ジンバル制御による Leap Motion の検出範囲の拡張と無形文化財体験システムへの応用

楊　暢，　岸本 征将（立命館大学情報理工学研究科）
李 亮，長谷川 恭子，田中 覚（立命館大学情報理工学部）

重要な文化財をデジタルデータとして記録保存することは，デジタルアーカイブと呼ばれる．本研究では，市販のバーチャルリアリティ装置とインターフェースディバイスを利用し，ジェスチャを広範囲かつ高精度に識別できるバーチャル体験システムの構築方法を提案する．ジェスチャに関して複数の運動速度と角速度での検出実験を行ない，従来手法より検出範囲が大きく拡張されたことを確認した．提案手法は祇園祭・粽投げのバーチャル体験システムへの応用が期待できる．

Recognition Range Expansion of Leap Motion by using Gimbal and its Application to VR Experience System for Cultural Heritage

Chang YANG, Yukimasa KISHIMOTO (Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumei University)
Liang LI, Kyoko HASEGAWA, Satoshi TANAKA (College of Information Science and Engineering, Ritsumei University)

Digitalizing, recording, and preserving of cultural heritage is called digital archiving. In this research, we propose a virtual experience system which enables high precision gesture recognition with wide recognition range using low cost virtual reality and interface devices. Experiments under various moving speeds and angular velocities have shown that the proposed system provides high precision gesture recognition in a larger recognition range than the conventional method. The proposed system is applicable to virtual experience system of chimaki-nage in the Gion Festival.

１．まえがき

無形文化財は日本の特徴や性質を大きく表す重要なものであ．しかし，後継者の不在などの理由により，必ずしもすべてを残せて行けるとは限らない．情報分野に連わる者ができることの一つとして,「デジタルミュージアム」[1]に伝統文化をデータとして保存していき，後世に伝統文化について知ってもらうとういう方法がある．

従来の博物館は「モノ」を管理保存していくことが主であり，「コト」に対しての管理保存が弱い．（「モノ」は展示する作品などの有形文化財，「コト」は行事などの無形文化財など）博物館などでのコトの管理保存方法は従来から存在していたが，これは文献の展示やビデオ映像を流すといった方法で，いろんな視点からの観察や体験などを深く追求することはできなかった．それに対してデジタルミュージアムはモノだけでなく，ことに対しての管理保存にも強いとういう利点がある．

近年のバーチャルリアリティ技術は飛躍的に進歩しており，利用者が仮想的に環境に入り込んで，対象のものやモノを体験できるようになってきた[2]，これより利用者はその中に入り込むことで，当時の環境や人などの反応を得ることができ，単純なものの展示だけでなく，そのモノが作れてきた過程や特性を様々な視点から展示できるようになった．

著者らがバーチャルリアリティ技術を使い，祇園祭り山鉾巡行の「粽（ちまき）投げ」とういう行事をバーチャル環境で直感的に体験できるシステムを開発している．粽投げとは，祇園祭の山巡行中に囃子方が、山鉾から粽を放り投げて，見物客に配っていた伝統行事であり，安全の観点から現在の祇園祭では中止されている．

Leap Motion は，2012 年に開発され，空中での手や指の動きを認識することにより，コンピュータの操作や文字入力などができる三次元モーションセンサデバイスである．Leap Motion の検出精度は 0.2 ミリメートルであり[3]，物を握る・投げる等の動作も正しく検出できると考えられる．

著者らが開発しているシステムは，全身の動作を検出できる Kinect[4]と指の動作を検出できる Leap Motion[5]を利用している．しかし，Kinect が簡単なジェスチャや体の動きを検出することができるが，その精度は指の動作まで及ばない．一方で，Leap Motion が高精度で指の動作を検出することができるが，検出範囲は非常に狭く，ユーザが限られた範囲内で投げる動作を行わなければならない．

 ©2019 Information Processing Society of Japan

可動式カメラを利用し，物や人を追従するシステムは広く使用されている.「Motion Tracking with an Active Camera」[6]では，可動式カメラを利用し，モーション検出技術で運動している物や人を追従することを実現した.

本研究では，Leap Motion と Head Mounted Display (HMD)を一緒に利用する時，自然な粽投動作を直感的に体験させるため，ジンバルを利用し，Leap Motion の向きを手の位置によって調整できるシステムを提案する． Leap Motion が自動的に手を追従することによって，大範囲かつ高精度のジェスチャ認識が実現した.

2．祇園祭と粽投げについて

2．1．祇園祭りについて

日本三大祭りの一 1 に挙げられており、毎年 7 月 1 日から 31 日まで 1 ヶ月に渡って行われる大規模な祭りであることで広く知られている祭りである．また山鉾行事は、昭和 54 年に文化財保護法により，国の重要無形民俗文化財に指定されたほか，平成 21 年には国連教育科学文化機関（ユネスコ）の無形文化遺産に登録されている．一般的には，17 日（前祭・山鉾巡行と神幸祭）と 24 日（後祭・山鉾巡行と還祭）の宵山が広く知られているが，他のも実に多彩な祭事が行われており，現在では単に神社や氏子たちだけでなく、京都市全体の祭りとして繰り広げられている.

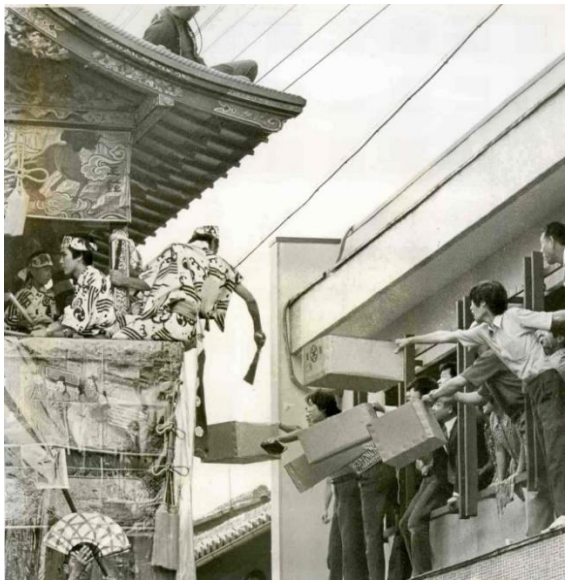
2．2．粽投げについて

粽投げとは，祇園祭の山鉾巡行中に囃子方が，山鉾からご利益のある粽を放り投げて，見物客に配っていた伝統行事である.粽を撮ろうと人が押し寄せたり，飛んできた粽が顔に当たって怪我するをすることがあり，安全の観点から現在の祇園祭では粽投げを行なっていない.

先ほど述べた山鉾巡行は，災厄をもたらす瘟神を鎮めるために町中を練り歩いたことが始まりとされており，豪華な懸装品に身を包んだ山鉾が京都の道を進むこの山鉾巡行は祇園祭の魅力をより強く感じられる行事の 1 つである[7]．また，祇園祭の粽投げの様子を図 1 と図 2 に示す.

3．Leap Motion について

2012 年から販売されている手のジェスチャによってコンピュータの操作ができる入力機器である．両手と 10 本の指をそれぞれ独立して同時に認識することができる（図 3）.



粽投げ（昭和 49 年）
図 1　粽投げの風景 1[8]



粽投げ（昭和 51 年）
図 2　粽投げの風景 2 [9]



図 3　Leap Motion [5]

4．システム構成

従来手法では，Leap Motion を HMD の前に固定され，視線方向の約 110 度の範囲でジェスチャを認識することである．提案手法は従来手法より，Leap Motion と HMD の接続点の間に 2 自由度のジンバルを追加する（図 4）．この回転パーツを利用することにより， Leap Motion がX軸とY軸に自由に回転できると考えられる．これに

©2019 Information Processing Society of Japan

よって，手を追従することが可能になる．従来手法では，Leap Motion の位置と姿勢が HMD と一致するため，手のグローバル座標は HMD が内蔵する方位センサによって簡単に計算できる．提案手法では，まず，Leap Motion のローカル座標系における手の座標を計算し，Leap Motion の姿勢とジンバルの回転角度を取得する．そして，ジンバルの回転行列と HMD の位置と姿勢を用い，手の座標をグローバル座標に変換する．

システム構成は図 5 に示す．提案システムでは，ユーザ側の Leap Motion からジェスチャと手の位置を認識し，手の座標により Leap Motion を手が視野中央へ移動するための回転角度を計算する．計算された回転角度をジンバルへ送信して二つのサーボモータを回転させる．

本研究では，ジンバルのサーボモータを制御するために，STM32[10]の MCU (Micro Controller Unit) と周辺回路を利用した．MCU と PC の通信は Serial Port で実現した．バーチャル環境の構築に Unity3D を用いた．本研究に使ったサーボモータは周期が 20ms のパルス信号で制御する．回転角度は信号の高レベル時間の長さより決定する．

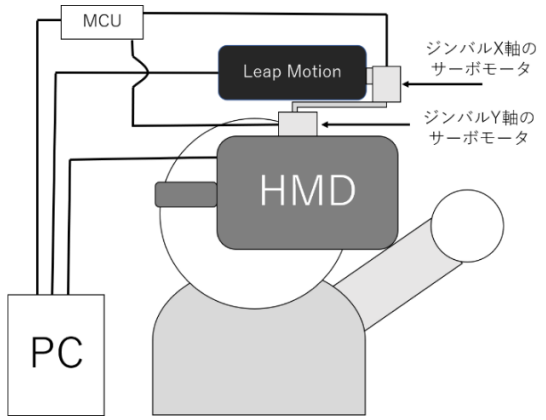


図 4　システム効果図

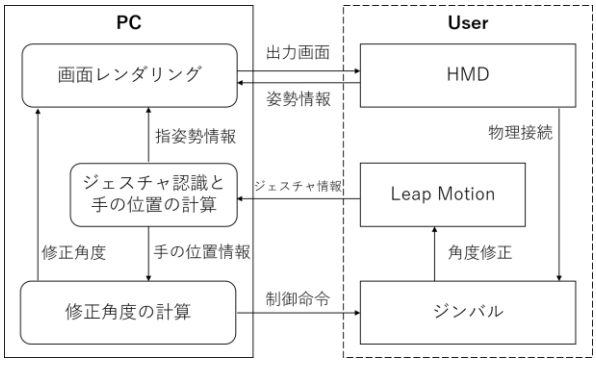


図 5　システム構成

Step 1: サーボモータの回転角度θ_xを 0 に初期化する．

Step 2: Leap Motion のローカル座標系における手の座標値(x, y, z)を取得する．手が検出されない場合は，Step 6 へ移行する．ただし，(x, y, z)はユークリッド空間の座標値である．

Step 3: Leap Motion から手までの直線方向と Leap Motion の Z 軸方向のなす角度 $\varepsilon_x = \arctan\left(\frac{y}{z}\right)$ を計算する．

- $|\varepsilon_x| \leq TH_x$の場合は，Step 6 へ移行する．
- $|\varepsilon_x| > TH_x$の場合は，Step 4 へ移行する．

ただし，TH_xはサーボモータが反応しない視野範囲の閾値である．

Step 4: 回転角速度$\omega_x = \varepsilon_x \times \alpha$を計算する．$|\omega_x| > \Omega_{max}$の場合に，$\omega_x$の値を$\Omega_{max}$や$-\Omega_{max}$に設定する．ただし，$\Omega_{max}$はジンバルのサーボモータの回転角速度の最大値であり，αはスカラー値である．なす角度が大きい場合は，サーボモータがより速い速度で回転する．

Step 5: サーボモータを回転させ，ジンバルの新しい角度$\theta_x' = \theta_x + \omega_x * \frac{1}{FPS}$を更新する．$\theta_x' > \theta_{max}$の場合は，$\theta_x'$の値を$-\theta_{max}$や$\theta_{max}$に設定する．ただし，$\theta_{max}$はX軸の回転角度の最大値である．

Step 6: フレームを更新し，Step2 へ戻る．

Y 軸の制御は X 軸と同様である．これにより，リアルタームの手追従機能を実装することができる．実世界の Leap Motion を回転しながら，バーチャル環境の座標情報も同時に更新され，バーチャル環境の手が現実の手と同じ位置と姿勢になる．

6. 評価実験

6. 1. 実験環境

本実験のシステムの PC 側には Unity を利用する．演算プログラムは C#で作り，Unity 環境で実行する．ジンバルの制御パーツは STM32C8T6 の開発ボードを用いて開発され，ジンバルのサーボモータは広く使用されている SG90 を使う．PC とジンバルの通信はシリアル通信を利用する．実験環境を表 1 に示す．

表 1　実験環境

OS	Windows10 pro
Unity	Unity 2019.1.7f1
サーボモータ	SG90
サーボモータドライバ	PCA9685

©2019 Information Processing Society of Japan

6. 2. 実験方法

6. 2. 1. 実験 1

追従成功率を検証するため，図 6 に示すように一定的な速度で手を Leap Motion の真正面から横方向と縦方向に沿って直線に移動する．それぞれの移動距離と速度で数回繰り返し，成功した回数を記録し，成功率を計算する．提案システムと従来の固定式 Leap Motion の追従成功率を比較する．

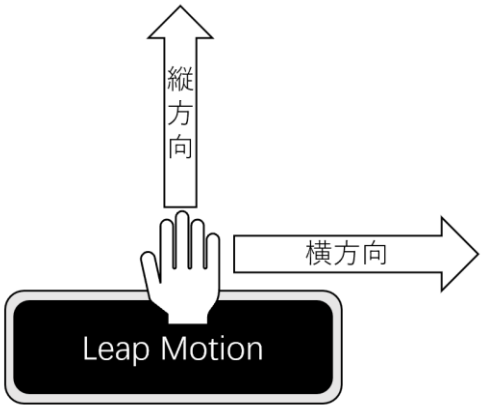


図 6　実験 1 の様子

6. 2. 2. 実験 2

拡張した認識範囲は椎体ではなく，Leap Motion を中心とし，半球以上の範囲である．角速度に関する性能を計測するために，図 7 に示すように手を Leap Motion の初期状態の左や右 135 度から，Leap Motion を中心とし，水平方向に沿って同じ角速度で 270 度の円運動をする．回転速度のスカラー値の影響を確認するため，様々な回転速度を制御する α 値を設定し，各角速度で円運動の手の追従成功率を計測する．固定される Leap Motion の認識範囲は 110 度未満であるため，本実験の計測対象としない．

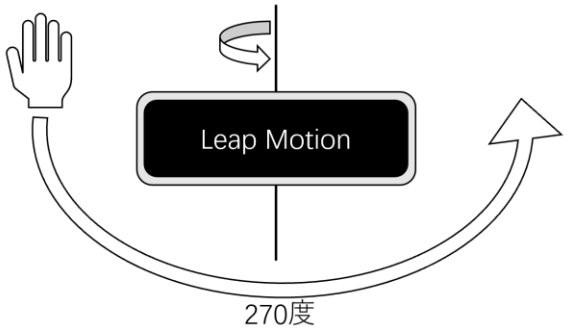


図 7　実験 2 の様子

7. 結果

7. 1. 実験 1

まず α を 2 に設定し，10cm/s の速度で 10cm から 100cm まで 10m の間隔で 10 個の移動距離を検証する．手を Leap Motion の真正面 30cm 離れた場所から横方向や縦方向へ各実験距離 10 回移動して，停止まで手を追従し，正しく認識できる回数を記録する．提案のジンバル付き Leap Motion と従来の固定される Leap Motion を比較した．

実験 1 の結果を図 8 と図 9 に示す．従来の固定式 Leap Motion の場合は，横方向の最大認識距離が 30cm であった．一方で，提案手法のジンバル付き Leap Motion は 80cm まで安定に追従できた．

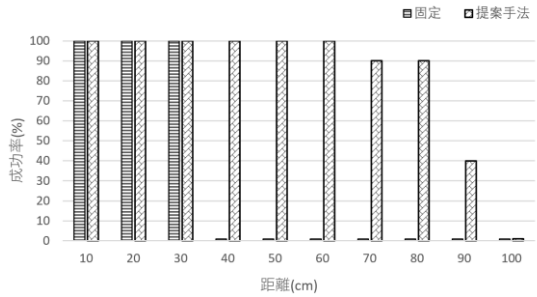


図 8　0.1m/s の時の横方向の認識成功率

縦方向の場合に，従来の固定式 Leap Motion の最大認識距離は 40cm であった．一方で，提案手法は 50cm～60cm まで安定に追従できた．

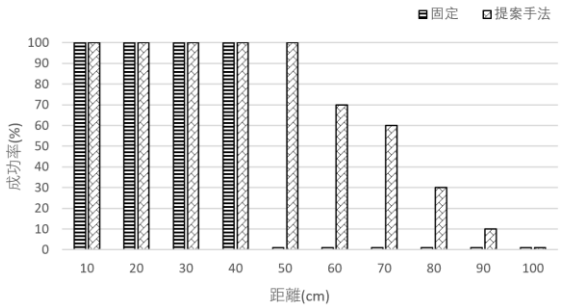


図 9　0.1m/s の時の縦方向の認識成功率

移動速度が 1.0m/s，α が 2 の場合の実験結果を図 10 と図 11 に示す．図に示すように，縦・横方向とも，提案手法の認識成功率は従来手法より高いことが確認した．

©2019 Information Processing Society of Japan

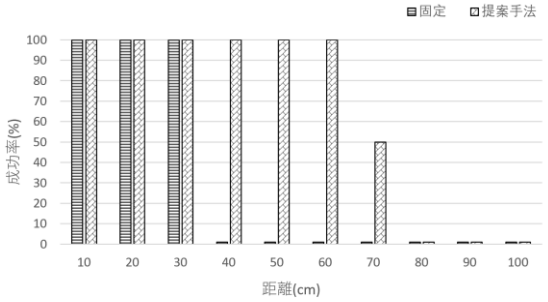


図 10　1.0m/s の時の横方向の認識成功率

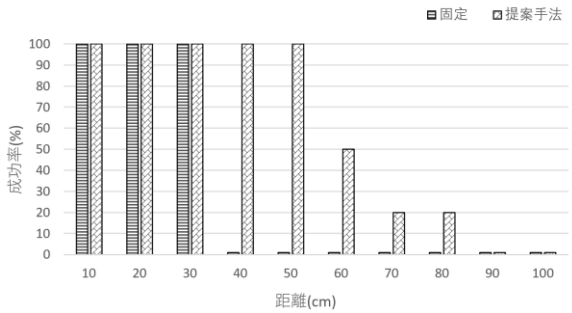


図 11　1.0m/s の時の縦方向の認識成功率

7. 2. 実験２

実験 1 の手が直線運動の場合に，遠い場所では角速度が小さくなるため，追従が容易である．実験 2 では手の移動の角速度の影響を検証する．提案手法のジンバル付き Leap Motion から 30cm 離れ，左 135 度から右 135 度まで往復円運動する．α 値を 2，4，8，12，16，32 に設定し，30degree/s，60 degree/s，90 degree/s，120 degree/s，150 degree/s，270 degree/s の角速度で円運動する手を追従する実験を行う．認識成功率を図 12，図 13，図 14，図 15，図 16，図 17 に示す．

図に示すように，α 値を 12 以上に設定する場合，角速度 270 degree/s の手の運動を追従できる．

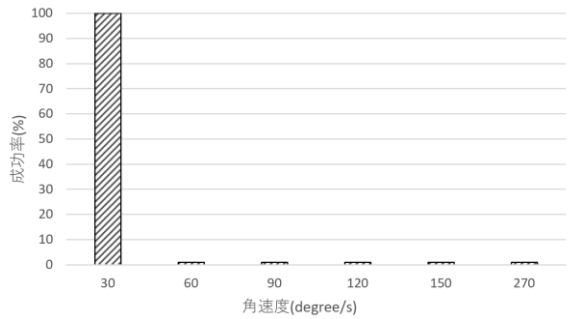


図 12 α=2 の時の認識成功率

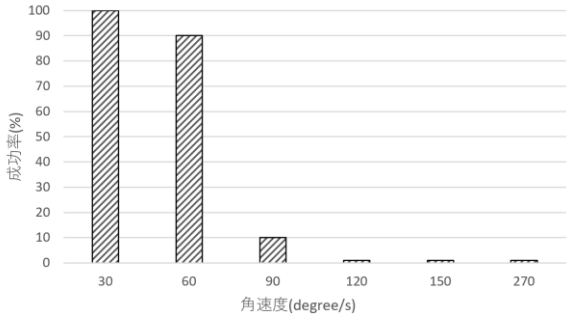


図 13　α=4 の時の認識成功率

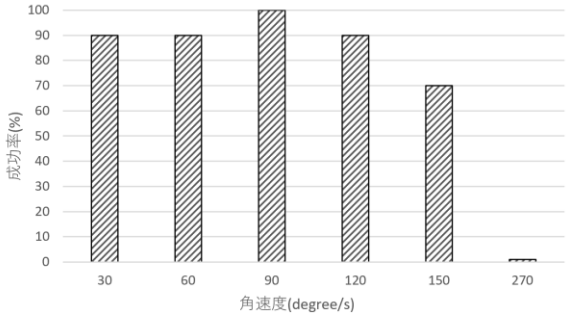


図 14　α=8 の時の認識成功率

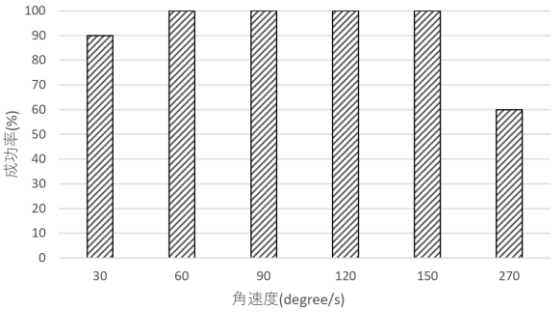


図 15　α=12 の時の認識成功率

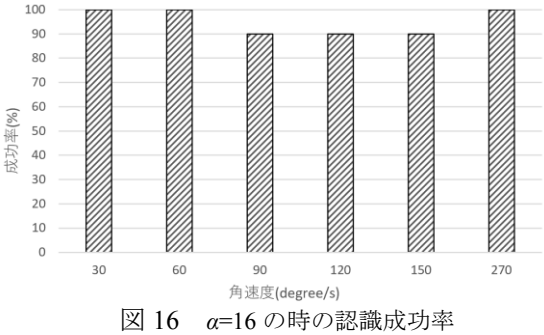


図 16　α=16 の時の認識成功率

©2019 Information Processing Society of Japan

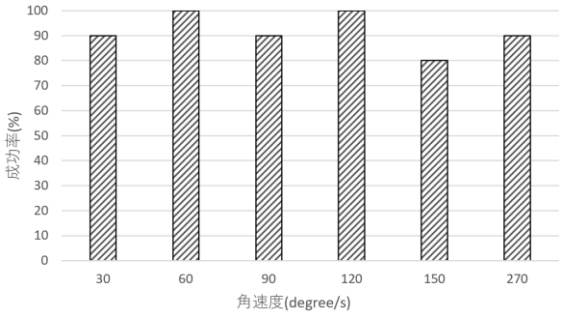


図 17　α=32 の時の認識成功率

8. 考察

本研究に用いたサーボモータの最大回転角度は 180 度のため，Leap Motion の検出範囲が従来の約 110 度から約 270 度まで拡張できた(図 18).

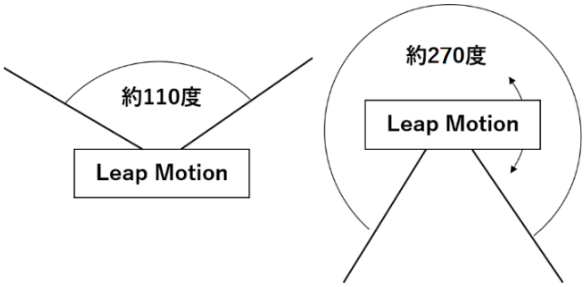


図 18　検出範囲

また，回転角速度と反応しない視野範囲をαとTH，Ω_{max}を制御することにより，回転の慣性とシステムの遅延の影響を減らし，安定な Leap Motion の姿勢制御を実現した.

さらに，システム遅延による識別誤差は，実際の回転角度を検出できれば，バーチャル環境内に Leap Motion の姿勢を修正することができる．自動的に遅延と慣性の状況を予測し，手のグローバル座標の計算精度を向上できると考えられる.

9. まとめ

本研究では，市販のインターフェースディバイスを利用し，ジェスチャを大範囲かつ高精度に識別できるバーチャル体験システムの構築方法を提案した．270 度まで拡張された検出範囲を利用し，「粽投げ」の投げる動作を含むより自然な動作を高精度に検出することができた．今後，祇園祭粽投げ体験システムへの実装を予定する．また，指先まで高精度かつ大範囲に検出する必要のあるジェスチャ認識システムへの応用も期待されている.

参考文献

[1]八村広三郎，田中弘美，田中　覚，“デジタル・アーカイブの新展開”，八村広三郎，田中弘美（編），株式会社ナカニシヤ出版，京都府，2012.
[2] L. Li, W. Choi, K. Hachimura, K. Yano, T. Nishiura, and H. T. Tanaka, “Virtual yamahoko parade experience system with vibration simulation”, ITETransactionsonMediaTechnologyandApplications, vol.2,no.3,pp.248-255,2014.
[3] 細野敬太, et al. "Leap motion を用いたジェスチャ操作による文字入力方法の提案." 人工知能学会全国大会論文集 第 28 回全国大会 (2014). 一般社団法人 人工知能学会, 2014.
[4]Zhang，Zhengyou．"Microsoft kinect sensor and its effect." IEEE multimedia 19.2 (2012): 4-10. 参照 21,Aug,2019
[5] VR AR の未来へ手を伸ばそう，入手先 <https://www.leapmotion.com/>(参照 2019-8-21)
[6] Murray, Don, and Anup Basu. "Motion tracking with an active camera." IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 16.5 (1994): 449-459.
[7]KBS 京都，“今日の祇園祭”，<https://www.kbs-kyoto.co.jp/gion/today/>参照 Dec19，2018
[8] 朝日新聞 DIGITAL，“古写真で振り返る京都・祇園祭”，入手先 <http://www.asahi.com/special/timeline/old-gionmatsuri/>(参照 2018-1-9)
[9] 祇園囃子アーカイブス，“京都祇園祭り南観音山の囃子”，入手先 <http://w3.kcua.ac.jp/jtm/archives/resarc/gionbayashi/minamikannonyama/9.html>(参照 2018-1-9)
[10] STM32 Arm-Cortex 32bit マイクロコントローラ，入手先<https://www.st.com/ja/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html> (参照 2019-8-21)

 ©2019 Information Processing Society of Japan