

Proseminar Objektposenschätzung

Robert Jeutter

12. November 2021

Damit ein Roboter einen Gegenstand greifen kann, ist es meist notwendig die genaue Lage des Objektes zu kennen. Dies kann sowohl über klassische Verfahren als auch über Deep-Learning-Verfahren erreicht werden. Ziel dieses Seminars ist es den Stand der Technik für die Objektposenschätzung aufzuarbeiten und vorzustellen. Der Fokus sollte dabei auf Verfahren liegen, bei denen zuvor kein Objektmodell benötigt wird, so dass auch die Lage von unbekannten Objekten geschätzt werden kann.

1 Motivation

Die Erkennung von Objekten und die Schätzung ihrer Lage in 3D hat eine Vielzahl von Anwendungen in der Robotik. So ist beispielsweise die Erkennung der 3D-Lage und Ausrichtung von Objekten wichtig für die Roboteranipulation. Sie ist auch bei Aufgaben der Mensch-Roboter-Interaktion nützlich, z. B. beim Lernen aus Demonstrationen.

Traditionell wird das Problem der Objektposenschätzung durch den Abgleich von Merkmalspunkten zwischen 3D-Modellen und Bildern angegangen. Diese Methoden setzen jedoch voraus, dass die Objekte reichhaltig texturiert sind, um Merkmalspunkte für den Abgleich zu erkennen. Daher sind sie nicht in der Lage, mit Objekten ohne Textur umzugehen. Die meisten bestehenden Ansätze zur Objektposenschätzung setzen den Zugriff auf das 3D-Modell einer Objektinstanz voraus. Der Zugang zu solchen 3D-Modellen erschwert die Verallgemeinerung auf neue, unbekannte Instanzen. Darüber hinaus erfordern 3D-Modelldatenbanken oft einen nicht unerheblichen manuellen Aufwand und Expertenwissen, um sie zu erstellen, wobei Schritte wie Scannen, Netzverfeinerung oder CAD-Design erforderlich sind. Unordnung und Verdeckungen zwischen den Objekten senken die korrekte Erkennung bei modellbasierten Verfahren zudem deutlich. Bei schablonenbasierten Methoden wird eine starre Schablone konstruiert und verwendet, um verschiedene Stellen im Eingabebild zu scannen. An jeder Stelle wird ein Ähnlich-

keitswert berechnet, und die beste Übereinstimmung wird durch den Vergleich dieser Ähnlichkeitswerte ermittelt. Schablonenbasierte Methoden sind nützlich für die Erkennung texturloser Objekte. Sie können jedoch nicht sehr gut mit Verdeckungen zwischen Objekten umgehen, da die Vorlage einen niedrigen Ähnlichkeitswert hat, wenn das Objekt verdeckt ist. Alternativ dazu können Methoden, die eine Regression von Bildpixeln auf 3D-Objektkoordinaten erlernen, um 2D-3D-Korrespondenzen für die 6D-Positionsschätzung herzustellen, nicht mit symmetrischen Objekten umgehen. Außerdem können bei der Verfolgung durch solche dynamische on-the-fly Rekonstruktion von Objekten Fehler entstehen, wenn Beobachtungen mit fehlerhaften Posenschätzungen in das globale Modell einfließen. Diese Fehler wirken sich nachteilig auf die Modellverfolgung in nachfolgenden Bildern aus.

2 Kategorisierung

Motiviert durch die oben genannten Einschränkungen, zielt diese Arbeit auf eine genaue, robuste 6D-Objekterkennung ab, die auf neuartige Objekte ohne 3D-Modelle verallgemeinert werden kann. Die Kategorisierung aller Verfahren erfolgt nach folgendem Schemata

Modell Müssen für das Training oder Nutzung merkmalsbasierte oder Objektmodelle (2D, 3D, CAD) vorhanden sein?

Video-Input Verarbeitet das Verfahren 2D Bilder, 3D Bilder mit Tiefenwahrnehmung?

Datensatz mit welchen Datensätzen wurde das Verfahren trainiert oder getestet?

Genauigkeit Wie akkurat ist die Objektposenschätzung im Vergleich?

Ressourcen Wie Ressourcenintensiv ist das Verfahren? Wird spezielle Hardware benötigt?

Laufzeit Mit welcher Geschwindigkeit ist die Verarbeitung von Eingabedaten möglich und stabil?

3 Verschiedene Verfahren

3.1 BundleTrack

BundleTrack[WB21] ist ein Framework für die 6D-Positionsverfolgung neuartiger Objekte, das nicht von 3D-Modellen auf Instanz- oder Kategorieebene abhängt. Es nutzt komplementären Eigenschaften für die Segmentierung und robuste Merkmalsextraktion sowie die speichererweiterte Pose-Graph-Optimierung für die räumlich-zeitliche Konsistenz. Dies ermöglicht eine langfristige, abdriftarme Verfolgung in verschiedenen anspruchsvollen Szenarien, einschließlich erheblicher Verdeckungen und Objektbewegungen.

Im Vergleich zu modernen Methoden, die auf einem CAD-Modell der Objektinstanz basieren, wird eine vergleichbare Leistung erzielt, obwohl die vorgeschlagene Methode weniger Informationen benötigt. Eine effiziente Implementierung in CUDA ermöglicht eine Echtzeitleistung von 10 Hz für das gesamte System. Der Code ist verfügbar unter: github.com/wenbowen123/BundleTrack

Modell ohne Modelle

Video-Input RGB-D

Datensatz NOCS, YCBInEOAT, Davis[Pa17], Youtube-VOS[Xa18]

Genauigkeit kann mit Verdeckung und Objektbewegung gut umgehen. Vergleichbare Leistung mit Methoden mit CAD Modell. Im NOCS-Datensatz:

- 87,4% 5°5cm
- 99,9% IoU25
- $R_{err} = 2,4$
- $T_{err} = 2,1$

Ergebnisse aus AUC Messung

- ADD 87,34%
- ADD-S 92,53%

Ressourcen effiziente CUDA-Implementierung, ermöglicht es, das rechenintensive Multi-Pair-Feature-Matching sowie die Pose-Graph-Optimierung für die 6D-Objekt-Positionsverfolgung online auszuführen. Alle Experimente wurden auf einem Standard-Desktop mit Intel Xeon(R) E5-1660 v3@3.00GHz Prozessor und einer einzelnen NVIDIA RTX 2080 Ti GPU durchgeführt.

Laufzeit in CUDA Echtzeit mit 10 Hz

3.2 DeepIM

[Li+18]

Modell

Video-Input

Datensatz

Genauigkeit

Ressourcen

Laufzeit

3.3 MaskFusion

[RBA18]

Modell ohne Modell

Video-Input

Datensatz

Genauigkeit NOCS Datensatz

- 26,5% 5°5cm
- 64,9% IoU25
- 28,5 R_{err}
- 8,3 T_{err}

Ergebnisse aus AUC Messung

- ADD 35,07%
- ADD-S 41,88%

Ressourcen

Laufzeit

3.4 Neural Analysis-by-Synthesis

[Che+20]

Modell

Video-Input

Datensatz

Genauigkeit

Ressourcen

Laufzeit

3.5 6-PACK

6-PACK[Wan+19a] ist ein auf Bildverarbeitung basierender 6D-Posen Anker-basierter Kategorie-Level Keypoint Tracker. Dieser verfolgt einen kleinen Satz von Keypoints in RGB-D-Videos und schätzt die Objektpose durch Akkumulation der relativen Poseänderungen über die Zeit. Diese Methode erfordert kein bekanntes 3D-Modell. Stattdessen umgeht es die Notwendigkeit der Definition und Schätzung der absoluten 6D-Pose durch einen neuartigen Ankermechanismus, der der Vorschlagsmethodik für die 2D-Objekterkennung entspricht. Diese Anker bieten eine Grundlage für die Erzeugung von 3D-Keypoints. Im Gegensatz zu früheren Methoden, die manuelle Keypoint-Anmerkungen erfordern, wird ein unüberwachter Lernansatz eingesetzt, der die optimale Menge an 3D-Keypoints für die

Verfolgung ermittelt. Diese Keypoints dienen als kompakte Repräsentation des Objekts, aus der der Pose-Unterschied zwischen zwei benachbarten Frames effizient geschätzt werden kann. Diese Keypoint-basierte Darstellung führt zu einer robusten und Echtzeit-6D-Positionsverfolgung. Darüber hinaus wurde 6-PACK auf einer HSR-Roboterplattform eingesetzt und gezeigt, dass die Methode Echtzeit-Tracking und Roboter-Interaktion ermöglicht.

Modell Kategorie-bezogene 3D Modellen

Video-Input RGB-D

Datensatz NOCS, ShapeNetCore

Genauigkeit NOCS Datensatz:

- 33,3% 5°5cm
- 94,2% IoU25
- 16,0 R_err
- 3,5 T_err

Ressourcen getestet mit NVIDIA GTX1070 GPU und Intel Core i7-6700K CPU, verfolgt Posen mit 10 Hz mit weniger als 30% des GPU-Speicherplatzes (etwa 2 GB)

Laufzeit > 10fps real-time interaction

3.6 PoseCNN

[Xia+17]

Modell

Video-Input

Datensatz

Genauigkeit

Ressourcen

Laufzeit

Ein neues CNN für die 6D-Objektposenschätzung. PoseCNN schätzt die 3D-Verschiebung eines Objekts, indem es sein Zentrum im Bild lokalisiert und seinen Abstand zur Kamera vorhersagt. Die 3D-Rotation des Objekts wird durch Regression auf eine Quaternion-Darstellung geschätzt. Dabei führt man eine neue Verlustfunktion ein, die es PoseCNN ermöglicht, symmetrische Objekte zu behandeln. Erreicht Ende-zu-Ende 6D Posenschätzung und ist sehr robust gegenüber Verdeckungen zwischen Objekten.

PoseCNN entkoppelt die Schätzung von 3D-Rotation und 3D-Translation. Es schätzt die 3D-Verschiebung durch Lokalisierung des Objektzentrums und Vorhersage des Zentrumsabstands. Durch Regression jedes Pixels auf einen Einheitsvektor in Richtung des Objektzentrums kann das Zentrum unabhängig vom Maßstab robust geschätzt werden. Noch wichtiger ist, dass die Pixel das Objektzentrum auch dann wählen, wenn es

von anderen Objekten verdeckt wird. Die 3D-Drehung wird durch Regression auf eine Quaternion-Darstellung vorhergesagt. Es werden zwei neue Verlustfunktionen für die Rotationsschätzung eingeführt, wobei der ShapeMatch-Verlust für symmetrische Objekte entwickelt wurde. Dadurch ist PoseCNN in der Lage, Okklusion und symmetrische Objekte in unübersichtlichen Szenen zu verarbeiten. Dies eröffnet den Weg zur Verwendung von Kameras mit einer Auflösung und einem Sichtfeld, die weit über die derzeit verwendeten Tiefenkamerasysteme hinausgehen. Wir stellen fest, dass SLOSS manchmal zu lokalen Minimums im Pose-Raum führt, ähnlich wie ICP. Es wäre interessant, in Zukunft einen effizienteren Umgang mit symmetrischen Objekten in der 6D-Positionsschätzung zu erforschen.

3.7 Robust Gaussian Filter[Iss+16]

Modell

Video-Input

Datensatz

Genauigkeit

Ressourcen

Laufzeit

4 Vergleich verschiedener Verfahren

Vergleich der unterschiedlichen Methoden unterscheidbar nach **Klassische**, **RNN-basierte**, **CNN-basierte**, **GNN-basierte**

	?	Farbbild	Tiefenbild	3D cloud
3D Modell	RGF[Iss+16] dbotPF[dbotPF] se-TrackNet[Wa20]	Contour Matching		
Kategorie Modell	NOCS[Wan+19a] KeypointNet[Sa18]	Feature Matching	6-PACK[Wan+19a]	
ohne Modell	ICP[QK18], TEASER++[IC18] MaskFusion[RBA18]	Iterative Closest Point	PoseCNN[Xia+17] BundleTrack[WB21]	

5 Fazit

Literatur

- [Che+20] Xu Chen u. a. *Category Level Object Pose Estimation via Neural Analysis-by-Synthesis*. Aufgerufen 27.10.2021. 2020. arXiv: [2008.08145](https://arxiv.org/abs/2008.08145). URL: arxiv.org/abs/2008.08145.
- [HC20] J. Shi H. Yang und L. Carlone. *TEASER: Fast and Certifiable Point Cloud Registration*. Website. 2020. arXiv: [2001.07715](https://arxiv.org/abs/2001.07715). URL: arxiv.org/abs/2001.07715.
- [Iss+16] Jan Issac u. a. „Depth-based object tracking using a Robust Gaussian Filter“. In: *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (März 2016). Aufgerufen 27.10.2021. DOI: [10.1109/icra.2016.7487184](https://doi.org/10.1109/icra.2016.7487184). URL: dx.doi.org/10.1109/ICRA.2016.7487184.
- [Li+18] Yi Li u. a. „DeepIM: Deep Iterative Matching for 6D Pose Estimation“. In: *International Journal of Computer Vision* 128.3 (Nov. 2018). Aufgerufen 16.10.2021, S. 657–678. ISSN: 1573-1405. DOI: [10.1007/s11263-019-01250-9](https://doi.org/10.1007/s11263-019-01250-9). URL: arxiv.org/abs/1804.00175.
- [Pa17] J. Pont-Tuset und et al. *The 2017 davis challenge on video object segmentation*. Website. 2017. arXiv: [1704.00675](https://arxiv.org/abs/1704.00675). URL: arxiv.org/abs/1704.00675.
- [QK18] J. Park Q.-Y. Zhou und V. Koltun. *Open3d: A modern library for 3d data processing*. Website. 2018. arXiv: [1801.09847](https://arxiv.org/abs/1801.09847). URL: arxiv.org/abs/1801.09847.
- [RBA18] Martin Rünz, Maud Buffier und Lourdes Agapito. *MaskFusion: Real-Time Recognition, Tracking and Reconstruction of Multiple Moving Objects*. Aufgerufen 27.10.2021. 2018. arXiv: [1804.09194](https://arxiv.org/abs/1804.09194). URL: arxiv.org/abs/1804.09194.
- [Sa18] S. Suwajanakorn und et al. *Discovery of latent 3d keypoints via end-to-end geometric reasoning*. Website. 2018. arXiv: [1807.03146](https://arxiv.org/abs/1807.03146). URL: <https://arxiv.org/abs/1807.03146>.
- [Wa20] B. Wen und et al. *se (3)-tracknet: Data-driven 6d pose tracking by calibrating image residuals in synthetic domains*. Website. 2020. URL: [arxiv.org/abs/???](https://arxiv.org/abs/2003.08437).
- [Wan+19a] Chen Wang u. a. *6-PACK: Category-level 6D Pose Tracker with Anchor-Based Keypoints*. Aufgerufen 27.10.2021. 2019. arXiv: [1910.10750](https://arxiv.org/abs/1910.10750). URL: arxiv.org/abs/1910.10750.
- [Wan+19b] He Wang u. a. *Normalized Object Coordinate Space for Category-Level 6D Object Pose and Size Estimation*. Aufgerufen 27.10.2021. 2019. arXiv: [1901.02970](https://arxiv.org/abs/1901.02970). URL: arxiv.org/abs/1901.02970.
- [WB21] Bowen Wen und Kostas Bekris. *BundleTrack: 6D Pose Tracking for Novel Objects without Instance or Category-Level 3D Models*. Website. Aufgerufen 23.10.2021. 2021. arXiv: [2108.00516](https://arxiv.org/abs/2108.00516). URL: arxiv.org/abs/2108.00516.
- [Xa18] N. Xu und et al. *Youtube-vos: A large-scale video object segmentation benchmark*. Website. 2018. arXiv: [1809.03327](https://arxiv.org/abs/1809.03327). URL: arxiv.org/abs/1809.03327.
- [Xia+17] Yu Xiang u. a. *PoseCNN: A Convolutional Neural Network for 6D Object Pose Estimation in Cluttered Scenes*. Website. Aufgerufen 16.10.2021. 2017. arXiv: [1711.00199](https://arxiv.org/abs/1711.00199). URL: arxiv.org/abs/1711.00199.