

深度センサによるマルチアングル歩行認証のための 身体動揺時系列の特性分析

真部雄介^{2,a)} 松本圭祐¹ 菅原研次^{2,b)}

概要：本論文では、歩行に起因する頭部や四肢の動揺をソフトバイオメトリクスの1つとして捉え、深度センサによって計測したそれらの動揺時系列を用いた個人認証の可能性について考察する。具体的には、複数のアングル（方位及び高度）から計測した場合の特性を検討した結果について報告する。頭部動揺時系列では個人認証精度、四肢動揺時系列では接近歩行の方位推定の可能性について議論する。

1. まえがき

生体認証技術は、元来、強固なセキュリティを実現するために行われてきたが、近年では、インタラクション (Human-Computer Interaction : HCI, Human-Agent Interaction : HAI) や商業アプリに利用できるソフトバイオメトリクスに関する研究が増加していることが報告されている [1]。ソフトバイオメトリクスとは、「個人性のある程度含んではいるが、十分に個人を区別できるような弁別性や恒久性を備えていないもの」[2]と定義されている。具体的には、肌の色、髪の色、身長、体重などが含まれる。また、この定義に従えば、行動的特徴に分類される歩行や署名、口唇運動などもソフトバイオメトリクスの一種として分類することが可能である。

一方、Kinect, Xtion, DepthSenseなどに代表される深度センサの登場によって、人物の骨格推定や身体各部位の追従が比較的容易に行えるようになったことから、身長や体格、身体動揺といったソフトバイオメトリクスの計測が容易になっている。我々は、今後このようなデバイスで計測可能なソフトバイオメトリクスを用いた個人認証技術の開発やマルチモーダルソフトバイオメトリクス技術の開発が、前述した分野におけるアプリケーション成功の鍵を担っていると考えており、歩行や骨格、ジェスチャーなど

の特徴を利用した個人認証手法を提案し、その精度を検証している [3], [4], [5], [6], [7]。

特に、文献 [6] では正面観測による歩行認証に着目し、深度センサ情報に基づく頭部の速度変化を個人認証に利用している。実験の結果、正面観測における頭部の速度変化では、垂直方向及び進行方向に関しては単調減少な傾向となり個人認証が困難であったことや、左右方向の速度変化を用いることによって被験者7名の平均 EER で 80%程度の個人認証が可能であることが示されている。このことは、計測アングル（方位や高度）の違いによって歩行の特性が顕著に現れる場合と現れない場合があることを示している。また、現実的な利用シーンを想定した場合、様々な計測デバイスの設置方法が考えられることから、複数の計測アングルにおける特性を調べることは重要であると考えられる。実際、RGB カメラから得られた画像（多くはシルエット画像）を使用するアピアランスベースと呼ばれる歩行認証研究においては、様々なカメラ配置が検討されている [8]。

そこで本研究では、深度センサを用いてマルチアングル歩行認証を実現するために行っている実験とその結果について報告する。具体的には、歩行時の頭部動揺時系列を用いた個人認証精度について、8方位×2高度の16アングルの計測条件でデータを収集し、個人認証精度の特性を検討した。10人の被験者から収集したのべ1280本のデータを用いた実験の結果、平均的には垂直方向の成分による個人認証精度が高いことなどが明らかとなった。また、カメラへの接近歩行時の四肢の動揺時系列を用いた分析から、歩行方位の推定の可能性についても報告する。

¹ 千葉工業大学大学院 情報科学研究科
Graduate School of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology, Tsudanuma 2-17-1, Narashino-shi, Chiba, 275-0016, Japan

² 千葉工業大学 情報ネットワーク学科
Department of Information and Network Science, Chiba Institute of Technology, Tsudanuma 2-17-1, Narashino-shi, Chiba, 275-0016, Japan

a) ymanabe@net.it-chiba.ac.jp

b) suga@net.it-chiba.ac.jp

2. 計測データの定義とデータ収集方法

本節では、実験に用いる特徴量である頭部動揺時系列、四肢動揺時系列、計測デバイス、計測環境について述べる。

2.1 頭部動揺時系列

頭部動揺時系列とは、歩行過程を深度センサで計測することによって得られる頭部の3次元位置座標 (X, Y, Z) の変化である。歩行過程の計測において、頭部は他の身体骨格の関節・端点との交錯やオクルージョンが最も発生しにくい点であると考えられ、応用上重要な部位である。

計測した頭部動揺時系列に含まれる周期の短い微細な挙動は、歩行過程を特徴づける主要な成分とは考えにくい。ため、窓フーリエ変換に基づくローパスフィルタを施す。窓関数としてブラックマン窓を使用し、カットオフ周波数を3Hzとして高周波成分の除去を行う。また、高周波成分除去後の時系列をスケールしたものを個人認証実験に利用する。

2.2 四肢動揺時系列

四肢動揺時系列とは、歩行過程を深度センサで計測することによって得られる左右の手および足の3次元位置座標 (X, Y, Z) の変化である。ただし、頭部動揺時系列とは異なり、腰の位置を基準とする相対座標時系列を用いる [9]。文献 [9] より、相対座標時系列は、カメラとの距離によって単調に変化してしまう絶対座標時系列よりも周期的な時系列となることが知られている。また、腰の位置との距離の変動が激しい四肢でより周期的な性質が出やすいとされている。

実際の相対座標時系列への変換は、前項で示した正規化およびノイズ除去を行った時系列に対して行う。

2.3 デバイスと計測環境

本研究で使用する計測デバイスは、Microsoft社製 Xbox360 Kinect である。Kinect は近赤外光照射用のプロジェクタ及び受光カメラを備えたデバイスで、プロジェクタで対象物に照射した赤外光パターンを受光カメラで受け深度情報を計算するものである。本実験における深度情報の計測プログラムは、ソフトウェア開発キット Microsoft Kinect SDK を利用し、C#言語により作成した。サンプリング周波数は約 30Hz である。

データ計測は、半径 125cm の円の内部を歩行する過程を計測した。すなわち、歩行計測距離は直線で 250cm である。また、円の中心とセンサーとの距離を 225cm として設定した。

計測条件として方位と高度の2つを考慮し、8方位×2高度=16パターンを定義した。図1に、方位条件を示す。

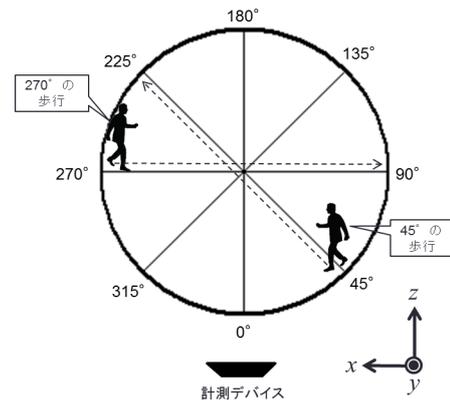


図1 計測条件: 方位 ($0^{\circ} \sim 315^{\circ}$)

Fig. 1 Measurement Conditions: Azimuths ($0^{\circ} \sim 315^{\circ}$)

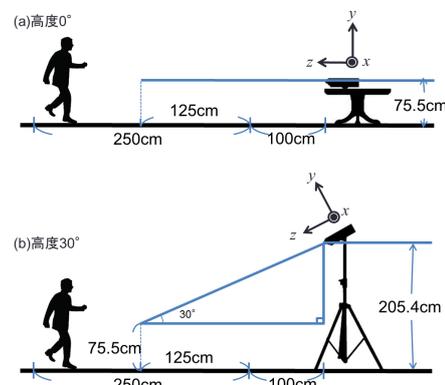


図2 計測条件: 高度 ($0^{\circ}, 30^{\circ}$)

Fig. 2 Measurement Conditions: Altitudes ($0^{\circ}, 30^{\circ}$)

45°刻みに8方位を定義した。また、計測デバイスを 0° の位置に固定して設置し、被験者が歩行の方位を変えることで複数の方位からの歩行データを収集した。一方、高度条件は、図2のように高度 0° で高さ 75.5cm、高度 30° で高さ 205.4cm の位置になるように設置した。

2.4 データ収集

以下の作業工程を各アングル (方位および高度) で行い、実験データを収集した。

- (1) 計測デバイスの正面に被験者が立ち、骨格 (頭部) を検出し、頭部の追従が可能な状態とする。
- (2) 250cm の直線上を歩行する。
- (3) 歩行回数は 10 回とする。
- (4) 制約として、被験者に右足から歩き出すように教示する。
- (5) 歩行過程は Kinect Studio^{*1} を用いて記録する。
- (6) 全データの記録終了後に記録したファイルの再生を行い、マニュアルで歩行区間を抽出する。

^{*1} Kinect Studio とは、Kinect によって計測可能な RGB カメラ情報、赤外線深度情報、音声などの全ての情報を記録し、後に再生できるソフトウェアである。

(7) 歩行区間から自作プログラムによって頭部動揺時系列を計測する。

本研究では、21歳から23歳の男女10名に協力を依頼し、合計1600サンプルのデータを収集した。その中から骨格（頭部）の検出および追従に著しく失敗しているデータを除き、1アングルにつき1人のデータ数を8サンプルとした。よって、合計1280サンプルの頭部動揺時系列を用いて認証精度を検証した。

3. 頭部動揺時系列を用いた個人認証精度のマルチアングル特性

高度および方位別に EER の傾向を分析し、計測アングルに対する認証精度の特性を考察する。また、計測デバイスに対する歩行の向きの違いによる認証精度の傾向も分析する。ここでは、方位 135°, 180°, 225° の歩行を接近歩行、方位 0°, 45°, 315° の歩行を離反歩行と呼ぶ。

3.1 個人認証方法と評価尺度

個人認証は識別と照合に大別される [10] が、本研究では照合を念頭に置いた実験を行う。本研究では、単純な閾値処理により個人認証を行う。計測データを登録データ（3サンプル）、評価データ（5サンプル）に分割し、登録用時系列3サンプルと検証用時系列との間の非類似度を DP マッチングにより算出する。そして、各登録データとの算出値の平均を最終的な非類似度とする。最終的な非類似度が閾値以下の場合本人、閾値以上の場合他人と判定する。

本研究では、等誤り率（Equal Error Rate, EER）を用いて認証精度の傾向を分析する。EER は、閾値を変動させた際に他人受入率（False Acceptance Rate, FAR）と本人拒否率（False Rejection Rate, FRR）が等しくなるときのエラーである。受理・棄却判定の基準となる閾値を変化させ、本人検証用データ5サンプルに対する FRR、本人以外の被験者9人の検証用データ45サンプルに対する FAR を算出し、EER を求める。また、X, Y, Z 座標の頭部動揺時系列をそれぞれ独立に評価し、座標別の EER について検証する。

3.2 高度 0° の個人認証結果

図 3 に、高度 0° における方位別の平均 EER を示す。方位 225° の Y 軸を用いたときの認証結果 21.4% が最も平均 EER が低くなった。また、Y 軸は 8 方位中 6 方位で X 軸、Z 軸よりも良い結果となっている。X 軸、Y 軸、Z 軸の全方位に対する平均 EER は、それぞれ 35.6%, 30.0%, 33.5% となった。このことから、歩行時の頭部動揺時系列においては、平均的に垂直成分である Y 軸により顕著に個人性が現れる可能性があることがわかる。

図 4 に、高度 0° における接近-離反歩行別の平均 EER を示す。どの座標軸の値においても離反歩行よりも接近歩

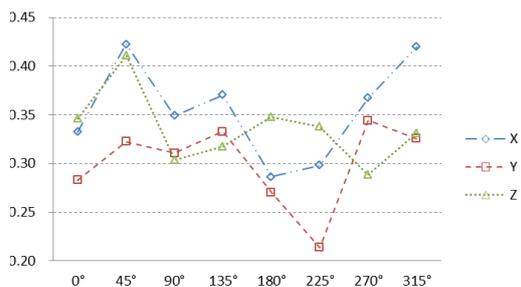


図 3 10 人の平均 EER (高度 0°)

Fig. 3 Average of EER for 10 Subjects (Altitude 0°)

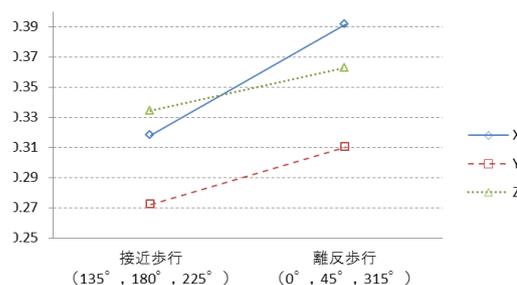


図 4 接近-離反歩行別の平均 EER (高度 0°)

Fig. 4 Average of EER in Approaching and Departing Gaits (Altitude 0°)

行の方が認証精度が高い傾向であることがわかる。このような傾向が出た理由としては、頭部座標の検出・追従精度の影響が考えられる。Kinect Studio によるデータを分析した結果、計測デバイスの近傍において頭部の検出・追従誤差が大きいケースがみられた。離反歩行においては計測デバイスの近傍から歩行が開始されるため、歩行過程での頭部の追従精度が低くなり個人照合精度に影響したものと考えられる。近接歩行の場合、被験者の全身が捉えられた状態で歩行が開始されるため、頭部の検出・追従誤差が大きいということにはなかった。

3.3 高度 30° の個人認証結果

図 5 に、高度 30° における方位別の平均 EER を示す。方位 270° の Y 軸を用いたときの認証結果 24.2% が最も平均 EER が低くなった。しかし、X 軸、Y 軸、Z 軸の全方位に対する平均 EER は、それぞれ 34.3%, 34.4%, 36.2% となり、高度 0° のときと比べると Y 軸優位の傾向は見られなかった。この理由は、高度 30° では図 2(b) のように計測デバイスの座標系が傾くため、Y 軸が純粋に垂直方向の運動を捉えたものとならない（奥行方向である Z 軸成分が含まれる）ためであると考えられる。それを裏付けるように、奥行方向の成分が一定となる方位 90° の歩行や方位 270° の歩行において、Y 軸の平均 EER が低くなっている。このことは、歩行時の頭部動揺時系列における垂直成分の優位性を示すものであり、計測デバイスの座標系が傾いて

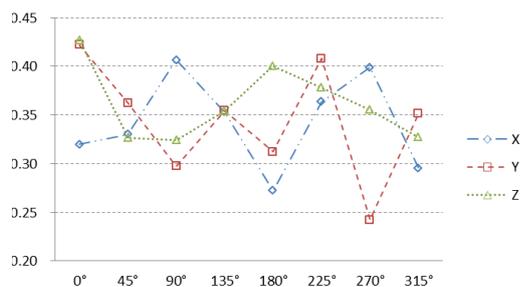


図 5 10人の平均 EER (高度 30°)

Fig. 5 Average of EER for 10 Subjects (Altitude 30°)

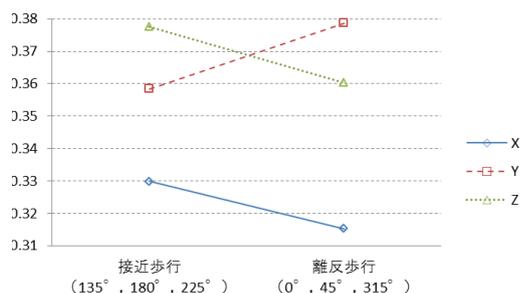


図 6 接近-離反歩行別の平均 EER (高度 30°)

Fig. 6 Average of EER in Approaching and Departing Gaits (Altitude 30°)

いても純粋に垂直成分の運動のみを比較できれば、良い精度で個人認証が可能となることを示唆する。

図 6 に、高度 30° における接近-離反歩行別の平均 EER を示す。高度 0° のときのような顕著な傾向は見られなかった。この理由は、高度 30° における計測では、上方から頭部を検出・追従することになるため、計測デバイスの近傍においても頭部の検出・追従誤差が大きくなることなく安定していたためであると考えられる。

4. 四肢動揺時系列を用いた歩行方位の推定可能性

実験により、歩行を捉える方位・高度により個人性が顕著に現れる軸が異なることがわかったことから、時系列の特徴からどの方位の歩行であるのかを事前に推定できれば、方位別の個人認証モデルや基準を設定できるため、個人認証精度を向上させることができると考えられる。そこで、個人認証精度が高かったカメラへの接近歩行データに対して四肢動揺時系列を抽出し、方位別の時系列の特性を分析した。

4.1 四肢動揺時系列の方位別特性

得られた結果のうち、右手の相対座標時系列の代表的なものを用いてその傾向を説明する。図 7 に方位 90° から 270° までの右手の相対座標時系列の変化を示す。

これらの図から、歩行方位の変化に伴って各相対座標時

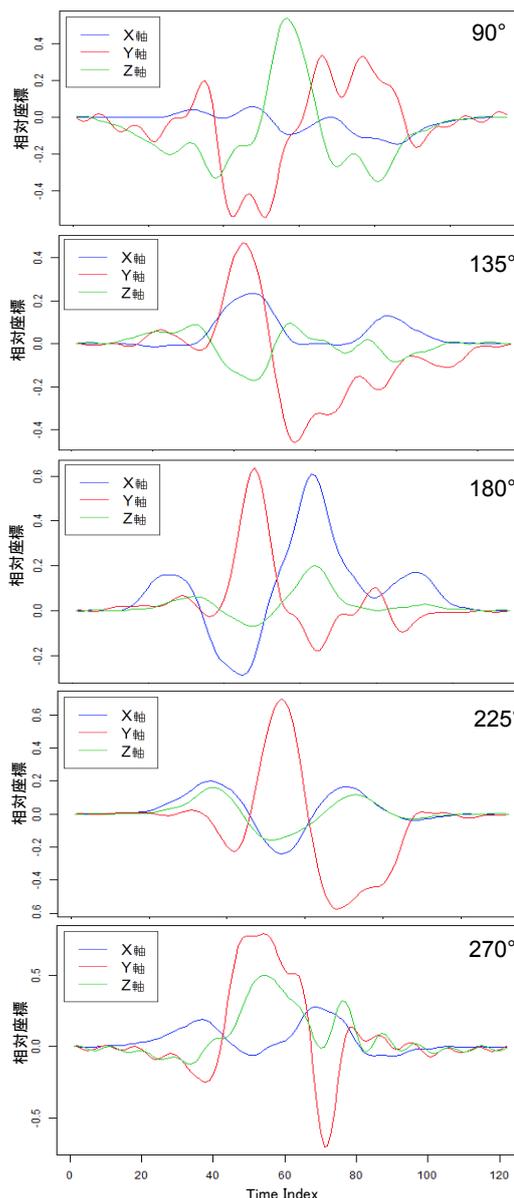


図 7 右手の相対座標時系列の変化

Fig. 7 Change of Relative Coordinate Time Series in Right Hand

系列の傾向が変化していることがわかる。例えば、方位 135° の歩行では、X 座標時系列の振幅と Y 座標時系列の振幅の傾向は似ており、Z 座標時系列の振幅がそれとは反対の傾向を示していることがわかる。ところが、方位 180° の歩行になると、X 座標時系列の振幅と Y 座標時系列の振幅はちょうど正反対の変化傾向を示しており、逆に Z 座標時系列の変化傾向が X 座標時系列と近くなっていることがわかる。そして、方位 225° の歩行においては、X 座標時系列の振幅と Z 座標時系列の振幅はほぼ重なっており、Y 座標時系列の振幅がちょうどそれらと正反対の変化傾向を示していることがわかる。

このような傾向は、特定の個人および右手に対してのみ見られるわけではなく、若干のノイズの影響はあるものの、

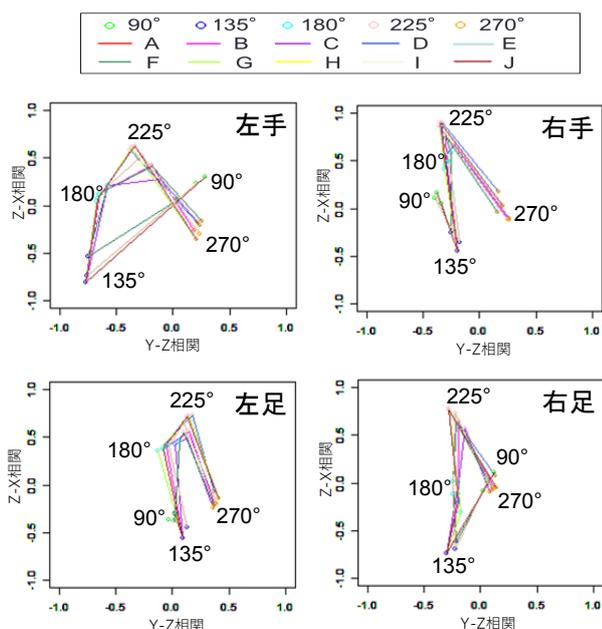


図 8 歩行方位の変化に伴う相対座標時系列間の相関係数の変化 (被験者 10 人)

Fig. 8 Change of Correlation Coefficient for Various Gait Directions (10 Subjects)

多くの被験者および右手以外の四肢のデータにも共通して見られることがわかった。これは、相対座標時系列間の関係が歩行方向の変化に伴って、ある一定の変化傾向を示す可能性を示唆している。

4.2 四肢動揺時系列間の相関係数の方位別特性

前項の分析で得られた時系列間の性質について、相対座標時系列間の関係に一定の変化傾向があるかどうかを検証した。検証方法は、 X , Y , Z 座標時系列間それぞれの相関係数を計算し、歩行方位の変化に伴う相関係数の変化傾向をプロットした。

図 8 に、10 人の被験者それぞれについて、相対座標時系列間の相関係数 (Y - Z 相関と Z - X 相関) の平均値をプロットしたものを示す。方位別の傾向を見るために、プロットした点は被験者ごとに順に線で結んでいる。

この図から、歩行方位の変化に対する相関係数の変化傾向が被験者によらず一定であることが確認できた。この軌跡を事前に学習しておくことによって歩行方位の推定や方位別の個人識別を実現する可能性が示唆された。

5. まとめ

本研究では、深度センサを用いてマルチアングル歩行認証を実現するために、2つの実験を行い時系列データの特性を分析した。

頭部動揺時系列を用いた個人認証については、8 方位 \times 2 高度の 16 アングルの計測条件でデータを収集し、個人認証精度の特性を検討した。実験の結果、垂直方向成分の運

動に個人性が顕著に表れるという知見が得られた。また、計測デバイスのアングルが変化しても純粋に垂直成分の運動のみを比較することによって、良い認証精度を確保できる可能性があることが明らかとなった。さらに、頭部の検出・追従が安定して行えないような設置条件の時は、計測デバイスに接近する歩行の方が頭部の検出・追従が不安定になりやすく、より良い照合精度を確保できる可能性があることが明らかとなった。

四肢動揺時系列を用いた歩行方位の推定可能性については、カメラへの接近歩行を対象とした分析を行った。実験の結果、歩行方位の変化に対する四肢動揺時系列の各座標時系列間の相関係数の変化傾向が被験者によらず一定であることが確認できた。

参考文献

- [1] 鷺見和彦, “パターン認識問題としての生体個人認証技術,” 電子情報通信学会第 2 種研究会 (第 1 回バイオメトリクス研究会 (BioX)) 技術研究報告, pp. 5–6, 2012.
- [2] Anil K. Jain, Sarat C. Dass and Karthik Nandakumar, “Soft biometric traits for personal recognition systems,” *Proc. of International Conference on Biometric Authentication*, LNCS 3072, pp. 731–738, 2004.
- [3] 真部雄介, 松尾翔太, 菅原研次, “空中での手の動きによる個人認証手法,” 人工知能学会第 26 回大会, 2F1-R-10-2, 4 pages, 2012.
- [4] Y. Manabe, R. Saito and K. Sugawara, “Biometric Gait Verification by Horizontal Swings in Frontal Manner towards Human-Aware Environment,” *Proc. of International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing*, pp. 219–225, 2012.
- [5] 真部雄介, 菅原研次, “RGB カメラと深度センサーで計測した人間の動作時系列に基づくバイオメトリクス照合,” 電子情報通信学会第 2 種研究会 (第 1 回バイオメトリクス研究会 (BioX)) 技術研究報告, pp. 51–58, 2012.
- [6] 真部雄介, 齋藤隆輝, 嶋田弦, 菅原研次, “歩行・顔・身体ソフトバイオメトリック特徴を用いた正面観測個人認証,” *知能と情報*, Vol. 24, No. 5, pp. 988–1001, 2012.
- [7] 真部雄介, 柳田貴大, 菅原研次, “同時計測された顔と骨格によるマルチモーダルソフトバイオメトリック認証,” 人工知能基本問題研究会 (第 89 回), SIG-FPAI-B204, pp. 31–36, 2013.
- [8] 朱 曉東, 高橋 友和, 井手 一郎, 村瀬 洋, 目加田 慶人, “歩行の向きに依存しない多視点人物歩容認識におけるカメラ配置の検討,” 動的画像処理実用化ワークショップ (DIA2008) 講演論文集, pp. 179–184, 2008.
- [9] Z. Wei and G. Chakraborty: “Construction of intelligent intrusion detection system based on KINECT,” *International Joint Conference on Awareness Science and Technology and Ubi-Media- Computing (iCAST-UMEDIA)*, pp. 81–87, 2013.
- [10] C. Vielhauer, “*Biometric User Authentication for IT Security — From Fundamentals to Handwriting*,” Springer, 2010.