

Tracking

Analýza obrazu 12/2025



Recognition (detection/classification)

- Čo je na obrázku
- Pre obrázok vráti label alebo bounding box
- Výpočtovo náročné pre jeden obrázok

Tracking

- Kde sa pohol objekt?
- Pre sekvenciu obrázkov vráti trajektóriu
- Výpočtovo jednoduché pre jeden frame

V skriptách

- Detekcia zmeny
- Gaussian Mixture Model
- Template matching

SOT

Single-Object Tracking

- Daný je bounding box v prvom snímku
- **Cieľ:** sledovať vybraný objekt (bez detekcie)
- Riešenia:
 - **Template-based:** cross-correlation, template matching, MOSSE filter
 - **Appearance/Color-based:** Mean-Shift, CamShift (histogram tracking)
 - **Optical-flow-based:** Lucas-Kanade feature tracking
 - **Deep learning trackers:** SiamFC, SiamRPN, DiMP, OSTRack

VOT challenge - votchallenge.net

ovládanie robota, gesture tracking, drone following, AR markers

MOT

Multi-Object Tracking

- **Cieľ:** Detekcia všetkých objektov v každom snímku a ich konzistentná identifikácia v čase
 - **detekcia** - kto/čo je na snímke?
 - **asociácia** - ktorá detekcia zodpovedá ID?
- Problémy:
 - **occlusion**
 - **missed detection** (temp. invisible object)
 - **identity switch** (mixing two tracks)
 - **camera motion**

MOT challenge - motchallenge.net, KITTI dataset

autonómne autá, sport tracking, bezpečnostné kamery, premávka

Tracking-by-Detection

Pre každý frame:

1. **Detect** - nájdenie objektov na obrázku
2. **Predict** - kde by sa mali objekty nachádzať
3. **Associate** - hľadanie zhody medzi predpokladom a výsledkom detekcie
4. **Update** - aktualizácia parametrov pre ďalšiu predikciu
5. **Manage tracks** - vznik, zánik trajektórií, prípadne re-identifikácia

SORT (Simple Online and Realtime Tracking):

- FrRCNN
- Kalman filter
- Hungarian algorithm
- IoU (Intersection over Union)

The Hungarian Method

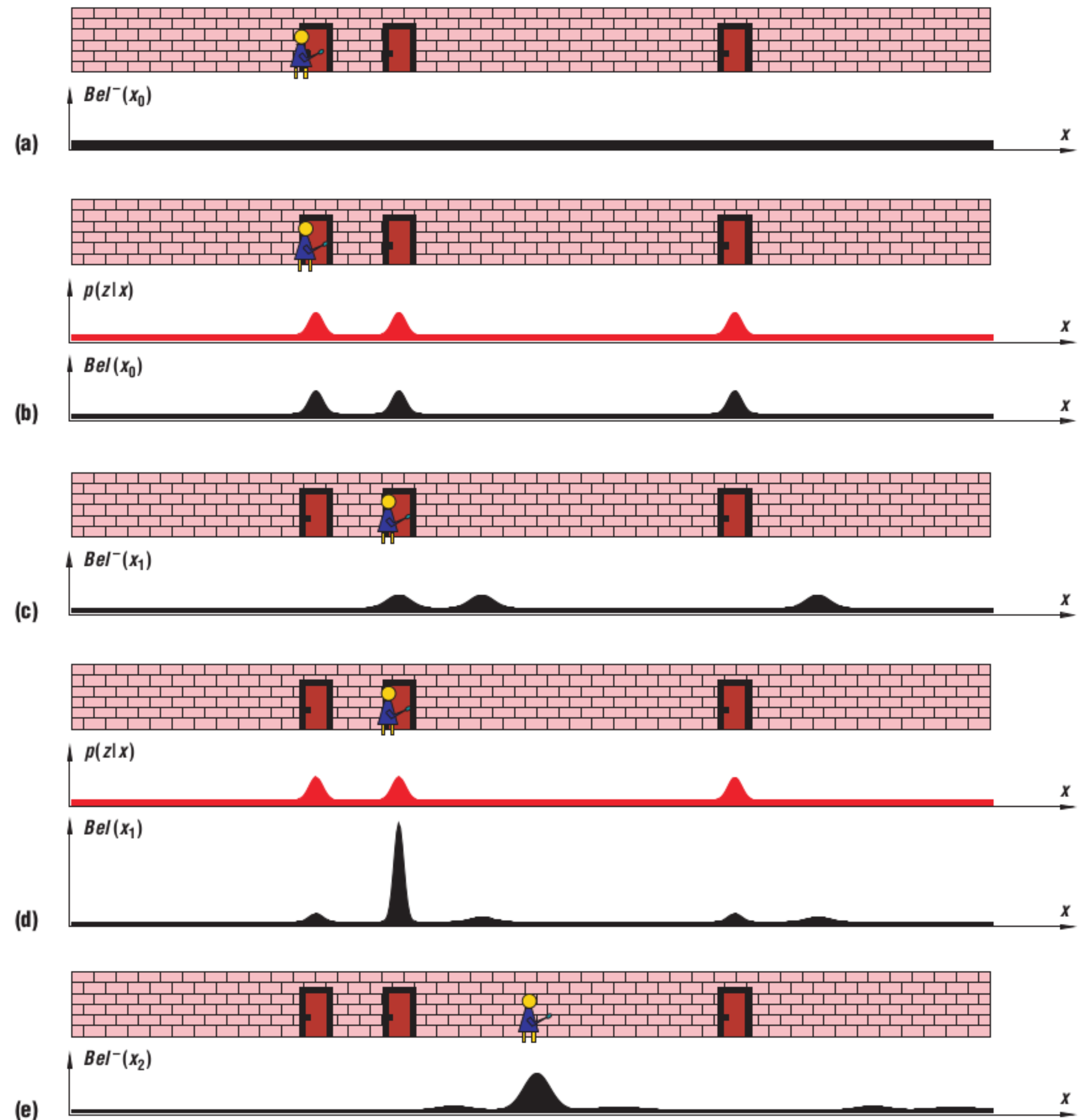
1. **Redukcia riadkov** - odčítať minimum z každého riadku (v každom riadku bude 0).
2. **Redukcia stĺpcov** - odčítať minimum z každého stĺpca
3. **Pokrytie núl** - nakresliť najmenší počet zvislých a vodorovných čiar, aby boli pokryté všetky nuly
4. **Kontrola** - ak počet čiar sa rovná počtu riadkov (alebo je väčší), tak máme výsledok
5. **Vytvorenie núl (ak je potrebné)** - nájdí najmenšiu hodnotu nepokrytú čiarami
 - a. odpočítaj túto hodnotu od každého nepokrytého čísla
 - b. pridaj túto hodnotu ku každému číslu, ktoré je pokryté dvoma čiarami
 - c. opakuj proces od bodu 3

Kalman Filter

Predikcia - Korekcia

Stav: $[u, v, s, r, du, dv, ds]$

- u, v - súradnice pixelu stredu detegovaného objektu (bounding box)
- s - škála
- r - pomer strán (fixný)
- du, dv - zmena (velocity) pozície
- ds - zmena škály



SORT (Simple Online and Realtime Tracking):

Bewley, A., Ge, Z., Ott, L., Ramos, F. and Upcroft, B., 2016, September. Simple online and realtime tracking. In 2016 IEEE international conference on image processing (ICIP) (pp. 3464-3468). Ieee.

- Faster Region CNN (FrRCNN)
 - trénované na COCO a PASCAL VOC datasetoch
 - pedestrian tracking: class *Person*, threshold 0.5 confidence
- Kalman filter
- Hungarian algorithm
- IoU (Intersection over Union) matrix

Výpočtovo najnáročnejšia časť je detekcia.

Presnosť metódy závisí od presnosti detekcie.

DeepSORT

Wojke, N., Bewley, A. and Paulus, D., 2017, September. Simple online and realtime tracking with a deep association metric. In 2017 IEEE international conference on image processing (ICIP) (pp. 3645-3649). IEEE.

- **SORT** zlyhá keď sa:
 - objekty prekrývajú
 - viacero objektov (ľudí) sa hýbe blízko seba
 - ak detektor neoznačí objekt na viacerých snímkoch za sebou
- **DeepSort = SORT + ReID**
- **ReID (Re-identification)**
 - Deep neural network (CNN) - **visual appearance** na **feature vector (embedding)** - 128
 - Kalman filter - short-term predikcia, Mahalanobis distance
 - ReID - long-term predikcia, identity recovery, cosine similarity

StrongSORT

Du, Y., Zhao, Z., Song, Y., Zhao, Y., Su, F., Gong, T. and Meng, H., 2023. Strongsort: Make deepsort great again. IEEE Transactions on Multimedia, 25, pp.8725-8737.

Vylepšuje DeepSORT:

- detekcia
- feature embedding
- trajectory association

Adresuje dva problémy z DeepSORT:

1. **missing association** - appearance-free link model (AFLink) to perform global association without appearance information
2. **missing detection** - Gaussian-smoothed interpolation (GSI) based on Gaussian process regression to relieve the missing detection.

StrongSORT++

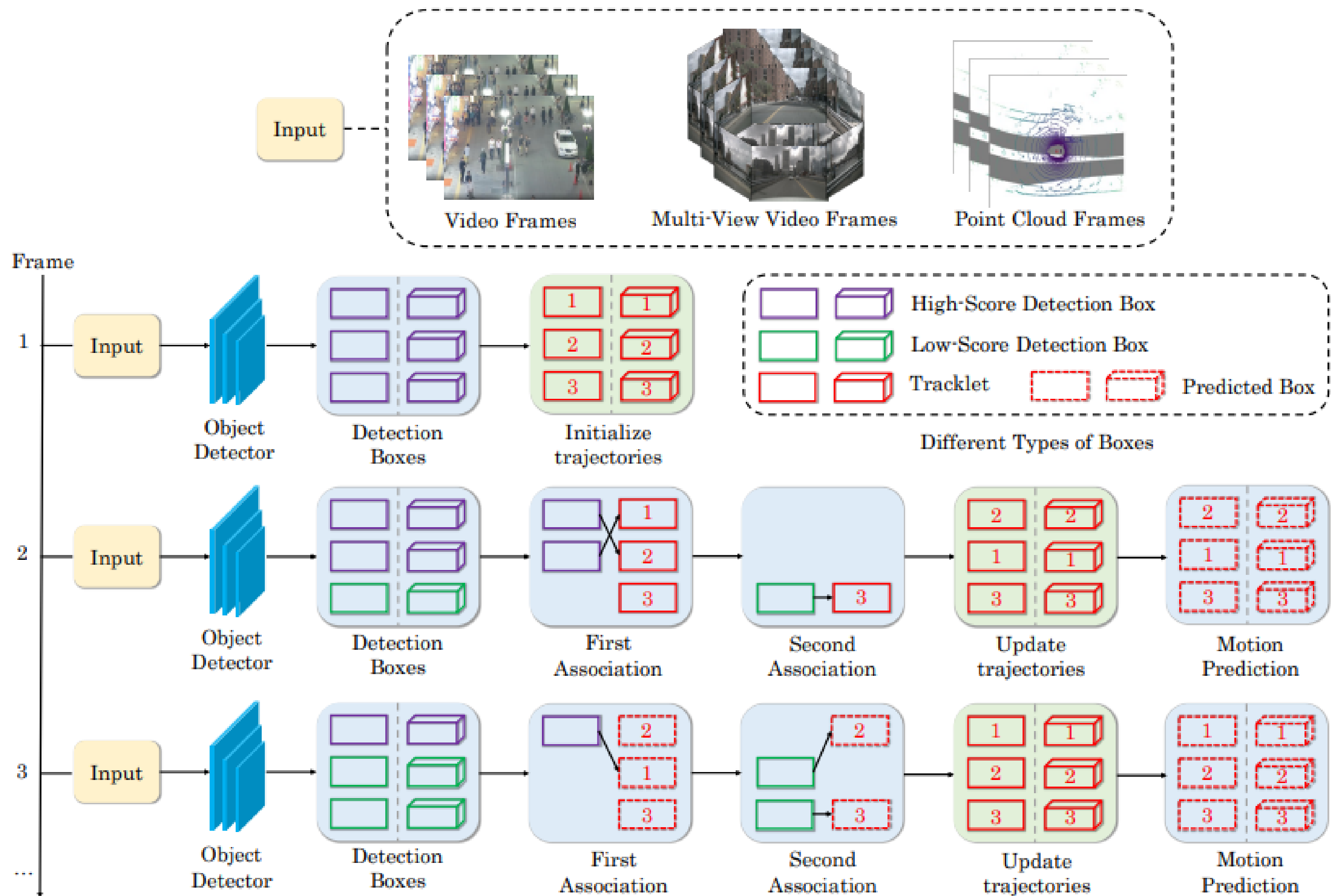
ByteTrack

Zhang, Y., Sun, P., Jiang, Y., Yu, D., Weng, F., Yuan, Z., Luo, P., Liu, W. and Wang, X., 2022, October. Bytetrack: Multi-object tracking by associating every detection box. In European conference on computer vision (pp. 1-21). Cham: Springer Nature Switzerland.

Hlavná myšlienka:

- nezahodiť **low-confidence detekcie**, ale použiť ich na obnovenie trajektórií
- asociácia na dvoch úrovniach (high-confidence, low-confidence)
- Vlastný detektor (YOLOX)
- **Asociácia** (IoU, Hungarian):
 - najprv high-confidence
 - potom asociácia zostávajúcich trajektórií s low-confidence detekciami na obnovu stratených objektov
- bez ReID a ďalších doplnkových vecí

Vstup: video snímky, multi-view video, point cloud

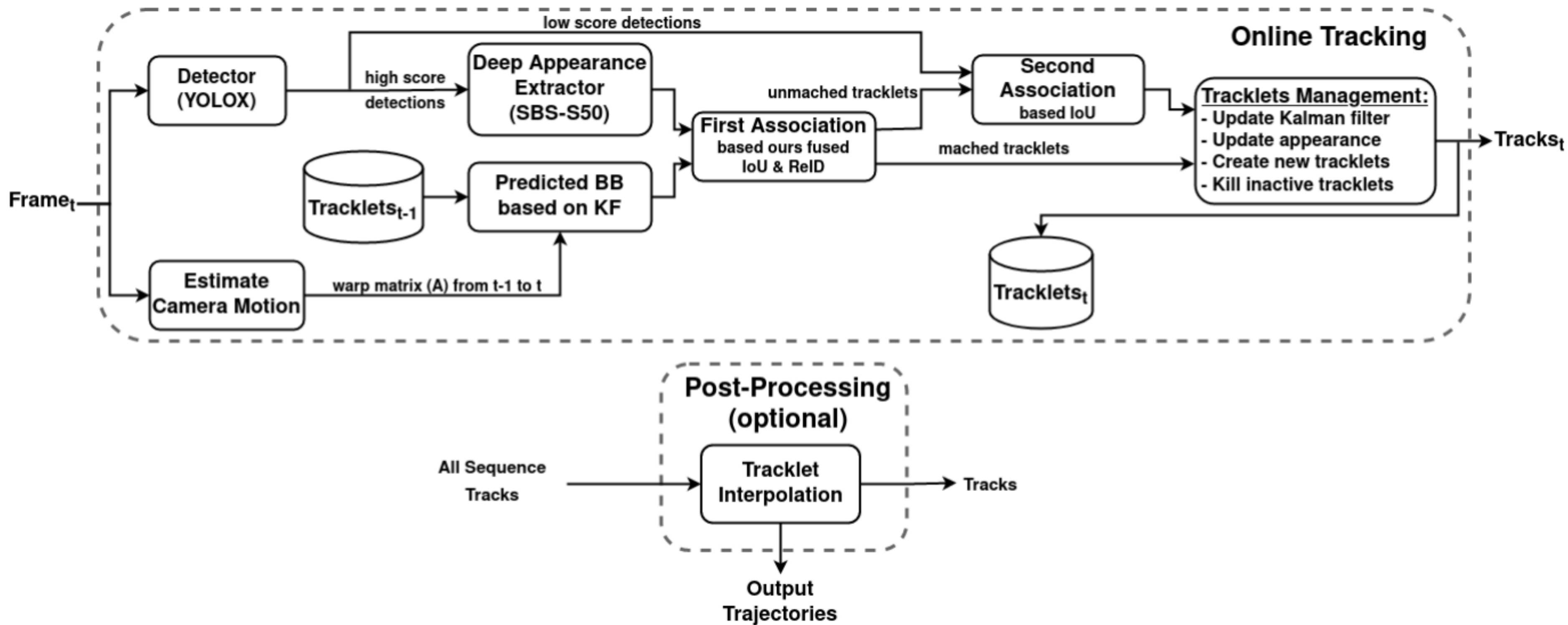


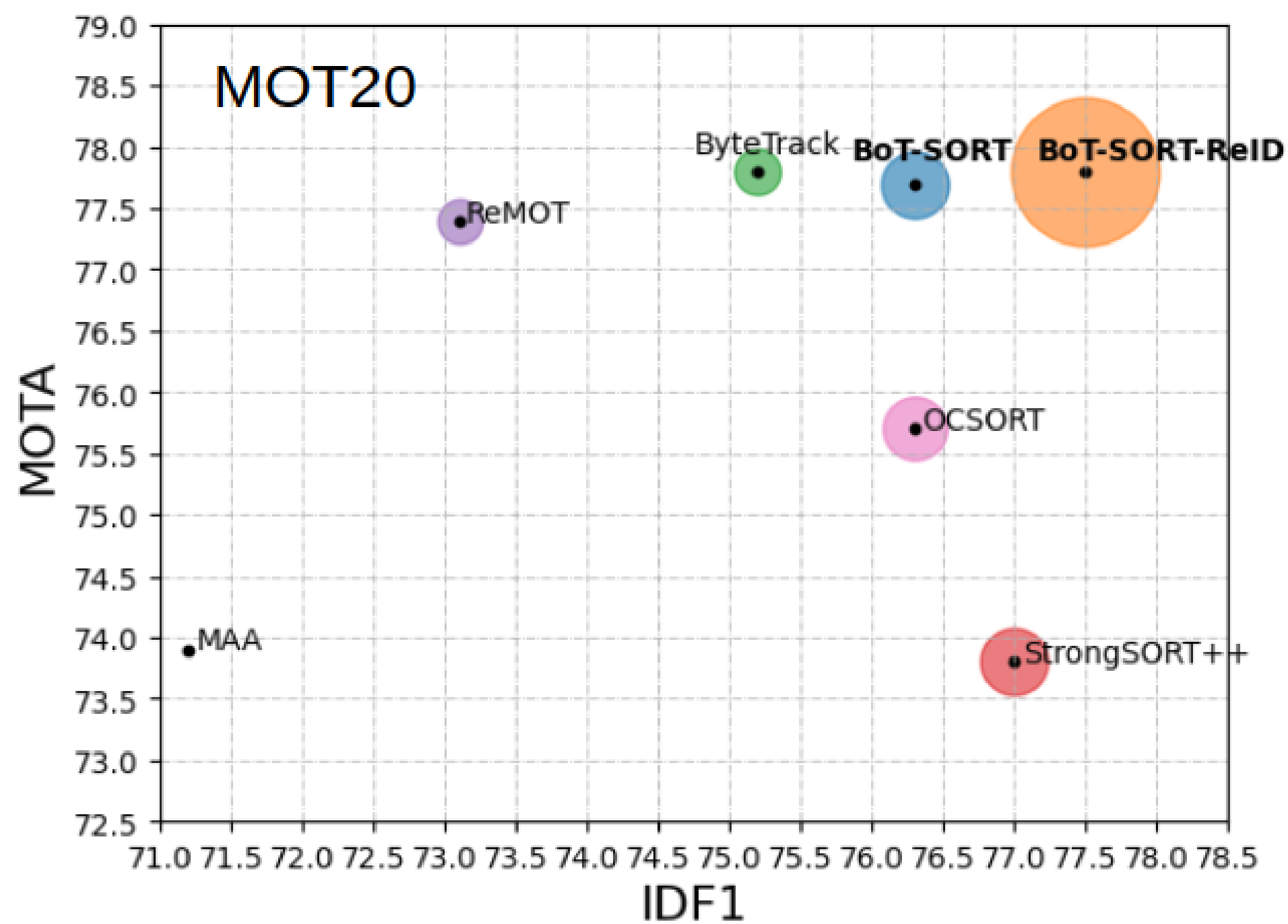
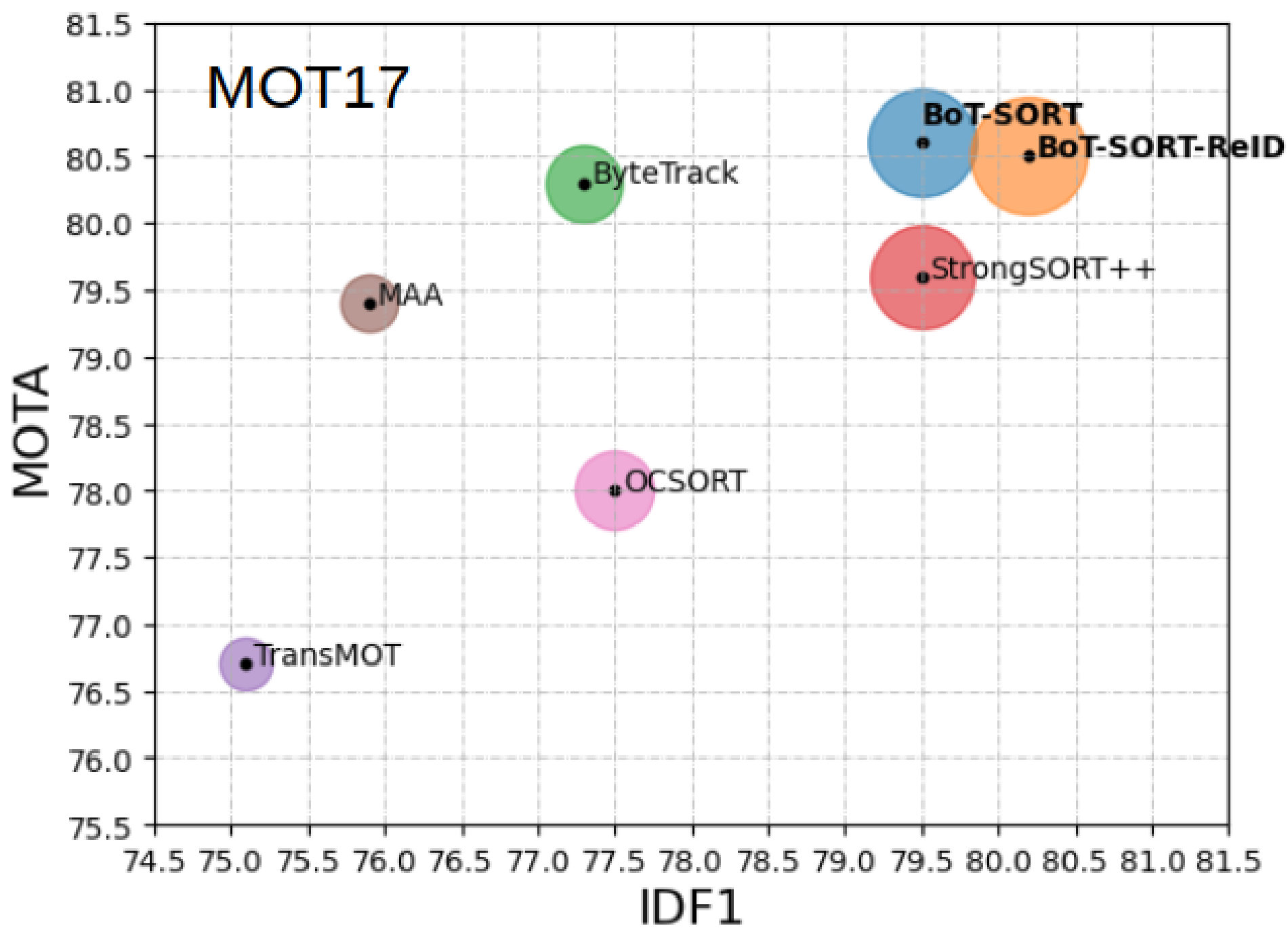
BoT-SORT

Aharon, N., Orfaig, R. and Bobrovsky, B.Z., 2022. BoT-SORT: Robust associations multi-pedestrian tracking. arXiv preprint arXiv:2206.14651.

Hlavná myšlienka:

- využiť smart matching od ByteTrack a doplniť ďalšími vylepšeniami (**Bag of Tricks**)
- Detekcia - využíva moderné detektory (Yolo)
- Predikcia - Kalman filter (vyladený - podobne ako v iných, vyhladená rýchlosť)
- **CMC - Camera motion compensation** - odhaduje homografiu medzi snímkami, stabilizuje súradnicový systém pri pohybe kamery
- ReID - appearance embeddings (odľahčená CNN)
- Asociácia - IoU, ReID (v dvoch krokoch podobne ako ByteTrack)
- **Post-Processing** - vyhladzovanie trajektórií
- CMC - problém ak je veľa objektov a málo keypoints v pozadí
- **Rýchlosť výpočtu** pri veľkých snímkoch - druhá asociácia je bez deep feature extrakcie, CMC je rýchle v porovnaní s detekciou





Zdroje sú na stránke.
Odporúčam pozrieť aj na metriky (MOT challenge results)