

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი
კომპიუტერულ მეცნიერებათა დეპარტამენტი

ნათია გადელია

საექსპერო შეფასებების ინჟინერია აგრეგირების OWA ოპერატორებზე
დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალურ
სისტემაში

სამაგისტრო პროგრამა: ინფორმაციული სისტემები

სამაგისტრო ნაშრომი შესრულებულია ინფორმაციულ სისტემებში მაგისტრის
აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელი: გია სირბილაძე,
ფიზ.-მათ. მეცნიერებათა დოქტორი,
სრული პროფესორი
თანახელმძღვანელი: ირინა ხუციშვილი,
ფიზ.-მათ. მეცნიერებათა კანდიდატი,
ასოცირებული პროფესორი

თბილისი

2013

ანოტაცია

სადიპლომო ნაშრომში წარმოდგენილია საექსპერტო ცოდნის აგრეგირებისა და გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემის რეალიზაცია, რომელიც დაფუძნებულია OWA-ს ტიპის აგრეგირების ოპერატორებზე. განიხილება შემთხვევა, როდესაც სისტემაში შემავალი მონაცემები საექსპერტო ბუნებისაა და ინფორმაციის წყაროს წარმოადგენს ექსპერტი და მისი ცოდნა. ცოდნის ინჟინერიის რეალიზაციის ალგორითმებად გამოყენებულია ცნობილი სპეციალისტების, რ.იაგერის, მ. მერიჟიოს და სხვათა კვლევები. ნაშრომი 2 ძირითადი მიმართულებით შეიძლება იქნეს განხილული:

1. ფაზი-სიმრავლის შეთხზმებულობის ფუნქციის გენერაციის მეთოდოლოგია, კერძოდ, რ. იაგერის გენერაციის ალგორითმის პროგრამული რეალიზაცია.
2. ცოდნის ინჟინერიაში ფაზი-სისტემების აგების თანამედროვე მიდგომების შესწავლა. ფაზი-სისტემებში ფაზი-სიმრავლეების გენერაციის ისეთი ალგორითმების შესწავლა, როგორიცაა გენეტიკურ ალგორითმები, სწავლების ალგორითმები და ნეირონული ქსელები.

Annotation

This master's thesis presents implementation of OWA based intelligent decision support system. System being described is expert system, where one and only source of data is expert knowledge. System uses algorithms of well-known specialists, including R.R.Yager, M. Merigó and others. Master's thesis can be reviewed in two main directions:

1. Fuzzy membership function generation methodology, in particular, software implementation of R.R. Yager algorithm of membership function generation.
2. Study of the modern approaches in the construction of fuzzy systems in knowledge engineering. Study of the fuzzy sets generation algorithms in fuzzy systems, such as genetic algorithms, learning algorithms and neural networks.

სარჩევი

ანოტაცია	2
Annotation.....	3
სარჩევი	4
შესავალი	6
ნაწილი 1.....	6
2.1. ინტელექტუალური გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი (საკონსულტაციო-მრჩეველი) ანალიტიკურ-საინფორმაციო სისტემების მოკლე მიმოხილვა.	6
2.2. ინტელექტუალური გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი (საკონსულტაციო-მრჩეველი) ანალიტიკურ-საინფორმაციო სისტემების ტექნოლოგიების შესახებ.	15
2.3. სადიპლომო ნაშრომში განვითარებული ძირითადი ამოცანების შესახებ ..	17
2.4. ფაზი-სიმრავლეების სათავეებთან.....	19
2.5. არასრული ინფორმაციის წარმოდგენის შესახებ. ინფორმაციის უზუსტობა და განუზღვრელობა	21
ნაწილი 2.....	25
2.1. ფაზი- მიკუთვნების ფუნქციების გენერაცია	25
§1. ფაზი-სიმრავლეები	30
1.1. ფაზი-სიმრავლეები	30
1.2. ოპერაციები ფაზი-სიმრავლეებზე.....	35
§2. ფაზი-სიმრავლეების მიკუთვნების ხარისხის გენერაციის რ. იაგერის ალგორითმი.....	42
2.1. შესავალი	42
2.2. დონის სიმრავლეები და მიკუთვნების ხარისხები	43
2.3. მიკუთვნების ხარისხის გამოვლენა-გენერირება	46
2.4. მაგალითი	47
2.5. დასკვნა	49
§3. IDSS სისტემა	50
3.1. არქიტექტურის ზოგადი მიმოხილვა	50
3.2. მიკუთვნების ხარისხის ალგორითმის ადგილი IDSS სისტემაში	54

3.2.1. მიკუთვნების ხარისხის გენერაციის რ. იაგერის ალგორითმის წარმოდგენა პროგრამული კოდის საშუალებით	55
3.2.2. ვიზუალური წარმოდგენა	58
დასკვნა	59
ლიტერატურა:.....	60

შესავალი

ნაწილი 1

1.1. ინტელექტუალური გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი (საკონსულტაციო-მრჩეველი) ანალიტიკურ-საინფორმაციო სისტემების მოკლე მიმოხილვა.

თანამედროვე ადამიანის მოღვაწეობის ნებისმიერი სფერო დაკავშირებულია ინფორმაციის მიღებასთან და მის დამუშავებასთან. ამასთანავე მნიშვნელოვანი როლი გადაწყვეტილების მიღებისთვის განეკუთვნება ანალიტიკურ ამოცანებს, რომლებიც საშუალებას იძლევა პირველადი ინფორმაციის ბაზაზე დაყრდნობით, მივიღოთ ახალი ცოდნა წარმოქმნილი სიტუაციის შესახებ, ღრმად გავერკვიოთ მიმდინარე პროცესებში და შესაბამისად მივიღოთ სწორი გადაწყვეტილება. ამგვარად, სასურველი ეფექტის მიღწევა გადაწყვეტილების მიღებისას შეუძლებელია ანალიტიკური ამოცანების შედეგებზე დაყრდნობის გარეშე, რომლებიც ვარაუდობენ შესასწავლი სისტემის მდგომარეობათა ზუსტ აღრიცხვასა და მოსალოდნელი შედეგის შეფასებას.

უფრო ხშირად გადაწყვეტილების მიღება კავშირშია საბოლოო შედეგის განსაზღვრის მაღალ დონესთან. ამავე დროს ის შეიძლება გართულდეს სიტუაციათა ვითარების შეცვლის ან გადაწყვეტილების გამომუშავებისათვის დროის უკმარისობით. ასეთ შემთხვევაში გადაწყვეტილების მიღება უნდა განხორციელდეს შესაბამისი ანალიტიკურ-ექსპერტულ კომპიუტერული სისტემების დახმარებით.

აქედან გამომდინარე ადეკვატური მათემატიკური მოდელები და შესაბამისი მეთოდები, აგრეთვე გამოთვლითი ამოცანები, მითითებული ანალიტიკური ამოცანების ამოსახსნელად, მოითხოვს ყოველმხრივ კვალიფიკაციურ განხილვა-შესწავლას.

ანალიზმა გვიჩვენა: იმისათვის, რომ აღნიშნული კომპიუტერული სისტემების გამოყენებით მივაღწიოთ ეფექტურობას, ამისათვის საჭიროა ანალიტიკურად გადაწყდეს მდგომარეობის შეფასება, განისაზღვროს ინფორმაციული მოდელი და მოხდეს საკვლევი სისტემის გადაწყვეტილების მიღების მოდელის ფორმირება.

აღნიშნული ანალიტიკურ-ექსპერტული სისტემები დარგის მცოდნეთა (ექსპერტების) ცოდნის ბაზის შექმნის კომპიუტერულ ტექნოლოგიებს წარმოადგენს.

ტრადიციულად, ანალიტიკური ამოცანების გადასაწყვეტად განუზღვრელობის პირობებში იყენებდნენ ალბათურ-სტატისტიკურ მეთოდებს [31], მაგრამ პრაქტიკამ გვიჩვენა რომ, მხოლოდ ამ მეთოდების გამოყენება გარკვეული ამოცანების ამოსახსნელად შეზღუდულია შემდეგი ფაქტორების არსებობის გამო. [29, 30].

1) არა სტატისტიკური ბუნების მქონე ობიექტებისათვის განუზღვრელობის ფაქტორის აღრიცხვის აუცილებლობა, სუბიექტური შეფასება, ექსპერტულ-ლინგვისტიკური განუზღვრელობა, სათამაშო განუზღვრელობა და სხვა.

2) ალბათურ-სტატისტიკური მონაცემების უქონლობა რთულ ტექნიკურ-ორგანიზაციულ სისტემებში.

3) ინფორმაციული შეზღუდვა, არამდგრადი ალბათური განაწილების არსებობა (ორმაგი ბუნების, ალბათურ-არამკაფიო განუზღვრელობის არსებობა და სხვა).

ამგვარ საინფორმაციო-ანალიტიკურ სისტემებს ხშირად *სუსტად სტრუქტურირებულ სისტემებსაც* უწოდებენ [32].

განვიხილავთ ინტელექტუალური გადაწყვეტილების მიღების საკონსულტაციო-მხარდამჭერი ინფორმაციული სისტემების მოკლე მიმოხილვას; ძირითად მიმართულებებს და უპირატესობებს.

გადაწყვეტილების მიღება, რომელიც ეხება სასიცოცხლო მნიშვნელობის ობიექტებს, პირველ რიგში უკავშირდება ინფორმაციის დამუშავებას. ასეთ მაშტაბურ, გლობალურ ობიექტებად ითვლება ობიექტები, როგორიცაა: სახელმწიფო, მსოფლიო ფინანსური სისტემა, საერთაშორისო უსაფრთხოების სისტემა, ასევე შედარებით ნაკლებად გლობალური ობიექტები, როგორიცაა: საინვენსტიციო პროექტი, კომერციული ოპერაციები, წარმოების სტრუქტურა და მრავალი სხვა ობიექტი.

ძირითადი გადაწყვეტილებისა და მიზნის მისაღწევად პირველ რიგში, ყურადღება უნდა მიექცეს შიდა და გარე ფაქტორების ანალიზს, რომლებიც განსაზღვრავენ გამოსაკვლევი ობიექტის მდგომარეობას და ახლო მომავალში მის პერსპექტიულ განვითარებას.

როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, ასეთი გადაწყვეტილების მიღება შეუძლებელია ახალი მიდგომების, საინფორმაციო ანალიზისა და ავტომატიზაციის გარეშე.

ასეთი სისტემები ხელს უწყობენ მართვის ეფექტურობის ამაღლებას, ოპერატიულობას, სისრულეს, კოლექტიური გადაწყვეტილების პრობლემური სიტუაციებიდან გამოსვლას.

აღსანიშნავია რომ, გადაწყვეტილების მიღება, რომელიც წარმოიშვება საპასუხისმგებლო ამოცანების ამოხსნისას, ძირითადად ატარებს ანალიზურ სახეს და მოითხოვს გარკვეული სიტუაციების გათვალისწინებით გარკვეული ოპტიმალური შეფასების მიღებას.

ამასთან დაკავშირებით, მოცემული ამოცანები შეიძლება მივაკუთვნოთ საექსპერტო-ანალიზური ამოცანების კლასს, რომლებშიც გადაწყვეტილებები არსებულ მონაცემთა ბაზაზე დაყრდნობით ექსპერტული ცოდნის გამოყენებას მოითხოვს.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ ანალიზური ამოცანების ამოხსნისას – გადაწყვეტილების მიღების პროცესში ვიყენებთ რა ავტომატიზირებულ სისტემებს, აუცილებელია შევქმნათ შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც ჩაითვლება ბაზისად ექსპერტულ-ანალიზური ამოცანების გადასაწყვეტად. ასეთი უზრუნველყოფა თავის თავში უნდა მოიცავდეს მათემატიკურ მოდელებს და გამოთვლით მეთოდების არსებობას, რომლებიც შეიძლება დავყოთ ორ დიდ კლასად:

- 1) საინფორმაციო მოდელები და ამოცანები.
- 2) ანალიტიკური მოდელები და ამოცანები

საინფორმაციო ამოცანებს მიეკუთვნება ისეთი ამოცანები, რომლებიც დაკავშირებულია ინფორმაციის მთლიანობასთან, შენახვასთან, მასიურობის ასახვასთან და ინფორმაციის ნაკადთან. ასეთი ამოცანების ამოხსნას დიდი მნიშვნელობა აქვს ეფექტური გადაწყვეტილების მისაღებად. მათემატიკური მოდელირებისა და გამოთვლითი მეთოდების ძირითადი დანიშნულება მდგომარეობს ოპტიმალური გადაწყვეტილების მიღების მოდელირებასა და შეფასებაში.

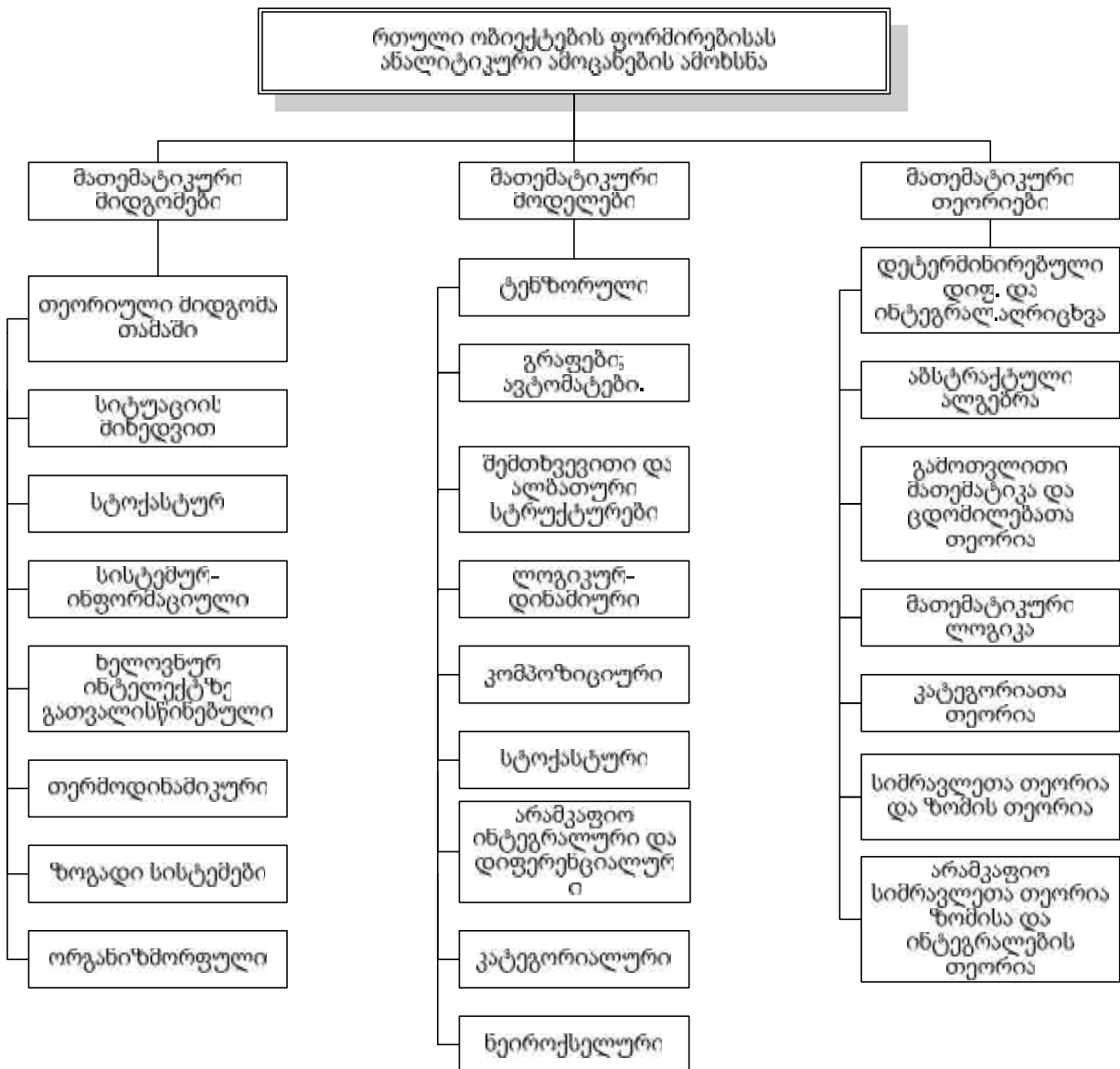
ანალიტიკური ამოცანების ასეთი სახით ამოხსნა წარმოადგენს ძირითად გასაღებს და მასზე უნდა იქნეს ორიენტირებული შესაბამისი მომავალი კომპიუტერული ინფორმაციულ-ინტელექტალური ტექნოლოგიები.

როგორც გამოყენებითი პროგრამირების უზრუნველყოფის გამოცდილება გვიჩვენებს, გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება მომავალ პროგრამულ კომპლექსს, რომელიც დაფუძნებულია ეფექტურ მათემატიკურ მიდგომებზე, მეთოდებზე და ალგორითმებზე. არასწორი მათემატიკური მეთოდების არჩევას, როგორც წესი მიყვავართ ამოცანების რეალიზაციის დაბალ ეფექტურობასთან და შედეგების არასანდოობასთან.

აქედან გამომდინარე, შექმნილი პროგრამული კომპლექსები და მისი გამოყენების ტექნოლოგია, ანალიტიკური გადაწყვეტილებების მიღებისათვის შეიძლება განიხილებოდეს, როგორც ხელშემწყობი რაიმე ფუნქციონალური სისტემა, მიმართული ეფექტური, ოპტიმალურად უზრუნველყოფილი შედეგის მისაღებად.

ფუნქციონალური სისტემების შესწავლამ საშუალება მოგვცა გამოგვევლინა მთელი რიგი უმნიშვნელოვანესი სისტემური მახასიათებლები, რომელთაგან ერთ-ერთია: შიდა და გარეთა სიმეტრია [32],[33]. სიმეტრიაში იგულისხმება ისეთი კატეგორია, რომელიც აღნიშნავს მრავალი ობიექტების მაჩვენებლების არასისტემურ დამახსოვრებას ზოგიერთი ცვლილებების მიმართ.

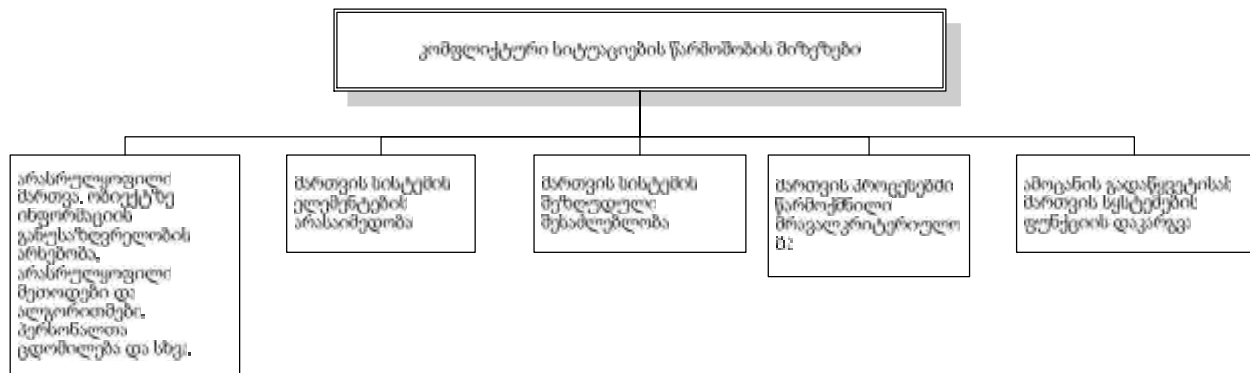
დღესდღეობით არსებობს ბევრნაირი მიდგომა ანალიტიკური ამოცანების ამოსახსნელად. ამასთან დაკავშირებით მოცემული მიდგომები, რომლებიც პროცესების ფორმალიზებას აკეთებენ, შეიძლება იყოს სხვადასხვა მათემატიკური მოდელები. ისინი ეყრდნობიან განსაზღვრულ მათემატიკურ თეორიებს. ასეთი მათემატიკური მიდგომები მოცემულია შემდეგ ცხრილი 1 [30] :



ცხრილი 1.

ყოველი მეთოდი, მოყვანილი ანალიტიკური ამოცანების კლასიდან, გამოირჩევა თავისი მიდგომით, ამოხსნის სირთულით და სხვა შესაძლებლობებით. მაგრამ ანალიტიკური ამოცანების გამოყენებით, რომ მივიღოთ ეფექტური შედეგები, აუცილებელია გამოსაკვლევი ობიექტის ყოველმხრივი შეფასება. მმაგალითად კომფლიქტური სიტუაციები.[32]

კომფლიქტური სიტუაციის გამომწვევი მიზეზები, გადაწყვეტილების მიღებისას უშუალოდ დამოკიდებულია სამართავი ობიექტის კომფლიქტურ ბუნებასთან. მოცემული მიზეზები შეიძლება დაიყოს ხუთ ძირითად ჯგუფად (ცხრილი 2):



ცხრილი 2.

ობიექტების კონფლიქტური ბუნების მოქმედება განსაზღვრავს იმას, რომ მოცემული ობიექტები მიზანშეწონილია გადაისინჯოს, როგორც რთული სისტემები, რომელთა უმეტესობა ურთიერთდაკავშირებულია ცალკეული რგოლებით, სტრუქტურებითა და ელემენტებით. ამის გამო გართულებულია არა მარტო მათი შესწავლა და მოდელირება, არამედ მთლიანად მათში მომხდარი პროცესების აღქმა.

რთული ობიექტები, როგორც მართვის ობიექტები, ქმნიან გარკვეულ განსაკუთრებულობებს [30], [32], [33] :

1. მართვის პროცესში გადაწყვეტილების მიღება და პირობების არჩევის ზოგიერთი მიზანი, რომლებიც გავლენას ახდენენ ამ არჩევანზე, შეიძლება გამოხატული იყოს რაოდენობრივი კავშირის ფორმით. ამ თვალსაზრისით, სუსტად სტრუქტურირებული არამკაფიო განუზღვრელობის მქონე ობიექტებზე გადაწყვეტილების მიღების კრიტერიუმების უმრავლესობა ბუნებრივია იქნება არაზუსტი [32]. არაზუსტად იქნება განსაზღვრული არსებული კლასების დახასიათება ამოცანების ამოხსნის კლასიფიკაციის შემთხვევაშიც.

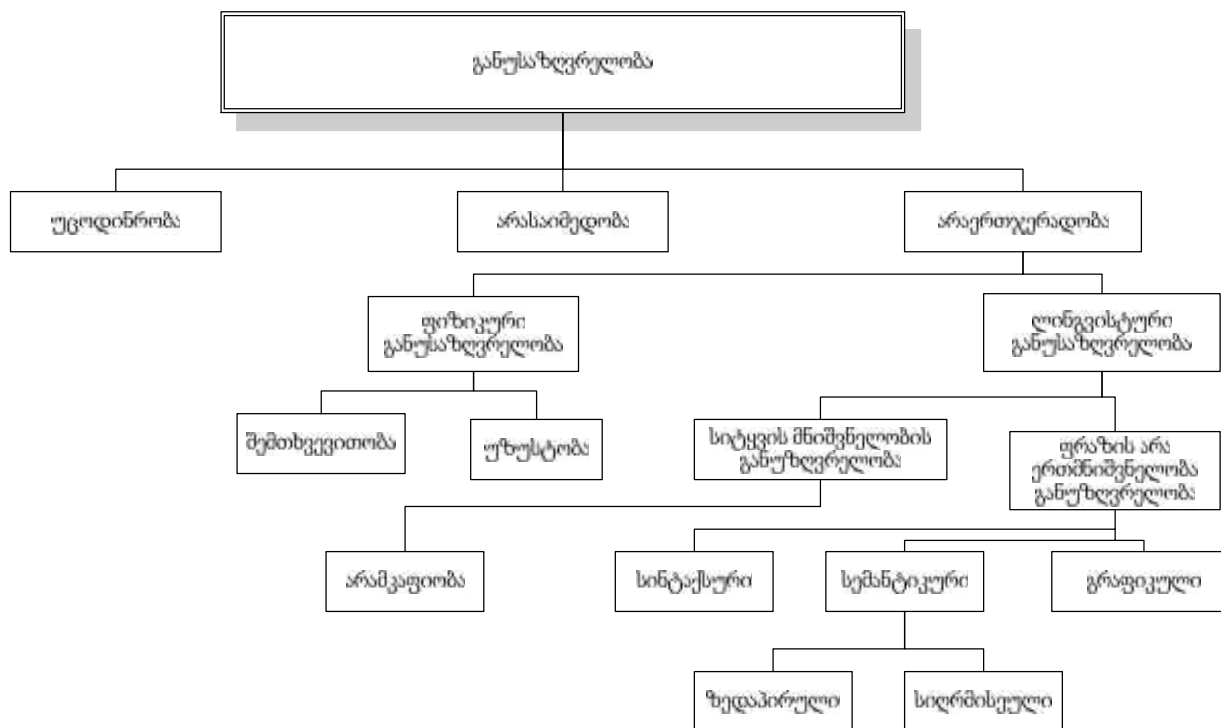
2. ინფორმაციის მნიშვნელოვანი ნაწილი, რომელიც აუცილებელია ობიექტის მათემატიკური აღწერისათვის, არსებობს მოცემულ ფორმაში და გამოცდილი ექსპერტ-სპეციალისტების დახმარებით, რომლებსაც აქვთ გარკვეული გამოცდილება და ცოდნა მოცემული ობიექტის შესახებ, ხშირ შემთხვევაში მივდივართ არამკაფიო ფორმალურ წარმოდგენაზე. წარმოიშობა არამკაფიო განუზღვრელობა [26].

აქედან გამომდინარე, განუზღვრელობა წარმოიქმნება მრავალი ფაქტორებიდან გამომდინარე, ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორების გარდა, უნდა გავითვალისწინოთ ამოცანის

მრავალკრიტერიალური განუზღვრელობა, ერთდრეულად მომქმედი ყველა ფაქტორის აღწერის შეუძლებლობა, სტატისტიკური განუზღვრელობა და სხვა ფაქტორები.

ბოლო წლების გამოცდილებამ გვიჩვენა, რომ ანალიტიკური ამოცანების გადაწყვეტისას, წარმოქმნილი განუზღვრელობა უფრო ზოგადი ბუნებისაა და არა მარტო სტატისტიკურია.

ქვემოთ მოყვანილია განუზღვრელობის კლასიფიკაციის სქემა (ცხრილი 3) [32]:



ცხრილი 3.

აღნიშნული ანალიტიკური ამოცანების გადაწყვეტისათვის ტრადიციული მიდგომების განუზღვრელობის შემთხვევაში გამოიყოფა ორი ალტერნატივა:

1. ვეცადოთ აღვრიცხოთ ყველა შესაძლო ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ობიექტზე. სამწუხაროდ, რთული ობიექტების სპეციფიკიდან გამომდინარე, ეს ყოველთვის არ ხერხდება, შესაძლებელიც რომ იყოს, ავადგოთ ტრადიციული მეთოდებით მათემატიკური მოდელი, იგი მაინც არ იქნება გამოსადეგარი პრაქტიკული გამოყენებისათვის, რომელის გამოწვეულია, როგორც ფუნქციონალური, ასევე ეკონომიკური ასპექტებით. ამგვარად, რთული ობიექტების ზუსტი მათემატიკური მოდელების აგება, გამოსადეგი რეალიზაციებისათვის, ანალიტიკური ამოცანების ამოხსნისთვის, მისაღები გადაწყვეტილებისთვის, ტრადიციული საწყისების გამოყენებით, ფართოდ გავრცელებული

ფორმალიზაციის ვარიანტები და ობიექტების წარმოდგენა ან რთულდება, ან საერთოდ შეუძლებელია. გარდა ამისა მტკიცდება, რომ ამგვარი ანალიტიკური ამოცანების შეერთება განუზღვრელობებთან ზუსტად დადგენილ მათემატიკური ამოცანებით კლასიკური მიდგომის გამოყენებით, პრინციპში შეუძლებელია, რადგანაც ეს ითხოვს ე.წ. „განუზღვრელობის მოხსნას“ [32]. რაც ასეთ პირობებში პრაქტიკულად შეუძლებელია.

ასეთი კლასის ამოცანების ამოსახსნელად, ჩვენ ვხვდებით ალტერნატივის არჩევის პრობლემას, გაურკვეველი ობიექტის ფორმალიზაცია მდგომარეობს იმაში, რომ მოდელი შეიძლება იყოს აგებული დამატებით ინფორმაციაზე დაყრდნობით, მიღებული სპეციალისტებისგან, ექსპერტებისგან და პირებისგან, რომლებიც რეალურ პირობებში იღებენ გადაწყვეტილებებს. აქედან გამომდინარე, ჩნდება სპეციალური მათემატიკური აპარატის დამუშავების აუცილებლობა, *სუსტი სტრუქტურირებული ან არასტრუქტურული ანალიტიკური ამოცანების ამოსახსნელად* [32]. შესაბამისად შექმნილი აპარატი ადეკვატურად უნდა გამოხატავდეს რეალური სინამდვილის აღწერას.

2. მოდელირების ალტერნატიული გზების მოძიება. რთულ სისტემებთან მუშაობისას, ალბათ ყველაზე მნიშვნელოვანი არის არამკაფიო მონაცემების აღწერა და დამუშავება. ეს აზრი დაფუძნებულია გარკვეულ პრინციპზე. ფორმალურად, ამ პრინციპის აზრი იმაშია, რომ სისტემის სირთულეების ზრდასთან ჩვენი შესაძლებლობა, ზუსტი და აზრიანი დასკვნების გამოტანის შესახებ, საკმაოდ არასაიმედოა.

3. ამგვარად, ანალიტიკური ამოცანების ამოსახსნელად გადაწყვეტილების მიღების თვალსაზრისით, იმისგან უნდა იყოს გამომდინარე, რომ საწყის ელემენტებად ითვლება არა რიცხვები, არამედ ნიშნები, ზოგიერთი არამკაფიო სიმრავლეები, ე.ი. კლასის ობიექტების არამკაფიო ელემენტები. შეიძლება ითქვას, რომ აზროვნების ლოგიკა არ არის უბრალო ორმნიშვნელოვანი ან მრავალმნიშვნელოვანი ლოგიკა, მაგრამ ეს ლოგიკა არის 'არამკაფიო სიმრავლეების, არამკაფიო მიმართებათა დასკვნის წესები.

ამიტომ, ასეთ შემთხვევებში არამკაფიო განუზღვრელობის მქონე რთულ სტრუქტურებზე არამკაფიო ანალიზის გამოყენებას პრაქტიკულად ალტერნატივა არ გააჩნია.

დღესდღეობით შეიძლება გამოვყოთ მათემატიკური თეორიები, რომლებიც მიეკუთვნებიან არამკაფიო ინფორმაციის ფორმირებას:

1. მრავალმნიშვნელოვანი ლოგიკა.
2. ალბათობის თეორია.

3. ცდომილებათა თეორია.
4. ინტერვალების თეორია.
5. სუბიექტური ალბათობათა თეორია.
6. არამკაფიო სიმრავლეთა თეორია.
7. აგრეგირების ოპერატორების თეორია.

მათემატიკური თეორიები, რომლებიც გამოიყენება ზემოთ აღწერილი ანალიტიკური ამოცანების ამოსახსნელად, დამახასიათებელი ნიშნების მიხედვით მოყვანილია ცხრილში [32].

#	D დამახასიათებელი ნიშნები	მათემატიკური თეორიები						
		1	2	3	4	5	6	7
1	რიცხვითი განუზღვრელობის აღრიცხვა	–	+	+	+	+	+	+
2	განუზღვრელ მოვლენათა აღრიცხვა	+	+	–	+	+	+	+
3	არარიცხვითი ლინგვისტური გან. აღრიცხვა	+	–	–	–	+	+	+
4	სემანტიკურ-მოდალური ინფორმაციის აღრიცხვა	+	–	–	–	–	+	+
5	კვალიფიკაციის აღრიცხვა განუზღვრელობით	–	+	–	–	+	+	+
6	კვალიფიკაციის აღრიცხვა ზოგადად	+	–	–	–	–	+	+
7	სიზუსტისა და განუზღვრელობის შეუთავსებლობის აღრიცხვა	+	–	–	+	+	+	+
8	ფორმალიზების ეფექტურობა სრული უცოდინრობისას	+	–	+	+	+	+	+

როგორც ცხრილიდან ჩანს ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი აქვს სუბიექტურ ალბათობას, არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიას და აგრეგირების ოპერატორების თეორიას. ჩვენ არჩევანი გავაკეთედ ბოლო ორ მიმართულებაზე. მათი გამოყენებით სადიპლომო ნაშრომში განვითარებულია გადაწყვეტილების მიმღების აგრეგირების OWA-ს ტიპის ოპერატორების

გამოყენება საექსპერტო შეფასებების ბაზაზე. შექმნილია მხარდამჭერი ინტელექტუალური სისტემა.

1.2. ინტელექტუალური გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი (საკონსულტაციო-მრჩეველი) ანალიტიკურ-საინფორმაციო სისტემების ტექნოლოგიების შესახებ.

გადაწყვეტილების მიღების პრობლემა კაცობრიობის მოღვაწეობის უმთავრესი და ურთულესი პრობლემაა. იმ საშუალებებს, რომელიც ეხმარება ადამიანებს არჩევის რთული ამოცანების გადაჭრაში, წარმოადგენენ გადაწყვეტილებათა მიღების კომპიუტერული მხარდამჭერი სისტემები. თუ გადაწყვეტილების მიღების პროცესი ითვალისწინებს კვლევის არის სპეციალისტის (ექსპერტის) მონაწილეობას, საქმე გვაქვს საექსპერტო სისტემებთან. ევრისტიკულ ცოდნაზე დაფუძნებული კომპიუტერული სისტემები გამოიყენება იმ შემთხვევაშიც, როდესაც განსახილველი ამოცანა განეკუთვნება სუსტად სტრუქტურირებულ სისტემებს, როდესაც მისი ფორმულირება ვერ ხერხდება ტრადიციულ მათემატიკურ ტერმინებში.

ევრისტიკული ცოდნის გამოყენება გამოწვეულია შემდეგი აუცილებლობით:

ა) ისეთი მონაცემების კომპიუტერული დამუშავება, რომლებიც თავისი ბუნებით ბუნდოვანია ანუ ფაზია;

ბ) ისეთი რთული ობიექტების გამოკვლევა, რომელთა აღწერა-ფორმირება შეუძლებელია ფაზი-წარმოდგენების შემოღების გარეშე.

ამან განაპირობა ფაზი-ლოგიკაზე დაფუძნებულ გადაწყვეტილებათა მიღების კომპიუტერული სისტემების გავრცელება ბოლო ხანებში. კერძოდ, მიზანშეწონილი გახდა მონაცემთა დამუშავება ფაზი-სტატისტიკური მეთოდებით, რადგანაც კლასიკური სტატისტიკის მეთოდები ამ შემთხვევაში არ იძლევა სანდო შედეგებს.

ფაზი-ინფორმაციის კომპიუტერში წარმოდგენის მეთოდების შემუშავება და მათი მათემატიკური და პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნა, ასევე ფაზი-ინფორმაციის დამუშავების ეფექტური და სწრაფად რეალიზებადი ალგორითმების შემუშავება – ძალზედ აქტუალურია თანამედროვე მსოფლიოში. ამ საკითხებს ეძღვნება ცნობილი მეცნიერების დ.დუბუას, ჰ.პრადის, ა.კანდელის, ჯ.დომბის, ა.კაუფმანის, რ.იაგერის და სხვათა ნაშრომები.

თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების განვითარებამ და კერძოდ, ინტერნეტის სწრაფმა შემოჭრამ ადამიანის მოღვაწეობის ყველა სფეროში განაპირობა ახალი ტიპის კომპიუტერული სისტემების გავრცელება, როგორცაა ინტელექტუალური გადაწყვეტილებათა მიღების მხარდამჭერი სისტემები (*Intelligent Decision Support Systems*) - IDSS. ამ სისტემების საშუალებით ხდება კვალიფიციური ვიწრო სპეციალიზირებული ცოდნის მიწოდება იქ, სადაც არსებობს ამ ცოდნის გამოყენების საჭიროება გადაწყვეტილების მიღებისას. ინტერნეტის ფართო გამოყენებასთან დაკავშირებით გაჩნდა შესაძლებლობა ასეთი ცოდნის ცენტრალიზებული შენახვისა და მასთან წვდომის უზრუნველყოფა კავშირის არხების მეშვეობით. IDSS -ტიპის კომპიუტერული სისტემების დანერგვა ძალზედ მნიშვნელოვანია და აქტუალური იმ შემთხვევებში, როდესაც ძნელია ექსპერტისგან კონსულტაციის მიღება, მაგალითად, მისი ტერიტორიული დაშორების გამო. ან, როდესაც არსებობს აუცილებლობა ექსპერტთა ჯგუფის კოლექტიური გადაწყვეტილებისა, ხოლო მათი ერთად თავმოყრა – ძვირადღირებული პროექტია. ასეთ შემთხვევებში კომპიუტერულ სისტემას შეუძლია შეასრულოს პირველადი კონსულტანტის როლი ან კომუნიკაციური ურთიერთქმედების საშუალების როლი გადაწყვეტილების მიღებისას.

გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი კომპიუტერული სისტემების ეფექტურობის უზრუნველყოფისათვის ხშირად არსებითია სისტემაში შემავალი ინფორმაციული ნაკადების იდენტიფიკაცია, ფილტრაცია, დაზუსტება და სხვა. რთულ სისტემებზე, როგორც საექსპერტო ცოდნიდან მიღებულ საინფორმაციო ნაკადებზე მუშაობისას, მათი მოდელირების კლასიკურ მიმართულებათა პარალელურად ყველაზე მნიშვნელოვანი არამკაფიოობის (Fuzziness) დაშვებაა [32]. ყოველივე ეს უკავშირდება ბუნებასა და საზოგადოებაში მიმდინარე ჩამოუყალიბებელი თუ ანომალური მოვლენების შესწავლის სირთულეს, რაც გამოწვეულია ობიექტური ინფორმაციის სიმცირით ან არ არსებობით და როდესაც საექსპერტო ცოდნის ნაკადები გადამწყვეტია სანდო დასკვნების კონსტრუირებაში. ასეთებია: ექსტრემალურ გარემოში ბიზნეს ამოცანების გადაწყვეტა, მენეჯმენტისა და საინვესტიციო რისკების ანალიზი, სამედიცინო დიაგნოსტიკის პრობლემები, უკიდურეს შემთხვევაში პრობლემატიკა და ა.შ. საინფორმაციო პროცესში ინფორმაციის სირთულის ზრდასთან ერთად ჩვენი შესაძლებლობა, რათა პროცესის მიმდინარეობაზე გავაკეთოთ სანდო დასკვნები, გარკვეულ ზღვრამდე ეცემა, რომლის მიღმაც ინფორმაციის ისეთი მახასიათებლები, როგორიც სიზუსტე და განუზღვრელობაა, ურთიერთსაწინააღმდეგო

ხდება. ხშირ შემთხვევაში რეალურ, რთულ საინფორმაციო პროცესებზე მუშაობისას, ზუსტი რაოდენობრივი ანალიზით სარგებლობა ნაკლებად დამაკმაყოფილებელია და შეიძლება დავასკვნათ, რომ აუცილებელია ფუნდამენტური კვლევის შესაბამისი ფაზი– მეთოდების გამოყენება, ფაზი–სტატისტიკური განუზღვრელობის მქონე საინფორმაციო პროცესების მოდელების აგების სისტემური მიდგომა [32] შესაბამისი ავტომატიზირებული სისტემის შექმნას უზრუნველყოფს. ეს უკანასკნელი კი საექსპერტო–ანალიზური ამოცანების ამოხსნის ტექნოლოგიათა ინსტრუმენტულ ბაზის წარმოადგენს.

ჩვენი მიზანია შეიქმნას ან მოდიფიცირება გაუკეთდეს გარკვეულ ცოდნაზე და ცოდნის წარმოდგენაზე დაფუძნებულ ისეთ საექსპერტო ცოდნის ანალიზის ევრისტიკულ მეთოდებს, რომლებიც გამოირჩევიან გადაწყვეტილების მიღების გარკვეული საიმედოობით პრაქტიკაში ფართო სპექტრის ამოცანებისათვის (სამედიცინო დიაგნოსტიკა, ბიზნესი, მარკეტინგი, მენეჯმენტი, ინფორმაციის მართვა და სხვა).

1.3. სადიპლომო ნაშრომში განვითარებული ძირითადი ამოცანების შესახებ

ამოცანა ეხება განუზღვრელ გარემოში მრავალ–ალტერნატიული შერჩევებისას მრავალ–კრიტერიულ გარემოში მრავალ–ექსპერტული გადაწყვეტილების მიღების პრობლემებს. განუზღვრელობა წარმოიშობა შესაძლო ალტერნატივებზე კრიტერიუმების არჩევის შემთხვევაში ინფორმაციის არასაკმარისობის გამო. ხშირად ეს ინფორმაციები ექსპერტების ცოდნის გამოყენებით წარმოდგენილი იქნება შემდეგი საექსპერტო შეფასებებით: ფაზი–სიმრავლეები, ფაზი–სამკუთხა რიცხვები, ქულობრივი შეფასებები, სარგებლიანობები, ფასები და სხვა.

ალტერნატივებს შორის ოპტიმალურის არჩევანი ანუ პარეტოს ოპტიმუმი მრავალ–კრიტერიულ გარემოში ზოგადად შეიძლება არ არსებობდეს. არსებობს ისეთი მიდგომები, როდესაც კრიტერიუმების მიხედვით ალტერნატივებზე საექსპერტო შეფასებები აგრეგირებული იქნება სკალარულ სიდიდეებში. სკალარული სიდიდეები კი რანჟირებას გაუკეთებენ ალტერნატივებს საუკეთესოდან უარესი გადაწყვეტილებისკენ. ამით შეიქმნება პარეტოს ოპტიმუმის მოძიების შესაძლებლობა. *სადიპლომო პროექტის გადაწყვეტილების*

აგრეგირებებში ვისარგებლეთ რ.იაგერის მიერ შემოღებული OWA-ს ტიპის აგრეგირების ოპერატორებით. თუ ექსპერტს ან მომხმარებელს არ აქვს ზემოთ მითითებული საექსპერტო შეფასებები, მაშინ მათი ცოდნის გამოყენება და შეფასებების შექმნა შესაძლებელია ცოდნის ფორმირების ინჟინერიის სხვადასხვა ალგორითმებით. აქაც ვისარგებლეთ რ.იაგერის ცნობილი სქემით, რომელიც გენერაციას უკეთებს აღნიშნული შეფასებებს α -დონის კვეთის სიმრავლეების ფიქსირების მიხედვით. ალგორითმი მუშაობს ინტერაქტიულ რეჟიმში და ბოლოს გვაძლევს შესაძლებლობით ხარისხებს კრიტერიუმებზე მოცემულ ალტერნატივებთან მიმართებაში. აგრეგირების ოპერატორების გამოყენებისთვის ექსპერტული შეფასებების გარდა საჭიროა კრიტერიუმების წონების იდენტიფიკაცია და შეფასება მომხმარებლის გადაწყვეტილების მიღების რისკებთან მიმართებაში. სისტემაში განხორციელებულია OWA-ს ტიპის ოპერატორების წონების მიღების რამოდენიმე მიდგომა. საერთო ჯამში მომხმარებელს უჩნდება შესაძლებლობა სხვადასხვა წონებისთვის და სხვადასხვა აგრეგირების ოპერატორებისთვის რანჟირება გაუკეთოს ალტერნატივებს საუკეთესოდან უარესისკენ.

აღნიშნული ამოცანა რეალიზებულია ინტელექტუალური გადაწყვეტილების მიღების სისტემის სახით, რომელიც ექსპერტების ცოდნის ინჟინერიის ბაზაზე მომხმარებლისთვის ქმნის გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერ გარემოს მრავალ ალტერნატიულ შემთხვევაში და მრავალ კრიტერიულ (მრავალ ფაქტორულ) გარემოში, როდესაც ცოდნის წარმოდგენა მრავალ-ექსპერტულია. ექსპერტთა მონაცემების კონდენსირება ეტალონურ ფორმირებებში განხორციელებულია ა. კაუფმანის ექსპერტონების მეთოდის რეალიზაციით. საბოლოოდ, ინტელექტუალური სისტემა მომხმარებელს შეუქმნის გადაწყვეტილების მიღების ისეთ გარემოს, როდესაც შესაძლო ალტერნატივები დალაგებულია რანჟირებულად. თითოეულ შემთხვევაში შეფასებული იქნება ინფორმაციული ზომები: Orness, Div, Entropy, Ball, რომლებიც იძლევიან ინფორმაციას გადაწყვეტილების მიმღები პირის რისკების მიმართ დამოკიდებულების შესახებ.

1.4. ფაზი-სიმრავლეების სათავეებთან...

არასრული ინფორმაციის არსებობისას, უზუსტობისა და განუზღვრელობის პირობებში, გადაწყვეტილების მიღების პრობლემატიკაში დღეს აქტუალური ხდება არამკაფიო მოდელირება. წარმოდგენილია არამკაფიო სიმრავლეების თეორიის ძირითადი, ელემენტარული ასპექტები, რომლის შექმნა განაპირობა ადამიანის სწრაფვამ შემეცნებისა და აზროვნების პროცესების უკეთ შესწავლისათვის, ხოლო საწყისი არამკაფიო ინფორმაციის ასახვათა მათემატიკური ინსტრუმენტები რეალობის ადექვატური მოდელების აგების საშუალებას იძლევა.

ადამიანის ინტელექტის საოცარი თვისებაა არასრული და არამკაფიო ინფორმაციის პირობებშიც კი მიიღოს საკმაოდ ზუსტი გადაწყვეტილება. ადამიანის აზროვნების მსგავსი ინტელექტუალური მოდელების აგება, მათი მომავალი თაობათა კომპიუტერულ სისტემებში გამოყენება – დღევანდელი მეცნიერების ერთ-ერთი უმთავრესი პრობლემაა.

ამ მიმართულებით დაახლოებით 45 წლის წინათ მნიშვნელოვანი ნაბიჯი გადადგა წინ კალიფორნიის (აშშ) უნივერსიტეტის (ბერკლი) პროფესორმა ა.ზადემ (Lotfi A. Zadeh). მისმა ნაშრომმა, რომელიც 1965 წელს დაიბეჭდა, ადამიანის ინტელექტუალური საქმიანობის მოდელირებას ჩაუყარა საფუძველი, რამაც არსებული ზოგიერთი მათემატიკური თეორიის ახალ ინტერპრეტაციას მისცა ბიძგი. მოკლედ, რაც ა.ზადემ თავის ნაშრომში ახალი შემოგვთავაზა:

- 1) მან განაზოგადა სიმრავლის კლასიკური, კანტორისეული ცნება, დაუშვა რა, რომ სიმრავლის მახასიათებელმა ფუნქციამ, ელემენტების სიმრავლეში შეთანხმებულობის (membership) ფუნქციამ შეიძლება მიიღოს არა მარტო 0 ან 1 მნიშვნელობა, არამედ ნებისმიერი მნიშვნელობა $[0,1]$ შუალედიდან. ასეთ სიმრავლეებს მან არამკაფიო (Fuzzy) უწოდა.
- 2) მან შემოიღო მთელი რიგი ოპერაციები არამკაფიო სიმრავლეებზე.
- 3) შემოიღო რა ე.წ. „ლინგვისტური ცვლადის“ ცნება და დაუშვა, რომ მისი მნიშვნელობები (ტერმები) არამკაფიო სიმრავლეებია, მან ააგო ინტელექტუალური საქმიანობის აქტივობის აღმწერი აპარატი, რომელიც უზრუნველყოფს მოცემული განუზღვრელობის პირობებში აქტივობის შედეგის რაოდენობრივ მხარეს.

უკვე 1990 წლისთვის ამ დარგში გამოქვეყნებულ ნაშრომთა სიამ 10 000-ს მიაღწია, ხოლო ბოლო წლებში არამკაფიო სისტემების კვლევის მიმართულებით უფრო პრაქტიკული გამოყენებისკენ სწრაფვამ გამოიწვია ისეთი პრობლემატიკის შექმნა, როგორიცაა არამკაფიო გამოთვლების კომპიუტერთა არქიტექტურა, კონტროლერებისა და არამკაფიო კომპიუტერების ელემენტური ბაზა, პროგრამული არამკაფიო უზრუნველყოფა, გადაწყვეტილების მიღების არამკაფიო ექსპერტული აპარატი და ა.შ.

არამკაფიო სიმრავლეების მათემატიკური თეორია, რომელიც ა.ზადემ შემოგვთავაზა, არამკაფიო ცნებებისა და ცოდნის აღწერის, ასევე ამ ბაზაზე ოპერირებისა და გადაწყვეტილების მიღების საშუალებას იძლევა. ცხადია ამ თეორიაზე დაფუძნებული ახალი კომპიუტერული სისტემები აფართოებენ მომავალი თაობების კომპიუტერების გამოყენების არეალს, რაც ბოლო პერიოდში არამკაფიო ლოგიკის სწრაფმა განვითარებამ განაპირობა.

არამკაფიო სიმრავლეების თეორია – ეს არის კლასიკურ მათემატიკასა და რეალურ სამყაროს ყველგან შეღწევადი უზუსტობათა შორის დაახლოების გზაზე წინგადადგმული ნაბიჯი, რომლის შექმნა განაპირობა ადამიანის სწრაფვამ შემეცნებისა და აზროვნების პროცესების უკეთ შესწავლისთვის.

დღევანდელ დღეს ჩვენ არ შეგვიძლია ავაგოთ ისეთი მანქანები, რომელნიც შეძლებდნენ ადამიანის დონეზე მისთვის მეტოქეობა გაეწიათ ისეთი ამოცანების შესრულებაში, როგორიცაა ენიდან თარგმნა, საუბრის ამოცნობა, ინფორმაციის აგრეგირება და რა თქმა უნდა გადაწყვეტილების მიღება შესაძლებლობითი ბუნების მქონე განუზღვრელობაზე. ასეთი მანქანების შექმნის შეუძლებლობა პირველ რიგში აიხსნება ერთი მხრივ ადამიანის აზროვნებასა და მეორეს მხრივ მანქანის „აზროვნებას“ შორის ფუნდამენტური განსხვავებით. განსხვავება ადამიანის ტვინის შესაძლებლობებშია, რომლებიც დღევანდელ ციფრულ კომპიუტერულ სისტემებს არ გააჩნიათ (ანუ ძირითადად იფიქროს და მიიღოს გადაწყვეტილება არაზუსტი, არარაოდენობრივი, არამკაფიო ინფორმაციის ბაზაზე). ამიტომ, რომ თანამედროვე რთული კომპიუტერული გამოთვლითი სისტემები გამოუყენებადია მათი ადამიანთან ბუნებრივი ურთიერთობის, კონტაქტის დასამყარებლად (ანალოგიურად იმისა რაც ხდება ადამიანსა და ადამიანს შორის).

სიმრავლე – მათემატიკის ერთ-ერთი ძირითადი ცნებაა. შევნიშნოთ, რომ ბევრს, შესაძლოა ადამიანის გარშემო არსებული სამყაროს შესახებ ადამიანის ცოდნის უმრავლესობას, ვერ ვუწოდებთ კლასიკური აზრით სიმრავლეებს. მათ უფრო „არამკაფიო სიმრავლეები“ უნდა

ვუწოდოთ, ანუ კლასები „არაზუსტი“ საზღვრებით, როდესაც გადასვლა ელემენტის ერთ კლასში შეთანხმებულობიდან მეორე კლასში შეთანხმებულობაზე მიმდინარეობს თანდათანობით და არა მყისიერად.

1.5. არასრული ინფორმაციის წარმოდგენის შესახებ. ინფორმაციის უზუსტობა და განუზღვრელობა

არასრული ინფორმაციის არსებობისას მისი უზუსტობა და განუზღვრელობა შეიძლება განხილული იქნას, როგორც ორი ურთიერთსაპირისპირო აზრი ერთი და იმავე რეალობაზე. შემდგომში ინფორმაცია წარმოდგენილი იქნება ლოგიკური გამონათქვამის ფორმით, რომელიც შეიცავს პრედიკატს და აუცილებლობის შემთხვევაში კვანტიფიკატორს. საბაზისო ცოდნად აღებული იქნება ცნობათა (ფაქტების) სიმრავლე, რომელიც გააჩნია სუბიექტს, სუბიექტთა ჯგუფს ან მოთავსებულია ინფორმაციულ სისტემაში და რომელიც ერთი და იგივე პრობლემური გარემოდანაა აღებული. მაშინ პრედიკატი, რომელიც ინფორმაციის წარმოდგენისას ჩნდება, შეიძლება გაგებული იქნას, როგორც ერთი და იგივე უნივერსალური სიმრავლის ქვესიმრავლე. ნებისმიერი გამონათქვამი შეიძლება განხილული იყოს, როგორც მტკიცება, რომელიც რომელიმე მოვლენის წარმოშობას ეკუთვნის. თავის მხრივ, მოვლენები წარმოდგენილია იმ უნივერსალური სიმრავლის ქვესიმრავლეების სახით, რომელსაც „აუცილებლად განხორციელებადი მოვლენა“ ეწოდება. ასე, რომ გვაქვს მონაცემთა სიმრავლის ანალიზის სამი ექვივალენტური საშუალება იმის და მიხედვით არის თუ არა აქცენტი გაკეთებული სტრუქტურაზე (ლოგიკური თვალსაზრისით), ამ ინფორმაციის შინაარსზე (თეორიულ-სიმრავლური თვალსაზრისით) ან მის დამოკიდებულებაზე რეალურ ფაქტებთან (მოვლენური თვალსაზრისით).

ჩვენ განვსაზღვრავთ *ინფორმაციულ ერთეულს* ოთხეულით = (ობიექტი, ნიშანი, მნიშვნელობა, დასაჯერობა). ნიშანი, რომელიც ღებულობს ობიექტის ან საგნის მნიშვნელობას (მნიშვნელობათა სიმრავლეს) ფუნქცია შეესაბამება. ამ ფუნქციის სახელი ფიგურირებს ინფორმაციულ ერთეულში, რომლის მნიშვნელობა (მნიშვნელობები) შეესაბამება რომელიმე პრედიკატს ანუ უნივერსალური სიმრავლის ქვესიმრავლეს,

დაკავშირებულს მოცემულ ნიშნით. დასაჯერობა - ინფორმაციული ერთეულის საიმედოობის მაჩვენებელია. ცხადია, რომ ინფორმაციული ერთეულის შემადგენელი ოთხი კომპონენტი შეიძლება იყოს შედგენილი (ობიექტთა სიმრავლე, ნიშანთა სიმრავლე, n-ადგილიანი პრედიკატი, დასაჯერებლობის სხვადასხვა ხარისხი), ამას გარდა შეიძლება შემოყვანილი იქნას ცვლადები, განსაკუთრებით ობიექტის დონეზე, თუკი ინფორმაცია შეიცავს კვანტიფიკატორებს.

მოცემულ კონტექსტში შეიძლება მკაფიო განსხვავება გავაკეთოდ განუზღვრელობასა და უზუსტობის ცნებებს შორის. *უზუსტობა* ეკუთვნის ინფორმაციის შინაარსს (ოთხეულში იგი *მნიშვნელობითაა* წარმოდგენილი), ხოლო *განუზღვრელობა* მის *დასაჯერობას*, რომელიც სინამდვილესთან შესაბამისობის აზრითაა გაგებული.

ინფორმაციის განუზღვრელობის ხარისხი გამოისახება ისეთი კვალიფიკატორებით, როგორიცაა „ალბათ“, „შესაძლებელია“, „სარწმუნოა“ და ა.შ., რომელთაც ჩვენ აქ შევეცდებით მივანიჭოთ მეტ-ნაკლებად ზუსტი აზრი. კვალიფიკატორი „ალბათ“-ის მოდალურობის კვლევა თითქმის 2 საუკუნის განმავლობაში მიმდინარეობდა. ალბათობას გააჩნია ორი განსხვავებული ინტერპრეტაცია. პირველი მათ შორის ფიზიკური (სტატისტიკური), რომელიც დაკავშირებულია სტატისტიკური გამოცდების ჩატარებასთან და მოვლენის (შემთხვევითი ხდომილების) სიხშირის განსაზღვრასთან, მეორე – ეპისტემოლოგიური, რომელიც დაკავშირებულია სუბიექტურ მსჯელობასთან. „შესაძლებელია“ და „აუცილებელია“ – მოდალურობები შეისწავლებოდა ჯერ კიდევ არისტოტელეს დროს, როდესაც მან მათი დუალური ბუნების ფაქტი დაადგინა (თუ რომელიმე მოვლენა არის აუცილებელი, მაშინ მისი საპირისპირო მოვლენა შეუძლებელი და პირიქით).

საყურადღებოა, რომ ცნება „ალბათ“-ის საპირისპიროდ, ცნებები „შესაძლებელია“ და „აუცილებელია“ ორმოდუსიანი ლოგიკის ფარგლებში ხშირად განიხილებოდა, როგორც „ყველაფერი“ ან „არაფერი“ კატეგორიების ტიპები. მაგრამ ცნება „შესაძლებელია“ ისე როგორც ცნება „ალბათ“ უშვებს ორ ინტერპრეტაციას: ფიზიკური (რომელიმე ქმედების შესრულების შრომატევადობის ზომა) და ეპისტემოლოგიური (მსჯელობა, რომელიც ნაკლებად ზღუდავს მის ავტორს). ცნება „აუცილებელია“ – პირიქით, ფიზიკური და ეპისტემოლოგიური აზრით გაცილებით მეტი მტკიცებითი ცნებაა (სუბიექტური აუცილებლობა განუზღვრელობაა, სარწმუნოობაა). ბუნებრივია შესაძლებლობის და აუცილებლობის ხარისხის არსებობა ისევე დასაშვებია, როგორც ალბათობის ხარისხის.

სარწმუნოობასა და ნდობას აქვს სუფთა ეპისტემოლოგიური ინტერპრეტაცია და შესაბამისად შესაძლებლობასთან და აუცილებლობასთან არიან დაკავშირებულნი.

თითოეული ამ ცნებათაგანი შეესაბამება ცოდნის ბაზიდან გამოყვანის რომელიმე საშუალებას: ნდობას იმსახურებს ყველა ის, რომელიც უშუალოდ დედექტიურად გამოიყვანება ცოდნის ბაზიდან, ხოლო სარწმუნოობა ყველაფერს, რომელიც არ ეწინააღმდეგება მას (ინდუქციური შეხედულება).

განუზღვრელობის შემცველი გამონათქვამთა მაგალითებია (ინფორმაციული ერთეულით):

„ალბათ ნათიას სიმაღლე 1,70მ-ზე ნაკლები არაა“ (სიმაღლე; ნათია; 1,70მ; ალბათ),

„ალბათობა იმისა, რომ ხვალ თბილისში 10მმ ნალექი მოვა 0,5-ის ტოლია“ - (რაოდენობა; ნალექები ხვალისთვის; 10მმ; ალბათობა=0,5)

ინფორმაციულ ერთეულს ვუწოდებთ ზუსტს, თუ ქვესიმრავლე, რომელიც შეესაბამება „მნიშვნელობას“ ოთხეულში, ერთელემენტანია. რაც იმას ნიშნავს, რომ მისი „გახლეჩა“ ნაწილებად არ შეიძლება; თუმცა სიზუსტე რა თქმა უნდა დამოკიდებულია საბაზისო სიმრავლის განსაზღვრის ხერხზე, მაგალითად განზომილების ერთეულის შერჩევაზე და სხვა. სხვა შემთხვევებში უნდა ვილაპარაკოთ არაზუსტ (imprecise) ინფორმაციაზე. ქართულ ენაში არის უზუსტობის აღმწერი მრავალი კვალიფიკატორი: „ბუნდოვანი“, „არამკაფიო“, „გაურკვეველი“, „ორაზროვანი“ და ა.შ. აქ შევნიშნოთ, რომ ორაზროვნება წარმოადგენს უზუსტობის ფორმას დაკავშირებულს ენასთან.

უნივერსალური სიმრავლე, რომელიც დაკავშირებულია ინფორმაციულ ერთეულთან ცნობილად ითვლება. განზოგადოება უზუსტობის „კეთილთვისებიან“ ფორმად შეიძლება მივიჩნიოთ, რომელიც აბსტრაგირების პროცესთან არის დაკავშირებული. ინფორმაცია განზოგადოებულია, თუ ნაჩვენებია საერთო თვისებების მქონე ობიექტების სიმრავლე. ინფორმაციის არამკაფიო (ბუნდოვანი) ხასიათი გამოიხატება შესაბამისი ობიექტების მნიშვნელობათა სიმრავლის მკაფიო საზღვრების არქონაში. მაგალითი:

„შესაძლებელია, ნათიას სიმაღლე დაახლოებით 1,70მ იყოს“ (სიმაღლე; ნათია; დაახლოებით; 1,70მ; შესაძლებელია)

ამ მაგალითში ობიექტის მნიშვნელობათა სიმრავლეს მკაფიო საზღვრები არ გააჩნია (დაახლოებით 1,70მ). ბუნებრივი ენის მრავალი კვალიფიკატორი არამკაფიოა და მათთვის დამახასიათებელია განზოგადოება. ბუნდოვანი ტერმინი „დაახლოებით“ ახასიათებს ობიექტის მნიშვნელობათა ერთობლიობას, ბევრი ან ცოტას ადექვატური სიზუსტით. აქედან

გამომდინარე ინფორმაცია შეიძლება იყოს ერთდროულად არამკაფიო და განუზღვრელი, რასაც შემდეგი გამონათქვამიც დაადასტურებდა.

“ალბათ ხვალ ბევრი ნალექი იქნება” (რაოდენობა; ნალექი ხვალ; ბევრი, ალბათ)

მონაცემთა ცნობების, ფაქტების მოცემული სიმრავლისთვის უზუსტობასა და განუზღვრელობას შორის წინააღმდეგობა გამოიხატება იმაში, რომ გამონათქვამის შინაარსის სიზუსტის გაზრდით იზრდება მისი განუზღვრელობა და პირიქით. ზოგად შემთხვევაში ზუსტი ინფორმაციის განუზღვრელ ხასიათს მიყვავართ საბოლოო დასკვნამდე, რომელიღაც უზუსტობამდე, გამომდინარე ამ ინფორმაციიდან.

გაზომვებისას ზუსტი ინფორმაციის მიღება პრაქტიკულად შეუძლებელია და თუ შესაძლებელია ის ხშირად ნაკლებად სასარგებლოა ან რთულად ასახსნელი. გამარტივებული მოდელი უზრუნველყოფს ხშირად უფრო გასაგები ინფორმაციის მიღებასა და წარმოდგენას, ვიდრე დეტალური და უფრო რთული მოდელები. ამიტომაც, სხვადასხვა შემთხვევებში, საზომი ხელსაწყოების მიერ ცდომილებებით ანდა ადამიანის (ექსპერტის) მიერ წარმოდგენილი ინფორმაცია მონაცემებზე არაზუსტია, წინააღმდეგობრივი და არასრულიც.

ცნობილია, რომ ალბათობის თეორია ერთი მხრივ და ცდომილებათა თეორია მეორე მხრივ – არასრული ინფორმაციის წარმოდგენის ორი კლასიკური მიდგომაა. მაგრამ თანამედროვე ინფორმაციის დამუშავებასთან მიმართებაში ორივე თეორია არაა საკმარისი: ცდომილებათა თეორია გამოიყენება მხოლოდ რიცხვითი მონაცემებისთვის, როდესაც ისინი წარმოდგენილია „საკმარისი“ უზუსტობით, მაგრამ „ცხადი“, ჩვეულებრივი ინტერვალებით. თუ რიცხვითი მონაცემები წარმოდგენილია შემთხვევითი ცდომილებებით (ნდობის ინტერვალებით), მაშინ წარმოიშობა ალბათურ – სტატისტიკური განუზღვრელობა და მონაცემების დამუშავებისთვის გამოიყენება შესაბამისი მეთოდები. მაგრამ როდესაც მონაცემები წარმოდგენილია ინტერვალებით, მათი განაწილება „ბუნდოვანია“, ხასიათდება გადაფარვებით და ქმნიან ე.წ. კონსონანტურ ტანს. როდესაც მონაცემების აღწერასა და მიღებაში „ჩარეულია“ სუბიექტი (ექსპერტი), რომელიც მონაცემთა ობიექტური აღწერის (ხელსაწყოები, საზომი საშუალებანი და სხვა) პარალელურად „ერევა“ მონაცემთა შეფასებასა და წარმოდგენაში, მაშინ მონაცემთა ბუნება კომბინირებული ხდება. ალბათურ – სტატისტიკური განუზღვრელობის პარალელურად არსებობს ე.წ. შესაძლებლობითი განუზღვრელობა, რომელიც რა თქმა უნდა სუბიექტის ინტელექტუალური აქტივობის შედეგად წარმოიშობა. ცხადია ასეთ შემთხვევებში მხოლოდ ალბათურ – სტატისტიკური და

ცდომილებათა თეორიების გამოყენება არ იძლევა დამაკმაყოფილებელ შედეგებს და ბუნებრივია მიზეზი მონაცემთა ბუნებაში და მათი აღწერის, გაზომვის, სკალირების, ექსპერტის შეფასებების და სხვა თავისებურებაში უნდა ვეძიოთ. სუბიექტურ – ობიექტური მონაცემების აღწერისათვის ალბათურ – სტატისტიკური მეთოდები მეტისმეტად ნორმატიულად გვეჩვენება, ხოლო ცდომილებათა თეორია მხოლოდ ობიექტური, თავისი შინაარსით ზუსტი სიდიდეების გაზომვის ან გამოთვლების უზუსტობას ასახავს, როდესაც მონაცემები ინტერვალებით წარმოდგინება და ქმნიან ე.წ. დისონანტურ ტანს. ასეთივე დისონანტურ ტანთან აქვს საქმე ალბათობის თეორიას.

ცხადი ხდება, რომ ასეთ შემთხვევებში მხოლოდ ალბათურ – შესაძლებლობითი ანალიზი განაპირობებს მეტ – ნაკლებად ადექვატურ შედეგებს, რაც არამკაფიო ანალიზის, არამკაფიო სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებას მოითხოვს.

ნაწილი 2

1.1. ფაზი- მიკუთვნების ფუნქციების გენერაცია

დღევანდელ გამოყენებით კვლევით გარემოში მნიშვნელოვანი ხდება ფაზი-სისტემების კონსტრუქციების აგება რთული ამოცანების მოდელების, ანალიზისა და სინთეზის ამოცანების გადასაწყვეტად. ამისთვის უმნიშვნელოვანესია, ფაზი-სისტემებში გამოყენებული *ფაზი-სიმრავლეების გენერაცია*. დღეს ფაზი-სიმრავლის შეთანხმებულობის ფუნქციის გენერაციის რამოდენიმე მიდგომა არსებობს. მადგან გამოვყოფთ ისეთ მოდგომებს, რომლებიც ინტელექტუალური სიმულაციის პროცესს აგებენ ექსპერტის ცოდანაზე დაფუძნებული 1. *გენეტიკური*, 2. *მასწავლი* და 3. *ფაზი-წესებზე დაფუძნებული ალგორითმების* მეშვეობით. ეს მიდგომები განსხვავებულია შეთანხმებულების ფუნქციის გენერირების ადრეული რიცხვითი მეთოდებისგან, რომელიც ჩამოყალიბდა 90-იან წლებში და რომლის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი წარმომადგენელია რ. იაგერის ალგორითმი [34] (მას ჩვენ ვიყენებთ ინტელექტუალურ სისტემაში და მისი აღწერა წარმოდგენილი იქნება შემდეგ პარაგრაფებში).

აქ წარმოგიდგენთ მასწავლი ალგორითმებზე და ფაზი-წესებზე დაფუძნებული გენერაციის მეთოდების მოკლე მიმოხილვას.

განიხილება მიკუთვნების ფუნქციის შექმნის ორი ძირითადი რეჟიმი: *მონაცემებზე დამოკიდებული* და *ლინგვისტური*. უმეტეს გამოყენებებში ფაზი-წესები და მიკუთვნების ფუნქციები გენერირებულია ექსპერტების მიერ ლინგვისტური ცვლადების შექმნის გამოყენებით. თუმცა, ცვლადების დიდი რაოდენობა წესების რაოდენობას ზრდის ექსპონენციალურად, რაც საბოლოოდ საკმაო სირთულეებს უქმნის ექსპერტს მისი ცოდნის გამომჟღავნებასა და ფორმირებაში. თუ უნივერსუმის (რომელზეც უნდა მოხდეს ფაზი-სიმრავლის გენერაცია) ფაზი-თერმებით დაყოფა ძალიან გადაფარულია (რაც შეიძლება გამოწვეული იყოს ფაზი-თერმების შედარებით მცირე რაოდენობით აღების გამო), მაშინ შექმნილი შაბლონების უმეტესობა შესაძლოა გახდეს არასწორად კლასიფიცირებული, რაც ახალ პრობლემებს აჩენს. და პირიქით, თუ ის ძალიან წმინდაა (ანუ მათი თანაკვეთები თითქმის ცარიელია), მაშინ წესების რაოდენობა გაიზრდება უსასრულობამდე (შაბლონების ძალიან დიდი რაოდენობის გამო). ამასთან, როდესაც წესები გენერირებულია დასწავლის ნიმუშებიდან და დაყოფა ძალიან წმინდაა, მაშინ ბევრი „თუ-მაშინ“ ტიპის წესი ვერ შეიქმნება ყველა ფაზი-ქვესივრცეში სრულყოფილი მასწავლი მაგალითების არ არსებობის გამო. შესაბამისად, მიკუთვნების ფუნქციის არჩევა ხდება ძალიან ძნელად. ასე რომ, ადამიანი-ექსპერტისგან ფაზი-წესების მიღება ყოველთვის ადვილი არაა, შესაბამისად, შემოთავაზებულია რამდენიმე მეთოდი რიცხობრივი მონაცემებიდან ფაზი-წესების ავტომატურ რეჟიმში გენერირებისათვის [Sugeno და Yasukawa 1993; Takagi და Sugeno 1985; Wang და Mendel 1992]. რიცხობრივი მონაცემებიდან ფაზი-წესების გენერირება შედგება ორი ეტაპისგან: 1. *შაბლონის სივრცის დაყოფა ფაზი-ქვესივრცეებად* და 2. *ფაზი-წესების განსაზღვრა ფაზი-ქვესივრციდან*. შაბლონის სივრცის დანაწევრება და წესის გენერაცია რა თქმა უნდა ურთიერთდამოკიდებული იქნება.

შაბლონის სივრცის დაყოფის პირდაპირი მეთოდია *კლასტერული ალგორითმების* გამოყენება ქვესივრცეებს შორის გადაფარვით ან გადაფარვის გარეშე რომელიც შემდეგ თითოეული ფაზი-ცვლადების განსაზღვრებების მიხედვით კლასტერის ცენტრის წესში აღნიშვნა [Abe და Lan 1995 Wang და Mendel 1991]. ამოღებული წესები იქნება დამოუკიდებელი მიკუთვნების ფუნქციები, შესაბამისად, არ არსებობს გარანტია იმისა, რომ მიღებულ ფაზი-სისტემას ექნება საკმარისად კარგი შესრულება. Ishibuchi et al [1992] შემოგვთავაზა ფაზი-წესზე დაფუძნებული კლასიფიკაციის მეთოდი ფაზი-ბადეების გამოყენებით. ორგანოზომილებიანი შაბლონის სივრცისთვის ბადე შექმნილია ორი ფაზი-ქვესივრცის კვეთით (ერთი X-მიმართულებით და მეორე Y მიმართულებით). ფაზი-წესების ეფექტურობა დამოკიდებულია ფაზი-დანაწევრების არჩევანზე. ეფექტურობის ფაზი-დანაწევრებაზე დამოკიდებულების შესამცირებლად მათ ერთდროულად დააფიქსირეს რამდენიმე ფაზი-დაყოფა, რამაც სხვადასხვა ზომის ბადესთან მიიყვანა. თითოეული ბადესთვის იქნება შესაბამისი წესების ცხრილი. ამ მრავალ წესიან ცხრილის მეთოდს აქვს ერთი ნაკლი დიდი რაოდენობით ფაზი-წესების სახით.

Nozaki et al [1997] წარმოადგინა მარტივი, მაგრამ ძლიერი ევრისტიკული მეთოდი რიცხობრივი მონაცემებიდან ფაზი წესების გენერაციისათვის. მეთოდი აგენერირებს ფაზი „თუ-მაშინ“ ტიპის წესებს, არა-ფაზი სინგლტონებით (ე.წ. ნამდვილი რიცხვებით). მასწავლი მონაცემების მოცემული m შემომავალ-გამომავალი წყვილიდან, მომდევნო ნამდვილი რიცხვი მიიღება თითოეული ფაზი „თუ-მაშინ“ ტიპის წესისთვის. თითოეული წესი გენერირებულია ფაზი-ქვესივრციდან, რომელიც შექმნილია იმ ვარაუდით, რომ უნივერსუმის ინტერვალი ყოველი შემავალი ცვლადისთვის დაყოფილია თანაბარ ფაზი- მიმდევრობებად. შედეგი არის შეწონილი საშუალო გამომავალი მნიშვნელობა სასწავლო მიმდევრობაში. ფაზი-წესი გენერირდება მაშინ, თუ არის თუნდაც ერთი დადებითი წონა. სხვა შემთხვევაში დანაყოფები იცვლება.

გენეტიკური ალგორითმები (გა) გვთავაზობს ფაზი-სისტემების მოდელირების მოხერხებულ გზას. გენეტიკური ალგორითმი პირველად წარმოდგენილი იქნა Karr [1991a] მიერ ფაზი-ლოგიკური კონტროლერის დიზაინში ცნობილი „კალათის და ბოდის“ ამოცანაში. გამოიყენებოდა გაუსის ტიპის მიკუთვნების ფუნქციები და მიზანი იყო კალათასა და გზის ცენტრს შორის გადახრის კვადრატის შემცირება. ამასთან მნიშვნელოვანი იყო ბოდის ბალანსის შენარჩუნება. Meredith et al [1992] მიმართა გენეტიკურ ალგორითმებს ვერტმფრენის ფაზი-ლოგიკური კონტროლერისთვის მიკუთვნების ფუნქციების აწყობისას. მიკუთვნების ფუნქციების პირველადი შეფასებები კეთდება საავიაციო მართვის ინჟინერიაშიც. აქ გენეტიკური ალგორითმები მართვის პარამეტრებს გადააწყობს ისე, რომ ჰაერში გაჩერებული ვერტმფრენის მოძრაობები მინიმუმამდე დაიყვანოს. Lee და Takagi [1993] ასევე ხელი მოჰკიდეს კალათის პრობლემას გლობალური მიდგომით, რომელიც იყენებს გენეტიკურ ალგორითმებს მთლიანი სისტემის დიზაინისათვის (წესებისთვის და ასევე მიკუთვნების ფუნქციებისთვის).

გენეტიკური ალგორითმებით ფაზი-სისტემების შექმნის საკვანძო საკითხია მათი გენოტიპის წარმოდგენა ([Thrift [1991] და Hwang და Thompson [1994]), როდესაც მიკუთვნების ფუნქციების ფიქსაციის დროს დაშიფრეს ყველა წესი დაიშიფრა ქრომოსომებში.

მიკუთვნების ფუნქციების და წესების ურთიერთდამოკიდებულების გამო ძალიან დიდი შრომა ჩაიდო მათი ერთდროული განვითარებისთვის. Homaifer და McCormick [1995] გამოიყენეს გენეტიკური ალგორითმები მიკუთვნების ფუნქციების და წესების მიმდევრობების ერთდროული განვითარებისთვის. თითოეული მიკუთვნების ფუნქციის ძირითადი სიგრძე და ყველა შესაძლო წესი დაშიფრულია ქრომოსომებში. უმეტეს გამოყენებებში ყველა შესაძლო წესის მხოლოდ რაღაც ნაწილია საჭირო. ეს საკმაოდ შეამცირებს ქრომოსომების სიგრძეს. Karr [1991b] განიხილავს განსაკუთრებულ მიდგომას, როცა წესების რაღაც რიცხვი წარმოდგენილია ექსპერტის

მიერ ყველა დასრულებულ წესთან ერთად წესების მიმდევრობიდან და ანტეცედენტები დანარჩენიდან, ისე, რომ მხოლოდ უკანასკნელი ნაწილის შედეგია განსავითარებელი და, შესაბამისად, დასაშიფრი ქრომოსომაში. თუმცა უმეტესად ძნელია ზუსტად იმის განსაზღვრა რამდენი წესი უნდა იყოს ჩართული წესების მიმდევრობაში. Shimojima et al [1995] და Inoue et al [1997] განსაზღვრეს მიკუთვნების ფუნქციები თითოეული წესისთვის და დაშიფრეს ეფექტურობის ინფორმაცია თითოეული წესისთვის და მიკუთვნების ფუნქციისთვის.

ამოცანის სივრცის კომპლექსური და არასწორხაზოვანი მახასიათებლების გამო ფაზი-მიმდევრობების თანაბარი განაწილება არაა ყოველთვის ოპტიმალური. შაბლონის ზოგიერთი ნაწილმა შეიძლება მოითხოვოს წმინდა განაწილება, ამ დროს როცა სხვებს მხოლოდ გადაფარვითი, ხშირი განაწილება სჭირდებათ. ამ პრობლემასთან გასამკლავებლად Ishibuchi et al [1995] წარმოადგინა დისტრიბუციული „თუ-მაშინ“ ტიპის წესების კონცეფცია. მათ რამდენიმე სხვადასხვა ფაზი-დაყოფის შესაბამისი ყველა წესი დაშიფრეს სტრინგში და გამოიყენეს გენეტიკური ალგორითმები უმნიშვნელო და არასაჭირო წესების მოსაცილებლად. Shi et al [1999] წარმოადგინა გენეტიკურ ალგორითმებზე დაფუძნებული მეთოდი ფაზი-ექსპერტული სისტემის კონსტრუქციისთვის. ექსპერტული სისტემა კოდირებულია როგორც ფაზი-წესები. ფაზი-წესები წარმოდგენილია სტრინგის საშუალებით, რომელიც შედგება ყველა შემომავალი და გამომავალი ცვლადების ფაზი-მიმდევრობების საწყისი და ბოლო წერტილებისგან.

Arslan and Kaya [2001] შეიმუშავეს გენეტიკური ალგორითმი ერთი შემავალი და ერთი გამომავალი ცვლადის მქონე ფაზი-სისტემისთვის მიკუთვნების ფუნქციის გამოსავლენად. გენეტიკური ალგორითმი პოულობს მიკუთვნების ფუნქციების საბაზისო სიგრძეს. ბაზისები კოდირებულია ბიტების ფიქსირებული რიცხვით.

§1. ფაზი-სიმრავლეები

1.1. ფაზი-სიმრავლეები

ადამიანის ინტელექტის საოცარი თვისებაა არასრული და არამკაფიო ინფორმაციის პირობებში მიიღოს ზუსტი გადაწყვეტილება. ადამიანის აზროვნებას მიახლოებული მოდელების აგება, მათი კომპიუტერულ სისტემებში გამოყენება დღევანდელი ინფორმაციული მეცნიერებების ერთ-ერთი უმთავრესი პრობლემაა.

ამ მიმართულებით 45 წლის წინ მნიშვნელოვანი ნაბიჯი გადადგა წინ კალიფორნიის (აშშ) უნივერსიტეტის (ბერკლი) პროფესორმა ა. ზადემ (Lotfi A. Zadeh). მისმა ნაშრომმა „Fuzzy Sets“, რომელიც 1965 წელს ჟურნალ „Information and Control [25]“-ში დაიბეჭდა, ადამიანის ინტელექტუალური საქმიანობის მოდელირებას ჩაუყარა საფუძველი, რამაც არსებული ზოგიერთი მათემატიკური თეორიის ახალ ინტერპრეტაციას მისცა ბიძგი.

კლასიკურ მათემატიკაში ობიექტი ან ეკუთვნის სიმრავლეს ან არა. ადამიანი აზროვნებს არამკაფიო კატეგორიებით. მაგალითად: მაღალი, წითელი, ლამაზი, კომფორტული. როგორ გამოვსახოთ ეს მათემატიკურ ენაზე და ამავდროულად დავრჩეთ მკაცრ მათემატიკურ ჩარჩოებში?

სწორედ ა. ზადეს უდიდესი დამსახურებაა ასეთი ძირითადი პრინციპის ჩამოყალიბება: ელემენტის მიკუთვნება რაიმე კლასისადმი ხდება არა ნახტომისებურად $\{0;1\}$, არამედ მდორედ $[0;1]$.

$\{0;1\}$ განზოგადდა $[0;1]$ კონტინუუმამდე და ამ დროს ელემენტის მიკუთვნება სიმრავლისადმი გამოიხატება რიცხვით $[0;1]$ ინტერვალიდან [26, 27, 28].

ასეთ სიმრავლეებს უწოდა მან ფაზი- (არამკაფიო) სიმრავლეები და მათზე შემოიღო მთელი რიგი ოპერაციები. შემოიღო რა ე.წ. “ლინგვისტური ცვლადის” ცნება და დაუშვა, რომ მისი მნიშვნელობები (ტერმები) ფაზი სიმრავლეებია. ზადემ ააგო ინტელექტუალური საქმიანობის აქტივობის აღმწერი აპარატი, რომელიც უზრუნველყოფს მოცემული განუზღვრელობის პირობებში სუბიექტის ინტელექტუალური აქტივობის შედეგების რაოდენობრივ აღწერას.

ფაზი-სიმრავლეების მათემატიკური თეორია, რომელიც ზადემ შემოგვთავაზა ფაზი-ცნებებისა და ცოდნის აღწერის, ასევე ამ ბაზაზე ოპერირებისა და გადაწყვეტილების მიღების

საშუალებას იძლევა. ცხადია ამ თეორიაზე დაფუძნებული ახალი კომპიუტერული სისტემები აფართოებენ მომავალი თაობების კომპიუტერების გამოყენების არეალს, რაც ბოლო პერიოდში ფაზი ლოგიკის სწრაფმა განვითარებამ განაპირობა.

განსაზღვრება 1.1.1: ფაზი- (არამკაფიო) სიმრავლე (Fuzzy Set) A -ს X -ზე ეწოდება წყვილთა ერთობლიობას $(x, m_A(x))$, სადაც $x \in X$, $m_A(x) | X \rightarrow [0,1]$. ფუნქცია m_A -ს ეწოდება მიკუთვნების ფუნქცია.

ფაზი სიმრავლეების ჩაწერის რამოდენიმე ფორმა არსებობს.

$$A = \{(x_1, 0.2), (x_2, 0), (x_3, 0.3), (x_4, 1), (x_5, 0.8)\} \quad (1.1.1)$$

ან ასე $A =$

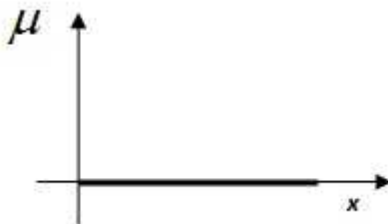
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
0.2	0	0.3	1	0.8

$$\text{ან } 0.2 | x_1 + 0 | x_2 + 0.3 | x_3 + 1 | x_4 + 0.8 | x_5 .$$

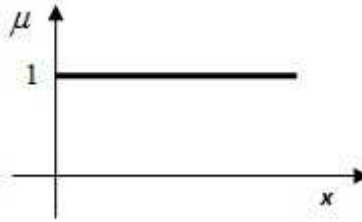
აქედან ვაკეთებთ დასკვნას: ფაზი-სიმრავლე A შეიცავს x_1 -ს მცირე 0.2 ხარისხით (დონით), არ შეიცავს x_2 -ს, შეიცავს x_3 ცოტა უფრო დიდ ხარისხით -0.3 ვიდრე x_1 , მთლიანად შეიცავს x_4 და მნიშვნელოვან ხარისხში შეიცავს x_5 .

ცხადია, რომ m_A - სიმრავლის ამომწურავი მახასიათებელია, ამიტომ ჩვენ ხშირად გავაიგივებთ A და m_A აღნიშვნებს.

განსაზღვრება 1.1.2: ფაზი-სიმრავლეს ეწოდება **ცარიელი** (Empty), თუ მისი მიკუთვნების ფუნქცია უდრის ნულს მთელ X სიმრავლეზე, $m_\emptyset(x) = 0, \forall x \in X$.

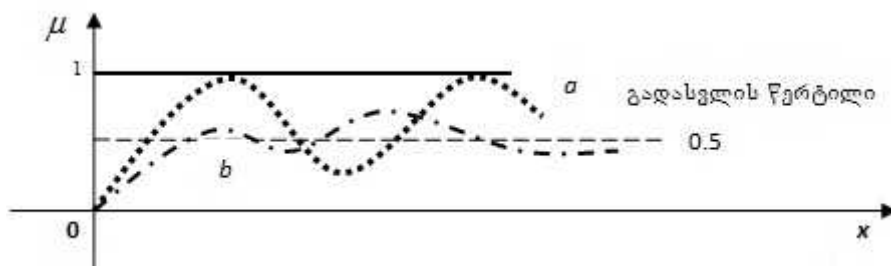


განსაზღვრება 1.1.3: ფაზი-სიმრავლეს ეწოდება **უნივერსალური** (Universal), თუ მისი მიკუთვნების ფუნქცია უდრის 1 მთელ X სიმრავლეზე, $m_U(x) = 1, \forall x \in X$.



განსაზღვრება 1.1.4. $\sup_{x \in X} m_A(x)$ სიდიდეს A ფაზი-სიმრავლის **სიმაღლე** ეწოდება.

განსაზღვრება 1.1.5: ფაზი-სიმრავლეს ეწოდება **ნორმალური** (Normal) A , თუ მისი სიმაღლე 1-ის ტოლია, წინააღმდეგ შემთხვევაში მას **სუბნორმალური** b ეწოდება.



განსაზღვრება 1.1.6. A ფაზი-სიმრავლეს ეწოდება **უნიმოდალური**, თუ $m_A(x) = 1$ მხოლოდ ერთი ელემენტისათვის X -დან.

არა ცარიელი სუბნორმალური ფაზი-სიმრავლე შეიძლება დავიყვანოთ ნორმალურ სახეზე შემდეგი გარდაქმნის საშუალებით:

$$\frac{m_A(x)}{\sup_{x \in X} m_A(x)}$$

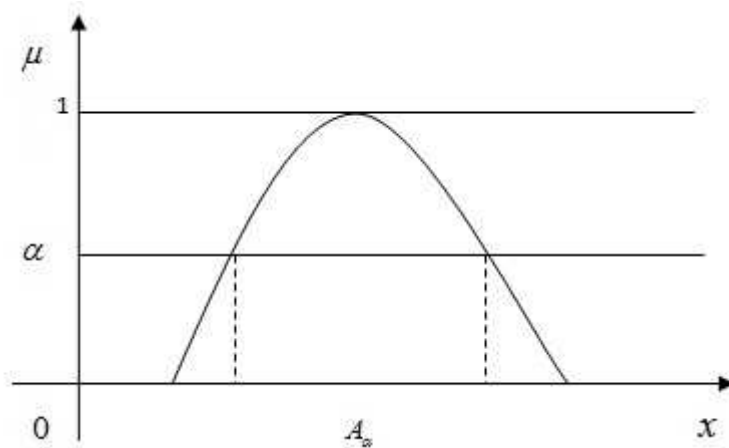
განსაზღვრება 1.1.7: A ფაზი-სიმრავლის **a დონის სიმრავლე** ეწოდება X უნივერსალური სიმრავლის მკაფიო (ჩვეულებრივ) ქვესიმრავლეს

$$A_a = \{x \in X \mid m_A(x) \geq a\}, \quad a \in [0;1].$$

მაგალითად, (1.1.1)-ში თუ $a = 0.3$, მაშინ $A_a = \{x_3, x_4, x_5\}$. მკაცრი a დონის სიმრავლე განისაზღვრება ასე:

$$A_a^s = \{x \in X \mid m_A(x) > a\}, \quad a \in [0;1[.$$

ჩვენი მაგალითისათვის $A_a^s = \{x_4, x_5\}$.



a დონის სიმრავლის კერძო შემთხვევაა ფაზი-სიმრავლის მატარებელი (Support), რომელიც აღინიშნება $\text{supp } A = \{x \in X \mid m_A(x) > 0\}$.

A ფაზი-სიმრავლის გადასვლის წერტილი ეწოდება $x \in X \mid m_A(x) = 0.5$.

A ფაზი-სიმრავლესთან უახლესი მკაფიო სიმრავლე $\underline{A} \quad \forall x \in X$ -თვის განისაზღვრება ასე:

$$m_{\underline{A}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } m_A(x) < 0.5 \\ 1, & \text{if } m_A(x) > 0.5 \\ 0 \text{ or } 1, & \text{if } m_A(x) = 0.5 \end{cases}$$

განსაზღვრება 1.1.8: X-ში ფაზი-სიმრავლეების $A_1, A_2, \dots, A_n$ – ამოზნექილ კომბინაციას (Convex Combination) ეწოდება ფაზი-სიმრავლე A, რომელიც განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$m_A(x) = \sum_{i=1}^n l_i m_{A_i}(x) \quad \forall x \in X, \text{ სადაც } l_i \geq 0 \mid \sum_{i=1}^n l_i = 1.$$

შევნიშნოთ, რომ ჩვეულებრივი სიმრავლეთათვის ამ ოპერაციას აზრი არა აქვს.

ზადეს განზოგადოების პრინციპი. ფაზი-სიმრავლეთა თეორიის ერთ-ერთი ძირითადი იდეა - განზოგადოების პრინციპი, რომელსაც გააჩნია ევრისტიკული შინაარსი და ასახვებზე ფაზი-სიმრავლეთა თეორიის არეალის გამოყენების დიდ შესაძლებლობას იძლევა.

ვთქვათ, გვაქვს მართვების სიმრავლე U და მასზე მოცემულია ასახვა $f: U \rightarrow V$.
დავუშვათ, რომ ეს ასახვა აღწერს მართვადი სისტემის ფუნქციონირებას. მაშინ $u \in U$ მართვის სახე $v = f(u)$ არის ამ სისტემის რეაქცია მართვის არჩევის მიმართ. თუ არჩეული

მართვა აღწერილია არამკაფიოდ, მაგალითად როგორც მართვათა U სიმრავლეში განსაზღვრული ფაზი-სიმრავლე m_U , მაშინ ასეთი მართვისას სისტემის რეაქციის საპოვნელად, ჩვენ უნდა განვსაზღვროთ m_U -ს სახე V სიმრავლეში f ასახვის დროს. სხვანაირად რომ ვთქვათ, უნდა გავაფართოვოთ f ასახვის განსაზღვრის არე U სიმრავლის ყველა ფაზი-სიმრავლეთა კლასზე.

ასახვათა განსაზღვრის ეს მიდგომა არის ფაზი-სიმრავლეთა კლასზე გაფართოების, განზოგადოების პრინციპი.

ზადემ შემოგვთავაზა განზოგადოების ასეთნაირი პრინციპი. ვთქვათ, $j : X \rightarrow Y$ მოცემული ასახვაა და A ფაზი-სიმრავლეა X -ში $m_A(x)$ მიკუთვნების ფუნქციით. მაშინ A ფაზი-სიმრავლის სახე J ასახვისას არის B არამკაფიო სიმრავლე Y -ში ასეთი მიკუთვნების ფუნქციით: $m_B(y) = \sup_{x \in j^{-1}(y)} m_A(x)$, $y \in Y$,

$$\text{სადაც } j^{-1}(y) = \{x \in X \mid j(x) = y\}.$$

იმ შემთხვევაში, როცა თვითონ ასახვა J არამკაფიოა, ანუ $x \in X$ ელემენტს შეესაბამება არა Y სიმრავლის კონკრეტული ელემენტი, არამედ ზოგადად Y -ში განსაზღვრული ფაზი-სიმრავლე. ეს ფაქტი აღიწერება შემდეგნაირად: $m_j : X \times Y \rightarrow [0,1]$, ასე, რომ ფუნქცია $m_j(x_0, y)$ (ფიქსირებული $X = X_0$ -ისათვის) წარმოადგენს Y -ში ფაზი-სიმრავლის მიკუთვნების ფუნქციას, რომელიც არის X_0 ელემენტის ფაზი-სახე მოცემული ასახვისას.

განსაზღვრება 1.1.9: ფაზი-სიმრავლის $A \subset X$ სახე B ფაზი-ასახვისას $m_j : X \times Y \rightarrow [0,1]$ ეწოდება ფაზი-სიმრავლეს შემდეგნაირი მიკუთვნების ფუნქციით:

$$m_B(y) = \sup_{x \in X} \min \{m_A(x), m_j(x, y)\}.$$

ადვილი დასანახია, რომ კერძო შემთხვევაში, როცა m_j ჩვეულებრივი ასახვაა $j : X \rightarrow Y$ (ანუ $m_j(x, y) = 1$, თუ $y = j(x)$ და $m_j(x, y) = 0$) ყველა (x, y) დანარჩენი

წველებისათვის ეს განსაზღვრება გვაძლევს $\mu_B(y) = \sup_{x \in j^{-1}(y)} \mu_A(x)$, რაც შეესაბამება, ზემოთმოცემულ ზადეს განზოგადების პრინციპს.

1.2. ოპერაციები ფაზი-სიმრავლეებზე

ვთქვათ, A და B ფაზი-სიმრავლეებია X -ში შესაბამისად μ_A და μ_B მიკუთვნების ფუნქციებით.

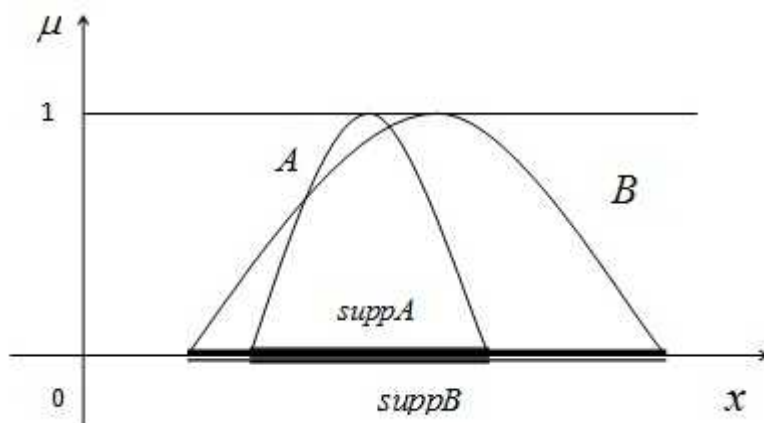
განსაზღვრება 1.2.1: ვიტყვი, რომ B შეიცავს A -ს $A \subseteq B$ (A is Contained in B = A is a Subset of B), თუ $\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \forall x \in X$ ე.ი. $A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \forall x \in X$.

B მკაცრად შეიცავს A -ს, თუ: $A \subset B \Leftrightarrow (\mu_A(x) \leq \mu_B(x)) \wedge \exists x_0 \in X \mid \mu_A(x_0) < \mu_B(x_0)$.

განსაზღვრება 1.2.2: A და B ფაზი-სიმრავლეებს ეწოდება ტოლი (Equal), თუ $\forall x \in X : \mu_A(x) = \mu_B(x)$. ე.ი. $A = B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad \forall x \in X$.

ადგილი აქვს შემდეგ თვისებას: $A \subseteq B \Rightarrow \text{supp}A \subseteq \text{supp}B$.

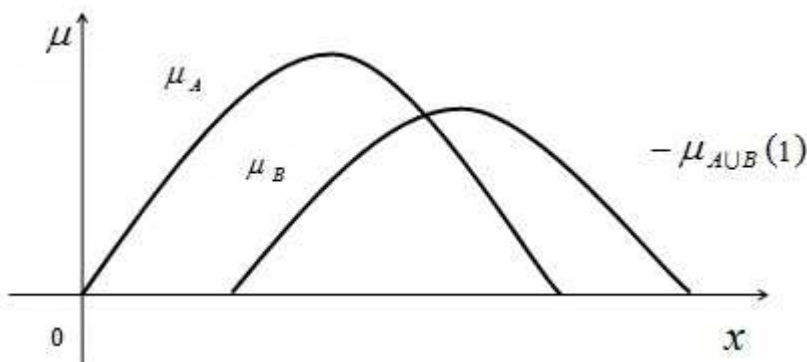
შენიშვნა: შებრუნებული პირობა - $\text{supp}A \subseteq \text{supp}B \nRightarrow A \subseteq B$ არ არის მართებული.



ფაზი-სიმრავლეებზე ოპერაციების შემოღებისას უნდა გვახსოვდეს, რომ ფაზი-სიმრავლეთა კლასი მოიცავს აგრეთვე მკაფიო (ჩვეულებრივ) სიმრავლეებსაც. ამიტომ შემოთავაზებული განმარტებები კერძო შემთხვევაში უნდა შეესაბამებოდნენ ჩვეულებრივი სიმრავლეთა თეორიაში მიღებულ განმარტებებს. რა თქმა უნდა ეს არ ეხება ისეთ ოპერაციებს, რომლებსაც

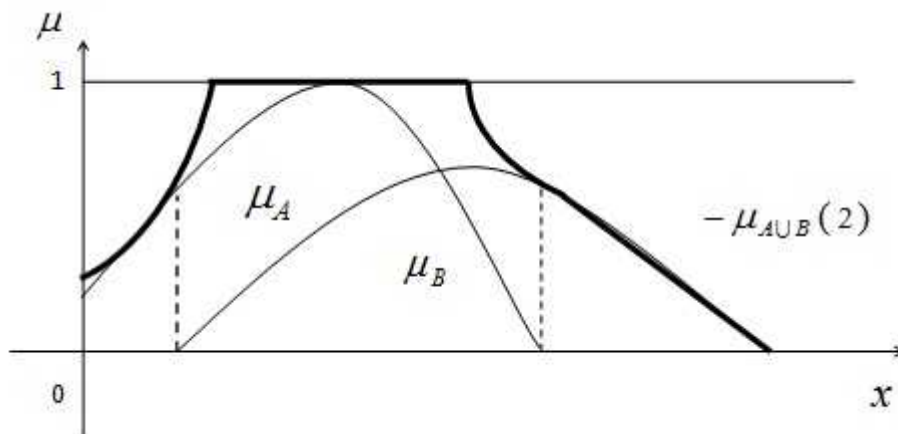
ჩვეულებრივი სიმრავლეებისათვის აზრი არა აქვს, მაგალითად კონცენტრირებისა და გაჭიმვის ოპერაციებისათვის.

განსაზღვრება 1.2.3 (გაერთიანება 1): X –ში A და B ფაზი-სიმრავლეთა გაერთიანება (Union) წარმოადგენს ფაზი-სიმრავლე $A \cup B$ -ს შემდეგნაირი მიკუთვნების ფუნქციით $\mu_{A \cup B}(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}, \forall x \in X$.



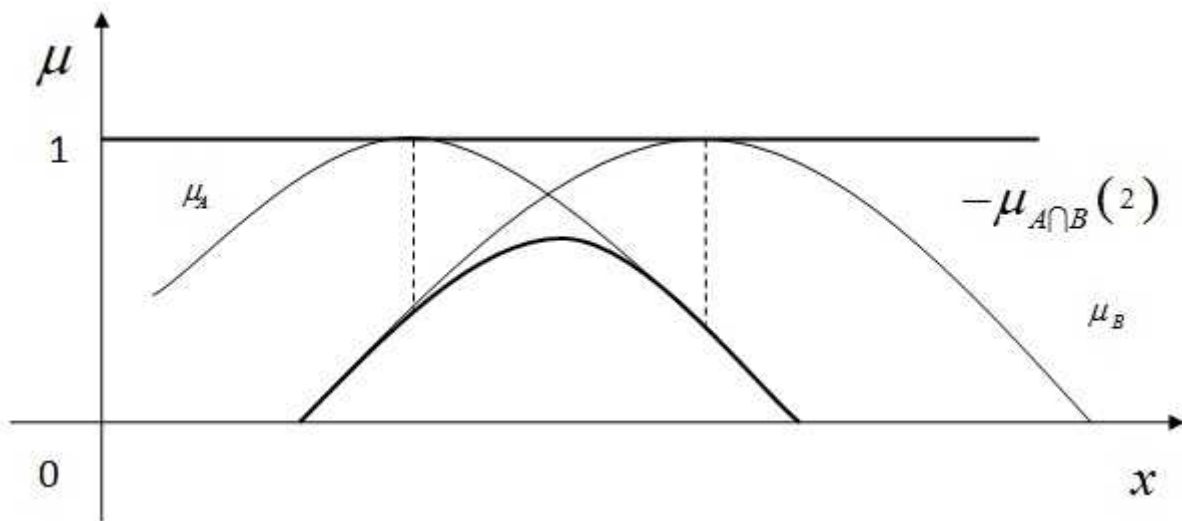
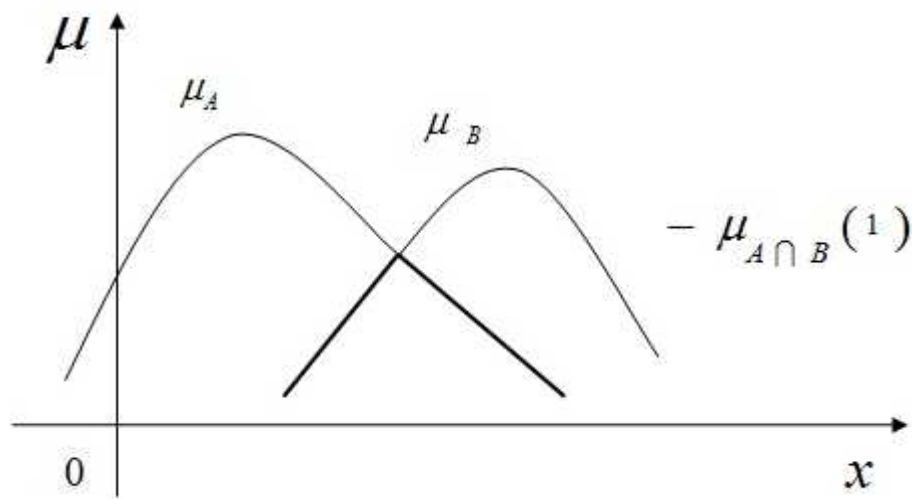
განსაზღვრება 1.2.4 (გაერთიანება 2): X –ში A და B ფაზი-სიმრავლეთა გაერთიანება წარმოადგენს ფაზი-სიმრავლე $A \cup B$ -ს შემდეგნაირი მიკუთვნების ფუნქციით

$$\mu_{A \cup B}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } \mu_A(x) + \mu_B(x) \geq 1 \\ \mu_A(x) + \mu_B(x), & \text{otherwise} \end{cases} \Leftrightarrow \min \{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\}, \forall x \in X.$$



განსაზღვრება 1.2.5 (თანაკვეთა 1): X -ში A და B ფაზი-სიმრავლეთა თანაკვეთა (**Intersection**) წარმოადგენს ფაზი-სიმრავლე $A \cap B$ -ს შემდეგნაირი მიკუთვნების ფუნქციით: $\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \forall x \in X$.

განსაზღვრება 1.2.6 (თანაკვეთა 2): X -ში A და B ფაზი-სიმრავლეთა თანაკვეთა წარმოადგენს ფაზი-სიმრავლე $A \cap B$ -ს შემდეგნაირი მიკუთვნების ფუნქციით: $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x), \forall x \in X$.



თანაკვეთის ამ ორი განმარტების განსხვავება ყველაზე მნიშვნელოვნად ვლინდება იმ შემთხვევაში, როცა $B \subseteq A$ ანუ $\mu_B(x) \leq \mu_A(x), \forall x \in X$. მართლაც, თანაკვეთის პირველი

განმარტების თანახმად $m_{A \cap B}(x) = m_B(x)$, $\forall x \in X$ ანუ A ფაზი-სიმრავლის მიკუთვნების ფუნქცია $m_A(x)$ ფაქტობრივად “არ მონაწილეობს” თანაკვეთის მიკუთვნების ფუნქციის განსაზღვრაში, ხოლო თანაკვეთის მეორე განმარტებისას მიკუთვნების ფუნქცია ყოველთვის შეიცავს ორთავე სიმრავლეთა მიკუთვნების ფუნქციებს.

პრაქტიკულ ამოცანებში შეიძლება სასარგებლო აღმოჩნდეს ფაზი-სიმრავლეთა მატარებლების ასეთი თვისება.

ლემა: გაერთიანების და თანაკვეთის ნებისმიერი განმარტებისათვის სამართლიანია:

$$\text{supp}(A \cup B) = (\text{supp}A) \cup (\text{supp}B)$$

$$\text{supp}(A \cap B) = (\text{supp}A) \cap (\text{supp}B).$$

განსაზღვრება 1.2.7: X -ში A ფაზი-სიმრავლის **დამატება** (Complement) წარმოადგენს ფაზი-სიმრავლე $\overline{A}$ -ს შემდეგნაირი მიკუთვნების ფუნქციით:

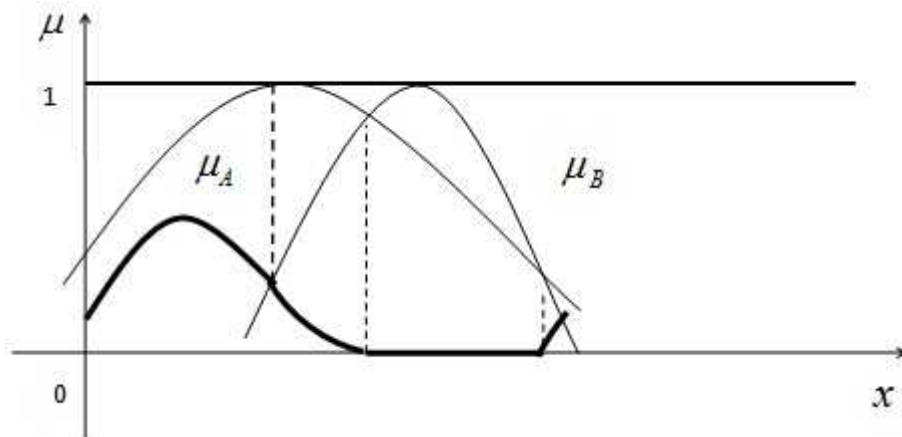
$$m_{\overline{A}}(x) = 1 - m_A(x), \quad \forall x \in X.$$

მნიშვნელოვანია, რომ ასეთი განმარტებისას, მკაფიო სიმრავლეებისაგან განსხვავებით, ზოგად შემთხვევაში $A \cap \overline{A} \neq \emptyset$ და $A \cup \overline{A} \neq U$ ორივე ზემოთ მოყვანილი თანაკვეთის და გაერთიანების განმარტებების მიხედვით.

განსაზღვრება 1.2.8: X -ში A და B ფაზი-სიმრავლეთა **სხვაობა** (Distinction) წარმოადგენს ფაზი-სიმრავლე $A \setminus B$ -ს შემდეგნაირი მიკუთვნების ფუნქციით:

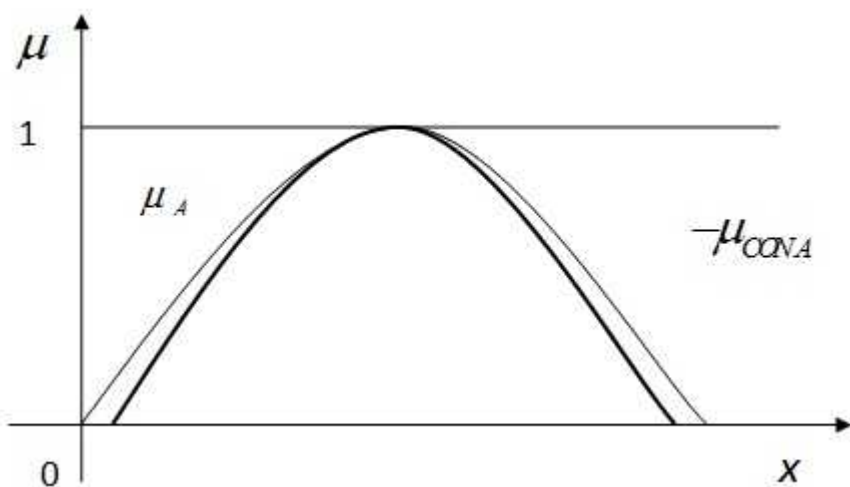
$$m_{A \setminus B}(x) = \begin{cases} m_A(x) - m_B(x), & \text{if } m_A(x) \geq m_B(x) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \max\{0, m_A(x) - m_B(x)\}, \quad \forall x \in X.$$



განსაზღვრება 1.2.9: X -ში A ფაზი-სიმრავლის კონცენტრირების ოპერაცია $CON A$

განისაზღვრება შემდეგნაირად: $\mu_{CON A}(x) = \mu_A^2(x), \forall x \in X$.

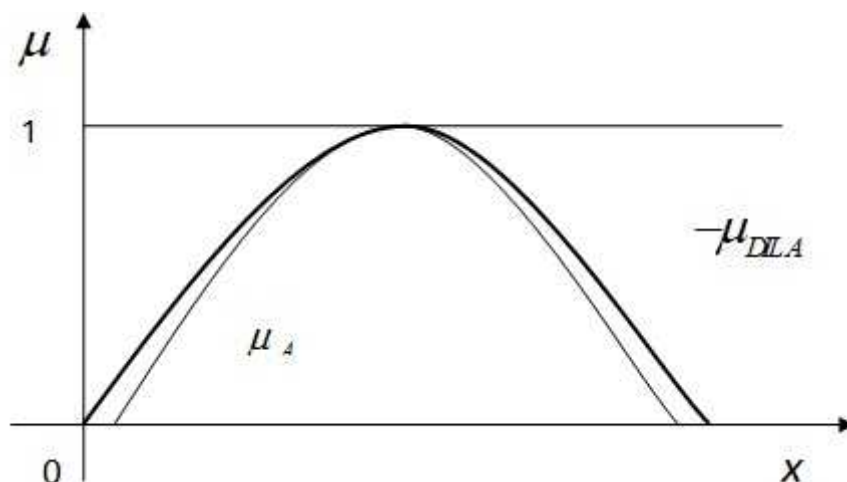


კონცენტრირების ოპერაციის გამოყენება სინამდვილეში ნიშნავს ამ სიმრავლის “არამკაფიოების” შემცირებას. რეალურ ამოცანაში ეს შეიძლება ნიშნავდეს ახალი, დამატებითი ინფორმაციის შემოსვლას, რაც საშუალებას იძლევა უფრო ზუსტად (მკაფიოდ) აღვწეროთ მოცემული ფაზი-სიმრავლე.

განსაზღვრება 1.2.10: X -ში A ფაზი-სიმრავლის გაჭიმვის ოპერაცია $DIL A$

განისაზღვრება შემდეგნაირად: $\mu_{DIL A}(x) = \mu_A^{0.5}(x), \forall x \in X$.

გაჭიმვის ოპერაცია შეიძლება გამოყენებული იქნას ინფორმაციის დაკარგვის სიტუაციის მოდელირებისათვის.

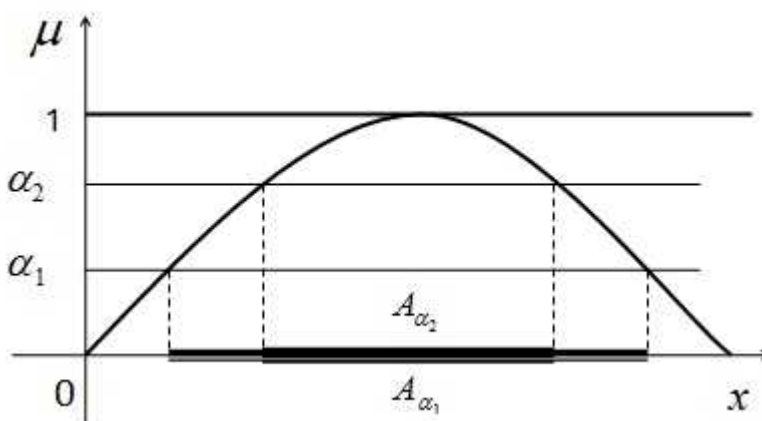


განსაზღვრება 1.2.11: ფაზი-სიმრავლეთა დეკარტული ნამრავლი $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$, სადაც $A_i \subset X_i$, $i = \overline{1, n}$, განისაზღვრება როგორც, ფაზი-სიმრავლე A დეკარტულ ნამრავლში $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ შემდეგნაირი მიკუთვნების ფუნქციით:

$$\mu_A(x) = \min\{\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_n}(x_n)\}, \quad x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X^n.$$

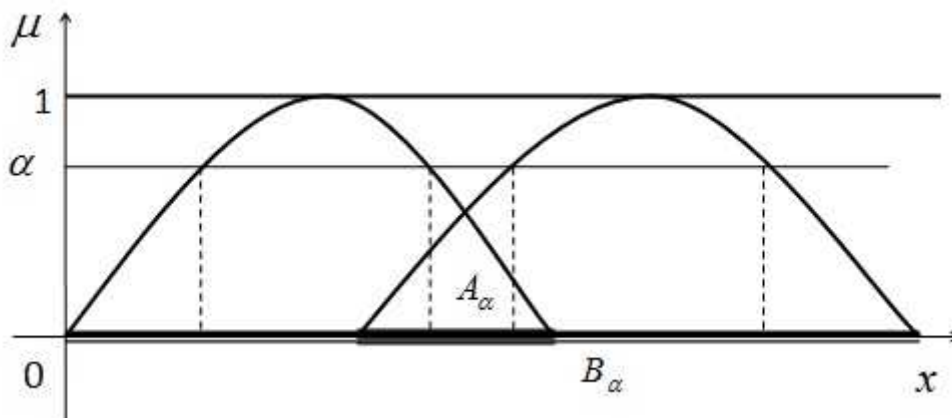
გავიხსენოთ, რომ X -ში A ფაზი-სიმრავლის **a** დონის სიმრავლე განისაზღვრება შემდეგნაირად: $A_a = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq a\}$, $a \in [0, 1]$.

მნიშვნელოვანი თვისება: $a_2 \geq a_1 \Rightarrow A_{a_2} \subset A_{a_1}$



ვთქვათ, $(A \cup B)_a$ და $(A \cap B)_a$ არის A და B ფაზი-სიმრავლეების გაერთიანების და თანაკვეთის **a** დონის სიმრავლეები. განვიხილოთ მათი კავშირი A_a და B_a დონის სიმრავლეებთან.

თუ გამოვიყენებთ გაერთიანება 1 და თანაკვეთ 1-ის განმარტებებს, მივიღებთ, რომ

$$(A \cup B)_a = A_a \cup B_a, \quad (A \cap B)_a = A_a \cap B_a.$$


ხოლო, გაერთიანება 2 და თანაკვეთა 2-ის განმარტებების გამოყენებისას მივიღებთ მხოლოდ $(A \cup B)_a \supset A_a \cup B_a$, $(A \cap B)_a \subset A_a \cap B_a$.

შენიშვნა: ოთხივე თანაფარდობების მარჯვენა ნაწილებში გამოყენებულია გაერთიანების და თანაკვეთის ჩვეულებრივი ოპერაციები, თითოეული მათგანი შეიძლება განხილული იქნას, როგორც ნებისმიერი განმარტებით (1) ან (2) განსაზღვრული ოპერაციების კერძო შემთხვევა.

ვთქვათ, $(A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n)_a$ $A_i, i=1,2,\dots,n$. ფაზი-სიმრავლეთა დეკარტული ნამრავლის **a** დონის სიმრავლეა, მაშინ დეკარტული ნამრავლის განმარტებიდან გამომდინარეობს $(A_1 \times \dots \times A_n)_a = (A_1)_a \times \dots \times (A_n)_a$, ანუ, დეკარტული ნამრავლის **a** დონის სიმრავლე წარმოადგენს მოცემულ არამკაფიო სიმრავლეთა **a** -დონის სიმრავლეების დეკარტულ ნამრავლს.

ფაზი-სიმრავლეები ჩვეულებრივი სიმრავლეების განზოგადოებას წარმოადგენს, ანუ მათ შორის განსაზღვრული კავშირი არსებობს. თუ როგორაა დაკავშირებული ფაზი (არამკაფიო) და ჩვეულებრივი (მკაფიო) სიმრავლეები ანუ ამ კავშირის ფორმალიზაციის საშუალებას გვაძლევს დეკომპოზიციის უმნიშვნელოვანესი თეორემა:

X-ში ნებისმიერი ფაზი-სიმრავლე A შეიძლება დაშლილ იქნეს **a** დონის სიმრავლეებათ $A = \bigcup_{a \in [0,1]} aA_a$.

§2. ფაზი-სიმრავლეების მიკუთვნების ხარისხის გენერაციის რ. იაგერის ალგორითმი

2.1. შესავალი

როგორც უკვე ავღნიშნეთ, ფაზი-სიმრავლე ჩვეულებრივი ქვესიმრავლეებისგან განსხვავდება იმით, რომ ფაზი-სიმრავლეში ელემენტის მიკუთვნების ხარისხი სიმრავლეზე შეიძლება იყოს ნებისმიერი რიცხვი $[0,1]$ ინტერვალიდან, და არა 0 ან 1, როგორც ეს ჩვეულებრივ (მკაფიო) სიმრავლეშია. ფაზი-სიმრავლეების ეს თვისება თეორიულ-ფორმალურ წარმოდგენის საშუალებას იძლევა ფაზი-კონცეფციაზე, როდესაც გადასვლები მიკუთვნებიდან მიუკუთვნელობამდე ხდება თანდათანობით. კონცეფციის ასეთი სახით ფორმალიზება სასარგებლო აღმოჩნდა ხელოვნური ინტელექტისა და ინტელექტუალური სისტემების აგებებში, როდესაც ადამიანის აზროვნებისა და მისი ინტელექტუალური აქტივობის პროცესების მოდელირება სრულდება.

იმის მიუხედავად, რას გამოვიყენებთ - ფაზი-თუ ზუსტ სიმრავლეებს, მიკუთვნების ხარისხის გამოვლენა დამოკიდებულია გადაწყვეტილების მიმღები პირის ზოგიერთ სუბიექტურ კრიტერიუმებზე და უპირატესობათა გამოვლენაზე. როდესაც ზუსტი ქვესიმრავლეების გამოყენებისას ხდება მხოლოდ მარტივი ამორჩევა ორიდან ერთი ციფრის - 0 ან 1 ის, ფაზი-სიმრავლის შემთხვევაში არჩევანი ბევრად მრავალფეროვანია. თუმცა ფაზი-სიმრავლებთან მუშაობას ზოგიერთ შემთხვევებში შესაბამისი მიკუთვნების ხარისხის გამოვლენისას მიყვარათ საკმაო სირთულეებამდე.

ჩვენი მიზანი მდგომარეობს იმაში, რომ აღწეროთ მეთოდოლოგია, რომელიც დაგვეხმარებოდა ფაზი-სიმრავლისათვის მიკუთვნების ხარისხის მნიშვნელობის განსაზღვრაში. მეთოდოლოგია ეყრდნობა ფაზი-სიმრავლის α -დონიანი სიმრავლეების გენერაციას. ეს მეთოდოლოგია წარმოდგენილია [34] -ში რ. იაგერის მიერ. კონკრეტულად, დონიანი სიმრავლეების სიბიექტური განსაზღვრის პროცესში ხდება ფაზი-სიმრავლის შესაძლებლობითი დონეების ფორმირება.

2.2. დონის სიმრავლეები და მიკუთვნების ხარისხები

ვთქვათ, ფაზი-სიმრავლე წარმოდგენს რაიმე უნივერსუმი X სიმრავლის რაიმე ქვესიმრავლეს, რომლის ელემენტების მიკუთვნების ხარისხის მნიშვნელობები $[0,1]$ ინტერვალშია. ფაზი-სიმრავლეებში არსებითია ფაზი-სიმრავლის მიკუთვნების ხარისხების შეფასება. უნდა გვახსოვდეს რომ მიკუთვნების ხარისხი - ეს არის სუბიექტური შეფასებები, სუბიექტის ინტელექტუალური აქტივობის შედეგი, რომელიც საბოლოოდ განსაზღვრავს ფაზი-სიმრავლეს. ახლა ავღწეროთ მეთოდოლოგია, რომელიც შესაძლებლობას მოგვცემს გამოვავლინოთ ელემენტების მიკუთვნების ხარისხები. ფაქტიურად საქმე გვექნება ინტელექტუალურ სიმულაციბოთან.

ვთქვათ A არის $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ სიმრავლის ფაზი-სიმრავლე. დავუშვათ, რომ X სიმრავლის ელემენტების A სიმრავლეში მიკუთვნების ხარისხი ცნობილია; ავღნიშნოთ ისინი $A(x_i) = a_i$. ჩავთვალოთ, რომ ელემენტები ინდექსირებულია ისე რომ $A(x_i) \geq A(x_j)$, თუ $i > j$. ეს ფაზი-სიმრავლე შეიძლება შესაბამისობაში მოვიყვანოთ X სიმრავლის ზუსტ ქვესიმრავლებთან, რომლებსაც A სიმრავლის დონიან სიმრავლეებს უწოდებენ. კონკრეტულად, ალფა დონის სიმრავლე განისაზღვრება როგორც $A_\alpha = \{x/A(x) \geq \alpha, x \in X\}$. სხვა სიტყვებით A_α X სიმრავლის ზუსტი ქვესიმრავლეა, რომელიც შეიცავს ყველა ელემენტებს, რომელთა მიკუთვნების ხარისხი არანაკლებია α -ზე. ავღნიშნოთ რომ, თუ $a_1 > a_2$, მაშინ $A_{a_2} \in A_{a_1}$ და A_α ზრდადი ფუნქციაა a_1 პარამეტრიდან. თუკი ზოგიერთი a_k სთვის არ არსებობს ელემენტები, ისეთები რომ $A(x) \geq a_k$, მაშინ $A_\alpha = \emptyset$, $a > a_k$ სთვის.

სანამ ავღწეროთ მიკუთვნების ხარისხის განსაზღვრის მეთოდოლოგიას, ავღწეროთ შემთხვევითი ექსპერიმენტი, სადაც გამოიყენება დონიანი სიმრავლის ცნება. დავუშვათ, რომ წარმოდგენილია X სიმრავლის ფაზი-სიმრავლე A . განვიხილოთ x ელემენტის X სიმრავლიდან ამორჩევის შემდეგი მეთოდი.

თავიდან შემთხვევითი მეთოდით ვირჩევთ $\alpha \in [0,1]$ მნიშვნელობას, შემდეგ ისევ შემთხვევითად ელემენტს შესაბამისი α დონის სიმრავლიდან. გამოვთვალოთ კონკრეტული ელემენტის ამორჩევის შესაძლებლობა ამ ექსპერიმენტის პირობებში.

სიმარტივისთვის ვივარაუდოთ, რომ $0 \leq a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_n$, სადაც a_i არის x_i -ის მიკუთვნის ხარისხი X სიმრავლეზე. ახლა შეგვიძლია ჩამოვწეროთ გათანაბრებული სიმრავლეებიც:

$$0 < \alpha \leq a_1 \quad A_\alpha = \{x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n\} = A_1,$$

$$a_1 < \alpha \leq a_2 \quad A_\alpha = \{x_2, x_3, x_4, \dots, x_n\} = A_2,$$

$$a_2 < \alpha \leq a_3 \quad A_\alpha = \{x_3, x_4, \dots, x_n\} = A_3,$$

.....

$$a_{n-2} < \alpha \leq a_{n-1} \quad A_\alpha = \{x_{n-1}, x_n\} = A_{n-1},$$

$$a_{n-1} < \alpha \leq a_n \quad A_\alpha = \{x_n\} = A_n,$$

$$a_n < \alpha \leq 1 \quad A_\alpha = \emptyset$$

იმდენად, რამდენადაც ექსპერიმენტში ალფას მნიშვნელობა ამოირჩეოდა შემთხვევითად, ალბათობა იმისა რომ დონიანი A_i სიმრავლე აღმოჩნება არჩეული, უდრის $P(A_i) = a_i - a_{i-1}$. ამას გარდა ავღნიშნოთ, რომ ალბათობა იმისა, რომ ამოირჩეული დონიანი სიმრავლიდან ელემენტი აირჩევა შემთხვევითად ტოლია

$$P\{\text{ავირჩიოთ ელემენტი } x_i | A_j\} = \begin{cases} 0, & x_i \notin A_j; \\ \frac{1}{n_j}, & x_i \in A_j; \end{cases}$$

სადაც n_j A_j ელემენტების რაოდენობაა. ამიტომაც

$$P(x_i) = \sum_{j=1}^n P(x_i/A_j) * P(A_j)$$

ამ ფორმულების გამოყენებით შეიძლება გამოვთვალოთ მოცემული X ელემენტის არჩევის ალბათობა

$$P(x_1) = \frac{1}{n} a_1$$

$$P(x_2) = P(x_1) + \frac{1}{n-1}(a_2 - a_1)$$

$$P(x_3) = P(x_2) + \frac{1}{n-2}(a_3 - a_2)$$

$$P(x_4) = P(x_3) + \frac{1}{n-3}(a_4 - a_3)$$

.....

$$P(x_{n-1}) = P(x_{n-2}) + \frac{1}{2}(a_{n-1} - a_{n-2})$$

$$P(x_n) = P(x_{n-1}) + (a_n - a_{n-1})$$

$$P(\text{არის ამორჩეული ელემენტები}) = 1 - a_n.$$

უნდა აღინიშნოს რომ თუ $i \geq j$, მაშინ ივარაუდება, რომ $a_i \geq a_j$, და შესაბამისად $P_i \geq P_j$ და მათი ჯამი უდრის 1-ს:

$$P(x_1) = \frac{1}{n}a_1$$

$$P(x_2) = \frac{1}{n}a_1 + \frac{1}{n-1}(a_2 - a_1)$$

$$P(x_3) = \frac{1}{n}a_1 + \frac{1}{n-1}(a_2 - a_1) + \frac{1}{n-2}(a_3 - a_2)$$

$$P(x_n) = \frac{1}{n}a_1 + \frac{1}{n-1}(a_2 - a_1) + \frac{1}{n-2}(a_3 - a_2) + \dots + (a_n - a_{n-1})$$

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) = n\left(\frac{1}{n}\right)a_1 + (n-1)\frac{1}{n-1}(a_2 - a_1) + (n-2)\frac{1}{n-2}(a_3 - a_2) + \dots + (a_n - a_{n-1})$$

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) = a_1 + (a_2 - a_1) + (a_3 - a_2) + \dots + (a_n - a_{n-1}) = a_n$$

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) + P(\text{არ არის ამორჩეული ელემენტები}) = a_n + (1 - a_n) = 1.$$

2.3. მიკუთვნების ხარისხის გამოვლენა-გენერირება

რეალური პრობლემა, რომლის გადაჭრაც ჩვენ გვაინტერესებს, აქტუალური ხდება მაშინ, როცა ფაზი-სიმრავლის მიკუთვნების ხარისხი პირდაპირ არ არის წარმოდგენილი, არამედ არსებობს მხოლოდ შემფასებლის, სუბიექტის წარმოდგენაში. ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ ვეცადოთ გამოვავლინოთ ფაზი-სიმრავლის ელემენტების მიკუთვნების ხარისხი, რომელთა განსაზღვრასაც ცდილობს სუბიექტი.

მიკუთვნების ხარისხი აღვნიშნოთ a_i -თი და x_i ელემენტის არჩევის ალბათობა კი $P(x_i)$ -თი; შესაბამისად წინა ფორმულებიდან ვიღებთ შემდეგს:

$$a_1 = nP(x_1)$$

$$a_2 = (n - 1)P(x_2) + P(x_1)$$

$$a_3 = (n - 2)P(x_3) + P(x_2) + P(x_1)$$

.....

$$a_n = (n - k + 1)P(x_k) + \sum_{i=1}^{k-1} P(x_i)$$

.....

$$a_{n-1} = 2P(x_{n-1}) + \sum_{i=1}^{k-2} P(x_i)$$

$$a_n = \sum_{i=1}^n P(x_i)$$

სადაც n არის ელემენტების რაოდენობა X -ში, a_i არის x_i -ის მიკუთვნების ხარისხი ; $P(x_i)$ - იმის ალბათობაა, რომ მოცემულ ექსპერიმენტში იქნება არჩეული x_i ელემენტი. გავიხსენოთ, რომ ელემენტები გადანომრილი იყო ისე, რომ თუ $i \geq j$, მაშინ $a_i \geq a_j$, და

შესაბამისად $P_i \geq P_j$, ასევე პირიქით: თუ $P_i \geq P_j$ მაშინ $a_i \geq a_j$. ავლნიშნოთ ასევე რომ თუ $a_n = 1$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ ალბათობა ცარიელი სიმრავლისა უდრის ნულს.

ამ ფორმულებიდან ჩანს, რომ თუ ცნობილია ალბათობები, რომლებითაც მოცემულ ექსპერიმენტში აირჩევა ელემენტები X დან, მაშინ ამ ინფორმაციის გამოყენება შესაძლებელია ფაზი-სიმრავლისადმი მიკუთვნების ხარისხის გამოვლენაში.

აღვწეროთ პროცედურა, რომელიც გამოიყენება ალბათობების შეფასებების მიღებაში:

თითოეულ x_i -თან დავაკავშიროთ T_i , რომელიც უდრის x_i -ის შემდეგ პროცედურაში გამოჩენის რაოდენობას:

1. განვსაზღვროთ ამორჩევის მოცულობა M (მაგ: $M=25$, $M=50$);
2. გავყოთ ერთეულოვანი ინტერვალი M თანაბარ ნაწილად, მაგალითად, თუ $M=50$, მაშინ მივიღებთ $\{1, 0.98, 0.96, 0.94, \dots, 0.02\}$. ავლნიშნოთ ეს სიმრავლე S -ით;
3. შემთხვევითად დაბრუნების გარეშე დავაგენერიროთ (ავირჩიოთ) α ელემენტი S -დან.
4. ვთხოვოთ ფაზი-სიმრავლის განმსაზღვრელ პიროვნებას ჩამოთვალოს ყველა ის X -ის ელემენტები რომელიც, მისი ვარაუდით, მიუკუთვნება შესაბამის არჩეულ დონეს.
5. თუ k არის იმ ელემენტების რაოდენობა, რომელიც შეყვანილია დონის სიმრავლეში, მაშინ ელემენტის ყოველ გამოჩენაზე ამ დონეზე T_i -ის დავუმატოთ $\frac{1}{k}$;
6. გავიმეოროთ 3-5 ნაბიჯი მანამ სანამ არ გამოვიყენებთ ყველა α -ს S -დან;
7. გამოვთვალოთ $P(x_i) = T_i / M$
8. მიღებული შეფასებები დავალაგოთ ზრდადობით, ჩავსვათ ისინი შესაბამის ფორმულაში და გამოვთვალოთ X ელემენტების A სიმრავლეზე მიკუთვნების ხარისხი.

2.4. მაგალითი

ვთქვათ, $X = \{a, b, c, d, e, f\}$. დავუშვათ, რომ $M = 10$, მაშინ $S = \{1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2\}$.

დავუშვათ ასევე, რომ შემთხვევითი წესით ამორჩეულ დონეებზე მიიღება შემდეგი გათანაბრებული სიმრავლეები:

$$A_1 = \{a\}$$

$$A_{0.4} = \{a, e, b, d\}$$

$$A_{0.8} = \{b, d, a\}$$

$$A_{0.2} = \{c, a, e, b, d, f\}$$

$$A_{0.6} = \{e, b, d, a\}$$

$$A_{0.3} = \{a, e, b, d\}$$

$$A_{0.1} = \{b, d, a, c, e, f\}$$

$$A_{0.9} = \{a, b\}$$

$$A_{0.7} = \{b, d, a\}$$

$$A_{0.5} = \{e, b, d, a\}$$

მიღებული პასუხების გამოყენებით გამოვთვალოთ T_i ყოველი ელემენტისთვის:

$$T_a = 1 + 4 \cdot \frac{1}{4} + 2 \cdot \frac{1}{3} + 2 \cdot \frac{1}{6} + \frac{1}{2} = 3.5$$

$$T_b = 4 \cdot \frac{1}{4} + 2 \cdot \frac{1}{3} + 2 \cdot \frac{1}{6} + \frac{1}{2} = 2.5$$

$$T_c = 2 \cdot \frac{1}{6} = 0.333$$

$$T = 4 \cdot \frac{1}{4} + 2 \cdot \frac{1}{3} + 2 \cdot \frac{1}{6} = 2$$

$$T = 4 \cdot \frac{1}{4} + 2 \cdot \frac{1}{6} = 1.333$$

$$T_f = 2 \cdot \frac{1}{6} = 0.333$$

გამოვთვალოთ ალბათობის შეფასებების მნიშვნელობები ($P_i = T_i/10$)

$$P_a = 0.35$$

$$P_b = 0.25$$

$$P_c = 0.033$$

$$P = 0.2$$

$$P_{\bar{c}} = 0.133$$

$$P_f = 0.033$$

დავალაგოთ შეფასებები ზრდადობით

$$P_f = 0.033$$

$$P_c = 0.033$$

$$P = 0.133$$

$$P_d = 0.2$$

$$P_b = 0.25$$

$$P_a = 0.35$$

მიღებული მნიშვნელობები ჩავსვათ ფორმულაში და გამოვთვალოთ a_i მიკუთვნების ხარისხები; გავითვალისწინოთ რომ X სიმრავლის ელემენტების რაოდენობა უდრის 6;

$$a_f = 6P_f = 0.198$$

$$a_c = 5P_c + P_f = 5 \cdot 0.033 + 0.033 = 0.198$$

$$a = 4P + P_c + P_f = 4 \cdot 0.133 + 0.033 + 0.033 = 0.598$$

$$a_d = 3P_d + P + P_c + P_f = 3 \cdot 0.2 + 0.133 + 0.033 + 0.033 = 0.799$$

$$a_b = 2P_b + P + P_c + P + P_f = 2 \cdot 0.25 + 0.2 + 0.133 + 0.033 + 0.033 = 0.899$$

$$a_a = P_a + P_c + P_f + P + P + P_b = 0.35 + 0.25 + 0.2 + 0.133 + 0.033 + 0.033 = 0.999$$

2.5. დასკვნა

უნდა აღინიშნოს რომ წარმოდგენილი მეთოდოლოგია არ წარმოადგენს ერთადერთს და არაა აბსოლუტურად ოპტიმალური მიდგომა. უბრალოდ, ბევრი პერსონისთვის ის უფრო მოსახერხებელია და მარტივად მისაღები იქნება, ვიდრე მიკუთვნების ხარისხების პირდაპირი მინიჭება.

ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ, მიუხედავად მიღებული თეორიული თეზისისა, რომ თუ $a_1 > a_2$, მაშინ $A_{a_2} \in A_{a_1}$, შესაძლებელია მომხმარებელმა კითხვარის შევსებისას ეს არ გაითვალისწინოს და შესაბამისად შედეგები ოდნავ განსვავებული აღმოჩნდეს. თუმცა თუ შედეგები ძლიერ შეუთანხმებელი იქნება, შესაძლებელია პერსონს ვთხოვოთ გადახედოს კითხვების პასუხებს.

§3. IDSS სისტემა

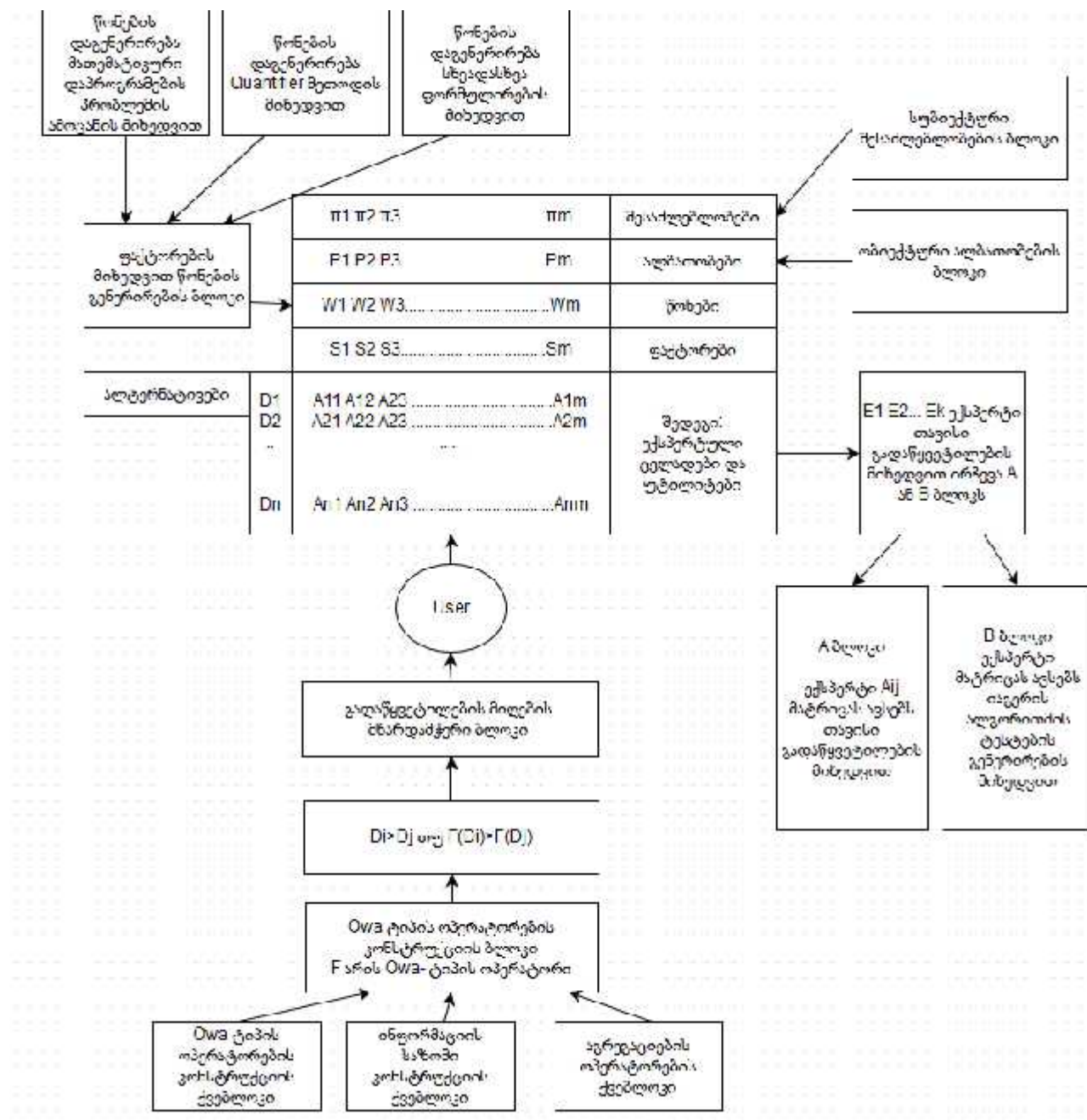
3.1. არქიტექტურის ზოგადი მიმოხილვა

სადიპლომო ნაშრომის ფარგლებში შეიქმნა OWA ოპერატორებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემა. სისტემა შექმნა ოთხმა მაგისტრანტმა, სამუშაო გადანაწილებული იქნა შემდეგი სქემით:

- ნათია გადელია - საექსპერო შეფასებების ინჟინერია აგრეგირების OWA ოპერატორებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალურ სისტემაში.
- ნიკოლოზ გოჩიაშვილი - აგრეგირების OWA-ს ტიპის ოპერატორების კლასი გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალურ სისტემაში.
- თებრონე ვარშანიძე - აგრეგირების OWA-ს ტიპის ოპერატორების წონების გენერირების კლასი გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალურ სისტემაში.
- არჩილ ვარშანიძე - გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემის არქიტექტურა და ინჟინერია.

სისტემა web დაფუძნებულია, რაც იმას ნიშნავს რომ არ არის აუცილებელი სისტემის ადმინისტრატორი და ექსპერტები ერთ ოთახში ისხდნენ, ან თუნდაც ერთ ქვეყანაში იმყოფებოდნენ. ექსპერტებს საშუალება აქვთ მსოფლიოს ნებისმიერი წერტილიდან შევიდნენ

ინტერნეტში განთავსებულ პროგრამაში თავიანთი მომხმარებლის სახელითა და პაროლით და დააფიქსირონ საკუთარი ექსპერტული ცოდნა.



სისტემა შედგება რამდენიმე ძირითადი სამომხმარებლო მოდულისგან, რომლებიც ერთიანდებიან ერთ ან მეტ სისტემურ მოდულს.

- პროექტების მოდული - სისტემის ძირითადი მოდული. DMS-ში ცნება “პროექტი” აერთიანებს ალტერნატიულ გადაწყვეტილებებს, მათ ცალკეულ საექსპერტო შეფასებებს, საბოლოო შეფასებას, “წონებს” და ამ ყველაფრისგან გამომავალ რანჟირებულ ალტერნატივებს საუკეთესოდან უარესი გადაწყვეტილებისკენ. პროექტი არის ალტერნატიული გადაწყვეტილებებიდან საუკეთესოს ამორჩევასთან დაკავშირებული ყველა ინფორმაციის ერთობლიობა.
 - პროექტების სია - ქვემოდული, საიდანაც შეიძლება ყველა პროექტის შესახებ ზოგადი ინფორმაციის ნახვა, შეფასებების რაოდენობის ნახვა, კონკრეტული პროექტის დეტალებში შესვლა და რედაქტირება.
 - პროექტის დამატება - ქვემოდული, საიდანაც შეიძლება ახალი პროექტის დამატება. პროექტის დამატებისას განისაზღვრება პროექტის დასახელება. ასევე ალტერნატივები და ფაქტორები რომლებზე მოქმედებების შედეგადაც საბოლოო ჯამში აირჩევა საუკეთესო ალტერნატივა. აქვე განისაზღვრება ექსპერტების სია, რომლებიც მუშაობენ ამ კონკრეტულ პროექტზე. სიიდან ყოველ არჩეულ ექსპერტს მიუვა მოწვევა, რომ გააკეთონ შეფასება.
 - პროექტის რედაქტირება - ქვემოდული რომელიც თითქმის იგივეა რაც პროექტის დამატების მოდული, იმ განსხვავებით რომ აქ შემოსვლისას ველების მნიშვნელობები უკვე შევსებულია და შეიძლება მათი შესწორება
 - პროექტის დეტალები - ქვემოდული რომელიც პროექტების მოდულში ყველაზე მნიშვნელოვანია. აქ მომხმარებელი ხედავს არჩეული პროექტის ყველა დეტალს. პროექტის დეტალების ქვემოდული შედგება რამდენიმე ჩანართისგან რომლებიც ფაქტიურად დალაგებულია პროექტის ეტაპების მიმდინარეობის მიხედვით.
 - ზოგადი ინფორმაცია - ამ ჩანართში მომხმარებელი ხედავს ფაქტიურად იმ ინფორმაციას, რითიც შეიქმნა პროექტი - ალტერნატივებს, ფაქტორებს და ექსპერტებს

- ექსპერტის შეფასებები - ჩანართში მომხმარებელი ხედავს თითოეული მოწვეული ექსპერტის დადასტურებულ შეფასებას.
- საბოლოო შეფასება - ჩანართში მომხმარებელი ხედავს ექსპერტონების მეთოდით გაერთიანებულ შეფასებას. თუ პროექტზე მოწვეული ექსპერტების რაოდენობა ერთზე მეტია, საჭირო ხდება შეფასებების მატრიცების გაერთიანება ერთ საბოლოო მატრიცაში – ეტალონში. აქ მომხმარებელი სწორედ ამ მატრიცას ხედავს.
- წონების გენერაცია - ჩანართში მომხმარებელი ხედავს თუ რა წონები დააგენერირა ამ პროექტზე, და შესაძლებლობა აქვს შეცვალოს ისინი. წონები საჭიროა აგრეგაციის კონკრეტული მეთოდებისთვის. აღსანიშნავია რომ ის მეთოდები რომელთაც სჭირდებათ აგრეგაცია, იყენებენ ყველა შესაძლო წონას რომ დააგენერირონ აგრეგაციები. ანუ, მაგალითისთვის, თუ დაგენერირებულია წონები სამი განსხვავებული მეთოდით, OWA აგრეგაცია მოგვცემს სამ განსხვავებულ შედეგს - თითოს თითო წონისთვის.
- აგრეგაცია - საბოლოო ჩანართი სადაც ზემოთ აღნიშნული ინფორმაციის გამოყენებით უკვე ხდება აგრეგაციის ოპერატორის არჩევა და არჩეული ოპერატორის გამოყენებით გადაწყვეტილებათა რანჟირება უკეთესისგან უარესისკენ. ჩანართი ინახავს ყველა დაგენერირებულ აგრეგაციას. აგრეგაციის სახელზე დაწკაპუნებით შეიძლება დეტალებში შესვლა, სადაც უკვე ჩანს აგრეგაციის შედეგი ქულების მიხედვით.
- შეფასებების მოდული - ექსპერტების სამუშაო ძირითადი მოდული. როცა ექსპერტი ჩართულია პროექტში, აუცილებელია მან საკუთარი ექსპერტული შეფასება დააფიქსიროს. ამ შეფასებების დასაფიქსირებლად არის განკუთვნილი შეფასებების მოდული.

- შეფასებების სია - ქვემოდული, საიდანაც ექსპერტს შეუძლია ნახოს ყველა პროექტის სია სადაც მონაწილეობს, ასევე ნახოს რომელი პროექტი აქვს შეფასებული და რომელი არა.
- შეფასების დეტალები - ქვემოდული, საიდანაც ექსპერტი შედის უკვე პროექტის შეფასებაში. აქ ჩანს ალტერნატივები, ფაქტორები და უკვე გაკეთებული-კონდენსირებული შეფასებები. ექსპერტს პროექტის შეფასება შეუძლია გააკეთოს რამდენჯერმე, მანამ, სანამ არ დაადასტურებს რომ ეს შეფასება საბოლოოა. დადასტურების შემდეგ პროექტის შეფასების ცვლილება აღარ შეიძლება. როცა პროექტში მოწვეული ყველა ექსპერტი დაადასტურებს თავის შეფასებას, ყველა ექსპერტის შეფასება გაერთიანდება საბოლოო შეფასებაში
- ექსპერტს შეუძლია გააკეთოს შეფასება 2 გზით
 - პირდაპირი შეფასება - როცა ექსპერტი შეფასებას აკეთებს პირდაპირი გზით, ანუ ქულას უწერს თითოეულ ალტერნატივას თითოეული ფაქტორისთვის.
 - არაპირდაპირი გზა - გამოიყენება როცა ექსპერტი არ არის მზად პირდაპირი გზით შეაფასოს პროექტი. მას საშუალება ეძლევა გასცეს წინასწარ დაგენერირებულ ტესტურ შეკითხვებს პასუხი, რის შემდეგაც რ. იაგერის ალგორითმის გამოყენებით სისტემა თვითონ გააკეთებს შეფასებას პირდაპირი გზით.

3.2. მიკუთვნების ხარისხის ალგორითმის ადგილი IDSS სისტემაში

პროექტის მთავარი შემავალი მონაცემები ექსპერტული ცოდნებია, ანუ ის შეფასებები რასაც ექსპერტი გააკეთებს კონკრეტულ ფაქტორზე მოცემული ალტერნატივისთვის. ექსპერტული ცოდნები ანუ თითოეული ფაქტორის თითოეულ ალტერნატივაზე მიკუთვნების ხარისხები შესაძლებელია შეივსოს პირდაპირ ან კითხვარის საშუალებით.

კითხვარით შევსება ბევრად უფრო მოხერხებულია მომხმარებლისათვის (ექსპერტისთვის) და სწორედ კითხვარში გაცემულ პასუხებზე დაყრდნობით ვიღებთ საჭირო მონაცემებს - მიკუთვნების ხარისხებს თითოეული ფაქტორისთვის ალტერნატივაზე.

კითხვები ისმება თითოეულ ალტერნატივაზე და დონეზე. კითხვების მიმდევრობა აირჩევა დონების შემთხვევითად გადათამაშებით დაბრუნების გარეშე.

ექსპერტი ირჩევს შესაბამის ფაქტორებს კითხვაში მითითებული ალტერნატივის და დონის მიხედვით. პასუხების სისწორეში დარწმუნების შემდეგ ექსპერტი ადასტურებს შევსებულ ინფორმაციას. თითოეულ ფაქტორზე, ალტერნატივაზე და ალფაზე (დონეებზე) გადათამაშებით ისმება კითხვები.

თითოეულ გაცემულ კითხვაზე პასუხები იწერება მონაცემთა ბაზაში - ალფა ანუ დონე, შესაბამისი ფაქტორები. მას შემდეგ რაც ექსპერტი გასცემს ყველა კითხვაზე პასუხს მიღებული მონაცემების გათვალისწინებით რ. იაგერის ალგორითმის გამოყენებით ვღებულობთ საბოლოო შედეგების - მიკუთვნების ხარისხების დაგენერირებას. საბოლოო შედეგი გამოიყურება შემდეგნაირად: თითოეული ფაქტორის თითოეულ ალტერნატივაზე მიკუთვნების ხარისხების მატრიცა.

3.2.1. მიკუთვნების ხარისხის გენერაციის რ. იაგერის ალგორითმის

წარმოდგენა პროგრამული კოდის საშუალებით

შემაჯავლი მონაცემები:

- M - ამორჩევის მოცულობა;
- მომხმარებლის მიერ კითხვარით შევსებული გათანაბრებული სიმრავლეები თითოეული ალფა დონისთვის;
- ფაქტორების ჩამონათვალი;

გამომაჯავლი მონაცემები:

- ექსპერტული შეფასება - ფაქტორის მიკუთვნების ხარისხი a_i თითოეული x_i -სათვის.

გაჩუმებით M -ის მნიშვნელობა არის 10.

მომხმარებლის მიერ შევსებული ტესტების პასუხები გამოსახულია TestAssessmentQuestionWithAnswer კლასის საშუალებით:

```
public class TestAssessmentQuestionWithAnswer
{
    public int TestAssessmentQuestionWithAnswerId { get; set; }

    public double Alfa { get; set; }
    public int DiagnosisId { get; set; }
    public virtual Diagnosis Diagnosis { get; set; }

    public virtual ICollection<Symptom> Symptoms { get; set; }
    public int Index { get; set; }
}
```

სადაც double Alfa არის კონკრეტულ კითხვაში მოცემული ალფა დონე, Diagnosis Diagnosis - კონკრეტული ალტერნატივა. რომელზეც ხდება ფაქტორების მიკუთვნების ხარისხების გამოვლენა, ICollection<Symptom> Symptoms - შესაბამის ალფა დონეზე გათანაბრებული სიმრავლე - ანუ ის x_i ელემენტები რომლებიც მინიმუმ ალფა დონით მიუკუთვნებიან მოცემულ ალტერნატივას.

გამომავალი მონაცემები - მიკუთვნების ხარისხები აღიწერება შემდეგი კლასით:

```
public class ExpertAssessmentItem
{
    public int ExpertId { get; set; }
    public virtual User Expert { get; set; }
    public virtual int ProjectId { get; set; }
    public virtual Project Project { get; set; }
    public virtual ExpertAssessment Assessment { get; set; }
    public virtual int DiagnosisId { get; set; }
    public virtual Diagnosis Diagnosis { get; set; }
    public virtual int SymptomId { get; set; }
    public virtual Symptom Symptom { get; set; }

    public double? Points { get; set; }
}
```

სადაც Diagnosis Diagnosis არის კონკრეტული ალტერნატივა, Symptom Symptom - კონკრეტული ფაქტორი, ხოლო double? Points - მიკუთვნების ხარისხის ექპერტული შეფასება ამ ფაქტორისა ალტერნატივაზე.

გამოთვლებისთვის ასევე ვიყენებთ დამხმარე კლასს, სადაც ვინახავთ კალკულაციისთვის საჭირო მონაცემებს:

```
internal class XElement
{
    public int XElementId { get; set; }
    public double Ti { get; set; }
    public double Pi { get; set; }
    public double MembershipGrade { get; set; }

    public int SymptomId { get; set; }
    public int DiagnosisId { get; set; }
}
```

შემდეგ პროგრამულ კოდში თითოეული გაცემული კითხვაზე აიღება ის ფაქტორები, რომლებიც კონკრეტული კითხვის შემთხვევაში არჩეულ იქნა ექსპერტის მიერ. შემდეგ გამოითვლება k - კონკრეტულ კითხვაში არჩეული ფაქტორების რაოდენობა და XElement კლასში ჩაიწერება შესაბამისი Ti მნიშვნელობა თითოეული ფაქტორისათვის:

```
var xelements = new List<XElement>();

foreach (var projSymptom in symptoms)
{
    foreach (var interval in intervals)
    {
        if (interval.Symptoms.Any(symptom => symptom.SymptomId == projSymptom.SymptomId))
        {
            int k = interval.Symptoms.Count;

            if (!xelements.Any(x => x.SymptomId == projSymptom.SymptomId))
            {
                xelements.Add(new XElement { SymptomId = projSymptom.SymptomId, DiagnosisId = interval.DiagnosisId });
            }

            xelements.Single(x => x.SymptomId == projSymptom.SymptomId).Ti += 1.0 / k;
        }
    }
}
```

მას შემდეგ რაც გვექნება ყველა T_i ჩანაწერი გამოვთვლის P_i მნიშვნელობებს და დავალაგებთ ზრდადობით

```
foreach (var xelement in xelements)
{
    xelement.Pi = xelement.Ti / m;
}
xelements = xelements.OrderBy(x => x.Pi).ToList();
```

შემდეგ უკვე გამოვთვლით მიკუთვნების ხარისხებს:

```
for (int i = 0; i < xelements.Count; i++)
{
    xelements[i].MembershipGrade = (xelements.Count - i) * xelements[i].Pi;
    for (int j = 0; j < i; j++)
    {
        xelements[i].MembershipGrade += xelements[j].Pi;
    }
}
```

საბოლოოდ მიღებულ მონაცემებს დამხმარე კლასიდან გადავიტან გამოშვალ მონაცემებში

```
List<ExpertAssessmentItem> results = new List<ExpertAssessmentItem>();
results.AddRange(xelements.Select(xElement => new ExpertAssessmentItem()
{
    SymptomId = xElement.SymptomId,
    DiagnosisId = xElement.DiagnosisId,
    Points = xElement.MembershipGrade
}));
```

3.2.2. ვიზუალური წარმოდგენა

მას შემდეგ რაც შეიქმნება შესაბამისი პროექტი და დაემატება ფაქტორები და ალტერნატივები, თითოეული ექპერტი ავსებს მიკუთვნებს ხარისხებს, ან პირდაპირ ან კითხვარის საშუალებით;

კითხვარს აქვს შემდეგი სახე:

1 ☒ a

2 ☒ b

3 ☐ c

4 ☒ d

5 ☒ e

6 ☐ f

next

მსგავსი კითხვა ისმება თითოეულ ფაქტორზე, ალტერნატივაზე და ალფაზე გადათამაშებით. შედეგად ვიღებთ წინა თავში განხილულ გამომავალ მონაცემებს. გამოთვლების შემდგომ ვიღებთ შემდეგ გამოსახულებას:

yager

ტექნიკური მუდგასები

დადისტრუქცი

	a	b	c	d	e	f
ალტერნატივა	0.999	0.899	0.198	0.799	0.598	0.198

მიკუთვნების ხარისხები თითოეული ფაქტორისთვის ალტერნატივაზე.

დასკვნა

სადიპლომო ნაშრომში განხილულია OWA-ს ტიპის ოპერატორებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემის შექმნის, სისტემის მოდულების მათემატიკური უზრუნველყოფისა და ალგორითმიზაციის ამოცანები. თვითონ სისტემა ნოვაციურია, რამეთუ ჩართულია საექსპერტო ცოდნაზე დაფუძნებული აგრეგირების OWA-ს ტიპის ისეთი ოპერატორები, როგორიც არის ASPOWA. სისტემა უზრუნველყოფს მრავალექსპერტულ და მრავალკრიტერიულ გარემოში განუზღვრელი ალტერნატივების საუკეთესოდან უარესისკენ რანჟირებას. სისტემის არქიტექტურა ისე არის აგებული, რომ ექსპერტები ვებ გარემოში აფიქსირებენ საკუთარ ექსპერტულ ცოდნას, რომელიც კონდენსირდება ე.წ. ეტალონურ ცოდნაში. წონების გენერაცია მრავალმხრივი მიდგომებით უზრუნველყოფს მომხმარებლის გადაწყვეტილების რისკების მიმართ განწყობის გათვალისწინებას.

დიპლომში წარმოდგენილია გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემის (OB-DSS- OWA Based Decision Support System) ექსპერტული მონაცემების ფორმირებისა და აგრეგირების ამოცანა. ამოცანა გადაწყვეტილია რ.იაგერის ალგორითმის საფუძველზე. ამოცანის რეალიზაცია უზრუნველყოფს თითოეული ექსპერტისთვის ფაქტორების სიმრავლეზე ფაზი-სიმრავლის შეთანხმებულობის დონეების გენერაციას.

გენერირდება შემთხვევითი ალფა-დონეების სიმრავლეები ფაქტორთა სიმრავლიდან, როდესაც დაფიქსირებულია ალტერნატივა.

შედეგები წარმოდგენილია ფაზი-მიმართებების სახით, რომელიც აკავშირებს ალტერნატივებსა და ფაქტორებს. ეს ალგორითმი სისტემაში ასევე გამოიყენება მომხმარებლის მიერ ფაქტორების განხორციელების შესაძლებლობების ხარისხების შეფასებაში. იგი აუცილებელია ზემოთ ნახსენები ნოვაციური აგრეგირების ოპერატორების ამუშავებისთვის.

ლიტერატურა:

1. **M. Sugeno**, Theory of fuzzy integrals and applications, Ph. D. Thesis, Tokyo Institute of Technology, 1974.
2. **D. Dubois, H. Prade**, Theory of possibility: an approach to computerize processing of uncertainty, Plenum Press, N. Y., 1988.
3. **A. Kandel**, On the control and evaluation of uncertain processes, IEEE Trans. on Automatic Control AC-25, 6 (1980), 1128-1187.
4. **M. Fridman, M Henne, A. Kandel**, Most typical Values for fuzzy sets, Fuzzy Sets and Systems 87 (1997) 27-37.
5. **M. Schneider, A. Kandel**, Properties of the fuzzy expected expected value and the fuzzy expected interval in fuzzy environment, Fuzzy Sets and Systems 28 (1988) 56-68.
6. **G. J. Klir, Z. Wang, D. Harmanec**, Constructing fuzzy measures in expert systems, Fuzzy Sets and Systems, 92 (1997) 251-264.
7. **G.Sirbiladze, A.Sikharulidze**, Weighted fuzzy averages in fuzzy environment, part I: Insufficient expert data and fuzzy averages. part II: Generalized weighted fuzzy expected

- values in fuzzy environment, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems, volume 11, No. 2 (2003) 139-157, 159-172.
8. **G. Sirbiladze, N. Zaporozhets**, About two probability representations of fuzzy measures on a finite set, The Journal of Fuzzy Mathematics 10, 3 (2002)
 9. **G. Sirbiladze, T. Gachechiladze**, Restored fuzzy measures in Expert Decision Making. Information Sciences, an International Journal (Excepted for publication).
 10. **G. Sirbiladze**, Modeling of Extremal Fuzzy Dynamic Systems, Parts I, II, III. (Submitted to International Journal of General Systems).
 11. **В.П.Бочарников**, Fuzzy-Технология: Математические основы. Практика Моделирования в экономике. – Санкт-Петербург: “наука”б РАН, 2001, -328с.
 12. **P. Diamond, P. Kloeden**, Metric Spaces of fuzzy sets, Theory and Applications, World Scientific, 1994, 178 pp.
 13. **Y. Yoshida**, (ed) Dynamical aspects in Fuzzy Decision Making (studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 73, physica-Verlag, Wurzburg, 2001.)
 14. **G. Shafer**, A Mathematical Theory of Evidence, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1976.
 15. **P. Demster**, Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping. Ann. Math. Statist. 38, 1967, 325-339.
 16. **G. sirbilaZe**, b. macaberiZe, gadawyvetilebis miRebis analizi riskis garemoSi, "universali", Tbilisi, 2001.
 17. **A.Smets**, Medical Diagnosis: Fuzzy sets and Degrees of belief, Fuzzy Sets and Systems, 5, 1081, 259-266.
 18. **Д.Д. Клир**, Системология автоматизация решение системных задач, Москва, “Радио и связь”, 1990.
 19. **А.Н. Борисов** и др. Обработка нечётной информации в системах принятия решений. Москва, “Радио и связь”, 1989.
 20. **G. Sirbiladze, A. Sikharulidze, G. Korakhashvili**, Decision-making Aiding Fuzzy Informational Systems In Investments. Part I – Discrimination Analysis In Investment Projects. Proceeding of Javakhishvili Tbilisi State University Applied Mathematics and Computer Sciences Vol. 353 (22-23), (2003), pp. 77-94

21. **G. Sirbiladze, G. Khachidze**, Decision-making Aiding Fuzzy Informational Systems In Investments. Part II - Demster-Shaper's Expected Utility In Investment Decisions, Proceeding of Javakhishvili Tbilisi State University Applied Mathematics and Computer Sciences Vol. 353 (22-23), (2003), pp. 95-108.
22. **Lotfi A. Zadeh**, Fuzzy Sets, Information and control 8 (1965).
23. **Кофман А.**, Введение в теорию нечётких множеств. Москва, изд.-тво „Радио и связь”, 1982г.
24. **Дюбуа Д., Прад А.**, Теория возможностей”, Москва, изд.-тво „Радио и связь”, 1990г.
25. **L. A. Zadeh**, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, June 1965.
<http://www-bisc.cs.berkeley.edu/Zadeh-1965.pdf>
26. **გ. სირბილაძე, ნ. ჯორჯიაშვილი**, „არამკაფიო სიმრავლეები თანამედროვე ინფორმაციულ სისტემებში“, ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი.
27. **თ. ცაბაძე**, სალექციო კურსი, 2010 წ.
28. http://www.intuit.ru/departement/ds/fuzzysets/1/fuzzysets_1.html
29. **G. J. Klir and T. A. Folger**, “Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information”, State University of New York, Binghamton, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632. pp. 27-32. (1988).
30. **Gia Sirbiladze, Anna Sikharulidze**, “Dempster-Shafer Temporalized Belief Structure on Expert knowledge Streams”, Part I. Theoretical Foundations, Proceedings of 10th International conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA'10) held in Cairo, Egypt during November 29 – December 01, 2010, p.68.
31. **R.R.Yager, K.J.Engemann, H.E.Miller**, “Modeling Risk in Sequential Decision Making with Interval Probabilities” , Iona College, New Rochelle, NY 10801. pp. 17-30;
32. **F. J. Cabrerizo, J. M. Moreno, I. J. Pe ´ rez, E. Herrera-Viedma**, “Analyzing consensus approaches in fuzzy group decision making: advantages and drawbacks”, Published online: 4, June, 2009, Springer-Verlag 2009, Soft Comput (2010) 14:451–463, DOI 10.1007/s00500-009-0453-x, pp. 451-463.
33. **Francisco Herrera, J. Luis Verdegay**, “On group Decision Making under Linguistic Preferences and Fuzzy Linguistic Quantifiers”, Dept. of Computer Science and Artificial Intelligence

University of Granada, 18071 – Granada, Spain, Technical Report #DECSAI-95133, January, 1995.

34. **R.R. Yager** “Fuzzy set and possibility theory: Recent developments” pp 71-78
35. **Zadeh, L. A.**, Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338-353, 1965
36. **Mendenhall, W., Ott, L. and Scheaffer, R. L.**, Elementary survey Sampling, Wadsworth, Belmont, Cal., 1971.
37. http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/6802/16/16_chapter%206.pdf