



**Vilniaus
universitetas**

VEIKLOS ATASKAITA

Kelių asmenų kūno padėties sekimas realiuoju laiku taikant mašininio mokymosi metodus

Doktorantūros pradžios/pabaigos metai: 2022-2026

Studijų metai: 2025/2026 pirmas pusmetis

Doktorantas: Algimantas Skuodis

Vadovas: Olga Kurasova, prof. Dr

Studijų planas ir jo vykdymo suvestinė

| Studijų metai | Egzaminai | |
|-----------------------|-----------|----------|
| | Planas | Įvykdyta |
| I (2022/2023) | 2 | 2 |
| II (2023/2024) | 2 | 2 |
| III (2024/2025) | | |
| IV (2025/2026) | | |
| Iš viso: | 4 | 4 |

| Studijų metai | Dalyvavimas konferencijose | | | | Publikacijos | | | | | |
|-----------------------|----------------------------|----------|---------------|----------|--------------------|----------|---------|--------------------|----------|----------------|
| | Tarptautinėse | | Nacionalinėse | | Su citav. rodikliu | | | Be citav. rodiklio | | |
| | Planas | Įvykdyta | Planas | Įvykdyta | Planas | Įvykdyta | Būklė | Planas | Įvykdyta | Būklė |
| I (2022/2023) | | | | | | | | | | |
| II (2023/2024) | | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | Publi kuota |
| III (2024/2025) | 1 | | | | 1 | | Įteikta | | | |
| IV (2025/2026) | 1 | 1 | | | 1 | | | | | |
| Iš viso: | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | | | 1 | 1 | |

| Egzaminai 2025/2026 (I pusmetis) | | |
|---|-----------------|--------------|
| Planas | Įvykdyta | Būklė |
| | | |

| Dalyvavimas konferencijose 2025/2026 (I pusmetis) | | |
|---|---|----------------------------|
| Planas | Įvykdyta | Konferencijos tipas |
| 21st International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP 2026) 2026 kovo 9 - kovo 11, Bilbao, Ispanija | Algimantas Skuodis and Olga Kurasova, Deep Learning-Based Models for Recognition of Skydiving Formations, 21st International Conference on Computer Vision Theory and Applications, 2026 kovo 9 - kovo 11, Bilbao, Ispanija | Tarptautinė |

| Publikacijos 2025/2026 (I pusmetis) | | | |
|--|-----------------|--------------|---------------------------|
| Planas | Įvykdyta | Būklė | Publikacijos tipas |
| | | | |

Tyrimų objektas

*Mašininio mokymosi metodai kelių asmenų
kūno padėties sekimui realiuoju laiku.*

Tikslas

Sukurti mašininio mokymosi metodą kelių asmenų kūno padėties sekimui realiuoju laiku, skirtą kūno padėties sekimui ir taškų skaičiavimui parašiotų sporto laisvojo kritimo derinių disciplinoje.

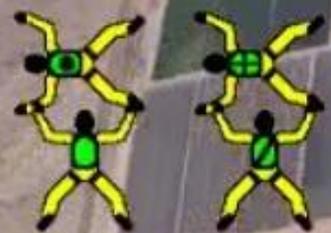
Uždaviniai

- Iširti modernius mašininio mokymosi metodus, naudojamus kelių asmenų kūno padėties sekimui realiuoju laiku.
- Sukurti duomenų rinkinį, skirtą mašininio mokymosi metodų, skirtų kelių asmenų kūno padėties sekimui realiuoju laiku parašutų sporto laisvojo kritimo derinių disciplinoje, vertinimui.
- Pasiūlyti mašininio mokymosi metodą, tinkamą kelių asmenų kūno padėties sekimui realiuoju laiku parašutų sporto laisvojo kritimo derinių disciplinoje.
- Atlikti eksperimentinius tyrimus ir įvertinti pasiūlytą metodą naudojant sukurtą duomenų rinkinį.
- Atlikti eksperimentinius tyrimus ir įvertinti pasiūlytą metodą naudojant kitus atvirus duomenų rinkinius, dažniausiai naudojamus kelių asmenų kūno padėties identifikavimo metodų vertinimui.



Laisvojo kritimo deriniai

- 4 kilometrai
- 10 turų / šuolių
- 35 sekundės laisvojo kritimo
- 5-6 burtų būdu ištrauktos figūros
- Viso 16 figūrų ir 22 blokai (2 figūros)
- t.y., 60 skirtingų formacijų



1



17

7.1



Round 10 - 451 "Great Britain"

4-Way Female

7/30



Problema

- Nėra galimybės matyti preliminarų rezultatą gyvai

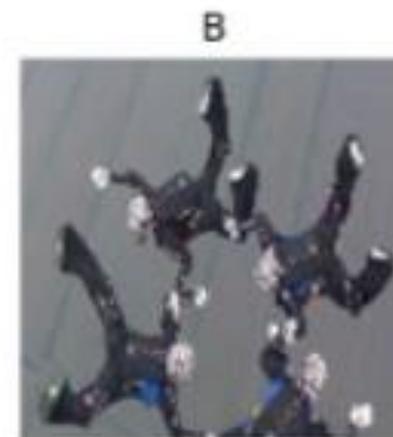
Kuriamas duomenų rinkinys

- 12 varžybų (2019-2022)
- 60 formacijų (figūrų)
- 26 436 kadrai

| Competition | Rounds | Teams |
|---------------------------|--------|-------|
| Airspace2022 | 10 | 36 |
| Eloy2022 | 10 | 25 |
| Tanay2021 | 6 | 13 |
| Eloy2019 | 10 | 20 |
| FlyspotOpen2021 | 10 | 6 |
| FlyspotOpen2022 | 10 | 11 |
| DIPC2021 | 10 | 6 |
| USPANationals2022 | 10 | 12 |
| SwissNationals2022 | 8 | 3 |
| USPANationals2022Advanced | 10 | 15 |
| 1STDITC2021 | 10 | 7 |
| AbhuDhabiFirstOpen2022 | 6 | 4 |

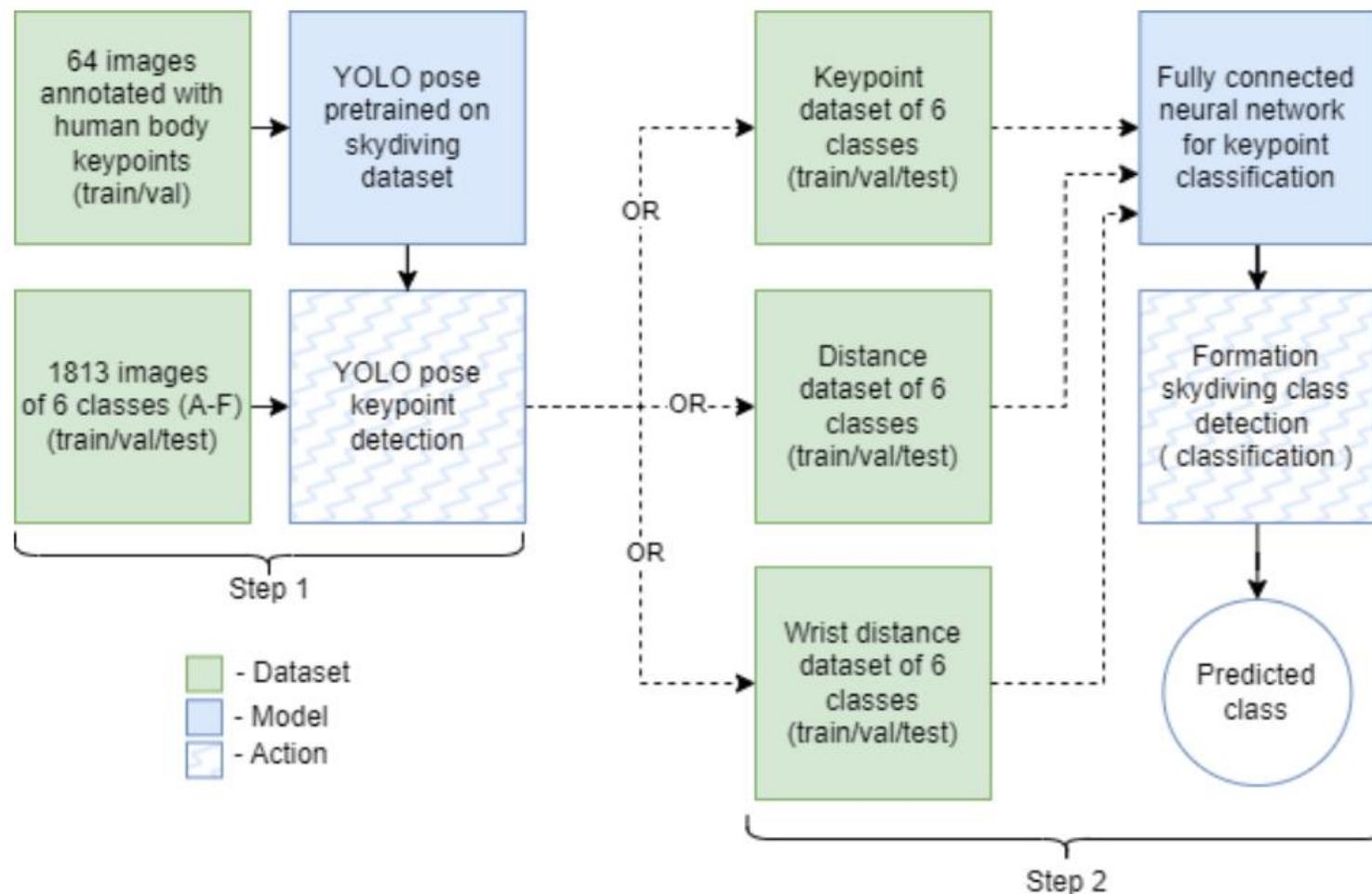
Experimentinis duomenų rinkinys

- Mokymo/validavimo:
 - Pirmos šešios figūros (A,B,C,D,E,F),
 - 1753 vaizdai,
 - 6 klasės,
 - Suvienodintas dydis,
 - Pašalintos šiukšlės,
 - Padalinta 80/20.
- Testinis:
 - 60 vaizdų, po 10 kiekvienai figūrai.



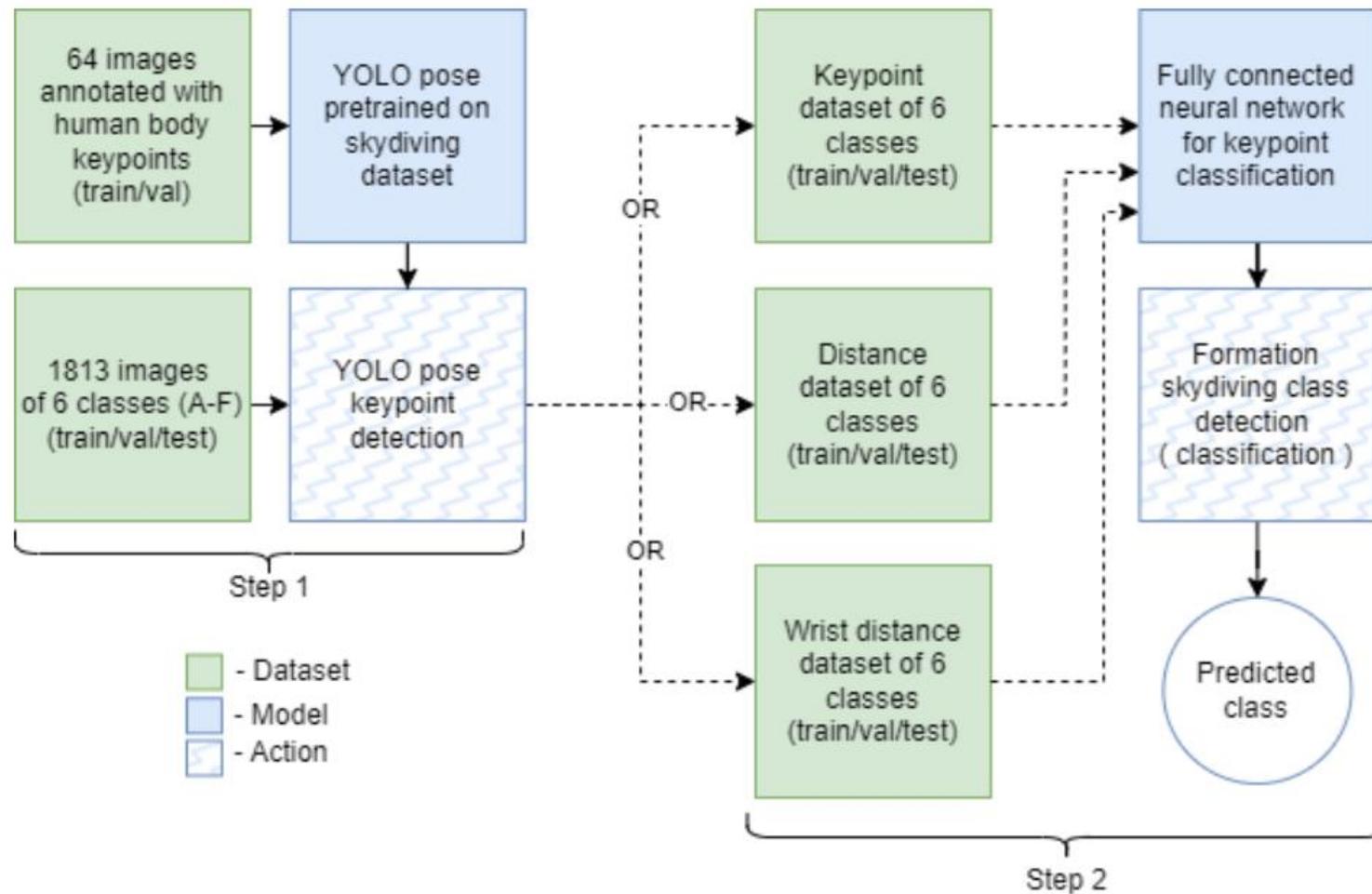
Dviejų etapų metodas

- Kūno taškų detektorius (1),
- Formacijų klasifikatorius (2).



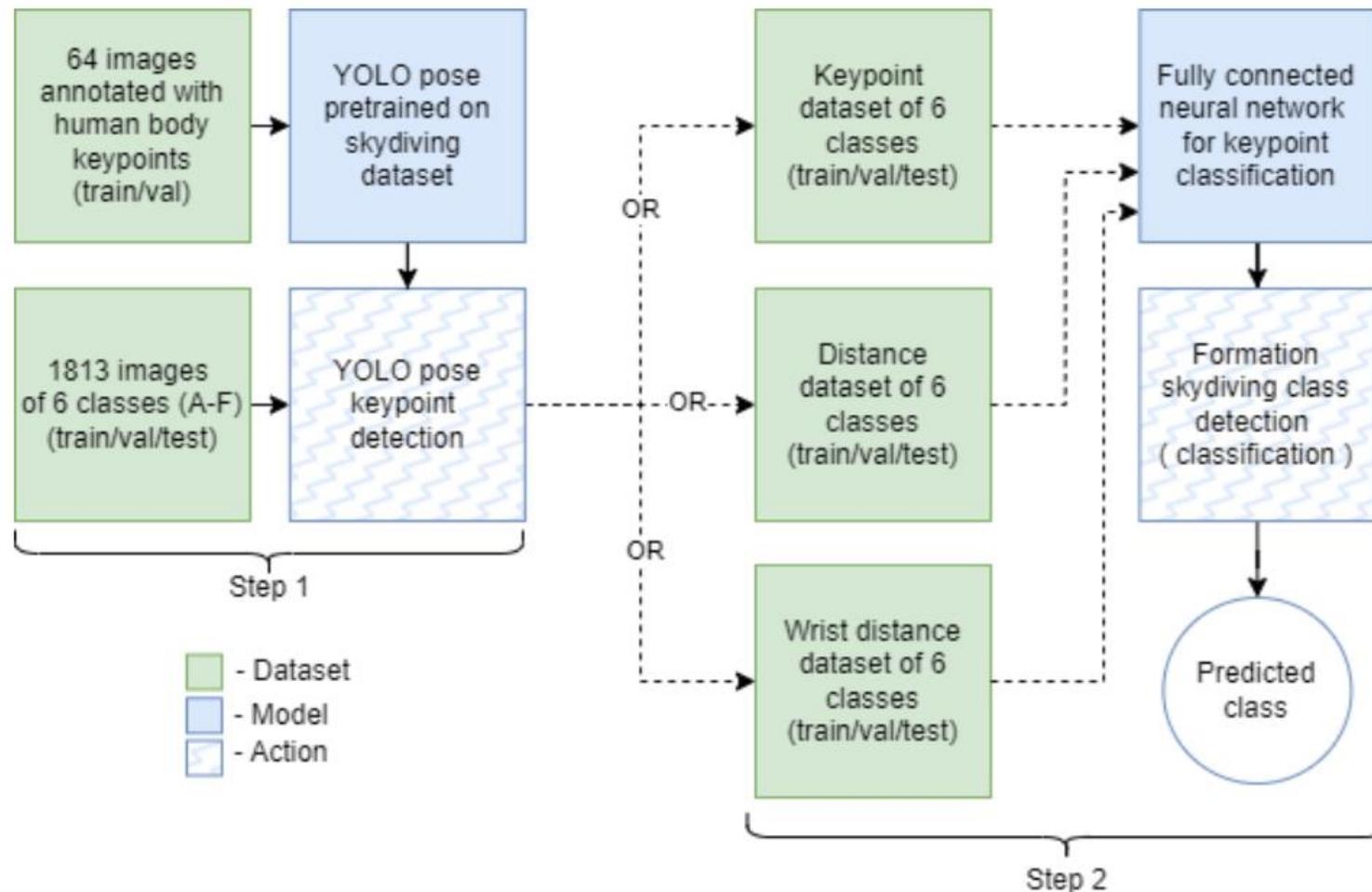
Dviejų etapų metodas

- Ką klasifikuosime ?
 - Koordinatės, atstumai, prasmingi atstumai.



Dviejų etapų metodas

- Kaip klasifikuosime ?
 - Klasikiniai MM metodai (PyCaret paieška),
 - FCNN (Optuna paieška).



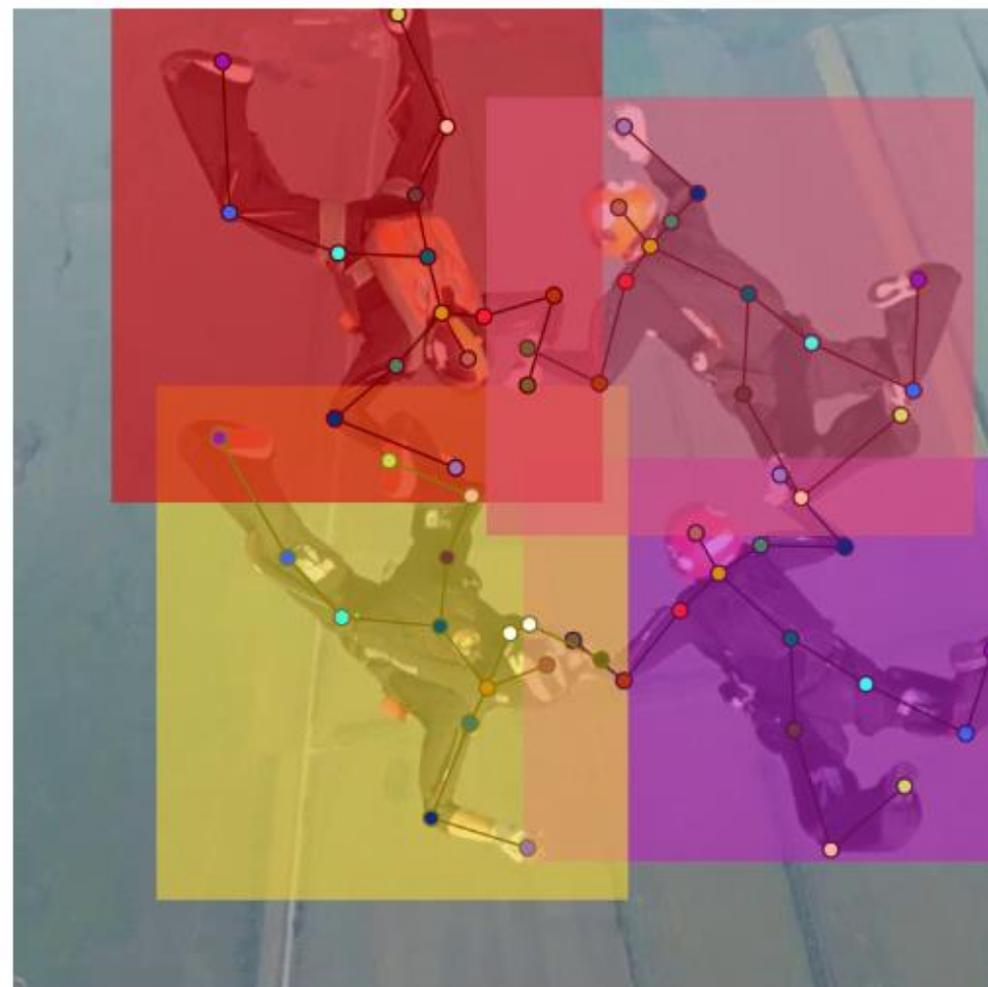
[Nuoroda į video.](#)



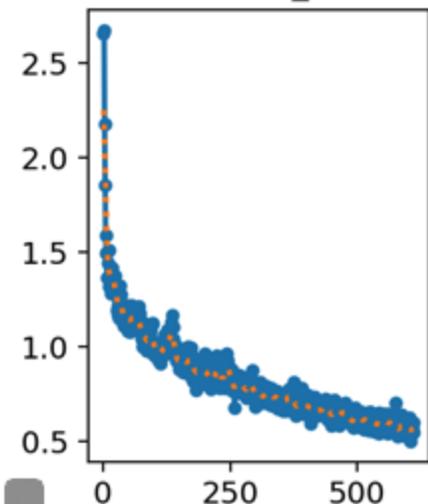
YOLO Pose apmokymas

64 pavyzdžiai, 15 kūno dalių. Nereikia detalių.

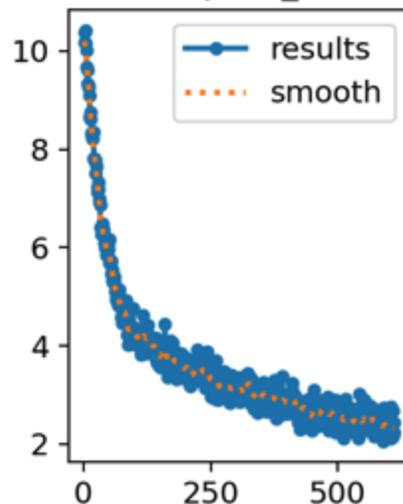
| No. Keypoint | No. Keypoint |
|------------------|----------------|
| 1 Head | 9 Right hip |
| 2 Neck | 10 Right knee |
| 3 Right shoulder | 11 Right ankle |
| 4 Right elbow | 12 Left hip |
| 5 Right wrist | 13 Left knee |
| 6 Left shoulder | 14 Left ankle |
| 7 Left elbow | 15 Chest |
| 8 Left wrist | |



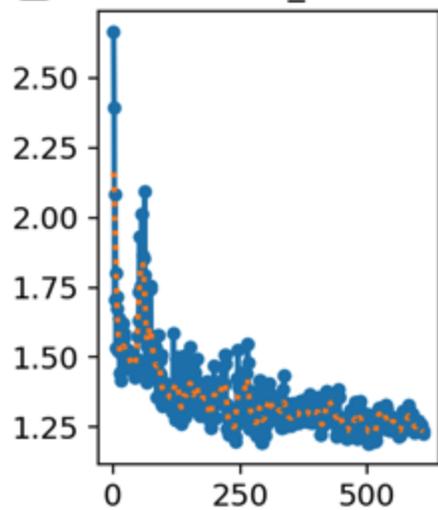
train/box_loss



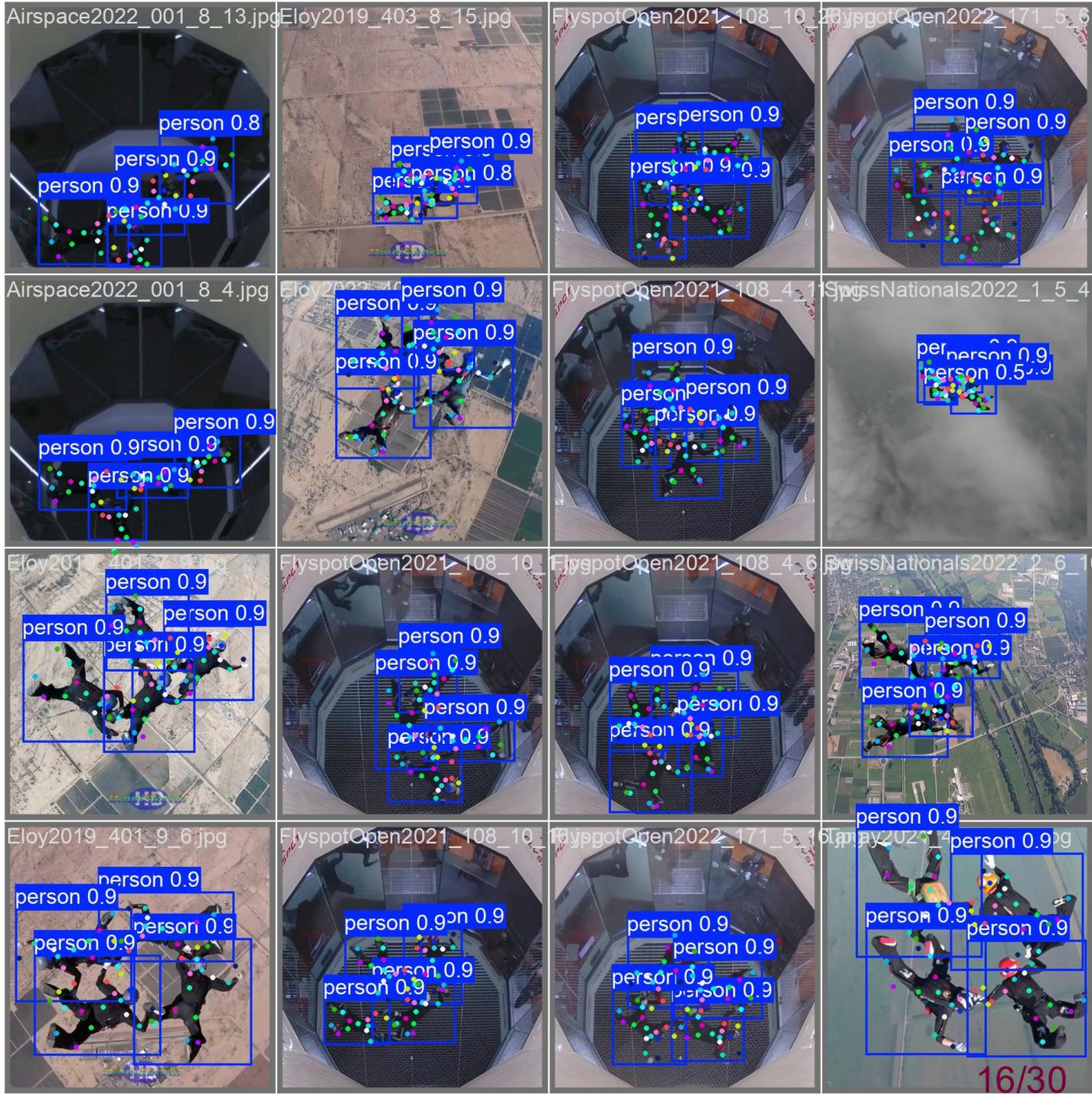
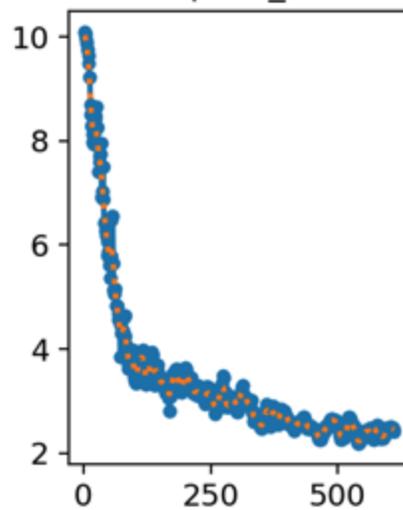
train/pose_loss



val/box_loss



val/pose_loss



YOLO Pose apmokymas

Vilniaus
universitetas

YOLO Pose, pretrained on 64 skydiving samples.



[Nuoroda į video.](#)

Koordinačių klasifikavimas

Table 5: Two-step approach, keypoint-based classification results, LightGBM classifier

| Class | Validation Data | | | Test Data | | |
|---------------------|-----------------|--------|----------|-----------|--------|----------|
| | Precision | Recall | F1-Score | Precision | Recall | F1-Score |
| A | 0.67 | 0.61 | 0.64 | 0.67 | 0.61 | 0.64 |
| B | 0.46 | 0.44 | 0.45 | 0.46 | 0.44 | 0.45 |
| C | 0.52 | 0.49 | 0.50 | 0.52 | 0.49 | 0.50 |
| D | 0.54 | 0.46 | 0.50 | 0.54 | 0.46 | 0.50 |
| E | 0.45 | 0.51 | 0.48 | 0.45 | 0.51 | 0.48 |
| F | 0.51 | 0.59 | 0.55 | 0.51 | 0.59 | 0.55 |
| Accuracy | | | 0.52 | | | 0.52 |
| Macro Avg | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 |
| Weighted Avg | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 |

Table 8: Two-step approach, keypoint-based classification results, FCNN classifier

| Class | Validation Data | | | Test Data | | |
|---------------------|-----------------|--------|----------|-----------|--------|----------|
| | Precision | Recall | F1-Score | Precision | Recall | F1-Score |
| A | 0.69 | 0.55 | 0.61 | 0.62 | 0.80 | 0.70 |
| B | 0.61 | 0.42 | 0.50 | 0.60 | 0.30 | 0.40 |
| C | 0.70 | 0.82 | 0.76 | 0.88 | 0.70 | 0.78 |
| D | 0.55 | 0.63 | 0.59 | 0.67 | 0.80 | 0.73 |
| E | 0.58 | 0.67 | 0.62 | 0.54 | 0.70 | 0.61 |
| F | 0.66 | 0.66 | 0.66 | 0.67 | 0.60 | 0.63 |
| Accuracy | | | 0.63 | | | 0.65 |
| Macro Avg | 0.63 | 0.62 | 0.62 | 0.66 | 0.65 | 0.64 |
| Weighted Avg | 0.63 | 0.63 | 0.62 | 0.66 | 0.65 | 0.64 |

Atstumų klasifikavimas

Table 6: Two-step approach, distance-based classification results, CatBoost Classifier

| Class | Validation Data | | | Test Data | | |
|---------------------|-----------------|--------|----------|-----------|--------|----------|
| | Precision | Recall | F1-Score | Precision | Recall | F1-Score |
| A | 0.92 | 0.94 | 0.93 | 0.77 | 1.00 | 0.87 |
| B | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 1.00 | 0.50 | 0.67 |
| C | 0.92 | 0.95 | 0.94 | 1.00 | 0.80 | 0.89 |
| D | 0.86 | 0.89 | 0.88 | 0.88 | 0.70 | 0.78 |
| E | 0.82 | 0.82 | 0.82 | 0.60 | 0.90 | 0.72 |
| F | 0.97 | 0.90 | 0.93 | 0.91 | 1.00 | 0.95 |
| Accuracy | | | 0.90 | | | 0.82 |
| Macro Avg | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.86 | 0.82 | 0.81 |
| Weighted Avg | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.86 | 0.82 | 0.81 |

Table 9: Two-step approach, distance-based classification results, FCNN classifier

| Class | Validation Data | | | Test Data | | |
|---------------------|-----------------|--------|----------|-----------|--------|----------|
| | Precision | Recall | F1-Score | Precision | Recall | F1-Score |
| A | 0.96 | 0.90 | 0.93 | 0.91 | 1.00 | 0.95 |
| B | 0.92 | 0.95 | 0.93 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| C | 0.85 | 0.93 | 0.89 | 0.89 | 0.80 | 0.84 |
| D | 0.88 | 0.91 | 0.90 | 1.00 | 0.90 | 0.95 |
| E | 0.96 | 0.88 | 0.92 | 0.91 | 1.00 | 0.95 |
| F | 0.93 | 0.90 | 0.91 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Accuracy | | | 0.91 | | | 0.92 |
| Macro Avg | 0.92 | 0.91 | 0.91 | 0.92 | 0.92 | 0.92 |
| Weighted Avg | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.92 | 0.92 | 0.92 |

Prasmingų atstumų klasifikavimas

Vilniaus
universitetas

Table 7: Two-step approach, wrist distance-based classification results, CatBoost Classifier

| Class | Validation Data | | | Test Data | | |
|---------------------|-----------------|--------|----------|-----------|--------|----------|
| | Precision | Recall | F1-Score | Precision | Recall | F1-Score |
| A | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| B | 0.90 | 0.93 | 0.92 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| C | 0.90 | 0.98 | 0.94 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| D | 0.83 | 0.79 | 0.81 | 0.82 | 0.90 | 0.86 |
| E | 0.84 | 0.82 | 0.83 | 0.89 | 0.80 | 0.84 |
| F | 0.95 | 0.90 | 0.93 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Accuracy | | | 0.90 | | | 0.92 |
| Macro Avg | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.92 | 0.92 | 0.92 |
| Weighted Avg | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.92 | 0.92 | 0.92 |

Table 10: Two-step approach, wrist distance-based classification results, FCNN classifier

| Class | Validation Data | | | Test Data | | |
|---------------------|-----------------|--------|----------|-----------|--------|----------|
| | Precision | Recall | F1-Score | Precision | Recall | F1-Score |
| A | 0.94 | 0.96 | 0.95 | 0.91 | 1.00 | 0.95 |
| B | 0.93 | 0.95 | 0.94 | 0.82 | 0.90 | 0.86 |
| C | 0.88 | 0.93 | 0.90 | 1.00 | 0.80 | 0.89 |
| D | 0.89 | 0.89 | 0.89 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| E | 0.89 | 0.89 | 0.89 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| F | 0.97 | 0.89 | 0.93 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Accuracy | | | 0.92 | | | 0.95 |
| Macro Avg | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| Weighted Avg | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |

Rezultatų palyginimas

Table 11: Comparison of weighted F1-scores across classification approaches

| Approach | Formation classifier | Weighted F1-score | |
|---------------------------------|----------------------|-------------------|------|
| | | Validation | Test |
| Two-step (keypoint-based) | LightGBM | 0.52 | 0.52 |
| Two-step (keypoint-based) | FCNN | 0.62 | 0.64 |
| Two-step (distance-based) | CatBoost | 0.90 | 0.82 |
| Two-step (distance-based) | FCNN | 0.91 | 0.92 |
| Two-step (wrist distance-based) | CatBoost | 0.90 | 0.92 |
| Two-step (wrist distance-based) | FCNN | 0.92 | 0.95 |

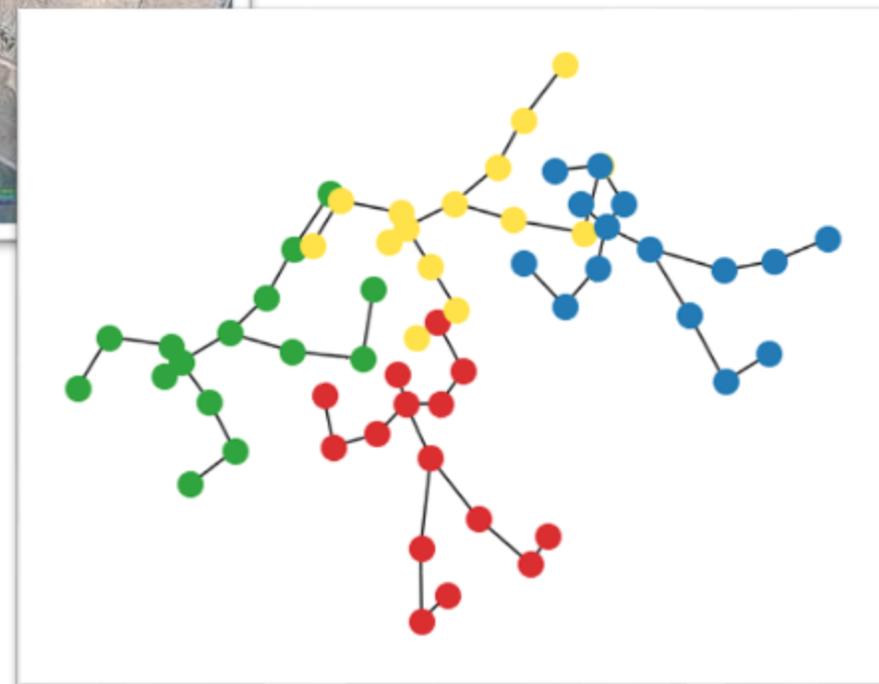
**O kaip su
grafais?**

Ar galime interpretuoti formaciją kaip grafą
ir taikyti GNN modelius?



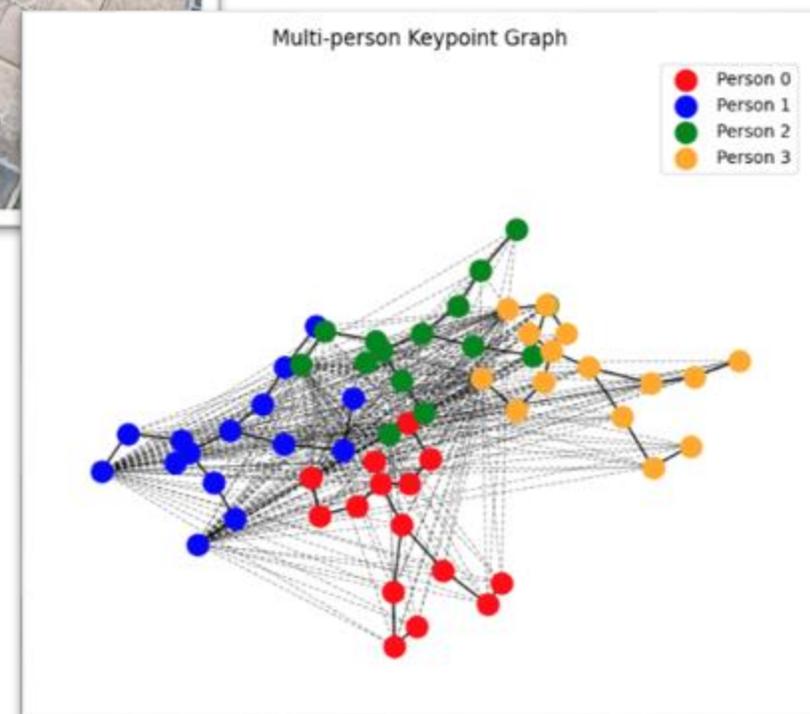
Modelio paieška

- Paieška tarp 576 galimų modelio variantų (grid search),
- Pagrindinis požymis - kūno dalies koordinatės:
 - Aukščiausias rezultatas, klasifikavimo tikslumas 0.7464,
- Trūksta požymių?
 - Papildomi požymiai - asmens id ir kūno dalies id,
 - Aukščiausias rezultatas, klasifikavimo tikslumas 0.8148.



Modelio paieška

- **Grafas nėra jungus!**
- Apjunkime grafas kraštinėmis nuo riešų iki kitų kūno dalių:
 - Aukščiausias rezultatas, tikslumas 0.9383,
 - Papildomas geriausio modelio apmokymas, rezultatas 0.9430,
- Ar galime apmokyti rasti prasmingas kraštines?
- Ankstesniuose tyrimuose geriausią rezultatą parodė atstumų požymiai!



Rezultatų palyginimas

Table 19: Summary of formation classification results. All experiments use `generalconv` layer type.

| # | l_pre | l_mp | l_post | Stage | Agg | Epochs | Val Acc | Test Acc |
|---|-------|------|--------|---------|-----|--------|---------|---------------|
| 1 | 2 | 8 | 2 | skipsum | add | 2000 | 0.7464 | 0.7200 |
| <i>Dataset: Node: (x, y), skeleton edges, 4 disconnected persons</i> | | | | | | | | |
| 2 | 1 | 8 | 2 | stack | add | 2000 | 0.8148 | 0.8200 |
| <i>Dataset: Node: (person_id, kp_id, x, y), skeleton edges, 4 disconnected persons</i> | | | | | | | | |
| 5 | 2 | 8 | 3 | stack | max | 2000 | 0.9430 | 0.9200 |
| <i>Dataset: Node: (person_id, kp_id, x, y), wrist cross-person edges, 3 seeds</i> | | | | | | | | |
| 6 | 2 | 8 | 3 | stack | max | 2000 | 0.9231 | 0.9700 |
| <i>Dataset: Node: (person_id, kp_id, x, y), wrist cross-person edges + euclidean edge distance, 3 seeds</i> | | | | | | | | |

Išvados

- Vien koordinačių naudojimas klasifikavimas nėra pakankamas.
- Prasmingų kūno dalių naudojimas gali pagerinti klasifikavimo rezultata.
- Atstumų panaudojimas klasifikavimui yra tinkama strategija siekiant aukšto klasifikavimo rezultato. Tą patvirtina skirtingos strategijos antrame klasifikavimo etape.
- Dviejų etapų metodas yra tinkama strategija figūrų klasifikavimui ir gali būti naudojamas kūno padėties sekimui ir taškų skaičiavimui parašiotų sporto laisvojo kritimo derinių disciplinoje.

Tolimesni darbai

- Apibendrinti tyrimus ir pateikti publikaciją į žurnalą Clarivate Web of Science duomenų bazėje su citavimo rodikliu.
- Disertacijos rengimas.

Klausimai?