

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23680017

研究課題名(和文)歩容ゆらぎ解析に基づく歩容認証の高精度化

研究課題名(英文)High-accuracy gait recognition by fluctuation analysis

研究代表者

榎原 靖(MAKIHARA, Yasushi)

大阪大学・産業科学研究所・准教授

研究者番号：90403005

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：歩容ゆらぎによる歩容認証性能の低下を改善するために、まずP1)歩容ゆらぎに頑健な歩容認証に関する研究を行った。そのための基礎技術として、単一周期画像列からの位相推定手法を開発し、シミュレーションデータ及び実データを用いた評価を行った。また、条件変化の元での多様体復元手法を提案し、速度遷移条件下での歩容認証の精度向上を確認した。

また、P2)歩容ゆらぎの積極的利用による歩容認証の高精度化に関する研究に取り組み、位相ゆらぎ特徴量やゆらぎ画像を特徴として、スコアレベル統合による歩容認証の精度向上を確認した。

研究成果の概要(英文)：Since gait fluctuation often degrades the accuracy of gait recognition, we tackled with P1) gait recognition robust against the gait fluctuation. We proposed a phase estimation method from a single quasi-periodic signal as a basic techniques for this purpose, and confirmed its effectiveness with simulation and real data. Moreover, we proposed a cylindrical manifold to represent speed-transition gait and confirmed that the cylindrical manifold reconstruction successfully improve the gait recognition accuracy.

In addition, we also tackled with P2) improved gait recognition in corporation with gait fluctuation features. More specifically, we introduced phase fluctuation features and gait fluctuation image and combined them with a conventional gait feature in a score-level fusion framework and confirmed the accuracy improvement.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：歩容認証 ゆらぎ 位相推定 バイオメトリクス

1. 研究開始当初の背景

各国の防犯カメラ設置台数は年々増加傾向にあり、その映像は犯罪捜査等において重要な役割を果たしている。特に、防犯カメラに映った顔画像による個人認証は数多くなされてきたものの、対象が覆面をしていたり、遠方で顔が良く見えないような場合には、個人認証ができないという問題点があった。そこで、近年、対象の体型や歩き方の個性に基づく個人認証である歩容認証が注目を集め、国内外で広く研究されており[Sarkar2005][Nixon2006]、イギリスにおいては強盗事件における裁判証拠として採用された事例もある[BBC2008]。また、研究代表者らのグループにおいても、これまで観測方向変化・歩行速度変化・服装変化等へ対応した歩容認証に関する数多くの研究を進めており、警察からの依頼により歩容認証による鑑定を5件行った実績もある。

但し、歩容認証に関する従来研究の多くは、周期的に定常な歩行を対象としており、歩き始め・終わりの加減速や歩容動作のふらつきによる位相ゆらぎ、歩行中の観測方向や歩行速度といった観測条件の変化に起因する歩容ゆらぎを含む歩行に対する評価は行われていない。

それに対して、研究代表者らは位相ゆらぎ(図1, 2)が認証性能を大きく低下させることや、歩行周期内での観測方向変化が認証性能を大きく低下させることを示した。実際に、研究代表者らがこれまでに実際に見てきた防犯カメラ映像においても、このような歩容ゆらぎは数多く存在し、それにより鑑定を断念したケースも少なくない。よって、歩容ゆらぎの解析、及びその解析結果に基づく歩容認証性能の向上が今後取り組むべき重要な課題と言える。

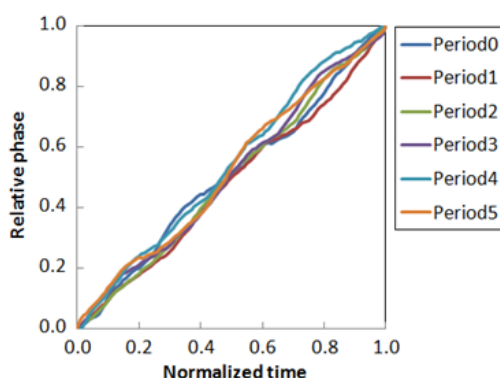


図1. 周期毎の時間伸縮関数のゆらぎ



図2. 周期毎に相対位相で配置した歩容画像列. 各画像間隔の変化が位相ゆらぎを示している。

参考文献

- [Sarkar2005] S. Sarkar, J.P. Phillips, Z. Liu, I.R. Vega, P. Grother, and K.W. Bowyer, "The HumanID Gait Challenge Problem: Data Sets, Performance, and Analysis," *Trans. of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, no. 2, pp. 162-177, 2005.
- [Nixon2006] M.S. Nixon and J.N. Carter, "Automatic Recognition by Gait," *Proc. of the IEEE*, vol. 94, no. 111, pp. 2013-2024, Nov., 2006.
- [BBC2008] How biometrics could change security?, http://news.bbc.co.uk/2/hi/programmes/click_online/7702065.stm

2. 研究の目的

歩容ゆらぎによる歩容認証性能の低下を改善するために、まず **P1) 歩容ゆらぎに頑健な歩容認証**に関する研究を行う。また、研究代表者らによって得られた知見「年齢層による歩容ゆらぎの大きさの違いとその認証性能への影響」に基づいて、歩容ゆらぎの情報が個人に固有なものであると考えて、**P2) 歩容ゆらぎの積極的利用による歩容認証の高精度化**に関する研究に取り組む。

P1) 歩容ゆらぎに頑健な歩容認証

P1-1) 単一周画像列からの位相推定
実応用を考えた場合、認証対象の人物の登録データは1度しか得られない場合が多い。そこで、位相ゆらぎを含む単一の周期画像列から位相を推定する手法を開発する。

P1-2) 観測条件が変化する下での位相推定
P1-1)の手法を拡張して、各時刻における観測方向や歩行速度等の観測条件が変化する下でも安定に位相を推定する手法を開発する。

P1-3) 位相と観測条件による歩容多様体の復元

歩容は周期運動であることから、固有空間上においては位相をパラメタとする多様体を形成する。そこで、位相に加えて、推定された観測条件を加味することで、2パラメタによる多様体を復元することで、任意の位相・観測条件変化を伴う歩容画像列との照合を可能にする。

P2) 歩容ゆらぎの積極的利用による歩容認証の高精度化

P2-1) 位相ゆらぎ特徴量の抽出
時間伸縮関数における歪み(位相ゆらぎの大きさ)や、複数周期に渡る位相ゆらぎの遷移パターンを新たな歩容特徴として抽出し、そのパターンに個人性が存在するかどうかを確認する。

P2-2) 複数歩容特徴による歩容認証
従来の周期単位の歩容特徴と本研究の位

相ゆらぎに基づく特徴を、マルチモーダル生体認証の考え方と同様にして統合することで、歩容認証の高精度化を目指す。

3. 研究の方法

従来の歩容認証が対象としてきた周期的に定常な歩行に加えて、歩き始め・終わりの加減速や歩容動作のふらつきによる位相ゆらぎ等の歩容ゆらぎを含む歩行も解析対象とすることで、多様な一般歩行映像に対する歩容認証を可能にし、歩容認証手法の適用範囲の拡大を目指す。まず、歩容ゆらぎによる歩容認証性能の低下を改善するために、P1) 歩容ゆらぎに頑健な歩容認証に関する研究を行う。また、歩容ゆらぎの情報が個人に固有なものであると考えて、位相ゆらぎの大きさによる識別や複数周期間の歩容ゆらぎパターンモデル化による P2) 歩容ゆらぎの積極的利用による歩容認証の高精度化に関する研究に取り組む。

P1) 歩容ゆらぎに頑健な歩容認証

P1-1) 単一周期画像列からの位相推定

P1-1-1) 位相推定手法の定式化と実装

歩容ゆらぎ解析の第一段階として、位相ゆらぎ解析の基礎となる位相推定手法を開発する。研究代表者らが提案した単一周期画像列に対する自己動的時間伸縮(図3, 研究業績[2])と時間伸縮関数に対する線形進行の事前知識を統合して、位相と元信号の間の曖昧性を解消した位相推定手法の定式化と実装を行う。

P1-1-2) シミュレーションデータによる定量的評価

真値の位相が既知の歩容画像列に対して、位相ゆらぎを付加したシミュレーションデータを生成し、推定位相の誤差を定量的に評価する。

P1-1-3) 実データによる定性的評価

位相ゆらぎの大きな被験者の歩容画像列に対して位相を推定し、同一位相と推定された歩容画像が同じ姿勢になっているかを調べることで、提案手法の有効性を定性的に評価する。

P1-2) 観測条件が変化する下での位相推定

P1-2-1) データ収集

位相と観測条件が同時に変化する歩容画像列を収集する。観測方向変化を伴うデータは、これまでに蓄積している歩行機(現有設備)上での多視点映像から3次元データを再構成することで、仮想的に任意視点映像を作成する方法と、研究業績[21]と同様にして全方位カメラ等の画角の広いカメラによって床面上の自然な歩行を撮影する方法の2種類によって行う。また、歩行速度変化を伴うデータについては、速度制御可能な歩行機上の歩行データを収集する。

P1-2-2) 観測条件変化の滑らかさを考慮した位相推定

観測条件が変化するると自己動的時間伸縮

における歩容画像列の対応誤りが生じる可能性がある。そこで、観測条件が滑らかに変化することを考慮して、観測条件の似通った隣接の周期間の対応に重みを置いた位相推定手法を考案する。

P1-3) 位相と観測条件による歩容多様体の復元

歩容等の周期画像列は、固有空間において位相をパラメタとする多様体を形成する[Murase 1996]。本研究では、歩容ゆらぎに頑健な認証のために、位相と観測条件による2パラメタの歩容多様体(図4)を復元することで、位相と観測条件が任意に変化する歩容画像列を照合する。

P2) 歩容ゆらぎの積極的利用による歩容認証の高精度化

P2-1) 位相ゆらぎ特徴量の抽出

時間伸縮関数における周期毎の歪みを位相ゆらぎの大きさとして抽出する。また、複数周期に渡る位相ゆらぎの遷移パターンをモデル化することで位相ゆらぎの遷移に関する特徴を新たな歩容特徴として抽出し、そのパターンに個人性が存在するかどうかを確認する。

P2-2) 複数歩容特徴による歩容認証

従来の周期単位の歩容特徴と本研究の位相ゆらぎに基づく特徴がそれぞれ抽出されることから、各特徴間の類似度(スコア)を計算し、マルチモーダル認証の分野で用いられている手法と同様にして統合することで、歩容認証の高精度化を目指す。

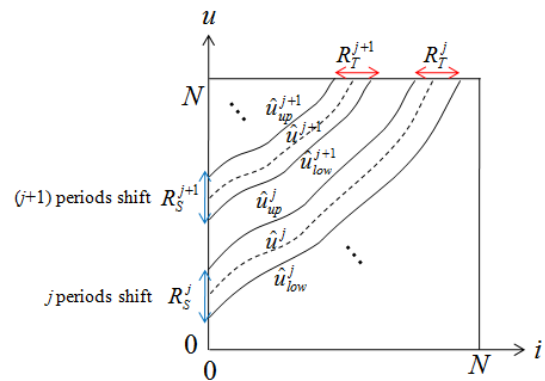


図3. 自己動的時間伸縮の概念図

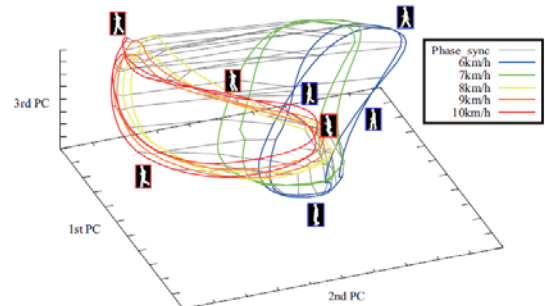


図4. 位相と歩行速度による歩容多様体

4. 研究成果

P1) 歩容ゆらぎに頑健な歩容認証

P1-1) 単一周期画像列からの位相推定

P1-1-1) 位相推定手法の定式化と実装

歩容ゆらぎ解析の第一段階として、位相ゆらぎ解析の基礎となる準周期信号 (図 5) に対する位相推定手法を開発した。研究代表者が提案した単一周期画像列に対する自己動的時間伸縮に加えて、新たに隠れマルコフモデルや時間伸縮関数に対する線形進行からのバイアス補正項 (図 6) を検討し、最終的にバイアス補正項を加えた大域的最適化を採用した。この定式化により、従来手法が抱えていた位相と元信号の間の曖昧性を解消した。

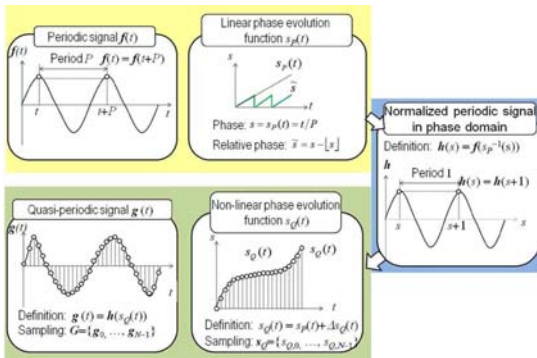


図 5. 準周期信号の生成過程

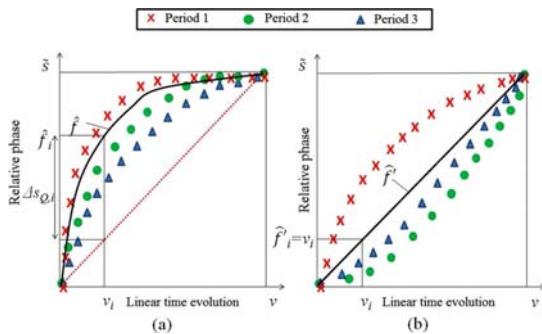


図 6. バイアス補正項

P1-1-2) シミュレーションデータによる定量的評価

真値の位相が既知の正弦関数や調和関数の信号に対して、位相ゆらぎを付加したシミュレーションデータを生成し、推定位相の誤差を定量的に評価した。結果として、従来手法と比較して、位相推定の誤差の標準偏差を10分の1に低減し、また、復元された周期信号のPSNRを10から20dB改善することを確認した (図 7~9)。

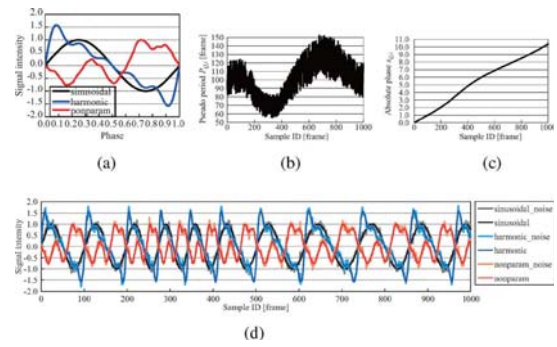


図 7. シミュレーションデータの入力信号

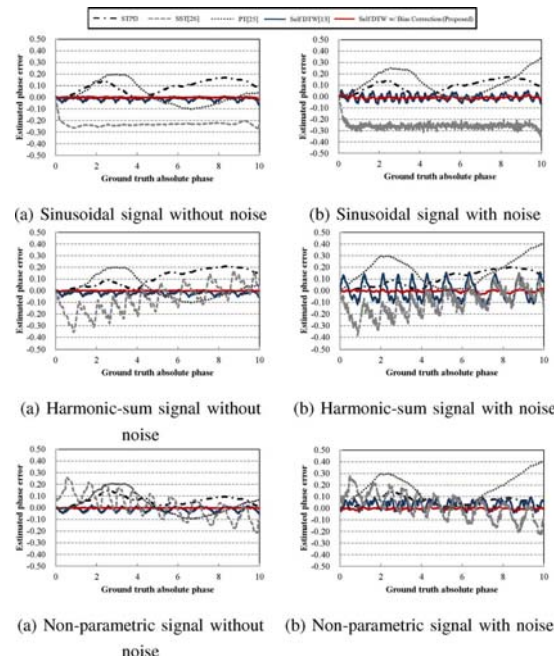


図 8. 各入力信号に対する誤差

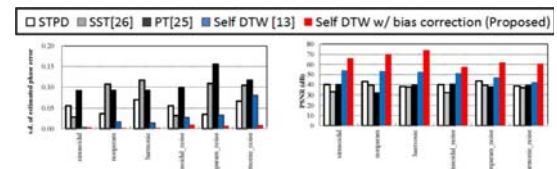


図 9. 各入力信号に対する誤差 (左) と PSNR (右)

P1-1-3) 実データによる定性的評価

OU-ISIR Gait Databaset, Treadmill dataset D から、位相ゆらぎの大きな被験者100名の歩容画像列を抽出して、位相推定手法を適用した。同一位相と推定された歩容画像を並べて比較することで、各々同じ姿勢になっていることを確認し、提案手法が歩容画像列に対しても有効であることを定性的に確認した (図 9)。

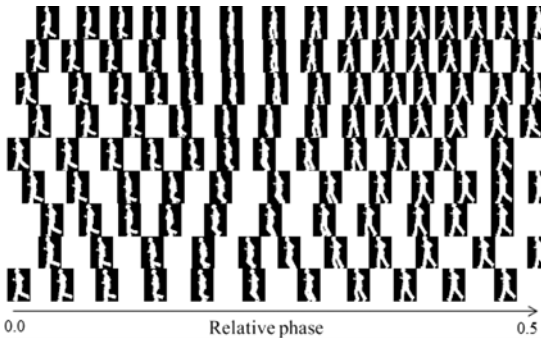


図 9. 速度変化を伴う歩行映像に対する位相合わせの結果

P1-2) 観測条件が変化する下での位相推定

P1-2-1) データ収集

具体的には、位相と観測条件が同時に変化する歩容画像列として、観測方向変化を伴うデータと速度変化を伴うデータを収集した。

観測方向変化を伴うデータは、これまでに蓄積している歩行機(現有設備)上での多視点映像から 100 名程度の 3 次元データを再構成した。これにより、今後、仮想的に任意視点映像を作成することが可能となった。また、比較的画角の広いカメラによって床面上の自然な歩行を撮影することで、観測方向変化を伴うデータを収集した。また、歩行速度変化を伴うデータについては、速度制御可能な歩行機上の歩行データを被験者 27 名分収集した(図 10)。



図 10. 速度変化を伴う歩行映像に対するシルエット系列

P1-2-2) 観測条件変化の滑らかさを考慮した位相推定

観測条件が変化すると自己動的な時間伸縮における歩容画像列の対応誤りが生じる可能性がある。そこで、観測条件が滑らかに変化することを考慮して、観測条件の似通った隣接の周期間の対応に重みを置いた位相推定手法を定式化し、その有効性をシミュレーションデータにより確認した。

P1-3) 位相と観測条件による歩容多様体の復元

歩容等の周期画像列は、固有空間において位相をパラメータとする多様体を形成することから、本研究では、歩容揺らぎに頑健な認証のために、位相と観測条件による 2 パラメータの歩容多様体を復元することで、位相と観測条件が任意に変化する歩容画像列を照合する手法を開発した。

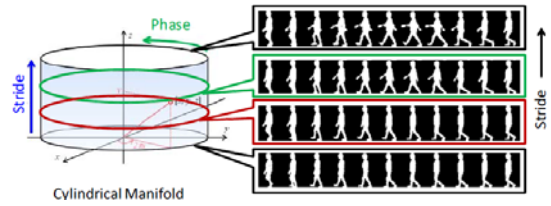


図 11. 条件変化を考慮した円筒多様体表現

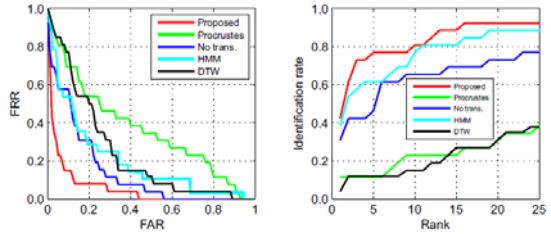


図 12. 速度遷移条件下での認証精度(左: ROC 曲線, 右: CMC 曲線)

P2) 歩容ゆらぎの積極的利用による歩容認証の高精度化

P2-1) 位相ゆらぎ特徴量の抽出

これまでに開発した位相推定手法に基づいて、線形位相進行に対する時間伸縮関数を取得する。複数周期間において、時間伸縮関数の分散を計算し、それを時間ゆらぎ特徴として抽出した。また、複数周期間の頭頂点・足下点の軌跡の分散、及び、複数周期間での平均シルエット画像間の差(周期間での腕の振りの違いや姿勢の違いが観測される)を、空間ゆらぎ特徴として抽出した(図 13)。

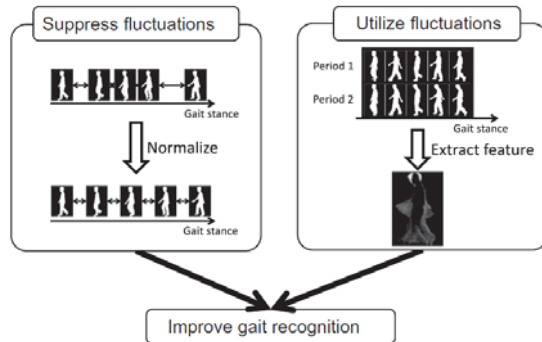


図 13. 歩容ゆらぎの積極的利用の枠組

P2-2) 複数歩容特徴による歩容認証

従来の周期単位の歩容特徴と本研究の位相揺らぎに基づく特徴がそれぞれ抽出されることから、各特徴間の類似度(スコア)を計算し、マルチモーダル認証の分野で用いられるスコアレベル統合手法を導入することで、歩容認証の高精度を図った。OU-ISIR Large population dataset を用いて実験を行い、認証精度が向上することを確認した(図 14)。

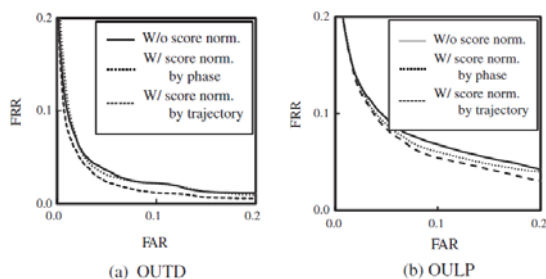


図 14. 複数歩容ゆらぎ特徴量の統合による
認証精度評価 (ROC 曲線)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

[J1] M. R. Aqmar, Y. Fujihara, Y. Makihara, and Y. Yagi, "Gait Recognition by Fluctuations," *Computer Vision and Image Understanding*, pp. 38-52, Vol. 126, Sep. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2014.05.004>

[J2] Y. Makihara, M. R. Aqmar, T. T. Ngo, H. Nagahara, R. Sagawa, Y. Mukaigawa, and Y. Yagi, "Phase Estimation of a Single Quasi-periodic Signal," *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 62, No. 8, pp. 2066-2079, Apr. 2014. <http://dx.doi.org/10.1109/TSP.2014.2306174>

[J3] T. T. Ngo, Y. Makihara, H. Nagahara, Y. Mukaigawa, and Y. Yagi, "Orientation-Compensative Signal Registration for Owner Authentication using an Accelerometer," *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol. E97-D, No. 3, pp. 541-553, Mar. 2014. DOI: 10.1587/transinf.E97.D.541

[学会発表] (計 8 件)

[C1] Y. Makihara, M. R. Aqmar, Y. Fujihara, and Y. Yagi, "Gait Recognition by Fluctuations," *Proc. of the 17th Sanken Int. Symposium*, pp. 61-62, Suita, Japan, Jan. 2014. (招待講演)

[C2] A. Mansur, Y. Makihara, M. R. Aqmar, and Y. Yagi, "Gait Recognition under Speed Transition," *Proc. of the 27th IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2014)*, pp. 2521-2528, Columbus, Ohio, USA, Jun. 2014. <http://dx.doi.org/10.1109/CVPR.2014.323> (査読有)

[C3] Y. Makihara, Y. Fujihara, and Y. Yagi, "Can Gait Fluctuations Improve Gait Recognition?," *Proc. of the 21st Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR 2012)*, pp. 3276-3279, Tsukuba, Japan, Nov.

2012. (査読有)

[C4] T. T. Ngo, Y. Makihara, H. Nagahara, R. Sagawa, Y. Mukaigawa, and Y. Yagi, "Phase Registration in a Gallery Improving Gait Authentication," *Proc. of the Int. Joint Conf. on Biometrics (IJCB 2011)*, Paper ID 178, pp. 1-7, Washington D. C., USA, Oct. 2011. <http://dx.doi.org/10.1109/IJCB.2011.6117527> (査読有)

[C5] M. R. Aqmar, Y. Makihara, Y. Fujihara, and Y. Yagi, "On Suppressing and Utilizing Fluctuations for Gait Recognition," *Proc. of the 9th Int. Workshop on Robust Computer Vision*, Tokyo, Japan, Dec. 2014. (査読無)

[C6] Y. Makihara, M. R. Aqmar, Y. Fujihara, Y. Yagi, "Gait Recognition by Fluctuations," *Proc. of the 8th Int. Workshop on Robust Computer Vision (IWRCV 2014)*, Daejeon, Korea, Jan. 2014. (査読無)

[C7] 八木 康史, 榎原 靖, ラシッド アクマル, 藤原 雄介, "ゆらぎを考慮した歩容解析", 第 16 回日本統合医療学会 (IMJ2012) 大阪大会, 吹田, Dec. 2012. (査読無)

[C8] 藤原 雄介, 榎原 靖, 八木康史, "位相正規化画像列とゆらぎ特徴量を用いた歩容認証", *情報処理学会研究報告, 情報処理学会*, Vol. 2012-CVIM-182, No. 23, pp. 1-7, 豊田, May 2012. (査読無)

[その他]

ホームページ等

<http://www.am.sanken.osaka-u.ac.jp/~makihara/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榎原 靖 (MAKIHARA, Yasushi)

大阪大学・産業科学研究所・准教授

研究者番号 : 90403005