



前庭感覚ディスプレイによる 身体運動感覚の合成に関する研究

八木龍之介¹⁾, 海野みのり¹⁾, ヤエム ヴィボル¹⁾, 雨宮智浩²⁾, 北崎充晃³⁾, 池井 寧²⁾

1) 東京都立大学大学院 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, {yagi,unno,yem}@vr.sd.tmu.ac.jp)

2) 東京大学大学院 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, {amemiya,ikci}@vr.u-tokyo.ac.jp)

3) 豊橋技術科学大学大学院 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, mich@tut.jp)

概要: 本研究では、テレプレゼンスシステムでの使用を目的とした前庭感覚ディスプレイ (モーションプラットフォーム) を開発している. 本前庭感覚ディスプレイは、電動車椅子とスロープから構成され、並進運動およびピッチ回転により前庭感覚刺激を提示可能である. 提示機能に関する予備実験により、並進運動を含まないモーションプラットフォームと比較して、本前庭感覚ディスプレイは移動感覚の向上に有効であることが示唆された.

キーワード: テレプレゼンス, 移動感覚, 電動車椅子, モーションプラットフォーム

1. 緒言

本研究では、遠隔で移動する車両 (Segway) にリモートで同乗する体験を実現するテレエクスペリエンスシステム (TwinCam Go) を構築している[1]. Segway に搭載されたカメラシステム TwinCam は、頭部回転時の HMD (Head Mounted Display) 映像の遅延の補償およびモーションブレイクの抑制に極めて有効[2]だが、カメラすなわち視点が空間移動する場合には、実際の身体と独立に運動する視覚情報のために、体験者は VR (Virtual Reality) 酔いを発症しやすい. この VR 酔いを抑制し遠隔体験の質を向上するためには、カメラ運動に適合した身体運動感覚を提示するモーションプラットフォーム (MP) が有効と考えられる. しかしながら、従来の MP は構造が複雑でコストが高いため応用範囲が限定されるという問題がある.

そこで、本研究では電動車椅子が並進加速度運動する際の慣性力と、車体の傾斜による重力分力の合力を利用した、軽量で低コストの前庭感覚ディスプレイを開発した[3]. 本稿では、本ディスプレイの特性の予備評価により、従来型のシステムよりも有効である点を示す.

2. SmartSim 前庭感覚ディスプレイ

2.1 ディスプレイの構成

本研究で提案する前庭感覚ディスプレイ (SmartSim) を図 1 に示す. SmartSim は車椅子の両車輪を 150 W の DC モーター (RE40, Maxon motor) で駆動し平面運動を制御すると同時に、曲線形状のスロープを登坂させることによってピッチ回転を与える構成である (図 2). 並進加速度運動の慣性力と車体の傾斜による重力分力で、等価的に並進加速度を連続的に与える他に、両車輪の反対回転によるヨー回転運動の表現、および車輪への振動入力による路面状態の表現が可能となっている.



図 1 SmartSim



図 2 スロープ

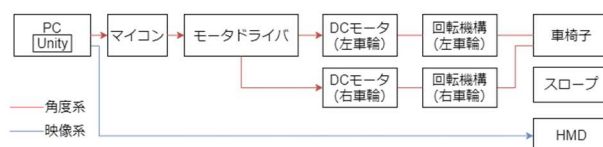


図 3 システム構成

回転運動の自由度だけで構成される単純構造の MP は b 実現が比較的容易だが、運動初期の並進加速度の再現が不十分という問題がある. 本設計では十分な強度で並進運動が行える車椅子で実現しているため加速度の表現範囲を確保しやすい. 電動車椅子の前輪の直径、後輪の直径、車軸間の距離、全重量は、それぞれ 16, 56, 40 cm, 約 21 kg であり、スロープの幅、奥行き、最大高さは、それぞれ 80, 49, 11 cm である. 提示系の全体構成を図 3 に示す.

2.2 加速度の時間応答

電動車椅子の並進方向加速度を a_{chair} 、重力加速度を g 、ピッチ軸回りのユーザの身体の傾斜角を α とすると、合成加速度 a_{total} は式(1)で表される.

$$a_{total} = a_{chair} + g \sin(\alpha) \quad (1)$$

図 4 に、時刻 0 から t_5 における、合成加速度の時間応答を示す. ただし、電動車椅子は一定加速度で並進運動し、一定角速度でピッチ運動すると仮定する. 遠隔地において移動機が任意の加速度 (目標提示加速度) で並進運動をする

と、電動車椅子が一定時間加速し ($0 < t \leq t_1$), その後前輪がスロープに登坂した状態で静止するために減速 (ウォッシュアウト) する ($t_1 < t \leq t_2$). この時, 身体後方に生じている重力加速度が, 定常状態の合成加速度である ($t_2 < t \leq t_3$). 移動機の加速度が 0, つまり等速直線運動をすると, 電動車椅子は後進してスロープから降坂し ($t_3 < t \leq t_4$), 初期位置で停止する ($t_4 < t \leq t_5$). 前述した回転運動のみ可能な MP では, $g \sin(\alpha)$ で示された加速度の提示しかできないが, SmartSim を用いると a_{total} で示された加速度の提示が可能である.

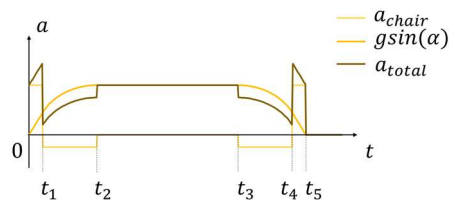


図 4 加速度の時間応答

3. SmartSim の特性評価予備実験

3.1 加速度測定実験

3.1.1 実験目的および手法

SmartSim でユーザに提示される合成加速度の時間応答について予備実験を行った. 実際の使用状況を想定した運動について, 加速度データを取得した.

電動車椅子の車体側面に加速度センサを取り付けて測定した. 体重が約 60 kg の実験参加者が電動車椅子に搭乗し, 駆動登坂後の停止状態の合成加速度 (傾斜による重力分力) が 0.5 m/s^2 となる条件で測定した.

3.1.2 実験結果

車体に取り付けられた加速度センサにより測定された加速度を図 5 に示す. 平滑化すると, 所望の加速度の表現が行われているとみられる. 駆動開始後の登坂時および降坂時に, スロープの水平面との不連続部で加速度の擾乱が発生している. これは, スロープの加工精度が不十分であることと前輪の従動運動の軌道にやや乱れがあるためと考えられる.

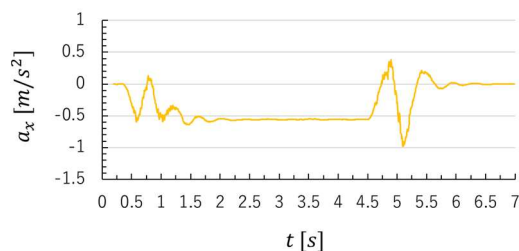


図 5 前庭感覚ディスプレイの実効並進加速度

3.2 移動感覚およびピッチ運動感覚に関する実験

3.2.1 実験目的

回転運動のみからなる MP (図 6(a), 回転提示型) による提示感覚を, 本研究の前庭感覚ディスプレイ (図 6(b), 並進・回転型の SmartSim) の提示と比較した. 評価対象は, 移動感覚 (前進方向への加速度運動が身体に生じている感覚) とピッチ運動感覚 (ピッチ運動が身体に生じている感覚) とした. 実験参加者は平均年齢 22.6 歳の大学(院)生 9 名である.

3.2.2 実験方法

実験参加者に定常状態の合成加速度が 0.5 m/s^2 の条件

で刺激提示を行う. なお, 刺激提示は閉眼状態でを行い, 聴覚はヘッドフォンからのホワイトノイズで遮断した. 移動感覚とピッチ運動感覚の有無について, 実験参加者に VAS (Visual Analog Scale) で評価させた.

3.2.3 実験結果

移動感覚, ピッチ運動感覚に関する実験結果を, それぞれ図 7, 図 8 に示す. 移動感覚については, 回転提示型・並進・回転提示型間に有意水準 1% で有意差 (t 検定) がみられた. ピッチ運動感覚には, 有意差は認められなかった.

3.2.4 考察

回転提示型では, 頭部は並進を含む運動とはなるが, 重心の並進運動を伴わないことが知覚され, 移動感覚は明確とはならない. 並進・回転提示型では, 重心の並進加速度とその後の合力が明確に加速度運動感覚を与えていると考えられる.



(a) 回転提示型 (b) 並進・回転提示型

図 6 評価した提示装置

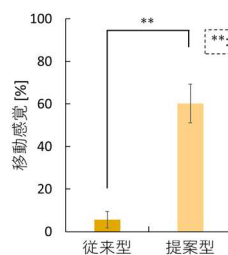


図 7 移動感覚

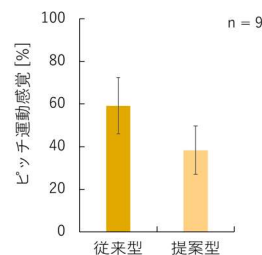


図 8 ピッチ運動感覚

4. 結言

本研究では, 電動車椅子とスロープを用いることで, 軽量で低コストの前庭感覚ディスプレイ SmartSim を開発した. 特性評価の予備実験により, 回転提示型と比較して SmartSim は移動感覚の向上に有効であることが示唆された.

謝辞 本研究は, 総務省 SCOPE(191603003), JSPS 科研費 (JP18H04118, 18H03283), SCAT, JKA などの支援により実施された. ここに謝意を表す.

参考文献

- [1] 森田翼, ヤエム ヴィボル, 雨宮智浩, 池井 寧: 遠隔共同作業のための搭乗感覚共有システムに関する研究, 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2019.
- [2] 八木龍之介, 藤江柊生, 雨宮智浩, 北崎充晃, ヤエム ヴィボル, 池井 寧: 遠隔体験の臨場感向上手法に関する研究, 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2019.
- [3] Vibol Yem, Ryunosuke Yagi, Yasushi Ikei: SmartSim: Combination of Vibro-Vestibular Wheelchair and Curved Pedestal of Self-Gravitational Acceleration for Road Property and Motion Feedback. SIGGRAPH Asia 2019 Extended Reality Program, Brisbane, Australia, pp. 38-39, 2019.