1, pp. 96–108, 2001.
- [2] D. A. Bowman, D. Koller, and L. F. Hodges, "Travel in immersive virtual environments: An evaluation of viewpoint motion control techniques," in *Virtual Reality Annual International Symposium, 1997., IEEE 1997*. IEEE, 1997, pp. 45–52.
- [3] R. H. So, W. Lo, and A. T. Ho, "Effects of navigation speed on motion sickness caused by an immersive virtual environment," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 43, no. 3, pp. 452–461, 2001.
- [4] D. A. Bowman, E. Kruijff, J. J. LaViola Jr, and I. Poupyrev, *3D user interfaces: theory and practice*. Addison-Wesley, 2004.
- [5] E. A. Suma, S. L. Finkelstein, M. Reid, S. V. Babu, A. C. Ulinski, and L. F. Hodges, "Evaluation of the cognitive effects of travel technique in complex real and virtual environments," *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, vol. 16, no. 4, pp. 690–702, 2010.
- [6] S. P. Smith and T. Marsh, "Evaluating design guidelines for reducing user disorientation in a desktop virtual environment," *Virtual Reality*, vol. 8, no. 1, pp. 55–62, 2004.
- [7] D. A. Bowman, E. T. Davis, L. F. Hodges, and A. N. Badre, "Maintaining spatial orientation during travel in an immersive virtual environment," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 8, no. 6, pp. 618–631, 1999.
- [8] E. D. Ragan, A. Wood, R. P. McMahan, and D. A. Bowman, "Trade-offs related to travel techniques and level of display fidelity in virtual data-analysis environments," in *ICAT/EGVE/EuroVR*, 2012, pp. 81–84.
- [9] S. Davis, K. Nesbitt, and E. Nalivaiko, "Comparing the onset of cybersickness using the oculus rift and two virtual roller coasters," in *Proceedings of the 11th Australasian Conference on Interactive Entertainment (IE 2015)*, vol. 27, 2015, p. 30.
- [10] A. S. Fernandes and S. K. Feiner, "Combating vr sickness through subtle dynamic field-of-view modification," in *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*. IEEE, 2016, pp. 201–210.
- [11] F. Bacim, R. Kopper, and D. A. Bowman, "Design and evaluation of 3d selection techniques based on progressive refinement," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 71, no. 7, pp. 785–802, 2013.