

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

პროექტი №55

დასკვნითი სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში

პროექტის დასახელება:

უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებების ავტონომიური პლატფორმების
დაცვა ქვანტური კრიპტოგრაფიის გამოყენებით

საანგარიშო პერიოდის ვადები 01.10.2013 – 30.06.2014

პროექტის ხელმძღვანელი,

ასოც. პროფ.

თამარ ბერბერაშვილი

თბილისი

2014 წ.

შესავალი

1. პრობლემის არსი და აქტუალობა

მართვის თეორიისა და სისტემების, ელექტრონიკის, პლატფორმოტექნიკის, კომპიუტერული თუ საინფორმაციო ტექნოლოგიების და აგრეთვე, თანამედროვე ხელოვნური ინტელექტის თეორიის განვითარებამ უზრუნველყო სატრანსპორტო საშუალებათა ახალი კლასის დაბადება, როგორცაა უპილოტო სატრანსპორტო სისტემები (Unmanned Vehicle systems), რომელიც გამოყენების სფეროების მიხედვით იყოფა საჰაერო, მიწისზედა და წყალქვეშა უპილოტო ტრანსპორტად. ისინი იქმნება ავტონომიური პლატფორმების ჯგუფის სახით საგანგებო და ექსტრემალურ სიტუაციებში სხვადასხვა ოპერაციათა მხარდაჭერისათვის. სამხედრო დანიშნულების საჰაერო, მიწისზედა თუ ჰიბრიდული უპილოტო ტრანსპორტი უმეტესწილად წარმოადგენს ავტონომიურ მართვად კომპლექსურ სატრანსპორტო ისეთ საშუალებებს, რომელთა ერთერთი უმთავრესი დანიშნულება არის ჯარისკაცების ნაცვლად სამხედრო დანიშნულების ამოცანების შესრულება, ადამიანების მიერ დაშვებული შეცდომების მინიმიზაციისა და აგრეთვე ადამიანური რესურსების უსაფრთხოების დაცვის თვალსაზრისით. უპილოტო სატრანსპორტო სისტემების გამოყენება სხვადასხვა მრავალჯერადი დავალების შესრულებასთან მიმართებით კოოპერაციის, კოორდინაციისა და მოქნილი კოლაბორაციის საშუალებას იძლევა.

მიუხედავად იმისა, რომ საკმაოდ განვითარებულია მრავალმიზნობრივი უპილოტო სატრანსპორტო სისტემების წარმოება, მათი ექსპლუატაციის ერთერთ ნაკლოვან მხარედ შეიძლება ჩაითვალოს უსაფრთხოების უზრუნველყოფის პრობლემა, მეტადრე მტრულ გარემოში, როდესაც ხდება ფიზიკური თუ ინფორმაციული შეტევების განხორციელება, რომლის მიზანია შეაღწიოს საიდუმლო ინფორმაციასთან, მწყობრიდან გამოიყვანოს სენსორული ფუნქციები, მიზნობრივად ამოიღონ არსებული ან ჩასვან ყალბი ინფორმაცია ავტონომიურ უპილოტო პლატფორმებში, შედეგად გადაამისამართონ ან შეცვალონ მათი ტრაექტორია და მოქმედების ვექტორი. სწორედ ამით არის განპირობებული მოცემული პრობლემის აქტუალობა, რომლის გადაწყვეტისათვის აუცილებელი იყო პროექტის

ფარგლებში შექმნილიყო უპილოტო სატრანსპორტო სისტემისათვის ელექტრონული თავდასხმებისა და საფრთხეების საწინააღმდეგო უსაფრთხოების მდგრადი სისტემა.

2. პრობლემის გადაწყვეტის არსებული მეთოდების ანალიზი

პროექტის კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა ჩაშენებული ავტონომიური უპილოტო პლატფორმები (Unmanned Platforms) და მათი უსადენო ქსელები (Wireless Networks).

ლიტერატურულ წყაროებში ფართოდ არის განხილული ჩასმული პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენების ასპექტები უსადენო ქსელების არხების პოტენციური სუსტი ადგილების შემცირების მიზნით [1-4]. ავტონომიურ უპილოტო პლატფორმებზე კრიპტოგრაფიული შეტევებთან ბრძოლის მეთოდები, რომლებიც ეფუძნება ჩაშენებული ავტონომიური უპილოტო პლატფორმებისა და სენსორული სისტემების რესურსების შეფასებას, აღწერილია [5;6]. კვლევის განსხვავებულ თემას წარმოადგენს პოზიციონირების გლობალური სისტემის (GPS) იმიტაცია, რომელიც საჭაერო უპილოტო სატრანსპორტო პლატფორმის ნავიგაციის მოდელირებას ახორციელებს [7].

უპილოტო პლატფორმების განაწილებული მართვის სისტემების უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად შექმნილია სტანდარტული პროგრამული უზრუნველყოფა და კრიპტოგრაფიული ოქმები, რომლებიც საკმაოდ გავრცელებულია ინტერნეტისა და მობილური კავშირგაბმულობის სისტემებში. მიუხედავად ამისა, უპილოტო პლატფორმების უსაფრთხოება ჯეროვნად ვერ აკმაყოფილებს თანამედროვე მოთხოვნებს. ამის ერთერთ უპირველეს მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ პარალელურად ვითარდება კიბერ-შეტევების ტექნოლოგიებიც.

3. პროექტის ძირითადი მიზნები და პრობლემის შემოთავაზებული გადაწყვეტა

დღის წესრიგში დგება უსაფრთხოების უფრო თანამედროვე, მაღალტექნოლოგიური სისტემების შემუშავების საკითხი, რომელსაც წინ უნდა უსწრებდეს შესაბამისი კვლევითი

სამუშაოების შესრულება, რომლის გარკვეული ნაწილი წარმოდგენილი პროექტის კვლევის საგანს შეადგენდა.

პროექტის მთავარ მიზანს შეადგენდა უპილოტო პლატფორმების განაწილებული მართვის სისტემების უსაფრთხოების ახალი მიდგომების შემუშავება უპილოტო ტრანსპორტის სისტემის ადაპტური მართვის, განუსაზღვრელ პირობებში ნავიგაციის, საგანგებო სიტუაციებში სამაშველო თუ სხვა ოპერაციათა მხარდაჭერის, ასევე აგრესიულ თუ მტრულ გარემოში სამხედრო ამოცანების წარმატებით შესრულების თვალსაზრისით. მოცემული პროექტის ფარგლებში გამოიკვეთა შემდეგი ძირითადი ამოცანები:

1. სენსორებისა და მიკროკონტროლერების სისტემის უსადენო ქსელის კიბერ-შეტევების წინააღმდეგ უპილოტო პლატფორმების კოლექტიური დაცვის მოდელის აგება.
2. ქვანტური კრიპტოგრაფიის მეთოდების გამოყენება უსადენო ქსელის დაცვის ამოცანების გადაწყვეტისათვის, კერძოდ, შეტევის შედეგად გამოწვეული შეცდომის აღმოჩენა ან გაზომვა. მოცემულ შემთხვევაში აქტუალური იყო „სახეთა შეცნობის“ ამოცანისადმი ქვანტური მექანიკის პრინციპების მისადაგება.
3. ქვანტური გამოთვლების ჩატარება მიზნად ისახავდა სუპერპოზიციის თვისების გამოყენებას ვარიაციების გამოთვლაში, რომელსაც ადგილი აქვს უპილოტო პლატფორმების ერთობლივი ანუ კოლექტიური უსაფრთხოების დაცვის პროცესში. დეცენტრალიზებული კოლექტივის მართვის სტრატეგიის შემთხვევებში, თითოეული პლატფორმა მარტო განსაზღვრავს თავის საკუთარი მართვის ვექტორს, თავის საკუთარი პოზიციის, გარემოს მდგომარეობისა და სხვა დანარჩენი პლატფორმების ქმედებათა მართვის გათვალისწინებით, ისე რომ ერთობლიობაში პლატფორმების გუნდი კოოპერატიულად იღებს გადაწყვეტილებას.

ადაპტური მართვის მეთოდების გამოყენებით უპილოტო მანქანების მართვის ტექნოლოგია, და უსაფრთხოების სისტემები მომავალში უფრო მაღალი ხარისხის იქნება. ადაპტური მართვა აუმჯობესებს მათ მუშაობას და აწესრიგებს კონტროლის სისტემური პარამეტრებს როგორც ონლაინ გაზომვების ფუნქციას.

ადაპტური მართვის თეორიის სფეროში ინტენსიურმა კვლევებმა მოგვცა სტაბილური ადაპტური სისტემების დიზაინი, ანალიზი და სინთეზის საშუალება. ჩვენ ახლა ვართ ეტაპზე, როცა მოძრაობის ადაპტური კონტროლის სისტემებმა მიაღწიეს საჭირო დონეს ტექნიკური პლატფორმების მართვაში მათი გამოყენებისათვის. მაგალითად, უპილოტო საჰაერო სისტემები უზრუნველყოფს უნიკალურ შესაძლებლობას ადაპტური კონტროლერების თეორიიდან პრაქტიკაში გადასვლისათვის. ახალი ადაპტური კონტროლერის დიზაინი განვითარებამ შესაძლებელი გახადა დამლეული ყოფილიყო უპილოტო საჰაერო სისტემების მუშაობის შეზღუდვები და ჰმათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანი კომუნიკაციის დროის დიდი დაყოვნება შეზღუდული საბორტო გადამუშავების გამო. ასევე განვითარდა ანალიტიკური ინსტრუმენტები, რომელიც თეორიულად გამართლებული დროის დაგვიანების ლიმიტის გაანგარიშების საშუალებას იძლევა. ეს ინსტრუმენტები, თავის მხრივ, გამოიწვევს დახურული მარყუჟის სისტემის დროის დაგვიანების შეფასებას, რომელიც ინტელექტუალური კონტროლის სისტემების მეთოდოლოგიის განუყოფელი ნაწილია. ეს მიდგომები რიცხობრივად გადამოწმდა მთელი რიგი სიმულაციური კვლევების გამოყენებით. დამუშავებული კონტროლერები და ანალიტიკური მეთოდები შემდეგ გამოყენებულ იქნა უპილოტო საჰაერო სისტემებში, სადაც დაგვიანების გაზრდილი დროის მიუხედავად გაუმჯობესებული მუშაობის დემონსტრირებას ახდენს.

პროექტის შესრულებლები არიან საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ფიზიკის დეპარტამენტის თანამშრომლები და ამავე დეპარტამენტის დოქტორანტი.

დამუშავებული სისტემა გამოყენებული იქნება პროექტში N609534 აღმოსავლეთის პარტნიორობის ქვეყნებთან თანამშრომლობის გაძლიერება ინკლუზიურსა და დაცულ საზოგადოებებს შორის მეცნიერებისა და ინოვაციების დარგში (ევროკავშირი).

ლიტერატურა

1. D. K. Nilsson, U. E. Larson. "Secure Firmware Updates over the Air in Intelligent Vehicles." Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, May 2008.
2. U. E. Larson, D. K. Nilsson. "Securing vehicles against cyber attacks." Proceedings of the 4th annual workshop on Cyber security and information intelligence research: developing strategies to meet the cyber security and information intelligence challenges ahead, 2008.
3. P. Kervalishvili, M. Khachidze, G. Besiashvili, M. Archuadze. Fuzzy ranking algorithms in search information systems. eRA-6 - The Synenergy Forum, International scientific conference, Piraeus, Greece 19-24 September, 2011.
4. P. Kervalishvili, B. Meparishvili, G. Janelidze. Adaptive control of mobile information system. NATO Science series, IOS press, v.93, 2012, 100-108.
5. Aurelien Francillon, Boris Danev, and Srdjan Capkun. "Relay Attacks on Passive Keyless Entry and Start Systems in Modern Cars." Cryptology ePrint Archive, Report 2010/332, Proceedings of NDSS (Network and Distributed System Security Symposium), 2011.
6. Dennis K. Nilsson, Phu H. Phung, Ulf E. Larson. "Vehicle ECU classification based on safety-security characteristics." Road Transport Information and Control - RTIC 2008 and ITS United Kingdom Members' Conference, IET , vol., no., pp.1-7, 20-22 May 2008
7. Melissa Mixon. "Todd Humphreys' Research Team Demonstrates First Successful GPS Spoofing of UAV." University of Texas at Austin. [Online]: <http://www.ae>.

თავი 1. პროექტის დახასიათება

1.1 ინფორმაცია პროექტის შესახებ

პროექტი განხორციელდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ფიზიკის დეპარტამენტის თანამშრომლების მიერ.

პროექტის უშუალო შემსრულებლები არიან:

1. თამარ ბერბერაშვილი - პროექტის ხელმძღვანელი, ფიზიკა-მათემატიკის კმეცნიერებათა კანდიდატი, ასოცირებული პროფესორი.
2. თეიმურაზ დადიანი - პროექტის მენეჯერი, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, ასოცირებული პროფესორი.
3. მაია ჟღენტი - დოქტორანტი, ფიზიკის დეპარტამენტის სასწავლო-სამეცნიერო ლაბორატორიის ლაბორანტი

პროექტის ხანგრძლივობა იყო 9 თვე, პროექტი დაიწყო 2013 წლის 1 ოქტომბრიდან და დასრულდა 2014 წლის 30 ივნისს.

1.2. პროექტის მიზანი

პროექტის მთავარ მიზანს შეადგენს უპილოტო პლატფორმების განაწილებული მართვის სისტემების უსაფრთხოების ახალი მიდგომების შემუშავება უპილოტო ტრანსპორტის სისტემის ადაპტური მართვის, განუსაზღვრელ პირობებში ნავიგაციის, საგანგებო სიტუაციებში სამაშველო თუ სხვა ოპერაციათა მხარდაჭერის, ასევე აგრესიულ თუ მტრულ გარემოში სამხედრო ამოცანების წარმატებით შესრულების თვალსაზრისით. მოცემული პროექტის ფარგლებში იკვეთება შემდეგი ძირითადი ამოცანები:

1. სენსორებისა და მიკროკონტროლერების სისტემის უსადენო ქსელის კიბერ-შეტევების წინააღმდეგ უპილოტო პლატფორმების კოლექტიური დაცვის მოდელის აგება.
2. ქვანტური კრიპტოგრაფიის მეთოდების გამოყენება უსადენო ქსელის დაცვის ამოცანების გადაწყვეტისათვის.

3. ქვანტური გამოთვლების ჩატარება, რომელიც მიზნად ისახავს სუპერპოზიციის თვისების გამოყენებას ვარიაციების გამოთვლაში, რომელსაც ადგილი აქვს უპილოტო პლატფორმების ერთობლივი ანუ კოლექტიური უსაფრთხოების დაცვის პროცესში.

1.3. საქმიანობის აღწერა კვარტალურად

სამუშაო პერიოდის (01.10.2013 – 30.06.2014) თითოეულ კვარტალში დაგეგმილი იყო შესრულებულიყო შემდეგი სამუშაოები:

1. პროექტის ინფორმაციული უზრუნველყოფა - ლიტერატურული და საპატენტო მასალების მოძიება უპილოტო სატრანსპორტო სისტემების ადაპტური მართვის, სენსორებისა და ტრანსდიუსერების უსადენო ქსელებისა და მათი დაცვის სისტემების, მათ შორის ქვანტური სისტემების (ჰარდი და სოფტი) შესახებ (01.10.2013 – 31.12.2013).
2. უპილოტო სატრანსპორტო სისტემების ადაპტური მართვის მეთოდების ანალიზი და შესაბამისი სიმულაციური ექსპერიმენტების ჩატარება მართვის ეფექტური მოდელის შესაქმნელად (01.01.2014 – 31.03.2014).
3. უპილოტო პლატფორმების მართვის სენსორული და ტრანსდიუსერული სისტემების დაცვის მეთოდების სიმულაცია და მათი ქსელების კოლექტიური უსაფრთხოების ეფექტური მოდელის აგება (01.04.2014 – 30.06.2014).

პროექტის შესრულების პროცესში არ დაგეგმილია შესასრულებელ სამუშაოთა წინასწარ დაგეგმილი ვადების კორექტირება.

1.4. პროექტის ბიუჯეტი და ფინანსური ინფორმაცია

სულ პროექტის ფინანსირების მოცულობა იყო 12,0 ათასი ლარი. პროექტის საერთო ხარჯთაღრიცხვა დაგეგმილი იყო კვარტალების მიხედვით, ისე როგორც წარმოდგენილია დანართ 1-ზე. პროექტის შესრულების პროცესში ბიუჯეტის კორექტირება არ განხორციელებულა: პერსონალის შრომის ანაზღაურება გაწერილი გრაფიკის მიხედვით სრულადაა ათვისებული, ასევე სრულადაა ათვისებული კაპიტალური ხარჯები და სხვა საქონელსა და მომსახურებაზე განკუთვნილი ხარჯები.

გრანტის სახსრებით შეძენილი მცირეფასიანი საგნებისა და ძირითადი საშუალებების
ნუსხა:

1. პერსონალური კომპიუტერი - 1 ცალი;
2. ტაბლეტი - 3 ცალი;
3. კომბინირებული საბეჭდი მოწყობილობა - 1 ცალი;
4. ქაღალდი A4 - 17 ცალი;
5. Cartridge Alignment: PGI-425PGBK, CLI-426BK, CLI-426C, CLI-426M, CLI-426Y – 1
კომპლექტი.

დანართი 1

პროექტი №55 „უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებების ავტონომიური პლატფორმების დაცვა ქვანტური კრიპტოგრაფიის გამოყენებით“

ხარჯთაღრიცხვა

(ლარი)

№	ეკონომიკური კლასიფიკაციის მუხლები	კოდი	პროექტის ბიუჯეტი სულ	მათ შორის	
				2013 წ.	2014 წ.
	სულ ასიგნება		12000	7140	4860
	ხარჯები		8000	3140	4860
	მათ შორის:				
1	შრომის ანაზღაურება	21			
2	საქონელი და მომსახურება	22	8000	3140	4860
I	შტატგარეშე მომუშავეთა ანაზღაურება	221	7290	2430	4860
II	წივლინებები	222			
III	ოფისის ხარჯები	223	710	710	0
	საკანცელარიო, საწერ-საბაზავი ქაღალდის, საბუღალტრო ბლანკების, ბიოლოგიების, საანალიზური წიგნების და სხვა ანალიზური მასალების მცირეფასიანი საოფისე ტექნიკის, საოფისე ინვენტარის შეძენა, დამონტაჟების / დემონტაჟის ხარჯი	2231-2235	100	100	
IV	წარმომადგენლობითი ხარჯები	224	610	610	
VI	სამედიცინო ხარჯები	226			
VII	რბილი ინვენტარისა და უნიფორმის შეძენის და პირად ჰიგიენასთან დაკავშირებული ხარჯები	227			
VIII	ტრანსპორტის, ტექნიკისა და იარაღის ექსპლუატაციისა და მოვლა-შინაზის ხარჯები	228			
IX	სხვა დანარჩენი საქონელი და მომსახურება	2210	0	0	0
3	სუბსიდიები	25			
4	სოციალური უზრუნველყოფა	27			
5	სხვა ხარჯები	28			
1	არაფინანსური აქტივების ზრდა	31	4000	4000	0
I	ძირითადი აქტივები	311	4000	4000	0
	მანქანა-დანადგარები და ინვენტარი	3112	4000	4000	0
	სხვა მანქანა-დანადგარები და ინვენტარი	31122	4000	4000	0
	კომპიუტერული მოწყობილობების შეძენა	311223	4000	4000	
	სხვა ძირითადი აქტივები	3113			
	არამატერიალური ძირითადი აქტივები	31132			
II	მატერიალური მარაგები	312			
III	არაწარმოებული აქტივები	314			
2	ფინანსური აქტივები	32			
3	ვადდებადები (საშინაო)	33			

პროექტის ხელმძღვანელი:

თამარ ბერბერაშვილი



თავი 2. პროექტის შესრულების სამეცნიერო-ტექნიკური შედეგები

2.1. უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებები და მათი კიბერ დაცვის სისტემები

მიღებული განმარტების მიხედვით უპილოტო სატრანსპორტო საშუალება წარმოადგენს სატრანსპორტო ერთეულს, რომელიც იმართება ან გარეშე მართვის სისტემით ან ავტონომურად თავისი სენსორულ-სანავიგაციო სისტემით.

უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებები მოიცავენ:

- უპილოტო სახმელეთო სატრანსპორტო საშუალებებს - ავტონომური ავტომობილები (UGV);
- უპილიტო საჰაერო სატრანსპორტო საშუალებებს (UAV) ცნობილებს "drone"-ის სახელით;
- უპილიტო სამხედრო საჰაერო სატრანსპორტო საშუალებებს;
- უპილიტო სატრანსპორტო საშუალებებს წყლის ზედაპირზე ფუნქციონირებისათვის (USV);
- უპილიტო სატრანსპორტო საშუალებებს წყალქვეშა ოპერაციებისათვის (AUV ან UUV);
- უპილოტო კოსმოსური აპარატებს - გარეგანი მართვის ("unmanned space mission") და ავტონომური მართვის ("robotic spacecraft" ან "space probe").



ნახ. 1. უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებების სახეები.

უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებების შექმნის, ისევე როგორც მათი მართვის ტექნოლოგიები მრავალმხრივია და ძირითად დამოკიდებულია უპილოტო სატრანსპორტო საშუალების გამოყენების ამოცანებზე. მაგალითად, სენსორული სისტემები, რომლებიც სიგნალების მიღებასა და დამუშავებას ახორციელებენ დასმული ამოცანის მიხედვით შეიძლება ემყარებოდეს დვს - დამოუკიდებელი პოზიციონირების სქემას, ტუნელური მონიტორინგის მეთოდს, ჰიბრიდული მონიტორინგის სისტემას, ლაზერულ სენსინგს და სხვა.

ბოლო წლებში განსაკუთრებით დიდი ყურადღება ექცევა უპილოტო, და განსაკუთრებით კი ავტონომური სატრანსპორტო საშუალების მართვის სისტემის დაცვას გარეგანი კიბერ ზეგავლენისაგან. ამ მიმართებით ჩატარებული სამეცნიერო-ტექნოლოგიური სამუშაოები ეძღვნება ინფორმაციული ქსელის უსფრთხოებას, ინფორმაციული შეჭრის დეტექტირებას, გაყენებული პროგრამული პროდუქტების მდგრადობას. აქტიური კვლევები მიმდინარეობს ამ ამოცანის ქვედა დონეზე: ჩიპების დაცვა, ინფორმაციის გაჟონვა, ინფორმაციის ყიდვა, რევერს ინჟინირინგი, პერსონალის მდგრადობა და ერთგულება. ამის გარდა, მეტად მნიშვნელოვანია შემდეგი დონეც, ანუ სხვსდასხვა გამოყენებული ხელსაწყოების მონაცემთა დაცულობა, კომლექსური ქსელური სისტემების მდგრადობა და სიმყარე, ასევე ჩაშენებული სენსორული ხელსაწყოების ხარისხი და უსადენო კავშირის სიზუსტე.

უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებების მართვის მდგრადობისათვის უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება სენსორული სისტემებისა და ქსელების ინფორმაციულ დაცულობას. ბოლო შრომებში, რომელთა მხოლოდ ნაწილი ქვეყნდება ლიტერატურაში (იხ. ქვემოთ) და ასევე ჩვენს პროექტი განსაკუთრებული ყურადღება მიმართულია სხვადასხვა კიბერ შეტევების მოდელირებისაკენ და შესაბამისი სიმულაციური მეთოდების შექმნისაკენ, მათ შორის მონაცემების კოდირებაში ქვანტური მეთოდების (ალგორითმების) გამოყენებით.

უფრო დეტალურად, ავტონომური სატრანსპორტო საშუალებების მართვის სისტემების კიბერ უსაფრთხოების ამოცანები მოითხოვს სიმულაციური ექსპერიმენტების ჩატარებას

ლოგიკური და კრიპტოგრაფიული სისტემების პარამეტრების მდგარადობის უზრუნველყოფის გზების დასადგენად, რაც ასევე გულისხმობს ფალსიფიცირებული სიგნალების (მონაცემების) გაფილტვრას სენსორებისა და ტრანსდიუსერების ქსელში და საკომუნიკაციო სისტემაში.



ნახ.2. უპილოტო სახმელეთო სატრანსპორტო საშუალება (UGV), რომელიც მოიცავს სენსორებს, მიკროპროცესორებს და საკომუნიკაციო მოწყობილობებს.

ასეთი სამეცნიერო-ტექნოლოგიური საკითხების გადაწყვეტა წარმოადგენს აუცილებელ ბაზას UGV და UAV ავტონომიური პლატფორმების კიბერ უსაფრთხოების ხარისხის ასამაღლებლად.

ლიტერატურა

- W. Wayt Gibbs. "Innovations from a Robot Rally." Scientific American, January 2006, Vol. 294, Issue 1.
- Larry Greenemeier. "Robots Prepare for the Battlefield by First Fighting City Traffic." Scientific American, November 2007, Vol. 295, Issue 11.

- Erico Guizzo. "How Google's Self-Driving Car Works." IEEE Spectrum, 18 October 2011. [ONLINE]: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/how-google-self-driving-car-works>
- Karl Koscher, Alexei Czeskis, Franziska Roesner, Shwetak Patel, Tadayoshi Kohno, Stephen Checkoway, Damon McCoy, Brian Kantor, Danny Anderson, Hovav Shacham, Stefan Savage. "Experimental Security Analysis of a Modern Automobile." Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy, 2010.
- Paul Kocher, Ruby Lee, Gary McGraw, Anand Raghunathan, Srivaths Ravi, "Security as a New Dimension in Embedded System Design," Design Automation Conference, pp. 753-760, Design Automation Conference, 41st Conference on (DAC'04), 2004
- D. K. Nilsson, U. E. Larson. "Secure Firmware Updates over the Air in Intelligent Vehicles." Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, May 2008.
- D. K. Nilsson, U. E. Larson. "Conducting forensic investigations of cyber attacks on automobile in-vehicle networks." Proceedings of the 1st international conference on Forensic applications and techniques in telecommunications, information, and multimedia and workshop, 2008.
- Dennis K. Nilsson, Phu H. Phung, Ulf E. Larson. "Vehicle ECU classification based on safety-security characteristics." Road Transport Information and Control - RTIC 2008 and ITS United Kingdom Members' Conference, IET, vol., no., pp.1-7, 20-22 May 2008.
- U. E. Larson, D. K. Nilsson. "Securing vehicles against cyber attacks." Proceedings of the 4th annual workshop on Cyber security and information intelligence research: developing strategies to meet the cyber security and information intelligence challenges ahead, 2008.
- Aurelien Francillon, Boris Danev, and Srdjan Capkun. "Relay Attacks on Passive Keyless Entry and Start Systems in Modern Cars." Cryptology ePrint Archive, Report 2010/332, Proceedings of NDSS (Network and Distributed System Security Symposium), 2011.
- Melissa Mixon. "Todd Humphreys' Research Team Demonstrates First Successful GPS Spoofing of UAV." University of Texas at Austin. [Online]: <http://www.ae.utexas.edu/news/archive/2012/todd-humphreys-research-team-demonstrates-first-successful-gps-spoofing-of-uav>

2.2. უპილოტო სატრანსპორტო სისტემის ადაპტური მართვის მეთოდების ანალიზი და შესაბამისი სიმულაციური ექსპერიმენტების ჩატარება მართვის ეფექტური მოდელის შესაქმნელად

ადაპტური მართვის მეთოდების გამოყენებით უპილოტო მანქანების მართვის ტექნოლოგია, და უსაფრთხოების სისტემები მომავალში უფრო მაღალი ხარისხის იქნება. ადაპტური მართვა აუმჯობესებს მათ მუშაობას და აწესრიგებს კონტროლის სისტემური პარამეტრებს როგორც ონლაინ გაზომვების ფუნქციას.

ადაპტური მართვის თეორიის სფეროში ინტენსიურმა კვლევებმა მოგვცა სტაბილური ადაპტური სისტემების დიზაინი, ანალიზი და სინთეზის საშუალება. ჩვენ ახლა ვართ ეტაპზე, როცა მოძრაობის ადაპტური კონტროლის სისტემებმა მიაღწიეს საჭირო დონეს ტექნიკური პლატფორმების მართვაში მათი გამოყენებისათვის. მაგალითად, უპილოტო საჰაერო სისტემები უზრუნველყოფს უნიკალურ შესაძლებლობას ადაპტური კონტროლერების თეორიიდან პრაქტიკაში გადასვლისათვის. ახალი ადაპტური კონტროლერის დიზაინი განვითარებამ შესაძლებელი გახადა დაძლეული ყოფილიყო უპილოტო საჰაერო სისტემების მუშაობის შეზღუდვები და მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანი კომუნიკაციის დროის დიდი დაყოვნება შეზღუდული საბორტო გადამუშავების გამო. ასევე განვითარდა ანალიტიკური ინსტრუმენტები, რომელიც თეორიულად გამართლებული დროის დაგვიანების ლიმიტის გაანგარიშების საშუალებას იძლევა. ეს ინსტრუმენტები, თავის მხრივ, გამოიწვევს დახურული მარყუჟის სისტემის დროის დაგვიანების შეფასებას, რომელიც ინტელექტუალური კონტროლის სისტემების მეთოდოლოგიის განუყოფელი ნაწილია. ეს მიდგომები რიცხობრივად გადამოწმდა მთელი რიგი სიმულაციური კვლევების გამოყენებით. დამუშავებული კონტროლერები და ანალიტიკური მეთოდები შემდეგ გამოყენებულ იქნა უპილოტო საჰაერო სისტემებში, სადაც დაგვიანების გაზრდილი დროის მიუხედავად გაუმჯობესებული მუშაობის დემონსტრირებას ახდენს.

ახალი ადაპტური მიდგომების კონცეფციის სრული სპექტრი მოიცავს მკაცრ თეორიულ მიდგომებს, სიმულაციურად განხორციელები ს მაღალ სიზუსტის სხვადასხვა დონეზე, და საბოლოოდ აპარატების მოძრაობის პარტამეტრების დადასტურებას ტესტური მოდელების გამოყენებით. პროცესი განმეორებადია იმ გაგებით, რომ ერთი კონკრეტული ტექნოლოგიის მოძრაობის ტესტებიდან მიღებული გაკვეთილების გამოყენებით ყალიბდება ახალი მიდგომები მუშაობის შეზღუდვების დასაძლევად ან სხვადასხვა ნაკლები კონკრეტული პროცესების

მიმდინარეობაში. ეს ახალი მიდგომების შემდეგ რიცხოვნად გადამოწმდება MATLAB გარემოში რიგი სიმულაციური კვლევების გამოყენებით.

უმარტივესი მანქანა, რომელიც ასეთი კვლევითი მოდელისათვის არის შესატყვისი, არის ერთ-ერთი უმარტივესი საფრენოსნო აპარატი - ოთხროტორიანი ვერტფრენი კვადროტორი (სურ.1).



სურ. 1: ოთხ როტორიანი ვერტფრენი - „დრაგფლაიერი“ როგორც უპილოტო საჰაერო სისტემის მოდელი.

ადაპტური კონტროლის, როგორც სამეცნიერო-ტექნიკური მიმართულების განვითარება დაიწყო იმ მოტივით, რომ კონტროლერს შეუძლია შეცვალოს მისი პარამეტრები ონლაინ და შეუძლია გაუმჯობესებული მუშაობის ფიქსირებულ პარამეტრების გენერირება.

ადაპტური კონტროლის სფეროს ევოლუცია მიმართულია სტაბილური ადაპტური სისტემების დიზაინზე, ანალიზსა და სინთეზზე. ბოლო წლებში შემუშავდა სხვადასხვა ტიპის ადაპტური მართვის მეთოდები წრფივი და არაწრფივი დინამიკური სისტემების კონტროლისათვის პარამეტრული და დინამიური უზუსტობებით.

ეს მეთოდოლოგია და შესაბამისი ტექნიკა გავრცელდა და გამოყენებულია თვითმფრინავის კონტროლის პრობლემის დასაძლევად და გვიჩვენებს პერსპექტიულ შედეგებს სიმულაციაში. არსებობს ასევე წარმატებული ადაპტური კონტროლის ფრენის ტესტების მაგალითები, როგორც პილოტირებული, ასევე და უპილოტო ტესტ მანქანებისათვის.

შეიქმნა მოდიფიცირებული უმცირესი კვადრატის ალგორითმი რათა შეფასდეს ონლაინ პარამეტრი კომპიუტერული სისტემებისთვის მისაღები ხერხებით. ეს ალგორითმი შემდეგ განხორციელებული და აღჭურვილია მანქანა-მთლიანობის მონიტორით, რომ არსებობდეს გამორთვის ადაპტური შესაძლებლობები, თუ დაირღვა წინასწარ დაგეგმილი მოძრაობის სქემა ან აპარატი გამოვიდა მისი სტრუქტურული უსაფრთხოების ფარგლებს გარეთ.

არსებული დინამიური საბაზისო კონტროლერის მისადაგება შეიძლება ასევე მოხდეს ადაპტური ნეირონული ქსელზე აგებული მოძრაობის კონტროლის სისტემასთან. ასეთი ფარული ფენის ნეირონულ ქსელური ადაპტური კონტროლერი გამოყენებულია „იამახას რ-მაქსის“ ტიპის ავტონომიური ვერტმფრენისათვის. ადაპტური კონტროლის სტრატეგია შეიძლება ასევე გამოყენებულ იქნას ატმოსფერული აქტივობების გასანეიტრალებლად. შეცდომების გამო ინტენსივობა და სხვა არჩეული სისტემაში შემავალი მახასიათებლები. სხვადასხვა ტიპის შეცდომებისა და უზუსტობების თავიდან ასაცილებლად ამ დროს საჭიროა სიგნალების მიღების შიდა და გარე მარყუჟების კომბინირება. პარამეტრების გაურვევლობის შესამცირებლად ამ დროს ხდება საწვავის უკმარისობის ან დაზიანების ფაქტორის უგულვებელყოფა.

ადაპტური მართვის მეთოდის გამოყენების კარგი მაგალითი არის ადაპტური კონტროლერი - სენსორული ხელსაწყოების მართვადი ერთობლივი სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს უპილოტო აპარატის დაცულ მართვას. ჯკს სისტემასთან ერთად და ლაზერულ სენსორულ მართვის პირობებში, ასევე სხვადასხვა სენსორული ინსტრუმენტების დახმარებით შესაძლებელია მდგრადი, არასანქციონირებული შეღწევისგან დაცული მართვის განხორციელება.

ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევითი სამუშაოები, მათ შორის სიმულაციური ადასტურებს ადაპტური კონტროლის სისტემის თეორიულ და პრაქტიკულ სიძლიერეს და მის გამოყენებადობას უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებების, მათ შორის საფრენი და სახმელეთო სისტემების ექსპლუატაციის დროს. შესწავლილ იქნა სხვადასხვა გაურკვევლობების (გაურკვეველი გარემო ფაქტორების) გავლენა სისტემის მდგრადობაზე, რომელმაც სიმულაციური ექსპერიმენტებიდან გამომდინარე საკმაოდ კარგი შედეგები მოგვცა. თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს შემდგომი, როგორც თორიული ასევე ექსპერიმენტული, კვლევების აუცილებლობა განსაკუთრებით კი ახალი

ინფორმაციული მეთოდების (ქვანტურ-ინფორმაციული მეთოდების) გამოყენების აუცილებლობა ალბათური პროცესების მაღალეფექტური მართვისათვის.

უნდა აღინიშნოს, რომ ინტეგრალური მრავალ აგენტური მართვის სისტემის შექმნაზე ამჟამად აქტიურად მუშაობენ ჩვენი ამერიკელი კოლეგები (მასაჩუსეტსის ტექნოლოგიური ინსტიტუტი, ვორჩესტერის პოლიტექნიკური ინსტიტუტი და სხვა), რომლებიც ავითარებენ სტოქასტიკური დინამიური მართვის თეორიას და მის პრაქტიკულ გამოყენებებს უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებების მართვისათვის. შესაბამისი როლათ (მონაცემთა ბაზიდან გამოყვანილი) ალგორითმები აპრობებენ იმ აუცილებელ უკუკავშირს, რომელიც უზრუნველყოფს მართვის შესაბამის ოპტიმიზაციას.

აქვე უნდა განვიხილოთ ე.წ. გეოდეზიური კონტროლის კანონი, რომელიც საშუალებას იძლევა უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებების გუნდი და მისი მოძრაობის პარამეტრები განვიხილოთ როგორც ორ ისე სამ განზომილებიან მიახლოებაში. ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ დეცენტრალიზებული მართვა, რომელიც სენსორულ-აქტუატორულ სისტემაზე დაყრდნობით უზრუნველყოფს სისტემის მართვისათვის საჭირო დროის შემცირებას და ასევე კომუნიკაციური არხების ეფექტურობის გაზრდას.

თავის მხრივ დეცენტრალიზებული მიდგომა, რომელიც ემყარება როგორც კონტროლის თეორიას ასევე გრაფების თეორიას, რათა მოხდეს ფორმალური ანალიზის სტაბილურობის უზრუნველყოფა იძლევა საშუალებას შექმნას მტკიცე კავშირი ინდივიდუალურ აგენტებს - უპილოტო მანქანების მართვის პარამეტრებს შორის, რომელიც თავის მხრივს ემყარება კონროლერებისა და სენსორების მდგრად მუშაობას.

ჩვენი შედეგები წარმოადგენს მრავალფეროვანი მიდგომების ინტეგრაციის მცდელობას, რომელიც განპირობებულია ორი არსებული ამოცანით: ერთი ემყარება უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებების დეცენტრალიზებულ მართვას, ხოლო მეორე - უპილოტო მანქანების დიდი რაოდენობის მართვას ერთი მართვის პულტიდან. ორივე ამოცანას აქვს თავისი პლუსები და მინუსები, ისევე როგორც ეფექტურობის გაზრდის გზები.

ამ ამოცანების ამოხსნა დღეს პარალელურად და აქტიურად მიმდინარეობს. განიხილება სხვადასხვა ვარიანტები, მაგალითად, როცა ერთი მანქანა ხდება ინვალიდი, სხვა მანქანები კი აგრძელებენ მოძრაობას; როგორ უნდა იმოქმედოს ამ დროს სისტემამ?

იმ შემთხვევაში, თუ ეს არასრული წარუმატებლობაა იგი შეიძლება ადაპტირების გზით ონ ლაინ შეცვალოს, რათა დასრულდეს მისია და ყველა დანარჩენი მანქანა დაბრუნდეს უსაფრთხოდ. იმ შემთხვევაში, როცა არასრული წარმატების დროს მანქანის არაწრფივი დინამიკა ხდება მნიშვნელოვანი უნდა განისაზღვროს როგორ გავლენას ახდენს მარცხი საერთო შედეგზე და შესაბამისად განისაზღვროს ალბათური ღირებულების ფუნქციები.

წინამდებარე კვლევებში ჩვენ შევეცადეთ ჩავვეტარებინა ანალიზი ადაპტური მართვის სისტემის უპილოტო პარამეტრული უზუსტობები. ადაპტური მართვის შემოსულ სიგნალს ემატება საბაზისო კონტროლერი როგორც $U_{ad} = K^*xTx + \theta^*rTr + \theta^*d = \theta^*T\omega$, სადაც

$$\hat{\theta}^T = \begin{bmatrix} \hat{K}_x^T & \hat{\theta}_r^T & \hat{\theta}_d^T \end{bmatrix}$$

არის დროის სხვადასხვა ადაპტური პარამეტრების ცვლილება დროში რომელიც ქვემოთ იქნება მორგებული ადაპტურ კანონზე და იგი არის რეგრესიული ვექტორი:

$$\omega^T = \begin{bmatrix} x_1^T & r^T & 1 \end{bmatrix}$$

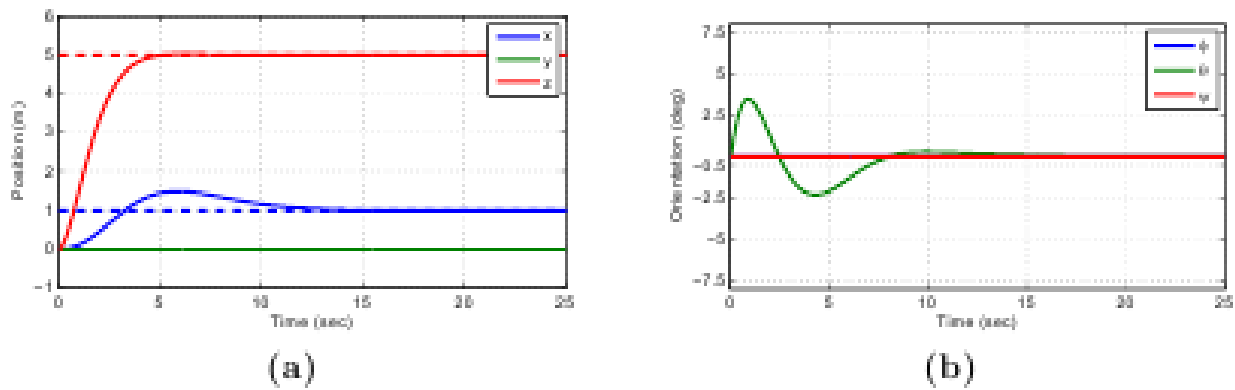
ამდენად საერთო კონტროლის გავლენა არის

$$u = u_{ad} + u_{nom} = \hat{\theta}^T \omega + K_x x_1 + r.$$

სიმულაციური ექსპერიმენტი იყო გამოყენებული იმის განსასჯელად თუ რამდენად ეფექტურია ადაპტური მიდგომა მისი ტექნიკურ გამოყენებაში დასანერგად. სიმულაციური დინამიკა არჩეულ იქნა, როგორც არაწრფივი დინამიკის მაგალითი. აქტუატორების მოქმედების ინტენსივობა ასევე იყო გათვალისწინებული. რაც შეეხება სენსორების დინამიკა, სენსორების ხმაური, და მათი რეაქციის დაგვიანების დრო იგი ამ წინასწარი სიმულაციური შესწავლის დროს უგულვებელყოფილია.

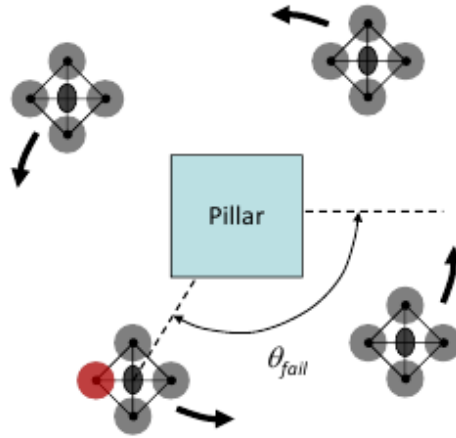
სურათი 2 გვიჩვენებს სიმულაციური ობიექტის (კვადროტორის) პოზიციასა და ორიენტაციას შესრულებული მანევრის ნომინალურსა და განუსაზღვრელ შემთხვევაში.

ჩვენ შევიყვანეთ განუსაზღვრელობა კონტროლის ეფექტურობის დაკარგვის სახით და ჩავთვალეთ, რომ შეცდომის ტიპი და ამ შეცდომის მიმდინარეობის დრო უცნობია კონტროლერისათვის. ამ სიმულაციურ ექსპერიმენტში ჩვენ დავუშვით, რომ კონტროლერის შეცდომა 80%-ით ამცირებს სისტემის ეფექტურობას, ხოლო თვით შეცდომის დრო 15 წამის ტოლია.



სურ.2. სიმულირებული კვადროტორის პოზიცია (a) და ორიენტაცია (b) ნომინალურსა და განუსაზღვრელ შემთხვევაში. ტეხილი ხაზები წარმოადგენს წინასწარ განსაზღვრულ ტრაექტორიას.

გადაწყვეტილება გამოყენებულ იქნეს კვადროტორის წრფივი მოდელი, რაც ეწინააღმდეგება რეალური პროცესის არაწრფივობას, მიღებულ იქნა გამოთვლების სირთულეების დასაძლევად. სამგიეროდ, გამოთვლებში ჩვენ ვიყენებთ სიმულაციური ექსპერიმენტების დიდი რაოდენობას, რომელიც ყოველთვის შეიცავს უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებების დიდ რიცხვს და ასევე მათ სისტემურ მართვაში არსებული ან მოსალოდნელი მრავალ შეცდომას რას აღიწერება პროცესების მიმდინარეობის სცენარში (სურ.3).



სურ.3. ოთხი კვადროტორი მანქანის პლანარულ-ციკულაციური განლაგების სქემა.

სურათი 3 გვიჩვენებს ყურადღების მიღწევების შეცდომებს ოთხი კონტროლერის შესაძლო მოქმედების და მათი შესაძლო კომბინაციების განხილვისას. აქ ყველა სიდიდე ნორმალიზებულია შიგა და გარე მარყუჟების ურთიერთქმედებაში არსებული შეცდომების მინიმიზაციის შესაბამისად.

ლიტერატურა

- K. Tsakalis and P. Ioannou, Linear Time-Varying Systems: Control and Adaptation. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1993.
- Active Adaptive Control Laboratory, “Adaptive Control of a Quadrotor UAV,” Retrieved May 27th, 2010, from <http://www.youtube.com/watch?v=FhgMy4ss0bw>.
- E. Lavretsky, A. M. Annaswamy, Z. T. Dydek, and W. Vega-Brown, “On the computation of stability margins for adaptive controllers using linear system tools,” in Proc. of the AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, Chicago, Illinois, August 2009.
- Z. T. Dydek, A. M. Annaswamy, J.-J. E. Slotine, and E. Lavretsky, “Time delay resistant adaptive control of mini-UAVs,” in Proc. of the IFAC Workshop on Time Delay Systems, Prague, Czech Republic, 2010.
- “High performance adaptive control in the presence of time delays,” in Proc. of the American Control Conference, Baltimore, MD, 2010.
- A. Manitius and A. Olbrot, “Finite spectrum assignment problem for systems with delays,” IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 24, no. 4, pp. 541–552, 1979.
- M. Duarte and K. Narendra, “Error models with parameter constraints,” International Journal of Control, vol. 64, no. 6, pp. 1089–1111, 1996.
- J. Nakanishi, J. Farrell, and S. Schaal, “Composite adaptive control with locally weighted statistical learning,” Neural Networks, vol. 18, no. 1, pp. 71–90, 2005.
- E. Lavretsky, “Combined / composite model reference adaptive control,” IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 54, no. 11, pp. 2692–2697, 2009.
- Ben-Israel and T. Greville, Generalized inverses: Theory and applications. New York, NY: Springer-Verlag, 2003.

- S. Niculescu and A. Annaswamy, “An adaptive Smith-controller for time-delay systems with relative degree $n \leq 2$,” Systems and control letters, vol. 49, no. 5, pp. 347–358, 2003.
- L. Stevens and F. L. Lewis, Aircraft Control and Simulation. Hoboken, NJ:John Wiley and Sons, 1992.
- G. Goodwin, K. Sin, and K. Saluja, “Stochastic adaptive control and prediction—the general delay-colored noise case,” Automatic Control, IEEE Transactions on, vol. 25, no. 5, pp. 946 – 950, Oct 1980.
- K. Sin and G. Goodwin, “Stochastic adaptive control using a modified least squares algorithm,” Automatica, vol. 18, no. 3, pp. 315–321, 1982.
- Active Adaptive Control Laboratory, “Altitude regulation for quadrotor UAVs,” Retrieved May 27th, 2010, from <http://www.youtube.com/watch?v=Tt239r5MquI>.
- P. Kervalishvili, B. Meparishvili, G. Janelidze. Adaptive control of mobile information system. NATO Science series, IOS press, v.93, 2012, pp.100-108.
- P. J. Kervalishvili. Quantum information science: some novel views. In book Information and Computer Technologies. Nova Publishing, USA, 2012.
- M. Archuadze, G. Besiashvili, M. Khachidze, P. Kervalishvili. Quantum Concepts in Information Retrieval, Application of Information and communication technologies – AICT, Book of papers, IEEE eXpress publishing, 2012, pp.417-421.

მიღებული შედეგების ანალიზი და რეკომენდაცია

მიუხედავად იმისა, რომ ქვანტური კომპიუტერები ჯერჯერობით მხოლოდ 7 კუბიტს შეიცავენ და მათი პრაქტიკული გამოყენება უპილოტო პლატფორმების უსაფრთხოების თვალსაზრისით თეორიულ ასპექტში შეიძლება განვიხილოთ, ქვანტური გამოთვლების სიმულაციის კვლევებს ალგორითმების შემუშავებისათვის დიდი სამეცნიერო მნიშვნელობა ენიჭება.

ამდენად, მოცემული პროექტის ჩარჩოებში უპილოტო პლატფორმებისთვის აგებული კოლექტიური დაცვის მათემატიკური მოდელი, უსადენო ქსელის დაცვის ამოცანებისთვის შემუშავებული ქვანტური კრიპტოგრაფიის ალგორითმები, კერძოდ, შეტევის შედეგად გამოწვეული შეცდომის აღმოჩენისა და გაზომვისათვის, და ბოლოს, „სახეთა შეცნობის“ ალგორითმის შემუშავება და სიმულაციური კვლევა MATLAB-ის გამოყენებით, ჩვენი აზრით, წარმოადგენს უპილოტო ავტონომიური პლატფორმების სისტემების უსაფრთხოებისადმი ახალი მიდგომების შექმნის წინაპირობას.

დამუშავებული სისტემა გამოყენებული იქნება პროექტში N609534 აღმოსავლეთის პარტნიორობის ქვეყნებთან თანამშრომლობის გაძლიერება ინკლუზიურსა და დაცულ საზოგადოებებს შორის მეცნიერებისა და ინოვაციების დარგში (ევროკავშირი).

ს ა რ ჩ ე გ ი

შესავალი -----	2
თავი 1. პროექტის დახასიათება -----	7
1.1. ინფორმაცია პროექტის შესახებ -----	7
1.2. პროექტის მიზანი -----	7
1.3. საქმიანობის აღწერა კვარტალურად -----	8
1.4. პროექტის ბიუჯეტი, ფინანსური ინფორმაცია -----	8
თავი 2. პროექტის შესრულების სამეცნიერო-ტექნიკური შედეგები -----	11
2.1. უპილოტო სატრანსპორტო საშუალებები და მათი კიბერ დაცვის სისტემები -----	11
2.2. უპილოტო სატრანსპორტო სისტემის ადაპტური მართვის მეთოდების ანალიზი და შესაბამისი სიმულაციური ექსპერიმენტების ჩატარება მართვის ეფექტური მოდელის შესაქმნელად -----	14
მიღებული შედეგების ანალიზი და რეკომენდაცია -----	22

