

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო
უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

რიმა თხილაიშვილი

კომუნიკაციური სისტემების ოპტიმიზაცია
ინფორმაციის შეკუმშვა-გაფართოების დროს

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

წარდგენილია ინფორმატიკის დოქტორის აკადემიური
ხარისხის მოსაპოვებლად

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

იბრაიმ დიდმანიძე
ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატი

ბათუმი

2013

1

სარჩევი

შესავალი	3
ნაშრომის საერთო დახასიათება	8
თავი I. ინფორმაცია, კომუნიკაციური სისტემები, ოპტიმიზაცია, ინფორმაციის შეკუმშვის ძირითადი პრინციპები, შეკუმშვა ინფორმაციულ და მატერიალურ სფეროში	10
1.1 ინფორმაცია	10
1.2 ინფორმაციის ზომა	19
1.3 ოპტიმიზაცია	24
1.4 შეკუმშვა	40
1.5 ინფორმაციის შეკუმშვის ინფორმაციული და სეგმენტური შემცველობა	45
1.6 შეკუმშვა მათემატიკურ კონტექსტში	50
1.7 ფუნქციონალური ფაქტორი	54
1.7.1 კოდირების ამოცანა და თანადობა	64
1.7.2 სრულყოფილი კოდი	66
1.8 ჭარბი სტრუქტურები და საინფორმაციო სისტემების საიმედოობა	70
1.9 მაკორექტირებელი კოდის აგების ზოგადი მეთოდი შეცდომათა კონკრეტული სიმრავლის კორექციისათვის	76
თავი II. ორგანიზაციისა და მართვის პროცესის ოპტიმიზაცია, ინფორმაციული არხი და კომუნიკაციური ხასიათი	79
2.1 რთული ინფორმაციული სისტემის მართვის პროცესის ოპტიმიზაციის პრინციპების შემუშავება სწავლებისა და აღზრდის საქმეში	79
2.2 ჭარბი კოდური სტრუქტურების ბაზაზე დაფუძნებული სწავლების თამანდროვე მეთოდები	87
2.3 რთული ინფორმაციული სისტემის შემადგენელი სტრუქტურის ძირითადი ელემენტები	96
2.4 ინფორმაციული სისტემის ორგანიზაციის თეორია, როგორც მოდელის ფორმალიზაციის საფუძველი სწავლებისა და აღზრდის საქმეში	101
2.5 სასწავლო პროცესში ინფორმაციის ათვისება, სწავლების რეფლექსური აღწერა და სისტემის მართვის რეფლექსური საკითხები	103
თავი III. მაკორექტირებელი კოდის ბაზაზე შედგენილი ცოდნის ათვისების კონტროლის ორგანიზაციისა და მართვის მოდელის პრაქტიკული რეალიზაცია	114
3.1 ცოდნის ათვისების რთული ინფორმაციული სისტემის შემადგენელი ძირითადი ელემენტების აღწერა	114
3.2 ინფორმაციული სისტემის პროგრამული რეალიზაცია	121
დასკვნა	125
გამოყენებული ლიტერატურა	128

შესავალი

თანამედროვე მართვის პროცესის სრულყოფა, პროცესების ოპტიმიზაცია და მართვის ხარისხის ამაღლება, კვლავაც რჩება ცივილიზებული საზოგადოების ერთ-ერთ მთავარ საზრუნავად, რის გამოც გადამწყვეტ მნიშვნელობას იძენს სოციუმის ყველა სფეროში უახლესი კომპიუტერული ტექნოლოგიებისა და მათემატიკური მოდელების გამოყენება. თავის მხრივ ინფორმაციული პროცესების ეფექტური მენეჯმენტი და კონტროლის მაღალი დონე ლოგიკურად ქმნიან წინაპირობას ჯანსაღი სოციალური გარემოს ფორმირების, ადამიანური რესურსის აქტივიზაციისა და საბოლოო ჯამში ქვეყნის წარმატებისა და წინსვლისათვის.

იმავდროულად უნდა აღინიშნოს ის გარემოებაც, რომ მიზნის მიღწევა შესაძლებელია მხოლოდ ახალი ინფორმაციული ტექნოლოგიების, მათემატიკური აპარატისა და მოდელირების მეთოდების ფართო გამოყენების შემთხვევაში.

ამ მხრივ დიდი ასპარეზი იშლება სწავლების პროცესის სრულყოფა-ოპტიმიზაციის დარგში, რასაც კიდევ უფრო აქტუალურს ხდის ახალი - „ნიჭისა და უნარის“ აკადემიური პროგრამა, აგრეთვე ბოლონიის პრინციპების (სტუდენტთა, პედაგოგთა, სწავლების პროცესების მენეჯერთა მობილობის) გათვალისწინება [67]. ყოვლივე ეს, როგორც უკვე აღინიშნა ზემოთ, მოითხოვს მართვის მეთოდების და უახლოესი ინფორმაციული ტექნოლოგიების ადეკვატურ მობილიზებას.

საგულისხმოა ის ფაქტიც, რომ ვირტუალურ სივრცეში ამჟამად არსებული ინფორმაციული ტექნოლოგიების პოტენციალი საჭიროებს ცოდნისა და სასწავლო პროგრამების, სახელმძღვანელოების ფორმატის სტანდარტიზაციისა და ოპტიმიზაციას. სისტემური მიდგომის გათვალისწინებით ეს ნიშნავს დასაშვები ვარიანტიდან საუკეთესოს არჩევას, ზოგადად კი საქმე გვაქვს მაჩვენებელთა იმ მნიშვნელობებთან, რომელთა მოქმედების დროს მიიღწევა ოპტიმალური შედეგი, ე.ი. სისტემისათვის საუკეთესო მდგომარეობა - რესურსების ნაკლები დანახარჯებით.

ამასთან, თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების შესაძლებლობების საფუძველზე, გვაქვს რა სრული წარმოდგენა ინფორმაციის ცნებასა და ზომაზე, დასახული ამოცანის ამოხსნა, ანუ შედეგის ეფექტურად და სწრაფად გამოთვლა დამოკიდებულია კომუნიკაციურ სისტემებში ინფორმაციის შეკუმშვა-გაფართოებაზე, აგრეთვე - კოდური (ჭარბი) სტრუქტურების ადეკვატურ გამოყენებაზე. აქ

გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ ინფორმაციის კოდირება თავისთავად არ არის მხოლოდ სიგნალების გარდაქმნა ან კავშირგაბმულობის არხში შესაძლო შეცდომების ლოკალიზაცია და გასწორება (კორექცია). არამედ - არსებითად ხორციელდება ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნა, ინფორმაციული პროცესების ორგანიზაცია და მართვა.

მართლაც, კოდირებისა და დეკოდირების ოპერატორების (მატრიცების) აგებით ხდება მოცემული n - განზომილებიანი სივრცის ორგანიზაცია (სტრუქტურირება), ხოლო შეცდომების (ნორმიდან გადახრების) ლოკალიზაცია და მათი კორექცია ფაქტობრივად არის მართვა, ე.ი. სისტემაში წონასწორობის აღდგენა, ოპტიმალური გარემოს (ვითარების) უზრუნველყოფა. მეცნიერებისა და ტექნიკის თანამედროვე ეტაპზე, საკომუნიკაციო სისტემები წარმოადგენენ მონაცემთა გადაცემის უნიფიცირებულ და ეფექტურ საშუალებას. საკომუნიკაციო სისტემა - ისეთი სტრუქტურაა, რომელიც განკუთვნილია ინფორმაციის საიმედო გადაცემის პროცესის მართვისათვის (ინფორმაციული ნაკადების სტრუქტურირებული ფორმით წარმოდგენისათვის) დანაკარგების, ე.ი. ხელშეშლისა და სხვა ტიპის დანაკარგების გარეშე. აქედან გამომდინარე კომუნიკაციური პროცესის სრულყოფისა და ეფექტური გამოყენებისათვის აუცილებელი ხდება ოპტიმალური სისტემის გამოყენება კომუნიკაციური ბარიერების გადასალახად და გადაცემული ინფორმაციის სიზუსტის დასაცავად, სადაც შესაძლებელია, უნდა გამოვიყენოთ ადამიანის ინტელექტის უმაღლესი ფორმა - აზროვნება, რაც იგივე კოდირებაა, რომელიც ასახავს ჩვენს ირგვლივ არსებულ რეალობას, სამყაროს, სტატისტიკასა და დინამიკას, სიმბოლოებისა და მათი დამაკავშირებელი „გრამატიკების“ (ალგორითმების) დახმარებით.

ამდენად, უხეშად რომ ვთქვათ, კოდირების ზოგადი არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ის შეიძლება ჩაითვალოს ჩვენს ირგვლივ არსებულ სამყაროში პროცესთა აბსტრაქტული მოდელირების საერთო თეორიულ საფუძვლად.

მეორეს მხრივ იმდენად, რამდენადაც „ჩვენს ირგვლივ არსებული სამყარო“-ს დინამიკა ზოგადი ცნებაა, ამიტომ აზრობრივი პროცესი და განსაკუთრებით მისი ერთი უმაღლესი ფორმა - მათემატიკური აზროვნება, აუცილებლად უნდა წარმოადგენდეს ამ ზოგადი გაგების ელემენტს.

ნებისმიერი რთული ამოცანისათვის ან პროცესისათვის გარკვეულ ელემენტებზე დაყრდნობით შეიძლება ფორმალური მოდელის აგება, რაც არის ერთ-ერთი აუცილებელი ეტაპი მართვის პროცესის სრულყოფისათვის. ამასთან, მიუხედავად იმისა, რომ ის წარმოადგენს ადამიანის აბსტრაქტული აზროვნების უმაღლეს პროდუქტს, მთლიანობაში ვერ განსაზღვრავს მათემატიკური მოდელირების ღირებულებას, რადგან ფორმალური სქემა უნდა იყოს მორგებული ალგორითმზე, რათა საკვლევი ობიექტისთვის მივიღოთ პრაქტიკული შედეგი. აქ შეიძლება განვიხილოთ ორი კატეგორიის სირთულე:

- ალგორითმი შეიძლება უზრუნველყოფდეს გამოთვლით პროცედურებს, მაგრამ თვით პროცედურების რაოდენობა დროის რეალურ მაშტაბში იყოს ძალიან დიდი.
- ფორმალური სქემა წარმოდგენილია სიმბოლური ფორმით, მაგრამ ამოცანის ამოხსნის რეგულარული ალგორითმი ან არ არსებობს, ან მისი რეალიზაცია რთულია.

სწორედ ასეთ ექსპერიმენტულ შემთხვევებში „დროის შეკუმშვის“ ეფექტური საშუალების როლში წარმოგვიდგება ჭარბი სტრუქტურები, რომლებიც საინფორმაციო სისტემების საიმედოობას ზრდიან.

ცნობილმა ამერიკელმა მეცნიერმა, ინფორმაციის თეორიის ერთ-ერთმა შემოქმედმა კლოდ შენონმა თავისი ცნობილი თეორემით დაგვანახა, რომ არასაიმედო არხი არ ზღუდავს ინფორმაციის გადაცემის საიმედოობას, არამედ იზრდება მხოლოდ დრო გადაცემისა. ეს ნიშნავს იმას, რომ სიჭარბის შეტანით გადასაცემ ინფორმაციაში (შეტყობინებაში) უზრუნველყოფენ საიმედოობას (მდგრადობას, სტაბილობას) და ეს ვრცელდება არა მარტო ინფორმაციულ სისტემებზე, არამედ სოციუმზეც, ბიოლოგიურ სტრუქტურებზე, პოლიტიკაზე და ა.შ. ბოლო გარემოება შემდგომში იქნა დადგენილი, როდესაც გაირკვა, რომ კოდირება როგორც ასეთი არ არის მხოლოდ შეცდომების გასწორების მათემატიკური მოდელი, არამედ არის ორგანიზაციისა და მართვის ზოგადი მოდელი.

ზოგადი მოდელის ჩამოყალიბებისა და მისი განხილვის შემდეგ, როგორ ავლნიშნეთ მივდივართ ალგორითმის სტრუქტურიზაციამდე, რომელიც მორგებული იქნება აღნიშნულ მოდელზე და პრაქტიკული თვალსაზრისით შედეგიანი იქნება

მართვის პროცესის დროს [63], ალგორითმი კი იმ ბრძანებათა ერთობლიობაა, რომელთა მკაცრად განსაზღვრული თანმიმდევრობით შესრულება განაპირობებს დასმული ამოცანის ამოხსნას. ანუ ის არის კომპიუტერისათვის გასაგებ ენაზე ჩაწერილი ბრძანებათა ერთობლიობა, ე.ი. პროგრამა. რომელიც წარმოადგენს სწორედ შედეგის რეალურ სახეს პრაქტიკული გამოყენებისათვის.

ი. კანტი აღნიშნავდა, რომ ყოველ მცდარ მეცნიერულ მიმართულებას, ყოველ მცდარ მეცნიერებას ემუქრება დაცემა, მაშინ როცა ისინი მიაღწევენ (ანუ უკვე მიღწეული აქვთ) მათი განვითარების ზენიტს [48]. პროგრამირებას ნამდვილად არ ემუქრება ასეთი ბედი, მაგრამ მეცნიერების ისტორიამ არა ერთხელ აჩვენა, რომ თუ წინასწარმეტყველნი და უფლებამოსილნი მიცემდნენ თავს უფლებას ეკეთებინათ რაღაც გაურკვეველი „მომავლის ქრონოლოგია“, უსიტყვოდ გადაიქცეოდნენ მცდარ წინასწარმეტყველებად. მეცნიერული თეორიისა ან მეცნიერული მიმართულების ღირებულება სინამდვილეში უნდა იზომებოდეს არა მისი ჭეშმარიტებისა და სიღრმის ხარისხით, არამედ, ძირითადად მისივე მიზანშეწონილობიდან გამომდინარე, პრაქტიკული მიზნების მოხერხებული გამოყენებით, რაშიც დიდ როლს თამაშობს სწორად შერჩეული ალგორითმი პროგრამა. პროგრამირების ხელოვნება ითვლებოდა და ითვლება დღესაც თანამედროვე ადამიანისათვის განათლებისა და ცივილიზების თავისებურ განმსაზღვრელ მეტრიკად.

„პროგრამირება - მეორე განათლებაა“ იყო აკადემიკოს ა.ერშოვის სიტყვები [85]. სამოცდაათიან და ოთხმოციან წლებში ანდრეი ერშოვი პროგრამირების შესახებ გამოთქვამდა აზრს, რომ ეს არის „ადამიანის ორგანული შესაძლებლობების გამოხატვა“. და თუ ჯერ კაცობრიობის დიდი ნაწილი არ წერს პროგრამებს, მაშინ „ისინი თვითონ ცხოვრობენ პროგრამების სამყაროში და თავისთავად, სისტემატიურად ქმნიან პროგრამებს“. პროგრამირება გვეხმარება სისტემის სტრუქტურის ჩამოყალიბების შემდეგ მისი ელემენტების ერთიან სხეულად წარმოდგენასა და ელემენტებს შორის კავშირების დადგენაში.

სტრუქტურის მოქნილობისა და ელემენტებს შორის კავშირის დაშვება მთელი სისტემის მთლიანობის ფარგლებში საჭიროა სისტემის ფუნქციონირების ოპტიმიზაციისთვის. აღნიშნული გარემოება მიანიშნებს იმაზე, რომ მაგალითად

სწავლების (და აღზრდის) ამოცანის შემთხვევაში, სისტემის ადეკვატური სტრუქტურითაა არის - ყველაზე ოპტიმალური პირობების შექმნის საშუალება.

სისტემის მართვის ოპტიმიზაციის პრინციპების შემუშავება მოითხოვს მისი სტრუქტურისა და ფუნქციონირების მკაფიო ანალიზს და აღწერას, ანუ სწავლების სისტემის მოდელის და შესაბამისი ალგორითმის (პროგრამის) შექმნას.

ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაჭრისათვის, როგორც ზემოთ ავლნიშნეთ გამოიყენება კოდირების თეორიის მათემატიკური აპარატი. კერძოდ, გადახრების ანუ შეცდომების, ლოკალიზაციისა და გასწორებისათვის განიხილება რთულ სისტემებში წონასწორობის აღდგენის და ამდენად ოპტიმალური მდგომარეობის აღდგენის შესაძლებლობა, ამ თვალსაზრისით მოცემულია [59] ალენის ობობას ქსელის მსგავსი (ქსელური) მოდელი და განიხილულია ერთი საქონლის ბაზრის სივრცე, სადაც ორ მხარეს შორის ვაჭრობის შედეგად ხდება გარიგება და ოპტიმალური გადაწყვეტილების მიღება გაყიდული და შესყიდული საქონლის გამო. შემოთავაზებულია შესაბამისი მათემატიკური მოდელი - ქსელური („ობობას ქსელის“ მაგვარი), რომელიც უნივერსალურია და შეიძლება გამოვიყენოთ სხვა ამოცანების ამოხსნის პროცესშიც, სადაც ხდება დაპირისპირებულ მხარეთა შეთანხმება - კონსენსუსი.

აღნიშნული იდეა, რომელიც შეიძლება პრაქტიკულად განხორციელდეს და იყოს შედეგიანი არა მხოლოდ ერთი კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტისას, არამედ ზოგადად - ყველა ანალოგიურ სიტუაციაში. აღნიშნული იდეა საჭიროებს: სტრუქტურითაა, შესაბამისი მოდელის ფორმირებას და შესაბამისი ალგორითმისთვის პროგრამის შედგენას, ამრიგად ხდება ოპტიმალური ვარიანტის ანალიზი და შერჩევა კონკრეტული თუ ზოგადი ამოცანისათვის, რაშიც როგორც უკვე ავლნიშნეთ გამოვიყენებთ კოდირების მათემატიკურ მოდელს, როგორც ორგანიზაციისა და მართვის საშუალებას. სადისერტაციო ნაშრომში ოპტიმიზაციის ობიექტად შერჩეულია სწავლების პროცესი, მიზნად დასახულია - ცოდნის ათვისების ორგანიზაცია და მართვა.

ნაშრომის საერთო დახასიათება

თემის აქტუალობა: განთლების პროცესების კომუნიკაციური სისტემების ოპტიმიზაცია, სადაც გამოყენებული იქნება ინფორმაციის შეკუმშვა-გაფართოების კოდირების მათემატიკური აპარატი, დაფუძნებული თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებაზე, ხელს შეუწყობს განათლების სისტემის განვითარებას. სახელმწიფო, რომელიც აყალიბებს სამოქალაქო საზოგადოებას და მით უმეტეს დგას ინფორმაციული საზოგადოების ჩამოყალიბების გზაზე, უნდა ხელმძღვანელობდეს განათლების მართვის თანამედროვე პრინციპებით, ისწრაფვოდეს მსოფლიო საგანმანათლებლო სივრცეში ასოცირებისა და ერთიანი საგანმანათლებლო სივრცის შექმნისაკენ. ამისათვის, აქტუალურია ახალი მოდელებისა და მეთოდების ჩამოყალიბება, რაც შესაძლებელია მხოლოდ თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიების საფუძველზე. ეს მოთხოვნა კიდევ უფრო დიდ აქტუალობას იძენს თანამედროვე, ელექტრონულ-ვირტუალური რევოლუციის ეპოქაში. იმავდროულად სწავლების პროცესები უნდა მოიცავდეს ლაბორატორიული ცდების ვირტუალიზაციის, ინფორმაციის დახარისხებისა და ანალიზის, სასწავლო გარემოს ბუნებრივ სიმულირების ისეთ საშუალებებს, როგორცაა ჰიპერტექსტური კავშირების, მულტიმედიური, ფოტო, ტექსტური და ვიდეომასალების კომპიუტერული სწავლების პროგრამული უზრუნველყოფა, მათემატიკური მეთოდები და ა.შ.

კვლევის საგანი სწავლების პროცესში გადამწყვეტი როლის მინიჭება ცოდნის ათვისების მაღალი ხარისხის უზრუნველყოფაზე, ორგანიზაციისა და მართვის საკითხებზე. ცოდნის ათვისების პროცედურის განვიხილვა, როგორც დაპირისპირებულ მხარეთა შეთანხმება (გარიგება). დაპირისპირებულ მხარეებად განვიხილება ერთის მხრივ სტუდენტი, ხოლო მეორე მხარედ – ლექტორი (ან მოსწავლე და მასწავლებელი), ეს დაპირისპირება არავითარ შემთხვევაში არ არის ანტაგონისტური. მიზანი ორივე მხარისათვის ცოდნის ათვისების მაღალი ხარისხის უზრუნველყოფაა საინფორმაციო ტექნოლოგიების ეფექტური გამოყენებით.

კვლევის მიზანი. უმაღლესი სასწავლებლებსა თუ სასკოლო დაწესებულებებში სასწავლო პროცესის ორგანიზაცია და მართვა, კომუნიკაციური სისტემების ოპტიმიზაცია, საინფორმაციო ტექნოლოგიების გამოყენების მეთოდოლოგიის

მეცნიერული დასაბუთება. სასწავლო პროცესის ორგანიზაციისა და მართვის ამოცანის მათემატიკური მოდელის აგება და მისი კომპიუტერული რეალიზების კონცეფციის დამუშავება.

კვლევის მეცნიერული სიახლე. დისერტაციაში დამუშავებულია ცოდნის ათვისების ხარისხის კონტროლის ახალი ლოგიკურ-მათემატიკური მოდელი, რომლის შესაბამისად ხდება სტუდენტის და ლექტორის ერთდროული კონტროლი. პროცესი დაფუძნებულია Modus ponens (დასკვნის გამოტანის) წესის გამოყენებაზე. წარმოდგენილი მეთოდი საშუალებას იძლევა მაღალი სიზუსტით გამოავლინოთ, ცოდნის ათვისების პროცესში არსებული ხარვეზები, სტუდენტებისა და ლექტორის საქმიანობის სუსტი მხარეები და გადახრები. მათი გამოვლენით ნაკლოვანებების (გადახრების) გამოვლენა და მათი კორექცია.

კვლევის თეორიული მნიშვნელობა. დამუშავებულია ცოდნის ათვისების კონტროლის ახალი ლოგიკურ-მათემატიკური მოდელი, რომელიც იძლევა ერთდროული კონტროლის საშუალებას, უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწასებულების სტუდენტებისა და მათი პედაგოგებისათვის.

კვლევის შედეგები. დისერტაციაში პრაქტიკულად არის რეალიზებული დამუშავებული კომპიუტერული მოდელირების კონკრეტული ამოცანები: ცოდნის ათვისების ხარისხის ოპტიმუმის გამოთვლა. ამ მოდელის რეალიზება ხდება ინტერაქტიურ რეჟიმში.

კვლევის პრაქტიკული მნიშვნელობა. ცოდნის ათვისების პროცესში საინფორმაციო ტექნოლოგიების გამოყენებით მიღებული შედეგები - მათემატიკური მოდელი და მათი ავტომატიზებული რეალიზაცია უზრუნველყოფს განათლების ხარისხის გაუმჯობესებას. გარდა ამისა მიღებული შედეგები შეიძლება განზოგადდეს საგანმანათლებლო სისტემაში მიმდინარე სხვადასხვა პროცესისათვისაც.

თავი I.

ინფორმაცია, კომუნიკაციური სისტემები, ოპტიმიზაცია, ინფორმაციის შეკუმშვის ძირითადი პრინციპები, შეკუმშვა ინფორმაციულ და მატერიალურ სფეროში

1.1. ინფორმაცია

ინფორმაცია ცნობიერებაში განყენებულად არ არსებობს. ის შეიძლება იყოს აღქმული, როგორც ურთიერთქმედებათა შედეგი, სიგნალის მიღება, მონაცემთა ასახვა-დამუშავება, წაკითხვა. თავისი არსით ინფორმაცია ზეცნებას წარმოადგენს და ამიტომ მისი მკაცრი განსაზღვრება წარმოუდგენელია - ისევე როგორც მატერიის, მათემატიკის, ფიზიკის, კიბერნეტიკის და ა.შ.

მატერიალური თვალსაზრისით ინფორმაცია მატერიალურ სამყაროში ობიექტთა თანმიმდევრობაა. მაგალითად, ფურცელზე გარკვეული წესით ასოთა განლაგება წარმოადგენს წერილობით ინფორმაციას. სხვადასხვა ფერის წერტილები კი - გრაფიკულ ინფორმაციას. ანალოგიურად - მუსიკალური ნიშნების (ნოტების) თანმიმდევრობა მუსიკალური ინფორმაციაა, დნმ-ის გამოკვლევების შედეგი - მემკვიდრეობითი ინფორმაცია, კომპიუტერში ბიტების სიმრავლე - კომპიუტერული ინფორმაცია და ა.შ.

სამყაროს მთლიანობის ერთ-ერთი ნიშანდობლივი თვისება მისი ინფორმაციული მთლიანობაა.

ინფორმაციის ფორმირების და გადაცემის დროს აუცილებლად იქმნება ინფორმაციული გარემო, რომლის საფუძველი არის ინფორმაციული სინერგიულობა¹ (ურთიერთ - შეთანხმებულობა, ურთიერთთანწყობა). ინფორმაციული გარემო თვისობრივად მსგავს და საერთო სტრუქტურათა წარმოქმნას განაპირობებს; მათ ასახვას და გავრცელებას ემსახურება კოდური სისტემები ისე, როგორც ეს გენეტიკური კოდის მეშვეობით ხდება.

აქედან გამომდინარეობს, რომ ნებისმიერი კოდი (დამწერლობის რაიმე ნიმუში, პირობითი ნიშნები თუ სხვ.) შეიცავს გარკვეულ ინფორმაციას. ზოგი მათგანი

¹ სინერგია (ბერძნულიდან syn - ერთად, ergos - მოქმედი, მოძრაი, მოძრაობა) - ორი ან რამოდენიმე ფაქტორის ამჯამავი ეფექტი.

სტრუქტურული და ფუნქციური მნიშვნელობისაა, მაგალითად, გენეტიკური კოდი (ქრომოსომების სტრუქტურა); ზოგი კი გამიზნულია მხოლოდ ინფორმაციის დამუშავებისა და გადაცემისათვის, თუმცა მკვეთრი საზღვრის გავლება მათ შორის ხშირად შეუძლებელია [28].

არსებობს ინფორმაციის მრავალი განსხვავებული განსაზღვრება ზოგად ფილოსოფიურიდან, როგორც რეალური სამყაროს ასახვა-გამოხატულება, ყველაზე კერძო პრაქტიკულ განსაზღვრებამდე, როგორც მონაცემები, გამიზნული მათი დამუშავების, გადაცემისა და დამახსოვრებისათვის.

აღსანიშნავია “ინფორმაციის”, როგორც ტერმინის, მრავალმხრივი (უშუალო, მაგრამ ხშირად გაუცნობიერებელი) გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: “ინფორმაციული საშუალებები”, “მიღებული ინფორმაცია”, “არასწორი ინფორმაცია”, “ინფორმაციული ომი”, “ინფორმაციული გარემო” და ა.შ., რაც მეტყველებს ინფორმაციასთან დაკავშირებულ ცნებათა მრავალფეროვნებაზე. მნიშვნელოვანია ნორბერტ ვინერის აზრი, რომ “ინფორმაცია არის ინფორმაცია და არა მატერია ან ენერჯია”.

ინფორმაცია არის მონაცემები, ცნობები სინამდვილის შესახებ, რომლებიც მიიღება და გადაიცემა სიგნალების საშუალებით. სიგნალი წარმოადგენს ფიზიკურ ფაქტს, კოდურ ნიშნებს, მაგალითად, ასო-ნიშნებს, ბგერებს, სიტყვებს, სურათებს, სატელევიზიო გამოსახულებას, სინათლის ტალღებს, დამაგნიტებას, ელექტრულ ძაბვას და ა.შ. ამრიგად, ინფორმაცია არ არის მატერიალური (ნივთიერება), მაგრამ არის ფუნქცია ფიზიკური ფაქტისა (მატერიალურის).

არსებობს ინფორმაციის მიღების სამი ძირითადი შესაძლებლობა: ა) გენეტიკური - მემკვიდრეობითი ფაქტორი; ბ) საზოგადოებრივი - ცხოვრების წესი, ტრადიცია, აზრები. ერთი სიტყვით, ყოველივე, რაც შექმნა საზოგადოების ცივილიზაციამ; გ) ინდივიდისა და გარემოს ურთიერთობის შედეგი - შემოქმედებითი ფაქტორი [29, 52].

ინფორმაციის გაცვლისათვის საჭიროა რამოდენიმე აუცილებელი და საკმარისი პირობის დაცვა.

აუცილებელია:

1. მატერიალური ან არამატერიალური სამყაროს ორი ობიექტის არსებობა;

2. საერთო თვისებების მქონე ობიექტების არსებობა, რომლებიც იძლევა საშუალებას ობიექტის, როგორც ინფორმაციის მატარებლის იდენტიფიცირებას;
3. ობიექტების ისეთი სპეციფიკური თვისებების არსებობა, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს განვასხვავოთ ობიექტები ერთმანეთისაგან;
4. სივრცის იმ თვისებების არსებობა, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ობიექტთა თანმიმდევრობა. მაგალითად, ქაღალდზე ინფორმაციის განთავსება - ეს ქაღალდის სპეციფიკური თვისებაა, რომელიც დაკავშირებულია ასოების მარცხნიდან მარჯვნივ და ზემოდან ქვემოთ განლაგებასთან.

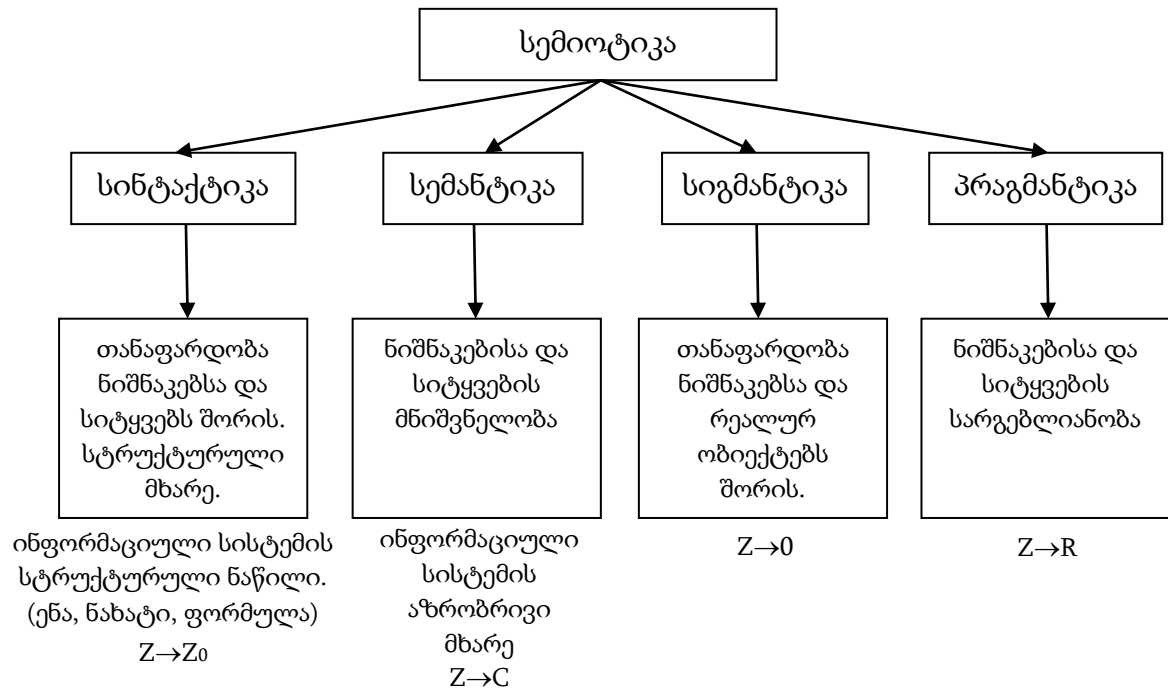
საკმარისია:

სუბიექტის არსებობა, რომელიც აღიქვამს ინფორმაციას. ეს შეიძლება იყოს ადამიანი ან საზოგადოება, ცხოველთა სამყარო, რობოტები და სხვა.

მიუხედავად ყველაფრისა შესაძლებელია ინფორმაციის ბუნებისა და ზოგიერთი თვისებების ჩამოთვლა:

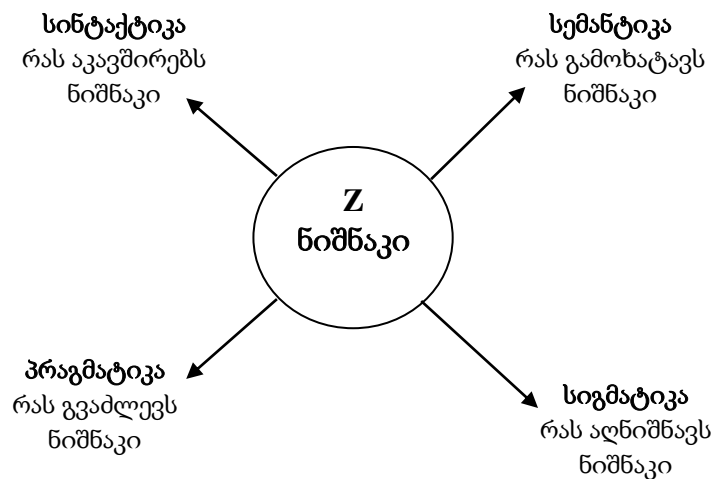
1. ინფორმაციას მოაქვს ცოდნა მომხმარებლისათვის, რომელიც მას ადრე დროსა და სივრცეში არ გააჩნდა;
2. ინფორმაცია თავისი ბუნებით არ არის მატერიალური, მაგრამ იგი როგორც წესი აისახება მატერიალურ სიდიდებით: სიმბოლოებით, ნიშნებით, განტოლებებით, ფორმულებით, ხმით, მელოდიით და ა.შ.;
3. ინფორმაცია შეიძლება ასახული იყოს როგორც ერთი სიმბოლოთი (ნიშნით), ასევე სიმბოლოების (ნიშნების) ერთობლიობით;
4. თუ ინფორმაცია მოცემულია ერთი სიმბოლოთი ან ნიშნით, მაშინ მასში გაერთიანებულია მთლიანი აზრის გარკვეული ნაწილი. მაგალითად, როგორც იეროგლიფურ დამწერლობაში. აქ ერთ სიმბოლოში მთლიანი აზრია ჩადებული, თუმცა ცალკეული ნიშნაკებით მთელი აზრის ჩაწერას გარკვეული უპირატესობა გააჩნია. იეროგლიფები ძალზე ეკონომიური და სწრაფია დამუშავებისა და ჩაწერის თვალსაზრისით, მიუხედავად იმისა, რომ არსებობს 3000 იეროგლიფი და მისი დამახსოვრება ადამიანებს უჭირთ.
5. ინფორმაციის ჩაწერა შეიძლება აგრეთვე ნიშნაკების კომბინაციების საშუალებით, მაგრამ ნიშნაკების ყველა კომბინაცია აზრს არ გამოხატავს. ნიშნაკების

შემსწავლელი მეცნიერება სემიოტიკაა, რომელიც განიხილავს არა მარტო ნიშნაკებს, არამედ სიმბოლოებს და მითებს. ი.ლოტმანის² განმარტებით სემიოტიკა საკომუნიკაციო სისტემებისა და ნიშნაკების შესახებ მეცნიერებაა, რომელიც გამოიყენება საურთიერთობო პროცესში.



სურ.1. სემიოტიკა - ნიშნაკების შემსწავლელი მეცნიერება

ანუ



სურ.2. სემიოტიკის გრაფ-სქემით წარმოდგენა.

მოცემული გრაფ-სქემა ძირითადად ასახავს იმ სიმბოლიკას და აბსტრაქტულ წარმოდგენებს, რომელებიც შექმნილია და წარმოდგენილია ადამიანის ისტორიული

² იური მიხეილის ძე ლოტმანი - ლიტერატურათმცოდნე, კულტუროლოგი და სემიოტიკი. (1922-1973)

და ინტელექტუალური განვითარების მანძილზე. ისტორია კი ამ თვალსაზრისით გამოირჩევა, როგორც თავისი პრობლემებით, ასევე მეცნიერების მიღწევებით. ასე მაგალითად, მხოლოდ მათემატიკის დარგში დიოფანტედან დეკარტემდე და ლეიბნიცამდე, საჭირო გახდა თვრამმეტი საუკუნე, რომ ზოგადი ალგებრული განტოლება ჩაწერილიყო კომპაქტურად შემდეგი სახით:

$$a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} \dots \dots + a_0 \quad (1.1.1)$$

სწორედ ამიტომ ძველ საბერძნეთში ვერ განვითარდა ალგებრა, სადაც ძირითადი პრობლემა მდგომარეობდა განტოლებათა ჩაწერის სირთულეში. მაგრამ, თუ გადავხედავთ მათემატიკის ისტორიას იკვეთება პროგრესი და მისი ეტაპები: [29, 53]

- რაციონალური და ხელსაყრელი ნიშნაკების შემოღება;
- ამ ნიშნაკების შემოღების შემდგომ, სტანდარტული არაგანმეორებადი ალგორითმის შექმნა;
- მათთან დაკავშირებული პროგრამების გადაწყვეტა.

თუ მოვიყვანთ მათემატიკური ლოგიკის ერთ-ერთი ფუძემდებლის ემილ პოსტას³ სიტყვებს, დავინახავთ: „როგორი ბრწყინვალეებითაც არ უნდა გამოირჩეოდეს მათემატიკური და ლოგიკური სისტემა, იგი სხვა არა არის რა, თუ არა წესების ერთობლიობა, რომელიც გვიჩვენებს თუ როგორ უნდა გარდაიქმნას ერთი სახის ასოთა სახეში წარმოდგენილი თანმიმდევრობა, მეორე სახის ასოთა თანმიმდევრობაში“.

კ. შენონმა⁴ უარყო ე.პოსტის მიერ დამუშავებული თეორიის კავშირი ინფორმაციის შინაარსობლივ (მისი მნიშვნელობის) ასპექტებთან, ანუ ინფორმაციის სემანტიკასთან. მიუხედავად ამისა, გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან არის მცდელობა ბუნებრივ ენაში არსებული სემანტიკური ინფორმაციის გასაზომად. ინფორმაციის რაოდენობის უფრო ზოგადი ზომის დასადგენად გამოყენებულია ალბათური მიდგომა. შედეგად, ინფორმაციის თეორიის თანამედროვე მეცნიერებაში ჩამოყალიბდა ახალი მიმართულება – სემასოლოგია, ანუ სემანტიკური ინფორმაციის

³ Emil Leon Post – ამერიკელი ლოგიკოსი მათემატიკოსი მრავალმნიშვნელოვანი ლოგიკის (1921) ერთ-ერთი ფუძემდებელი (1897 – 1954)

⁴ Claude Elwood Shannon - ამერიკელი ინჟინერი და მათემატიკოსი. ინფორმაციის თეორიის ფუძემდებელი.

თეორია⁵ [9, 64]. ამ თეორიის თანახმად სემანტიკური ინფორმაცია არის ნიშანთა სისტემით, კერძოდ ბუნებრივი ენით წარმოდგენილი შინაარსი, რომლის აღქმა და დამუშავება დამახასიათებელია ადამიანისათვის.

სემანტიკური ინფორმაციის საკითხი მრავალ სუბიექტურ და ობიექტურ ფაქტორზე დამოკიდებული რთული პრობლემაა და არ არის სრულად გამოკვლეული, მაგრამ სემანტიკურ და რაოდენობრივ ინფორმაციათა შორის განსხვავების აღნიშვნა და მისი გარკვევა საკუთრივ რაოდენობრივი ინფორმაციის ფორმულირების გაცნობიერებისათვის არის აუცილებელი. აღნიშნული განსხვავება თითქმის ყოველთვის არსებობს. მას თვით სუბიექტიც, ანუ დამკვირვებელიც განაპირობებს, რაც ჩანს, მაგალითად კამათელზე რომელიმე რიცხვის, ვთქვათ 6-ის გამოჩენის ფაქტთან, მართლაც, დამკვირვებლისთვის ეს გარემოება ერთ შემთხვევაში მეტად მნიშვნელოვანი და ინფორმაციულია მაშინ, როდესაც სხვა შემთხვევაში – ნაკლებად მნიშვნელოვანი. იგივე ითქმის - მეგობრისგან მიღებული ბარათის შემთხვევაში: ერთ ბარათს ადრესატისთვის, შესაძლოა, განსაკუთრებული მნიშვნელობა ჰქონდეს, სხვისთვის კი იყოს ნაკლებად შინაარსიანი, მიუხედავად იმისა, თუ რამდენად ხშირად მიიღებს ბარათს ადრესატი. განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მომხმარებლის განწყობასაც განურჩევლად იმისა, თუ რას აღიქვამს ის. ერთი მკითხველისთვის ან მსმენელისთვის რაიმე წიგნი თუ მუსიკალური ნაწარმოები შინაარსიანი და ემოციური შეიძლება იყოს, მეორისთვის კი – არა. ამიტომ ნებისმიერი მოვლენის თუ ხდომილობის სემანტიკური ინფორმაციის მნიშვნელობა და მისი “ტევადობა”, მრავალ ფაქტორზე და განსხვავებულ მომხმარებელზე დამოკიდებული სიდიდეა (სუბსტანტია) და ამდენად ცალსახა, ზოგად ობიექტურ გაზომვას არ ექვემდებარება.

კოლოფის ან ჩანთის მოცულობის რაოდენობრივი (განზომილებითი) სიდიდის დადგენა შეიძლება, მაგრამ მასში არსებული საგნების სემანტიკური მნიშვნელობის დასადგენად ობიექტური შეფასების მიღება სხვადასხვა მომხმარებლის შემთხვევაში, საზოგადოდ, შეუძლებელია.

აგრეთვე - ჟიურის მიერ საკონკურსოდ წარმოდგენილი ნამუშევრების ან მონაწილეთა შეფასების კრიტერიუმები და ქულათა სისტემები არ შეიძლება

⁵ სემანტიკური ინფორმაციის თეორია - ინფორმაციის თეორიის მიმართულება, რომელიც შეისწავლის ინფორმაციის სემანტიკურ ასპექტს.

ჩაითვალოს ინფორმაციის რაოდენობის ზუსტ ობიექტურ შეფასებად: ისინი გარკვეული გაგებით სელექციური ინფორმაციის განსაზღვრის სუბიექტური კრიტერიუმების მაგალითებს წარმოადგენენ.

ამრიგად, ერთსა და იმავე მოვლენაში, თუ გამოსახულებაში, სხვადასხვა დამკვირვებელმა შეიძლება დაინახოს არა მხოლოდ განსხვავებული შინაარსის ინფორმაცია, არამედ ინფორმაცია, განსხვავებული თავისი აქტუალობითაც, რაც არაერთგვაროვან შეფასებას განაპირობებს.

მიუხედავად სირთულისა, სემანტიკური ინფორმაციის ფორმალიზების სამეცნიერო კვლევები არ წყდება.

სემანტიკური კვლევების მიზანია ბუნებრივნივანი წინადადებაში არსებული ინფორმაციის გაზომვა, ზუსტი შეფასებისათვის იყენებენ ტექსტის ერთეულებს შორის არსებულ მიმართებებს და მათი ფორმალიზაციის გზით ამოდელირებენ ადამიანის ან კომპიუტერული სისტემის მიერ ტექსტის აგების პროცესს.

სემანტიკური ინფორმაციის კვლევა დაკავშირებულია ისეთი პრობლემების გადაწყვეტასთან, როგორცაა ხელოვნური ინტელექტის მქონე სისტემის აგება (ექსპერტული და კონსულტანტი სისტემები), მანქანური თარგმანისა და საინფორმაციო სისტემის განხორციელება და ა.შ. [17]

წინადადებაში ინფორმაციის გაზომვისათვის გამოიყენება, მაგალითად, შემდეგი ფუნქცია: $\text{inf}(s) = -\log_2 p(s)$, სადაც s წინადადებაა, რომლის შინაარსიც იზომება, ხოლო $p(s)$ არის s წინადადების ჭეშმარიტების ალბათობა. ფუნქციის თვისებებია:

- 1) $\text{inf}(s) \geq 0$;
- 2) თუ $s_1 \Rightarrow s_2$ ჭეშმარიტია, მაშინ $\text{inf}(s_1) \geq \text{inf}(s_2)$;
- 3) თუ s ჭეშმარიტია, მაშინ $\text{inf}(s) = 0$;
- 4) $\text{inf}(s_1 s_2) = \text{inf}(s_1) + \text{inf}(s_2) \Leftrightarrow p(s_1 s_2) = p(s_1) p(s_2)$,

ანუ s_1 და s_2 დამოუკიდებელია.

განსაზღვრებიდან ჩანს, რომ მეტი ინფორმაცია იმ წინადადებაშია, რომელიც მეტ შესაძლებლობებს გამორიცხავს. მაგალითად, თუ s_1 არის “ $a > 3$ ” და s_2 – “ $a = 7$ ” წინადადებებიდან მიიღება $s_2 \Rightarrow s_1$ ანუ $\text{inf}(s_2) \geq \text{inf}(s_1)$, რადგან s_2 გამორიცხავს მეტ შესაძლებლობებს, ვიდრე s_1 .

გამოიყენება, აგრეთვე, ფუნქცია ზომა $cont(s)=1-p(s)$, რომელიც შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს: $cont(s)=1-2^{-inf(s)}$, ანუ $inf(s)=-\log_2(1-cont(s))$.

ინფორმაციის გადაცემისა და აღქმის პროცესის აღწერისათვის, გამოიყენება ინფორმაციის გადაცემისა და ინფორმაციის მიღების მოდელი. ამასთან, შეიძლება დავეთანხმოთ მტკიცებას (გ.რ. რეინინი⁶), რომ ნებისმიერი თვით ყველაზე მარტივი შეტყობინება და ენა, რომლითაც ეს შეტყობინება გადაიცემა, ერთ მთლიანობას წარმოადგენს. ნებისმიერი შეტყობინება არაცხადი სახით შეიცავს სამყაროს მეტ-ნაკლებად სრულ აღწერას (კონტექსტს), რადგანაც მისი შემადგენელი ცნების მოცულობა ენის ყველა დანარჩენ მოცულობათა თანაფარდობაზეა დამოკიდებული, ე.ი. დამოკიდებულია სამყაროს სრულ აღწერაზე.

დიდი მნიშვნელობა აქვს იმის გაცნობიერებას, რომ გადაიცემა მხოლოდ ფორმა. დავუშვათ მივიღეთ რაიმე შეტყობინება და ყველა ცნება, რომელიც ამ შეტყობინებაში გამოიყენება და მიმღების ენაშიც არსებობს. მაგრამ თუ მიმღებისა და გადამცემის სამყაროთა აღწერა ერთმანეთს არ ემთხვევა, ერთი და იმავე ცნების მოცულობა არაერთგვაროვანი აღმოჩნდება. ფორმა სხვა შინაარსით იქნება შევსებული და მივიღებთ გადაცემულის არაადეკვატურ შეტყობინებას. ინფორმაცია დამახინჯდება, მიუხედავად იმისა, ჰქონდა თუ არა ტექნიკურ შეცდომებს ადგილი. ამ აზრით, ადამიანთა შორის ინფორმაციის გადაცემა კომპიუტერში მიმდინარე ინფორმაციული პროცესებისაგან ხარისხობრივად განსხვავდება. კომპიუტერებისათვის პროგრამულ დონეზე სამყაროს აღწერა მკაფიოდა მოცემული და სტანდარტიზებულია. ერთ რომელიმე კომპიუტერულ ენაზე დაწერილი ტექსტი, როგორც წესი, ცალსახად იქნება ინტერპრეტირებული. ადამიანთა შორის ურთიერთობისას ასე სრულებითაც არ ხდება, რადგან ამ ურთიერთობაში თავისი წვლილი შეაქვს კულტურისა და განათლების დონეს, ენას, ყოფით პირობებსა და ცხოვრებისეულ გამოცდილებას, აგრეთვე - ისეთი არაფორმალური ცნების აღქმის უნარს, როგორცაა იუმორი და ა.შ.

იმისათვის რომ განვიხილოთ თუ სად ხდება ინფორმაციის დამახინჯება, უფრო დაწვრილებით უნდა განვიხილოთ ჩვენი წარმოდგენები ცნების მოცულობაზე [23].

⁶ გრიგორი რომანის ძე რეინინი - ფსიქოლოგი, დოქტორი ფსიქოლოგიის დარგში, ამერიკული ტიპოლოგიური ასოციაციის (APT) წევრი.

როდესაც ბედუინი⁷ ამბობს „აქლემი“, მისთვის ამ ცნების მოცულობა ძალიან დიდია. მის ენაზე აქლემს სხვადასხვაგვარად ეძახიან, იმისდა მიხედვით, თუ როგორია აქლემის სქესი, ასაკი, ჯიში, მდგომარეობა და ა.შ. ამისათვის დაახლოებით ასი სხვადასხვა სიტყვა არსებობს, ხოლო ნებისმიერ ევროპულ ენაზე ამ ყველაფრისთვის მხოლოდ ერთი სიტყვა გამოიყენება. ამ ასეული სიტყვიდან, მაგალითად ქართულ ენაზე ერთ-ერთის თარგმნისას სიტყვა „აქლემით“ ჩვენ ამ ცნების კოლოსალურ მოცულობას ვკარგავთ, რომელიც სამყაროს ეხება. ესკიმოსური ენიდან სიტყვა „თოვლის“ თარგმნისას, ასევე ჩვენთვის სრულიად შეუმჩნეველად ინფორმაციის ძალიან დიდ მოცულობას ვერ ვითვისებთ, ვინაიდან თოვლის აღსანიშნავად ესკიმოსურ ენაში დაახლოებით 320 სიტყვა არსებობს. ამრიგად, იმას რაც პირვანდელ შეტყობინებაში იყო ჩადებული, ვერ მივიღებთ, რადგანაც სამყაროს სხვა აღწერაში ვიმყოფებით, რაც განსხვავებული ენობრივი სივრცით გამოიხატება.

ადამინთა ურთიერთობაში ენობრივი ბარიერის ეს გამოვლენა ორი ხერხით კომპენსირდება. ვთქვათ, ბედუინისა და ევროპელის პირადი შეხვედრის დროს ურთიერთგაგება მიღწეული იქნა ისეთი მეთოდით, რომელსაც „თითების“ ენას უწოდებენ. ორი ადამიანი ყოველთვის შეძლებს ერთმანეთის გაგებას და ერთმანეთთან შეთანხმებას (და ეს მსოფლიო ისტორიის მთელი განვითარებით დასტურდება). თუ რომელიმე ცნება მაგალითად, კითხვის დროს წარმოიქმნება, მაშინ მკითხველის ცნობიერებაში ეს სიტყვა ისევე დარჩება მისეულად გაგებული და არა სხვანაირად, უბრალოდ იმიტომ, რომ ნებისმიერი აღქმისას მკაცრად სრულდება კანონი, რომელიც თანამედროვე ფსიქოლოგიის ენაზე ასე ჟღერს: „კონცეფციის გარეშე არ არსებობს პერცეფცია“. არ არსებობს სამყაროს აღწერაში, არ არსებობს არც აღქმაში. თუ სამყაროს აღწერაში რაიმე არ არსებობს, მაშინ რაც არ უნდა ჭკვიანი ვიყოთ, ჩვენი აღქმის არეში იგი თავისით არასდროს არ წარმოიქმნება. სამყაროს სურათში, პრინციპულად, ვერ გამოჩნდება ის ობიექტი, რომელსაც თავიდანვე, აღწერაშივე არ აქვს მიწერილი არსებობის სტატუსი. ეს ნიშნავს იმას, რომ წიგნის მეშვეობით მიღებული ინფორმაციის ნაწილი დაიკარგება, მაგრამ თუ ეს ინფორმაცია წიგნში არსებული ინფორმაციის მხოლოდ ნაწილია, ხოლო მთელი

⁷ ბედუინი - უდაბნოს მკვიდრი, არაბულიდან - ელ ზაიდა, რაც ნიშნავს უდაბნოს. ამ ტერმინის გამოყენება შეიძლება ნებისმიერი არაბული სამყაროს მცხოვრებლისათვის, რომელიც განურჩევლად ნაციონალობისა და რელიგიისა ეწევა მომთაბარე ცხოვრებას.

წიგნის აზრობრივი და ემოციური დატვირთვა გაცილებით მეტია, მაშინ დიდი დანაკარგი არ იქნება.

1.2. ინფორმაციის ზომა

როგორც წესი არსებობს წონის, ზომის და დროის ერთეულები (კგ., კმ., სთ.). ინფორმაციასაც გააჩნია ზომის ერთეულები. ეს ერთეულები დადგენილია და შესაბამისი სტანდარტებია შემოღებული. ადამიანებმა შემოიტანეს საზომი ერთეულები, ე.ი საშუალებები, რომლის მიხედვითაც მათ შეძლეს ინფორმაციის შეფასება. ამ ფენომენის აღმოჩენა და შეფასება - პირველმა კლოდ შენონმა შეძლო და განახორციელა. ზემოთ განხილული მაგალითებიდან გამომდინარე ასაღნიშნავია, რომ რაც უფრო დიდია რაიმე მოულოდნელობის ფაქტორი, მით უფრო დიდი ინფორმაცია იქნება ჩადებული მასში და პირიქით, რაც დასტურდება ცხოვრებისეული გამოცდილობებით. მაგალითად, თუ დედამიწამ შეიცვალა ორბიტა ან დახრის ღერძი ეს ფაქტი გამოიწვევს სამეცნიერო ინსტიტუტის მუშაობას მისი მოულოდნელობითა და განუზღვრელობის ფაქტორით. აქედან გამომდინარე სპეციალისტები მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ ინფორმაციის რაოდენობა უშუალო კავშირშია რაიმე მოვლენის ხდომილების ალბათობასთან. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, რაც უფრო დიდია მოვლენის ალბათობა, მით უფრო ნაკლებ ინფორმაციას შეიცავს იგი და პირიქით. ლოგიკურად ეს კონცეფცია მათემატიკური თვლსაზრისით გამოიხატება შემდეგი ფორმით:

$$I = \log_a \frac{1}{p}. \quad (1.2.1)$$

სადაც P - ალბათობაა, I - ინფორმაციის რაოდენობა. თუ ინფორმაცია გამოიხატება ბიტებში, მაშინ $a = 2$ ფუძისათვის გვექნება:

$$I = \log_2 \frac{1}{p}. \quad (1.2.2),$$

თუ დავუშვებთ (1.2.1) და (1.2.2) - ში $P \rightarrow 1$, მივიღებთ $I=0$ და პირიქით. ისევე როგორც ელექტროდინამიკაში ემპირიული ფორმულა $I = \frac{U}{R}$ (ომის კანონი) გახდა საფუძველი დარგისა, ასევე (1.2.1) ფორმულა აღმოჩნდა საწყისი ინფორმაციის თეორიის თვალსაზრისით. ის გამართლებულია და გამოყენებულია პრაქტიკაში.

აღნიშნულ (1.2.1) და (1.2.2) ფორმულებში იგულისხმება, რომ ბინარულ შემთხვევაში ხდომილებების ალბათობა ურთიერთდამოკიდებულია და ტოლია. თუ ხდომილებათა რაოდენობა, ანუ მდგომარეობათა რაოდენობა ტოლია N - ის, მაშინ (1.2.1) და (1.2.2) - ფორმულები ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$I = \log_2 \frac{1}{p} = \log_2 \frac{1}{\frac{1}{N}} = \log_2 N,$$

$$I = \log_2 N. \quad (1.2.3)$$

ფორმულას ეწოდება ინფორმაციის ზომა ჰარტლის მიხედვით. ამრიგად, გამოსახულებები (1.2.1.), (1.2.2.) და (1.2.3.) ის ფორმულებია, რომლებიც გვიჩვენებენ, თუ რაიმე შეტყობინების ალბათობა მცირეა, მაშინ ინფორმაციის რაოდენობა დიდია. მაგალითად, თუ მოცემულია კოდური ორობითი თანმიმდევრობა, იგი იმპულსების სახით აისახება შემდეგნაირად:



სურ.3. კოდური ორობითი თანმიმდევრობის იმპულსების სახით წარმოდგენა.

ამასთან, როგორც (2) - დან ჩანს, მცირე ალბათობის შემთხვევაში უფრო გრძელი უნდა იყოს კოდური კომბინაცია, ხოლო თუ შეტყობინების ალბათობა დიდია, მაშინ მას შეესაბამება მცირე სიგრძის კოდური კომბინაციები. ამ მდგომარეობას შეიძლება ეწოდოს რეალური და იქნას გამოყენებული ინფორმაციის გადაცემისას. [29]

ჰარტლის ზომა გამოხატავს კომბინაციების რაოდენობას N - ის მიხედვით, ანუ ინფორმაციის რაოდენობას.

ინფორმაციის კლასიკური თეორიის მიხედვით *ინფორმაციის რაოდენობის* განსაზღვრება ფიზიკური ფაქტების შემთხვევითობასთან არის დაკავშირებული. ფიზიკური ფაქტი განიხილება, როგორც შემთხვევითი მოვლენა, ხდომილობა, ანუ ცდა, რომელიც შეიძლება დასრულდეს შესაბამისი ალბათობის რამდენიმე შესაძლო შედეგიდან ერთ-ერთი შედეგით. ყოველ ასეთ ცდას ან მოვლენას ახლავს ცდის წინა გაურკვევლობა (განუზღვრელობა), რომელიც გამოიყენება, როგორც ინფორმაციის

რაოდენობის ზომა. (იგულისხმება, რომ ცდის ყოველ შედეგს მოაქვს იმ რაოდენობის ინფორმაცია, რა რაოდენობისაც არის ცდისწინა განუზღვრელობა).

განუზღვრელობის ხარისხის ზომა, ანუ მიღებული ინფორმაციის რაოდენობა, კ. შენონის მიხედვით ჩაიწერება:

$$H(x) = I(x) = -k \sum_{i=1}^N p(x_i) \log p(x_i), \quad (1.2.4)$$

სადაც $H(x)$ არის განუზღვრელობის ზომა, $I(x)$ – მიღებული ინფორმაციის რაოდენობა, x_i – მოსალოდენელი ერთ-ერთი შედეგი, $p(x_i)$ – x_i შედეგის ალბათობა, k კოეფიციენტია, რომელიც დამოკიდებულია ლოგარითმის ფუძის არჩევაზე. როდესაც ლოგარითმის ფუძე ორის ტოლია, მაშინ $k = 1$.

განვიხილოთ (1.2.4.) გამოსახულება უფრო დეტალურად.

შევთანხმდეთ, რომ ინფორმაციის წარმოქმნის პროცესი დაკავშირებულია დასაკვირვებელი ობიექტის (საგნის თუ სისტემის) შემთხვევით ცვლილებებთან. თავის მხრივ ობიექტის ცვლილებში იგულისხმება მისი მდებარეობის, ფორმის (სტრუქტურის) და სხვა სახის ცვლილებები. ცვლილება ფორმალურად უნდა აღიწერებოდეს, როგორც ხდომილების შესაძლო შედეგი და მოცემული ელემენტარული ხდომილობების შესაბამისი ალბათობები.

ამრიგად, ობიექტის ცვლილება შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ხდომილობა ან შემთხვევითი X სიდიდე შესაძლო x_1, \dots, x_n მნიშვნელობებით და შესაბამისი $p(x_1), \dots, p(x_n)$ ალბათობებით.

ობიექტს და მის ცვლილებას შეიძლება წარმოადგენდეს ბუნებრივი მოვლენა, ვთქვათ, ქარი და მისი სიჩქარის ცვლილება, კამათელი და მისი გაგორებისას გარკვეული რიცხვის მოსვლა, ტექნიკურ სისტემებში - ინფორმაციის წყარო და მის გამოსასვლელზე სიგნალის გამოჩენა და ა.შ.

ელემენტარული ხდომილობები (1.2.4) გამოსახულებაში x_1, \dots, x_n მნიშვნელობებია, მაგალითად: ქარის სიძლიერის მაჩვენებელი რიცხვითი სიდიდეები, პირობითად, $x_1 = 15$ მ/წმ, $x_2 = 20$ მ/წმ და ა.შ. ან კამათლის გაგორების შედეგად მოსული ციფრები 1-დან 6-მდე და მათი შესაბამისი ალბათობები, მაგალითად, კამათლის თითოეული $x_i (i = 1, \dots, 6)$ ციფრის მოსვლის $p(x_i) = 1/6$ ალბათობა.

(1.2.4) გამოსახულების შესახებ გვანტერესებს, თუ რატომ არის დაკავშირებული მიღებული ინფორმაცია შესაძლო შედეგთა ალბათობებთან და ცდისწინა განუზღვრელობასთან.

ცხადია, რომ ყოველ ცდას ახლავს განუზღვრელობა და ვარაუდი მოსალოდნელი შედეგის შესახებ. ი. ბერნულიმ ალბათობის თეორიისადმი მიძღვნილ თავის ცნობილ წიგნს უწოდა "ვარაუდთა ხელოვნება". ბუნებრივია, რომ არსებობს კავშირი ცდისწინა ვარაუდსა და ცდის შედეგად მიღებულ ინფორმაციას შორის, რაც ცალკეულ შედეგთა ალბათობებს ეფუძნება.

დავსვათ შემდეგი კითხვა: რომელ მომხდარ ფაქტს ახლავს მეტი ინფორმაცია - თოვლის მოსვლას ზამთარში, თუ ზაფხულში, ვთქვათ, ივლისის თვეში? ცხადია, ივლისის თვეში. რატომ? იმიტომ, რომ ასეთი რამ შეიძლება მოხდეს ძალიან იშვიათად, ანუ ნაკლებად მოსალოდნელია. მაშასადამე, შედეგი, რომელიც ნაკლებად მოსალოდნელია, შეიცავს მეტ ინფორმაციას.

ერთის ტოლი ალბათობის მქონე შესაძლო შედეგი ინფორმაციას არ წარმოქმნის; ის აუცილებელი ხდომილობაა, რადგან (განიხილება სრული სისტემა)

$$\sum_{i=1}^N p(x_i) = 1, \quad (1.2.5)$$

და შედეგიც წინასწარ ცნობილია. ამ შემთხვევაში ობიექტის ცვლილება დეტერმინირებულია და განუზღვრელობაც არ არსებობს. დეტერმინირებულია ცვლილება, როდესაც ობიექტის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლა ცნობილ კანონს ემორჩილება; აქ არ იგულისხმება ალბათობის თეორიის ან მათემატიკური სტატისტიკის კანონზომიერებანი.

მაგალითად, დედამიწა, რომ არ შეწყვეტს ბრუნვას თავისი ღერძის გარშემო, ცნობილია და ხვალინდელი დღე - დედამიწის შემობრუნება 360° - ით სრულიად მოსალოდნელია (თუმცა, თეორიულად არსებობს საწინააღმდეგო შედეგის ალბათობა, რაც სიმცირის გამო ჩვეულებრივად უგულებელყოფილია), ამიტომ ახალ ინფორმაციას არ შეიცავს. ახალ ინფორმაციას არ შეიცავს არც ელემენტარული ხდომილება ნულის ტოლი ალბათობით, რომელიც ცვლილებას გამორიცხავს, როგორც შეუძლებელ ხდომილობას.

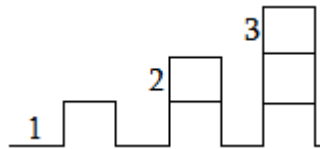
აღსანიშნავია, რომ ინფორმაციის წარმოქმნის პროცესი დამოკიდებულია როგორც დასაკვირვებელ მოვლენაზე, აგრეთვე, დამკვირვებელზეც. შესაძლოა, ერთი

დამკვირვებლისათვის ცვლილებები შემთხვევითი ხასიათისაა და ინფორმაციული, მაგრამ მეორისათვის – დეტერმინირებული და, მაშასადამე, არაინფორმაციული.

ამრიგად, ინფორმაციის რაოდენობის განსაზღვრის საფუძველი არის ობიექტის შესაძლო ცვლილებათა შედეგის განუზღვრელობა, ანუ – არასრული ინფორმაციულობა. ცხადია, ვინც ყველაფერი იცის, ახალ ინფორმაციას ვერ შეიძენს, ე.ი. ინფორმაციის რაოდენობასა და განუზღვრელობის რაოდენობას, ანუ განუზღვრელობის ხარისხს შორის, შეიძლება ტოლობის ნიშანი დაისვას.

ჩნდება კითხვა – შესაძლებელია თუ არა ერთი სიგნალის დინების მიხედვით წარმოდგენილი იქნას ინფორმაციის რაოდენობა?

მაგალითად, განვიხილოთ შემდეგი სახის სიგნალი



სურ.4. ინფორმაციის წარმოდგენა სიგნალის დინების მიხედვით.

აქ მოცემული მდგომარეობის არსებობა არ არის გამორიცხული, მით უმეტეს, რომ ის იძლევა საშუალებას დროის მოგებისა, მაგრამ მას აქვს ერთი ნაკლი – ხელშეშლა, რომლის შემთხვევაში სიგნალი მთლიანად იშლება. ამ დროს ინფორმაციის კომბინატორული ზომით გამოსახვისას წაიშლება მხოლოდ ინფორმაციის ცალკეული ნაწილები. მიუხედავად ამისა (1.2.1.), (1.2.2.) და (1.2.3.) ფორმულებს საინტერესო პრაქტიკული გამოყენება აქვთ და ისინი ხშირად გამოიყენება ოპტიმიზაციის ამოცანების ამოხსნისას.

მაგალითად: მოცემულია 13 ოქროს მონეტა, რომელთა შორის ერთი ყალბია, რამდენი მინიმალური აწონვაა საჭირო ყალბი მონეტის გამოსავლენად?

პასუხი:

$$I = [\log_2 13] = 3,$$

ამრიგად, ოპტიმალური ვარიანტი არის სამი, ანუ სამი - მოცემული მარტივი მაგალითისთვის წარმოადგენს ოპტიმუმს, რაც ზემოთ განხილული ფორმულების მეშვეობით იქნა დადგენილი.

1.3. ოპტიმიზაცია

ოპტიმიზაციის მეშვეობით სამყაროში ნებისმიერი სფეროს მრავალდარგობრივი ამოცანა შეიძლება გადაწყდეს კოდური სისტემების გამოყენებით, ვინაიდან ნებისმიერი ამოცანა შეიცავს გარკვეულ ინფორმაციათა ნაკრებს, რაც თავისთავად უშუალო კავშირშია კოდურ სტრუქტურებთან. მართლაც, საქმე გვაქვს არა მარტო ოპტიმუმის პოვნის პროცესთან, არამედ ორგანიზაციასა და მართვასთან. არსებითად კოდირება არის მოცემული სივრცის ორგანიზაცია, ხოლო დეკოდირება (შეცდომების ლოკალიზაცია და გასწორება) - მართვა. ამდენად, კოდირების მოდელი - ორგანიზაციისა და მართვის მოდელია. თავის მხრივ მართვა დაკავშირებულია ოპტიმუმის პოვნასთან და მართვის სისტემაში წონასწორობის აღდგენასთან. [89, 90]

ოპტიმიზაცია სისტემის მოდიფიკაციაა მისი ეფექტურობის გაუმჯობესების მიზნით. ამდენად, ოპტიმიზაციის მიზანია ოპტიმალური სისტემის აგება მიუხედავად იმისა, რომ ოპტიმიზაციის პროცესში ოპტიმალური სისტემა ყოველთვის არ მიიღება. ოპტიმიზირებული სისტემა ოპტიმალურია მხოლოდ ერთი ამოცანისა ან მომხმარებელთა ერთი ჯგუფისათვის. ასე, მაგალითად, თუ სადღაც შეიძლება საჭირო სამუშაოს შესრულების პროცესში მოთხოვნად პროგრამაზე დროის შემცირება არის საჭირო, თუნდაც პროგრამამ მეხსიერებაში დიდი ადგილი დაიკავოს, ან პირიქით, მაგალითად, დანართებში, სადაც მეხსიერებას ექცევა მეტი ყურადღება, მიუხედავად იმისა ალგორითმი ნელა იმუშავებს თუ სწრაფად, მთავარია მან მეხსიერებაში ნაკლები ადგილი დაიკავოს.

ამასთანავე აღსანიშნავია, რომ უნივერსალური გადაწყვეტილება არ არსებობს ანუ არ არსებობს მოდელი, რომელიც ყველა შემთხვევას მოერგება და კარგად იმუშავებს. ამიტომ ინჟინრები იყენებენ კომპრომისულ (ინგლ. tradeoff) გადაწყვეტილებას მხოლოდ გასაღებრივი პარამეტრების ოპტიმიზაციისათვის. სრულყოფილი ოპტიმალური პროგრამის მიღწევას, რომლის გაუმჯობესება

ფაქტიურად აღარ შეიძლება, პრაქტიკულად ყოველთვის აჭარბებს მოგებას, რაც სწორედ ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარეობს. ამიტომ ოპტიმიზაციის პროცესი იწყება მაშინ, როცა მიიღწევა სრულყოფილი ოპტიმალობა.

ოპტიმიზაციის პროცესში, ანუ ოპტიმალური გადაწყვეტილების მიღების დროს საჭიროა სიფრთხილე - აღნიშნა პირველმა ტონი ჰოარმა⁸, ხოლო დონალდ კნუტი⁹ ხშირად იმეორებდა ცნობილ გამონათქვამს: „წინასწარი ოპტიმიზაცია - ესა არის ყველანაირი უბედურების ფესვი“ [32, 90]. მნიშვნელოვანია საწყისისათვის არსებობდეს ცნობილი ალგორითმი და მუშა პროტოტიპი. ესე იგი ოპტიმიზაცია საერთო თვალსაზრისიდან გამომდინარე ესაა რამოდენიმე დასაშვები ვარიანტიდან საუკეთესოს (ოპტიმალურის) არჩევა. ზოგადად ეს არის მაჩვენებელთა ის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც მიიღწევა ოპტიმუმი, იგივე სისტემისათვის საუკეთესო მდგომარეობა - მოცემული რესურსების დანახარჯით საუკეთესო შედეგის მიღება. ან კიდევ - მოცემული ამოცანისათვის საუკეთესო შედეგის მიღწევა მინიმალური რესურსების დანახარჯით. თავის მხრივ ეს წარმოადგენს საინტერესო საკვლევ ობიექტს. ის კიდევ უფრო საინტერესო ხდება, მაშინ როცა საკვლევ ობიექტები არის არა მხოლოდ რაიმე ზოგადი ამოცანებისათვის ოპტიმუმების პოვნა, არამედ კონკრეტულად კომუნიკაციური სისტემებისათვის ოპტიმუმის მიღწევა ინფორმაციის შეკუმშვა-გაფართოების დროს. მით უმეტეს მაშინ, როცა წარმოდგენა გვაქვს ინფორმაციის ცნებასა და ზომაზე.

კომუნიკაციური სისტემა, არის ისეთი სტრუქტურა, რომელიც განკუთვნილია სხვადასხვა სისტემებში ინფორმაციის გადაცემის პროცესის მართვისათვის [87]. ესაა სისტემა, რომელიც ორგანიზებულად ალაგებს გადასაცემ ინფორმაციულ ნაკადებს დანაკარგის გარეშე. თვით ცნება „კომუნიკაციური სისტემები“ წარმოდგენილი უნდა იყოს მთლიანობაში. ამასთან, კომუნიკაციური სისტემების ელემენტებს წარმოადგენენ:

⁸ Charles Antony Richard Hoare - ინგლისელი მეცნიერი, რომელიც მოღვაწეობდა ძირითადად ინფორმატიკა-გამოთვლითი ტექნიკის სფეროში. ცნობილია როგორც „სწრაფი სორტირების“ ალგორითმის ფუძემდებელი.

⁹ Donald Ervin Knuth - ამერიკელი მეცნიერი, სტენფორდის უნივერსიტეტისა და რამოდენიმე სხვა უნივერსიტეტების პროფესორი. იდეოლოგი პროგრამირების დარგში, 19 მონოგრაფიის 160 სტატიის ავტორი ამავე დარგში, TEX და METAFONT საგამომცემლო სისტემის შემქმნელი (ეს სისტემები ემსახურება ტექნიკური (ძირითადად ფიზიკა - მათემატიკური) ლიტერატურის გამოცემას).

1. ინფორმაციის წყარო;
2. ინფორმაციის გადამცემი არხი;
3. მიმღები.

მხოლოდ ამ სამი ელემენტის ერთობლიობა, მათში ინფორმაციის გადამცემა-მიღება, დამუშავების ერთობლივი განხილვა იძლევა საშუალებას გვექონდეს წარმოდგენა კომუნიკაციურ სისტემებზე.

ინფორმაციის წყარო. ძირითადად არსებობს ორი ტიპის წყარო: ერგოდული და არაერგოდული. ერგოდული ისეთი წყაროა, რომლის ასოებს, სიმბოლოებს შორის არსებობს სტატისტიკური დამოკიდებულება. ასეთ მათემატიკურ აპარატს წარმოადგენს მარკოვის ჯაჭვები.¹⁰

თუ სტატისტიკური კავშირი ნიშნავს შორის არ არის დამოკიდებული შეტყობინების სიგრძეზე, მაშინ წყაროს ეწოდება ერთგვაროვანი ერგოდული წყარო. ერგოდულ წყაროებს წარმოადგენენ ნატურალური ენები (ქართული, ინგლისური, რუსული და სხვა), რომელთა ასოებს შორის სტატისტიკური კავშირი არ არის დამოკიდებული წინადადების სიგრძეზე.

არაერგოდულ წყაროებს წარმოადგენენ ხელოვნური ენები (დაპროგრამების ენები და სხვა). საერთოდ, ინფორმაციის წყაროს ცნება ძალიან ზოგადია და მრავალფეროვანი. ადამიანისათვის ინფორმაციის წყაროს წარმოადგენს ინფორმაციის გამომცემი ყველა ის სისტემა, რომელიც აღქმულია გრძნობათა ორგანოების მიერ.

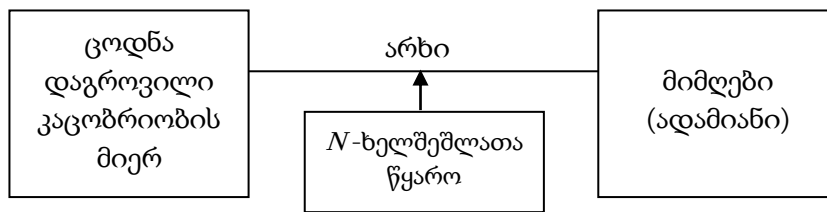
ინფორმაციის გადამცემი არხი. არხის ცნება საკმაოდ ზოგადი ცნებაა და მას აქვს ფართო შემეცნებითი, მეცნიერული და ფილოსოფიური მნიშვნელობა. ყველაფერი რაშიც გადის ინფორმაცია და დამუშავდება არხის ცნებასთან არის დაკავშირებული. მაგალითად, არხია - თავის ტვინი, ნეირონული ქსელები, კომპიუტერული ქსელები, გარე სამყარო, ეთერი, ტელეფონი. ამ თვალსაზრისით საინტერესოა ცოცხალი სისტემები, ვინაიდან ცოცხალი სისტემებისათვის დამახასიათებელი არხები დამოკიდებულია დროზე და წინა ისტორიაზე. ზოგადად, მათემატიკური თვალსაზრისით იგი ასე შეიძლება გამოიხატოს:

$$C = V_X Y(y, x), \quad (1.3.1)$$

¹⁰ მარკოვის ჯაჭვები - შემთხვევით სიდიდეთა (ინფორმაციათა) მიმდევრობაა სასრული ან თვლადი რაოდენობის შედეგისათვის. მკაცრი განმარტების გარეშე ის შეიძლება განვმარტოთ შემდგენიარად: არსებულისთვის (ანუ ფიქსირებული აწმყოსათვის) მომავალი წარსულისაგან დამოუკიდებელია. ეს სახელი ეწოდა ა.ა. მარკოვის (უფროსის) საპატივცემულოდ.

სადაც C - არხის ტევადობაა, (ანუ არხის გამტარუნარიანობაა), Vx - სიგნალის გადაცემის სიჩქარე, $Y(y,x)$ - ერთ სიგნალში არსებული ინფორმაციის რაოდენობა ბიტებში. აქვე აღსანიშნია, რომ სიგნალის ცნება ძალიან ზოგადია. მასთან ასოცირდება ყველაფერი მატერიალური თუ არამატერიალური, რასაც მოაქვს ინფორმაცია. ესენია: ნიშნაკები, ნახატები, ბგერა და ასე შემდეგ.

ცოცხალ სისტემებში არხის გამტარუნარიანობა C დამოკიდებულია დროზე და წინა ისტორიაზე და იგი შემდეგნაირად შეიძლება წარმოვადგინოთ:



სურ.5. ცოცხალ სისტემებში არხის გამტარუნარიანობის დამოკიდებულება დროზე და წინა ისტორიაზე.

შეიძლება მოვიყვანოთ ბევრი მაგალითი, როდესაც ტვინის გამტარუნარიანობა დამოკიდებულია წინა ისტორიაზე, თუ ადგილი არ აქვს გენეტიკურ ზემოქმედებას ხელშეშლის თვალსაზრისით. (მაგალითად, კიპლინგის „მაუგლი“- აღმოჩნდა, რომ ბავშვს ვერ ასწავლი მეტყველებას თუ იგი ამისთვის 2-დან 8 წლამდე არ იქნა შემზადებული).

მიმღები. როგორც უკვე აღინიშნა კომუნიკაციური სისტემები საჭიროებს როგორც გადამცემ, ასევე მიმღებ საშუალებებს ინფორმაციის ურთიერთ-გაცვლისათვის.

მიმღები შესასვლელზე ღებულობს გადაცემული სიგნალებისა და ხელშეშლის ერთობლიობას, რაც ზოგადად შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად:

$$x(t)=S(t)+n(t). \quad (1.3.2)$$

როგორც წესი გადაცემული სიგნალი $S(t)$ - ეს რთული მერყევი სიდიდეა, რომელიც დროის გარდა შიცავს სხვა პარამეტრებსაც (ამპლიტუდას, ფაზას, სიხშირეს და ასე შემდეგ), ხოლო $n(t)$ - სიგნალთა რაოდენობა.

ცოცხალი ორგანიზმებისათვის მიმღებად შეიძლება ჩაითვალოს შეგრძნების ორგანოები, ხოლო ტვინი მიღებული ინფორმაციის ანალიზატორად და მართვის ცენტრად, რომელიც ოპტიმიზაციას უკეთებს მიღებულ ინფორმაციას და იმასხსოვრებს ოპტიმალურს დანიშნულებისა და საჭიროების მიხედვით.

როგორც უკვე აღინიშნა ”კომუნიკაციური სისტემები” წარმოდგენილი უნდა იქნას სამი ძირითადი ელემენტის სახით - ინფორმაციის წყაროს, ინფორმაციის გადამცემი არხისა და მიმღების საშუალებით, რასაც შეიძლება მივუსადაგოთ ნებისმიერი მოდელი, იქნება ის მათემატიკური, თუ ეკონომიკური [12]. მთავარია ოპტიმალური ვარიანტის სწორი შერჩევა. მაგრამ ნებისმიერი ამოცნა შეიცავს ინფორმაციას, რომელიც უნდა დამუშავდეს და გადაეცეს სხვა სისტემებს. მართვის პროცესში ინფორმაციის დამუშავება და გადაცემა დაკავშირებულია რიგ სირთულეებთან, რასაც ინფორმაციულ ნაკადთა სიჭარბე, ინფორმაციული განუზღვრელობა (ენტროპია) იწვევს. ამიტომ, დღის წესრიგში დგება ინფორმაციის შეკუმშვის აუცილებლობა, რის შედეგადაც ინფორმაცია ნაკლები ხელშეშლით და დროის მცირე მონაკვეთით შეიძლება გადაიცეს მიმღებ მხარეზე, ხოლო გამოსასვლელზე მოხდეს მისი გაფართოება (აღდგენა).

რაც შეეხება ენტროპიას, ის არის ინფორმაციის რაოდენობის განმსაზღვრელი და გამოხატავს რაიმე მოვლენის ან პროცესის განუზღვრელობის ხარისხს. მართვის თეორიასა და კიბერნეტიკაში ერთ-ერთ ძირითად მიზანს წარმოადგენს მართვის ანუ ინფორმაციის მიღება - გადამუშავების გადაწყვეტილების მიღების ხარისხის გაზრდა. მათემატიკური თვალსაზრისით ენტროპიის განსაზღვრის ორი მიდგომა არსებობს: ერთში განიხილავენ ინფორმაციის წყაროს, რომელიც გადასცემს უსასრულო სიგრძის კოდურ მიმდევრობას, მეორეში - განიხილავენ ისეთ წყაროს, რომელიც სასრული - N რაოდენობის კოდურ თანმიმდევრობის გენერაციას ახდენს. თვით N ემორჩილება დიდ რიცხვთა კანონს. ამასთან, თითოეული n სიგრძის კოდური სიგნალი შედგება გარკვეული ფრაგმენტებისაგან, რომლებიც განისაზღვრებიან შესაბამისი ანბანით.

$$x_1, x_2, \dots, \dots, x_k \quad x_i \in x(i = \overline{1, k})$$

და სათანადო ალბათობებით

$$P_i(i = \overline{1, k}),$$

აქედან გამომდინარე ალბათობები ტოლია:

$$P = \prod_{i=1}^k P_i(i = \overline{1, k}) \quad (1.3.3)$$

როგორც ავლნიშნეთ ზემოთ, ინფორმაციის რაოდენობა ჰარტლის ზომიდან გამომდინარე ჩაიწერება

$$I = \log_2 N = \log_2 \frac{1}{P} = -n \sum_{i=1}^k P_i \log_2 P_i . \quad (1.3.4)$$

ამრიგად:

$$I = -n \sum_{i=1}^k P_i \log_2 P_i \quad (1.3.5)$$

ამ ტოლობის მარჯვენა ნაწილი გამოხატავს ინფორმაციის რაოდენობას, რომელსაც გამოსცემს ინფორმაციის წყარო ერთ შეტყობინებაზე. აქვე აღსანიშნავია, რომ $\frac{I}{n} = H$, სადაც H - ენტროპიაა

$$H = -n \sum_{i=1}^k P_i \log_2 P_i . \quad (1.3.6)$$

ბოლო თანაფარდობა გამოხატავს ინფორმაციის რაოდენობას, როდესაც წყარო გამოსცემს ერთმანეთზე არადამოკიდებულ სიგნალებს. მოცემული ფუნქცია შეიძლება დახასიათდეს შემდეგნაირად:

1. იგი განსაზღვრულია $[0;1]$ -ზე;
2. არის სიმეტრიული;
3. არის მონოტონური;
4. გააჩნია ექსტრემუმები. (რაც კომუნიკაციური სისტემების ოპტიმიზაციის ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრებია)

ამ ოთხი მახასიათებლიდან საინტერესოა მეოთხე - ექსტრემუმები. ენტროპიის ექსტრემუმების, განსაზღვრისათვის გამოიყენება პირობითი ექსტრემუმების განსაზღვრის მეთოდი ვარიაციული აღრიცხვიდან, ხოლო ენტროპიის ექსტრემუმების გამოთვლისათვის - ლაგრანჟის მეთოდი.¹¹

¹¹ Joseph Louis Lagrange - ფრანგი მათემატიკოსი, ასტრონომი, მექანიკოსი. კლასიკური ტრაქტატის „ანალიტიკური მექანიკის“ ავტორი. (წრფივი არაერთგვაროვანი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის მეთოდი)

პირობითი ექსტრემუმების განსაზღვრისათვის გამოვთვალოთ:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (1.3.7)$$

$$i = (\overline{1, k})$$

განტოლებები:

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_k) = 0 \dots \dots f_i(x_1, x_2, \dots, x_k) = 0 \dots \dots f_n(x_1, x_2, \dots, x_k) = 0 \dots \dots \vec{\varphi} = \vec{\varphi}(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j \dots \dots \lambda_n) = f \sum_{i=1}^n \lambda_i \varphi_i. \quad (1.3.8)$$

პირობითი ექსტრემუმის დასადგენად გამოითვლიან კერძო წარმოებულებს

$$\frac{\partial \vec{\varphi}}{\partial x_1} = 0 \dots \dots \frac{\partial \vec{\varphi}}{\partial x_j} = 0. \quad (1.3.9)$$

ჩვენს შემთხვევაში ფუნქცია წარმოადგენს ენტროპიას

$$y = H = -n \sum_{i=1}^k P_i \log_2 P_i \quad (1.3.10)$$

$$\sum_{i=1}^k P_i - 1 = 0 \quad (1.3.11)$$

მაშინ ლაგრანჟის ფუნქციას ექნება შემდეგი სახე:

$$\vec{\varphi} = - \sum_{i=1}^k P_i \log_2 P_i + f \left(\sum_{i=1}^k P_i - 1 \right) \quad (1.3.12)$$

ავიღოთ წარმოებული რის შედეგადაც მიიღება

$$\frac{\partial}{\partial P_i} = - \sum_{i=1}^k P_i \log_2 P_i + f \left(\sum_{i=1}^n P_i - 1 \right) \quad (1.3.13)$$

გავუტოლოთ 0-ს.

$$\begin{aligned} -\log_2 P_i - P_i \frac{1}{P_i \ln 2} + f &= 0 & -\frac{\ln P_i}{P_i \ln 2} - \frac{1}{\ln 2} + f &= 0 \\ -\ln P_i + \lambda P_i \ln 2 &= 0 \\ \ln P_i &= \lambda \ln 2 - 1 \\ P_i &= \exp(\lambda \ln 2 - 1). \end{aligned} \quad (1.3.14)$$

თუ (1.3.14)-ს ჩავსვამთ (1.3.11)-ში გვექნება:

$$\sum_{i=1}^k \exp(\lambda \ln 2 - 1) = 1,$$

$$k \exp(\lambda \ln 2 - 1) = 1,$$

$$k P_i = t,$$

$$P_i = \frac{1}{k}. \quad (1.3.15)$$

(1.3.15) ჩავსვათ (1.3.10)-ში, გავითვალისწინოთ, რომ

$$\frac{\partial}{\partial P_i} = \frac{1}{P_i \ln 2},$$

ესე იგი გვექნება

$$H = H_m n_1,$$
$$\frac{1}{k} \log_2 \frac{1}{k} = \log_2 k .$$

ამრიგად, ენტროპიას გააჩნია ექსტრემუმის წერტილი და მნიშვნელობა.

რეალური, ცხოვრებისეული მაგალითებიდან ცნობილია, რომ ყველა კითხვაზე შეიძლება ზუსტი პასუხის გაცემა. მაგალითად, თუ დასმულ კითხვაზე - გადარჩება თუ არა ავადმყოფი პასუხია - „დიახ“, ეს ნიშნავს რომ გადარჩენის შანსი 70% -ია, იმავდროულად საინტერესოა თუ რა ინფორმაციის რაოდენობაა ჩადებული მასში? მივიღებთ:

$$H = P_1 \cdot \log_2 P_1 = P_2 \log_2 2P_2 = 0,39 \text{ ბიტი.}$$

$$I = 1 - H = 0,61 \text{ ბიტი.}$$

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, როცა $P_i = \frac{1}{k}$, მაშინ $H_{max} = \log_2 k$, რაც ჰარტლის ფორმულაა $= \log_2 N$, თუ დავუშვებთ, რომ $k=2$, მაშინ $I = \log_2 2 = 1$ ბიტი. აქედან გამომდინარეობს დასკვნა, რომ ერთი ბიტი არის ორმდგომარეობიან სიგნალში მოთავსებული ინფორმაციის რაოდენობა, როდესაც თითოეული მდგომარეობა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელია და ერთნაირად ალბათური. [17]

მაქსიმალურ ენტროპიას (განუზღვრელობას) ადგილი ექნება მაშინ, როდესაც რაიმე მოვლენას ორი თანაბარი ალბათობა გააჩნია. მართლაც, წინა მაგალითიდან, თუ ექიმი ამბობს, რომ არსებობს 50%-იანი შანსი სიკვდილისა, მაშინ ამ ნათქვამში არანაირი ინფორმაცია არ დევს.

გაერთიანების ენტროპია. ინფორმაციულ ტექსტებში და შეტყობინებებში ყოველთვის არსებობს სიმბოლოებს, ნიშნაკებსა და ასოებს შორის სტატისტიკური კავშირი, რაც ხშირად განსაზღვრავს ინფორმაციის გადაცემისას შეტყობინებაში შემავალი ინფორმაციის რაოდენობას. აქედან გამომდინარე შეიძლება ჩამოყალიბდეს განსაზღვრება:

ორ ან მეტ დისკრეტულ, შემთხვევით სიდიდეთა ან სიმბოლოთა ერთობლიობას, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან ალბათურად, გაერთიანება ეწოდება.

თუ მოცემულია გარკვეულ სიმბოლოთა თანმიმდევრობა x_1, x_2, \dots, x_n ; y_1, y_2, \dots, y_n , რომლებიც განაწილებულია რაღაც ალბათობით

$$X \begin{matrix} x_1 & x_2 & \dots & x_i & \dots & x_n \\ \downarrow & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ P(x_1) & P(x_2) & & P(x_i) & & P(x_n) \end{matrix} \quad Y \begin{matrix} y_1 & y_2 & \dots & y_i & \dots & y_n \\ \downarrow & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ P(y_1) & P(y_2) & & P(y_i) & & P(y_n) \end{matrix}$$

	y_1	y_2	y_i	y_n
x_1	$P(y_1 x_1)$	$P(y_2 x_2)$				$P(y_m x_1)$
x_2						
\vdots						
x_i						
\vdots						
x_n	$P(y_1 x_n)$					$P(y_m x_n)$

$P(y | x)$

სურ.6. გაერთიანების ენტროპია.

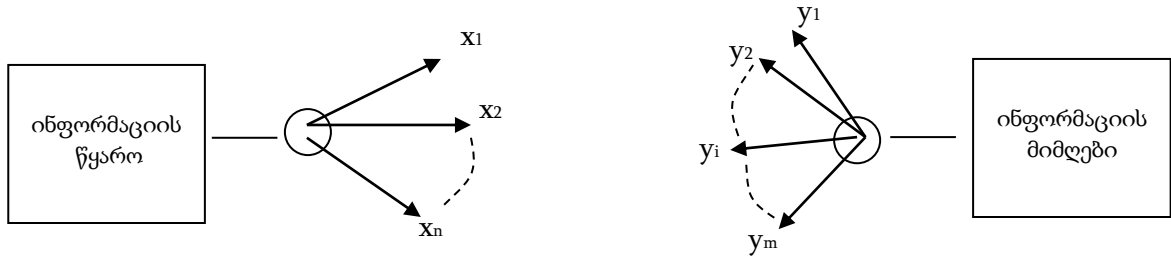
$$P(x_1 y) = P(y | x) \quad P(x) = P(x | y) \cdot P(y)$$

$$P(y | x) = \frac{P(x_1)}{P(x)}$$

პირობითი, უპირობო გაერთიანებისა და თანხვედრის ალბათობები მჭიდროდ და ორგანულად არის დაკავშირებული პირობით და უპირობო ენტროპიასთან.

გაერთიანების პირობითი ენტროპია და ენტროპიათა ის სახეები, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან პირობითი და უპირობო ენტროპიით, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ ისინი განაპირობებენ ინფორმაციის მიღების სიზუსტეს, რაც დაკავშირებულია ხელშეშლის ფაქტორთან. ანუ ინფორმაციის მიღება დაკავშირებულია მის სიზუსტესთან.

ზოგადი გრაფსქემებით იგი შეიძლება ასე აღინიშნოს:



სურ. 7. ხელშეშლის შედეგად \forall ცვლადის x_i - ს გარდაქმნა y_i - ში.

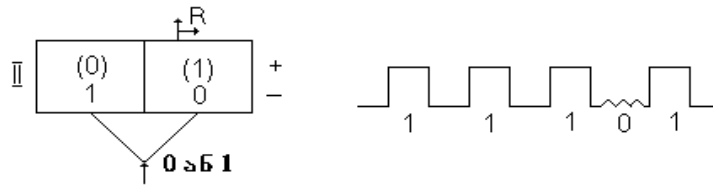
ამ გრაფ - სქემების დანიშნულება ის არის, რომ ხელშეშლის შედეგად \forall ცვლადი x_i შეიძლება გარდაიქმნას y_i - ში.

ინფორმაციის ზომის განსაზღვრა საშუალებას გვაძლევს სრული წარმოდგენა ვიქონიოთ ინფორმაციული პროცესების სპეციფიურობაზე. 1 ბიტი ინფორმაციის დამკვიდრება, როგორც უნივერსალური ერთეულისა კომპიუტერიზაციაში ძირითადად იმითაა გამოწვეული, რომ 1 ბიტი შეესაბამება ფიზიკურად რეალურ ელემენტს, რომელზეც აგებულია ყველა არსებული უმარტივესი კომპიუტერი.

დასახელება	აღნიშვნა	თანაფარდობა	დიაგრამა
უპირობო ენტროპია	$H(x)$	$H(x) \geq H(x y)$ $H(x) = H(x y) + H(xy)$	
	$H(y)$	$H(y) \geq H(y x)$ $H(x) = H(x y) + H(xy)$	
პირობითი ენტროპია	$H(x y)$	$H(x y) = H(y) - H(xy)$	
	$H(y x)$	$H(y x) = H(y) - H(xy)$	
გაერთიანების ერთობლივი ენტროპია	$H(x y) = H(y x)$	$H(x y) = H(x) + H(y x) =$ $= H(y) + H(x y) =$ $= H(x) + H(y) - H(x, y)$	
ურთიერთ-თანხვედრის ენტროპია	$H(xy) = H(yx)$	$H(xy) = H(x) - H(x y) =$ $= H(y) - H(y x) =$ $= H(x y) - H(y x)$	

სურ.8. უპირობო და პირობითი, გაერთიანებისა და ურთიერთთანხვედრის ენტროპიის აღნიშვნა, თანაფარდობა და დიაგრამები.

ფიზიკურად ძლიერი ელემენტი, რომელსაც გააჩნია ორი მდგომარეობა, მისი მუშაობის პრინციპი შემდეგია:



სურ.9. ორმდგომარეობიანი ფიზიკურად ძლიერი ელემენტის მოდელი, რომელიც საფუძვლად დაედო ტრიგერის სქემას.

აღნიშნული მოდელი დაედო საფუძვლად ტრიგერის სქემას. ტრიგერი აგებულია ნახევარგამტარების გამოყენებით, მას აქვს ორი მდგომარეობა. როცა ერთ მდგომარეობაში დაბალი ძაბვაა, ესე იგი 0, მაშინ მეორეში აუცილებლად იქნება მაღალი ძაბვა - 1. ტრიგერის შესასვლელზე მიეწოდება 0 ან 1 ინფორმაციულად, ანუ დაბალი ან მაღალი ძაბვა. თუ ტრიგერის მდგომარეობას a წერტილში შეესაბამებოდა მაღალი ძაბვა, მაშინ შესასვლელზე 1-ის (ანუ მაღალი ძაბვის) მიწოდების შემთხვევაში ტრიგერი იცვლის მდგომარეობას და a წერტილში ძაბვა გახდება დაბალი - 0. კიდევ ერთიანის მიწოდებით პირიქით - მივიღებთ 1-იანს. ხდება ერთიანების ციკლური ტრიალი. მათემატიკურად ტრიგერის თანაფარდობა აღინიშნება შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned} \bar{0} + \bar{0} &= 0 & T + \bar{0} &= 1 \\ \bar{0} + T &= 1 & T + T &= 0 \end{aligned}$$

ამრიგად, ადგილი აქვს შეკრებას mod2. ამ მათემატიკურ სქემას გამოხატავს ერთი ტრიგერი. ტრიგერების მიმდევრობით ჩართვა კი საშუალებას გვაძლევს ავაგოთ რიცხვითი რეგისტრები. მანქანაში ძირითადად ორი ტიპის რეგისტრია - დამგროვებელი და მიმღები. დამგროვებელ რეგისტრში წინასწარ არის ჩაწერილი გარკვეული ინფორმაცია, ხოლო ინფორმაციულად ორივე რეგისტრი ერთმანეთთან ურთიერთქმედებაში ასრულებს ალგებრულ მოქმედებებს [53].

ტრიგერები ძირითად ელემენტებს წარმოადგენენ როგორც ოპტიმალურ სისტემაში (ართიმეტიკული ოპერაციები), ასევე ოპერატიულ დამმახსოვრებლებში

(ვინჩესტერებში), ხანგრძლივი მოქმედების დამმახსოვრებელ მოწყობილობებში, სადაც ძირითადად გამოიყენება მაგნიტური პრინციპი.

ზემოხსენებული ცხრილის ზოგოერთი სიდიდის ანალიზური სახე შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი ფორმით:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i), \quad (1.3.16)$$

როდესაც წყარო გამოსცემს ინფორმაციას და ხელშეშლას ადგილი არა აქვს, მაშინ

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(y_i) \log_2 P(y_i), \quad (1.3.17)$$

თუ მოხდა ხელშეშლა, მივიღებთ:

$$U(y|x) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(x_i, y_j) \cdot \log_2 P(y_j | x_i). \quad (1.3.18)$$

ამ ტოლობის ძირითადი არსი მდგომარეობს იმაში, რომ მიმღებ მხარეზე სიგნალი მიღებულია, მაგრამ არ არის ცნობილი წყაროს მდგომარეობა

$$H(y|x) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(x_i, y_j) \cdot \log_2 P(y_j | x_i), \quad (1.3.19)$$

ბოლო ტოლობაში კი წყაროს მდგომარეობა ცნობილია, მაგრამ სიგნალის შესახებ ინფორმაცია არ გაგვაჩნია, ხოლო (1.3.18) და (1.3.19) გამოხატავენ სიტუაციას, როდესაც ადგილი აქვს ხელშეშლებს, ამიტომ:

$$H(y) > H(y|x) \text{ და } H(x) > H(x|y).$$

ტერმინ „ენტროპიის“ შემოტანა კლოდ შენონს ურჩია კომპიუტერული ერის პატრიარქმა ჯონ ფონ ნეიმანმა. ამავე დროს, კ. შენონი აღნიშნავდა, რომ “ენტროპიის”, როგორც ინფორმაციის რაოდენობის განმსაზღვრელ ზომას, არავითარი კავშირი არა აქვს ინფორმაციის სემანტიკასთან. ცხადია, რომ ტერმინის შემოტანა თერმოდინამიკაში არსებულ “ენტროპიას” უკავშირდება.

გავარკვიოთ რა თვისებებს უნდა აკმაყოფილებდეს განუზღვრელობის ფუნქცია. დავუშვათ, რომ $p(x_1) = \dots = p(x_N)$. ცხადია, რომ *განუზღვრელობის ხარისხის ზომა* დამოკიდებულია შესაძლო N რიცხვზე (მაგალითად, რაც უფრო მეტია ექვმიტანილთა რიცხვი, რომელთა შორის მხოლოდ ერთია დამნაშავე, მით უფრო

რთულია დანაშაულის გახსნა და მეტია განუზღვრელობა) და წარმოადგენს $F(N)$ ფუნქციას, რომელიც შემდეგ ძირითად მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს: (1 პირობა) $N=1$ მნიშვნელობის დროს (2 პირობა) $F(N)$ ფუნქცია უნდა ღებულობდეს 0-ის ტოლ მნიშვნელობას (რადგან ამ შემთხვევაში განუზღვრელობა არ არსებობს), ხოლო N -ის ზრდა უნდა იწვევდეს მის მონოტონურ ზრდას; ორი დამოუკიდებელი N_1 და N_2 ტოლალბათური შედეგის მქონე ერთობლივი წყაროს შემთხვევაში, როდესაც ერთობლივი ცდის შესაძლო შედეგთა რიცხვი N_1N_2 ნამრავლით განისაზღვრება, ფუნქცია უნდა აკმაყოფილებდეს ადიტიურობის პირობას¹²:

$$F(N_1N_2) = F(N_1) + F(N_2). \quad (1.3.20)$$

აღნიშნულ პირობებს აკმაყოფილებს *ლოგარითმული* $\log N$ ფუნქცია, რადგან სრულდება (1) პირობა: $\log 1 = 0$ და $1 \circ \mathbb{N}_1 > 1 \circ \mathbb{N}_2$, თუ $N_1 > N_2$, და (1.4.3)-ის შესაბამისად სამართ-ლიანია

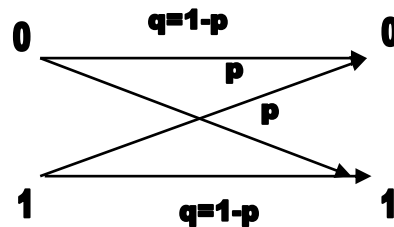
$$\log(N_1N_2) = \log N_1 + \log N_2 \quad (1.3.21)$$

(2) პირობაც.

ლოგარითმის ფუძის არჩევას არა აქვს პრინციპული მნიშვნელობა, რადგან

$$\log_b N = \log_b a \times \log_a N.$$

a ფუძის b ფუძით შეცვლა მარტივად $F(N) = \log_a N$ მნიშვნელობის $\log_b a$ სიდიდეზე გამრავლებით ხორციელდება, რაც მხოლოდ განზომილების ერთეულის ცვლილებას გამოიწვევს. ინფორმაციულ სისტემებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს $a=2$ ორობით ფუძეს (განზომილების ორობით ერთეულს, რის მაგალითსაც მე - 10 სურათზე მოცემული კავშირის ორობითი არხი წარმოადგენს). შემდგომში ანალოგიურ შემთხვევებში იგულისხმება ლოგარითმი 2-ის ფუძით [17].



სურ. 10. ორობითი სიმეტრიული არხი

¹² (ლათ. *additivus* — დამატება) სიდიდის თვისება მდგომარეობს იმაში, რომ მისი მნიშვნელობა, რომელიც შეესაბამება მთელ ობიექტს უდრის ამ სიდიდეთაჯამს, ან ამობიექტის ნაწილთა ჯამს. მაგალითად, ფართობის ადიტიურობა ნიშნავს, რომ მთელი ნაწილის ფართობი უდრის ცალკეულ ნაწილთა ფართობების ჯამს.

ლოგარითმულ $\log N$ ფუნქციას განიხილავენ, როგორც ინფორმაციული წყაროს განუზღვრელობის ზომას:

$$F(N) = \log N. \quad (1.3.22)$$

ეს არის ინფორმაციის *მაქსიმალური სიდიდე*

$$I(N) = \log N, \quad (1.3.23)$$

რომელიც მომხდარი ფაქტის დაფიქსირებით სპობს განუზღვრელობას და დაჰყავს ის ერთადერთ შედეგზე. მაშასადამე, სამართლიანია (1.3.22) და (1.3.23) გამოსახულებების ტოლობა:

$$I(N) = F(N). \quad (1.3.24)$$

ინფორმაციისა და განუზღვრელობის რაოდენობის ერთეული შეიძლება შემდეგი სახით განისაზღვროს. (1.3.22) გამოსახულების მიმართ დავუშვათ, რომ შესაძლო შედეგების შესახებ მივიღეთ დამატებითი ცნობები, რომელიც გამორიცხავს ზოგიერთი შედეგის შესაძლებლობას, ე.ი. შესაძლო შედეგების რიცხვი შემცირდა N -დან N' -დე, მაშინ განუზღვრელობაც შემცირდება $F(N)$ მნიშვნელობიდან $F(N')$ მნიშვნელობამდე. შედეგად, მიღებული ინფორმაციის რაოდენობა არის

$$I(N) = \log N - \log N' = \log \frac{N}{N'}. \quad (1.3.25)$$

თუ $N' = 0,5N$, მაშინ

$$I(N) = \log N - \log N' = \log \frac{N}{N'}$$

გამოსახულებიდან:

$$I(N) = \log \frac{N}{0,5N} = 1, \quad (1.3.26)$$

რაც წარმოადგენს განუზღვრელობის და ინფორმაციის *რაოდენობის* ერთეულს – ბიტს. ბიტი ინფორმაციის რაოდენობაა, რომელიც შესაძლო შედეგთა რაოდენობას, ანუ განუზღვრელობას, ამცირებს ორჯერ. თუ (1.3.25) თანაფარდობაში, $N' = 1$, მაშინ $I(N) = \log N$. ეს არის განუზღვრელობის ტოლი ინფორმაციის რაოდენობა, რომელიც განუზღვრელობას სპობს და დაჰყავს ერთადერთ შესაძლო შედეგამდე.

თუ დაკვირვების ობიექტს, ანუ ინფორმაციის წყაროს, წარმოადგენს X შემთხვევითი სიდიდე და დავუშვებთ, რომ x_1, \dots, x_N მნიშვნელობები არატოლალბათურია, მაშინ ცალკეული შესაძლო x_i მნიშვნელობით გამოწვეული

განუზღვრელობა (მისი ხვედრითი წონა)

$$H(x) = I(x) = -k \sum_{i=1}^N p(x_i) \log p(x_i), \quad (1.3.27)$$

გამოსახულებაში არის

$$H(x_i) = \log \frac{1}{p(x_i)} = -\log p(x_i). \quad (1.3.28)$$

ხდომილობათა სრული სისტემის

$$\sum_{i=1}^N p(x_i) = 1$$

გათვალისწინებით განუზღვრელობის ზომა და მიღებული ინფორმაცია ნაცვლად (1.3.22) და (1.3.23) გამოსახულებებისა წარმოადგენს ცალკეულ $H(x_i)$ სიდიდეთა მათემატიკურ ლოდინს ანუ (1.3.27) გამოსახულებას, რომელსაც როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ კლოდ შენონი *ენტროპიას* უწოდებს:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^N p(x_i) \log_2 p(x_i). \quad (1.3.27')$$

ინფორმაციის რაოდენობა, რომელიც X ინფორმაციის წყაროდან მიეწოდება მომხმარებელს (1.3.27'), ენტროპიის სიდიდის ტოლია და

$$I(N) = \log N$$

ნაცვლად განისაზღვრება, როგორც

$$I(x) = -\sum_{i=1}^N p(x_i) \log_2 p(x_i), \quad (1.3.27'')$$

სადაც

$$I(x_i) = -\log_2 p(x_i).$$

(1.3.27') და (1.3.27'') გამოსახულებებში ენტროპიისა და ინფორმაციის რაოდენობის ერთეულს წარმოადგენს ორობითი ერთეული, ანუ ბიტი, რომელიც, აგრეთვე, შეესაბამება ორი ტოლალბათური შეტყობინების მქონე წყაროს ენტროპიას.

ამრიგად, ენტროპიას გააჩნია ექსტრემუმის წერტილი და მნიშვნელობა, რომელიც გვეხმარება ცხოვრებისეულ კითხვებზე პასუხის გაცემაში და მართვის პროცესის გამართივებაში, რაშიც ხელშემშლელი შეიძლება დარჩეს ინფორმაციული წყაროს სიჭარბე. ამიტომაც ხშირად დღის წესრიგში დგება ინფორმაციის შეკუმშვის (შემცირების) საკითხი.

მონაცემთა შეკუმშვა ეს მონაცემთა ალგორითმული გარდაქმნაა, რომლის მიზანია მისი მოცულობის შემცირება [13, 44]. შეკუმშვა ძირითადად გამოიყენება მონაცემთა შენახვისა და გადაცემის დროს მოწყობილობათა რაციონალური გამოყენებისათვის. საწყისი მონაცემების სიჭარბე განაპირობებს შეკუმშვის მოთხოვნას. სიჭარბის უმარტივეს მაგალითად შეიძლება განვიხილოთ ტექსტში ფრაგმენტის გამეორება (მაგალითად, მანქანური ენის სიტყვები ან სალაპარაკო ენის სიტყვები). მსგავსი სიჭარბის თავიდან აცილება შეიძლება, თუ შევცვლით ამ სიტყვას უკვე კოდირებული ფრაგმენტის განსაზღვრული სიგრძით, რომლის გადამისამართება თანმიმდევრობით უნდა შესრულდეს (როგორც ზემოთ ავლნიშნეთ)[6]. სიჭარბის სხვა შემთხვევაში მონაცემთა შეკუმშვისას ზოგიერთი მნიშვნელობა გვხვდება ხშირად, მონაცემთა მოცულობის შემცირება ხდება იმ მონაცემების ხარჯზე რომლებიც ხშირად გვხვდება, ანუ ხდება მათი შეცვლა მოკლე კოდური სიტყვით, ხოლო იმ მნიშვნელობებისა რომელიც არ გვხვდება ხშირად - გრძელით (ენტროპული კოდირება). მონაცემები, სიჭარბის გარეშე (მაგალითად, შემთხვევითი სიგნალი ან ხმაური, ან კიდევ დაშიფრული შეტყობინება) არ შეიძლება შეიკუმშოს დანაკარგის გარეშე.

1.4. შეკუმშვა

შეკუმშვის ფენომენი ინფორმაციის თეორიაში ერთ-ერთი ფუნდამენტურია, იგი ცხოვრებაში გარკვეულ ფორმით გვევლინება: ასტროფიზიკაში, მაკრო და მიკრო სისტემებში, ინფორმაციის და კოდირების თეორიაში, ფიზიკისა და ქიმიის სხვადასხვა სფეროები და ა.შ. რაც შეეხება მათემატიკას, დავინახავთ, რომ ნებისმიერი ფორმალური სქემა თავისი არსით წარმოადგენს შეკუმშულ სქემას ინფორმაციის თვალსაზრისით. მაგალითად, თუ განვიხილავთ წრის განტოლებას

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2,$$

დავრწმუნდებით, რომ ეს განტოლება წარმოადგენს „იეროგლიფს“, რომელიც შეიცავს დიდი რაოდენობით ინფორმაციას, მართლაც, y - ის ქვეშ იგულისხმება უსასრულო რაოდენობის კოორდინატები, რომლებიც უძრავი (x_0, y_0) წერტილიდან

დაშორებულნი არიან R მანძილით. მაგრამ ეს მოხდა მხოლოდ და მხოლოდ იმიტომ, რომ საქმე გვაქვს მოწესრიგებასთან. ანუ R მანძილის შემოტანით შესაძლებელი გახდა წერტილთა უსასრულოდ დიდი რაოდენობა ერთი განტოლებით აისახოს.

მონაცემთა შეკუმშვა (data compression) – ინფორმატიკაში არის მონაცემის მოცულობის შემცირების ტექნიკა სხვადასხვა დამგროვებლებზე (მაგნიტურ დისკებსა თუ მაგნიტური ლენტებზე). ის ხორციელდება სხვადასხვა მეთოდით. ძირითადად გამოიყენება მონაცემთა შეკუმშვის ორი რეჟიმი: სტატიკური და დინამიკური. გამოიყენება აგრეთვე ფიზიკური და ლოგიკური შეკუმშვა, სიმეტრიული და ასიმეტრიული, ადაპტური, ნახევრად ადაპტური და არაადაპტური კოდირება, შეკუმშვა დანაკარგის გარეშე, დანაკარგით და მინიმალური დანაკარგით[5].

მონაცემთა შეკუმშვის სახეებია:

მონაცემთა სტატიკური შეკუმშვა (static data compression) — გამოიყენება გრძელვადიანი არქივაციის დროს, მისი შესრულება შესაძლებელია სპეციალური სერვისული პროგრამა არქივატორებით, როგორცაა მაგალითად: ARJ, PKZIP/PKUNZIP, აღდგენის შემდეგ (დეკომპესია) თავდაპირველი ინფორმაცია ღდგება.

დინამიკური შეკუმშვა (შეკუმშვა რეალურ დროში; dynamic compression, compression in real time) - განკუთვნილია მონაცემთა მოცულობის შესამცირებლად დისკზე და კომპიუტერის გარე მოწყობილობებთან სწრაფი (ოპერატიული) წვდომისათვის. დინამიკური შეკუმშვა და განფუთვა წარმოებს ავტომატურად "წამიერად" სპეციალური პროგრამების საშუალებებით.

ფიზიკური შეკუმშვა (physical compression) - ესაა შეკუმშვის მეთოდოლოგია , რომლის დროსაც მონაცემები "ფორმალურად" გადაეწყობა კომპაქტურ ფორმაში, ანუ ინფორმაციის ბუნებისა და თვისებების გაუთვალისწინებლად.

ლოგიკური შეკუმშვა (logical compression) — ეს არის მეთოდოლოგია, რომლის დროსაც ალფავიტური ციფრული და ორობითი სიმბოლოების ერთი წყობა იცვლება მეორით, ამასთანავე საწყისი მონაცემების არსებითი მნიშვნელობა ინახება (შენარჩუნებულია). ლოგიკური შეკუმშვა ხდება სიმბოლოურ დონეზე, ის არ გამოიყენება სურათების შეკუმშვისას.

სიმეტრიული შეკუმშვა (symmetric compression) — მონაცემთა შეკუმშვისა და განფუთვის ალგორითმის აგების პრინციპები ახლოსაა ან მჭიდროდაა დაკავშირებული ერთმანეთთან. სიმეტრიული შეკუმშვის დროს შეკუმშვასა და განფუთვაზე დახარჯული დრო თანაზომიერი ანუ პროპორციულია. მონაცემთა გაცვლისათვის საჭირო პროგრამებში ძირითადად გამოიყენება შეკუმშვის ეს მეთოდი.

არასიმეტრიული შეკუმშვა (asymmetric compression) — ამ რეჟიმის დროს სამუშაოს შესასრულებლად "ერთი მიმართულებით" იხარჯება უფრო მეტი დრო, ვიდრე მეორე მიმართულებით. შეკუმშვისათვის იხარჯება უფრო მეტი დრო და სისტემური რესურსი ვიდრე განფუთვისას. მისი ეფექტურობა მდგომარეობს იმაში, რომ სურათის შეკუმშვა შეიძლება მოხდეს ერთხელ, ხოლო განფუთვა - რამოდენიმეჯერ. ასიმეტრიული შეკუმშვის ალგორითმი "მეორე მიმართულებისთვის" (შეკუმშვაზე გამოიყენება უფრო ნაკლები დრო, ვიდრე განფუთვაზე) გამოიყენება მონაცემთა რეზერვული კოპირების დროს.

ადაპტური კოდირება (adaptive encoding) — ეს კოდირების მეთოდოლოგიაა, რომელიც მონაცემთა შეკუმშვის დროს არ არის კონფიგურირებული მონაცემის რომელიმე კონკრეტულ ტიპზე. ადაპტური კოდირების პროგრამები მუშაობს ნებისმიერი ტიპის მონაცემებთან და მოცულობას ამცირებს მაქსიმალურად.

არადაპტური კოდირება (nonadaptive coding) — ეს არის მონაცემთა განსაზღვრული ტიპების ორიენტირებული კოდირება. ამ პრინციპზე აგებულ კოდერებს აქვს ჩაშენებული სტატისტიკური ლექსიკონი "წინასწარგანსაზღვრული ქვესტრიქონი", რომელთა შესახებ ცნობილია, რომ ისინი ხშირად ჩნდებიან კოდირებულ მონაცემებში. მაგალითისთვის შეიძლება მოვიყვანოთ ჰაფმანის კოდირების მეთოდი.

ნახევრადდაპტური კოდირება (half-adaptive coding) — წარმოადგენს კოდირების სახეს რომელიც იყენებს ადაპტური და არადაპტური კოდირების ელემენტებს. მისი მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს იმაში, რომ კოდერი ასრულებს ორ ოპერაციას: თავდაპირველად ის ამოწმებს კოდირებულ მონაცემთა საწყის მასივს და შემდეგ ალაგებს მას. ამის შემდეგ კი ახდენს მასივის კოდირებას.

შეკუმშვა დანაკარგის გარეშე (lossless compression) — ამ დროს მონაცემთა ადრე კოდირებული "ულუფა" აღდგება მისი განფუთვის შემდეგ სრულყოფილი ცვლილებების გარეშე.

კოდირება დანაკარგით (lossy compression) — მეთოდოლოგიაა, რომლის დროსაც შეკუმშვის მაქსიმალური ხარისხისათვის საწყისი მასივის ნაწილი გადავარდება. ტექსტური, ციფრული, ცხრილური მონაცემებისათვის ამ ტიპის შეკუმშვა მიუღებელია, ხოლო იმ პროგრამებისათვის, რომლებიც გრაფიკასთან მუშაობს - მიზანმიმართული. აღდგენილი სურათის ხარისხი გამომდინარეობს გრაფიკული მასალისა და შესაკუმში პროგრამის ალგორითმის კორექტულობისაგან.

გამოსახულების შეკუმშვა (image compression) — გრაფიკული გამოსახულების (ნახატების, ნახაზების და სხვა) მოცულობის შემცირება დამგროვებლებზე ანუ ტექნიკური მეთოდი გვევლინება როგორც დინამიკური შეკუმშვის ნაირსახეობა. მისი რეალიზაციისათვის გამოიყენება მონაცემთა კოდირების სხვადასხვა საშუალებები, რომლებიც ორიენტირებულია გრაფიკულ ელემენტებზე, აგრეთვე მოძრავ ეფექტებზე. გამოიყენება აგრეთვე კავშირის არხებით ფაქსიმილური ინფორმაციის გადაცემისას, მულტიმედიურ სისტემებში, ვიდეოფონებში.

დისკის შეკუმშვა (disk compression) — მეთოდის ტექნიკა დაფუძვნიებულია დინამიკური შეკუმშვის მეთოდზე დისკზე ჩაწერის პროცესში, ხოლო წაკითხვის პროცესი ხდება ავტომატურ რეჟიმში, რომლის შემდეგაც ის ბრუნდება საწყის ფორმაში. დისკის შეკუმშვა გამოიყენება დისკის მოცულობის გასაზრდელად. მონაცემების თვისებებიდან გამომდინარე დისკის მოცულობა შეიძლება გაოზარდოს 1,5 - დან 5 -მდე. დისკის შეკუმშვა ხორციელდება სპეციალური გამოყენებითი პროგრამებით, როგორცაა მაგალითად: DoubleSpace, Stacker, SuperStor.

ამრიგად, ინფორმაციის კომპაქტური წარმოდგენისათვის - შეკუმშვისათვის საჭირო გახდა მისი წინასწარი მოწესრიგება. ინფორმაციის შეკუმშვის კლასიკურ მეთოდად ცნობილია ჰაფმანის¹³ მეთოდი. ამ მეთოდით ტექსტური ინფორმაციის შეკუმშვისას ტექსტში არსებული სიტყვები ხარისხდება ალგორითმის კლებადობის მიხედვით, შემდეგ ეტაპზე ხდება ქვედა ორი სტრიქონის შეკრება და თავიდან წარმოებს მოწესრიგება, ეს პროცესი მეორდება მანამ სანამ არ მივიღებთ ჯამში

¹³ David Albert Huffman - ინფორმაციის თეორიაში პირველმა შექმნა პრეფიქსული კოდირების ალგორითმი მინიმალური სიჭარბით, რომელიც ცნობილია, როგორც ჰაფმანის კოდი (ალგორითმი).

ერთიანს.

ჰაფმენის შეკუმშვის მეთოდი ((Huffman compression method, кодирование CCITT). დამუშავებულია 1952 წელს დევიდ ჰაფმანის (David Huffman) მიერ. სახალხო კონსულტატიურმა კომიტეტმა ტელეგრაფისა და ტელეფონის სფეროში(CCITT) მასზე დაყრდნობით შეიმუშავა რიგი პროტოკოლებისა რომელიც ფაქსიმილურად გადასცემდა ქსელური კავშირითა და ტელეფონის არხებით შავ-თეთრ გამოსახულებას. (სტანდარტი T.4 CCIT და T.6 CCITT, აგრეთვე შეკუმშვა - CCITT group 3 და შეკუმშვა CCITT group 4).

არსებობს სხვა მეთოდებიც, მაგალითად:

ART — ტექსტის, გრაფიკის, აუდიო და ვიდეოს შეკუმშვის მეთოდი. ალგორითმის მუშაობის პრინციპი დაფუძვნიებულია გამოსახულების ანალიზსა და მისი გასაღებრივი ნიშნაკების (ფერი, ხარვეზები, გამეორებები) გამოვლენაზე.

AC3 Dolby — ეს არის შეკუმშვის ის ფორმატი და მეთოდი, რომელიც გვაძლევს შეკუმშვის, შენახვისა და გადაცემის საშუალებას ერთი ფაილით, რომლის სიჩქარეა 32-დან 640 კბ/წმ -ში აუდიომონაცემების 6 არხამდე.

DjVu (DjVu, djvu, deja vu) — დინამიკური შეკუმშვის ტექნოლოგია და მეთოდი გამომცემლობათა სკანირებული გვერდებისათვის, რომლებიც შეიცავენ ტექსტურ და ილუსტრირებულ მასალას.

DVI (Digital Video Interactive) — ესაა დინამიკური სისტემა ვიდეო და აუდიო ჩანაწერების შეკუმშვისა და აღდგენისათვის ციფრულ ფორმატში. მისი გამოყენებით შეგვიძლია CD-ROM - ზე გახმოვანებული სრულფორმატიანი ვიდეოფილმის ჩაწერა.

EAD (Encoded Archival Description) — კოდირების სტანდარტი, რომელიც იქნა შემუშავებული Network Development and MARC Standards Office-ის ქვედანაყოფების, CIIA-ს კონგრესის ბიბლიოთეკების თანამშრომლობით Society of American Archivists - სთან 1998 წელს (განახლება — 2002 წ.) სტანდარტი აყალიბებს არქივული და საძიებო (finding aids) ბიბლიოთეკური კოდირების სქემათა დამუშავების პრინციპების შექმნას.

Image compression manager — ეს არის გამოსახულების დინამიკური შეკუმშვის მართვის პროგრამა, რომელიც გვაძლევს საშუალებას გამოსახულების შეკუმშვისა და აღდგენისათვის გამოვიყენოთ სხვადასხვა მეთოდები.(MPEG, JPEG).

двухуровневых (двухцветных) ორგანზომილებიანი (ორფერიანი) გამოსახულების შეკუმშვის მეთოდი დანაკარგის გარეშე, რომელიც შექმნილია ექსპერთა გაერთიანებული ჯგუფის მიერ (რომლებიც მუშაობდნენ ორგანზომილებიან გამოსახულებებზე) ISO და CCIT 1988 წელს. JBIG მეთოდი 1993 დამტკიცებულია როგორც ორგანზომილებიანი მონაცემების კოდირების სტანდარტი შეკუმშვის ეფექტური ალგორითმების MR (Modified READ) და MMR (Modified Modified READ) ადგილზე.

LZW (Lempel-Ziv-Welch) — ეს დინამიკური შეკუმშვის მეთოდია, რომელიც დაფუძვნილია მთელ ფაილში ძიებასა და ლექსიკონში მონაცემთა ერთნაირ თანმიმდევრობის შენახვაზე (ისინი ფრაზებად იწოდებიან). თითოეულ უნიკალურ თანმიმდევრობას მიენიჭება გაცილებით მოკლე მარკერი (გასაღები).

MP3 (Moving Pictures Experts Group, Layer 3) — დინამიკური შეკუმშვის მეთოდი (ალგორითმი) და აუდიომონაცემების ფაილების ჩაწერის სპეციალური ფორმატი. MP3 განაპირობებს ხმოვანი ჩანაწერის შეკუმშვის მაღალ ხარისხს. გამოიყენება მულტიმედიაში, პლემერებში და ინტერნეტში.

RLE (Run Length Encoding) — დინამიკური შეკუმშვის მეთოდი გრაფიკული მონაცემებისათვის, პირველ რიგში გამოსახულებისათვის, რომელიც დაფუძვნილია ფიზიკური მოცულობის, გამნმეორებადი სიმბოლოების სტრიქონების შემცირებაზე [10].

ე.ი. შეკუმშვისათვის საჭიროა მისი წინასწარი მოწესრიგება. ინფორმაციის კომპაქტური წარმოდგენის, ანუ შეკუმშვის კლასიკურ მეთოდად კი ცნობილია ჰაფმანის მეთოდი.

1.5. ინფორმაციის შეკუმშვის ინფორმაციული და სეგმენტური შემცველობა

ინფორმაციის შეკუმშვა კომპლექსური და არაერთმნიშვნელოვანი გაგებაა. ამასთან არაერთმნიშვნელობა მოიაზრება როგორც ფორმით, ასევე შემცველობით. ძირითადად ის ჩნდება იმ შემთხვევებში, როდესაც ინფორმაციის შეკუმშვა საჭიროა პოტენციურად თვისებებით განსხვავებულ აბსტრაქტულ და ფიზიკურ ობიექტების შემთხვევაში [13].

ამ გარემოებამ განაპირობა მრავალი ტერმინის გამოჩენა შეკუმშვის ცნებასთან დაკავშირებით. ასეთებია: „სიჭარბის შემცირება“ (შეკვეცა), „კოდირება“, „მონაცემთა შეკუმშვა“, „ინფორმაციის კონვოლუცია“ (გარდაქმნა ვიდეოსიგნალთა გამოსახულებებად), „ინფორმაციის მოძებნა ავტომატურ ლექსიკონში“, „პოლინომიალური და მატრიცული შეკუმშვის მეთოდი“, „ოპტიმალური (სტატისტიკური) კოდირება“, „მინიმიზაციის მეთოდი“ და ა.შ.

მიუხედავად სხვადასხვა ფორმისა და სეგმენტური გაფორმებისა, შეკუმშვის მეთოდი საბოლოოდ დადის რაიმე ფინალური სიმბოლური გაგების $comp(I)$ - ის განსაზღვრამდე, რომელიც არის სწორედ შედეგი მოცემული ალგორითმული სქემის შეკუმშვისა [39].

კერძო შემთხვევებში $comp(I)$ შეიძლება მოცემული იყოს რიცხვითი ფორმით, კოდური მიმდევრობით, ასოებით ან იეროგლიფური სიმბოლოებით და ასე შემდეგ.

$comp(I)$ - ის რიცხვითი იმიჯის ფორმირების საუკეთესო მაგალითს წარმოადგენს ინფორმაციის დამუშავება კომპიუტერში, რომელიც დიდი მონაცემთა მასივების, ცხრილების და სხვა მონაცემების დამუშავების შედეგად მოცემული ალგორითმის მიხედვით ეკრანზე გამოგვიტანს ერთ კონკრეტულ რიცხვით შედეგს.

ფორმალურად შესასვლელი და გამოსასვლელი ინფორმაციის პირდაპირი შეფასება რაოდენობრივად საგრძნობელ განსხვავებას იძლევა ბიტებში. ამასთან გარდაქმნისას, კოდირებისა და მონაცემთა დამუშავებისას ინფორმაციის რაოდენობა არ უნდა დაიკარგოს, უფრო ზუსტად რომ ვთქვათ, უნდა შენარჩუნდეს შემდეგი ინფორმაციული ბალანსი:

$$in(I) \leq comp(I) + \sum(I) \quad (1.5.1.)$$

სადაც $Comp(I)$ – შეკუმშული ინფორმაციის გამოსახულებაა, $In(I)$ – შესასვლელი (გამოსასვლელი) ინფორმაციის რაოდენობა ბიტებით, ხოლო $\sum(I)$ - ინფორმაციის ჯამური სიდიდე, რომელიც შეიცავს ცალკეულ გამოყენებულ ინფორმაციულ ნაწილებს.

თანაფარდობა 1.5.1. საწყისი ინფორმაციაა წინასწარი ორგანიზაციისა და კოდირებისათვის (კერძო შემთხვევებში - წყაროს კოდირებისათვის), ამასთან:

1.5.2. ასახავს შეკუმშვის ალგორითმის რეალიზაციას, აგრეთვე:

1.5.3. გამოთვლის პროცესებს და მის „შავ“ ნაწილს“, რომელიც მეხსიერებაში არ

იწერება.

1.5.4. ასახავს ინფორმაციის აღდგენის ალგორითმის რეალიზაციას, სადაც ჩართული იქნება შეკუმშვის უკუ პროცესი.

გამოსახულების მეორე წევრი გამოხატავს კომპლექსურ და კომპრომისულ არსს შეკუმშვის ამოცანის გადაწყვეტის დროს. მოკლედ, ის განსაზღვრავს შეკუმშვისა და აღდგენის ალგორითმის სირთულეს, აგრეთვე - რაოდენობრივ ურთიერთ-დამოკიდებულებას მათ შორის. საერთოდ, $\Sigma(I)$ წევრის რაოდენობრივი შეფასება არის რთული.

რამდენადაც შეკუმშვის ამოცანის გადაწყვეტა ძირითადად ატარებს კომპრომისულ ხასიათს, იმდენად უმნიშვნელო ზემოქმედებას ახდენს ის ამოცანის პრაქტიკულ მხარეზე. შეკუმშვისა და აღდგენის ალგორითმის სირთულეთა განსხვავებიდან გამომდინარე მიზნისა და დანიშნულებისათვის. ასე მაგალითად, თუ საფრენ აპარატზე გამოყენებული შეკუმშვის ალგორითმი არ არის რთული და არის სწრაფქმედი, მაშინ მიმღებ სადგურებში შეკუმშული მონაცემების აღდგენის ალგორითმის სირთულე საკმაოდ ბევრი პრაქტიკული ამოცანის გადაწყვეტისას უმნიშვნელო როლს თამაშობს [14].

მეორე წევრის $\Sigma(I)$ რეალიზაციის სირთულის შემცირებისას ძლიერდება მცდელობა მეცნიერებისა და სპეციალისტების დააკავშირონ შეკუმშვის მეთოდი კომპიუტერულ უზრუნველყოფასთან. ეს კონცეფცია მიუთითებს დღეს იმ თეზისის აქტუალობის დაკარგვაზე, რომელიც ჯერ კიდევ ბებიჯმა¹⁴ აღნიშნა - „გაცილებით მომგებიანია კომპიუტერის მეხსიერებაში არ ინახებოდეს ელემენტარული ფუნქციების ცხრილები, მონაცემები და ა.შ., არამედ ყოველთვის როცა აუცილებლობა და საჭიროება მოითხოვს, მოხდეს საჭირო მნიშვნელობების გამოთვლა“. ამ თეზისის წარმატებული რეალიზაცია კომპიუტერული მოდელირებისა და მართვის პროცესში შეიძლება კომპიუტერის მეხსიერებაში მონაცემის ინფორმაციული ფრაგმენტების შეკუმშული სახით შენახვისას.

მიუხედავად დასაშვები არაერთმნიშვნელოვნებისა ალგორითმის სირთულეში შეკუმშვა და აღდგენა ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრია, შეკუმშვის კოეფიციენტი დამოკიდებულია მასზე და ძირითადად ასე განისაზღვრება:

¹⁴ Charles Babbage - ამერიკელი მათემატიკოსი, პირველი ანალიტიკური გამომთველი მანქანის შემქმნელი.

$$K_c = \frac{\ln(I)}{\text{comp}(I)} \quad (1.5.2)$$

კომპიუტერული უზრუნველყოფის შეკუმშვის მეთოდით ტოლი სიგრძის კოდური ფრაგნენტის შემთხვევისათვის, გაცილებით მიზანდასახული იქნება თუ ინფორმაციის რაოდენობას შევიყვანთ ცნობილ ფორმულაში

$$I = \sum_{i=1}^n \log_2 M_i \quad (1.5.3)$$

(1.5.1) ფორმულის თანახმად რაც მეტია შეკუმშვის კოეფიციენტის აბსოლუტური მნიშვნელობა, მით მეტია ინფორმაციის რაოდენობა მეორე წევრში $\Sigma(I)$ და მით უფრო მეტია ამ წევრის კოლმოგოროვისეული¹⁵ ხარისხის სირთულე. ამ წევრის შემცირების ერთი შესაძლებელი ვარიანტია $\Sigma(I) K$ -წარმოდგენა ერთი ტიპის მიმდევრობითი გამოთვლით. თავის მხრივ ასეთ, ამ კონცეფციას მიყვავართ ინფორმაციის შეკუმშვის იტერაციული¹⁶ ჯაჭვის შექმნის აზრთან.

მხოლოდ ასეთი ჯაჭვის შექმნამდე წინასწარ უნდა იყოს დაცული განსაზღვრული პირობები და საზღვრები.

ა) უნდა არსებობდეს გარდაქმნის ფუნქცია ρ (რეგულარული ოპერატორი), სადაც:

$$\rho: E_{ir} \Rightarrow E_r$$

სადაც E_{ir} - ირეგულარული კოდური თანმიმდევრობაა,

ხოლო - E_r - რეგულარული კოდური თანმიმდევრობა.

შენიშვნა 1.5.1: ცნება ირეგულარული რომელიც კოლმოგოროვმა და მარტინ – ლეფმა¹⁷ შემოიტანეს დამაკმაყოფილებელია ყველა სტატისტიკური ტესტისთვის შემთხვევითობის დროს [40, 58].

ბ) E_{ir} და E_r მიმდევრობა შედგება სიგრძით ტოლი ვექტორული ვექტორებისაგან.

გ) პირობის საფუძველზე დასაშვებია რაიმე გარკვეული შეკუმშვის ალგორითმის არსებობა m_0 ვექტორებით, რომლებიც წარმოდგენილია როგორც m სიგრძის ვექტორები. ალფავიტი $\{\alpha_i\}$ კოდურ ვექტორებს წარმოადგენს რიცხვითი

¹⁵ ანდრე ნიკოლოზის მე კოლმოგოროვი - XX საუკუნის ერთ-ერთი უძლიერესი მათემატიკოსი, ალბათობის ფუძემდებლებთან წარმომადგენელი.

¹⁶ იტერაცია - მონაცემთა დამუშავების ორგანიზაცია, რომლის დროსაც ადგილი აქვს მოქმედებათა განმეორებას, თუმცა არ ხდება მათი ხელახალი გამოძახება. მაგ: ციკლის ერთი ნაბიჯი - იტერაცია.

¹⁷ Per Martin-Löf - შვედი ლოგიკოსი, სტატისტიკოსი და ფილოსოფოსი.

სისტემის სკალარული სიმრავლით მოდულით q . $\alpha_i \in \{0, 1, \dots, q - 1\}$.

დ) შეკუმშვის ინტერაციული ჯაჭვი შედგება სასრული რაოდენობის რიცხვებისაგან T_j , ($j = \overline{1, N}$), რომელთაგან თითოეული წარმოადგენს სასრულ ავტომატს მეხსიერებით. ამასთანავე ადგილი აქვს შემდეგ გარემოებას:

წინადადება 1.5.1 ინტერაციული ჯაჭვის თითოეული რგოლის შეკუმშვის დროს, რეალიზებული უნდა იყოს ρ გარდაქმნის ფუნქცია.

დამტკიცება: მიღებული შეზღუდვებიდან გამომდინარე დამტკიცება მოხდება რაოდენობრივი შეუსაბამობის საფუძველზე ჯაჭვის თითოეული რგოლის შეკუმშვის დროს შემსვლელ და გამომსვლელ რიცხვებს შორის ურთიერთქმედებით.

ნებისმიერი წრფივი კომბინაციის შეკუმშვის ალგორითმის რეალიზაციისას შესასვლელ რგოლზე ხდება ინექტიური¹⁸ ასახვა შემსვლელი კოდური ვექტორებისა შესაკუმშ გამოსახულებაში, რომლებიც ჩნდება როგორც გამოსასვლელი კოდური ვექტორი, რომლის ვარიანტების რიცხვი უდრის q^m . იმდენად, რამდენადაც $m_0 < q^m$, ყოველ შემდეგ რგოლზე უნდა წამოვიდეს ასევე არანაკლებ m_0 კოდური ვექტორი, ამიტომ, აუცილებლობა ρ ოპერატორისა, რომელიც ამის რეალიზაციას ახორციელებს ჩაიწერება

$$\rho: q^m \rightarrow m_0 \quad (1.5.5)$$

რაც ადასტურებს ზემოთქმულს

$m_0 < q^m$ - ის დროს, კოდი წარმოადგენილია როგორც ხელახლა აგებული („დაბადებული“), ხოლო მისი კოეფიციენტი K_B განისაზღვრება როგორც

$$K_B = \frac{q^m}{m_0} \quad (1.5.6)$$

შენიშვნა 1.5.2: აქ „ხელახლად დაბადებულის“ - ის ქვეშ იგულისმება სიმრავლის დაშლა q^m ელემენტებიდან $\frac{q^m}{m_0}$ რიცხვებად, რომლებიც არ იკვეთებიან ქვესიმრავლეში. ამასთანავე, ცალკეული ქვესიმრავლის თითოეული ელემენტი თავისთავად ასახავს მხოლოდ ერთს, სხვებისაგან განსხვავებული ქვესიმრავლეს.

შენიშვნა 1.5.3: ცნება „ხელახლად დაბადებულის“-ის კონტექსტში ქვეშ საინტერესო ჰიპოთეტიკურ ანალოგს წარმოადგენს გენეტიკური კოდი, რომლისთვისაც საშუალოდ

¹⁸ $F: X \rightarrow Y$ ასახვას ეწოდება ინექტიური ასახვა.

$$K_B = \frac{q^m}{m_0} = \frac{64}{20} \cong 3.$$

როდესაც ქვესიმრავლის კოდური ვექტორების რიცხვი $m_0 = q^m$, მაშინ ერთი ინსტრუქციის რეალიზაციისათვის საშუალოდ საჭიროა სამი ტრიპლეტური კოდონი.

კერძო შემთხვევაში, როცა $m_0 = q^m$, ρ ოპერატორმა (ან ოპერატორთა ქვესიმრავლემ) უნდა მოახდინოს კოდირების რეალიზაცია, რომლის დროსაც E_{ir} მიმდევრობა წინასწარ გარდაიქმნება მოწესრიგებულ კოდურ მიმდევრობად.

1.6. შეკუმშვა მათემატიკურ კონტექსტში

ინფორმაციის შეკუმშვის თეორიის თვალსაზრისით არსებობს წმინდა მათემატიკური პრობლემა, რომელსაც ადრე პროგრამირების სფეროში და საერთოდ ინფორმატიკაში არ ექცეოდა ჯეროვანი ყურადღება [7].

საქმე ეხებოდა არა მხოლოდ საკითხის განსაზღვრულ სირთულეს, არამედ მიზეზის ძირითადი არსი ფოკუსირდებოდა რაიმე არაერთმნიშვნელოვნებასა და განუსაზღვრელობაზე თვით ცნება „შეკუმშვის“ კონტექსტში მათემატიკის საფუძვლებთან დამოკიდებულებაში [52].

მაგალითად, კიბერნეტიკის ელემენტები ან მართვის პრინციპები ისტორიულად ღრმა ფესვებით იყო დაკავშირებული ადამიანის ინტელექტუალურ მოღვაწეობასთან და ყოველთვის უწყობდა ხელს მათემატიკის პროგრესს.

აღნიშნული გარემოება, ძირითადად, გამოვლინდა ორი ფორმით: წინასწარი და შემცველობითი. განვიხილოთ შეკუმშვის ფენომენი მოკლედ ამ ორი ფორმის თვალსაზრისით:

1.6.1 . წარმოსადგენი ფაქტორი. ექსპერტების შეფასებით წმინდა მათემატიკის პროგრესი ხდება სამი მიმართულებით:

- ა) პრობლემის გადაწყვეტა;
- ბ) კომპაქტური წარმოდგენა და ადეკვატური აღნიშვნები;
- გ) მათთან დაკავშირებული ალგორითმებით.

ბოლო ორი ფაქტორი, რომელიც უშუალო კავშირშია შეკუმშვის ფენომენტთან დამახასიათებელია მხოლოდ მათემატიკისათვის.

ეს არ არის ინტუიციური და მითუმეტეს არა თეორიული წინადადება, იმდენად რამდენადაც ძალიან ხშირად მათემატიკის რაღაც ნაწილი შეიძლება არ განვითარდეს კომპაქტური წარმოდგენისა და აღნიშვნების უკმარისობის გამო, მაშინ როცა გვაქვს საშუალება გავიგოთ მისი ჭეშმარიტი ბუნება.

საინტერესოა ალგებრის მაგალითი: 13 ასწლეული დასჭირდა დიოფანტედან ვიეტამდე და ლეიბნიცამდე, რომ მიეღოთ ალგებრული განტოლების საბოლოო სახე

$$a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0 = 0.$$

ეს გარემოება განსაზღვრული ფორმით იძლევა განმარტებას რატომ ვერ განვითარდა სათანადო დონით ძველ საბერძნეთში ალგებრა.

საჭირო გახდა არა უმეტეს ასი წელი, რომ გამორიცხვის მეთოდს მიეღო საბოლოო ფორმა. მთავარი მიზეზი გახდა ის რომ ნიუტონამდე და ლეიბნიცამდე არ იყო წარმოდგენილი კომპაქტური აღნიშვნები ისეთი ახალი ცნებების, როგორც იყო წარმოებული და ინტეგრალი. კომპაქტურ წარმოდგენასა და აღნიშვნებს კი თან ახლავს ალგორითმები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მის გამოყენებას.

შენიშვნა: ამ ნათქვამის ქვეშ იგულისხმება გამოთვლები და სტერეოტიპული განხილვები ერთხელ და სამუდამოდ დადგენილი და თითქმის ავტომატურად გამოყენებადი, ისეთი, რომელიც არ იქმნება სისტემატიურად.

ამ საშუალებებმა საგრძნობლად დახვეწეს მათემატიკური ენა და ყურადღების კონცენტრაცია მოახდინეს მტკიცების, თავარ კონცეპტებზე.

ამ საშუალებების შედეგობრივი შეფასება რომ დავიწყოთ შეიძლება ვთქვათ, რომ მეორე ხარისხის ალგებრული განტოლება შტიფელის „ალგებრაში“, რომელიც დაიწერა XVI საუკუნეში იკავებდა 200 გვერდს, ხოლო ნიუტონის მასწავლებელს ი. ბაროუს დასჭირდა 100 გვერდი და ამდენივე ნახატი ფართობისა და მხების ამოცანის გადმოსაცემად. ახლა კი როგორც ალგებრის ელემენტარულ სახელმძღვანელოებში, ასევე ანალიზის ელემენტარულ სახელმძღვანელოებში უსასრულოდ მცირე მასალები გადმოცემულია 10-ჯერ უფრო მოკლედ.

ამ ისტორიის, ანუ უსასრულოდ მცირეს გამორიცხვის ალგორითმი გამეორდა, მაგალითად, გაერთიანებული ფუნქციის იდეის განვითარებისას: ის მაშინვე დაიბადა და აღმოცენდა მათემატიკის რამოდენიმე სფეროში, ბევრი ამოცანის ამოხსნის დროს (ხევისაიდი, დირაკი, ბოხნერი, ფანტაპიე და ა. შ.) ამ იდეამ შეძლო შეექმნა სანახაობა

და შეიძინა პრაქტიკული ეფექტურობა მხოლოდ მაშინ, როცა ლ.შვარცი ახდენდა შესაბამისი ალგორითმების სისტემატიზირებას [54].

საინტერესო ფაქტია ბულის ალგებრაში სიმბოლოების გამოყენება (რომელსაც ხშირად „სიმრავლეთა თეორიას“ უწოდებენ) აგრეთვე მათი ინტენსიური გამოყენება „გამოსახულების დიაგრამათა“ დანართებში, რომლებიც ისართა სისტემის დახმარებით საოცარი თვალსაჩინოებით წარმოადგენს სიტუაციას, როცა ხდება სიმრავლისა და მის გამოსახულებათა მთლიანი სისტემის შემოწმება.

ამ კონტექსტში „გამოსახულების დიაგრამათა“ იდეის შემდეგი განვითარების მაღალი დონე იქნა მიღწეული რიჩარდ ფეიენმანის ნაშრომებში.

მთელი რიგი უძლიერესი მათემატიკური მეთოდების შემქმნელი, ფორმალიზმის ოსტატი მიზანმიმართულად ილტვოდა პრობლემის კონკრეტული გაგებისაკენ. ამ დროს ის არ იზღუდებოდა დადგენილი წარმოდგენებითა და ფორმალური სტერეოტიპებით. მან შეძლო ველის კვანტური თეორიის სფეროში მნიშვნელოვანი შედეგების მიღება არა „დირაკის მეთოდით“, რომელიც იყენებდა მრავალ სიმბოლოებსა და ოპერატორებს, არამედ თვალთხედვით, ნაჩქარევად დახაზული ზიგზაგისებური ფიგურით, რომელიც ფართოდ არის გავრცელებული და ცნობილი როგორც „ფეიენმანის დიაგრამა“.

ეს დიაგრამები იძლეოდნენ საშუალებას კომპაქტურად (შეკუმშულად) მომხდარიყო პროცესის ფორმალიზება და იყო დამუშავებული თეორეტიკოსების დასახმარებლად, რომლებიც მუშაობდნენ ძალიან რთულ ფორმულებთან, სადაც გამოთვლების დროს იოლად დაიბნეოდნენ.

მიუხედავად იმისა, რომ ფეიენმანის დიაგრამა ნამდვილად წარმოადგენს მოკლე (შეკუმშულ) ჩანაწერს, მათი გამოყენება მხოლოდ გეომეტრიული პროცესების წარმოდგენისათვის არ შეიძლება.

მისი ეფექტურობა დაფუძვნიებულია დაკავშირებულია ორიგინალურ მათემატიკურ მოდელთან, რომელიც შესაბამისობაშია თითოეულ წრფივ ან ტალღურ ხაზთან. თითოეულ უმაღლეს წერტილს შეესაბამება რთული მატრიცული ოპერაცია, ხოლო ამ წერტილის შემაერთებელ შტოებს - ინტეგრალები.

დიაგრამებმა საშუალება მისცა ფეიენმანს და მის კოლეგებს გარდაეკმნათ კვანტური ელექტროდინამიკა ერთ ზუსტ ფიზიკურ თეორიად, რომელიც იქნა

შეფასებული ნობელის პრემიით.

საბოლოოდ, თუ აღნიშნულ კონტექსტში განვიხილავთ გეომეტრიას დეკარტიმ მის თანამედროვეთა შორის პირველმა გაათვითცნობიერა ძველი სინთეზური გეომეტრიის შემოსაზღვრულობა. მან თამამად შეიყვანა მათემატიკაში ცვლადი სიდიდე, წარმატებული სიმბოლიკა და წარმოდგენაც. ამ საკითხთან მიმართებით, მან რიცხვითი სივრცით დააკავშირა ალგებრა გეომეტრიასთან. ეს აღმოჩნდა არა მხოლოდ საკვანძო მომენტი კომპაქტური და აბსტრაქტული (შეკუმშული) საკითხების წარმოდგენასა და მათემატიკურ აზროვნებაში, არამედ იქცა მძლავრ ბერკეტად ბუნებრივი და სწრაფი განვითარებისათვის.

შენიშვნა: დაინტერესების შემთხვევაში თუ შევეცდებით გავაფართოოთ ტრადიციული კოდირების თეორიის ჩარჩოები, მაშინ მისი ფუნდამენტალური პრობლემები აღმოჩნდება თანამედროვე მათემატიკის წარმოდგენათა სფეროში და მოხერხებული აღნიშვნების პრობლემების გადაკვეთის პირისპირ.

კოდირება - ეს არის ერთი უმაღლესი ფორმა ადამიანური ინტელექტის გამოვლენისა, რომელიც ასახავს ჩვენს ირგვლივ სამყაროს სტატისტიკისა და დინამიკას, სიმბოლოებისა და მათი დამაკავშირებელი ალგორითმების დახმარებით.

უხეზად რომ ვთქვათ კოდირების ზოგადი არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ის შეიძლება ჩაითვალოს ჩვენს ირგვლივ სამყაროში პროცესთა აბსტრაქტული მოდელირების საკითხებში ერთ თეორიულ საფუძვლად.

მეორეს მხრივ იმდენად რამდენადაც „ჩვენს ირგვლივ სამყარო“-ს დინამიკის კონტექსტი ზოგადი ცნებაა, ამიტომ აზრობრივი პროცესი და განსაკუთრებით მისი ერთი უმაღლესი ფორმა - მათემატიკური აზროვნება, აუცილებლად უნდა წარმოადგენდეს ამ ზოგადი გაგების ელემენტს.

გამოდის, რომ კოდირების თეორია, რომელიც აღმოჩნდა გამოყენებითი მათემატიკის ნაწილი, შეიცავს თავის მხრივ მათემატიკის ერთ ფუნდამენტალურ პრობლემას.

და აქ ხელახლა ჩნდება ფილოსოფიური კითხვა: როგორ ხდება რომ მთელში შემავალი ნაწილი შეიცავს არა მხოლოდ მთელის პრობლემატიკას, არამედ მასთან დაკავშირებულ პრობლემების სპეციფიკური გადაწყვეტის შესაძლებლობაც გააჩნია?

1.7. ფუნქციონალური ფაქტორი

სამეცნიერო კონფერენციებსა და სიმპოზიუმებზე კოდირებისა და ინფორმაციის თეორიაში საკმაოდ ხშირად ჩანს ხოლმე სტატიები შეკუმშვის კოეფიციენტის დიდი მნიშვნელობის შესახებ, მაგრამ ეს არ უნდა გახდეს სენსაციის საგნად, იმდენად რამდენადაც ასეთი შედეგების მიღების შესაძლებლობა ატარებს ორმაგ ხასიათს და ერთდროულად განისაზღვრება როგორც სიგნალი და სპეციფიური ინფორმაციის მატარებელი [8].

მათემატიკაში ასეთი ფენომენი, ასეთი ინფორმაციული ნიმუში ანუ დიდ რიცხვთა სპეციფიკური კოორდინატების წარმოდგენა შეკუმშული ასახვით გვევლინება არა მხოლოდ მოულოდნელად და არა ახლად, არამედ პირიქით ის წარმოდგენილია როგორც მათემატიკური კვლევის სასრული შედეგი. სხვანაირად რომ ვთქვათ, შედეგი უბრალოდ არ ფიქსირდებოდა ცნება „შეკუმშვის“ კონტექსტში [28].

თეორიულად ნებისმიერი ანალოგიური ფორმულა, განტოლება და სხვა ცნება „შეკუმშვის“ კონტექსტში თავისთავად წარმოდგენს ნიმუშს უზარმაზარი რიცხვითი კოორდინატების შემკუმშველისა (ბიტებში) შესაბამისი შეზღუდვებით რა თქმა უნდა. თუ მარტივი მაგალითისათვის ავიღებთ წრეწირის განტოლებას, მაშინ (1.5.1) ფორმულის თანახმად შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$\text{comp}(I) \Rightarrow (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (1.7.1.)$$

ბოლო გამოსახულებაში თითოეული სიმბოლო x_0, x, y_0, y, R შეიძლება გამოვსახოთ სასრულო სიგრძის უნივერსალურ ინფორმაციულ ერთეულებში - ბიტებში.

მეორეს მხრივ, თუ წრეწირის წერტილებს გამოვსახავთ რიცხვით კოორდინატებში და შევადგენთ შესაბამის ცხრილს, მაშინ ეს ცხრილი იქნება უზარმაზარი ინფორმაციის ამსახველი ცხრილი ბიტებში. ამრიგად, შეკუმშვის კოეფიციენტი იქნება

$$K_c = \frac{\text{in}(I)}{\text{comp}(I)}$$

თეორიულად, რომელიც მიისწრაფვის უსასრულობისაკენ.

შენიშვნა. შეკუმშვის კოეფიციენტის ასეთი დიდი მნიშვნელობა განპირობებულია იმით, რომ ფორმულა (1.6.1) არის სიბრტყეზე მდებარე ყველა

წერტილთა შეკუმშული სახე, რომელიც უძრავი (x_0, y_0) წერტილიდან დაშორებულია R მანძილით. ამ მანძილის დადგენა წარმოადგენს წინაპირობას რიცხვითი ობიექტების დალაგებისა. კერძოდ განხილულ მაგალითიდან ჩანს, რომ გვეძლევა საშუალება შემდგომში რაციონალური წარმოდგენის ანალიტიკური ფორმულის სახით ჩაწერისა.

აპროქსიმირებული¹⁹ და ინტერპოლირებული²⁰ ფუნქციები ქმნიან სპეციფიკურ არეს (დიაპაზონს) ინფორმაციის შეკუმშვის რეალიზაციისათვის (პოლინომები ლეჟანდრის, უოლშის, რადემახერის, ჩებიშევის, ინტერპოლირებული ფორმულები ლაგრანჟის, ნიუტონის, ნაიკვისტას, კოტელნიკოვის და ა.შ.). აქ შეკუმშვის კოეფიციენტი რა თქმა უნდა შეზღუდულია და დამოკიდებულია არსებითი კოორდინატების რიცხვზე, რომლებიც გვამლევს საშუალებას მოთხოვნადი სიზუსტით აღდგეს მოცემული ფუნქცია.

თვისება, რომელზეც დამოკიდებულია შეკუმშვის კოეფიციენტის გაზრდა აპროქსიმირებული რიგის მსგავსებაა (თავსებადობაა). რაც უფრო მეტია მსგავსება, მით უფრო ნაკლები რიგის წევრები და, შესაბამისად, კოორდინატებია საჭირო მოცემული ფუნქციის სიზუსტის აპროქსიმაციისათვის. მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია ინტერპოლირებულ და აპროქსიმირებულ პოლინომებზე, ცნება „შეკუმშვის“ კონტექსტში და შესაბამის ლიტერატურაში კვალიფიცირდება, როგორც შეკუმშვის რეალიზაციის მეთოდი სიჭარბის შემცირების გზით. მოცემულ კონტექსტში გაერთიანების თვალსაზრისით კლასიკურია ფუნდამენტური პრინციპები, განვითარება ფუნქციონალურ ანალიზში (ფა).

ცნება „ნამდვილი რიცხვის მოდული“ და „ვექტორი“ გვამლევს საშუალებას შემოვიტანოთ მანძილი, ან სხვანაირად რომ ვთქვათ - მეტრიკა რიცხვით ღერძებსა და შესაბამის სივრცეზე. მეტრიკის არსი თავის მხრივ მდგომარეობს ისეთი აუცილებელი კითხვების განმარტებაში, როგორიცაა მიმდევრობათა თანხვედრა (მსგავსება), შეზღუდვა და ა.შ.[7].

ფორმულირებული ფუნქციონალური ანალიზის (ფა) პრინციპის საფუძველზე

¹⁹ აპროქსიმაცია - მიახლოება, ანუ ერთი ობიექტის მეორე მის ახლომდგომი მარტივი ობიექტით შეცვლა. მაგ: რთული ფუნქციის გამოსათვლელად შეიძლება გამოვიყენოთ მნიშვნელობები მწკვრივის ნაწილიდან რომელიც აპროქსიმაციას უკეთებს ფუნქციას.

²⁰ ინტერპოლირება - უმაღლეს მათემატიკაში ესაა არსებული დისკრეტული შემადგენლობის ცნობილი მნიშვნელობებიდან სიდიდეთა შუალედური მნიშვნელობების პოვნა.

შეკუმშული გამოსახულება განისაზღვრება როგორც გამოსახულება მეტრული სივრცის ქვესიმრავლისა, სადაც წერტილთა შორის მანძილი თავის თავად მცირდება (იკუმშება). ზუსტად რომ ჩამოვყალიბოთ: გამოსახულება Φ წარმოდგენილია როგორც შეკუმშული გამოსახულება, თუ არსებობს ისეთი q რიცხვი, სადაც $0 < q < 1$, მაშინ

$$\frac{\rho(\Phi x, \Phi x')}{\rho(x, x')} < q,$$

სადაც x', x'' ქვესიმრავლის ნებისმიერ წერტილთა რაოდენობაა, $\rho(x', x'')$ - მანძილია x' და x'' შორის. გამოსახულების შეკუმშვისას დადგენილია უძრავ წერტილთა ერთადერთობა და არსებობა.

ფუნდამენტური პრინციპების ფუნქციონალური ანალიზის აბსტრაქტული და გამაერთიანებელი მიდგომა მიზეზისა და მიზეზის კონტექსტში ერთიანი პოზიციით შეიძლება დაგვეხმაროს სიღრმისეულ, ფუნდამენტალური და თეორიული საფუძვლების შეკუმშვის ფენომენის გაგებაში მითითებულ დიაპაზონში. რისი სამართლიანობის დასარწმუნებლად უკვე აღარ დაგვჭირდება დამატებითი ანალიზი.

დისკრეტული მათემატიკის სფეროში, განსაკუთრებით მათემატიკურ ლოგიკაში შეკუმშვის ფენომენის საინტერესო ფორმას წარმოადგენს ალგებრის ლოგიკის მინიმიზაციის ფუნქციის რეალიზაციის ამოცანები (ფალ).

შეკუმშვის კოეფიციენტის მნიშვნელობა და მისი ვარიაციები აქაც ერთმნიშვნელოვნად განისაზღვრება ალგებრის ლოგიკის ფუნქციის სახითა და ოპერატორებით, რომლებიც მოცემულ ბაზისში ახორციელებენ მინიმიზაციას [43].

საინტერესო, მაგალითად განვიხილოთ გამოყენებით ასპექტში ფუნქცია

$$S_1(x, y, z) = x \wedge \bar{y} \wedge \bar{z} \vee \bar{x} \wedge y \wedge \bar{z} \vee x \wedge \bar{y} \wedge z \vee x \wedge y \wedge z \quad 1.7.2$$

რომელიც ასახავს პროცესორის ერთი ძირიდი ჯაჭვის მუშაობას: ერთმნიშვნელოვანი ერთთანრიგიანი სუმატორისა.

ფუნქცია $S_1(x, y, z)$ შემდგარი თორმეტი ასობგერისა, თერთმეტი ოპერაციული სიმბოლოსა და ლოგიკური ოპერაციის ექვსი ნიშნისაგან გამოსახული იქნება უკეთეს შემთხვევაში 87 ბიტი რაოდენობის ინფორმაციით.

მხოლოდ, $S_1(x, y, z)$ -ის ჟეგალკინის პოლინომით გარდაქმნისას

$$S_1(x, y, z) = x + y + z \pmod{2} \quad 1.7.3$$

ის იქნება გამოსახული მხოლოდ სამი ასობგერისა და ორი ოპერაციის

ნიშნისაგან თხუთმეტი ბიტი რაოდენობის ინფორმაციისაგან უარეს შემთხვევაში.

შეკუმშვის კოეფიციენტის მნიშვნელობა შესაბამისად იქნება

$$K_c \frac{87}{15} \approx 5,8.$$

საყურადღებოა განხილული შემთხვევის კონკრეტულად ერთი დედუქციური მხარე. სიმარტივე და რაციონალობა მათემატიკურ წარმოდგენაში პირდაპირ აისახება გამოყენებით და პრაქტიკულ დანართებში. ზუსტად რომ ვთქვათ, ერთი ძირითადი გადამწყვეტი ელემენტი თითქმის ყველა თაობის კომპიუტერებისა არის ტრიგერი. კონკრეტულად ტრიგერი უკეთეს რეალიზაციას ჟეგალკინის მათემატიკურ სქემას.

შენიშვნა: კლასიკურ ბაზისში წარმოდგენილი ფუნქცია $S_1(x, y, z)$ არის ორი სიმეტრიული ფუნქციის გაერთიანება, რომელთა მინიმიზაციის მეთოდი ჯერ კიდევ უცნობია და არ არის იოლი ამოცანა.

ავლნიშნოთ, რომ კერძო კლასთა სიმეტრიული ფუნქციების კომპაქტური წარმოდგენისათვის საკმაოდ ეფექტურია შეკუმშვის მეთოდი „B” მარტივით. მაგრამ თანამედროვე მოთხოვნების გათვალისწინებით ფორმალური სქემების მხოლოდ კომპაქტური ასობგერითი წარმოდგენა შეკუმშვის ფენომენის კონტექსტში არასაკმარისია. ზუსტად რომ ვთქვათ ყველა რეალური ფაქტორი ემსახურება პროგრესული კვლევის მიზანს კომპიუტერული მოდელირებით ცოდნის ფრაგმენტების გადმოცემას, ბგერითი თუ ტექსტური ინფორმაციის წარმოდგენას რიცხვითი ფორმით ან მათი მიმდევრობის დალაგებას [60,61].

ერთი საინტერესო ასეთი მიმართულებისათვის არის გიოდელის²¹ მეთოდი. ეს მეთოდი იძლევა საშუალებას ნებისმიერი ლოგიკური ალგორითის დაყვანისა რიცხვით ალგორითამდე, ხოლო თავის მხრივ ნებისმიერი ნორმალური ალგორითმი, როგორც მაგალითად მარკოვის ალგორითმი - მთელრიცხვთა ფუნქციის გამოთვლით მნიშვნელობამდე. ყოველთვის შეიძლება გიოდელის ფინალური ნომრის ერთმნიშვნელოვნად საწყისი სახით წარმოდგენა, ანუ საწყის თანმიმდევრობამდე დაბრუნება.

გიოდელიზაციის ძირითად მოუხერხებელ მხარეს წარმოადგენს გიოდელის ნომრების აბსოლუტური მნიშვნელობის სწრაფი ზრდა, რომელიც დამოკიდებულია მიმდევრობის წევრების რაოდენობაზე, რომლებიც იზრდება მაჩვენებელთა კანონის

²¹ Kurt Friedrich Gödel - ავსტრალიელი ლოგიკი, მათემატიკოსი, ფილოსოფოსი.

მიხედვით.

ამასთან დაკავშირებით ამა თუ იმ მეთოდის გამოყენებით (გიოდელიზაციის ჩათვლით) მთელრიცხვთა მიმდევრობებში ჩნდება მიღებულ მიმდევრობათა შეკუმშვის ამოცანა.

საერთოდ, აღნიშნული მიმდევრობები შეიძლება იყოს შემთხვევითი მიმდევრობები, მაგალითად კოლმოგოროვისა და მარტინ-ლეფ - ის სიზუსტით ის მაქსიმალურად არეგულარულია, ხოლო იქ სადაც არ არის რეგულარობა, ადგილი აქვს არეულობას. აქედან გამომდინარე შეკუმშვა არარეალიზებადია.

ამიტომ, შეკუმშვის პრობლემა მიეკუთვნება წმინდა მათემატიკური კვლევის სფეროს, სადაც ნებისმიერ დონესა და საკითხში დაინტერესების შემთხვევაში ისტორიულად კარგად არის ნაჩვენები, რომ იქ სადაც არ არის მეტრიკის საშუალება - შეყვანის ან რეგულარული დალაგების კანონისა, ძალიან ძნელია კომპაქტური წარმოდგენისა და სქემის რეალიზება [42]. მხოლოდ ეს კონცეფცია მათემატიკურ კონტექსტში ბადებს ერთ საინტერესო ამოცანას: შეიძლება თუ არა არეგულარული მიმდევრობის შეკუმშვა მაშინ, როდესაც ის სასრულია? ან - არეგულარობის როგორი ხარისხით არის დაკავშირებული ასეთი მიდგომა შეკუმშვის ფენომენის ცნობილ პრობლემასთან: რის საფუძველზე ხდება წესრიგის აღმოცენება ქაოსიდან? ასევე: რა ფაქტორები განსაზღვრავენ დანაწევრების წინასწარ დასაშვებ შესაძლებლობას.

ასეთი საკითხების გადაწყვეტისას ძირითადად არსებობს ორი მიდგომა:

1. ადამიანის ინტელექტი ცდილობს დაშალოს (დაანაწევროს) ქაოსი სელექციის შედეგში. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ქაოსიდან ის გამოყოფს იმ ელემენტებსა და ობიექტებს, რომელთა შორის შეიძლება განსაზღვრული წესრიგის მიღება. ქაოსიდან იბადება წესრიგი! ფორმალურად და ისტორიულად მათემატიკისა და ფილოსოფიის როგორც მეცნიერების აღმოჩენის შემდეგ ამ პროცესმა მიიღო მწყობრი, თანმიმდევრული ფორმა.

წესრიგის დამყარება იძლევა საშუალებას შეიქმნას კომპაქტური (შეკუმშული) ფორმალური სქემა.

შენიშვნა: ისეთ რთულ და ჭარბ სისტემებშიც კი, როგორცაა ენობრივი და ტექსტური შეტყობინება, ადამიანის ინტელექტმა შეძლო დაემუშავებინა სტატისტიკური მიდგომა მიმდევრობებში სიმბოლოთა და სიგნალების სიხშირის

მიხედვით დალაგება. ამ პროცესმა კი დასაშვები გახადა ჭეშმარიტი მეტრიკის შემოტანა და შკუმშვის მეთოდის (ოპტიმალური კოდირების) დამუშავება (კ.შენონი, გ.ჰარტლი) მოცემული ინფორმაციისათვის.

2. არსებობს როგორც მაკრო (კოსმოლოგია) ასევე მიკრო (მიწიერი წარმომავლობის) სისტემები, სადაც შკუმშვის ფენომენი სხვადასხვა ფორმით გამოკვლეულია და აღმოჩენდა, რომ მისი განვითარების პროცესი ადამიანის ინტელექტის გარეშეცაა შესაძლებელი [36, 46].

ამ ფენომენის რეალური არსი გვიჩვენებს იმ ფაქტს, რომ მხოლოდ წმინდა ლოგიკური ანალიზი არ მოგვცემს სრულყოფილ ცოდნას ფაქტების სამყაროს შესახებ. მხოლოდ შკუმშვის დასაკვირვებელი ფენომენისათვის რეალურ სამყაროში უნდა არსებობდეს მიზეზები, რომლებიც მოახდენენ შკუმშვის პროცესის ინიცირებასა და დაჩქარებას. მათ შორის, ჩვენი თვალთახედვიდან გამომდინარე, შეიძლება გამოვყოთ რომელიმე ფაქტორები და მოვლენები, რომლებსაც შესწევთ უნარი წესრიგსა და უწესრიგობას (ქაოსს) შორის კავშირის დამყარებისა, ანუ პროცესის მართვისა და მართვის პროცესშივე სამართავი ობიექტების ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევისა მმართველი სუბიექტების მიერ, რაშიც როგორ ავლნიშნეთ დაგვეხმარება კოდირების სისტემა, ჩვენს შემთხვევაში როგორც კომუნიკაციური სისტემის ოპტიმიზაციის ამსახველი სისტემა [26].

უშუალოდ კოდების აგების საკითხების განხილვამდე საჭიროა განისაზღვროს, თუ რა მიზანს ისახავს კოდირების სისტემა, ე.ი. როგორ შეიძლება ჩამოყალიბდეს შეცდომების გამსწორებელი კოდების ძირითადი ამოცანა [17].

დავუშვათ, რომ წყაროს გამოსავალზე და კოდერის შესასვლელზე გვაქვს ინფორმაციული სიმბოლოების $c_1^{(1)}, \dots, c_{k_1}^{(1)}, c_1^{(2)}, \dots, c_{k_2}^{(2)}, \dots$ მიმდევრობა. ინფორმაციული სიმბოლოების, ანუ *ინფორმაციული სიტყვების*, მიმდევრობა წარმოადგენს შეტყობინებათა მიმდევრობას. თუ $k_1 \neq k_2 \neq \dots$, მაშინ წყაროს კოდერის გამოსავალზე ფორმირებულია არათანაბარი (არატოლი) სიგრძის ინფორმაციული სიტყვები, ხოლო თუ $k_1 = k_2 = \dots = k$, მაშინ წყაროს კოდერის გამოსასვლელზე ფორმირდება ტოლი სიგრძის სიტყვები.

შევნიშნოთ, რომ თუ შემდგომში განვიხილავთ მხოლოდ თანაბარ კოდირებას, ამ შემთხვევაში შეტყობინებათა მიმდევრობას დავყოფთ k სიგრძის ტოლ

მონაკვეთებად, როგორც მათ უწოდებენ, ბლოკებად. თითოეულ ბლოკს, ანუ k სიგრძის ინფორმაციულ

$$c^{(i)} = (c_1^{(i)}, \dots, c_k^{(i)}) \in V_k$$

სიტყვას, არხის კოდერის მეშვეობით შევუსაბამებთ n განზომილების კოდურ

$$v^{(i)} = (v_1^{(i)}, \dots, v_n^{(i)}) \in V_n$$

ვექტორს, სადაც V_1 ვექტორული სივრცეა $GF(q)$ ველზე (იხ. (1.7.2)) $n > k$, q -ველის ფუძეა. ორობითი კოდირების შემთხვევაში $q = 2$ და გვექნება $GF(2)$ ველი.

ინფორმაციის ასეთი წესით კოდირებას ბლოკურ კოდირებას უწოდებენ, ხოლო შესაბამის კოდებს - ბლოკურ კოდებს.²²

მაგალითი 1. ვთქვათ, $k = 2$, $n = 5$. დავუშვათ, აგრეთვე, რომ შეტყობინების ბლოკებს წარმოადგენს $V_{k=2}$ ვექტორული სივრცის ოთხი ორობითი ვექტორი, ხოლო კოდურ ვექტორებს - $V_{n=5}$ სივრცის V ქვესიმრავლის $n = 5$ სივრცის გარკვეული ოთხი ვექტორი. $c^{(i)}$ შეტყობინებებსა და კოდურ $v^{(i)}$ ვექტორთა შორის დავამყაროთ ისეთი შესაბამისობა, რომელიც ეფუძვნება კოდური სიმრავლის სიტყვათა შორის $d \geq 2t + 1$ კოდური მანძილის არსებობას. ამრიგად, (5,2) - კოდის (ჭარბი სტრუქტურის) $n=5$ სიგრძის ორობით სიტყვათა შორის მანძილი d უნდა იყოს მეტი ან ტოლი $2t + 1 \geq 3$, სადაც t - შეცდომათა რაოდენობაა. ყველა ერთეულოვანი (ერთჯერადი) შეცდომების მაკორექტირებელი (5,2) - კოდი ჩაიწერება:

$$\begin{aligned} c^{(1)} &= (00) \rightarrow v^{(1)} = (00000); \\ c^{(2)} &= (01) \rightarrow v^{(2)} = (01011); \\ c^{(3)} &= (10) \rightarrow v^{(3)} = (10110); \\ c^{(4)} &= (11) \rightarrow v^{(4)} = (11101). \end{aligned} \quad (1)$$

დავუშვათ, რომ წყაროს გამოსასვლელზე მოცემულია შეტყობინების სიმბოლოების მიმდევრობა: 1011010011..., მაშინ (3.1.1) შესაბამისობის თანახმად შეტყობინების ვექტორთა სიმბოლოების მიმდევრობას შეიძლება შევუსაბამოთ კოდურ ვექტორთა სიმბოლოების შემდეგი მიმდევრობა:

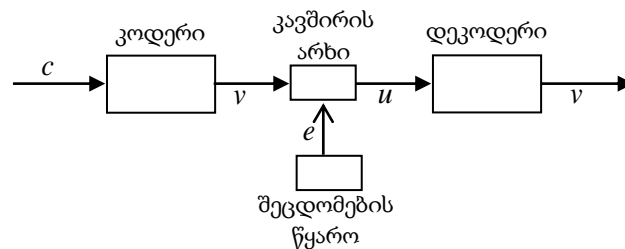
10110111011011000011101...

²² კოდის მოცემული განსაზღვრება შეესაბამება საგნის თემატიკას და არ წარმოადგენს “კოდის”, როგორც ცნების სრულ განსაზღვრებას.

1-ლ მაგალითში განხილული კოდირების სისტემა წარმოადგენს კოდირების ბლოკურ სისტემას, ხოლო შესაბამისი კოდი - ბლოკური კოდია (განხილულ მაგალითში თითოეული კოდური სიტყვის სიგრძეა $n = 5$).

სურათზე მოცემულია კოდირების გამარტივებული სქემა.

წყაროს კოდერის გამოსასვლელზე ფორმირებული $c = (c_1, \dots, c_k)$ ინფორმაცია კავშირის არხის კოდერის მეშვეობით გარდაიქმნება სიგნალად, რაც შეიძლება ჩაიწეროს $v = (v_1, \dots, v_n)$ ვექტორის სახით. იგულისხმება, რომ ფიზიკურად კავშირის არხში გადაიცემა გარკვეული სიმძლავრისა და ენერჯის v სიგნალი. თუ F ველი წარმოადგენს ორელემენტულ $GF(2)$ ველს, მაშინ განიხილება ორობითი სიმეტრიული არხი შესაბამისი ორობითი სიგნალებით (იხ. სურ. 11).



სურ.11. ინფორმაციის გადაცემის გამარტივებული სქემა.

$v \oplus e = u$ - დამახინჯებული სიგნალი, \oplus - მოდულით 2 შეკრების ნიშანი. $v = (v_1, \dots, v_n)$ სიგნალი $e = (e_1, \dots, e_n)$ ხმაურის გავლენით შეიძლება დამახინჯდეს და დეკოდერის შესასვლელზე, საზოგადოდ, მიიღება გადაცემულისგან განსხვავებული $u = (u_1, \dots, u_n)$ სიგნალი. დეკოდერის დანიშნულებაა მიღებული u სიგნალისა და სათანადო ალგორითმის მეშვეობით აღადგინოს გადაცემული ჭეშმარიტი სიგნალი, ანუ v კოდური ვექტორი [49].

მაგალითი 2. (5,2) - მაკორექტირებელი კოდის აგება.

ვთქვათ, მოცემულია საწყისი შეტყობინებების სიმრავლე $B = (00, 01, 10, 11)$ და საჭიროა აიგოს კოდი (ჭარბი ინფორმაციული სტრუქტურა), რომელიც გაასწორებს ყველა ერთჯერად (ერთეულოვან) შეცდომას.

კოდი აიგება იმ დებულების საფუძველზე, რომ დამატებითი 3 თანრიგი მოგვცემს საშუალებას მოვახდინოთ შეცდომის ლოკალიზაცია და მისი გასწორება.

დამატებითი თანრიგები აიგება იმ პრინციპით, რომ კოდური სიტყვების წონა, ე.ი. არანულოვანი თანრიგების რაოდენობა უნდა აკმაყოფილებდეს თანაფარდობას

$$d \geq 2t \oplus 1,$$

სადაც $t = 1$ - შეცდომათა რაოდენობაა, ამრიგად, კოდური სიტყვების წონა უნდა იყოს $2t + 1 \geq 3$, მაშასადამე აქედან გამომდინარე მივიღებთ (5,2) - კოდურ სიმრავლეს თანახმად მაკორექტირებელი მატრიცისა $L = |E_k B|$, სადაც E_k ერთეულოვანი მატრიცაა K - რანგის, ხოლო B ნაწილის კომპონენტები აკმაყოფილებენ (2) თანაფარდობას

$$L = |E_k B| = \begin{vmatrix} 10101 \\ 01011 \end{vmatrix}$$

როგორც ვხედავთ, ყველა კოდური სიტყვის L - ში (არანულოვანი კომპონენტების რაოდენობა) ≥ 3 .

(5,2) - კოდი შიძლება აგრეთვე ჩაიწეროს, როგორც L მატრიცის ვექტორ-სტრიქონების სივრცე, ე.ი. როგორც მათი mod2 ჯამი, $G = \{00000, 10101, 01011, 11110\}$ მაკოდირებელი L და მისი ორთოგონალური დეკოდირების H მატრიცა (H მატრიცა მიიღება L - დან) ჩაიწერება

$$L = |E_k B| \quad H = \begin{vmatrix} B \\ E_{n-k} \end{vmatrix}$$

სადაც K - ინფორმაციული (საწყისი შეტყობინების) თანრიგების რაოდენობაა, ხოლო $(n - k) = r$ - ჭარბი მაკორექტირებელი თანრიგების რაოდენობა, ამ მატრიცის რანგია (რანგი - წრფივად დამოუკიდებელ სტრიქონთა რაოდენობა).

ამრიგად, გვექნება მაკოდირებელი L მატრიცა (5,2) კოდისთვის

$$L = \begin{vmatrix} 10101 \\ 01011 \end{vmatrix}$$

ხოლო დეკოდირების მატრიცა, გამომდინარე L - იდან იქნება

$$H = \begin{vmatrix} 101 \\ 011 \\ 100 \\ 010 \\ 001 \end{vmatrix}$$

განვახორციელოთ საწყისი შეტყობინებების სიმრავლის $B = \{b_0 = 00; b_1 = 01; b_2 = 10; b_3 = 11\}$ ე.ი. L მატრიცაზე გამრავლება

$$b_0L = (00) \begin{vmatrix} 10101 \\ 01011 \end{vmatrix} = 00000$$

$$b_1L = (01) \begin{vmatrix} 10101 \\ 01011 \end{vmatrix} = 01011$$

$$b_2L = (10) \begin{vmatrix} 10101 \\ 01011 \end{vmatrix} = 10101$$

L და H მატრიცის აგება გულისხმობს $n=5$, ე.ი. V^5 ინფორმაციულ ვექტორული სივრცის სტრუქტურირებას გარკვეული წესით, ანუ მის ფაქტორირებას - ურთიერთარამკვეთ და მოსაზღვრე კლასებად დაყოფას. ამასთან აღნიშნული კლასების მაწარმოებელ ელემენტებად (ლიდერებად) იქნებიან მოსალოდნელი შეცდომები. გვექნება 5 ასეთი მოსაზღვრე ურთიერთგადამკვეთი კლასი: თვით-კოდი; კლასი; რომლის ლიდერი იქნება შეცდომა 1-ლ თანრიგში $e_1 = 10000$; კლასი ლიდერით ანუ შეცდომით მე-2 თანრიგში $e_2 = 01000$ და ა.შ. ბოლო მოსაზღვრე კლასის ლიდერი იქნება შეცდომა $e_5 = 00001$ მე-5 თანრიგში.

მივიღებთ $v^{n=5}$ ინფორმაციული სივრცის შემდეგ ფაქტორირებას

00000	10000	01000	00100	00010	00001
01011	11011	00011	01111	01010	01010
10101	00101	11101	10001	10111	10100
11110	01110	10110	11010	11101	11111

როგორც ვხედავთ ასეთი ფაქტორირება-კლასიფიკაცია საშუალებას იძლევა მოხდეს შეცდომის ცალსახა იდენტიფიკაცია, მართლაც, თუკი გავამრავლებთ დეკოდირების მატრიცას $e^i (i = \overline{1,5})$ ვექტორზე მივიღებთ კლასების, ე.ი. შეცდომების იდენტიფიკატორებს ანუ ე.წ. „სინდრომებს“.

$$s_0 = e_0H = 000, \quad s_1 = e_1H = 101, \quad s_2 = e_2H = 01000 \begin{vmatrix} 101 \\ 011 \\ 100 \\ 010 \\ 001 \end{vmatrix} = 011,$$

$$s_3 = e_3H = 00100 \begin{vmatrix} 101 \\ 011 \\ 100 \\ 010 \\ 001 \end{vmatrix} = 100, \quad s_4 = e_4H = 00010 \begin{vmatrix} 101 \\ 011 \\ 100 \\ 010 \\ 001 \end{vmatrix} = 010, \quad s_5 = e_5H = 011,$$

როგორც ვხედავთ $s_i \neq s_j$ და ამდენად კლასები არ იკვეთება, ე.ი. კლასებისა და შეცდომების იდენტიფიკაცია ხდება ცალსახად.

მაგალითი: ვთქვათ კავშირის არხში გადაიცემა კოდური სიტყვა $v_3 = 11110$, რომელიც არხში ხელშეშლის ზემოქმედების შედეგად მიმღების შესასვლელზე

მიწოდება მიმდევრობა: $v_3 = 11010$. აღნიშნული ვექტორების გამრავლებით H

$$\text{მატრიცაზე მივიღებთ } s_3 \text{ სინდრომს } s_3 = \bar{v}_3 H = (11010)H = (11010) \begin{pmatrix} 101 \\ 011 \\ 100 \\ 010 \\ 001 \end{pmatrix} = 100, \text{ რაც}$$

მიუთითებს იმაზე რომ შეცდომამ დაამახინჯა მე-3 თანრიგი. ამდენად, რადგან განვიხილავთ კოდირების ორობით სისტემას საჭიროა დაზიანებულ კოდურ სიტყვას mod2 მივუმატოთ $e_3 = 00100$ და მივიღებთ გასწორებულ კოდურ სიტყვას

$$v^3 = \bar{v}^3 \oplus e_3 = \oplus \begin{pmatrix} 11010 \\ 00100 \end{pmatrix} = 11110.$$

განხილული მაგალითი ნათლად გვიჩვენებს იმ ფაქტს, რომ კოდირების მოდელი არის ძალიან ზოგადი ტიპის ორგანიზაციისა და მართვის მოდელი. მართლაც L და H მატრიცების აგებით ხორციელდება v^n სივრცის ორგანიზაცია (სტრუქტურირება), ფაქტორიზაცია-კლასიფიკაცია (კლასტერიზაცია), ხოლო შეცდომის ლოკალიზაცია და გასწორება - ფაქტობრივად არის მართვა [25].

იმავედროულად, ხდება v^n სივრცის კლასიფიკაციასთან ერთად დამისამართება, ე.ი. $s_i (i = \overline{0, n-1})$ სინდრომების ანუ მისამართების ფიქსირება და $e_j (j = \overline{1, n})$ შეცდომების იდენტიფიკაცია.

1.7.1. კოდირების ამოცანა და თანადობა

კოდირების ამოცანა სამ ძირითად k, n, t - პარამეტრს განიხილავს: c შეტყობინების ინფორმაციულ სიმბოლოთა k რაოდენობას, კოდური v ვექტორის n განზომილებას და შეცდომების t -ჯერადობას. შეცდომების გასასწორებლად საჭიროა, k ინფორმაციულ სიმბოლოებს გარკვეული წესით დაემატოს $r = n - k$ რაოდენობის სიმბოლო, რაც წარმოადგენს სიჭარბეს. r სიჭარბის სხვადასხვა სიდიდე განაპირობებს t პარამეტრის განსხვავებულ მნიშვნელობით. ამრიგად, კოდირების სისტემა ამყარებს გარკვეულ თანადობას შეტყობინების c ვექტორებსა და კოდურ v ვექტორებს შორის ($i = \overline{0, 2^k - 1}$).

განვიხილოთ თანადობის თვისებები.

თუ C სიმრავლის ყოველ c ელემენტს რომელიმე წესით ცალსახად შევუსაბამებთ ერთადერთ (საზოგადოდ, ახალ) $\varphi(c)$ ელემენტს, მაშინ $c \rightarrow \varphi(c)$ თანადობას ეწოდება φ ფუნქცია.

თუ $\varphi(c)$ ელემენტები წარმოადგენენ C სიმრავლისაგან განსხვავებულ ელემენტებს (ვთქვათ, $\varphi(c) = v$, $v \in V \subset V_n$), მაშინ $c \rightarrow \varphi(c)$ თანადობა, აგრეთვე, ასახვას C -ს V -ში და გვექნება: $\varphi: c \rightarrow v$; $v = \varphi(c)$ ელემენტს ეწოდება c ელემენტის ანასახი, ხოლო c ელემენტს v ელემენტის წინასახე. v ელემენტი $\varphi: c \rightarrow v$ ასახვის მეშვეობით განისაზღვრება ცალსახად, მაგრამ c ელემენტი v ელემენტის მეშვეობით შეიძლება ცალსახად განისაზღვრება ან საზოგადოდ, ცალსახად შეიძლება არ განისაზღვრებოდეს [17].

$\varphi: c \rightarrow v$ ასახვა C სიმრავლისა V სიმრავლეში სურიექციულია და ეწოდება C სიმრავლის ასახვა V სიმრავლეზე, თუ V სიმრავლის ყოველ ელემენტს გააჩნია ერთი ან მეტი წინასახე C სიმრავლეში.

C სიმრავლის φ ასახვა V სიმრავლეში ინიექციულია, თუ ნებისმიერ $v = \varphi(c)$ ანასახს აქვს ერთადერთი წინასახე C სიმრავლეში.

თუ C -დან V -ში ასახვა ერთდროულად სურიექციული და ინიექციულიც, ე.ი. წარმოადგენს ურთიერთცალსახა ასახვას C სიმრავლისა V -ზე, მაშინ C და V სიმრავლეები ტოლი სიმძლავრის (ტოლდინი) სიმრავლეებია და არსებობს შებრუნებული ასახვა $\varphi^{-1}: v \rightarrow c$, რომელიც ყოველ v ელემენტს ცალსახად შეუსაბამებს c ელემენტს, ანუ v ელემენტის წინასახეს. ასეთი ურთიერთცალსახა ასახვა ბიექციური ანუ იზომორფული ასახვაა.

3.1.1 მაგალითში განხილული (3.1.1) თანადობა არის $V_{k=2}$ ვექტორული სივრცის ასახვა $V_{n=5}$ ვექტორულ სივრცეში. ასახვა სურიექციული არ არის, რადგან V_5 ვექტორული სივრცის ყოველ v ვექტორს არ განესაზღვრება c ვექტორი, როგორც წინასახე (მაგალითად, $v = (11111) \in V_{n=5}$ ვექტორს მოცემული თანადობით არ გააჩნია წინასახე $V_{k=2}$ სიმრავლეში). მაგრამ იგივე თანადობა არის ასახვა $V_{k=2}$ ვექტორული სივრცისა მოცემულ $V \subset V_{n=5}$ ქვესიმრავლეზე და სურიექციული ასახვაა.

ყოველივე ზემოგანხილულიდან გამომდინარე, კოდირების ამოცანა შეიძლება რამდენიმე განსხვავებული სახით ჩამოყალიბდეს: 1). მოცემული k და n

პარამეტრებისათვის საჭიროა მოიძებნოს $\varphi: c \rightarrow v$ ასახვა V_k -დან V -ზე ($V \subset V_n$), რომლისთვისაც t პარამეტრი შესაძლო მაქსიმალური მნიშვნელობისაა და ყოველ $v \in V$ ანასახს შეესაბამება ერთადერთი $c \in V_k$ წინასახე; 2). მოცემული k და t პარამეტრებისათვის საჭიროა მოიძებნოს $\varphi: c \rightarrow v$ ასახვა V_k -დან V -ზე ($V \subset V_n$), რომლისთვისაც n პარამეტრი შესაძლო მინიმალური მნიშვნელობისაა და ყოველ $v \in V$ ანასახს შეესაბამება ერთადერთი $c \in V_k$ წინასახე; 3). მოცემული n და t პარამეტრებისათვის საჭიროა მოიძებნოს $\varphi: c \rightarrow v$ ასახვა V_k -დან V -ზე ($V \subset V_n$), რომლისთვისაც k შესაძლო მაქსიმალური მნიშვნელობისაა და ყოველ $v \in V$ ანასახს შეესაბამება ერთადერთი $c \in V_k$ წინასახე.

1.7.2. სრულყოფილი კოდი

გავარკვიოთ, თუ რა ძირითად პირობას უნდა აკმაყოფილებდეს კოდი, რომ გამოასწოროს შეცდომები. ქვემოთ ეს საკითხი განხილულია ზოგადად შეცდომების E ნებისმიერი სიმრავლისათვის, რომლის კერძო შემთხვევას წარმოადგენს t -ჯერადი შეცდომების სიმრავლე.

დავუშვათ, რომ მოცემულია n -განზომილებიანი $e^{(i)} = (e_1^{(i)}, \dots, e_n^{(i)})$ ($i = 1, \dots, |E|$) შეცდომის ვექტორების $E \subset V_n$, ფიქსირებული სიმრავლე და E შეცდომების სიმრავლის გამსწორებელი V კოდი $v^{(j)} = (v_1^{(j)}, \dots, v_n^{(j)})$ ($j = 1, \dots, |V|$) კოდური ვექტორებით. განვიხილოთ მოცემული j -თვის ($j = 1, \dots, |V|$)

$$W(j) = \bigcup_{e^{(i)} \in E} (v^{(j)} + e^{(i)}) \quad (1.7.3.1)$$

$v^{(j)} + e^{(i)} = v^{(i,j)}$ ჯამების $W(j) \subset V_n$ ქვესიმრავლეები $v^{(j)}$ თითოეული კოდური ვექტორისა და ნებისმიერი $e^{(i)} \in E$ შეცდომის ვექტორისათვის. პირობითად მივიღოთ, რომ $j=i=1$ მნიშვნელობისათვის გვაქვს, შესაბამისად, კოდური და შეცდომის ნულოვანი $v^{(1,1)} = e^{(1)} = (0, \dots, 0)$ ვექტორები, მაშინ $j \geq 1$ და $i=1$ მნიშვნელობებისათვის $v^{(j,1)} = v^{(j)}$ კოდური ვექტორია. თუ ნებისმიერი $v^{(j)}$ კოდური ვექტორისთვის (3.1.2)-ის

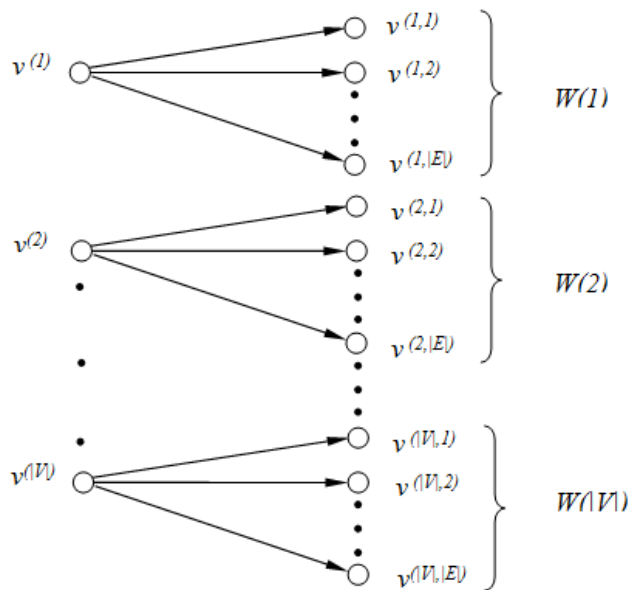
შესაბამისად აღმოჩნდება, რომ $W(1), \dots, W(|V|)$ სიმრავლეები არ იკვეთება, ანუ შესრულებულია

$$W(1) \cap \dots \cap W(|V|) = \emptyset \quad (1.7.3.2)$$

პირობა, მაშინ $V \subset V_n$ კოდი ასწორებს ნებისმიერ შეცდომას ფიქსირებული E სიმრავლიდან; ხოლო, თუ ასევე სრულდება

$$W(1) \cup \dots \cup W(|V|) = V_n \quad (1.7.3.3)$$

პირობა, მაშინ V კოდი E შეცდომების გამსწორებელი სრულყოფილი კოდი.²³



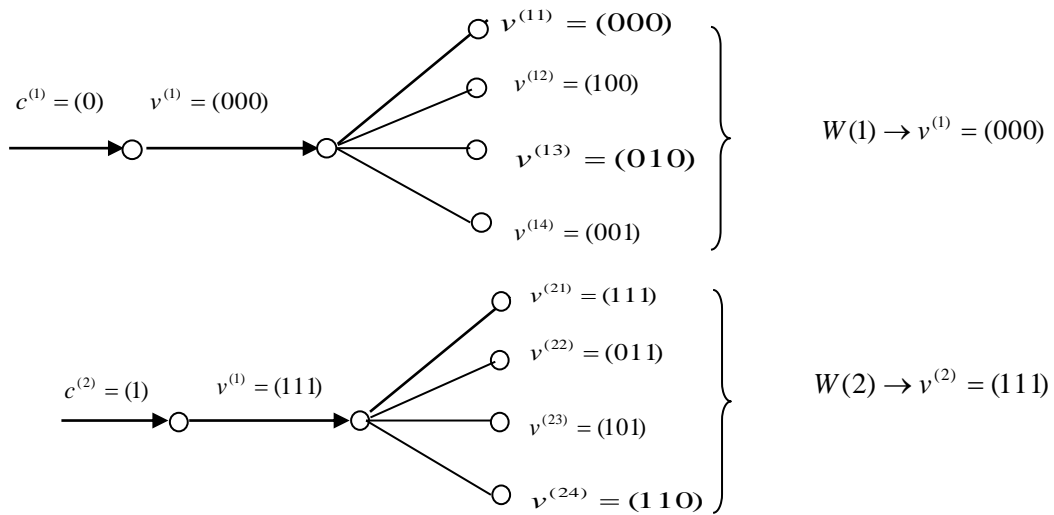
სურ.12. ფიქსირებული E სიმრავლის შეცდომების გასწორება.

კოდურ ვექტორებზე E შეცდომების ზემოქმედებასა და (1.7.3.1) გამოსახულებით გათვალისწინებული $W(j)$ სიმრავლეების წარმოქმნას წარმოაჩენს სურ. 12. ყოველი $W(j)$ სიმრავლე შეიცავს ერთადერთ $v^{(j)}$ კოდურ ვექტორს. ამიტომ, თუ შესრულებულია (1.7.3.2) პირობა, მაშინ ერთ-ერთი $W(j)$ სიმრავლე $v(i, j) \in W(j)$ ვექტორის შესაბამისად აღადგენს $v^{(j)}$ კოდურ ვექტორს. ამისათვის საჭიროა $W(j)$ სიმრავლეების ჩაწერა-დაფიქსირება დეკოდერის მეხსიერებაში, რაც, თეორიულად მაინც, ყოველთვის განხორციელებადია [17].

მაგალითი 1. განვიხილოთ კოდირების უმარტივესი შემთხვევა ორობითი ველისთვის. ვთქვათ, $k = 1$, $n = 3$, ე.ი. $|V_k| = 2$, $|V_n| = 8$ და $t = 1$. ამ შემთხვევაში გვაქვს

²³ უნდა აღინიშნოს, რომ კოდის ეფექტურობის შეფასების შესახებ არსებობს სხვა პარამეტრული თვისებების გამოვლენის კრიტერიუმებიც.

სულ ორი შეტყობინება $c^{(1)} = (0)$, $c^{(2)} = (1)$, ორი კოდური ვექტორი, ვთქვათ, $v^{(1)} = (000)$, $v^{(2)} = (111)$ და შეცდომების ვექტორთა $E = \{(000), (100), (010), (001)\}$ სიმრავლე. კოდირების სისტემას აქვს 3.3 სურათზე მოცემული სახე.



სურ. 13. სრულყოფილი კოდის მაგალითი.

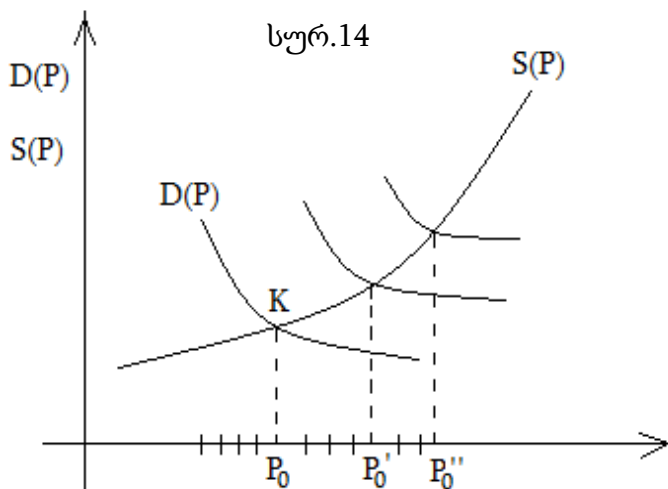
$V = \{(000), (111)\}$ კოდი ასწორებს ერთჯერად ყველა შეცდომას, რადგან $W(1) \cap W(2) = \emptyset$.

ვთქვათ, $v^{(1)} = (000)$ კოდური ვექტორის არხში გადაცემისას მოხდა $e^{(3)} = (010)$ შეცდომა, მაშინ მიმღებ მხარეზე მივიღებთ $v^{(13)} = (000) \oplus (010) = (010)$ ვექტორს. დეკოდერის მეხსიერებაში დამახსოვრებულია მიღებულ ვექტორთა შესაძლო $W(1)$ და $W(2)$ სიმრავლეები. დეკოდერი $v^{(13)} = (010)$ ვექტორის $W(1)$ და $W(2)$ სიმრავლეებთან შედარებების შედეგად აღმოაჩენს, რომ $v^{(13)}$ ვექტორი ეკუთვნის $W(1)$ სიმრავლეს და მიიღებს გადაწყვეტილებას, რომ გადაცემულია $v^{(1)}$ კოდური ვექტორი. კოდი სრულყოფილია, რადგან მოცემული ერთჯერადი ($t=1$) E შეცდომებისათვის მიღებულ ვექტორთა შესაძლო სიმრავლეების გაერთიანება $W(1) \cup W(2) = V_3$.

განხილული კოდი სრულყოფილია, და გარკვეული კრიტერიუმით ოპტიმალურიც. კოდების სინთეზისა და ანალიზის საკითხები არა მარტო კოდის

სრულყოფისათვის გამოიყენება, არამედ მართვის პროცესში ოპტიმალური გზების პოვნისა და შესაბამისი პარამეტრების კვლევაშიც.

ოპტიმიზაციის ამოცანა თავის მხრივ მრავალწახნაგოვანია და მოიცავს ისეთ საკითხების გადაწყვეტას, როგორც არის კლასიფიკაცია, კლასტერიზაცია, იდენტიფიკაცია და სხვა. სადისერტაციო ნაშრომში ამოცანა დასმულია შემდეგნაირად. მაგალითად, განიხილება ერთი საქონლის ბაზრის სივრცე, სადაც ორ მხარეს შორის ვაჭრობის შედეგად ხდება გარიგება (მორიგება), ე.ი. კონსენსუსის მიღწევა და ოპტიმალური გადაწყვეტილების მიღება აღნიშნული ბაზრის პირობებში. შემოთავაზებულია შესაბამისი მათემატიკური მოდელი - ქსელური („ობობას ქსელის“ მაგვარი. Аллен «математическая экономия» 1963წ. მოსკოვი). [17] ამ გამოცდილ მეთოდს ჩვენ გამოვიყენებთ სწავლების პროცესში, სადაც იგივე პროცესი მიმდინარეობს მხოლოდ ლექტორსა და სტუდენტს (ან მასწავლებელსა და მოსწავლეს) შორის. ხოლო მოთხოვნა მიწოდების პროცესი განიხილება ასათვისებელი და ათვისებული მასალის მიხედვით.



ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაჭრისათვის გამოყენებულია კოდირების თეორიის მათემატიკური აპარატი. კერძოდ, გადახრების (ოპტიმუმის K წერტილიდან) ანუ შეცდომების, ლოკალიზაციისა და გასწორებისათვის გამოყენებულია ე.წ. არითმეტიკული კოდი.

1.8. ჭარბი სტრუქტურები და საინფორმაციო სისტემების საიმედოობა

სიჭარბე ყველგან - საიმედოობის საწინდარია. მაგალითად, ბიოლოგიურ სტრუქტურებში, ჩვენს ორგანიზმში (2 თვალი, 2 თირკმელი, უზარმაზარი სიჭარბე ნეირონებისა თავის ტვინში და ა.შ.)

40-იან წლებში XX საუკუნის ცნობილმა ამერიკელმა მეცნიერმა ინფორმაციის თეორიის ერთ-ერთმა შემოქმედმა (თუმცა მეცნიერების ამ დარგს საფუძველი უფრო ადრე ჩაეყარა) კლოდ შენონმა თავისი ცნობილი თეორემით დაგვანახა, რომ არასაიმედო არხი (გარემო) გადაცემის საიმედოობას არ ზღუდავს, იზრდება მხოლოდ დრო გადაცემისა. ეს ნიშნავს იმას, რომ სიჭარბის შეტანით გადასაცემ ინფორმაციაში (შეტყობინებაში) უზრუნველყოფენ საიმედოობას (მდგრადობას, სტაბილობას) [45]. და ეს დებულება ზოგადობის გამო ვრცელდება არა მარტო ინფორმაციულ სისტემებზე, არამედ სოციუმზეც, ბიოლოგიურ სტრუქტურებზე, პოლიტიკაზე და ა.შ. ბოლო გარემოება შემდგომში იქნა დადგენილი, როდესაც გაირკვა, რომ კოდირება როგორც ასეთი არ არის მხოლოდ შეცდომების გასწორების მათემატიკური მოდელი, არამედ არის ორგანიზაციისა და მართვის ზოგადი მოდელი [22].

განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითი. გამარტივებისათვის ავიღოთ ორობითი მიმდევრობები და სიმეტრიული შეცდომები, $1 \rightarrow 0$ და $0 \rightarrow 1$ „გადასვლებით“ (დამახინჯებებით), რომელთა ალბათობა თანაბარია. დავუშვათ, რომ არხში უნდა გადაიცეს სამთანრიგიანი ორობითი მიმდევრობები:

$$a_0 = 000, a_1 = 001, a_2 = 010, a_3 = 011, a_4 = 100, \\ a_5 = 101, a_6 = 110, a_7 = 111.$$

ხოლო არხში ადგილი აქვს ერთეულოვან გადახრებს (შეცდომებს), რომლებიც მოქმედებენ თანაბარი ალბათობით ყოველ თანრიგზე. მათ შეუძლიათ დაამახინჯონ გადაცემული სამი თანრიგიდან ერთი-ერთი. ზემოხსენებული დებულების თანახმად შესაბამისი სიჭარბის შეტანით შეიძლება სისტემის საიმედოობის (მდგრადობის) გაზრდა. მართლაც, თუ გარკვეული წესით დავუმატებთ საწყის 3-თანრიგის შეტყობინებას $a_i (i = \overline{0,7})$ ჭარბ (დამატებით) 4 ორობით თანრიგებს, შესაძლებელი ხდება ყველა ერთეულოვანი შეცდომის აღმოჩენა (ლოკალიზაცია) და გასწორება (კორექცია). ასეთ სტრუქტურებს მაკორექტირებელი, ჭარბი ანუ კოდური

სტრუქტურები ეწოდება [27].

ახლად აგებული (დაკოდირებული) მიმდევრობები უნდა აკმაყოფილებდნენ პირობას: მანძილი მათ შორის (ნებისმიერ - ორ მიმდევრობას (ვექტორს) შორის არ უნდა იყოს ნაკლები d -ზე. ერთი შეცდომის გასწორების შემთხვევაში $d \geq 2t \oplus 1$. (შეკრება - mod 2, ე.ი. ის რაც იყოფა 2-ზე ნულის ტოლია). t - შეცდომათა რაოდენობაა. ჩვენს შემთხვევაში მივიღებთ კოდური მანძილის მნიშვნელობას

$$d \geq 2t \oplus 1 \geq 3.$$

შემდეგ ეტაპზე d - კოდური მანძილის გათვალისწინებით საჭიროა ავაგოთ ჭარბი კოდური სტრუქტურა, რომელიც გაასწორებს (და აღმოაჩენს) ყველა ერთეულოვან შეცდომას. ცხადია ჩვენ ვიხილავთ ორობით სისტემას.

ავაგოთ შესაბამისი ჭარბი სტრუქტურა - ყველა ერთეულოვანი შეცდომების მაკორექტირებელი (7,3) - კოდი, სადაც:

3 - საწყისი (ინფორმაციული) თანრიგია;

4 - საკონტროლო (ჭარბი, დამატებითი) თანრიგი.

გამომდინარე ზემოხსენებულიდან ავაგოთ (7,3) - კოდის მაკოდირებელი ოპერატორი (3X7) - მატრიცა $|E_k B|$

$$L = |E_k B|$$

სადაც $E_k (k = 3)$ არის ერთეულოვანი (3X3) მატრიცა, B ნაწილი წარმოადგენს ისეთ 4-თანრიგიან ორობით მიმდევრობებს, რომ L მატრიცის სტრიქონებს შორის კოდური მანძილი აკმაყოფილებს პირობას

$$d \geq 3.$$

ამრიგად, მაკოდირებელი მატრიცა L მაკორექტირებელი (7,3) კოდისთვის ჩაიწერება

$$L = \begin{vmatrix} 100 & 0101 \\ 010 & 0011 \\ 001 & 1101 \end{vmatrix},$$

ხოლო დეკოდირების მატრიცას ცალსახად მივიღებთ L - იდან

$$H = \begin{bmatrix} B \\ E_r \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 0101 \\ 0011 \\ 1101 \\ 1000 \\ 0100 \\ 0010 \\ 0001 \end{bmatrix},$$

სადაც r - დამატებითი (ჭარბი) თანრიგების რაოდენობა იქნება

$$r=n-k=4.$$

აქ n - კოდური მიმდევრობის (კოდური ვექტორის, კოდური სიტყვის) საერთო სიგრძეა, დამატებული თანრიგის გათვალისწინებით, m - საწყისი შეტყობინება თანრიგების რაოდენობაა.

მაკორექტირებელი (7,3) - კოდი არის L - მატრიცის სტრიქონების სივრცე, ანუ ამ სტრიქონების $\text{mod } 2$ ჯამების ერთობლიობა ნულოვანი მიმდევრობის $g_0 = (0000000)$ ჩათვლით [34].

ამრიგად მივიღეთ (7,3) - კოდი G .

$$G = \begin{Bmatrix} 100 & 0101 \\ 010 & 0011 \\ 001 & 1101 \\ \text{---} & \text{---} \\ 110 & 0110 \\ 101 & 1000 \\ 011 & 1110 \\ 111 & 1011 \end{Bmatrix}$$

არსებითად კი მოხდა V^7 ორობითი $n=7$ - განზომილებიანი ვექტორების სივრცის სტრუქტურის აღიარება, ანუ დაყოფა (ფაქტორიზაცია) $t=7$ ურთიერთგადამკვეთ, მოსაზღვრე კლასებად, სადაც ყოველი კლასის მაწარმოებელი ელემენტებია თვით ერთეულოვანი ხელშეშლები $e_i \in E$, სადაც i გაირბენს მნიშვნელობებს 1-დან 7-მდე, ე.ი. $e_i \in E (i = \overline{1,7})$.

მაშასადამე სიჭარბის $r=n-k$ აგება განხორციელდა ყველა ერთეულოვანი გადახრების („ნორმიდან“), ე.ი. ოპტიმუმის (წონასწორობის) წერტილიდან გადახრების, ე.ი. დამახინჯება-ხელშეშლების აღმოჩენა - ლოკალიზაციისა და მათი გასწორება-კორექციისათვის. როგორც ვხედავთ L და H მატრიცები ურთიერთ-

კავშირშია - ურთიერთორთოგონალურია, ე.ი. $LH=0$ და მათი აგება ძალიან მარტივია. ამით ჩვენ მოვახდინეთ:

- 7-განზომილებიან ორობით სივრცეში (ვექტორული V^7 სივრცეში) გადასვლა და გვაქვს ვექტორული V^7 სივრცე $GF(2)$ ველზე (კოდური ვექტორების ელემენტები არის 0 ან 1);
- აგებული ჭარბი სტრუქტურა გვაძლევს საშუალებას მოვახდინოთ V^7 ვექტორული სივრცის ორგანიზაცია გარკვეული წესით;
- აღნიშნული ორგანიზაცია (სტრუქტურიზაცია) იძლევა საშუალებას ერთეულოვანი (ყველა 7 თანრიგის) დამახინჯების კორექციისათვის;

ამრიგად, მივიღეთ ვექტორული V^7 სივრცის $GF(2)$ ველზე - $2^7=128$ მიმდევრობის (ვექტორის) შემდეგი სტრუქტურიზაცია - ორგანიზაცია, რომლის საფუძველს წარმოადგენს L მატრიცის სტრიქონების მოდულით 2 ჯამები (mod2 ჯამი, რაც აღინიშნება \oplus - ნიშნით),

გვაქვს მაკორექტირებელი ერთეულოვანი შეცდომების გამასწორებელ (7,3) - კოდი, სადაც:

e_i - ერთეულოვანი შეცდომის ორობითი გამოსახულებაა „1“-ით i - ურ თანრიგში, ხოლო დანარჩენი „0“ - ებით;

G - კოდი (L – მატრიცის სტრიქონების სივრცე);

M - დეკოდირების მატრიცა;

t - ერთეულოვანი შეცდომების რიცხვი.

აღნიშნული ოპერაცია თავის მხრივ ნიშნავს V^7 სივრცის დაყოფას $t = 7$ ურთიერთარამკვეთ მოსაზღვრე კლასებად, თითოეული კლასი წარმოადგენს შემდეგ mod 2 ჯამს

$$e_i \oplus \{G\} \quad (i = \overline{1,7}).$$

<u>$e_0=000\ 0000$</u>	<u>$e_1=100\ 0000$</u>	<u>$e_2=010\ 0000$</u>	<u>$e_3=001\ 0000$</u>	<u>$e_4=000\ 1000$</u>
100 0101	000 0101	110 0101	101 0101	100 1101
010 0011	110 0011	000 0011	011 0011	010 1011
001 1101	101 1101	011 1101	000 1101	001 0101
<u>110 0110</u>	<u>010 0110</u>	<u>100 0110</u>	<u>111 0110</u>	<u>110 1110</u>
101 1000	001 1000	111 1000	100 1000	101 0000
011 1110	111 1110	001 1110	010 1110	011 0110
111 1011	011 1011	101 1011	110 1011	111 0011
	<u>$e_5=000\ 0100$</u>	<u>$e_6=000\ 0010$</u>	<u>$e_7=000\ 0001$</u>	
	100 0001	100 0111	100 0100	
	010 0111	010 0001	010 0010	
	011 1001	001 1111	001 1100	
	<u>110 0010</u>	<u>110 0100</u>	<u>110 0111</u>	
	101 1100	101 1010	101 1001	
	011 1010	011 1100	011 1111	
	111 1111	111 1001	111 1010	

როგორც უკვე აღინიშნა ზემოთ L და H მატრიცების აგება უზრუნველყოფს V^7 სივრცის სათანადო ორგანიზაციას, ანუ ფაქტობრივად რვა (7+1) მოსაზღვრე კლასად დაყოფას და e_i შეცდომის, ე.ი. კლასის მაწარმოებელი ელემენტის სახით წარმოდგენას. $e_0 = (000\ 0000)$ - ნულოვანი კლასის ანუ კოდური სიმრავლის ლიდერია. იმავდროულად H მატრიცა ახდენს კლასების ცალსახა დამისამართებას - იდენტიფიკაციას: e_i - რი შეცდომების (i - ური კლასის ლიდერის) ნამრავლი M -ზე გვაძლევს $e_i H = s_i$ „სინდრომს“, ანუ i - ური კლასის შეკუმშულ სახეს, იდენტიფიკატორს, რომელიც ცალსახად მიუთითებს e_i ($i = \overline{0,7}$) გადახრაზე. ამით უზრუნველყოფილია e_i შეცდომის ცალსახა ლოკალიზაცია და იდენტიფიკაცია, ხოლო შემდეგ მისი კორექცია - გასწორება.

(7.3) - მაკორექტირებელი კოდის შემთხვევაში, როდესაც $n = 7, k = 3, r = 4$ ზემოთხსენებული სტრუქტურის შედეგად მივიღებთ შემდეგ სინდრომებს - კლასების იდენტიფიკატორებს

$$S_0 = e_0H = (000\ 0000)H = 000\ 000.$$

$$S_1 = e_1H = (100\ 0000)H = (100\ 0000) \begin{vmatrix} 0101 \\ 0011 \\ 1101 \\ 1000 \\ 0100 \\ 0010 \\ 0001 \end{vmatrix} = 0101.$$

$$S_2 = e_2H = (010\ 0000)H = (010\ 0000) \begin{vmatrix} B \\ e_r \end{vmatrix} = 0011.$$

$$S_3 = e_3H = (001\ 0000)H = (001\ 0000) \begin{vmatrix} B \\ e_r \end{vmatrix} = 1101.$$

$$S_4 = e_4H = (000\ 1000)H = (000\ 1000) \begin{vmatrix} B \\ e_r \end{vmatrix} = 1000.$$

$$S_5 = e_5H = (000\ 0100)H = (000\ 0100) \begin{vmatrix} B \\ e_r \end{vmatrix} = 0100.$$

$$S_6 = e_6H = (000\ 0010)H = (000\ 0010) \begin{vmatrix} B \\ e_r \end{vmatrix} = 0010.$$

$$S_7 = e_7H = (000\ 0001)H = (000\ 0001) \begin{vmatrix} B \\ e_r \end{vmatrix} = 0001.$$

კლასებისა და შეცდომების იდენტიფიკატორები (სინდრომები) განსხვავებულია, ესე იგი შეცდომების ლოკალიზაცია - გარჩევა ხდება ცალსახად. კლასები არ იკვეთება და e_i - ურ კლასის ნებისმიერი ელემენტის ნამრავლი H -ზე, ესე იგი სინდრომი ყველა კლასისთვის განსხვავებულია და უდრის S_i ($i = \overline{0,7}$).

შევამოწმოთ:

ნულოვანი კლასის ელემენტის ნამრავლი H -ზე, არის 0-ის ტოლი, რადგან იგი H მატრიცის ბირთვის ელემენტია. (შეცდომები - გადახრები არ არის)

$$\text{მაგალითად: } (010\ 0011) \begin{vmatrix} B \\ E_r \end{vmatrix} = 0000 = S_0.$$

სხვა კლასების ელემენტების ნამრავლი M -ზე შესაბამისი S_i -ური სინდრომის ტოლია. მაგალითად, ავიღოთ მე-3 კლასის მესამე ელემენტი და გავამრავლოთ M -ზე:

$$S_2 = e_1 H = (011\ 1101)H = (011\ 1101) \begin{array}{|c|} \hline 0101 \\ 0011 \\ 1101 \\ 1000 \\ 0100 \\ 0010 \\ 0001 \\ \hline \end{array} = 0011.$$

მართლაც, S_2 სინდრომი მიგვანიშნებს მე-3 კლასზე და შეცდომაზე მე-2 თანრიგში. ამრიგად, შეცდომა $e_2 = (010\ 0000)$ ლოკალიზებულია და მისი გასწორებისათვის საჭიროა განვახორციელოთ მიღებული მიმდევრობის მე-2 თანრიგში „1“-ის „0“-ით შევლა, ან რაც იგივეა მოდულით 2 მიმატება „1“-ს მე-2 თანრიგში

$$\begin{array}{r} 011\ 1101 \\ \oplus 010\ 0000 \\ \hline 001\ 1101 \end{array}$$

ეს კი - გასწორებული კოდური სიტყვაა. შეცდომის ლოკალიზაცია და გასწორება მიღებულია გარკვეული ფორმით: ორგანიზაციის ჩატარებით - სიჭარბის შეტანით საწყის შეტყობინებებში [25].

1.9. მაკორექტირებელი კოდის აგების ზოგადი მეთოდი შეცდომათა კონკრეტული სიმრავლის კორექციისათვის

მაგალითად, მოცემულია შეცდომების კონკრეტული საწყისი სიმრავლე:

$$a_0 = (00000); a_1 = (01100); a_2 = (00010); a_3 = (11100); a_4 = (01111);$$

$$a_5 = (00101)$$

ავაგოთ დამისამართების ისეთი მატრიცა M ($n \times r$) ზომის, რომელიც a_i ($i = \overline{0,5}$) ჩანაწერებს შეუსაბამებს ცალსახა მისამართებს (სინდრომებს), ესე იგი გაასწორებს ზემოთ ჩამოთვლილ შეცდომათა კონკრეტულ სიმრავლეს და გამოიყენებს ამ სიმრავლისთვის მხოლოდ საჭირო სიჭარბეს. ამისათვის განვახორციელოთ კოდის აგების შემდეგი ალგორითმი:

1. ვიპოვოთ mod 2 წყვილი ჯამები მოცემული a_i ($i = \overline{0,5}$) ჩანაწერებისათვის

W_0	W_1	W_2	W_3	W_4
01100				
00010	01110			
11100	10000	11110		
00101	01001	00111	11001	
01111	00011	01101	10011	01010

2. გამოვყოთ $W(j)$ სიმრავლეები „1“-ით j - ურ თანრიგში და „0“- ებით მარჯვენა თანრიგებში

$W(5)$	$W(4)$	$W(3)$	$W(2)$	$W(1)$
00101	00010	11100	\emptyset	10000
01111	00110	01100		
01001	11110			
00011	01010			
00111				
01101				
11001				
10011				

3. გამოვრიცხოთ „1“ j - ურ თანრიგში

$W'(5)$	$W'(4)$	$W'(3)$	$W'(2)$	$W'(1)$
00100	00000	11000	\emptyset	10000
01110	01100	01000		
01000	11100			
00010	01000			
00110				
11000				
01100				
10010				

4. ავსოთ დამისამართების მატრიცა H , რომელსაც ექნება მინიმალური r რანგი (სვეტების რაოდენობა), მაშინ, როდესაც სიმრავლე ცარიელია (\emptyset) შეიძლება ავირჩიოთ ნებისმიერი სტრიქონი სხვა შემთხვევებში ვეცადოთ „1“ იყოს ასაგები H მატრიცის უკიდურეს მარჯვენა პოზიციაში. შემოთავაზებული ალგორითმის შესაბამისად H მატრიცის სტრიქონი იქნება:

$$\begin{aligned} m_1 &= (00\ 001) \\ m_2 &= (00\ 001) \\ m_3 &= (00\ 001) \\ m_4 &= (00\ 001) \\ m_5 &= (00\ 001) \end{aligned}$$

გამოვრიცხავთ რა „0“ - იან სვეტებს, მატრიცა H ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$H = \begin{pmatrix} 001 \\ 000 \\ 010 \\ 001 \\ 100 \end{pmatrix}$$

კლასების (შეცდომების, გადახრების) იდენტიფიკატორები - სინდრომები იქნება

$$S_0 = a_0 H = (00\ 000)H = 000.$$

$$S_1 = a_1 H = (01\ 100)H = 010.$$

$$S_2 = a_2 H = (00\ 010)H = 001.$$

$$S_3 = a_3 H = (11\ 100)H = 011.$$

$$S_4 = a_4 H = (01\ 111)H = 111.$$

$$S_5 = a_5 H = (00\ 101)H = 110.$$

აქაც იგივეა: მოხდა V^5 სივრცის ურთიერთარამკვეთ მოსაზღვრე კლასებად დაყოფა - ფაქტორიზაცია G (კოდური სიმრავლის) მიხედვით, სადაც i - ური კლასის a_i ($i = \overline{0,5}$). ლიდერია (წარმომქმნელი) H მატრიცა ცალსახად გაარჩევს $2^5=32$ ელემენტიდან $a_i \in A$ ელემენტებს. ამრიგად ჩვენ მივიღეთ V^5 , ე.ი. 5 - განზომილებიანი სივრცის ორგანიზაცია და მოცემული საწყისი მიმდევრობების (ჩანაწერების) ცალსახა იდენტიფიკაცია. მოხდა a_i - ური ობიექტების (ვექტორების) $i = \overline{1,5}$ ორგანიზაცია

გარკვეული წესით არსებული (და არა დამატებით შემოტანილი) სიჭარბის გამოყენებით, ხოლო სინდრომები $S_i = (i = \overline{1,5})$ წარმოადგენენ მოცემული ობიექტების შეკუმშულ სახეებს (მათ მოკლე - შეკუმშულ იდენტიფიკატორებს), ამ შემთხვევაში $r \ll n$. ცხადია ეს სხვაობა მკვეთრად გამოჩნდება რეალური ობიექტების იდენტიფიკაციის დროს, მათი დიდი რაოდენობისა და მიმდევრობათა (a_i) დიდი სიგრძეების პირობებში.

ამრიგად L და H მატრიცების აგებისა და სინდრომების გამოთვლის, ე.ი. V^n სივრცის ორგანიზაციის (სტრუქტურის) შემდეგ, ხდება მოცემული ობიექტების იდენტიფიკაცია და საბოლოო სახით წარმოადგენა - ანუ ხორციელდება მართვა.

I თავის დასკვნა:

მოცემულ თავში განხილული იყო ინფორმაციის ზოგადი მიმოხილვა, მისი სტრუქტურული ნაწილის დაკავშირება ინფორმაციული სისტემის აზრობრივ მხარესთან, კომუნიკაციური სისტემების ძირითადი არსი და ოპტიუმის მიღწევა, რაშიც გამოყენებული იქნა კოდური სტრუქტურები, ინფორმაციის ზომა ჰარტლის მიხედვით. აღნიშნული იქნა შეკუმშვის პრობლემის სირთულე და აქტუალობა.

აღნიშნული მიდგომა საკითხისადმი მოგვცემს საშუალებას მოვახდინოთ ზოგადი პოზიციებიდან შეკუმშვის ფენომენის, როგორც ინფორმაციულ ასევე მათემატიკურ კონტექსტში სიღრმისეული შეფასება. განვიხილოთ შეკუმშვის ძირითადი პრინციპები.

თავი II.

ორგანიზაციისა და მართვის პროცესის ოპტიმიზაცია, ინფორმაციული არხი და კომუნიკაციური ხასიათი

2.1. ჭარბი კოდური სტრუქტურების ბაზაზე დაფუძნებული სწავლების თამანდროვე მეთოდები

როგორც ცნობილია, რთული ინფორმაციული სისტემის სტრუქტურა წარმოადგენს მისი ელემენტებისა და მათ შორის არსებული კავშირების ერთობლიობას. თავის მხრივ, ადეკვატური სტრუქტურირება არის სისტემის ორგანიზაციისა და მართვის, მისი ფუნქციონირების ოპტიმიზაციის საფუძველი. იმავდროულად უნდა აღინიშნოს ის გარემოებაც, რომ სისტემის ორგანიზაციისა და მართვის პროცესის ოპტიმიზაცია მოითხოვს შესაბამისი მათემატიკური მოდელის შემუშავებას. ამასთან, ოპტიმუმის მიღწევის თანმიმდევრული პროცესის სპეციფიკის გათვალისწინებით, ოპტიმიზაციის მოდელი ცხადია უნდა იყოს მრავალსაფეხურიანი, რაც გულისხმობს შეთავაზებისა და მოთხოვნების პროცედურების შეჯერება - დაბალანსებას, მათი ფუნქციების შერჩევას.

ზემოხსენებულიდან გამომდინარე მიზანშეწონილია განვიხილოთ ოპტიმუმის მიღწევის ორი სქემა:

- ჭარბი კოდური სტრუქტურების გამოყენებით წონასწორული მდგომარეობიდან გამოსული სისტემის საწყის წონასწორულ მდგომარეობაში დაბრუნება ფიქსირებული გადახრების ლოკალიზაციისა და მათი კორექციის საშუალებით;
- ეგრეთწოდებული „ობობას ქსელის მაგვარი“ მოდელის გამოყენებით შეთავაზებისა და მოთხოვნის ფუნქციების შეჯერება ეტაპობრივი პროცესის გზით, ოპტიმუმის მიღწევით ოპტიმალური გადაწყვეტილების მიღება.

ცხადია, რომ ორივე სქემა არსებითად პასუხობს ოპტიმიზაციის ამოცანის მოთხოვნას, ხოლო რაც შეეხება კოდურ ჭარბ სტრუქტურებს და გადახრების (შეცდომების) ფიქსირებული სიმრავლის ლოკალიზაცია - კორექციისა და ინფორმაციული სიტემების დარღვეული წონასწორული მდგომარეობის აღდგენას,

ჩვენს მიერ დაწვრილებით არის განხილული დისერტაციის მიმოხილვით ნაწილში (პირველ თავში).

კერძოდ, იყო განხილული კოდური ჭარბი სტრუქტურა, რომელიც ახდენდა ლოკალიზაციას და ასწორებდა შეცდომების კონკრეტულ (ფიქსირებულ) სიმრავლეს და სისტემაში აღდგენდა წონასწორობას.

„ობობას ქსელის მაგვარი“ სქემა წარმოადგენს ქსელურ მოდელს [33], რომელიც განიხილავს ერთი საქონლის ბაზრის სივრცეს: აღნიშნული საქონლის მიწოდებისა და მასზე მოთხოვნის ვითარებას. გამყიდველსა და მყიდველს შორის გამართული ვაჭრობის შედეგად ხდება გარიგება (შეთანხმება) ოპტიმალურ ფასზე. რადგან, ზემოხსენებული „ობობას ქსელის მაგვარი“ მოდელი არსებითად არის ზოგადი ხასიათის სქემა და წარმატებით შეიძლება მისი გამოყენება, როგორც არა ანტაგონისტური (მშვიდობიანი) ისე ანტაგონისტური (მტრული) დაპირისპირების პირობებში.

მოდელი იქნა გამოყენებული სწავლების პროცესში ცოდნის ათვისების ხარისხის, აგრეთვე - პედაგოგისა და მოსწავლის სასწავლო პროცესში ჩართულობის კონტროლისათვის.

ამრიგად, ზოგადი თვისებების გამო აღნიშნული მათემატიკური მოდელი შეიძლება დაედოს საფუძვლად საერთოდ დაპირისპირებულ მხარეთა შორის კონფლიქტების მშვიდობიანი გარიგება-შეთანხმების ამოცანას.

სწავლების პროცესში არაანტაგონისტური დაპირისპირების გარდა, არსებობს მრავალი სხვა შინაარსის მქონე, სხვა დონის მხარეთა შორის დაპირისპირება, მათ შორის ანტაგონისტურიც. ასეთებია, მაგალითად, ცნობილი სამხედრო კონფლიქტები ერაყსა და ავღანეთში, სადაც ერთ მხარეს წარმოადგენს საერთაშორისო სამხედრო კოალიცია და მის მიერ ხელდასმული ადგილობრივი ხელისუფლება, ხოლო მეორეს ისლამისტური, ექსტრემისტული ძალები, კერძოდ - „ალქაიდა“ თუ „ხესბალა“. აგრეთვე სირიაში ბასარ ასადის დიქტატორულ რეჟიმს აუმხედრდა ქვეყნის ოპოზიცია. იქ შეიარაღებული კონფლიქტები გრძელდება თითქმის ორი წელიწადი, რასაც მოჰყვა სისხლისღვრა, მრავალი ათასი დაღუპული და მილიონობით გადაადგილებული პირი.

მაგრამ, ბუნებრივია, უფრო გავრცელებულია ყოფითი ხასიათის კონფლიქტები, რომლებიც უმთავრესად გვარდება ურთიერთშეთანხმებით ორივე მხარისთვის მისაღები კომპრომისების გზით. აღნიშნული უარყოფითი კონფლიქტების რიცხვს მიეკუთვნება მხარეთა დაპირისპირება ბინების მფლობელთა და „მდგმურებს“ (დამქირავებლებს) შორის.

კონფლიქტის შინაარსი ძალიან მარტივია: ბინის (სახლის) მფლობელს სურს მდგმურის გასახლება, რაც ფორმალურად, კანონის ძალით, რა თქმა უნდა შესაძლებელია, მაგრამ პრაქტიკულად მრავალი გარემოების გამო, ერთობ ძნელად განსახორციელებელია.

აღნიშნული მოდელი იქნა გამოყენებული სწავლების პროცესში ცოდნის ათვისების ხარისხის, აგრეთვე პედაგოგისა და მოსწავლის ამ პროცესში ადეკვატური ჩართულობის კონტროლისათვის.

ზემოხსენებული მოდელის ზოგადი თვისების წყალობით მიზანშეწონილია კვლევა დაედოს საფუძვლად დაპირისპირებულ მხარეთა კონფლიქტების კონსენსუსით, მშვიდობიანი გარიგების გზით მოგვარების ამოცანას.

მართლაც, ამის ნათელი მაგალითია საერთაშორისო ურთიერთობების სფეროში არსებული ცნობილი კონფლიქტები სირიასა და ავღანეთში, ერაყსა და ისრაელ პალესტინელთა შორის, რომელთა მოგვარების პროცესი მიმდინარეობს დღესაც მსოფლიო თანამეგობრობის აქტიური დიპლომატიური შუამავლობით და ორმხრივი, გონივრული, თანმიმდევრული დათმობების საშუალებით.

ყოფით სფეროში კონფლიქტებისა და დაპირისპირების გადაჭრა უფრო ხშირად სასამართლოს ჩარევითა და შუამავლობით რეგულირდება. ასე, მაგალითად, ქონებრივი დავის მოგვარების დროს სასამართლო კისრულობს შუამავლის როლს, როდესაც დაპირისპირებულ მხარეებს მოსამართლე სთავაზობს გონივრული კომპრომისის შესაძლებლობას და შედეგად - მხარეები ეტაპობრივად მიდიან ოპტიმალური გადაწყვეტილების მიღებამდე, კონფლიქტის მშვიდობიანად გარიგებით გადაჭრამდე.

რამდენადაც დაპირისპირებულ მხარეთა შორის კონფლიქტების კონსენსუსით მოგვარების და ოპტიმალური გადაწყვეტილების მიღების ერთ-ერთი ქმედითი ბერკეტია „ობობას მაგვარი ქსელი“, მიზანშეწონილია უფრო დაწვრილებით განვიხილოთ მისი არსი, რადგანაც მისი მათემატიკური მოდელი ედება

საფუძველად სწავლებისა და აღზრდის საქმეში რთული ინფორმაციული სისტემის მართვის ოპტიმიზაციას.

„ობობას მაგვარი“ ქსელური მოდელი ეკონომიკაში ასახავს ერთი საქონლის ბაზრის სივრცეში გამყიდველის (მიწოდების) და მყიდველის (მოთხოვნის) მხარეთა ინტერესების დაპირისპირებას, რომლის დროსაც, ვაჭრობის შედეგად ხდება ორივე მხარისთვის მისაღებ ანუ მათთვის ოპტიმალურ ფასზე შეთანხმება.

შესაბამისად, დაპირისპირებული მხარეების მშვიდობიანი შეთანხმების მოდელი ემყარება ერთი საქონლის ბაზრის ეკონომიკური სივრცის ანალიზს. [1, 33].

სწავლების პროცესში კი ერთ-ერთი გადამწყვეტი როლი ენიჭება ცოდნის ათვისების საკითხებს და, შესაბამისად, მისი მართვის პროცესის ოპტიმიზაციას.

თუ განვიხილავთ რ. ალენის მოდელს ერთი საქონლის ბაზრის პირობაზე, მაშინ შესყიდული და გაყიდული (მოთხოვნილი - მიწოდებული) საქონლის რაოდენობა და ფასი იქნება ცვლადები, ხოლო სწავლების პროცესში კი - ცოდნის მიწოდება და ათვისება.

მოდელის ანალიზისათვის განვიხილოთ ქვემოთ წარმოდგენილი მაგალითი, სადაც P საქონლის ფასია.

ანალოგიური ტიპის ამოცანებში საჭიროა მოიძებნოს ის ოპტიმალური მნიშვნელობა, რომლისთვისაც მიიღწევა წონასწორობა. ასეთი სიდიდეები ავღნიშნოთ სიმბოლოს თავზე პატარა ხაზით. მაგალითად - ფასი წონასწორობის პირობებში \bar{P} . წონასწორობის პირობებში ფასის გადახრა მისი მნიშვნელობიდან ავღნიშნოთ $p = P - \bar{P}$.

ცვლადები ასახავს დროში ცვლილებას. დისკრეტულ ანალიზში დროის მიმდევრობითი ინტერვალი აღნიშნულია $t = 0, 1, 2, \dots, t$, ხოლო შესაბამისი ცვლადების მნიშვნელობები - ქვედა ინდექსებით (მაგალითად, ფასის მნიშვნელობა - $P_0, P_1, \dots, P_t, \dots$). მიმდევრობის ინტრვალის ათვლა იწყება საწყისი მომენტიდან, მაგრამ ყველაფერი მარტივი იქნება თუ მიმართულებას საწინააღმდეგოდ შევცვლით.

თუ t - დროის მიმდინარე მომენტია, მაშინ $(t - 1)$ - წინაა, ხოლო $(t - 2)$ - წინასთან დამოკიდებულებაში წინა (ანუ წინას წინა) და ასე შემდეგ საწყის მომენტამდე 0-მდე. მიმდინარე მომენტში ფასი იქნება P_t , წინა პერიოდში P_{t-1} და ასე შემდეგ - P_0 საწყის ფასამდე.

შემდეგი დასაშვები მიდგომა დაფუძნებულია უწყვეტ ანალიზზე, სადაც დრო იცვლება უწყვეტად. ცვლადი t აღნიშნავს დროს, $t = 0$ შეესაბამება საწყის მომენტს, $t > 0$ - შემდეგ მომენტს. ამ შემთხვევაში ცვლადი გვევლინება როგორც დროის ფუნქცია. მაგალითად - ფასი $P(0)$ - დან $t(t \geq 0)$ მომენტისათვის იქნება $P(t)$, როგორც საწყისი მნიშვნელობა $t = 0$ მომენტისათვის. $P(t)$ ტიპის ფუნქციები ხშირად გამოიყენება როგორც უწყვეტი ფუნქციები, მაგრამ სინამდვილეში ისინი შეიძლება წარმოგვიდგეს, როგორც საფეხუროვანი ფუნქციები.

განსხვავებას დისკრეტულ და უწყვეტ ანალიზს შორის მივყავართ იქამდე, რომ პირველ (ანუ დისკრეტულ) შემთხვევაში დრო იყოფა ცალკეულ ნაწილებად, ხოლო მეორე (უწყვეტ) შემთხვევაში ხდება მისი უწყვეტი ცვლილება. არ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ასეთი ცვლადი, როგორც ფასი, აუცილებლად შეიცვლება შეუფერხებლად ან უწყვეტად.

ცვლადები დაკავშირებულია ფუნქციონალური დამოკიდებულებით, რომელთა რიცხვს მიეკუთვნება ზოგიერთი მუდმივა და პარამეტრი. ისინი ავლნიშნოთ შესაბამისი სიზუსტით. მაგალითად პარამეტრებად გამოგვადგება ზრდის ტემპი, რომელიც შეგვიძლია ავლნიშნოთ: r - უცვლელი ან ρ - თი კი ცვლადი. ჩვეულებრივ ისინი, ურთიერთ დამოკიდებულებიდან გამომდინარე, შეიძლება იყოს წრფივი, ან კიდევ, გამონაკლის შემთხვევაში აპროქსიმაციული მიმდევრობა. შემდგომში წრფივი მოდელისათვის გამოვიყენებთ მუდმივების ერთმნიშვნელოვან აღნიშვნას: ლათინური ასოები (ქვედა ინდექსებით) გამოიყენება ცვლადების კოეფიციენტების ასაღნიშნავად, ბერძნული - უცვლელი მნიშვნელობებისათვის. დისკრეტულ ანალიზში მოთხოვნის წრფივ ფუნქციას, სადაც მოთხოვნა დამოკიდებულია ფასზე დროის მიმდინარე მომენტში და შეიძლება იყოს დამოკიდებული წინა პერიოდების ფასზე - ექნება შემდეგი სახე:

$$D_t = \alpha + aP_t$$

ან

$$D_t = \alpha + a_0P_t + a_1P_{t-1}$$

ან

$$D_t = \alpha + a_0P_t + a_1P_{t-1} + a_2P_{t-2}$$

და ასე შემდეგ.

შევნიშნოთ, რომ მისაღებია ჩავწეროთ $D_t = \alpha + aP_t$ იმ შემთხვევაშიც კი როცა a უარყოფითია და $D_t = \alpha - aP_t$ იმ შემთხვევაში, როცა a დადებითია. ანალოგიური აღნიშვნები შეიძლება გამოვიყენოთ უწყვეტ ანალიზშიც. ასე მაგალითად:

$$D_t = \alpha + aP_t$$

$$D_t = \alpha + a_0P(t) + a_1 \frac{d}{dt}P(t)$$

და ასე შემდეგ.

ეს მოდელი უნივერსალურია და მისი გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერ დაპირისპირებულ მხარეთა შეთანხმებისათვის. ამ მოდელის თანახმად დაპირისპირებულია მყიდველი და გამყიდველი, ხოლო ამოცანის მიზანია ისეთი გარიგების მიღწევა, როდესაც ორივე მხარე თანაბრად იქნება დაკმაყოფილებული ანუ ადგილი ექნება წონასწორობას ბაზარზე, ე.ი. შემოტანილი საქონელი მთლიანად გაიყიდება ოპტიმალურ ფასში [32].

დავახასიათოთ ერთი საქონლის ობობასმაგვარი მოდელი ბაზარზე მოთხოვნის და მიწოდების ფუნქციებით.

ვთქვათ, ერთი რომელიმე საქონლის ბაზარი ხასიათდება მოთხოვნის და მიწოდების ფუნქციებით.

$$D=D(P); S=S(P)$$

სადაც P როგორც ავღნიშნეთ საქონლის ფასია.

ბაზრის წონასწორობისათვის საჭიროა შესრულდეს პირობა (ანუ ფასი უნდა იყოს ისეთი, რომ საქონელი გაიყიდოს).

$$D(P)=S(P).$$

წონასწორობის კონსენსუსის ფასი \bar{P} მოცემულია ამ განტოლებით, მას შესაძლებელია ჰქონდეს მრავალი ამოხსნა. შესაბამისად გაყიდული და შესყიდული საქონლის რაოდენობრივი მოცულობა, რომელიც აღინიშნება \bar{X} - აქედან გამომდინარე:

$$\bar{X} = D(\bar{P}) = S(\bar{P}).$$

დისკრეტული ანალიზის უმარტივეს მოდელს მიეკუთვნება უცვლელი დაგვიანება (ან ჩამორჩენა) ერთი ინტერვალით

$$D_t=D(P_t) \text{ და } S_t=S(P_{t-1})$$

ეს შეიძლება მოხდეს მაშინ, როცა განხილული საქონლის წარმოებისთვის საჭიროა დროის განსაზღვრული პერიოდი. აღნიშნული გარემოება შეიძლება განვიხილოთ შემდეგი სქემით. თუ გვეცოდინება წინა ვაჭრობის ფასი P_{t-1} მიმდინარე ბაზარზე საქონლის მიწოდება განისაზღვრება $S_t=S(P_{t-1})$ ფუნქციით. P_t ფასი უნდა ჩამოყალიბდეს ისეთნაირად, რომ გაყიდული იქნეს შემოტანილი საქონლის მთელი მოცულობა.

P_t ფასი და შემოტანილ-გაყიდული საქონლის მოცულობა X_t ხასიათდება განტოლებით:

$$X_t=D(P_t)=S(P_{t-1})$$

მაშასადამე, თუ გვეცოდინება საწყისი ფასი P_0 , ამ განტოლების გამოყენებით შესაძლებელია განვსაზღვროთ P_1, X_1 , შემდეგ გავიგებთ რა P_1 შეიძლება განვსაზღვროთ P_2, X_2 და ასე შემდეგ. ზოგადად, P_t ფასის ცვლილება ხასიათდება სხვაობითი განტოლებით

$$D(P_t)=S(P_{t-1})$$

ამ განტოლების ამოხსნა შესაძლებელია, როგორც გრაფიკული, ისე ანალიზური მეთოდით.

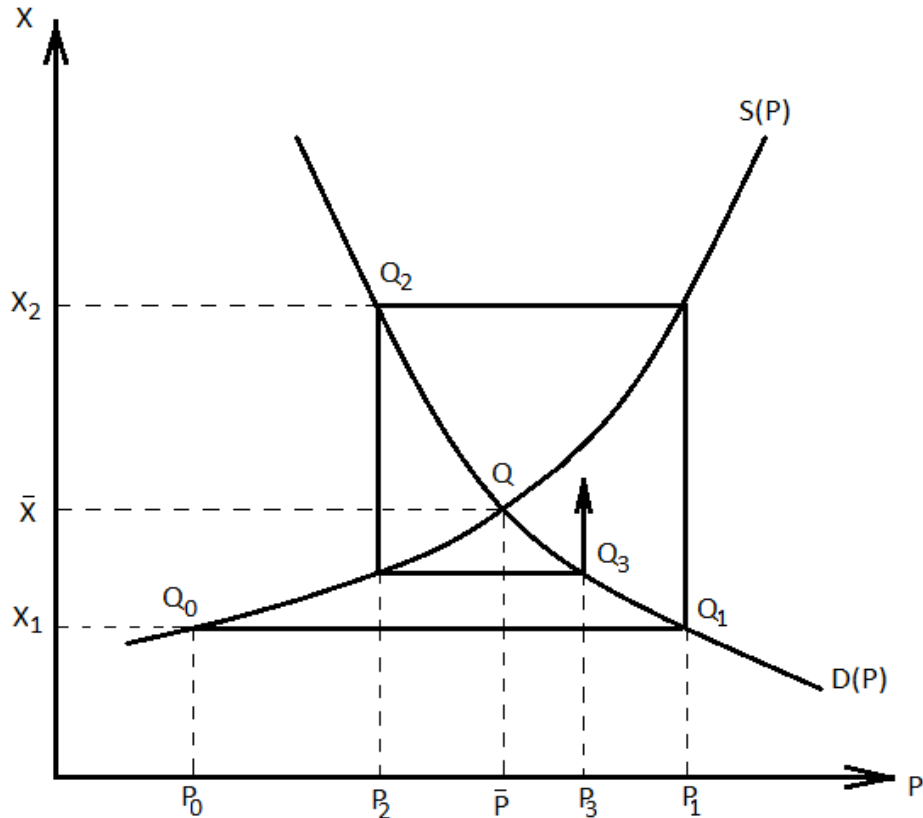
სურ. 16-ზე მოცემული მრუდები $D(P)$ და $S(P)$ შეესაბამებიან მოთხოვნილებისა და მიწოდების ფუნქციებს, ხოლო \bar{p} და \bar{x} მნიშვნელობები ამ მრუდების გადაკვეთის Q წერტილს.

დინამიკურ მოდელში $D(P)$ ფუნქციას აქვს იგივე სახე, რაც სტატიკურში, მაგრამ $S(P)$ მრუდის ორდინატები გვიჩვენებენ მოცემულ დროში საქონლის მიწოდების მოცულობას, რომელიც დამოკიდებულია წინა ვაჭრობის ფასზე და რომელიც მართავს მიმდინარე გარიგებას. ფასი დროის საწყის მომენტში მიწოდებულ საქონელზე ტოლია P_0 , ხოლო შესაბამისი წერტილი Q_0 , მიწოდების $S(P)$ მრუდზე გვიჩვენებს მიწოდებული საქონლის მოცულობას დროის პირველ პერიოდში. ამ დროს მიწოდებული საქონლის მთელი მოცულობა X_1 იყიდება P_1 ფასში, რასაც გვაძლევს Q_1 წერტილი მოთხოვნილების $D(P)$ მრუდზე, მას იგივე (X_1) ორდინატთა აქვს რაც Q_0 -ს.

დროის მეორე პერიოდში ვერტიკალზე მოძრაობა იწყება თავიდან, Q_1 წერტილიდან $S(P)$ მრუდის გადაკვეთის წერტილამდე, რომელიც შეესაბამება

საქონლის X მოცულობას. შემდეგ მოძრაობა გრძელდება $D(P)$ მრუდის Q_2 წერტილამდე. ეს წერტილი კი ახასიათებს P_2 ფასს. ამ პროცესის გაგრძელება მოგვცემს ქსელურ გრაფიკს, რომელიც მოცემულია ნახაზზე.

ყიდვა-გაყიდვის ფასს და მოცულობას ასახავენ სათანადოდ $D(P)$ მრუდზე წერტილები Q_1, Q_2, Q_3 და ა.შ.



სურ.16. ობობასმაგვარი მოდელი (ერთი საქონლის ბაზრისათვის)

$D(P)$ - მოთხოვნის მრუდი; $S(P)$ - მიწოდების მრუდი; Q - გადაკვეთის (ანუ ოპტიმზაციის) წერტილი; P - ფასი; X - მიწოდებული საქონლის მოცულობა.

განხილულ შემთხვევაში ამ წერტილების მიმდევრობა ისწრაფვის საუკეთესო Q წერტილისკენ და აღნიშნული წერტილები განლაგდებიან ხან მარცხნივ, ხან - მარჯვნივ ამ წერტილის მიმართ. შესაბამისად P_i ფასი ისწრაფვის \bar{p} ფასისკენ, ამის მსგავსად, გაყიდული საქონლის მოცულობა X_i ისწრაფვის \bar{x} მოცულობისკენ, რომელიც შეესაბამება შესყიდული საქონლის საუკეთესო რაოდენობას.

მარტივად რომ ვთქვათ, ვაჭრობის დაწყებისას გამყიდველი ბუნებრივია შესთავაზებს მყიდველს საქონლის გარკვეულ რაოდენობაზე მაღალ ფასს, მაგრამ მყიდველი უკმაყოფილოა და მოითხოვს ბევრად ნაკლებს, მხარეები განაგრძობენ

ვაჭრობას ახალი შეთავაზებით, მყიდველი არ დაეთანხმება გამყიდველს, ე.ი. შეთანხმება არ არის მიღწეული და ვაჭრობა გრძელდება მანამ სანამ არ მიიღწევა შეთანხმება (ჩვენს შემთხვევაში ოპტიუმის წერტილის პოვნამდე).

მიღებული მოდელი უნივერსალურია და მისი გამოყენება შესაძლებელია ყველა სახის დაპირისპირებულ მხარეთა მოსარიგებლად და სამართავად.

2.2 ჭარბი კოდური სტრუქტურების ბაზაზე დაფუძნებული სწავლების თამანდროვე მეთოდები

ინფორმაციული ტექნოლოგიების დინამიურად განვითარების პირობებში და კოდური სტრუქტურების კონკრეტულად განხილვის საფუძველზე შესაძლებელია რთული ინფორმაციული სისტემის მართვის პროცესის ოპტიმიზაციის პრინციპების შემუშავება და მათი დანერგვა სწავლებისა და აღზრდის საქმეში. ამ საკითხის გადაწყვეტა შეიძლება კოდური ჭარბი სტრუქტურების საშუალებით, რადგან შეცდომების (ანუ ოპტიუმიდან გადახრები) ლოკალიზაცია და მათი კორექცია არსებითად არის წონასწორული მდგომარეობიდან გამოსული ინფორმაციული სისტემის კვლავ დაბრუნება საწყის წონასწორულ მდგომარეობაში. გამომდინარე აქედან, კოდური მოდელი არ არის მხოლოდ შეცდომების ლოკალიზაცია - გასწორება, არამედ წარმოადგენს ორგანიზაციისა და მართვის მოდელს. აღნიშნული კოდური სტრუქტურა განხილულია I თავში.

განხილულიდან გამომდინარე სპეციფიკურია ახალი „ცოდნის“ შექმნა, ხოლო სწავლებისთვის - ინდივიდებისათვის (პიროვნებებისათვის) „ცოდნის“ მინიჭება. სწავლება არსებითად არ არის გარემო სამყაროს შემეცნებაზე დამოკიდებული საშუალება. გარდა ამისა ის ცოდნა, რომელსაც ინდივიდი სწავლის პერიოდში ითვისებს შეზღუდულია, როგორც მოცულობით, ისე სიღრმით საზოგადოებრივი ცნობიერების მიმართ. აქედან გამომდინარე ათვისებული ცოდნა ინდივიდუალური ხასიათის არის.

ზოგადად სწავლება არის ინდივიდუალური, და არც თუ სავსებით დამოუკიდებელი ფორმა.

თანამედროვე პერიოდში სწავლება უნდა იყოს რეალური და ხდებოდეს ცხოვრების მოთხოვნილებათა გათვალისწინებით, რაშიც ხელსაყრელია აღნიშნული მოდელი. შესაბამისად უნდა იყოს შერჩეული სწავლების მეთოდი - დიდაქტიკური, სოკრატესეული თუ კინესტეტიკური.

დიდაქტიკური მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში სწავლების დროს ხდება ინფორმაციის მიწოდება დიალოგის ფორმით. მიზანი შეიძლება იყოს სხვადასხვა: მოსწავლეების ინფორმირება, მათი ცოდნის გამომჟღავნება და დახვეწა. დიდაქტიკური მეთოდით მიწოდებული ინფორმაცია უნდა იყოს ნათელი და პასუხობდეს შემდეგ კითხვებს: რა, რატომ და სად? ამ დროს მოსწავლისთვის ნათელია სასწავლო მიზნები, მან იცის, როდის ითვლება მიზანი მიღწეულად. მასწავლებელს ცნების ასახსნელად მოჰყავს მაგალითები, ამყარებს კავშირს ახალ და ძველ ცნებებს შორის. ინფორმაციის გაცვლის პროცესში მოსწავლე და მასწავლებელი - ორივე მონაწილეობს და ერთად აგებს ახალ ცოდნას. ქვემოთ მოყვანილია ამ მეთოდის გამოყენების მაგალითები ლექციაზე (გაკვეთილზე): [80]

- ლექტორი (მასწავლებელი) ხაზს უსვამს იმას, რაც, მისი აზრით, მნიშვნელოვანია მოცემულ მასალაში;
- ლექტორი (მასწავლებელი) გადასცემს ინფორმაციას, რათა წახალისოს მოსწავლეთა აზროვნება მოცემულ საკითხებზე;
- ლექტორი (მასწავლებელი) საკუთარი მოსაზრებების გარდა, განიხილავს სხვების მოსაზრებებსაც;
- ლექტორს (მასწავლებელს) მოჰყავს მრავალი მაგალითი ახალი ცნების ახსნისას;
- ლექტორი (მასწავლებელი) იყენებს შესაბამის საკლასო აქტივობებს (სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი, სახელმძღვანელოსა ან დამატებითი მასალების გამოყენება), რომ მოსწავლეებმა ისწავლონ ან განიმტკიცონ ახსნილი მასალა;
- ლექტორი (მასწავლებელი) სთხოვს მოსწავლეებს, რომ გაიხსენონ გაკვეთილის მთავარი საკითხები, ფაქტები, მოვლენები;
- ლექტორი (მასწავლებელი) სთხოვს მოსწავლეს, რომ თავისი სიტყვებით გადმოსცეს წაკითხული ან მოსმენილი ინფორმაცია.

სოკრატესეული მეთოდი სწავლებისას გულისხმობს მოსწავლეების აქტიურად ჩართვას კითხვ-პასუხის გზით საკუთარი ცოდნის აგებაში. მეთოდის სახელწოდება მომდინარეობს ბერძენი ფილოსოფოს სოკრატესაგან, რომელიც საკუთარ მოსწავლეებს სწორედ ამ გზით ასწავლიდა ფილოსოფიას.

სწავლების დროს სოკრატული მეთოდის გამოყენების დროს მასწავლებელი სვამს მხოლოდ პრობლემურ (და არა ინფორმაციულ) კითხვებს (მაგ., რას ფიქრობთ ამაზე? რა განმარტებები გვჭირდება ამისთვის?), არ აწვდის არანაირ ინფორმაციას მოსწავლეებს. ამ დროს მასწავლებელი განიხილავს გამონაკლისებს და მარტივ იდეას ეჭვქვეშ აყენებს. იგი არ აძლევს მოსწავლეებს ინფორმაციას, არამედ მათ სთხოვს აზროვნებას, რათა ისინი დამოუკიდებლად მივიდნენ პრობლემის გადაწყვეტამდე. სოკრატული მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია დისკუსიით, დებატებით, პრობლემური კითხვების დასმით და სხვა. შესაბამისი მეთოდის ეფექტური გამოყენების მიზნით სასურველია ზოგჯერ მასწავლებელმა მოიყვანოს ფაქტები მოსწავლეთა მიერ გამოთქმული მოსაზრებების საწინააღმდეგოდ, მაგრამ არ დააფიქსიროს საკუთარი პოზიცია, ხელი შეუწყოს იმ პასუხების ეჭვქვეშ დაყენებას, რომელთაც იძლევა სხვადასხვა ავტორიტეტები და სხვა. მოსწავლეებმა თავისუფლად უნდა გამოთქვან საკუთარი მოსაზრებები დასმულ პრობლემასთან დაკავშირებით, თამამად ჩამოაყალიბონ ჰიპოთეზები და ვერსიები, გააანალიზონ ერთმანეთის არგუმენტები. ქვემოთ მოყვანილია ამ მეთოდის გამოყენების მაგალითები სასწავლო პროცესში:

1. ლექტორი (მასწავლებელი) სვამს პრობლემურ შეკითხვებს, რათა წახალისოს მოსწავლეთა აზროვნება მოცემულ საკითხებზე;
2. ლექტორს (მასწავლებელს) მოჰყავს დამხმარე და საწინააღმდეგო მაგალითები მოცემული მოვლენის საილუსტრაციოდ;
3. ლექტორი (მასწავლებელი) კრიტიკულად განიხილავს მოსწავლის არგუმენტებს;
4. ლექტორი (მასწავლებელი) ხელს უწყობს კლასის დისკუსიაში ჩაბმას;
5. ლექტორი (მასწავლებელი) ახალისებს საკუთარი და სხვების აზრების კრიტიკული შეფასების უნარის განვითარებას;

6. ლექტორი (მასწავლებელი) მოსწავლეს სთხოვს, ფაქტებისა და ცნებების ანალიზს, მასალაში მოცემული ფარული არსის გაგებას და ა. შ.
7. ლექტორი (მასწავლებელი) სთხოვს მოსწავლეს, რომ დააკავშიროს სხვადასხვა წყაროდან მიღებული ცოდნა, სხვადასხვა ელემენტისაგან შექმნას ახალი სტრუქტურა;
8. მასწავლებელი სთხოვს მოსწავლეს, რომ გამოიტანოს დასკვნა (გააკეთოს შეფასება) საკუთარ არგუმენტაციაზე დაყრდნობით.

კინესტეტიკური სწავლების მეთოდის გამოყენების დროს მოსწავლეები ასრულებენ ფიზიკურ მოქმედებებს/დავალელებს, ლექციის მოსმენის ან დემონსტრაციის ყურების მაგივრად. ინდივიდის მიდგომა, დამოკიდებულებები და გამოცდილების ინტერპრეტაცია განპირობებულია არა მხოლოდ სწავლის საგანზე, არამედ სწავლების მეთოდებზეც. ზოგადად, სწავლების სამ ფორმაზე: ვიზუალური, აუდიო და კინესტეტიკურზე. გამოკვლევათა თანახმად, კინესტეტიკური სწავლება მოსახლეობის 15% იზიდავს. სწავლების კინესტეტიკური სტილი ყველაზე მეტად წარმატებულია მაგ. სპორტის, მუსიკის და სხვ. პრაქტიკული საქმიანობის შესწავლის პროცესში. სწავლების ეს პროცესი ადამიანს საშუალებას აძლევს ერთდროულად ორ მოვლენაზე გაამახვილოს ყურადღება: გონების და სხეულის მოქმედებაზე. იმ ადამიანებს, რომელთაც კინესტეტიკური სწავლის პროცესი იზიდავთ, თვალის და ხელის კარგი კოორდინირება შეუძლიათ და ძალიან სწრაფი რეცეპტორები გააჩნიათ. კინესტეტიკური სწავლების პროცესი, ზოგადად, ნებისმიერ პიროვნებას ესადაგება და ამყარებს ძველ ჩინურ შეხედულებას: „ვისმენ — მავიწყდება; ვხედავ — მახსოვს; ვაკეთებ — ვაცნობიერებ“. კინესტეტიკური სწავლება აუმჯობესებს ნებისმიერი ტიპის სწავლის პროცესს.

აღზრდა გულისხმობს ადამიანის ცნობიერებასა და ქცევაზე მიზანმიმართულ ზემოქმედებას, მასში გარკვეული დამოკიდებულებების, ცნებების, პრინციპების, ღირებულებების ფორმირების მიზნით, რომლებიც აუცილებლად პირობებს ქმნიან პიროვნების განვითარებისათვის, საზოგადოებრივი ცხოვრებისათვის.

ოპტიმალური მოდელის შექმნის პროცესში გათვალისწინებულია და გამოყენებულია სწავლების თითოეული მეთოდის ელენემტები, აღზრდის პრინციპები, კრიტერიუმები და მეთოდები.

აღზრდა ზოგადად, განსხვავებით სწავლებისაგან, ემსახურება მოთხოვნილებას უზრუნველყოს საზოგადოებაში ინდივიდის შეგუება და მორიგება, ცხოვრების უნარი, ყოფითი ნორმების შეთვისების ფორმით. [91]

პედაგოგიკის თვალსაზრისით, აღზრდა არის ინდივიდების მიზანმიმართული შეთვისება საზოგადოებრივი გამოცდილებასთან.

მაგალითად, უმაღლესი სკოლისათვის ყველაზე გავრცელებული აღზრდის ფორმა არის - აღზრდა სასწავლო პროცესის საშუალებით, ზოგად სამეცნიერო და სპეციფიკური დისციპლინების (საგნების), სოციალურ-ეკონომიკური საგნების საშუალებით. სწავლებისა და აღზრდის არსი კი ერთიან საერთო საფუძველს ემყარება [88].

რაც შეეხება სწავლებისა და აღზრდის პროცესების კომუნიკაციურ ხასიათს, ამ გარემოებასთან დაკავშირებით აღსანიშნავია, რომ განსხვავებულ თვისებად შეტყობინებებისა, რომლებსაც ღებულობს მსმენელი (სხვა სიგნალებთან მიმართებით) არის მათი (შეტყობინებების) შესაბამისობა მიმღების მიმართ, რომელსაც გააჩნია ცნობიერება. ეს განსხვავებული თვისება უდევს საფუძველად ინდივიდის წარმოდგენების ფსიქოლოგიურ თეზაურუსს - სწავლებისა და აღზრდის ობიექტს.

არსებული რეალობის გათვალისწინებით, დღეს მთელი დატვირთვა ზოგადსაგანმანათლებლო სისტემაზე მოდის. საზოგადოება მათ ავალებს, აღზარდონ პროგრესულად მოაზროვნე, დისციპლინირებული, ტოლერანტი და განათლებული თაობა. აღზრდა მეტად საპასუხისმგებლო და საინტერესო საქმეა, მაგრამ აქვე უნდა ითქვას, რომ აუცილებელია, სიახლის შეტანა მეთოდებსა და აღზრდის, პიროვნების ფორმირებისა და ჩამოყალიბების პროცესში.

პიროვნების შინაგანი სამყაროს სემიოტიკური აქსიოლოგიკური ასპექტების განვითარების საკითხები განხილულია ბ.ანანიევის²⁴ შრომებში. ამასთან, აღნიშნული ასპექტის ანალიზი - არის ინფორმაციული ნაკადების არსის საწინდარი და საჭიროა სტრუქტურის გაცნობიერებისათვის, რასაც თავის მხვრივ ეფუძნება სწავლება და აღზრდა. ეს უკანასკნელი კი ძალიან მნიშვნელოვან როლს თამაშობს სწავლების არსის გააზრებისათვის.

²⁴ ბ.ანანიევი - ფსიქოლოგი, მრავალი სამეცნიერო ნაშრომის ავტორი ფსიქოლოგია - პედაგოგიკის დარგში.

ფსიქოლოგიური და სოციოლოგიური ასპექტების ენობრივი ნიშნების გამოყენების თეორიაა პრაგმატიკა, რომელიც სემიოტიკის მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია. სემიოტიკა კი გვევლინება როგორც მეცნიერება ენობრივი ნიშნებისა და ნიშანთა სისტემების შესახებ.

მოდელის შექმნის პირობებიდან გამომდინარე ინფორმაციის გასაცვლელად საჭიროა რამოდენიმე აუცილებელი და საკმარისი პირობის დაცვა. ვისაუბრეთ რა ინფორმაციის არსის რაობაზე, განვიხილოთ ზემოთ ნახსენები საკითხები კონკრეტული ამოცანისათვის აღზრდის პროცესში მისი როლის შესახებ.

დამოკიდებულებას კომუნიკაციების ძირითად ელემენტებს შორის არკვევს პრაგმატიკა ე.ი. ეს არის დამოკიდებულება ნიშნებსა და ადამიანებს შორის. ამით პრაგმატიკა არკვევს კომუნიკაციის პროცესის ბუნებას, რომელიც არის საფუძველი ადამიანთა შორის ურთიერთობისა. როგორც აღნიშნავს ბ.ანანიევი, ეს გარემოება შეესაბამება კომუნიკაციის ისტორიულად ჩამოყალიბებულ და სოციალურად აუცილებელ ფორმებს.

კომუნიკაციის იმ ფორმებში, რომლებიც გვხვდება სწავლებაში, მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ ისეთი შეტყობინებები, როგორც ცნებები (სიტყვათა მნიშვნელობები) და წარმოდგენები ანუ გამოთქმათა მნიშვნელობები, რაც დაკავშირებულია ნიშნის სემანტიკურ ასპექტთან. ნიშანთა სისტემის სინტაქსური თავისებურებები გამოიყენება კონკრეტულ მეცნიერებებში, უდავოა ისიც, რომ სწავლებისა და აღზრდის ბუნების შესწავლის თვალსაზრისით, ერთ-ერთი მთავარ ასპექტს წარმოადგენს პრაგმატული მიდგომა, რომელიც იძლევა საშუალებას გაკეთდეს იმ ინტერესთა ანალიზი, რომელიც ვლინდება შეტყობინებების და მათ მიერ გამოწვეული გრძნობებისა და ემოციების მიმართ.

გ. კლაუსი²⁵ სამართლიანად აღნიშნავს, რომ შეტყობინებების ურთიერთგაცვლა უნდა განიხილებოდეს, როგორც მართვის განსაკუთრებული ფორმა, რომელიც ადამიანის მიერ მისი გაცნობიერების შედეგად, ცვლის გარე სამყაროს შინაგან მოდელს ადამიანის ცხოვრებაში. ანუ თუ შეტყობინებული ინფორმაცია სწორედ არის გაგებული, ის წარმოადგენს ქცევის მართვის და ოპტიმიზაციის საშუალებას.

²⁵ ჯ. კლაუსმა - გერმანელი სწავლული-ფილოსოფოსი, კიბერნეტიკი და ჭადრაკის სპეციალისტი.

აქედან ნათლად ჩანს, რაოდენ მნიშვნელოვანია შეტყობინების პროცესი ისეთანირად აგება, რომ მოსწავლემ მასწავლებელთან დამყაროს ეფექტური კომუნიკაცია. მან ამ მიზნის მისაღწევად უნდა მიმართოს შეტყობინებათა გამოყენების შესაბამის საშუალებებს.

უნდა ითქვას, რომ შეტყობინებებს შეუძლიათ ინფორმირება, ე.ი. ფუნქციის შესრულებისას ისინი ასრულებენ დესიგნატორების როლს. გამოყენებული შეტყობინება ინფორმაციულად ადეკვატურია, თუ მისი ამთვისებელი ადამიანები იძენენ გაგების სურვილს.

შეტყობინებამ შეიძლება აგრეთვე შეასრულოს შემფასებლის ფუნქცია. იგი შეფასების მხრივ ადეკვატურია, თუ მისი ამთვისებელი (მიმღები) ადამიანები იძენენ კონკრეტულ მიდგომას ზოგიერთი ობიექტების, მოვლენების, სიტუაციების, თვისებებისა და ა.შ. მიმართ.

შეტყობინებას შეუძლია გამოიწვიოს საპასუხო ქმედება ან სხვა რეაქციები და ამ ფუნქციის თვალსაზრისით ის გამოდის პრესკრიპტორი (ნორალური ან სასურველი მდგომარეობის ინდიკატორი). ასეთი შეტყობინება ადეკვატურია, თუ ის გარკვეული და სასურველი წესით წარმართავს ქცევას, ე.ი. ახდენს მიზანმიმართული მოქმედების სინთეზს. საბოლოოდ, შეტყობინებებს შეუძლიათ სისტემატიზება და ორგანიზება (ე.ი. შეასრულონ ფორმატორების როლი). აქ ადეკვატურობის კრიტერიუმის სახით გვევლინება შეტყობინებების უნარი გამოიწვიოს ისეთი ქცევა, რომელიც წარმოშობს სხვა შეტყობინებებს.

ის, რომ სწავლების საფუძველს წარმოადგენს ცოდნის ათვისება, გვაიძულებს გავაანალიზოთ ცოდნის სტრუქტურა. თავის მხრივ ცოდნის საფუძველს წარმოადგენს ფაქტები. ამასთან საჭიროა განვასხვავოთ ობიექტური და შემეცნებითი ფაქტები [65].

ობიექტურ ფაქტად ითვლება ობიექტის მდგომარეობები, ან მდგომარეობის ცვლილებები, ე.ი. პროცესები, მოვლენები რომლებიც ხდება ბუნებაში საზოგადოებასა და ცნობიერებაში. ობიექტური - ფაქტად იქცევა ცნობიერებაში იმ შემთხვევაში თუ მყარდება აქტუალური კავშირი მოვლენათა შორის. თავის მხრივ აქტუალური კავშირი აღმოცენდება მხოლოდ სუბიექტის (ადამიანის) ჩართვისას კავშირში მოვლენათა შორის და ის არსებობს მხოლოდ და მხოლოდ ცნობიერებაში. როდესაც

ობიექტური ფაქტი გაცნობიერდება, იგი ადამიანმა შეიძლება გამოიყენოს გარკვეული საჭიროების დასაკმაყოფილებლად. ასეთ შემთხვევაში ფაქტი ცნობიერებაში იძენს მნიშვნელობას.

ვ. კოსოლაპოვის შრომების მიხედვით „ფაქტები“, როგორც ცოდნის ელემენტები შეიძლება დაიყოს ორ ამომწურავ ქვესიმრავლედ: სამეცნიერო და არასამეცნიერო ფაქტებად, რომელთა რიცხვს მიეკუთვნება არა მარტო „მხატვრული“, „არამედ საღი გონების“ ფაქტებიც და ა.შ. ზოგადად შემეცნების პროცესში ხერხდება დასკვნების ფორმულირება, რომელიც აფიქსირებს ობიექტურ ფაქტს და შეაქვს ის როგორც შემადგენელი ელემენტი მეცნიერების რომელიმე დარგში, ფაქტი იძენს სამეცნიერო ღირებულებას.

ინფორმაციის გადაცემის დროს მიწოდებული ცოდნის შემადგენლობაში შემავალი ცნებების შერჩევა უნდა ემყარებოდეს არა მხოლოდ ობიექტურ, არამედ სუბიექტურ ფაქტორებსაც, რაზეც იყო მითითება ინფორმაციის სემიოტიკური ასპექტის ანალიზის დროს.

სასწავლო და აღმზრდელობითი ინფორმაციის შემადგენლობაში გარკვეული მოქმედებისა და მიზნის მიღწევისათვის გამოიყენება ერთგვარი ფორმები. ასეთი სახის საწყის პირობებს ჩვენ ვხვდებით სხვადასხვა სფეროებში: ეთიკაში, ესთეტიკაში, სამართლებრივ მეცნიერებებში, პარტიულ საქმიანობაში, მათემატიკაში, ინფორმატიკაში (სადაც ნორმების როლს ასრულებენ ალგორითმები), პედაგოგიკაში (სადაც ნორმების როლში გამოდიან ალგორითმული ნორმები) ტექნიკაში (ინსტრუქციები), სტატისტიკაში (გამოთვლების, გაანგარიშებების მეთოდები) და ა.შ.

ჰ. კლაუსის შრომების მიხედვით შეაჯამებულია სპეციფიკური განსხვავებები ნორმისა და რეალობის ასახვის ფორმებს შორის, საიდანაც ნათლად ჩანს:

ა) როცა წარმოდგენა (შეფასება) მიუთითებს იმაზე, რაც არსებობს, (ასახავს რეალობას), მაშინ ნორმა მიუთითებს იმაზე, რაც უნდა იყოს, (არ ასახავს რეალობას), არამედ მიუთითებს იმაზე როგორი უნდა იყოს რეალობა.

ბ) თუ წარმოდგენა (შეფასება) მიუთითებს იმაზე, ჭეშმარიტია თუ ყალბი, მაშინ ნორმა მიუთითებს იმაზე, რომ არც ჭეშმარიტია, არც ყალბი.

გ) როცა წარმოდგენა (შეფასება) გამოიხატება მოთხოვნილი წინადადების საშუალებით; ამ დროს ნორმა გამოიხატება აუცილებლობის დამადასტურებელი წინადადების საშუალებით.

დ) თუ არ წარმოდგენა (შეფასება) არის დამოკიდებული სივრცესა და დროზე, მაშინ ნორმა, შეიძლება დამოკიდებული იყოს დროზე, ისტორიულ ადგილზე, ფაქტორზე, სოციალური მოსაზრებაზე და ა.შ.

შეიძლება დავასკვნათ, რომ ნორმა არის დანიშნულება, რომელიც შეესაბამება ვინმეს ან რაიმეს და თვით დანიშნულებასთან ერთად შეიცავს მოწოდებას მისი შესრულების თაობაზე.

აზროვნების პროცესში მნიშვნელობა საზოგადოებრივ ნორმებს, ე.ი. იმ ნორმებს, რომლებიც ხასიათდებიან საწარმოო და კლასობრივი ურთიერთობების ტიპით. ცხადია, რომ ნორმა ემყარება წარმოდგენებს, მაგრამ იმავდროულად წარმოდგენებისა და ნორმის არსი განსხვავებულია.

ადამიანის ადაპტაცია გარემოსთან ხდება არა უშუალოდ ფიზიკურ დონეზე ან სოციალურ სფეროში, არამედ ინფორმაციასთან, მის რჩეულ სტრუქტურულ და განზოგადოებულ გარემოსთან. მაგ. სტუდენტი - ლექტორი, (მოსწავლე - მსწავლებელი).

გამომდინარე ზემოხსენებულიდან უნდა გავითვალისწინოთ სასწავლო და აღმზრდელი ინფორმაციის შინაარსი, როგორც მიზანმიმართული ინფორმაცია. რაც არის სწორედ სწავლებისა და აღზრდის შინაარსი.

სწავლებისა და აღზრდის პროცესები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც საკომუნიკაციო კავშირის პროცესები ლექტორსა და სტუდენტს (მასწავლებელსა და მოსწავლეს) შორის. მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ კომუნიკაცია შეიძლება განხორციელდეს სხვადასხვა არხებით: სახელმძღვანელოებით, მულტიმედიური საშუალებებით და სხვა სასწავლო ინფორმაციის არამეტყველებითი წყაროებით.

მე-20 საუკუნის ცნობილი ამერიკელი მეცნიერის კლოდ შენონის ინფორმაციის თეორიამ, რომელიც თავდაპირველად ორიენტირებული იყო კავშირგაბმულობის სიტემაზე, გამოყენება ჰპოვა მეცნიერების სხვა დარგებშიც, თუმცა მისი როლი ყოველთვის შემოიფარგლებოდა ინფორმაციის გადაცემის, მიღების, დამუშავების და შენახვის ჩარჩოებით.

მოცემულ ნაშრომში ინფორმაციის თეორიის მათემატიკური საფუძვლები დაკავშირებულია კოდურ ჭარბ სტრუქტურებთან და მიღებული მოდელი შეიძლება ჩაითვალოს რთულ ინფორმაციულ სისტემაში არამხოლოდ შეცდომების ლოკალიზაციისა და შესაბამისად მათი კორექციის უნივერსალურ ინსტრუმენტად არამედ ორგანიზაციის და მართვის საშუალებად.

ყველა თვითორგანიზებადი სტრუქტურა შეიცავს ელემენტების გარკვეულ სიჭარბეს. ამიტომ როდესაც ხდება ახალი სტრუქტურის აგება აუცილებელია განისაზღვროს ჭარბი ელემენტების რაოდენობა. ნაშრომის პირველ თავში განხილული სტრუქტურა საშუალებას იძლევა შევინარჩუნოთ მიღებული სისტემის მდგრადობა, ფიქსირებული ხელისშემშლელის მიმართ.

2.3. რთული ინფორმაციული სისტემის შემადგენელი სტრუქტურის ძირითადი ელემენტები

სისტემა ეს არის გარკვეული წესრიგი, რომელიც დაფუძნებულია რაიმე ნაწილების გეგმაზომიერ განლაგებასა და ურთიერთკავშირზე. სტრუქტურა ობიექტის მყარი კავშირების ერთობლიობაა, რომელიც უზრუნველყოფს ობიექტის მთლიანობასა და თავისთავის მიმართ იგივეობას, მისი ძირითადი თვისებების შენარჩუნებას სხვადასხვა გარეგანი და შინაგანი ცვლილებების დროს. [76]

ცნება „სტრუქტურა“ მეცნიერებისა და ფილოსოფიის ლიტერატურაში დიდი ხანია გამოიყენება, როგორც ფორმის ცნების განსაზღვრის ერთ-ერთ ხერხად ე.ი. ფორმა, შეიძლება განისაზღვროს როგორც შინაარსის სტრუქტურა და ორგანიზაცია.

სისტემის ფუნქციონირების ოპტიმიზაციისთვის საჭიროა სტრუქტურის ელემენტებს შორის კავშირებს მოდერნიზება. სისტემის მთლიანობის ფარგლებში აღნიშნული გარემოება მიანიშნებს იმაზე, რომ მაგალითად სწავლებისა და აღზრდის ამოცანის შემთხვევაში სისტემის ასეთი მოდელი - ადეკვატური სტრუქტურიზაცია არის ყველაზე ოპტიმალური პირობების შექმნის საშუალება.

სწავლების სისტემის ახალი მოდელის შექმნა მოითხოვს რთული სისტემის მართვის ოპტიმიზაციის ახალი პრინციპების შემუშავებას, მისი სტრუქტურისა და ფუნქციონირების მკაფიო ანალიზსა და აღწერას [30].

წმინდა ფსიქოლოგიური ასპექტის გათვალისწინებით, სწავლების პროცესში მოსწავლეთა აზროვნების ჩამოყალიბებისა და განვითარების შესწავლა, ანუ ცოდნის ჩართვა აზროვნების პროცესში, წარმოადგენს შედეგზე ორიენტირებულ ძირითად ინტერესს.

კიბერნეტიკული ასპექტისთვის კი სპეციფიკურ ინტერესს წარმოადგენს სისტემის ორგანიზების შესწავლა. ამ ასპექტის საფუძველს წარმოადგენს იზომორფიზმი, ძირითადი დიდაქტიკური ცნება სწავლებისა და აღზრდის საქმიანობასა და სისტემათა თეორიის ძირითად ცნებას შორის.

სტრუქტურის მოდელი მრავალიარუსიანია, სადაც გამოიყოფა სისტემის ძირითადი ელემენტები, მაგრამ არ აისახება მათი დაყოფა. სწავლების პროცესში ჩართული გუნდი შედგება ადამიანებისაგან, რომლებსაც რეალურ პირობებში შეუძლიათ სხვადასხვა სახის საქმიანობა. მაგალითად, სამხატვრო სასწავლებლის მოსწავლეებს ფიზიკურად შეუძლიათ სხვადასხვა სახის ნაშრომის შექმნა, თუმცა ნებისმიერი ტიპის სწავლებისას, სწავლების მიზნების მისაღწევად, განმსაზღვრელი არის ფსიქიკური მოქმედება, როგორც სწორი მიმართულების შერჩევა. [21].

სისტემის ეფექტური ფუნქციონირება მჭიდრო კავშირშია მის სტრუქტურასთან. რთული ინფორმაცილი სისტემის სტრუქტურასა და ფუნქციონირებას შორის კავშირის ორგანიზებისათვის შემუშავებული იქნა ორი ხერხი, **ბლოკური სქემა** - რომელზეც გამოიყოფა სტრუქტურის ძირითადი ელემენტები და მათ შორის ზოგადი კავშირები და **პრინციპული სქემა**, სადაც უფრო ღრმად და დეტალურად არის მითითებული კავშირები სისტემის ფუნქციურ ელემენტებს შორის და ვლინდება მათი ფუნქციონირების ძირითადი პრინციპები;

ბლოკის დონის ნულოვან იარუსში გამოიყო ელემენტის ორი ძირითადი ტიპი: ინფორმაციის წყარო და ინფორმაციის მიმღები. ამ ელემენტებს შორის დამოკიდებულება განსაზღვრავს სისტემის ფუნქციონირების არსს. ინფორმაციის წყარო მიმღებს გადასცემს შეტყობინებას, მიღების შემთხვევაში ეს შეტყობინება ხდება საქმიანობის სიგნალი ანუ აზროვნების ელემენტი მომხმარებელთათვის, ანუ ვლელბულობთ მართვის ეტალონურ მოდელს.

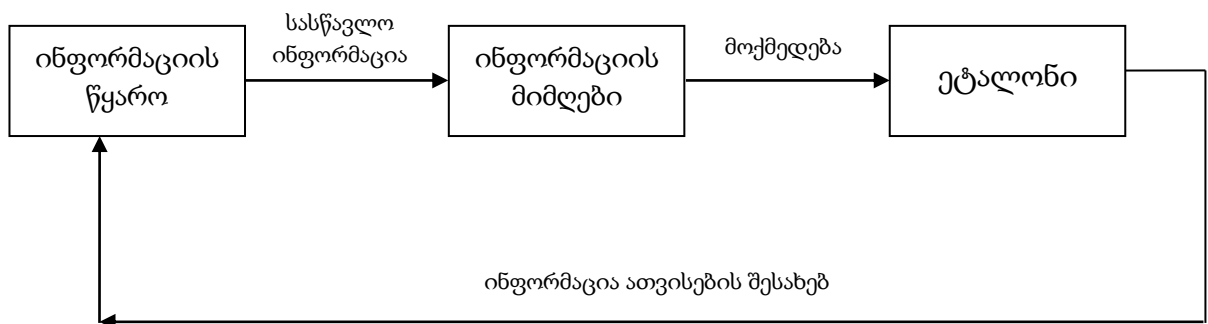
ადამიანისთვის მნიშვნელოვანია ინფორმაციის სემანტიკური და პრაგმატული შინაარსი, ანუ რას გამოხატავს და რას გვაძლევს ნიშნაკი, რაც განსაზღვრავს მის

აქტიურ და პიროვნულ აღქმას. შეტყობინება შინაარსის მიხედვით ასრულებს პრაგმატულ ფუნქციებს: ა) იძლევა ინფორმაციას ანუ ფაქტებსა და განზოგადოებებს, რაც განმარტავს სიტუაციას; ბ) ახდენს ამა თუ იმ საქმიანობის ხერხების ინსტრუქტირებას და იძლევა ბრძანებებს მის შესასრულებლად; გ) ახდენს ამა თუ იმ შესაძლო მოქმედების განხორციელების აუცილებლობის მოტივირებას.

აქედან გამომდინარე სწავლების პროცესში გამოყენებული სტრუქტურის ელემენტებს შორის კავშირისა და შესაბამისად სისტემის ეფექტური მართვის განხორციელებისათვის გამოიყენება საინფორმაციო კავშირის გზები. ასეთი კავშირს ვუწოდოთ პირდაპირი კავშირი.

თუ მმართველი ორგანო შეძლებს დააკვირდეს მიღებული ინფორმაციის ათვისებით გამოწვეულ მოქმედებას და მოახდენს ამ მოქმედების (ამ ინფორმაციის) კორექციას ახალი შეტყობინებით, ე.ი. სისტემას გააჩნია უკუკავშირი [11]. მოდელირების ნულოვან ეტაპზე ელემენტები დაყოფილია და უკუკავშირის არხის საშუალებით მათგან მოდის ან ერთგვაროვანი ან გასაშუალებული ინფორმაცია ათვისებაზე.

ნულოვანი იარუსის დონეზე სწავლების მოდელი წარმოდგენილია ნახ.15.



ნახ.15. სწავლების მოდელი ნულოვან ეტაპზე.

თუ გავანალიზებთ ნულოვანი იარუსის წარმოდგენილ მოდელს, მაშინ იგი თავდაპირველად გვაცნობს, რომ მისი ევრისტიკული ფასეულობა სწავლების ოპტიმიზაციის გზებშია.

ოპტიმიზაციის ცნება ერთ - ერთი უმთავრესია მეცნიერებასა და ყოველდღიურობაში. თუ საქმიანობა არის გაცნობიერებული ანალიზის საფუძველზე, მაშინ იგი გარკვეული კუთხით შეიძლება ოპტიმალურად ჩაითვალოს. სწავლების ეს სახე კერძო მეთოდის ყველა ავტორს პრაქტიკაში აძლევს საშუალებას განიხილოს ეს უკანასკნელი, როგორც ოპტიმალური [21].

სწავლებისა და არზრდის ოპტიმიზაციის ამოცანებში უნდა გამოვეყნოთ რამოდენიმე ძირითადი ეტაპი:

1. ოპტიმიზაციის მიზნის არჩევა;
2. მიზნის ფორმულირება;
3. მიზნის შერწყმა არსებულ შესაძლებლობებთან;
4. არსებული შეზღუდვის პირობების გათვალისწინება. (ეს შეზღუდვები ჩვეულებრივ საწინააღმდეგოა);
5. მიზნის მიღწევის ხერხის შემუშავება არსებული შეზღუდვის პირობებში.

მიუხედავად იმისა, რომ სისტემაში არსებული უკუკავშირით გადაცემული ინფორმაცია წარმოადგენს მართვის კორექციის საფუძველს, იგი იძლევა მხოლოდ ცნობებს სისტემაში არსებული პროცესების ხასიათზე. სისტემის ფუნქციონირების ძირითად შესაძლებლობას ქმნის პირდაპირი კავშირით გადაცემული ინფორმაცია. ყოველივე ეს იმაზე მიუთითებს, რომ სწავლებისა და აღზრდის რთული მრავალ-იარუსიანი პროცესების ოპტიმიზაციის ამოცანა საკმაოდ რთულია, რადგან პროცესები დაყოფილია გარკვეულ ფუნქციურ ელემენტად (განმარტება, კონტროლი და ა.შ)

ანალოგიური მოდელის ნულოვან ეტაპზე ფუნქციონირების გაუმჯობესებისას მცდელობა, პირველად სკინერის²⁶ მიერ განხორციელდა, იგი მდგომარეობდა პირდაპირი კავშირის ოპტიმიზაციაში და ითვალისწინებდა მომხმარებლისთვის მიწოდებული ინფორმაციის ინსტრუქციულობის გაუმჯობესებას. ათვისების მართვა იმავდროულად იყო მკაცრად დეტერმინირებული, თუმცა პირდაპირი კავშირის ეს ხერხი (სკინერისეული) ეწინააღმდეგება ნებისმიერი სწავლების ბუნებრივ ამოცანას.

სწავლების მოდელის ნულოვანი ეტაპის განხილვა გვიჩვენებს, რომ სისტემაში სასწავლო ინფორმაცია პირდაპირი კავშირის არხით მოქმედებს მაგრამ დასადგენია, თუ რა ტიპის და როგორი ფორმით უნდა გადაიცეს ინფორმაცია ამ არხით, რათა მივიღოთ სასურველი მოქმედება. პირდაპირი კავშირის არხის ნებისმიერი სახის ოპტიმიზაცია ადვილად მიიღწევა, თუ არჩეულია სპეციალური და არა თვითნებური

²⁶ Burrhus Frederic Skinner - ამერიკელი ფსიქოლოგი, გამომგონებელი და მწერალი. მან დიდი როლი ითამაშა სკოლის ფსიქოლოგიაში ბიჰევიორიზმის (რომ უნდა შეისწავლო არა ქმნილება, არამედ მისი ქცევა) შტანაში.

ზეგავლენა სისტემაზე. როგორც ზემოთ ავლინებთ სისტემურ მიდგომას გააჩნია ევრისტიკული ფასეულობა.²⁷

სანამ დავახასიათებთ სისტემის მომდევნო ეტაპს, უნდა აღინიშნოს, რომ პედაგოგიკის ისტორიაში იყო საკმაოდ თამამი და წარმატებული მცდელობები პირდაპირი კავშირის ოპტიმიზაციისა, რაც არ უკავშირდება პროგრამულ სწავლებას. ის ბუნებრივია ჩნდებოდა მაშინ, როცა უბადლო პედაგოგიური ნიჭის მქონე გამოჩენილ მეცნიერს სურდა ახალი თეორიის ან კონცეფციის არსის განმარტება, რომელიც არ ემთხვევა ე.წ. ყოფით ჯანსაღ აზრს. ეს ამოცანა ორმაგად რთულია, რადგანაც ის მოითხოვს არა მხოლოდ ახალი წარმოდგენების სწავლებას, არამედ ძველი წარმოდგენების რღვევასაც. ასეთი ბრწყინვალე პედაგოგიური ხერხის უჩვეულოდ მკაფიო მაგალითია გალილეის „დიალოგები“ [84, 91].

ამგვარი ხერხი გამოიყენეს ედინგტონმა²⁸ ფარდობითობის თეორიის გადმოცემისას და გ. გორელიკმა²⁹ სპექტრალური დაყოფის თეორიაში პარადოქსების განმარტებისას და ა.შ. ამ და სხვა მაგალითებიდან ჩვენ უნდა გამოვიტანოთ ძალიან მნიშვნელოვანი დასკვნა, რომ სასწავლო ინფორმაციის შერჩევის ნებისმიერი ხერხი ოპტიმალურთან მიახლოებული იქნება მხოლოდ მაშინ, როცა ის გაითვალისწინებს სასწავლო ინფორმაციის მომხმარებელთა ცოდნის, ჩვევისა და უნარის დონეს. სწავლების სისტემის ფუნქციონირების სწორი ორგანიზაციისათვის მნიშვნელოვანია განვსაზღვროთ, ასრულებს თუ არა შეტყობინებები თავის სასიგნალო ფუნქციას. სისტემური აღწერის წარმოებაში ეს ნიშნავს იმას, რომ ჩვენ გვსურს ინფორმაციის გარკვეული ელემენტების (წყაროს სტრუქტურის) გამოყოფა მიმღების სტრუქტურასთან დაკავშირებით.

²⁷ Evrica ბერძნულიდან „აღმოჩენა“. ევრისტიკა დაკავშირებულია ფსიქოლოგიასთან და ფიზიოლოგიასთან, კიბერნეტიკასთან და სხვა მეცნიერებებთან, მაგრამ თვითონ როგორც მეცნიერება სრულყოფილად არ არის ჩამოყალიბებული.

²⁸ Arthur Stanley Eddington - ინგლისელი ასტროფიზიკი, ლონდონის სამეფო საზოგადოების წევრი. 1906-1913 წლებში მუშაობდა გრინვიჩის ობსერვატორიაში. იყო კემბრიჯის უნივერსიტეტის პროფესორი და ასტრონომიული ობსერვატორიის დირექტორი კემბრიჯში.

²⁹ გორელიკი გენადი ეფიმეს ძე - რუსეთისა და ამერიკის ფიზიკოსი (ფიზიკის ისტორიკოსი).

2.4. ინფორმაციული სისტემის ორგანიზაციის თეორია, როგორც მოდელის ფორმალიზაციის საფუძველი სწავლებისა და აღზრდის საქმეში

ინფორმაციული სისტემის ორგანიზაცია ანუ სტრუქტურირება და პროცესის მართვა, რომელიც წარმოადგენს დასმულ ამოცანას, მოითხოვს გადასვლას განსახილველი მოდელის თვისობრივი აღწერიდან ფორმალიზაციაზე. იგი მიმდინარე მომენტში წარმოადგენს სისტემის ცნებას და ჩვენი განხილვის პროცესში არაერთხელ იქნება გამოყენებული პირველი და მეორე ეტაპები.

სისტემის უფრო მაღალ ეტაპზე გადასვლის, მისი გაფართოვების პირობებში სისტემის ელემენტების რიცხვი საკმაოდ იზრდება. მნიშვნელოვანი ხდება ახალი ელემენტების აგების ეფექტური პროცედურის ძიება. ამ პროცედურას გააჩნია ორი მხარე: გარეშე, რომელიც უკავშირდება შესაბამისი მართვითი ინფორმაციის შერჩევას და შიდა, რომელიც გულისხმობს ამ ინფორმაციის გადაქცევას მისი მომხმარებლების აზროვნების ელემენტად (ანუ მის ათვისებას). ორივე მხარეს გააჩნია ფსიქოლოგიური ასპექტი და მჭიდროდ უკავშირდება ერთმანეთს. [38].

სისტემის ზოგადი თეორიის საფუძვლები ანუ ობიექტთა კვლევის სამეცნიერო და მეთოდოლოგიური კონცეფცია, თავისთავად წარმოადგენს სისტემას, რომელიც მჭიდროდ არის დაკავშირებული სისტემურ მიდგომასთან, და წარმოადგენს მისი პრინციპებისა და მეთოდების კონკრეტულ მაგალითს. ზოგადი თეორიის პირველი ვარიანტი წარმოდგენილი იყო ლუდვიგ ფონ ბერტალანფის მიერ, მისი ძირითადი იდეა მდგომარეობდა იზომორფიზმის კანონების აღიარებაში, რომელიც იყო სისტემური ობიექტების ფუნქციონირების მმართველი. ბერტალანფიმ დაადგინა ღრმა კავშირი სისტემასა და თეორიის შორის. მისი შეხედულებები სისტემის ზოგადი თეორიის საფუძვლებზე თანამედროვე მეცნიერებისათვის ხასიათდებოდა:

- 1) საგანი - ორგანიზაცია;
- 2) აუცილებელი გადაწყვეტილების მიღება პრობლემათა გადასაჭრელად ბევრი ცვლადების საშუალებით (კლასიკური მეცნიერებისათვის ჩვეულებისამებრ ცნობილი იყო პრობლემები მხოლოდ ორი, საუკეთესო შემთხვევაში რამოდენიმე ცვლადებით) ამ საგნის ანალიზისათვის;
- 3) მექანიზმის ადგილს იკავებს ცნება შეუთავსებადი სიმრავლისა, რომელთა შორის კავშირი ვლინდება იზომორფიზმში მოქმედი ნიშნაკებით;

4) კონცეფცია ფიზიკალური რედუქციონიზმი, რომელსაც მივყავართ ყველა ფიზიკურ ცნებასთან, ცვლის იდეას პერსპექტივიზმისა - შექმნას ერთიანი მეცნიერება იზოორფიზმის ბაზაზე.

როგორც ყველა სამეცნიერო კონცეფცია, სისტემის ზოგადი თეორიის საფუძვლებიც ეფუძვნება წინა კვლევების შედეგებს. მესამე ეტაპზე გადასვლას წარმოადგენს სწორედ „სისტემის ზოგადი თეორიის საფუძვლები“, რომელიც განხილულია მ. მესაროვიჩის ნაშრომში. რომლის შედეგებსაც ჩვენ გამოვიყენებთ დასმული ამოცანის ფორმულირებისათვის.

ფორმალიზაციისთვის კი საწყის ცნებას წარმოადგენს ორ სისტემას შორის ეკვივალენტობის დამოკიდებულება. ეკვივალენტობა მიუთითებს ქცევის იმ ასპექტებზე, რომლებიც ამ სისტემებში ერთნაირია. განხილულ სისტემებში ეკვივალენტობის დამოკიდებულების სახით გამოდის სისტემის ფსიქიკური მოქმედების უნარი ანუ გარკვეული ინფორმაციის აღქმის, შენახვის და დამუშავების შესაძლებლობა.

აქედან გამომდინარე სისტემის ახალი ელემენტების აგების პროცედურა დაკავშირებულია აპრიორული ინფორმაციის შევსებასთან „მიმღებთა“ მდგომარეობის შესახებ. შინაარსობრივად ეს ნიშნავს შემდეგს: თითოეული დოზის ინფორმაციის ათვისების შემდეგ სწავლების ამოცანის მიღწევის დამაფიქსირებელი პროცედურის დროს სტუდენტები იყოფა მთელი ინფორმაციის სრულად ამთვისებელთა და მისი გარკვეული ელემენტების ამთვისებელთა ჯგუფებად.

თითოეული ასეთი ჯგუფი წარმოქმნის სისტემის ახალ - ინფორმაციის მიმღებთა სიმრავლის ელემენტს. ასეთი დაყოფის შედეგად ინფორმაციის წყარო იშლება რიგ ელემენტებად - წყაროდ, რომელიც ინფორმაციას აწვდის თითოეულ ელემენტს.

მოდელის ასაგებად საჭიროა გარკვეული თანაფარდობის მოცემა მის ელემენტებს შორის, რომლებიც აღწერენ სისტემას. ამიტომ, მოდელი უნდა აღწერდეს ინფორმაციის მომხმარებელიდან და წყაროებიდან ფსიქიკის ერთი მდგომარეობიდან მეორეზე გადასვლას იმ წესით, რომელითაც ხორციელდება სწავლების ან აღზრდის პროცესი.

თანაფარდობის მოცულობისთვის საჭიროა სისტემის ელემენტებს შორის შესაბამისი თანაფარდობის აღწერის ხერხის დადგენა, რასაც ადგილი ექნება მისი ფუნქციონირების პროცესში.

სისტემის შედგენის ბოლო ეტაპის წარმოადგენს გარკვეული წესების სიმრავლის ფორმულირება, რომლებიც განსაზღვრავენ სისტემის საწყის ელემენტებს შორის შესაბამისი თანაფარდობის წარმოქმნას.

პირველი ტიპის ელემენტები ანუ სენსორული – მართვადი ელემენტებია. მართვას კი ახორციელებს მეორე და მესამე ტიპის ელემენტები, ანუ მოტივატორები და გამომთვლელი.

ზოგადად სწავლების ნებისმიერი თეორია უნდა აღწერდეს მოტივატორის მოქმედებას. თუმცა ორგანიზაციის კლასიკურ თეორიებს არ ძალუძთ აღწერონ ეს გარემოება და ესეთი სიტუაცია მიუღებელია, რადგან გამომთვლელის მუშაობისთვის საჭიროა სისტემის მუშაობის წარმატებულობის შეფასების პოვნა. ამ ფუნქციას ასრულებს მოტივატორი.

2.5. სასწავლო პროცესში ინფორმაციის ათვისება, სწავლების რეფლექსური აღწერა და სისტემის მართვის რეფლექსური საკითხები

საგანმანათლებლო პროგრამების ძირითადი დანიშნულებაა, ასახოს, რამდენად სწორად ფასდება მასწავლებლის მიერ მოსწავლისთვის მიცემული დავალების შესრულება. შეფასებისას აქცენტი კეთდება ათვისების ხარისხზე, კი მაშინ ხდება, როდესაც პროცესში ერთვება რეფლექსია. იგი ეხმარება მოსწავლეს, გამოავლინოს და შეიმეცნოს თავისი საქმიანობის ძირითადი კომპონენტები, მისი აზრი და ტიპი, საშუალებები, პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები, მიღებული შედეგები, მერე კი განსაზღვროს შემდგომი საქმიანობის მიზნები. რით უნდა დაიწყოს მასწავლებელმა ამ საკითხების წინ წამოწევა? რა ტექნიკას მიმართოს, რა გზები და ხერხები უნდა გამოიყენოს წარმატების მისაღწევად? ამ დროს უმთავრესი ყურადღება ექცევა რეფლექსიის შემცველ შეკითხვებს და მოტივაციას, რომელიც მასწავლებლის ხელში შეიძლება მნიშვნელოვან ინსტრუმენტად იქცეს, მასწავლებლის მიერ დეტალებზე ყურადღების გამახვილებით დაწყებული, კრიტიკული აზროვნებითა და

სამოქმედო გეგმით დამთავრებული. თუმცა არსებობს გარკვეული განსხვავება კითხვებსა და დაინტერესებას შორის:

➤ რეფლექსიის დროს კითხვები ზოგადია: „რა არის ეს?“, „როგორ არის ეს?“, „რა იქნება შემდეგ?“ – ასეთი კითხვები მოსწავლეს დაააფიქრებს იმაზე, რა გააკეთა, რას აკეთებს და რას გააკეთებს მომავალში; უკეთ დაეხმარება მიღებული შედეგების ფორმულირებასა და თავისი ქმედებების კორექტირებაში.

➤ მოტივაცია, სურვილის აღძვრა კი გამოიხატება კიდევ უფრო კონკრეტული კითხვებით, მაგალითად: „შესაძლოა თუ არა, შენი მიზანი შეიცვალოს?“ (რომლებიც მოსწავლეს მთელ რიგ საკითხებზე გაამახვილებინებს ყურადღებას). მეორე საშუალება ინტერესის აღძვრისა - ეს არის მოსწავლის წარმოდგენების, დამოკიდებულებების პერიფრაზირება, გამომდინარე იმ საკითხებიდან, როდესაც დახმარებას ითხოვს; დაინტერესებისთვის, მოტივის აღძვრისთვის შეიძლება შეკითხვა „გადავამისამართოთ“ თავად მოსწავლესთან (მან შესაძლოა უკეთ გამოხატოს შესასწავლი მასალისადმი დამოკიდებულება). მაგრამ ხანდახან რთულია იმ მომენტის შერჩევა, როდესაც ჯობს შეაჩერო მოსწავლე და მისი ყურადღება მიაპყრო იმას, რას აკეთებს იგი და რატომ აკეთებს. გამოცდილი პედაგოგებისთვის ამ მომენტის გამოჭერა ძნელი არ არის, ამით ისინი აღძრვენ კიდევ სურვილს, ინტერესს, მოტივს, მოსწავლეებმა უკეთ ისწავლონ ის, რასაც სწავლობენ. მთავარია, მასწავლებელი ფლობდეს ამ ტექნიკას. ამ პროცესის მართვაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ობობას ქსელის მაგვარი მოდელი, რომელიც დაფუძნებულია კოდურ ჭარბ სტრუქტურებზე ოპტიმუმის მისაღწევად და დღეს აქტუალურია თავისი ტექნიკური შესაძლებლობებით.

ტრიადიციულ ფსიქოლოგიაში განასხვავებენ სხვადასხვა სახის რეფლექსიას:

➤ კომუნიკაციურს - მისი ობიექტია სხვა, მეორე ადამიანის შინაგან სამყაროსა და მისი ქმედების მიზეზებზე წარმოდგენის შექმნა (აქ რეფლექსია წარმოჩნდება როგორც სხვა ადამიანის შეცნობის მექანიზმი);

➤ პიროვნულს - შემეცნების ობიექტია თავად შესამეცნებელი პიროვნება, მისი თვისებები, ქცევა, სხვებთან ურთერთობის სისტემა;

➤ ინტელექტუალურს – იგი გამოიხატება სხვადასხვა სახის დავალების შესრულებითა და შესრულების გზების გაანალიზებით, დავალების პირობის არაერთგზის გადახედვით.

აქედან გამომდინარე განვიხილოთ ამოცანა მეორე - სისტემის პრინციპული სქემის აგება, რომელიც აღწერს მისი ფუნქციონირების ხერხს. ამისათვის საჭიროა დეტალურად გაირკვეს, თუ როგორ ხდება ასეთ სისტემაში მისი ფუნქციონირების მართვა. რაც შეეხება სწავლების სისტემის შესახებ წარმოდგენას მისი ბლოკ სქემა განხილული იყო ზემოთ. აღსანიშნავია სისტემის ელემენტების არათანაბარი ფუნქციური როლი: ზოგიერთი ელემენტი, რომელიც მოიცავს დანარჩენი ელემენტების შემდგომ მდგომარეობების პროექტს (გეგმას) ახდენენ ამ პროექტის (გეგმის) მიხედვით სისტემის ფუნქციონირების ორგანიზებას. ანუ არჩევენ ინფორმაციას მომხმარებლისათვის და აფასებენ მიღწეული მდგომარეობების თანაფარდობას დასახულ მდგომარეობებთან, ხოლო გადახრის დროს ახდენენ მათ განადგურებას. სისტემის ორგანიზების საზომი არის ფაქტიური მდგომარეობების დასახულთან დამთხვევის ხარისხი [18, 19].

ასახვას, რომელიც მოიცავს ინფორმაციის მიმღებთა შემდგომი ფსიქიკური მოქმედების წარმოდგენას, რეფლექსური ასახვა ეწოდება. ანუ ზემოთ აღნიშნული ფუნქციების შესასრულებლად ელემენტმა უნდა ასახოს საკუთარი და სისტემის დანარჩენი ელემენტების მდგომარეობა. იგი უნდა იყოს, არა უბრალოდ ინფორმაციის წყარო, არამედ მას უნდა ჰქონდეს უნარი შეაჯეროს, შეადაროს შემუშავებული პროექტი სისტემაში ასახულ მოდელს.

ლოკის³⁰ განმარტებით არსებობს ორი სახის გამოცდილება - გარეგანი და შინაგანი. მისი შეხედულებით შინაგანი, რასაც თვითონ უწოდებდა რეფლექსიას, ანი „სულის თვითმოქმედება“, გვევლინება შემეცნების დამოუკიდებელ წყაროდ. სისტემაში ეს ტერმინი უკავშირდება იმ ელემენტების არსებობას, რომლებსაც გააჩნიათ უნარი ასახონ სისტემის, როგორც მთელის მდგომარეობა და ამ ასახვას ეწოდება რეფლექსია.

³⁰ John Locke - ბრიტანელი პედაგოგი და ფილოსოფოსი, ემპირიზმისა და ლიბერალიზმის წარმომადგენელი. სენსუალიზმის გამაგრებელი..

რეფლექსიის ამგვარი გაგება და წარმოდგენა ობიექტებისა და სიტუაციების რეფლექსურ აღწერაზე ჩამოყალიბდა ვ. ა. ლეფვერის³¹ მიერ კომფლიქტური სათამაშო სიტუაციების აღწერასთან დაკავშირებით. ამდენად, რეფლექსიის ცნება საკმაოდ ფართო მნიშვნელობის მქონეა და გამოიყენება არა მხოლოდ სისტემის ელემენტებს შორის კონფლიქტური ურთიერთქმედებების, არამედ კონკრეტული ურთიერთქმედებების აღსაწერადაც.

საზოგადოდ, რეფლექსია (ლათ. reflexio) ნიშნავს „უკან მიბრუნებას“, ადამიანის მიერ საკუთარი პიროვნების (ღირებულებების, ინტერესების, მოტივების, ემოციების, საქციელის) ცოდნისა და მდგომარეობის გაცნობიერებას, ფიქრს საკუთარ „მე“-ზე, მდგომარეობაზე, საქციელზე, წარსულ მოვლენებზე, ამრიგად, ეს არის „საუბარი საკუთარ თავთან“. ამასთან ერთად, რეფლექსია, თვითანალიზი დამოკიდებულია თავად ადამიანის განათლებაზე, მორალურ მდგომარეობასა და თვითკონტროლზე. რეფლექსია დაკავშირებულია მიზანმიმართულებასთანაც, ვინაიდან სტუდენტი (მოსწავლე) მიზნის დასახვისას თავისებურად გაიზრებს კიდევ, როგორ მიაღწიოს მას. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია რეფლექსია დისტანციური ფორმის სწავლების დროს, როდესაც

(სტუდენტი და ლექტორი) მოსწავლე და მასწავლებელი სივრცობრივად არიან დაშორებულნი ერთმანეთს (რეფლექსიის ამ შემთხვევაში სტუდენტი (მოსწავლე) წარმოიდგენს თავისი შემცნებითი მოღვაწეობის მექანიზმს, რათა თვალი ადევნოს სწავლების პროცესს, ეს კი დაეხმარება არა მარტო მას, არამედ პედაგოგსაც); თანანამედროვე პედაგოგიკა რეფლექსიაში გულისხმობს ადამიანის საქმიანობის თვითანალიზს და მის შედეგებს [56]. ე.ი. რეფლექსია ადამიანისთვის საკმაოდ სპეციფიკური მექანიზმია აპრიორული ინფორმაციის სისტემის სამართავად. თუ ამას დაემატება ის გარემოება, რომ ადამიანის პირველადი და უმნიშვნელოვანესი, გაცნობიერებული რეაქცია ნებისმიერ სიტუაციაზე არის არა მოქმედება, არამედ მასზე გადაწყვეტილების მიღება, რეფლექსიის როლი მოტივაციის გაცნობიერებისათვის იქნება უფრო შთამბეჭდავი [47, 78, 75].

თუ განვიხილავთ რეფლექსიისა და რეფლექსური მართვის საკითხებს ფორმალური თეორიის კუთხით დავინახავთ, რომ ობიექტის ან სიტუაციის ასახვა

³¹ ვლადიმერ ალექსანდრეს ძე ლეფვერი - რუსულ - ამერიკელი ფსიქოლოგი, მათემატიკოსი. ფსიქოლოგიური თამაშების (ე.წ. „ფსიქოფენომენოლოგიის გამოთვლები“) კონცეფციის შემქმნელი.

სხვადასხვა სუბიექტის ან ერთიდაიმავე სუბიექტის ცნობიერებაში სხვადასხვა პირობებში, არის ცნობიერებაზე ობიექტის ან სიტუაციის სხვადასხვაგვარი პროექცია. ობიექტისთვის ეს ნიშნავს სხვადასხვა ნიშნის გამოყოფას, სიტუაციისთვის კი – სხვადასხვაგვარად გაცნობიერებას. დგება საკითხი იმის შესახებ, თუ რა განსაზღვრავს ობიექტის ამა თუ იმ ნიშნების გამოყოფას განმსაზღვრელის სახით [3,4].

ობიექტის ამა თუ იმ ნიშნების გამოყოფისთვის ფილტრს წარმოადგენს მიზანი (მ), რომელიც დგას სუბიექტის წინაშე ასახვის პროცესში. სისტემის ელემენტი უნდა მოიცავდეს სამი ტიპის ინფორმაციას, რაც ფაქტიურად რეფლექსიის კლასიფიკაციის ფუნქციურად დაყოფას განსაზღვრავს. მაგალითად:

- განწყობილებისა და ემოციური მდგომარეობის ასახვის რეფლექსია ანუ ინფორმაცია მომხმარებლის ცნობიერების მდგომარეობის პროექტის შესახებ, რომლის რეალიზებაც მას სურს სწავლების ან აღზრდის პროცესში [51];
- საქმიანობის რეფლექსია ანუ ინფორმაცია მომხმარებლის ცნობიერების საწყისი მდგომარეობის შესახებ საქმიანობის წინარე პროცესის წინ [56];
- სასწავლო შინაარსის მასალის რეფლექსია ანუ ინფორმაცია, რომლის შეტყობინებასაც მომხმარებელი ცდილობს მოცემულ პროცესში მომხმარებლის ცნობიერების საწყისი მდგომარეობიდან პროექტირების ეტაპზე გადაყვანისათვის [62].

რეფლექსიის გამოყენება განსაკუთრებულად აისახება გალილეის თხზულებებში. მის თხზულებებში იდგა ორი ამოცანა:

1. პტოლემის³² სისტემის რღვევა და კოპერნიკის სისტემის დასაბუთება;
2. მოძრაობის არისტოტელესეული კონცეფციის საკუთარით პტოლომესეული ჩანაცვლება.

გალილეი აცნობიერებდა, რომ საზოგადოებაში მიღებული წარმოდგენების ძირეული შეცვლა მოითხოვდა ტრადიციული შეხედულებების კრიტიკის და საკუთარი იდეების მკაფიო და გამომხატულ გადმოცემას. იგი იყენებს ძლიერ იარაღს მკითხველთა ცნობიერების სამართავად და მათი წარმოდგენების ტრანსფორმაციისთვის. ამისთვის გამოყენებულია სამი მოქმედი პირის პრინციპი:[16]

³² Ptolemaeus - ასტრონომი, ასტროლოგი, მათემატიკოსი, ოპტიკოსი, უსიკის თეორეტიკოსი და გეოგრაფი, რომელიც მოღვაწეობდა ძველ საბერძნეთში. 127-151 წწ. ცხოვრობდა ალექსანდრიაში, სადაც ატარებდა ასტრონომიულ კვლევებს. ანტიკური მონოგრაფიის „ალმაგესტის“ ატორი.

- სალვიატეს³³, ავტორისეული შეხედულებების გადმოცემის;
- საგრედოს³⁴ – თავდაჯერებული დოგმატიკოსის;
- სიმპლიჩიოს დიალოგებისა და საუბრების ფორმა[84].

რასაკვირველია, უდაოა გალილეის შრომების მნიშვნელობა ფიზიკისა და ასტრონომიისთვის, მაგრამ ჩვენ ხაზს გავუსვით მის თხზულებებს სწავლების თვალსაზრისით.

გალილეისეული “საუბრების” გარეგნული ფორმა არა არის ავტორის უდაო და მკაფიო უპირატესობის სავალდებულო ნიშანი, თუმცა ეს ფორმა არის საკმაოდ წარმატებული დიდაქტიკული ხერხი, რომელიც იძლევა შესაძლებლობას ყურადღება გამახვილდეს ავტორის მიერ გადმოცემული შეხედულებებისა და იდეების განსაკუთრებით რთულ მხარეებზე.

ცნობილი ფიზიკოს-თეორეტიკოსი და ასტროფიზიკოსი ა. ედინგტონი ამ ხერხს იყენებს საკუთარი წიგნის „სივრცე, დრო და სწრაფვა“ პროლოგში. ავტორის მიზანია აიძულოს არასპეციალისტი მკითხველი ძირეულად შეცვალოს ტრადიციული წარმოდგენები სივრცეზე. ამისთვის დისკუსია ხდება დიალოგის ფორმით „კლასიკური“ ტიპის ფიზიკოს – ექსპერიმენტატორს, მათემატიკოსსა და რელიატივისტს (რომელიც ავტორის შეხედულებებს გადმოსცემს) შორის.

კიდევ ერთ მკაფიო მაგალითს წარმოადგენს პროფესორი გ.ს. გორელიკის პედაგოგიური პრაქტიკა. სადაც ავტორის მიერ გადაწყვეტილ მთავარ დიდაქტიკურ ამოცანას წარმოადგენს მკითხველის სწავლების პროცესში ჩართვა და მისი ასეთი ფორმით სწავლება. აქაც ავტორი ირჩევს პედაგოგის სტუდენტებთან გალილეისეურ საუბრის ფორმას.

კიდევ ერთხელ გავუსვით ხაზი, რეფლექსიის აუცილებლობას, მას არა მხოლოდ აცნობიერებენ მეცნიერ-პედაგოგები, არამედ ხშირად იყენებენ კიდევ, როგორც წარმატებული დიდაქტიკური ხერხის საფუძველს, რომელიც მკვეთრად ამცირებს რთული სასწავლო მასალის ათვისების ფსიქოლოგიურ სირთულეებს.

სასწავლო მოღვაწეობის სხვადასხვა ეტაპზე რეფლექსიის მიზანია, ლექტორი/სტუდენტი (მოსწავლე/მასწავლებელი) გაკვეთილიდან მხოლოდ მკაფიო

³³ Francesco Salviati - იტალიელი მანერიზმი მხატვარი. მას ეკუთვნის ფრესკა „მარიასა და ელიზავეტას შეხვედრა“, რომლმაც მოუტანა პოპულარობა.

³⁴ Nicolò Sagredo - ვენეციის რესპუბლიკის დიპლომატი და სახელმწიფო მოხელე.

შედეგით კი არ წავიდეს, არამედ შეადაროს ერთმანეთს როგორც თავისი, ისე სხვისი საშუალებები და მეთოდები.

ცხრილი 1 - ში მოყვანილი სასწავლო მოღვაწეობის ეტაპები გამოყენებადი და მოსახერხებელია სასწავლო პროცესის ორგანიზაციისა, მართვის და სტრუქტურ-ზაციისათვის ოპტიმალური გადაწყვეტილებების მიღების დროს.

ცხრილი 1. რეფლექსიის გამოყენება სასწავლო მოღვაწეობის სხვადასხვა ეტაპზე.

სასწავლო მოღვაწეობის ეტაპი	მიზანი	შინაარსი	შეკითხვის ვარიანტი
ორგანიზების ეტაპი	სტუდენტებში (მოსწავლეებში) აღვიძებს საქმისადმი მზადყოფნას, მისწრაფებას	მოსწავლის მიერ ინდივიდუალური მიზნის არჩევა (სპეციფიკური და ზოგადი უნარ ჩვევების ფორმირებისთვის)	წაიკითხეთ გაკვეთილის თემა და შეეცადეთ მოახდინოთ თქვენი საგაკვეთილო დავალების ფორმულირება
მოსწავლეთა აქტუალიზაციის ეტაპი	ეს არის თავისებური დიაგნოსტიკა, რომელიც საშუალებას აძლევს მოსწავლეს, დაინახოს თავისი მომზადების დონე	ყოველი მოსწავლე თავისთვის განსაზღვრავს ცოდნის სისავსეს და დამოუკიდებლად აფასებს დავალების შესრულების სისწორეს	რით დაიწყებთ?
სამუშაოს დასაწყისში –გაკვეთილის შინაარსის მიხედვით – შინაარსობრივი რეფლექსია	დაეხმაროს სტუდენტს (მოსწავლეს), გააცნობიეროს „ინტელექტუალური კონფლიქტი“, მიიღოს ცოდნა თავისი ცოდნის საზღვრების შესახებ და წამოჭრას “სასწავლო დავალება“ ანუ გააფართოოს ეს საზღვრები	შემეცნებითი საქმიანობის ფორმის დამოუკიდებლად არჩევა	რით დაგეხმარებათ წყვილებში მუშაობა?
დამამთავრებელ ეტაპზე	შეაფასოს შედეგები, განსაზღვროს ახალი ამოცანები, გამოამჟღავნოს სამუშაოთი გამოწვეული განწყობილება	სტუდენტთა (მოსწავლეთა) მიერ საკუთარი თვისების უნარის, ქმედების საშუალების გაცნობა	<ul style="list-style-type: none"> ✓ რა მოგცათ წყვილში მუშაობამ? ✓ დაგეხმარათ ასეთი ფორმა, მაგალითად, განსაზღვრების შედარებათა ხარისხის შემეცნებასა და დამახსოვრებაში? ✓ რა სირთულეებს წააწყდით? ✓ როგორ უნდა

			<ul style="list-style-type: none"> ✓ გაუმკლავდეთ მათ? ✓ რა გაიგეთ ახალი ✓ გაკვეთილიდან? ✓ რა გზით მიიღეთ ახალი ცოდნა? ✓ რა გზით შეიძლება გამოიყენოთ გაკვეთილზე მიღებული ცოდნა მომავალ ცხოვრებაში?
--	--	--	--

აქვე უნდა გავითვალისწინოთ, რომ არსებობს სხვადასხვაგვარი რეფლექსია:

ა) ინდივიდუალური – როდესაც რეალურად ხდება თვითშემეცნების ფორმირება (ანუ როდესაც სტუდენტს (მოსწავლეს) შეუძლია თავისი სამუშაოს შეფასება; ეს არის საუბარი მოსწავლესთან თვითშეფასების შედეგებზე – რატომ აირჩია ესა თუ ის დონე);

ბ) ჯგუფური – როცა ჯგუფის ყოველი წევრი აქცენტს სვამს მაქსიმალურ შედეგზე („შეგვეძლო თუ არა გაკეთება, ჩვენთან რომ არ ემუშავა (სახელი)...“; „რაში დაგვეხმარებოდა (სახელი)...“)

მაგალითად ჩამოვყალიბოთ ჯგუფური მუშაობის ალგორითი:

1. რა როლი შეასრულა დავალების შესრულებაში კომუნიკაციამ?

- გახადა ის გაცილებით ეფექტური;
- შეაფერხა დავალებამ;
- ხელი შეუშალა დავალების ზუსტად შესრულებას და ჯგუფის წევრებს შორის კომუნიკაციას.

2. უმთავრესად რა დონეზე ხდებოდა ურთიერთობა ჯგუფის წევრებს შორის?

- ხდებოდა ინფორმაციის გაცვლა;
- ურთიერთქმედება;
- ურთიერთგაგება;
- ურთიერთობა შედგა ყველა დონეზე.

3. პრობლემის მოგვარებისას რა სახის კომუნიკაციური სირთულებები წარმოიშვა ჯგუფის წევრებს შორის?

- ინფორმაციის ნაკლებობა;
- კომუნიკაციური საშუალებების უკმარისობა (საუბარი, ტექსტი და ა.შ.);
- სირთულებები ურთიერთობაში.

4. რა სახის ურთიერთობა დაიძლია მუშაობის დროს?

- პიროვნებაზე ორიენტირებული;
- პრობლემის გადაჭრაზე ორიენტირებული.
- შენარჩუნდა თუ არა ჯგუფის ერთიანობა დავალების შესრულებისას?
- ჯგუფში შენარჩუნდა ერთიანობა და პარტნიორული ურთიერთობები;
- ჯგუფის ერთიანობა სამუშაოს შესრულებისას დაირღვა.
- ვინ და რამ შეასრულა გადამწყვეტი როლი იმაში, რაც მოხდა ჯგუფში?
- მუშაობის პროცესში გამოიკვეთა ლიდერი;
- ჯგუფის წევრთა უმეტესობას არ აღმოაჩნდა კონტაქტის დამყარების სურვილი;
- ერთობლივი მუშაობისთვის შეთავაზებული დავალება გაუგებარი აღმოჩნდა;
- დავალება აღმოჩნდა უინტერესო და ძნელი.

თუ აღნიშნულ ალგორითს გამოვიყენებთ მუშაობის პროცესში გაცილებით მართვადი გახდება სასწავლო პროცესი. სტუდენტები თავიანთ ცნობიერებაში მოახდენენ პედაგოგის შესაძლო მიდგომის იმიტაციას და მიზამავენ მას [39, 41]. ეს გარემოება განსაკუთრებით დამახასიათებელია ჩამოყალიბებული კოლექტივისთვის. კოლექტივის ჩამოყალიბების ძირითადი ნიშანია ჯამრთელი ატმოსფეროს შექმნა სამუშაო პროცესისათვის, უზრუნველყოს კოლექტივის წევრთა არაპროდუქტიული ყოველდღიური მუშაობის შეცვლა ახალ ალგორითმებითა და პროგრამებზე დაყრდნობით, სადაც მონაწილეობას მიიღებს მთელი გუნდი. მიუხედავად ამისა, ზოგადად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ კოლექტივს ახასიათებს ერთნაირი საფუძვლები გადაწყვეტილებების მისაღებად და არა ერთნაირი გადაწყვეტილებები. პედაგოგი მართავს კოლექტივს იმიტომ, რომ მისი რეფლექსიის რანგი მაღალია: რეფლექსია მოიცავს სტუდენტებისა და თავად პედაგოგის მოქმედების ასახვას.

II თავის დასკვნა:

ნაშრომის II თავში განხილული საკითხები, იძლევა ნათელ წაროდგენას, რომ ჭარბი კოდირება არ არის მხოლოდ შეცდომების (ნორმიდან გადახრების) გამოვლენა და შეცდომების კორექციის საშუალება, არამედ მისი საშუალების შესაძლებელია ინფორმაციული სივრცის ორგანიზაცია, სტრუქტურის ორგანიზაცია და პროცესის მართვა, ოპტიმალური გადაწყვეტილების მიღების, ოპტიმუმის მიღწევის, წონასწორობიდან გამოსული ინფორმაციული სისტემის საწყის მდგომარეობაში დაბრუნება, რთული საინფორმაციო სისტემის მათემატიკური მოდელის აღწერის ეფექტური საშუალება.

მეორე თავში განხილულია სწავლებისა და აღზრდის პროცესებში მიმდინარე რთული ინფორმაციული სისტემის მართვის პროცესის ოპტიმიზაციის პრინციპები და სისტემის ძირითადი სტრუქტურა, კოდური სტრუქტურების ბაზაზე დაფუძნებული სწავლების თანამედროვე მეთოდები, ინფორმაციული სისტემის ორგანიზაციის თეორია, როგორც ოპტიმალური მოდელის ფორმალიზაციის საფუძველი, სასწავლო პროცესში ინფორმაციის ათვისების რეფლექსური აღწერა და საინფორმაციო სისტემის მართვის რეფლექსური საკითხები, შედეგად მიღებული იქნა შემდეგი ძირითადი შედეგები:

- წარმოდგენილი სისტემის მართვის მოდელი არის უნივერსალური და მისი გამოყენება შეიძლება, როგორც არა ანტაგონისტური ისე ანტაგონისტური დაპირისპირების პირობებში. სწავლების პროცესიც წარმოადგენს ერთგვარ დაპირისპირებულ პროცესს (არაანტაგონისტურს), სადაც ჭარბი კოდური სტრუქტურების საშუალებით შეიძლება დასახული ამოცანის დადებითად გადაწყვეტა ანუ ხდება რთული ინფორმაციული სისტემის მართვის პროცესის ოპტიმიზაციის პრინციპების შემუშავება სწავლებისა და აღზრდის საქმეში.
- განხილულია ჭარბი კოდური სტრუქტურების ბაზაზე დაფუძნებულ სწავლების თანამედროვე მეთოდებს, სადაც ხაზგასმულია სწავლების დიდაქტიკური, სოკრატესული თუ კინესტეტიკური მიდგომები და განსაზღვრულია, რომ თანამედროვე პერიოდში სწავლება უნდა იყოს რეალური და ხდებოდეს ცხოვრების მოთხოვნილებათა გათვალისწინებით, რაშიც ხელსაყრელია აღნიშნული მოდელი.

- სწავლების სისტემის ახალი მოდელის შექმნა მოითხოვს მისი სტრუქტურისა და ფუნქციონირების მკაფიო ანალიზსა და აღწერას, რაც საჭიროებს წმინდა ფსიქოლოგიური და კიბერნეტიკული ასპექტების განხილვას სწავლების პროცესში მოსწავლეთა აზროვნების ჩამოყალიბებისა და განვითარებისათვის, რაც წარმოადგენს შედეგზე ორიენტირებულ ძირითად ინტერესს.
- აღნიშნულ თავში წაროდგენილი რთული ინფორმაციული სისტემის შემადგენელი მრავალარუსიანი მოდელი, რომელიც სისტემის სტრუქტურის ძირითადი ელემენტების დასაკავშირებლად არის გამოყენებული.
- სისტემის ეფექტური ფუნქციონირების და მათი სტრუქტურასთან დაკავშირებისათვის გამოყენებულია ბლოკური სქემა - რომელზეც გამოიყოფა სტრუქტურის ძირითადი ელემენტები და მათ შორის ზოგადი კავშირები და პრინციპული სქემა, სადაც უფრო ღრმად და დეტალურად არის მითითებული კავშირები სისტემის ფუნქციურ ელემენტებს შორის და ვლინდება მათი ფუნქციონირების ძირითადი პრინციპები.
- განხილულია ინფორმაციული სისტემის ორგანიზაციის თეორია, როგორც მოდელის ფორმალიზაციის საფუძველი სწავლებისა და აღზრდის საქმეში, აგრეთვე ახალი ელემენტების აგების პროცედურა დაკავშირებული მიმდებთა მდგომარეობის შესახებ. მოცემულია თანაფარდობის მოცულობისთვის საჭირო სისტემის ელემენტებს შორის შესაბამისი თანაფარდობის აღწერის ხერხი, რასაც ადგილი აქვს მისი ფუნქციონირების პროცესში.
- ყურადღება გამახვილებულია სასწავლო პროცესში ინფორმაციის ათვისებასა და სწავლების რეფლექსური აღწერაზე, სისტემის მართვის რეფლექსური საკითხებზე და მათ აუცილებლობაზე მოდელის აგებისას. განხილულია რეფლექსის სახეები, რეფლექსიის გამოყენება სასწავლო მოღვაწეობის სხვადასხვა ეტაპზე. აღნიშნულია რეფლექსიისა და რეფლექსური მართვის საკითხების ფორმალური თეორიის კუთხით დანახვა, ობიექტის ან სიტუაციის ასახვა სხვადასხვა სუბიექტის ან ერთიდაიმავე სუბიექტის ცნობიერებაში სხვადასხვა პირობებში, რაც ცნობიერებაზე ობიექტის ან სიტუაციის სხვადასხვაგვარი პროექციაა.

თავი III

მაკორექტირებელი კოდის ბაზაზე შედგენილი ცოდნის ათვისების კონტროლის ორგანიზაციისა და მართვის მოდელის პრაქტიკული რეალიზაცია

3.1. ცოდნის ათვისების რთული ინფორმაციული სისტემის შემადგენელი ძირითადი ელემენტების აღწერა

საგანმანათლებლო სფეროში ცოდნის ათვისების სირთულე, სამეცნიერო კვლევის საკმაოდ დიდ შესაძლებლობას იძლევა. ცოდნის ათვისების რთული ინფორმაციული სისტემის ძირითად პირობას წარმოადგენს დაპირისპირებულ მხარეთა შეთანხმება, ოპტიმალურ პირობაზე. შესაბამის სიტუაციაში დაპირისპირებულ მხარეებად განიხილება ერთის მხრივ მოსწავლე, ხოლო მეორეს მხრივ – მასწავლებელი ან ზოგადად სტუდენტი და ლექტორი - სწორედ მათ შორის ინფორმაციის გადაცემის ანუ სწავლების პროცესში ცოდნის ეფექტურად ათვისების ორგანიზაციისა და მართვის საკითხების გადაწყვეტის ოპტიმალურ მოდელად გვევლინება ნაშრომში განხილული სისტემა. აქვე უნდა ვახსენოთ, რომ ეს დაპირისპირება არავითარ შემთხვევაში არ არის ანტაგონისტური, მიზანი ორივე მხარისათვის ცოდნის ათვისების მაღალი ხარისხია.

ახალი მოდელი გვაძლევს საშუალებას, რომ განისაზღვროს და გამოვლინდეს ცოდნის ათვისების პროცესში ჩართულ დაპირისპირებულ მხარეთა შორის შეთანხმება, ნაკლოვანებები და კორექტულად აღმოიფხვრას შესაბამისი სისუსტეები. ნაშრომში განხილულ მოდელში ეს საკითხი რეალიზებულია სისტემაში კოდური სიჭარბის შეტანის საფუძველზე, ანუ მაკორექტირებელი კოდის საშუალებით.

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგები საშუალებას იძლევა, რომ განხილული მოდელის საშუალებით ერთდროულად შევაფასოთ და განვსაზღვროთ ცოდნის ათვისების რთულ ინფორმაციულ სისტემაში მონაწილე დაპირისპირებულ მხარეთა კონტროლი და მოვახდინოთ ცოდნის ათვისების ოპტიმალური მართვა.

რათქმაუნდა პრეტენზია მაქსიმალურ სიზუსტეზე და საუკეთესო მეთოდზე ვერ გვექნება, მაგრამ ნაშრომში წარმოდგენილი მოდელი, რომელიც ერთი საქონლის

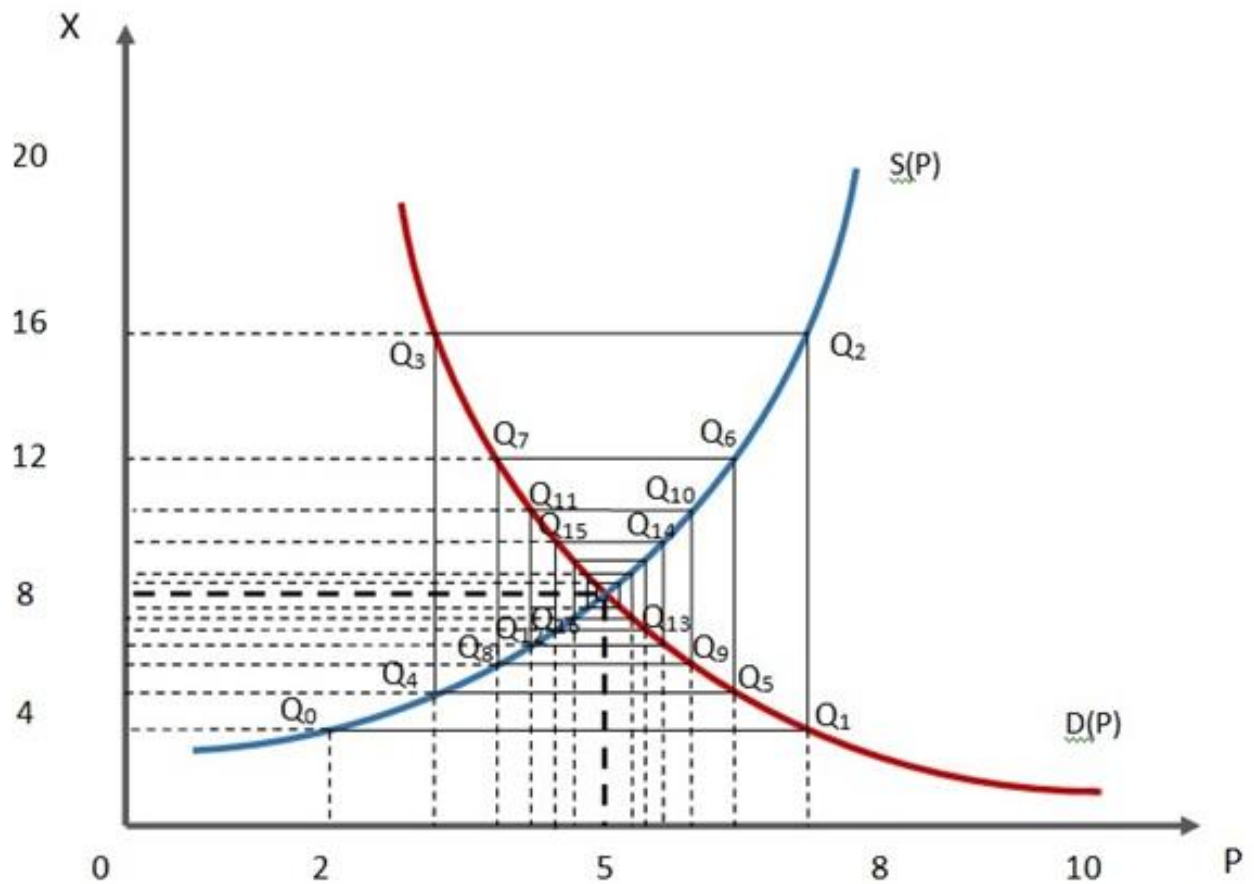
ბაზრის ეკონომიკური სივრცის ანალიზის საფუძველზე დაყრდნობით შევადგინეთ, საშუალებას იძლევა გამოუენებული იქნას სწავლების განსაზღვრულ ეტაპზე [1, 33]. ფაქტიურად ვიყენებთ ქსელურ მოდელს, რომელიც მოკლე დროში მიგვიყვანს ცოდნის საუკეთესო-ოპტიმალურ ათვისებამდე.

ჩატარებული კვლევიდან გამომდინარე მიღებული სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით სწავლების ეტაპები შეიძლება დახასიათდეს არსებულ მეთოდთან ადაპტაციის პერიოდით, როცა მოსწავლეთა ცოდნის დონე, ვერ ეგუება ცოდნის მიწოდების წინასწარ შემუშავებულ ხერხს, ე.ი. თხოულობს მასთან მორგებას. ამიტომ, სწავლების პროცესში შესაძლებელია დინამიკის გამოყენება, რათა მივიღოთ ისეთი მდგომარეობა, როდესაც უკვე შესაძლებელი გახდება წინასწარ შემუშავებული პირობების მიხედვით მოქმედება. ნაშრომში დახასიათებული ქსელური მოდელი საშუალებას იძლევა ოპტიმალური შედეგი მივიღოთ მოკლე დროში. ცოდნის მიწოდების ეტაპებში იგულისხმება სწავლების წინა საფეხურზე მასალის ისეთი ფორმით მიწოდება, რომ მოხდეს მისი სრულყოფილად ათვისება. შემდეგ ეტაპზე, როდესაც მოსწავლე გახდება ე.წ. სრულფასოვანი, ანუ მორგებული იქნება შესაბამის პროცესზე, შესაძლებელი იქნება მოვახდინოთ გადასვლა, სტატისტიკურ მოდელზე, ე.ი. როცა ცოდნის ათვისების პროცესი უკვე აღარ იქნება დამოკიდებული წინა საფეხურზე. სურ.17-ზე წარმოდგენილ გრაფიკს, რომელიც არის მოსწავლეთა ჯგუფზე დაკვირვების შედეგად მიღებული სტატისტიკური მონაცემების შედეგი, აქვს შემდეგი სახე.

სურათზე წარმოდგენილია ორი მრუდის, $D(P)$ - მოთხოვნისა და $S(P)$ - მიწოდების ფუნქციების ურთიერთ დამოკიდებულება. ჩვეულებრივ $D(P)$ და $S(P)$ მრუდების გადაკვეთის წერტილები $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ იქნება ცოდნის მიწოდება და ათვისება დროის მიხედვით; P - ცოდნის ათვისება გამოსახული ქულებში და X - მიწოდებული ინფორმაციის რაოდენობა.

ფაქტიურად, ცოდნის მიმწოდებელი (ჩვენს შემთხვევაში ლექტორი ან მასწავლებელი), ამთვისებელს (ე.ი. სტუდენტს ან მოსწავლეს), თავდაპირველად მისაწოდებელ მასალას ისეთი რაოდენობითა და ფორმით გადასცემს, რომ შესაძლებელი იყოს მისი სრულყოფილი ათვისება. დროის ყოველ შემდეგ მონაკვეთებში მასალა თანდათან გაიზრდება, რადგან მოსწავლე უკვე ადაპტი-

რებულია არსებულ პირობებთან, იგი მზად იქნება ათვისისოს მასალის ახალი, გაზრდილი რაოდენობა, ანუ სისტემაში შემოგვაქვს სიჭარბე. შედეგად მივალწევთ პროგრამული მასალის საუკეთესო ათვისებას.



სურ.17. ცოდნის ათვისების ორგანიზაციისა და მართვის ობობასმაგვარი ქსელის მოდელი

მოვახდინოთ ცოდნის ათვისების ინფორმაციული სისტემის შემადგენელი ძირითადი ელემენტების აღწერა, რომელიც წარმოადგენს შემდეგი ოპერაციებისა და პროცედურების თანმიმდევრობას.

I საწყისი მონაცემებისა და პარმეტრების აღწერა

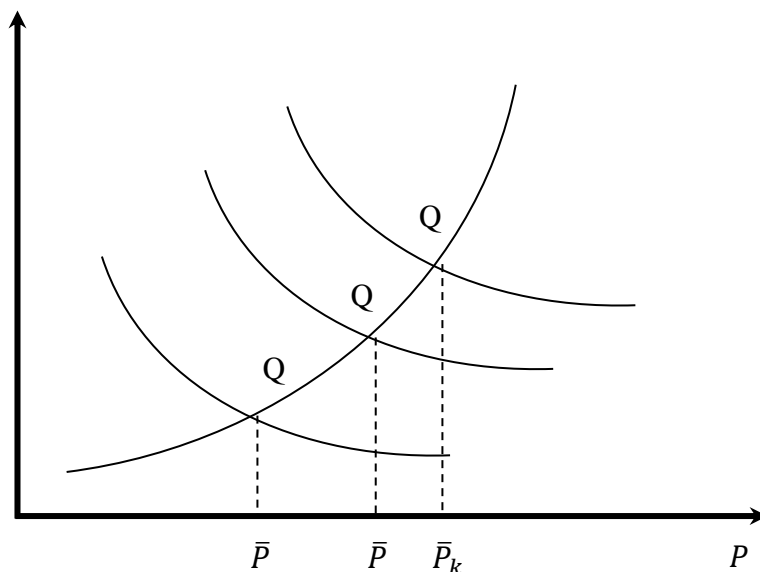
- „ანალიზი I“ - ცოდნის ათვისების მოდელში საწყის ეტაპზე ხდება მოთხოვნისა და მიწოდების აზრის განხილვა. მოთხოვნილების $D(P)$ მრუდს აქვს იგივე დატირთვა, რაც სტატიკურ მოდელში. ცოდნის მიწოდების $S(P)$ მრუდის ორდინატები გვიჩვენებენ ცოდნის მიწოდების მოცულობას დროის წინა პერიოდში ცოდნის ათვისებასთან დამოკიდებულებით, რაც შემდეგ ბლოკებში გამოიყენება სწავლების პროცესის მართავის.

- *„ანალიზი II“* - სწავლების პროცესის სხვადასხვა ეტაპზე შესაბამის მრუდებზე შეფასების ასახვა. სწავლების წინა პერიოდში (ანუ ცოდნის ათვისების ხარისხი დროის საწყის მომენტში) P_0 შეფასების ასახვა Q_1 წერტილით ცოდნის მიწოდების $S(P)$ მრუდზე, საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ მიწოდებული ცოდნის X_1 რაოდენობა სწავლების პირველ პერიოდში. ყველა მიწოდებული მასალა ათვისებული იქნება და აისახება P_1 შეფასებით, რომელსაც შეესაბამება Q_1 წერტილი ცოდნის მოთხოვნილების $D(P)$ მრუდზე. იგივე X_1 კოორდინატი, Q_2 დროის მეორე პერიოდში.
- *„ანალიზთა შედეგი დროის განსაზღვრული მომენტისათვის“*. მოძრაობა წარმოებს ვერტიკალზე Q_1 წერტილიდან $S(P)$ მრუდისკენ, რომელიც იძლევა X_2 წერტილს. შემდეგ მოძრაობა გრძელდება $D(P)$ მრუდზე ჰორიზონტალურად Q_2 წერტილამდე. უკანასკნელი წერტილი ახასიათებს ცოდნის P_2 ათვისებას. პროცესის გაგრძელების შემთხვევაში ვღებულობთ, ცოდნის მიწოდებისა და ათვისების მახასიათებლებს დროის მიხედვით, რომლებსაც შეესაბამება თანმიმდევრული წერტილები $Q_1, Q_2, Q_3 \dots$

II - $D(P)$ და $S(P)$ მრუდების მოძრაობის დახასიათება:

- *„ოპტიმიზაცია“* - მოძრაობა ოპტიმალური წერტილისაკენ. $D(P)$ მრუდზე წერტილთა თანმიმდევრობა მიისწრაფვის Q ოპტიმალური წერტილისკენ. ამ დროს წერტილები რიგრიგობით განლაგდებიან Q წერტილის ხან მარცხნივ ხან მარჯვნივ. ათვისების P_t მნიშვნელობები ისწრაფვიან საუკეთესო \bar{p} მაჩვენებლისკენ. მსგავსად ამისა მიწოდებული ცოდნის მოცულობის შესაბამისი წერტილები X_t განლაგდებიან მიმდევრობით შესაბამისად \bar{x} წერტილის ზემოთ და ქვემოთ.
- *„მრუდთა რხევები“* - $D(P)$ მრუდის ზემოდან ქვემოთ მოძრაობის დროს და $S(P)$ მრუდის ქვევიდან ზევით მოძრაობისას, მოძრაობა ხასიათდება მიღევადი რხევებით და $D(P)$ მრუდს წონასწორობის Q წერტილში ექნება მეტი დახრა ვიდრე $S(P)$ მრუდს. უწყვეტად მზარდი მოძრაობა კი იქნება მაშინ, როცა $D(P)$ მრუდს ექნება ნაკლები დახრა იგივე წერტილში ვიდრე $S(P)$ მრუდს. ორივე მრუდის ერთნაირი დახრის შემთხვევაში აღიძვრება რეგულარული რხევა, ანუ არც მიღვადი და არც უწყვეტად მზარდი.

- „სხვაობა მრუდების დახრებს შორის“ - შედეგის ოპტიმიზირებისათვის მოდელში ვიყენებთ ერთი ინტერვალით დაგვიანების პირობას, ამ დროს $D(P)$ მრუდის დახრა Q წერტილში $S(P)$ მრუდთან სედარებით უნდა იყოს უფრო მეტი. ამ შემთხვევაში განხილულ ტოლობას ექნება ერთი ამონახსნი. რაც მეტია განსხვავება მრუდებს შორის დახრაში, მით უფრო ადრე მივაღწევთ სასურველ შედეგს - Q წერტილს და შესაბამისად ადრე დამთავრდება ადაპტაცია ნორმალურ პირობებთან.
- „შედეგი“ - მრუდების გადაკვეთის Q წერტილი შეესაბამება მიწოდებული და ათვისებული ცოდნის წონასწორულ \bar{p} წერტილს - ოპტიმუმს, მაგრამ ხშირ შემთხვევაში \bar{p} ათვისება არ შეესაბამება მაღალ შეფასებას. იმისათვის, რომ პროგრამა დაძლეული იქნეს მაღალ დონეზე, \bar{p} წონასწორობის წერტილი ისე უნდა გადავადგილოთ მაღალი შეფასებისაკენ, რომ წონასწორობა მიწოდებული და ათვისებულ მასალას შორის არ დაიკარგოს.
- „სამიებელი ოპტიმუმი“ - მიწოდებული მასალის ხარისხის და რაოდენობის გაზრდამ უნდა გამოიწვიოს მოთხოვნილების პროპორციული ზრდა. ამისათვის სასურველია გრაფიკზე მიწოდების მრუდი დავტოვოთ უცვლელად, ხოლო მოთხოვნილების მრუდი გადაადგილდეს პირველის პარალელურად, სანამ არ მივაღწევთ ოპტიმალურ შეფასებას. სქემატურად ეს ასე აისახება:



აღნიშნული მრუდების გამოყენება შესაძლებელი იქნება სწავლების პროცესის მართვისათვის, რადგან ისინი აგებული არიან ერთი და იგივე დროში და არა დროში რომელიმეს წანაცვლებით. სწავლების პროცესის ოპტიმალური მართვის

მთავარი პირობაა გვექონდეს მრუდების გადაკვეთის. ჩვენს მიერ დამუშავებული ინფორმაციული მოდელი საშუალებას მოგვცემს გავერკვეთ ცოდნის იმ რაოდენობრივ სიდიდეებში, რომლებიც უნდა მიეწოდოს მოსწავლეს, რათა მივაღწიოთ ცოდნის საუკეთესო ათვისებას.

- „*მაკორექტირებელი მოდული*“ - საშუალება იძლევა მოვახდინოთ გადახრების კორექცია. საუკეთესო ათვისების \bar{p} წერტილიდან გადახრა მარჯვნივ მიუთითებს მოსწავლის ნაკლოვანებაზე, ხოლო მარცხნივ - მასწავლებელის მიერ არასრულად მიწოდებულ მასალაზე. აღნიშნული ხარვეზები აისახება გადახრების სიდიდით რიცხობრივად, რაც საშუალებას მოგვცემს ვმართო სწავლის პროცესი. მოცემული მოდელი თანაბარი სიზუსტით აკონტროლებს, როგორც მოსწავლეებს, ისე მასწავლებელს.

III - ოპტიმალური შეფასების მნიშვნელობის პოვნა.

- „*ოპტიმუმის პოვნა*“ - მაკორექტირებელი კოდის საშუალებით შეფასების ოპტიმალური მნიშვნელობის პოვნა. მასწავლებელი კონკრეტული ცოდნის გადაცემის შემდეგ თვითონ ახდენს შეფასებას, გამომდინარე მიწოდებული და მოთხოვნილი მასალის რაოდენობიდან. ამ დროს ვგულისხმობთ, რომ მასწავლებლის შეფასება შეიძლება იყოს არაადეკვატური და ვიკვლევთ რეალური ცოდნის საუკეთესო ათვისების შესაძლებლობას.
- „*კოდის ფორმირება*“ - პროცესი ისე უნდა წარიმართოს, რომ საუკეთესო შეფასებიდან ყოველ კონკრეტულ გადახრას გააჩნდეს თავისი მოსაზღვრე ნაშთა კლასი. ამით კოდი გაარჩევს ერთმანეთისგან განსხვავებულ მოსალოდნელ გადახრებს. მივიღებთ რა სწავლების პროცესში გადახრის ზუსტ მნიშვნელობას, საუკეთესო (ოპტიმალური) შეფასების გასარკვევად, ის ან უნდა გამოაკლდეს ან დაემატოს მცდარი შეფასების მნიშვნელობას. კოდის ასაგებად საჭიროა მოდულის ოპტიმალური მნიშვნელობის განსაზღვრა, რომლის მიხედვით ყველა დაშვებულ შეცდომას (შეფასების მცდარ მნიშვნელობებს) ცალსახად შეესაბამება ურთიერთ არამკვეთი მოსაზღვრე კლასი. (იგულისხმება Q წერტილის შესაბამისი \bar{p} წერტილი გრაფიკზე) ორივე მხარეს არის ε_{\min} და ε_{\max} , მოდულის სიდიდე განისაზღვრება $m = |\varepsilon_{\min}| + \varepsilon_{\max}$, რადგან სწავლების არხი არასიმეტრიულია, დადებითი და უარყოფითი გადახრების ალბათობები არ არის ტოლი.

IV - ინფორმაციის შინაარსის (სემანტიკის) წარმოდგენა რიცხვითი ფორმით.

➤ „ფუნქციათა გრაფიკების აგება“ - ცოდნის მიწოდების და მოთხოვნილების $S(P)$ და $D(P)$ მრუდების აგების დროს დაუგეგმავი სირთულის თავიდან ასაცილებლად, ყველა მონაცემი უნდა წარმოვადგინოთ რაოდენობრივი და რიცხვითი ფორმით, ეს საშუალებას იძლევა მარტივად მოხდეს ფუნქციათა გრაფიკების აგება.

➤ „შინაარსის წარმოდგენა რიცხვითი ფორმით“ - ეს პროცესი წარმოებს სემანტიკური ენტროპიის გამოყენებით ანუ ცოდნის ათვისების პროცესში არსებული ინფორმაციის შინაარსის გამოვხატვას რიცხვითი ფორმით [35]. ზოგადად ენტროპია გამოისახება ფორმულით

$$H = \sum_2 P_i \log P_i ,$$

სადაც P_i წარმოადგენენ შესაძლო ხომილებათა სიმრავლეს [53].

➤ „ხდომილებათა სიმრავლის განსაზღვრა“ - თუ გვაქვს ხდომილებათა გარკვეული სიმრავლე, მაშინ მათი ალბათობები შესაბამისად იქნება P_1, P_2, \dots, P_n . ანუ საწყისი ინფორმაცია ხდომილებათა განხორციელებაზე.

➤ „ხდომილებათა ზომის განსაზღვრა“ - ზომა P_1, P_2, \dots, P_n ხდომილებებისათვის განისაზღვრება ზემოთ მოყვანილი ენტროპიის ფორმულის გამოყენებით. H ფუნქციას იქნება შემდეგი ძირითადი თვისებების მატარებელი:

- უწყვეტი P_i ალბათობების მიმართ;
- მონოტონურად მზარდი ფუნქცია n -ის მიმართ ყველა იმ შემთხვევაში, როცა P_i ერთმანეთის ტოლია და მათი მნიშვნელობა უდრის $1/2$;
- იქნება ნულის ტოლი მხოლოდ მაშინ, როცა ალბათობა რომელიმე $P_i=0$ და იქნება ერთის ტოლი, როდესაც $P_i=1$, ასეთ შემთხვევაში შედეგი სრულიად განსაზღვრულია;
- მაქსიმალურია მოცემული n -თვის, როცა $P_i=1/n$.

მაგალითისთვის განვიხილოთ ზოგადი სიტუაცია. აკადემიური მასალა შეიცავს L საკითხს და K ცნებას, რომლებიც საჭიროა მოცემული მასალის სრული ათვისებისათვის. თუ n ცნება ($n=1, 2, \dots, K$) მოცემულ ასახსნელ მასალაში მეორდება G_k -ჯერ, მაშინ

$$P_k = \frac{G_k}{I}$$

სადაც I – განმეორებადი ცნებების რაოდენობაა, რომელებიც საჭიროა გამოყენებული მასალის სრული ახსნისათვის. ამრიგად

$$I = G_1 + G_2 + \dots + G_m$$

არის აპრიორული აღბათობა K -ური ცნებების მნიშვნელობებისა. საშუალო ინფორმაცია როემლიც მოდის ერთ ცნებაზე იქნება

$$\delta = - \sum_{k=1}^m P_k \log_2 P_k$$

ამ დროს i -ური ($i=1, 2, \dots, N$) საკითხის შესაბამისი ინფორმაცია ტოლია

$$\delta_i = G_i \delta$$

➤ „შედეგის განსაზღვრა“ - შედეგში ვლელულობთ G_i ცნებების რაოდენობას, რომ-ლებიც საჭიროა i -ური საკითხის ათვისებისათვის. სრული ინფორმაცია, რომე-ლიც მიეწოდება მსმენელს სრული მასალის ათვისებისათვის არის

$$\delta_h = \sum_{i=1}^N \delta_i$$

ბოლო გამოსახულების გათვალისწინებით

$$\delta_h = \sum_{i=1}^N \delta_i = \sum_{i=1}^N G_i \left(\sum_{k=1}^M P_k \log_2 P_k \right) = - I \sum_{k=1}^M P_k \log_2 P_k = I \sum_{k=1}^M \frac{G_k}{I} \log_2 \frac{G_k}{I},$$

$$\text{სადაც } \sum_{k=1}^M P_k = 1 \text{ და } \sum_{k=1}^M G_k = I$$

მაშასადამე, მოცემული ალგორითმი უზრუნველყოფს ასახსნელი მასალის შინაარსის გადაყვანას რიცხვით გამოსახულებაში.

3.2 ინფორმაციული სისტემის პროგრამული რეალიზაცია

წარმოდგენილი ალგორითმის რეალიზება მოხდა დაროგრამების ენა „java“-ზე, მის საფუძველზე შედგენილი იქნა კომპიუტერული პროგრამა, რომელიც ვიზუა-ლურად გამოხატავს ოპტიმიზაციის პროცესს.

დაროგრამების ენა „java“, რომელშიც გადაწყდა, აღნიშნული ამოცანა არის ზოგადი დანიშნულების, კონკურენტული და ობიექტურად ორიენტირებული. ის მკაცრად (სტატიკურად) ტიპიზირებული ენაა, მარტივი სინტაქსური აგებულებით წააგავს უფრო ადრეულ ენებს C და C++. Java პროგრამები კომპილირდება ბაიტ-

კოდებში და ეშვება Java ვირტუალურ მანქანაში (JVM), რაც უზრუნველყოფს კომპილირებული პროგრამის დამოუკიდებლობას გამშვები სისტემასთან მიმართებაში.

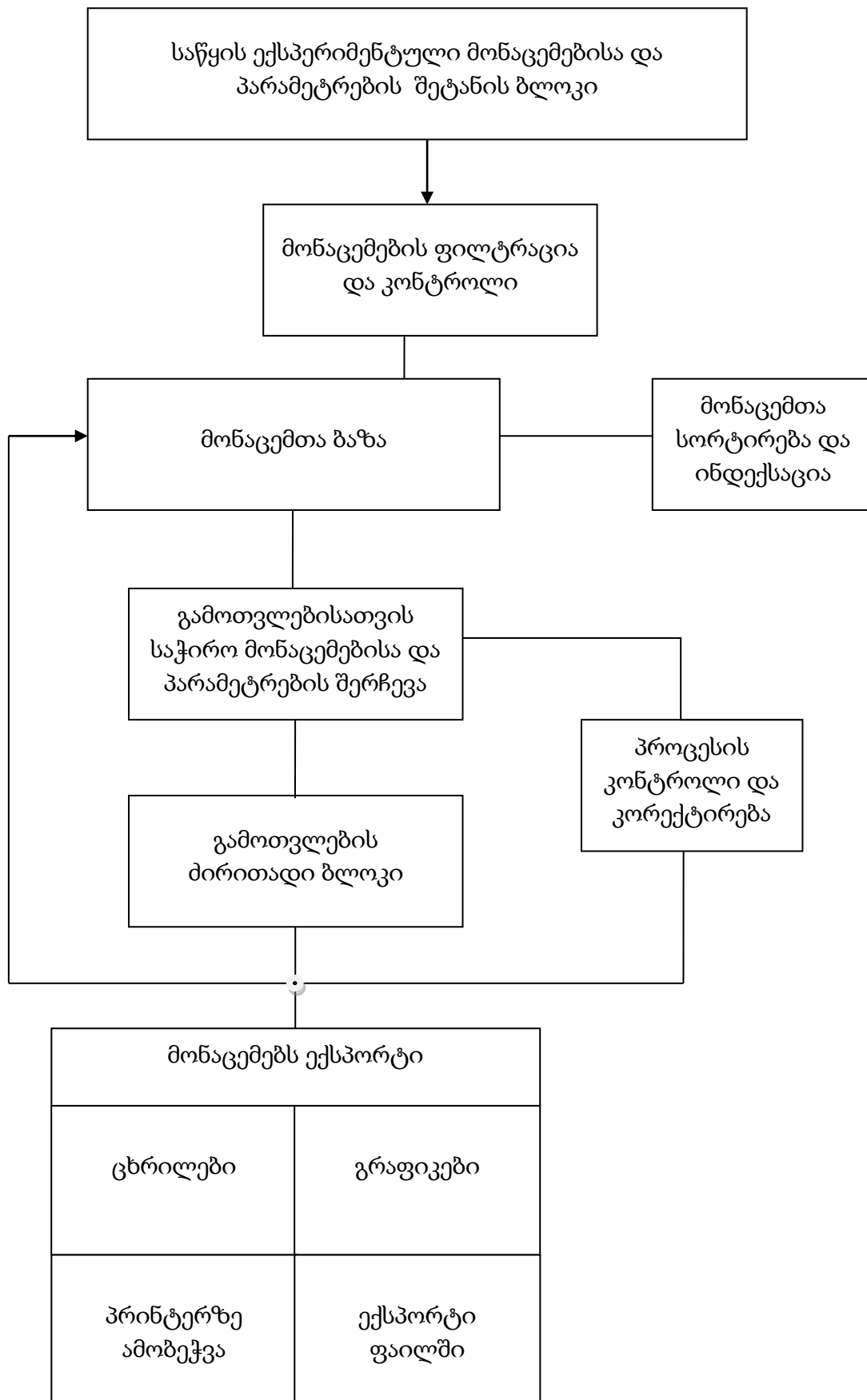
Java მხარდაჭერილია ძირითად კომპიუტერულ და მობილურ ოპერაციულ სისტემებში, უამრავ საყოფაცხოვრებო და ციფრული მოწყობილობაში, აგრეთვე საბანკო პლასტიკურ და სხვა სახის სერვის ბარათებში.

Java-ს ძირითადი დამახასიათებელი თვისებაა, იყოს დამოუკიდებელი შესრულების გარემოს აგებულების დეტალებისაგან. ცნება შესრულების გარემო Java-ს შემთხვევაში გაცილებით შორსაა წასული ვიდრე უბრალოდ ოპერაციული სისტემა. Java პლატფორმაზე შექმნილი პროგრამული პაკეტი პირველ რიგში საშუალებას იძლევა ცვლილების გარეშე გამოვიყენოთ სხვადასხვა სისტემურ პლატფორმაზე.

წარმოდგენილი ალგორითმის შემადგენელი ბლოკების ზოგადი სტრუქტურული სქემა წარმოადგენს კავშირს სისტემის ძირითად ელემენტებს შორის.

საინფორმაციო სისტემის ფუნქციონირება ხორციელდება დირექტივების საფუძველზე. გამოყენებულია სამი სახის დირექტივა: საინფორმაციო, შესრულებადი და მაკონტროლებელი. შესრულებადი დირექტივების შედეგად სისტემა ასრულებს გარკვეულ ოპერაციებს, მაგალითად, მიმართავს გარკვეულ ბლოკს, მონაცემების ბაზიდან წაიკითხავს მითითებული სქემის აღწერილობას და ა. შ. საინფორმაციო დირექტივების საფუძველზე სისტემა იძლევა საცნობარო ინფორმაციას სისტემაში მიმდინარე პროცესების შესახებ, მონაცემთა ბაზის მდგომარეობის შესახებ. მაკონტროლებელი დირექტივები კი საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ სისტემის კორექცია და ნაკლოვანებების ლოკალიზაცია.

წარმოდგენილი სისტემა შესაბამისი პროგრამული ბლოკების საშუალებით ოთხ ძირითად რეჟიმში მუშაობს. ესენია: მონაცემების შეტანის რეჟიმი, მონაცემების ბაზებთან მუშაობის რეჟიმი, დავალების შესრულების, გამოთვლების რეჟიმი და შედეგების გამოტანის, ექსპორტის რეჟიმი. ზემოთ ჩამოთვლილი ფუნქციები განსაზღვრავს განხილული სისტემის ოპტიმალურ მუშაობის პირობას, სისტემის პროგრამული უზრუნველყოფის სტრუქტურას.



ცოდნის ათვისების რთული ინფორმაციული სისტემის შემადგენელი ძირითადი ელემენტების შესაბამისი პროგრამული ბლოკების კავშირის სქემა

III თავის დასკვნა:

ნაშრომის III თავში განხილული საკითხები აღწერს დისერტაციაში წარმოდგენილი სწავლის ათვისების რთული ინფორმაციული სისტემის პრაქტიკულ რეალიზაციას. სისტემის ძირითად არსს წარმოადგენს დაპირისპირებულ მხარეთა შეთანხმება, ოპტიმალურ პირობაზე. წარმოდგენილი მოდელი საშუალებას გვაძლევს განისაზღვროს და გამოვლინდეს ცოდნის ათვისების პროცესში ჩართულ დაპირისპირებულ მხარეთა შორის შეთანხმება, და კორექტულად აღმოიფხვრას შესაბამისი ნაკლოვანებები.

მესამე თავი წარმოადგენს ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების წინაპირობას.

მესამე თავში აღწერილია ცოდნის ათვისების ინფორმაციული სისტემის შემადგენელი ძირითადი ელემენტები და შესაბამისი პროგრამული ბლოკები.

დახასიათებულია საინფორმაციო სისტემის ფუნქციონირების დირექტივები და პროგრამული ბლოკების მუშაობის რეჟიმები.

წარმოდგენილი ალგორითმის საფუძველზე შედგენილია სისტემის ძირითად ბლოკებს შორის კავშირის სტრუქტურული სქემა.

ნაშრომის ბოლოს შემუშავებულია პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც რეალიზებულია დაროგრამების ენა „java“-ში. პროგრამული კოდი წარმოდგენილია დანართში.

დასკვნა

სადისერტაციო ნაშრომში შემოთავაზებულია ცოდნის ათვისების კონტროლის ორგანიზაციისა და მართვის ახალი მეთოდი, რომლიც ეფუძნება დაპირისპირებულ მხარეთა ოპტიმალური შეთანხმების მოდელს, რომელსაც საფუძვლად უდევს ერთი საქონლის ბაზრის სტრუქტურა, ე.წ. „ობობასქსელის მაგვარი“ სტრუქტურა.

სქემატურად დაპირისპირება წარმოდგენილია $S(P)$ და $D(P)$ მოთხოვნილების (მოთხოვნის) მრუდებით. მათი გადაკვეთის წერტილი წარმოადგენს ოპტიმალურ გარიგებას, როდესაც „გამყიდველიც“ და „მყიდველიც“ აღწევენ ურთიერთ მისაღებ შეთანხმებას საქონლის ოპტიმალურ ფასზე.

აღნიშნული სქემა გამოყენებულია სწავლების პროცესში ოპტიმიზაციის მიზნით - პედაგოგის მიერ მიწოდებული აკადემიური მასალის და მოსწავლის მიერ მაღალი P ხარისხით ათვისებისათვის. მოდელი იძლევა საშუალებას ერთდროულად შემოწმდეს პედაგოგისა და მოსწავლის აქტივობა.

დაპირისპირების პროცესში P სიდიდის ოპტიმალური მნიშვნელობიდან გადახრები განიხილება, როგორც შეცდომები და შესაბამისი კოდური სტრუქტურის გამოყენებით ხდება სისტემაში წონასწორობის აღდგენა, ე.ი. ოპტიმალური P_0 მნიშვნელობის ფიქსირება. ამ მიზნით გამოყენებულია არითმეტიკული (ნაშთთა კლასების) ზ.ყიფშიძის მაკორექტირებელი კოდი [22].

ნაშრომში შემოთავაზებულია სხვა მაკორექტირებელი კოდების ალგორითმები და კოდური სტრუქტურების აგების კონკრეტული მაგალითები.

უმაღლეს სასწავლებლებში მომზადებული სპეციალისტების პროფესიული დონის შეთავსება შრომის ბაზრის მოთხოვნებთან და კურსდამთავრებულის კონკურენტუნარიან სპეციალისტად ჩამოყალიბებისათვის, საჭიროა ცოდნის ათვისების, კონტროლისა და დიაგნოსტიკის ახალ მოდელზე გადასვლა. შესაბამისი ინფორმაციული მოდელის მენეჯმენტი მხოლოდ თანამედროვე საგანმანათლებლო სისტემის მოდელის საფუძველზე უნდა იყოს აგებული.

განათლების პროცესების მენეჯმენტში ცოდნის ათვისების ინფორმაციული მოდელის გამოყენებით, განათლების სისტემას შეუძლია ქვეყნის განვითარების ეფექტურ მექანიზმად იქცეს.

ნაშრომში განხილულია სწავლებისა და აღზრდის პროცესებში მიმდინარე რთული ინფორმაციული სისტემის მართვის პროცესის ოპტიმიზაციის პრინციპები და სისტემის ძირითადი სტრუქტურა, კოდური სტრუქტურების ბაზაზე დაფუძნებული სწავლების თანამედროვე მეთოდები, ინფორმაციული სისტემის ორგანიზაციის თეორია, როგორც ოპტიმალური მოდელის ფორმალიზაციის საფუძველი, სასწავლო პროცესში ინფორმაციის ათვისების რეფლექსური აღწერა და საინფორმაციო სისტემის მართვის რეფლექსური საკითხები.

დისერტაციაში წარმოდგენილი სისტემის მართვის მოდელი არის უნივერსალური და მისი გამოყენება შეიძლება, როგორც არა ანტაგონისტური ისე ანტაგონისტური დაპირისპირების პირობებში.

განხილულია ჭარბი კოდური სტრუქტურების ბაზაზე დაფუძნებული სწავლების თანამედროვე მეთოდები, სადაც ხაზგასმულია სწავლების დიდაქტიკური, სოკრატესეული თუ კინესტეტიკური მიდგომები და განსაზღვრულია, რომ თანამედროვე პერიოდში სწავლება უნდა იყოს რეალური და ხდებოდეს ცხოვრების მოთხოვნილებათა გათვალისწინებით.

შემუშავებულია ინფორმაციული სისტემის ორგანიზაციის თეორია, როგორც ინფორმაციული მოდელის ფორმალიზაციის საფუძველი სწავლებისა და აღზრდის საქმეში, აგრეთვე ახალი ელემენტების აგების პროცედურა დაკავშირებული მიმღებთა მდგომარეობის შესახებ.

დისერტაციაში ჩატარებული კვლევების ანალიზზე დაყრდნობით გამოიკვეთა ცოდნის ათვისების დონის შეფასების თანამედროვე კონცეფცია, სისტემური პრინციპები, სპეციფიკა, თვისებრივი მაჩვენებლები, ხარისხის ძირითადი მეთოდების ფორმირების მოდელი და ამ მოდელის თანამიმდევრული რეალიზების გზები. დამუშავებულია ცოდნის ათვისების და დიაგნოსტიკის მოდელი, ამ მოდელის ფორმირებისათვის გამოყენებულია სისტემური, რეფლექსური, ფსიქოლოგიური და სხვა მიდგომები.

დამუშავებულია ცოდნის ათვისების სისტემური მოდელი, რომლის რეალიზება საშუალებას მოგვცემს ადეკვატურად წარმოვადგინოთ განსახილველი რთული დინამიური სისტემის სტრუქტურა, მოვახდინოთ განათლების სისტემის მოსალოდნელი შედეგის წინასწარი ანალიზი და პროგნოზი შესაბამისი კორექტირების

შეტანით. ცოდნის ათვისების შემოთავაზებული მეთოდი უზრუნველყოფს მოდელის შემუშავების ინტერაქტიურ პროცესს, რომელიც ხასიათდება სისტემის შესახებ ცოდნის თანდათანობითი გაღრმავებით. მოყვანილია ცოდნის ათვისების ხარისხის კონტროლის რიგი უპირატესობები, როგორც განათლების სისტემის ანალიზის და სინთეზის ამოცანის ამოსახსნელი ეფექტური მეთოდი.

დასაბუთებულია, რომ ცოდნის ათვისების ოპტიმალური მნიშვნელობა დამოკიდებულია ლექტორის (მასწავლებლის) მიერ მიწოდებული ინფორმაციის რაოდენობასა და ხარისხზე, აგრეთვე - სტუდენტის (მოსწავლის) მიერ ამ ინფორმაციის რაოდენობასა და ხარისხზე, აგრეთვე - მოსწავლის მიერ ამ ინფორმაციის ათვისებაზე, რაც გამოვლინდება დასკვნების შედეგად.

დისერტაციის ბოლოს წარმოდგენილია სწავლის ათვისების რთული ინფორმაციული სისტემის პრაქტიკულ რეალიზაცია.

დამუშავებულია ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული სტატისტიკური მონაცემები.

აღწერილია ცოდნის ათვისების ინფორმაციული სისტემის შემადგენელი ძირითადი ელემენტები და შესაბამისი პროგრამული ბლოკები.

დახასიათებულია საინფორმაციო სისტემის ფუნქციონირების დირექტივები და პროგრამული ბლოკების მუშაობის რეჟიმები.

წარმოდგენილი ალგორითმის საფუძველზე შედგენილია სისტემის ძირითად ბლოკებს შორის კავშირის სტრუქტურული სქემა და შემუშავებულია პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც რეალიზებულია დაროგრამების ენა „java“-ში.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ანანიაშვილი გულაბერ, ყიფშიძე ზურაბ, თხილაიშვილი რიმა „ოპტიმიზაციის ამოცანის ფორმალიზაციის შესახებ“. II საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის: კომპიუტინგი/ინფორმატიკა, განათლების მეცნიერებები, მასწავლებლის განათლება. მოხსენებათა თეზისები. ბათუმი 2012. გვ. 27.
2. ავალაშვილი ლ. ჟურნალი „ამბიონი“ 27.02.2011 წლის გამოშვება.
3. ბუჩაშვილი გ. განთლების ხარისხის მართვის სისტემის მოდელის კონცეფცია საერთაშორისო-სამეცნიერო კონფერენცია, სამეცნიერო შრომები, თბ. 2011 წ.
4. ბუჩაშვილი გ. საკრედიტო ტექნოლოგიებისა და უმაღლესი განთლების ხარისხის მენეჯმენტის თეორიულ-მეთოდოლოგიური საფუძვლები, ჟურნალი „ინტელექტი“ № 2 (37), 2010 წლის გამოშვება.
5. დიდმანიძე იბრაიმ, თხილაიშვილი რიმა „კოდირებისა და დეკოდირების შესახებ“. I საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის: კომპიუტერული მეცნიერება, განათლების მენეჯმენტი, სწავლების თანამედროვე ტექნოლოგიები. სამეცნიერო შრომები. თბილისი 2011. გვ. 16-18.
6. დიდმანიძე იბრაიმ, თხილაიშვილი რიმა. „ეფექტური კოდირება ანუ დისკრეტული ინფორმაციის შეკუმშვის ერთ-ერთი მეთოდი“. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „საინფორმაციო და კომპიუტერული ტექნოლოგიები, მოდელირება, მართვა“. მოხსენებათა თეზისები. საქართველო, თბილისი, 1-4 ნოემბერი 2010. გვ. 74-75.
7. დიდმანიძე იბრაიმ, თხილაიშვილი რიმა „შეკუმშვა მათემატიკურ კონტექსტში“. II საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის: კომპიუტინგი/ინფორმატიკა, განათლების მეცნიერებები, მასწავლებლის განათლება. მოხსენებათა თეზისები. ბათუმი 2012. გვ. 44-46.
8. დიდმანიძე იბრაიმ, თხილაიშვილი რიმა „შეკუმშვის ფუნქციონალური ფაქტორი“. II საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის: კომპიუტინგი/ინფორმატიკა, განათლების მეცნიერებები, მასწავლებლის განათლება. სამეცნიერო შრომები. ბათუმი 2012. გვ. 251-253.
9. დიდმანიძე ი.შ., თხილაიშვილი რ.ჯ. „უკუკავშირის პრინციპი და ენტროპია“. ჟურნალი საქართველოს საინჟინრო სიახლენი სსს 1'13 No.1 (vol. 65), 2013. თბილისი, გვ. 49-52.

10. დონაძე მიხეილ, თხილაიშვილი რიმა. „მონაცემთა შეკუმშვის შესახებ“. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია მართვის ავტომატიზებული სისტემები და თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიები. მოხსენებათა თეზისები. თბილისი 2011. გვ. 156-157.
11. თხილაიშვილი რ., ბერიძე ზ., ხუჯაძე ნ. „მართვის ავტომატიზაციის პრინციპების შესახებ“. თბილისის დავით აღმაშენებლის სახელობის უნივერსიტეტი, პროფესორ მასწავლებელთა და სტუდენტთა XVI სამეცნიერო კონფერენცია. შრომები. 2009 წ. გვ.24.
12. თხილაიშვილი რ., ბერიძე ზ., დონაძე ბ. „კომუნიკაციური სისტემები, ინფორმაციის წყაროს სიჭარბე“. თბილისის დავით აღმაშენებლის სახელობის უნივერსიტეტის პროფესორ-მასწავლებელთა და სტუდენტთა საიუბილეო XV სამეცნიეროკონფერენციის მასალები. თბილისი 2008 წ.
13. თხილაიშვილი რიმა, დიდმანიძე დიდარი, ხუჯაძე ნინო. „შეკუმშვის მეთოდებისა და საშუალებების შესახებ“. თბილისის დავით აღმაშენებლის სახელობის უნივერსიტეტის პროფესორ-მასწავლებელთა და სტუდენტთა XVIII სამეცნიერო კონფერენციის შრომები. თბილისი 2011. გვ. 198-201.
14. თხილაიშვილი რიმა, ბერიძე ზებურ, ხუჯაძე ნინო. „ინფორმაციის ზომა ჰარტლის მიხედვით“. თბილისის დავით აღმაშენებლის სახელობის უნივერსიტეტი, პროფესორ მასწავლებელთა და სტუდენტთა XVII სამეცნიერო კონფერენცია. შრომები. 2010 წ. გვ.165-167.
15. თოფურია მ. ჟურნალი „ამბიონი“ 27.02.2011 წლის გამოშვება.
16. იოჰან პეტერ ეკერმანი „გოეთეს საუბრები ეკერმანთან“, ბათუმი 1988.
17. მეგრელიშვილი რ. „ინფორმაციის დაცვის სისტემები“. ინფორმაცია, კოდირება, კრიპტოგრაფია. თბილისის უნივერსიტეტი. თბილისი 2007.
18. მატიაშვილი ი. „განათლების, როგორც არამატერიალური აქტივის როლი ეროვნული ეკონომიკის განვითარების საქმეში“. საერთაშორისო პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“ № 1 (36), თბილისი, 2010.
19. ნანობაშვილი ქ., მატიაშვილი ი. „განათლების სისტემის მნიშვნელობა ფინანსური კაპიტალის სზოგადოებრივ კაპიტალად გადაქცევის საკითხში“. საერთაშორისო პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“ № 1 (36), თბილისი, 2010.
20. სახელაშვილი ნ. ჟურნალი „ამბიონი“ 27.02.2011 წლის გამოშვება.

21. ქავთარაძე ნ. “ცოდნის ათვისების სისტემური წარმოდგენა”, სამეცნიერო შრომები, თბილისი 2011წ.
22. ყიფშიძე ზ., ანანიაშვილი გ., ქავთარაძე ნ. „ცოდნის ათვისების სისტემური წარმოდგენის შესახებ”, ჟურნალი „ინტელქტი“. თბილისი 2012 წ.
23. ჩოგოვაძე გ. „ადამიანი და ინფორმაცია“.
24. ჭელიძე ქ. ჟურნალი „ამბიონი“ 24.02.2011 წლის გამოშვება.
25. Ananiashvili G.G. “Algebraic approach to the problem of oddresation”. Computers and Artificial Intelligence. Slovaska Academia, Vied., vol.7, N 6, 1988, pp.531-541.
26. Didmanidze Ibraim, Tkhilaishvili Rima. “Choose of the compression schema”. Науковізиписки НаУКМА. Серия Компьютерные науки. том 141. Украина, Киев 2013. В печати.
27. Didmanidze Ibraim, Tkhilaishvili Rima. “Excessive structures to increase the security of the informational systems”. Науковізиписки НаУКМА. Серия Компьютерные науки. том 141. Украина, Киев 2013. Впечати.
28. Nanobashvili N. – “Wholeness of from Perception at Multilevel (Heirarchic) coding and its Appedices Bull”. Of the Academy of Sciences of the Georgian №4, 2003;
29. Nnanobashvili N., Meladze H. – “Data compression in the design problems Related to Piotless Aircraft” – International Sciense and Technology center. Georgian Symphosium for Protect development and conversion. Tbilisi, 1995;
30. Neubauer A., Sterni B. “Formen des Wissens”. Muenchen.2007.
31. Recher Nikolas. “Grenzen des Wissens”. Studgard.1984.
32. Tkhilaishvili Rima “About formalization of the optimization problem”. II საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის: კომპიუტინგი/ინფორმატიკა, განათლების მეცნიერებები, მასწავლებლის განათლება. მოხსენებათა თეზისები. ბათუმი 2012. გვ. 57-58 .
33. Аллен Р. «Математическая Экономия». Издательство иностранной литературы. Москва. 1960;
34. Ананиашвили Г.Г. К вопросу решения задачи организации и поиска записей в базах данных информационно-вычислительных систем. Сообщения АНГССР, т.120, №3, 1987, стр.513-516.
35. Багиновский К.А. «Имитационные системы принятия экономических решений».

Москва, «Нака», 1989г.

36. Башарин Г.П., Бочаров П.П., Коган Я.А. «Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета». М. Наука. Гл.ред.физ.-мат. Лит., 1989.
37. Буриков А.Д., Малинковский Ю.В., Матальцкий М.А. «Теория массового обслуживания» Учебное пособие по спецкурсу. Гродно, 1984.
38. Баркалов С.А. Информационные технологии в управлении и организации: Учеб. пособие. Воронеж. гос. арх. строит. ун-т. Воронеж, 2002.
39. Галлагер Р. «Теория информации и надежная связь». Москва, (перевод с английского) 1974 г.
40. Грайнер В., Штокер Х. «Горячая ядерная материя», », «В мире Науки» (Scientific American), 1985, №3, стр. 32-41 ;
41. Девятков В.В. «Учебное пособие по GPSS WORLD». Изд, «Мастер Лайн», 2002.
42. Дидманидзе Ибраим, Тхилаишвили Рима. «Представление и сжатие изображений на кодовой сетке». ТЕОРЕТИЧНІТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ ПРОГРАММНИХ СИСТЕМ. ТАAPSD'2012. Праціконференції. Київ 2012. стр. 100.
43. Дидманидзе И. Тхилаишвили Р. «СЖАТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ». ТЕОРЕТИЧНІТА ПРИКЛАДНІАСПЕКТИ ПОБУДОВИ ПРОГРАММНИХ СИСТЕМ. ТАAPSD'2013. Праціконференції. Ялта 2013. стр. 54-55.
44. Дидманидзе И.Ш., Тхилаишвили Р.Д. «МЕТОДЫ СЖАТИЯ ИНФОРМАЦИИ». Материалы II международной научно-практической интернет конференций „СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІ РОЗВИТКУ МАТЕМАТИКИ ТА II ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ – 2013“.стр.92-93. Донецк. 2013.
45. Дидманидзе Ибраим, Тхилаишвили Рима. «Сжатие информации». Материалы IV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-РАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ `Системнийаналіз. Інформфтика. Управління~ CAIY -2013. Украина, Запорожье 2013. Стр.286-287.
46. Жиглявский А.А., Жилинскас А.Т. «Методы глобального экстремума». М. Наука, Гл.ред.физ.-мат. Лит., 1991.
47. Кудашов К.В. «Учебное пособие по GPSS WORLD». перевод с английского. Изд, «Мастер Лайн», 2002.
48. Кант И. «Критика чистого разума». М., «Мысль». 1960;

49. Мегрелишвили Ричард, Сихарулидзе Анна, Челидзе Малхаз, Тхилаишвили Римма, «Генерация матричных ключей и криптосистемы». INTERCULTURAL RELATIONS SOCIETY. ISSN 1512-4363. საერთაშორისო სამეცნიერო პერიოდული გამოცემა. INTERCULTURAL COMMUNICATIONS. №9. თბილისი. 2009. გვ. 230-234.
50. Митрофанов Ю.И. «Синтез сетей массового обслуживания». Саратов: Изд-во ГуНЦ «Колледж», 1995.
51. Найн А.Я. «Инновации в образовании». Челябинск, 1995.
52. Нанобашвили Н. «Об одном улучшенном варианте схем сжатия информации». Кибернетика. Прикладная математика. Труды Тбилисского Университета (ТГУ). Т 224.(3). 1981 г.
53. Нанобашвили Н. «К вопросу оптимальности сжатия дискретной информации в четырехзначной системе кодирования». Кибернетика. Прикладная математика. Труды Тбилисского Университета (ТГУ). Т 212.(2). 1980 г.
54. Прангишвили И.В., Пашенко Ф.Ф., Бусыгин Б.П. «Системные законы и закономерности в электродинамике природы и общества». Наука, Москва. 2001 г.
55. Пригожин А.И. «Нововведения: стимулы и препятствия». М. 1989..
56. Пятина В.А. «Основы разработки педагогических технологий и инноваций». Астрахань, 1998.
57. Поляк Б.Т. «Введение в оптимизацию». М. Наука, 1983.
58. Стен Вусли, Том Уивер «Грандиозная сверхновая», «В мире Науки» (Scientific American), 1989, №10, стр. 14-23 ;
59. Турбович Л.Т. «Информационно-семантическая модель обучения». Ленинградский Госуниверситет. Ленинград. 1970г.
60. Тхилаишвили Рима «Реализация одного алгоритма восстановления информации». საერთაშორისო პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“ №2(46). თბილისი, agvisto - 2013. გვ. 80-81.
61. Тхилаიшვილი Рима «Математическое содержание задачи сжатия». საერთაშორისო პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“ №2(46). თბილისი, agvisto - 2013. გვ. 82-83.
62. Хуторской А.В. «Педагогическая инноватика: методология, теория, практика». М. 2005.

63. Харафас Д.Н. «Системы и моделирование». Изд-тво, «Мир», М., 1967.
64. Шенон Р. «Имитационное моделирование систем». Искусство и наука, Москва, «Мир», 1978г.
65. Юсубекова Н.Р. «Общие основы педагогической инноватики: Опыт разработки теории инновационных процессов в образовании». М.1991.
66. ბიზნეს კონფერენცია, მაღალტექნოლოგიური ინოვაციური პროექტების მართვით - XXI საუკუნის ქართული ეკონომიკისათვის. www.conference.ge
67. ბოლონის დეკლარაცია (1999)
<http://www.mes.gov.ge/cjntent.php?id=1856&lang=geo#>
68. ბერლინის კომუნიკე (2003) [http://www.mes.gov.ge/content.php?id=1856\\$lang=geo#](http://www.mes.gov.ge/content.php?id=1856$lang=geo#).
69. ბუდაპეშტი-ვენის დეკლარაცია (2010) [http://www.mes.gov.ge/content.pgp?id=1856\\$lang=geo#](http://www.mes.gov.ge/content.pgp?id=1856$lang=geo#)
70. ლონდონის კომუნიკე (2007)[http://www.Mes.gov.ge//content.php?id=1856\\$lang=geo#](http://www.Mes.gov.ge//content.php?id=1856$lang=geo#).
71. ლუვენის კომუნიკე (2009)
(1997)[http://www.mes.gov.ge./contemt.php?id=1856\\$lang=geo#](http://www.mes.gov.ge./contemt.php?id=1856$lang=geo#)
72. ლისაბონის კონვენცია. [http://www.mes.gov.ge/content.php?id=1856\\$lang=geo#](http://www.mes.gov.ge/content.php?id=1856$lang=geo#).
73. მეოთხე საერთაშორისო-სამეცნიერო პრაქტიკული კონფერენცია „ინტერნეტი და საზოგადოება“ ინსო - 2009, ინფორმაციული ტექნოლოგიები განათლებაში.
<http://www.inso.get/tech2009.html>.
74. სორბონის დეკლარაცია (1997)
[http://www.mes.gov.ge/content.php?id=1856\\$lang=geo](http://www.mes.gov.ge/content.php?id=1856$lang=geo).
75. უმაღლესი განათლების კვალიფიკაციების ჩარჩო-დუბლინის დესკრიპტორი (2005) [http://www.mes.gov.ge/content.php?id=1856\\$lang=geo#](http://www.mes.gov.ge/content.php?id=1856$lang=geo#).
76. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC.
77. პრადის კომუნიკე (2001) <http://www.mes.gov.ge/content.php?id=1856&lang=geo#>.
78. ხარისხის უზრუნველყოფის ევროპული სტანდარტები (2005)
[http://www.mes.gov.ge/content.php?id=1856\\$lang=geo#](http://www.mes.gov.ge/content.php?id=1856$lang=geo#).
79. Was die Forschung über lernwirksamen Unterricht weiss. In 10 Punkten
www.ifvll.ethz.ch/lu/index .

80. <http://ka.wikipedia.org/wiki/%E1%83%93%E1%83%98%E1%83%93%E1%83%90%E1%83%A5%E1%83%A2%E1%83%98%E1%83%99%E1%83%A3%E1%83%A0%E1%83%98%E1%83%9B%E1%83%94%E1%83%97%E1%83%9D%E1%83%93%E1%83%98>
81. Optimization for Education. <http://margaret-powers.com/2012/03/27/optimization-for-education/>.
82. A new model for post-secondary education, the Optimized University.
http://www.cwsei.ubc.ca/about/BCCampus2020_Wieman_think_piece.pdf.
83. Гусаков Михаил Николаевич. Компьютерное моделирование образовательных систем. <http://ito.edu.ru/2009/MariyEI/II/II-0-9/html>.
84. Галилей Г. «Диалог о двух главнейших системах мира» птоломеевой и коперниковой <http://telescope.ucoz.ru/index/0-122>.
85. Ершова А.П «Программирование - вторая грамотность» . Архив академика.
http://ershov.iis.nsk.su/russian/second_literacy/pred.html.
86. Коммуникационные системы.
http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=ru&langpair=en%7Cru&rurl=translate.google.ru&u=http://ic.epfl.ch/page-5735.html&usg=ALkJrhgISX1cVrrqj0cLp-1s3fLIKFHMUg.
87. Коммуникационные сети <http://kufas.ru/arch4/page30.htm>.
88. Смирнов Л.И. Регионализация образования повышение качество подготовки специалистов. <http://www.booksite.ru/education/main/region/3.htm>.
89. Саморазвитие: оптимизация времени — залог успеха!
<http://selfgrowth.ru/timemanagement/2011/03/samorazvitie-optimizatsiya-vremeni-zalog-uspeha/>.
90. Оптимизация. http://dic.academic.ru/dic.nsf/econ_dict/10470.
91. Отрывки из сочинении Г.Галилея. http://znaniya-sila.narod.ru/people/009_03_1.htm.
92. Экспериментальная оптимизация на ЭВМ;