

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

ნიკოლოზ გოჩიაშვილი

**აგრეგირების OWA–ს ტიპის ოპერატორების კლასი გადაწყვეტილების
მიღების ინტელექტუალურ სისტემაში**

სამაგისტრო პროგრამა: ინფორმაციული სისტემები

სამაგისტრო ნაშრომი შესრულებულია ინფორმაციულ სისტემებში
მეცნიერების მაგისტრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელი: გია სირბილაძე,
ფიზ.-მათ. მეცნიერებათა დოქტორი,
სრული პროფესორი

თბილისი

2013

ანოტაცია

სადიპლომო ნასრომში 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. მეიჟიოს და სხვათა კვლევები. ნაშრომი 2 ძირითადი მიმართულებით შეიძლება იქნეს განხილული :

1. **OWA-ს** ტიპის აგრეგირების ოპერატორების შესწავლა, მათი რეალიზაციის ალგორითმული და პროგრამული უზრუნველყოფა, აგებული მოდულები და მათი ურთერთმიმართება ინტელექტუალურ სისტემაში.
2. **OWA-ს** ტიპის ნოვაციური აგრეგირების ოპერატორებისა და მათთვის აუცილებელი ე.წ. შესაძლებლობითი ანალიზის შესწავლა. შესაძლებლობითი ანალიზის, როგორც სუბიექტური, რაოდენობრივი ანალიზის გამოყენება ნოვაციური ტიპის აგრეგირების ოპერატორებში.

Annotation

The most important issue of modern knowledge engineering problematics is discussed in this master's thesis: The modeling of approved decision making in heuristic methods.

This master's thesis presents implementation of OWA based intelligent decision support system. System 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.Merijio and others. Master's thesis can be reviewed in two main directions:

1. Learning OWA aggregation operators, creating their algorithmic implementations and defining their interrelation to decision support system.
2. Learning innovative OWA aggregation operators and possibility analysis, related to them. Using possibility analysis as subjective, quantitative analysis in OWA aggregation operators.

სარჩევი

შესავალი.....	4
1.1 გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური მხარდამჭერი (საკონსულტაციო– მრჩეველი) ანალიტიკურ–საინფორმაციო სისტემების ტექნოლოგიების შესახებ.....	12
1.2 სადიპლომო ნაშრომში განვითარებული ძირითადი ამოცანების შესახებ	14
1.3 ფაზი–სიმრავლეების სათავეებთან.....	15
1.4 არასრული ინფორმაციის წარმოდგენის შესახებ. ინფორმაციის უზუსტობა და განუზღვრელობა	17
2 მრავალკრიტერიალურ სისტემაში გადაწყვეტილების მიღების პრობლემა	21
2.1 შესავალი	21
2.2 გადაწყვეტილების მიღების პროცესში ინფორმაციის აგრეგირების პრობლემის ფორმულირება	22
3 OWA-ს ტიპის ოპერატორები	27
3.1 OWA ოპერატორი	27
3.2 OWG ოპერატორი	28
3.3 GOWA ოპერატორი	30
3.4 IOWA ოპერატორი.....	31
3.5 IGOWA ოპერატორი	33
3.6 IOWG ოპერატორები.....	33
3.7 POWA ოპერატორი.....	34
3.8 AsPOWA ოპერატორი	35
4 OWA ტიპის ოპერატორები გადაწყვეტილების მიმღებ ინტელექტუალურ სისტემაში	36
4.1 სისტემის არქიტექტურა	36
4.1.1 ტექნოლოგიები.....	37
4.2 მომხმარებლის სახელმძღვანელო: აგრეგაცია	41
4.2.1 თითოეული ოპერატორის გამოყენების აღწერა	42
5 დანართი: მოდულის რეალიზაციები და გამოთვლითი შედეგები	47
5.1 OWA.....	47
5.2 OWG.....	48
5.3 GOWA.....	49
5.4 IOWA	50
5.5 IGOWA	51
5.6 IOWG	52
5.7 POWA	53
5.8 AsPOWA.....	54
6 დასკვნა	55
7 გამოყენებული ლიტერატურა:.....	56

შესავალი

გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური 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 სიტუაციითა 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 [16], მაგრამ პრაქტიკამ გვიჩვენა რომ, მხოლოდ ამ მეთოდების გამოყენება გარკვეული ამოცანების ამოსახსნელად შეზღუდულია შემდეგი ფაქტორების არსებობის გამო. [7],[11],[20-21].

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 [18].

განვიხილავთ გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური 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 წარმოიშობა 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-ინტელექტუალური ტექნოლოგიები.

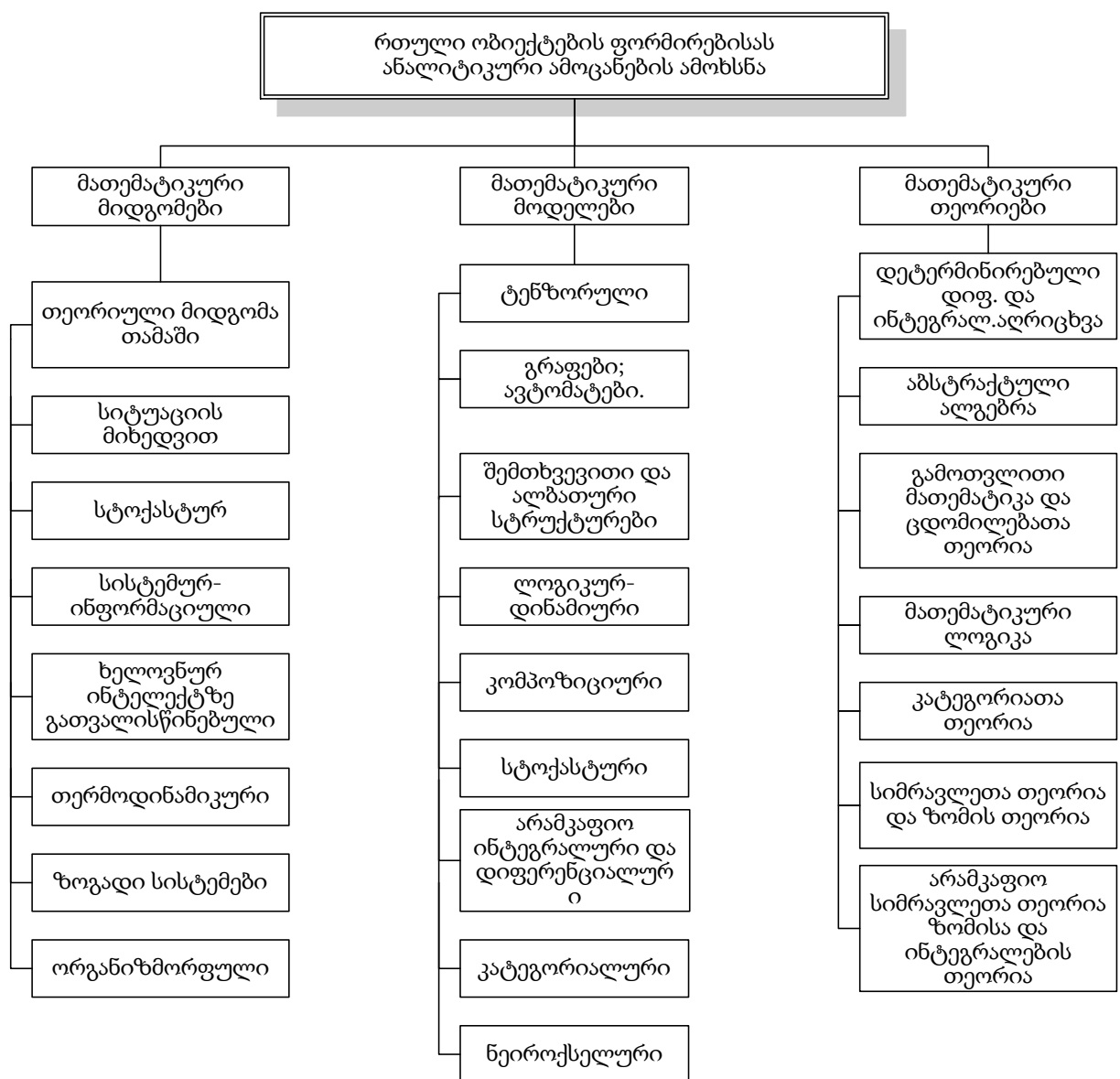
როგორც გამოყენებითი პროგრამირების უზრუნველყოფის გამოცდილება გვიჩვენებს, გადაწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება მომავალ პროგრამულ კომპლექსს, რომელიც დაფუძნებულია ეფექტურ მათემატიკურ მიდგომებზე, მეთოდებზე და ალგორითმებზე. არასწორი მათემატიკური მეთოდების არჩევას, როგორც წესი მივყავართ ამოცანების რეალიზაციის დაბალ 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 [18],[19]. სიმეტრიაში იგულისხმება ისეთი კატეგორია, რომელიც

აღნიშნავს მრავალი ობიექტების მაჩვენებლების არასისტემურ დამახსოვრებას ზოგიერთი ცვლილებების მიმართ.

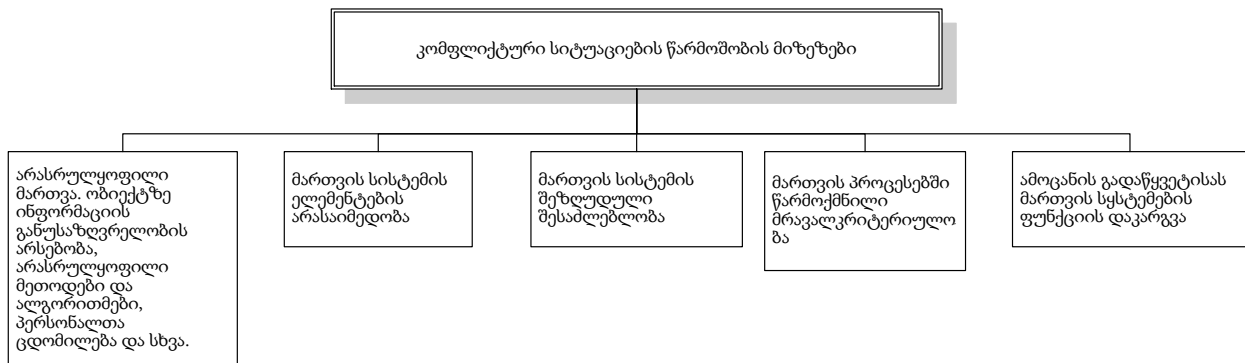
დღესდღეობით არსებობს ბევრნაირი მიდგომა ანალიტიკური ამოცანების ამოსახსნელად. ამასთან დაკავშირებით მოცემული მიდგომები, რომლებიც პროცესების ფორმალიზებას აკეთებენ, შეიძლება იყოს სხვადასხვა მათემატიკური მოდელები. ისინი ეყრდნობიან განსაზღვრულ მათემატიკურ თეორიებს. ასეთი მათემატიკური მიდგომები მოცემულია შემდეგ ცხრილში [11]:



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.[18]

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



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 [11], [18], [19] :

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 [18]. არაზუსტად იქნება განსაზღვრული არსებული კლასების დახასიათება ამოცანების ამოხსნის კლასიფიკაციის შემთხვევაშიც.

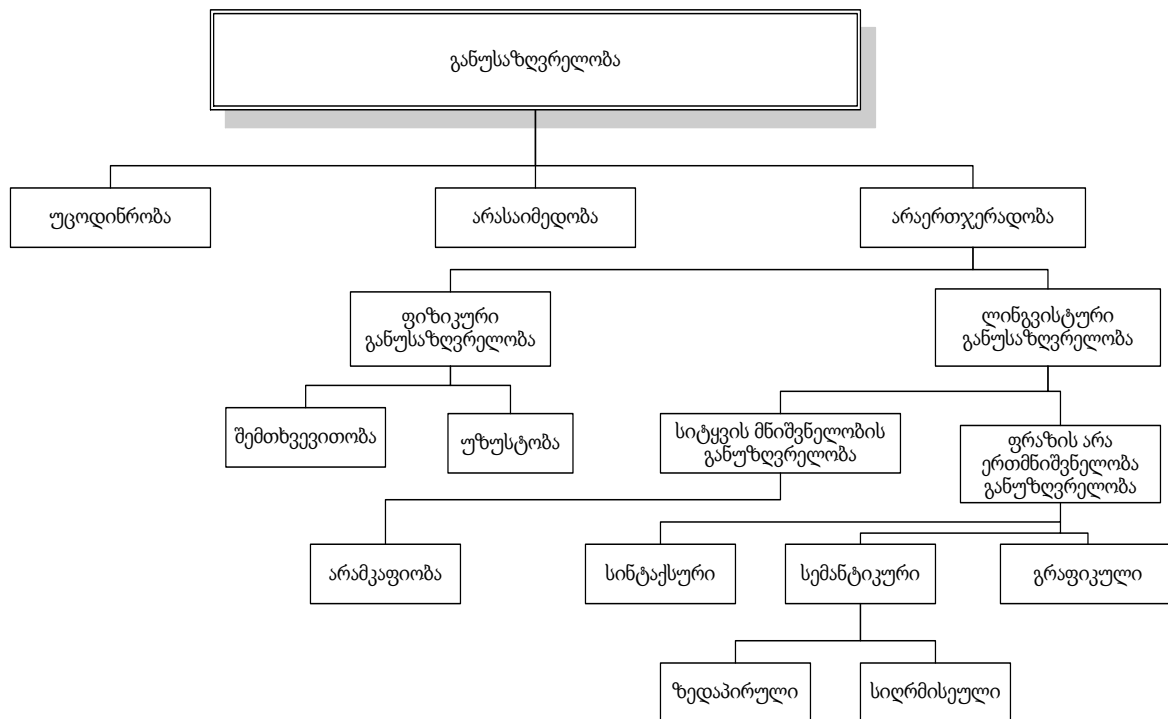
2. ინფორმაციის მნიშვნელოვანი ნაწილი, რომელიც აუცილებელია ობიექტის მათემატიკური აღწერისათვის, არსებობს მოცემულ ფორმაში და გამოცდილი ექსპერტ-სპეციალისტების დახმარებით, რომლებსაც აქვთ გარკვეული გამოცდილება და ცოდნა

მოცემული ობიექტის შესახებ, ხშირ შემთხვევაში მივდივართ არამკაფიო ფორმალურ წარმოდგენაზე. წარმოიშობა არამკაფიო განუზღვრელობა [2].

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 [18]:



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, ავაგოთ ტრადიციული მეთოდებით მათემატიკური მოდელი, იგი მაინც არ იქნება გამოსადეგარი პრაქტიკული გამოყენებისათვის, რომელის გამოწვეულია, როგორც ფუნქციონალური, ასევე ეკონომიკური ასპექტებით. ამგვარად, რთული ობიექტების ზუსტი მათემატიკური

მოდელის 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“ [18]. 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* [18]. 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 სირთულებების 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 [18].

#	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 მხარდაჭერი ინტელექტუალური სისტემა.

1.1 გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური მხარდაჭერი (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 მხარდაჭერი 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, როგორიცაა ინტელექტუალური გადაწყვეტილებათა მიღების მხარდაჭერი 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 [18]. 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 მოდელის აგების სისტემური

მიდგომა [18] 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).

1.2 სადიპლომო ნაშრომში განვითარებული ძირითადი ამოცანების შესახებ

ამოცანა ეხება განუზღვრელ გარემოში მრავალ-ალტერნატიული შერჩევებისას მრავალ-კრიტერიალურ 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-კრიტერიალურ 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 ვისარგებლებთ 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 უზნდება შესაძლებლობა სხვადასხვა წონებისთვის და სხვადასხვა აგრეგირების ოპერატორებისთვის რანჟირება გაუკეთოს ალტერნატივებს საუკეთესოდან უარესისკენ. აღნიშნული ამოცანა რეალიზებულია გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემის სახით, რომელიც ექსპერტების ცოდნის ინჟინერიის ბაზაზე მომხმარებლისთვის ქმნის გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერ გარემოს მრავალ ალტერნატიულ შემთხვევაში და მრავალ კრიტერიალურ (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.

1.3 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). ამიტომაც, 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.

1.4 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 - ეპისტომოლოგიური, 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, სარწმუნოებაა). ბუნებრივია შესაძლებლობის და აუცილებლობის ხარისხის არსებობა ისევე დასაშვებია, როგორც ალბათობის ხარისხის. სარწმუნოებასა 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 სარწმუნოება 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, ერთელემენტიანია. 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 ადეკვატური 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 მივყავართ საბოლოო დასკვნამდე, რომელიც 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.

2 მრავალკრიტერიალურ სისტემაში გადაწყვეტილების მიღების პრობლემა

აბსტრაქცია – უპირველეს ყოვლისა, ჩვენ დაინტერესებული ვართ მრავალკრიტერიალური აგრეგირების პრობლემით, რომელიც დაკავშირებული იქნება გადაწყვეტილების მიღების აგრეგირების ფუნქციის ფორმირების ამოცანასთან. განვიხილავთ აგრეგირების ოპერატორს, სახელწოდებით – დალაგებული შეწონილი გასაშუალების **OWA** (Ordered Weighted Averaging) ოპერატორი, რომელიც პირველად წარმოდგენილი იქნა რ. იაგერის მიერ [3]. ჩვენ გავანალიზებთ ამ ოპერატორის პრიორიტეტებს. კონკრეტულად, შეიძლება ითქვას, რომ იგი არის საშუალო წერტილი „და“-ს და „ან“-ს შორის, სადაც „და“ მოითხოვს ყველა კრიტერიუმის დაკმაყოფილებას, ხოლო „ან“, სულ მცირე, ერთი კრიტერიუმის დაკმაყოფილებას. ჩვენ დავინახავთ, რომ ეს კლასიკური OWA-ს ტიპის ოპერატორები, წარმოადგენენ გასაშუალების ოპერატორებს.

2.1 შესავალი

ერთი უკიდურესობა, რომელიც წარმოიშობა გადაწყვეტილების მიღების პროცესში, წარმოადგენს ყველა კრიტერიუმის დაკმაყოფილების სურვილს. მეორე უკიდურესობა

არის რომელიმე ერთი კრიტერიუმის დაკმაყოფილების სურვილი. ეს ორი უკიდურესობა გამოწვეულია „და“ და „ან“ ტიპის აგრეგირების ფუნქციების გამოყენებით.

მოცემული პარაგრაფის მიზანს წარმოადგენს OWA-ს ტიპის ოპერატორების წარდგენა, რომლებიც გადაწყვეტილების მიღების პროცესში უზრუნველყოფენ ექსპერტული შეფასებების აგრეგირებას ამ ორ უკიდურესობას შორის - პესიმისტური „და“ და ოპტიმისტური „ან“ შორის. უნდა აღინიშნოს, რომ მოცემული ოპერატორი განსხვავდება კლასიკური საშუალო აწონილი სიდიდეებისგან, რადგან არ ხდება კოეფიციენტების უშუალო ასოცირება კონკრეტულ მახასიათებელთან. ჩვენ დავინახავთ, რომ ამ ოპერატორების სტრუქტურა მიმართულია კრიტერიუმების შერწყმაზე, კვანტიფიკატორის მეშვეობით. აქედან გამომდინარე, OWA-ს ტიპის ოპერატორების მიზანს წარმოადგენს მათი აგრეგირებით კრიტერიუმთა „უმეტესობის“ დაკმაყოფილება. ნათელია, რომ ნაშრომი ძალიან ახლოს არის [1] და [2] ნაშრომებთან, სადაც რ. იაგერი განიხილავს ალტერნატიულ მიდგომას მოცემულ აგრეგირების პროცესებთან მიმართებაში.

2.2 გადაწყვეტილების მიღების პროცესში ინფორმაციის აგრეგირების პრობლემის ფორმულირება

დავუშვათ რომ $A_1, A_2, \dots, A_n$ წარმოადგენენ n კრიტერიუმებს მრავალკრიტერიულ ამოცანაში; x კი რომელიმე შესაძლო ალტერნატივას წარმოადგენს. თითოეული კრიტერიუმისთვის $A_j, A_j(x) \in [0,1]$ -თი ავლნიშნოთ შეთანხმებულობის დონე (ხარისხს), რომელითაც x აკმაყოფილებს აღნიშნულ კრიტერიუმს. $I=[0,1]$ გამოყენებული იქნება ერთეულოვანი ინტერვალის აღნიშვნისთვის. აქედან გამომდინარე $A_j(x) \in I$. ჩვენს მთავარ ამოცანას წარმოადგენს ზოგადად გადაწყვეტილების მირების D ფუნქციის ფორმულირება, სადაც თითოეული x ალტერნატივისთვის $D(x) \in I$, მიუთითებს ხარისხს, რომელშიც x აკმაყოფილებს ჩვენთვის სასურველ მოთხოვნებს კრიტერიუმებთან მიმართებაში.

ამოცანის მიზანია D ფუნქციის ფორმულირება, ცალკეულ შემადგენელ კრიტერიუმთა ფუნქციებიდან.

$$D(x) = F(A_1(x), A_2(x), \dots, A_n(x)).$$

F -ის სტრუქტურა უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს:

- 1) საერთო დაკმაყოფილების დონე უნდა იზრდებოდეს, ცალკეული ალტერნატივების დაკმაყოფილების დონის შესაბამისად; თუ $A_j(x) \geq A_j(y)$ ყველა j -სთვის, მაშინ $D(x) \geq D(y)$. ამას ეწოდება მონოტონურობის თვისება, ან ცალკეული კრიტერიუმების პოზიტიური ასოცირება აგრეგირებულ უპირატესობებთან.
- 2) სხვადასხვა კრიტერიუმების მნიშვნელოვნების თანაბრობა გულისხმობს, რომ F უნდა იყოს სიმეტრიული კრიტერიუმებთან მიმართებაში. უფრო კონკრეტულად, თუ $a_1, \dots, a_n$ წარმოადგენს რიცხვების ერთობლიობას ერთეულოვან ინტერვალში, მაშინ თითოეული ამ რიცხვის ასოცირება $A_j(x)$ -თან გვაძლევს $D(x)$ -ის ერთსა და იმავე მნიშვნელობას. აქედან გამომდინარე, თუ $n = 3$

$$F(a_1, a_2, a_3) = F(a_2, a_1, a_3)$$

უფრო მარტივად, თუ კალათა (ინფორმაციის სტრუქტურა) [3] წარმოადგენს აგრეგირების ობიექტს, რომელიც იძლევა კოპირების საშუალებას, თუმცა უგულებელყოფს თანმიმდევრობას, მაშინ

$$D(x) = F(< A_1(x), A_2(x), \dots, A_n(x) >)$$

სადაც ჩვენ გამოვიყენებთ <და>-ს კალათის აღნიშვნისთვის. ვუწოდოთ აღნიშნულს სიმეტრიის თვისება.

ფორმულირებაში გასათვალისწინებელ, კიდევ ერთ გარემოებას წარმოადგენს ურთიერთდამოკიდებულება იმ კრიტერიუმებს შორის, რომლებიც ჩვენ გვსურს შევქმნათ.

ერთ უკიდურესობას წარმოადგენს სიტუაცია, სადაც ჩვენ გვინდა რომ ალტერნატივამ დააკმაყოფილოს „ყველა“ კრიტერიუმი. ამ შემთხვევაში x -მა უნდა დააკმაყოფილოს A_1 და A_2 და $A_3 \dots$ და A_n აქედან გამომდინარე, ყველა პირობის დაკმაყოფილების მოთხოვნა გამოიხატება კრიტერიუმთა მნიშვნელობებზე „და“ ოპერაციის შესრულების განხორციელებით.

მეორე უკიდურესობას წარმოადგენს სიტუაცია, სადაც ჩვენ გვინდა რომ ალტერნატივამ დააკმაყოფილოს „სულ მცირე, კრიტერიუმებიდან ერთ-ერთი“. ამ შემთხვევაში, ჩვენ გვინდა რომ x -მა დააკმაყოფილოს A_1 ან A_2 ან $A_3 \dots$ ან A_n აქედან გამომდინარე, სულ მცირე, ერთი კრიტერიუმის დაკმაყოფილების მოთხოვნა გამოიხატება გადაწყვეტილების ფუნქციის ფორმულირებაში კრიტერიუმთა მნიშვნელობებზე „ან“ ოპერაციის განხორციელებით.

რიგ შემთხვევებში, ურთიერთდამოკიდებულება კრიტერიუმებს შორის ამ ორი უკიდურესობის, „ყველას“ და „სულ მცირე ერთის“ შუალედშია. აქედან გამომდინარე, ჩვენ გვინდა რომ დაკმაყოფილდეს კრიტერიუმების „უმარველესობა“ ან „ბევრი“, ან „სულ მცირე ნახევარი“, ან „ოთხზე მეტი“ კრიტერიუმი. ჩვენს მიზანს წარმოადგენს ყველა მოცემული ტიპის სიტუაციისთვის ზოგადი ფუნქციის მიღება.

განვიხილოთ ზოგადი „და“ და „ან“ ტიპის ოპერატორები. არსებობს ოპერატორების კლასი სხელწოდებით t -ნორმები [4]–[6], რომლებიც უზრუნველყოფენ „ყველა“ ტიპის მოთხოვნებს, რომლებიც გააჩნია „და“ და „ან“ ოპერატორებს. მათი მსგავსი ოპერატორების კლასი, სახელწოდებით $co-t$ -ნორმები, უზრუნველყოფს ზემოთ აღწერილი „ან“ მოქმედების განხორციელებას. მოცემულ ნაწილში ჩვენ ზოგადად გავეცნობით ოპერატორებს და გამოვყოფთ ჩვენს ამოცანასთან დაკავშირებულ მახასიათებლებს.

T ოპერატორს ეწოდება t -ნორმის ოპერატორი, თუ

$$T : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1],$$

სადაც

- 1) $T(a, b) = T(b, a)$; „კომუტატიუტობა“,
- 2) $T(a, b) = T(c, d)$ თუ $a \geq c$ და $b \geq d$; „მონოტონურობა“,
- 3) $T(a, T(b, c)) = T(T(a, b), c)$ „ასოციაციურობა“,
- 4) $T(1, a) = a$ „იდემპოტენტობა“.

მაგალითისთვის: ოპერატორები, რომლებიც აკმაყოფილებენ t -ნორმის მოთხოვნებს, წარმოადგენენ

- 1) $T(a, b) = \min(a, b)$
- 2) $T(a, b) = a \cdot b$
- 3) $T(a, b) = 1 - \min(1, ((1-a)^p + (1-b)^p)^{1/p})$ for $P \geq 1$ [7].

ბონისონმა [8], სხვებთან ერთად დეტალურად შეისწავლა t -ნორმის ოპერატორთა ემპირიული თვისებები.

უნდა აღინიშნოს, რომ t -ნორმების, როგორც ბინარული ოპერატორების განსაზღვრის მიუხედავად, შესაძლებელი არის მათი გაფართოვება, მათი

ასოციაციური თვისებების მეშვეობით, ერთეულოვან ინტერვალში ნებისმიერი რაოდენობის მნიშვნელობების გაერთიანებისთვის. აქედან გამომდინარე, თუ ურთიერთკავშირი კრიტერიუმებს შორის წარმოადგენს „და“-ს ტიპს, მაშინ

$$D(x) = T(A_1(x), A_2(x), \dots, A_n(x)).$$

სადაც T წარმოადგენს t -ნორმის ოპერატორს. შესაბამისი t -ნორმის სწორი შერჩევის საკითხი მოცემულ, კონკრეტულ სიტუაციაში განხილული იქნა ბონისონის [8] და იაგერის [9] მიერ.

t -ნორმის ოპერატორის მნიშვნელოვანი მახასიათებელი მოცემულია შემდეგ თეორემაში:

თეორემა: დავუშვათ რომ, T წარმოადგენს t -ნორმის ნებისმიერ ოპერატორს; მაშინ ნებისმიერი a -სა და b -სთვის

$$T(a, b) \leq \min(a, b)$$

დამტკიცება: ზოგადობის დარღვევის გარეშე, დავუშვათ რომ $\min(a, b) = b$.

რადგან

$$T(1, b) = b$$

და ყველა a -სთვის, $a \leq 1$; მაშინ

$$T(a, b) \leq T(1, b) \leq b \leq \min(a, b)$$

ამ თეორემის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ t -ნორმა $\min$ წარმოადგენს ამ ოპერატორთა კლასიდან უდიდესს. ჩვენ ავლნიშნეთ, რომ ნებისმიერი ერთობლიობისთვის $a_1, a_2, \dots, a_n$

$$T(a_1, \dots, a_n) \leq \min(a_1, \dots, a_n)$$

მოცემული შედეგი გვიჩვენებს, რომ მრავალკრიტერიუმიან გადაწყვეტილებათა მიღებაში, „და“-ობის“ გამოყენება არ იძლევა კომპენსირების საშუალებას არასრული დაკმაყოფილებისთვის. $\min$ ოპერატორის კიდევ ერთ საინტერესო და უნიკალურ თვისებას წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ იგი არის ერთადერთი T -ნორმის ოპერატორი, რომლისთვისაც ყველა $a \in I$

$$T(a, a) = a$$

ჩვენ ვუწოდებთ ამას იდეშპოტენტობის თვისებას. უნდა აღინიშნოს, რომ t -ნორმების განსაზღვრის პირველი, მეორე და მესამე გარემოებები თავისთავად გვაძლევენ I და II მოთხოვნების დაკმაყოფილებას, სიმეტრიას (ზოგადი კომუტატურობა) და მონოტონურობას, რაც აუცილებელია აგრეგირების

ოპერატორებისთვის. ავლნიშნოთ, რომ ეს არის მე-4 პირობა. $T(1,a)=a$, საიდანაც ნათლად ჩანს, რომ ეს არის „და“ ტიპის ოპერატორი, რადგან იგი მოითხოვს t -ნორმის მიერ დაკმაყოფილებულ „ყველას“ ფორმას.

Co-t-ნორმა S ოპერატორი წარმოადგენს Co-t-ნორმას. თუ

$$S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

სადაც

- 1) $S(a,b)=S(b,a)$ „კომუტატიუტობა“,
- 2) $S(a,b) \geq S(c,d)$ თუ $a \geq c$ და $b \geq d$; „მონოტონურობა“,
- 3) $T(a, T(b,c)) = T(T(a,b), c)$; „ასოციაციურობა“,
- 4) $T(0,a)=a$; „სულ მცირე ერთის არსებობა“.

ოპერატორებს, რომლებიც აკმაყოფილებენ co-t-ნორმის მახასიათებლებს, წარმოადგენენ

- 1) $S(a,b)=\text{Max}(a,b)$,
- 2) $S(a,b)=a+b-a \times b$,
- 3) $S(a,b) = \text{Min}(1, (a^p + b^p)^{1/p})$ for $p \geq 1$ [7].

აქედან გამომდინარე, თუ უერთიერთდამოკიდებულება კრიტერიუმებს შორის არის სუფთა „ან“ ტიპის, მაშინ

$$D(x) = S(A_1(x), A_2(x), \dots, A_n(x))$$

სადაც S წარმოადგენს co-t-ნორმას. მოცემული co-t-ნორმის მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს.

თეორემა: დავუშვათ რომ, S არის ნებისმიერ co-t-ნორმის ოპერატორი; მაშინ ნებისმიერ a და b -სთვის,

$$S(a,b) \geq \text{Max}(a,b)$$

ამ თეორემის დასკვნას წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ Max უზრუნველყოფს ამ კლასის ოპერატორებიდან უმცირესს. შეგვიძლია ვაჩვენოთ, რომ ნებისმიერი ერთობლიობითვის $a_1, \dots, a_n$

$$S(a_1, \dots, a_n) \geq \text{Max}(a_1, \dots, a_n)$$

აქედან გამომდინარე, მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების მიღებაში, სუფთა „ან“ ტიპის გამოყენება იძლევა ერთ კონკრეტულ დაკმაყოფილებას მაინც. ასევე, უნდა აღნიშნოს, რომ Max-ი წარმოადგენს ერთადერთ co-t-ნორმას, რომელსაც გააჩნია იდეალური ტენურობის თვისება, ყველა $a \in I$ -სთვის,

$$S(a, a) = a$$

კიდევ ერთხელ უნდა აღინიშნოს, რომ სწორედ მე-4 პირობა აქცევს ამ ოპერაციას „ან“ ტიპის ოპერაციად, „სულ მირე ერთი“-ის პირობის მოთხოვნის გამო. პირველი, მე-2-ე და მე-3-ე პირობები მხოლოდ სიმეტრიის და მონოტონურობის პირობებს ქმნიან.

3 OWA-ს ტიპის ოპერატორები

3.1 OWA ოპერატორი

ხშირ შემთხვევაში, მრავალკრიტერიალური გადაწყვეტილების აგრეგირების ფუნქციის ფორმირებისას, გადაწყვეტილების მიმღებისთვის საჭირო აგრეგირების ტიპი არ წარმოადგენს არც t-ნორმის სუფთა „და“ -ს, კომპენსაციის სრული არარსებობით და არც S ოპერატორის სუფთა „ან“ -ს, რომელიც სრულად გადადის ნებისმიერ კარგ დამაკმაყოფილებელზე და არ ითვალისწინებს ცალკეულ კრიტერიუმებს. ხშირ შემთხვევაში სასურველი აგრეგირების ოპერატორის ტიპი ამ ორ უკიდურესობას შორის მდებარეობს. წინამდებარე სექციაში წარმოდგენილი იქნება ოპერატორის ახალი ტიპი, სახელწოდებით დალაგებული შეწონილი გასაშუალების (OWA) ოპერატორი. ჩვენ განვიხილავთ, მოცემულ აგრეგირების ოპერატორს, რომელიც აგრეგირების პროცესში „და“ და „ან“ ხარისხის მარტივი მომართვის საშუალებას იძლევა. მოცემული ინფორმაციიდან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ ამ ოპერატორისთვის უფრო შესაბამისი სახელწოდება იქნებოდა „ან-და“ ოპერატორი, რადგან იგი მოქმედებს, როგორც ხსენებული ორი ოპერატორის კომბინაცია.

განსაზღვრება 1 [1] : F-ის აგრეგირების ოპერატორს, $F: I^n \rightarrow [0,1]$, ეწოდება n განზომილების OWA ოპერატორი, თუ F-თან ასოცირებულია რაიმე W წონითი ვექტორი,

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix}$$

რომელსაც აკმაყოფილებს შეზღუდვებს:

$$1) W_i \in (0,1)$$

$$2) \sum_i W_i = 1$$

და განიმარტება ფორმულით:

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = W_1 b_1 + W_2 b_2 + \dots W_n b_n$$

სადაც b_j არის j -ური უდიდესი ელემენტი ერთობლიობაში $-a_1, a_2, \dots, a_n$

მნიშვნელოვანია ავლნიშნოთ, რომ W_i -ს წონები, ასოცირებული არიან კონკრეტულ სათადარიგო პოზიციასთან და არა კონკრეტულ ელემენტთან. აქედან გამომდინარე W_i წარმოადგენს წონას, რომელიც ასოცირებულია i -ურ უდიდეს ელემენტთან, კომპონენტებისგან დამოუკიდებლად.

განსაზღვრება 2 [20-24, 26-27, 28 -33]: n განზომილებიან **OWA** ოპერატორს აქვს შემდეგი სახე $OWA: R^n \rightarrow R$, რომელსაც აქვს ასოციაცია წონების სიმრავლესთან ან ექსპონენციალურ წონების ვექტორთან $W = [w_1, \dots, w]$ და რომელზე სრულდება შემდეგი პირობები: $w_i \in [0,1]$, $\sum_{j=1}^n w_j b_j$ და განიმარტება შემდეგი ფორმულით:

$$OWA(a_1, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j$$

სადაც სადაც b_j არის j -ური უდიდესი ელემენტი ერთობლიობაში $-a_1, a_2, \dots, a_n$.

OWA ოპერატორის რეალიზაცია შეგიძლიათ იხილოთ 5.1 თავში.

3.2 OWG ოპერატორი

OWG ოპერატორი დაფუძნებულია OWA ოპერატორსა და გეომეტრიულ საშუალოზე. აქედან გამომდინარე იგი აერთიანებს OWA ოპერატორისა და გეომეტრიული საშუალოს უპირატესობებს.

გეომეტრიული საშუალოს განსაზღვრება: თუ გვაქვს $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ მონაცემების სიმრავლე მაშინ გეომეტრიული საშუალო განიმარტება შემდეგი ფორმულით:

$$\left(\prod_{i=1}^n a_i \right)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a_1 a_2 \dots a_n}$$

OWG ოპერატორის განსაზღვრება: m განზომილებიან OWG ოპერატორს აქვს შემდეგი სახე $\phi^G: R^m \rightarrow R$ რომელსაც აქვს ასოციაცია წონების სიმრავლესთან ან ექსპონენციალურ წონების ვექტორთან $W = [w_1, \dots, w_m]$ და რომელზე სრულდება შემდეგი პირობები:

$$1. \quad w_i \in [0,1]$$

$$2. \quad \sum_i w_i = 1$$

და აგრეგაციისთვის განსაზღვრული მნიშვნელობების სიისთვის - $\{a_1, \dots, a_m\}$ განიმარტება შემდეგი ფორმულით:

$$\phi^G(a_1, \dots, a_m) = \prod_{i=1}^m c_i^{w_i}.$$

აქ C არის მნიშვნელობების დალაგებული ვექტორი, თითოეული ელემენტისთვის სრულდება პირობა $c_i \in C$ არის არის i -ური უდიდესი ელემენტი ერთობლიობაში - $a_1, \dots, a_m$.

OWG ოპერატორს აქვს შემდეგი თვისებები:

1. ეს არის „ან-და“ ტიპის ოპერატორებს შორის, ანუ ეს არის მინიმუმსა და მაქსიმუმ არგუმენტებს შორის :

$$\text{Min}(a_1, \dots, a_m) \leq \phi^G(a_1, \dots, a_m) \leq \text{Max}(a_1, \dots, a_m)$$

2. კომოტატიურობა:

$$\phi^G(a_1, \dots, a_m) = \phi^G(a_{\pi(1)}, \dots, a_{\pi(m)}), \forall \pi$$

3. იდომპოტენტურობა:

$$\phi^G(a_1, \dots, a_m) = a \text{ თუ } a_i = a \forall i$$

4. ზრდადი მონოტონურობა:

$$\phi^G(a_1, \dots, a_m) \geq \phi^G(d_1, \dots, d_m) \text{ თუ } a_i \geq d_i \forall i$$

5. ის წარმოადგენს გეომეტრიულ საშუალოს, როდესაც $w_i = \frac{1}{m} \forall i$

$$\phi^G(a_1, \dots, a_m) = \prod_{k=1}^m (c^k)^{\frac{1}{m}} = g(a_1, a_2, \dots, a_m)$$

6. ის არის მაქსიმუმი, როდესაც $W = [1, 0, \dots, 0]$

$$\phi^G(a_1, a_2, \dots, a_m) = \text{Max}_{i=1}^k(a_i)$$

7. ის არის მინიმუმი, როდესაც $W = [0,0,...,1]$

$$\phi^G(a_1, a_2, \dots, a_m) = \min_{i=1}^k (a_i)$$

OWG ოპერატორის რეალიზაცია შეგიძლიათ იხილოთ 5.2 თავში.

3.3 GOWA ოპერატორი

OWA ოპერატორის განვითარების შემდეგი ეტაპია GOWA ოპერატორი. მას გააჩნია დამატებითი პარამეტრი, რომლის ხარისხშიც არის აყვანილი არგუმენტების მნიშვნელობა. ფორმულით GOWA ასე გამოისახება: იგი არის n განზომილებიანი აგრეგირების ოპერატორი:

$F : I^n \rightarrow I$ წარმოდგენილი, როგორც:

$$F(a_1, \dots, a_n) = \left(\sum_{i=1}^n w_i b_{(i)}^\lambda \right)^{1/\lambda},$$

სადაც, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ არის წონების ვექტორი რომელიც აკმაყოფილებს ნორმალიზაციის პირობებს: $w_j \in [0,1]$ ($j=1,2,\dots,n$) და $\sum_{j=1}^n w_j = 1$; b_j არის j -ს უდიდესი რიცხვითი მნიშვნელობა a_k ($k=1,2,\dots,n$) სიმრავლეში. λ არის პარამეტრი რომელის მნიშვნელობებს დებულობს $(-\infty, 0)$ ან $(0, +\infty)$ ინტერვალებში; $I = [0, 1]$ დახურული ინტერვალია.

GOWA ოპერატორი არსებითად არის კომბინაცია OWA ოპერატორის და განზოგადებული საშუალო ოპერატორის, რაც რ. იაგერმა [3] დაადასტურა. GOWA ოპერატორის F ფუნქცია არის კომუტატიური, იდენპოტენტური, შემოსაზღვრული და მონოტონური.

არსებობს სხვა სასარგებლო თვისებები, რომლებიც GOWA ოპერატორს გააჩნია და რომლებიც რ.იაგერს აქვს დამტკიცებული [3]. ესენია:

1. $F(a_1, a_2, \dots, a_n) = b_n = \min\{a_j \mid j = 1, 2, \dots, n\}$ თუ $\lambda \rightarrow -\infty$ და ყველა წონითი მნიშვნელობა $w \neq 0$ ($j = 1, 2, \dots, n$) ჩვეულებრივ ან შემთხვევაში GOWA ოპერატორის F ფუნქცია მიისწრაფის Min ოპერატორისკენ. თუნცა აუცილებელია ყურადღება მივაქციოთ იმ ფაქტს, რომ თუ $\lambda \rightarrow -\infty$, მაგრამ წონითი ვექტორი w

ისეთია, რომ $w_j = 1 (j = 2, 3, \dots, n)$ მაშინ F არის

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = b_1 = \text{Max}\{a_j \mid j = 1, 2, \dots, n\}$$

2. $F(a_1, a_2, \dots, a_n) = b_1 = \text{Max}\{a_j \mid j = 1, 2, \dots, n\}$ თუ $\lambda \rightarrow +\infty$ და ყველა წონისთვის

სრულდება პირობა $w \neq 0 (j = 1, 2, \dots, n)$ ჩვეულებრივ შემთხვევაში GOWA ოპერატორის F ფუნქცია მიისწრაფის Max ოპერატორისკენ. თუნდაც აუცილებელია ყურადღება მივაქციოთ იმ ფაქტს, რომ თუ $\lambda \rightarrow +\infty$, მაგრამ წონითი ვექტორი w ისეთია, რომ $w_j = 1 (j = 2, 3, \dots, n)$ მაშინ F არის

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = b_1 = \text{Min}\{a_j \mid j = 1, 2, \dots, n\}$$

3. $F(a_1, a_2, \dots, a_n) = \prod_{j=1}^n b_j^{w_j}$ თუ $\lambda \rightarrow +0$, ჩვეულებრივ შემთხვევაში GOWA

ოპერატორის F ფუნქცია მიისწრაფის OWA ოპერატორისკენ.

ადვილად ვხედავთ, რომ GOWA ოპერატორის F ფუნქციას შეიძლება ჰქონდეს განსხვავებული ფორმა λ -ს განსხვავებული მნიშვნელობებისთვის.

GOWA ოპერატორის რეალიზაცია შეგიძლიათ იხილოთ 5.3 თავში.

3.4 IOWA ოპერატორი

იაგერმა და ფილევმა [21] წარმოადგინა ახალი OWA -ს ტიპის ოპერატორი, რომელსაც უწოდეს ინდუცირებული დალაგებული შეწონილი გასაშუალების - IOWA ოპერატორი.

n განზომილებიან IOWA ოპერატორს აქვს შემდეგი სახე: $\Phi_w: (\mathbb{R} \times \mathbb{R})^n \rightarrow \mathbb{R}$ რომელთანაც ასოცირებულია წონების სიმრავლე $W = (w_1, \dots, w_n)$, $w_i \in [0, 1]$, $\sum_i w_i = 1$, და $U = (u_1, \dots, u_n)$ ინდუცირების ვექტორი. იგი განიმარტება შემდეგი ფორმულით:

$$\phi_w(\langle u_1, p_1 \rangle, \dots, \langle u_n, p_n \rangle) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot p_{\sigma(i)}$$

სადაც $\delta: \{1, \dots, n\} \rightarrow \{1, \dots, n\}$ თითოეული გადანაცვლებისთვის სრულდება შემდეგი პირობა: $u_{\sigma(i)} \geq u_{\sigma(i+1)}$, $\forall i = 1, \dots, n-1$ ე.ი. $\langle u_{\sigma(i)}, p_{\sigma(i)} \rangle$ ეს არის მეორე წყვილი, რომელშიც $u_{\sigma(i)}$ ყოველი i -სთვის არის i -ური უდიდესი მნიშვნელობა $\{u_1, \dots, u_n\}$ სიმრავლეში.

აგრეგირებისთვის განსაზღვრულ დალაგებულ მნიშვნელობების სიმრავლეში $\{p_1, \dots, p_n\}$ სიმრავლე არის დაზუსტებების აღწერა, რომელიც კავშირშია $\{u_1, \dots, u_n\}$ მნიშვნელობების სიმრავლესთან, ამ ყველაფერს ფილევმა და იაგერმა უწოდეს დალაგებული

დაზუსტებული არგუმენტები $\{p_1, \dots, p_n\}$, რომელიც არის ძირითადი განსხვავება OWA-სა და IOWA-ს შორის.

IOWA ოპერატორის თვისებები:

1. კომუტატიურობა:

$$\Phi_w(\langle u_{\sigma_1}(1), p_{\delta_1}(1) \rangle, \dots, \langle u_{\delta_1}(n), p_{\delta_1}(n) \rangle) = \Phi_w(\langle u_1, p_1 \rangle, \dots, \langle u_n, p_n \rangle)$$

2. ის არის „ან-და“ ოპერატორებს შორის, ე.ი. ის არის მაქსიმუმსა და მინიმუმს შორის:

$$\min_i \{p_i\} \leq \Phi_w(\langle u_1, p_1 \rangle, \dots, \langle u_n, p_n \rangle) \leq \max_i \{p_i\}$$

3. ის არის იდომპოტენტური, როცა:

$$\Phi_w(\langle u_1, p_1 \rangle, \dots, \langle u_n, p_n \rangle) = p$$

4. ის არის ზრდადი მონოტონური, როცა დალაგებული ინდუცირებული მნიშვნელობები არის უცვლელი:

$$\Phi_w(\langle u_1, p_1 \rangle, \dots, \langle u_n, p_n \rangle) \leq \Phi_w(\langle u_1, p_1 \rangle, \dots, \langle u_n, p_n \rangle) \text{ თუ } p_i \leq q_i \forall i$$

5. IOWA ოპერატორი არის მცირე ვიდრე საშუალო ან მათემატიკური საშუალო (AM), როცა: $w_i = \frac{1}{n}, \forall i$

6. IOWA ოპერატორი არის უფრო შეწონილ საშუალოსთან, როდესაც მეორე რიგის არგუმენტებზე ადგილი აქვს შემდეგ სახე $\langle f(n-i+1), a_i \rangle$, სადაც f არის რაიმე ზრდადი ფუნქცია.

7. IOWA ოპერატორი არის უფრო მცირე ვიდრე OWA ოპერატორი მაშინ, როდესაც მეორე რიგის არგუმენტებს აქვს შემდეგი სახე $\langle f(p_i), p_i \rangle$, f არის ზრდადი ფუნქცია.

დამატებით ჩვენ გვაქვს შემდეგი შემთხვევები:

- თუ $W^* = (1, \dots, 0, 0)$ მაშინ IOWA ოპერატორი არის შემცირებული მაქსიმუმის ოპერატორამდე:

$$\Phi_w^*(\langle f(p_1), p_1 \rangle, \dots, \langle f(p_n), p_n \rangle) = \max_i \{p_i\}$$

- თუ $w_* = (0, \dots, 1)$ მაშინ IOWA არის შემცირებული მინიმუმის ოპერატორამდე:

$$\Phi_w^*(\langle f(p_1), p_1 \rangle, \dots, \langle f(p_n), p_n \rangle) = \min_i \{p_i\}$$

IOWA ოპერატორის რეალიზაცია შეგიძლიათ იხილოთ 5.4 თავში.

3.5 IGOWA ოპერატორი

იაგერმა და ფილევმა(1999) წარმოგვიდგინა ახალი - IGOWA ოპერატორი, რომელიც არის OWA ოპერატორის განზოგადოება და რომელიც შემდეგნაირად განიმარტება:

n განზომილებიან IGOWA ოპერატორს აქვს შემდეგი სახე: $IGOWA: R^n \times R^n \rightarrow R$, რომელსაც აქვს ასოციაციური წონების ვექტორი W , რომლისთვისაც სრულდება პირობა $w_j \in [0,1]$ და $\sum_{j=1}^n w_j = 1$, და რომლიდანაც გამომდინარეობს:

$$IGOWA(\langle u_1, a_1 \rangle, \dots, \langle u_n, a_n \rangle) = \left(\sum_{j=1}^n w_j b_j^\lambda \right)^{\frac{1}{\lambda}}$$

სადაც b_j არის a_i -ის IGOWA-ს $\langle u_i, a_i \rangle$ წყვილის მნიშვნელობა რომელშიც არის j ჯერადი უდიდესი მნიშვნელობა u_i -ს, u_i არის დალაგებული ინდეცირებული ცვლადი, a_i არის ცვლადი არგუმენტი და λ არის პარამეტრი, რომელიც აკმაყოფილებს პირობას $\lambda \in (-\infty, \infty)$. გარდა $\lambda = 0$.

IGOWA ოპერატორის რეალიზაცია შეგიძლიათ იხილოთ 5.5 თავში.

3.6 IOWG ოპერატორები

დაუშვათ, რომ ჩვენ გვინდა ორი დამოკლებულების $\{\langle u_1, a_1 \rangle, \dots, \langle u_n, a_n \rangle\}$ სიმრავლის აგრეგირება, სადაც $\{u_1, u_n\}$ არის სიმრავლე დალაგებული შეწონილი მნიშვნელობებისა რომელიც ასოცირდება არგუმენტის სიმრავლის მნიშვნელობებთან $\{a_1, a_n\}$, რომელიც მოგვცემს დადებით რაციონალურ შეფასებას, ამის საშუალებას გვაძლევს IOWG ოპერატორი. მისი განმარტება ასეთია:

n განზომილებიან IOWG ოპერატორი არის ფუნქცია $\Phi_w^G: (R \times R^+)^n \rightarrow R^+$, სადაც წონების სიმრავლე ან წონების ვექტორი არის ასოცირებული $W = (w_1, \dots, w_n)$, რომელზეც სრულდება პირობა $w_i \in [0,1]$ და $\sum_i w_i = 1$ და ის არის განსაზღვრული აგრეგირებისთვის მეორე არგუმენტის სიმრავლეზე, რომელიც არის წყვილი დამოკიდებულებების სიმრავლე $\{\langle u_1, a_1 \rangle, \dots, \langle u_n, a_n \rangle\}$ რაც არის საფუძველი დადებითი შედეგისა. ამის მიხედვით განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულება:

$$\Phi_w^G = (\langle u_1, a_1 \rangle, \dots, \langle u_n, a_n \rangle) = \prod_{i=1}^n (a_{\sigma(i)})^{w_i}$$

აქედან გამომდინარეობს $\sigma: \{1, \dots, n\} \rightarrow \{1, \dots, n\}$ გადანაცვლებისთვის სრულდება პირობა $u_{\sigma(i)} \geq u_{\sigma(i+1)}, \forall i = 1, \dots, n-1$, ე.ი $\langle u_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)} \rangle$ ისეთი წყვილისი დამოკიდებულება სადაც $u_{\sigma(i)}$ არის უდიდესი მინშვნელობა $\{u_1, \dots, u_n\}$ სიმრავლეში.

IOWG ოპერატორის რეალიზაცია შეგიძლიათ იხილოთ 5.6 თავში.

3.7 POWA ოპერატორი

ალბათური დალაგებული შეწონილი გასაშუალების (POWA) [7] ოპერატორი არის გაფართოება OWA ოპერატორისა. POWA ოპერატორის გამოყენება მოსახერხებელია ისეთ შემთხვევაში, როდესაც ჩვენ გვაქვს ალბათური ინფორმაცია. ეს მიდგომა წარმოადგენს მიმართებას OWA ოპერატორსა და ალბათობებს შორის.

n განზომილებიანი POWA ოპერატორი არის მიმართება $POWA: R^n \rightarrow R$, რომელსაც აქვს W წონების n განზომილებიანი ვექტორი, სადაც სრულდება პირობა $w_j \in [0,1]$ და $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ შესაბამისად მიიღება ფორმულა:

$$POWA(a_1, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n \hat{v}_j b_j$$

სადა b_j არის j -ს ჯერადი უდიდესი ელემენტი ერთობლიობაში a_i (ეს იმას ნიშნავს, რომ წონები გალაგებულია კლებადობით), თითოეულ a_i არგუმენტთან არის ასოცირებული შესაძლებლობები v_i , რომელიც აკმაყოფილებს პირობას $\sum_{i=1}^n v_i = 1$ და $v_i \in [0,1]$, $\hat{v} = \beta w_j + (1-\beta)v_j$ სადაც $\beta \in [0,1]$ და v_j არის ალბათობა, რომელიც დალაგებულია b_j -ის მსგავსად. ასევე შესაძლებელია POWA ოპერატორის ფორმულირება ისე რომ დაიყოს ორ ნაწილად OWA ოპერატორად და იმ ნაწილად რომელზეც ახდენს გავლენას ალბათური განაწილება, რომლის განმარტებაც შემდეგია:

POWA ოპერატორი არის დამოკიდებულება $POWA: R^n \rightarrow R$ n განზომილებით, რომელსაც აქვს ასოცირებული შეწონილი ვექტორი W , სადაც $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ და $w_j \in [0,1]$ და ალბათობების ვექტორი V , რომელზეც სრულდება პირობა $\sum_{i=1}^n v_i = 1$ და $v_i \in [0,1]$ აქედან გამომდინარეობს შემდეგი ფორმულა:

$$POWA(a_1, \dots, a_n) = \beta \sum_{j=1}^n w_j b_j + (1-\beta) \sum_{i=1}^n v_i a_i$$

სადაც b_j არის j ჯერ უდიდესი ელემენტი ერთობლიობაში a_i და $\beta \in [0,1]$.

POWA ოპერატორის რეალიზაცია შეგიძლიათ იხილოთ 5.7 თავში.

3.8 AsPOWA ოპერატორი

OWA ოპერატორი, რომელიც ზემოთ ავღნიშნეთ პირველად განამრტებული იყო იაგერის მიერ, მისი ალბათური განზოგადოების ერთი ვარიანტი POWA წარმოადგინა ჯ.მ მერიჯიომ (José M. Merigó) [7] , სადაც გარდა ობიექტური წონებისა ფაქტორებზე არსებობს მათი განხორციელების ალბათობები, ფაქტიურად POWA არის OWA სი და ალბათური მოლოდინის შეწონილი, რომელიც შემდეგი ფორმულით განიმარტება:

$$POWA(a_1, \dots, a_n) = \beta \sum_{j=1}^n w_j b_j + (1 - \beta) \sum_{i=1}^n v_i a_i$$

ხშირად პრაქტიკულ ამოცანებში ფაქტორებზე ალბათური განაწილება არ არის ცნობილი. ეს მაშინ ხდება როდესაც ახალი ამოცანები იგეგმება, განსაკუთრებით ეს სტრატეგიულ მენეჯმენტში გვხვდება სადაც ფაქტორები განხორციელების ხარისხები უნდა იყოს შეფასებული გამოიყენება ისეთი მიდგომა როდესაც ფაქტორებს სუბიექტური ალბათობები მიეწერება ექსპერტების მიერ. სწორედ ასეთი ამოცანებია განხილული მერიჯიოს კვლევებში [7] POWA-ს გამოყენებებზე მაგალითებში სადაც პირდაპირ ანიჭებენ სუბიექტურ ალბათობებს. როგორც სუბიექტური განუზღვრელობის წამყვანი მკვლევარები R.R.Yager, Robert Fuller და სხვა ადასტურებენ, ბუნებრივი იქნებოდა სუბიექტურ ალბათობათა ნაცვლად გამოყენებული იქნას შესაძლებლობითი ხარისხები ფაქტორების განხორციელების ხარისხებისთვის. პირველად შესაძლებლობითი ანალიზი ფაზი-სიმრავლეებზე დაყრდნობით წარმოადგინა ლ.ა. ზადემ (L. A. Zadeh), ხოლო შემდეგი განვითარება პოვა დუბუასა და პრადეს შრომებში [20] და დღეს მისი გამოყენება სუბიექტურ ინფორმაციულ ანალიზში დიდი ადგილი უკავია შესაძლებლობითი განაწილება წარმოშობს შესაძლებლობით ზომას. $Pos(A)$ რომელიც განიმარტება $\pi: S \rightarrow [0,1]$ შესაძლებლობითი განაწილებით: $Pos(A) = \max_{s \in A} \pi(s)$. განვმარტოთ S_m როგორც ყველა გადანაცვლების სიმრავლე $\{1,2,\dots,m\}$ და ასევე $\{P_\sigma\}_{\sigma \in S_m}$, როგორც Pos - შესაძლებლობითი ზომის ასოცირებული ალბათობების კლასი [2-4]. არსებობს კავშირი (π_i) და $\{P_\sigma\}_{\sigma \in S_m}: \forall \sigma \in S_m$ შორის:

$$P_\sigma(s_{\sigma(i)}) = \max_{v=1,i} \pi(s_{\sigma(v)}) - \max_{v=1,i-1} \pi(s_{\sigma(v)})$$

თითოეულისთვის სრულდება პირობა $\sigma = (\sigma(1), \sigma(2), \dots, \sigma(m)) \in S_m$, $\{P_\sigma\}_{\sigma \in S_m}$ - ასოცირებული ალბათობებია.

განვმარტოთ დეტერმინისტური საშუალო აგრეგირების ფუნქცია, $M: R^k \Rightarrow R$ ($k = m!$)

ასოცირებული შესაძლებლობითი OWA ოპერატორი AsPOWA m-განზომილებით არის მიმართება $AsPOWA: R^n \Rightarrow R$, სადაც W არის ასოცირებული შეწონილი m განზომილებიანი ვექტორი, რომლისთვისაც სრულდება პირობა $w_j \in (0,1)$ და $\sum_{j=1}^m w_j = 1$, ზოგიერთი შესაძლო ზომა $Pos: 2^S \Rightarrow [0,1]$, რითაც მიიღება შემდეგი ფორმულა:

$$AsFPOWA(a_1, a_2, \dots, a_m) = \sum_{j=1}^m w_j b_j + (1 + \beta)M(E_{p_{\sigma_1}}(a), E_{p_{\sigma_2}}(a), \dots, E_{p_{\sigma_k}}(a))$$

სადაც b_j არის j- ური უდიდესი ელემენტი ერთობლიობაში $\{a_i\}, i = 1, \dots, m$; $E_{p_{\sigma_i}}(a)$ არის a -ს მათემატიკური მოლოდინი, რომელის მომართებაც ასოცირდება ალბათობათა P_{σ_i} კლასთან.

ჩვენ განვიხილავთ AsFPOWA ოპერატორებს კონკრეტული ფუნქციებისთვის სხვადასხვა M-სთვის: AsFPOWA_{min}, თუ $M=\min$, AsFPOWA_{max}, თუ $M=\max$ და AsFPOWA_{mean}, თუ $M=Mean$.

AsPOWA ოპერატორის რეალიზაცია შეგიძლიათ იხილოთ 5.8 თავში.

4 OWA ტიპის ოპერატორები გადაწყვეტილების მიმღებ ინტელექტუალურ სისტემაში

4.1 სისტემის არქიტექტურა

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

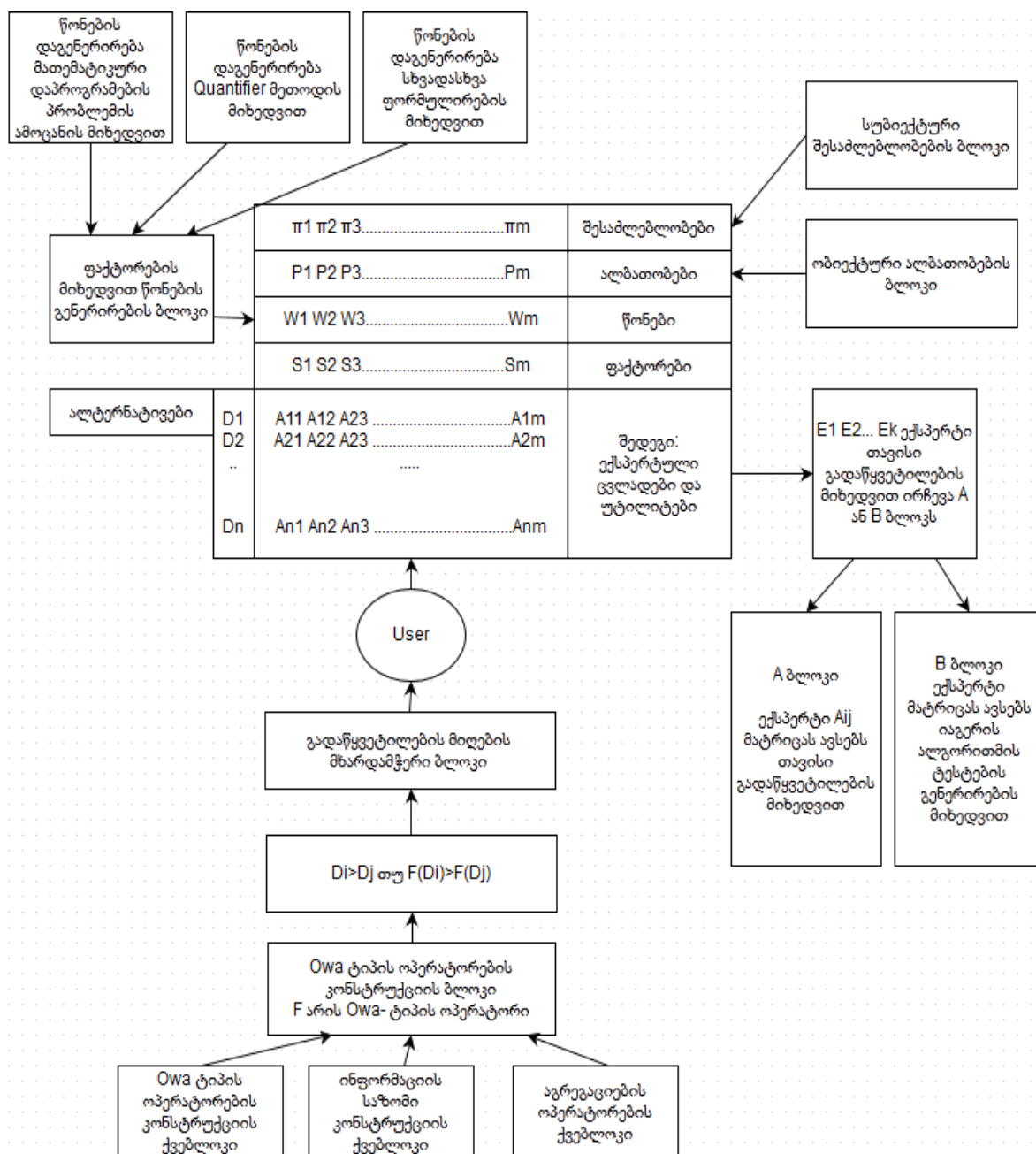
- ნათია გადელია - საექსპერო შეფასებების ინჟინერია აგრეგირების OWA ოპერატორებზე დაფუძნებული ინტელექტუალური გადაწყვეტილების მიღების სისტემაში.
- ნიკოლოზ გოჩიაშვილი - აგრეგირების OWA-ს ტიპის ოპერატორების კლასი გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალურ სისტემაში.

- თებრონე ვარშანიძე - აგრეგირების OWA -ს ტიპის ოპერატორების წონების გენერირების კლასი ინტელექტუალური გადაწყვეტილების მიღების 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.

4.1.1 ტექნოლოგიები

სისტემა დაწერილია windows პლატფორმაზე, asp.net mvc ვებ ფრეიმვორკის გამოყენებით. მონაცემთა ბაზად გამოყენებულია sql server, ხოლო დეველოპმენტ გარემო - visual studio 2012. მონაცემთა ბაზასთან წვდომისთვის გამოვიყენეთ Entity Framework. ვინაიდან პროექტზე ერთდოულად მუშაობდა რამდენიმე ადამიანი, კოდის რეპოზიტორიმი განთავსებული იყო <https://github.com> ზე, რაც უზრუნველყოფდა ერთდროულ წვდომას



სისტემა შედგება რამდენიმე ძირითადი სამომხმარებლო მოდულისგან, რომლებიც აერთიანებენ 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. 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 თუ დაგენერირებულია წონები სამი განსხვავებული მეთოდით, OWA აგრეგაცია მოგვცემს სამ განსხვავებულ შედეგს - თითო 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 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 ექსპერტი 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.

4.2 მომხმარებლის სახელმძღვანელო: აგრეგაცია

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

ზოგადი ინფორმაცია
ექსპერტების შეფასებები
საბოლოო შეფასება
წონების გენერაცია
აგრეგაცია

MIN

Submit

ASPOWA_MAX			
MIN			ალტერნატივა2 > ალტერნატივა3 > ალტერნატივა1
MAX			ალტერნატივა2 > ალტერნატივა1 > ალტერნატივა3
AVERAGE			ალტერნატივა2 > ალტერნატივა1 > ალტერნატივა3
OWA	Orness		ალტერნატივა2 > ალტერნატივა1 > ალტერნატივა3
IOWA	Orness		ალტერნატივა2 > ალტერნატივა1 > ალტერნატივა3
OWG	Orness		ალტერნატივა2 > ალტერნატივა1 > ალტერნატივა3
IOWG	Orness		ალტერნატივა2 > ალტერნატივა1 > ალტერნატივა3
GOWA	Orness	0,50	ალტერნატივა2 > ალტერნატივა1 > ალტერნატივა3
IGOWA	Orness		ალტერნატივა2 > ალტერნატივა1 = ალტერნატივა3
POWA	Orness	0,30	ალტერნატივა2 > ალტერნატივა1 > ალტერნატივა3
ASPOWA_MIN	Orness	0,20	ალტერნატივა2 > ალტერნატივა1 = ალტერნატივა3

აგრეგაციის ჩანართი შედგება 2 სექციისგან - ზემოთ არის აგრეგაციის დამატება ხოლო ქვემოთ უკვე დაგენერირებული აგრეგაციების სია. პირველ ნაწილში მარცხნივ ვირჩევთ აგრეგაციის ტიპს, და ვაჭერთ „გენერაცია“ აგრეგაციის დასამატებლად. ამის შემდეგ შედეგები ემატება ქვედა ცხრილში. პირველ სვეტში არის აგრეგაციის სახელი, რომელიც ამავდროულად ლინკია აგრეგაციის დეტალებზე. შემდეგ სვეტში არის წონის გენერაციის მეთოდი, შემდეგ პარამეტრი, რომელიც თითოეულ ოპერატორს ესაჭიროება ინდივიდუალურად და რომლებიც შემდეგ პარაგრაფში იქნება განმარტებული. ხოლო ბოლო სვეტში რანჟირებული აგრეგაციები უკეთესისგან უარესისკენ.

4.2.1 თითოეული ოპერატორის გამოყენების აღწერა

1. მარტივ ოპერატორებს Min, Max, Average ესაჭიროება მხოლოდ ექსპერტების საბოლოო შეფასებები ამიტომ მისი გამოყენება შეიძლება წონების გენერირების გარეშე.

MIN, MAX და Average ოპერატორების გამოსაყენებლად შეასრულეთ შემდეგი ინსტრუქცია:

- a. ოპერატორების ჩამონათვალში აირჩიეთ MIN ,MAX ან Average ოპერატორი;
- b. “Submit” ღილაკზე დაჭერი შემდეგ თქვენ შეგიძლიათ ნახოთ ოპერატორის შედეგი(რომელიც შემდეგ **Error! Reference source not found.**-ზეა გამოსახული):

- c. ასევე შესაძლებელია ოპერატორის მნიშვნელობების ნაზვა მასზე დაჭერით, რომელიც **Error! Reference source not found.**- ზეა ნაჩვენები.
2. OWA ოპერატორის სრული განმარტება შეგიძლიათ იხილოთ 3.1 თავში, ხოლო რაც შეეხება მის გამოყენებას, ეს შესაძლებელია მას შემდეგ რაც ერთი ან რამდენიმე წონების გენერაციის მეთოდით მოახდენს წონების გენერაციას, ამის შემდეგ უკვე შესაძლებელია OWA ოპერატორის შედეგის ნახვა(ეს ისევე ხდება როგორც მარტივი ოპერატორების შემთხვევაში, რომელიც პირველ ჩანართშია მითითებული).
 3. OWG ოპერატორს OWA ოპერატორის მსგავსად მხოლოდ სხვადასხვა მეთოდით შედგენილი წონები ესაჭიროება. მისი სრული განმარტება იხილეთ 3.2 თავში, რაც შეეხება მის გამოყენებას ასევე მსგავსია OWA ოპერატორის(იხილეთ ჩანართი 2).

გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემა	
პროექტები	შეფასებები
სატესტო პროექტი 2 (MIN) ალტერნატივა 2 > ალტერნატივა 3 > ალტერნატივა 1	
ალტერნატივა 1	0,20
ალტერნატივა 2	0,60
ალტერნატივა 3	0,50

4. GOWA ოპერატორს გარდა წონების (რომელიც OWA ოპერატორის გამოყენების განმარტებისას ნაწილობრივ განვმარტეთ) ასევე ესაჭიროება ლამობდა პარამეტრი, რომლის შესახებაც დაწვრილებით შეგიძლიათ ნახოთ 3.3 თავში, მისი შეტანა შესაძლებელია სისტემაში GOWA ოპერატორის არჩევის შემდეგ (რომელიც

გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემა

პროექტები შეფასებები

InputLambda

Value

2

შემდეგი

სურათი 1

5. IOWA, IOWG, IGOWA ოპერატორებს გარდა წონების და იმ პარამეტრებისა რომელიც ზემოთ ვახსენეთ ესაჭიროება დამოწმებების მნიშვნელობები (სრული განმარტება იხილეთ შესაბამისად 0, 3.6, 3.5 თავებში), მისი შეტანა სისტემაში შესაძლებელია ამ ოპერატორების არჩევის შემდეგ (პროცესი შეგიძლიათ ნახოთ სურათი 2-ზე), შემდეგ ღილაკზე დაჭერის შემდეგ შეგვიძლია ვნახოთ ოპერატორის შედეგი, როგორც ეს.

გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემა

პროექტები შეფასებები

FillRatings

	ფაქტორი 1	ფაქტორი 2
Method1	10	90

შემდეგი

სურათი 2

6. POWA (სრული განმარტება შეგიძლიათ 0 თავში ნახოთ) ოპერატორის გამოყენებისას საჭიროა სხვადასხვა საშუალებით მიღებული წონები და

ფაქტორების ალბათობების ვექტორი, ალბათობების შეტანა შესაძლებელია POWA ოპერატორის არჩევის შემდეგ, რაც სურათი 3-ზე არის მითითებული, ასევე ესაჭიროება ლამბდა კოეფიციენტი, რომლის სისტემაში შეტანა შესაძლებელია ალბათობების შევსების შემდეგ „შემდეგ“ ღილაკზე დაჭერით შესაძლებელია ნახოთ ოპერატორის შედეგი.

გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემა

პროექტები შეფასებები

FillRatings

	ფაქტორი 1	ფაქტორი 2
Method1	0.4	0.6

შემდეგი

სურათი 3

გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემა

პროექტები შეფასებები

InputLambda

Value

0.5

შემდეგი

სურათი 4

7. AsPOWAmin, AsPOWAmay, AsPOWAmey (განმარტება 3.8 თავი) ესაჭიროება შესაძლებლობების მითითება (იხილეთ სურათი 5 სურათზე) და ლამბდა პარამეტრი, რომელთა ჩამატება შესაძლებელია ამ ოპერატორების არჩევის შემდეგ.


გადაწყვეტილების მიღების ინტელექტუალური სისტემა

პროექტები

შეფასებები

FillRatings

	ფაქტორი 1	ფაქტორი 2
Method1	1	0.2

შემდეგი

სურათი 5

5 დანართი: მოდულის რეალიზაციები და გამოთვლითი შედეგები

5.1 OWA

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace DMS.Domain.Fuzzy.Aggregation
{
    public class OWA : IAggregation
    {
        protected List<decimal> weights;

        public OWA(List<decimal> weights)
        {
            this.weights = weights;

            decimal sum = weights.Sum();

            decimal diff = Math.Abs(1.0M - sum);
            //if (diff > 0.0001M)
            if (diff > 0.1M)
            {
                throw new ArgumentException(String.Format("sum(weights) must be 1.0 (was: {0}, {1})", sum, diff));
            }
        }

        public virtual decimal Calc(List<decimal> values)
        {
            values.Sort();
            values.Reverse();

            int min = Math.Min(values.Count, weights.Count);

            decimal sum = 0.0M;

            for (int i = 0; i < min; i++)
            {
                sum += values[i] * weights[i];
            }

            return sum;
        }

        /*
         * Calculate the orness of this OWA operator.
         * To get the andness use it's definition: <code>decimal andness = 1.0 -
         orness();</code>
         * returns the orness [0, 1]
         */
        public decimal orness()
        {
            decimal n = weights.Count;
            decimal s = 0.0M;
            for (int i = 0; i < n; i++)
            {
                s = (n - (i + 1)) * weights[i];
            }
        }
    }
}
```

5.2 OWG

```
using DMS.Domain.Fuzzy.Aggregation;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace DMS.Fuzzy
{
    public class OWG : OWA
    {
        public OWG(List<decimal> weights) : base(weights) { }

        public override decimal Calc(List<decimal> values)
        {
            values.Sort();
            values.Reverse();

            int min = Math.Min(values.Count, weights.Count);

            decimal sum = 0.0M;

            for (int i = 0; i < min; i++)
            {
                sum += (decimal)Math.Pow((double)values[i], (double)weights[i]);
            }

            return sum;
        }
    }
}
```

5.3 GOWA

```
using DMS.Domain.Fuzzy.Aggregation;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace DMS.Fuzzy
{
    public class GOWA : OWA
    {
        protected decimal alfa;

        public GOWA(List<decimal> weights, decimal alfa)
            : base(weights)
        {
            this.alfa = alfa;
        }

        public override decimal Calc(List<decimal> values)
        {
            values.Sort();
            values.Reverse();

            int min = Math.Min(values.Count, weights.Count);

            decimal sum = 0.0M;

            for (int i = 0; i < min; i++)
            {
                sum += weights[i] * (decimal)Math.Pow((double)values[i],
(double)alfa);
            }

            return (decimal)Math.Pow((double)sum, (double)(1/alfa));
        }
    }
}
```

5.4 IOWA

```
using DMS.Domain.Fuzzy.Aggregation;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace DMS.Fuzzy
{
    public class IOWA : InducedAggregationBase
    {
        public IOWA(List<decimal> weights) : base(weights) { }

        public override decimal calc(List<decimal> values, List<decimal> ratings)
        {
            this.ratings = ratings;
            return Calc(values);
        }

        public override decimal Calc(List<decimal> values)
        {
            List<RatingValue> ratingValues = getRatingValues(values, ratings);
            ratingValues.Sort();

            int min = Math.Min(values.Count, weights.Count);
            decimal sum = 0.0M;
            for (int i = 0; i < min; i++)
            {
                sum += ratingValues[i].Value * weights[i];
            }
            return sum;
        }
    }
}
```

5.5 IGOWA

```
using DMS.Domain.Fuzzy.Aggregation;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace DMS.Fuzzy
{
    public class IGOWA : InducedAggregationBase
    {
        private decimal alfa;

        public IGOWA(List<decimal> weights, decimal alfa)
            : base(weights)
        {
            this.alfa = alfa;
        }

        public override decimal calc(List<decimal> values, List<decimal> ratings)
        {
            this.ratings = ratings;
            return Calc(values);
        }

        public override decimal Calc(List<decimal> values)
        {
            List<RatingValue> ratingValues = getRatingValues(values, ratings);
            ratingValues.Sort();

            int min = Math.Min(values.Count, weights.Count);
            decimal sum = 0.0M;
            for (int i = 0; i < min; i++)
            {
                sum += weights[i] * (decimal)Math.Pow((double)ratingValues[i].Value,
(double)alfa);
            }
            return sum;
        }
    }
}
```

5.6 IOWG

```
using DMS.Domain.Fuzzy.Aggregation;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace DMS.Fuzzy
{
    public class IOWG : InducedAggregationBase
    {
        public IOWG(List<decimal> weights) : base(weights) { }

        public override decimal calc(List<decimal> values, List<decimal> ratings)
        {
            this.ratings = ratings;
            return Calc(values);
        }

        public override decimal Calc(List<decimal> values)
        {
            List<RatingValue> ratingValues = getRatingValues(values, ratings);
            ratingValues.Sort();

            int min = Math.Min(values.Count, weights.Count);
            decimal sum = 0.0M;
            for (int i = 0; i < min; i++)
            {
                sum += (decimal)Math.Pow((double)ratingValues[i].Value, (double)weights[i]);
            }
            return sum;
        }
    }
}
```

5.7 POWA

```
using DMS.Domain.Fuzzy.Aggregation;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace DMS.Fuzzy
{
    public class POWA : OWA
    {
        protected List<decimal> p;
        protected decimal beta;

        public POWA(List<decimal> weights, List<decimal> p, decimal beta)
            : base(weights)
        {
            this.p = p;
            this.beta = beta;

            if (beta <= 0 && beta >= 1)
            {
                throw new ArgumentException("Invalid Argument");
            }
        }

        public override decimal Calc(List<decimal> values)
        {
            decimal owaValue = base.Calc(values.ToList());

            decimal sum = 0.0M;

            for (int i = 0; i < values.Count; i++)
            {
                sum += (p[i] * values[i]);
            }

            return (beta * owaValue) + ((1 - beta) * sum);
        }
    }
}
```

5.8 AsPOWA

```
using DMS.Domain;
using DMS.Domain.Fuzzy.Aggregation;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace DMS.Fuzzy
{
    public class ASPOWA : POWA
    {
        private AggregationType type;

        public ASPOWA(List<decimal> weights, List<decimal> p, decimal beta,
AggregationType type)
            : base(weights, p, beta)
        {
            this.type = type;
        }

        public override decimal Calc(List<decimal> values)
        {
            List<int> indexes = new List<int>();

            for (int i = 0; i < values.Count; i++)
            {
                indexes.Add(i);
            }

            AggrerationUtil au = new AggrerationUtil();
            IEnumerable<IEnumerable<int>> permutationResult =
au.Permutation<int>(indexes);

            decimal globalK = 0M;
            bool initGlobal = false;

            foreach (IEnumerable<int> e in permutationResult)
            {
                List<int> curentPermutation = e.ToList();

                List<decimal> curentPermutationP = new List<decimal>();

                foreach (int i in e)
                {
                    curentPermutationP.Add(p[i]);
                }

                // First max Aggregation
                // Result is pSigma
                List<decimal> pSigma = new List<decimal>();
                decimal lastMax = 0m;
                for (int i = 0; i < curentPermutationP.Count; i++)
                {
                    decimal curentPValue = curentPermutationP[i];
                    if (i > 0)
                    {
                        decimal max = Math.Max(curentPValue, lastMax);
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

6 დასკვნა

სადიპლომო ნაშრომში განხილულია OWA ტიპის ოპერატორებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღების 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. სისტემა 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) OWA-ს ტიპის ოპერატორების რეალიზაციები (OWA, OWG, GOWA, IOWA, IGOWA, IOWG, POWA, AsPOWA). შესწავლილია ოპერატორების წყაროები (ავტორები და მათი ნაშრომები). რეალიზებულია აღნიშნული ოპერატორების გამოთვლის სქემები პროგრამულად. ასევე რეალიზებულია აგრეგირების ოპერატორების ინფორმაციული ზომები, რომელიც მნიშვნელოვან ინფორმაციას იძლევიან ოპერატორის გამოყენებაზე მომხმარებელთან მიმართებაში.

7 გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] 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>
- [2] G.Sirbiladze and A.Sikharulidze, Decision-Making Aiding Fuzzy Information Analysis in Investments. Part I: Discrimination Analysis in Investment Projects. *Proc. of Javakhishvili Tbilisi State University, Applied Mathematics, Computer Sciences*, Vol.353(22-23), 2003, 77-94;
- [3] R.R. Yager, "Families of OWA operators", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 59, 1993, pp 125-148.
- [4] R.R.Yager, "Quantifier Guided Aggregation Using OWA Operators", *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 11, 1996, pp. 49-73.
- [5] Fuzzy reasoning and decision making and optimization. Crister Carlson, Robert fuller
- [7] Induced aggregation operators in decision making with the Dempster-Shafer belief structure. José M. Merigó Lindahl Montserrat Casanovas Ramón
- [8] OWA Operators in Decision Making. Robert Fuller
- [9] <http://www.abo.fi/~rfuller/robert.html>
- [10] R.R. Yager, Generalized OWA aggregation operators, *Journal of Fuzzy Optimization and Decision Making* 3 (1) (2004) 93–107.
- [11] D.-F. Li / *Mathematical and Computer Modelling* 53 (2011) 1182–1196.
- [12] GROUP DECISION-MAKING WITH GENERALIZED AND PROBABILISTIC AGGREGATION OPERATORS. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control* Volume 8, Number 7(A), July 2012.
- [13] D. Dubois and H. Prade, *Possibility Theory*, New York: Plenum Press, 1988.
- [14] Gia Sirbiladze, *Extremal Fuzzy Dynamic Systems: Theory and Applications*. IFSR International Series on Systems Science and Engineering, 28, 1st Edition, Springer, 2012.
- [15] Gia Sirbiladze and Anna Sikharulidze, Generalized Weighted Fuzzy Expected Values in Uncertainty Environment, *Proceeding of the 9-th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases*, 54-64, 2010.

- [16] Gia Sirbiladze, Anna Sikharulidze, Bezhan Ghvaberidze and Bidzina Matsaberidze, Fuzzy-probabilistic Aggregations in the Discrete Covering Problem, *International Journal of General Systems*. 40: 2, 169 -196, 2011.
- [17] R.R. Yager, On Ordered Weighted Averaging aggregation operators in multi-criteria decision making, *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 18, no.1., 183-190, 1988.
- [18] Gia Sirbiladze, Otar Badagadze, Khatia Sirbiladze and Gvantsa tsulaia, OWA – Type Possibilistic Aggregations in the Problem of the Country Political Management, *Transactions of the International Scientific Conference Dedicated to the 90-th Anniversary of Georgian Technical University*, 316-321, Tbilisi, Georgia, September, 2012.
- [19] Gia Sirbiladze, Irina khutsishvili and Bezhan Ghvaberidze, Construction of the Possibilistic OWA operator for Evaluatuin of Credit Risks of Investment Projects, *Transactions of the International Scientific Conference Dedicated to the 90-th Anniversary of Georgian Technical University*, 31-316, Tbilisi, Georgia, September, 2012.
- [20] G. Beliakov, A. Pradera and T. Calvo, *Aggregation Functions: A Guide for Practitioners*. Berlin: Springer-Verlag, 2007.
- [21] K.J. Engemann, D.P. Filev and R.R. Yager, Modelling decision making using immediate probabilities. *International Journal of General Systems*, 24:281-294, 1996.
- [22] J.M. Merigo, Using immediate probabilities in fuzzy decision making. In: *Proceedings of the 22nd ASEPELT Conference*, Barcelona, pp . 1650-1664, 2008.
- [23] J.M. Merigo, *New extensions to the OWA operators and its application in decision making* (In Spanish). PhD Thesis, Department of Business Administration, University of Barcelona, 2008.
- [24] J.M. Merigo and A.M. Gil-Lafuente, The induced generalized OWA operator. *Information Sciences*, 179:729-741, 2009.
- [25] V. Torra, The weighted OWA operator. *International Journal of Intelligent Systems*, 12:153-166, 1997.
- [26] V. Torra and Y. Narukawa, *Modeling Decisions: Information Fusion and Aggregation Operators*. Berlin: Springer-Verlag, 2007.
- [27] Z.S. Xu and Q.L. Da, An overview of operators for aggregating information. *International Journal of Intelligent Systems*, 18:953-968, 2003
- [28] R.R. Yager, On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics B*, 18:183-190, 1988.
- [29] R.R. Yager, Decision making under Dempster-Shafer uncertainties. *International Journal of General Systems*, 20:233-245, 1992.
- [30] R.R. Yager, Families of OWA operators. *Fuzzy Sets and Systems*, 59:125-148, 1993.
- [31] R.R. Yager, Including decision attitude in probabilistic decision making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 21:1-21, 1999.
- [32] R.R. Yager and D.P. Filev, Induced ordered weighted averaging operators. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics B*, 29:141-150, 1999.
- [33] R.R. Yager and J. Kacprzyk, *the Ordered Weighted Averaging Operators: Theory and Applications*. Norwell: Kluwer Academic