



**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.  
II – studijų metai

Doktorantas: Robertas Jurkus

Vadovas: dr. Povilas Treigys

Vilnius, 2022



# TURINYS

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

# Bendra visų studijų plano vykdymo suvestinė

Studijų metai	Egzaminai <sup>1</sup>		Dalyvavimas konferencijose <sup>2</sup>		Publikacijos <sup>3</sup>		
	Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta	Būklė <sup>4</sup>
I (2020/2021)	2	2	1	1	1	1	Publikuota
<b>II (2021/2022)</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>1</b>		<b>Įteikta</b>
III (2022/2023)			2		1		
IV (2023/2024)			2		1		
Iš viso:	4	3	5	1	4	1	

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

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

<sup>3</sup> Nurodomas publikacijų, kuriuose pateikti pagrindiniai disertacijos rezultatai ir publikuoti Clarivate Analytics Web of Science referuojamuose ir turinčiuose citavimo rodiklį (Impact Factor) žurnaluose, skaičius ir būklė.

<sup>4</sup> Nurodoma publikacijos, pažymėtos stulpelyje „Įvykdyta“, būklė: „Publikuota“, „Priimta“, „Įteikta“, „Įteikta (gautos pirmos recenzijos)“.

# Ataskaitiniai studijų metai (II: 2021/2022)

## Egzaminai

Planas	Įvykdyta	Būklė
Fundamentalieji informatikos ir informatikos inžinerijos mokslų metodai	Fundamentalieji informatikos ir informatikos inžinerijos mokslų metodai, 2022-01-28	Išlaikyta
Didžiųjų duomenų analitika		Dar neišlaikyta/neatsiskaityta

# Ataskaitiniai studijų metai (II: 2021/2022)

## Dalyvavimas konferencijose

Planas	Įvykdyta	Konferencijos tipas
DAMSS: 12th conference on data analysis methods for software systems, Druskininkai, Lithuania, December 2–4, 2021	R. Jurkus, P. Treigys, J. Venskus “Prediction of Vessels Trajectory Using Different Coordinate Systems”. DAMSS: 12th conference on data analysis methods for software systems, Druskininkai, Lithuania, December 2–4, 2021	T1c - Tezės tarptautinėse duomenų bazėse
Disertacijos teorinio tyrimo rezultatų pristatymas konferencijoje		22-oji studentų mokslinė konferencija „Technologijų ir verslo aktualijos“ (2022 m. lapkričio 25 d.)

# Ataskaitiniai studijų metai (II: 2021/2022)

## Dalyvavimas konferencijose

Planas	Įvykdyta	Konferencijos tipas
Disertacijos tyrimų pristatymas bent 2 juose kitų universitetų organizuojamuose renginiuose (2021-2024 m.)	Pranešimo pavadinimas „Polinių ir Dekarto koordinačių sistemų taikymas trajektorijos prognozavimui naudojant rekurentinius neuroninius tinklus“, Klaipėdos universitetas.	Skaitytas pranešimas renginyje „AI Lithuania Meetup Klaipėda“

## Pranešimai ir kita 2022 m. vykdyta mokslinė veikla:

- Dalyvauta konkurse ir skaitytas pranešimas „**Studentų baigiamųjų darbų transporto tematika konkurse**“. Prizinės vietos laimėtojas, vandens transporto tema, pavadinimu „*LSTM giliųjų neuroninių tinklų tyrimas laivo eigos prognozavimui naudojant didžiuosius eismo duomenis*“, Susisiekimo ministerija, Vilnius, Lietuva.
- Dalyvauta renginyje „**Baltic Sea Science Day Award for Young Scientists 2022**“, tyrimo sritis: „Digital growth“, tema: „*Maritime Traffic Awareness Evaluation Using Deep Neural Networks*“, Latvijos universitetas, Norwegian Presidency 2021-2022.

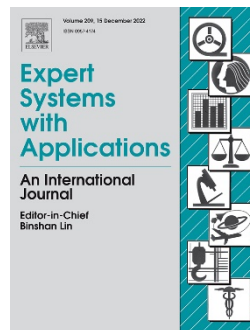
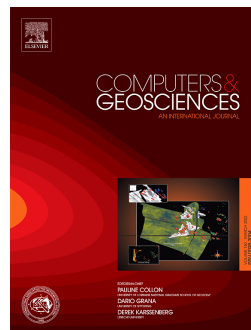
**Vilniaus  
universitetas**

# Ataskaitiniai studijų metai (II: 2021/2022)

## Publikacijos

Planas	Įvykdyta	Būklė	Publikacijos tipas
Engineering Applications of Artificial Intelligence 		Įteikta	Turi cituojamumo rodiklį. Web of Science Category Quartile: Q1 Journal Impact Factor: 2021: 7.802

Straipsnio pateikimas kituose žurnaluose:



**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 koordinačių 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 universaliąja 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.	
	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.	
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.	
4.	Daktaro disertacijos parengimas ir svarstymas padalinyje	2024 m. balandžio mėn.	
5.	Daktaro disertacijos gynimas	2024 m. rugsėjo mėn.	

# ■ Bendruosius gebėjimus stiprinančios 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)

# 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** / **23** ECTS

Studijų dalykai: **4** / **3**

Bendrieji gebėjimai: **3** / **1,85** ECTS



# Mokslinio tyrimo rezultatai

- ❑ Jūros eismo vertinimas – prognozuojant laivo judėjimo trajektoriją;
- ❑ Mokslinės literatūros analizė (giliųjų rekurentinių tinklų ir transporto prognozavimo srityje);
- ❑ Atlikti eksperimentai Olandijos krantinės regione;
- ❑ Sudarytos metodologijų strategijos, nustatančios laivo padėties geolokaciją –
  - Geografinėmis koordinatėmis;
  - Geografinėmis koordinatėmis ir delta išvestinėmis;
  - Polinėmis koordinatėmis (skaičiuojant atstumus ir poslinkio kampus);
  - Dekarto koordinatėmis, išreikšta universaliąja skersine projekcija (UTM).
- ❑ Parengtas straipsnis publikacijai;
- ❑ Atliekama eksperimentų validacija Baltijos regione;



## **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 verslo sritį kroviniai ir toliau sudarė didžiausią dalį:  
57,2 proc.

---

# Problematika

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

# Objektas

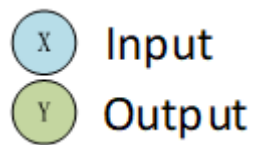
Jūros eismo duomenimis apmokyti gilieji rekurentiniai neuroniniai tinklai

# Tikslas

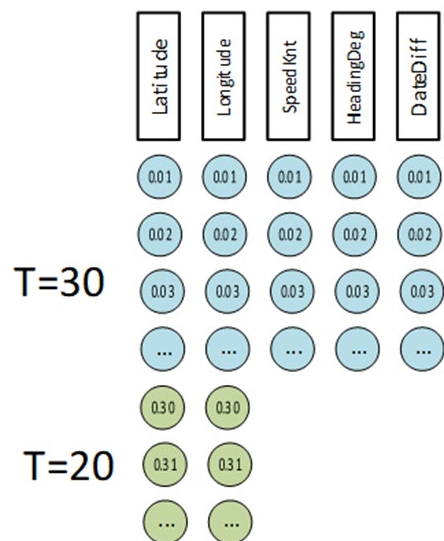
Ištirti giliuosius rekurentinius neuroninius tinklus jūros eismo būsenos stebėsenai – laivo eigos prognozavimui

# Eksperimentai

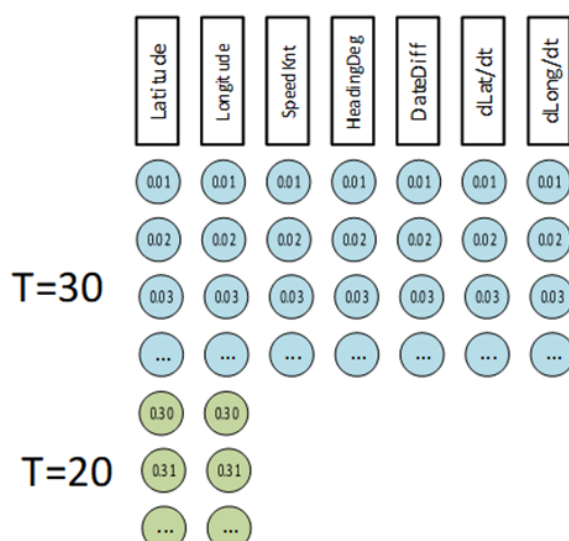
- Naudotos architektūros: dvikryptis LSTM, GRU ir AE
- Duomenų struktūros ir tinklų apmokymo metodai



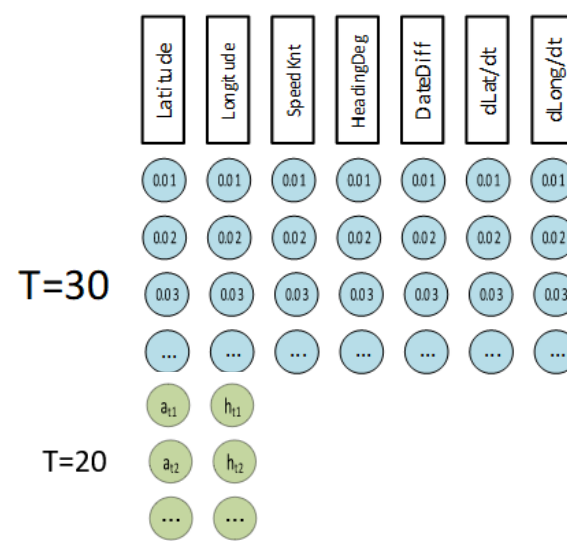
Exp. A: koordinatės



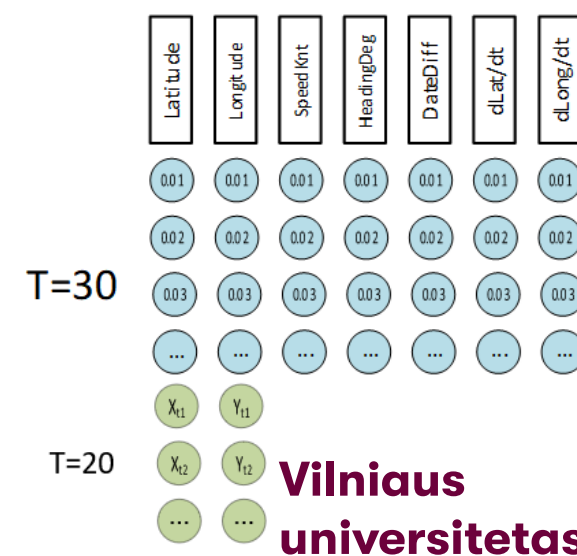
Exp. B: delta reikšmės



Exp. C: kampas ir atstumas



Exp. D: UTM (skirtumas)



# Geografinė koordinacijų sistema

- World Geodetic System 1984 (WGS-84)
- Laivo požymiai: platuma; ilguma; greitis; plaukimo kryptis; laiko žingsnių skirtumas; **delta platuma; delta ilguma**

**A**

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i^{(1,1)} & x_i^{(1,2)} & \dots & x_i^{(1,n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_i^{(t,1)} & x_i^{(t,2)} & \dots & x_i^{(t,n)} \end{bmatrix}$$

**B**

$$X_i = \left[ \begin{array}{cccc|cc} x_i^{(1,1)} & x_i^{(1,2)} & \dots & x_i^{(1,n)} & \delta lat_i^{(1,n+1)} & \delta long_i^{(1,n+2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_i^{(t,1)} & x_i^{(t,2)} & \dots & x_i^{(t,n)} & \delta lat_i^{(t,n+1)} & \delta long_i^{(t,n+2)} \end{array} \right]$$

$$X_{\Delta t} = t_s - t_{s-1}$$

$$X_{\delta Lat} = \frac{X_{Lat,s} - X_{Lat,s-1}}{X_{\Delta t}}$$

$$X_{\delta Lon} = \frac{X_{Lon,s} - X_{Lon,s-1}}{X_{\Delta t}}$$

$$Y_i = \begin{bmatrix} y_i^{(1,1)} & y_i^{(1,2)} \\ \dots & \dots \\ y_i^{(k,1)} & y_i^{(k,2)} \end{bmatrix}$$

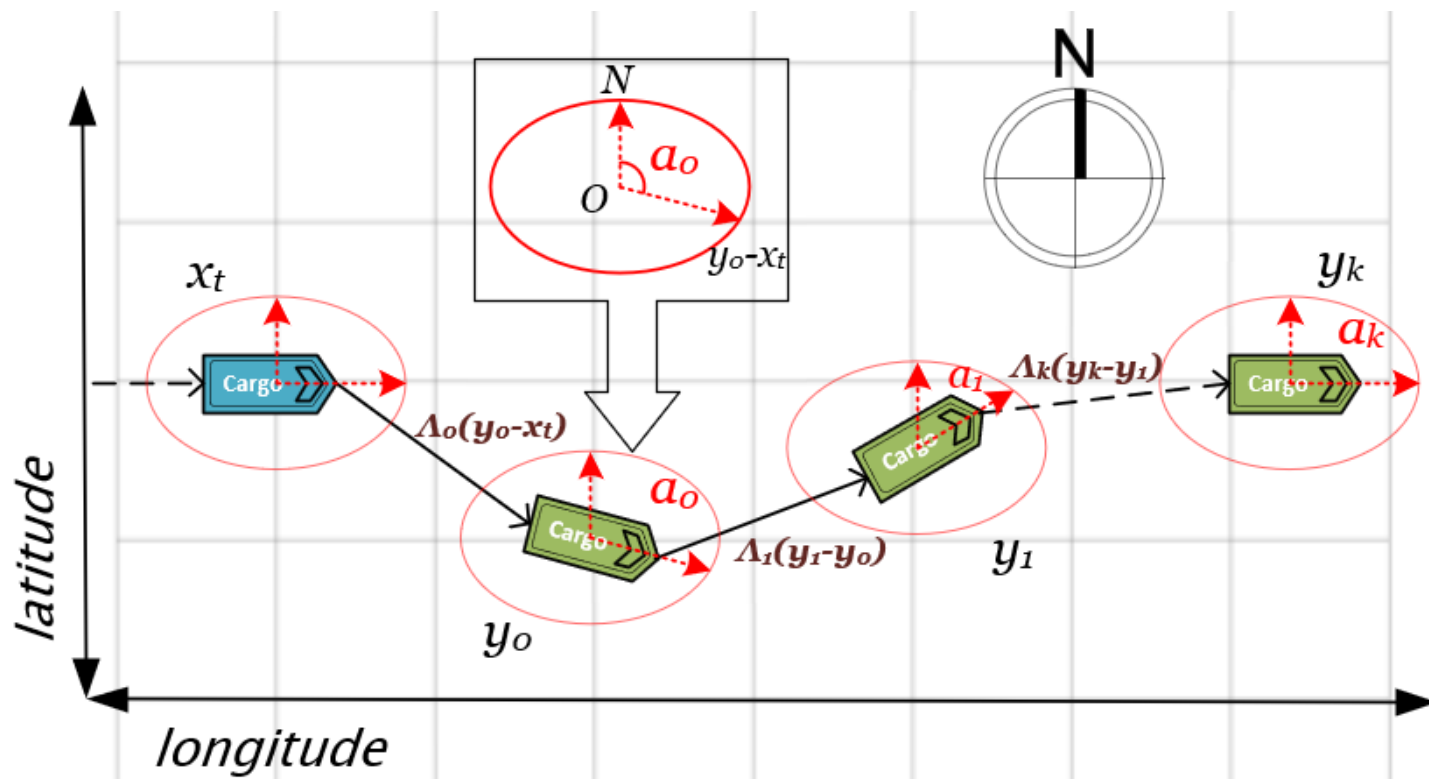
$$FLAT(Y_i) = \left\{ y_i^{(1,1)} \quad y_i^{(1,2)} \quad y_i^{(2,1)} \quad \dots \quad y_i^{(k \times 2)} \right\}$$



# Polinė koordinačių sistema

- Haversino atstumo ir azimutinio kampo transformacija
- Viena iš pagrindinių vandenyno navigacijos lygčių (naudoja ir kiti GPS įrenginiai)
- Atstumui tarp dviejų taškų rutulyje generuoti (platumą ir ilgumą bei rutulio skersmenį)

R = 6372800 # Earth radius in meters

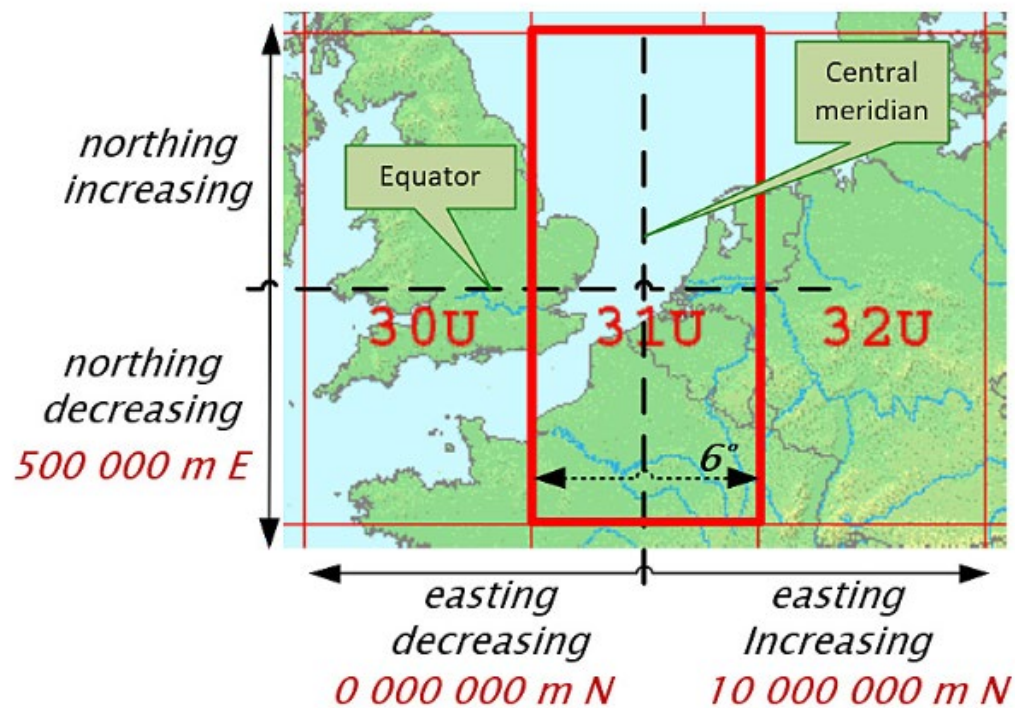


C

$$Y_i = \begin{bmatrix} y_i^{(1, \Lambda_0)} & y_i^{(1, a_0)} \\ y_i^{(2, \Lambda_1)} & y_i^{(2, a_1)} \\ \dots & \dots \\ y_i^{(k, \Lambda_{k-1})} & y_i^{(k, a_{k-1})} \end{bmatrix}$$

# Dekarto koordinacijų sistema

- Universalioji skersinė projekcija (angl. Universal Transverse Mercator, UTM)
- UTM sistema padalija Žemę į 60 zonų, kurių kiekvienos plotis yra 6 ° ilgumos
- Kiekviena zona turi centrinį dienovidinį, kurio vertė ~ 500 000 metrų



D

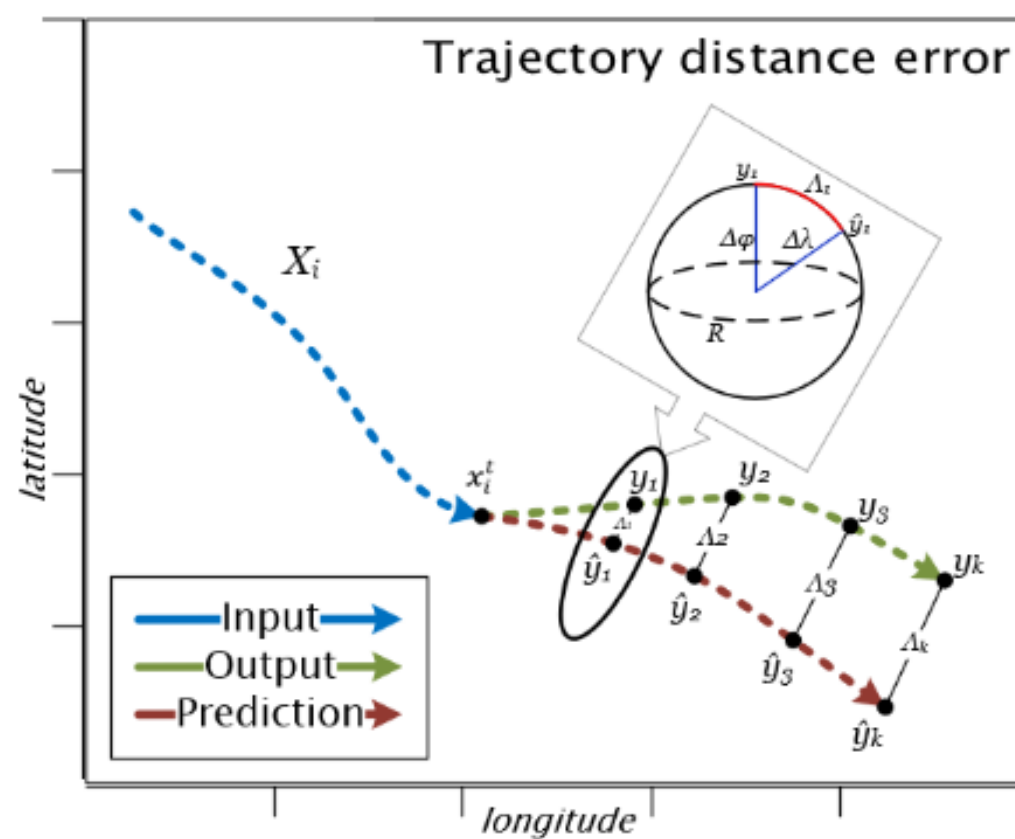
$$Y_i = \begin{bmatrix} (1, east_0^x) & (1, north_0^y) \\ y_i & y_i \\ (2, east_1^x) & (2, north_1^y) \\ y_i & y_i \\ \dots & \dots \\ (k, east_{k-1}^x) & (k, north_{k-1}^y) \\ y_i & y_i \end{bmatrix}$$

Vilniaus  
universitetas

# Rezultatų vertinimas

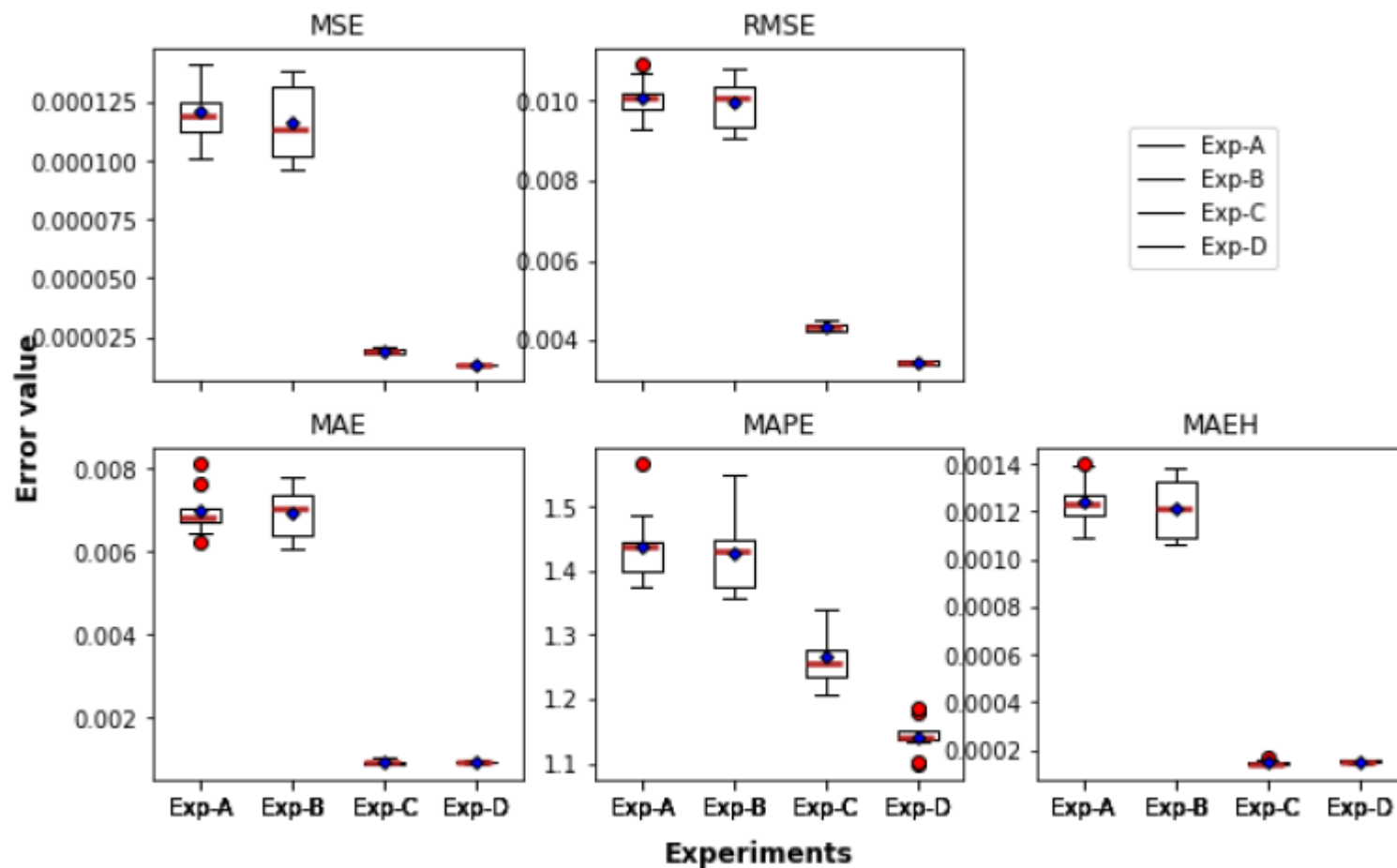
- MAEH – vidutinė haversinio atstumo absoliučioji paklaida
- Paskaičiuotas tikrosios ir prognozuojamos trajektorijos atstumo paklaida (haversinės funkcijos atstumu):

$$MAEH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |havarsine(y_i - \hat{y}_i)|$$

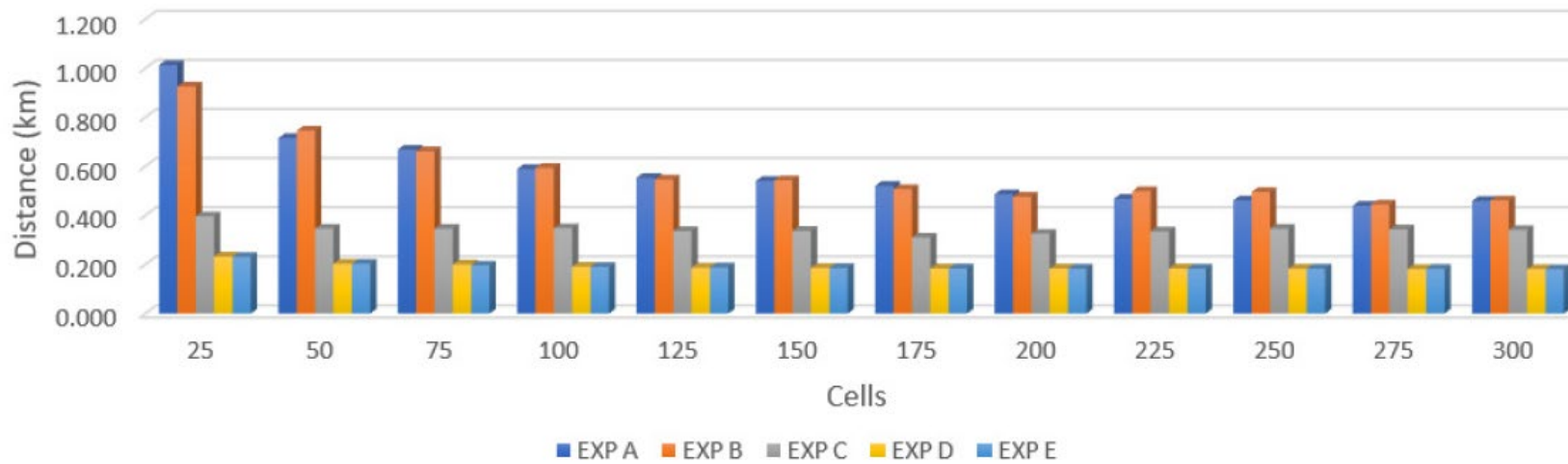
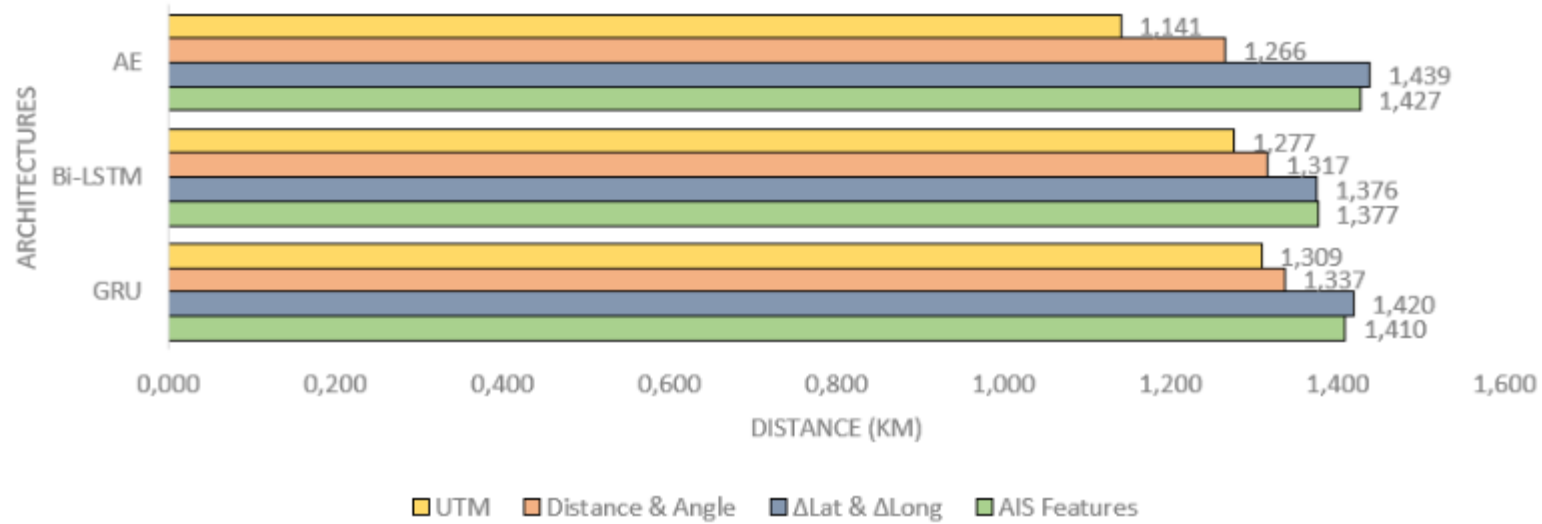


# Regresijos įvertinimo metrikos

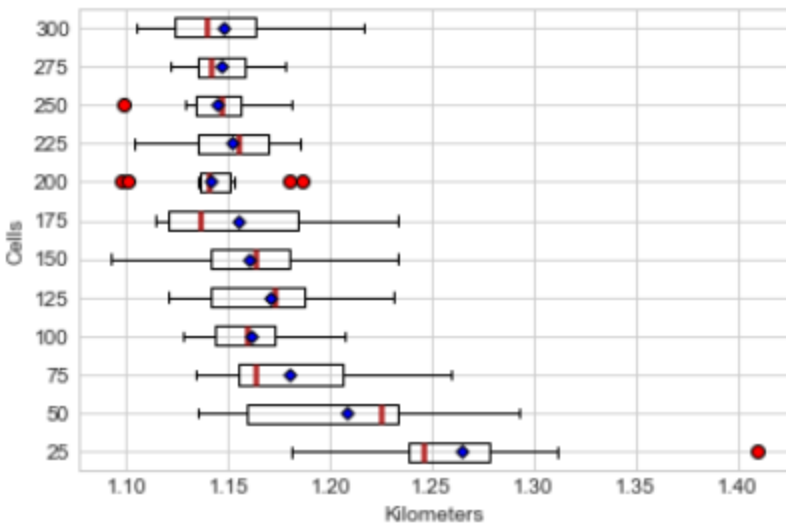
- Naudotos klasikinės klaidos skaičiavimo funkcijos: MSE, RMSE, MAE, MAPE palyginimui su MAEH funkcija.



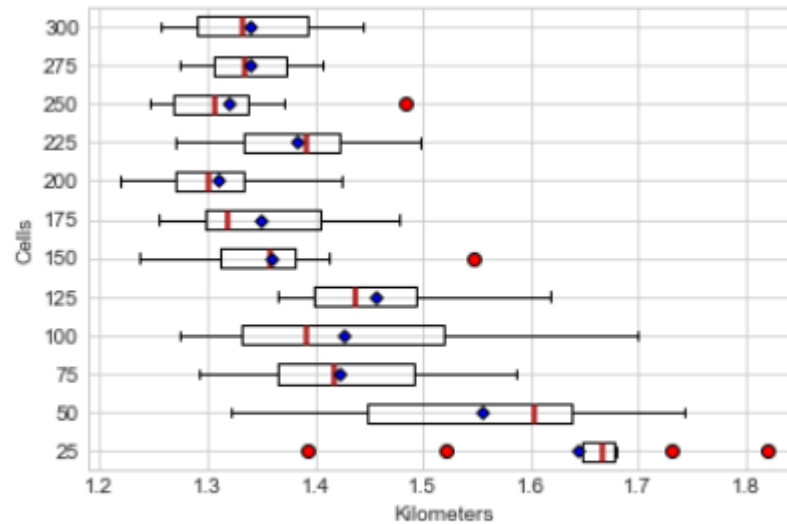
# Rezultatai



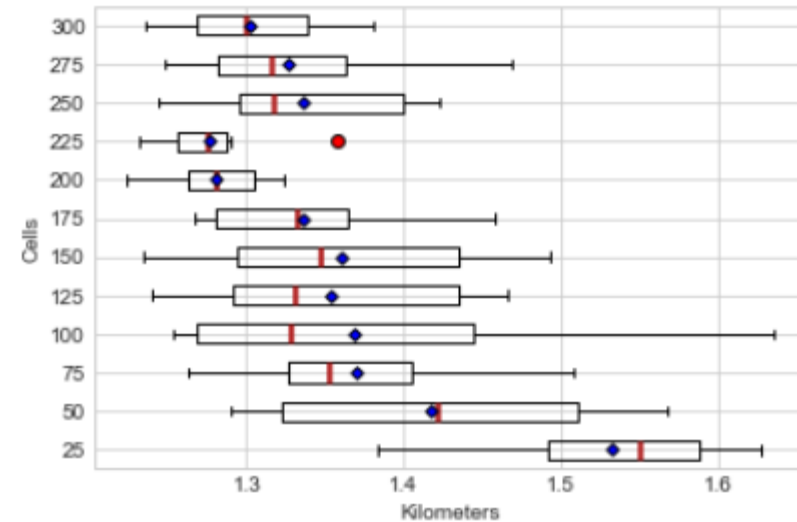
# UTM (D) eksperimento statistika



(a) Autoencoder MAEH distance.

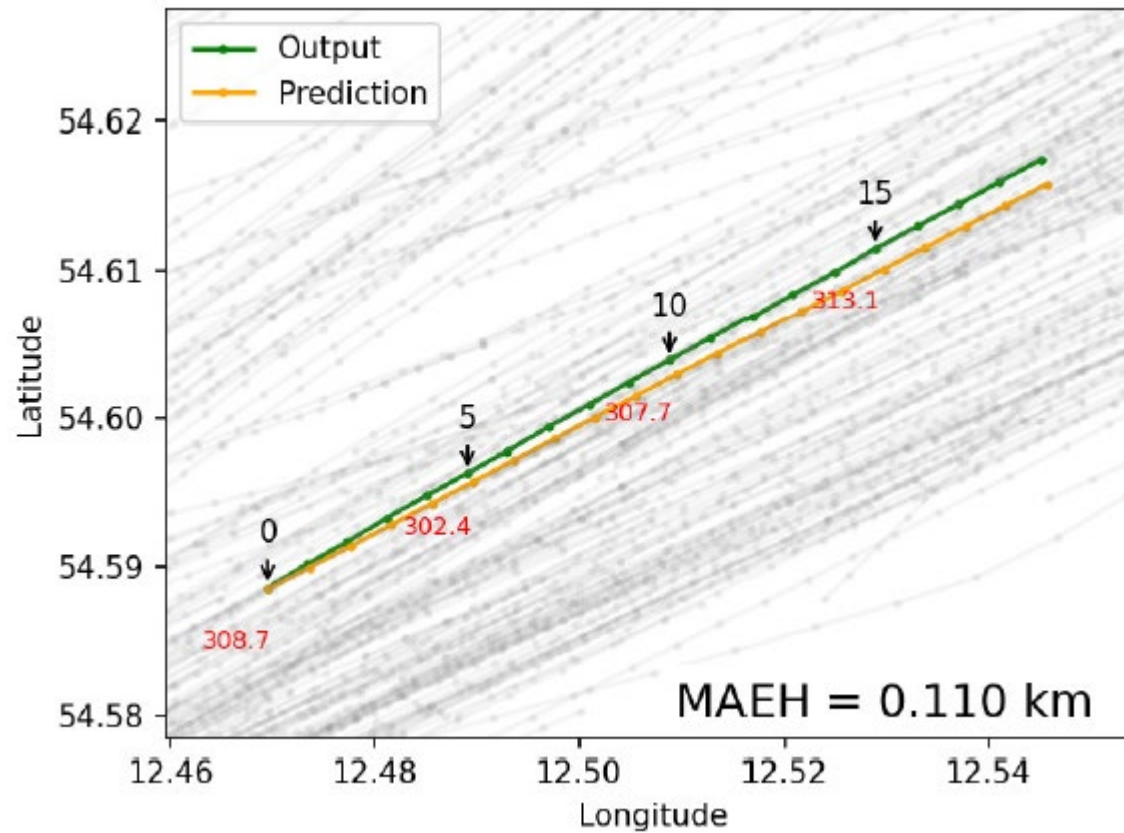


(c) Gated recurrent unit MAEH distance



(b) Bi-directional LSTM MAEH distance

# Laivo judėjimo prognozė atsitiktinėje trajektorijoje



# Mokslinio tyrimo planai

- ❑ Trajektorijos įvesties ir išvesties ilgio santykio nustatymas;
- ❑ Kardinalaus celių didinimo ir sekų maišymo įtaka prognozės tikslumui.
  
- ❑ Idėja: analizuoti laivų susidūrimo rizikas ir prevencinius modelius;
- ❑ Prognozės tikslumo gerinimas, susijusių architektūrų bei metodologijų analizė;
- ❑ Kitų laivo tipų įtraukimas į duomenų rinkinį (įvertinimas kvartiliais);
- ❑ Trajektorijų klasifikacija pagal plaukimo kryptį;
- ❑ Vykdomi kiti studijų plane užsibrėžti tikslai:
  - ❑ Numatyta konferencija TransNav 2023.







Vilnius  
universitetas

---

# Ačiū už dėmesį.

Robertas Jurkus

Doktorantas

robertas.jurkus@mif.vu.lt