



**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.

Doktorantas: Robertas Jurkus

Vadovas: dr. Povilas Treigys

Vilnius, 2021



# TURINYS

1. Studijų plano vykdymo informacija
2. Bendrosios veiklos ir studijų apibendrinimas
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	Publikuojama (process of publishing)
II (2021/2022)	2		1		1		
III (2022/2023)			1		1		
IV (2023/2024)			2		1		
Iš viso:	4	2	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“, „Įteikta“, „Įteikta (gautos pirmos recenzijos)“.

# Ataskaitiniai studijų metai (I: 2020/2021)

Egzaminai		Dalyvavimas konferencijose		Publikacijos	
Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta
Mašininis mokymasis	<b>Išlaikyta:</b> Mašininis mokymasis	International Conference on Information and Software Technologies (ICIST) 2021	„Investigation of Recurrent Neural Network Architectures for Prediction of Vessel Trajectory“, ICIST 2021, 2021 spalio 14-16, Kaunas	Communications in Computer and Information Science (volume of Springer-Verlag CCIS 1486)	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).  <b>Publikuojama (process of publishing)</b>
Informatikos ir informatikos inžinerijos tyrimo metodai ir metodika	<b>Išlaikyta:</b> Informatikos ir informatikos inžinerijos tyrimo metodai ir metodika				



# Mokslinių tyrimų ir disertacijos rengimo etapai (2)

	Darbo pavadinimas	Atlikimo terminai	Pastabos
2.	2.3. Empirinis tyrimas: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eksperimentinės dalies aprašas.</li> <li>2. Egzistuojančio metodo realizavimas kuriamo metodo palyginimui.</li> <li>3. Metodų modifikacijos sukūrimas.</li> <li>4. Sukurtų modifikacijų eksperimentinis tyrimas ir modifikacijų palyginimas su publikuotais egzistuojančiais metodais.</li> </ol>	2022 m. spalio mėn. – 2023 m. kovo mėn.	
	2.4. Gautų duomenų analizė, apibendrinimas, išvadų parengimas: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Teorinio tyrimo apibendrinimas.</li> <li>2. Empirinio tyrimo apibendrinimas.</li> <li>3. Rezultatų apibendrinimas, išvadų parengimas.</li> </ol>	2023 m. kovo mėn. – 2023 m. rugsėjo mėn.	
3.	Atskirų daktaro disertacijos dalių (tyrimo metodikos, rezultatų, ginamų teiginių, išvadų, ir kt.) parengimas: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tikslų, uždavinių, tyrimo metodikos, ginamųjų teiginių patikslinimas.</li> <li>2. Analitinės disertacijos dalies parengimas.</li> <li>3. Teorinės disertacijos dalies parengimas.</li> <li>4. Eksperimentinės disertacijos dalies parengimas.</li> <li>5. Bendrųjų išvadų suformulavimas.</li> </ol>	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** / **15** ECTS

Studijų dalykai: **4** / **2**

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);
- ❑ Sukurtos rekurentinių tinklų architektūros;
- ❑ Atlikti eksperimentai Olandijos krantinės regione;
- ❑ Tyrimo eiga ir rezultatai aprašyti straipsnyje (publikuojamas ir pristatomas);
- ❑ Atlikti papildomi AIS duomenų tyrimai (prognozės gerinimui) –
  - skaičiuojant delta išvestines;
  - skaičiuojant atstumus ir poslinkio kampus;
  - keičiant poliarinę koordinačių sistemą į Dekarto (UTM).



# ■ Problematika

Tarptautinė jūrų draudimo sąjunga (IUMI) 2019 m. skelbia, kad patiriami nuostoliai dėl įvykusių incidentų, kurių priežastys:

- prastai apmokyta įgula;
- įrangos gedimai;
- oro sąlygos;
- susidūrimai (~ 10 %).

Prognozuojant laivo plaukimo eigą būtų galima įvertinti

- susidūrimo riziką ar pastebėti neįprastą eismą.

# ■ Preliminarus tyrimo objektas, tikslas ir uždaviniai

**Tyrimo objektas** – jūros eismo duomenimis apmokyti gilieji rekurentiniai neuroniniai tinklai.

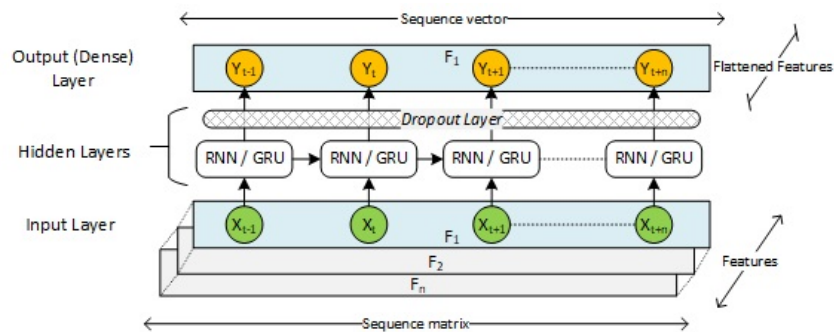
**Tyrimo tikslas** – ištirti giliuosius rekurentinius neuroninius tinklus jūros eismo būsenos stebėsenai – laivo eigos prognozavimui.

Siekiant įgyvendinti užsibrėžtą tikslą, keliami šie **tyrimo uždaviniai**:

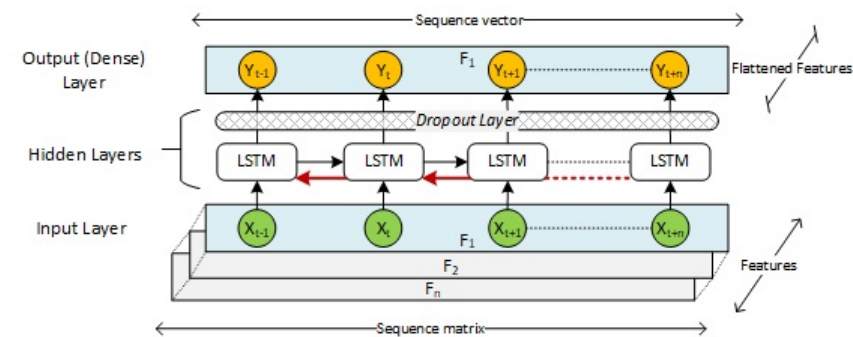
1. Išnagrinėti naujausias mokslines publikacijas, analizuojančias jūros eismo ir transporto prognozavimo problemas sprendimo būdus, taikant gilųjį mokymą ir parinkti metodologiją laivų eismo prognozavimo uždaviniui spręsti.
2. Sukurti giliojo rekurentinio tinklo architektūras ir metodologiją laivo trajektorijos prognozavimui.
3. Ištirti sukurtų modelių prognozavimo bei tikslumo parametrus ir įvertinti gautus rezultatus.

# Tyrinėtos ir sukurtos architektūros

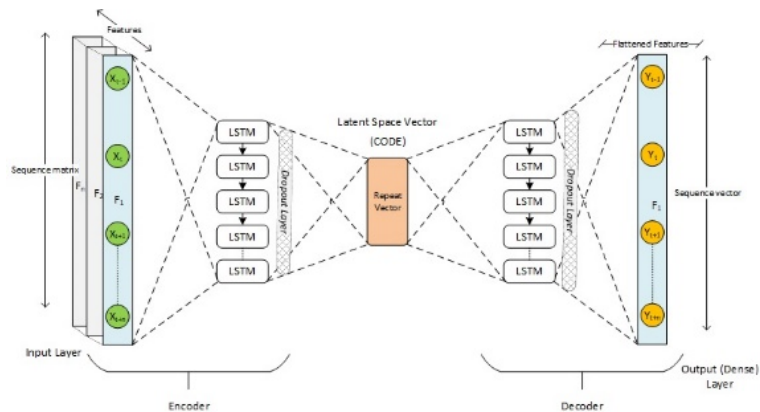
(Simple) Recurrent neural network ir gated recurrent unit



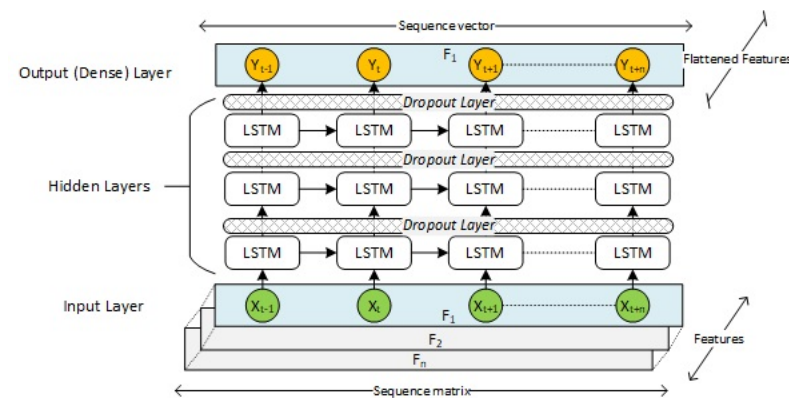
Long Short-Term Memory (LSTM) basic ir bidirectional



Autoencoder (AE)



Stacked Long Short-Term Memory (LSTM)



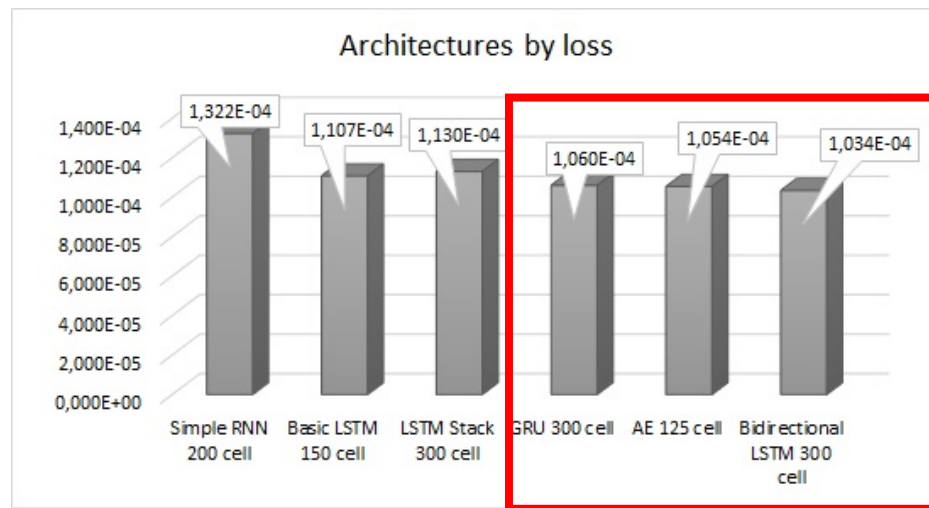
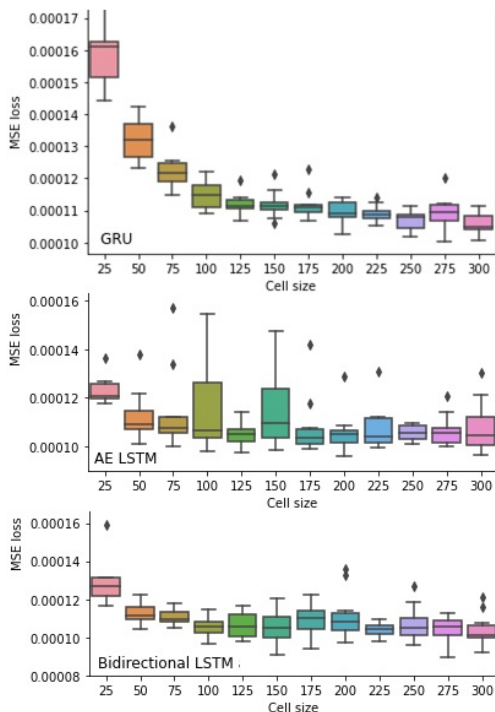
# Apibendrinti rezultatai

Skirtingas celių dydis turi tiesioginės įtakos rezultatams, atsižvelgiant į architektūros tipą.

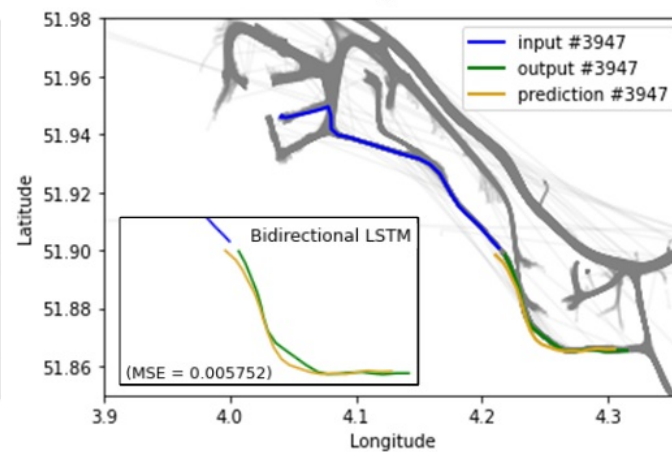
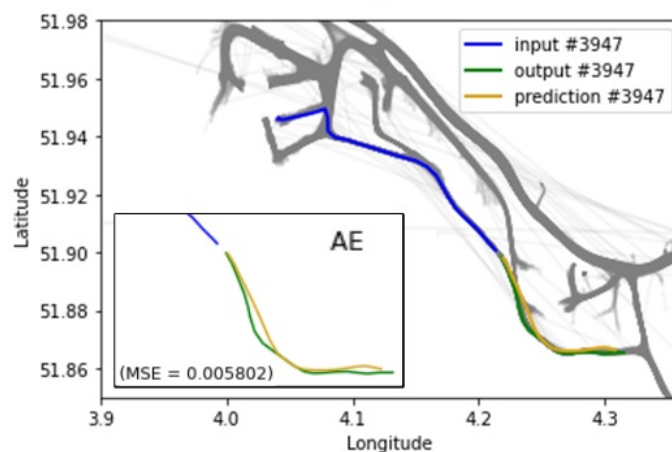
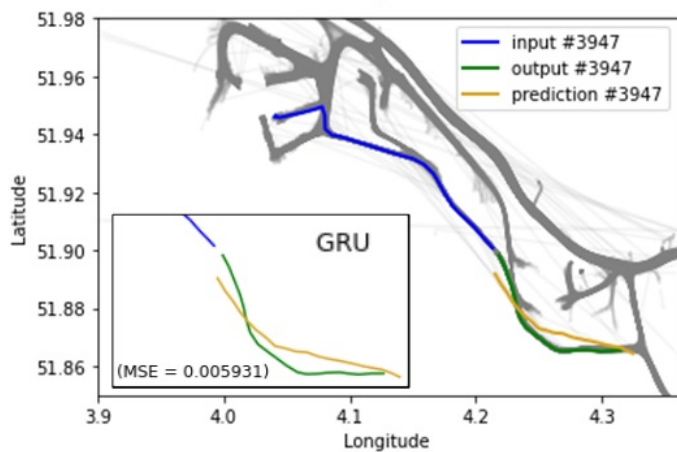
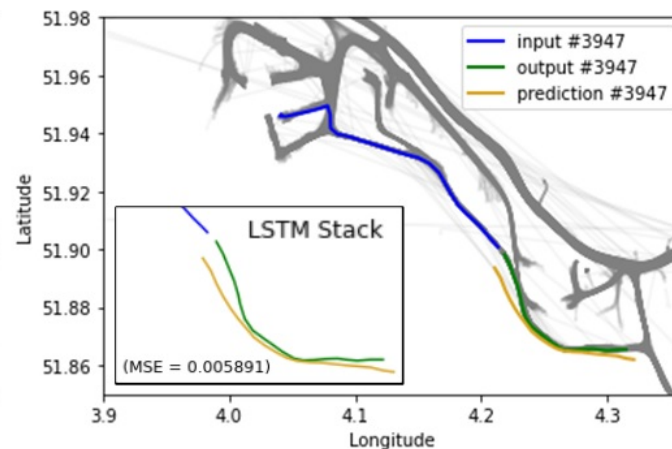
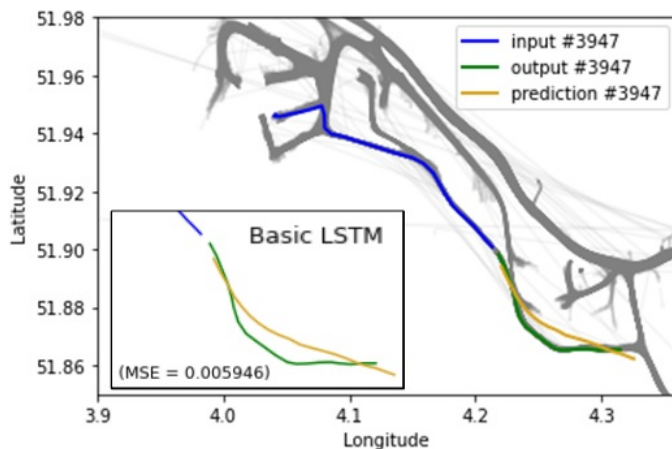
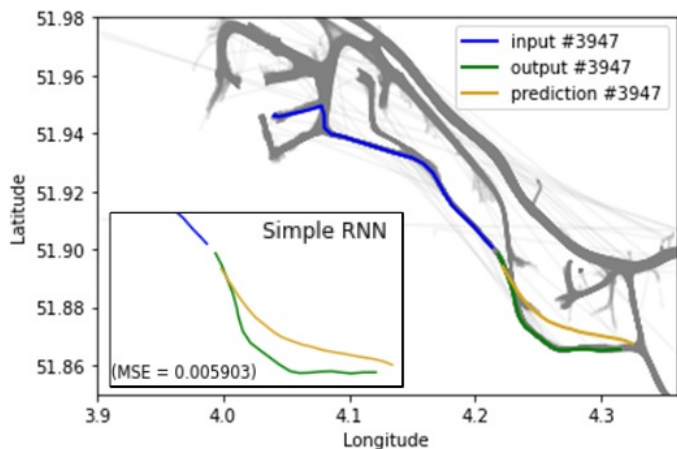
Tiksliausia prognozė ir mažiausia klaida (MSE) pasiekama naudojant dvikryptį (bidirectional)  $0,9194 \times 10^{-4}$  (su 300 celėmis) ir autoenkoderio (AE)  $0,9761 \times 10^{-4}$  (su 125 celėmis) architektūras.

AE yra priklausoma nuo tinkamo celių kiekio pasirinkimo paslėptajame sluoksnyje, nes pasirinkus jų per mažai arba per daug įvyksta dispersijos svyravimai.

Dvikryptėje architektūroje dispersija mažiau kinta net su mažesniu celių kiekiu.

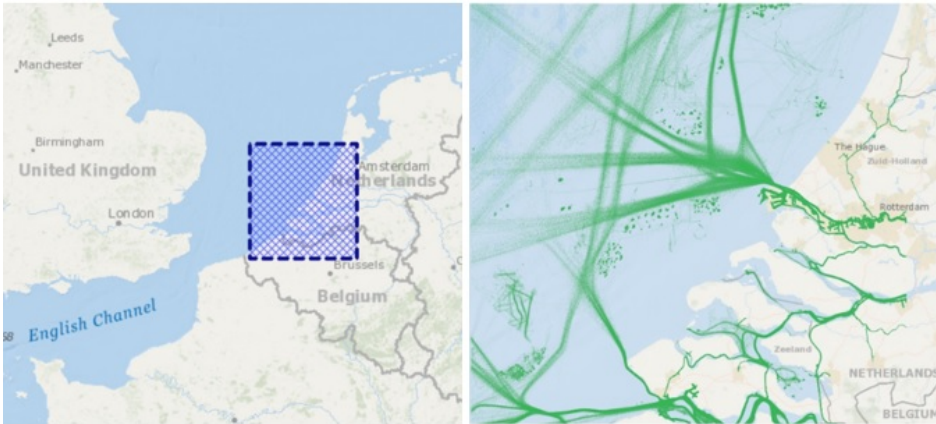


# Laivo judėjimo prognozė atsitiktinėje trajektorijoje



# Laivo požymių (AIS) tyrimas (1)

## 1. Trajektorijos prognozė faktinėmis (polarinės sistemos) reikšmėmis



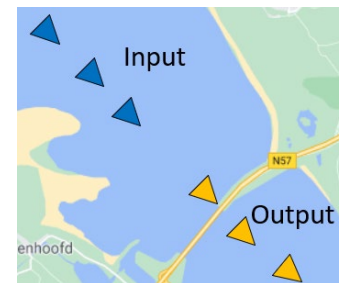
- Latitude: geographic latitude coordinate;
- Longitude: geographic longitude coordinate;
- SpeedKnt: vessel speed measured in knots;
- HeadingDeg: vessel sailing direction;
- DateDiff: difference between two time steps in the trajectory (minutes);
- $\Delta$  Latitude: latitude difference of two time steps in time (1);
- $\Delta$  Longitude: longitude difference of two time steps in time (2).

## 2. Trajektorijos prognozė faktinėmis (polarinės sistemos) reikšmėmis su delta išvestinėmis (greičio pokyčio) - (fine-tune data)

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

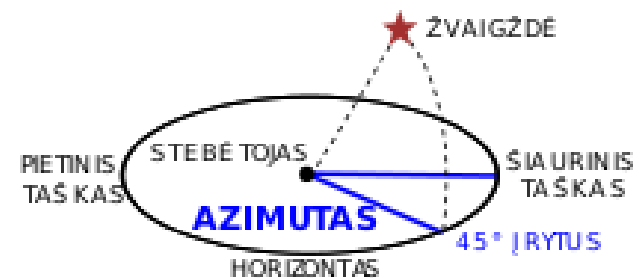
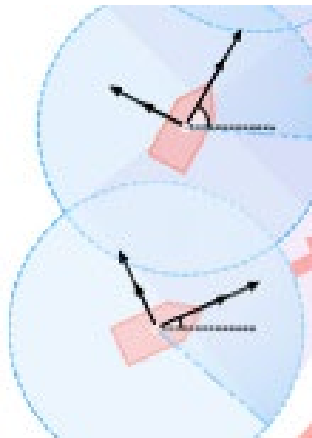
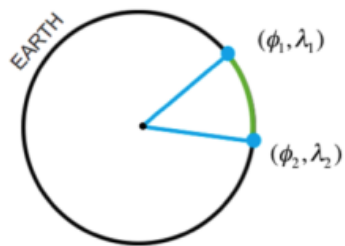
$$X_{\delta Lat} = \frac{X_{Lat,s} - X_{Lat,s-1}}{X_{\Delta t}} \quad (1) \quad X_{\delta Lon} = \frac{X_{Lon,s} - X_{Lon,s-1}}{X_{\Delta t}} \quad (2)$$

# Laivo požymių (AIS) tyrimas (2)

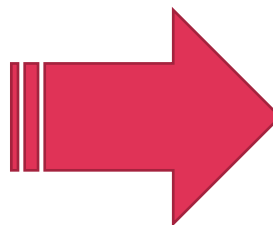
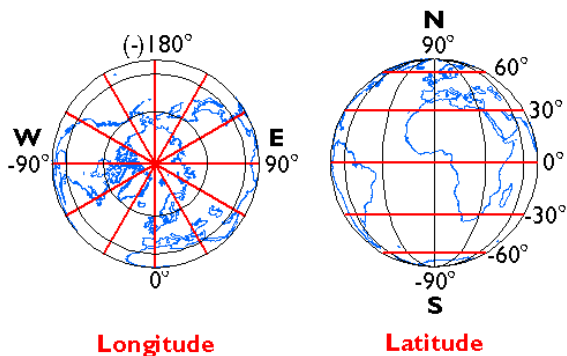


## 3. Trajektorijos prognozė atstumo ir poslinkio kampo matavimais

$$\text{haversine}\left(\frac{d}{r}\right) = \text{haversine}(\phi_2 - \phi_1) + \cos(\phi_1)\cos(\phi_2)\text{haversine}(\lambda_2 - \lambda_1)$$



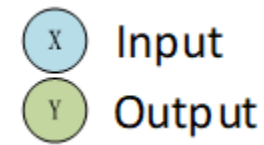
## 4. Trajektorijos prognozė Dekarto koord. sistemoje – Universalioji skersinė projekcija (angl. Universal Transverse Mercator, UTM)



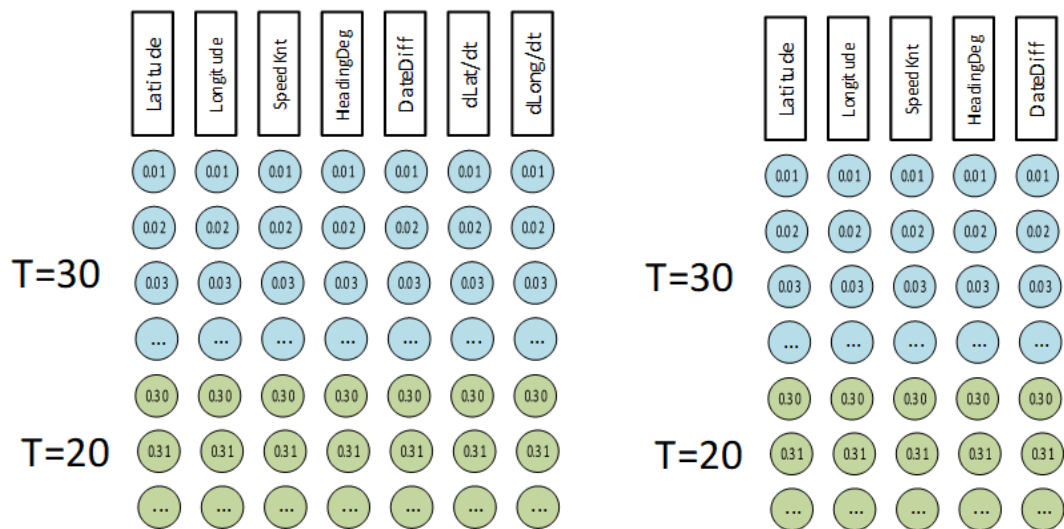


# Eksperimentai

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

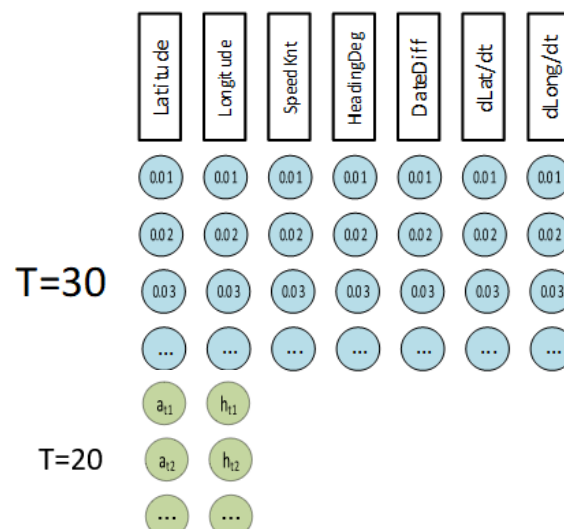


## Delta pozicijos pokytis laike Modelis be delta požymių



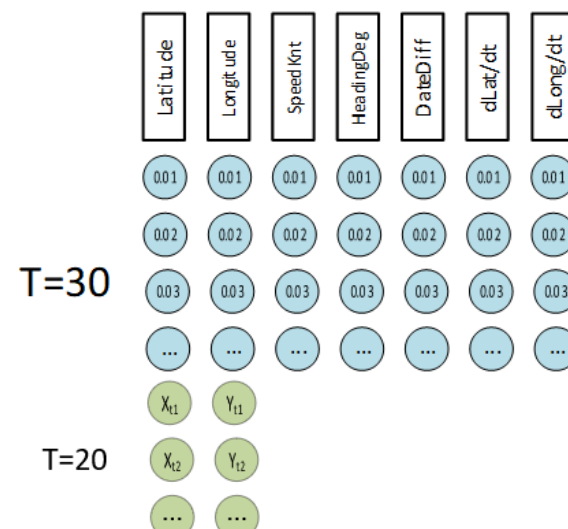
*Diapazonas*  
Ilguma: 3.1 - 4.5 [1.4]  
Platuma: 51.635 - 52.12 [0.485]

## Poslinkio kampas ir atstumas



*Diapazonas*  
Kampas: -180 - 180 [360]  
Atstumas: 0 - 10.93 [10.93]

## UTM



**Vilniaus universitetas**

# Apibendrinti rezultatai

UTM metodas leidžia padidinti tikslesnius prognozavimo rezultatus: AE ~ 27%, GRU ir dvikryptis LSTM ~ 7 %.

Reikšmingiausias pokytis pastebėtas AE architektūroje (paklaidos sumažinimas ~300 metrų).

Paskaičiuotos tikrosios ir prognozuojamos trajektorijos atstumo paklaidos (haversinės funkcijos atstumu):

Metodas	Paklaida (km)
AE Coordinates With Delta	1,427
AE Coordinates Without Delta	1,439
AE Distance (After Log Scale)	1,266
AE UTM	1,141

Metodas	Paklaida (km)
BiDir. Coordinates With Delta	1,377
BiDir. Coordinates Without Delta	1,376
BiDir. Distance (After Log Scale)	1,317
BiDir. UTM	1,277

Metodas	Paklaida (km)
GRU Coordinates With Delta	1,410
GRU Coordinates Without Delta	1,420
GRU Distance (After Log Scale)	1,337
GRU UTM	1,309

$$MAE(km) = \sum_{i=1}^n |haversine(y_i - \bar{y}_i)|$$

# Mokslinio tyrimo planai

- ❑ Konkretizuojamas disertacijos darbo objektas, tikslas, uždaviniai;
- ❑ Literatūros analizė, rašto darbų rengimas, rezultatų sisteminimas;
- ❑ Prognozės tikslumo gerinimas, susijusių architektūrų bei metodologijų analizė;
- ❑ Planuojama eksperimentus patikrinti kitoje duomenų imtyje;
- ❑ Kitų laivo tipų įtraukimas į duomenų rinkinį;
- ❑ Trajektorijų klasifikacija pagal plaukimo kryptį;
- ❑ Vykdomi kiti studijų plane užsibrėžti tikslai.





Vilnius  
universitetas

---

# Ačiū už dėmesį.

Robertas Jurkus

Doktorantas

robertas.jurkus@mif.stud.vu.lt