

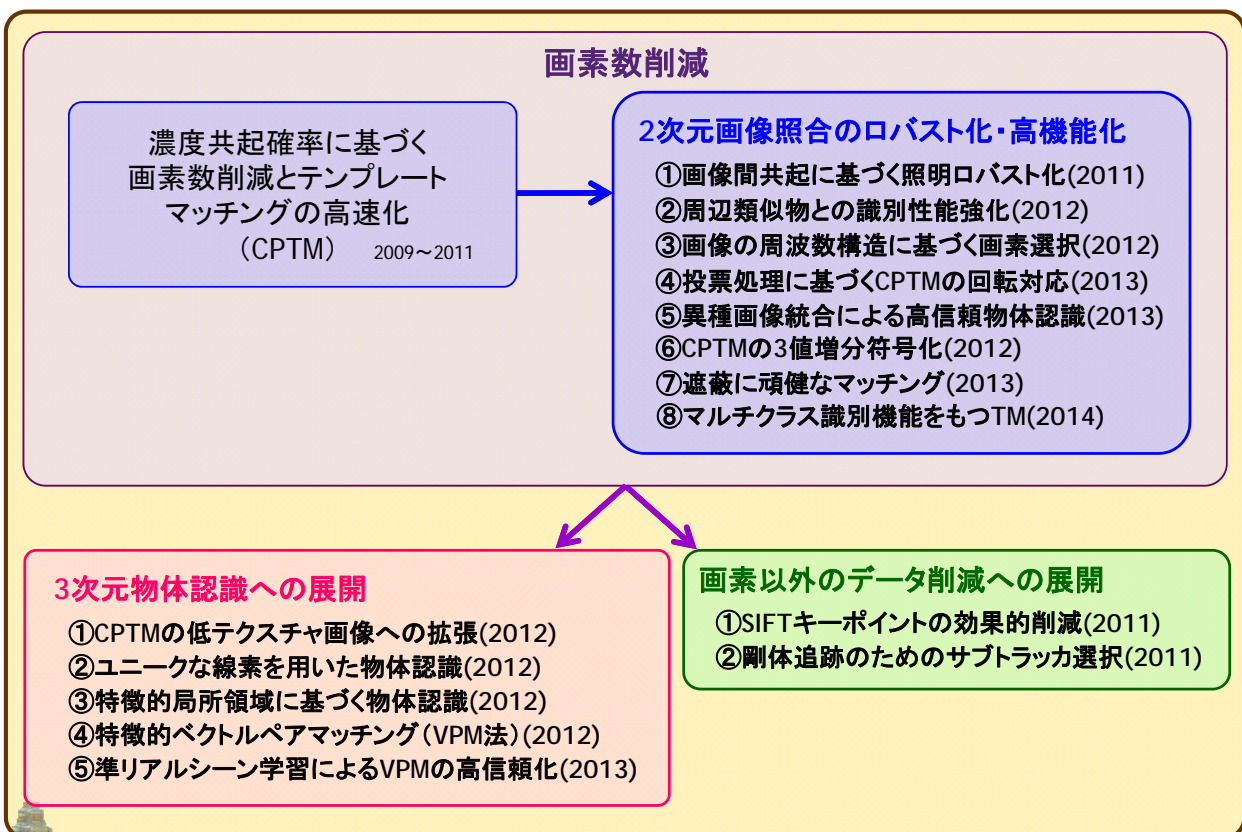
# 物体認識技術の進化 画素ベース × 特徴量ベース

## テンプレートマッチング系 & キーポイントマッチング系 アルゴリズムの比較に関する考察

中京大学 工学部 橋本 学

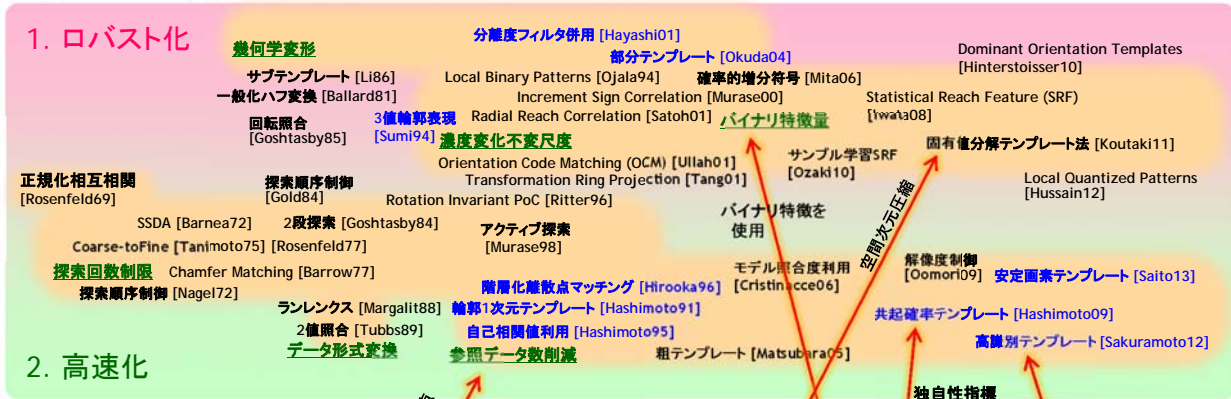
[mana@isl.sist.chukyo-u.ac.jp](mailto:mana@isl.sist.chukyo-u.ac.jp)  
<http://isl.sist.chukyo-u.ac.jp/>

## 戦略的データ削減に基づく物体認識

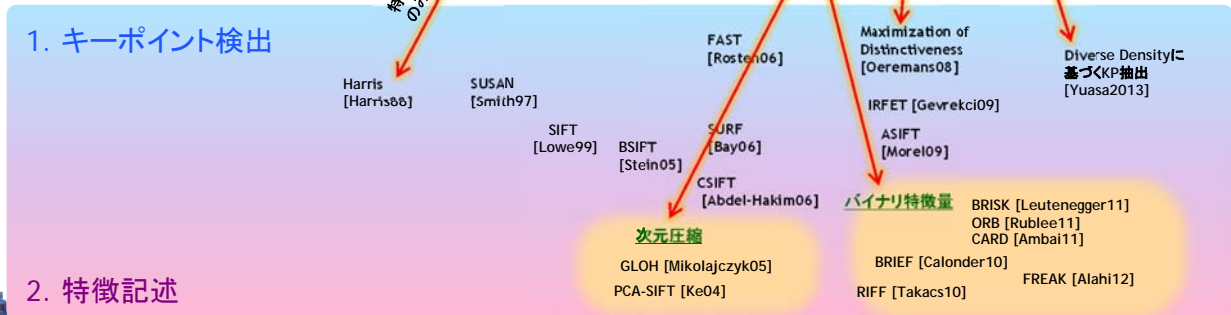


# テンプレートマッチングとキーポイントマッチングの関係

## テンプレートマッチング



## キーポイントマッチング



# ぼけに対する性能の比較

テンプレート画像(固定) 177 × 133

入力画像例 1200 × 800

5 × 5フィルタ, 15 × 15フィルタ, 29 × 29フィルタ

平滑化後の画像から切り出した画像

※テンプレートは固定とし、入力画像のぼかし度合いを変化させて照合した。

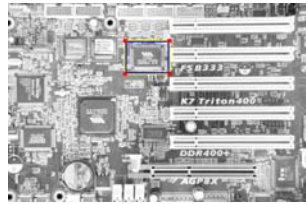
手法	平滑化フィルタサイズ $n \times n$ [pixel]														
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29
SAD	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
SSD	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ZNCC	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Chamfer Matching	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
ISC	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
OCM	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
SIFT	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
SURF	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×



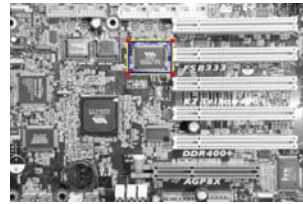
# 照明変動に対する性能の比較



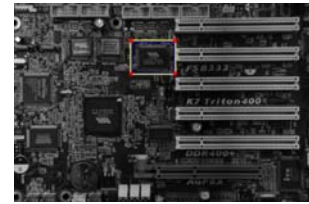
テンプレート画像(固定)  
177 × 133



照明変動:なし



照明変動:小



照明変動:大

入力画像 1200 × 800

※テンプレートは固定とし、照明の異なる入力画像に対して照合した。

手法	照明変動度合い		
	なし	小	大
SAD	○	○	×
SSD	○	○	×
ZNCC	○	○	○
Chamfer Matching	○	○	×
ISC	○	○	○
OCM	○	○	○
SIFT	○	○	○
SURF	○	○	○



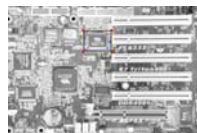
TM ≒ KPM

★勾配特徴を使うKPMがやや優勢. TMも照明変動を考慮した手法では問題なし.

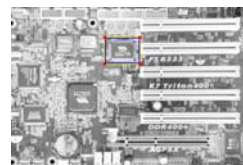
# スケール変動に対する性能の比較



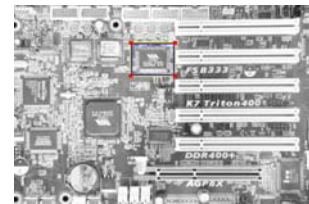
テンプレート画像(固定)  
147 × 111



スケール変動:0.8倍  
800 × 533



スケール変動:1.0倍  
1000 × 667



スケール変動:1.2倍  
1200 × 800

入力画像

※スケール変動に対する許容性能を調べた。

手法	スケール度合い s [倍]					※どの手法もスケール度合い計測は不可.
	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	
SAD※	×	○	○	○	×	
SSD※	×	○	○	○	×	
ZNCC※	×	○	○	○	×	
Chamfer Matching	×	×	○	×	×	
ISC	×	×	○	×	×	
OCM※	×	○	○	○	×	
SIFT	○	○	○	○	○	
SURF	○	○	○	○	○	



TM < KPM

★スケール非依存性能を陽に持つKPMが優位. TMIは多点の幾何関係保存が前提.

# 射影歪みに対する性能の比較



テンプレート画像(固定)  
153 × 194



回転角度: -60°



回転角度: 0°



回転角度: 60°

入力画像 600 × 400

※入力画像の射影ひずみ量を変化させて照合した。

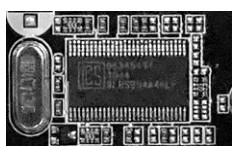
手法	ターンテーブルの回転角度 $d$ [度]													※どの手法もひずみ量計測は不可。	
	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60		
SAD※	×	×	×	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×		
SSD※	×	×	×	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×		
ZNCC※	×	×	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×		
Chamfer Matching※	×	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×	×	×		
ISC※	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×		
OCM※	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×		
SIFT	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	
SURF	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	



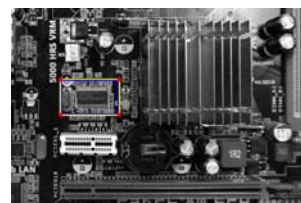
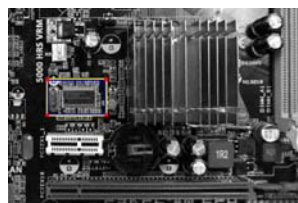
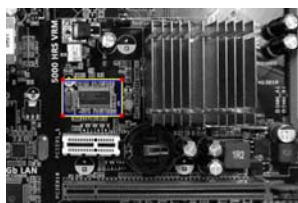
TM < KPM

★スケール非依存性能を陽に持つKPMが優位。TMIは多点の幾何関係保存が前提。

# 認識精度に対する性能の比較①(高テクスチャ対象物)



テンプレート画像(固定)  
235 × 141



入力画像 1200 × 800

手法	認識率 $P_r$ [%]	最大位置ずれ誤差 $d_{max}$ [pixel] (認識成功例に対する誤差評価)
SAD	100 (11枚/11枚)	0
SSD	100 (11枚/11枚)	0
ZNCC	100 (11枚/11枚)	0
Chamfer Matching	100 (11枚/11枚)	0
ISC	100 (11枚/11枚)	0
OCM	90 (10枚/11枚)	2
SIFT	100 (11枚/11枚)	0
SURF	100 (11枚/11枚)	0

認識率  
= 同等

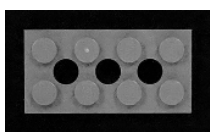
位置精度  
= 同等

※認識成功の定義: 認識結果が正解座標から±5画素以内の場合

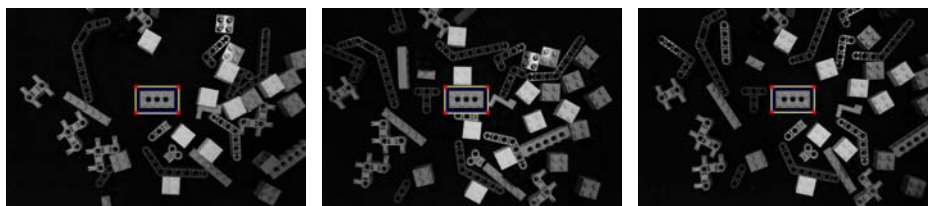




## 認識精度に対する性能の比較②(低テクスチャ対象物)



テンプレート画像(固定)  
169 × 101



入力画像 1200 × 800

手法	認識率 $P_r$ [%]	最大位置ずれ誤差 $d_{max}$ [pixel] (認識成功画像のみ使用)
SAD	100 (16枚/16枚)	0
SSD	100 (16枚/16枚)	0
ZNCC	100 (16枚/16枚)	0
Chamfer Matching	43 (7枚/16枚)	5
ISC	100 (16枚/16枚)	1
OCM	100 (16枚/16枚)	2
SIFT	62 (10枚/16枚)	3
SURF	18 (3枚/16枚)	1

認識率  
= TMが優位

位置精度  
= TMが優位



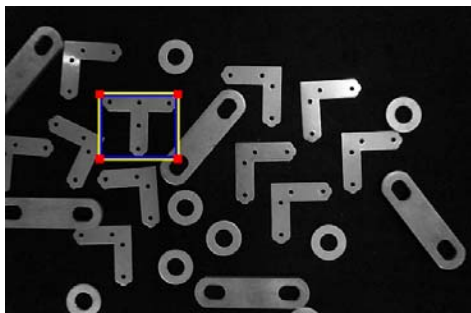
## 実用例: 工業用部品の認識



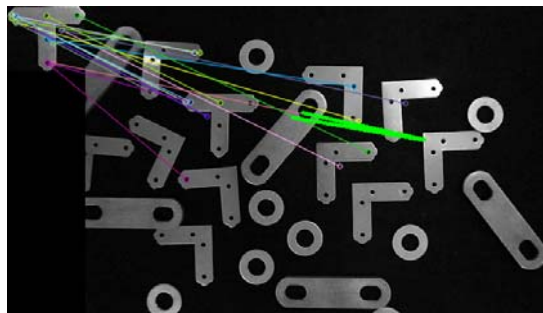
テンプレート画像  
100 × 83



入力画像 600 × 400



テンプレートマッチングの結果(ZNCC)



キーポイントマッチングの結果(SIFT)

- 工業部品系: 剛体が多い, 照明変動有り, フラットな面多い, テクスチャ少
- テンプレートマッチングが適していることが多い.



# 実用例: 道路標識の認識



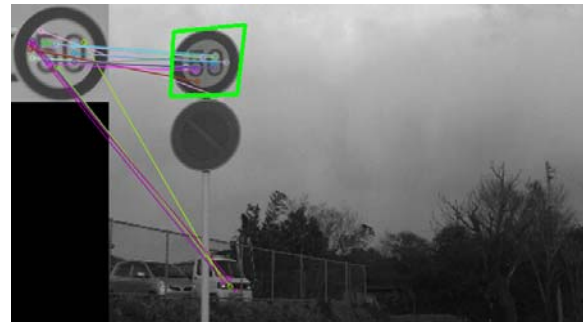
テンプレート画像  
245 × 245



入力画像 600 × 400



テンプレートマッチングの結果 (ZNCC)



キーポイントマッチングの結果 (SURF)

- 道路標識系: 射影変換ひずみが大きい.
- キーポイントマッチングが適していることが多い.



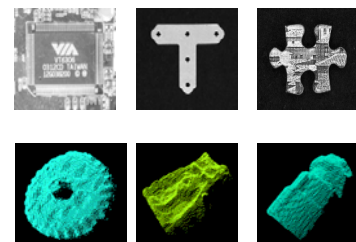
## 関連情報

### 研究室WEB

<http://isl.sist.chukyo-u.ac.jp/Archives/archives.html>

本講演資料や、  
実験用画像データを  
公開しています。

関連講演資料、TMの  
研究マップ(詳細版)、  
文献リストも公開中。



公開データ例

### Special thanks to:

資料作成に協力してくれた研究室のメンバー



D1 秋月秀一



M2 櫻本泰憲



M2 永瀬誠信



M1 有賀治樹



M1 武井翔一



M1 渡邊瞭太



B4 大野広揮



# 参考文献 (テンプレートマッチング技術)①

- [Rosenfeld1976] A.Rosenfeld and A.C.Kak : "Digital Picture Processing", Second Edition, Academic Press, Inc., Vol.2, pp.296-302 (1976).
- [Kaneko2002] S.Kaneko, I.Murase and S.Igarashi : "Robust image registration by increment sign correlation", Transactions on Pattern Recognition, Vol.25, No.10, pp.2223-2234 (2002).
- [Ullah2001] F.Ullah, S.Kaneko and S.Igarashi : "Orientation Code Matching for Robust Object Search", IEICE transactions on information and systems, Vol.E84-D, No.8, pp.999-1006 (2001).
- [Sato2001] 佐藤雄隆, 金子俊一, 五十嵐悟, 丹羽義典, 山本和彦 : "Radial Reach Filterによるロバスト物体検出", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.101, No.204, pp.15-22 (2001).
- [Tanimoto1975] S.L.Tanimoto and T.Pavlidis : "A Hierarchical Data Structure for Picture Processing", Computer Graphics and Image Processing, Vol.4, No.2, pp.104-119 (1975).
- [Nagle1972] R.N.Nagle and A.Rosenfeld : "Ordered Search Techniques in Template Matching", Proceedings of the IEEE, Vol.60, No.2, pp.242-244 (1972).
- [Barnea1972] D.I.Barnea and H.F.Silverman : "A class of algorithms for fast digital image registration", IEEE Transactions on Computers, 21, pp.179-186 (1972).
- [Hashimoto1992] M. Hashimoto, K. Sumi, Y. Sakae and S. Kawato : "High-Speed Template Matching Algorithm using Information of Contour Points", Systems and Computers in Japan, Vol.23, No.9, pp.78-87 (1992).
- [Hashimoto2011] 橋本学, 奥田晴久, 鷺見和彦, 藤原孝幸, 奥水大和 : "濃度共起確率に基づくユニークな画素群を用いた高速画像マッチング", 電気学会論文誌D, Vol.131, No.4, pp.531-538 (2011).
- [Shakunaga2005] T.Shakunaga, Y.Matsubara and K.Noguchi : "Appearance Tracker Based on Sparse Eigentemplate", Proceedings of International Conference on Machine Vision and Applications (MVA2005), pp.13-17 (2005).
- [Mita2005] 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", 電子情報通信学会誌D-II, Vol.J88-D-II, No.8, pp.1614-1623 (2005).
- [wata2009] 岩田健司, 佐藤雄隆, 尾崎竜史, 坂上勝彦 : "統計的リーチ特徴法に基づくロバスト背景差分", 電子情報通信学会誌D, Vol.J92-D, No.8, pp.1251-1259 (2009).
- [Saito2013] 斎藤正孝, 橋本学 : "濃度共起分析に基づく安定画素テンプレートを用いた照明変動にロバストな高速画像照合", 電気学会論文誌C, Vol.133, No.5, pp.1010-1016 (2013).
- [Akizuki2013] 秋月秀一, 橋本学 : "最適配置された画素群の濃度共起発生確率に着目した画像のテクスチャ量にロバストな照合手法", 電気学会論文誌C, Vol.133, No.10, pp.1943-1949 (2013).
- [Saito2013] 斎藤正孝, 橋本学 : "濃度変動分析を用いた外乱画素の確率的推定に基づくロバスト画像照合", パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU), Vol.113, No.346, pp.43-48 (2013).
- [Ohno2014] 大野広輝, 櫻本泰憲, 斎藤正孝, 橋本学 : "一枚のテンプレートで位置検出とマルチクラス識別を同時に実現するマッチング手法", 動的画像処理実用化ワークショップ (DIA2014), OS1-3, pp.11-16 (2014).
- [Hashimoto2013] 橋本学 : "テンプレートマッチングの魅力 ~物体検出・位置決め定番技術~, 第19回画像センシングシンポジウム (2013).



# 参考文献 (テンプレートマッチング技術)②

- [Hashimoto2013] 橋本学 : "参照データの戦略的スリム化に基づく高速画像マッチング ~テンプレートマッチングの高度化技術~, パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU), Vol.113, No.346, pp.29-32 (2013).
- [Li1986] X.Li, M.Ferdousi, M.Chen and T.T.Nguyen : "Image matching with multiple templates", Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.610-613 (1986).
- [Barrow1977] H.G.Barrow, J.M.Tenenbaum, R.C.Bolles and H.C.Wolf : "Parametric correspondence and chamfer matching: Two new techniques for image matching", Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Vol.2, pp.659-663 (1977).
- [Tubbs1989] J.D.Tubbs : "A Note on Binary Template Matching", Pattern Recognition, Vol.22, No.4, pp.359-365 (1989).
- [Hinterstoisser2010] S.Hinterstoisser, V.Lepetit, S.Ilic, P.Fua and N.Navab : "Dominant Orientation Templates for Real-Time Detection of Texture-Less Objects", Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.2257-2264 (2010).
- [Koutaki2011] 上瀧剛, 内村圭一 : "明るさ変動および雑音に頑健な固有値分解テンプレート法", 電気学会論文誌C, Vol.131, No.9, pp.1625-1632 (2011).
- [Ballard1981] D.H.Balload : "Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes", Pattern Recognition, Vol.13, No.2, pp.111-122 (1981).
- [Goshtasby1984] A.Goshtasby, S.H.Gage and J.F.Bartholic : "A two-stage cross correlation approach to template matching", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), Vol.PAMI-6, No.3, pp.374-378 (1984).
- [Margalit1988] A.Margalit and A.Rosenfeld : "Reducing the Expected Computational Cost of Template Matching using Run Length Representation", Technical report of CfAR Univ. of MD., CAR-TR-406 (1988).
- [Okuda2004] 奥田晴久, 橋本学, 鷺見和彦, 佐々木和則 : "部分テンプレート組み合わせ最適化に基づくロバスト画像照合", 電気学会論文誌C, Vol.124, No.3, pp.629-636 (2004).
- [Hayashi2001] 林健太郎, 橋本学, 鷺見和彦 : "頑健性と精緻性を備えた顔特徴点追跡による顔方向推定", 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J84-D-II, No.8, pp.1762-1771 (2001).
- [Ojala1994] T.Ojala, M.Pietikainen and D.Harwood : "Performance evaluation of texture measures with classification based on Kullback discrimination of distributions", Proceedings of International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Vol.I, pp.582-585 (1994).
- [Hinterstoisser2010] S.Hinterstoisser, V.Lepetit, S.Ilic, P.Fua and N.Navab : "Dominant Orientation Templates for Real-Time Detection of Texture-Less Objects", Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.2257-2264 (2010).
- [Koutaki2011] 上瀧剛, 内村圭一 : "固有値分解テンプレートによる高精度な画像照合", 電気学会論文誌C研究開発レター, Vol.131, No.1, pp.237-238 (2011).
- [Murase2000] 村瀬一朗, 金子俊一, 五十嵐悟 : "増分符号相関によるロバスト画像照合", 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J83-D-II, No.5, pp.1323-1331 (2000).
- [Murase1998] 村瀬洋, V.V.Vinod : "局所色情報を用いた高速物体探索—アクティブ探索法—", 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J81-D-II, No.9, pp.2035-2042 (1998).
- [Hirooka1996] 広岡美和子, 鷺見和彦, 橋本学, 奥田晴久, 黒田伸一 : "階層化分散テンプレートマッチング手法", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 講演論文集, pp.II-325-330 (1996).
- [Hashimoto1991] 橋本学, 鷺見和彦, 坂上義和, 川戸慎二郎 : "輪郭点情報を用いた高速テンプレートマッチングアルゴリズム", 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J74-D-II, No.10, pp.1419-1427 (1991).



## 参考文献 (テンプレートマッチング技術)③

- [Hashimoto1995] 橋本学, 鷲見和彦, 広岡美和子, 奥田晴久: “自己相関マップ最適化に基づく分散テンプレート選択手法”, 電子情報通信学会春季全国大会, p.330 (1995).
- [Cristinacce2006] D.Cristinacce and T.Cootes: “Facial Feature Detection and Tracking with Automatic Template Selection”, Proceedings of IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG), pp.429-434 (2006).
- [Matsubara2005] 松原康晴, 尺長健: “疎テンプレートマッチングとその実時間物体追跡への応用”, CVIM論文誌, Vol.46, No.SIG09, pp.60-71 (2005).
- [Hashimoto2009] 橋本学, 奥田晴久, 鷲見和彦: “画像の濃度共起情報に基づく画像照合のための参照画素選択手法”, コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol.2009-CVIM-169, No.43, pp.1-8 (2009).
- [Sakuramoto2013] 櫻本泰憲, 斎藤正孝, 橋本学: “テンプレートマッチングにおける類似物との識別に有効な画素選択手法”, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会 (CVIM), Vol.2013-CVIM-187, No.25, pp.1-8 (2013).
- [Sakuramoto2013] Y.Sakuramoto, M.Saito and M.Hashimoto: “Object Detection using Effective Pixels for Distinguishing from Similar Objects”, Proceedings of International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT), T1A-4, pp.1-6 (2013).



## 参考文献 (キーポイントマッチング技術)①

- [Lowe2004] D.G.Lowe: “Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints”, International Journal of Computer Vision (IJCV), Vol.60, No.2, pp.91-110 (2004).
- [Bay2006] H.Bay, T.Tuytelaars and L.V.Gool: “SURF: Speeded Up Robust Features”, Proceedings of European Conference on Computer Vision (ECCV), pp.404-417 (2006).
- [Rublee2011] E. Rublee, V. Rabaud, K.Konolige and G. Bradski: “ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF”, Proceedings of International Conference on Computer Vision (ICCV), pp.2564-2571 (2011).
- [Stein2005] A.Stein and M.Hebert: “Incorporating background invariance into feature-based object recognition”, Workshop on Applications of Computer Vision (WACV), Vol.1, pp.37-44 (2005).
- [Leutenegger2011] S.Leutenegger, M.Chli and R.Y.Siegwart: “BRISK: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints”, Proceedings of International Conference on Computer Vision (ICCV), pp.2548-2555 (2011).
- [Calonder2010] M.Calonder, V.Lepetit, C.Strecha and P.Fua: “BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features”, Proceedings of European Conference on Computer Vision (ECCV), pp.778-792 (2010).
- [Alahi2012] A.Alahi, R.Ortiz and P.Vandergheynst: “FREAK: Fast Retina Keypoint”, Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.510-517 (2012).
- [Mikolajczyk2005] K.Mikolajczyk and C.Schmid: “A Performance Evaluation of Local Descriptors”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), Vol.27, No.10, pp.1615-1630 (2005).
- [Rosten2006] E.Rosten and T.Drummond: “Machine Learning for High-speed Corner Detection”, Proceedings of European Conference on Computer Vision (ECCV), pp.430-443 (2006).
- [Ambai2011] M.Ambai and Y.Yoshida: “CARD: Compact and Real-time Descriptors”, Proceedings of International Conference on Computer Vision (ICCV), pp.97-104 (2011).
- [Ke2004] Y.Ke and R.Sukthankar: “PCA-SIFT: A More Distinctive Representation for Local Image Descriptors”, Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Vol.2, pp.II-506-II-513 (2004).
- [Harris1988] C.Harris and M.Stephens: “A combined corner and edge detector”, Proceeding of the 4th Alvey Vision Conference, Vol.15, pp.147-152 (1988).
- [Smith1997] S.M.Smith and J.M.Brady: “SUSAN - A New Approach to Low Level Image Processing”, Internal Journal of Computer Vision (IJCV), Vol.23, No.1, pp.45-78 (1997).
- [Lowe1999] D.G.Lowe: “Object Recognition from Local Scale-Invariant Features”, Proceeding of International Conference on Computer Vision (ICCV), Vol.2, pp.1150-1157 (1999).
- [Oerlemans2008] A.Oerlemans and M.S.Lew: “Interest Points based on Maximization of Distinctiveness”, Multimedia Information Retrieval (MIR), pp.202-207 (2008).
- [Morel2009] J.M. Morel and G.Yu: “ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Comparison”, Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM) Journal on Imaging Sciences, Vol.2, No.2, pp.438-469 (2009).





## 参考文献（キーポイントマッチング技術）②

[Gevrekci2009] M. Gevrekci and B.K. Gunturki : “Illumination robust interest point detection”, Computer Vision and Image Understanding (CVIU), Vol.113, No.4, pp.565-571 (2009).

[Takacs2010] G. Takacs, V. Chandrasekhar, S. Tsai, D. Chen, R. Grzeszczuk and B. Girod : “Unified Real-Time Tracking and Recognition with Rotation-Invariant Fast Features”, Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.934-941 (2010).

[Yuasa2013] 湯浅圭太, 和田俊和, 大池洋史, 坂田淳 : “DiverseDensityに基づく画像データ検索用キーポイント抽出法について”, パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU), Vol.112, No.385, pp.87-92 (2013).

