JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	スパイダーヒーロー：張力提示システムを導入したＶＲアプリケーション
Author(s)	石橋，賢；Luz，Toni Da；Eynard，Remy；北，直樹；姜，南；瀬木，宏；寺田，圭祐；藤田，恭平；宮田，一乗
Citation	インタラクション2010予稿集：PB21
Issue Date	2010-03-01
Type	Conference Paper
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/11432
Rights	社団法人　情報処理学会，石橋賢，Toni Da Luz，Remy Eynard，北直樹，姜南，瀬木宏，寺田圭祐，藤田恭平，宮田一乗，インタラクション2010予稿集，2010，PB21．　ここに掲載した著作物の利用に関する注意：本著作物の著作権は（社）情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright © Information Processing Society of Japan.
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

スパイダーヒーロー：張力提示システムを導入したＶＲアプリケーション

石橋　賢[†]　Toni Da Luz[††]　Remy Eynard[††]
北　直樹[†]　姜　南[†]　瀬木　宏[†]
寺田圭祐[†]　藤田恭平[†]　宮田一乗[†]

Spider Hero: A VR Application Introducing Pulling Force Feedback System.

Ken Ishibashi,[†] Toni Da Luz,[††] Remy Eynard,[††] Naoki Kita,[†]
Nan Jiang,[†] Hiroshi Segi,[†] Keisuke Terada,[†] Kyohei Fujita[†]
and Kazunori Miyata [†]

1. はじめに

スパイダーヒーローは，バーチャル都市空間をスパイダーマン ™ のようにクモの糸を使って自由に飛び回ることができる VR アプリケーションである．本 VR アプリケーションにおける力覚提示としてクモの糸の張力提示が特に重要となる．力覚を提示する代表的なデバイスとして，SPIDAR[1)] や PHANTOM[2)] などが挙げられる．先行研究においても，張力を提示する様々なデバイスが提案されているが，構造が複雑または高コストである問題が挙げられる．そこで，筆者らは単純な構造かつ低コストであるバキュームデバイスを用いた張力提示システムを提案する．本稿では，提案する張力提示システムとその張力提示システムを導入した VR アプリケーションについて述べる．

2. スパイダーヒーロー

制作した VR アプリーケーションは，ユーザが手袋型の操作デバイス（以下，ウェブシュータ）でクモの糸を発射しビルに張り付け，そのクモの糸によって引っ張られながらバーチャル都市空間上を飛び回る体験イメージを提供する．**図 1** に体験の流れを示す．

1) まず，ユーザは装着しているウェブシュータを用いて画面上の赤いポインタを操作することで，目標とするビルを選択する．また，ユーザはトリガーボタンを押すことで目標とするビルにポインタを固定する．

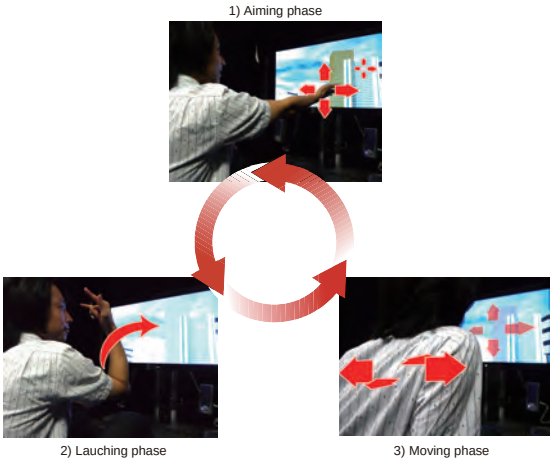

図 1　体験の流れ
Fig. 1　Flow of the user's experience

2) 次に，ユーザは前方に腕を振りトリガーボタンを離すことで，目標とするビルにクモの糸を発射する．ユーザの腕を振る速さは，クモの糸の飛距離と対応しているため，より遠くのビルが目標となる場合は，より速く腕を振る．

3) クモの糸がビルに到達すると同時に，その糸に引っ張られながら移動する．ここで，張力提示システムと風覚提示システムによって，クモの糸を使って移動する感覚が与えられる．また，圧力センサによりユーザの姿勢を検知しているため，ユーザの体重移動に応じて仮想空間上で視点移動が可能である．以上の操作手順を繰り返し，次々とビルの谷間を移動する．

† 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology
†† Arts et metiers ParisTech

3. システムの概要

本システムは，感覚提示システム，映像システム，そして音響システムで構成され，2 種類の操作デバイスを用いる．システムの全体構成とシステムレイアウトを**図 2** に示す．

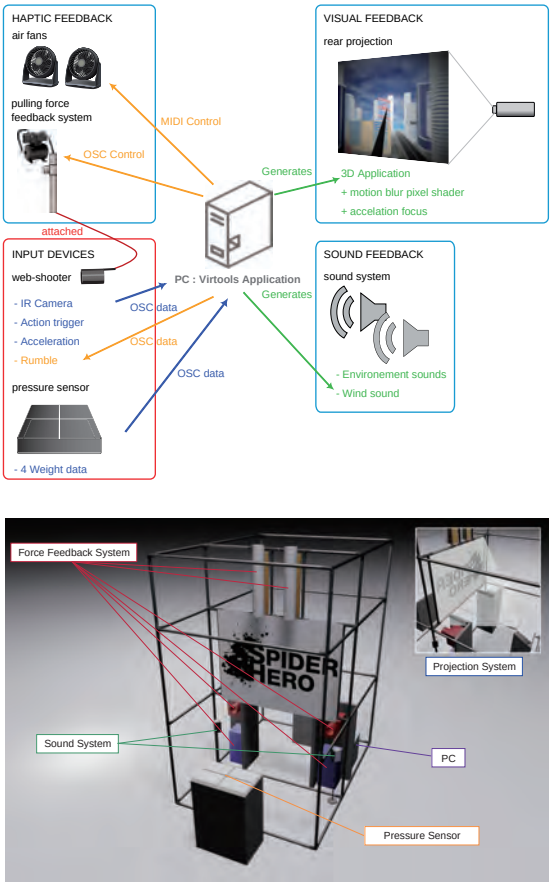

図 2 （上図）システムの全体構成（下図）システムレイアウト
Fig. 2 (Upper)System overview (Lower) System layout

感覚提示は，バキュームデバイスによる張力提示と 2 つのエアファンによる風覚提示がある．映像システムでは，ブラーやフォーカス効果，リフレクションマッピング，シャドウマッピングなどの視覚効果を用いて没入感を演出し，背面投影によってユーザの操作スペースを確保している．音響システムにおいては，街の環境音と風の効果音を用いている．また，バーチャル都市空間の構築には，高精細な建築物モデルおよびテクスチャを用いている．操作デバイスは，ユーザが両腕に装着するウェブシュータと，視点移動に用いる圧力センサを使用している．なお，VR アプリケーションの開発には Virtools^{TM}4.0 を利用し，動作に必要なデータは GlovePIE でサポートしている OSC（Open Sound Control）プロトコルを介して通信している．

4. 張力提示システム

4.1 関 連 研 究

既存の代表的な力覚提示システムとして，SPIDAR と PHANTOM が挙げられる．SPIDAR は，糸の張力を用いたシステムであり，ユーザは糸が取り付けられているリング型のキャップを指先に装着し，モータでその糸を巻き取り指先に任意の力を加える．また，ロータリーエンコーダで糸の長さを計測して指先の 3 次元位置を計測する．一方 PHANTOM は，ペン型のデバイスを用いている．ユーザは，ペン型のデバイスを指先に装着し，自由に指を動かすことができる．ペン型のデバイスはロボットアームによって制御されており，仮想空間上のオブジェクトと接触した場合，ペン型のデバイスに任意の力が加えられる．また，SPIDAR を応用したシステムとして，Virtual Canoe[3] や RoboGamer[4] などが挙げられる．さらに，牽引力を提示するシステムとして Force Display[5]（ぶるなび）が提案されている．

4.2 システムの詳細

前節で述べた各システムは，高コストまたは複雑な構造である問題点が挙げられる．そこで筆者らは，新しい張力提示システムを提案する．提案する張力提示システムの構成図を**図 3** に示す．

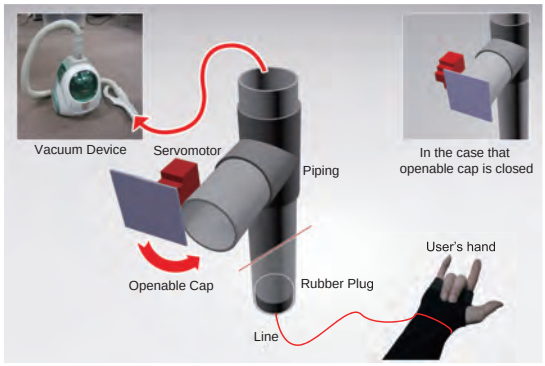

図 3 張力提示システム
Fig. 3 Pulling force feedback system

本システムは，次に示す過程で張力を提示する．バキュームデバイスは，調光機によって電圧を制御されており，PC から MIDI 信号が調光器に送られることで作動する．同時に開閉式キャップが閉まることでパイプ内が減圧する．それに伴い，パイプ内のゴムプラグが吸い上げられ，ゴムプラグに取り付けられた糸がユーザに張力を与える．本システムに用いた糸は，釣り糸とポリウレタン製のゴム紐を繋ぎ合わせており，糸の強度とクモの糸の伸びる感覚を兼ね備えている．

また，開閉式キャップが空気口の大きさを変化させることで，張力だけでなくクモの糸が切れる感覚も提示することができる．

本システムは，バキュームデバイスと開閉式キャップで構成され，既存の張力提示デバイスに比べて，低コストかつ単純な構造である点が特徴として挙げられる．また，従来のモータを動力とするシステムとは異なり，空気圧を用いているため強い張力を提示することが可能であり，安全性も高く，張力提示の応答性も良い．さらに，ユーザが強い力で糸を引いた場合においても，モータが直接的な動力ではないため故障する危険性が少なく，堅牢性の高いシステムと言える．

5. その他のシステムおよびデバイス

5.1 風覚提示システム

本 VR アプリケーションでは，高層ビル間を移動すること，クモの糸によるユーザの移動は加速度運動であることを前提としており，移動の際の向かい風を再現すること，ユーザの移動速度に応じて風覚を変化させることが必要である．そこで，筆者らは調光器と 2 つのエアファンを用いた．調光器によってエアファンの電圧を制御することで，ユーザの移動速度に合わせて風量を変化させることを可能にしている．さらに，空中移動中にユーザが視点移動するとクモの糸によって引っ張られている方向（ユーザの移動方向）から強い風が感じられ，その反対方向からは風が弱く感じられることが予想されるため，ユーザの視点移動に応じて左右の風量を変化させている．

5.2 操作デバイス

5.2.1 ウェブシュータ

ウェブシュータは，目標のビルを選択し，クモの糸を発射するための手袋型のデバイスである．本デバイスは，Wii リモコン ™ を基盤とし，赤外線カメラ，トリガーボタン，加速度センサ，そして振動モータで構成される．赤外線カメラは，画面上の赤いポインタを操作するために，トリガーボタンは，ポインタを目標に固定するために使用する．加速度センサは，ユーザの腕の速さを検知することで，クモの糸の飛距離を決定するために，振動モータはクモの糸を発射する際の力覚提示に使用する．

5.2.2 圧力センサ

圧力センサは，ユーザの姿勢を検知することで，仮想空間上でのユーザの視点移動に用いる．今回は，バランス Wii ボード ™ を使用した．

5.3 映像および音響システム

映像の投影方法は，背面投影を採用している．その理由として，張力提示システムの糸の映り込み防止や，ユーザの操作スペースを確保することが挙げられる．また，音響面では街の環境音や風の効果音によって臨場感を演出している．なお，ユーザの操作スペースは全て暗幕で覆われており，映像の鮮明化と音響効果を高める効果がある．

6. テクニカルプログラミング

6.1 マルチポインタ

制作した VR アプリケーションは，Virtools™4.0 で開発している．前述したようにウェブシュータを 2 つ使用して次々とビルを移動することから，画面上のポインタが 2 つ必要となる．しかし，それを扱うコンポーネントが存在しないため，以下のような方法を用いた．主観カメラの直近に透明なレイヤーを設け，ポインタはそのレイヤー上を移動する．目標とするビルにポインタを固定する場合，組み込みの Building Block である Ray Intersection により主観カメラの中心からポインタに向かって光線を発射する．その光線が 3D オブジェクトに接した場所にポインタが固定される．その概念図を**図 4** に示す．

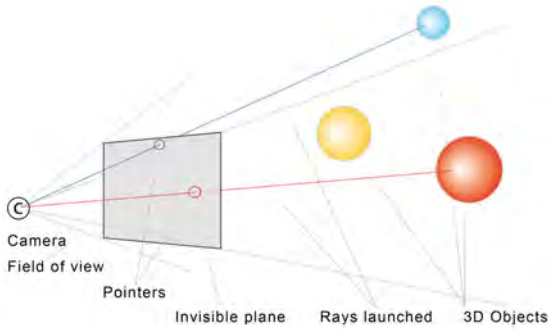

図 4 複数ポインタの概念図
Fig. 4 Multi points

以上の方法で，複数のポインタを扱えることを可能にしている．

6.2 衝 突 判 定

衝突判定は，アバター（ユーザが操作する対象）がビルに衝突する際，衝突の有無を検出するための処理である．アバターの周りに 48 の面（六面体の各面に 8 面ずつ）からなるボックスを作成し，そのボックスを衝突判定に使用する．**図 5** にその例を示す．

衝突した面に応じて，前方からビルに衝突した場合は後方に跳ね返り，右側面から衝突した場合は左側面に跳ね返るなど，衝突後の跳ね返りの方向を変化させている．

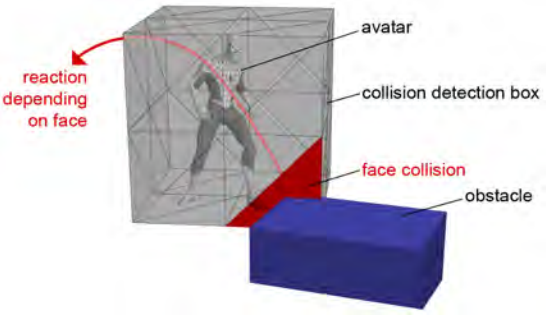

図 5 衝突判定
Fig. 5 Collision detection

7. 評価実験

2009 年 10 月 22 日〜25 日に開催された IVRC（国際学生対抗バーチャルリアリティコンテスト）および，同年 10 月 30 日〜11 月 1 日に開催された “いしかわ夢未来博 2009” において「スパイダーヒーロー」を展示した．**図 6** に展示の様子を示す．また，展示において 5 段階評価のアンケートによる評価実験を行った．なお，評価値の最大値は 5，最小値は 1 とする．その結果を**表 1** に示す．

図 6 展示の様子
Fig. 6 The state of exhibition

表 1 評価結果
Table 1 Evaluation results

項目	満足度	操作性	没入感	魅力度	爽快感	張力提示	風覚提示
平均	4.43	3.00	3.26	4.26	3.68	4.43	3.57

同表から，満足度と張力提示の項目において高い評価を得ていることが確認できる．満足度においては，スパイダーヒーローの糸で引っ張られながら空中を移動する体験が，今までにない新鮮な感覚としてユーザを楽しませたことが理由として挙げられる．張力提示においては，提案する張力提示システムがユーザに十分な張力を提示していることを示しており，本システムが効果的であることが分かる．さらに，総計 7 日間の展示においても本システムが問題なく動作したことから，本システムの堅牢性の高さが確かめられる．

一方で操作性においては，体験者のコメントから「操作するのが難しい」,「体重移動とポインタ操作の両方に気を配ることができない」といった意見が挙げられた．また，同表より操作性が低いことが確認できる．没入感の評価値が低い点も操作に気を配り，コンテンツに集中できないことが原因であると考えられる．

8. おわりに

本稿では，提案する張力提示システムとそのシステムを導入した VR アプリケーションについて述べた．評価実験の結果から，張力提示システムが効果的かつ高い堅牢性を有し，制作した VR アプリケーションに高いエンターテインメント性があることが確認できた．

今後の課題として，比較的評価の低かった操作性を改善していくと同時に，多方向からの張力提示や張力に強弱を設けることを検討していきたいと考えている．

謝辞 本研究は，IVRC 実行委員会および文部科学省が実施する “組織的な大学院教育改革推進プログラム” の支援によるものである．ここに謝意を表したい．

参考文献

1) Burdea, G.C.: *Force and Touch Feedback for Virtual Reality*, A Wiley-Interscience Publication (1996).
2) Massie, T.H. and Salisbury, K.J.: Phantom haptic interface: a device for probing virtual objects, *Proceedings of the 1994 International Mechanical Engineering Congress and Exposion* (1994).
3) Hasegawa, S., Dobashi, Y., Kato, M., Sato, M., Yamamoto, T. and Nishita, T.: Virtual Canoe: Real-Time Realistic Water Simulation for Haptic Interaction, *Proceedings of SIGGRAPH 2005* (2005).
4) Shirai, A., Dominjon, L. and Takahashi, M.: RoboGamer: Development of Robotic TV Game Player using Haptic Interface and GPU Image Recognition, *Proceedings of ACE 2005* (2005).
5) Amamiya T., Maeda T., and Ando H.: Location-free haptic interaction for large-area social applications, *Personal and Ubiquitous Compution*, Vol.13, No.5, pp. 379-386, Springer (2009)