

Simulation de la Perception du Poids en Réalité Virtuelle: Rôle de la Masse Absolue et de la Distribution du Poids

LUTALA LUSHULI David
Institut Francophone International
Université nationale du Vietnam
Module de Réalité Virtuelle
Superviseur: Dr. Thong DANG
Résumé Article 1
Promotion: SIM P27

Abstract—L'article propose une analyse critique de l'étude intitulée *Simulating Object Weight in Virtual Reality: The Role of Absolute Mass and Weight Distributions*. L'objectif principal de cette recherche est d'examiner comment la masse visuelle d'un objet et la répartition physique de son poids influencent la perception haptique en environnement virtuel. À travers une expérience impliquant 30 participants, les auteurs ont testé différentes combinaisons de masses visuelles et de distributions internes du poids. Les résultats montrent que la masse visuelle et la position réelle du poids ont un effet significatif sur la perception du poids, tandis que la position visuelle du centre de masse n'a pas d'impact notable. Deux modèles prédictifs ont été développés pour estimer le poids perçu en fonction de ces variables. Cette étude ouvre des perspectives intéressantes pour la conception d'interfaces VR plus immersives, en exploitant les illusions perceptuelles pour simuler des sensations réalistes sans matériel complexe.

Index Terms—Réalité virtuelle, perception haptique, interfaces haptiques, masse visuelle, illusion perceptuelle, modèle prédictif.

I. INTRODUCTION

La réalité virtuelle (VR) s'impose de plus en plus comme un outil puissant dans divers domaines allant du divertissement à la formation professionnelle, en passant par la médecine ou l'enseignement. L'un des défis majeurs dans la création d'environnements immersifs est la reproduction réaliste des sensations physiques, notamment le poids des objets. Or, simuler le poids de façon convaincante n'est pas trivial, car cela dépend de nombreux facteurs perceptifs, cognitifs et techniques. Les dispositifs haptiques actuels sont limités par leur capacité à reproduire fidèlement les sensations de masse sans rendre l'interface encombrante, coûteuse ou lourde à manipuler.

L'article étudié explore comment la perception du poids peut être influencée par des facteurs visuels et cognitifs, donnant

lieu à des illusions perceptuelles bien connues comme la *Size-Weight Illusion (SWI)*. Cette illusion, où un objet visuellement plus grand est perçu comme plus léger qu'un objet plus petit de même masse, ouvre des perspectives intéressantes pour la conception d'expériences VR allégées techniquement mais perçues comme réalistes par les utilisateurs.

A. Contexte, Problématique et Objectif

Dans ce contexte, la présente étude vise à analyser comment deux facteurs principaux – la masse visuelle d'un objet virtuel et la position du poids réel dans l'objet – influencent la perception haptique du poids en réalité virtuelle. La question centrale que nous explorerons est : *quelle est la meilleure manière de simuler le poids d'un objet en VR pour qu'il soit perçu comme réaliste, tout en utilisant des moyens techniques limités ?*

Pour y répondre, les auteurs dans leur article ont conçu une expérience impliquant 30 participants qui interagissent avec des objets virtuels de masses visuelles différentes et dotés de centres de masse variés. Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Identifier l'effet de la masse visuelle sur la perception du poids ;
- Déterminer l'impact de la position physique du poids sur cette perception ;
- Proposer un modèle prédictif permettant de calculer un poids à simuler pour une configuration donnée ;
- Définir des recommandations pour la conception d'interfaces haptiques plus efficaces et accessibles.

Ainsi, cet article s'inscrit dans une démarche d'optimisation de la simulation haptique en VR, avec une attention particulière portée au réalisme perceptif et à la légèreté technologique.

II. TRAVAUX ANTÉRIEURS

Les auteurs ont analysé certains travaux explorant les interfaces de poids en VR incluant des technologies comme le transfert de liquide, la stimulation musculaire (EMS), et les moteurs à traction. Chaque approche a ses limites : les propulseurs peuvent être bruyants, les moteurs consomment beaucoup d'énergie, et l'EMS peut provoquer de l'inconfort. Parallèlement, des illusions telles que la Size-Weight Illusion (SWI) montrent que l'apparence visuelle affecte la perception du poids. Buckingham (2014) et Heineken et Schulte (2007) ont montré que les utilisateurs perçoivent les objets visuellement plus grands comme plus légers que les petits à poids égal. Toutefois, peu de recherches ont combiné les facteurs haptiques et visuels dans un modèle unifié permettant une simulation adaptée du poids en VR.

III. MÉTHODOLOGIE

Les auteurs ont mis en place une expérience ainsi que des stratégies qui ont impliqué 30 participants (14 femmes et 16 hommes) âgés entre 18 et 34 ans. Chaque participant a testé 54 configurations d'objets virtuels en choisissant parmi 13 objets réels alignés en poids. Les variables testées sont :

- Masse visuelle : 360g (léger), 720g (moyen), 1080g (lourd);
- Position physique du poids : haut, centre, bas;
- Centre de masse visuel : six configurations (centre, haut, bas, 45°, 90°, 135°).



Fig. 1. Participants manipulant les objets physiques dans un environnement synchronisé avec la réalité virtuelle, à l'aide d'un casque Meta Quest 2.

Les participants interagissaient avec les objets dans un environnement virtuel synchronisé avec la réalité physique à l'aide d'un casque Meta Quest 2 et de l'environnement Unity.

IV. IMPLÉMENTATION

Pour réaliser l'expérience, les auteurs ont conçu une scène virtuelle en 3D représentant des objets de formes identiques mais de masses visuelles différentes. Ces objets étaient placés dans un environnement créé avec le moteur Unity, aligné avec la scène physique réelle afin d'assurer une correspondance précise entre ce que les utilisateurs voyaient et ce qu'ils manipulaient.

Chaque objet physique était fabriqué en impression 3D et pouvait contenir un poids positionné en haut, au centre ou en bas. Treize versions de l'objet physique étaient préparées, allant de 100g à 1300g. Ces objets étaient disposés devant les participants, qui devaient en choisir un correspondant au poids perçu dans l'environnement VR.

Le dispositif utilisait le casque Meta Quest 2 avec suivi manuel pour que les utilisateurs puissent saisir et soulever

virtuellement les objets sans contrôleur physique. Les interactions étaient programmées pour reproduire fidèlement la position, la rotation et le déplacement des objets. Les données sur les choix des participants étaient enregistrées à chaque essai afin de permettre une analyse statistique ultérieure.



Fig. 2. Comparaison entre l'environnement virtuel (à gauche) et la scène physique réelle (à droite) dans laquelle les participants interagissent avec les objets.

Cette implémentation a permis d'assurer un parallèle cohérent entre les sensations physiques réelles et les perceptions virtuelles, tout en maintenant un contrôle strict sur les variables testées.

V. RÉSULTATS OBTENUS

Les auteurs affirment dans leurs résultats que les analyses des données effectuées ont révélé plusieurs tendances claires dans la perception du poids par les participants. Trois facteurs principaux ont été examinés : la masse visuelle de l'objet, la position physique du poids, et la position du centre de masse visuel.

A. Effet de la masse visuelle

Les participants ont montré une tendance marquée à surestimer le poids des objets visuellement légers (360g) et à sous-estimer celui des objets visuellement lourds (1080g). Cela confirme l'existence d'un biais cognitif induit par les attentes visuelles. Cette observation rejoint les résultats antérieurs sur la Size-Weight Illusion (SWI), où l'apparence d'un objet influence directement la perception de son poids.

B. Effet de la position physique du poids

Les objets dont le poids était positionné vers le bas étaient perçus comme plus lourds, tandis que ceux dont le poids était positionné en haut étaient perçus comme plus légers. Cet effet s'explique par le moment de force exercé lors de la manipulation : un poids bas donne une impression de charge plus importante, ce qui influence la perception.

C. Effet du centre de masse visuel

Contrairement aux hypothèses initiales, la position du centre de masse visuel (côté visuel indiquant une répartition) n'a pas eu d'influence significative sur la perception du poids. Cela suggère que les signaux visuels de distribution interne du poids sont moins fiables pour les utilisateurs que les indices physiques transmis par le contact et la manipulation.

D. Modèles prédictifs

Deux modèles de régression linéaire ont été construits à partir des données collectées. Le premier modèle prédit le poids perçu en fonction de la masse visuelle et de la position physique du poids avec un coefficient de détermination ajusté de , indiquant une bonne précision prédictive. Le second modèle intègre la distance verticale entre le centre de masse et la main du participant, améliorant la compréhension du lien entre la configuration physique et la sensation perçue.

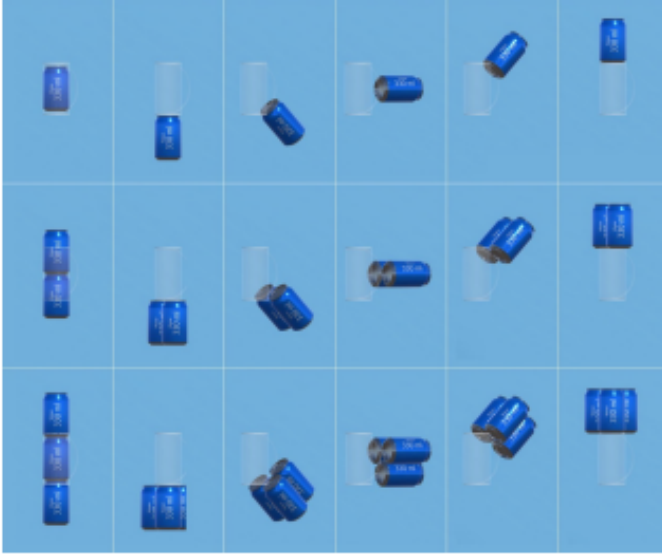


Fig. 3. Exemples des différentes configurations du centre de masse visuel testées dans l'étude.

Ces résultats ont permis aux auteurs de mieux cerner les facteurs influençant la perception du poids en VR et offrent une base mathématique utile pour l'implémentation d'interfaces haptiques adaptatives dans des contextes immersifs variés.

VI. DISCUSSION

Les résultats de cette étude présentée dans cet article confirment que la perception du poids en réalité virtuelle est fortement influencée par les attentes visuelles et les propriétés physiques de l'objet. Les auteurs affirment que la surestimation des objets légers et la sous-estimation des objets lourds illustrent clairement le rôle des illusions perceptuelles, notamment la Size-Weight Illusion (SWI). Cette illusion, bien documentée dans la littérature, suggère que le cerveau humain anticipe le poids d'un objet en fonction de sa taille ou de son apparence, et ajuste la perception en conséquence.

L'impact de la position physique du poids montre qu'au-delà des indices visuels, les informations proprioceptives issues de la manipulation sont déterminantes dans l'estimation du poids. Un poids situé en bas augmente l'effet de levier et donne une sensation de lourdeur accrue, ce qui peut être exploité dans les dispositifs haptiques pour moduler la perception sans modifier la masse totale.

En revanche, l'absence d'effet significatif du centre de masse visuel indique que les signaux visuels internes ne

sont pas interprétés comme fiables par les utilisateurs, surtout lorsqu'ils sont en conflit avec les indices physiques. Cela souligne la primauté du retour sensoriel réel sur la simple apparence visuelle dans les interactions haptiques immersives.

Les modèles prédictifs développés dans cet article fournissent un outil intéressant pour les développeurs d'interfaces VR. En ajustant la masse simulée et la position du poids en fonction de la masse visuelle, il est possible de créer des expériences plus réalistes tout en réduisant les contraintes matérielles. Cela ouvre la voie à des dispositifs haptiques plus légers, plus accessibles et moins coûteux, sans compromettre l'immersion utilisateur.

Enfin, ces résultats démontrés par les auteurs invitent à explorer plus avant les mécanismes multisensoriels de la perception du poids en VR. L'intégration de signaux auditifs, visuels dynamiques, ou vibratoires pourrait permettre de renforcer ou compenser les limites de l'haptique pure. Une approche multimodale et adaptative semble prometteuse pour améliorer encore l'expérience utilisateur en environnement immersif.

VII. CRITIQUES ET PROPOSITIONS D'AMÉLIORATION

A. Limites méthodologiques

Bien que l'expérimentation présentée dans l'article soit menée avec rigueur, certaines limites méthodologiques peuvent être relevées. Tout d'abord, la plage de poids testée est relativement restreinte, avec des masses allant de 100g à 1300g. Cette plage limite la généralisation des résultats à d'autres contextes où les objets pourraient être plus légers ou plus lourds.

Par ailleurs, la durée de manipulation et le nombre de répétitions par configuration sont limités, ce qui peut affecter la fiabilité des jugements perceptifs des participants. Un nombre plus élevé de répétitions aurait renforcé la solidité statistique des conclusions.

Enfin, l'expérience présentée par les auteurs ne prend pas en compte certains facteurs individuels tels que la force musculaire, l'expérience antérieure en VR, ou les stratégies cognitives personnelles, qui peuvent avoir une influence sur la perception du poids. Leur intégration aurait permis une analyse plus fine des résultats.

B. Perspectives d'amélioration et futures recherches

L'analyse de l'article suggère plusieurs pistes d'amélioration pour de futures recherches. Tout d'abord, il serait pertinent d'explorer une plus grande variété de formes et de textures visuelles pour vérifier leur impact potentiel sur la perception du poids. Cela permettrait de mieux comprendre les interactions entre les indices visuels complexes et les attentes perceptives.

De plus, l'intégration de dispositifs haptiques actifs tels que la vibration, la résistance motorisée ou la stimulation musculaire électrique (EMS) pourrait renforcer les sensations perçues, et permettre une exploration de la combinaison des retours visuels et haptiques dans la simulation du poids.

Il serait également intéressant de développer un système adaptatif capable d'ajuster dynamiquement la sensation de

poids en fonction des données issues des mouvements de l'utilisateur. Enfin, des études comparatives prenant en compte les profils des utilisateurs (âge, expérience en VR, force physique) ouvriraient la voie à une personnalisation plus avancée des dispositifs immersifs.

Ces améliorations potentielles, inspirées de l'analyse critique de l'article, pourraient renforcer la précision des expériences futures et contribuer à l'optimisation des interfaces haptiques en réalité virtuelle.

VIII. CONCLUSION

L'article *Simulating Object Weight in Virtual Reality: The Role of Absolute Mass and Weight Distributions* met en lumière des éléments essentiels pour mieux comprendre la perception du poids dans un environnement immersif. Les auteurs ont su démontrer que la masse visuelle d'un objet et la position réelle de son poids influencent significativement la sensation perçue par les utilisateurs. Ces résultats confirment l'existence d'illusions perceptuelles exploitables pour simuler des charges plus ou moins lourdes sans nécessiter de dispositifs complexes.

L'étude se distingue par une méthodologie rigoureuse, un protocole expérimental bien défini, et des modèles prédictifs applicables à la conception d'interfaces haptiques plus réalistes. Toutefois, certaines limites méthodologiques restreignent la portée des résultats et suggèrent des pistes d'amélioration.

En somme, ce résumé de cet article nous a permis de mieux comprendre les enjeux de la simulation du poids en réalité virtuelle et l'importance de considérer à la fois les facteurs visuels et haptiques dans la conception d'interfaces immersives. Il constitue une base solide pour nourrir nos réflexions dans le cadre de notre projet, en nous offrant des pistes concrètes d'inspiration tant sur le plan expérimental que conceptuel.

REFERENCES

- [1] A. Kalus, J. Klein, T.-J. Ho, N. Henze, "Simulating Object Weight in Virtual Reality: The Role of Absolute Mass and Weight Distributions," VRST 2024.
- [2] G. Buckingham, "Getting a grip on heaviness perception: a review of weight illusions," Exp. Brain Res., 2014.
- [3] E. Heineken and F. Schulte, "Seeing Size and Feeling Weight: The SWI in Natural and Virtual Reality," Human Factors, 2007.
- [4] S. Faltaous et al., "Give Weight to VR: EMS in Virtual Reality," Mensch und Computer, 2022.
- [5] S. Heo et al., "Thor's Hammer: An Ungrounded Force Feedback Device," CHI, 2018.