

ロバストビジョン技術とその製造業における実利用事例

金子俊一^{†1}

著者の開発してきたロバストビジョン技術，特にロバスト画像照合やパタン照合技術の原理を紹介するとともに，講演では，その製造業における実利用事例について，国内の多くの企業において実用された事例を紹介する．多くの技術自体の解説は参考文献に譲るとして，本稿では著者が経験を通じて感じてきた要点のうち，特にこれからこの分野で研究開発活動を展開しようとしている若手技術者（大学や企業における）の方々にも参考となるであろう事柄について述べる．

Robust Vision and its Applications in Production Engineering

SHUN'ICHI KANEKO^{†1}

The author has developed some robust algorithms for pictorial pattern matching or registration or searching in his lab in collaboration with industry. They have been able to be applied to many real problems in product inspection and defect detection. The article presents some key points for the realization of the effective techniques, which can be referred in future research and development.

1. はじめに

著者の開発してきたロバストビジョン技術，特にロバスト画像照合やパタン照合技術の原理を紹介するとともに，講演では，その製造業における実利用事例について，国内の多くの企業において実用された事例を紹介する．多くの技術自体の解説は個々の参考文献に譲るとして，本稿では著者が経験を通じて感じてきた要点のうち，特にこれからこの分野で研究開発活動を展開しようとしている若手技術者（大学や企業における）の方々にも参考となるであろう事柄について述べる．本稿の内容は著者の個人的主張がちな部分もあると思うのでご了解いただきたい．

2. 研究テーマの発掘

独自の研究テーマとして，いわゆる**テンプレート照合アプローチにおけるロバスト画像照合**を掲げてきた．固定サイズ，回転・歪み不可など一見融通が利かない，先端研究には向かないアプローチのように思われ，著者自身も着手当初にはこれほど展開するとは予想していなかった（参考文献参照）．しかしながら，ここ15年間30人を超す博士課程の学生たちと深く検討してきた経験から，奥深い研究分野と思っている．その中でも産業分野における実利用を促進する効果は大きい．本稿の存在理由であろう．

基本アルゴリズムが独自のものであることが最も大切であり，最初のステップであるべきであろう．基本特許としてもよい論文公開してしまうことでもよい．とにかく

この技術はこの専売であることを認知してもらうことである．

加えて，**低コスト性（小さい，速い，軽い）**は大切である．特に大学発の新しい技術を手軽に現在の生産ラインに導入するためには，大掛かりな構成変更などは現実的でなく，導入コストについても考慮する必要がある．不要な複雑化は避けるべきである．高速化を研究テーマとして認知することも大切と思う．

珍しいこと・ユニークであることも大切である．珍しい技術は珍しい製品に繋がり，強い市場性に繋がるのではないか．

産業界の要望に耳を傾けた上で研究テーマを検討することも必要である．そのための人脈，大学研究室側の姿勢も育てなければならない．

3. 共同研究

産業応用を具体的な目標として共同研究プロジェクトを立ち上げる時，**大学教員の目利き力**は特に大切かと思う．現在は不可能あるいは十分ではないが数年で現地導入レベルを達成できるか否か，これを企業側に約束する（ちょっと大げさ）ためには，やはり目利きが必要である．従事する学生には失敗体験よりは成功体験がより必要である．

最適解は唯一か否か．核となる独自手法を中心として，複数の共同研究Pをもつとき，市場のトレンドもあるので，似たような課題への挑戦が必要となる場合もある．特許化処理などが絡んでくる場合には問題となる場合がある．事前の課題設定段階が重要となる．

分担の理解が必要である．事前に明確であるのがよい．企業側，大学側の双方において，分担すべき課題を明確に

^{†1} 北海道大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻
Hokkaido University, Graduate School of IST.
kaneko@ssi.ist.hokudai.ac.jp.

しつつ進める。一般的には、大学側が核となる手法を提供しその組込み方、修正版の設計・試作、定式化などを受け持ち、企業側が問題領域の設定、スケジューリング、定量的評価実験、システム化などを受け持つ。

学生が従事することが殆どであるので（著者の研究室の場合には）、**大学における技術教育的な要素**があるとよい。いわゆる産学連携教育の実例ともなるし、企業側にとっては若手技術者の訓練にもなる。著者の研究室の場合には、博士学生が従事することが殆どであったので、彼らの論文文化に資する研究テーマであることは必須である。企業の若手開発者に**共著論文を提供すること**は、社会人博士の育成に大いに役立った。

加えて、少し細かい事柄であるが、**経費の根拠は明確にすべき**である。著者の場合には共同研究経費を算出するために、**人件費ベースの算定方法**を用いている。その共同研究プロジェクトに従事する（頭脳労働をどのくらいするか）時間を週単位・月単位・年単位で総計し、その研究者および学生らの時間給を乗じる。その他の実費経費（謝金、旅費、備品、消耗品）を加えて総額とする。この方式の利点は幾つかあり、まず経験年数などのスキル評価に応じて経費を増すことができる。企業側の成果期待度も向上する。人件費であるので企業側が、大学側に依頼する（期待する）**仕事総量をイメージしやすく**、期待度のギャップが生じにくくなる。一方、成功報酬としての算出はよくないと思う。成功不成功の判断を要するし、報酬計算は曖昧である。

4. 課題

メンバー選定の問題があろう。著者は研究という活動をオープンで民主的な活動として考えているので、学会や研究会（CVIM も含めて）に対しては、研究の具体的評価や展開に関する期待が大きく、学生らと共に参加する費用対効果は大きいと考えてきた。しかしながら、産業応用を具体的な目的とする共同研究などにおいては、クローズドなメンバー構成が前提となる。学会などでよいアイデアをいただいた研究者に途中から参加してもらうことは中々困難であるだろう。特許申請などを予定している場合はより複雑である。

従事する**学生の要望との整合・不整合**の問題がある。大学は人材育成機関であるので、卒業・修了する学生の実力が評価される。その達成のためには、学生自身が満足するか否か、意欲をもつか否かが大切である。それを教えることが教員の大きな役割であろう。学生・企業の双方への説明力が必要となるところである。

共同研究への従事と**卒業・修了後の就職**とは一応別物である。双方の希望が一致する場合は良縁であるが、そうでない場合もある。このことに対する配慮は、長く研究室運

営を良好に保つためには大切なところであろう。

最近だけではないと思うが、**留学生の共同研究への従事**も課題となり得る。また、このことは留学生に限らず、共同研究に従事して得た能力はよいとして、具体個別的知識やノウハウの事後使用という問題にも通じる。中々困難な課題である。

5. おわりに

著者の経験に学んだ事柄を中心に述べてきた。ものづくり、産業応用、生産性、工場、現場などは、現在のスマートな学生らには敬遠される言葉であるかもしれない。そんな時代であるかもしれない。しかしながら、現在も大切な価値をもつものであることを教えていくことが大切であると思う。皆さんの参考になれば幸いである。

参考文献

- 1)~8): ロバスト統計・ロバストパラメータ推定の一般テキスト, 9)~13): 著者らの手法を中心とした、あるいは含んだ解説論文, 14)~17): 増分符号相関 ISC の関連論文, 18)~37): 方向符号照合法 OCM の関連論文, 38)~45): 周辺増分符号, RRF, 統計的 RRF, GAP, CP3 の関連論文, 40)~49): M-ICP, DAI の関連論文, 50)~53): その他のロバストアルゴリズム.
- 1) P.Meer, D.Mintz and A.Rosenfeld: Robust Regression Methods for Computer Vision, IJCV, vol.6, no.1, pp.59-70, 1990.
- 2) J-M.Jolion, P.Meer, and S.Bataouche: Robust Clustering with Applications in Computer Vision, IEEE Trans. on PAMI, vol.13, no.8, pp.791-802, 1991.
- 3) 栗田多喜夫: ロバスト統計に基づく画像解析, 電子情報通信学会誌, vol.76, no.12, pp.1293-1297, 1993.
- 4) D.J.Barnea and F.Silverman: A Class of Algorithms for Fast Digital Image Registration, IEEE Trans. on Computer, vol.21, no.2, pp.179-186, 1972.
- 5) M.Svedlow, C.D.McGillem and P.E.Anuta: Image Registration: Similarity Measure and Preprocessing Method Comparisons, IEEE Trans. on AES, vol.14, no.1, pp.141-149, 1978.
- 6) D.P.Huttenlocher and S.Ullman: Recognizing Solid Objects by Alignment with an Image, IJCV, vol.5, no.2, pp.195-212, 1990.
- 7) M.J.Swain and D.H.Ballard: Color Indexing, IJCV, vol.7, no.1, pp.11-32, 1991.
- 8) R.J.Rousseeuw and A.M.Leroy: Robust Regression and Outlier Detection, John Wiley & Sons, 1987.
- 9) 金子俊一: 実世界マシンビジョンのためのロバスト画像照合技術, 電気学会論文誌, vol.121-C, no.5, pp.830-834, 2001.
- 10) 金子俊一: 画像処理におけるロバストなセンシング技術, 精密工学会誌, vol.69, no.10, pp.1383-1386, 2003.
- 11) 鷺見和彦, 金子俊一: マシンビジョン技術の実利用, 電気学会論文誌, vol.124-C, no.3, pp.598-605, 2004.
- 12) 加藤邦人, 金子俊一, 沼田宗敏: ロバスト画像処理の新展開, 精密工学会誌, vol.75, no.2, pp.237-241, 2009.
- 13) 佐藤雄隆, 金子俊一, 坂上勝彦: ロバストパターン認識技術, 精密工学会誌, vol.77, no.12, pp.1121-1124, 2011.
- 14) S.Kaneko, I.Murase and S.Igarashi: Robust Image Registration by Increment Sign Correlation, Pattern Recognition, vol.35, no.10, pp.2223-2234, 2002.
- 15) 齊藤文彦: ブロック照合投票処理を用いた遮へいに強い画像マッチング, 電子情報通信学会論文誌, vol.J84-D-II, no.10, pp.2270-2279, 2001.

- 16) 金子俊一,村瀬一朗,五十嵐悟,亀和田俊一: 増分符号相関による孔壁3次元形状のステレオ画像計測, 精密工学会誌, vol.67, no.1, pp.81-85, 2001.
- 17) 数井誠人, 清原将裕, 伊藤誠也: 周辺増分符号を用いた顔検出に関する検討, VIEW2004, pp.201-207, 2004.
- 18) F.Ullah, S.Kaneko and S.Igarashi: Orientation Code Matching For Robust Object Search, IEICE Trans. on Inf. & Syst., vol.E84-D, no.8, pp.999-1006, 2001.
- 19) F.Ullah and S.Kaneko: Using Orientation Codes for Rotation Invariant Template Matching, Pattern Recognition, vol.37, pp.201-209, 2004.
- 20) H.Okuda, Y.Kitaaki, M.Hashimoto and S.Kaneko: Fast and high-accurate 3D registration algorithm using hierarchical M-ICP, ISOT 2005, Proc. of SPIE, vol.6051, pp.60510N-1-60510N-8, 2005.
- 21) 三田雄志,金子敏充,堀修: 個体差のある対象の画像照合に適した確率的増分符号相関, 信学論 D-II, vol.J88-D-II, no.8, pp.1614-1623, 2005.
- 22) 岡田隆三,古川賢司,谷口恭弘,小野ロ一則: 複比と消失線に基づく車載単眼障害物検出,電子情報通信学会論文誌, vol. J86-D-II, no. 12, pp. 2165-2175, 2004.
- 23) 中原和哉,金子俊一,田中孝之,清水将志,宮下行雄: ロバスト画像照合に基づく農作業機用速度センサの開発, ViEW2005, pp.234-239, 2005.
- 24) K.Takeda, S.Kaneko, T.Tanaka, K.Sakai, S.Maeda and Y.Nakagawa: Robust Subpixel Image Alignment by Interpolation-based Absolute Gradient Matching, Proc. of FCV2005, pp.154-159, 2005.
- 25) Y. Li, H. Takauji, S. Kaneko, T. Tanaka, I. Ohmura: Robust Focusing using Orientation Code Matching, Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis, vol.7, no.3, pp.101-114, 2008.
- 26) 中原和哉, 高氏秀則, 金子俊一, 田中孝之, 清水将志, 宮下行雄, 大村功: 方向符号照合による農作業機のためのロバスト速度計測, 電子情報通信学会論文誌, vol.J91D, no.3, pp.793-802, 2008.
- 27) 大村功, 三田村智行, 中原和哉, 高氏秀則, 金子俊一, 清水将志, 宮下行雄: 方向符号照合法のFPGA実現に基づく農作業機のための実時間速度計測センサ, 電子情報通信学会論文誌, vol.J91D, no.5, pp.1325-1335, 2008.
- 28) 本田匠, 高氏秀則, 金子俊一: 照明スペクトル変動に対してロバストな重み付きカラー方向符号照合法, 精密工学会誌, vol.75, no.2, pp.313-320, 2009.
- 29) 北村和男, 高地伸夫, 渡邊広登, 山田光晴, 金子俊一: ロバストステレオマッチング手法を用いた人体計測システムの開発, 電気学会論文誌, vol.130C, no.6, pp.1010-1016, 2010.
- 30) 方明, 高氏秀則, 金子俊一, 渡邊日出海: 補間的投票に基づくオプティカルフローのロバスト推定, 画像電子学会論文誌, vol.39, no.5, pp.714-724, 2010.
- 31) Y.Domae, H.Okuda, Y.Kitaaki, Y.Kimura, H.Takauji, K.Sumii and S.Kaneko: 3-D Sensing for Flexible Linear Object Alignment in Robot Cell Production System, J. of Robotics and Mechatronics, vol.22, no.1, pp.100-111, 2010.
- 32) 北村和男, 高地伸夫, 金子俊一: 特徴抽出に基づいた点群データのレジストレーション, 画像電子学会論文誌, vol.40, no.4, pp.642-649, 2011.
- 33) R. Haraguchi, Y. Domae, K. Shiratsuchi, Y. Kitaaki, H. Okuda, A. Noda, K. Sumii, T. Matsuno, S. Kaneko and T. Fukuda: Development of Production Robot System that can Assemble Products with Cable and Connector, J. of Robotics and Mechatronics, vol.23, no.6, pp.939-950, 2011.
- 34) 堂前幸康, 奥田晴久, 高氏秀則, 金子俊一, 鷺見和彦: カメラ撮影とロボットの位置取得の同期がとれた2視点間を運動中の非同期連続画像における追跡安定度を考慮した単眼モーションステレオ, 精密工学会誌, vol.77, no.1, pp.90-96, 2011.
- 35) 高地伸夫, 伊藤忠之, 北村和男, 金子俊一: デジタルカメラを用いた三次元画像計測システムおよびステレオマッチング法の開発と実応用としての遺跡計測, 電気学会論文誌, vol.132C, no.3, pp.391-400, 2012.
- 36) 高地伸夫, 北村和男, 佐々木剛, 金子俊一: 三次元エッジに基づく点群と画像の融合処理による三次元モデリングとその建築物への応用, 電気学会論文誌, 2013.
- 37) R. Zhou, S. Kaneko, F. Tanaka, M. Kayamori, M. Shimizu: Disease detection of Cercospora Leaf Spot in sugar beet by robust template matching, Computers and Electronics in Agriculture, vol.108, pp.58-70, 2014.
- 38) 佐藤雄隆, 金子俊一, 丹羽義典, 山本和彦: Radial Reach Filter (RRF)によるロバストな物体検出, 電子情報通信学会論文誌, vol.J86-D-II, no.5, pp.616-624, 2003.
- 39) 和島直哉, 高橋悟, 伊藤誠也, 佐藤雄隆, 金子俊一: Radial Reach Filterに基づく動画処理を用いた移動体追跡法, 電気学会論文誌, vol.129C, no.10, pp.1942-1948, 2009.
- 40) 和島直哉, 高橋悟, 伊藤誠也, 佐藤雄隆, 金子俊一: 放射リーチフィルタに基づく背景変動を考慮した移動体追跡, 電気学会論文誌, vol.131D, no.2, pp.137-143, 2011.
- 41) X. Zhao, Y. Satoh, H. Takauji, S. Kaneko, K. Iwata, R. Ozaki: Object Recognition Based On A Robust and Accurate Statistical Multi-point-pair Model, Pattern Recognition, vol.44, pp.1296-1311, 2011.
- 42) X. Zhao, Y. Satoh, H. Takauji and S. Kaneko: Robust Tracking Using Particle Filter with a Hybrid Feature, IEICE Trans. INF. & SYST., vol.E95D, no.2, pp.646-657, 2012.
- 43) 本田達也, 高橋悟, 高氏秀則, 金子俊一: 不規則運動を伴う移動体に対するロバスト追跡手法, 画像電子学会論文誌, vol.41, no.4, pp. 360-365, 2012.
- 44) X. Zhao, Z. He, S. Zhang, S. Kaneko, Y. Satoh: Robust face recognition using the GAP feature, Pattern Recognition, vol.46, pp.2647-2657, 2013.
- 45) D. Liang, S. Kaneko, M. Hashimoto, K. Iwata, X. Zhao: Co-occurrence Probability-based Pixel Pairs Background Model for Robust Object Detection in Dynamic Scenes, Pattern Recognition, vol.47 (in press).
- 46) S.Kaneko, T.Kondo and A.Miyamoto: Robust Matching of 3D Contours Using Iterative Closest Point Algorithm Improved by M-estimation, Pattern Recognition, vol.36, no.9, pp.2041-2047, 2003.
- 47) T.Takeguchi and S.Kaneko: Using Depth Aspect Images for Robust and Efficient Search of Multiple Objects in Optomechatronic Sensing, IEEE Trans. on IE, vol.52, no.4, pp.1041-1049, 2005.
- 48) 北明靖雄, 奥田晴久, 橋本学, 金子俊一: 距離アスペクト画像照合と階層化ICP照合による3次元物体認識, 電気学会論文誌, vol.127C, no.4, pp.615-622, 2007.
- 49) 栢場皓之, 金子俊一, 高氏秀則, 戸田昌孝, 久野耕嗣, 菅沼孫之: 三次元形状欠陥認識を指向したモデル形状評価型ロバスト点群照合法, 電子情報通信学会論文誌, vol.J95D, no.1, pp.97-110, 2012.
- 50) 流郷達人, 宮本敦, 金子俊一, 五十嵐悟: 標準化順位相関に基づくロバスト画像照合, 画像電子学会誌, vol.31, no.3, pp.363-369, 2002.
- 51) 山崎彬人, 金出武雄, 高氏秀則, 大城英裕, 金子俊一: Denight: 昼間画像を用いた夜間画像の改善, 画像電子学会論文誌, vol.129C, no.12, pp.2222-2231, 2009.
- 52) 松尾祥和, 高氏秀則, 金子俊一: 重複インデックスリストを用いるテスト特徴学習の高速化, 電気学会論文誌 C, vol.133, no.1, pp.211-218, 2013.
- 53) 浦野貴裕, 金子俊一, 高氏秀則, 田中孝之, 前田俊二, 渋谷久恵, 吉田実: 局所一貫性による点群の回転照合法と欠陥パターン照合への応用, 電子情報通信学会論文誌, vol.J90D, no.10, pp.2798-2806, 2007.