

cvpaper.challenge in CVPR2015

CVPR2015 のまとめ

片岡裕雄[†] 宮下侑大^{††,†} 山辺智晃^{††} 白壁奏馬^{†,†††} 佐藤晋一^{††}
星野浩範^{††} 加藤遼^{††} 阿部香織^{††} 今成隆了^{††} 小林直道^{††}
森田慎一郎^{††} 中村明生^{††}

[†] 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

^{††} 東京電機大学

^{†††} 筑波大学

E-mail: †hirokatsu.kataoka@aist.go.jp

あらまし cvpaper.challenge は産総研・東京電機大学・筑波大学のメンバーで構成される合同グループであり、コンピュータビジョンやパターン認識分野の論文を体系的にまとめることを目的としている。今回は 2015 年 6 月に開催されたトップ会議である CVPR2015 にて発表された 602 件の論文を読破しまとめることで、現在のコンピュータビジョン分野の動向を把握する。

キーワード cvpaper.challenge, CVPR2015, サーベイ, コンピュータビジョン, パターン認識

cvpaper.challenge in CVPR2015

A review of CVPR2015

Hirokatsu KATAOKA[†], Yudai MIYASHITA^{††,†}, Tomoaki YAMABE^{††}, Soma SHIRAKABE^{†,†††},
Shin'ichi SATO^{††}, Hironori HOSHINO^{††}, Ryo KATO^{††}, Kaori ABE^{††}, Takaaki IMANARI^{††},
Naomichi KOBAYASHI^{††}, Shinichiro MORITA^{††}, and Akio NAKAMURA^{††}

[†] National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

^{††} Tokyo Denki University

^{†††} University of Tsukuba

E-mail: †hirokatsu.kataoka@aist.go.jp

Abstract The “cvpaper.challenge” is focusing on reading top conference papers in the fields of computer vision, image processing, pattern recognition and machine learning. In this challenge, we simultaneously read papers and create documents for easy understanding top conference papers in Japanese. The first challenge is to completely read the CVPR2015 papers. The conference includes the 602 papers which are there main themes such as recognition, 3D, imaging/image processing.

Key words cvpaper.challenge, CVPR2015, Survey, Computer Vision, Pattern Recognition

1. はじめに

cvpaper.challenge(シーブイペーパー ドット チャレンジ)は主にコンピュータビジョンやパターン認識分野の論文を読むた

めの合同プロジェクトである^(注1)。現在、構成員の所属は産業技術総合研究所、東京電機大学、筑波大学と組織の枠を超えて

(注1): 論文情報や資料を公開している。Twitter@CVpaperChallenge:
<https://twitter.com/CVpaperChalleng>, SlideShare@cvpaper.challenge:
<http://www.slideshare.net/cvpaperchallenge>

おり約 10 名でプロジェクトを推進している。国際会議論文を読む、という行為は自らの研究の立ち位置を把握するのみならず、世界中の研究者のアイデアや研究手法を知識として捉えるなど、様々なメリットがあることは自明である。知識のインプットは重要であるが、研究室の学部生や大学院生(特に修士課程学生)にとっては授業・研究時間とのトレードオフや研究への経験が多くなく多大な労力と時間を要すること、研究者や技術者は多忙な傾向にある、専門外の人々にとってはコンピュータビジョン分野の研究論文になじみがなく、読解に時間を要するという実情がある。このような現実を多少なりとも改善するため、日本語として知識を体系化し、共有すれば先端技術を比較的容易に把握できると信じ、論文の多読とまとめ、共有に取り組むこととする。コンピュータビジョンやパターン認識の分野においては、IEEE が主催する CVPR (IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition) がトップ会議として知られている。CVPR は毎年米国にて開催される会議であり、採択率は例年 20%代、突破することは非常に困難な会議であるため、必然的に論文のクオリティも高度になる。また、CVPR ではコンピュータビジョンやパターン認識などにおける各分野の論文を網羅しているという特徴もある。一方、世界的な視点で見てみると著名な研究者や研究グループの中にはトップ会議の論文をほぼ全て網羅し、動向を把握した上で研究テーマの設定を行うという実例も存在する。日常的に最先端技術を把握し、研究室内で議論を交わすことにより研究を設定する精度を高めているように感じる。さらにトップ会議のサーベイは、研究するためのツールを収集するためにも不可欠であると言える。そのため、著者らはトップ会議の論文を把握することが、現在のコンピュータビジョンやパターン認識における最新動向を理解するための最良の方法であると信じ、取り掛かりとして CVPR2015[1]-[602] に採択された全論文 602 本を読破し、動向をまとめることにした。本稿では、cvpaper.challenge の最初の取り組みとして行った CVPR2015 の全論文読破のまとめを記載することとする。ここでは CVPR2015 の特徴、さらには 3 つの項目 - 認識 (Recognition), 3 次元 (3D), イメージングや画像処理 (Imaging / Image processing) - の動向や有力手法について述べ、提案されたデータセットや新規の問題設定について列挙し、最後にまとめと今後について記述する。なお、本稿では主に研究動向の把握であり、602 本の論文すべてを詳細にカバーすることは困難であることに注意されたい。

2. 関連する取り組みと位置付け

ユーザインタフェースにおいてトップの国際会議である CHI (ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems) を一日で読破する CHI 勉強会が挙げられる [603]。2015 年は東京会場と北海道会場が連携して開催され、遠隔会議システムにより CHI2015 の論文 485 本を一日で読破した。講演者は一人一セッションを担当し、一つの論文を約 30 秒で紹介することになっている。CHI 勉強会は 2006 年からスタートし、2015 年で 10 回目を数える。ユーザインタフェースの分野においては非常に有効な取り組みであり、CHI2015 では日本人が複

数の Best Paper Honorable Mention を獲得するなど、分野の発展が目覚ましい。

昨今ではコンピュータビジョン勉強会 (関東 [605] 関西 [606] 名古屋 [607]) において CVPR, ICCV, ECCV 読み会、機械学習においても NIPS, ICML 読み会などが開催されている。

このような流れの中、筆者らは論文紹介を聴講するのみならず「プロジェクト内で国際会議に含まれる全ての論文を読破し、動向をまとめる」ことにフォーカスする。すべて把握するという意味では CHI 勉強会がその役割を担っている。しかし、研究分野の方向性を把握するためには特定の論文に限定せず網羅的に論文を読むことや読んだ後の議論が非常に重要であり、すべての論文を読破し内容を把握した少人数が議論を交わすことにより方向性を定めることができると考える。

3. CVPR2015 での動向

本稿では大項目として (i) 認識 (Recognition), (ii) 3 次元 (3D), (iii) イメージング/画像処理 (Imaging/Image Processing) に 3 分類する。各分類について詳細に記載する前に、論文タイトルやオーラルに採択された論文から見た側面や特徴について説明する。

3.1 論文タイトルから見た CVPR2015

図 1 に単語可視化サービスである Wordle [608] を用いた可視化を示す。単語の出現回数が重み付けされ、文字の大きさに反映されているため、サイズの大きな文字ほど高頻度であることを示す。Image の頻度がトップなのはもちろんであるが、今回は Deep, Learning, Object, Recognition などが非常に多いことがわかる。ここからわかるように、CVPR2015 では何といても深層学習 (Deep Learning; DL) が画像認識に用いられていた。CVPR2015 の論文内で検索を行った結果、ヒットした論文は 602 本のうち約 250 件であった。約 40% の論文にて深層学習を用いている、もしくは背景部分に深層学習の説明が含まれているということであった。深層学習の主な用途は物体認識 (Object Recognition: 画像が与えられた時に識別を行う問題) であったが、R-CNN (Region-based Convolutional Neural Networks) [609] が登場してからは物体検出 (Object Detection: 画像が与えられた時に、位置も含めて識別を行う問題) にも注力されるようになった。また、検出や識別が高精度になったため、さらに難しい問題であるセグメンテーション (Segmentation: 物体の領域をピクセル毎に求める問題) に挑戦する問題が増えた。一方で、Best Paper Award を獲得した手法は DynamicFusion [38] という、高精細な 3 次元モデルをリアルタイムで構成するというものであった。KinectFusion [610] からさらに高精細に再構成が行えるにも関わらず、リアルタイムに非剛体のモデルが更新されていくという部分が評価された。Reconstruction や Depth, Shape などというワードが出現しているように 3 次元研究も確実に進んでいる。また、ステレオマッチングや 3 次元特徴量にも深層学習が取り入れられるようになり、深層学習の拡大は進んでいる。イメージング技術においても、デプラーやセンシング技術がアップデートされておりこちらにも深層学習による特徴抽出が適用されている例も見ら

れる．入力は2種類-RGB画像とモーション画像であり，各入力から畳み込まれた特徴量は出力層にて統合され，上位複数のアトリビュートを出力する．データには混雑状況下における94種類のアトリビュート (e.g. outdoor, pedestrian, stand) が含まれる．「どこで」「どのような人物が」「何をしているか」などの状況を説明するタグを返却するため，各認識の問題を同時に解決していると言える．また，CNNの各層の特徴量を可視化する研究[562]も見られ，ますます深層学習の理解が進んでいる．[562]では，SIFTやHOGについても汎用的に可視化することができるフレームワークであると主張している．認識分野のオールラウンドで顕著だった例といえば，画像生成文(画像説明文)の「Images and Language」である．画像生成文とは，ある画像を入力するとその画像を説明する文章を出力する方法のことである．近年では認識の性能，自然言語処理の研究が進んできたことにより研究レベルが向上している．手法としては画像認識のみならず画像とテキストの特徴空間対応付け，最近ではCNNやRecurrent Neural Networks (RNN)の組み合わせが挙げられる．今回のCVPRでも，CNN+RNNにより画像生成文を実現している例[339],[342]も見られる．[285]においてもCNN+RNNを使用しているが，動画像に対して人物行動や使用している物体の説明文を生成している．また，人間が生成した文章から画像の曖昧性の無さを指標としたImage Specificity [296]や，視覚的な直観を画像生成文に導入するLinらの手法[324]が提案された．オールラウンドではないが，画像生成文に関してはコンセンサスペースの評価方法としてより人間の感性に近づけたCIDEr [254]や動画像生成文のデータセットであるMPII Movie Description Dataset [347]，段階的に画像識別により抽出されたワードを次のステップでセンテンス生成，さらにはセンテンスのランク付けにより上位のものを出力結果として扱う手法[161]なども提案されている．「Action and Event Recognition」は，現在までの人物行動認識の拡張やSaliencyに関するセッションであった．Shuらはドローン(UAV; unmanned aerial vehicles)を用いて上空から撮影し人物動線抽出やそのグループ行動を認識した[495]．時系列のイベントを認識するためにSpatiotemporal And-Or Graph (ST-AOG)を適用して動画内でのルールを学習した．Fernandoらは動画内で徐々に変化する行動をとらえるための仕組みとしてVideoDarwinを提案した[583]．VideoDarwinでは時系列行動の順序をRankSVMによりランク付けして把握することで，似たような時系列行動 (e.g. fighting, cooking) の場合には似たような順序で行動が生起することを明らかにし，行動認識の精度を向上させた．Maらは行動認識のパーツ毎の階層を木構造の統合により表現した[544]．パーツは時系列でしかもパーツ毎のセグメントとして情報を保持している．Saliencyに関してKhatonabadiらの手法[596]やParkらのSocial Saliency Prediction [517]が提案された．[596]では画像圧縮の手法を参考にし，情報量を減らしつつSaliencyやセグメンテーションを実現する手法である．Social Saliency Prediction [517]は複数の人物の視線の向きから注目が集まる領域を推察した．その他では，特徴記述子(プーリングのフレームワークをSIFTの

記述子に導入し，複数種類のスケールを跨いで特徴を蓄積する仕組みをSIFTに導入したDSP-SIFT [552])や境界検出[510],[554]などが挙げられる．

3.2.2 3次元

DynamicFusion [38]を筆頭に，新しい手法が提案されている．DynamicFusionはKinectなどにより得られた距離画像を時系列で統合してより精細な3次元形状復元をリアルタイムで行う手法である．フレーム間のカメラ移動によるモデル統合や表面形状の位置合わせ誤差の最小化をフレーム毎に行っている．SUN RGB-D [62]では，屋内空間を3次元で捉えた大規模データセットとして提案された．総計で10,335枚ものRGB-D画像を取得しており，Scene Categorization・Semantic Segmentation・Object Detection・Room Layout Estimation・Total Scene Understandingといった3次元シーン認識における重要な課題を提供している．3次元モデルを用いたオクルージョンの研究も進んでおり，Xiangらは3D Voxel Pattern (3DVP)を用いて3次元的な検出に取り組み，モデルベースの手法でオクルージョンや欠損が生じた物体に対してもその抜けている部分まで含めて検出可能にした．60%以上のオクルージョンに対しても高精度に認識ができるようになった．より大規模な3次元空間を扱った研究としては，HeinlyらのReconstructing the World in Six Days (世界を6日で作る)が挙げられる[356]．flickrに存在する世界のランドマークを撮影した1億枚の画像をworld-scale structure-from-motion (WS-SfM)により3次元再構成問題を解いている．Allainらは表面形状の3Dトラッキングにおいては内的な変化や物体そのものの変化を捉えているわけではないという指摘のもとで3次元物体そのものの，体積まで含めた追跡手法を提案した[30]．ボロノイ分割を用いた体積推定により，内部構造まで含めて等間隔な推定を高速に処理した．Hengeらは複数画像から取得されたシルエットを用いて意味のある3次元モデルパーツ毎の分解を実現した[96]．内的な構造とスパース性を考慮し，3次元としての大規模なパーツの辞書を構築する．3次元の構造はBlock World [611]により表現した．RicherらはShape-from-Shadingを識別的に解く方法を提案した[123]．制約されている環境下では汎用性に欠けるという指摘から，Shape-from-Shadingの研究をより一般化するために，照明を整えていない環境において予めトレーニングセットから形状を復元するためのregression forestsを生成する．形状復元の際には[612]のTexton，そしてシルエットを入力とすることで形状復元を実現している．識別的な枠組みにすることにより，複数の特徴をRegression Forestsにより組み合わせる．AlblらはSfMやカメラ位置推定，オドメトリを推定する際に重要とされているPerspective-n-point problem (PnP問題)を，グローバルシャッターのみならずローカルシャッターにおいてもうまく動作する仕組みを考えた[249]．グローバルシャッターでは一度光を当てることにより像を結ぶが，ローカルシャッターにおいては微小に異なる時間軸で記録される．このため，時間の微小な違いによる歪みを取り除く必要がある．提案手法では，従来型であるP3Pを改良するNon-iterative minimal solution to the rolling shutter absolute pose (RnP)

を提案することであり、複数のロールシャッターモデルについて多項式を解くことにより対応点マッチング問題を解決する。また、回転行列が arbitrary であるという問題点があったので、提案法ではさらに、密に回転行列を計算する手法 R6P を提案した。Song らは単眼車載カメラから自動車の 3 次元位置を推定する手法を考案した [404]。SfM (Structure from Motion) の精度を高めるための手がかりとして、3 次元点群や路面情報を取得しただけでなく、車両検出の 3 次元バウンディングボックスや検出スコアを返却することで 3 次元位置推定の精度を向上させている。Kulkarni らは 3 次元モデリングの確率的な表現である Picture (Probabilistic Programming Language) を提案し、より複雑な生成モデルを表現できるようにした [475]。具体的には人物の顔や姿勢、3 次元物体のような入力画像との 3 次元マッチング問題に対して適応的にモデルを生成し、フィッティングを実行する。特徴表現は CNN や輪郭、人物姿勢のスケルトン、ピクセル値など場面に合わせて変更する。Wang らは GPS からの位置情報を各画像の事前情報として屋外環境における 3 次元のシーン認識を行う [429]。Conditional Random Field (CRF) を適用することにより 3 次元情報に対するセグメントとその意味づけを行う。地図情報としてはオープンソースである OpenStreetMaps を用いた。実験は KITTI データセットに対する処理を行い、ベースラインよりも高い精度で 3 次元環境におけるラベル付けができていないことを示した。Barron らは最適化手法を考案することにより、効果的な視差画像の生成を実現した [483]。デフォーカスや Fast Bilateral Filter を利用することで全ての対応点を計算する必要がない。Bilateral Filter はエッジ部分を保存するので、直観的にはステレオマッチングにて最重要と思われるエッジ部分に対して密に処理をするのみで高精細な視差画像ができる。Wang らは 2 次元スケッチから 3 次元のモデルを検索する手法を考案した [204]。1 サンプルの 3 次元モデルから複数視点から見たようなスケッチ画像を生成し、入力スケッチ画像との比較により 3 次元モデルを検索、ユーザに提示する。特徴には Siamese モデルによる CNN を適用した。Brubaker らは電子低温顕微鏡を用いた低解像度画像から高解像度の 3 次元分子モデルの再構成を実現した [336]。タンパク質やウイルスといった 3 次元の分子構造を発見することは生物学的にも医学的にも重要であるが、低解像度であることから高解像度の 3 次元モデリングは困難である。この問題に対して MAP 推定による最適化と Cryo-EM 密度推定を用いることにより固有の初期化を行わずに高解像度の再構成の計算処理を可能とした。Chin らは RANSAC のようなロバストマッチングの改善を、A*search による最適化により実現した [262]。

3.2.3 画像処理/イメージング

画像処理やイメージングに関しては、新規の設定にて研究を展開している例が見られた。Tanaka らは鉛筆のスケッチや絵の具のペインティングなど物理的に複数のレイヤに分かれている絵画などを分解する研究を発表し [592]、より下の層にある成分を抽出することを可能とした。赤外線のみだと分解することができないのでプロジェクトを設置、しかもパターンが異なる成分で光を取得することにより異なる成分が分解で

き、複数レイヤに分けることを可能とした。2 次元画像において効率的な border ownership (境界線がどこにあるか、その領域は背景と前景のどちらに所属するか) を求める問題も [554] にて提案された。この問題に対して、structural random forests (SRF) を用いることにより分離に取り組んだ。提案手法である SRF は計算時間を短縮しただけでなく、精度の面でも向上した。320x240 ピクセルの画像に対して約 0.1 秒で処理可能である。フォトメトリックステレオに関してコントロールされた光源ではなく、自然光の下でフォトメトリックステレオを実現する問題も提案された [489]。屋外環境にてフォトメトリックステレオを適用するために、太陽光の光源推定をわけであるが、実験環境の空間を半球と仮定し GPS のタイムスタンプを事前情報とした。表面形状の法線は MRF の最適化により求める。30 分ごとに長時間観測したことで one-day と名付けられていると考えられる。また、太陽光の分散を考慮した光源推定に成功した。入力画像や動画から距離画像を推定する問題はいくつか提案されているが、霧がかった画像から画像の補正問題と距離画像推定問題を同時に解決する論文も提案された [540]。霧をノイズとして、動画から SfM 的に距離画像を推定する関数を設定し、両者の最適化を同時に実行することでこの問題を解決した。ごま塩ノイズ除去の問題に対して、L0-norm 最適化により解決する方法も提案された [582]。L0-norm を最小化することでエッジ情報を損なわずノイズ除去できることが判明した。超解像画像についての研究もオーラルで取り上げられている [563]。Self-similarity based Super-resolution を用いているが、アフィン変換パラメータと局所的な形状のバリエーションを同時に推定する。外的/内的 (Self-similarity) な辞書との比較を行うことで、鮮明な画像に対応付ける。材料の性質について振動を計測して識別するという問題設定も提案された [578]。材料の性質はシーン認識にとって重要な課題であると述べており、振動メカニズムの解析が材質評価の鍵であると位置付けた。そのため、微小な画像のモーションを解析するが、複数の生地やロッドを部屋の音や空気による振動を利用して計測する。同時にスピーカーからの音声による振動も同時に解析し、画像観測による周波数やスペクトル解析を行った。実験の結果、材質と振動解析の結果に高い相関があることが判明した。

3.2.4 CVPR オーラルについて

国際会議はオーラル発表 (oral) とポスター (poster) 発表に分かれているのが通例である^(注2)。一般的にオーラル発表は会議に参加した全ての人に聞かせるために企画され、ポスター発表では少人数で密に議論するために行われる。そのため、オーラル発表は分野の成果を大きく伸ばしたと認められる論文やインパクトのある論文に対して選定するケースが多い。今回、CVPR のオーラルは 71 件であり、投稿数が 2123 であったので、その採択率は 3.3% である。先に述べた通り、査読を突破すること自体が難関であるため、オーラルともなるとその競争率は激しい。CVPR2015 の全論文 [1]-[602] を通して感じたことは、

(注2): CVPR2015 ではオーラルに採択された論文はオーラル発表の後にポスター発表もしている。

オーラルに採択されるような論文には主に「新規の問題設定をしている」「新しく効果的な手法を提案している」という二つの特徴があることが判明した。もちろん、この限りではなく従来法の単純な改良が採択されることもあるが、広く周知されるべき論文は上記の二つの特徴のうちどちらか、もしくは両側面を持ち合わせている場合が多い。ここで、この二つについてさらに詳細に記載する。

- 新規の問題設定をしている

従来の問題の改良ではなく、新しい問題を創る側の論文である。コンピュータビジョン分野で有名な問題設定としては ImageNet [613] データセットを用いたコンテスト ILSVRC (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge) が挙げられる。ILSVRC は画像による一般物体認識を想定しており、1000 クラスから構成されるクラス分類を実施する。入力画像にタグ付けされた物体名を Top-5 の中から当てる問題であり、近年では AlexNet [614] が提案されるなど、画像における Deep Learning の火付け役にもなった。今回でいうと SUN RGB-D [62] や WWW crowd dataset [504] が該当する。SUN RGB-D は文字通りシーン認識である SUN dataset [615] の拡張版であり、屋内環境における 3 次元のシーン認識のみならずセグメンテーションや物体検出、レイアウト認識など多種の識別問題を提起している。一方で WWW crowd dataset は混雑状況下における複数アトリビュート (属性) 推定問題を設定しただけでなく、複数アトリビュートを推定する深層学習のアーキテクチャも新規に提案し大規模データセットを新規に提案した。複数人物の体向きから注目度を投影する Social Saliency [517], CNN を用いたモーフィング問題 [168], データセット拡張 (Open World) [206], 地上画像-空撮画像の対応付け [542] なども挙げられる。

- 新しく効果的な手法を提案している

従来の問題設定ではあるが、非常に有効な手法を提案した論文もオーラル発表として採択されている。DynamicFusion [38] は KinectFusion [610] からの拡張であると位置づけられたが、動的かつ高精度な 3 次元モデルを構成可能とし、人物の高精細モデルをリアルタイムに再構成した。深層学習においては、ILSVRC2014 の識別部門にて優勝した GoogLeNet [1], R-CNN [609] の改良版 [28], 3 次元特徴量の取得に CNN を適用した 3D ShapeNets [208], 全結合層の出力をセマンティックセグメンテーション結果にするネットワークアーキテクチャ [372] などが挙げられる。その他、複数種類の手がかりから SfM の精度を向上させる論文 [404], 全ての画像サイズの特徴をプーリングする仕組みを SIFT に導入した DSP-SIFT [552], オプティカルフローの改良 [127], [130], 大規模空間の再構成 [356] や微小物体の再構成 [336] などが挙げられる。これらの手法は、いずれも問題を解決するための効果的な手法であり、他分野にまで用いられる可能性もある。

3.3 分野別に見た CVPR2015

前節まではタイトルやオーラルに採択された論文という側面から CVPR2015 を見てきたが、本節においては分野毎にさらに詳細に論文を列挙する。オーラル・ポスター発表関係なくま

とめることで、現在のコンピュータビジョン分野の傾向を把握する。

3.3.1 認識

- 深層学習アーキテクチャ

CNN のアーキテクチャ自体を改良することは精度に直結する仕組みである。全体の構造を考案する論文のみならず、問題に合わせた構造やパラメータ調整、アーキテクチャの評価まで挙げることにする。まず、全体構成から考案した論文は GoogLeNet [1], DeepID-Net [261] がある。DeepID-Net に関しては GoogLeNet と同様に ILSVRC2014 にて提案された手法である。Max プーリングや Average プーリングの代替として Deformation Constrained (Def) プーリングを用いることで、DPM (Deformable Part Model) [616] のような形状や位置の変化に対する表現能力を向上し、物体検出の精度向上に貢献した。カメラの写り方、配置や姿勢の変動に頑健な物体の特徴表現が可能である。既存の手法を CNN の枠組みで試行した例も複数存在する [48], [93], [405]。Girshick らは CNN アーキテクチャ内に DPM [616] を組み込むという提案をした [48]。HOG による畳み込みや、そのプーリング手法である。また、それにより CNN のプーリングの仕組みを理解することができたとしている。Max プーリングの一般化として Distance Transform プーリングを適用した。この構造自体のことを DeepPyramid DPM と名付け実験を行ったが、ベースラインとなる CNN には精度の面で及ばなかった。Perronnin らは一般物体認識の分野に多大なる貢献をしてきた Fisher Vectors (FVs) と CNN の適切な組み合わせを探った [405]。FVs を取得した後で CNN による畳み込みを行い、最終的な出力を得る。この統合型のニューラルネットにより、Mid-level な特徴量を取得できると主張。AlexNet のエラー率には及ばなかったが、非常に近い精度まで近接したことを実証した。Wan らは DPM と CNN の特性的な長所を組み合わせ、さらには位置ずれの影響を修正するために Non-maximum Suppression (NMS) を実装した [93]。DPM は潜在変数にてパーツとその位置を保持する手法であり、CNN は物体認識に有効な特徴量を自動で学習できることが強みである。HOG の代わりとして CNN 特徴量を DPM に挿入し、検出の位置ずれを修正するために NMS を適用した。なお、NMS の位置ずれを誤差とみなし、誤差逆伝播法により検出や特徴抽出を最適化する。CNN の性質 [43], [47], [108] や学習の高速化 [88], パラメータを追求する取り組み [580], さらに特徴の可視化に関しても見られた [562]。[47] に関しては CNN が誤るようなパターンを自動で埋め込むと CNN が反応してしまい、脆弱性が確かめられた。画像認識の問題として、位置ずれやスケールがあるが、CNN 内でこれらに頑健にするための提案もなされた [43]。Lenc らは畳み込まれた特徴を幾何変換する Transformation layer を実装することで画像の回転に対して頑健な CNN 特徴表現とした [108]。Liu らは畳み込みに対してスパース表現を施すことで計算量を減らし、CNN の計算時間を削減することに成功した [88]。畳み込みの度に計算されるカーネルをスパースにすることにより大幅な計算時間の削減に成功し、CPU でも動作できるように改善した。He ら

は CNN アーキテクチャのパラメータに関して、構造の深さ・フィルタサイズ・ストライドなどのトレードオフについて調べた [580]。結果、認識精度には深さが重要であり他のパラメータはそれほど重要ではないことが判明した。CNN 特徴の可視化では、CNN を取り出して逆変換表現を施して CNN の特徴を可視化する手法を考案した [562]。なお、この逆変換表現は HOG や SIFT など Hand-crafted 特徴に関しても有効な可視化手法であり、HOG 特徴量を可視化する HOGgles [618] よりも鮮明に可視化できることが判明した。その他では、畳み込み層の改良 [365] やパッチの類似度を計算する手法 [355], [471], CNN の枠組みでモーフィングをする研究 [168] が挙げられる。Liang らは CNN における畳み込みのフレームワークを再帰的に畳み込む方が良い特徴を得られると主張した [365]。この構造は Recurrent Convolutional Layer (RCL) と呼ばれ、全体の構造のことを Recurrent Convolutional Neural Network (RCNN) と呼ぶ。RCL の各ニューロンでは、前の層からの入力と再帰的な入力があり、それぞれ Feed-forward Weights と Recurrent Weights により重み付けされる。MatchNet ではパッチ同士の類似度を計測する目的でアーキテクチャが構成されており、4 層の畳み込み・プーリングにより特徴を取り出すネットワークと 3 層の全結合により類似度を評価するネットワークに分割されている [355]。これらを用いた学習においては、類似度を計算するためのペア画像から Cross-entropy を最小化するように統合学習が行われる。Zagoruyko らも CNN にてパッチの類似度計算をするフレームワークを考案した [471]。ペアとなるパッチからそれぞれ畳み込みによる特徴を抽出して後半の層にて類似度を計算する。Dosovitskiy らはイスのモーフィングを CNN のフレームワーク内で実現するという研究を発表した [168]。入力にはイスのクラス・カメラビュー・変換パラメータの 3 種類であり、入力に対応するイスの 3 次元モデルが出力される。ニューラルネットの構成は最初の 5 層が全結合層、その後 4 層の Un-convolutional 層 (畳み込み層とは逆の働きをする層) を通過し 3 次元モデルを生成する。なお、後述の手法として [83], [89], [91], [92], [182], [269], [279], [287], [314], [488], [504], [542], [550], [591] など新規の深層学習アーキテクチャとして挙げられる。

- 人物認識

人物認識では顔認識 (Face Recognition), 視線推定 (Gaze Estimation), 歩行者検出 (Pedestrian Detection), 人物追跡 (Human Tracking), 姿勢推定 (Pose Estimation), 行動認識 (Action Recognition), イベント認識 (Event Recognition), 群衆解析 (Crowd Analysis), 一人称ビジョン (First Person Vision, Egocentric Vision), 人物再同定 (Person Re-identification; Re-ID) に分けて紹介する。

まず顔認識では、FaceNet が高精度な認証問題に取り組んだ [89]。近年では 2014 年に DeepFace [619] が提案され、精度を大きく向上させた。4030 人の認証問題を、約 440 万枚の学習画像 (Labeled Faces in the Wild; LFW Dataset) にて認識したところ、DeepFace は 97.25% の認識率を達成した。一方、FaceNet では同じデータセットにて 99.6% と驚異的な認識率を

実現した。FaceNet では GoogLeNet [1] のアーキテクチャから特徴量を取り出し、L2 正規化や LMNN による損失関数により最適化して最終的な特徴量を得ている。ネットワークの構造は GoogLeNet のインセプションモジュールの 5b までをくぐり抜けた特徴量を Average プーリング、全結合、L2 正規化を施した。Sun らは従来型の顔認識 DeepNet [623] を改良し、早期の畳み込み層から取り出した特徴量を適用することで特に横顔やオクルージョンに対する顔認識精度を向上させた [314]。第 4 の Max プーリング層から特徴抽出することで LFW データセットにて 99.47% の精度を達成した。視線推定では、Zhang らが視線推定のための目領域検出に CNN を用い、さらには MPII Gaze Dataset を提案した [488]。視線推定に対して全 5 層の CNN アーキテクチャを考案しただけでなく、45 日間という長期に渡り視線推定のためのデータセットを撮影したことが新規性である。歩行者検出では、CNN 特徴量と歩行者検出のためのアトリビュート特徴を組み合わせることにより精度を高めた [550]。歩行者/背景の学習のみならず、例えば歩行者と環境の位置関係などを属性 (アトリビュート) として渡すことにより歩行者検出の精度を向上させた。Honsang らは歩行者検出に対して CNN を用いた特徴評価を実施した [441]。CNN のレイヤー数やフィルタサイズ、トレーニングデータなどの項目について検討し、学習には Caltech Pedestrian Detection Benchmark [624] や KITTI Dataset [625] を適用した。学習サンプルが少ない場合には層の浅い CIFAR-10 の構造が優位であったが、よりサンプル数が多くなってくると AlexNet の方が良好な性能を示した。姿勢推定では、CNN 特徴を用いたマーカレスモーションキャプチャに関する研究が考案された [412]。実用上は 2-3 台のカメラでマーカレス MoCap が実現すれば、設置のコストを大幅に削減することができる。ここでは、姿勢の事前情報を導入し CNN による尤度計算の結果、屋外環境における照明条件下においても姿勢の推定を実現した。人物追跡においてはより高度な手法が見られる。Milan らは Superpixel と CRF を用いることで時系列で領域推定と位置特定というタスクを同時に解いている [585]。事前情報として人物検出の結果を適用し、Low-, High-level な情報を統合して前景と背景を詳細に切り分けていくという手法を確立した。CRF では Superpixel と人物検出による Unary 項と両者の関係性を記述する Pairwise 項からなるエネルギー関数を最小化する。また、ネットワークのノードを確率的に解く Target Identity-aware Network Flow (TINF) を用いて高精度な複数物体追跡を実現する手法も提案された [125]。最適なネットワークのフローをグラフ理論により構築し、ラグランジュ最適化により最適化する。行動認識では、Gkioxari が R-CNN [609] を参考にして人物の位置まで含めて行動を認識する仕組みを考案した [83]。行動領域を抽出するため、オプティカルフローの集合から候補領域を抽出し、CNN ベースの特徴量を抽出する。ここで、時系列行動から特徴を抽出するために RGB の可視画像やオプティカルフローを蓄積した時系列画像に対して畳み込みを実行する。精度向上のために、Dense Trajectories (DT) ベースの手法 [620], [621] と CNN の特徴量を組み合わせた行動記述子であ

る Trajectory-pooled Deep-convolutional Descriptor (TDD) が提案された [583] . DT では HOG, HOF, MBH が採用され高い精度で行動を認識しているが, さらに特徴マップの正規化により CNN 特徴を行動認識に適用した . CNN アーキテクチャには Two-stream ConvNet [622] を適用した . 画像による入力のみならず, スケルトンを入力とした行動認識も, [121] にて提案された . Kinect などにより人物からスケルトンを取得して Recurrent Neural Network (RNN) にて行動を認識する . スケルトンからパーツを 5 分割して入力としているため, RNN の層が進むごとにパーツ間のつながりや時系列情報を総合して行動を判断する . Fernando らは長時間行動は時間が経過する毎に変化するという VideoDarwin を提案した [583] . VideoDarwin では時系列変化を見せる行動 (e.g. Cooking, Fighting) に対してランク付け [628] を施した . これにより, 順序を把握した上で行動を認識可能とした . Wu らは高次な人物行動やその共起性を教師なし学習により識別する仕組みを考案した [472] . 行動の特徴をワード, 行動をトピックとみなしてその時系列の関係性を記述した . 行動間の共起性記述により例として「冷蔵庫からミルクを取り出す」と「冷蔵庫にミルクを入れる」の共起性を見出し, 後者に抜けがあった場合には異常として検出される . Lan らは時系列的なオフセットに対して複数の階調を設定して特徴抽出する Multi-skip Feature Stacking (MIFS) を提案した [23] . MIFS では Trajectory をベースにして, 時間的なギャップが $L=0$ (毎フレーム特徴抽出) から $L=1,2,\dots,N$ (N フレームステップして特徴抽出) と各工程により取得した特徴ベクトルを連結させることで精度を向上させた . イベント認識では, Deep Event Network (DevNet) と呼ばれる, イベント認識に特化したアーキテクチャが考案された [279] . あらかじめ定義したイベントのみならず, 重要な時系列イベントのための手がかりまで抽出することを可能とする . アノテーションはビデオレベルのみであっても, CNN 特徴を手がかりにキーフレーム検出や位置まで含めたイベントを検出することができる . DevNet では ImageNet の Pre-trained モデルで構築されているが, TRECVID MED データセットにより Fine-tuning されている . Xiong らは静止画に対して複数の識別結果や要素を結合して複雑なイベントの認識に取り組み, CNN 特徴と物体・人物検出・顔検出の結果を統合してイベントを認識した [175] . 2 つのチャンネル (RGB 画像と各検出結果) を統合したイベント認識の CNN アーキテクチャを考案し, 後半の層で両者の特徴を統合して出力値を得ることで高精度なイベント認識を実現した . Shu らはドローン (Unmanned aerial vehicle; UAV) から撮影された航空画像からのグループ・役割 (role), イベント認識を行った [495] . ドローンからの撮影では低解像・振動・影領域・時系列変化など困難な問題を含んでいるが, エゴモーションを取得した画像位置合わせ, 車両や人物の動線, グループ行動認識, 人物間のインタラクションなど多数の手がかりを And-Or-Graph(AOG), 特に時系列情報を考慮した Space-time AOG(ST-AOG) を提案してこの問題に対処した . 群衆解析では, 先述の [504] にて混雑環境下における複数アトリビュート解析が提案された . 群衆のカウントにおいても学習

とテストが異なるシーン (Cross-scene) にて適用できるような仕組みが考案された [91] . CNN のモデルは, 群衆の密度マップと人数カウントのモデルを切り替えられる用にしている . この二つのモデルはそれぞれ異なるが, 互いに相関関係にあり, 相補的に精度を良くする . 密度マップもしくは実数値の出力を適応的に切り替えることが可能 . Yi らは監視カメラにより撮影された動画から群衆モデルを解析して単調な歩行者の経路予測を行った [378] . 群衆としての属性推定や歩行目的地の予測を行い, 目的地まで至る途中経路を予測できるだけでなく, 異常行動検知も実現した . 一人称ビジョンで撮影した際, 自分の映像を編集する手法も提案された [590] . 顔認識を対象として, オクルージョンの激しい顔, 遠くにいて画像のサイズが小さい顔の認識問題を解決すべく研究を進めた . ここでは, 顔の Supervoxel 表現により, 人物の検出領域から取得した Local-motion と対象映像全体の Global-motion に分けてこれらの相関を計算する . Huang らは一人称ビジョンにおける手領域セグメンテーション手法を提案し, 自らがどのようなタスクを行っているかを判別した [73] . 領域内にて HOG 特徴量を抽出し, Determinantal Point Process に基づく高速なクラスタリングを用いてセグメンテーションを実行する . 人物再同定は, 監視カメラなどにおいて異なるカメラ間の人物認証を行う問題である . Shi らはパッチレベルで服装や人物に関する意味属性を推定し, 人物再同定の問題に適用した [453] . 服装など外見に関する特徴量を取得していたが, アトリビュートを用いることで, 表現能力を向上させている . Chen らは領域分割した画像から PCA 圧縮した色やテクスチャ特徴を用いて Multiple Similarity Function Learning を行った [171] . 画像間のすべてのパッチをペアとして学習する Polynomial Kernel Feature Map を提案した . Zheng らは特徴の有効性を評価して Late Fusion により Re-ID のための特徴統合を実現した [190] . 低解像度画像を用いた人物再同定問題も [76] に取り扱われている . 一般的に監視カメラから撮影される画像は品質が良好でなく, それに対処するため超解像に取り組み, 低解像度の画像に対しても性能を向上させる仕組みを考案した . カメラ間の特徴変化に対して頑健性を向上させるニューラルネットアーキテクチャ [423] も考案された . 2 枚の画像を入力として畳み込み・プーリングした後に各パッチから抽出された活性化関数の差分を特徴としている . KNN と CNN を混合した準パラメトリックな人物解析モデル手法 Matching-CNN の提案も挙げられる [155] . Re-ID の課題である特徴表現と Metric Learning に着手した研究も見受けられ, 水平方向に特徴を取得しパッチ内で Max プーリングすることで特徴表現する LOMO やクロスビュー問題を考慮してサブスペースを構成する XQDA を提案した [239] . 深層学習を用いた Metric Learning である Deep Transfer Metric Learning(DTML) も提案されており [36], 特徴同士の距離計算のみならず, 特徴空間の設計もニューラルネットのアーキテクチャ内で完結させる仕組みとしている . 特徴空間の設計では, クラス間分散を最大化し, クラス内分散を最小化する最適化問題として解いている . 複数の特徴を用いて, Metric Learning にて評価する研究も行われた [201] . 特徴として, SIFT, Lab,

LBP, RGB, Region Covariance Pattern, CNN 特徴を組み合わせ使用した。Metric Learning を用い、さらには複数特徴を組み合わせることにより、精度を向上させた。人物だけでなく、駐車場の車両に対して再同定する研究も行われた [389]。半教師あり学習によって自動的に車両のタグ付けを行う手法を提供した。写真を用いた静止画による人物再同定の研究も Zhang らにより提案された [520]。顔・衣服・姿勢のデータセットである PIPER を提供し、体が画像から切れている場合やオクルージョン、姿勢の変動など様々なシーンで撮影されている。人物再同定では主に歩行状態を動画として捉えている例が多いが、静止画かつ姿勢変動ありなど複雑な問題を提供した。

- 物体認識・検出

画像内に映り込んでいる物体を認識する問題は現在密に取り組まれている分野である。また、位置まで含めて認識をする物体検出や、シーンの認識やハッシングを含めた画像検索、詳細画像識別についても本節にて取り扱うこととする。物体認識は ILSVRC2012 の AlexNet [614] の登場により飛躍的に論文数が増えるに至り、シーン認識などの問題にも適用された。物体検出では R-CNN [609] が考案されたことで研究が広まった。CVPR2015 ではこの傾向は顕著に現れている。物体認識においては GoogLeNet [1] など精度を高める方向に研究が進められている。CNN 特徴に対して特徴選択することでコンパクトにかつ認識精度を向上させる取り組みも行われた [106]。データマイニングの分野で広く用いられている Association Rules [626] を適用し、CNN の特徴空間中からサブセットとして識別に有効な特徴量のみを選択した。物体検出においては、R-CNN の脆弱性のひとつである「位置ずれ」の問題に取り組む研究が複数見受けられた。先述の Zhang らによる R-CNN の位置ずれを補正する最適化が提案され、R-CNN の位置特定に関する脆弱性を補った [28]。Tsai らは物体検出に対して物体の内的な変化やバリエーションの多様性を考慮し、特徴プーリングを改善することで位置ずれを相殺した [80]。Oquab らは、画像レベルのラベル付けのみから物体の識別や位置特定について弱教師あり学習による解決策を探った [75]。DeepID-Net [261] ではプーリングの仕組みを改善することにより、形状変化や多少の配置替えに対して頑健な物体検出を実現した。シーン認識では画像検索において、バイナリハッシングは検索の効率化のために研究されており、同カテゴリのハミング距離が近くなるようにタグ付けされる必要がある。Liong らはバイナリハッシングに深層学習を適用した、DeepHashing (DH) を提案した [269]。CNN 特徴の、物体に対する特徴類似性を用いて画像に対してハッシングする。DH は出力層にてバイナリハッシングする構造であり、教師なしのハッシングと同時に教師ありのハッシングについても提案した。詳細画像識別は犬種や車種の分類など、より詳細な分類を伴う問題である。視覚的に非常に類似しているため、分類が非常に困難な課題である。従来ではパーツ毎に分離して特定の領域のみから特徴を抽出することで識別に有効な特徴量を適応的に取り出す方法が有効であることが判明した [630]。今回は、CNN アーキテクチャ内で有効な特徴量を取り出す仕組みが複数提案された。Xiao らは詳細画像識別のための CNN アー

キテクチャ内にて、大分類 (e.g. 犬, 鳥) と詳細な分類 (e.g. 犬や鳥の詳細な種類) と階層構造にて候補パッチの抽出、特徴選択や識別を同時に実行した [92]。Xie らはタスク限定型のデータ拡張のみならず複数の構造化クラスにおいてマルチタスク学習を適用し学習した [287]。大分類と小分類についてマルチタスク学習により関係性を同時に学習することに成功した。Lin らは [182] にて DeepLAC (Deep Localization, Alignment and Classification) を提案し、詳細画像識別のために必要とされる部分的な位置や角度の変化をニューラルネットの誤差逆伝播法の枠組み内にて修正する仕組みを考案した。

- アトリビュート

コンピュータビジョンにおいてアトリビュートとはある属性を推定し、さらにはその度合いを示す指標である。この研究に関しては Relative Attribute [629] が有名である。Relative Attribute ではペアとなる画像の相対的な比較により、単純なクラス分類ではなく属性の表現能力を高めた。属性に対する順位付けされたスコア値を参考にしてその度合いをパーセンテージで表現することを可能とした。今回のサーベイでもこの流れを汲んでいる例も複数見られた。Deza らはオンライン上の画像において、SNS での人気度の指標である “Virality” を提案した [198]。ある画像の反応回数やすべての画像の平均反応回数から相対的に見た Virality を学習データとして扱い解析した。相対的に比較する Relative Virality 計測の結果、推定精度が 68% を達成し、人間 (60%) よりも高い精度で Virality を推定できることがわかった。また、Jas らは画像の特定度合い (曖昧性のなさ) を “Image Specificity” と定義し、新しいアトリビュート計算方法を提案した [296]。複数人が作成した画像の説明文章を解析して、分散が小さいほど特定度合いが高いと設定した。ここでデータセットには各画像 50 人が説明文章を付加した Abstract-50S や PASCAL-50S を用いており、類似の単語や表現が用いられているほど Image Specificity のスコアが高くなる。Tao らは 3 次元物体のアピアランスの違いを相殺するためにアトリビュートを用いた [20]。建物の認識では、撮影する部分が異なる場合には認識率を保証することができないため、アトリビュートを用いることでいずれの場所で撮影しても共通の認識になるよう特徴を構築する。認識では CNN 特徴にアトリビュート特徴を追加することで精度を向上させた。Cimpoi らは素材とテクスチャの関係性を解析する研究を行った [414]。材質認識やセグメンテーションのための手がかりとしてテクスチャからアトリビュートを推定している。Fisher Vector によりプーリングされた特徴量を CNN の畳み込みにより特徴表現する FV-CNN も用いられた。Chen らは一般的な服装が撮影されている環境からより詳細なアトリビュートを推定することに成功した [576]。R-CNN などにより対象を抽出、さらには Source/Target Domain の変換を同じニューラルネットのアーキテクチャ内で実行し複数アトリビュートを推定した。Escorcia らも CNN ベースの手法を用いており、複数アトリビュートをニューラルネットのニューロンにて表現する方法を提案した。アトリビュートを表現する CNN は Attribute Centric Nodes (ACNs) と呼んでおり、スパース表現を施して

いる．各層によって様々なアトリビュートを表現する得意・不得意があるため，異なる層ごとに分離されて個別に表現されている．

- セグメンテーション

CNN により物体認識や物体検出の精度が飛躍的に向上したことで，さらに困難な課題であるセグメンテーションまで着手する研究が増加した．セグメンテーションではピクセル単位で物体認識を実行する必要があるため，前景と背景との境界判断の側面で困難と言える．また，研究が増えるに伴いセグメンテーション領域に対して意味付けするセマンティックセグメンテーションまで考慮する論文も増加した．本節ではセグメンテーションやセマンティックセグメンテーションを含めて研究を紹介する．Hariharan らは CNN のアーキテクチャについて全結合層のみならず途中の層から取り出した特徴量も用いることでセマンティックセグメンテーションの精度を高めることを実証した [49]．具体的には第 2 プーリング層，第 4 畳み込み層，第 7 層の全結合層であり，これらの組み合わせにより low-, mid-, high-level な特徴表現を同時に実現することができていると考えられる．Saliency ベースのセグメンテーションでは，マルチスケールで CNN 特徴を抽出する手法が提案された [591]．Saliency では Itti らのモデルが有名であり [627]，マルチスケールにて計算されるが Li らは CNN 特徴に置き換えることで顕著性を抽出しセグメンテーションに応用した．3 次元再構成とも重なるが，3D の都市モデルに対してセマンティックセグメンテーションを実行する研究も Martinovic により提案された [482]．あらかじめ Structure-from-Motion (SfM) から密な 3 次元点群の集合を計算し，Random Forest を用いて各々の点群をセマンティッククラス (窓，壁，バルコニー，ドア，屋根，空，店など) へ分類した．

- データ

認識問題においてデータは重要な課題である．ここでは，データの収集や選択について取り上げる．Hattori らは歩行者検出に対して学習画像を生成した [413]．背景領域から幾何的な平面推定，障害物・壁などのシーンを認識し，さらには CG により 36 種の歩行者・数種の歩き方・オクルージョンパターンなどを学習した．画像中の格子点に歩行者を配置して学習サンプルを取得した結果，環境に対するバリエーションを網羅することができた．提案手法により集めたサンプルを HOG [617] ベースの手法にて学習した結果，より優れた性能で物体検出する DPM よりも高い精度で歩行者を検出できることが分かった．画像について y 軸対称に反転した，ミラー画像を用いて顔のアライメントや人の姿勢推定のエラー率を下げる方法を Yang らは提案した [507]．Russakovsky らは物体の効率的かつ高精度な検出のために，クラウドソーシングを活用したアノテーション方法について言及した [231]．ラベルづけの活用性や精度，人間のアノテーションコストを最小化するための取り組みであり，ベースライン識別器の結果からインタラクティブに機械と人間がアノテーションを行う．提案のモデルとして，Markov Decision Process (MDP) を適用してベストな質問を選択してくれる．Xiao らは膨大なデータに対するアノテーション作業を少しで

も低減させるべく，効率的なラベル付けや学習のフレームワークを考案した [292]．

3.3.2 3 次元

3 次元物体認識において，CNN を適用する例が複数見られた．Fang らは 3 次元の形状表現方法として Deep Shape Descriptor (DeepSD) を提案した [252]．構造的に形状に分散がある場合やノイズ，3 次元的に欠損を含む形状であってもロバストな 3 次元特徴量である．アイデアとして 3 次元点群ベースの heat kernel signature (HKS) と eigen-shape descriptor (ESD) と Fisher shape descriptor (FSD) の組み合わせにて 3 次元形状を表現する特徴量を構成した．Xie らは 3 次元物体マッチングと探索問題のための CNN 特徴量である DeepShape を考案した [139]．Auto-encoder (自己符号化器) ベースの形状記述子を用いて 3 次元形状の検索に用いる．3 次元認識の特徴自体は中間層から取り出すこととし，パラメータの最適化により他のクラスとの識別性能を良好にするようなパラメータを取り出す．Abdelrahman らは Weighted Heat Kernel Signature (W-HKS) に基づく 3 次元非剛体テクスチャ記述子を提案した [21]．RGB-D による物体認識の特徴設計を，Deep Boltzmann Machine (DBM) を用いて限られた学習サンプルにおいても識別に有効な情報を取り出す仕組みも考案された [327]．色情報のみならず幾何学的形状情報を組み合わせて複雑な 3 次元物体に対しても効果的な記述子を提案した．3 次元メッシュに対して Local Binary Pattern (LBP) を提案する研究も見られた [274]．メッシュ多様体の上においても LBP で注目画素とその周辺値を用いてテクスチャを取得した．

3 次元再構成では，スキャンされた 3 次元点群に対して 2 台以上のキャリブレーションされていないカメラを登録することにより，構成誤差を低減することに成功した [486]．キャリブレーションの手間を少しでも省くべく 3D のボクセルと 2D のピクセルを対応付けた．Linear Matrix Inequality (LMI) のフレームワークにより画像点を同時に三角測量することなく，2D-3D に対応する射影行列を推定した．Allain らはボロノイ分割手法の Centroidal Voronoi Tessellation (CVT) を使用して表面形状を追跡して，退席情報のパラメータ化を実行した [30]．既存のアプローチが表面形状の復元だったのに対して，時系列でボロノイ図形の追跡をすることで体積情報までパラメータとして表現することを可能にした．手部領域の 3 次元再構成のみならず，物体との接点において接触力の分布を可視化する手法も提案された [305]．指と物体の接触点推定，またフレーム毎の位置推定により並進・回転・速度・加速度を抽出する．オイラーの法則とクーロン摩擦モデルを用いて接触力を推定する．Xiang らは単一の画像から複数のオブジェクトの 3 次元属性 (外観，3 次元形状，視点，隠れ) 推定に挑戦した [207]．3D ボクセルパターン (3DVPs) に基づいた検出器により，物体のアピアランス解析を実行し物体間のオクルージョンや視点を含めて推定することに成功した．Sun らは 2 次元画像の回帰モデルを拡張し，3 次元での手部の姿勢推定を実現した [90]．階層的に回帰モデルを当てはめていくことで精度を向上させており，ニュートラル状態から適宜モデルを更新することにより再帰的に 3 次元推

定を実行した。

RGB-Dの入力では、複雑な屋内環境において3次元認識やロボットが把持可能な位置推定などのタスクを与える問題が発生した[498]。前処理として Superpixel を適用し、Conditional Random Fields (CRF) にて空間的な平滑化や直方体モデルの認識を行った。物体位置の推定やシーン理解について実験し有効性を評価した。低解像の距離画像と高解像の RGB 画像を組み合わせて距離画像(特に平面)を滑らかにする研究も Matsuo らが提案した[387]。3次元空間的に隣接している平面を接続・位置合わせを行い、JBU フィルタを用いて粗い表面を再構成する。ガウシアンフィルタを使用して3次元の法線方向成分を平滑化することにより滑らかな距離画像を取得できる。RGB-Dの画像入力に対して物体位置と3次元セグメンテーション結果を抽出する研究も Gupta により行われた[512]。表面形状の法線画像を CNN により学習することで物体の特徴表現を行う。3層構成の CNN により荒く物体姿勢推定を行い、3次元モデルとの比較により密に物体の姿勢やセグメントを推定した。

3.3.3 画像処理/イメージング

ブラー除去に対して CNN が用いられる[84]。カメラ撮影時の手ぶれなどにより発生する不規則なモーションブラーを、ブラーあり/なしのパッチのペアを学習することにより補正する。140万ものブラーを含むパッチとそのブラーの除去結果をペアとして CNN の学習に与える。CNN は6層構成、出力層はソフトマックスであり、361種類のモーションカーネルを推定できる。カーネルを複数統合する研究も見られた[41]。より高度なブラー除去のため、複数のデブラー手法を統合する際のカーネルを用いる方法をとっている。従来では重み付き平均を行うことにより複数の手法を組み合わせてきたが、提案手法ではデータドリブンでいかに複数の結果を統合するかを考案した。Gaussian Conditional Random Fields (GCRF) を用いることで、カーネルによる統合を学習ベースで行うことができる。Eriksson らはスパース性を考慮したノイズ除去方法を提案した[363]。k-support norm の正規化最適化問題を解いているが、Eriksson らはこの問題を Convex Envelopes (凸包絡)として与えられた集合を含む最小の凸集合とみなして最適化を行った。ここで、Nuclear Norm や Spectral k-support Norm も評価している。動画に対してもブラー除去の研究が行われている[437]。ビデオに対するブラー除去の方法は、フレーム内にて独立にブラー除去してフレームをつなぎ合わせる方法、もうひとつはフレーム間でカメラモーション推定をする手法の二つがあるが、Zhang らの手法はこの両者を組み合わせた。カメラ間の動きを推定するためには画像のモーション推定を密に行う必要があり、ブラー自体を推定するためにはモーションが推定できていると高精度に推定ができる。これを同時に解くための最適化としてデータ項と時系列項、正規化項を定義して最適化問題を解いた。パターン毎の Point Spread Function (PSF) を捉えた上でブラー除去する手法も Mosleh により提案された[537]。

超解像問題においては、Self-Similarity based Super-Resolution を用いた手法がある[563]。アフィン変換と局所的な形状のバリエーションを同時に推定する。外的/内的な辞書

との比較を行うことで鮮明な画像に対応づけることが可能。単一画像における超解像問題に対しても、形状変化に対応した参照辞書を用いる手法も提案された[587]。前処理として Gradient Ridge Image を施しており、辞書とのマッチングにより解像度を高めている。Schulter らは単一の画像からの超解像を、線形回帰問題として解いており Random Forests を用いた[410]。

画像処理の基礎アルゴリズムにおいて、CNN を用いた影領域推定手法の提案も[225]に記載されている。アーキテクチャは7層構成で25種類の影、影の境界、影以外のパッチを推定する。輪郭検出用の CNN アーキテクチャである DeepContour も Shen らにより提案された[431]。DeepContour では、輪郭/輪郭以外の領域を学習させ6層のアーキテクチャ(畳み込み4層、全結合2層)を構成する。出力層では101種の輪郭パッチを出力する。エッジ検出に関して CNN アーキテクチャを適用する DeepEdge も提案された[474]。DeepEdge ではより高次元特徴量を用いることでエッジ検出をより高精度にする。マルチスケールの CNN 特徴を適用してエッジを検出する。実験では CannyEdge にノイズが混入しているのに対して DeepEdge はより背景を除去しつつ物体からのエッジを抽出することに成功した。2次元画像において効果的な境界線抽出を行う手法も Teo らにより提案された[554]。Structural Random Forests (SRF) を用いることにより、境界線がどこにあるか、その領域は背景と前景のどちらに所属するかを高速に求めた。Superpixel の手法に対しても、Linear Spectral Clustering (LSC) を適用する研究が発表された[148]。Superpixel は従来、色や空間的類似性を指標として計算することが多いが、そのような固有値を用いる手法ではカーネル関数を用いた高次元特徴空間にて分割することにより、さらに効果的な Superpixel を提案できる。LSC では画像のピクセル値を10次元特徴空間にマッピングし、Weighted k-means 法を適用して Superpixel を抽出する。Superpixel のグルーピング手法において再検討する例も見られた[85]。Superpixel では単純な色の場合には容易に分離できるが、色が複雑に折り合っている場合には分割が失敗する場合がある。2つの Superpixel 間で最も距離の遠い組み合わせと、最も距離の近い組み合わせを抽出し、グルーピングする。

フォトメトリックステレオの問題においても、自然光の下で光源を推定し3次元再構成を行う手法が提案された[489]。太陽光の位置を推定、さらには実験空間を半球と仮定し GPS のタイムスタンプを事前情報として MRF による最適化に落とし込んだ。実験では30分ごとに太陽光を観測し、3次元再構成を実現した。

デバイスの研究では、時系列で取得できるハイパースペクトルカメラが提案されていた[535]。複数のハイパースペクトルカメラの時系列を交互に補完し、さらには辞書学習による画像の再構成を行うことにより、高速度(100fps)の観測にした際にも鮮明な撮影ができた。単眼カメラと LED を用いた ToF センサの開発も、Ti らにより開発された[469]。カメラの上下左右に計4個の LED を搭載し、LED 照射光の反射をカメラで捉えることで ToF センサを開発した。Naik らも ToF カメラの精度を高めるべく、複数の反射光がピクセルに映し出され混同す

る Multipath Inference (MPI) の問題の解決に取り組んだ [9]. MPI は自然なシーンでも、複数の反射光が存在する環境や反射光が拡散する場面にて発生し、これをダイレクトかつグローバルに Phase と Amplitude に分割し、MPI による距離画像の誤差を小さくする。実験では Kinect と赤外線プロジェクタを用いて複数の反射やサブ表面での分光を考慮してノイズを除去した。複数のレイヤにて構成される絵画などを分解する研究も、Tanaka らにより実現された [592]。赤外線のみだと分解することができないので、プロジェクタを設置、しかもパターンが異なる成分で光を取得することにより、異なる成分が分解でき、複数レイヤに分けることが可能である。Ye らは Kinect に Ultrasonic Sensor を装着することにより拡張版の Kinect センサを提案した [529]。Ultrasonic Sensor により取得された推定点を Bayesian Network を適用することにより平面を推定する。これにより、高精度な距離画像の復元を実現した。

3.3.4 データセット、新規問題設定

本節ではデータセットのみならず、新規の問題設定について述べることにする。

データセット。前述のシーン認識の問題である SUN397 を RGB-D データに拡張した SUN RGB-D が挙げられる [62]。分類問題のみならず、シーン中の物体検出やセマンティックセグメンテーションなどより高度なシーン認識に拡張しようとする試みである。類似する問題として、屋内のレイアウトを推定するデータセットも Liu らにより提案された [370]。屋内環境におけるデータセットには部屋全体や壁・ドア・窓などがあり、各位置情報も付加されている。3次元平面や物体検出結果を俯瞰画像上に置き換える処理が必要になる。屋外に限らず、屋内環境においてもシーンやさらに詳細な属性を捉えようとする試みが立ち上がっているといえる。医療画像においても、その詳細な説明を出力する研究が行われた [119]。これは医用画像を入力として、その画像説明文を出力する問題である。実際の医用画像、それに対する医師の診察結果をペアとして学習することにより病状の詳しい説明が出力される。現在までは病状の識別問題であったが、より詳細な説明文を得ようとする取り組みである。これは、単純な特徴抽出のみならず物体検出や言語との対応付けが発展したこと依存し、さらには医師の診察データが得られることにより専門性が問われる場面においてもコンピュータビジョンの研究を役立てようとしている。詳細画像識別の分野でも、より大規模なデータセットを作成することで識別性能を高めようとする試みがある [65]。NABirds は鳥の詳細画像識別用のデータセットであり、画像総数は 48,562、カテゴリ数は 555 である。現在までのクラス数を増やすことにより、問題を提供した。車に対してカテゴリ分けするデータセットも見られた [430]。現在までは車というクラスでしか見分けられてこなかったが、車を詳細に分類する課題としてデータを配布した。推定するのは車のモデル分類やアトリビュートの予測などである。より情報量の多い画像により歩行者検出のためのデータを作成する試みも見られた。Hwang らはハイパースペクトルカメラを用いることでよりリッチな情報を獲得し、夜間の歩行者検出や昼間でも精度を向上させることを目

的とした [113]。車両にハイパースペクトルカメラを取り付け 640x480pixels, 20FPS にて映像を撮影した。103,128 の密なアノテーション、1182 のオリジナルの物体に対して人、人々、自転車を区別して検出できるようにした。スポーツそのものでなく、スポーツ観戦者に焦点をあてて群集のそれぞれの人物を解析するデータセットも提供された [222]。群集内の各個人の反応や群集のクラス分け、また客層を把握するために解析が行われた。データセットではアイスホッケーの試合中の群集を HD カメラにより撮影した。歩行者検出については、位置推定だけでなく、性別・年齢・体重・服装などを推定するデータが提案された。人物の Fine-grained な認識のためのデータであり、より詳細に歩行者検出の問題に取り組む姿勢が見られる。データは GoPro により撮影され、姿勢推定のアノテーションも付加されている。画像生成文は今回もオーラルの 1 セッションになるなど広がりを見せているが、Rohrbach らは動画説明文のためのデータセットを提供した [347]。具体的には映画に対する説明文を推定する課題であり、シーン・人物行動・対象物体を認識することで、新たなチャレンジデータセットになると主張した。54,000 以上となる文章と映画の断片的な映像が含まれている。行動認識のデータセットでは、ImageNet のように大規模化を図り ActivityNet というデータセットを公開し [105]、データ数や行動のバリエーションを格段に増加させた。従来の行動認識データセットはトリミングされていることも多かったが、ActivityNet では両側面から識別を実施することとした。行動検出に対しても取り組みができるようなデータ構成としている。ここで、トリミングされたデータは 203 クラス、トリミングされていないデータは 137 クラスであり、合計で 849 時間もの映像を含んでいる。同じく行動認識では Xu らが行動をするもの (Actor) と行動 (Action) に予め属性を対応付けたデータセットを提案した [246]。Actor-Action の行列にて、ある行動をできる/できないという対応づけを行った。Actor は大人や子供だけでなく、車や鳥、犬など 7 種、Action は食べる、飛ぶ、歩くなど 8 種である。データセットには 3782 もの動画が含まれている。

新規問題設定。CVPR2015 の論文を紹介する中でも相当数の論文に触れているが、さらに新しい問題を提供した論文を紹介する。Lin らは路上で撮影した画像をクエリとして、空撮画像上の位置を特定する問題設定を提案した [542]。地上から撮影した画像と空撮画像は性質が全く異なるため、当然ながら SIFT のような特徴マッチングでは失敗してしまう。Lin らの提案した Where-CNN では 43.6% にて検出できることがわかり、SIFT の 7.6% や CNN 特徴の 11.3% から大きく精度を向上させることに成功した。Akhter らは 2 次元の関節角度から人間の 3 次元姿勢推定を行ったが、関節角の限界を与えることでモーションの不可解な姿勢を低減する処理を加えた [158]。画像から得られる人間の感情の新たな 2 つの側面を提案する試みも、Peng らにより提案された [94]。一つ目は、人間は同じ画像に対しても異なる感情を持つことを検証しており、中でも最も強く発現する感情を推定することで様々な応用が期待できると述べた。二つ目に、多くの場合画像の色調や形状のみから感情

を誘発しているわけではないため選択する画像を操作することで任意の感情ベクトルを画像から誘発することが可能であると述べている。Best Buddies Similarity という、ある人もしくは動物とベストな関係 (バディー) にある共起性の高い人もしくは動物を検出する設定も見られた [220]。テンプレートマッチングベースの手法を提案して、共起関係を可視化した。画像内の複数人物の中で、誰が重要人物 (VIP) かを当てる問題も登場した [526]。im2text を用いており、画像の重要度やテキストの重要度に分類して問題を解いている。感覚的には、用意したデータから顔を抽出して、特徴抽出により 1-by-1 のアトリビュートを計算する。機械学習の枠組みの向上についても、Wang らは言及している [538]。従来の機械学習方法は入力と出力のベクトルがペアとして対応しているが、より柔軟性を向上させるために画像に対して潜在情報を与えた。この概念に対して潜在情報を特徴や第二の目的関数として扱うことを提案した。画像上から Saliency を求めるだけでなく、カウントする問題設定を考案した論文が Zhang らから提案された [438]。一人称ビジョンのライフログ、画像のサムネイルに用いることができると主張した。センシングのみならず、次世代のカメラではプライバシー保護やセキュリティのため解像度を低くしつつも人物の認識を行う必要性が出てくる。ここで、Pittaluga らは光源の変化に頑健かつ低解像度で顔や姿勢を認識し、プライバシー保護のために用いることを提案した [35]。手で握ることを認識する問題設定も、Yang らにより提案された [44]。手を主体とした人物の行動認識はもちろんのこと、人物意図推定にもつながるといふ枠組みである。従来では身体全体から取得されていた行動も、指先などの細かい動作も含めて認識できる可能性がある。ここで取り扱う人間の把持タイプは 6 種類であり、CNN ベースの特徴量により 59% の精度で認識できた。類似した取り組みとして、道具を用いてどのようなタスクを完了するのかを考慮した物体認識に関する論文も提案された [310]。3D センサによる物体の 3 次元モデル構成と人物の関節角度から人物が把持している位置を推定し、さらにはどのようにタスクを行っているのかを計測した。計測には 2 次元・3 次元画像だけでなく、音声情報も用いてインパルスの強さを算出している。関節角度の軌跡から道具の扱い方を推定する。店舗の正面写真から、何を売っている店なのかを推定する問題も提案された [185]。ストリートビューの画像から OCR にて文字を抽出し、その文字列から Ontology を用いて店舗の種類を分類する。

4. まとめと今後の動向

今回のサーベイでは CVPR2015 の論文を網羅的に読むことでコンピュータビジョン分野の動向を把握した。内容としては認識・3 次元・イメージングや画像処理の 3 項目に分けて紹介してきた。3 次元においてはより高精細かつ高速な処理を実現する問題を始めとして、大規模化や高精度なセンサ、距離画像の生成・平滑化、点群処理、3 次元認識のための特徴量設計、3 次元マップにおけるセマンティックセグメンテーションなどに焦点が当てられた。イメージングや画像処理ではエッジ検出・輪郭抽出、フロー抽出など原点に立ち返って基本的なアルゴ

リズムの再検討を行う研究が見られた。超解像、画像の復元、フォトメトリックステレオ、光学系を扱う研究などについてもそれぞれ新規に問題設定がなされており、各分野にアップデートが見られた。そんな中でも、今回は画像認識が非常に活発な動きを見せているため、認識に重きをおいて密にサーベイとまとめを行った。特にディープラーニング技術においては全論文中の 3 分の 1 以上の論文が取り扱い、非常に多くの研究者が注目し研究していると言える。アルゴリズムのみならず、実装して扱うためのライブラリや精度向上・応用範囲を拡大するための知見の蓄積もあり裾野が確実に広がっていることが理由としてあげられる。ImageNet のコンペティションを始めとして物体認識や物体検出の分野においては大幅に精度を向上させているが、ImageNet では出現しないような画像の認識や時系列、3 次元物体認識などの問題において課題が残されている。一見すると精度は大幅に向上し、研究する余地が残されていないように感じるが各分野を詳細に見てみると研究課題は多く残されている。したがって、今後数年は精度向上や適用分野を拡大する傾向にあると推察される。しかし、現在ある課題に対する精度もやがて頭打ちになるため、その先を考える必要がある。本稿中にも記述があるが、その後は新規に問題設定を行うことが分野の限界を拡大するひとつの方法である。

筆者らは現在の問題を整理し、次の問題設定を考案するためにもサーベイを含めた技術調査は欠かせないと考える。さらには、サーベイした結果を実際に試し課題を把握するとともにより広い視点で分野を見渡せる目を養う必要がある。今回の取り組みが、そのための一助となれば幸いである。

文 献

- [1] Christian Szegedy, Wei Liu, Yangqing Jia, Pierre Sermanet, Scott Reed, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Vincent Vanhoucke, Andrew Rabinovich, "Going Deeper With Convolutions", in CVPR2015.
- [2] Jen-Hao Rick Chang, Yu-Chiang Frank Wang, "Propagated Image Filtering", in CVPR2015.
- [3] Yunchao Gong, Marcin Pawlowski, Fei Yang, Louis Brandy, Lubomir Bourdev, Rob Fergus, "Web Scale Photo Hash Clustering on A Single Machine", in CVPR2015.
- [4] Alina Kuznetsova, Sung Ju Hwang, Bodo Rosenhahn, Leonid Sigal, "Expanding Object Detector's Horizon: Incremental Learning Framework for Object Detection in Videos", in CVPR2015.
- [5] Fumin Shen, Chunhua Shen, Wei Liu, Heng Tao Shen, "Supervised Discrete Hashing", in CVPR2015.
- [6] Mihir Jain, Jan C. van Gemert, Cees G. M. Snoek, "What do 15,000 Object Categories Tell Us About Classifying and Localizing Actions?", in CVPR2015.
- [7] Rahaf Aljundi, Remi Emonet, Damien Muselet, Marc Sebban, "Landmarks-Based Kernelized Subspace Alignment for Unsupervised Domain Adaptation", in CVPR2015.
- [8] Wei-Sheng Lai, Jian-Jiun Ding, Yen-Yu Lin, Yung-Yu Chuang, "Blur Kernel Estimation Using Normalized Color-Line Prior", in CVPR2015.
- [9] Nikhil Naik, Achuta Kadambi, Christoph Rhemann, Shahram Izadi, Ramesh Raskar, Sing Bing Kang, "A Light Transport Model for Mitigating Multipath Interference in Time-of-Flight Sensors", in CVPR2015.
- [10] Simone Frntrop, Thomas Werner, German Martin Garcia, "Traditional Saliency Reloaded: A Good Old Model in New Shape", in CVPR2015.

- [11] Patrick Snape, Yannis Panagakis, Stefanos Zafeiriou, “Automatic Construction Of Robust Spherical Harmonic Subspaces”, in CVPR2015.
- [12] Min-Gyu Park, Kuk-Jin Yoon, “Leveraging Stereo Matching With Learning-Based Confidence Measures”, in CVPR2015.
- [13] Yao Qin, Huchuan Lu, Yiqun Xu, He Wang, “Saliency Detection via Cellular Automata”, in CVPR2015.
- [14] Jonas Wulff, Michael J. Black, “Efficient Sparse-to-Dense Optical Flow Estimation Using a Learned Basis and Layers”, in CVPR2015.
- [15] Carlo Ciliberto, Lorenzo Rosasco, Silvia Villa, “Learning Multiple Visual Tasks While Discovering Their Structure”, in CVPR2015.
- [16] Zhiwu Huang, Ruiping Wang, Shiguang Shan, Xilin Chen, “Projection Metric Learning on Grassmann Manifold With Application to Video Based Face Recognition”, in CVPR2015.
- [17] Tianzhu Zhang, Si Liu, Changsheng Xu, Shuicheng Yan, Bernard Ghanem, Narendra Ahuja, Ming-Hsuan Yang, “Structural Sparse Tracking”, in CVPR2015.
- [18] HyeokHyen Kwon, Yu-Wing Tai, Stephen Lin, “Data-Driven Depth Map Refinement via Multi-Scale Sparse Representation”, in CVPR2015.
- [19] Feng Lu, Imari Sato, Yoichi Sato, “Uncalibrated Photometric Stereo Based on Elevation Angle Recovery From BRDF Symmetry of Isotropic Materials”, in CVPR2015.
- [20] Ran Tao, Arnold W.M. Smeulders, Shih-Fu Chang, “Attributes and Categories for Generic Instance Search From One Example”, in CVPR2015.
- [21] Mostafa Abdelrahman, Aly Farag, David Swanson, Mounen T. El-Melegy, “Heat Diffusion Over Weighted Manifolds: A New Descriptor for Textured 3D Non-Rigid Shapes”, in CVPR2015.
- [22] Christopher Zach, Adrian Penate-Sanchez, Minh-Tri Pham, “A Dynamic Programming Approach for Fast and Robust Object Pose Recognition From Range Images”, in CVPR2015.
- [23] Zhengzhong Lan, Ming Lin, Xuanchong Li, Alex G. Hauptmann, Bhiksha Raj, “Beyond Gaussian Pyramid: Multi-Skip Feature Stacking for Action Recognition”, in CVPR2015.
- [24] Dongping Li, Kaiming He, Jian Sun, Kun Zhou, “A Geodesic-Preserving Method for Image Warping”, in CVPR2015.
- [25] Shaoxin Li, Junliang Xing, Zhiheng Niu, Shiguang Shan, Shuicheng Yan, “Shape Driven Kernel Adaptation in Convolutional Neural Network for Robust Facial Traits Recognition”, in CVPR2015.
- [26] Marko Ristin, Juergen Gall, Matthieu Guillaumin, Luc Van Gool, “From Categories to Subcategories: Large-Scale Image Classification With Partial Class Label Refinement”, in CVPR2015.
- [27] Yunsheng Jiang, Jinwen Ma, “Combination Features and Models for Human Detection”, in CVPR2015.
- [28] Yuting Zhang, Kihyuk Sohn, Ruben Villegas, Gang Pan, Honglak Lee, “Improving Object Detection With Deep Convolutional Networks via Bayesian Optimization and Structured Prediction”, in CVPR2015.
- [29] Spyridon Leonardos, Roberto Tron, Kostas Daniilidis, “A Metric Parametrization for Trifocal Tensors With Non-Collinear Pinholes”, in CVPR2015.
- [30] Benjamin Allain, Jean-Sebastien Franco, Edmond Boyer, “An Efficient Volumetric Framework for Shape Tracking”, in CVPR2015.
- [31] Chun-Guang Li, Rene Vidal, “Structured Sparse Subspace Clustering: A Unified Optimization Framework”, in CVPR2015.
- [32] Yin Li, Zhefan Ye, James M. Rehg, “Delving Into Egocentric Actions”, in CVPR2015.
- [33] Sebastian Kaltwang, Sinisa Todorovic, Maja Pantic, “Latent Trees for Estimating Intensity of Facial Action Units”, in CVPR2015.
- [34] Hui Wu, Richard Souvenir, “Robust Regression on Image Manifolds for Ordered Label Denoising”, in CVPR2015.
- [35] Francesco Pittaluga, Sanjeev J. Koppal, “Privacy Preserving Optics for Miniature Vision Sensors”, in CVPR2015.
- [36] Junlin Hu, Jiwen Lu, Yap-Peng Tan, “Deep Transfer Metric Learning”, in CVPR2015.
- [37] Julian Straub, Trevor Campbell, Jonathan P. How, John W. Fisher III, “Small-Variance Nonparametric Clustering on the Hypersphere”, in CVPR2015.
- [38] Richard A. Newcombe, Dieter Fox, Steven M. Seitz, “DynamicFusion: Reconstruction and Tracking of Non-Rigid Scenes in Real-Time”, in CVPR2015.
- [39] Yang Li, Jianke Zhu, Steven C.H. Hoi, “Reliable Patch Trackers: Robust Visual Tracking by Exploiting Reliable Patches”, in CVPR2015.
- [40] Nian Liu, Junwei Han, Dingwen Zhang, Shifeng Wen, Tianming Liu, “Predicting Eye Fixations Using Convolutional Neural Networks”, in CVPR2015.
- [41] Long Mai, Feng Liu, “Kernel Fusion for Better Image Deblurring”, in CVPR2015.
- [42] Christian Hane, Ugor Ladicky, Marc Pollefeys, “Direction Matters: Depth Estimation With a Surface Normal Classifier”, in CVPR2015.
- [43] George Papandreou, Iasonas Kokkinos, Pierre-Andre Savalle, “Untangling Local and Global Deformations in Deep Learning: Epitomic Convolution, Multiple Instance Learning, and Sliding Window Detection”, in CVPR2015.
- [44] Yezhou Yang, Cornelia Fermuller, Yi Li, Yiannis Aloimonos, “Grasp Type Revisited: A Modern Perspective on a Classical Feature for Vision”, in CVPR2015.
- [45] Sheng Huang, Mohamed Elhoseiny, Ahmed Elgammal, Dan Yang, “Learning Hypergraph-Regularized Attribute Predictors”, in CVPR2015.
- [46] Roozbeh Mottaghi, Yu Xiang, Silvio Savarese, “A Coarse-to-Fine Model for 3D Pose Estimation and Sub-Category Recognition”, in CVPR2015.
- [47] Anh Nguyen, Jason Yosinski, Jeff Clune, “Deep Neural Networks Are Easily Fooled: High Confidence Predictions for Unrecognizable Images”, in CVPR2015.
- [48] Ross Girshick, Forrest Iandola, Trevor Darrell, Jitendra Malik, “Deformable Part Models are Convolutional Neural Networks”, in CVPR2015.
- [49] Bharath Hariharan, Pablo Arbelaez, Ross Girshick, Jitendra Malik, “Hypercolumns for Object Segmentation and Fine-Grained Localization”, in CVPR2015.
- [50] Johannes Hofmanninger, Georg Langs, “Mapping Visual Features to Semantic Profiles for Retrieval in Medical Imaging”, in CVPR2015.
- [51] Stephan Schraml, Ahmed Nabil Belbachir, Horst Bischof, “Event-Driven Stereo Matching for Real-Time 3D Panoramic Vision”, in CVPR2015.
- [52] Daniel Prusa, “Graph-Based Simplex Method for Pairwise Energy Minimization With Binary Variables”, in CVPR2015.
- [53] Hangfan Liu, Ruiqin Xiong, Jian Zhang, Wen Gao, “Image Denoising via Adaptive Soft-Thresholding Based on Non-Local Samples”, in CVPR2015.
- [54] Mingsong Dou, Jonathan Taylor, Henry Fuchs, Andrew Fitzgibbon, Shahram Izadi, “3D Scanning Deformable Objects With a Single RGBD Sensor”, in CVPR2015.
- [55] Jeffrey Byrne, “Nested Motion Descriptors”, in CVPR2015.
- [56] Gottfried Graber, Jonathan Balzer, Stefano Soatto, Thomas Pock, “Efficient Minimal-Surface Regularization of Perspec-

- tive Depth Maps in Variational Stereo”, in CVPR2015.
- [57] Alexander Shekhovtsov, Paul Swoboda, Bogdan Savchynskyy, “Maximum Persistency via Iterative Relaxed Inference With Graphical Models”, in CVPR2015.
- [58] Abhishek Sharma, Oncel Tuzel, David W. Jacobs, “Deep Hierarchical Parsing for Semantic Segmentation”, in CVPR2015.
- [59] Xiaolong Wang, David Fouhey, Abhinav Gupta, “Designing Deep Networks for Surface Normal Estimation”, in CVPR2015.
- [60] Deqing Sun, Erik B. Sudderth, Hanspeter Pfister, “Layered RGBD Scene Flow Estimation”, in CVPR2015.
- [61] Miguel A. Carreira-Perpinan, Ramin Raziperchikolaei, “Hashing With Binary Autoencoders”, in CVPR2015.
- [62] Shuran Song, Samuel P. Lichtenberg, Jianxiong Xiao, “SUN RGB-D: A RGB-D Scene Understanding Benchmark Suite”, in CVPR2015.
- [63] Chen Fang, Hailin Jin, Jianchao Yang, Zhe Lin, “Collaborative Feature Learning From Social Media”, in CVPR2015.
- [64] Xiaochun Cao, Changqing Zhang, Huazhu Fu, Si Liu, Hua Zhang, “Diversity-Induced Multi-View Subspace Clustering”, in CVPR2015.
- [65] Grant Van Horn, Steve Branson, Ryan Farrell, Scott Haber, Jessie Barry, Panos Ipeirotis, Pietro Perona, Serge Belongie, “Building a Bird Recognition App and Large Scale Dataset With Citizen Scientists: The Fine Print in Fine-Grained Dataset Collection”, in CVPR2015.
- [66] Miaojing Shi, Yannis Avrithis, Herve Jegou, “Early Burst Detection for Memory-Efficient Image Retrieval”, in CVPR2015.
- [67] Wei Zhuo, Mathieu Salzmann, Xuming He, Miaomiao Liu, “Indoor Scene Structure Analysis for Single Image Depth Estimation”, in CVPR2015.
- [68] Juliet Fiss, Brian Curless, Rick Szeliski, “Light Field Layer Matting”, in CVPR2015.
- [69] Qian-Yi Zhou, Vladlen Koltun, “Depth Camera Tracking With Contour Cues”, in CVPR2015.
- [70] Zuzana Kukelova, Jan Heller, Martin Bujnak, Tomas Pajdla, “Radial Distortion Homography”, in CVPR2015.
- [71] Jonathan Tompson, Ross Goroshin, Arjun Jain, Yann Lecun, Christoph Bregler, “Efficient Object Localization Using Convolutional Networks”, in CVPR2015.
- [72] Jianping Shi, Li Xu, Jiaya Jia, “Just Noticeable Defocus Blur Detection and Estimation”, in CVPR2015.
- [73] De-An Huang, Minghuang Ma, Wei-Chiu Ma, Kris M. Kitani, “How Do We Use Our Hands? Discovering a Diverse Set of Common Grasps”, in CVPR2015.
- [74] Junho Yim, Heechul Jung, ByungIn Yoo, Changkyu Choi, Dusik Park, Junmo Kim, “Rotating Your Face Using Multi-Task Deep Neural Network”, in CVPR2015.
- [75] Maxime Oquab, Leon Bottou, Ivan Laptev, Josef Sivic, “Is Object Localization for Free? - Weakly-Supervised Learning With Convolutional Neural Networks”, in CVPR2015.
- [76] Xiao-Yuan Jing, Xiaoke Zhu, Fei Wu, Xinge You, Qinglong Liu, Dong Yue, Ruimin Hu, Baowen Xu, “Super-Resolution Person Re-Identification With Semi-Coupled Low-Rank Discriminant Dictionary Learning”, in CVPR2015.
- [77] Hang Yang, Ming Zhu, Yan Niu, Yujing Guan, Zhongbo Zhang, “Dual Domain Filters Based Texture and Structure Preserving Image Non-Blind Deconvolution”, in CVPR2015.
- [78] Xuan Dong, Boyan Bonev, Yu Zhu, Alan L. Yuille, “Region-Based Temporally Consistent Video Post-Processing”, in CVPR2015.
- [79] Shaoqing Ren, Xudong Cao, Yichen Wei, Jian Sun, “Global Refinement of Random Forest”, in CVPR2015.
- [80] Yi-Hsuan Tsai, Onur C. Hamsici, Ming-Hsuan Yang, “Adaptive Region Pooling for Object Detection”, in CVPR2015.
- [81] Mohammad Rastegari, Hannaneh Hajishirzi, Ali Farhadi, “Discriminative and Consistent Similarities in Instance-Level Multiple Instance Learning”, in CVPR2015.
- [82] Zhibin Hong, Zhe Chen, Chaohui Wang, Xue Mei, Danil Prokhorov, Dacheng Tao, “Multi-Store Tracker (MUSTer): A Cognitive Psychology Inspired Approach to Object Tracking”, in CVPR2015.
- [83] Georgia Gkioxari, Jitendra Malik, “Finding Action Tubes”, in CVPR2015.
- [84] Jian Sun, Wenfei Cao, Zongben Xu, Jean Ponce, “Learning a Convolutional Neural Network for Non-Uniform Motion Blur Removal”, in CVPR2015.
- [85] Yao Xiao, Cewu Lu, Efstratios Tsougenis, Yongyi Lu, Chi-Keung Tang, “Complexity-Adaptive Distance Metric for Object Proposals Generation”, in CVPR2015.
- [86] Xiangyu Zhu, Zhen Lei, Junjie Yan, Dong Yi, Stan Z. Li, “High-Fidelity Pose and Expression Normalization for Face Recognition in the Wild”, in CVPR2015.
- [87] Masaki Saito, Takayuki Okatani, “Transformation of Markov Random Fields for Marginal Distribution Estimation”, in CVPR2015.
- [88] Baoyuan Liu, Min Wang, Hassan Foroosh, Marshall Tapen, Marianna Pensky, “Sparse Convolutional Neural Networks”, in CVPR2015.
- [89] Florian Schroff, Dmitry Kalenichenko, James Philbin, “FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering”, in CVPR2015.
- [90] Xiao Sun, Yichen Wei, Shuang Liang, Xiaoou Tang, Jian Sun, “Cascaded Hand Pose Regression”, in CVPR2015.
- [91] Cong Zhang, Hongsheng Li, Xiaogang Wang, Xiaokang Yang, “Cross-Scene Crowd Counting via Deep Convolutional Neural Networks”, in CVPR2015.
- [92] Tianjun Xiao, Yichong Xu, Kuiyuan Yang, Jiaying Zhang, Yuxin Peng, Zheng Zhang, “The Application of Two-Level Attention Models in Deep Convolutional Neural Network for Fine-Grained Image Classification”, in CVPR2015.
- [93] Li Wan, David Eigen, Rob Fergus, “End-to-End Integration of a Convolution Network, Deformable Parts Model and Non-Maximum Suppression”, in CVPR2015.
- [94] Kuan-Chuan Peng, Tsuhan Chen, Amir Sadovnik, Andrew C. Gallagher, “A Mixed Bag of Emotions: Model, Predict, and Transfer Emotion Distributions”, in CVPR2015.
- [95] Edgar Simo-Serra, Sanja Fidler, Francesc Moreno-Noguer, Raquel Urtasun, “Neuroaesthetics in Fashion: Modeling the Perception of Fashionability”, in CVPR2015.
- [96] Anton van den Hengel, Chris Russell, Anthony Dick, John Bastian, Daniel Pooley, Lachlan Fleming, Lourdes Agapito, “Part-Based Modelling of Compound Scenes From Images”, in CVPR2015.
- [97] Olga Veksler, “Efficient Parallel Optimization for Potts Energy With Hierarchical Fusion”, in CVPR2015.
- [98] Michael S. Ryoo, Brandon Rothrock, Larry Matthies, “Pooled Motion Features for First-Person Videos”, in CVPR2015.
- [99] Artiom Kovnatsky, Michael M. Bronstein, Xavier Bresson, Pierre Vandergheynst, “Functional Correspondence by Matrix Completion”, in CVPR2015.
- [100] Eunwoo Kim, Minsik Lee, Songhwa Oh, “Elastic-Net Regularization of Singular Values for Robust Subspace Learning”, in CVPR2015.
- [101] Da Kuang, Alex Gittens, Raffay Hamid, “Hardware Compliant Approximate Image Codes”, in CVPR2015.
- [102] Avishek Chatterjee, Venu Madhav Govindu, “Photometric Refinement of Depth Maps for Multi-Albedo Objects”, in CVPR2015.
- [103] Christoph H. Lampert, “Predicting the Future Behavior of a Time-Varying Probability Distribution”, in CVPR2015.

- [104] Anna Khoreva, Fabio Galasso, Matthias Hein, Bernt Schiele, “Classifier Based Graph Construction for Video Segmentation”, in CVPR2015.
- [105] Fabian Caba Heilbron, Victor Escorcia, Bernard Ghanem, Juan Carlos Niebles, “ActivityNet: A Large-Scale Video Benchmark for Human Activity Understanding”, in CVPR2015.
- [106] Yao Li, Lingqiao Liu, Chunhua Shen, Anton van den Hengel, “Mid-Level Deep Pattern Mining”, in CVPR2015.
- [107] Hosnieh Sattar, Sabine Muller, Mario Fritz, Andreas Bulling, “Prediction of Search Targets From Fixations in Open-World Settings”, in CVPR2015.
- [108] Karel Lenc, Andrea Vedaldi, “Understanding Image Representations by Measuring Their Equivariance and Equivalence”, in CVPR2015.
- [109] Dongliang Cheng, Brian Price, Scott Cohen, Michael S. Brown, “Effective Learning-Based Illuminant Estimation Using Simple Features”, in CVPR2015.
- [110] Johannes L. Schonberger, Alexander C. Berg, Jan-Michael Frahm, “PAIGE: PAirwise Image Geometry Encoding for Improved Efficiency in Structure-From-Motion”, in CVPR2015.
- [111] Jialong Yang, Hongdong Li, “Dense, Accurate Optical Flow Estimation With Piecewise Parametric Model”, in CVPR2015.
- [112] Pedro Rodrigues, Joao P. Barreto, “Single-Image Estimation of the Camera Response Function in Near-Lighting”, in CVPR2015.
- [113] Soonmin Hwang, Jaesik Park, Namil Kim, Yukyung Choi, In So Kweon, “Multispectral Pedestrian Detection: Benchmark Dataset and Baseline”, in CVPR2015.
- [114] Jimmy Addison Lee, Jun Cheng, Beng Hai Lee, Ee Ping Ong, Guozhen Xu, Damon Wing Kee Wong, Jiang Liu, Augustinus Laude, Tock Han Lim, “A Low-Dimensional Step Pattern Analysis Algorithm With Application to Multimodal Retinal Image Registration”, in CVPR2015.
- [115] Yu Kong, Yun Fu, “Bilinear Heterogeneous Information Machine for RGB-D Action Recognition”, in CVPR2015.
- [116] Wonsik Kim, Kyoung Mu Lee, “MRF Optimization by Graph Approximation”, in CVPR2015.
- [117] Ming Jiang, Shengsheng Huang, Juanyong Duan, Qi Zhao, “SALICON: Saliency in Context”, in CVPR2015.
- [118] Hakan Bilen, Marco Pedersoli, Tinne Tuytelaars, “Weakly Supervised Object Detection With Convex Clustering”, in CVPR2015.
- [119] Hoo-Chang Shin, Le Lu, Lauren Kim, Ari Seff, Jianhua Yao, Ronald M. Summers, “Interleaved Text/Image Deep Mining on a Very Large-Scale Radiology Database”, in CVPR2015.
- [120] Vignesh Ramanathan, Congcong Li, Jia Deng, Wei Han, Zhen Li, Kunlong Gu, Yang Song, Samy Bengio, Charles Rosenberg, Li Fei-Fei, “Learning Semantic Relationships for Better Action Retrieval in Images”, in CVPR2015.
- [121] Yong Du, Wei Wang, Liang Wang, “Hierarchical Recurrent Neural Network for Skeleton Based Action Recognition”, in CVPR2015.
- [122] Bo Li, Chunhua Shen, Yuchao Dai, Anton van den Hengel, Mingyi He, “Depth and Surface Normal Estimation From Monocular Images Using Regression on Deep Features and Hierarchical CRFs”, in CVPR2015.
- [123] Stephan R. Richter, Stefan Roth, “Discriminative Shape From Shading in Uncalibrated Illumination”, in CVPR2015.
- [124] Jiwen Lu, Gang Wang, Weihong Deng, Pierre Moulin, Jie Zhou, “Multi-Manifold Deep Metric Learning for Image Set Classification”, in CVPR2015.
- [125] Afshin Dehghan, Yicong Tian, Philip H. S. Torr, Mubarak Shah, “Target Identity-Aware Network Flow for Online Multiple Target Tracking”, in CVPR2015.
- [126] Chung-Ching Lin, Sharathchandra U. Pankanti, Karthikeyan Natesan Ramamurthy, Aleksandr Y. Aravkin, “Adaptive As-Natural-As-Possible Image Stitching”, in CVPR2015.
- [127] Jerome Revaud, Philippe Weinzaepfel, Zaid Harchaoui, Cordelia Schmid, “EpicFlow: Edge-Preserving Interpolation of Correspondences for Optical Flow”, in CVPR2015.
- [128] Gong Cheng, Junwei Han, Lei Guo, Tianming Liu, “Learning Coarse-to-Fine Sparselets for Efficient Object Detection and Scene Classification”, in CVPR2015.
- [129] Guilin Liu, Yotam Gingold, Jyh-Ming Lien, “Continuous Visibility Feature”, in CVPR2015.
- [130] Tinghui Zhou, Yong Jae Lee, Stella X. Yu, Alyosha A. Efros, “FlowWeb: Joint Image Set Alignment by Weaving Consistent, Pixel-Wise Correspondences”, in CVPR2015.
- [131] Minsu Cho, Suha Kwak, Cordelia Schmid, Jean Ponce, “Unsupervised Object Discovery and Localization in the Wild: Part-Based Matching With Bottom-Up Region Proposals”, in CVPR2015.
- [132] Xiantong Zhen, Zhijie Wang, Mengyang Yu, Shuo Li, “Supervised Descriptor Learning for Multi-Output Regression”, in CVPR2015.
- [133] Andrea Gasparotto, Andrea Torsello, “A Statistical Model of Riemannian Metric Variation for Deformable Shape Analysis”, in CVPR2015.
- [134] Fillipe Souza, Sudeep Sarkar, Anuj Srivastava, Jingyong Su, “Temporally Coherent Interpretations for Long Videos Using Pattern Theory”, in CVPR2015.
- [135] Srikumar Ramalingam, Michel Antunes, Dan Snow, Gim Hee Lee, Sudeep Pillai, “Line-Sweep: Cross-Ratio For Wide-Baseline Matching and 3D Reconstruction”, in CVPR2015.
- [136] Gucan Long, Laurent Kneip, Xin Li, Xiaohu Zhang, Qifeng Yu, “Simplified Mirror-Based Camera Pose Computation via Rotation Averaging”, in CVPR2015.
- [137] Victor Escorcia, Juan Carlos Niebles, Bernard Ghanem, “On the Relationship Between Visual Attributes and Convolutional Networks”, in CVPR2015.
- [138] Rui Zhao, Wanli Ouyang, Hongsheng Li, Xiaogang Wang, “Saliency Detection by Multi-Context Deep Learning”, in CVPR2015.
- [139] Jin Xie, Yi Fang, Fan Zhu, Edward Wong, “DeepShape: Deep Learned Shape Descriptor for 3D Shape Matching and Retrieval”, in CVPR2015.
- [140] Peixian Chen, Naiyan Wang, Nevin L. Zhang, Dit-Yan Yeung, “Bayesian Adaptive Matrix Factorization With Automatic Model Selection”, in CVPR2015.
- [141] Bruce Xiaohan Nie, Caiming Xiong, Song-Chun Zhu, “Joint Action Recognition and Pose Estimation From Video”, in CVPR2015.
- [142] Gang Yu, Junsong Yuan, “Fast Action Proposals for Human Action Detection and Search”, in CVPR2015.
- [143] Xinhang Song, Shuqiang Jiang, Luis Herranz, “Joint Multi-Feature Spatial Context for Scene Recognition on the Semantic Manifold”, in CVPR2015.
- [144] Lionel Gueguen, Raffay Hamid, “Large-Scale Damage Detection Using Satellite Imagery”, in CVPR2015.
- [145] Qingfeng Liu, Chengjun Liu, “A Novel Locally Linear KNN Model for Visual Recognition”, in CVPR2015.
- [146] Saehoon Kim, Seungjin Choi, “Bilinear Random Projections for Locality-Sensitive Binary Codes”, in CVPR2015.
- [147] Xiaochuan Fan, Kang Zheng, Yuwei Lin, Song Wang, “Combining Local Appearance and Holistic View: Dual-Source Deep Neural Networks for Human Pose Estimation”, in CVPR2015.
- [148] Zhengqin Li, Jiansheng Chen, “Superpixel Segmentation Using Linear Spectral Clustering”, in CVPR2015.
- [149] Sheng Chen, Alan Fern, Sinisa Todorovic, “Person Count Localization in Videos From Noisy Foreground and Detections”, in CVPR2015.

- [150] Guangcong Zhang, Patricio A. Vela, “Good Features to Track for Visual SLAM”, in CVPR2015.
- [151] Phillip Isola, Joseph J. Lim, Edward H. Adelson, “Discovering States and Transformations in Image Collections”, in CVPR2015.
- [152] Junhwa Hur, Hwasup Lim, Changsoo Park, Sang Chul Ahn, “Generalized Deformable Spatial Pyramid: Geometry-Preserving Dense Correspondence Estimation”, in CVPR2015.
- [153] Amelie Royer, Christoph H. Lampert, “Classifier Adaptation at Prediction Time”, in CVPR2015.
- [154] Simone Meyer, Oliver Wang, Henning Zimmer, Max Grosse, Alexander Sorkine-Hornung, “Phase-Based Frame Interpolation for Video”, in CVPR2015.
- [155] Si Liu, Xiaodan Liang, Luoqi Liu, Xiaohui Shen, Jianchao Yang, Changsheng Xu, Liang Lin, Xiaochun Cao, Shuicheng Yan, “Matching-CNN Meets KNN: Quasi-Parametric Human Parsing”, in CVPR2015.
- [156] Sebastian Haner, Kalle Astrom, “Absolute Pose for Cameras Under Flat Refractive Interfaces”, in CVPR2015.
- [157] Alex Yong-Sang Chia, Udana Bandara, Xiangyu Wang, Hiromi Hirano, “Protecting Against Screenshots: An Image Processing Approach”, in CVPR2015.
- [158] Ijaz Akhter, Michael J. Black, “Pose-Conditioned Joint Angle Limits for 3D Human Pose Reconstruction”, in CVPR2015.
- [159] Fereshteh Sadeghi, Santosh K. Kumar Divvala, Ali Farhadi, “VisKE: Visual Knowledge Extraction and Question Answering by Visual Verification of Relation Phrases”, in CVPR2015.
- [160] Xianzhi Du, David Doermann, Wael Abd-Almageed, “A Graphical Model Approach for Matching Partial Signatures”, in CVPR2015.
- [161] Hao Fang, Saurabh Gupta, Forrest Iandola, Rupesh K. Srivastava, Li Deng, Piotr Dollar, Jianfeng Gao, Xiaodong He, Margaret Mitchell, John C. Platt, C. Lawrence Zitnick, Geoffrey Zweig, “From Captions to Visual Concepts and Back”, in CVPR2015.
- [162] Liping Jing, Liu Yang, Jian Yu, Michael K. Ng, “Semi-Supervised Low-Rank Mapping Learning for Multi-Label Classification”, in CVPR2015.
- [163] Bolei Zhou, Vignesh Jagadeesh, Robinson Piramuthu, “ConceptLearner: Discovering Visual Concepts From Weakly Labeled Image Collections”, in CVPR2015.
- [164] Mohammad Rastegari, Cem Keskin, Pushmeet Kohli, Shahram Izadi, “Computationally Bounded Retrieval”, in CVPR2015.
- [165] Shubham Tulsiani, Jitendra Malik, “Viewpoints and Keypoints”, in CVPR2015.
- [166] Junchi Yan, Chao Zhang, Hongyuan Zha, Wei Liu, Xiaokang Yang, Stephen M. Chu, “Discrete Hyper-Graph Matching”, in CVPR2015.
- [167] Shuochen Su, Wolfgang Heidrich, “Rolling Shutter Motion Deblurring”, in CVPR2015.
- [168] Alexey Dosovitskiy, Jost Tobias Springenberg, Thomas Brox, “Learning to Generate Chairs With Convolutional Neural Networks”, in CVPR2015.
- [169] Hae-Gon Jeon, Jaesik Park, Gyeonmin Choe, Jinsun Park, Yunsu Bok, Yu-Wing Tai, In So Kweon, “Accurate Depth Map Estimation From a Lenslet Light Field Camera”, in CVPR2015.
- [170] Fang Zhao, Yongzhen Huang, Liang Wang, Tieniu Tan, “Deep Semantic Ranking Based Hashing for Multi-Label Image Retrieval”, in CVPR2015.
- [171] Dapeng Chen, Zejian Yuan, Gang Hua, Nanning Zheng, Jingdong Wang, “Similarity Learning on an Explicit Polynomial Kernel Feature Map for Person Re-Identification”, in CVPR2015.
- [172] Philipp Krahenbuhl, Vladlen Koltun, “Learning to Propose Objects”, in CVPR2015.
- [173] Haoyu Ren, Ze-Nian Li, “Basis Mapping Based Boosting for Object Detection”, in CVPR2015.
- [174] Jure ?bontar, Yann LeCun, “Computing the Stereo Matching Cost With a Convolutional Neural Network”, in CVPR2015.
- [175] Yuanjun Xiong, Kai Zhu, Dahua Lin, Xiaoou Tang, “Recognize Complex Events From Static Images by Fusing Deep Channels”, in CVPR2015.
- [176] Shuang Yang, Chunfeng Yuan, Baoxin Wu, Weiming Hu, Fangshi Wang, “Multi-Feature Max-Margin Hierarchical Bayesian Model for Action Recognition”, in CVPR2015.
- [177] Yu-Xiong Wang, Martial Hebert, “Model Recommendation: Generating Object Detectors From Few Samples”, in CVPR2015.
- [178] Abed Malti, Adrien Bartoli, Richard Hartley, “A Linear Least-Squares Solution to Elastic Shape-From-Template”, in CVPR2015.
- [179] Guillaume Bourmaud, Remi Megret, “Robust Large Scale Monocular Visual SLAM”, in CVPR2015.
- [180] Minsik Lee, Jieun Lee, Hyeogjin Lee, Nojun Kwak, “Membership Representation for Detecting Block-Diagonal Structure in Low-Rank or Sparse Subspace Clustering”, in CVPR2015.
- [181] Chao-Tsung Huang, “Bayesian Inference for Neighborhood Filters With Application in Denoising”, in CVPR2015.
- [182] Di Lin, Xiaoyong Shen, Cewu Lu, Jiaya Jia, “Deep LAC: Deep Localization, Alignment and Classification for Fine-Grained Recognition”, in CVPR2015.
- [183] Pei-Lun Hsieh, Chongyang Ma, Jihun Yu, Hao Li, “Unconstrained Realtime Facial Performance Capture”, in CVPR2015.
- [184] Tao Yue, Jinli Suo, Jue Wang, Xun Cao, Qionghai Dai, “Blind Optical Aberration Correction by Exploring Geometric and Visual Priors”, in CVPR2015.
- [185] Yair Movshovitz-Attias, Qian Yu, Martin C. Stumpe, Vinay Shet, Sacha Arnold, Liron Yatziv, “Ontological Supervision for Fine Grained Classification of Street View Storefronts”, in CVPR2015.
- [186] Ohad Fried, Eli Shechtman, Dan B. Goldman, Adam Finkelstein, “Finding Distractors In Images”, in CVPR2015.
- [187] Pedro O. Pinheiro, Ronan Collobert, “From Image-Level to Pixel-Level Labeling With Convolutional Networks”, in CVPR2015.
- [188] Fisher Yu, Jianxiong Xiao, Thomas Funkhouser, “Semantic Alignment of LiDAR Data at City Scale”, in CVPR2015.
- [189] Sam Hallman, Charles C. Fowlkes, “Oriented Edge Forests for Boundary Detection”, in CVPR2015.
- [190] Liang Zheng, Shengjin Wang, Lu Tian, Fei He, Ziqiong Liu, Qi Tian, “Query-Adaptive Late Fusion for Image Search and Person Re-Identification”, in CVPR2015.
- [191] Shanshan Zhang, Rodrigo Benenson, Bernt Schiele, “Filtered Feature Channels for Pedestrian Detection”, in CVPR2015.
- [192] Kangwei Liu, Junge Zhang, Peipei Yang, Kaiqi Huang, “GRSA: Generalized Range Swap Algorithm for the Efficient Optimization of MRFs”, in CVPR2015.
- [193] Jimei Yang, Brian Price, Scott Cohen, Zhe Lin, Ming-Hsuan Yang, “PatchCut: Data-Driven Object Segmentation via Local Shape Transfer”, in CVPR2015.
- [194] Yingqiang Zheng, Imari Sato, Yoichi Sato, “Illumination and Reflectance Spectra Separation of a Hyperspectral Image Meets Low-Rank Matrix Factorization”, in CVPR2015.
- [195] Jianyu Wang, Alan L. Yuille, “Semantic Part Segmentation Using Compositional Model Combining Shape and Appearance”, in CVPR2015.
- [196] Zhongwen Xu, Yi Yang, Alex G. Hauptmann, “A Discrimi-

- native CNN Video Representation for Event Detection”, in CVPR2015.
- [197] Akihiko Torii, Relja Arandjelovi?, Josef Sivic, Masatoshi Okutomi, Tomas Pajdla, “24/7 Place Recognition by View Synthesis”, in CVPR2015.
- [198] Arturo Deza, Devi Parikh, “Understanding Image Virality”, in CVPR2015.
- [199] Makarand Tapaswi, Martin Bauml, Rainer Stiefelbogen, “Book2Movie: Aligning Video Scenes With Book Chapters”, in CVPR2015.
- [200] Hui Chen, Jiangdong Li, Fengjun Zhang, Yang Li, Hongan Wang, “3D Model-Based Continuous Emotion Recognition”, in CVPR2015.
- [201] Sakrapee Paisitkriangkrai, Chunhua Shen, Anton van den Hengel, “Learning to Rank in Person Re-Identification With Metric Ensembles”, in CVPR2015.
- [202] Yonggang Qi, Yi-Zhe Song, Tao Xiang, Honggang Zhang, Timothy Hospedales, Yi Li, Jun Guo, “Making Better Use of Edges via Perceptual Grouping”, in CVPR2015.
- [203] Jeong-Kyun Lee, Kuk-Jin Yoon, “Real-Time Joint Estimation of Camera Orientation and Vanishing Points”, in CVPR2015.
- [204] Fang Wang, Le Kang, Yi Li, “Sketch-Based 3D Shape Retrieval Using Convolutional Neural Networks”, in CVPR2015.
- [205] Na Tong, Huchuan Lu, Xiang Ruan, Ming-Hsuan Yang, “Salient Object Detection via Bootstrap Learning”, in CVPR2015.
- [206] Abhijit Bendale, Terrance Bould, “Towards Open World Recognition”, in CVPR2015.
- [207] Yu Xiang, Wongun Choi, Yuanqing Lin, Silvio Savarese, “Data-Driven 3D Voxel Patterns for Object Category Recognition”, in CVPR2015.
- [208] Zhirong Wu, Shuran Song, Aditya Khosla, Fisher Yu, Linguang Zhang, Xiaoou Tang, Jianxiong Xiao, “3D ShapeNets: A Deep Representation for Volumetric Shapes”, in CVPR2015.
- [209] Kuang-Jui Hsu, Yen-Yu Lin, Yung-Yu Chuang, “Robust Image Alignment With Multiple Feature Descriptors and Matching-Guided Neighborhoods”, in CVPR2015.
- [210] Brendan F. Klare, Ben Klein, Emma Taborsky, Austin Blanton, Jordan Cheney, Kristen Allen, Patrick Grother, Alan Mah, Mark Burge, Anil K. Jain, “Pushing the Frontiers of Unconstrained Face Detection and Recognition: IARPA Janus Benchmark A”, in CVPR2015.
- [211] Michael W. Tao, Pratul P. Srinivasan, Jitendra Malik, Szymon Rusinkiewicz, Ravi Ramamoorthi, “Depth From Shading, Defocus, and Correspondence Using Light-Field Angular Coherence”, in CVPR2015.
- [212] Xiao-Ming Wu, Zhenguo Li, Shih-Fu Chang, “New Insights Into Laplacian Similarity Search”, in CVPR2015.
- [213] Amara Tariq, Hassan Foroosh, “Feature-Independent Context Estimation for Automatic Image Annotation”, in CVPR2015.
- [214] Abhishek Kar, Shubham Tulsiani, Joao Carreira, Jitendra Malik, “Category-Specific Object Reconstruction From a Single Image”, in CVPR2015.
- [215] Hang Su, Zhaozheng Yin, Takeo Kanade, Seungil Huh, “Active Sample Selection and Correction Propagation on a Gradually-Augmented Graph”, in CVPR2015.
- [216] Xiangyu Zhang, Jianhua Zou, Xiang Ming, Kaiming He, Jian Sun, “Efficient and Accurate Approximations of Non-linear Convolutional Networks”, in CVPR2015.
- [217] Gunhee Kim, Seungwhan Moon, Leonid Sigal, “Ranking and Retrieval of Image Sequences From Multiple Paragraph Queries”, in CVPR2015.
- [218] Fan Zhang, Feng Liu, “Casual Stereoscopic Panorama Stitching”, in CVPR2015.
- [219] Andras Bodis-Szomoru, Hayko Riemenschneider, Luc Van Gool, “Superpixel Meshes for Fast Edge-Preserving Surface Reconstruction”, in CVPR2015.
- [220] Tali Dekel, Shaul Oron, Michael Rubinstein, Shai Avidan, William T. Freeman, “Best-Buddies Similarity for Robust Template Matching”, in CVPR2015.
- [221] Tatsunori Tanai, Yasuyuki Matsushita, Takeshi Naemura, “Superdifferential Cuts for Binary Energies”, in CVPR2015.
- [222] Davide Conigliaro, Paolo Rota, Francesco Setti, Chiara Bassetti, Nicola Conci, Nicu Sebe, Marco Cristani, “The S-Hock Dataset: Analyzing Crowds at the Stadium”, in CVPR2015.
- [223] Wen Wang, Ruiping Wang, Zhiwu Huang, Shiguang Shan, Xilin Chen, “Discriminant Analysis on Riemannian Manifold of Gaussian Distributions for Face Recognition With Image Sets”, in CVPR2015.
- [224] Georgios Georgiadis, Alessandro Chiuso, Stefano Soatto, “Texture Representations for Image and Video Synthesis”, in CVPR2015.
- [225] Li Shen, Teck Wee Chua, Karianto Leman, “Shadow Optimization From Structured Deep Edge Detection”, in CVPR2015.
- [226] Maximilian Baust, Laurent Demaret, Martin Storath, Nassir Navab, Andreas Weinmann, “Total Variation Regularization of Shape Signals”, in CVPR2015.
- [227] Damien Teney, Matthew Brown, Dmitry Kit, Peter Hall, “Learning Similarity Metrics for Dynamic Scene Segmentation”, in CVPR2015.
- [228] Baohua Li, Ying Zhang, Zhouchen Lin, Huchuan Lu, “Subspace Clustering by Mixture of Gaussian Regression”, in CVPR2015.
- [229] Seungryong Kim, Dongbo Min, Bumsu Ham, Seungchul Ryu, Minh N. Do, Kwanghoon Sohn, “DASC: Dense Adaptive Self-Correlation Descriptor for Multi-Modal and Multi-Spectral Correspondence”, in CVPR2015.
- [230] Horst Possegger, Thomas Mauthner, Horst Bischof, “In Defense of Color-Based Model-Free Tracking”, in CVPR2015.
- [231] Olga Russakovsky, Li-Jia Li, Li Fei-Fei, “Best of Both Worlds: Human-Machine Collaboration for Object Annotation”, in CVPR2015.
- [232] Zygmunt L. Szpak, Wojciech Chojnacki, Anton van den Hengel, “Robust Multiple Homography Estimation: An Ill-Solved Problem”, in CVPR2015.
- [233] Ting Yao, Yingwei Pan, Chong-Wah Ngo, Houqiang Li, Tao Mei, “Semi-Supervised Domain Adaptation With Subspace Learning for Visual Recognition”, in CVPR2015.
- [234] Luca Del Pero, Susanna Ricco, Rahul Sukthankar, Vittorio Ferrari, “Articulated Motion Discovery Using Pairs of Trajectories”, in CVPR2015.
- [235] Florian Bernard, Johan Thunberg, Peter Gemmar, Frank Hertel, Andreas Huch, Jorge Goncalves, “A Solution for Multi-Alignment by Transformation Synchronisation”, in CVPR2015.
- [236] Yongfang Cheng, Jose A. Lopez, Octavia Camps, Mario Sznaier, “A Convex Optimization Approach to Robust Fundamental Matrix Estimation”, in CVPR2015.
- [237] Antonio Agudo, Francesc Moreno-Noguer, “Simultaneous Pose and Non-Rigid Shape With Particle Dynamics”, in CVPR2015.
- [238] Kwang In Kim, James Tompkin, Hanspeter Pfister, Christian Theobalt, “Semi-Supervised Learning With Explicit Relationship Regularization”, in CVPR2015.
- [239] Shengcai Liao, Yang Hu, Xiangyu Zhu, Stan Z. Li, “Person Re-Identification by Local Maximal Occurrence Representation and Metric Learning”, in CVPR2015.
- [240] Kaili Zhao, Wen-Sheng Chu, Fernando De la Torre, Jeffrey F. Cohn, Honggang Zhang, “Joint Patch and Multi-Label Learning for Facial Action Unit Detection”, in CVPR2015.
- [241] Chao Liu, Hernando Gomez, Srinivasa Narasimhan, Artur

- Dubrawski, Michael R. Pinsky, Brian Zuckerbraun, “Real-Time Visual Analysis of Microvascular Blood Flow for Critical Care”, in CVPR2015.
- [242] Longyin Wen, Dawei Du, Zhen Lei, Stan Z. Li, Ming-Hsuan Yang, “JOTS: Joint Online Tracking and Segmentation”, in CVPR2015.
- [243] Jia Xu, Lopamudra Mukherjee, Yin Li, Jamieson Warner, James M. Rehg, Vikas Singh, “Gaze-Enabled Egocentric Video Summarization via Constrained Submodular Maximization”, in CVPR2015.
- [244] Jiajun Lu, David Forsyth, “Sparse Depth Super Resolution”, in CVPR2015.
- [245] Kai-Fu Yang, Shao-Bing Gao, Yong-Jie Li, “Efficient Illuminant Estimation for Color Constancy Using Grey Pixels”, in CVPR2015.
- [246] Chenliang Xu, Shao-Hang Hsieh, Caiming Xiong, Jason J. Corso, “Can Humans Fly? Action Understanding With Multiple Classes of Actors”, in CVPR2015.
- [247] Lei Zhang, Wei Wei, Yanning Zhang, Chunna Tian, Fei Li, “Reweighted Laplace Prior Based Hyperspectral Compressive Sensing for Unknown Sparsity”, in CVPR2015.
- [248] Ashish Shrivastava, Mohammad Rastegari, Sumit Shekhar, Rama Chellappa, Larry S. Davis, “Class Consistent Multimodal Fusion With Binary Features”, in CVPR2015.
- [249] Cenek Albl, Zuzana Kukelova, Tomas Pajdla, “R6P - Rolling Shutter Absolute Camera Pose”, in CVPR2015.
- [250] Daniel Moreno, Kilho Son, Gabriel Taubin, “Embedded Phase Shifting: Robust Phase Shifting With Embedded Signals”, in CVPR2015.
- [251] Trung Ngo Thanh, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Shape and Light Directions From Shading and Polarization”, in CVPR2015.
- [252] Yi Fang, Jin Xie, Guoxian Dai, Meng Wang, Fan Zhu, Tiantian Xu, Edward Wong, “3D Deep Shape Descriptor”, in CVPR2015.
- [253] Liang Du, Haibin Ling, “Cross-Age Face Verification by Coordinating With Cross-Face Age Verification”, in CVPR2015.
- [254] Yanhong Bi, Bin Fan, Fuchao Wu, “Beyond Mahalanobis Metric: Cayley-Klein Metric Learning”, in CVPR2015.
- [255] Peihua Li, Xiaoxiao Lu, Qilong Wang, “From Dictionary of Visual Words to Subspaces: Locality-Constrained Affine Subspace Coding”, in CVPR2015.
- [256] Huaijin Chen, M. Salman Asif, Aswin C. Sankaranarayanan, Ashok Veeraraghavan, “FPA-CS: Focal Plane Array-Based Compressive Imaging in Short-Wave Infrared”, in CVPR2015.
- [257] Vassileios Balntas, Lilian Tang, Krystian Mikolajczyk, “BOLD - Binary Online Learned Descriptor For Efficient Image Matching”, in CVPR2015.
- [258] Lei Xiao, Felix Heide, Matthew O’Toole, Andreas Kolb, Matthias B. Hullin, Kyros Kutulakos, Wolfgang Heidrich, “Defocus Deblurring and Superresolution for Time-of-Flight Depth Cameras”, in CVPR2015.
- [259] Mauricio Delbracio, Guillermo Sapiro, “Burst Deblurring: Removing Camera Shake Through Fourier Burst Accumulation”, in CVPR2015.
- [260] Peng Zhang, Wengang Zhou, Lei Wu, Houqiang Li, “SOM: Semantic Obviousness Metric for Image Quality Assessment”, in CVPR2015.
- [261] Wanli Ouyang, Xiaogang Wang, Xingyu Zeng, Shi Qiu, Ping Luo, Yonglong Tian, Hongsheng Li, Shuo Yang, Zhe Wang, Chen-Change Loy, Xiaoou Tang, “DeepID-Net: Deformable Deep Convolutional Neural Networks for Object Detection”, in CVPR2015.
- [262] Tat-Jun Chin, Pulak Purkait, Anders Eriksson, David Suter, “Efficient Globally Optimal Consensus Maximisation With Tree Search”, in CVPR2015.
- [263] Xinlei Chen, C. Lawrence Zitnick, “Mind’s Eye: A Recurrent Visual Representation for Image Caption Generation”, in CVPR2015.
- [264] Raghuraman Gopalan, “Hierarchical Sparse Coding With Geometric Prior For Visual Geo-Location”, in CVPR2015.
- [265] Changchang Wu, “P3.5P: Pose Estimation With Unknown Focal Length”, in CVPR2015.
- [266] Till Kroeger, Dengxin Dai, Luc Van Gool, “Joint Vanishing Point Extraction and Tracking”, in CVPR2015.
- [267] Hossein Rahmani, Ajmal Mian, “Learning a Non-Linear Knowledge Transfer Model for Cross-View Action Recognition”, in CVPR2015.
- [268] Ho Yub Jung, Soochahn Lee, Yong Seok Heo, Il Dong Yun, “Random Tree Walk Toward Instantaneous 3D Human Pose Estimation”, in CVPR2015.
- [269] Venice Erin Liong, Jiwen Lu, Gang Wang, Pierre Moulin, Jie Zhou, “Deep Hashing for Compact Binary Codes Learning”, in CVPR2015.
- [270] Jason Rock, Tanmay Gupta, Justin Thorsen, JunYoung Gwak, Daeyun Shin, Derek Hoiem, “Completing 3D Object Shape From One Depth Image”, in CVPR2015.
- [271] Thomas Mauthner, Horst Possegger, Georg Waltner, Horst Bischof, “Encoding Based Saliency Detection for Videos and Images”, in CVPR2015.
- [272] Cong Leng, Jiayang Wu, Jian Cheng, Xiao Bai, Hanqing Lu, “Online Sketching Hashing”, in CVPR2015.
- [273] Christopher Bongsoo Choy, Michael Stark, Sam Corbett-Davies, Silvio Savarese, “Enriching Object Detection With 2D-3D Registration and Continuous Viewpoint Estimation”, in CVPR2015.
- [274] Naoufel Werghi, Claudio Tortorici, Stefano Berretti, Alberto Del Bimbo, “Representing 3D Texture on Mesh Manifolds for Retrieval and Recognition Applications”, in CVPR2015.
- [275] Chen Gong, Dacheng Tao, Wei Liu, Stephen J. Maybank, Meng Fang, Keren Fu, Jie Yang, “Saliency Propagation From Simple to Difficult”, in CVPR2015.
- [276] Sameh Khamis, Jonathan Taylor, Jamie Shotton, Cem Keskin, Shahram Izadi, Andrew Fitzgibbon, “Learning an Efficient Model of Hand Shape Variation From Depth Images”, in CVPR2015.
- [277] Fangyuan Jiang, Magnus Oskarsson, Kalle Astrom, “On the Minimal Problems of Low-Rank Matrix Factorization”, in CVPR2015.
- [278] Zheng Zhang, Wei Shen, Cong Yao, Xiang Bai, “Symmetry-Based Text Line Detection in Natural Scenes”, in CVPR2015.
- [279] Chuang Gan, Naiyan Wang, Yi Yang, Dit-Yan Yeung, Alex G. Hauptmann, “DevNet: A Deep Event Network for Multimedia Event Detection and Evidence Recounting”, in CVPR2015.
- [280] Philippe Weinzaepfel, Jerome Revaud, Zaid Harchaoui, Cordelia Schmid, “Learning to Detect Motion Boundaries”, in CVPR2015.
- [281] Xiaozhi Chen, Huimin Ma, Xiang Wang, Zhichen Zhao, “Improving Object Proposals With Multi-Thresholding Straddling Expansion”, in CVPR2015.
- [282] Hossein Hajimirsadeghi, Wang Yan, Arash Vahdat, Greg Mori, “Visual Recognition by Counting Instances: A Multi-Instance Cardinality Potential Kernel”, in CVPR2015.
- [283] Joseph Roth, Yiyang Tong, Xiaoming Liu, “Unconstrained 3D Face Reconstruction”, in CVPR2015.
- [284] Edward Johns, Oisín Mac Aodha, Gabriel J. Brostow, “Becoming the Expert - Interactive Multi-Class Machine Teaching”, in CVPR2015.
- [285] Jeffrey Donahue, Lisa Anne Hendricks, Sergio Guadarrama, Marcus Rohrbach, Subhashini Venugopalan, Kate Saenko, Trevor Darrell, “Long-Term Recurrent Convolu-

- tional Networks for Visual Recognition and Description”, in CVPR2015.
- [286] Zhenyong Fu, Tao Xiang, Elyor Kodirov, Shaogang Gong, “Zero-Shot Object Recognition by Semantic Manifold Distance”, in CVPR2015.
- [287] Saining Xie, Tianbao Yang, Xiaoyu Wang, Yuanqing Lin, “Hyper-Class Augmented and Regularized Deep Learning for Fine-Grained Image Classification”, in CVPR2015.
- [288] Nianjuan Jiang, Daniel Lin, Minh N. Do, Jiangbo Lu, “Direct Structure Estimation for 3D Reconstruction”, in CVPR2015.
- [289] Xuehan Xiong, Fernando De la Torre, “Global Supervised Descent Method”, in CVPR2015.
- [290] Onur Ozyesil, Amit Singer, “Robust Camera Location Estimation by Convex Programming”, in CVPR2015.
- [291] Johan Fredriksson, Viktor Larsson, Carl Olsson, “Practical Robust Two-View Translation Estimation”, in CVPR2015.
- [292] Tong Xiao, Tian Xia, Yi Yang, Chang Huang, Xiaogang Wang, “Learning From Massive Noisy Labeled Data for Image Classification”, in CVPR2015.
- [293] Mithun Das Gupta, Srinidhi Srinivasa, Madhukara J., Meryl Antony, “KL Divergence Based Agglomerative Clustering for Automated Vitiligo Grading”, in CVPR2015.
- [294] Changyang Li, Yuchen Yuan, Weidong, Cai, Yong Xia, David Dagan Feng, “Robust Saliency Detection via Regularized Random Walks Ranking”, in CVPR2015.
- [295] Wei Zhang, Sheng Zeng, Dequan Wang, Xiangyang Xue, “Weakly Supervised Semantic Segmentation for Social Images”, in CVPR2015.
- [296] Mainak Jas, Devi Parikh, “Image Specificity”, in CVPR2015.
- [297] Neel Shah, Vladimir Kolmogorov, Christoph H. Lampert, “A Multi-Plane Block-Coordinate Frank-Wolfe Algorithm for Training Structural SVMs With a Costly Max-Oracle”, in CVPR2015.
- [298] Yaniv Taigman, Ming Yang, Marc’Aurelio Ranzato, Lior Wolf, “Web-Scale Training for Face Identification”, in CVPR2015.
- [299] Christoph Feichtenhofer, Axel Pinz, Richard P. Wildes, “Dynamically Encoded Actions Based on Spacetime Saliency”, in CVPR2015.
- [300] Takumi Kobayashi, “Three Viewpoints Toward Exemplar SVM”, in CVPR2015.
- [301] Li Niu, Wen Li, Dong Xu, “Visual Recognition by Learning From Web Data: A Weakly Supervised Domain Generalization Approach”, in CVPR2015.
- [302] Georg Nebehay, Roman Pflugfelder, “Clustering of Static-Adaptive Correspondences for Deformable Object Tracking”, in CVPR2015.
- [303] Shervin Ardeshtir, Kofi Malcolm Collins-Sibley, Mubarak Shah, “Geo-Semantic Segmentation”, in CVPR2015.
- [304] Peng Wang, Xiaohui Shen, Zhe Lin, Scott Cohen, Brian Price, Alan L. Yuille, “Towards Unified Depth and Semantic Prediction From a Single Image”, in CVPR2015.
- [305] Tu-Hoa Pham, Abderrahmane Kheddar, Ammar Qammar, Antonis A. Argyros, “Towards Force Sensing From Vision: Observing Hand-Object Interactions to Infer Manipulation Forces”, in CVPR2015.
- [306] Mateusz Koziński, Raghudeep Gadde, Sergey Zagoruyko, Guillaume Obozinski, Renaud Marlet, “A MRF Shape Prior for Facade Parsing With Occlusions”, in CVPR2015.
- [307] Timur Bagautdinov, Francois Fleuret, Pascal Fua, “Probability Occupancy Maps for Occluded Depth Images”, in CVPR2015.
- [308] Rabeeh Karimi Mahabadi, Christian Hane, Marc Pollefeys, “Segment Based 3D Object Shape Priors”, in CVPR2015.
- [309] Mathias Gallardo, Daniel Pizarro, Adrien Bartoli, Toby Collins, “Shape-From-Template in Flatland”, in CVPR2015.
- [310] Yixin Zhu, Yibiao Zhao, Song Chun Zhu, “Understanding Tools: Task-Oriented Object Modeling, Learning and Recognition”, in CVPR2015.
- [311] Edouard Oyallon, Stephane Mallat, “Deep Roto-Translation Scattering for Object Classification”, in CVPR2015.
- [312] Hong-Ren Su, Shang-Hong Lai, “Non-Rigid Registration of Images With Geometric and Photometric Deformation by Using Local Affine Fourier-Moment Matching”, in CVPR2015.
- [313] Judy Hoffman, Deepak Pathak, Trevor Darrell, Kate Saenko, “Detector Discovery in the Wild: Joint Multiple Instance and Representation Learning”, in CVPR2015.
- [314] Yi Sun, Xiaogang Wang, Xiaoou Tang, “Deeply Learned Face Representations Are Sparse, Selective, and Robust”, in CVPR2015.
- [315] Fatemeh Shokrollahi Yancheshmeh, Ke Chen, Joni-Kristian Kamarainen, “Unsupervised Visual Alignment With Similarity Graphs”, in CVPR2015.
- [316] Kai-Wen Cheng, Yie-Tarn Chen, Wen-Hsien Fang, “Video Anomaly Detection and Localization Using Hierarchical Feature Representation and Gaussian Process Regression”, in CVPR2015.
- [317] Jiyan Pan, Martial Hebert, Takeo Kanade, “Inferring 3D Layout of Building Facades From a Single Image”, in CVPR2015.
- [318] Zeynep Akata, Scott Reed, Daniel Walter, Honglak Lee, Bernt Schiele, “Evaluation of Output Embeddings for Fine-Grained Image Classification”, in CVPR2015.
- [319] Joao Carreira, Abhishek Kar, Shubham Tulsiani, Jitendra Malik, “Virtual View Networks for Object Reconstruction”, in CVPR2015.
- [320] Jian Yao, Marko Boben, Sanja Fidler, Raquel Urtasun, “Real-Time Coarse-to-Fine Topologically Preserving Segmentation”, in CVPR2015.
- [321] Albert Gordo, “Supervised Mid-Level Features for Word Image Representation”, in CVPR2015.
- [322] Takuya Narihira, Michael Maire, Stella X. Yu, “Learning Lightness From Human Judgement on Relative Reflectance”, in CVPR2015.
- [323] Mandar Dixit, Si Chen, Dashan Gao, Nikhil Rasiwasia, Nuno Vasconcelos, “Scene Classification With Semantic Fisher Vectors”, in CVPR2015.
- [324] Xiao Lin, Devi Parikh, “Don’t Just Listen, Use Your Imagination: Leveraging Visual Common Sense for Non-Visual Tasks”, in CVPR2015.
- [325] Dingwen Zhang, Junwei Han, Chao Li, Jingdong Wang, “Co-Saliency Detection via Looking Deep and Wide”, in CVPR2015.
- [326] Filippo Bergamasco, Andrea Albarelli, Luca Cosmo, Andrea Torsello, Emanuele Rodola, Daniel Cremers, “Adopting an Unconstrained Ray Model in Light-Field Cameras for 3D Shape Reconstruction”, in CVPR2015.
- [327] Wei Liu, Rongrong Ji, Shaozi Li, “Towards 3D Object Detection With Bimodal Deep Boltzmann Machines Over RGBD Imagery”, in CVPR2015.
- [328] Abel Gonzalez-Garcia, Alexander Vezhnevets, Vittorio Ferrari, “An Active Search Strategy for Efficient Object Class Detection”, in CVPR2015.
- [329] Aasa Feragen, Francois Lauze, Soren Hauberg, “Geodesic Exponential Kernels: When Curvature and Linearity Conflict”, in CVPR2015.
- [330] Dmitry Laptev, Joachim M. Buhmann, “Transformation-Invariant Convolutional Jungles”, in CVPR2015.
- [331] Joaquin Zepeda, Patrick Perez, “Exemplar SVMs as Visual Feature Encoders”, in CVPR2015.
- [332] Moritz Menze, Andreas Geiger, “Object Scene Flow for Autonomous Vehicles”, in CVPR2015.

- [333] Hang Zhang, Kristin Dana, Ko Nishino, “Reflectance Hashing for Material Recognition”, in CVPR2015.
- [334] Gunhee Kim, Seungwhan Moon, Leonid Sigal, “Joint Photo Stream and Blog Post Summarization and Exploration”, in CVPR2015.
- [335] Michael Gygli, Helmut Grabner, Luc Van Gool, “Video Summarization by Learning Submodular Mixtures of Objectives”, in CVPR2015.
- [336] Marcus A. Brubaker, Ali Punjani, David J. Fleet, “Building Proteins in a Day: Efficient 3D Molecular Reconstruction”, in CVPR2015.
- [337] Paul Wohlhart, Vincent Lepetit, “Learning Descriptors for Object Recognition and 3D Pose Estimation”, in CVPR2015.
- [338] Liuyun Duan, Florent Lafarge, “Image Partitioning Into Convex Polygons”, in CVPR2015.
- [339] Andrej Karpathy, Li Fei-Fei, “Deep Visual-Semantic Alignments for Generating Image Descriptions”, in CVPR2015.
- [340] Hyung Jin Chang, Yiannis Demiris, “Unsupervised Learning of Complex Articulated Kinematic Structures Combining Motion and Skeleton Information”, in CVPR2015.
- [341] Rushil Anirudh, Pavan Turaga, Jingyong Su, Anuj Srivastava, “Elastic Functional Coding of Human Actions: From Vector-Fields to Latent Variables”, in CVPR2015.
- [342] Oriol Vinyals, Alexander Toshev, Samy Bengio, Dumitru Erhan, “Show and Tell: A Neural Image Caption Generator”, in CVPR2015.
- [343] Branislav Micusik, Horst Wildenauer, “Descriptor Free Visual Indoor Localization With Line Segments”, in CVPR2015.
- [344] Jiaping Zhao, Christian Siagian, Laurent Itti, “Fixation Bank: Learning to Reweight Fixation Candidates”, in CVPR2015.
- [345] Lijun Wang, Huchuan Lu, Xiang Ruan, Ming-Hsuan Yang, “Deep Networks for Saliency Detection via Local Estimation and Global Search”, in CVPR2015.
- [346] YiChang Shih, Dilip Krishnan, Fredo Durand, William T. Freeman, “Reflection Removal Using Ghosting Cues”, in CVPR2015.
- [347] Anna Rohrbach, Marcus Rohrbach, Niket Tandon, Bernt Schiele, “A Dataset for Movie Description”, in CVPR2015.
- [348] Srinath Sridhar, Franziska Mueller, Antti Oulasvirta, Christian Theobalt, “Fast and Robust Hand Tracking Using Detection-Guided Optimization”, in CVPR2015.
- [349] Peng Wang, Chunhua Shen, Anton van den Hengel, “Efficient SDP Inference for Fully-Connected CRFs Based on Low-Rank Decomposition”, in CVPR2015.
- [350] Wangmeng Zuo, Dongwei Ren, Shuhang Gu, Liang Lin, Lei Zhang, “Discriminative Learning of Iteration-Wise Priors for Blind Deconvolution”, in CVPR2015.
- [351] Karthikeyan Shanmuga Vadivel, Thuyen Ngo, Miguel Eckstein, B.S. Manjunath, “Eye Tracking Assisted Extraction of Attentionally Important Objects From Videos”, in CVPR2015.
- [352] Jingming Dong, Nikolaos Karianakis, Damek Davis, Joshua Hernandez, Jonathan Balzer, Stefano Soatto, “Multi-View Feature Engineering and Learning”, in CVPR2015.
- [353] Yin Wang, Caglayan Dicle, Mario Sznajder, Octavia Camps, “Self Scaled Regularized Robust Regression”, in CVPR2015.
- [354] Hanjiang Lai, Yan Pan, Ye Liu, Shuicheng Yan, “Simultaneous Feature Learning and Hash Coding With Deep Neural Networks”, in CVPR2015.
- [355] Xufeng Han, Thomas Leung, Yangqing Jia, Rahul Sukthankar, Alexander C. Berg, “MatchNet: Unifying Feature and Metric Learning for Patch-Based Matching”, in CVPR2015.
- [356] Jared Heinly, Johannes L. Schonberger, Enrique Dunn, Jan Michael Frahm, “Reconstructing the World* in Six Days *(As Captured by the Yahoo 100 Million Image Dataset)”, in CVPR2015.
- [357] Charles Freundlich, Michael Zavlanos, Philippos Mordohai, “Exact Bias Correction and Covariance Estimation for Stereo Vision”, in CVPR2015.
- [358] Chris Sweeney, Laurent Kneip, Tobias Hollerer, Matthew Turk, “Computing Similarity Transformations From Only Image Correspondences”, in CVPR2015.
- [359] Christian Rupprecht, Loic Peter, Nassir Navab, “Image Segmentation in Twenty Questions”, in CVPR2015.
- [360] Yang Zhou, Bingbing Ni, Richang Hong, Meng Wang, Qi Tian, “Interaction Part Mining: A Mid-Level Approach for Fine-Grained Action Recognition”, in CVPR2015.
- [361] Yan Xia, Kaiming He, Pushmeet Kohli, Jian Sun, “Sparse Projections for High-Dimensional Binary Codes”, in CVPR2015.
- [362] Ryan Kennedy, Camillo J. Taylor, “Hierarchically-Constrained Optical Flow”, in CVPR2015.
- [363] Anders Eriksson, Trung Thanh Pham, Tat-Jun Chin, Ian Reid, “The k-Support Norm and Convex Envelopes of Cardinality and Rank”, in CVPR2015.
- [364] Hao Jiang, “Matching Bags of Regions in RGBD images”, in CVPR2015.
- [365] Ming Liang, Xiaolin Hu, “Recurrent Convolutional Neural Network for Object Recognition”, in CVPR2015.
- [366] Mohammadreza Mostajabi, Payman Yadollahpour, Gregory Shakhnarovich, “Feedforward Semantic Segmentation With Zoom-Out Features”, in CVPR2015.
- [367] Tianfan Xue, Hossein Mobahi, Fredo Durand, William T. Freeman, “The Aperture Problem for Refractive Motion”, in CVPR2015.
- [368] Wenguan Wang, Jianbing Shen, Fatih Porikli, “Saliency-Aware Geodesic Video Object Segmentation”, in CVPR2015.
- [369] Sukrit Shankar, Vikas K. Garg, Roberto Cipolla, “DEEPCARVING: Discovering Visual Attributes by Carving Deep Neural Nets”, in CVPR2015.
- [370] Chenxi Liu, Alexander G. Schwing, Kaustav Kundu, Raquel Urtasun, Sanja Fidler, “Rent3D: Floor-Plan Priors for Monocular Layout Estimation”, in CVPR2015.
- [371] Saurabh Singh, Derek Hoiem, David Forsyth, “Learning a Sequential Search for Landmarks”, in CVPR2015.
- [372] Jonathan Long, Evan Shelhamer, Trevor Darrell, “Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation”, in CVPR2015.
- [373] Fei Yan, Krystian Mikołajczyk, “Deep Correlation for Matching Images and Text”, in CVPR2015.
- [374] Sifei Liu, Jimei Yang, Chang Huang, Ming-Hsuan Yang, “Multi-Objective Convolutional Learning for Face Labeling”, in CVPR2015.
- [375] Jiajun Wu, Yinan Yu, Chang Huang, Kai Yu, “Deep Multiple Instance Learning for Image Classification and Auto-Annotation”, in CVPR2015.
- [376] Yi-Ting Chen, Xiaokai Liu, Ming-Hsuan Yang, “Multi-Instance Object Segmentation With Occlusion Handling”, in CVPR2015.
- [377] Sean Bell, Paul Upchurch, Noah Snaveley, Kavita Bala, “Material Recognition in the Wild With the Materials in Context Database”, in CVPR2015.
- [378] Shuai Yi, Hongsheng Li, Xiaogang Wang, “Understanding Pedestrian Behaviors From Stationary Crowd Groups”, in CVPR2015.
- [379] Supasorn Suwajanakorn, Carlos Hernandez, Steven M. Seitz, “Depth From Focus With Your Mobile Phone”, in CVPR2015.
- [380] Thorsten Beier, Fred A. Hamprecht, Jorg H. Kappes, “Fusion Moves for Correlation Clustering”, in CVPR2015.
- [381] Dan Banica, Cristian Sminchisescu, “Second-Order Con-

- strained Parametric Proposals and Sequential Search-Based Structured Prediction for Semantic Segmentation in RGB-D Images”, in CVPR2015.
- [382] Dengxin Dai, Till Kroeger, Radu Timofte, Luc Van Gool, “Metric Imitation by Manifold Transfer for Efficient Vision Applications”, in CVPR2015.
- [383] Silvia Zuffi, Michael J. Black, “The Stitched Puppet: A Graphical Model of 3D Human Shape and Pose”, in CVPR2015.
- [384] Wonmin Byeon, Thomas M. Breuel, Federico Raue, Marcus Liwicki, “Scene Labeling With LSTM Recurrent Neural Networks”, in CVPR2015.
- [385] Thanh-Toan Do, Quang D. Tran, Ngai-Man Cheung, “FAemb: A Function Approximation-Based Embedding Method for Image Retrieval”, in CVPR2015.
- [386] Gabriel Schwartz, Ko Nishino, “Automatically Discovering Local Visual Material Attributes”, in CVPR2015.
- [387] Kiyoshi Matsuo, Yoshimitsu Aoki, “Depth Image Enhancement Using Local Tangent Plane Approximations”, in CVPR2015.
- [388] Wen-Sheng Chu, Yale Song, Alejandro Jaimes, “Video Co-Summarization: Video Summarization by Visual Co-Occurrence”, in CVPR2015.
- [389] Ishan Misra, Abhinav Shrivastava, Martial Hebert, “Watch and Learn: Semi-Supervised Learning for Object Detectors From Video”, in CVPR2015.
- [390] Xiaojie Guo, Yi Ma, “Generalized Tensor Total Variation Minimization for Visual Data Recovery”, in CVPR2015.
- [391] Qing Sun, Ankit Laddha, Dhruv Batra, “Active Learning for Structured Probabilistic Models With Histogram Approximation”, in CVPR2015.
- [392] Marian George, “Image Parsing With a Wide Range of Classes and Scene-Level Context”, in CVPR2015.
- [393] Naveed Akhtar, Faisal Shafait, Ajmal Mian, “Bayesian Sparse Representation for Hyperspectral Image Super Resolution”, in CVPR2015.
- [394] Yu Zhang, Xiaowu Chen, Jia Li, Chen Wang, Changqun Xia, “Semantic Object Segmentation via Detection in Weakly Labeled Video”, in CVPR2015.
- [395] Dimitris Stamos, Samuele Martelli, Moin Nabi, Andrew McDonald, Vittorio Murino, Massimiliano Pontil, “Learning With Dataset Bias in Latent Subcategory Models”, in CVPR2015.
- [396] Georgios Tzimiropoulos, “Project-Out Cascaded Regression With an Application to Face Alignment”, in CVPR2015.
- [397] Justin Johnson, Ranjay Krishna, Michael Stark, Li-Jia Li, David Shamma, Michael Bernstein, Li Fei-Fei, “Image Retrieval Using Scene Graphs”, in CVPR2015.
- [398] Joan Alabort-i-Medina, Stefanos Zafeiriou, “Unifying Holistic and Parts-Based Deformable Model Fitting”, in CVPR2015.
- [399] Zheng Ma, Lei Yu, Antoni B. Chan, “Small Instance Detection by Integer Programming on Object Density Maps”, in CVPR2015.
- [400] Bingbing Ni, Pierre Moulin, Xiaokang Yang, Shuicheng Yan, “Motion Part Regularization: Improving Action Recognition via Trajectory Selection”, in CVPR2015.
- [401] Wu Liu, Tao Mei, Yongdong Zhang, Cherry Che, Jiebo Luo, “Multi-Task Deep Visual-Semantic Embedding for Video Thumbnail Selection”, in CVPR2015.
- [402] Qi Qian, Rong Jin, Shenghuo Zhu, Yuanqing Lin, “Fine-Grained Visual Categorization via Multi-Stage Metric Learning”, in CVPR2015.
- [403] Yuanliu Liu, Zejian Yuan, Nanning Zheng, Yang Wu, “Saturation-Preserving Specular Reflection Separation”, in CVPR2015.
- [404] Shiyu Song, Manmohan Chandraker, “Joint SFM and Detection Cues for Monocular 3D Localization in Road Scenes”, in CVPR2015.
- [405] Florent Perronnin, Diane Larlus, “Fisher Vectors Meet Neural Networks: A Hybrid Classification Architecture”, in CVPR2015.
- [406] Xing Mei, Weiming Dong, Bao-Gang Hu, Siwei Lyu, “UniHIST: A Unified Framework for Image Restoration With Marginal Histogram Constraints”, in CVPR2015.
- [407] Jiasen Lu, ran Xu, Jason J. Corso, “Human Action Segmentation With Hierarchical Supervoxel Consistency”, in CVPR2015.
- [408] Bernard Ghanem, Ali Thabet, Juan Carlos Niebles, Fabian Caba Heilbron, “Robust Manhattan Frame Estimation From a Single RGB-D Image”, in CVPR2015.
- [409] Jia Xu, Alexander G. Schwing, Raquel Urtasun, “Learning to Segment Under Various Forms of Weak Supervision”, in CVPR2015.
- [410] Samuel Schulter, Christian Leistner, Horst Bischof, “Fast and Accurate Image Upscaling With Super-Resolution Forests”, in CVPR2015.
- [411] Zhoutong Zhang, Yebin Liu, Qionghai Dai, “Light Field From Micro-Baseline Image Pair”, in CVPR2015.
- [412] Ahmed Elhayek, Edilson de Aguiar, Arjun Jain, Jonathan Tompson, Leonid Pishchulin, Micha Andriluka, Chris Bregler, Bernt Schiele, Christian Theobalt, “Efficient ConvNet-Based Marker-Less Motion Capture in General Scenes With a Low Number of Cameras”, in CVPR2015.
- [413] Hironori Hattori, Vishnu Naresh Boddeti, Kris M. Kitani, Takeo Kanade, “Learning Scene-Specific Pedestrian Detectors Without Real Data”, in CVPR2015.
- [414] Mircea Cimpoi, Subhansu Maji, Andrea Vedaldi, “Deep Filter Banks for Texture Recognition and Segmentation”, in CVPR2015.
- [415] Chulwoo Lee, Won-Dong Jang, Jae-Young Sim, Chang-Su Kim, “Multiple Random Walkers and Their Application to Image Cosegmentation”, in CVPR2015.
- [416] Rui Caseiro, Joao F. Henriques, Pedro Martins, Jorge Batista, “Beyond the Shortest Path : Unsupervised Domain Adaptation by Sampling Subspaces Along the Spline Flow”, in CVPR2015.
- [417] Etai Littwin, Hadar Averbuch-Elor, Daniel Cohen-Or, “Spherical Embedding of Inlier Silhouette Dissimilarities”, in CVPR2015.
- [418] Zijia Lin, Guiguang Ding, Mingqing Hu, Jianmin Wang, “Semantics-Preserving Hashing for Cross-View Retrieval”, in CVPR2015.
- [419] Chaoyang Wang, Long Zhao, Shuang Liang, Liqing Zhang, Jinyuan Jia, Yichen Wei, “Object Proposal by Multi-Branched Hierarchical Segmentation”, in CVPR2015.
- [420] Wei Yang, Yu Ji, Haiting Lin, Yang Yang, Sing Bing Kang, Jingyi Yu, “Ambient Occlusion via Compressive Visibility Estimation”, in CVPR2015.
- [421] Naeemullah Khan, Marei Algarni, Anthony Yezzi, Ganesh Sundaramoorthi, “Shape-Tailored Local Descriptors and Their Application to Segmentation and Tracking”, in CVPR2015.
- [422] Ting-Hsuan Chao, Yen-Liang Lin, Yin-Hsi Kuo, Winston H. Hsu, “Scalable Object Detection by Filter Compression With Regularized Sparse Coding”, in CVPR2015.
- [423] Ejaz Ahmed, Michael Jones, Tim K. Marks, “An Improved Deep Learning Architecture for Person Re-Identification”, in CVPR2015.
- [424] Mayank Kabra, Alice Robie, Kristin Branson, “Understanding Classifier Errors by Examining Influential Neighbors”, in CVPR2015.
- [425] Mehrtash Harandi, Mathieu Salzmann, “Riemannian Coding and Dictionary Learning: Kernels to the Rescue”, in CVPR2015.
- [426] Benjamin Resch, Hendrik P. A. Lensch, Oliver Wang, Marc

- Pollefeys, Alexander Sorkine-Hornung, “Scalable Structure From Motion for Densely Sampled Videos”, in CVPR2015.
- [427] Xianjie Chen, Alan L. Yuille, “Parsing Occluded People by Flexible Compositions”, in CVPR2015.
- [428] Davide Modolo, Alexander Vezhnevets, Olga Russakovsky, Vittorio Ferrari, “Joint Calibration of Ensemble of Exemplar SVMs”, in CVPR2015.
- [429] Shenlong Wang, Sanja Fidler, Raquel Urtasun, “Holistic 3D Scene Understanding From a Single Geo-Tagged Image”, in CVPR2015.
- [430] Linjie Yang, Ping Luo, Chen Change Loy, Xiaoou Tang, “A Large-Scale Car Dataset for Fine-Grained Categorization and Verification”, in CVPR2015.
- [431] Wei Shen, Xinggang Wang, Yan Wang, Xiang Bai, Zhi-jiang Zhang, “DeepContour: A Deep Convolutional Feature Learned by Positive-Sharing Loss for Contour Detection”, in CVPR2015.
- [432] Jifeng Dai, Kaiming He, Jian Sun, “Convolutional Feature Masking for Joint Object and Stuff Segmentation”, in CVPR2015.
- [433] Kai Han, Kwan-Yee K. Wong, Miaomiao Liu, “A Fixed Viewpoint Approach for Dense Reconstruction of Transparent Objects”, in CVPR2015.
- [434] Ayan Chakrabarti, Ying Xiong, Steven J. Gortler, Todd Zickler, “Low-Level Vision by Consensus in a Spatial Hierarchy of Regions”, in CVPR2015.
- [435] Jean-Dominique Favreau, Florent Lafarge, Adrien Bousseau, “Line Drawing Interpretation in a Multi-View Context”, in CVPR2015.
- [436] Chun-Hao Huang, Edmond Boyer, Bibiana do Canto Angonese, Nassir Navab, Slobodan Ilic, “Toward User-Specific Tracking by Detection of Human Shapes in Multi-Cameras”, in CVPR2015.
- [437] Haichao Zhang, Jianchao Yang, “Intra-Frame Deblurring by Leveraging Inter-Frame Camera Motion”, in CVPR2015.
- [438] Jianming Zhang, Shugao Ma, Mehrnoosh Sameki, Stan Sclaroff, Margrit Betke, Zhe Lin, Xiaohui Shen, Brian Price, Radomir Mech, “Salient Object Subitizing”, in CVPR2015.
- [439] Haoxiang Li, Gang Hua, “Hierarchical-PEP Model for Real-World Face Recognition”, in CVPR2015.
- [440] Haifei Huang, Hui Zhang, Yiu-ming Cheung, “The Common Self-Polar Triangle of Concentric Circles and Its Application to Camera Calibration”, in CVPR2015.
- [441] Jan Hosang, Mohamed Omran, Rodrigo Benenson, Bernt Schiele, “Taking a Deeper Look at Pedestrians”, in CVPR2015.
- [442] Katerina Fragkiadaki, Pablo Arbelaez, Panna Felsen, Jitendra Malik, “Learning to Segment Moving Objects in Videos”, in CVPR2015.
- [443] Afshin Dehghan, Shayan Modiri Assari, Mubarak Shah, “GMMCP Tracker: Globally Optimal Generalized Maximum Multi Clique Problem for Multiple Object Tracking”, in CVPR2015.
- [444] Mingkui Tan, Qinfeng Shi, Anton van den Hengel, Chunhua Shen, Junbin Gao, Fuyuan Hu, Zhen Zhang, “Learning Graph Structure for Multi-Label Image Classification via Clique Generation”, in CVPR2015.
- [445] Ching-Hui Chen, Vishal M. Patel, Rama Chellappa, “Matrix Completion for Resolving Label Ambiguity”, in CVPR2015.
- [446] Mohamed Elgharib, Mohamed Hefeeda, Fredo Durand, William T. Freeman, “Video Magnification in Presence of Large Motions”, in CVPR2015.
- [447] Artem Rozantsev, Vincent Lepetit, Pascal Fua, “Flying Objects Detection From a Single Moving Camera”, in CVPR2015.
- [448] Mi Zhang, Jian Yao, Menghan Xia, Kai Li, Yi Zhang, Yaping Liu, “Line-Based Multi-Label Energy Optimization for Fisheye Image Rectification and Calibration”, in CVPR2015.
- [449] David Perra, Rohit Kumar Gupta, Jan-Michael Frahm, “Adaptive Eye-Camera Calibration for Head-Worn Devices”, in CVPR2015.
- [450] Daniyar Turmukhambetov, Neill D.F. Campbell, Simon J.D. Prince, Jan Kautz, “Modeling Object Appearance Using Context-Conditioned Component Analysis”, in CVPR2015.
- [451] Fatma Guney, Andreas Geiger, “Displets: Resolving Stereo Ambiguities Using Object Knowledge”, in CVPR2015.
- [452] Yukitoshi Watanabe, Fumihiko Sakaue, Jun Sato, “Time-to-Contact From Image Intensity”, in CVPR2015.
- [453] Zhiyuan Shi, Timothy M. Hospedales, Tao Xiang, “Transferring a Semantic Representation for Person Re-Identification and Search”, in CVPR2015.
- [454] Zhengyang Wu, Fuxin Li, Rahul Sukthankar, James M. Rehg, “Robust Video Segment Proposals With Painless Occlusion Handling”, in CVPR2015.
- [455] Donghoon Lee, Hyunsin Park, Chang D. Yoo, “Face Alignment Using Cascade Gaussian Process Regression Trees”, in CVPR2015.
- [456] Jose C. Rubio, Bjorn Ommer, “Regularizing Max-Margin Exemplars by Reconstruction and Generative Models”, in CVPR2015.
- [457] Gunay Do?an, Javier Bernal, Charles R. Hagwood, “A Fast Algorithm for Elastic Shape Distances Between Closed Planar Curves”, in CVPR2015.
- [458] Christian Simon, In Kyu Park, “Reflection Removal for In-Vehicle Black Box Videos”, in CVPR2015.
- [459] Artem Babenko, Victor Lempitsky, “Tree Quantization for Large-Scale Similarity Search and Classification”, in CVPR2015.
- [460] Bing Shuai, Gang Wang, Zhen Zuo, Bing Wang, Lifan Zhao, “Integrating Parametric and Non-Parametric Models For Scene Labeling”, in CVPR2015.
- [461] Yu-Wei Chao, Zhan Wang, Rada Mihalcea, Jia Deng, “Mining Semantic Affordances of Visual Object Categories”, in CVPR2015.
- [462] Brian Taylor, Vasily Karasev, Stefano Soatto, “Causal Video Object Segmentation From Persistence of Occlusions”, in CVPR2015.
- [463] Weixin Li, Nuno Vasconcelos, “Multiple Instance Learning for Soft Bags via Top Instances”, in CVPR2015.
- [464] Buyu Liu, Xuming He, “Multiclass Semantic Video Segmentation With Object-Level Active Inference”, in CVPR2015.
- [465] Tal Hassner, Shai Harel, Eran Paz, Roei Enbar, “Effective Face Frontalization in Unconstrained Images”, in CVPR2015.
- [466] Limin Wang, Yu Qiao, Xiaoou Tang, “Action Recognition With Trajectory-Pooled Deep-Convolutional Descriptors”, in CVPR2015.
- [467] Mrigank Rochan, Yang Wang, “Weakly Supervised Localization of Novel Objects Using Appearance Transfer”, in CVPR2015.
- [468] Gregory Rogez, James S. Supan?i? III, Deva Ramanan, “First-Person Pose Recognition Using Egocentric Workspaces”, in CVPR2015.
- [469] Changpeng Ti, Ruigang Yang, James Davis, Zhigeng Pan, “Simultaneous Time-of-Flight Sensing and Photometric Stereo With a Single ToF Sensor”, in CVPR2015.
- [470] Christoph Kading, Alexander Freytag, Erik Rodner, Paul Bodesheim, Joachim Denzler, “Active Learning and Discovery of Object Categories in the Presence of Unnameable Instances”, in CVPR2015.
- [471] Sergey Zagoruyko, Nikos Komodakis, “Learning to Compare Image Patches via Convolutional Neural Networks”, in CVPR2015.

- [472] Chenxia Wu, Jiemi Zhang, Silvio Savarese, Ashutosh Saxena, “Watch-n-Patch: Unsupervised Understanding of Actions and Relations”, in CVPR2015.
- [473] Lianli Gao, Jingkuan Song, Feiping Nie, Yan Yan, Nicu Sebe, Heng Tao Shen, “Optimal Graph Learning With Partial Tags and Multiple Features for Image and Video Annotation”, in CVPR2015.
- [474] Gedas Bertasius, Jianbo Shi, Lorenzo Torresani, “DeepEdge: A Multi-Scale Bifurcated Deep Network for Top-Down Contour Detection”, in CVPR2015.
- [475] Tejas D. Kulkarni, Pushmeet Kohli, Joshua B. Tenenbaum, Vikash Mansinghka, “Picture: A Probabilistic Programming Language for Scene Perception”, in CVPR2015.
- [476] Julien Valentin, Matthias Niesner, Jamie Shotton, Andrew Fitzgibbon, Shahram Izadi, Philip H. S. Torr, “Exploiting Uncertainty in Regression Forests for Accurate Camera Relocalization”, in CVPR2015.
- [477] Yang Song, Weidong Cai, Qing Li, Fan Zhang, David Dagan Feng, Heng Huang, “Fusing Subcategory Probabilities for Texture Classification”, in CVPR2015.
- [478] Xiaoyang Wang, Qiang Ji, “Video Event Recognition With Deep Hierarchical Context Model”, in CVPR2015.
- [479] Huazhu Fu, Dong Xu, Stephen Lin, Jiang Liu, “Object-Based RGBD Image Co-Segmentation With Mutex Constraint”, in CVPR2015.
- [480] Benjamin Klein, Guy Lev, Gil Sadeh, Lior Wolf, “Associating Neural Word Embeddings With Deep Image Representations Using Fisher Vectors”, in CVPR2015.
- [481] Xiaowei Zhou, Spyridon Leonardos, Xiaoyan Hu, Kostas Daniilidis, “3D Shape Estimation From 2D Landmarks: A Convex Relaxation Approach”, in CVPR2015.
- [482] Andelo Martinovic, Jan Knopp, Hayko Riemenschneider, Luc Van Gool, “3D All The Way: Semantic Segmentation of Urban Scenes From Start to End in 3D”, in CVPR2015.
- [483] Jonathan T. Barron, Andrew Adams, YiChang Shih, Carlos Hernandez, “Fast Bilateral-Space Stereo for Synthetic Defocus”, in CVPR2015.
- [484] Nicola Fioraio, Jonathan Taylor, Andrew Fitzgibbon, Luigi Di Stefano, Shahram Izadi, “Large-Scale and Drift-Free Surface Reconstruction Using Online Subvolume Registration”, in CVPR2015.
- [485] Tae-Hyun Oh, Yasuyuki Matsushita, Yu-Wing Tai, In So Kweon, “Fast Randomized Singular Value Thresholding for Nuclear Norm Minimization”, in CVPR2015.
- [486] Danda Pani Paudel, Adlane Habed, Cedric Demonceaux, Pascal Vasseur, “LMI-Based 2D-3D Registration: From Uncalibrated Images to Euclidean Scene”, in CVPR2015.
- [487] Wei-Zhi Nie, An-An Liu, Zan Gao, Yu-Ting Su, “Clique-Graph Matching by Preserving Global & Local Structure”, in CVPR2015.
- [488] Xucong Zhang, Yusuke Sugano, Mario Fritz, Andreas Bulling, “Appearance-Based Gaze Estimation in the Wild”, in CVPR2015.
- [489] Jiyoung Jung, Joon-Young Lee, In So Kweon, “One-Day Outdoor Photometric Stereo via Skylight Estimation”, in CVPR2015.
- [490] Zhizhong Li, Deli Zhao, Zhouchen Lin, Edward Y. Chang, “A New Retraction for Accelerating the Riemannian Three-Factor Low-Rank Matrix Completion Algorithm”, in CVPR2015.
- [491] Bing Su, Xiaoqing Ding, Changsong Liu, Ying Wu, “Heteroscedastic Max-Min Distance Analysis”, in CVPR2015.
- [492] Ting Zhang, Guo-Jun Qi, Jinhui Tang, Jingdong Wang, “Sparse Composite Quantization”, in CVPR2015.
- [493] Baochang Zhang, Alessandro Perina, Vittorio Murino, Alessio Del Bue, “Sparse Representation Classification With Manifold Constraints Transfer”, in CVPR2015.
- [494] Ramakrishna Vedantam, C. Lawrence Zitnick, Devi Parikh, “CIDER: Consensus-Based Image Description Evaluation”, in CVPR2015.
- [495] Tianmin Shu, Dan Xie, Brandon Rothrock, Sinisa Todorovic, Song Chun Zhu, “Joint Inference of Groups, Events and Human Roles in Aerial Videos”, in CVPR2015.
- [496] Wuyuan Xie, Chengkai Dai, Charlie C. L. Wang, “Photometric Stereo With Near Point Lighting: A Solution by Mesh Deformation”, in CVPR2015.
- [497] Maggie Wigness, Bruce A. Draper, J. Ross Beveridge, “Efficient Label Collection for Unlabeled Image Datasets”, in CVPR2015.
- [498] Salman H. Khan, Xuming He, Mohammed Bennamoun, Ferdous Sohel, Roberto Togneri, “Separating Objects and Clutter in Indoor Scenes”, in CVPR2015.
- [499] Shijie Xiao, Wen Li, Dong Xu, Dacheng Tao, “FaLRR: A Fast Low Rank Representation Solver”, in CVPR2015.
- [500] Chen Li, Kun Zhou, Stephen Lin, “Simulating Makeup Through Physics-Based Manipulation of Intrinsic Image Layers”, in CVPR2015.
- [501] Hamed Kiani Galoogahi, Terence Sim, Simon Lucey, “Correlation Filters With Limited Boundaries”, in CVPR2015.
- [502] Syed Zulqarnain Gilani, Faisal Shafait, Ajmal Mian, “Shape-Based Automatic Detection of a Large Number of 3D Facial Landmarks”, in CVPR2015.
- [503] Philip Saponaro, Scott Sorensen, Abhishek Kolagunda, Chandra Kambhampettu, “Material Classification With Thermal Imagery”, in CVPR2015.
- [504] Jing Shao, Kai Kang, Chen Change Loy, Xiaogang Wang, “Deeply Learned Attributes for Crowded Scene Understanding”, in CVPR2015.
- [505] Daniil Kononenko, Victor Lempitsky, “Learning To Look Up: Realtime Monocular Gaze Correction Using Machine Learning”, in CVPR2015.
- [506] Bo Xin, Yuan Tian, Yizhou Wang, Wen Gao, “Background Subtraction via Generalized Fused Lasso Foreground Modeling”, in CVPR2015.
- [507] Heng Yang, Ioannis Patras, “Mirror, Mirror on the Wall, Tell Me, Is the Error Small?”, in CVPR2015.
- [508] Joe Yue-Hei Ng, Matthew Hausknecht, Sudheendra Vijayanarasimhan, Oriol Vinyals, Rajat Monga, George Toderici, “Beyond Short Snippets: Deep Networks for Video Classification”, in CVPR2015.
- [509] Yukun Zhu, Raquel Urtasun, Ruslan Salakhutdinov, Sanja Fidler, “segDeepM: Exploiting Segmentation and Context in Deep Neural Networks for Object Detection”, in CVPR2015.
- [510] Jasper R. R. Uijlings, Vittorio Ferrari, “Situational Object Boundary Detection”, in CVPR2015.
- [511] Chavdar Papazov, Tim K. Marks, Michael Jones, “Real-Time 3D Head Pose and Facial Landmark Estimation From Depth Images Using Triangular Surface Patch Features”, in CVPR2015.
- [512] Saurabh Gupta, Pablo Arbelaez, Ross Girshick, Jitendra Malik, “Aligning 3D Models to RGB-D Images of Cluttered Scenes”, in CVPR2015.
- [513] Jan Reininghaus, Stefan Huber, Ulrich Bauer, Roland Kwitt, “A Stable Multi-Scale Kernel for Topological Machine Learning”, in CVPR2015.
- [514] Lingqiao Liu, Chunhua Shen, Anton van den Hengel, “The Treasure Beneath Convolutional Layers: Cross-Convolutional-Layer Pooling for Image Classification”, in CVPR2015.
- [515] Yan Li, Ruiping Wang, Zhiwu Huang, Shiguang Shan, Xilin Chen, “Face Video Retrieval With Image Query via Hashing Across Euclidean Space and Riemannian Manifold”, in CVPR2015.
- [516] Yair Poleg, Tavi Halperin, Chetan Arora, Shmuel Peleg, “EgoSampling: Fast-Forward and Stereo for Ego-centric

- Videos”, in CVPR2015.
- [517] Hyun Soo Park, Jianbo Shi, “Social Saliency Prediction”, in CVPR2015.
- [518] Chi Nhan Duong, Khoa Luu, Kha Gia Quach, Tien D. Bui, “Beyond Principal Components: Deep Boltzmann Machines for Face Modeling”, in CVPR2015.
- [519] Won Hwa Kim, Barbara B. Bendlin, Moo K. Chung, Sterling C. Johnson, Vikas Singh, “Statistical Inference Models for Image Datasets With Systematic Variations”, in CVPR2015.
- [520] Ning Zhang, Manohar Paluri, Yaniv Taigman, Rob Fergus, Lubomir Bourdev, “Beyond Frontal Faces: Improving Person Recognition Using Multiple Cues”, in CVPR2015.
- [521] Daniela Giordano, Francesca Murabito, Simone Palazzo, Concetto Spampinato, “Superpixel-Based Video Object Segmentation Using Perceptual Organization and Location Prior”, in CVPR2015.
- [522] Bumsu Ham, Minsu Cho, Jean Ponce, “Robust Image Filtering Using Joint Static and Dynamic Guidance”, in CVPR2015.
- [523] Genady Paikin, Ayellet Tal, “Solving Multiple Square Jigsaw Puzzles With Missing Pieces”, in CVPR2015.
- [524] Benjamin Klein, Lior Wolf, Yehuda Afek, “A Dynamic Convolutional Layer for Short Range Weather Prediction”, in CVPR2015.
- [525] Maryam Jaberi, Marianna Pensky, Hassan Foroosh, “SWIFT: Sparse Withdrawal of Inliers in a First Trial”, in CVPR2015.
- [526] Clint Solomon Mathialagan, Andrew C. Gallagher, Dhruv Batra, “VIP: Finding Important People in Images”, in CVPR2015.
- [527] Konstantinos Rematas, Basura Fernando, Frank Dellaert, Tinne Tuytelaars, “Dataset Fingerprints: Exploring Image Collections Through Data Mining”, in CVPR2015.
- [528] Soheil Kolouri, Gustavo K. Rohde, “Transport-Based Single Frame Super Resolution of Very Low Resolution Face Images”, in CVPR2015.
- [529] Mao Ye, Yu Zhang, Ruigang Yang, Dinesh Manocha, “3D Reconstruction in the Presence of Glasses by Acoustic and Stereo Fusion”, in CVPR2015.
- [530] Yeqing Li, Chen Chen, Fei Yang, Junzhou Huang, “Deep Sparse Representation for Robust Image Registration”, in CVPR2015.
- [531] Ting Liu, Gang Wang, Qingxiang Yang, “Real-Time Part-Based Visual Tracking via Adaptive Correlation Filters”, in CVPR2015.
- [532] Chi Li, Austin Reiter, Gregory D. Hager, “Beyond Spatial Pooling: Fine-Grained Representation Learning in Multiple Domains”, in CVPR2015.
- [533] Michael Lam, Janardhan Rao Doppa, Sinisa Todorovic, Thomas G. Dietterich, “HC-Search for Structured Prediction in Computer Vision”, in CVPR2015.
- [534] Ke Jiang, Qichao Que, Brian Kulis, “Revisiting Kernelized Locality-Sensitive Hashing for Improved Large-Scale Image Retrieval”, in CVPR2015.
- [535] Lizhi Wang, Zhiwei Xiong, Dahua Gao, Guangming Shi, Wenjun Zeng, Feng Wu, “High-Speed Hyperspectral Video Acquisition With a Dual-Camera Architecture”, in CVPR2015.
- [536] Masoud Faraki, Mehrtaash T. Harandi, Fatih Porikli, “More About VLAD: A Leap From Euclidean to Riemannian Manifolds”, in CVPR2015.
- [537] Ali Mosleh, Paul Green, Emmanuel Onzon, Isabelle Begin, J.M. Pierre Langlois, “Camera Intrinsic Blur Kernel Estimation: A Reliable Framework”, in CVPR2015.
- [538] Ziheng Wang, Qiang Ji, “Classifier Learning With Hidden Information”, in CVPR2015.
- [539] Jingjing Xiao, Rustam Stolkin, Ale? Leonardis, “Single Target Tracking Using Adaptive Clustered Decision Trees and Dynamic Multi-Level Appearance Models”, in CVPR2015.
- [540] Zhuwen Li, Ping Tan, Robby T. Tan, Danping Zou, Steven Zhiying Zhou, Loong-Fah Cheong, “Simultaneous Video Defogging and Stereo Reconstruction”, in CVPR2015.
- [541] Shizhan Zhu, Cheng Li, Chen Change Loy, Xiaoou Tang, “Face Alignment by Coarse-to-Fine Shape Searching”, in CVPR2015.
- [542] Tsung-Yi Lin, Yin Cui, Serge Belongie, James Hays, “Learning Deep Representations for Ground-to-Aerial Geolocalization”, in CVPR2015.
- [543] Dongyoon Han, Junmo Kim, “Unsupervised Simultaneous Orthogonal Basis Clustering Feature Selection”, in CVPR2015.
- [544] Shugao Ma, Leonid Sigal, Stan Sclaroff, “Space-Time Tree Ensemble for Action Recognition”, in CVPR2015.
- [545] Siyu Tang, Bjoern Andres, Miykhaylo Andriluka, Bernt Schiele, “Subgraph Decomposition for Multi-Target Tracking”, in CVPR2015.
- [546] Xian-Ming Liu, Rongrong Ji, Changhu Wang, Wei Liu, Bineng Zhong, Thomas S. Huang, “Understanding Image Structure via Hierarchical Shape Parsing”, in CVPR2015.
- [547] Yanchao Yang, Zhaojin Lu, Ganesh Sundaramoorthi, “Coarse-To-Fine Region Selection and Matching”, in CVPR2015.
- [548] Yan Luo, Yongkang Wong, Qi Zhao, “Label Consistent Quadratic Surrogate Model for Visual Saliency Prediction”, in CVPR2015.
- [549] Yumin Suh, Kamil Adamczewski, Kyoung Mu Lee, “Subgraph Matching Using Compactness Prior for Robust Feature Correspondence”, in CVPR2015.
- [550] Yonglong Tian, Ping Luo, Xiaogang Wang, Xiaoou Tang, “Pedestrian Detection Aided by Deep Learning Semantic Tasks”, in CVPR2015.
- [551] Dae-Youn Lee, Jae-Young Sim, Chang-Su Kim, “Multihypothesis Trajectory Analysis for Robust Visual Tracking”, in CVPR2015.
- [552] Jingming Dong, Stefano Soatto, “Domain-Size Pooling in Local Descriptors: DSP-SIFT”, in CVPR2015.
- [553] Junjie Yan, Yanan Yu, Xiangyu Zhu, Zhen Lei, Stan Z. Li, “Object Detection by Labeling Superpixels”, in CVPR2015.
- [554] Ching Teo, Cornelia Fermuller, Yiannis Aloimonos, “Fast 2D Border Ownership Assignment”, in CVPR2015.
- [555] Johannes L. Schonberger, Filip Radenovi?, Ondrej Chum, Jan-Michael Frahm, “From Single Image Query to Detailed 3D Reconstruction”, in CVPR2015.
- [556] Felix Heide, Wolfgang Heidrich, Gordon Wetzstein, “Fast and Flexible Convolutional Sparse Coding”, in CVPR2015.
- [557] Thalaiyasingam Ajanthan, Richard Hartley, Mathieu Salzmann, Hongdong Li, “Iteratively Reweighted Graph Cut for Multi-Label MRFs With Non-Convex Priors”, in CVPR2015.
- [558] Xinchao Li, Martha Larson, Alan Hanjalic, “Pairwise Geometric Matching for Large-Scale Object Retrieval”, in CVPR2015.
- [559] Fayao Liu, Chunhua Shen, Guosheng Lin, “Deep Convolutional Neural Fields for Depth Estimation From a Single Image”, in CVPR2015.
- [560] Xianming Liu, Xiaolin Wu, Jiantao Zhou, Debin Zhao, “Data-Driven Sparsity-Based Restoration of JPEG-Compressed Images in Dual Transform-Pixel Domain”, in CVPR2015.
- [561] Yale Song, Jordi Vallmitjana, Amanda Stent, Alejandro Jaimes, “TVSum: Summarizing Web Videos Using Titles”, in CVPR2015.
- [562] Aravindh Mahendran, Andrea Vedaldi, “Understanding Deep Image Representations by Inverting Them”, in

- CVPR2015.
- [563] Jia-Bin Huang, Abhishek Singh, Narendra Ahuja, “Single Image Super-Resolution From Transformed Self-Exemplars”, in CVPR2015.
- [564] Markus Schoeler, Jeremie Papon, Florentin Worgotter, “Constrained Planar Cuts - Object Partitioning for Point Clouds”, in CVPR2015.
- [565] Nianyi Li, Bilin Sun, Jingyi Yu, “A Weighted Sparse Coding Framework for Saliency Detection”, in CVPR2015.
- [566] Ziyang Ma, Renjie Liao, Xin Tao, Li Xu, Jiaya Jia, Enhua Wu, “Handling Motion Blur in Multi-Frame Super-Resolution”, in CVPR2015.
- [567] Nir Ben-Zrihem, Lihi Zelnik-Manor, “Approximate Nearest Neighbor Fields in Video”, in CVPR2015.
- [568] Roei Litman, Simon Korman, Alexander Bronstein, Shai Avidan, “Inverting RANSAC: Global Model Detection via Inlier Rate Estimation”, in CVPR2015.
- [569] Yonggang Jin, Christos-Savvas Bouganis, “Robust Multi-Image Based Blind Face Hallucination”, in CVPR2015.
- [570] Yunjin Chen, Wei Yu, Thomas Pock, “On Learning Optimized Reaction Diffusion Processes for Effective Image Restoration”, in CVPR2015.
- [571] Quynh Nguyen, Antoine Gautier, Matthias Hein, “A Flexible Tensor Block Coordinate Ascent Scheme for Hypergraph Matching”, in CVPR2015.
- [572] Yannick Verdie, Kwang Yi, Pascal Fua, Vincent Lepetit, “TILDE: A Temporally Invariant Learned DETector”, in CVPR2015.
- [573] Dihong Gong, Zhifeng Li, Dacheng Tao, Jianzhuang Liu, Xuelong Li, “A Maximum Entropy Feature Descriptor for Age Invariant Face Recognition”, in CVPR2015.
- [574] Xinlei Chen, Alan Ritter, Abhinav Gupta, Tom Mitchell, “Sense Discovery via Co-Clustering on Images and Text”, in CVPR2015.
- [575] Zicheng Liao, Kevin Karsch, David Forsyth, “An Approximate Shading Model for Object Relighting”, in CVPR2015.
- [576] Qiang Chen, Junshi Huang, Rogerio Feris, Lisa M. Brown, Jian Dong, Shuicheng Yan, “Deep Domain Adaptation for Describing People Based on Fine-Grained Clothing Attributes”, in CVPR2015.
- [577] Haoxiang Li, Zhe Lin, Xiaohui Shen, Jonathan Brandt, Gang Hua, “A Convolutional Neural Network Cascade for Face Detection”, in CVPR2015.
- [578] Abe Davis, Katherine L. Bouman, Justin G. Chen, Michael Rubinstein, Fredo Durand, William T. Freeman, “Visual Vibrometry: Estimating Material Properties From Small Motion in Video”, in CVPR2015.
- [579] Jian-Fang Hu, Wei-Shi Zheng, Jianhuang Lai, Jianguo Zhang, “Jointly Learning Heterogeneous Features for RGB-D Activity Recognition”, in CVPR2015.
- [580] Kaiming He, Jian Sun, “Convolutional Neural Networks at Constrained Time Cost”, in CVPR2015.
- [581] Xiaofan Zhang, Hai Su, Lin Yang, Shaoting Zhang, “Fine-Grained Histopathological Image Analysis via Robust Segmentation and Large-Scale Retrieval”, in CVPR2015.
- [582] Ganzhao Yuan, Bernard Ghanem, “L0TV: A New Method for Image Restoration in the Presence of Impulse Noise”, in CVPR2015.
- [583] Basura Fernando, Efstratios Gavves, Jose Oramas M., Amir Ghodrati, Tinne Tuytelaars, “Modeling Video Evolution for Action Recognition”, in CVPR2015.
- [584] Chao Ma, Xiaokang Yang, Chongyang Zhang, Ming-Hsuan Yang, “Long-Term Correlation Tracking”, in CVPR2015.
- [585] Anton Milan, Laura Leal-Taixe, Konrad Schindler, Ian Reid, “Joint Tracking and Segmentation of Multiple Targets”, in CVPR2015.
- [586] Roy Or - El, Guy Rosman, Aaron Wetzler, Ron Kimmel, Alfred M. Bruckstein, “RGBD-Fusion: Real-Time High Precision Depth Recovery”, in CVPR2015.
- [587] Yu Zhu, Yanning Zhang, Boyan Bonev, Alan L. Yuille, “Modeling Deformable Gradient Compositions for Single-Image Super-Resolution”, in CVPR2015.
- [588] Tae Hyun Kim, Kyoung Mu Lee, “Generalized Video Deblurring for Dynamic Scenes”, in CVPR2015.
- [589] Epameinondas Antonakos, Joan Alabort-i-Medina, Stefanos Zafeiriou, “Active Pictorial Structures”, in CVPR2015.
- [590] Ryo Yonetani, Kris M. Kitani, Yoichi Sato, “Ego-Surfing First-Person Videos”, in CVPR2015.
- [591] Guanbin Li, Yizhou Yu, “Visual Saliency Based on Multi-scale Deep Features”, in CVPR2015.
- [592] Kenichiro Tanaka, Yasuhiro Mukaigawa, Hiroyuki Kubo, Yasuyuki Matsushita, Yasushi Yagi, “Recovering Inner Slices of Translucent Objects by Multi-Frequency Illumination”, in CVPR2015.
- [593] Kwang In Kim, James Tompkin, Hanspeter Pfister, Christian Theobalt, “Local High-Order Regularization on Data Manifolds”, in CVPR2015.
- [594] David Hall, Pietro Perona, “Fine-Grained Classification of Pedestrians in Video: Benchmark and State of the Art”, in CVPR2015.
- [595] Anastasia Pentina, Viktoriia Sharmanska, Christoph H. Lampert, “Curriculum Learning of Multiple Tasks”, in CVPR2015.
- [596] Sayed Hossein Khatoonabadi, Nuno Vasconcelos, Ivan V. Bajic, Yufeng Shan, “How Many Bits Does it Take for a Stimulus to Be Salient?”, in CVPR2015.
- [597] Nikolay Savinov, ?ubor Ladicky, Christian Hane, Marc Pollefeys, “Discrete Optimization of Ray Potentials for Semantic 3D Reconstruction”, in CVPR2015.
- [598] Chenglong Li, Liang Lin, Wangmeng Zuo, Shuicheng Yan, Jin Tang, “SOLD: Sub-Optimal Low-rank Decomposition for Efficient Video Segmentation”, in CVPR2015.
- [599] Ioannis Gkioulekas, Bruce Walter, Edward H. Adelson, Kavita Bala, Todd Zickler, “On the Appearance of Translucent Edges”, in CVPR2015.
- [600] Visesh Chari, Simon Lacoste-Julien, Ivan Laptev, Josef Sivic, “On Pairwise Costs for Network Flow Multi-Object Tracking”, in CVPR2015.
- [601] Jonathan Krause, Hailin Jin, Jianchao Yang, Li Fei-Fei, “Fine-Grained Recognition Without Part Annotations”, in CVPR2015.
- [602] Sungjoon Choi, Qian-Yi Zhou, Vladlen Koltun, “Robust Reconstruction of Indoor Scenes”, in CVPR2015.
- [603] CHI 勉強会 2015, <http://hci.tokyo/seminar/chi2015/>, 2015.
- [604] Matthew D. Zeiler, Rob Fergus, “Visualizing and Understanding Convolutional Networks”, in ECCV2014.
- [605] コンピュータビジョン勉強会@関東, <https://sites.google.com/site/cvsaisentan/>
- [606] 関西 CV・PRML 勉強会, <https://twitter.com/kansaicvprml>
- [607] 名古屋 CV・PRML 勉強会, <https://twitter.com/nagoyacv>
- [608] Wordle, <http://www.wordle.net/>
- [609] R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, J. Malik, “Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation”, in CVPR2014.
- [610] R. A. Newcombe, S. Izadi, O. Hilliges, D. Molyneaux, D. Kim, A. J. Davison, P. Kohli, J. Shotton, S. Hodges, A. Fitzgibbon, “KinectFusion: Real-Time Dense Surface Mapping and Tracking”, in IEEE ISMAR, 2011.
- [611] A. Gupta, A. A. Efros, M. Hebert, “Blocks World Revisited: Image Understanding Using Qualitative Geometry and Mechanics”, European Conference on Computer Vision (ECCV), 2010.
- [612] J. Shotton, M. Johnson, R. Cipolla, “Semantic Texton Forests for Image Categorization and Segmentation”, in CVPR2008.
- [613] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L.-J. Li, K. Li, L. Fei-Fei,

- “ImageNet: A Large-Scale Hierarchical Image Database”, in CVPR2009.
- [614] A. Krizhevsky, I. Sutskever, G. E. Hinton, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks”, in NIPS2012.
- [615] J. Xiao, K. A. Ehinger, J. Hays, A. Torralba, A. Oliva, “SUN Database: Exploring a Large Collection of Scene Categories”, *International Journal of Computer Vision (IJCV)*, 2014.
- [616] P. Felzenszwalb, R. Girshick, D. McAllester, D. Ramanan, “Object Detection with Discriminatively Trained Part Based Models”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)*, Vol. 32, No. 9, 2010.
- [617] N. Dalal, B. Trigg, “Histograms of oriented gradients for human detection”, in CVPR2005.
- [618] C. Vondrick, A. Khosla, T. Malisiewicz, A. Torralba, “HOGgles: Visualizing Object Detection Features”, *International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2013.
- [619] Y. Taigman, M. Yang, M. A. Ranzato and L. Wolf. DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification. CVPR2014.
- [620] H. Wang, A. Klaser, C. Schmid, C.-L. Liu, “Action recognition by dense trajectories”, in CVPR2011.
- [621] H. Wang, C. Schmid, “Action recognition with improved trajectories”, in ICCV2013.
- [622] K. Simonyan, A. Zisserman, “Two-Stream Convolutional Networks for Action Recognition in Videos”, in NIPS2014.
- [623] Y. Sun, Y. Chen, X. Wang, and X. Tang, “Deep Learning Face Representation by Joint Identification-Verification”, in NIPS2014.
- [624] P. Dollár, C. Wojek, B. Schiele and P. Perona, “Pedestrian Detection: An Evaluation of the State of the Art”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)*, 2012.
- [625] A. Geiger, P. Lenz, R. Urtasun, “Are we ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite”, in CVPR2012.
- [626] R. Agrawal, T. Imielinski, A. Swami, “Mining association rules between sets of items in large databases”, in ACM SIGMOD1993.
- [627] L. Itti, C. Koch, “A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention”, in *Vision Research*,40(10-12), pp.1489–1506, 2000.
- [628] T.-Y. Liu, “Learning to Rank for Information Retrieval”, Springer, 2011.
- [629] D. Parikh, K. Grauman, “Relative Attribute”, in ICCV2011.
- [630] Fine-grained Competition 2013, <https://sites.google.com/site/fgcomp2013/results>