

2次元画像と3次元立体形状を用いた ハイブリッド顔認証技術

A Hybrid Face Recognition Technology Using a Two-Dimensional Image and a Three-Dimensional Structure

株式会社 山武
ビルシステムカンパニー

中島 寛
Hiroshi Nakajima

株式会社 山武
ビルシステムカンパニー

長嶋 聖
Sei Nagashima

東北大学

青木 孝文
Takafumi Aoki

キーワード

顔認証, ハイブリッド, 位相限定相関法, バイオメトリクス, 受動型ステレオビジョン, 3次元計測, ICP アルゴリズム

従来、主流であった2次元顔画像認証では明るさや向き等の状況が変化した場合に認証性能が劣化するという問題があり、一方、3次元顔認証ではこのような状況変化の影響を受け難いが、計測精度や処理速度に問題があった。そこで、受動型ステレオビジョンを用いた高精度な3次元計測から得られる3次元立体形状と2次元画像による業界初のハイブリッド顔認証技術を開発し、明るさや向き等の状況変化の影響を受け難くし、当社の指紋照合並みの高い認証性能を実現した。プロトタイプによる2年間のフィールドテストでも問題なくその結果も合わせて報告する。

Two-dimensional facial recognition is commonly used, but recognition performance deteriorates when conditions such as brightness and direction change. Three-dimensional face recognition, on the other hand, is not easily affected by such changes in condition, but presents problems with regard to measurement accuracy and processing speed. Consequently, a hybrid face recognition technology, the first in the industry, has been developed by utilizing a two-dimensional image together with a three-dimensional structure obtained from high-precision, three-dimensional measurements made using passive stereo vision. This technology works comparatively well when conditions such as brightness and direction vary, and it has achieved high recognition performance equivalent to that of fingerprint matching. In a two-year field test whose results we report, this technology achieved stable recognition without deterioration over time.

1. はじめに

現代の情報社会において、セキュリティは重要なキーワードの1つであり、信頼性が高く、利便性に優れた個人認証システムが必要とされている。一般的に用いられている個人認証システムでは、パスワード、ICカード、

鍵、生体情報などが利用される。これらの中でも、生体情報を用いた個人認証システムは、記憶や所持を必要としないこと、盗難の危険性が低いことなどから注目されている。山武においても、生体情報による個人認証技術にいち早く着目し、これまでに各種の用途向けの指紋認証システム(図1)を開発している⁽¹⁾。また近年では、

利便性と受容性の高さから注目を集めている顔認証技術に着目し、顔の2次元画像と3次元立体形状を用いたハイブリッド顔認証技術¹の研究開発を行っている。現在、製品プロトタイプの試作・評価段階ではあるが、他の手法と比較して、ユニークな技術として完成しつつあるため、本稿では、この顔認証技術について紹介する。



図1. 指紋認証装置

¹ 以下「2次元」を「2D」、「3次元」を「3D」と略記する。

2. 3D 顔認証

従来研究されている顔認証技術は、通常のカメラ等で撮影した画像データ（2D データ）を用いる 2D 顔認証と、3D スキャナ等で取得した顔の形状データ（3D データ）を用いる 3D 顔認証に分類される。2D 顔認証に関する研究が古くから盛んに行われてきたのに比べ、3D 顔認証に関する研究は歴史が浅く、依然として主流は 2D 顔認証である^(2, 3)。しかしながら、2D データのみでは、明るさや顔の向きが変化した場合に認証性能が低下するという問題がある。2D 顔認証技術の限界を克服するブレイクスルー技術として、3D の情報を使った顔認証に注目が集まっている。

これまでに提案されている 3D 顔認証手法には、顔の 3D 可変モデルを用いた手法⁽⁴⁾、PCA (Principal Component Analysis) を用いた手法⁽⁵⁾、ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムを用いた手法^(6, 7)などがある。以下、それぞれについて簡単にまとめる。顔の 3D 可変モデルを用いた手法では、まず、顔の 2D 画像を入力し、この入力画像の顔に最も近い顔の画像を生成するように 3D モデルを変形させる。そして、最も近い顔画像が生成されたときに得られるパラメータを、その人物を表す特徴量として用いる。認証は、特徴量間の距離を用いて行われる。PCA を用いた手法は、2D 顔認証で広く知られているが、3D データを用いる場合には、画像の輝度値の代わりに 3D データの奥行き情報が利用される。2D 画像を用いる場合に比べ、3D データを利用することで顔の向きを補正することができるため、姿勢変化に対してロバストな認証が期待できる。また、3D データの位置合わせ手法として広く知られている手法に ICP アルゴリズムがあるが、登録されている 3D 顔データと入力された 3D 顔データとの間で ICP アルゴリズムを適用することで、比較的シンプルな方法で認証を行うことも可能である。つまり、2つの 3D データ間の距離が位置合わせによって十分に小さくなるようであれば、それらは同一人物のデータであるとみなすことができる。

このように注目を集める 3D 顔認証であるが、これら全てに共通する課題として、いかにして顔の 3D データ

を取得するか、という問題があげられる。3D 計測技術には、レーザ光やパターン光を用いた能動型計測と、カメラのみで計測を行う受動型計測がある。一般に能動型計測の方が高精度であり、筆者の知る限り従来の 3D 顔認証技術は、ほぼ例外なく能動型計測システムから得られた 3D データを利用している。しかし、顔に対してレーザ光などの特殊な光を照射することは安全面や心理面から望ましくなく、またシステムの高コスト化にもつながる。そこで筆者らは、ステレオビジョンを利用した受動型 3D 計測に着目し、研究開発を進めてきた。受動型ステレオビジョンでは、環境光のみで計測を行うことができるため、顔認証の用途に適している。以降ではまず、ステレオビジョンに基づく受動型 3D 計測について述べる。

3. 受動型ステレオビジョンを用いた 3D 顔計測技術

受動型計測の代表例であるステレオビジョンでは、2つのカメラを並べたステレオカメラを用いて 3D データを取得する。このステレオビジョンによる 3D 計測では、2つの画像間で画素の対応付けを行う対応点探索アルゴリズムの選定が重要になる。この対応付け精度が 3D 計測精度を左右するため、一般にサブピクセル精度の対応付けが必須である。

また、ステレオビジョンによる 3D 計測の精度を決定付ける他の要因として、基線長、つまりカメラ間の距離がある。基線長が大きいほど高精度な計測が可能となるが、得られる 2つの画像間の変形が大きくなるため、画像中の特徴点などの限られた箇所しか計測を行うことができない。一般に顔の 3D データを用いて認証を行う場合には、顔全体の密な形状が必要となるため、必然的に基線長は短くせざるを得ず、その分ステレオ画像の対応付け精度を向上させて 3D 計測精度の低下を回避しなければならない。

通常、対応点探索のためには、対応候補点近傍から切り出した局所的な画像ブロックに対するマッチングが用いられる。このブロックマッチングの尺度としては、従来、SAD (Sum of Absolute Differences) や SSD (Sum of Squared Differences) などが広く利用されてきた。これらは計算コストに優れるものの、高精度な 3D 計測を目的とする場合には、ロバスト性や位置合わせ精度が不十分であった。

こういった問題に対し、筆者らは、ステレオ画像の対応付けに位相限定相関法を利用している。位相限定相関法は、筆者らにより開発された高精度画像マッチング技術であり、画像照合と画像レジストレーション（位置合わせ）の観点から特に優れた性能を示す⁽⁸⁾。当初は、指紋認証（図1）のために開発された技術であったが、その適用範囲が拡大し、現在では極めて広範な応用をカバーしている。その中でも、特に生体画像の照合に対し

て非常に高い有効性を示すことが明らかとなっており、指紋認証のみならず虹彩認証⁽⁹⁾や掌紋認証⁽¹⁰⁾においても高い性能を発揮している。図2に、位置ずれた2枚の画像間で計算される位相限定相関関数の例を示す。

この位相限定相関法をステレオ画像の対応付けに利用することで、SADやSSDを用いた場合に比べて高い3D計測精度を達成することができる^(11, 12)。また、ブロックマッチングでは対象のテクスチャが重要になるが、顔

画像はそれほど明瞭なテクスチャを持たない。そのため、例えばステレオ画像を取得する際にランダムパターンを投影することで強制的にテクスチャを付加する方法などがよく利用されるが、位相限定相関法ではそういったパターン投影を行わずとも、十分な精度で3D計測を行うことが可能である。

基準物体として半径約100mmの球を利用し、これを約50cm離れた位置から位相限定相関法に基づくステレ

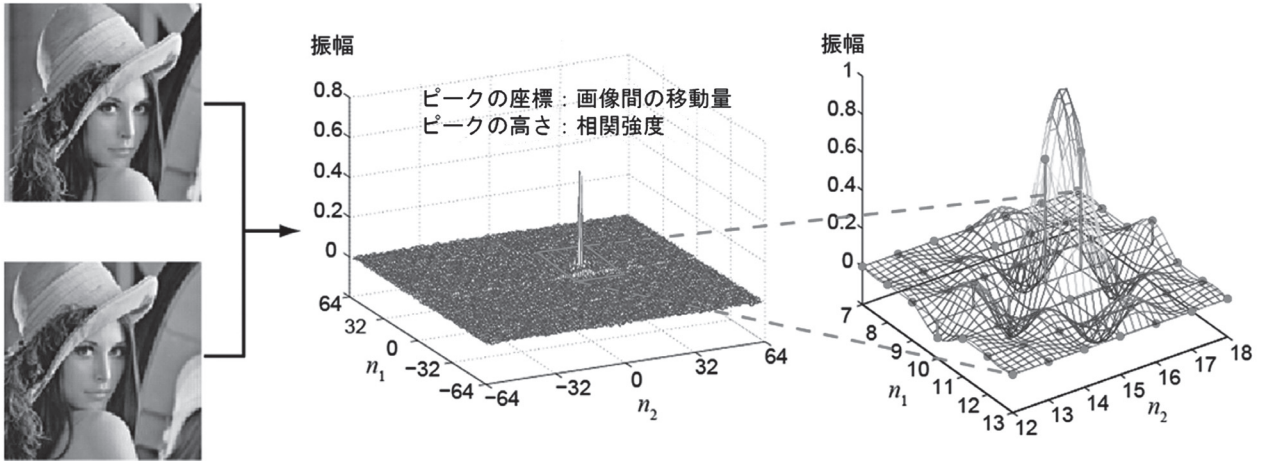


図2. 位相限定相関法



図3. 左側：ステレオ画像

中央：3D 顔の点群データ (画像濃淡値あり)
 右側：3D 顔の点群データ (画像濃淡値なし)

オビジョンシステムにより3D計測したところ、得られた3Dデータに対する球の方程式の当てはめ誤差は0.5mm以下(2乗平均平方根)となった。これより、カメラのみで構成される簡便なシステムを用いて高精度に顔の3Dデータを取得可能であることがわかる。また、実際に人物の顔を3D計測した例を図3に示す。図3の左側はステレオカメラで撮影した顔画像で、中央および右側はステレオ画像より計測された3D顔の点群データである。

4. 2D・3Dハイブリッド顔認証アルゴリズム

これまでに、3D顔認証および筆者らが着目する受動型ステレオビジョンについて述べた。3D顔認証は2D顔認証に比べて顔の向きの変化などにロバストであるが、利用者の姿勢をある程度コントロールできるような環境下では、必ずしも全ての場合において3Dデータを利用する必要はないと考えられる。特にステレオビジョンを利用した3D計測では、撮影したステレオ画像から3Dデータを生成する際の計算コストが比較的高く、また、高い性能を得るためには高密度な3Dデータを用いて認証処理を行う必要がある。そのため、登録されているすべての顔データと認証するいわゆる1対N認証を行う場合にはかなりの計算時間を要する。この問題に対し、筆者らの開発した顔認証技術では、2D認証と3D認証を組み合わせることで、計算時間、認証性能の両方において十分に実用可能なレベルを達成している。以下にその概要を述べる。

本手法では、3D認証にはICPアルゴリズムを利用している。つまり、登録されている3Dデータと入力された3Dデータとの間でICPアルゴリズムによる位置合わせを行い、結果的に2つのデータ間の距離が十分に小さくなれば認証成功とみなす。位相限定相関法に基づく高精度ステレオビジョンにより、高品質な3Dデータを取得できるため、単純に位置合わせを行うだけで十分な認証性能が得られる^(13, 14)。しかし、ICPアルゴリズムは、3Dデータ間の最近傍点の対応付けを繰り返すことで位置合わせを行う手法であり、高密度な3Dデータであれば最近傍探索に高い計算コストを要するため1対N認証には向かない。

そこで、筆者らは、通常の顔認証システムにおいては、利用者はカメラに対して正対する場合がほとんどであることに着目し、まず比較的計算コストの低い2D認証を行ったうえで、必要に応じて3D認証に切り替えるというアプローチをとっている。通常、2D認証と3D認証とは全く異なる技術が必要となるが、筆者らは、登録顔画像と入力顔画像との間で、3Dの計測と同じ技術である位相限定相関法により対応付けを行うという極めてシンプルな2D認証手法を用いている^(15, 16)。異なるタイミングで撮影された画像であっても、同一人物ならば信頼性の高い対応点が多く得られ、他人であれば信頼性の低い対応点しか得られないため、これをもとに個人

識別が可能である。

このように、開発した2D・3Dハイブリッド顔認証技術では、位相限定相関法に基づく画像対応付けを基本技術として、これを2D認証と3D認証の両方で利用している。なお、登録画像と入力画像の直接的な対応付けにより2D認証を行うためには、画像間でカメラと顔の距離の変化などを正規化することが不可欠であるが、開発した技術ではステレオ画像から距離推定などを行うことができるため、容易かつ正確に正規化を行うことができる。この正規化によって、位相限定相関法による対応付けが可能となり、その高いロバスト性と精度により2D認証においても高い認証性能が得られることを確認している。

筆者らが開発した顔認証技術では、まず上記の2D認証を行い、認証に失敗した場合のみICPアルゴリズムを用いた3D認証に切り替える。3D認証に比べて2D認証の方が計算コストが低いため、瞳間距離を用いた絞り込みなどと組み合わせることによって、1対N認証においても十分高速に認証を行うことができる。また、必要に応じて3D認証に切り替えることで、2D認証では難しい非正面顔もロバストに認証することができる。後述するプロトタイプ顔認証システムでは、N = 40(登録人数)の場合に0.5～1.2秒程での認証を実現している。

5. プロトタイプシステムの開発および実証実験

これまでに述べた2D・3Dハイブリッド顔認証技術に基づいて開発された顔認証システムのプロトタイプについて述べる。図4、5に開発したプロトタイプの外観を示す。ステレオカメラを構成する2台のカメラは、Point Gray Research SCOR-14SOM-CS(12bits digital resolution, 1280x1024 pixels, monochrome, IEEE-1394)を用いている。



図4. プロトタイプ外観

本システムでは、2つのカメラを可能な限り近づけた極めてコンパクトなステレオカメラで構成しており、基線長が短いと顔の3D形状を全体に渡って密に取得することができる。カメラの前に立つだけで認証が開始され、認証に成功すると savic-net™ FX セキュリティシステム⁽¹⁷⁾ と連動して電気錠の解錠と入退室履歴保存を行う。

2008年5月より、実際に実験室の入口に本システムを設置し、長期に渡ってフィールドテストを行っている。現在の登録人数は約40名(N=40)で、最初に登録した顔データを、ほとんど登録し直すことなく運用している。運用開始からすでに2年以上が経過し使用回数のはべ1万回を超えているが、他人誤認識などの問題が生じるようなことはなく、明るさ、顔の向き、立ち位置、表情、眼鏡、頭髪、髭など様々な変化に対してもロバストな認証を実現している。また、利用者がID番号などを入力する必要のない1対N認証を行っているが、認証に要する時間は、2D認証の場合が約0.5秒であり、



図5. プロトタイプユーザインターフェース部(ステレオカメラ, LCD, テンキー, 人感センサ付き照明)

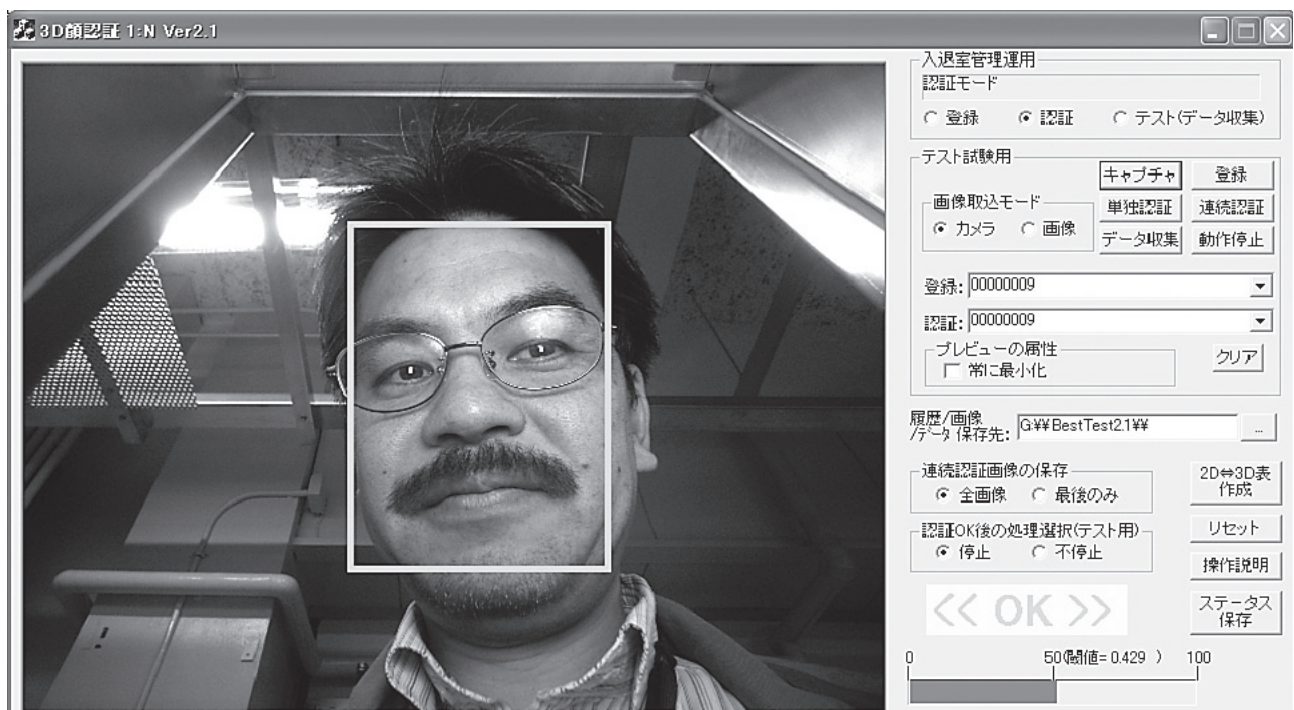


図6. 2D・3D ハイブリッド顔認証プロトタイプの認証結果画面

3D 認証まで行ったとしても約 1.2 秒である。本システムにおける認証結果画面を図 6 に示す。左下に示した登録画像は 2 年前に登録されたデータであり、カメラと顔の距離や顔の向きなどを意図的に変化させて入力を与えているが (右下)、問題なく認証に成功していることがわかる。なお、筆者らが独自に構築した顔画像データベースを用いた実験では、被験者約 1300 人から顔データを各々 2 セット収集して約 300 万回の認証を行い、EER (Equal Error Rate) = 0.42% という良好な実験結果を得ている。EER とは、本人拒否率と他人許容率が等しくなるように判定閾値を設定した場合のエラー率を示す。筆者らが知る限り、これまでの一般的な 2D 顔認証は EER = 1% 以上であり、実運用で苦勞してきたと認識している。長期にわたる実運用実験および大量の顔データを用いた認証実験の結果より、本技術の顔認証性能は、当社で製品化している指紋照合並みの高い実用性能があることを示している。

6. おわりに

本稿では、位相限定相関法に基づく 2D・3D ハイブリッド顔認証技術について述べ、プロトタイプ顔認証システムの開発・運用を通して本技術が指紋照合並みの実用性・有効性を持つことを示した。顔認証は、非接触で認証できるため、不潔感がなくユーザーの心理的負担が少ない。また、顔は常に見えている生体情報のため、指紋/静脈/虹彩などの生体情報と違って人が見て確認でき、比較的プライバシー問題が少ないという利点もある。

入退室管理システムにおける映像監視システムでは、今後、映像から人物や不審物などを特定することが期待され、高精度な認識技術ならびに形状計測技術が必要とされる。本稿で紹介した顔認証技術や高精度 3D 計測技術は、これらを実現するためのコア技術に成りえる。筆者らは、本セキュリティシステムの開発を通じて、安心・安全・快適な社会の実現に貢献していきたいと考えている。

<参考文献>

- (1) 中島寛, 小林孝次, 森川誠, 勝亦敦, 伊藤康一, 青木孝文, 樋口龍雄, 位相限定相関法に基づく指紋照合技術 --- 一般住宅向け指紋照合装置のためのアルゴリズム設計と実現 ---, 電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌) (Feb. 2006), Vol. 126, No. 2, pp. 38-46
- (2) W. Zhao and R. Chellappa: "Face processing: Advanced modeling and methods", Academic Press (2006)
- (3) A. F. Abate, M. Nappi, D. Riccio, and G. Sabatino: "2D and 3D face recognition: A survey", Pattern

Recognition Letters, Vol. 28, pp. 1885-1906 (Oct. 2007)

- (4) V. Blanz and T. Vetter: "Face recognition based on fitting a 3D morphable model", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 25, No. 9, pp. 1063-1074 (Sep. 2003)
- (5) C. Xu, Y. Wang, T. Tan, and L. Quan: "A new attempt to face recognition using 3D eigenfaces", Proc. of the 6th Asian Conference on Computer Vision (ACCV), Vol. 2, pp. 884-889 (Jan. 2004)
- (6) P. J. Besl and N. D. McKay: "A method for registration of 3-D shapes", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No. 2, pp. 239-256 (Feb. 1992)
- (7) X. Lu and A. K. Jain: "Matching 2.5D face scans to 3D models", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 28, No. 1, pp. 31-43 (Jan. 2006)
- (8) 青木孝文, 伊藤康一, 柴原琢磨, 長嶋聖, 位相限定相関法に基づく高精度マシビジョン-ピクセル分解能の壁を越える画像センシング技術を目指して -, IEICE Fundamentals Review (July 2007), Vol. 1, No. 1, pp. 30-40
- (9) K. Miyazawa, K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi and H. Nakajima: "An effective approach for iris recognition using phase-based image matching", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 30, No. 10, pp. 1741-1756 (Oct. 2008)
- (10) S. Iitsuka, K. Ito and T. Aoki: "A practical palmprint recognition algorithm using phase information", Proc. of the 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), No. WeBCT9.18 (Dec. 2008)
- (11) M. A. Muquit, T. Shibahara and T. Aoki: "A high-accuracy passive 3D measurement system using phase-based image matching", IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Science, Vol. E89-A, No. 3, pp. 686-697 (Mar. 2006)
- (12) 柴原琢磨, 沼徳仁, 長嶋聖, 青木孝文, 中島寛, 小林孝次, 一次元位相限定相関法に基づくステレオ画像の高精度サブピクセル対応付け手法, 電子情報通信学会論文誌 D (Sep. 2008), Vol. J91-D, No. 9, pp. 2343-2356
- (13) A. Hayasaka, T. Shibahara, K. Ito, T. Aoki, H. Nakajima and K. Kobayashi: "A passive 3D face recognition system and its performance evaluation", IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E91-A, No. 8, pp. 1974-1981 (Aug. 2008)

- (14) A. Hayasaka, K. Ito, T. Aoki, H. Nakajima and K. Kobayashi: "A robust 3D face recognition algorithm using passive stereo vision", IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E92-A, No. 4, pp. 1047-1055 (Apr. 2009)
- (15) 伊藤康一, 早坂昭裕, 青木孝文, 中島寛, 小林孝次, 2次元／3次元顔認証アルゴリズムの組み合わせに関する検討, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (Jan. 2009), 2F4-2
- (16) 中島寛, 長嶋聖, 青木孝文, 受動型ステレオビジョンを用いた2D・3D複合顔認証, 映像情報メディア学会誌 (Apr. 2010), Vol. 64, No. 4, pp. 472-476
- (17) savic-netTMFXセキュリティシステム, 株式会社山武,
http://jp.yamatake.com/product/ba/secu/secu_fx.html.

<商標>

savic-net は, 株式会社 山武の商標です。

<著者所属>

中島 寛	ビルシステムカンパニー 開発本部開発2部
長嶋 聖	ビルシステムカンパニー 開発本部開発2部
青木 孝文	東北大学 大学院 情報科学研究科 教授

