

## ავიაციაში მანქანური სწავლების ღია პლატფორმების შესაძლო გამოყენების თაობაზე

ს. ბარნოვი, დ. საცერაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 0160, საქართველო, თბილისი, კოსტავას 77

### ანოტაცია

სტატიაში განხილულია ავიაციაში ხელოვნური ინტელექტის დანერგვის პროცესის არსებული რეალობა და პერსპექტივები და მასთან დაკავშირებული საკითხები, რომლებიც გულისხმობენ პირველადი და მეორადი ამოცანების გადაჭრას. განხილულია ღია კოდზე დაფუძნებული მანქანური სწავლების ხუთი პროგრამული ბიბლიოთეკა და მათი შესაძლებლობები. შემოთავაზებულია ღია პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით ვირტუალური სტენდის შექმნის კონცეფცია, რომელსაც გააჩნია მუშაობის ორი ძირითადი რეჟიმი, როგორც ვირტუალურ გარემოში ისე რეალურ მოწყობილობებთან.

**საძიებო სიტყვები:** ხელოვნური ინტელექტი, მანქანური და ღრმა სწავლება, PyTorch, TensorFlow, Microsoft Cognitive Toolkit.

### შესავალი

მანქანური სწავლების (ML, Machine Learning) მეთოდები და პროგრამები სწრაფად ცვლიან სხვადასხვა ინდუსტრიას. ბევრმა საწარმომ შეამცირა წარმოებისა და ექსპლუატაციის ხარჯები, ვინაიდან დანერგა მანქანური სწავლების მოდელებითა და ალგორითმებით აღჭურვილი ინსტრუმენტების გამოყენება. ღრმა სწავლება (DL, Deep Learning), რომელიც არის მანქანური სწავლების ქვეჯგუფი, უკვე აქტიურად გამოიყენება წარმოებებში, წამლების შექმნაში, კომპიუტერული ხედვასა და პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირებაში [1].

ზოგადად მანქანური სწავლება (ML) არის ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების კლასი, რომლის დამახასიათებელი ნიშანია არა პრობლემის პირდაპირი გადაწყვეტა, არამედ სწავლა მრავალი მსგავსი პრობლემის გადაწყვეტის გამოყენებით. ასეთი მეთოდების შესაქმნელად გამოიყენება მათემატიკური სტატისტიკის ინსტრუმენტები, რიცხვითი მეთოდები, მათემატიკური ანალიზი, ოპტიმიზაციის მეთოდები, ალბათობის თეორია, გრაფთა თეორია, ციფრული ფორმით მონაცემებთან მუშაობის სხვადასხვა ტექნიკა.

არსებობს სწავლების ორი მეთოდი:

1) სწავლება ნიმუშებზე, მიეკუთვნება ე. წ. ინდუქციური სწავლების მეთოდს რომლის დროსაც სწავლების პროცესი მიმდინარეობს კონკრეტულიდან ზოგადისკენ. სწავლება ნიმუშებზე, ეფუძნება მონაცემებში ემპირიული ნიმუშების აღმოჩენას, რომლის დროსაც ემპირიული კანონზომიერება დაფუძნებულია ექსპერიმენტულ მონაცემებზე და საშუალებას გვაძლევს ტიპიურ სიტუაციებში მივიღოთ ზუსტად მიახლოებული შედეგი. ასეთი კანონზომიერებები ადვილად დასამახსოვრებელია და შესაძლებელს ხდის გარკვეული მნიშვნელობები გამოვთვალოთ რთული ინსტრუმენტების გარეშე. აღნიშნული კანონზომიერებები გამოიხატება როგორც მათემატიკური ფორმულა, რომელიც საკმარისი სიზუსტით ასახავს დაკვირვების შედეგად მიღებულ შედეგებს. ასეთ ფორმულას ან არ აქვს მკაცრი თეორიული წარმოშობა, ან არის უფრო რთული ზუსტი თეორიული მიმართების საკმაოდ მარტივი ანალოგი.

2) დედუქციური სწავლება (პროცესი, რომლის დროსაც სწავლება მიმდინარეობს ზოგადიდან კონკრეტულისაკენ) გულისხმობს საექსპერტო ცოდნის ფორმალიზებას და მის გადაცემას კომპიუტერში ცოდნის ბაზის სახით.

დედუქციური სწავლება ჩვეულებრივ მიეკუთვნება საექსპერტო სისტემების სფეროს, ამიტომ ტერმინები მანქანური სწავლება და სწავლება ნიმუშებზე შეიძლება სინონიმად ჩაითვალოს. აღსანიშნავია რომ მრავალი ინდუქციური სწავლის მეთოდი შემუშავდა, როგორც კლასიკური სტატისტიკური მიდგომების ალტერნატივა. ბევრი მეთოდი მჭიდროდ არის დაკავშირებული ინფორმაციის მოპოვებასთან, ინფორმაციის მოძიებასთან და მონაცემთა მოპოვებასთან.

რაც შეეხება ღრმა სწავლება (DL) იგი არის მანქანური სწავლების მეთოდების ერთობლიობა (მასწავლებელთან, მასწავლებლის გარეშე, მასწავლებლის ნაწილობრივი ჩართულობით (ცოდნა განმტკიცებით), რომელიც დაფუძნებულია არა კონკრეტული ამოცანის ალგორითმებზე არამედ სასწავლო ნაკრების საფუძველზე.

ღრმა სწავლების მრავალი მეთოდი ცნობილი იყო ჯერ კიდევ 1980-იან წლებში, თუმცა შთამბეჭდავი შედეგები გამოჩნდა მას შემდეგ, რაც განხორციელდა წინსვლა ხელოვნური ნეირონული ქსელების თეორიაში და გაიზარდა კომპიუტერის გამოთვლითი სიმძლავრეები, რომლებიც უკვე საშუალებას იძლევა გადაიჭრას პრობლემების ფართო სპექტრი, მაგალითად, კომპიუტერული ხედვის, მანქანური თარგმანის, მეტყველების ამოცნობის და სხვა. მნიშვნელოვანია, რომ პრობლემის გადაწყვეტის ხარისხი ხშირ შემთხვევაში უკვე უტოლდება, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში აღემატება ადამიანის შესაძლებლობას [2].

როგორც მანქანურ ისე ღრმა სწავლება ეფუძნება სხვადასხვა არქიტექტურის მქონე ხელოვნური ნეირონული ქსელების გამოყენებას. ისინი შედგებიან მრავალი შრისაგან და პირობითად მათ ყოფენ შემავალ, ფარულ და გამომავალი შრეებზე.

სწავლების მიზნების მისაღწევად ნეირონულ ქსელს სჭირდება ე. წ. dataset-ი ანუ მონაცემთა ნაკრები, რომელიც პირველ რიგში უნდა მომზადდეს. ის წარმოადგენს მონაცემთა დამუშავებულ და სტრუქტურირებულ მასივს. მასში თითოეულ ობიექტს აქვს სპეციფიკური თვისებები: მახასიათებლები, ობიექტებს შორის კავშირი ან კონკრეტული ადგილი მონაცემთა ნაკრებში. იგი გამოიყენება მონაცემების საფუძველზე ჰიპოთეზების შესაქმნელად, დასკვნების გასაკეთებლად ან ნეირონული ქსელების მოსამზადებლად. პრიმიტიულად, მონაცემთა ნაკრები შეიძლება იყოს წარმოდგენილი, როგორც დაჯგუფება მახასიათებლების მიხედვით.

ნეირონული ქსელის სწავლების მიზანია მის გამოსასვლელზე მივიღოთ ქსელის შემავალი სიგნალების შესაბამისი სასურველი, ან სასურველთან მიახლოებული სიგნალების მნიშვნელობები. ამისათვის, კი საჭიროა იტერაციული პროცედურების განხორციელება შესაბამისი მიზნობრივი ფუნქციით. იტერაციის ყოველ ბიჯზე ხდება მიზნობრივი ფუნქციის გამოთვლა და შედარება წინა ბიჯზე მიღებულ შედეგთან. შედარების შედეგი განსაზღვრავს მომდევნო ბიჯზე შესასრულებელ მოქმედებებს. მას შემდეგ რაც, განხორციელებული იტერაციების შედეგად ნეირონული ქსელის გამოსასვლელზე მიღებულ იქნება შესაბამისი სასურველი, ან სასურველთან მიახლოებული მნიშვნელობები ითვლება, რომ ქსელი უკვე დასწავლილია.

### ძირითადი ნაწილი

ცხადია მანქანურმა სწავლებამ და ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიებმა არც ავიაციას აურა გვედი. განვითარებულ ქვეყნებში აქტიურად მიმდინარეობს ღრმა მანქანური სწავლებისა და ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიების დანერგვა როგორც სამხედრო საჰაერო ძალებში, ისე სამოქალაქო ავიაციაში. კერძოდ, აშშ-ის თავდაცვის სამინისტროს პერსპექტიული კვლევითი პროექტების სააგენტოს (DARPA) განცხადებით, მათ დაასრულეს საჰაერო ბრძოლების ტექნოლოგიების განვითარების პროგრამის (ACE) პირველი ფაზა, რომლის დროსაც ხელოვნურმა ინტელექტმა, მართავდა რა გამანადგურებელს F-16 ვირტუალურ ბრძოლაში დაამარცხა იმავე ტიპის გამანადგურებლის გამოცდილი პილოტი ანგარიშით 5:0. [3]

სამოქალაქო ავიაციაში ხელოვნური ინტელექტის დანერგვისათვის სხვადასხვა ქვეყნებში მიღებულია შესაბამისი დოკუმენტები. კერძოდ, ევროკავშირის საავიაციო უსაფრთხოების სააგენტომ EASA-მ, 2020 წლის თებერვალში გამოაქვეყნა თავისი ე. წ. საგზაო რუკა, რომელიც მთლიანად ეხება ხელოვნური ინტელექტის დანერგვას ავიაციაში. იმავე ორგანომ, 2021 წლის აპრილში გამოაქვეყნა პირველი მოქმედი სახელმძღვანელო „მანქანური სწავლების პირველი დონის პროგრამების გამოყენების თაობაზე“. ეს კონცეპტუალური დოკუმენტი საფუძველს უქმნის EASA-ს მომავალ ხელმძღვანელობას

დაამტკიცოს მანქანური სწავლების პროგრამები და სადაც საჭიროა შემდგომი კვლევების განხორციელება იმ ეფექტური და პრაქტიკული საშუალებების გამოსავლენად, რომელთა მიზანია დაამტკიცონ ხელოვნური ინტელექტის საიმედოობა [4].

აღნიშნული დოკუმენტის თანახმად, კვლევის შედეგები იქნება ანგარიშების ერთობლიობა, რომელიც განსაზღვრავს მეთოდებისა და ინსტრუმენტების ერთობლიობას შემდეგი სამი მნიშვნელოვანი თემის მოსაგვარებლად:

- მანქანური სწავლების მოდელის განზოგადების გარანტიები;
- "მონაცემების სისრულის" გარანტიები;
- ალგორითმისა და მოდელის საიმედოობის გარანტიები;

აუცილებელი მოთხოვნაა, რომ მინიმუმ ერთი რეალური მასშტაბის საავიაციო გამოყენების შემთხვევა უნდა შემუშავდეს პროექტთან ერთად, რათა დამტკიცდეს შემოთავაზებული მეთოდებისა და ინსტრუმენტების ეფექტურობა და გამოყენების შესაძლებლობა. გამოყენების ეს შემთხვევები უნდა განვითარდეს ტექნიკისა და პროგრამული უზრუნველყოფის გარემოში, რომელიც ხელმისაწვდომია დისტანციურად EASA-ს მიერ ან EASA-სთვის პროგრამული პაკეტების მიწოდებით.

პროექტზე მუშაობის სტრუქტურა ასე გამოიყურება:

- ამოცანა 1: მეთოდები და ინსტრუმენტები მონაცემთა ნაკრების სისრულისა და საიმედოობის შესაფასებლად (ტრენინგი, ვალიდაცია და ტესტირება) ML და DL მონაცემებზე დაყრდნობით;
- ამოცანა 2: ML და DL მოდელების გარანტიების რაოდენობრივი განსაზღვრის მეთოდები და ინსტრუმენტები;
- ამოცანა 3: ML ალგორითმის და მოდელის საიმედოობის/სტაბილურობის შემოწმების მეთოდები და ინსტრუმენტები;
- ამოცანა 4: კომუნიკაცია, გავრცელება, ცოდნის გაზიარება, დაინტერესებული მხარეების მართვა;
- ამოცანა 5: პროექტის მართვა;

ამჟამად, მიმდინარებს ავიაციის იმ მიმართულებების განსაზღვრა, სადაც გამოყენებული იქნება ხელოვნური ინტელექტი. ჩვენი აზრით, სამოქალაქო ავიაციაში ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება პირველ რიგში, განხორციელდება შემდეგში მიმართულებებით:

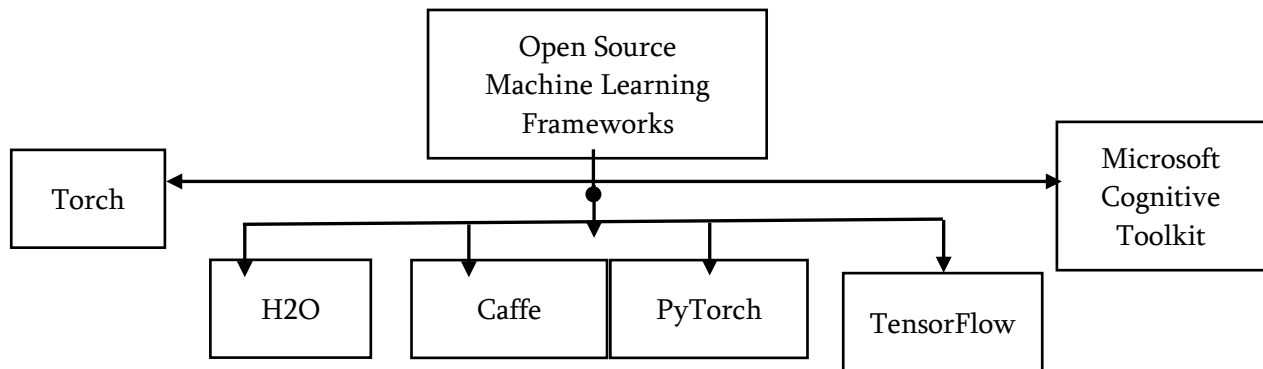
- ინფორმაციის დამუშავება და ანალიზი - ნებისმიერი ხელმისაწვდომი ინფორმაციის შეგროვება, დამუშავება და ანალიზი (აერონავიგაციის ინფორმაცია, მეტეოროლოგიური ინფორმაცია, სათვალთვალო სისტემების მონაცემები აეროდრომზე საჰაერო ხომალდის მოძრაობაზე და თვითმფრინავის მდებარეობაზე ფრენისას, გამგზავრების დაგვიანების მიზეზები, თვითმფრინავის სიჩქარე, საჰაერო მოძრაობის მეთვალყურეების განრიგი, თუნდაც მათი კვალიფიკაცია, უნარები და ა. შ.). მომავალში, ეს ისტორიული მონაცემები

შეიძლება გამოყენებულ იქნას ფრენის ორგანიზაციის პროცესების ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

- საჰაერო სივრცის სტრუქტურის ოპტიმიზაცია. პროგნოზირებადი ანალიტიკური მეთოდების გამოყენება შესაძლებელს გახდის შეიქმნას მოქნილი საჰაერო სივრცის სტრუქტურა სწორი სექტორიზაციით, რომელიც მაქსიმალურად მოერგება რეალური თვითმფრინავების ნაკადებს.
- გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერა უფრო მაღალ დონეზე, მეტი ფაქტორისა და წარსული წარმატებული გამოცდილების გათვალისწინებით.
- გამტარუნარიანობის გაზრდა ძირითადად საჰაერო მოძრაობის დისპეტჩერებზე დატვირთვის შემცირებით, რაც გამოწვეულია გადაწყვეტილების მიღების დროის შემცირებით და საჰაერო სივრცის სტრუქტურის ოპტიმიზაციით.
- ფრენის მარშრუტების ოპტიმიზაცია დეკლარირებული ბიზნეს-ტრაექტორიების შესაბამისად.
- თვითადაპტირებადი ადამიანი-მანქანის ინტერფეისი.
- საჰაერო სივრცის მართვის ფრაზეოლოგიისა და ტექნოლოგიის წესების დაცვის მონიტორინგი.
- ინტელექტუალური აპლიკაციები და სისტემები (მაგალითად, ხმოვანი/ტექსტური ბოტები მეტყველების და/ან ტექსტის ამოცნობის ტექნოლოგიით, სათვალთვალო და საკომუნიკაციო ინსტრუმენტებთან ერთად, ფრენის გეგმები, ნებართვები, მეტეოროლოგიური ინფორმაცია და ა.შ.). ბოლო პერიოდში, უპილოტო საჰაერო სისტემების (UAS) გავრცელებამ აქტუალური გახადა საჰაერო სივრცისა და აეროდრომების გამოყენების თემა, ვინაიდან პირველ რიგში თავიდან უნდა იყოს აცილებული თვითმფრინავსა და UAS-ის შეჯახება.

ცხადია, მანქანური სწავლებით სხვადასხვა საკითხების დანერგვით უკვე დაინტერესდნენ ავიაციის ინდუსტრიის ისეთი მსხვილი მოთამაშეები, როგორცაა Airbus-ი, Boeing-ი, American Airlines-ი, United Airlines-ი, Southwest Airlines-ი, Delta Airlines-ი და სხვები. ბუნებრივია, რომ აღნიშნული კომპანიები მუშაობას ამ მიმართულებით გააგრძელებენ საკუთარ სპეციალისტებთან ერთად, ხოლო მიღებულ შედეგებს დაიცავენ საავტორო უფლებებით, რის შემდეგაც მოხდება მათი გატანა ბაზარზე გასაყიდად.

მიუხედავად ამისა, ე. წ. სტარტაპერებსა და პატარა კომპანიებს კვლავ აქვთ შანსი ჩაერთონ როგორც მანქანურ, ისე ღრმა სწავლების ზოგიერთ მიმართულებაში და კონკურენცია გაუწიონ მსხვილ მოთამაშეებს. ამისათვის, მათ შეუძლიათ გამოიყენონ მანქანური სწავლების ღია პლატფორმები, რომლებიც ნაჩვენებია სურ. 1-ზე



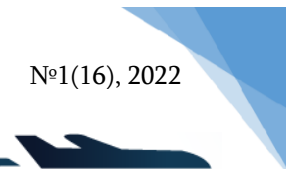
ნახ.1 მანქანური სწავლების ღია პლატფორმები

**Torch**-ი არის პროგრამირების ენა Lua-ს ღია კოდის ბიბლიოთეკა, რომელსაც გააჩნია დიდი რაოდენობით ალგორითმები ღრმა სწავლებისა და სამეცნიერო გამოთვლებისათვის. ბირთვი დაწერილია C-ზე, ხოლო გამოყენებითი ნაწილი შესრულებულია LuaJIT-ში, რომელიც უზრუნველყოფს გამოთვლების პარალელურ დათვლას CUDA-სა და OpenMP-ის საშუალებით. დიდ მასივებთან მუშაობის სტილი Matlab-ისა და Octave-ის მსგავსია და ამიტომ მას ზოგჯერ მოიხსენიებენ, როგორც „Matlab-ის მსგავს გარემოს მანქანური სწავლისთვის“[4]. Torch-ს იყენებენ Facebook-ის ხელოვნური ინტელექტის კვლევითი ჯგუფი, IBM-ი, Yandex-ი, Purdue, NVIDIA და Idiap-ის კვლევითი ინსტიტუტი.

**H2O** არის Java-ზე დაფუძნებული პროგრამული უზრუნველყოფა მონაცემთა მოდელირებისა და ზოგადი გამოთვლებისათვის. მისი ავტორები ცდილობენ შექმნან მანქანური სწავლების სწრაფი, მასშტაბირებადი და ღია პლატფორმა, რომელიც უზრუნველყოფს დიდი რაოდენობით მოდელის აგების პროცესის ავტომატიზაციას, რათა იპოვონ საუკეთესო მოდელი ყოველგვარი წინასწარი ცოდნის გარეშე.

**Caffe** (Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding): ის შეიქმნა Berkeley Vision and Learning Center-ში (BVLC). ეს არის ერთ-ერთი ყველაზე სწრაფი სისტემა DNN-ისთვის (ღრმა ნეირონული ქსელი) და შეუძლია დღეში 60 მილიონი სურათის დამუშავება მხოლოდ ერთი GPU-ს გამოყენებით. მოდელის ტრენინგისთვის Caffe იძლევა მარტივ კონფიგურაციას და GPU-სა და CPU-ს შორის გადართვას შესაძლებლობას. კომპანიები, როგორცაა Google და Pinterest, იყენებენ Caffe-ს კომპიუტერული ხედვის, მეტყველებისა და მულტიმედია შინაარსის ანალიზისთვის. Caffe გამოიყენება კონვოლუციური ნეირონული ქსელის (CNN) შესაქმნელად გამოსახულების კლასიფიკაციისთვის.

**PyTorch**: წარმოადგენს ობიექტზე ორიენტირებულ პროგრამას სადაც კოდის დაწერა შედარებით მარტივია შესაბამისი ფუნქციონალობის გამო. PyTorch გამოიყენება ისეთი კომპანიების მიერ, როგორცაა IBM-ი, Facebook-ი და Yandex-ი.



**Tensorflow:** ღია კოდის მანქანური სწავლების პროგრამული ბიბლიოთეკაა, რომელიც შემუშავებულია Google-ის მიერ, რათა გადაჭრას ხელოვნური ნეირონული ქსელის აგებისა და სწავლების პრობლემები, რათა ავტომატურად მოიძიოს და კლასიფიცირება გაუწიოს გამოსახულებებს, გამოიყენება Google-ის საკუთარი პროდუქტების კვლევისა და განვითარებისთვის. ბიბლიოთეკასთან მუშაობის მთავარი API დანერგილია Python-ისთვის, ასევე არის განხორციელებები პროგრამირების სხვა ენებზეც, კერძოდ, R-ზე, C Sharp-ზე, C ++ -ზე, Haskell-ზე, Java-ზე, Go-ზე და Swift-ისთვის.

**Microsoft Cognitive Toolkit:** (CNTK) არის სტანდარტიზებული ინსტრუმენტების ნაკრები სხვადასხვა სახის ხელოვნური ნეირონული ქსელების დაპროექტებისა და განვითარებისთვის, უზრუნველყოფს ხელოვნურ ინტელექტს დიდი რაოდენობით მონაცემებთან მუშაობისთვის ღრმა სწავლების გზით, იყენებს შიდა მეხსიერებას თვითნებური სიგრძის თანმიმდევრობის დასამუშავებლად. თავდაპირველად, იგი შეიქმნა ადამიანის ტვინის ნიმუშის შესასწავლად, ხოლო ახლა მისი გამოყენება შესაძლებელია ღრმა ნეირონული ქსელის (DNN), რეკურენტული ნეირონული ქსელების (RNN) და კონვოლუციური ნეირონული ქსელებისთვის (CNN). Microsoft Cognitive Toolkit ავითარებს მზარდ გაფართოებას, სიჩქარეს და სიზუსტეს კომერციული პროგრამების დონის ხარისხით. მას აქვს მკაფიო და მარტივი არქიტექტურა, რომელიც თავსებადია პოპულარულ ენებთან და ქსელებთან, როგორცაა C++ და Python.

ჩამოთვლილი პროგრამული უზრუნველყოფის შესაძლებლობები მოყვანილია ცხრილ 1-ში.

მანქანური სწავლების ბიბლიოთეკები	პროგრამული ენის მხარდაჭერა	მხარდამჭერი პლატფორმა	ავტორი	გამოყენება
TensorFlow	Python და C++	Windows, macOS და Linux	Google	ჭკვიანი პასუხები და კომპიუტერული ხედვა
Microsoft Cognitive Toolkit	Python, C++ და C#	Windows და Linux	Microsoft Research	ხელნაწერის, გამოსახულებები და ხმის ამოცნობა
Caffe	C, C++, Python და MATLAB	Ubuntu, MacOS და Windows	VBLC	სწავლების მოდელების შექმნა კლასიფიკაციისათვის
H2O	Java და Python	Windows და Linux	H2O	უზრუნველყოფს მანქანური სწავლების მოდელებს შექმნის.
Torch	Lua	Linux, Android, MacOS, iOS და Windows	რონანი, კლემენტი, კორაი და სუმიტი	მონაცემთა ნაკადებისთვის ტექნიკური

				პრობლემების გამოვლენა და გადაჭრა
PyTorch	Python	Linux, Android, MacOS, iOS და Windows	რონანი, კლემენტი, კორაი და სუმიტი	სწავლა მასწავლებლის ნაწილობრივი ჩართულობით და დიდი მოდელების შექმნის შესაძლებლობა.

ცხრილი 1. ღია კოდის მანქანური სწავლების ბიბლიოთეკების შედარებითი ცხრილი

მიგვაჩნია, რომ აღნიშნული ბიბლიოთეკების გამოყენება შესაძლებელია როგორც ცალკეული უპილოტო საფრენი აპარატისა და მათი სისტემების ავტონომიური ფრენის ალგორითმების შესაქმნელად, ისე თვითმფრინავის სხვადასხვა აგრეგატებისა თუ კვანძების საექსპლუატაციო მაჩვენებლების შესამოწმებლად.

ჩვენი აზრით, ამ ორივე მიმართულების გაერთიანება შესაძლებელია ვირტუალური სტენდის შექმნით, რომელიც უნდა იყოს გადაწყობადი კონკრეტული ამოცანებიდან გამომდინარე. სტენდი უნდა იძლეოდეს შესაძლებლობას გააგზავნოს ბრძანებები სატესტო გარემოში, ასევე მიიღოს მისგან პასუხები როგორც ამ ბრძანებებზე, ისე დასამუშავებელი ინფორმაცია არსებული სენსორებიდან, რომლებიც შეიძლება იყოს ან რეალური ან პროგრამული ან მათი კომბინაცია.

სტენდი უნდა შეიცავდეს 4 (ოთხი) პროგრამულ მოდულს: ბრძანებების, მომხმარებლის გრაფიკული ინტერფეისის (GUI), გარემოსა და სპეციალური შუამავალი პროგრამული მოდული, რომელიც კონკრეტულ ბრძანებებსა თუ სერვისებზე იქნება ორიენტირებული.

### ბრძანების მოდული

ბრძანების მოდული პასუხისმგებელი უნდა იყოს გადაწყვეტილების მიღებაზე მისიის მიზნებისა და გარემოდან მიღებული ცოდნის საფუძველზე. აქ მანქანური სწავლების მეთოდების გამოყენებით განხორციელებული უნდა იყოს შესაბამისი ინტელექტი, რომელიც საშუალებას მისცემს სხვადასხვა დანიშნულების პროგრამულ აგენტებს (ცალკეული პროგრამული ობიექტები) თუ ალგორითმებს იმუშაონ როგორც დამოუკიდებლად, ისე გუნდურად. ამავე ბლოკში, უნდა ხდებოდეს რეალური სენსორებიდან მიღებული ინფორმაციის დამუშავება და ანალიზი.

### მომხმარებლის გრაფიკული ინტერფეისის (GUI) მოდული

GUI მოდული საშუალებას უნდა იძლეოდეს მომხმარებელს მონიტორზე ჰქონდეს



ადვილად გასაგები ინტერფეისი შესაბამისი ინდიკატორებით და ბრძანებების ღილაკებით. ამ მოდულის განსაკუთრებული დანიშნულებაა შესაძლებლობა მისცეს მომხმარებელს აირჩიოს სამუშაო გარემოს გამოყენება, იმის მიხედვით სტენდზე მიმდინარეობს სიმულაცია თუ რეალურ მოწყობილობასთან მუშაობა. ამ მოდულის მთავარი მიზანია გახადოს სატესტო გარემოს არჩევანი გამჭვირვალე მიმდინარე სიმულაციის დროს. გარდა ამისა, მოდულმა უნდა უზრუნველყოფს GUI-ს მრავალი სხვა ადმინისტრაციული ფუნქციების განხორციელება, მაგალითად, რეალურ მოწყობილობებთან მუშაობისას არ უნდა დაუშვას მათი გადასვლა მუშაობის კრიტიკულ რეჟიმებზე. ის ასევე, უნდა შეიცავდეს სიმულაციის ან ტესტირების ჟურნალის ფანჯარას, სადაც შესაძლებელი იქნება ოპერატორის ან სისტემის მიერ განხორციელებული ქმედებების დათვალიერება და ამ ქმედებების შედეგების ნახვა.

### **გარემოს მოდული**

ბრძანების მოდულს უნდა ჰქონდეს საშუალება გააკონტროლოს კონკრეტული სატესტო გარემო - იქნება ეს სიმულაცია თუ რეალური მოწყობილობის ტესტირება. ამიტომაც ამ მოდულს უნდა ჰქონდეს ორი ძირითადი დამოუკიდებელი გარემო: სიმულატორი და რეალური, რომლებსაც თავის მხრივ შეიძლება ჰქონდეს რამდენიმე ე. წ. ქვეგარემო სატესტო ამოცანებიდან გამომდინარე. სასურველია თუ ამ მოდულს ექნება საშუალება სატესტო გარემოს გადაწყობის ან ახალი კონფიგურაციის შექმნის შესაძლებლობა.

### **სპეციალური შუამავალი პროგრამული მოდული**

GUI მოდულსა და გარემოს მოდულებს შორის სრულფასოვანი კომუნიკაციის დასამყარებლად საჭიროა სპეციალური შუამავალი პროგრამული მოდულის არსებობა, რომელიც უზრუნველყოფს ფიზიკური მოწყობილობების სტენდთან მიერთებას შესაბამისი საკომუნიკაციო ოქმების თანახმად (რეალური მოწყობილობის ტესტირებისას) ან სერვისზე ორიენტირებული არქიტექტურის (SOA) გამოყენებას (სიმულაციის დროს) და მათგან მიღებული ინფორმაციის ასახვას GUI მოდულში არსებულ მონიტორებზე.

### **დასკვნა**

საავიაციო ინდუსტრიაში აქტიურად მიმდინარეობს ხელოვნური ინტელექტის დანერგვის პროცესი, სადაც მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ დარგში არსებული მსხვილი მოთამაშეები, რომლებიც დარგის სპეციფიკიდან გამომდინარე და ფრენის უსაფრთხოების საკითხების გათვალისწინებით არ აძლევენ საშუალებას პატარა კომპანიებს ჩაერთონ აღნიშნულ პროცესში. სტატიაში განხილული ვირტუალური სტენდის კონცეფცია, რომლის რეალიზება შესაძლებელია უფასო პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით როგორც ლოკალურ სერვერზე, ისე ინტერნეტში