リダイレクト・ネスト手法：バーチャル環境に固定された視覚的オブジェクトを用いた VR リダイレクション手法

落合 拓朗[†1] 植田 裕貴[†1] 藤田 智[†1] 益子 宗[†1†2] 星野 准一[†1]

概要：家庭でも気軽に VR を用いたコンテンツを体験できるようになってきた一方で，視覚情報と身体感覚との差異により引き起こされる VR 酔いがコンテンツ普及の壁になっている．VR 空間と同等な広さの体験スペースを家庭で用意することは難しい．回転角度を修正することで実際より広いスペースを体験できる手法が提案されている．本研究では，狭い体験スペースを往復する際に行う回転において，VR シーンをユーザーの回転に固定し，ワールド座標にワイヤーフレーム球を表示することで，回転時における身体感覚との差異がなくなるだろうという仮定の下に，新しいリダイレクション手法を開発した．

1. はじめに

家庭用ヘッドマウントディスプレイ（HMD）の普及により，様々な VR コンテンツが家庭で利用される現在では，VR ゲームや動画学習といったコンテンツが主な利用方法である．今後は，広い仮想店舗を自由に歩き，実物と同じ 3DCG モデルを見ながら買い物を楽しむことが可能な VR インターネットショッピングが実現可能だと考える．しかし，VR 体験には VR 酔いの可能性が伴う．また，家庭内の体験スペースは限られているという制約がある．そこで，本研究では，家庭内を模した狭い体験スペースで VR 酔いを低減する移動手法として，体験者の経路選択に影響を与えない VR 空間内移動手法を提案する．

2. 関連研究

2.1 VR 酔い

VR 酔いとは，VR 映像を長時間視聴した際に引き起こされる，気持ち悪さ，目の疲れ，倦怠感などの症状群であり，VR 酔いの原因は，実世界空間と仮想空間との間に生じる身体感覚の差異という説が有力である[1]．映像酔いを評価するため，Simulator Sickness Questionnaire(SSQ) [2]がよく利用される．SSQ は被験者が主観的に体の不調に関して評価するもので，総合点(SSQ-TS)，気持ち悪さ(SSQ-N)，目の疲れ(SSQ-O)とふらつき感(SSQ-D)の指標で映像酔いの程度を測定する．

2.2 VR 酔いの軽減手法

VR 酔いを軽減するために，HMD に表示する映像を工夫する研究が行われてきた．従来研究では VR 空間内にオブジェクトを配置することで，予期できない移動感覚を低減している[3，4，5]．方向修正時に背景シーンがユーザーの回転に追従する場合でも，空間に配置したオブジェクトは身体感覚の差異を軽減すると考え，本研究で参考とした．

2.3 リダイレクション手法

広い体験スペースや大規模装置が必要とせずに，歩行感覚を伴いながら VR 空間内移動する手法として，Redirected Walking[8]が提案された．リダイレクション手法とは，VR 空間内においてのユーザーの回転角度にゲインを与えて方向を修正することで，限られた体験スペース内を往復させ，広いスペースを歩き続けている感覚を与える VR 空間内移動手法である．

3. 提案手法

家庭用 VR コンテンツにおける VR 酔いを軽減する移動手法として，狭い体験スペースでも移動経路の制限がなく，身体感覚との差異を起こさずに歩行できることが必要だと考える．そのため，移動経路を自由にするべく，任意のタイミングで方向選択が可能であることに加えて，方向修正の回数を軽減できる回転方向の推薦を行う．身体感覚との差異を抑えるために，方向修正時にはユーザーの見る VR 映像をユーザーに追随して回転させることにした．しかし，ユーザーは回転しているのに関わらず，固定された映像を見るので，身体感覚との差異を感じてしまう．本研究では，ユーザーの動きに追随する背景の知見[3]をもとに，VR 空間を囲むようにワイヤーフレーム球を置いた．ユーザーの見る VR 映像は回転に追従する一方でワイヤーフレーム球は回転するので，身体感覚との差異が生じずに方向修正ができると考えた．

4. システム概要

ゲームエンジン Unity 上で，HTC VIVE 用の開発プラグインである Steam VR plugin を用いて開発を行った．今回は HTC VIVE，付属ベースステーションとコントローラにより，歩行可能領域の設定，ユーザーの位置推定，コントローラ操作による入力を行う．ユーザーが自由に歩行し，体験スペースの限界範囲に近づいたときに，歩行限界範囲を

†1 筑波大学
†2 楽天株式会社　楽天技術研究所

© 2019 Information Processing Society of Japan

示すグリットが表示される．グリットが表示され，歩行限界に達した時にはユーザーはコントローラを操作することで，ユーザーの回転に VR のシーンが固定される． 同時に図 1 のようなワールドの座標系に固定されたワイヤーフレームが映像に表示される．また，ユーザーの位置・視線の位置と体験スペースの四隅の位置から最小角度と最長距離を導出して回転方向を推薦するシステムを実装した．

5. 評価実験

5.1 実験内容

HTC VIVE 本体に加え HTC VIVE に付属する 2 つのベーススステーションとコントローラにより，歩行可能領域の設定，ユーザーの位置推定，コントローラ操作の受け付けを行った. 被験者はコントローラを右手に持ち, 2.2m*1.5m の領域内で歩行を行った．20 代の男女 11 名に実験を協力してもらい提案手法を先に体験する群と比較手法を先に体験する群に分けて実験を行った. 実験にあたり, VR ショッピング施設を模した VR 空間を用意した．被験者には店舗に表示された矢印に従い店舗を 5 分間歩くタスクを与えた．実験にあたり, 被験者が体験している間の方向修正の回数, 方向修正の回転角度，方向修正に要した時間と実験終了後に行った SSQ 評価を用いて提案手法と比較手法を比較した．比較手法とは，提案手法と同様に回転方向を推薦するが，HMD に表示する映像には，自分が 360° 回転する様子を表示するようにした．

5.2 実験結果

被験者がタスクで行った回転による方向修正の回数と回転角度，回転時間の平均と標準偏差を以下の表 1 に示す．提案手法と比較手法では方向修正の時に行う回転方向の推薦方法が同じであったため，全ての項目にて大きな差は見られなかった．提案手法と比較手法の SSQ 評価値（総合点(SSQ-TS)，気持ち悪さ(SSQ-N)，目の疲れ(SSQ-O)とふらつき感(SSQ-D)）の平均値と標準偏差の比較結果を以下の表 2 に示す．SSQ 評価値においてノンパラメトリック検定である Wilcoxon の符号順位検定を行った．

6. おわりに

今回の評価実験において提案手法と比較手法には有意な差が見られなかった. 今回の実験において, 提案手法では, ユーザーの動きに追従する背景シーンが実際の身体感覚との差を生むことから，ワイヤーフレーム球を設置することで，身体感覚との差異を軽減できると考えた．しかし，被験者からは不自然な影が画面に表示されていて見難いという意見が出た. 今後, ワイヤーフレームを拡大することで, シーンに表示されるワイヤー数を減らし，不自然さを解決できるだろうと考える．

SSQ-D 評価値（ふらつき）において有意差はなったが，平均値に差が見られた．このことから，ワイヤーフレームが回転したことで体のふらつきが抑えらるという仮説については，さらなる調査の可能性があると考える．

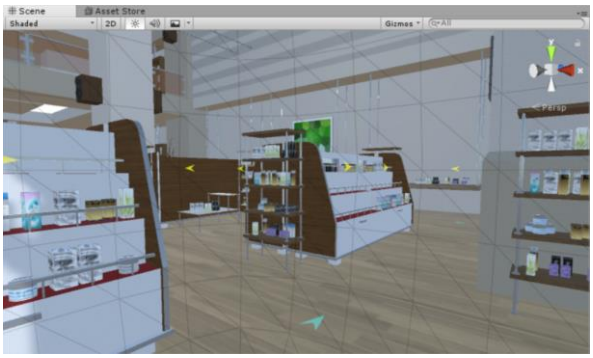

図 1 ワイヤーフレーム球内部から見た店舗の様子

表 1 回転に関するデータの比較

	平均回転数	平均回転角	平均回転秒数
提案手法	37.17	159.01	4.01
比較手法	38.00	158.20	3.50

表 2 SSQ 評価値の比較

	提案手法		比較手法	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
SSQ-TS	32.98	32.56	36.72	39.64
SSQ-N	19.95	27.73	19.08	22.65
SSQ-O	28.94	24.58	30.32	27.04
SSQ-D	40.49	43.40	53.15	68.92

参考文献

[1] LaViola Jr, J.2000. A discussion of cybersickness in virtual environments. ACM SIGCHI Bulletin, 32(1):47-56.

[2] Kennedy R.S., Lane, N. E., Lilienthal, M. G. 1993. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. The International Journal of Aviation Psychology, 3(3):203-220.

[3] Prothero, J.D., Draper, M.H., Furness, T.A., Parker, D.E., Wells, M.J. 1999. The use of an independent visual background to reduce simulator side-effects. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 70(3):135-187.

[4] James J. W. Lin, Habib Abi-Rached, Michal Lahav. 2004. Virtual guiding avatar: an effective procedure to reduce simulator sickness in virtual environments. CHI '04 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 719-726.

[5] 磯部 祐輔, 藤田 欣也. 2008. 視点移動映像視聴時の注視と予 告の酔いと速度感および注視行動への影響. 日本バーチャル リアリティ学会論文誌 13(3), 385-391.

© 2019 Information Processing Society of Japan