



**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.  
IV – studijų metai (I pusmetis)

Doktorantas: Robertas Jurkus

Vadovas: prof. dr. Povilas Treigys

Vilnius, 2024



# 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 <sup>1</sup>	
	Planas	Įvykdyta
I (2020/2021)	2	2
II (2021/2022)	2	1
III (2022/2023)		1 (skola iš II metų)
<b>IV (2023/2024)</b>		
Iš viso:	4	4

<sup>1</sup> Nurodamas egzaminų skaičius.

# Bendra visų studijų plano vykdymo suvestinė (2)

Studijų metai	Dalyvavimas konferencijose				Publikacijos					
	Tarptautinėse <sup>2</sup>		Nacionalinėse <sup>3</sup>		Su citav. rodikliu <sup>4</sup>			Be citav. rodiklio <sup>5</sup>		
	Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta <sup>6</sup>	Būklė <sup>7</sup>	Planas	Įvykdyta <sup>6</sup>	Būklė <sup>7</sup>
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
<b>IV (2023/2024)</b>					<b>1</b>					
Iš viso:	2	2	2	2	2	1		2	2	

<sup>2</sup> Nurodomas tarptautinių mokslo renginių, kuriuose pristatyti disertacijos rezultatai, skaičius.

<sup>3</sup> Nurodomas nacionalinių mokslo renginių, kuriuose pristatyti disertacijos rezultatai, skaičius.

<sup>4</sup> 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.

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

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

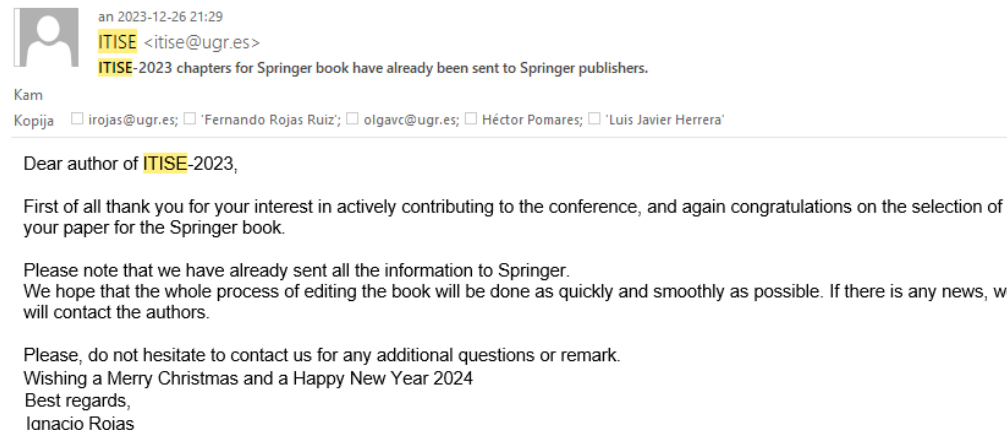
<sup>7</sup> Nurodoma publikacijos, pažymėtos stulpelyje „Įvykdyta“, būklė: „Publikuota“, „Priimta“, „Įteikta“, „Įteikta (gautos pirmos recenzijos)“.

# Ataskaitinis studijų pusmetis (IV: 2023/2024 – I pusmetis)

## Publikacijos 2023/2024 (I pusmetis)

Planas*	Įvykdyta	Būklė	Publikacijos tipas
Contributions to Statistics	Robertas Jurkus, Julius Venskus, Povilas Treigys. <b>Extended Research on Categorical Data Encoding Techniques for Recursive Multi-Step Prediction of Vessel Trajectory.</b>	Priimta	Theory and Applications of Time Series Analysis and Forecasting: Selected Contributions from ITISE 2023 -  A Springer book series (Electronic ISSN: 2628-8966)

\* Ši publikacija yra papildoma, nenumatyta studijų plane, kuri buvo išplėtota konferencijos temos pagrindu ir bus publikuota kaip Springer žurnalo straipsnis, patvirtinimas:



**Vilniaus  
universitetas**

# 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"> <li>Disertacijos darbo objekto konkretizavimas.</li> <li>Jūros eismo būsenos sąvokos formalizavimas.</li> <li>Jūros eismo būsenos duomenų tyrimas.</li> <li>Giliaisiais rekurentiniais tinklais paremtų architektūrų ir metodologijų nagrinėjimas.</li> <li>Atliktos apžvalgos apibendrinimas ir pateikimas disertacijos analitinės dalies aprašyme.</li> </ol>	<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"> <li>Pagrindžiamas temos aktualumas, nurodoma darbo problema ir suformuluojamas tikslas.</li> <li>Atliekamas uždavinių pasirinkimas bei formulavimas sprendžiamai problemai spręsti.</li> <li>Taikomos metodologijos ar tyrimo metodo pateikimas ir aprašymas.</li> </ol>	<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"> <li>Mokslinės ir kitos informacijos analizė ir sisteminimas.</li> <li>Tyrimo metodologijos sudarymas.</li> <li>Erdvės ir laiko duomenų tyrybos metodų taikymas jūros eismo prognozavimui.</li> <li>Giliojo mašininio mokymo taikymas jūros eismo būsenos analizei.</li> </ol>	<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.	2.3. Empirinis tyrimas: 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.
	2.4. Gautų duomenų analizė, apibendrinimas, išvadų parengimas: 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.	Atskirų daktaro disertacijos dalių (tyrimo metodikos, rezultatų, ginamų teiginių, išvadų, ir kt.) parengimas: 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.	Išplėtota ir pateikta galutinė ITISE publikacija Springer leidiniui, apimtis: 13 psl. Pusmečio metu atlikti papildomi tyrimai konstruojant ir lyginant prognozavimo tikimybinę sritį, taikant: prognozavimo ir pasiklivimo intervalus, elipsinius prognozavimo regionus ir konforminius prognozavimo intervalus. To pagrindu beveik paruošta sekanti publikacija, apimtis: virš 10 psl.
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)

# 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)

- Papildyta ir įteikta publikacija Springer žurnalui;
- Atlikti papildomi tyrimai konstruojant ir lyginant prognozavimo tikimybinės sritis, taikant: prognozavimo ir pasikliovimo intervalus, elipsinius prognozavimo regionus ir konforminius prognozavimo intervalus;
- Anomalijų aptikimas realiuose istoriniuose susidūrimuose.



## Įvadas ir Dalykinė sritis

- Jūrų eismo situacijos suvokimas yra esminis jūrų transporto saugos veiksnys.
- Šiuolaikiniai tyrimai visų pirma tiria: susidūrimo rizikas ir anomalijas.
- Tarptautinė jūrų draudimo sąjunga (IUMI) skelbia, kad patiriami nuostoliai dėl įvykusių incidentų, kurių priežastys:



PRASTAI APMOKYTA ĮGULA

ĮRANGOS GEDIMAI

ORO SĄLYGOS

SUSIDŪRIMAI (~ 10 %)

---

# Problematika

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

# Objektas

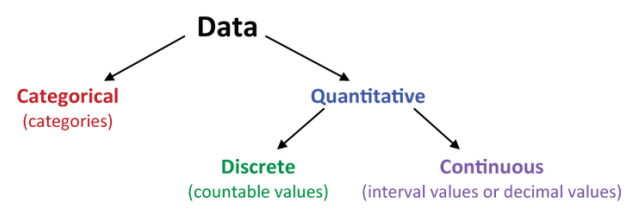
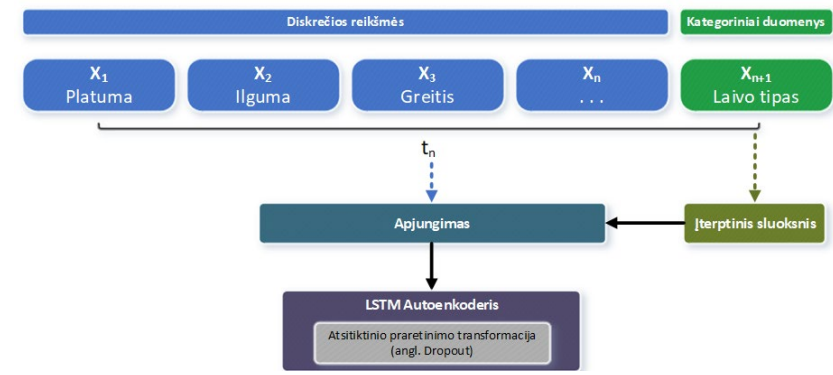
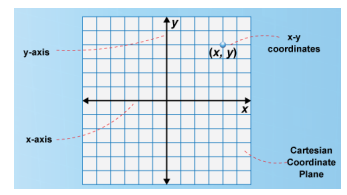
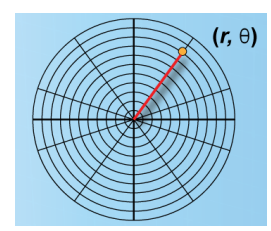
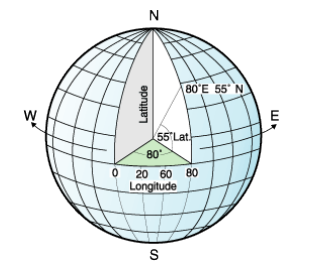
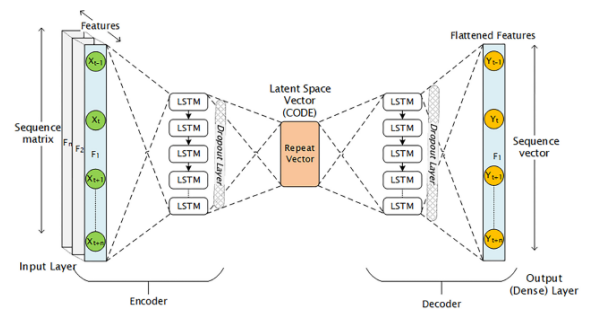
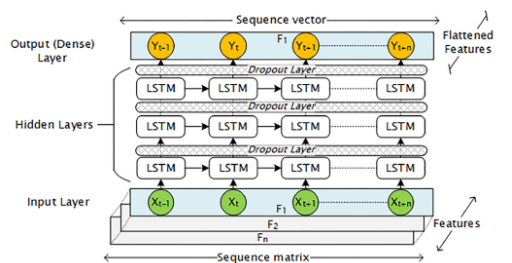
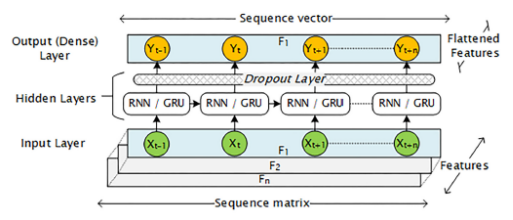
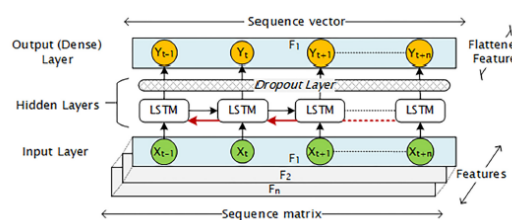
Jūros eismo duomenimis apmokyti gilieji rekurentiniai neuroniniai tinklai (regresinė DI užduotis)

# Tikslas

Pasiklivimo intervalais įvertinti laivų judėjimo trajektorijų prognozes, naudojant LSTM giliuosius rekurentinius neuroninius tinklus

# Tyrimų/Studijų eiga

- Tirtos skirtingos RNN tinklų architektūros; skirtingos koordinatinių sistemų; kategoriniai duomenys, prognozavimo tikimybinės sritys.



2020/2021  
1 Kursas



2021/2022  
2 Kursas



2022/2023  
3 Kursas



2023/2024  
4 Kursas

Vilniaus universitetas

# AIS laivo tipų duomenys

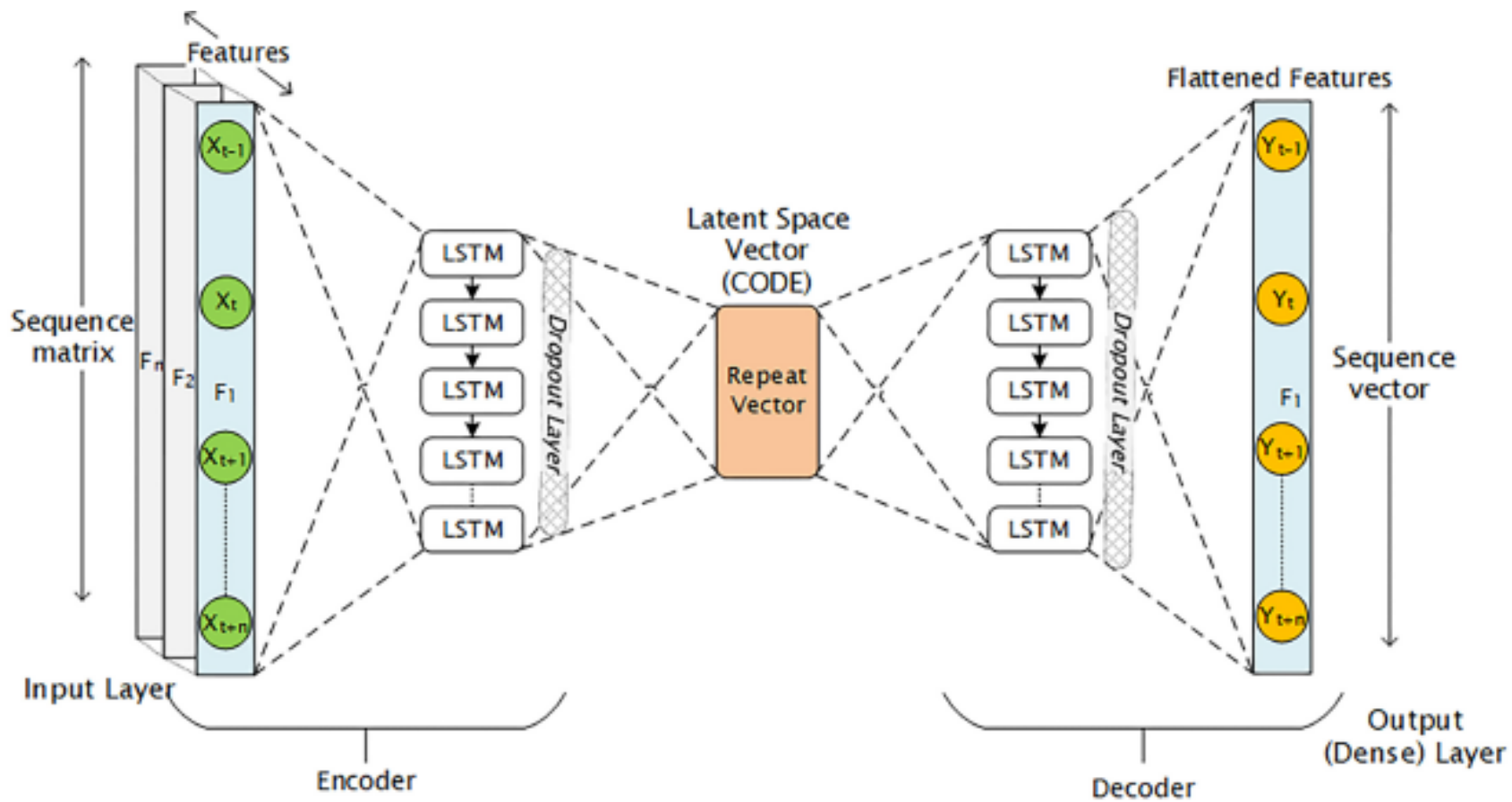
- Duomenų šaltinis yra automatinė identifikavimo sistema (AIS).
- Pagrindinės laivo savybės:
  - geografinės koordinatės (platuma, ilguma);
  - greitis (matuojamas mazgais);
  - plaukimo kryptis;
  - laiko eilutės – skirtumas tarp dviejų laiko momentų trajektorijoje (sekundžių tikslumu);
  - platumos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



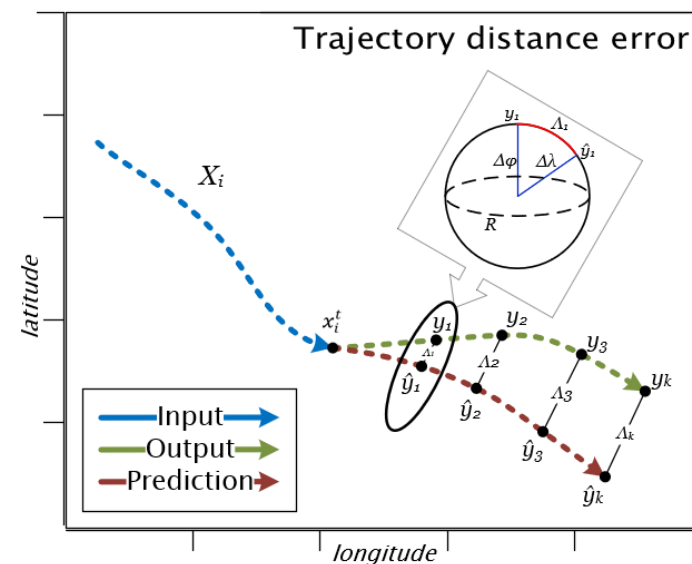
Tiriamasis regionas Baltijos jūroje prie Bornholmo salos

# LSTM Rekurentinio neuroninio tinklo architektūra

- Tinklo įvestis: laivo charakteristikos požymiai, išvestis: koordinatės.



LSTM Autoenkoderis

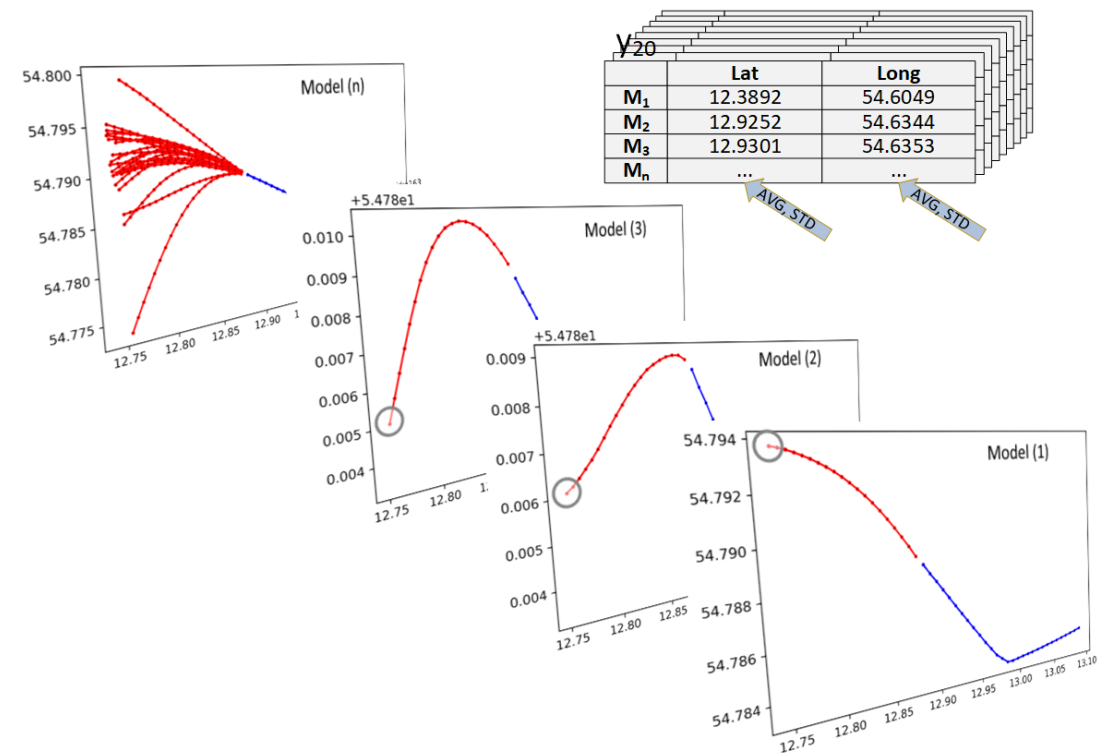




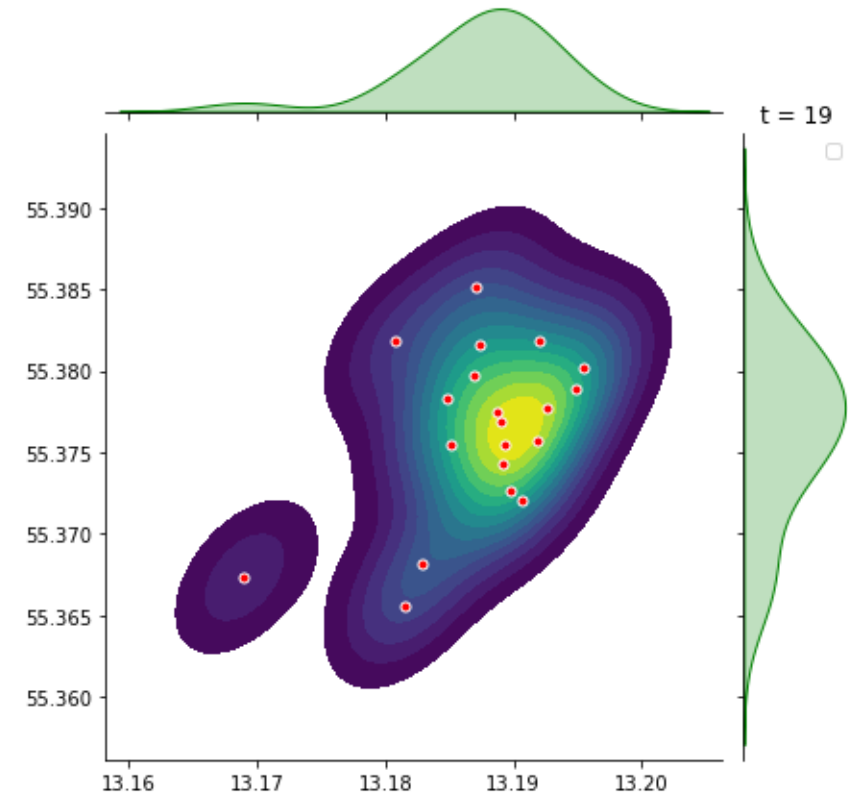
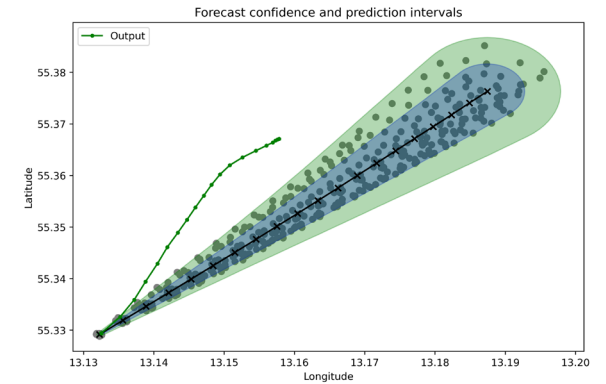
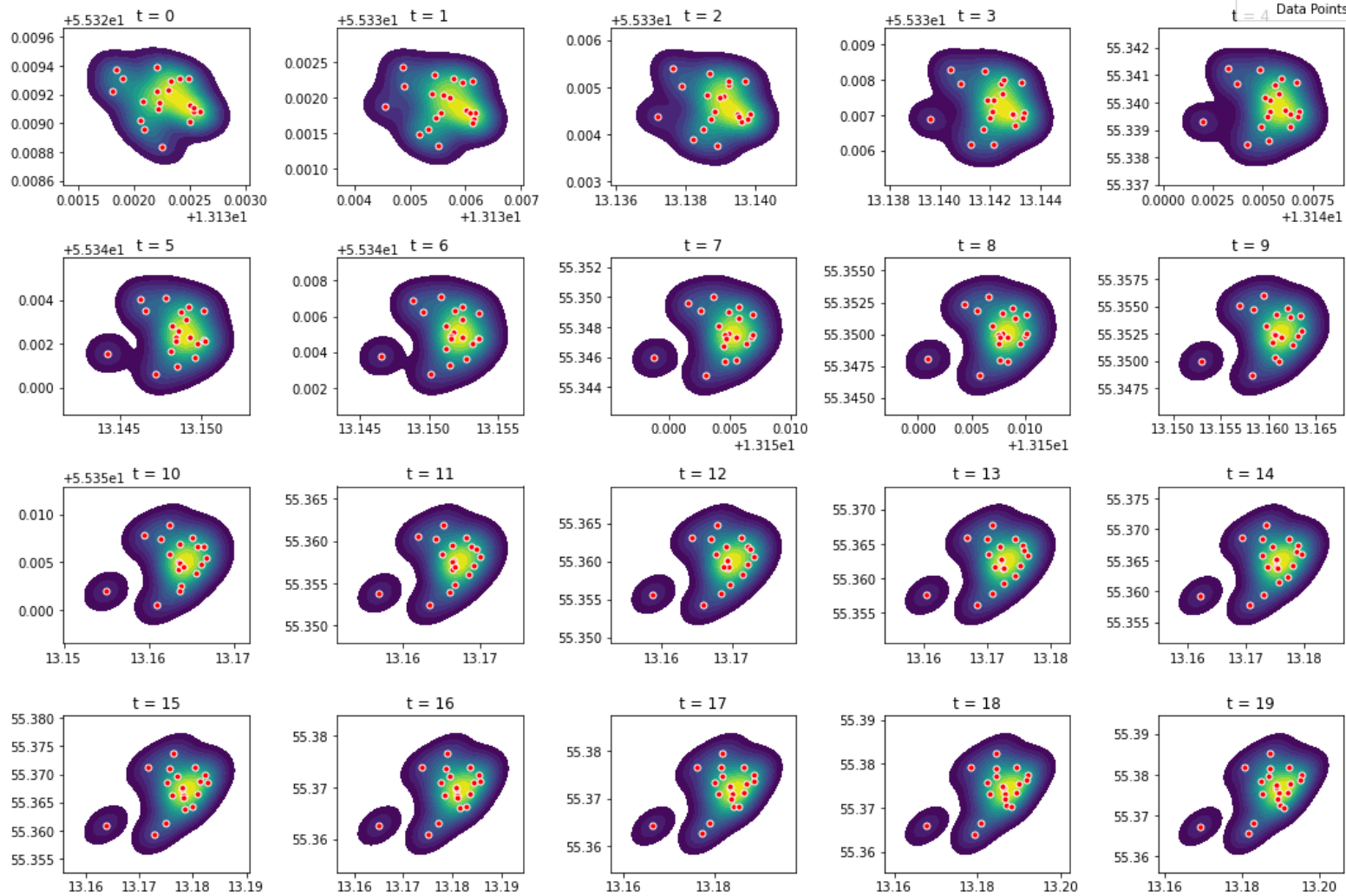
# Prognozės intervalų skaičiavimas modeliuose

➤ Nagrinėti metodai (taikant pasiklivimo lygį su 95%):

Pavadinimas	Metodas	Tipas
Ellipsoidal Prediction Region	<b>Geometrinis</b> - by considering the variance and spatial distribution of predicted trajectory points	Parametrinis
Prediction interval	<b>Statistinis</b> - rely on assumptions about the data distribution (e.g., normality)	Parametrinis
Confidence interval	<b>Statistinis</b> - rely on assumptions about the data distribution (e.g., normality)	Parametrinis
Conformal prediction region	<b>Statistinis</b> - more empirical, constructed from the past data without strong parametric assumptions	Ne parametrinis

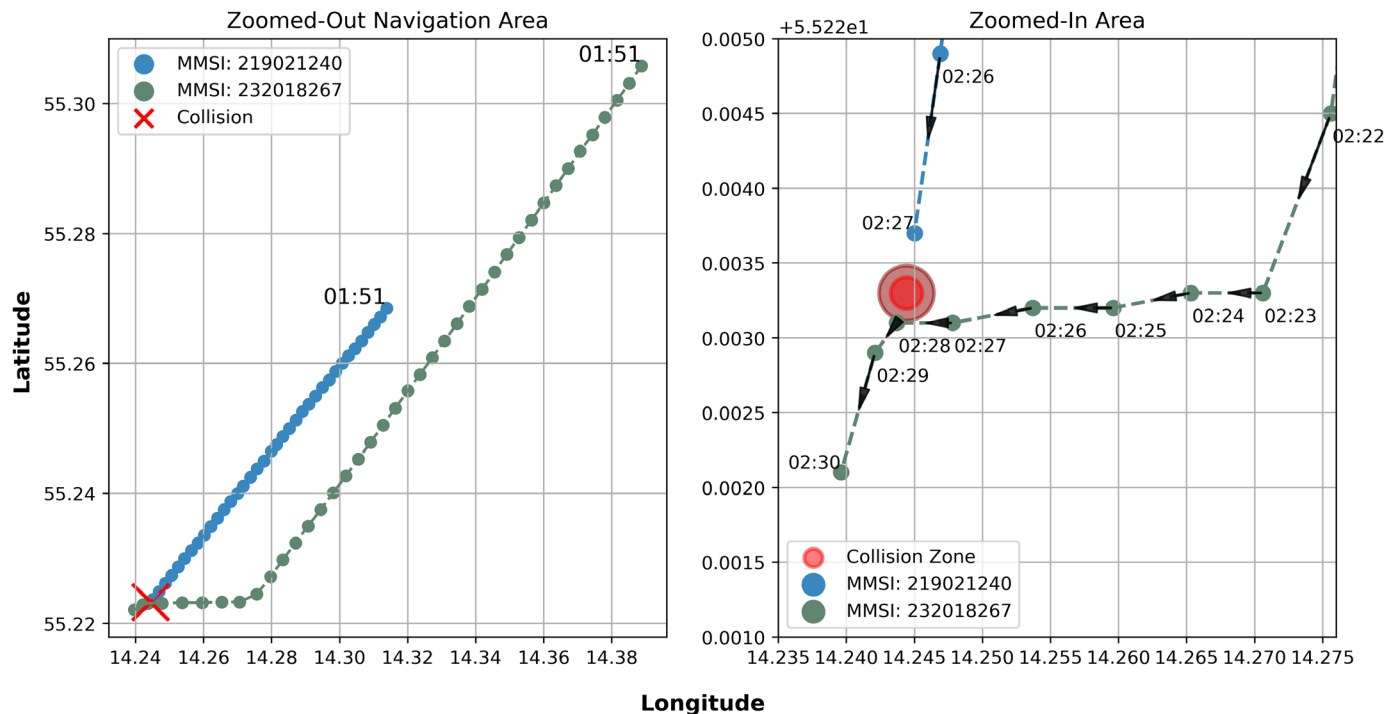


# Koordinačių pasiskirstymas sekoje



# Anomalijų aptikimas realiuose susidūrimuose

## ➤ Incidentas 2023-12-13 Baltijos jūroje:



## Cargo ships collide in Baltic Sea

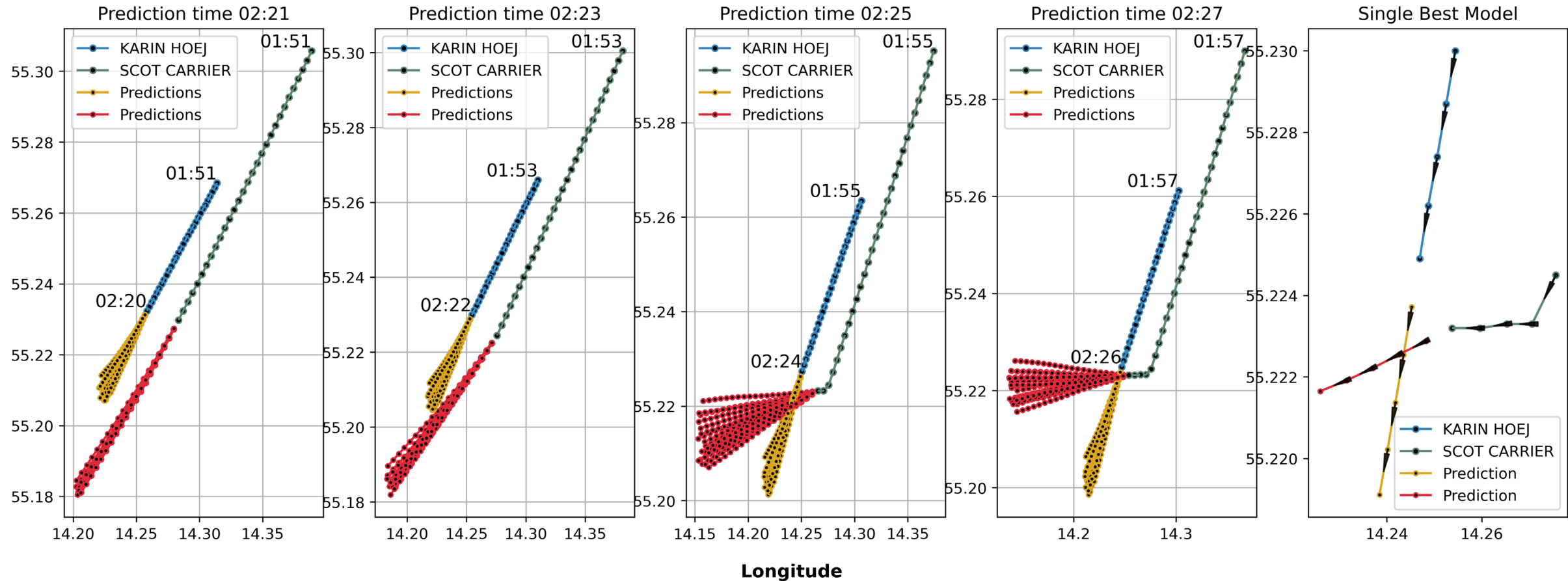
Two cargo ships collided on Monday during foggy conditions in the Baltic Sea between the Danish island of Bornholm and the southern Swedish city of Ystad, and a rescue operation was launched for two missing people, authorities said.



Source: Vessel Finder; Refinitiv Eikon; Reuters

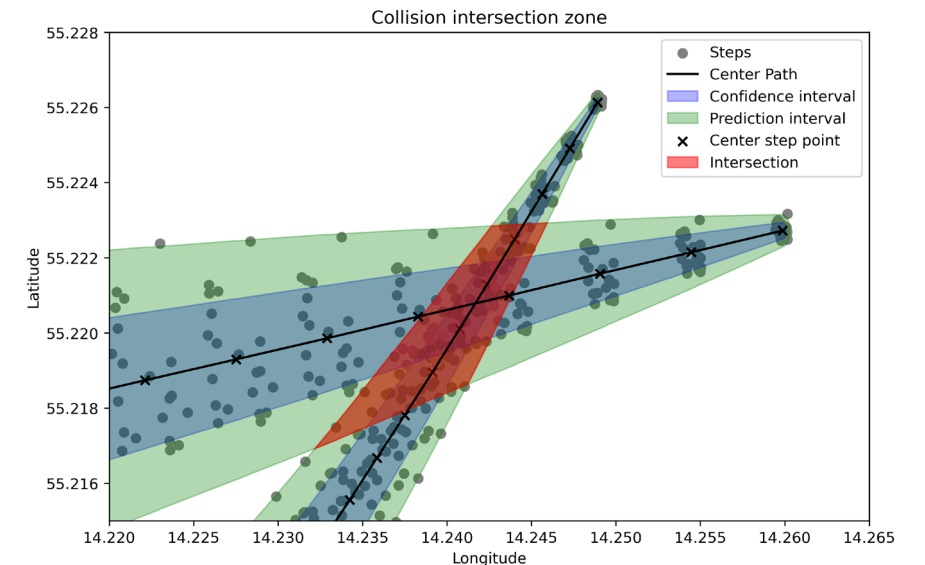
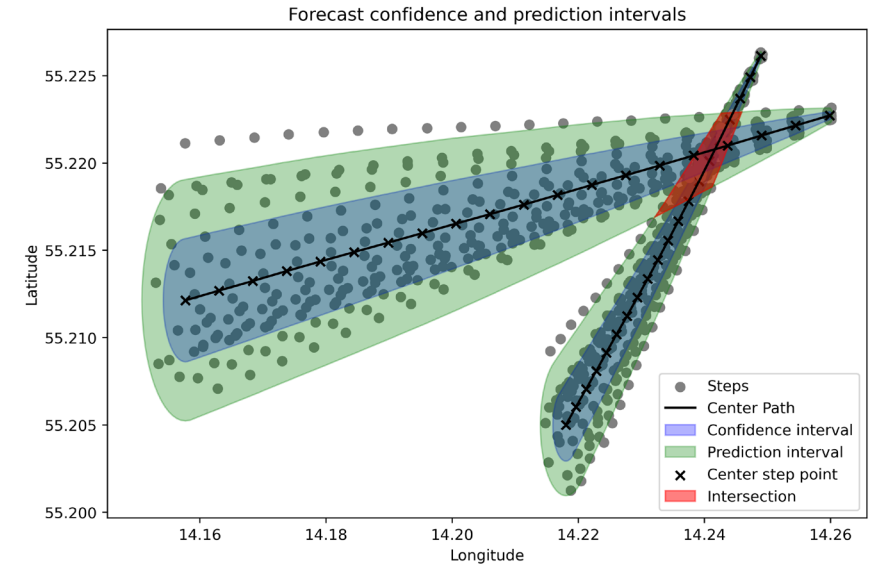
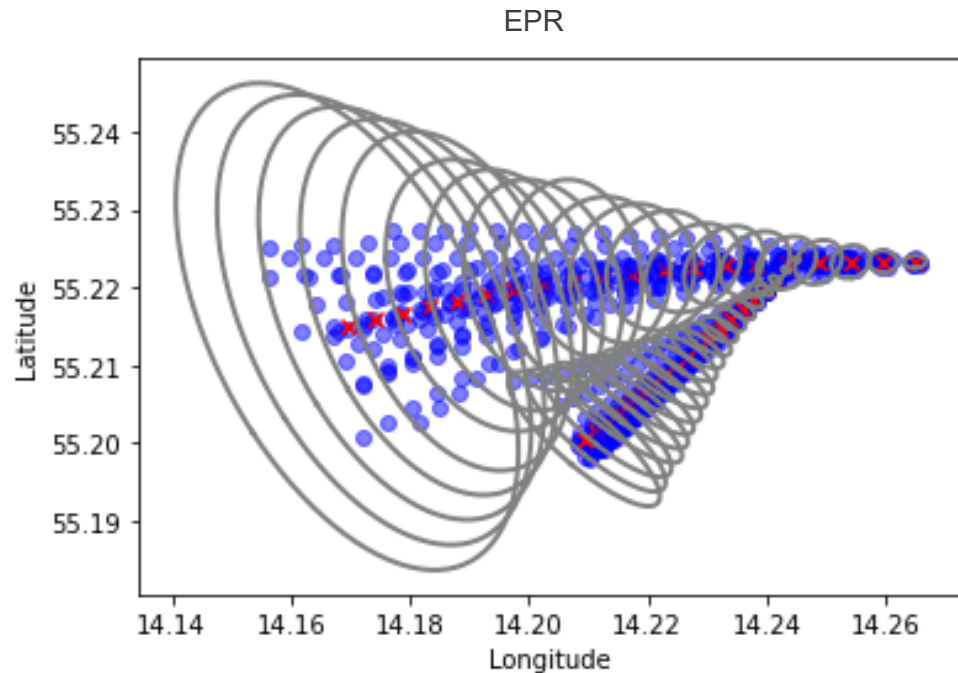
# Anomalių aptikimas realiuose susidūrimuose

➤ Modelių prognozės skirtingu laiko momentu:



# Anomalijų aptikimas realiuose susidūrimuose

- Elipsinių regionų ir prognozavimo bei pasiklovimo intervalų palyginimas:

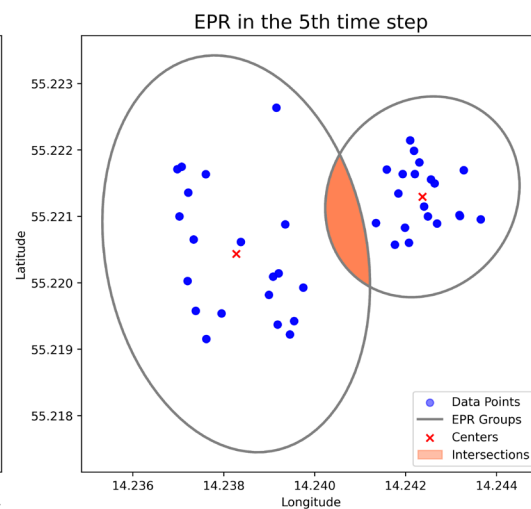
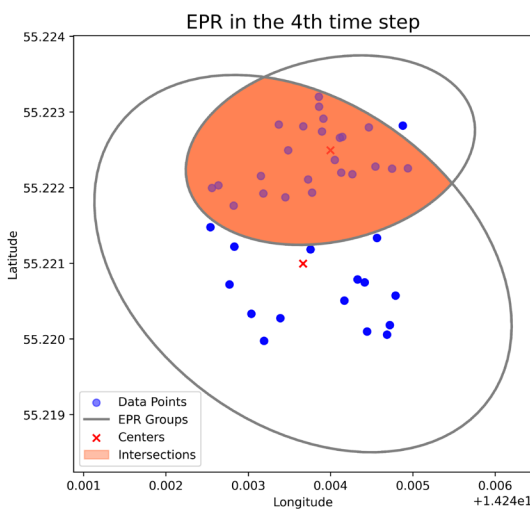
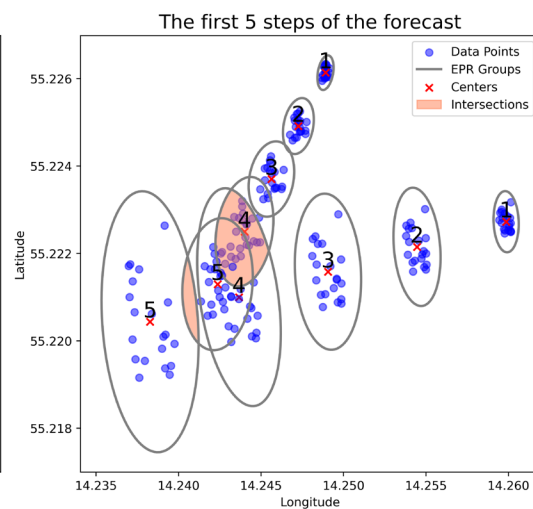
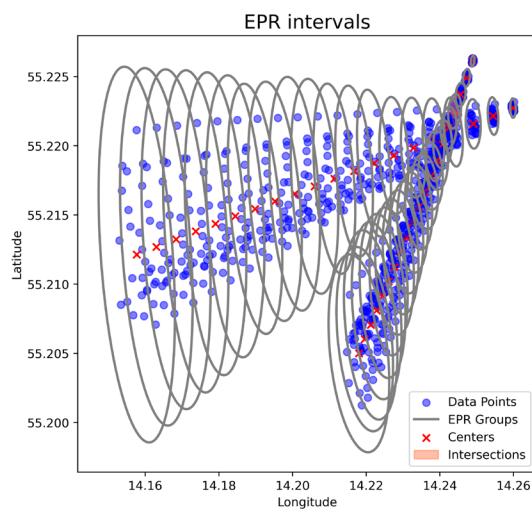


# Tikimybinis vertinimas

➤ EPR atveju:

$$P(\text{laivų trajektorijos susikirs}) = \frac{V_{A \cap B}}{V_A + V_B - V_{A \cap B}},$$

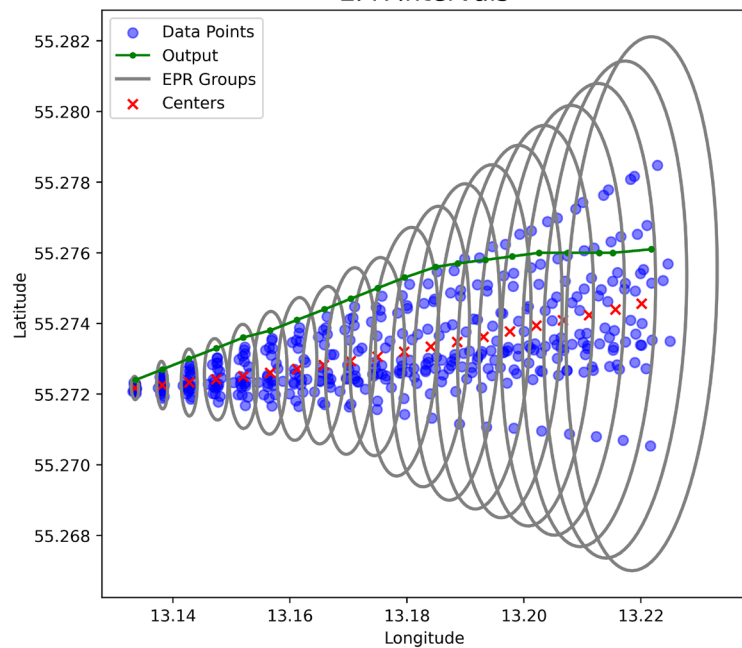
Čia  $V_A$  ir  $V_B$  yra dviejų elipsių plotai, o  $V_{A \cap B}$  yra jų susikirtimo plotas.



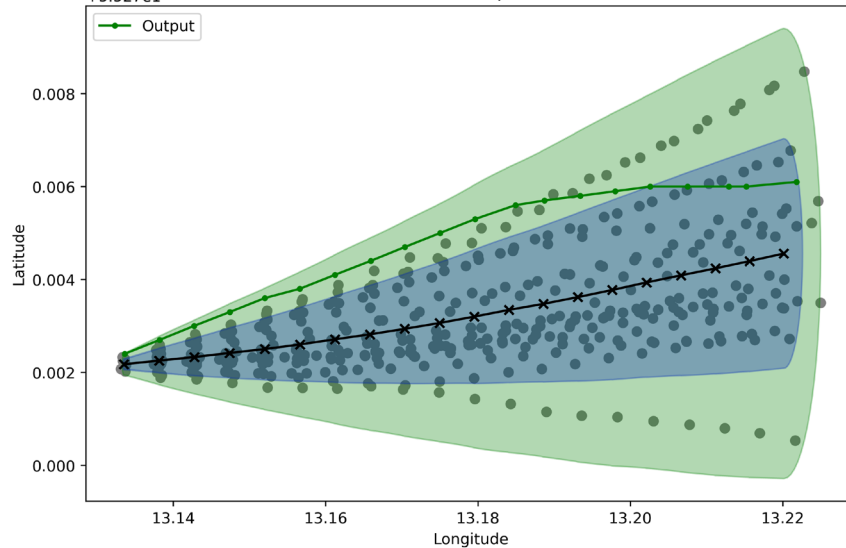
Time Step	EPR Area A, m <sup>2</sup>	EPR Area B, m <sup>2</sup>	Intersection Area, m <sup>2</sup>	intersection_probability (%)
1	11 425.5	32 978.4	0.0	0.00%
2	35 960.2	117 517.0	0.0	0.00%
3	72 216.4	220 926.0	0.0	0.00%
4	132 867.0	368 967.0	96 986.7	23.96%
5	198 320.0	536 512.0	22 066.5	3.10%
6	274 578.0	762 444.0	0.0	0.00%

# Intervalų palyginimas toje pačioje sekoje

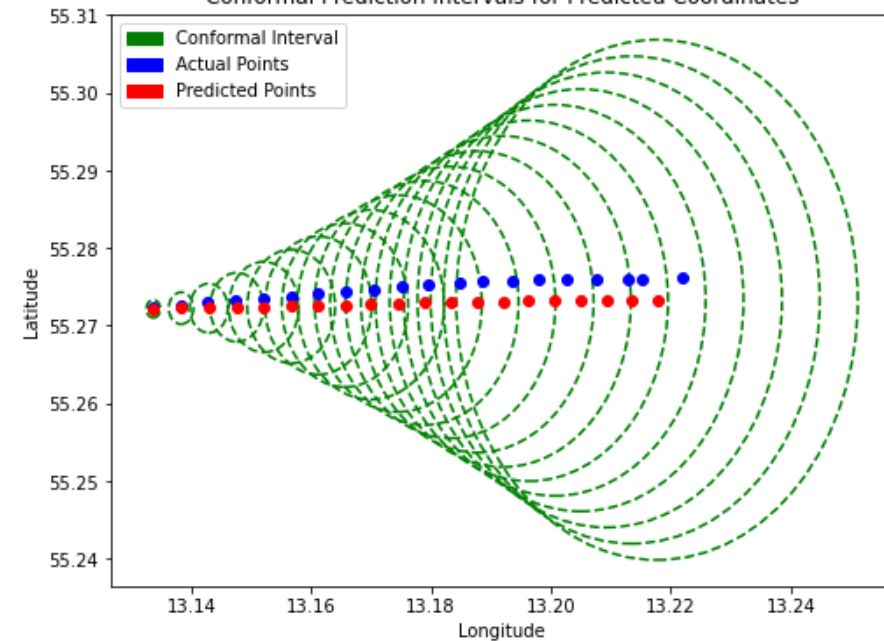
EPR intervals



+5.527e1 Forecast confidence and prediction intervals



Conformal Prediction Intervals for Predicted Coordinates



# Mokslinio tyrimo planai

- ❑ Paskutinių tyrimų apie prognozių intervalus publikavimas leidinyje, turinčiame cituojamumo rodiklį;
- ❑ 2024 m. II pusmetis: tyrimų pristatymas bent 2-juose kitų universitetų organizuojamuose renginiuose;
- ❑ Disertacijos šablono rengimas (2024-04).







Vilnius  
universitetas

---

# Ačiū už dėmesį.

Robertas Jurkus

Doktorantas

[robertas.jurkus@mif.stud.vu.lt](mailto:robertas.jurkus@mif.stud.vu.lt)