



Vilnius
universitetas

MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
DUOMENŲ MOKSLO IR SKAITMENINIŲ
TECHNOLOGIJŲ INSTITUTAS

JŪROS EISMO VERTINIMAS NAUDOJANT GILIUOSIUS NEURONINIUS TINKLUS

MARITIME TRAFFIC AWARENESS EVALUATION USING DEEP NEURAL NETWORKS

2020 m. spalio mėn. 1 d. – 2024 m. rugsėjo mėn. 30 d.
III – studijų metai (II pusmetis)

Doktorantas: Robertas Jurkus

Vadovas: dr. Povilas Treigys

Vilnius, 2023



TURINYS

1. Studijų plano vykdymo informacija
2. Mokslinių tyrimų pasiekimai ir disertacijos rengimo etapai
3. Mokslinio tyrimo rezultatai ir tolimesni planai

— Bendra visų studijų plano vykdymo suvestinė (1)

Studijų metai	Egzaminai ¹	
	Planas	Įvykdyta
I (2020/2021)	2	2
II (2021/2022)	2	1
III (2022/2023)		1 (skola iš II metų)
IV (2023/2024)		
Iš viso:	4	4

¹ Nurodamas egzaminų skaičius.

Bendra visų studijų plano vykdymo suvestinė (2)

Studijų metai	Dalyvavimas konferencijose				Publikacijos					
	Tarptautinėse ²		Nacionalinėse ³		Su citav. rodikliu ⁴			Be citav. rodiklio ⁵		
	Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta ⁶	Būklė ⁷	Planas	Įvykdyta ⁶	Būklė ⁷
I (2020/2021)	1	1						1	1	Publikuota
II (2021/2022)			1	1						
III (2022/2023)	1	1	1	1	1	1	Publikuota	1	1	Publikuota
IV (2023/2024)					1					
Iš viso:	2	2	2	2	2	1		2	2	

² Nurodomas tarptautinių mokslo renginių, kuriuose pristatyti disertacijos rezultatai, skaičius.

³ Nurodomas nacionalinių mokslo renginių, kuriuose pristatyti disertacijos rezultatai, skaičius.

⁴ Nurodomas publikacijų, kuriuose pateikti pagrindiniai disertacijos rezultatai ir publikuoti Clarivate Analytics Web of Science (CA WoS) referuojamuose ir turinčiuose citavimo rodiklį (Impact Factor) žurnaluose, skaičius ir būklė.

⁵ Nurodomas kitų publikacijų skaičius ir būklė (žurnaluose be citavimo rodiklio arba straipsniai konferencijų medžiagoje).

⁶ Stulpelyje „Įvykdyta“ nurodomi skaičiai tik tuomet, jei publikacija yra priimta ar publikuota.

⁷ Nurodoma publikacijos, pažymėtos stulpelyje „Įvykdyta“, būklė: „Publikuota“, „Priimta“, „Įteikta“, „Įteikta (gautos pirmos recenzijos)“.

Ataskaitinis studijų pusmetis (III: 2022/2023 – I pusmetis)

1.

Egzaminai 2022/2023 (I pusmetis)

Planas	Įvykdyta	Būklė
Didžiųjų duomenų analitika (2022 m. sausio mėn.)	Didžiųjų duomenų analitika, 2023-02-15	Išlaikyta



Ataskaitinis studijų pusmetis (III: 2022/2023 – II pusmetis)

2.


Dalyvavimas konferencijose 2022/2023 (I pusmetis)

Planas	Įvykdyta	Konferencijos tipas
Disertacijos empirinio tyrimo rezultatų pristatymas tarptautinėje konferencijoje	R. Jurkus, P. Treigys, J. Venskus: Categorical Data Encoding Techniques for Recursive Multi-Step Prediction of Vessel Trajectory . International Conference on Time Series and Forecasting (ITISE 2023), held in Gran Canaria, 12-14 July, 2023 (Spain).	Tarptautinė P1d – Straipsnis recenzuotame konferencijos darbų leidinyje

Ataskaitinis studijų pusmetis (III: 2022/2023 – II pusmetis)

3.

Publikacijos 2022/2023 (I pusmetis)

Planas	Įvykdyta	Būklė	Publikacijos tipas
Engineering Applications of Artificial Intelligence 	Jurkus, Robertas; Venskus, Julius; Treigys, Povilas. Application of coordinate systems for vessel trajectory prediction improvement using a recurrent neural networks // Engineering applications of artificial intelligence. Oxford : Pergamon-Elsevier Science Ltd. ISSN 0952-1976. eISSN 1873-6769. 2023, vol. 123, part C, art. no. 106448, p. [1-10]. DOI: 10.1016/j.engappai.2023.106448	Publikuota	S1 - Straipsnis Web of Science DB Category Quartile: Q1 Journal Impact Factor: 2021: 7.802

Doktorantūros studijų pasiekimai

Dalyvavimas tarptautinėse konferencijose

Aprašas

1. **R. Jurkus, P. Treigys, J. Venskus: Investigation of Recurrent Neural Network Architectures for Prediction of Vessel Trajectory.** In: Information and Software Technologies, Chapter No: 16, Chapter DOI:10.1007/978-3-030-88304-1_16 (2021).
International Conference on Information and Software Technologies (ICIST) 2021
ICIST 2021, 2021 spalio 14-16, KTU, Kaunas
2. **R. Jurkus, P. Treigys, J. Venskus: Categorical Data Encoding Techniques for Recursive Multi-Step Prediction of Vessel Trajectory.** International Conference on Time Series and Forecasting (ITISE 2023), held in Gran Canaria, 12-14 July, 2023 (Spain).

Publikacijos (tik su citavimo rodikliu)

Bibliografinis aprašas

Būklė

1. **Jurkus, Robertas; Venskus, Julius; Treigys, Povilas. Application of coordinate systems for vessel trajectory prediction improvement using a recurrent neural networks** // Engineering applications of artificial intelligence. Oxford : Pergamon-Elsevier Science Ltd. ISSN 0952-1976. eISSN 1873-6769. 2023, vol. 123, part C, art. no. 106448, p. [1-10]. DOI: [10.1016/j.engappai.2023.106448](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106448)

**Vilniaus
universitetas**

Mokslinių tyrimų ir disertacijos rengimo etapai (1)

Darbo pavadinimas	Atlikimo terminai	Pastabos
<p>Mokslinių tyrimų disertacijos tema apžvalga ir analizė (Lietuvoje ir užsienyje):</p> <ol style="list-style-type: none"> Disertacijos darbo objekto konkretizavimas. Jūros eismo būsenos sąvokos formalizavimas. Jūros eismo būsenos duomenų tyrimas. Giliaisiais rekurentiniais tinklais paremtų architektūrų ir metodologijų nagrinėjimas. Atliktos apžvalgos apibendrinimas ir pateikimas disertacijos analitinės dalies aprašyme. 	<p>2020 m. spalio mėn. – 2021 m. rugsėjo mėn.</p>	<p>Šiame etape analizuoti giliai rekurentiniai neuroniniai tinklai ir atliktas tyrimas su skirtingomis jų architektūromis: fully-connected (simple) recurrent neural network, basic (vanilla), bidirectional, stacked Long Short-Term Memory network, autoencoder, ir gated recurrent unit, siekiant prognozuoti laivo judėjimo trajektoriją jūros eisme. Tyrimo eiga ir rezultatai aprašyti mokslinėje ataskaitoje, apimtis: 15 psl. Trajektorijos prognozės gerinimui atlikti nauji eksperimentai - trajektorijos judėjimo keitimas iš poliarinės koordinatės sistemos į: atstumą ir poslinkio kampą bei Dekarto sistemą (UTM). Rezultatai sisteminami ir rengiamas straipsnis. Paraleliai eksperimentams atliekama mokslinių tyrimų apžvalga Lietuvoje ir užsienyje.</p>
<p>Mokslinio tyrimo vykdymas:</p> <p>2.1. Tyrimo metodikos sudarymas:</p> <ol style="list-style-type: none"> Pagrindžiamas temos aktualumas, nurodoma darbo problema ir suformuluojamas tikslas. Atliekamas uždavinių pasirinkimas bei formulavimas sprendžiamai problemai spręsti. Taikomos metodologijos ar tyrimo metodo pateikimas ir aprašymas. 	<p>2021 m. spalio mėn. – 2021 m. gruodžio mėn.</p>	<p>Darbo aktualumas grindžiamas augančiu jūros eismo srautu (pagal IUMI ataskaitas) ir giliojo mašininio mokymo taikymo galimybėmis, atliekant jūros eismo vertinimą.</p> <p>Keliamas tikslas – laivo eigos prognozė.</p> <p>Sudarytos ir aprašytos 4 metodologijų strategijos eksperimentinėje dalyje, kurios leidžia nustatyti laivo padėties geolokaciją, išskiriant: AIS duomenų panaudojimą su geografinėmis koordinatėmis, delta išvestinių požymių augmentacija, polinės ir Dekarto sistemų taikymą, pastaroji išreiškta universaliaja skersine projekcija (UTM).</p> <p>Mokslinių tyrimų apžvalgos, teorinių ir praktinių žinių taikymas aprašomas mokslinėje publikacijoje, apimtis: 14 psl.</p>
<p>2.2. Teorinis tyrimas:</p> <ol style="list-style-type: none"> Mokslinės ir kitos informacijos analizė ir sisteminimas. Tyrimo metodologijos sudarymas. Erdvės ir laiko duomenų tyrybos metodų taikymas jūros eismo prognozavimui. Giliojo mašininio mokymo taikymas jūros eismo būsenos analizei. 	<p>2021 m. gruodžio mėn. – 2022 m. rugsėjo mėn.</p>	<p>Mokslinės literatūros analizė pateikta mokslinės analizės įvadinėje dalyje.</p> <p>Tyrimo metodologijų taikymas validuojamas Baltijos jūros regione – skirtingais metodais tiriant pozicionavimą erdvėje ir laike.</p> <p>Tyrimo eiga ir rezultatai aprašyti mokslinėje ataskaitoje, apimtis: 17 psl.</p> <p>Papildomai atlikti tyrimai: trajektorijos įvesties ir išvesties ilgio santykio nustatymas; kardinalaus celių didinimo ir sekų maišymo įtaka prognozės tikslumui.</p>

Mokslinių tyrimų ir disertacijos rengimo etapai (2)

	Darbo pavadinimas	Atlikimo terminai	Pastabos
2.	<p>2.3. Empirinis tyrimas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Eksperimentinės dalies aprašas. 2. Egzistuojančio metodo realizavimas kuriamo metodo palyginimui. 3. Metodų modifikacijos sukūrimas. 4. Sukurtų modifikacijų eksperimentinis tyrimas ir modifikacijų palyginimas su publikuotais egzistuojančiais metodais. 	2022 m. spalio mėn. – 2023 m. kovo mėn.	Empiriniame tyrime įvertinama skirtingų laivo tipų įtaką jo judėjimo trajektorijai prognozuoti, naudojant giliuosius rekurentinius neuroninius tinklus. Išbandomos kelios skirtingos kategorinių duomenų kodavimo technikos: etikečių (angl. ordinal), fiktyvus (angl. one-hot) ir įterptinis (angl. embedding). Šiame etape naudojami skirtingų laivo tipų duomenys. Papildomai atliekami tyrimai tinklo architektūros lygmenyje – bandant taikyti skirtingas praradimo (angl. loss) funkcijas: MSE, MAE, RMSE, MAPE. Šiomis temomis renkama/nagrinėjama mokslinė literatūra bei rengiami publikacijų straipsniai.
	<p>2.4. Gautų duomenų analizė, apibendrinimas, išvadų parengimas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Teorinio tyrimo apibendrinimas. 2. Empirinio tyrimo apibendrinimas. 3. Rezultatų apibendrinimas, išvadų parengimas. 	2023 m. kovo mėn. – 2023 m. rugsėjo mėn.	RNN tinklo modeliai pritaikomi skaičiuojant prognozių intervalus. Šiame etape bandoma įvertinti tikimybinę laivų susidūrimo riziką realiuose istoriniuose incidentuose. Iš teorinių/empirinių tyrimų bei gautų rezultatų yra rengiamas straipsnis. Kartu su kategorijų kodavimu turima papildomų 10 psl. medžiagos.
3.	<p>Atskirų daktaro disertacijos dalių (tyrimo metodikos, rezultatų, ginamų teiginių, išvadų, ir kt.) parengimas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tikslų, uždavinių, tyrimo metodikos, ginamųjų teiginių patikslinimas. 2. Analitinės disertacijos dalies parengimas. 3. Teorinės disertacijos dalies parengimas. 4. Eksperimentinės disertacijos dalies parengimas. 5. Bendrųjų išvadų suformulavimas. 	2023 m. spalio mėn. – 2024 m. kovo mėn.	
4.	Daktaro disertacijos parengimas ir svarstymas padalinyje	2024 m. balandžio mėn.	
5.	Daktaro disertacijos gynimas	2024 m. rugsėjo mėn.	

Bendruosius gebėjimus stiprinančios ir kitos mobilumo veiklos

MOKSLINĖS INFORMACIJOS IŠTEKLIAI, PAIEŠKA, IR ĮRANKIAI (0,1 ECTS)

MOKSLINIŲ REZULTATŲ PUBLIKAVIMAS PAGAL FORMALAUS VERTINIMO REIKALAVIMUS (0,1 ECTS)

LIETUVOS AKADEMINĖ ELEKTRONINĖ BIBLIOTEKA (eLABa): autoriaus sąsaja (0.15 ECTS)

MOKSLINIŲ TYRIMŲ DUOMENŲ VALDYMO DIRBTUVĖS (0.25 ECTS)

LaTeX (1,25 ECTS)

TRUSTWORTHY AI IN PRACTICE (5 val. 0,2 ECTS)

Doktorantų vasaros mokykla (2 ECTS)

AIDA: Trustworthy and ethical AI is currently one of the most discussed topics in relation to responsible development and use of AI systems.

VU daugiakryptė ir tarptautinė vasaros doktorantų mokykla: "Integrity and Visibility: Challenges for Early Career Researchers," 2023 m. birželio 19-22

**Vilniaus
universitetas**

Doktorantūros studijos

Studijų apimtis – ne mažiau nei 33 kreditai (ne mažiau kaip 3 dalykus), 3 kreditai už dalyvavimą bendruosius gebėjimus stiprinančiose veiklose.

Nuolatinės studijos: **30** / **30** ECTS

Studijų dalykai: **4** / **4**

Bendrieji gebėjimai: **3** / **4,05** ECTS



Mokslinio tyrimo rezultatai (paskutinio pusmečio)

- ❑ Publikuotas straipsnis, dalyvauta konferencijoje ir dokt. vasaros mokykloje;
- ❑ Jūros eismo vertinimas – prognozuojant laivo judėjimo trajektoriją;
- ❑ Buvo tęsiami tyrimai papildant duomenų imtį visais laivo tipais esančiais Baltijos jūros regione prie Bornholmo salos;
- ❑ Tyrimų tikslas – įvertinti skirtingų laivo tipų įtaką jo judėjimo trajektorijai prognozuoti, naudojant skirtingas kategorijų kodavimo technikas;
- ❑ Prognozės intervalų skaičiavimas;
- ❑ Anomalijų aptikimas realiuose istoriniuose susidūrimuose.



Dalykinė sritis

- Tarptautinė jūrų draudimo sąjunga (IUMI) skelbia, kad patiriami nuostoliai dėl įvykusių incidentų, kurių priežastys: prastai apmokyta įgula, įrangos gedimai, oro sąlygos, susidūrimai (~ 10 %)
- 2020 m. jūrų draudimo įmokos buvo 30,0 mlrd. USD t.y. 6,1 proc. daugiau nei 2019 m.
- Pagal 2021 m. verslo sritį kroviniai laivai(angl. cargo) ir toliau sudarė didžiausią dalį: 57,2 proc.
- Laivų tipų klasifikacija:
 - transportiniai;
 - žvejybos;
 - tarnybiniai-pagalbiniai;
 - techniniai.

Problematika

Prognozuojant laivo plaukimo eigą būtų galima įvertinti susidūrimo riziką ar pastebėti neįprastą eismą

Objektas

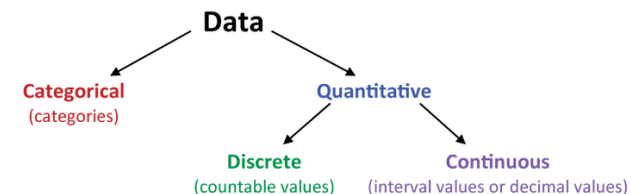
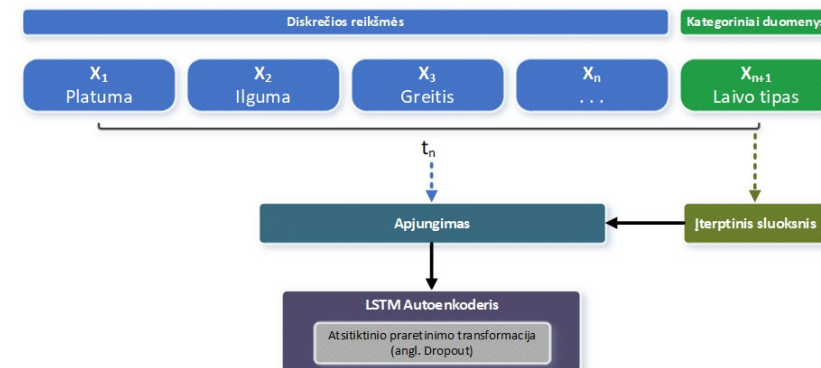
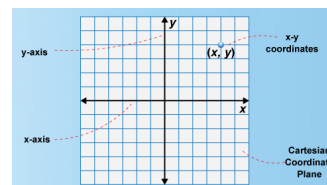
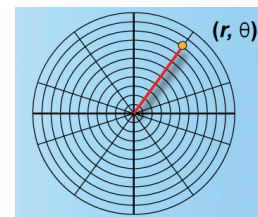
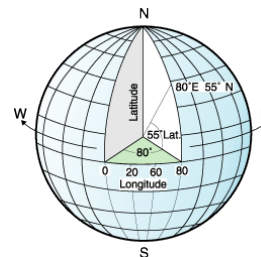
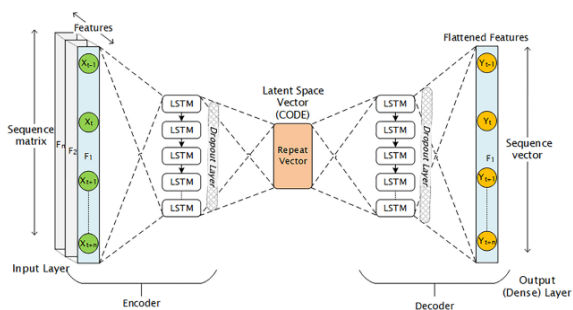
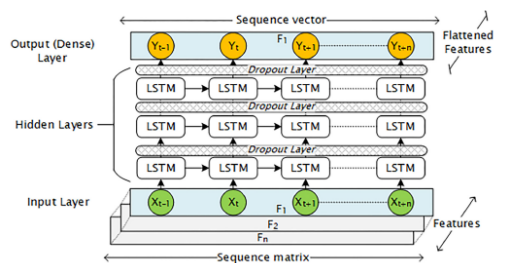
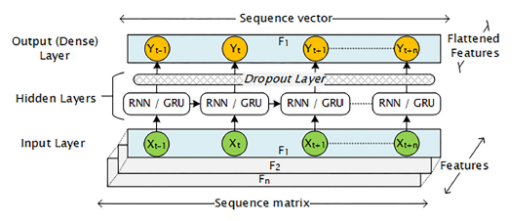
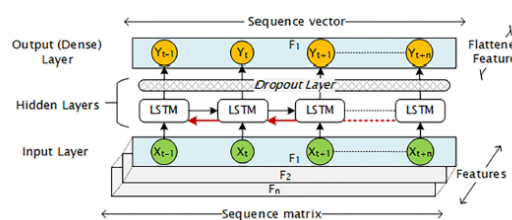
Jūros eismo duomenimis apmokyti gilieji rekurentiniai neuroniniai tinklai (regresinė DI užduotis)

Tikslas

Ištirti giliuosius rekurentinius neuroninius tinklus jūros eismo būsenos stebėsenai – laivo eigos prognozavimui

Tyrimų/Studijų eiga

- Tirtos skirtingos RNN tinklų architektūros; skirtingos koordinatių sistemos; skirtingai atliekamos prognozės (multi-step: single-shot, recursive); kategoriniai duomenys.



2020/2021
1 Kursas

2021/2022
2 Kursas

2022/2023
3 Kursas

2023/2024
4 Kursas

Vilniaus universitetas

AIS laivo tipų duomenys

- Duomenų šaltinis yra automatinė identifikavimo sistema (AIS).
- Pagrindinės laivo savybės:
 - geografinės koordinatės (platuma, ilguma);
 - greitis (matuojamas mazgais);
 - plaukimo kryptis;
 - laiko eilutės – skirtumas tarp dviejų laiko momentų trajektorijoje (sekundžių tikslumu);
 - platumos ir ilgumos išvestinės (rodančios laiko ir erdvės pokyčius);
 - **laivo tipas.**
- Tyrimai atlikti su 6 mėn. duomenimis (2021–06 iki 2021–12).



Tiriamasis regionas Baltijos jūroje prie Bornholmo salos

Laivų tipai duomenų imtyje

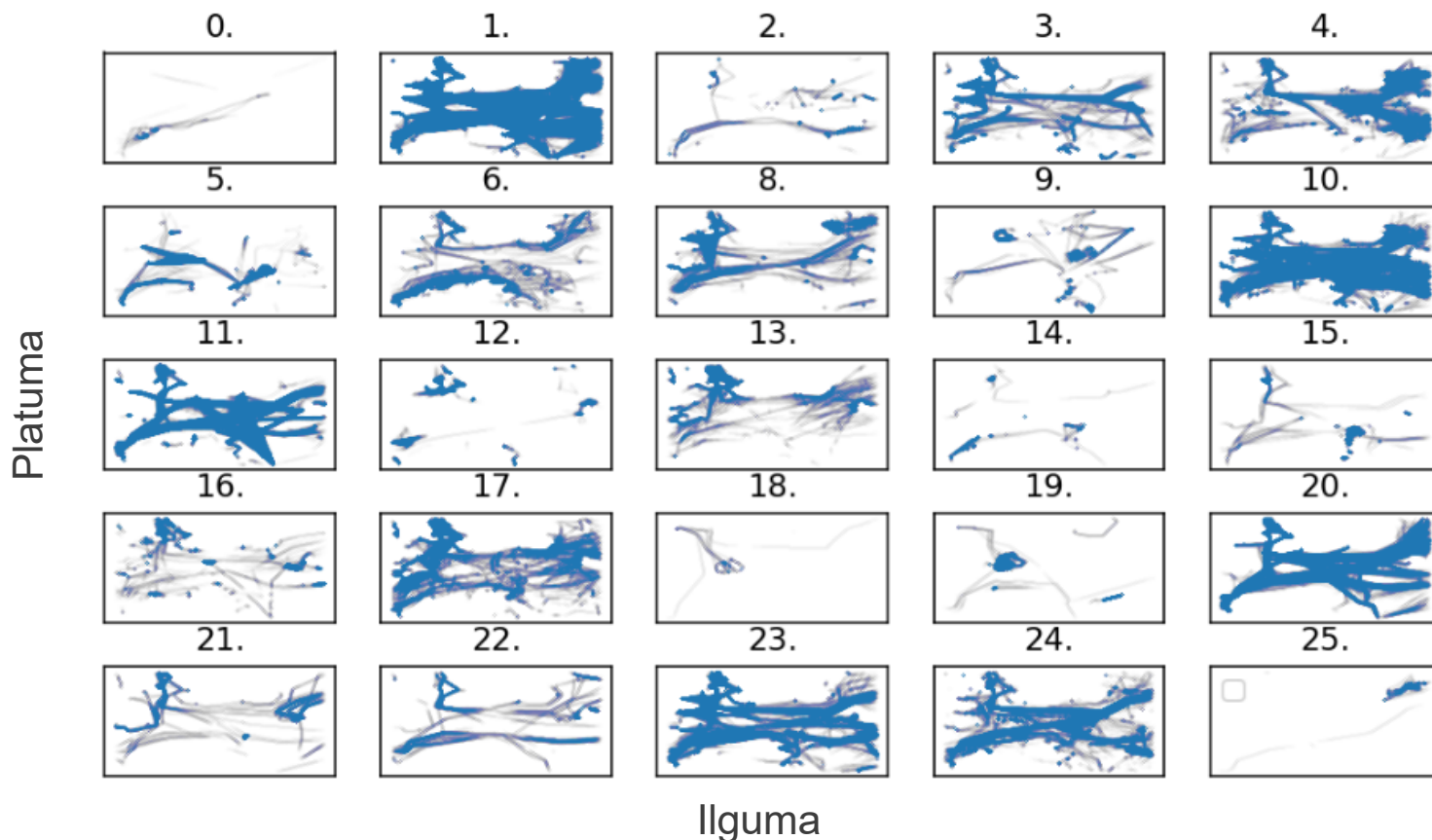
➤ Intensyviausias:

- 1. krovininiai;
- 10. kitų tipų laivai;
- 11. keleiviniai;
- 20. tanklaiviai.

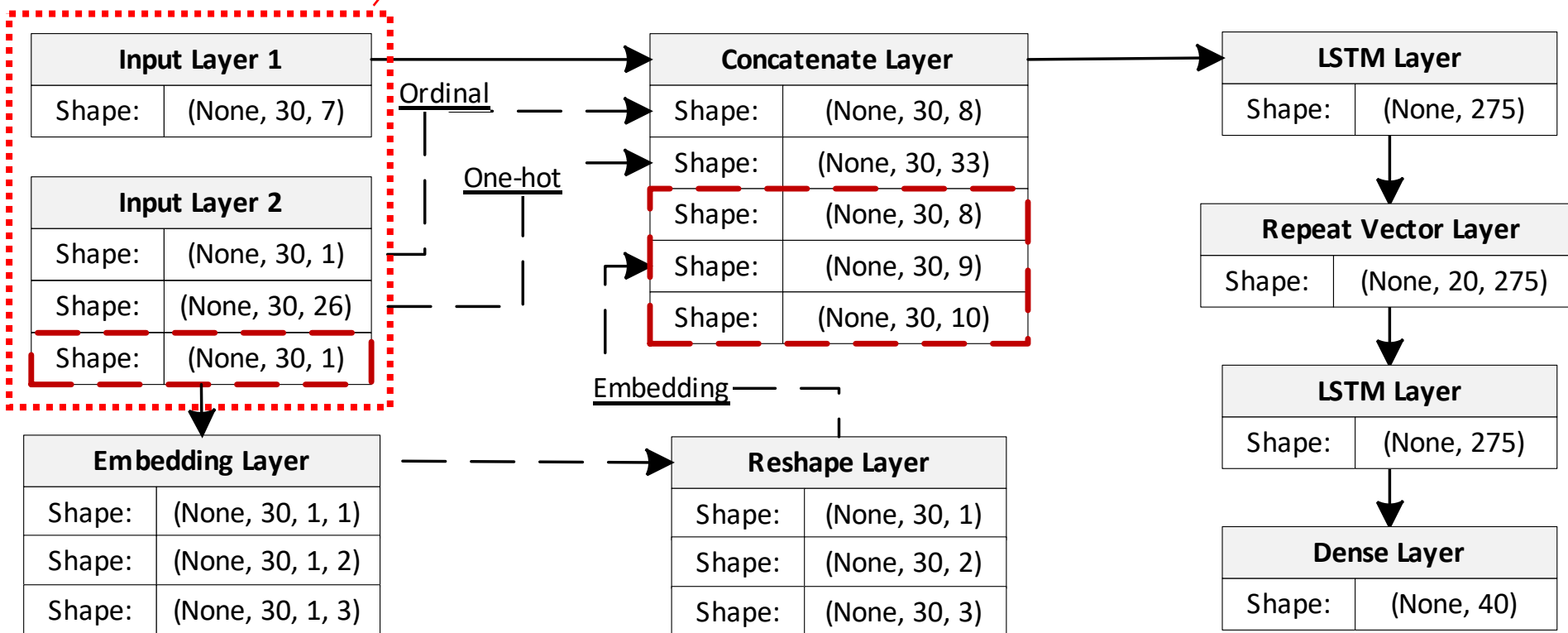
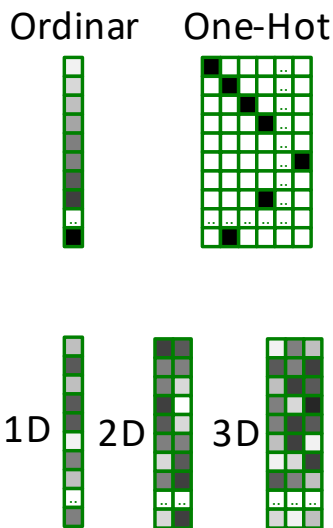
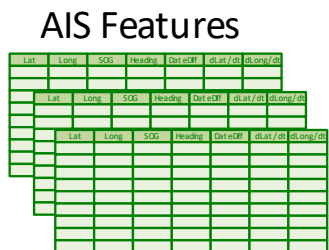
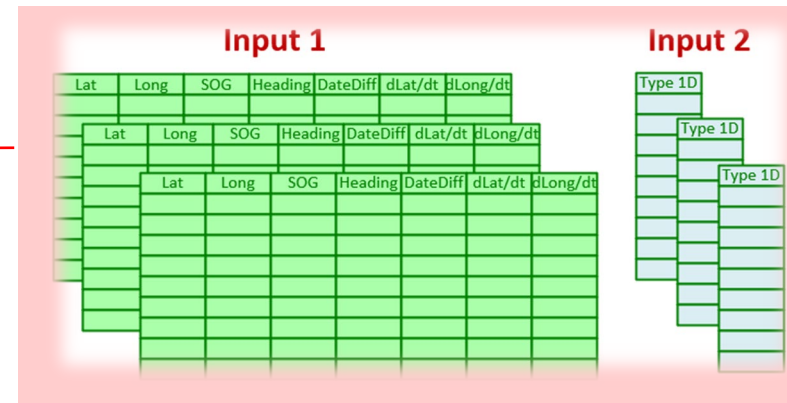
➤ Specifinis:

- 0. taršą valantys;
- 14. uosto priežiūros;
- 18. ir 19. atsarginiai;
- 25. ekranoplanai.

Eismo intensyvumas pagal laivo tipą



RNN architektūra ir skirtingi kategorinių duomenų kodavimo būdai

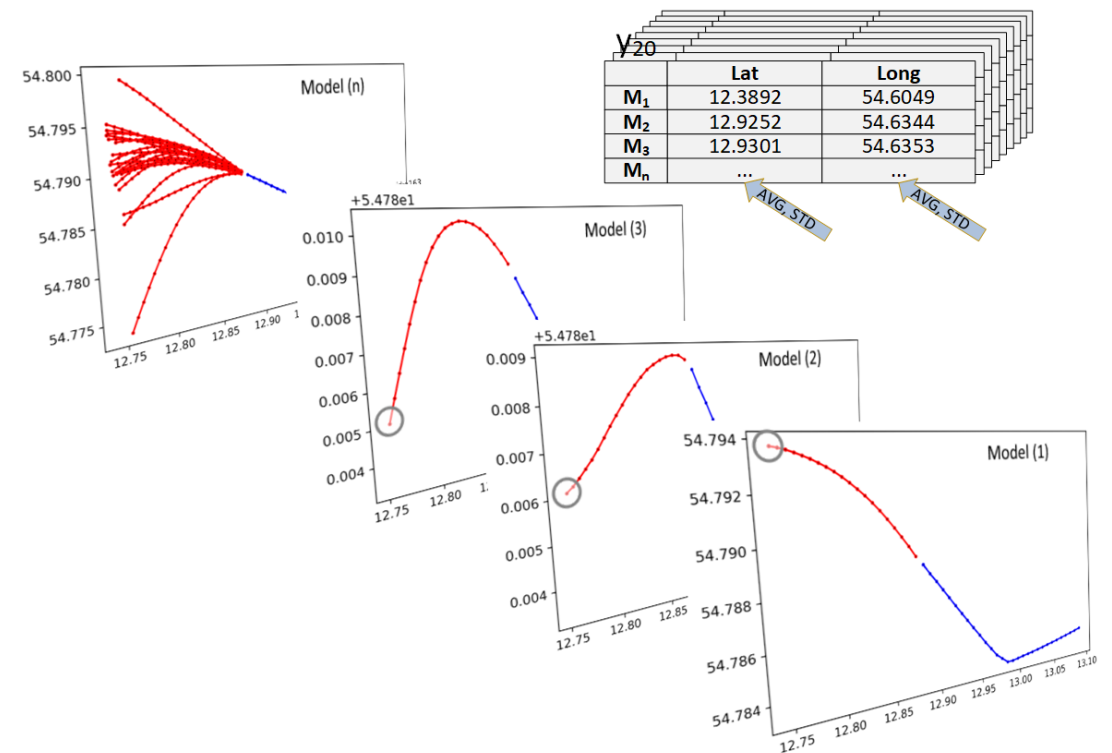


Prognozės intervalų skaičiavimas modeliuose

- **Pasiklivimo intervalai** parodo, kaip gerai nustatoma prognozė aplink vidurkį. Spėjant, kad 95 % šių intervalų apima tikrosios populiacijos vidurkio vertės.
- **Prognozavimo intervalai** nurodo, kur galima tikėtis pamatyti kitą imties duomenų tašką. Spėjant, kad kita reikšmė 95 % imčių bus tame prognozių intervale.

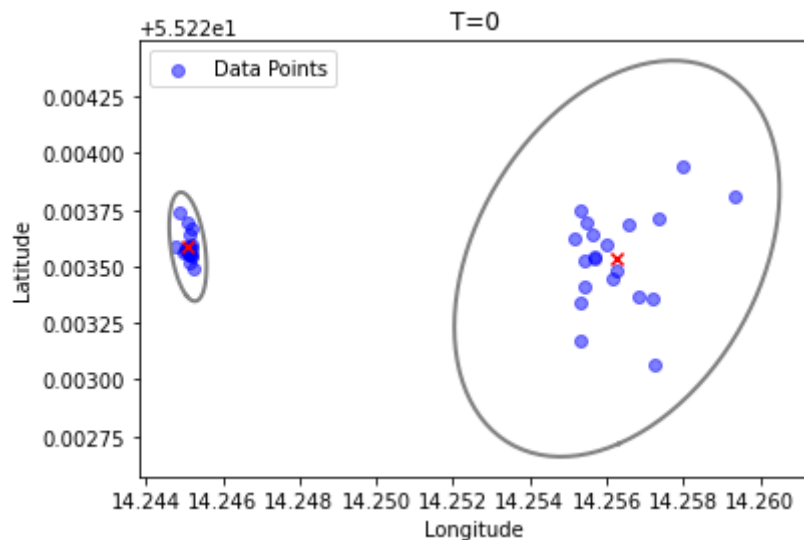
➤ Skaičiavimo eiga:

- Atliekama konkrečios trajektorijos prognozė skirtinguose modeliuose (n);
- Sudaroma matrica kiekvienoje (t) laiko eilutėje;
- Apskaičiuojami prognozių intervalai (elipsės) tam tikra procentine tikimybe;
- Randami elipsių persidengimai.



Anomalijų aptikimas realiuose susidūrimuose

- Incidentas 2023-12-13 Baltijos jūroje:
- Anomalijos aptikimas remiantis sukurto modelio prognozavimo intervalu, kurio patikimumas 95 %



Prognozės intervalas t=0 laiko momentu

Cargo ships collide in Baltic Sea

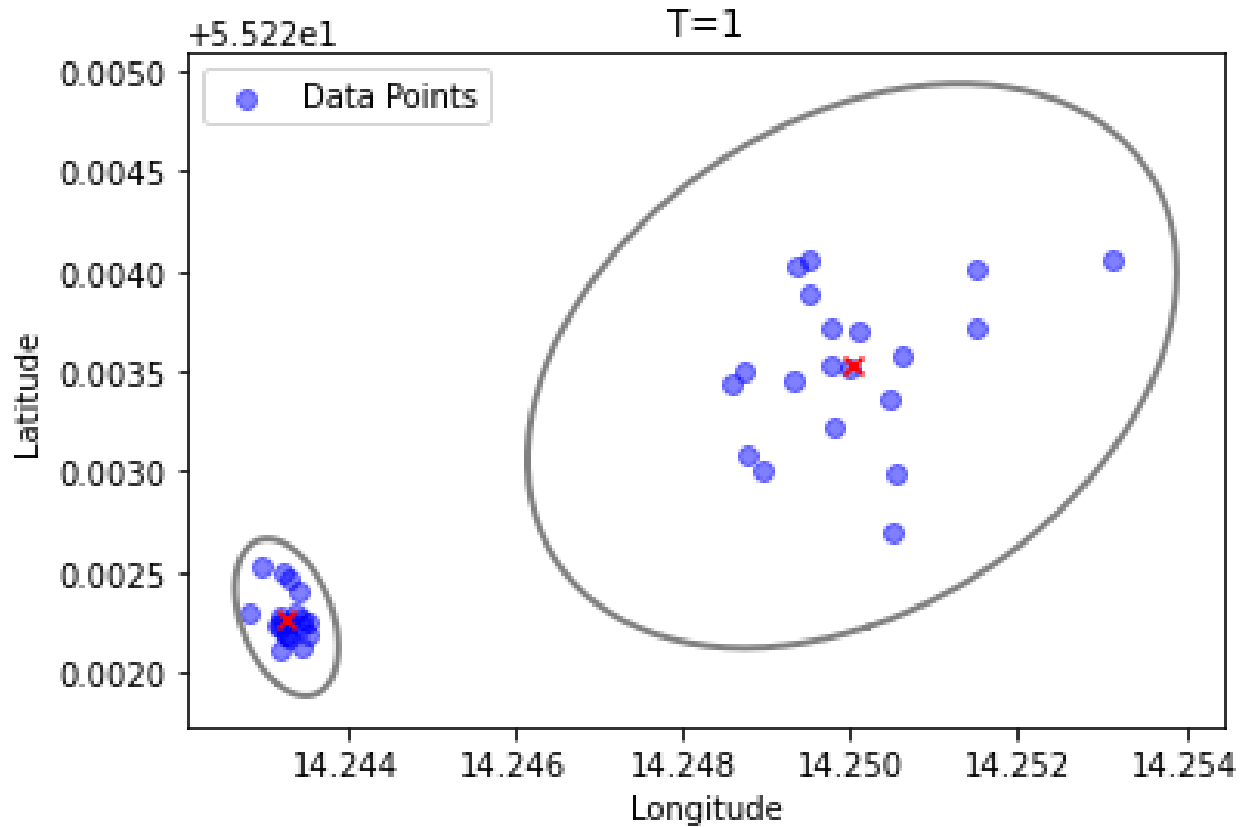
Two cargo ships collided on Monday during foggy conditions in the Baltic Sea between the Danish island of Bornholm and the southern Swedish city of Ystad, and a rescue operation was launched for two missing people, authorities said.



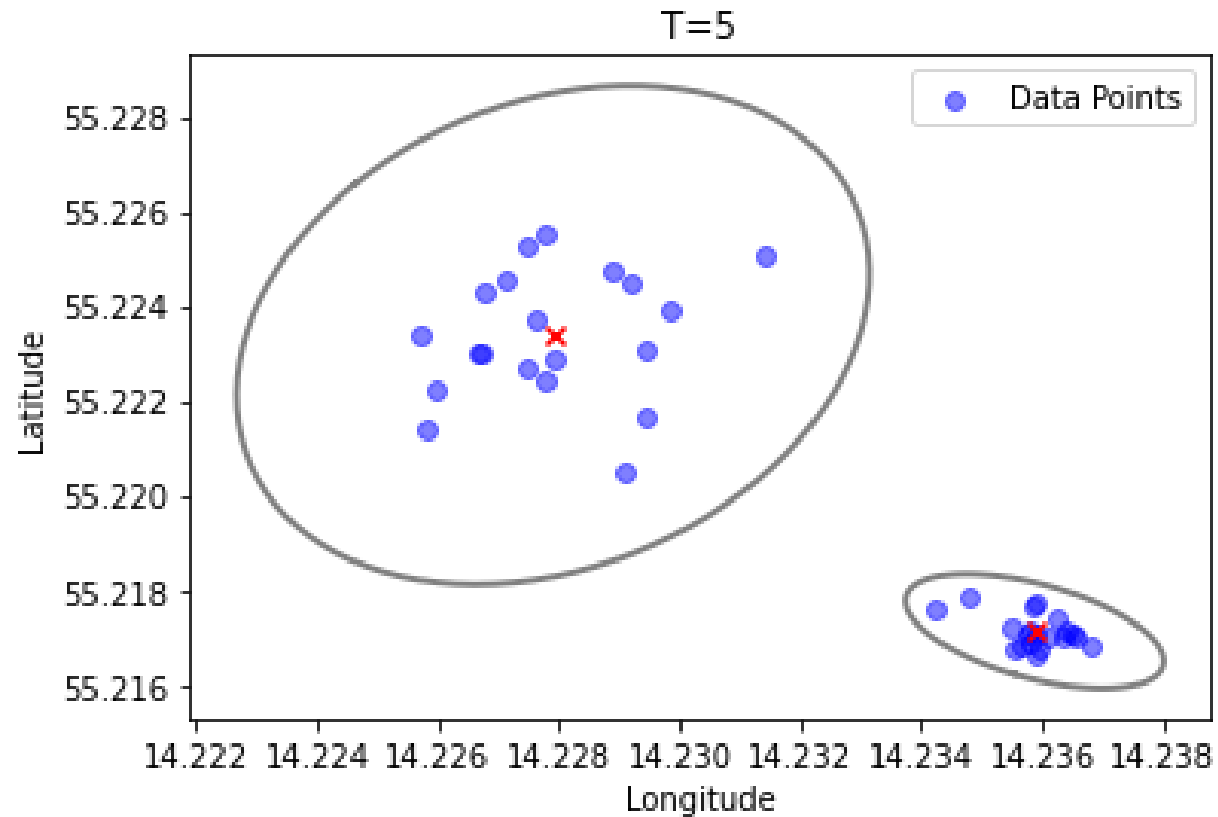
Source: Vessel Finder; Refinitiv Eikon; Reuters

**Vilniaus
universitetas**

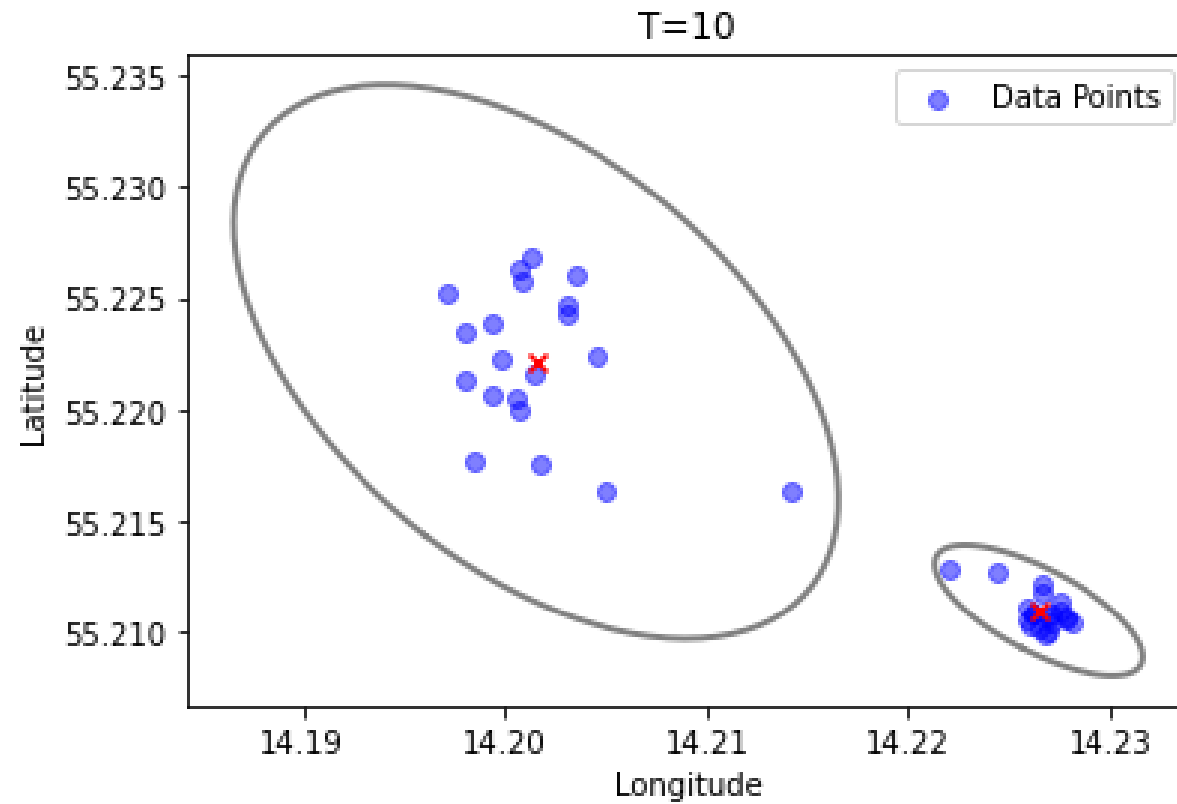
Trajektorijos prognozės intervalai (t=1)



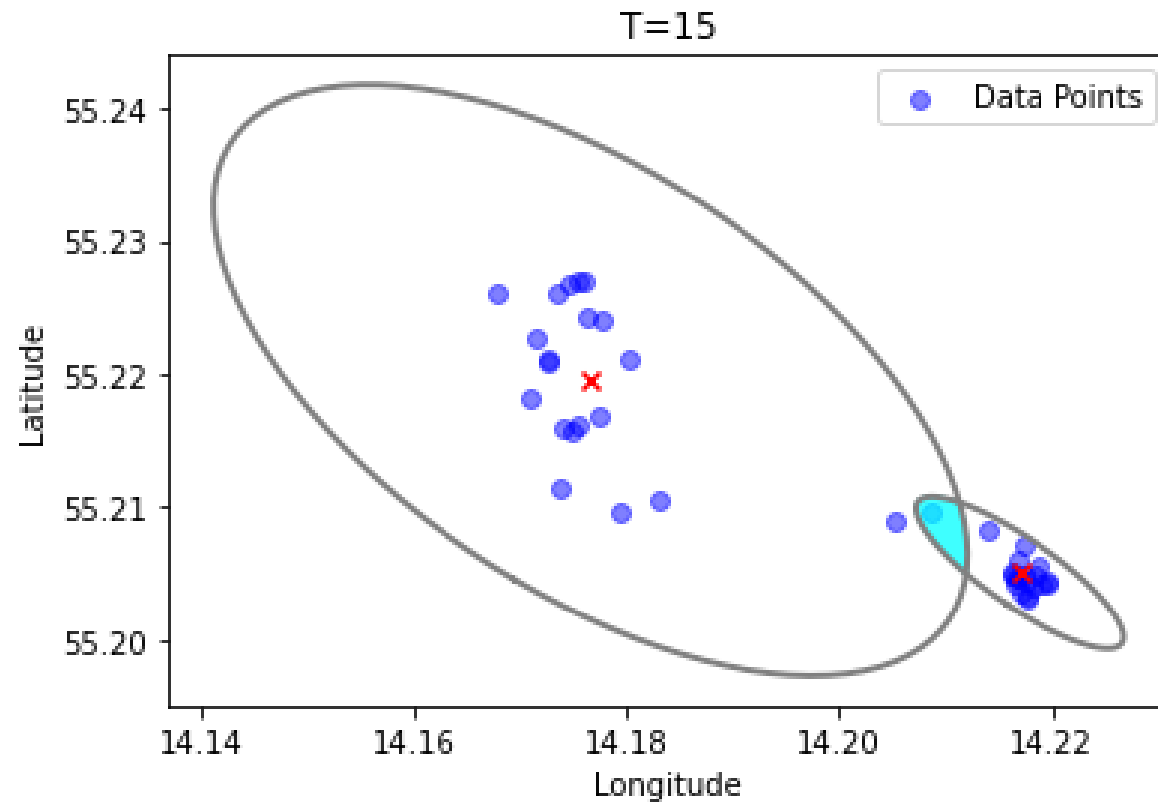
Trajektorijos prognozės intervalai (t=5)



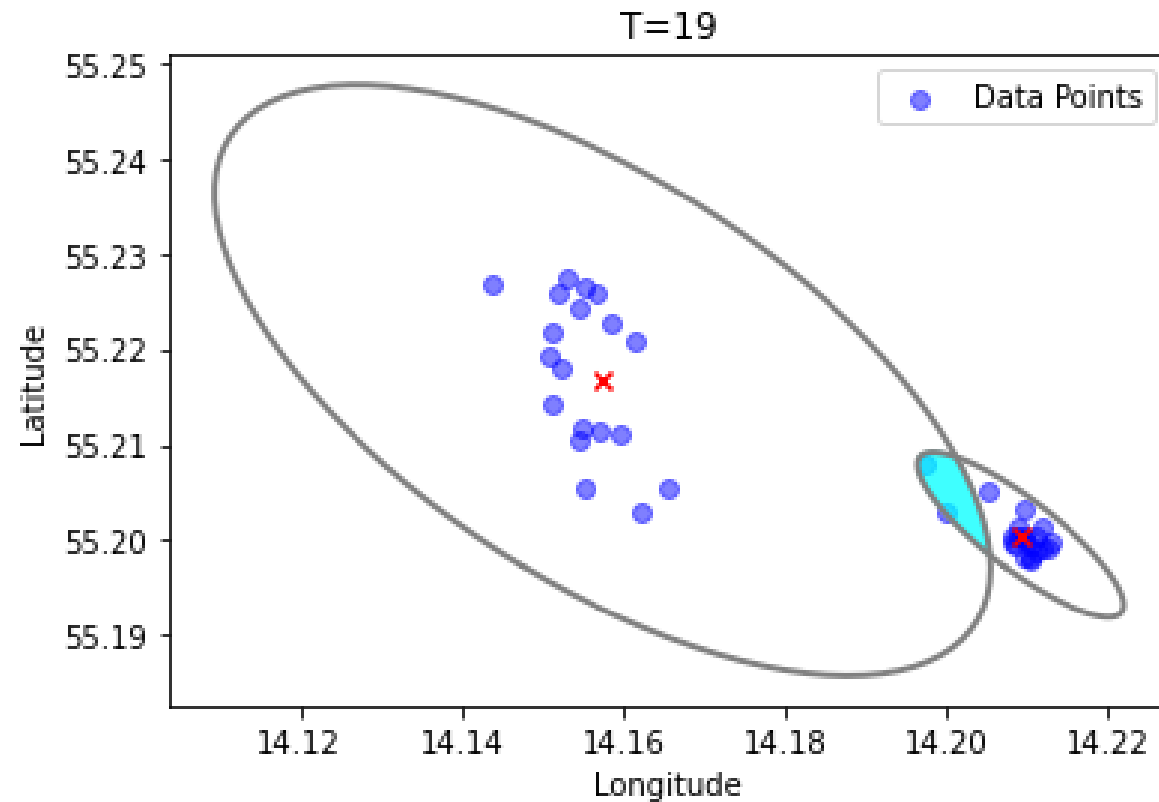
Trajektorijos prognozės intervalai (t=10)



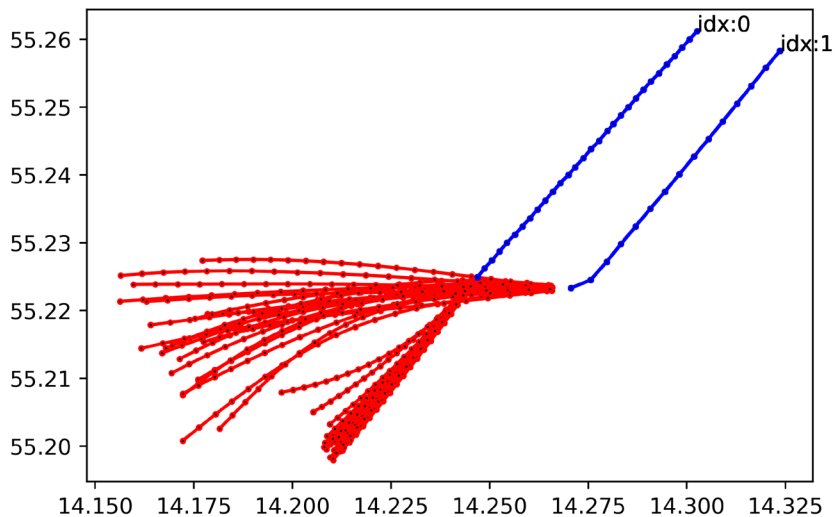
Trajektorijos prognozės intervalai (t=15)



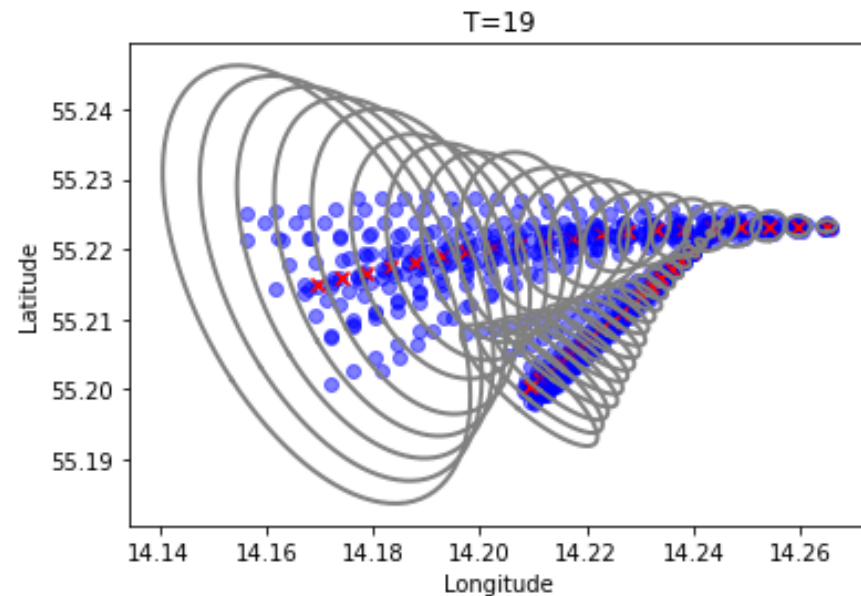
Trajektorijos prognozės intervalai (t=19)



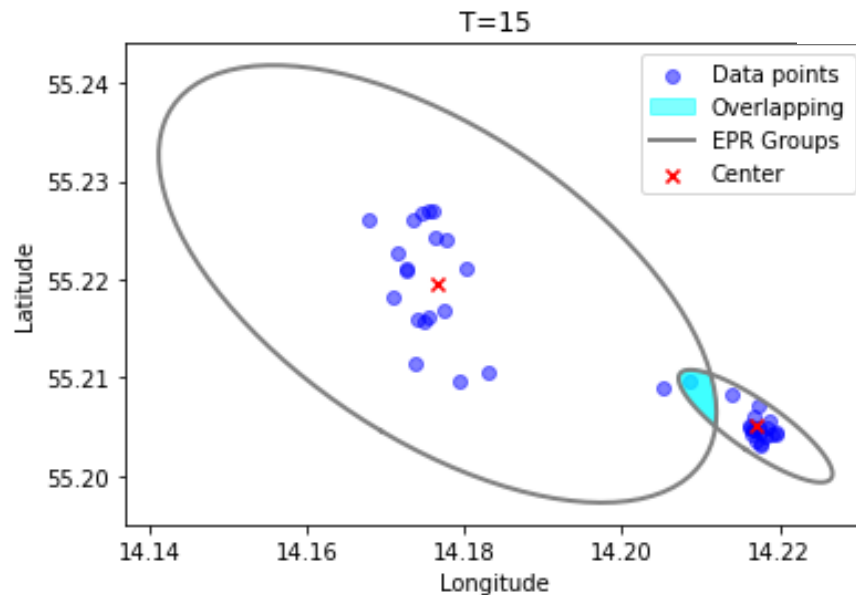
Prognozės intervalai



Modelių prognozė trajektorijoje



Prognozės intervalai T laiko momentu



Susidūrimo rizika T = 15

Mokslinio tyrimo planai

- ❑ Išplėsti ir publikuoti atrinktą ITISE 2023 konferencijos pranešimą kaip „book chapter“ į žurnalą: *Contribution to Statistics (Springer)*;
- ❑ Paskutinių tyrimų apie prognozių intervalus publikavimas leidinyje, turinčiame cituojamumo rodiklį;
- ❑ Tyrimų pristatymas kitų universitetų organizuojamuose renginiuose;
- ❑ Disertacijos šablono rengimas (2024-04).





Vilnius
universitetas

Ačiū už dėmesį.

Robertas Jurkus

Doktorantas

robertas.jurkus@mif.stud.vu.lt