

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ელგუჯა ყუბანიშვილი

# სამედიცინო ექსპერტული სისტემები

ლექციების კურსი



თბილისი 2012

## 1. ექსპერტული სისტემების არსი

### 1.1 ექსპერტული სისტემის ბანსაზღვრა

როცა მე-20 საუკუნის ორმოციან წლებში პირველი ელექტრონულ-გამომთვლელი მანქანების პროექტირება დაიწყო, მაშინ დაისვა კითხვა: ამ მოწყობილობამ უნდა გამოთვალოს თუ იმსჯელოს? ბრიტანელი მეცნიერი ალენ ტიურინგი ამტკიცებდა, რომ ასეთი ტიპის კომპიუტერმა არა მარტო უნდა დაამუშავოს ინფორმაცია, არამედ უნდა მოახდინოს მსჯელობის პროცესის მოდელირებაც. მაშინ ეს იდეა უყურადღებოდ დარჩა.

1956 წ. მასაჩუსეტის ტექნიკური ინსტიტუტის და სტენფორდის უნივერსიტეტის (აშშ) ლოგიკის სპეციალისტებმა ტიურინგის იდეის გარშემო დისკუსია წამოიწიეს და შემდგომში მას ხელოვნური ინტელექტი უწოდეს, რომელიც 60-იან წლებამდე რჩებოდა მხოლოდ თეორიულ საკითხად. ამრიგად, ხელოვნური ინტელექტი არის ინფორმატიკის დარგი, რომელიც დაკავშირებულია ინტელექტუალური სისტემების შექმნასთან.

სისტემას ინტელექტუალური ეწოდება, როდესაც კომპიუტერში ადამიანის აზროვნების მოდელირება ხდება. ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმი ინტელექტუალურ სისტემას წარმოადგენს. მას გრძელვადიანი მეხსიერება და თვითსწავლების უნარი გააჩნია. ასე მაგალითად, ანთებულ ქურას ბავშვი თითს თუ დაადებს, შემდგომში ის ამას აღარ გაიმეორებს. რაც შეეხება ტექნიკურ სისტემებს, ისინი ინტელექტუალურ სისტემებს არ წარმოადგენენ, რადგან მათი რეაქცია ერთსა და იმავე მოვლენაზე კარდინალურად არ იცვლება.

ინტელექტუალურ სისტემის განსაზღვრება მე-20 საუკუნის 60-იან წლებში წარმოიშვა, როცა ფიქრობდნენ, რომ კომპიუტერის საშუალებით ადამიანის ტვინის მოდელირებას მოახდენენ. თავის ტვინის უჯრედები-ნეირონები პროგრამულად სპეციალური მათემატიკური მეთოდებით აღიწერებოდა. პროგრამას შესავალზე გარკვეული მონაცემები მიეწოდებოდა და გამოსავალზე რაღაც შედეგს ღებულობდნენ, რომელიც ეტალონს დარდებოდა. ეტალონიდან გადახრის შემთხვევაში შემავალი სიდიდეების კოეფიციენტების კორექტირება ხდებოდა.

იდეამ იმის შესახებ, რომ კომპიუტერში თავის ტვინის მოდელირებაა შესაძლებელი 80-იან წლებში კრაზი განიცადა, მაგრამ ნეირონული ქსელების თეორიამ გარკვეული ტიპის პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად თავისი არსებობის მიზანშეწონილობა დაამტკიცა, მაგალითად, სახეთა გარჩევის თეორიაში.

80-იანი წლების ბოლოს ნათელი გახდა, რომ შეუძლებელია უნიკალური ხელოვნური გონების შექმნა. უფრო მეტიც, აღმოჩნდა, რომ ეს საჭირო არ არის.

საჭიროა შეიქმნას ვიწრო სპეციალიზირებული ინტელექტუალური სისტემები, რომლებიც ადამიანს ვერ შეცვლიან, მაგრამ დაეხმარებიან მას. საჭიროა, რომ კომპიუტერი ემსახურებოდეს ადამიანს, როგორც მრჩეველი, სწრაფად აანალიზებდეს სიტუაციებს, თავისი დიდი მეხსიერების საშუალებით

იძლეოდეს მოქმედების ვარიანტებს, ხოლო რაც შეეხება ადამინს, მან ერთ-ერთი მისაღები ვარიანტი უნდა შეარჩიოს და მისი ინტერპრეტაცია გააკეთოს.

აქედან გამომდინარე, სპეციალისტები იმ დასკვნამდე მივიდნენ, რომ ხელოვნური ინტელექტუალური სისტემის შექმნისათვის საჭიროა კომპიუტერული პროგრამები, რომლებიც ამოცანის ამოხსნისას დამოკიდებული უნდა იყოს არა მარტო ფორმალიზირებულ სქემებზე, არამედ იმ ცოდნაზეც, რომელსაც სპეციალისტები ფლობენ. ე.ი. იმისათვის რომ პროგრამა გავხადოთ ინტელექტუალური, საჭიროა მისი აღჭურვა მრავალი მაღალხარისხოვანი სპეციალური ცოდნით რაიმე ვიწრო დარგობრივ სფეროში. ამის შემდეგ მიღებული იქნა პრინციპულად ახალი კონცეფცია, რომელსაც შემდეგი მარტივი ფორმულირება მიეცა: კომპიუტერის პროგრამა რომ იყოს ინტელექტუალური, იგი უნდა შეივსოს კონკრეტული საგნობრივი სფეროდან სპეციალური მაღალკვალიფიცირებული ცოდნით.

ამ ფაქტორის გათვალისწინებამ სპეციალიზებული პროგრამული სისტემების შექმნას და განვითარებას შეუწყო ხელი, ხოლო პროგრამებმა სახელი – ექსპერტული სისტემები მიიღო. აქედან გამომდინარე, ხელოვნური ინტელექტის შესახებ რომ შეგვეძლოს ლაპარაკი, პროგრამულ სისტემას უნდა გააჩნდეს ყველა ის ელემენტი, რომელიც ადამინის მიერ გადაწყვეტილების მიღების პროცესს ახლავს თან. ესენია: მიზანი, ფაქტები, მონაცემები, ლოგიკური წესები, დასკვნის მიღების მექანიზმი.

ამრიგად, ექსპერტული სისტემა (მს) არის ხელოვნური ინტელექტის კვლევის ერთ-ერთი მიმართულება ისეთი გამოთვლითი სისტემების შესაქმნელად, რომლებსაც შეუძლიათ მიიღონ გადაწყვეტილება, რომელიც ახლოსაა მოცემული დარგობრივი სფეროს ექსპერტის გადაწყვეტილებასთან. როგორც წესი, მს იქნება ზოგიერთ ვიწრო სპეციალიზებულ სფეროში პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად, სადაც სპეციალისტების (ექსპერტების) ცოდნა დიდ როლს თამაშობს.

მს ტექნოლოგია წარმოადგენს კვლევის ახალი სფეროს ერთ-ერთ მიმართულებას, რომელმაც მიიღო დასახელება – ხელოვნური ინტელექტი. ამ სფეროს გამოკვლევები ისეთ კომპიუტერული პროგრამების დამუშავებასა და დანერგვაზეა კონცენტრირებული, რომლებიც ადამინის მოღვაწეობის იმ სფეროს ასახავენ, რომელიც აზროვნებას მოითხოვს. ამას მიეკუთვნებიან გადაწყვეტილების მიღების, სახეთა გარჩევის და სხვა ამოცანები.

მს ტიპური ამოცანებია:

- საწყისი მონაცემებიდან ინფორმაციის ამოღება (მაგალითად, ბიოსიგნალები) ;
- დარღვევების დიაგნოსტიკა (როგორც ტექნიკურ სისტემებში, ისე ადამინის ორგანიზმში) ;
- რთული ობიექტების სტრუქტურული ანალიზი (მაგალითად, ქიმიური ნაერთები);
- მრავალკომპონენტური სისტემების კონფიგურაციების შერჩევა (მაგალითად, კომპიუტერული ქსელების განაწილება) ;
- თანმიმდევრული ოპერაციების დაგეგმარება, რომლებსაც მიყვავართ სასურველ მიზნამდე (მაგალითად, სამრეწველო რობოტების ქცევა).

## 1.2 ექსპერტული სისტემების ძირითადი მახასიათებლები

ხელოვნური ინტელექტის სპეციალისტებს გააჩნიათ ვიწრო (ამასთან რთული) წარმოდგენა იმაზე, თუ როგორი უნდა იყოს მს. მათი განმარტებით მს უნდა იყოს კომპენტენტური, უნდა შეძლოს სიმბოლური მსჯელობა, უნდა შეიცავდეს სიღრმისეულ ცოდნას და იყოს თვითშეგნებული. მოკლედ განვიხილოთ ეს მახასიათებლები.

**კომპენტენტურობა.** ექსპერტული სისტემა უნდა ამჟღავნებდეს კომპენტენტურობას ანუ კონკრეტულ საგნობრივ სფეროში პროფესიონალიზმის იმ დონეს უნდა მიაღწიოს, რაც ექსპერტს გააჩნია. მაგრამ, სწორი გადაწყვეტილების მიღება საკმარისი არ არის. თანამედროვე ექსპერტები არა მხოლოდ სწორ გადაწყვეტილებებს პოულობენ, არამედ დამწყებ სპეციალისტებზე ბევრად სწრაფად ახერხებენ ამას, რომლებსაც სწორი გადაწყვეტილების მისაღებად გაცილებით დიდი დრო სჭირდებათ. აქედან გამომდინარე, ექსპერტული სისტემა გადაწყვეტილებებს უნდა ღებულობდეს ეფექტურად და სწრაფად.

**სიმბოლური მსჯელობა.** რაიმე რთული ამოცანის გადაწყვეტისას ექსპერტები გვერდს უვლიან რთულ მათემატიკურ გამოთვლებს. ამის მაგიერ, ისინი საგნობრივი სფეროს ცნებებს წარმოადგენენ სიმბოლოების საშუალებით და იყენებენ სხვადასხვა სტრატეგიებს და ევრისტიკას. ექსპერტულ სისტემაში ცოდნაც სიმბოლურ ფორმაში წარმოდგინდება. ხელოვნური ინტელექტის განმარტებით სიმბოლო წარმოადგენს ნიშნების ჭაჯვს, რომელიც ასახავს რეალური სამყაროს რაიმე ცნებას. პროგრამაში სიმბოლოების გაერთიანებას სიმბოლური სტრუქტურა ეწოდება. მოვიყვანოთ მაგალითი.

(დეფექტური პროდუქცია)

(მეწარმის გამოშვებული პროდუქცია)

(ტოლია (მეწარმის პასუხისმგებლობა) 0.8)

მოყვანილ სტრუქტურებს შეიძლება მივცეთ შემდეგი ინტერპრეტაცია: „პროდუქტი არის დეფექტური“, „მეწარმის მიერ პროდუქტი გამოტანილი იქნა გასაყიდად“ და „მეწარმის პასუხისმგებლობა ტოლია 0.8“

ამოცანების გადაწყვეტისას მს მათემატიკური გამოთვლების ნაცვლად ამ სიმბოლოებით მანიპულირებს. კატეგორიულად არ შეიძლება იმის მტკიცება რომ მს არ იყენებს მათემატიკურ გამოთვლებს, მაგრამ ძირითადად ის მიესადაგება სიმბოლოების მანიპულირებას. აქედან გამომდინარე, ცოდნის წარმოდგენა – შერჩევა, ფორმა და გამოყენებული სიმბოლოების ინტერპრეტაცია, - წარმოადგენს მეტად აქტუალურს. გარდა ამისა, ამოცანა შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ნებისმიერი სახით. აქედან გამომდინარე, მს უნდა გააჩნდეს უნარი მოახდინოს ამოცანის ტრანსფორმირება მისთვის სასურველ სახემდე, რათა გადაწყვეტილების პროცესი იყოს ეფექტური.

**სიღრმე.** მს უნდა გააჩნდეს სიღრმისეული ცოდნა. ეს იმას ნიშნავს, რომ იგი ეფექტურად უნდა მუშაობდეს ვიწრო საგნობრივ სფეროში, რომელიც შეიცავს რთულ, არატრივიალურ ამოცანებს. ამიტომ შესაბამის მს-ში წესები უნდა იყოს რთული, ანუ რთული უნდა იყოს ან ყველა წესი ან იყოს წესების სიმრავლე.

**თვითშეგნება.** მს გააჩნია ცოდნა, რომლის საშუალებით შესაძლებელია საკუთარი მოქმედების განსჯა. მაგალითად, თუ მს ეფუძნება წესებს, მაშინ მას ადვილად შეუძლია გამოიყვანოს დათვალიერების პროცედურის ჯაჭვი, რომელიც მან შექმნა გადაწყვეტილების მისაღებად. ამის გარდა, თუ მოცემულია სპეციალური წესები, საიდანაც ჩანს თუ რა შეიძლება ვიმოქმედოთ გამოყვანის ჯაჭვზე, მაშინ შესაძლებელია ამ ცოდნის გამოყენება გადაწყვეტილების მიღების სიზუსტეზე, მდგრადობაზე და ზოგადად სხვა განმარტებებზე, კერძოდ გადაწყვეტილების მიღების პროცესის მსჯელობაზე. სისტემის ამ ცოდნას **მეტაცოდნა** ეწოდება.

ექსპერტულ სისტემებს გააჩნიათ ე.წ. ახსნის მექანიზმი. იგი წარმოადგენს ცოდნას, რომელიც საჭიროა იმის ასახსნელად თუ როგორ მივიდა სისტემა ამ გადაწყვეტილებამდე. თვითშეგნების არსებობა მეტად საჭიროა, რადგან:

- მომხმარებლები უფრო ენდობიან შედეგს;
- ხდება სისტემის განვითარების დაჩქარება;
- ვარაუდი, რომელსაც ეფუძნება სისტემის მუშაობა, ხდება ცხადი და არა საგულისხმო.

ახსნის უნარი თვითშეგნების ერთი ასპექტია. მომავალში თვითშეგნება კიდევ უფრო მეტს შესძლებს, კერძოდ მს-ბი თვითონვე შეძლებენ განხილვის საფუძველზე ჩამოაყალიბონ ახალი წესები, შეძლებენ თავისივე სტრუქტურის კორექტირებას, ცოდნის ბაზის რეორგანიზაციას და სხვა.

ამ განმარტებიდან გამომდინარე, მს შექმნის ტექნოლოგიას ხშირად უწოდებენ ცოდნის ინჟინერიას.

### 1.3 მქსპერტული სისტემის უპირატესობა ადამიანი-მქსპერტთან შედარებით

ისმება კითხვა: „რისთვის გვჭირდება მს? არ ჯობია, რომ ადამიანების გამოცდილებას მივმართოთ, როგორც ეს წარსულში იყო?“. განვიხილოთ ის ძირითადი უპირატესობები, რომლებსაც გვაძლევს მს გამოყენება. ესენია:

1. **მუდმივობა.** ადამიანის კომპენტეცია დროში მცირდება. გარდა ამისა, ადამიანი-ექსპერტის მოღვაწეობის დროებითი შეწყვეტა შესაძლებელია მის პროფესიულ ხარისხზე მნიშვნელოვნად აისახოს;
2. **გადაცემის სიმარტივე.** ერთი ადამიანიდან მეორეში ცოდნის გადაცემა გრძელი და საკმაოდ ძვირი პროცესია. რაც შეეხება მს აქ ცოდნის გადაცემა უმარტივესი პროცესია, რომელიც პროგრამებისა და ფაილების კოპირებით წარმოებს;
3. **მდგრადობა და შედეგების გამეორება.** მს მდგრადია „ხმაურის“ მიმართ. ადამიანი ადვილად ექვემდებარება გარეშე ფაქტორების ზეგავლენას, რომლებიც უშუალოდ არ არიან დამოკიდებულნი ამოსახსნელ ამოცანაზე. ადამიანი-ექსპერტმა მსგავსი სიტუაციების დროს შეიძლება სხვა გადაწყვეტილება მიიღოს, მაშინ როცა მს გადაწყვეტილება სტაბილურია.
4. **ღირებულება.** მაღალკვალიფიცირებული ექსპერტების კონსულტაცია საკმაოდ ძვირია, მაშინ როდესაც მს შედარებით იაფია. მართალია მს დამუშავება ძვირი ჯდება, მაგრამ ის ექსპლუატაციაში იაფია.

უნდა აღინიშნოს, რომ ეს დამუშავება არ გვაძლევს საშუალებას მთლიანად გამოვრიცხოთ ადამიანი-ექსპერტი. მიუხედავად იმისა, რომ ეს საკმაოდ კარგად ასრულებს თავის მოვალეობას, მაინც არსებობენ გარკვეული დარგობრივი სფეროები და სიტუაციები, სადაც ადამიანის კომპენტეცია მნიშვნელოვნად აჭარბებს ხელოვნურს.

#### 1.4 ექსპერტული სისტემების განსხვავება სხვა პროგრამებისაგან

როგორც აღვნიშნეთ, ეს არის კომპიუტერული პროგრამა, რომელიც ჩვეულებრივი პროგრამებისაგან განსხვავდება შემდეგი ნიშანთვისებების არსებობით:

- ეს-ში ხდება დარგობრივი სფეროს პრობლემების არა იმდენად ფიზიკური (ან სხვა სახის), არამედ ადამიანის აზროვნების მექანიზმის მოდელირება, იმავე დარგობრივი სფეროს ამოცანების გადასაწყვეტად. ამით ეს-ები საგრძნობლად განსხვავდებიან მათემატიკურ მოდელირების სისტემებისაგან ან კომპიუტერული ანიმაციებისაგან. გადაწყვეტით არ შეიძლება იმის მტკიცება, რომ ეს მთლიანად ასახავს სპეციალისტის ფსიქოლოგიურ მოდელს, მაგრამ იგი კომპიუტერის საშუალებით გადაწყვეტს ამოცანის გარკვეულ ნაწილს ისე, როგორც ამას ადამიანი-ექსპერტი აკეთებს;

- ეს გარდა გამოთვლითი ოპერაციების შესრულებისა, აყალიბებს მასში არსებული ცოდნის საშუალებით გარკვეულ მოსაზრებებს და შედეგებს. ცოდნა, როგორც წესი, წარმოდგენილია სპეციალურ ენაზე და ინახება საკუთარი პროგრამიდან ცალკე, რომელსაც ცოდნის ბაზა ეწოდება;

- ამოცანის გადაწყვეტისას ძირითადს წარმოადგენს ევრისტიკული და მიახლოებითი მეთოდები, რომლებიც ალგორითმისაგან განსხვავებით ყოველთვის წარმატების გარანტიას არ იძლევიან. ევრისტიკა წარმოადგენს გარკვეულ ცოდნაზე დაფუძნებულ მოქმედებების წესს, რომელსაც ადამიანი იძენს ანალოგური ამოცანების პრაქტიკული ამოხსნის შედეგად. ასეთი მეთოდები წარმოადგენენ მიახლოებითს იმ აზრით, რომ ისინი არ ითხოვენ სრულყოფილ საწყის ინფორმაციას და არსებობს გარკვეული დამაჯერებლობის ან დაურწმუნებლობის ხარისხი იმისა, რომ მიღებული ამონახსენი არის სწორი.

ეს-ები ხელოვნური ინტელექტის სხვა პროგრამებისაგან განსხვავდებიან შემდეგი ნიშანთვისებების არსებობით:

- ეს-ებს საქმე აქვთ რეალური სამყაროს საგნებთან და მათზე ოპერაციების ჩასატარებლად საჭიროა ადამიანის მიერ დაგროვილი გამოცდილება. ხელოვნური ინტელექტის პროგრამები უმეტეს წილად ატარებენ კვლევით ხასიათს და მასში ძირითადი ყურადღება ეთმობა აბსტრაქტულ მათემატიკურ პრობლემებს ან განიხილავენ რეალური პრობლემების გამარტივებულ ვარიანტებს, რომლებსაც ხშირად „სათამაშო“ პრობლემებსაც უწოდებენ. ასეთი პროგრამების შესრულების მიზანია სისტემის „ინტელექტის უნარის გაზრდა“ ან გარკვეული მეთოდის შემუშავება. ეს სამეცნიერო ან კომერციულ სფეროში მკვეთრად გამოხატული პრაქტიკული მიმართულება გააჩნია;

– მს ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელს შედეგების მიღების სიჩქარე და მისი იმედიანობა წარმოადგენს. ხელოვნური ინტელექტის პროგრამები შეიძლება არ იყვნენ საკმაოდ სწრაფნი, რადგან ისინი წარმოადგენენ კვლევის ინსტრუმენტს და არა პროგრამულ პროდუქტს;

– მს უნდა გააჩნდეს მიღებული შედეგების ახსნის უნარი, რათა აჩვენოს თუ რატომ მიიღო მან ასეთი გადაწყვეტილება და დაამტკიცოს მისი დასაბუთებულობა. მომხმარებელმა უნდა მიიღოს სრული ინფორმაცია იმისთვის, რომ იგი დარწმუნდეს შედეგის სისწორეში.

ამრიგად, მს შეიცავს გარკვეული დარგობრივი სფეროს ცოდნას, რომელიც დაგროვდა ადამიანის პრაქტიკული მოღვაწეობის შედეგად და იგი მას იყენებს ამ სფეროსათვის დამახასიათებელი სპეციფიური პრობლემების გადასაწყვეტად. ამით მს განსხვავდება სხვა ტრადიციულ სისტემებისაგან, სადაც უპირატესობა ეძლევა ზოგადად თეორიულს, მაგალითად, მათემატიკური მეთოდების გამოყენებას.

ეს გამოყენების სფეროებია: სამხედრო საქმე, მეტროლოგია, მედიცინა, საინჟინრო საქმე, გეოლოგია, მრეწველობა, სოფლის მეურნეობა და ბევრი სხვა. ჩამოთვლილ სფეროებიდან მს ყველზე პოპულარულია და ბევრია მედიცინაში, სადაც შესაბამისი გამოკვლევები დაიწყო მე-20 საუკუნის 70-იანი წლების დასაწყისში სტანფორდის (აშშ) კვლევის ცენტრში. უნდა აღინიშნოს, რომ მედიცინის თითქმის არც ერთი დარგი არ არის დარჩენილი, სადაც ხელოვნური ინტელექტის სისტემები არ იღებდნენ მონაწილეობას საექიმო გადაწყვეტილების ფორმირებისა და მის მიღებაში.

## 1.5 მსხპრტული სისტემის ბამოყენების შეზღუდვა

მს პოტენციალური მომხმარებელი ხშირად სვამს შემდეგ კითხვას: „შეუძლია თუ არა მას გადაწყვიტოს ჩემი პრობლემები?“ არსებობს სამი ფაქტორი, რომლებზედაც არის დამოკიდებული საბოლოო პასუხი. ესენია: პრობლემის ბუნება, დარგობრივ სფეროზე გარკვეული ცოდნის არსებობა, რომელსაც მიეკუთვნება პრობლემა და პრობლემის ანალიზის შედეგების შეჯერების საშუალება. ვიდრე მივიღებთ გადაწყვეტილებას მს შექმნაზე, უნდა დაფიქრდეთ ხელმისაწვდომია თუ არა ისეთი ექსპერტი, რომელსაც შეუძლია:

- პრობლემის გადაწყვეტა;
- იცის, როგორ უნდა გადაწყვიტოს პრობლემა;
- შეუძლია ახსნას, როგორ უნდა გადაწყვიტოს პრობლემა;
- გააჩნია დრო პრობლემის გადაწყვეტის ახსნისათვის;
- გააჩნია წამაქეზებელი მოტივები მს შექმნაში მონაწილეობისათვის.

ბუნებში არსებობს ისეთი მოვლენები (პროცესები) რომელთა გადაწყვეტა მს საშუალებით წარმოუდგენელია. მაგალითად, ამინდის პროგნოზი, ეს ის ამოცანა არ არის რომლის ამოხსნა შეუძლია ვინმეს, თუნდაც გამოცდილ ექსპერტს. მეტყველების გარჩევა ისეთი ამოცანაა, რომელსაც ხსნის პრაქტიკულად ყველა, მაგრამ არავინ არ იცის (პროფესიონალი ლინგვისტების ჩათვლით) თუ როგორ ხდება ეს. აქედან გამომდინარე, ამ პრობლემის

გადაწყვეტა მონაცემთა ანალიზის მეთოდების საშუალებით თითქმის შეუძლებელია. აქ შედეგებს უნდა ველოდოთ სტატისტიკური მოდელირებისაგან. თუნდაც გვეყავდეს გენიალური ექსპერტი, რომელსაც შეუძლია მოცემული ამოცანის ამოხსნა, შეუძლებელია მივაღწიოთ სასურველ ეფექტს, როცა ექსპერტს არ შეუძლია ან არ უნდა დეტალურად ახსნას ამოცანის ამოხსნის პროცესი. გარდა ამისა, ექსპერტი შეიძლება არ იყოს განწყობილი უცხო ადამიანთან ურთიერთობაზე, ან ძალზე დაკავებულია და არ შეუძლია ცოდნის ინჟინერთან ხანგრძლივი საუბარი. როგორც წესი, მაღალი კლასის ექსპერტი ყოველთვის დაკავებულია თავისი საქმიანობით და ამიტომ ურჩევია შეასრულოს თავისი სამსახურეობრივი მოვალეობები, ვიდრე აწარმოოს ხანგრძლივი საუბარი ცოდნის ინჟინერთან.

არსებობს, აგრეთვე, ფსიქოლოგიური ფაქტორი – მრავალი ექსპერტი ეჭვით უყურებს თავის უნიკალურ გამოცდილებას და არ სურს მისი გამომჟღავნება, რადგან ის თვლის, რომ ამ ცოდნის გადაცემა ავტომატიზებულ სისტემისათვის, ისინი ჭრიან იმ ტოტს რაზედაც სხედან.

თუ ჩავთვლით, რომ ზემოდ მოყვანილი სიძნელეები გადალახულია, მაინც არსებობენ ისეთი ფაქტორები, რომლებიც ზღუდავენ ადამინის გამოცდილების „მანქანურ“ ასახვას. მაგალითად:

- ამოცანის ამოხსნის პროცესში გამოიყენება ადამინის გრძნობის ორგანოები, რაც კომპიუტერისათვის მიუწვდომელია;

- ამოცანის ამოხსნაში ჩართულია კაცობრიობის საღი აზრის მოსაზრებები ან ცოდნის დიდი მოცულობა, რაც თავისთავად იგულისხმება ნებისმიერი ადამიანისათვის.

ძალზე მნიშვნელოვანია გამოვეყოთ დარგობრივი სფეროს ის ცოდნა, რომელიც დამახასიათებელია ექსპერტისათვის, იმ ცოდნიდან, რომელიც ცნობილია ნებისმიერი ადამინისათვის, რომელიც ასრულებს ამ სფეროში რუტინულ სამუშაოს.

მხედველობის არედან არ უნდა გამოგვრჩეს გარემოს ცოდნის ის დიდი მოცულობა, რომელსაც ჩვენ ყველანი ვფლობთ: ცოდნა დარგებზე და მათ თვისებებზე, ცოდნა ადამინებზე და მათ მოქმედების მოტივაციაზე, ცოდნა ფიზიკურ სამყაროში მიმდინარე მოვლენებს შორის ურთიერთკავშირზე და ა.შ. უსასრულობამდე. ცოდნის ეს ერთობლიობა ჩვენ არ ჩავრთავთ იმ ცოდნაში, რომელიც განსხვავდება ექსპერტის ცოდნიდან, მაგრამ დღემდე უცნობია ის თუ რამდენად მნიშვნელოვანია ეს ცოდნა კომპიუტერისათვის ამა თუ იმ ვიწრო სპეციალიზირებული ამოცანების გადასაწყვეტად.

დღეისათვის მს განვითარება რამდენადმე შეფერხებულია შემდეგი მიზეზების გამო:

- დარგობრივი სფეროს ე.წ. „სიღრმისეული“ ცოდნის გადაცემა მს-თვის წარმოადგენს დიდი პრობლემას, რადგან რთულია ექსპერტების ევრისტიკული ცოდნის ფორმალიზაცია;

- მს არ შესწევს წარმოადგინოს თავისი მსჯელობის გააზრებული წარმოდგენა ისე, როგორც ამას ადამინი აკეთებს. როგორც წესი, მს მხოლოდ აღწერს ადამინის ამოხსნის პროცესის ბიჯების თანმიმდევრობას;

- ნებისმიერი კომპიუტერული პროგრამის გამართვა და ტესტირება წარმოადგენს საკმაოდ რთულ საქმეს, მაგრამ მს შემოწმება განსაკუთრებით



რთულია. ეს წარმოადგენს სერიოზულ პრობლემას, რადგან ისინი გამოიყენებიან ისეთ კრიტიკულ სფეროში, როგორცაა მედიცინა, საჰაერო და რკინიგზის მოძრაობების მართვა, ბირთვული წარმოება და სხვა;

– ეს-ებს გააჩნიათ კიდევ ერთი დიდი ნაკლი, მათ არ გააჩნიათ თვითსწავლების უნარი. საქმე იმაშია, რომ ეს-ები რომ იყვნენ ყოველთვის გამართულ მდგომარეობაში, საჭიროა ცოდნის ინჟინერის მუდმივი ჩარევა ცოდნის ბაზაში. თუ კი ეს არ გააჩნია შემქმნელებთან მხარდამჭერის საშუალება, ისინი კარგავენ გამოყენების შესაძლებლობებს.

## 1.6 ექსპერტული სისტემის გამოყენების სფეროები

ცოდნაზე დაფუძნებული ეს გამოყენების სფეროები შეიძლება დაგაჯგუფოთ რამოდენიმე ძირითად კლასად: სამედიცინო დიაგნოსტიკა, პროგნოზირება, დაგეგმარება, ინტერპრეტაცია, კონტროლი და მართვა, მექანიკური და ელექტრული მოწყობილობების გაუმართაობის დიაგნოსტიკა, სწავლება.

**სამედიცინო დიაგნოსტიკა.** ერთ-ერთ ცნობილი სამედიცინო დანიშნულების ეს წარმოადგენს MYCIN, რომლის პირველი ვერსია შეიქმნა სტენფორდის უნივერსიტეტში მე-20 საუკუნის სამოცდაათიან წლებში და განკუთვნილია სისხლის ინფექციური დაავადების დიაგნოსტიკისათვის. დღეისათვის ეს სისტემა სვამს დიაგნოზს ექიმ-ინფექციონისტის დონეზე. მას გააჩნია ცოდნის გამარტოვებული ბაზა, რის გამოც მისი გამოყენება შესაძლებელია მედიცინის სხვა სფეროშიც. ამის მაგალითია ეს PUFF, რომელიც განკუთვნილია ფილტვების დაავადების დიაგნოსტიკისათვის. გარდა ამისა, არსებობს სხვა ეს-ები მაგალითად, SPE – ანთებითი პროცესების დიაგნოსტიკისათვის, CADUCEOUS შინაგანი დაავადების დიაგნოსტიკისათვის და სხვა.

**პროგნოზირება.** პროგნოზირებადი სისტემები განკუთვნილია ობიექტის მიმდინარე მდგომარეობის საფუძველზე მოსალოდნელი შედეგების ან მოვლენების პროგნოზირებისათვის. ასე მაგალითად, პროგნოზირებად სისტემას „უოლი-სტრიტის“ შეუძლია ბაზრის კონიუქტურის რისკის გაანალიზება და სტატისტიკური მეთოდების საფუძველზე მომხმარებლისთვის დაამუშაოს პერსპექტივაში კაპიტალური დაბანდების გეგმა. ასეთი ეს არ მიეკუთვნება ცოდნაზე დაფუძნებულ სისტემას, რადგან ის იყენებს ტრადიციული დაპროგრამების ალგორითმებს და პროცედურებს. თუმცა დრეისათვის არ არსებობს ისეთი ეს, რომელსაც შეუძლია თავისი ინფორმაციის საშუალებით ბაზრის კონიუქტურიდან გამომდინარე თქვენთვის გაზარდოს კაპიტალი. დღეისათვის პროგნოზირებად სისტემებს შეუძლიათ ამინდის, მოსავლის და მგზავრების რაოდენობის პროგნოზირება.

**დაგეგმარება.** დაგეგმარების სისტემები განკუთვნილი არიან კონკრეტული მიზეზების მისაღწევად. მაგალითად, მრავალცვლადიანი ამოცანის ამოხსნის შედეგად დამასკური ფირმა *Informat* პირველად ვაჭრობის სფეროში მყიდველებს შესთავაზა 13 მუშა სადგური, რომელებიც დამონტაჟებული იყო ოფისში. ამ საგდურების საშუალებით შესაძლებელია უფასო 15 წუთიანი კონსულტაცია,

რათა მყიდველს დაეხმაროს კომპიუტერის შერჩევაში მყიდველის მოთხოვნებისა და ფინანსების გათვალისწინებით. კომპანია *Boeing* მს იყენებს კოსმიური სადგურების დაპროექტირებისათვის, თვითმფრინავის ძრავების გამორთვის მიზეზების დასადგენად და ვეტფრენების რემონტისათვის. მს *XCON*, რომელიც შეიქმნა *DEC* ფირმამ, განკუთვნილია მომხმარებლის მოთხოვნების გათვალისწინებით *VAX* ტიპის კომპიუტერული სისტემების კონფიგურაციის განსაზღვრისთვის ან შეცვლისათვის. ფირმა *DEL* ამუშავებს უფრო მძლავრ *XSEL* სისტემას, რომელსაც გააჩნია *XCON* სისტემის ცოდნის ბაზა და განკუთვნილია მყიდველების დასახმარებლად სასურველი კონფიგურაციის გამოთვლითი სისტემების შერჩევისათვის. *XCOM* სისტემისაგან განსხვავებით *XSEL* წარმოადგენს ინტერაქტიულ სისტემას.

**ინტერპრეტაცია.** ინტერპრეტაციულ სისტემებს გააჩნიათ დაკვირვების შედეგების საფუძვლზე გამოიტანონ გარკვეული დასკვნები. ერთ-ერთ ყველაზე უფრო ცნობილ ინტერპრეტაციულ სისტემას წარმოადგენს *PROSPECTOR*, რომელიც აერთიანებს ცხრა ექსპერტის ცოდნას გეოლოგიაში. იყენებდა რა ცხრა ექსპერტის მეთოდის შეთავსებას, სისტემამ შეძლო დიდი მოცულობის საბადოს აღმოჩენა, მაშინ როცა 9 ექსპერტმა დამოუკიდებლად ვერ შეძლო მისი აღმოჩენა. სხვა ინტერპრეტაციული სისტემა *HASP/SIAP* აკუსტიკური თვალთვალის სისტემის საშუალებით განსაზღვრავს გემების ტიპებს და მათ ადგილმდებარეობას წყნარ ოკეანეში.

**კონტროლი და მართვა.** ცოდნაზე დაფუძნებული სისტემები შეიძლება გამოყენებული იყოს როგორც კონტროლის და მართვის ინტელექტუალური სისტემები, რომლებიც სხვადასხვა წყაროებიდან მიღებული ინფორმაციის საშუალებით ღებულობენ გარკვეულ გადაწყვეტილებებს. ასეთი სისტემები მუშაობენ ატომურ ელექტრო სადგურებში, მართავენ საჰაერო მოძრაობებს და აწარმოებენ სამედიცინო კონტროლს. ისინი შეიძლება სასარგებლონი იყვნენ წარმოების ფინანსური მოღვაწეობის რეგულირებისათვის და კრიტიკულ სიტუაციებში გადაწყვეტილების მიღების დახმარებაში.

**მექანიკური და ელექტრული მოწყობილობების გაუმართაობის დიაგნოსტიკა.** ამ სფეროში ცოდნაზე დაფუძნებული სისტემები შეუცვლელნი არიან არა მარტო მექანიკური და ელექტრული მანქანების რემონტის დროს, არამედ კომპიუტერების აპარატურული და პროგრამული უზრუნველყოფის გაუმართაობის აღმოსაფხვრელად.

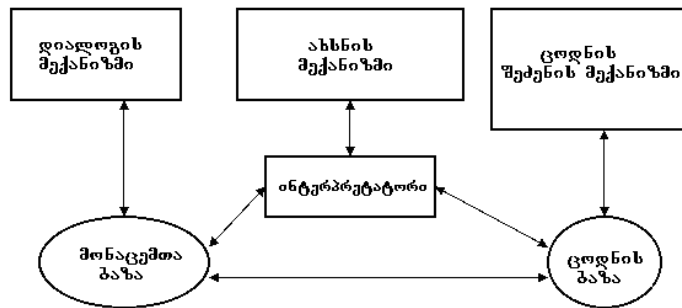
**სწავლება.** ცოდნაზე დაფუძნებული სისტემები შესაძლებელია გამოყენებული იყოს კომპიუტერული სწავლების სისტემებში. სისტემა ღებულობს ინფორმაციას ობიექტის მოქმედებაზე და ახდენს ამ მოქმედების ანალიზს. ამ შემთხვევაში ცოდნის ბაზა იცვლება ობიექტის ქცევის მიხედვით. ასეთი სწავლების მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ კომპიუტერული თამაში, რომლის სირთულე იზრდება მოთამაშის კვალიფიკაციის ხარისხთან ერთად. ერთ-ერთი საინტერესო სწავლების მს წარმოადგენს დ.დენატოს მიერ დამუშავებული სისტემა *EURISCO*, რომელიც იყენებს მარტივ ვერისტიკებს. ეს სისტემა გამოყენებული იყო თამაში, სადაც ხდებოდა საბრძოლო მოქმედების იმიტაცია.

ეს უმეტესობა შეიცავს ცოდნას, რომლის შემადგენლობის საშუალებით შესაძლებელია მათი ერთდროული მიკუთვნება რამოდენიმე ტიპთან. მაგალითად, სასწავლო სისტემა შეიძლება შეიცავდეს ცოდნას, რომელიც იძლევა როგორც დიაგნოსტიკის, ასევე დაგეგმარების შესრულების საშუალებას. მართვის სისტემა შეიძლება გამოყენებული იყოს კონტროლის, დიაგნოსტიკის, პროგნოზირების და დაგეგმარების მიზნებისათვის. მაგალითად, სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს საცხოვრებელი შენობის (ბინის) დაცვას, შეუძლია თვალყური ადევნოს გარემომცველ ვითარებს, გაარჩიოს მიმდინარე მოვლენა ( მაგალითად, გაიღო ფანჯარა), გააკეთოს პროგნოზი (ქურდი ცდილობს ბინაში შეღწევას) და შეადგინოს მოქმედების გეგმა (გამოიძახოს პოლიცია).

## 2. ექსპერტული სისტემის არქიტექტურა

### 2.1 ექსპერტული სისტემის სტრუქტურა

ექსპერტული სისტემა შედგება შემდეგი ბლოკებისაგან: მონაცემთა ბაზა, ცოდნის ბაზა, ინტერპრეტატორი, ცოდნის შექმნის, ახსნის და დიალოგის ელემენტებისაგან.



**მონაცემთა ბაზა** ანუ როგორც ზოგჯერ უწოდებენ სამუშაო მეხსიერება, განკუთვნილია ამოცანის ამოხსნის მიმდინარე მომენტში საწყისი და შუალედური მონაცემების შესანახად.

**ცოდნის ბაზა** განკუთვნილია განსახილველი დარგობრივი სფეროს ფაქტების და წესების, რომლებიც ამყარებენ ფაქტებს შორის კავშირებს, გრძელვადიან შესანახად. სწორად შერჩეული ექსპერტი და მისი ცოდნის წარმატებული ფორმირება ცოდნის ბაზაში საშუალებას იძლევა ეს შევძინოთ უნიკალური და მეტად მნიშვნელოვანი ცოდნა. მაგალითისათვის, ექიმი პაციენტს კარგად უსვამს დიაგნოზს და ეფექტურად უნიშნავს მკურნალობას არა იმიტომ, რომ მას დაბადებიდან გააჩნია მკურნალობის უნარი, არამედ

იმიტომ, რომ მან მიიღო ხარისხიანი სამედიცინო განათლება და გააჩნია პაციენტების მკურნალობის დიდი გამოცდილება.

**ინტერპრეტატორი** მონაცემთა ბაზიდან საწყისი მონაცემების და ცოდნის ბაზიდან ცოდნის გამოყენებით ჩამოაყალიბებს ისეთ თანმიმდევრულ წესებს, რომლებსაც მიყვევართ ამოცანის ამოხსნისაკენ.

**ცოდნის შექმნის მექანიზმი** ექსპერტის საშუალებით ავტომატიზებულ რეჟიმში ახდენს ცოდნის ბაზის შევსებას.

**ახსნის მექანიზის** საშუალებით ხდება ახსნა იმის შესახებ თუ სისტემამ როგორ ამოხსნა (ან რატომ ვერ ამოხსნა) ამოცანა და რომელი ცოდნა გამოიყენა მან ამ დროს. ეს იწვევს სისტემის ტესტირების პროცესის გამარტივებას და ზრდის მომხმარებლის ნდობას მიღებული შედეგის მიმართ.

**დიალოგური მექანიზმი** უზრუნველყოფს დიალოგურ რეჟიმში მს ურთიერთობას მომხმარებელთან როგორც ამოცანის ამოხსნის, ცოდნის შექმნის, ასევე მუშაობის შედეგების ახსნის პროცესში.

ეს შექმნაში მონაწილეობენ: დარგობრივი სფეროს ექსპერტი (ექსპერტები), ცოდნის ინჟინერი, როელიც წარმოადგენს მს შექმნის სპეციალისტს, ინსტრუმენტალური საშუალოებების დამუშავების პროგრამისტი და მომხმარებელი.

**ექსპერტი** არის მაღალი კვალიფიკაციის სპეციალისტი თავის დარგში, რომელიც კონკრეტულ დარგობრივ სფეროში დებულობს სწორ გადაწყვეტილებებს. ექსპერტი განსაზღვრავს ცოდნას (მონაცემები და წესები), რომლებიც ახასიათებენ დარგობრივ სფეროს და უზრუნველყოფენ ცოდნის სწორ შეტანას ცოდნის ბაზაში.

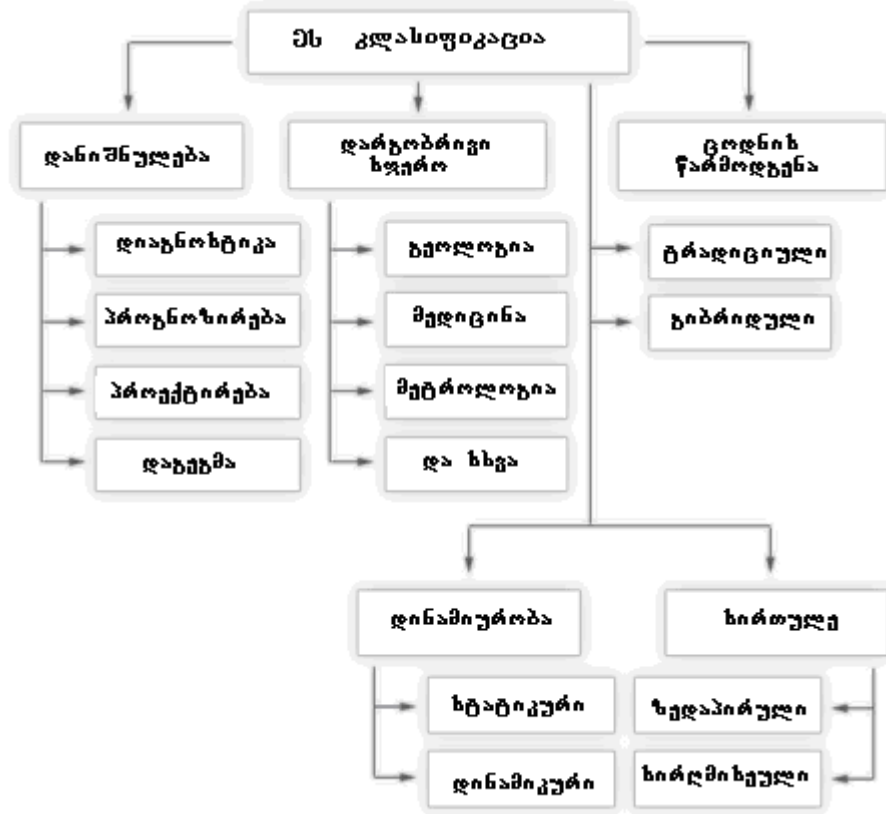
**ცოდნის ინჟინერი** არის ადამიანი, რომელიც ფლობს ინფორმატიკის და ხელოვნური ინტელექტის მეთოდებს და იცის როგორ უნდა შექმნას მს. იგი ეხმარება ექსპერტს ცოდნის გამოვლენაში და მის სტრუქტურირებაში, ახორციელებს ისეთი ინსტრუმენტალური საშუალოებების შერჩევას, რომელიც სჭირდება მს მუშაობაში, განსაზღვრავს ცოდნის წარმოდგენის საშუალებებს, გამოყოფს და დააპროგრამებს სტანდარტულ ფუნქციებს, რომლებიც ტიპიური არიან დარგობრივი სფეროსთვის და რომლებიც გამოყენებული იქნებიან წესების ფორმირებაში.

**ინსტრუმენტალურ საშუალებას** წარმოადგენს დაპროგრამების ენა, რომელსაც იყენებს პროგრამისტი. პროგრამისტი ამუშავებს ინსტრუმენტალურ საშუალოებებს (თუ მისი დამუშავება ხელახლა არის საჭირო) და უზრუნველყოფს ამ საშუალოებების თავსებადობას იმ დარგობრივ სფეროსთან, სადაც ის იქნება გამოყენებული.

**მომხმარებელი** არის პიროვნება, რომელიც იყენებს მს თავის მოღვაწეობის სფეროში.

2.2 ექსპერტული სისტემების კლასიფიკაცია

ექსპერტული სისტემების საყოველთაო კლასიფიკაცია არ არსებობს, მაგრამ უფრო ხშირად მს ანსხვავებენ დანიშნულების, დარგობრივი სფეროს, ცოდნის წარმოდგენის მეთოდებით, დინამიურობით და სირთულით. ქვემოლ მოყვანილია მს კლასიფიკაციის ბლოკ-სქემა:



დანიშნულების მიხედვით მს კლასიფიკაცია შეიძლება შემდეგნაირად:

- სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკა, მათ შორის მონიტორინგი (მიმდინარე მდგომარეობის უწყვეტი დაკვირვება);
- სისტემის განვითარების პროგნოზირება წარსული და აწმყო მოდელების საფუძველზე;
- ორგანიზაციური ტექნოლოგიური მართვის დაგეგმარება და დამუშავება;
- ავტომატური მართვა (რეგულირება);
- სასწავლო სისტემები და სხვა.

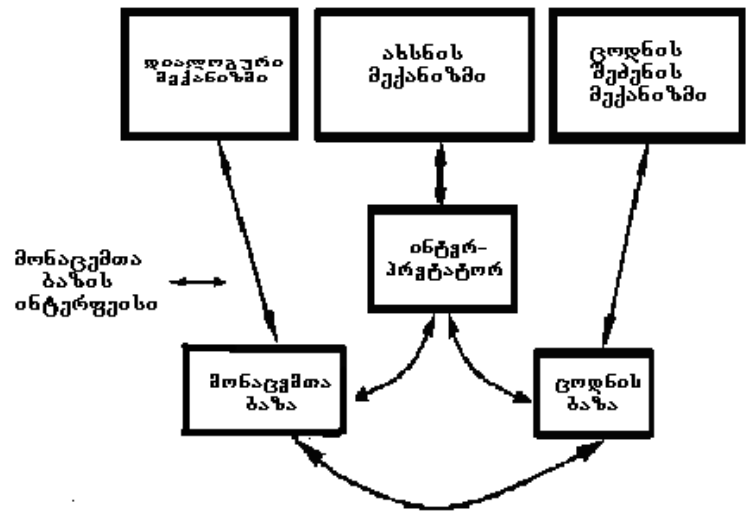
დარგობრივი სფეროს ექსპერტული სისტემების შედარებით დიდი ნაწილი მოდის მედიცინაში, გეოლოგიაში, საინჟინრო საქმეში, მეტროლოგიაში, პროცესების მართვაში და სხვა სფეროებში.

ცოდნის წარმოდგენით მს იყოფა ტრადიციულ და ჰიბრიდულ სისტემებად. ტრადიციულ მს-ში ძირითადად იყენებენ ცოდნის წარმოდგენის ემპირიულ მოდელებს და პირველი რიგის პრედიკატის განსაზღვრას. ჰიბრიდული მს იყენებენ ყველა ხელმისაწვდომ მეთოდებს და მათ შორის ოპტიმიზაციის ალგორითმებს და მონაცეთა ბაზების კონცეფციებს.

ე. ყუბანეიშვილი. სამედიცინო ექსპერტული სისტემები

სირთულის მიხედვით მს იყოფა ზედაპირულ და სიღრმისეულ სისტემებად. ზედაპირულ მს ცოდნის წარმოდენგენა ხდება „თშ-მაშინ“ წესების მიხედვით. სიღრმისეული მს წესების ჯაჭვის გაწყვეტის შემთხვევაში, გააჩნიათ უნარი განსაზღვროს რომელი მოქმედება უნდა გამოვიყენოთ ამოცანის ამოხსნის გასაგრძელებლად.

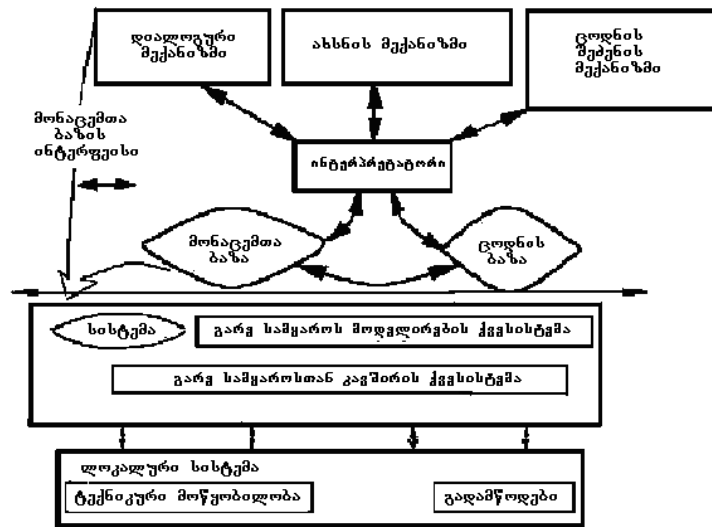
მს დინამიურობის თვალსაზრისით იყოფა სტატიკურ და დინამიკურ სისტემებად. დარგობრივ სფეროს ეწოდება სტატიკური, თუ მისი აღწერის საწყისი მონაცემები დროში არ იცვლებიან. ამ შემთხვევაში სისტემის გამოსავალი მნიშვნელობები შეიძლება წარმოიშვან ხელახლა და იცვლებოდნენ, მხოლოდ იმ პირობით, რომ საწყისი მონაცემები რჩებიან უცვლელნი. სტატიკური მს ბლოკ-სქემა წარმოდენილია შემდეგ ნახაზზე:



თუ საწყისი მონაცემები დროში იცვლებიან, მაშინ დარგობრივ სფეროს ეწოდება დინამიკური. დინამიკურ მს, სტატიკურ მს შედარებით, გააჩნიათ ორი დამატებითი კომპონენტი: გარე სამყაროს მოდელირების ქვესისტემა და გარე სამყაროსთან კავშირის ქვესისტემა. დინამიკური მს ბლოკ-სქემა წარმოდენილია შემდეგ ნახაზზე:

---

ე. ყუბანეიშვილი. სამედიცინო ექსპერტული სისტემები



მს არსებობის სტადიების მიხედვით შეიძლება გამოვყოთ:

- კვლევითი პროტოტიპი;
- მოქმედი პროტოტიპი;
- სამრეწველო სისტემა;
- კომერციული სისტემა.

კვლევის პროტოტიპი ეწოდება სისტემას, როელსაც შეუძლია წარმოდგენილი კლასის ამოცანების ამოხსნა, მაგრამ მუშაობაში შეიძლება იყოს არამდგრადი და მთლიანად არ იყოს შემოწმებული. დამუშავების მრავალი ინსტრუმენტალური საშუალებების არსებობით კვლევითი პროტოტიპის შექმნისათვის საჭიროა დაახლოებით 2–4 თვე.

მოქმედი პროტოტიპი საიმედოდ ხსნის ყველა ამოცანას, მაგრამ რთული ამოცანის ამოსახსნელად სჭირდება გაცილებით დიდი დრო და მეხსიერება. მოქმედი პროტოტიპის შექმნას სჭირდება დაახლოებით 6–9 თვე.

მს რომელიც მიაღწევს სამრეწველო სტადიას გააჩნია ყველა ამოცანის ამოხსნის მაღალი ხარისხი მინიმალური მეხსიერებით და დროით. მს მიყვანას სამრეწველო სტადიამდე სჭირდება დაახლოებით 12–18 თვე.

სამრეწველო სტადიის მს საშუალებას გვაძლევს გადავიდეთ კომერციულ სტადიაზე ანუ ისეთ სტადიაზე, როდესაც შესაძლებელია მს გაყიდვა სხვადასხვა მომხმარებლებზე. სისტემის მიყვანას კომერციულ სტადიამდე სჭირდება დაახლოებით 1,5–2 წელი. ზემოდ მოყვანილი დროები სამართლიანია საშუალო სირთულის ექსპერტული სისტემებისათვის.

**მს მუშაობის რეჟიმები.** მს მუშაობს ორ რეჟიმში: ცოდნის შექმნის და ამოცანის ამოხსნის რეჟიმში. ამოცანის ამოხსნის რეჟიმს ხშირად კონსულტაციის ან მს გამოყენების რეიმსაც უწოდებენ.

ცოდნის შექმნის რეჟიმში ექსპერტი სისტემასთან ურთიერთობს ცოდნის ინჟინრის საშუალებით. ამ რეჟიმში ექსპერტი იყენებს რა თავის ცოდნას, ავსებს ცოდნის ბაზას, რათა მს შემდგომში ექსპერტის გარეშე ავტომატურად გამოიყენის მიღებული ცოდნა ამოცანების ამოსახსნელად. ექსპერტი დარგობრივ სფეროს აღწერს მონაცემების და წესების ერთობლიობის საშუალებით.

ე. ყუბანეიშვილი. სამედიცინო ექსპერტული სისტემები

მონაცემები განსაზღვრავენ ობიექტებს, ხოლო წესები – განსახილველი დარგობრივი სფეროს მონაცემების მანიპულირების საშუალებებს.

კონსულტაციის რეჟიმში მს-თან ურთიერთობს მომხმარებელი, რომელსაც აინტერესებს შედეგი და მისი მიღების მეთოდი. უნდა აღინიშნოს, რომ მს დანიშნულებიდან გამომდინარე, მომხმარებელი შეიძლება არ იყოს დარგობრივი სფეროს სპეციალისტი. ამ დროს ის მიმართავს მს შედეგების მისაღებად, რომლის მიღებაც მას დამოუკიდებლად არ შეუძლია. თუ მომხმარებელი არის დარგობრივი სფეროს სპეციალისტი, რომელსაც შეუძლია დამოუკიდებლად მიიღოს შედეგი, მაშინ ის მს მიმართავს შედეგების მიღების პროცედურის დაჩქარებისათვის ან სისტემას გადააბაროს რუტინული სამუშაოები.

### 3 მქსაპრტული სისტემების დამუშავება

#### 3.1 მქსაპრტული სისტემის შემქმნის დასაბუთება

მს დამუშავება მნიშვნელოვნად განსხვავდება ჩვეულებრივი პროგრამული პროდუქტის დამუშავებისაგან. მს შექმნის გამოცდილებამ გვიჩვენა, რომ მის შესაქმნელად გამოყენებული ტრადიციური დაპროგრამების მეთოდოლოგია ან მნიშვნელოვნად ახანგრძლივებს მს შექმნის პროცედურას, ან კიდევ მიყვევართ უარყოფით შედეგამდე.

სანამ შეუდგებოდეთ მს დამუშავებას, ცოდნის ინჟინერმა უნდა განიხილოს საკითხი: საჭიროა თუ არა განსახილველი დარგობრივი სფეროსათვის მს შექმნა? განზოგადოებული პასუხი შეიძლება იყოს: მს გამოყენება შესაძლებელი უნდა იყოს მხოლოდ მაშინ, როცა მისი დამუშავება შესაძლებელია, სამართლიანია და ინჟინრული ცოდნის მეთოდები შეესაბამებიან გადასაწყვეტ ამოცანებს.

მს გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა მისი დამუშავება შესაძლებელია, გამართლებულია და ინჟინრული ცოდნის მეთოდები შეესაბამებიან გადასაწყვეტ ამოცანებს. იმისათვის, რომ დამუშავდეს მს საჭიროა ერთდროულად შესრულებული იყოს შემდეგი მოთხოვნები:

- არსებობენ დარგობრივი სფეროს ექსპერტები, რომლებიც გაცილებით უკეთ ხსნიან მოცემულ ამოცანებს, ვიდრე დამწყები სპეციალისტები;
- ექსპერტები თანხმებიან ამოცანის ამოხსნის მეთოდის შეფასებაში, წინააღმდეგ შემთხვევაში ძნელია შეფასდეს დასამუშავებელი მს ხარისხი;
- ექსპერტებს შეუძლიათ ბუნებრივ ენაზე ახსნან მათ მიერ გამოყენებული მეთოდები, წინააღმდეგ შემთხვევაში ძნელია ექსპერტების ცოდნის გადატანა მს ცოდნის ბაზაში;
- გადასაწყვეტი ამოცანა მოითხოვს მხოლოდ განსჯას და არა მოქმედებას;
- ამოცანა არ უნდა იყოს საკმაოდ რთული ანუ მისი ამოხსნისათვის ექსპერტს უნდა სჭირდებოდეს რამოდენიმე საათი ან დღე და არა კვირა;

ე. ყუბანეიშვილი. სამედიცინო ექსპერტული სისტემები



– თუმცა ამოცანა არ უნდა იყოს წარმოდგენილი ფორმალური სახით, მაგრამ იგი უნდა განეკუთვნებოდეს სტრუქტურირებულ სფეროს ანუ უნდა იყოს გამოყოფილი ძირითადი ცნებები, შეფასებები და ცნობილი უნდა იყოს ამოცანის ამოხსნის მეთოდი, თუნდაც მხოლოდ ექსპერტისათვის;

– ამოცანის ამოხსნისას არ უნდა გამოიყენებოდეს მსოფლიოს შესახებ საერო ცოდნის ფართო სპექტრი და მისი ფუნქციონირების მეთოდები, რომლებიც ცნობილია და იყენებს ნებისმიერი ნორმალური ადამიანი, რადგან ასეთი ცოდნის ჩადება მს-ში ჯერჯერობით შეუძლებელია მისი დიდი მოცულობის გამო.

მს გამოყენება შეიძლება შესაძლებელი იყოს, მაგრამ გამართლებული არაა. მს გამოყენება შეიძლება გამართლებული იყოს შემდეგი ფაქტორების გათვალისწინებით:

– ამოცანის ამოხსნას მოაქვს მნიშვნელოვანი ეფექტი, მაგალითად, ეკონომიკური;

– ადამიანი-ექსპერტის გამოყენება შეუძლებელია, მაგალითად, ექსპერტების საკმარისი რაოდენობის არ არსებობით, ან სხვადასხვა ადგილას ექსპერტის ერთდროული ჩატარების აუცილებლობით;

– ექსპერტისთვის ინფორმაციის გადაცემა ხდება დროის ან ინფორმაციის დაუშვებელი დაკარგვით;

– ამოცანის ამოხსნის საჭიროება ადამიანისათვის მიუღებელ გარემოცვაში.

გადასაწყვეტი ამოცანა შეესაბამება მს მოთხოვნებს, თუ კი ის შეიცავს შემდეგი მახასიათებლების ერთობლიობას:

– ამოცანას გააჩნია ევრისტიკული და არა ალგორითმული ბუნება, ანუ მისი ამოხსნისათვის საჭირო უნდა იყოს ევრისტიკული მეთოდების გამოყენება. ის ამოცანები, რომლებიც შესაძლებელია გარანტირებულად იყენენ ამოხსნილნი ზოგიერთი ფორმალური პროცედურებით, არ გამოდგებიან სისტემაში გამოსაყენებლად;

– ამოსახსნელი ამოცანა შეიძლება ამოხსნილი იყოს სიმბოლოების მანიპულირების საშუალებით და არა რიცხვითი მონაცემებით, როგორც ეს მიღებულია მათემატიკურ მეთოდებში და ტრადიციულ დაპროგრამებაში;

– ამოცანა უნდა იყოს საკმაოდ ვიწრო, რათა ამოხსნილი იყოს მს საშუალებით და პრაქტიკულად მნიშვნელოვანი.

### 3.2 ექსპერტული სისტემის შემდგომი მიღგომები

არსებობს მს შექმნის ოთხი ერთმანეთისაგან განსხვავებული მიდგომა: მიდგომა, რომელიც ეფუძნება სიღრმისეულ ცოდნას; სტრუქტურული მიდგომა; მიდგომა რომელიც ეფუძნება ზედაპირულ ცოდნას და შერეული მიდგომა, რომელიც ეფუძნება ზედაპირულ და სიღრმისეულ ცოდნებს.

1. მიდგომა რომელიც ეფუძნება ზედაპირულ ცოდნას გამოიყენება რთული ამოცანების ამოხსნისას, როდესაც ამოცანების ზუსტი აღწერა შეუძლებელია. ეს მიდგომა მდგომარეობს ექსპერტიდან ფრაგმენტალური

ცოდნის (ხშირად ევრისტიკულის) მიღებაში. ამ დროს არ ხდება ობიექტის სისტემური და სიღრმისეული შესწავლა. საზოგადოდ, ასეთ მს-ში ცოდნის წარმოდგენისათვის გამოიყენება წესები. ყოველი წესი ასახავს გარკვეულ სიტუაციას, რომლის შესრულება იწვევს წესის შესაძლო შესრულებას. ამოცანის ამოხსნის ძებნა მდგომარეობს იმ წესების შესრულებაში, რომლებიც მიესადაგებიან მოცემულ მონაცემებს. ამ დროს იგულისხმება, რომ არ წარმოიქმნება ისეთი სიტუაცია, რომელიც არ შეესაბამება არც ერთ წესს.

**2. სტრუქტურული მიდგომა** გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა ზედაპირული ცოდნის საშუალებით ვერ ხერხდება ამოცანის ამოხსნა. მართლაც, არასტრუქტურირებულ ცოდნის ბაზაში გამოტანის მექანიზმამ შეიძლება მიგვიყვანოს არასაიმედო გადაწყვეტილებამდე. მს შექმნის სტრუქტურული მიდგომა მსგავსია სტრუქტურულ დაპროგრამებისა. მს გამოყენების თვალსაზრისით სტრუქტურული მიდგომას არ მოეთხოვება ამოცანის დაყვანა ალგორითმამდე (როგორც ეს არის ტრადიციული დაპროგრამების დროს), არამედ ის გულისხმობს, რომ ამოცანის ნაწილი ამოიხსნება ძებნის საშუალებით. სტრუქტურული მიდგომის გამოყენება მიზანშეწონილია ზედაპირული და სიღრმისეული მიდგომების ერთობლიობაში.

**3. სიღრმისეული მიდგომა** ეფუძნება იმ სფეროს მოდელს, სადაც მს მუშაობს. მოდელი შეიძლება განსაზღვრული იყოს სხვადასხვა მეთოდებით (დეკლარაციული, პროცედურული). სიღრმისეული მიდგომა გამართლებულია იმ დროს, როდესაც საჭიროა ზედაპირული მიდგომის არასრულყოფილებით გამოწვეული შეცდომების აღმოსაფხვრელად. ეს შეცდომები წარმოიქმნიებიან მაშინ, როდესაც მუშა მეხსიერებაში არ არსებობს ის წესები, რომლებიც საჭიროა ამოცანის ამოხსნის პროცედურის ბოლომდე მიყვანისათვის. სიღრმისეული ანუ მოდელური მიდგომა მოითხოვს სფეროს სხვადასხვა მოვლენების ურთიერთმიმართების ცხადად აღწერას. ამ მიდგომისას საჭიროა გამოყენებული იყოს ინსტრუმენტალური საშუალებები, რომლებსაც გააჩნიათ მძლავრი მოდელირების საშუალებები: ობიექტები მიერთებული პროცედურებით, იერარქიული მემკვიდრეობის თვისებები, ობიექტებისათვის შეტყობინებების გადაცემის საშუალებები და სხვა.

**4. შერეული მიდგომა.** ზოგად შემთხვევაში შერეული მიდგომა ნიშნავს ზედაპირული, სტრუქტურული და სიღრმისეული მიდგომების ერთობლივ გამოყენებას. მაგალითად, ზედაპირული მიდგომა შეიძლება გამოყენებული იყოს ადეკვატური ცოდნის საძიებლად, რომელიც შემდგომ გამოყენებული იქნება რომელიმე სიღრმისეული მოდელის მიერ.

### 3.3 ექსპერტული სისტემის დამუშავების სირთულეები

მს დამუშავება დაკავშირებულია გარკვეულ სირთულეებთან, რომელთა გადალახვის მეთოდების ცოდნა აუცილებელია. ძირითადად გვხვდება შემდეგი სირთულეები:

-----  
 ე. ყუბანეიშვილი. სამედიცინო ექსპერტული სისტემები

1. **ექსპერტიდან ცოდნის ამოღება.** არცერთი სპეციალისტი არასოდეს ასე მარტივად არ გახსნის თავისი პროფესიული ოსტატობის საიდუმლოებას. ის მოტივირებული უნდა იყოს მატერიალურად ან მორალურად და თანაც დაინტერესებული. ხშირად ასეთი სპეციალისტი თვლის, რომ თუ ის გახსნის თავის ყველა საიდუმლოებას, მაშინ შესაძლებელია ფირმისათვის გამოუსედაგარი გახდეს, რადგან მის მაგივრად იმუშავენ მს. ამ პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია თანამშრომლობაში დაინტერესებული მაღალკვალიფიცირებული სპეციალისტის შერჩევაში.

2. **ექსპერტის ცოდნის ფორმალიზაციის არარსებობა.** გარკვეული დარგობრივი სფეროს ექსპერტ-პეციალისტებს, როგორც წესი, არ შეუძლიათ თავისი ცოდნის ფორმალიზირება. ისინი ხშირად ინტუიციის დონეზე დებულობენ სწორ გადაწყვეტილებებს და არ შეუძლიათ დაასაბუთონ მიღებული გადაწყვეტილებები. ასეთ შემთხვევების დროს საჭიროა ისეთი ექსპერტის შერჩევა, რომელსაც შეუძლია თავისი აზრების მკაფიოდ ფორმულირება და სხვას ადვილად აუხსნას თავისი იდეები.

3. **ექსპერტისათვის დროის უკმარისობა.** ხშირად შერჩეულ ექსპერტს პროექტის შესრულებისათვის არ გააჩნია საკმარისი დრო. ის ძალზე დაკავებულია, ყველას სჭირდება და გააჩნია გარკვეული პრობლემები. ამ სიტუაციის გამორიცხვისათვის საჭიროა ექსპერტისაგან, სანამ ის დაიწყებს ობიექტზე მუშაობას, მივიღოთ დასტური დახარჯოს ამ პროექტის შესრულებისათვის გარკვეული ფიქსირებული დრო.

4. **ექსპერტის მიერ ფორმალიზირებული წესები არ არის საჭირო სიზუსტით ჩამოყალიბებული.** ეს პრობლემა შეიძლება გადაწყდეს თუ ექსპერტთან ერთად გადავწყვეტთ რეალურ ამოცანებს. ამოცანაში უნდა გამოვიყენოთ რეალური მონაცემები. საჭიროა ექსპერტთან ურთიერთობა მისთვის გასაგებ ბუნებრივ ენაზე და გამოყენებული უნდა იყოს საერთო ტერმინოლოგია. როგორც წესი, ექსპერტს კარგად ესმის წესები, რომლებიც ჩაწერილია ბუნებრივ ენასთან მიახლოებული, ვიდრე დაპროგრამების ენაზე *LISP* ან *PROLOG*.

5. **რესურსების უკმარისობა.** რესურსებს მიეკუთვნება პერსონალი (ცოდნის ინჟინერი, პროგრამისტები, ექსპერტები) და მს შექმნის საშუალებები (დამუშავების და მხარდამჭერი საშუალებები). მს დამუშავებას სჭირდება დიდი დრო, მაგალითად, *PUFF* სისტემის დამუშავებას დასჭირდა 5 ადამიანი/წელი. ბოლო წლებში მს დამუშავება ხდება გაცილებით სწრაფად მს ტექნოლოგიების განვითარების გამო. პერსონალის ორჯერ გაზრდა ვერ ანახევრებს მს შექმნის დროს, რადგან მს შექმნის პროცესი არის მრავალი უკუკავშირებიანი სისტემა.

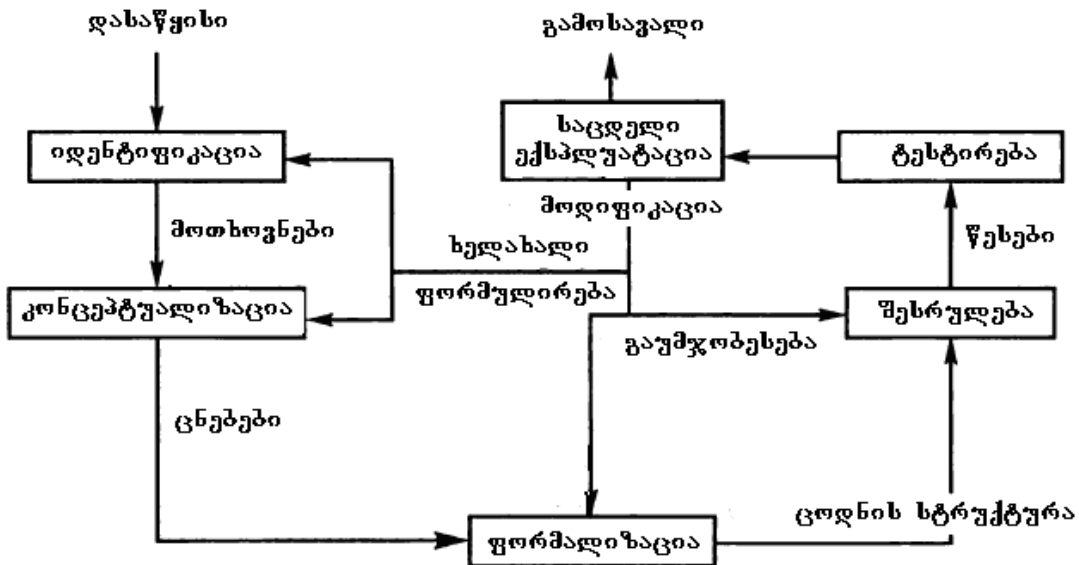
### 3.4 ექსპერტული სისტემის შექმნის ეტაპები

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მს დამუშავება მნიშვნელოვნად განსხვავდება ჩვეულებრივი დაპროგრამების პროდუქტის შექმნისაგან. მს შექმნის გამოცდილებამ გვიჩვენა, რომ მის შექმნაში გამოყენებული ტრადიციული

დაპროგრამების მეთოდოლოგია ან ძალიან ახანგრძლივებს მს შექმნას დროში ან კიდევ მიუყვართ უარყოფით შედეგამდე.

მს შექმნისას გამოიყენება პროტოტიპის კონცეფცია, რომლის არსი შემდეგში მდგომარეობს: მს შემქმნელები არ ცდილობენ უცბად შექმნან საბოლოო პროდუქტი. ისინი ქმნიან მს პროტოტიპის რამოდენიმე მოდელს. თუ პროტოტიპი აჩვენებს, რომ ის ვარგისიანია მოცემული ამოცანების გადასაწყვეტად, მაშინ ექსპერტი ცოდნის ინჟინერთან ერთად აფართოებს პროტოტიპის ცოდნის ბაზას. წარუმატებლობის შემთხვევაში საჭიროა ახალი პროტოტიპის შექმნა. პროტოტიპი გადაიქცევა მს მაშინ, როცა ის ეფექტურად ამოსხნის მოცემული დარგობრივი სფეროს ამოცანებს.

ჩამოყალიბდა მს დამუშავების გარკვეული ტექნოლოგია, რომელიც მოიცავს 6 ეტაპს: იდენტიფიკაცია, კონცეპტუალიზაცია, ფორმალიზაცია, ფორმულიზაცია, შესრულება და საცდელი ექსპლუატაცია.



იდენტიფიკაციის ეტაპზე განისაზღვრებიან: ამოცანები, სისტემის შექმნაში მონაწილეები, მათი როლი, რესურსები და მიზნები. მონაწილეთა რაოდენობის დადგენა გულისხმობს ექსპერტისა და ცოდნის ინჟინრის რაოდენობების და მათ ურთიერთქმედების ფორმის დადგენას. საზოგადოდ, მს შექმნის ძირითად ეტაპზე მონაწილეობენ არა უმეტეს 3-4 ადამიანი, მათ შორის ერთი ექსპერტი, ერთი ან ორი ცოდნის ინჟინერი და ერთი პროგრამისტი. მს შექმნის პროცესში შესაძლებელია მონაწილეთა რაოდენობის გაზრდა. მაგალითად, ცოდნის ინჟინერს შეუძლია საჭიროების შემთხვევაში მოიწვიოს სხვა ექსპერტები.

ამოცანის იდენტიფიკაცია მდგომარეობს გადასაწყვეტი ამოცანის არაფორმალურ (ვერბალური) აღწერაში, სადაც ნაჩვენებია ამოცანის საერთო მახასიათებლები; ქვეამოცანები, რომლებიც გამოიყოფიან ძირითად ამოცანისაგან; საკვანძო განსაზღვრები, მახასიათებლები და კავშირები; შემავალი (გამომავალი) მონაცემები; ამოსხნის სავარაუდო სახე; ამოცანის ამოსხნის ტესტები (მაგალითები).

იდენტიფიკაციის ეტაპის ძირითადი მიზანია ამოცანის სამუშაოების დაწყება ცოდნის ბაზის შესაქმნელად. ამოცანების იდენტიფიკაციის დროს საჭიროა ვუპასუხოთ შემდეგ კითხვებს:

- რომელი ამოცანების ამოხსნისთვისაა განკუთვნილი ეს?
- როგორ შეიძლება ამ ამოცანების დახასიათება და განსაზღვრა?
- ყოველი ამოცანა რა ქვეამოცანებად შეიძლება დაიყოს და რომელ მინაცემებს იყენებს?

- რომელი სიტუაციები აბრკოლებენ ამოცანის ამოხსნას?
- ეს დაბრკოლებები როგორ იმოქმედებენ სისტემაზე?

და სხვა კითხვები.

ამოცანის იდენტიფიკაციის პროცესში ინჟინერი მჭიდრო კონტაქტში მუშაობს ექსპერტთან. ექსპერტი აზუსტებს ამოცანის აღწერას, განმარტავს თუ როგორ უნდა ამოვხსნად ამოცანა და რა მსჯელობა უდევს საფუძვლად ამოცანის ამოხსნას.

ეს დამუშავების ტიპურ რესურსებს წარმოადგენენ: ცოდნის წყარო, შექმნის დრო, გამოთვლითი საშუალებები (კომპიუტერის შესაძლებლობები და პროგრამული ინსტრუმენტები) და დაფინანსების მოცულობა. წარმატების მისაღწევად ექსპერტმა და ცოდნის ინჟინერმა უნდა გამოიყენონ მათ ხელში არსებული ყველა საშუალებები.

უნდა აღინიშნოს, რომ დღეისათვის ეს დამუშავებისას (განსაკუთრებით დინამიკურის) გამოიყენება კოპერატიული პროექტირების პრინციპი, რომელიც გულისხმობს მომხმარებლის უშუალოდ ჩართვას ეს დამუშავების პროცესში. ეს აიხსნება იმით, რომ მომხმარებელს გააჩნია გამოყენებითი ამოცანების, რომლებიც უნდა ამოხსნას სისტემამ, არაფორმალური გაგება. თუმცა, ცოდნის ინჟინერს და პროგრამისტს შეუძლიათ ამ გამოყენებით ამოცანებში გარკვევა, მაგრამ ამან შეიძლება გამოიწვიოს ეს შექმნის დროში გაწევა და თანაც მათი კომპენტაცია, გამოცდილ მომხმარებელთან შედარებით, გაცილებით დაბალია.

**კონცეპტუალიზაციის** ეტაპზე ხდება დარგობრივი სფეროს შემადგენლობითი ანალიზი, ვლინდება ცნებები და მათი ურთიერთკავშირები, განისაზღვრება ამოცანის ამოხსნის მეთოდები. ექსპერტი და ცოდნის ინჟინერი გამოყოფენ საკვანძო ცნებებს, კავშირებს და მახასიათებლებს, რომლებიც საჭიროა ამოცანის ამოხსნის პროცესის აღსაწერად. ამ ეტაპზე განისაზღვრება ამოცანის შემდეგი თავისებურებები: მინაცემთა ტიპი; საწყისი და გამოსატანი მონაცემები; ამოცანის ქვეამოცანები; გამოსაყენებელი სტრატეგიები და ჰიპოთეზები; დარგობრივი სფეროს ობიექტებს შორის ურთიერთკავშირები; ცოდნის შემადგენლობა; შეზღუდვები, რომლებიც წარმოიქმნიან ამოცანის ამოხსნისას; გამოყენებული კავშირები (იერარქია, ნაწილი/მთელი, მიზეზი/შედეგი) და სხვა.

**ფორმალიზაციის** ეტაპზე ყველა ის საკვანძო ცნებები და კავშირები, რომლებიც გამოვლენილი იყო კონცეპტუალიზაციის ეტაპზე, გამოისახებიან რომელიმე ფორმალურ ენაზე, რომელსაც აირჩევს ცოდნის ინჟინერი. ცოდნის ინჟინერი განსაზღვრავს გამოდგება თუ არა არსებული ინსტრუმენტალური საშუალებები განსახილველი პრობლემების გადასაწყვეტად, წიმააღმდეგ შემთხვევაში უნდა შეირჩეს სხვა ინსტრუმენტალური საშუალებები ან დამუშავდეს ახალი ორიგინალური საშუალებები. ხდება ძირითადი ცნებების

ფორმალიზირება, განისაზღვრება ცოდნის ინტერპრეტაციის მეთოდები, სისტემის მუშაობის მოდელირება, სისტემაში დაფიქსირებული წესების ადეკვატურობაზე შემოწმება, ცოდნის წარმოდგენის და მანიპულირების საშუალებები.

ფორმალიზაციის პროცესის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს საწყისი ამოცანების და ცოდნის სტრუქტურიზაციის პრობლემები. კერძოდ, საერთო ამოცანის მოკავშირე ქვეამოცანებთან სტრუქტურიზაცია, ცოდნის სტრუქტურიზაცია დეკლარატიულ და პროცედურულ ცოდნეებად, კლასების იერარქიულ საფუძველზე დარგობრივი სფეროს სტრუქტურიზაცია და დანართის სტრუქტურიზაცია „ნაწილი/მთელი“ იერარქიის საფუძველზე.

**შესრულების** ეტაპზე ხდება ცოდნის ბაზის შევსება. რადგან ეს საფუძველს ცოდნა წარმოადგენს, ამიტომ ეს ეტაპი წარმოადგენს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს და ურთულეს ეტაპს ეს პროექტირებისას. ცოდნის შექმნის პროცესი იყოფა ორ ნაწილად: ექსპერტებისაგან ცოდნის ამოღება, მისი ორგანიზება, რაც იძლევა სისტემის ეფექტურ მუშაობას და ცოდნის წარმოდგენა ისეთი სახით, რომ ეს-სათვის იყოს გასაგები. ცოდნის შექმნის პროცესს ექსპერტის საშუალებით ახორციელებს ცოდნის ინჟინერი.

**ტესტირების** ეტაპზე ხდება როგორც შერჩეული ცოდნის წარმოდგენის მეთოდის შეფასება, ასევე მთელი სისტემისა. გამოყოფენ ტესტირების სამ სახეს: საწყისი მონაცემების ტესტირება, ცოდნის ბაზის ლოგიკური ტესტირება და გამოყენებითი სისტემის კონცეპტუალური ტესტირება.

საწყისი მონაცემების ტესტირება ხდება ფაქტოგრაფიკული ინფორმაციის შემოწმება, როელიც წარმოადგენს ექსპერტიზის ჩატარების საფუძველს. ცხადია, რომ მონაცემთა სიმრავლე, რომელიც გამოიყენება ტესტირების დროს, ეს უნდა გამოიყენოს ყველა შესაძლო სიტუაციების გარჩევისათვის.

ცოდნის ბაზის ლოგიკური ტესტირების დანიშნულებაა დარგობრივი სფეროსაგან დამოუკიდებლად პროდუქციულ სისტემაში ლოგიკური შეცდომების გამოვლენა. კერძოდ, წესების სიჭარბე, ციკლურობა და კონფლიქტური წესები; გამოტოვებული და გადამკვეთი წესები; წესებში არსებული შეუთანხმებელი პირობები. ამ ცდომილების ფორალური სახე გვაძლევს ლოგიკური ტესტირების პროცესის ავტომატიზების საშუალებას.

კონცეპტუალური ტესტირება, გადასაწყვეტი ამოცანის ყველა ასპექტის გათვალისწინებით, ტარდება სისტემის საერთო სტრუქტურის შესამოწმებლად. ამ ეტაპზე ეს მომხმარებლის გარეშე ტესტირების ჩატარება შეუძლებელია.

ამ ეტაპზე უნდა მოხდეს ეს მუშაობის შემოწმება რამოდენიმე მაგალითზე. ცონდოს ინჟინერმა უნდა უზრუნველყოს ისეთი სატესტო ამოცანების შერჩევა, რომლებიც მეტ-ნაკლებად უზრუნველყოფენ სისტემის მუშაობის ეფექტურ შეფასებას.

**საცდელი ექსპლუატაციის** ეტაპზე ხდება მომხმარებლის რეალურ ამოცანებზე ეს მუშაობის შემოწმება. ამ ეტაპზე სისტემა დაკავებული უნდა იყოს ყველა შესაძლო ამოცანების ამოხსნაზე. საცდელი ექსპლუატაციის ეტაპზე გადასვლა შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ეს , ექსპერტის აზრით, მზად არის პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად.

საცდელი ექსპლუატაციის შედეგად შესაძლებელია საჭირო გახდეს არა მარტო მონაცემების და წესების მოდიფიცირება, არამედ შესავალ-გამოსავალი მოწყობილობების ცვლილება მომხმარებლისათვის მიუღებლობის გამო. ამ ეტაპის

შედგების შედეგად მიიღება გადაწყვეტილება სისტემის ტირაჟირების შესახებ. საცდელი ექსპლუატაციის ეტაპის წარატებული დასრულების შედეგ და სხვადასხვა სპეციალისტების მიერ სისტემის გამოყენების შედეგებიდან გამომდინარე ვღებულობთ სარეწველო ტიპის მს.

### 3.5 მქსპერტული სისტემის დამუშავების ინსტრუმენტალური საშუალებები

ერთი მს შესაქმნელად ადრე საჭირო იყო დაახლოებით 20–30 ადამიანი/წელი. დღეისათვის არსებობს ისეთი ინსტრუმენტალური საშუალებები, რომლებიც აჩქარებენ სისტემის შექმნის პროცესს, კერძოდ 3–5 ჯერ.

მს დამუშავების ინსტრუმენტალური საშუალებაა დაპროგრამების ენა, რომელსაც იყენებს ცოდნის ინჟინერი ან (და) პროგრამისტი. შერჩეული ინსტრუმენტი უნდა განსხვავდებოდეს სხვა დაპროგრამების ენებისაგან იმით, რომ მან უნდა უზრუნველყოს რთული, მაღალი დონის ცნებების წარმოდგენის საშუალება. ინსტრუმენტალური საშუალებები იყოფიან შემდეგ კატეგორიებად:

1. **მს გარსები.** გარსები, როგორც წესი, იქმნებიან რომელიმე მს საფუძველზე, რომელმაც პრაქტიკულ მოღვაწეობაში კარგად წარმოაჩინა თავისი თავი. გარსის შექმნისას პროტოტიპის სისტემიდან გამორიცხავენ ისეთ კომპონენტებს, რომლებიც დამახასიათებელია ვიწრო დარგობრივი სფეროსათვის და ტოვებენ ისეთებს, რომლებსაც არ გააჩნიათ ვიწრო სპეციალიზაცია. მაგალითისათვის მოვიყვანოთ მს გარსი *EMYCIN*, რომელიც შექმნილია ერთ-ერთ პოპულარულ სამედიცინო დანიშნულების მს *MYCIN* –საგან.

*EMYCIN* –ში შენარჩუნებულია ინერპრეტატორი და ყველა საბაზისო სტრუქტურები: ცოდნის ცხრილები და მასთან დაკავშირებული ინდექსაციის მექანიზმი. გარსში დამატებულია სპეციალური ენა, რომელიც უზრუნველყოფს პროგრამების წაკითხვის გაუმჯობესებას და ტიპიური მოვლენებისა და დასკვნების ბიბლიოთეკის მხარდამჭერ საშუალებებს.

*EMYCIN*-ის ბაზაზე დამუშავდა მს როგორც მედიცინისათვის (მაგალითად, *PUFF*, რომელიც განკუთვნილია ფილტვების დაავადების დიაგნოსტიკისათვის), აგრეთვე სხვა სფეროებისათვისაც, მაგალითად, სტრუქტურული ანალიზის პროგრამა *SACON*. შემდგომში *EMYCIN*-ის ბაზაზე შეიქმნა *S.1* და *M.4* გარსები, სადაც დამატებულია მონაცემების ფრეიმული სტრუქტურა და ახსნის მექანიზმის დამატებითი საშუალებები.

*CLISP* გარსი წარმოადგენს პროდუქციულ სისტემას, რომლის პირველი ვერსია შეიქმნა 1984 წ. იგი წარმოადგენს მს დამუშავების ერთ-ერთ ფართოდ გავრცელებულ ინსტრუმენტალურ საშუალებას. *CLISP* შეიცავს ობექტზე ორიენტირებულ *COOL* დაპროგრამების ენას, რომელიც დაწერილია *C* ენაზე, მაგრამ მისი ინტერფეისი საკმაოდ ახლოსაა *LISP*-ის დაპროგრამების ენასთან.

1985წ. *GENSYM* ფირმამ შეიმუშავა მს გარსი *G2* პირველი ვერსია, რომელიც დღეისათვის წარმოადგენს ერთ-ერთ საუკეთესო დინამიკური მს შესაქმნელად. თუ შევადარებთ *G2* გარსს სხვა გარსებს, შევნიშნავთ, რომ იგი თავისი შესაძლებლობებით ორჯერ აღემატება არსებულ გარსებს. *G2* არის გრაფიკულ

ობიექტებზე ორიენტირებული ინტეგრირებული სფერო, რომელიც იყენებს ცოდნის ბაზას. G2 შესაძლებლობებიდან შეიძლება გამოვეყოთ: ობიექტებთან კავშირი, ობიექტებს შორის თანაფარდობა, ობიექტების იერარქია. ცოდნა შეიძლება წარმოდგენილი იყოს წესების, პროცედურების და დინამიკური მოდულების სახით. ახსნის მექანიზმი იყენებს მონაცემების, მიზნების, წესების და პროცედურების ერთდროული გამოყენების საშუალებას და სხვა.

G2 სისტემით შექმნილი დაპროგრამების პროცედურა არ არის დამოკიდებული მს აპარატულ უზრუნველყოფაზე, ანუ იგი ამ მხრივ უნივერსალურია. G2 გამოყენების პრაქტიკამ აჩვენა, რომ სისტემის დამუშავების ხარჯები ტრადიციულ მეთოდებთან (მაგალითად, C ან C++ ენები) შედარებით 5-10 ჯერ მცირდება. უნდა აღინიშნოს, რომ GENSYM ფორმის პროგრამული პროდუქტი მუშაობს სხვადასხვა ოპერაციულ სისტემებში და მათ შორის Windows-ის ჩათვლით.

2. დაპროგრამების ენები. მს შექმნაში ძირითადად გამოიყენება დაპროგრამების მაღალი დონის ენები, რომლებიც პროგრამისტისათვის კარგ ინსტრუმენტალურ საშუალებას წარმოადგენენ. დაპროგრამების მაღალი დონის ენას გააჩნიათ შემდეგი თვისებები:

- საშუალებას იძლევა მს პროტოტიპის სწრაფ შექმნას;
- იძლევა სისტემის შექმნის პროცესის მოქნილობას;
- ამცირებს მატერიალურ დანახარჯებს და სისტემის შექმნის ვადებს.

მაღალი დონის ენებიდან ერთ-ერთი ცნობილი დაპროგრამების ენა იყო OPSS. ეს იყო შესასწავლად მარტივი ენა და პროგრამისტს აძლევდა სისტემის შექმნის შედარებით ფართო საშუალებებს. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ ტიპის დაპროგრამების ენები ვერ იქნა მიყვანილი კომერციული პროდუქტის დონემდე და აქედან გამომდინარე, ისინი მკვლევარისათვის წარმოადგენენ მხოლოდ ინსტრუმენტს.

პროცედურაზე ორიენტირებული ლოგიკური დაპროგრამების ენებიდან მს შექმნისათვის გამოიყენება PROLOG, რომელიც ეფუძნება მათემატიკური ლოგიკის პირველი რიგის პრედიკატებს. PROLOG ძირითად ცნებებს წარმოადგენენ ფაქტები, ლოგიკური გამოტანის წესები და მოთხოვნები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ცოდნის ბაზის აღწერას და გადაწყვეტილების მიღებას. PROLOG შეიქმნა 1970წ და მასზე დიდ იმედებს ამყარებდნენ. კერძოდ, 1980-იან წლებში იაპონიაში მეხუთე თაობის კომპიუტერის დამუშავებისას დიდი იმედი ქონდათ, რომ PROLOG-ის საშუალებით შესაძლებელი იქნებოდა ახალი პრინციპების ფორმულირება, რომლებიც მიგვიყვანდა მაღალი დონის ინტელექტუალური კომპიუტერის დამუშავებამდე. იაპონიის ეს ნაციონალური პროგრამა ბოლომდე არ შესრულდა. ამან გამოიწვია PROLOG მიმართ ინტერესის შენელება. მიუხედავად ამისა, PROLOG მაინც განაგრძობს განვითარებას მრავალ ქვეყანაში ახალი ტექნოლოგიების შესაქმნელად, მაგალითად, ინტელექტუალური აგენტების თეორიაში.

ობიექტზე ორიენტირებული დაპროგრამების ენებიდან მს შექმნის სფეროში ფართოდ გამოიყენება დაპროგრამების ენა LISP. ისტორიულად LISP წარმოადგენს FORTAN შემდეგ მაღალი დონის დაპროგრამების ენას, რომელიც დღესაც გამოიყენება. LISP წარმოადგენს სიმბოლოების დამუშავების ენას. მან



განვლო ფუნდამენტური სტანდარტიზაციის ეტაპი, რის შედეგადაც შეიქმნა უნივერსალური სტანდარტი *Common LISP*, რომელიც ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის პროექტებში.

3. **მრავალფუნქციონალური პროგრამული გარსები.** ასეთი პროგრამული გარსები გამოცდილ პროგრამისტს საშუალებას აძლევს ახალი პრობლემის გადასაწყვეტად შეარჩიოს შესაფერი სხვადასხვა მეთოდების ერთობლიობა. რადგან არ არსებობს ნებისმიერი ტიპის მს-ათვის ცოდნის წარმოდგენის უნივერსალური მეთოდი, ამიტომ მს შემქმნელებს გაუჩნდათ სურვილი გააერთიანონ წარმოდგენის რამოდენიმე მეთოდი, განსაკუთრებით მს პროტოტიპის შექმნის ეტაპზე.

ასეთი ტიპის პირველი პროექტი იყო კვლევითი პროგრამა *LOOPS*, რომელიც საშუალებას იძლეოდა გამოყენებული ყოფილიყო ცოდნის წარმოდგენის ორი მეთოდი: ობიექტზე ორიენტირებული და წესებზე დაფუძნებული. ამ არქიტექტურაზე დაყრდნობით 1980 წლების მეორე ნახევარში დამუშავებული იყო რამოდენიმე კომერციული პროგრამული პროდუქტი, რომელთაგან ყველაზე უფრო ცნობილია *KEE*, *KnowledgeCraft* და *ART*.

ერთ-ერთი პირველი მრავალფუნქციონალურ პროგრამულ გარემოს წარმოადგენს *LOOPS*, სადაც ერთი არქიტექტურის ქვეშ გაერთიანდნენ ოთხი დაპროგრამების პარადიგმები (ბერძ. მაგალითი, ნიმუში):

– პროცედურაზე ორიენტირებული დაპროგრამება. ეს პარადიგმა წარმოდგენილი იყო *LISP* ენით, სადაც აქტიურ კომპონენტს წარმოადგენს პროცედურები, ხოლო პასიურს–მონაცემები;

– წესებზე დაფუძნებული დაპროგრამება. აქ პროცედურის როლს თამაშობს „პირობა-მოქმედება“. ერთი წესის მოქმედებამ, თავის მხრივ, შეუძლია გაააქტიუროს დაქვემდებარებული წესების ნაკრები;

– ობიექტზე ორიენტირებული დაპროგრამება. სტრუქტურირებული ობიექტები შეიცავენ თვისებებს, პროცედურებს, მონაცემებს. ამასთან გვერდითი ეფექტების ლოკალიზება ხდება ობიექტის ფარგლებში. შემოსული ინფორმაციის დამუშავებას მიყვება მონაცემთა გადაცემაზე ან მათი მნიშვნელობების შეცვლაზე, მაგრამ მონაცემებზე ყველა მანიპულირებას ასრულებს ის კომპონენტი, რომელმაც მიმართა ობიექტს. ამ დროს გამოძახებულ ობიექტს სრულებით არ აინტერესებს როგორ ინახება მონაცემები და როგორ ხდება ობიექტის შიგნით მათი მოდიფიცირება;

– მონაცემებზე ორიენტირებული დაპროგრამება. მონაცემებთან შედწევის და მათი განახლების პროცესს მართავს გარკვეული პროცედურები. ამ შემთხვევაში არ აქვს მნიშვნელობა იმას, თუ რატომ და რამ გამოიწვია მონაცემთა კომპონენტების შეცვლა. ცვლადებს, სადაც ინახება მონაცემთა მნიშვნელობები, უკავშირდებიან გარკვეული პროცედურები, რომლებსაც ხშირად აქტიურ მნიშვნელობებს უწოდებენ. დაპროგრამების ეს სტილი აღმოჩნდა საკმაოდ ეფექტური ისეთ გამოყენებით სფეროებში, როგორცაა, მაგალითად, მოდელირება, რადგან რომელიმე კომპონენტის შეცვლის ეფექტი ვრცელდება მასთან დაკავშირებულ სხვა კომპონენტებზეც.

4. **დამატებითი მოდულები.** დამატებითი მოდულების ქვეშ იგულისხმება ის სასარგებლო პროგრამები, რომლებიც შეიძლება შესრულებული იყოს სხვა დანართებთან ერთად. როგორც წესი, ასეთი პროგრამები ასრულებენ ზოგიერთ

სპეციალურ ფუნქციებს, რომელთანაც მიმართებას არ სჭირდება დაპროგრამება. ერთ-ერთ დამატებით მოდულის მაგალითს წარმოადგენს პროგრამული პაკეტი *Simkit*, რომელიც *KEE* გარემოს ეკუთვნის. ეს პაკეტი საშუალებას იძლევა მს აღიჭურვოს მოდულირების მეთოდების სისტემით.

დამატებითი მოდულების გამოყენების ტენდენცია მომავალში სულ უფო და უფრო გაიზრდება, რადგან მს მომხმარებლებს ხშირად სჭირდებათ სხვადასხვა სახის დამატებითი ფუნქციონალური შესაძლებლობები, რომლებიც სპეციფიური არიან კონკრეტული ამოცანისათვის.

პრაქტიკაში მს ხშირად გამოიყენება მონაცემთა ბაზასთან ერთად ან რობოტის მოძრაობის მართვის სისტემასთან ერთად. გარდა ამისა, მს იღებს ინფორმაციას სიგნალების დამუშავების სისტემიდან ან სტატისტიკური დამუშავების პაკეტიდან.

## 4. ცოდნის მიღების სტრატეგია

### 4.1 მონაცემები და ცოდნა

ხელოვნური ინტელექტის შესწავლისას ბუნებრივად წარმოიშვება კითხვა: „რა არის ცოდნა და რითი განსხვავდება ის მონაცემებისაგან?“. მონაცემები წარმოადგენენ ცალკეულ ფაქტებს, რომლებიც ახასიათებენ ობიექტებს, პროცესებს, საგნობრივი სფეროს მოვლენებს და თვისებებს.

კომპიუტერზე დამუშავებისას მონაცემები პირობითად განიცილიან ტრანსფორმაციის შემდეგ ეტაპებს:

- მონაცემები, როლებიც არსებობენ დაკვირვების და გაზომვის შედეგად;
- მონაცემები, როლებიც წარმოდგენილია ცხრილებში, პროტოკოლებში და ცნობარებში;
- მონაცემთა სტრუქტურები დიარამების, გრაფიკების და ფუნქციების სახით;
- კომპიუტერში წარმოდგენილი მონაცემები, რომლებიც აღწერილი არიან მონაცემთა წარმოდგენის ენაზე;
- მონაცემები მონაცემთა ბაზაში.

**ცოდნა** არის დარგობრივი სფეროს ძირითადი კანონზომიერებები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ადამიანმა გადაწყვიტოს კონკრეტული ამოცანები. ზოგადად, ცოდნა იყოფა ორ კატეგორიად: ფაქტები და ევრისტიკა. **ფაქტები** არის დარგობრივი სფეროს კარგად ცნობილი მოვლენები. ასეთ ცოდნას ტექსტობრივ ცოდნასაც უწოდებენ, რადგან ისინი კარგად არიან წარმოდგენილი სპეციალურ ლიტერატურაში და სახელმძღვანელოებში. ცოდნის მეორე კატეგორია – ევრისტიკა ეფუძნება სპეციალისტის ინდივიდუალურ გამოცდილებას, როელიც დაუგროვდა მას პრაქტიკის შედეგად. დარგობრივი სფეროს ცოდნა შეიცავს ობიექტების აღწერას, მის გარემოცვას, აუცილებელ მოვლენებს და მათ შორის კავშირებს.

კომპიუტერზე დამუშავებისას ცოდნა, მონაცემების მსგავსად, განიცდის ტრანსფორმაციის სხვადასხვა ეტაპს:

– ცოდნა ადამიანის მეხსიერებაში, როგორც სწავლების, აღზრდის და აზროვნების შედეგი;

– ცოდნა, რომელიც აღწერილია ცოდნის წარმოდგენის ენაზე და განთავსებულია კომპიუტერის მეხსიერებაში;

– ცოდნა, რომელიც განთავსებულია სახელმძღვანელოებში, ინსტრუქციებში, წიგნებში და მეთოდურ ლიტერატურაში;

– ცოდნა ცოდნის ბაზაში.

მონაცემთა შესანახად გამოიყენება მონაცემთა ბაზა, რომელსაც გააჩნია დიდი მეხსიერება და ინფორმაციის შედარებით მცირე ღირებულება. ცოდნის შესანახად გამოიყენება ცოდნის ბაზა, რომელიც მონაცემთა ბაზისაგან განსხვავებით მცირე მოცულობისაა, მაგრამ გააჩნია საკმაოდ დიდი ღირებულების ცოდნის მასივები.

ცოდნა შეიძლება იყოს ზედაპირული და სიღრმისეული. ზედაპირული ცოდნა ისეთი ცოდნაა სადაც თვალსაჩინოა დარგობრივი სფეროს მოვლენებსა და ფაქტებს შორის ურთიერთკავშირები. სიღრმისეული ცოდნა წარმოადგენს დარგობრივი სფეროს მოვლენებს, პროცესების წარმოდგენის აბსტრაქციებს, ანალოგიებს და სქემებს, რომლებიც ასახავენ პროცესების სტრუქტურას. მაგალითად, ზედაპირული ცოდნაა: „მაღალი სიცხის დროს უნდა მივიღოთ სიცხის დამწვევი პრეპარატი“. სიღრმისეული ცოდნაა: ექიმის ცოდნა ორანიზმში მაღალი სიცხის წარმოშობის მიზეზები და მკურნალობის მეთოდები.

თანამედროვე ექსპერტული სისტემები ძირითად ზედაპირულ ცოდნას იყენებენ. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ დღეისათვის არ არსებობს ცოდნის სიღრმისეული სტრუქტურების სრული აღწერის და მათი ფორმალიზაციის გზები.

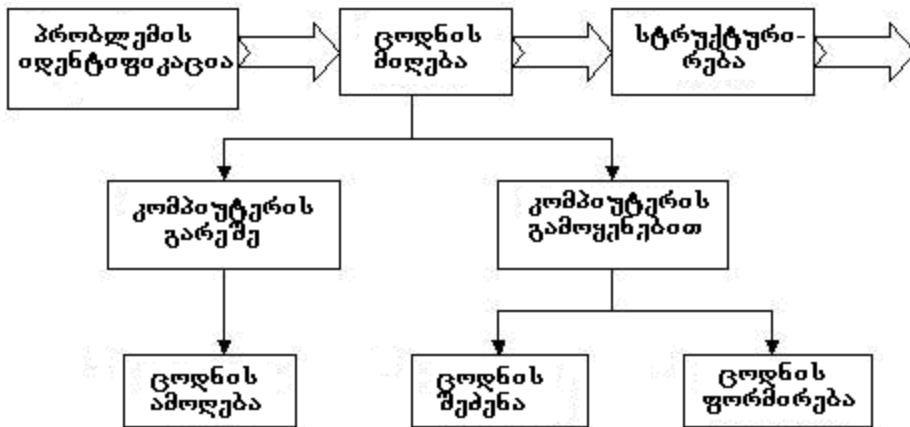
ცოდნა შეიძლება დავყოთ პროცედურულ და დეკლარაციულ ცოდნად. ისტორიულად პირველად იყენებდნენ მხოლოდ პროცედურულ ცოდნას ანუ ისეთ ცოდნას, რომელიც ალგორითმების სახით იყენენ წარმოდგენილი. ისინი მონაცემების საშუალებით იმართებოდნენ და მონაცემების შეცვლისას საჭირო ხდებოდა ალგორითმების და შესაბამისად პროგრამების შეცვლა.

სელოვნური ინტელექტის განვითარებასთან ერთად მონაცემების პრიორიტეტი თანდათანობით იცვლებოდა და ცოდნის სელ უფო და უფრო დიდი ნაწილი თავს იყრიდა მონაცემთა სტრუქტურაში ე.ი. იზრდებოდა დეკლარაციული ცოდნის როლი. დღეისათვის ექსპერტულ სისტემებში გამოიყენება მხოლოდ დეკლარაციული ცოდნა.

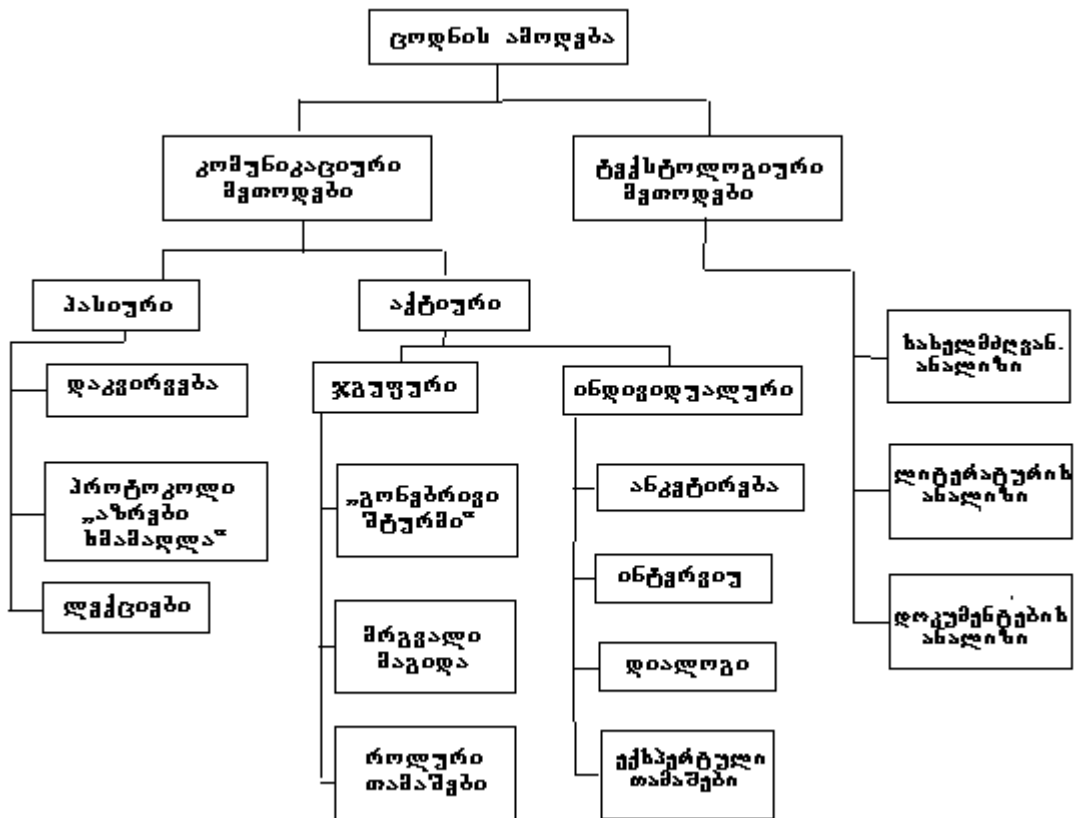
## 4.2 ცოდნის მიღება

არსებობს ცოდნის მიღების რამდენიმე სტრატეგია. ყველაზე უფრო გავრცელებულია: ცოდნის ამოღება; ცოდნის შექმნა და ცოდნის აღმოჩენა (ფორმირება):

-----  
 ე. ყუბანეიშვილი. სამედიცინო ექსპერტული სისტემები



1. ცოდნის ამოღების მეთოდები. ექსპერტიდან (ექსპერტებიდან) ცოდნის ამოღების მრავალი მეთოდია. ქვემოთ მოყვანილ ნახაზე წარმოდგენილია ცოდნის ამოღების მეთოდების კლასიფიკაცია:



როგორც ნახაზიდან ჩანს, ცოდნის ამოღების ორი ძირითადი მეთოდია: კომუნიკაციური და ტექსტოლოგიური. კომუნიკაციური მეთოდი ორიენტირებულია ცოდნის ინჟინერის უშუალოდ კონტაქტზე ექსპერტებთან, ხოლო ტექსტოლოგიური მეთოდები ეფუძვნება ცოდნის ამოღებას დოკუმენტებიდან და სპეციალურ ლიტერატურიდან.

კომუნიკაციური მეთოდები იყოფა აქტიურ და პასიურ მეთოდებათ. პასიურ მეთოდებში წამყვანი როლი ექსპერტს უჭირავს, ხოლო აქტიურ მეთოდებში – ცოდნის ინჟინერს. პრაქტიკულად, კონკრეტული ამოცანის ამოხსნისას, როგორც წესი ორივე ეს მეთოდი პარალელურად გამოიყენება. აქტიური მეთოდები იყოფა ინდივიდუალურ და ჯგუფურ მეთოდებად. ჯგუფურ მეთოდებში ცოდნის ამოღება ხდება რამოდენიმე ექსპერტის საშუალებით, ხოლო ინდივიდუალურ მეთოდებში – ერთი ექსპერტიდან. ცოდნის ამოღების ინდივიდუალური მეთოდები უფრო ხშირად გამოიყენება პრაქტიკაში. პასიური კომუნიკაციური მეთოდებიდან გამოიყენება დაკვირვების, „აზრები ხმამაღლა“ და ლექციის მეთოდები.

**დაკვირვების მეთოდი** წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე გამოყენებად მეთოდს მს დაშუშავების საწყის ეტაპზე. მისი არსი მდგომარეობს ექსპერტის ყველა მოქმედების და ახსნის პროცესის ფიქსირებაში. ამ დროს ცოდნის ინჟინერი არ ერევა ექსპერტის მოქმედებებში. აკვირდება რა ექსპერტს ცოდნის ინჟინერი უფრო ღრმად ეცნობა დარგობრივ სფეროს. რაც შეეხება ექსპერტს, იგი განიცდის ფსიქოლოგიურ ზემოქმედებას იმასთან დაკავშირებით, რომ მან არა მარტო უნდა გამოავლინოს პროფესიული ცოდნა, არამედ სრულყოფილად წარმოაჩინოს იგი ცოდნის ინჟინერიისათვის.

**„აზრები ხმამაღლა“** პროტოკოლის მეთოდი დაკვირვების მეთოდისაგან იმით განსხვავდება, რომ ექსპერტი არა მარტო თავის მოქმედების კომენტარს აკეთებს, არამედ იძლევა იმის ახსნას, თუ როგორ მიიღო მან ესა თუ ის გადაწყვეტილება. ექსპერტის მსჯელობისას ცოდნის ინჟინერი აფიქსირებს ყველა მის სიტყვას. ამ მეთოდის ძირითად პრობლემას წარმოადგენს ნებისმიერი ექსპერტისათვის საკუთარი აზრებისა და მოქმედების სიტყვიერი აღწერა. მიუხედავად ამ სიძნელისა, ცოდნის ამოღების ეს მეთოდი ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს, რადგან ასეთ შემთხვევაში ექსპერტი თავისუფლად გრძნობს თავს და აზრების გამოთქმაში მას არაფერი უშლის ხელს.

**ლექციიდან ცოდნის ამოღების მეთოდი** გულისხმობს ექსპერტის მიერ ცოდნის ინჟინერისათვის თავის გამოცდილების გადაცემას ლექციების სახით. ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვანია არა მარტო ის, რომ რამდენად სრულყოფილად შეუძლია ექსპერტს ლექციის წაკითხვა, არამედ ისიც თუ რამდენად კარგად ითვისებს ამ ინფორმაციას ცოდნის ინჟინერი. თუ ექსპერტს პედაგოგიური გამოცდილება გააჩნია, მაშინ ლექცია ცოდნის ინჟინერისათვის ცოდნის მიღების ერთ-ერთი საუკეთესო საშუალებაა.

ცოდნის ინჟინერმა ექსპერტს უნდა ჩამოუყალიბოს ლექციის თემა და შესაბამისი ამოცანები. მაგალითად, თუ თემა ეხება რომელიმე ნოზოლოგიის დიაგნოსტიკას, მაშინ ექსპერტმა ლექციაში მოცემული ნიშან-თვისებების საშუალებით უნდა ჩამოაყალიბოს დიაგნოზის დასმის პროცედურა (აღგორითმი). ცოდნის ინჟინერმა უნდა მოახდინოს ლექციის ჩაწერა და თუ საჭიროა კითხვების დასმა.

რეკომენდირებულია დღეში მხოლოდ ორი ლექციის ჩატარება, რომლის ხანგრძლივობა 40-50 წუთია, 5-10 წუთის შესვენებით.

**აქტიური ინდივიდუალურ მეთოდებში** შედის: ანკეტირება, ინტერვიუ, დიალოგი და ექსპერტული თამაშები. ამ მეთოდების გამოყენებისას აქტიურ როლს ასრულებს ცოდნის ინჟინერი, რომელიც წარმართავს ცოდნის მიღების პროცედურებს.

**ანკეტირება** ყველაზე უფრო სტანდარტიზირებული მეთოდია. ცოდნის ინჟინერი წინასწარ ადგენს კითხვარს ან ანკეტას და იყენებს მას ექსპერტების გამოსაკითხავად. თვით ანკეტირება შეიძლება ჩატარდეს ორი მეთოდით.

- 1) ცოდნის ინჟინერი ექსპერტს ხმამაღლა უსვამს შეკითხვებს და პასუხების შედეგები თვინს შეაქვს ანკეტაში;
- 2) ინსტრუქტაჟის მიღების შემდეგ ექსპერტი დამოუკიდებლად ავსებს ანკეტას.

მეთოდის შერჩევა ხდება სიტუაციიდან გამომდინარე. მაგრამ, მეორე მეთოდი უფრო მიზანშეწონილად ითვლება, რადგან ამ შემთხვევაში ექსპერტი დროში შეზღუდული არ არის. არსებობს ანკეტის შედგენის ზოგადი რეკომენდაციები, კერძოდ:

1. ანკეტა არ უნდა იყოს მონოტონური და ერთგვაროვანი, რომ არ გამოიწვიოს ექსპერტის დაღლა ან მოწყენა. ამისათვის საჭიროა ანკეტაში კითხვების ვარიაცია, თემატიკის შეცვლა, კითხვებში იუმორის ან თამაშის ელემენტების შემოტანა;
2. ანკეტა უნდა იყოს შედგენილი ექსპერტისათვის გასაგებ ენაზე;
3. რადგან კითხვები შეიძლება ერთმანეთზე გავლენას ახდენდნენ, ამიტომ საჭიროა მათი სასურველი თანმიმდევრობით წარმოდგენა;
4. რადგან ანკეტაში ხშირად არის ზედმეტი კითხვები, რომელთაგან ერთი ნაწილი აუცილებელი საკონტროლო კითხვებია, ხოლო სასურველია კითხვების მეორე ნაწილის ოპტიმიზაცია;
5. ანკეტის ტექსტი უნდა იყოს გასაგები და კითხვები დასმული უნდა იყოს თავაზიანი წესით.

**ინტერვიუ** წარმოადგენს ცოდნის ინჟინერის და ექსპერტის ურთიერთობის სპეციალურ ფორმას, სადაც ცოდნის ინჟინერი ექსპერტს უსვამს წინასწარ მომზადებულ კითხვებს. ინტერვიუ წააგავს ანკეტების იმ მეთოდს, სადაც ცოდნის ინჟინერი ექსპერტს უსვამს კითხვებს და ანკეტას თვითონ ავსებს. განსხვავება ისაა, რომ ინტერვიუს დროს ცოდნის ინჟინერს, სიტუაციიდან გამომდინარე, შეუძლია გამოტოვოს ან ჩართოს ახალი კითხვები, შეცვალოს გამოკითხვის ტემპი, შეცვალოს ექსპერტთან ურთიერთობის ტონი და ა.შ.

გარდა ამისა, ინტერვიუს დროს ცოდნის ინჟინერს საშუალება ეძლევა კიდევ უფრო დააინტერესოს ექსპერტი, რათა მოხდეს ცოდნის ამოღების ხარისხის გაუმჯობესება. ძალზედ მნიშვნელოვანია ინტერვიუს ჩატარებისას კითხვების სწორად შერჩევას.

**დიალოგი** ( თავისუფალი დიალოგი) არის ცოდნის ამოღების მეთოდი ცოდნის ინჟინერის უშუალოდ ექსპერტთან დიალოგის შედეგად. ამ შემთხვევაში არ არსებობს მკაცრი რეგლამინტირებული გეგმა და კითხვარი. დიალოგის ეს განმარტება არ ნიშნავს, რომ თავისუფალი დიალოგისათვის ექსპერტს არ სჭირდება მომზადება. პირიქით, ექსპერტს მოეთხოვება გარკვეული ძალისხმევა,

მაღალი პროფესიული და ფსიქოლოგიური მომზადება. თავისუფალ დიალოგში მეტად მნიშვნელოვანია დიალოგის სწორი ტემპის ან რითმის შერჩევა დიდი პაუზების გარეშე, თუმცა აჩქარებაც მიუღებელია, რადგან შეიძლება მოხდეს როგორც ექსპერტის, ასევე ინჟინერის გადაღლა, რაც იწვევს დაძაბულობის გაზრდას.

**ექსპერტული თამაშები** ანუ ექსპერტთან თამაშის დროს ცოდნის ინჟინერი თავისთავზე იღებს რომელიმე როლს. მაგალითად, მოსწავლის, რომელიც ექსპერტის (მასწავლებელი) თანდასწრებით ასრულებს „მასწავლებლის“ მიერ შემოთავაზებულ სამუშაოს, ექსპერტი კი ასწორებს „მოსწავლის“ შეცდომებს. ასეთი თამაში კარგი მეთოდია იმ ექსპერტების ასაღაპარაკებლად, რომლებიც გამოირჩევიან თავისი სიმორცხვით. მეორე მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ისეთი სიტუაცია, როცა ცოდნის ინჟინერი არის სპეციალისტი, ხოლო ექსპერტი წარმოგვიდგება როგორც კონსულტატი. ეს თამაში ზოგჯერ იძლევა თვალსაჩინო შედეგებს.

**აქტიური ჯგუფური მეთოდები.** ჯგუფურ მეთოდებს მიეკუთვნებიან მრგვალი მაგიდა, „გონებრივი შტურმი“ და როლური თამაშები.

**მრგვალი მაგიდის მეთოდი** გულისხმობს მრგვალი მაგიდის გარშემო დარგობრივ სფეროს რაიმე პრობლემის განხილვას, რომელშიც მონაწილეობს რამოდენიმე ექსპერტი (5-7). დასაწყისში ექსპერტები რიგრიგობით გამოთქვამენ თავიანთ აზრს დასმული პრობლემის ირგვლივ. შემდეგ გადადიან თავისუფალ დისკუსიაზე. ცოდნის ინჟინერის დანიშნულებაა მკაფიოდ და ყველასთვის გასაგებად ჩამოაყალიბოს თემა, დაადგინოს რეგლამენტი, დისკუსიის მსვლელობისას ყურადღება მიაქციოს რათა ექსპერტებმა არ გადაუხვიონ თემას და მსჯელობა რაც შეიძლება კონსტრუქციული იყოს. მრგვალი მაგიდის მეთოდის ნაკლი იმაში მდგომარეობს, რომ ზოგიერთი ექსპერტი „ფასადის ეფექტი“-ის ზეგავლენით ლაპარაკობს არა იმას, რასაც იგი ილაპარაკებდა სხვა სიტუაციის დროს. დისკუსიის მსვლელობა სასურველია მაგნიტაფონზე ჩაიწეროს.

**„გონებრივი შტურმი“** წარმოადგენს ფართოდ გავრცელებულ მეთოდს, რადგან ის იწვევს ექსპერტის შემოქმედებითი აზროვნების გააქტიურებას. როგორც წესი შტურმი დიდხანს არ გრძელდება (დაახლოებით 40 წუთი) . მონაწილეებს (10-მდე ექსპერტი). თავაზობენ შემოთავაზებულ თემაზე გამოთქვან ნებისმიერი მოსაზარება (ფანტასტიკური, იუმორისტული, მცდარი). რეგლამენტი არ აღემატება 2 წუთს. „გონებრივი შტურმის“ წამყვანი ცოდნის ინჟინერია, რომელიც აკონტროლებს აუდიტორიას.

გონებრივი შტურმის ძირითადი დევიზია - „ რაც მეტი იდეაა, მით უკეთესი“. სეანსის მსვლელობის პროცესის ფიქსირება ხდება ტრადიციული (პროტოკოლირება, მაგნიტაფონი) მეთოდებით.

**როლური თამაშები** მიეკუთვნება ჯგუფურ თამაშებს, სადაც მონაწილეობს რამოდენიმე ექსპერტი (ჩვეულებრივ 3-დან 6-მდე). ასეთი თამაშების დროს წინასწარ ხდება სცენარის დაწერა და როლების განაწილება. როლური თამაშების დროს ცოდნის ინჟინერმა უნდა შეიმუშაოს თამაშის წესების ინსტრუქცია და მაქსიმალურად ხელი უნდა შეუწყოს ექსპერტების ჩართვას და მათგან ძალდაუტანებლად და ბუნებრივად მოხდეს ინფორმაციის ამოღება.

**ტექსტოლოგიური მეთოდები** საშუალებას გვაძლევს ცოდნა მივიღოთ სასწავლო სახელმძღვანელოების, სპეციალური ლიტერატურის და დოკუმენტების შესწავლის გზით.

ტექსტებიდან ცოდნის ამოღების უმარტივესი ალგორითმი შეიცავს შემდეგ ბიჯებს:

1. საგნობრივი სფეროს გასაცნობად ლიტერატურის საბაზისო სიის შედგენა;
2. ტექსტის შერჩევა, საიდანაც ცოდნის მიღება უნდა მოხდეს;
3. ტექსტის პირველი გაცნობა (ზერეფედ გადაკითხვა). სპეციალისტებთან კონსულტაცია უცნობი ტერმინების გასაგებად ან სპეციალური საცნობარო ლიტერატურის გამოყენება;
4. ტექსტის მიკროსტრუქტურაზე პირველი ჰიპოთეზის ფორმირება;
5. ტექსტის ყურადღებით წაკითხვა და საკვანძო სიტყვების დაფიქსირება;
6. საკვანძო სიტყვებს შორის კავშირების განსაზღვრა. ტექსტის მიკროსტრუქტურის შემუშავება გრაფის ფორმით ან შეკუმშული ტექსტის (რეფერანტი) სახით;
7. ტექსტის მიკროსტრუქტურის საფუძველზე ცოდნის ველის ორმირება.

**2. ცოდნის შექმნა.** აქ იგულისხმება ცოდნის ბაზის ავტომატური შექმნა, ექსპერტის სპეციალური პროგრამასთან დიალოგის საფუძველზე. ამასთან, ცოდნის სტრუქტურა წინასწარ არის პროგრამაში ჩაწერილი. ეს ტრადიცია მოითხოვს დარგობრივი სფეროს წინასწარ და მნიშვნელოვან დამუშავებას. ცოდნის მიღების სისტემები მართლაც ღებულობენ ცოდნის გამზადებულ ფრაგმენტებს შესაბამისი სტრუქტურების საშუალებით, რომელიც ჩადებულია სისტემაში სისტემის შექმნის სპეციალისტების მიერ. ასეთი ინსტრუმენტალური საშუალების უმეტესობა ორიენტირებულია გარკვეულ ვიწრო დარგობრივ სფეროზე და ცოდნის წარმოდგენის მოდელზე. ქედან გამომდინარე, ასეთი ექსპერტული სისტემები არ არიან უნივერსალურები.

**3. ცოდნის აღმოჩენა (ფორმირება).** ეს მეთოდი წარმოადგენს პერსპექტიულ და აქტიურად განვითარებად ცოდნის ინჟინერიის სფეროს, რომელიც დაკავებულია ცოდნის მიღებით და შესწავლით; მოდელების, მეთოდების და მონაცემთა ანალიზის ალგორითმების დამუშავებით. ეს სფერო მოიცავს სასწავლო ამონარჩევის საფუძველზე ჰიპოთეზების ფორმირების ინდუქტიურ მოდელებს, ანალოგიებით შესწავლას და სხვა მეთოდებს.



## 5. ცოდნის წარმომადგენლის მეთოდები

### 5.1 ცოდნის ორბანიზაცია

ექსპერტული სისტემის საბაზისო ფუნქციებია: ცოდნის შექმნა, ცოდნის წაროდგენა და გადაწყვეტილების მიღების პროცესის მართვა. აქედან გამომდინარე, მეტად აქტუალურია ცოდნის ორგანიზაციის და წაროდგენის მეთოდები. პირველი და ძირითადი კითხვა, როელიც უნდა გადაწყდეს ცოდნის ორგანიზაციაში და წაროდგენაში, არის ცოდნის შემადგენლობის (ფაქტების და წესების) განსაზღვრა, ანუ განისაზღვროს „რა წარმომადგენლობით“ მს-ში. მეორე კითხვა ეხება იმას, თუ „როგორ წარმომადგენლობით“ ცოდნა. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს ორი პრობლემა ერთმანეთანაა დაკავშირებული.

კითხვა „რა წარმომადგენლობით“ შეიძლება დავეოთ ორ დამოუკიდებელ ამოცანად: როგორ მოვახდინოთ ცოდნის ორგანიზაცია და როგორ წარმომადგენლობით ცოდნა.

სტატიკური მს ზოგადი სქემიდან გამომდინარე, მისი ფუნქციერებისათვის საჭიროა შემდეგი ცოდნა:

- ამოცანის ამოხსნის პროცესის ცოდნა, რომელსაც ინტერპრეტატორი იყენებს;

- ცოდნის წაროდგენის მეთოდების და ცოდნის მოდიფიკაციის ცოდნა, რომელსაც მს ცოდნის შექმნის მექანიზმი იყენებს;

- ახსნის მექანიზმის მიერ გამოყენებული სტრუქტურული და მართვადი მხარდამჭერის ცოდნა.

დინამიკური მს-სათვის დამატებით საჭიროა გარე სამყაროსთან ურთიერთობის მეთოდების ცოდნა და ცოდნა გარე სამყაროს მოდელის შესახებ.

მს არქიტექტურიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილია ცოდნა დავეოთ ინტერპრეტირებულად და არაინტერპრეტირებულად. პირველს მიეკუთვნება ის ცოდნა, რომლის ინტერპრეტაცია შეუძლია ინტერპრეტატორს. ყველა დანარჩენი ცოდნა მიეკუთვნება მეორე ტიპს. ინტერპრეტატორმა არ იცის ცოდნის სტრუქტურა და შემადგენლობა. თუ ამ ცოდნას იყენებს მს რომელიმე მექანიზმი, მაშინ იგი ვერ აცნობიერებს მას.

ინტერპრეტირებული ცოდნა იყოფა დამხმარე ცოდნად, რომელიც ინახავს ინფორმაციას ენის გრამატიკის, ლექსიკის, დიალოგური სტრუქტურის და მხარდამჭერი ცოდნის შესახებ, რომლებიც გამოიყენება სისტემის შესაქმნელად და განსჯისათვის. მხარდამჭერი ცოდნა ასრულებს აღწერის როლს, როგორც ცოდნის ინტერპრეტაციისათვის, ასევე სისტემის მოქმედებისათვის. იგი შეიძლება დავეოთ ტექნოლოიურ და სემანტიკურ მხარდამჭერ ცოდნად.

ტექნოლოიური მხარდამჭერი ცოდნა შეიცავს შემდეგ ინფორმაციას: ცოდნის შექმნის დრო, ცოდნის ავტორი და სხვა. სემანტიკური მხარდამჭერი ცოდნა შეიცავს მასში შემავალი ცოდნის აზრობრივ აღწერას. ისინი შეიცავენ ინფორმაციას ცოდნის შეტანის მიზეზზე, ცოდნის დანიშნულებაზე, აღწერენ ცოდნის გამოყენებას და მიღებულ ეფექტს. ამრიგად, მხარდამჭერ ცოდნას გააჩნია აღწერითი ხასიათი.

ინტერპრეტირებული ცოდნა შეიძლება დაყოთ დარობრივ ცოდნად, მართველ ცოდნად და წარმოდგენის ცოდნად. დარობრივი ცოდნა, დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად, შეიცავს დარობრივი სფეროს მონაცემებს და ამ მონაცემების გარდაქმნის მეთოდებს. უნდა შევნიშნოთ, რომ დარობრივ ცოდნასთან შედარებით ცოდნის წარმოდგენის ცოდნა და მართველი ცოდნა წარმოადგენენ **მეტაცოდნას** ანუ ცოდნას ცოდნის შესახებ.

დარობრივი ცოდნა იყოფა ფაქტებად და წესებად. ფაქტები განსაზღვრავენ დარობრივი სფეროს მახასიათებლების მნიშვნელობებს, ხოლო წესები შეიცავენ ინფორმაციას იმის შესახებ, თუ როგორ შეიძლება შევცვალოთ დარობრივი სფეროს აღწერა ამოცანის ამოხსნის დროს.

მართველი ცოდნა შეიძლება დაყოთ ფოკუსირებად და გადამწყვეტ ცოდნად. ფოკუსირებადი ცოდნა აღწერს იმას, თუ რომელი ცოდნა შეიძლება გამოვიყენოთ ამა თუ იმ სიტუაციაში. საზოადოდ, ფოკუსირებადი ცოდნა შეიცავს ინფორმაციას ყველაზე პერსპექტიულ ობიექტებსა და წესების შესახებ, რომელთა გამოყენება მიზანშეწონილია შესაბამისი ჰიპოთეზის შესამოწმებლად.

გადამწყვეტი ცოდნა შეიცავს ინფორმაციას იმის შესახებ თუ როგორ უნდა შევარჩიოთ ცოდნის ინტერპრეტაციის მეთოდი, რომელიც მიესადაგება მიმდინარე სიტუაციას.

მს რიცხობრივი და თვისებრივი მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად შეიძლება გაუმჯობესდეს თუ გამოვიყენებთ მეტაცოდნას. მეტაცოდნა არ წარმოადგენს ერთიან არსებას, ისინი შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა მიზნის მისაღწევად. მოვიყვანოთ მეტაცოდნის ზოგიერთი დანიშნულება:

- მეტაცოდნა გამოყენება ექსპერტიზის სფეროდან წესების გამოყენების მიზანშეწონილების დასაბუთებლად;

- წესებში არსებული სინტაქსური და სემანტიკური ცდომილებების გამოსაგლენად;

- მეტაცოდნა საშუალებას იძლევა წესების და ფუნქციების რეგულირებით მოახდინოს სისტემის გარემოცვასთან ადაპტირება;

- საშუალებას იძლევა მიუთითოს სისტემის შესაძლებლობები და შეზღუდვები, ე.ი. განსაღვროს რა იცის სისტემამ და რა არა.

**მონაცემთა ბაზაში ცოდნის ორგანიზაცია.** როგორც ვიცით, მს მონაცემთა ბაზა გამოიყენება მონაცემების შესანახად. მონაცემები შეიძლება იყოს ერთგვაროვანი ან იყოფიან მონაცემების ტიპის მიხედვით. ბოლო შემთხვევისას მონაცემთა ბაზაში ინახება შესაბამისი ტიპის მონაცემები.

თანამედროვე მს-ში მონაცემთა ბაზის მონაცემები განიხილებიან როგორც იზოლირებულნი ან როგორც დამოკიდებულნი. პირველ შემთხვევაში მონაცემთა ბაზა ანუ სამუშაო მეხსიერება შედგება მარტივი ელემენტების ერთობლიობისაგან, ხოლო მეორე შემთხვევაში – ერთი ან რამოდენიმე რთული ელემენტებისაგან (ობიექტებისაგან). ამ დროს რთული ელემენტი შეესაბამება უბრალო ელემენტების სიმრავლეს, რომლებიც გაერთიანებულნი არიან ერთიან არსებად.

სამუშაო მეხსიერების მონაცემები, მარტივ შემთხვევაში, წარმოადგენენ კონსტანტებს და (ან) ცვლადებს. ამ დროს ცვლადები შეიძლება

წარმოადგინოთ, როგორც რომელიმე ობიექტის მახასიათებლები, ხოლო კონსტანტები – როგორც შესაბამისი მახასიათებლების მნიშვნელობები.

თუ მონაცემთა ბაზა შედგება რთული ელემენტებისაგან, მაშინ ცალკეულ ობიექტებს შორის კავშირი ცალსახად უნდა იყოს მითითებული. ამ დროს თითოეული ობიექტი შეიძლება შეიცავდეს თავის შიგა სტრუქტურას. უნდა აღინიშნოს, რომ ძეგლის სისწრაფის გაზრდისათვის მუშა მესხიერების მონაცემები შეიძლება დაკავშირებული იყვნენ არა მხოლოდ ლოგიკურად, არამედ ასოციატიურადაც.

**ცოდნის ბაზაში ცოდნის ორგანიზაცია** ეს ინტელექტუალობის მაჩვენებელს, ცოდნის წარმოდგენის თვალსაზრისით, ითვლება საჭირო მომენტში სისტემის მიერ სათანადო ცოდნის გამოყენება. სწორედ ეს პრობლემა წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საფუძველს, რომელიც ზღუდავს ეს გამოყენების სფეროს. ცოდნასთან მიმართების ანუ შეღწევის პრობლემაში შეიძლება გამოვყოთ სამი ასპექტი: ცოდნისა და მონაცემების შეკრულობა, ცოდნასთან შეღწევის მექანიზმები და შეპირისპირების მეთოდები.

ცოდნის შეკრულობა (გადაბმულობა, აგრეგატი) წარმოადგენს ძირითად ხერხს, რომელიც უზრუნველყოფს ცოდნის სწრაფ მოძებნას. სპეციალისტების უდიდესი ნაწილი მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ ცოდნა უმჯობესია ორგანიზებული იყოს დარგობრივი სფეროს ყველაზე მნიშვნელოვანი ობიექტის (მოვლენის) გარშემო.

ყველა ცოდნა, რომელიც ახასიათებს რომელიმე მოვლენას (ობიექტს) წაროდგინდება როგორც ცალკე ობიექტი. ცოდნის ასეთი წარმოდგენა საშუალებას იძლევა ჯერ მოიძებნოს ობიექტი, რომელიც აღწერს მოვლენას, ხოლო შემდეგ ობიექტის შიგნით იძებნება საჭირო ინფორმაცია.

ობიექტებში მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ელემენტების კავშირის ორი სახე: გარე და შიგა. შიგა კავშირი ელემენტებს აერთიანებს ერთიანი ობიექტის სახით და გამოსახავს ობიექტის სტრუქტურას. გარე კავშირები ასახავენ ურთიერთდამოკიდებულებებს, რომლებიც ექსპერტიზის სფეროში არსებობენ ობიექტებს შორის.

გარე კავშირები შეიძლება დაიყოს ლოგიკურ და ასოციატიურ კავშირებად. ლოგიკური კავშირები გამოხატავენ ცოდნის ელემენტებს შორის სემანტიკურ ფარდობას. ასოციატიური კავშირი გამოიყენება ურთიერთკავშირების უზრუნველყოფისათვის, რომლებიც აჩქარებენ ცოდნის ძეგლის პროცესს.

დიდი მოცულობის ცოდნის ბაზასთან მუშაობის ძირითად პრობლემას წარმოადგენს ცოდნის მოძებნის პრობლემა. აქედან გამომდინარე, საჭიროა შეღწევის უფრო ზოგადი მექანიზმის არსებობა, ვიდრე პირდაპირი შეღწევის მეთოდია. ამ მექანიზმის ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ მოვლენის ზოგიერთი აღწერის საშუალებით, რომელიც არსებობს მონაცემთა ბაზაში, მოიძებნოს ცოდნის ბაზაში ის ობიექტები, რომლებიც აკმაყოფილებენ ამ აღწერას. ცხადია, რომ მოწესრიგებულ და სტრუქტურირებულ ცოდნას შეუძლია მნიშვნელოვნად დააჩქაროს ძეგლის პროცესი.

სასურველი ობიექტის ძებნა ზოგადად შეიძლება განვიხილოთ როგორც ორეტაპიანი პროცესი. პირველ ეტაპზე, რომელსაც წარმოადგენს ძებნა

ასოციატური კავშირებით, მთავრდება ცოდნის ბაზაში სასურველი ობიექტის პოტენციური კანდიდატების წინასწარი შერჩევით. მეორე ეტაპზე, შეპირისპირების ოპერაციით საბოლოოდ აირჩევა საძებნი ობიექტი. ძეგლის ასეთი მექანიზმის გამოყენებისას იქმნება გარკვეული სირთულეები. კერძოდ, როგორ შევარჩიოთ კანდიდატის გამოყენების კრიტერიუმი?, როგორ გამოვიდეთ კომფლიქტური სიტუაციებიდან? და ა.შ. აქედან გამომდინარე, შეპირისპირების პროცესი მრავალფეროვანია. ზოგადად გამოყოფენ შეპირისპირების შემდეგ ფორმებს: სინტაქსური, პარამეტრული, სემანტიკური და იძულებითი.

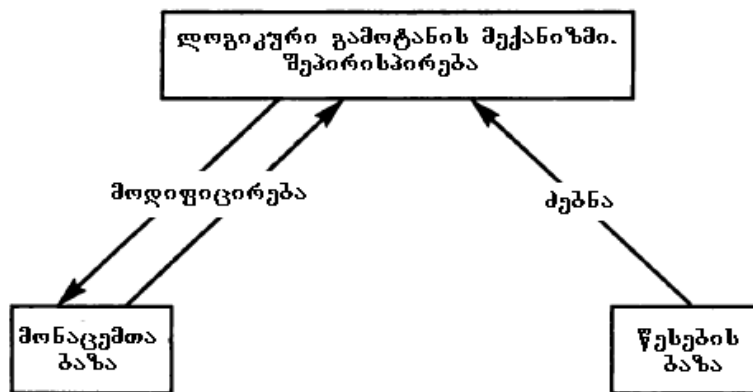
სინტაქსური შეპირისპირების დროს ხდება არა ობიექტების შედარება, არაედ სახეების (ფორმების). თუ სახეები იდენტურია, მაშინ შეპირისპირება იქნება შედეგიანი. როგორც ცნობილია, სახე აღიწერება პარამეტრებით, რომლებზედაც გამოიყენება გარკვეული შეზღუდვები, კერძოდ, კონსტანტის ტიპი, რომელთანაც ხდება მათი შეპირისპირება. სინტაქსური შეპირისპირების შედეგი წარმოადგენს ბინარულს: სახეები შეპირისპირდებიან ან არა.

პარამეტრული შეპირისპირების დროს შემოაქვთ პარამეტრი, როელიც განსაზღვრავს შეპირისპირების ხარისხს. პარამეტრული შეპირისპირების დროს შეპირისპირდებიან ობიექტის არა სახეები, არამედ მათი ფუნქციები.

იძულებითი შეპირისპირების დროს ერთი შეპირისპირებული სახე განიხილება მეორეს თვალთახედვით. სხვა შეპირისპირებისაგან განსხვავებით აქ ყოველთვის შესაძლებელია დადებითი შედეგის მიღწევა. საკითხავია იძულების ძალაზე. იძულება შეიძლება გამოიყენოს სპეციალურმა პროცედურებებმამ, რომლებიც ობიექტებთან არიან დაკავშირებულნი. თუ ეს პროცედურები ვერ უზრუნველყოფენ შეპირისპირებას, მაშინ სისტემა იძლევა სათანადო შეტყობინებას.

## 5.2 ცოდნის წარმოდენის პროდუქციული მოდელი

თანამედროვე ექსპერტულ სისტემებში პროდუქციული მოდელი ცოდნის წარმოდენის ყველაზე უფრო გამოყენებადი მეთოდია. პროდუქციული მოდელში ცოდნა წარმოდენილია შემდეგი გამოსახულების სახით:  $T$  (პირობა),  $M$  (მოქმედება). პროდუქციული სისტემა შედგება სამი ძირითადი კომპონენტისაგან, რომლებიც სქემატურად წარმოდენილია შემდეგ ნახაზე:



პირველი მათგანი არის ოუ (პირობა), მაშინ (მოქმედება)-ის ტიპის წესების ბაზა. მეორე კომპონენტს წარმოადგენს მონაცემთა ბაზა, სადაც ინახება ამოცანის საწყისი მონაცემები და დასკვნები, რომლებიც მიღებულია სისტემის მუშაობის პროცესში. მესამე კომპონენტა არის ლოგიკური გამოტანის მექანიზმი, რომელიც იყენებს წესებს მონაცემთა ბაზაში არსებული მონაცემების გათვალისწინებით.

პროდუქციული მოდელის ძირითადი უპირატესობებს წარმოადგენს თვალსაჩინოება, მაღალი მოდულობა, ადვილად ხდება ცვილებლების და დამატებების შეტანა და ლოგიკური გამოტანის მექანიზმის სიმარტივე. ნაკლს წარმოადგენს წესების დიდი რაოდენობის (რამოდენიმე ასეული) დროს წესები შირად ეწინააღმდეგებიან ერთმანეთს. განვიხილოთ ცოდნის წარმოდგენის მაგალითები.

- ოუ :
- 1) გულის რითმი არის დარღვეული და
  - 2) პულსი არ შეიცვალა 15 წუთის განმავლობაში და
  - 3) საშუალო არტერიული წნევა არ შეიცვალა 15 წუთის განმავლობაში 15 ერთეულით და
  - 4) სისტოლური წნევა მისაღებ ფარგლებშია

მაშინ: ჰემოდინამიკა მდგრადია.

- ოუ :
- 1) ავადმყოფს ჩაუტარდა ქიმიოთერაპია და
  - 2) სისხლის მაჩვენებლები იძლევიან საშუალებას შემცირდეს დოზა

მაშინ: მიმდინარე შემცირებული დოზა არის წინა დოზა და ყოველივე ეს განპიროვნებულია სისხლის ფირფიტების რიცხვების შემცირებით.

- ოუ :
- 1) ბაქტერიათა ფერი გრამდადებითია და
  - 2) ბაქტერიათა მორფოლოგია დამახასიათებელია კოკებისათვის და
  - 3) კოლონიების ფორმა ჯაჭვურია

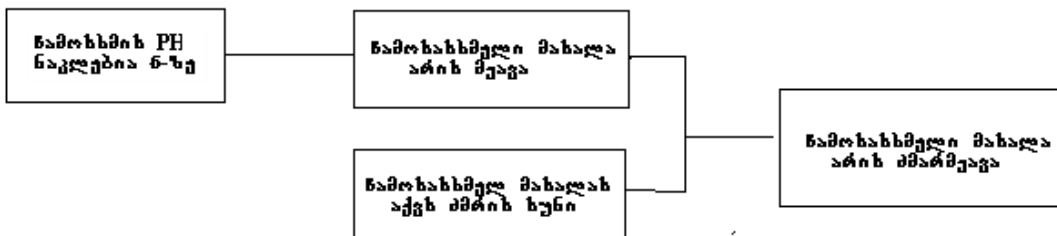
მაშინ: არის საფუძველი ვივარაუდოთ (0,7), რომ ბაქტერია  
 წარმოადგენს სტრუქტოკოკს.

წესები ზოგჯერ ჩაიწერება ( $\rightarrow$ ) ისრის საშუალებით, რათა ვუჩვენოთ სად  
 არის ოპ-ს ნაწილი და სად მაშინ-ის. მაგალითად:

ჩამოსხმის PH ნაკლებია 6-ზე  $\rightarrow$  ჩამოსასხმელი მასალა მუაგაა.

საგნობრივი სფეროები წარმოდგენილია წესების ერთობლიობით, რომლებიც  
 მიმდინარე სიტუაციას ამოწმებს ფაქტების ან ცოდნის საშუალებით. თუ წესების  
 გარკვეული ნაწილი აკმაყოფილებს ფაქტებს, მაშინ მოქმედება ნაჩვენები მაშინ-  
 ის სფეროში სრულდება. წესების ინტერპრეტაციის შეუსაბამებლობის გამო ოპ  
 ნაწილში არსებულ წესებს, ფაქტებს და მაშინ-ში არსებული ის წესი  
 სრულდება, რომელიც თანხვედრა ოპ ფაქტებს.

ახალი ფაქტები, რომლებიც დაემატა ცოდნის ბაზას, შესაძლებელია მათი  
 გამოყენება მაშინ-ის წესებთან შეპირისპირებისას. ოპ ნაწილის წესების  
 ფაქტებთან შეპირისპირების პროცესი წარმოქმნის ე.წ. დასკვნის ჯაჭვს,  
 მაგალითად ისე, როგორც ეს შემდეგ ნახაზზეა წარმოდგენილი:



წარმოდგენილი გამოყვანის ჯაჭვი გვიჩვენებს თუ როგორ იყენებს სისტემა  
 წესებს და როგორ გამოაქვს დასკვნა ჩამოსასხამ მასალაზე. ჯაჭვის წარდგენა  
 მომხმარებლისათვის შესაძლებელია, რათა ნაჩვენები იყოს თუ როგორ  
 დებულობს მს გადაწყვეტილებას.

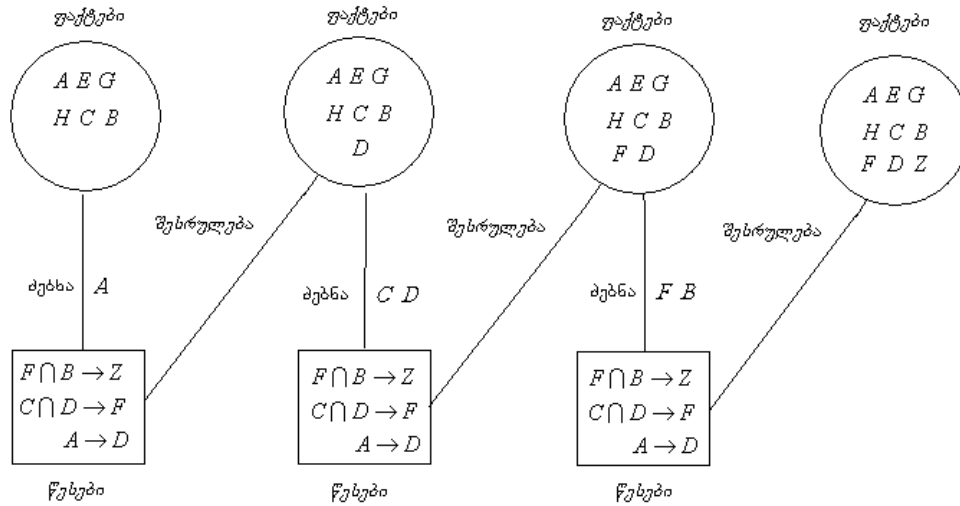
არსებობს წესების გამოყვანის ორი მეთოდი: პირდაპირი მსჯელობის  
 ჯაჭვი და უკუმსჯელობის ჯაჭვი. ზემოდ მოყვანილ მაგალითში გამოიყენება  
 პირდაპირი მსჯელობის ჯაჭვი. წესები შეიძლება სიმბოლოების საშუალებით  
 წარმოვადგინოთ, მაგალითად შემდეგნაირად:

$F \wedge B \rightarrow Z$ , რაც ნიშნავს შედეგს:

ოპ : არსებობს  $F$  და  $B$  სიტუაციები

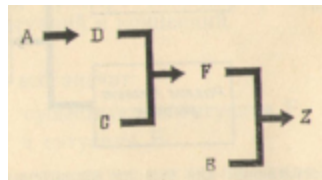
მაშინ: არსებობს აგრეთვე  $Z$  სიტუაცია.

ქვემოთ მოყვანილ ნახაზე ნაჩვენებია პირდაპირი მსჯელობის ჯაჭვის  
 დეტალური მუშაობა, როცა მოცემულია მარტივი წესების რაოდენობა (ამ  
 შემთხვევაში გვაქვს მხოლოდ სამი წესი) და ექვსი ფაქტი:  $A, E, G, C, B, H$ . წესების  
 ერთობლიობა ქმნის ცოდნის ბაზას, ხოლო ცნობილი ფაქტების ერთობლიობა –  
 მონაცემთა ბაზას.



პირველი წესი, რომელიც სრულდება არის  $A \rightarrow D$ , რადგან  $A$  იმყოფება მონაცემთა ბაზაში. პირველი წესის შესრულების შემდეგ მონაცემთა ბაზაში მოთავსდება  $D$  ფაქტი, რაც იწვევს მეორე წესის  $C \cap D \rightarrow F$  შესრულებას და აის შედეგ  $F$  მოთავსდება მონაცემთა ბაზაში. ბოლოს სრულდება მესამე წესი:  $F \cap B \rightarrow Z$ , რის შედეგადაც  $Z$  მოთავსდება მონაცემთა ბაზაში.

აღწერილი მეთოდი წარმოადგენს პირდაპირი მსჯელობის ჯაჭვს, რადგან ახალი ინფორმაციის ძებნა წარმოებს ისრის მიმართულებით, რომელიც ყოფს წესის მარცხენა და მარჯვენა მხარეს. სისტემა იყენებს ისრის მარცხენა მხარეზე არსებულ ინფორმაციას, რათა გამოიტანოს მარჯვენა მხარეს არსებული ინფორმაცია. ზემოდ მოყვანილი მაგალითის დასკვნის ჯაჭვს აქვს შენდები სახე:



დასკვნის ჯაჭვის (მექანიზმის) თალსახინეობისათვის განვიხილოთ მარტივი რეალური მაგალითი. დაუშვათ, რომ ზემოდ აღწერილი ფაქტების არსი შეესაბამება პაციენტის შემდეგ სიმტომებს:

1.  $A$  – კუნთების ატროფია და ძალის დაქვეითება ზედა კიდურებში;
2.  $B$  – მგრძობელობის მოშლა;
3.  $H$  – ინკორდინაცია;
4.  $G$  – ცერებლარულ სითხეში პათოლოგიური ცვლილებები;
5.  $C$  – ზედა კიდურების მყეს-ძვალთა რეფლექსების ჰიპერრეფლექსია
6.  $E$  – მიოფიბრილატია;
7.  $D$  – პერიფერიული ზედა პარაპარეზი;
8.  $F$  – ერთდროული პერიფერიული და ცენტრალური პარეზი;
9.  $Z$  – გვერდითი ამიოტროფული სკლეროზის სინდრომი.

აქედან პირველი ექვსი ფაქტის არსებობა ეჭვს არ იწვევს, რადგან მაგალითის პირობის თანახმად ისინი მოცემულია, ხოლო მიენიჭოს თუ არა მათ მნიშვნელობა ცრუ ან ჭეშმარიტი მოცემულ კონკრეტულ შემთხვევაში, უნდა დადგინდეს სისტემის და ექიმ-სპეციალისტის (მომხმარებლის) დიალოგის საფუძველზე. დაუშვათ, პირველ ექვს ფაქტს ( $A, B, H, G, C, E$ ) მიენიჭათ ჭეშმარიტი მნიშვნელობა ანუ დასტურდება ამ ფაქტების არსებობა. შემდეგ იწყება ძებნა – შესრულების პროცედურები.

პირველ ბიჯზე, ცოდნის ბაზაში არსებული სამი ლოგიკური წესიდან, სრულდება მხოლოდ მესამე წესიდან გამომდინარე  $D$  ფაქტი. ეს წესი წაიკითხება შემდეგნაირად: „თუ პაციენტს აქვს კუნთების ატროფია და ზედა კიდურებში ძალის დაქვეითება, მაშინ მას აქვს პერიფერიული ზედა პარაპარეზი.“ ამ წესის თანახმად, დასკვნის ჯაჭვმა ახალი ფაქტი  $D$ , პერიფერიული ზედა პარაპარეზი, უნდა გადაგზავნოს მონაცემთა ბაზაში.

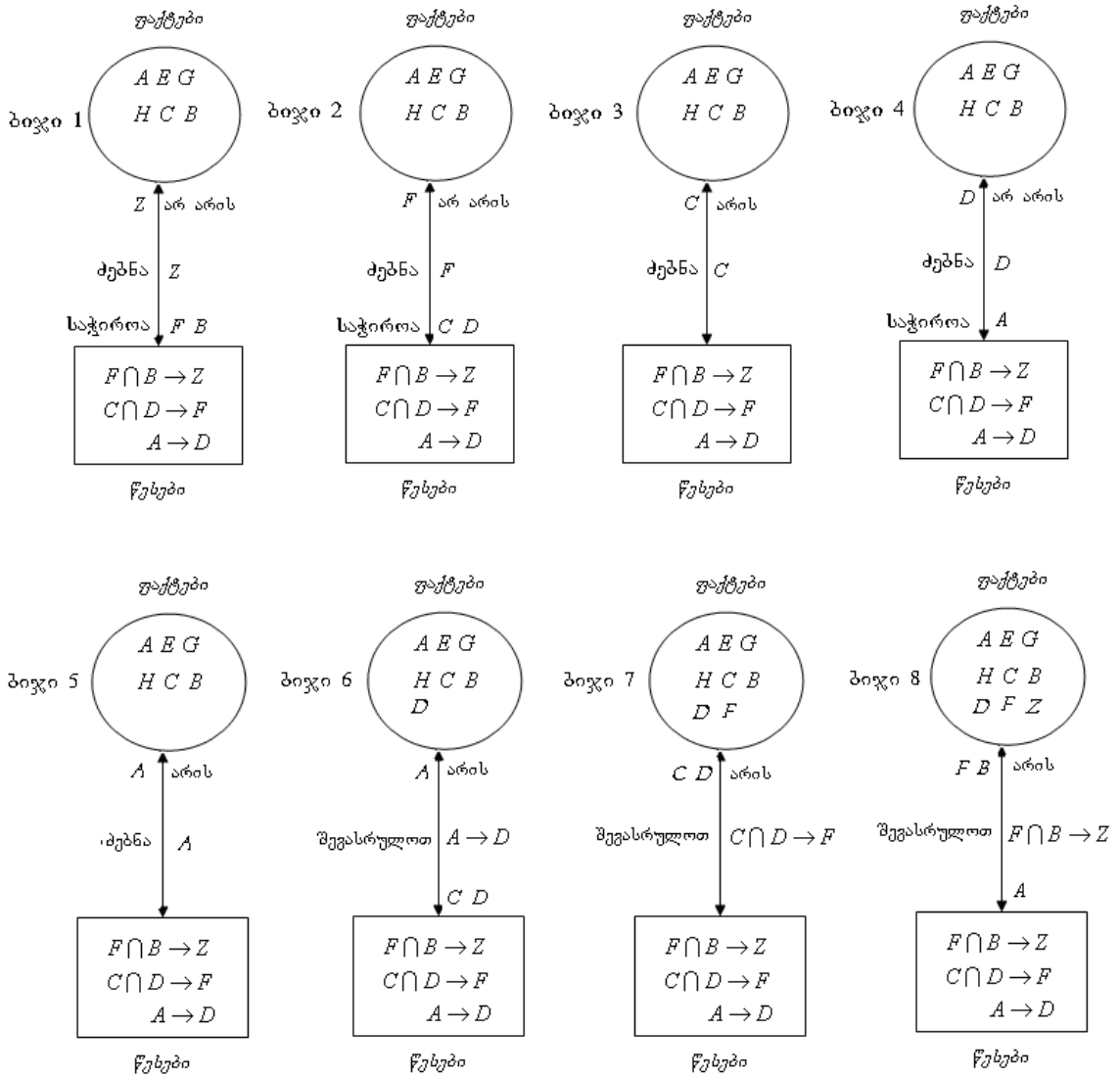
მეორე ბიჯზე სრულდება მეორე წესი: „თუ პაციენტს აქვს ზედა კიდურების მეცხ-ძვალთა რეფლექსების ჰიპერრეფლექსია და პერიფერიული ზედა პარაპარეზი, მაშინ მას აქვს პერიფერიული და ცენტრალური პარეზი.“

მესამე ბიჯზე სრულდება პირველი წესი და ლოგიკური ცვლადი  $Z$  იძენს ჭეშმარიტ მნიშვნელობას. კერძოდ, თუ პაციენტს აქვს ერთდროულად ცენტრალური და პერიფერიული პარაპარეზი და მიოფიბრილატია, მაშინ მას აქვს გვერდითი ამიოტროფული სკლეროზის სინდრომი.

ერთი შეხვედრით, პირდაპირი მსჯელობის ჯაჭვი მუშაობს მშვენივრად, მაგრამ უნდა გვახსოვდეს, რომ რეალურ მს-ში არსებობს არა სამი წესი, როგორც ზემოდ არის მოყვანილი, არამედ ასობით და ზოგჯერ ათასობით. იმისათვის, რომ ვიპოვოთ ინფორმაცია, მაგალითად  $Z$  სიტუაციისათვის, ჩვენ დაგვჭირდება უამრავი წესების გამოყენება, რომელთაგან ბევრ მათგანს არავითარი კავშირი არ აქვს  $Z$ - თან. აქედან გამომდინარე, ჩვენ ვღებულობთ დიდი რაოდენობის დასკვნის ჯაჭვს და სიტუაციებს, რომლებიც კავშირში არ იქნებიან  $Z$  სიტუაციასთან. ე.ი. ამ შემთხვევაში პირდაპირი მსჯელობის ჯაჭვის გამოყენება არარაციონალურია.

ამ შემთხვევაში უძობესია უკუმსჯელობის ჯაჭვის გამოყენება. ამ დროს სისტემა მუშაობას იწყებს იქედან, რომ უნდა დადგინდეს  $Z$  სიტუაციის არსებობა და უნდა შევასრულოთ მხოლოდ ის წესები, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან ამ ფაქტის არსებობასთან. ქვემოდ მოყვანის ნახაზე ნაჩვენებია უკუმსჯელობის ჯაჭვის მუშაობის პრინციპი ზემოდ მოყვანილი მაგალითისათვის.





პირველ ბიჯზე სისტემა აფიქსირებს  $Z$  ფაქტის არსებობას და იწყებს მის ქებნას მონაცემთა ბაზაში. თუ  $Z$  მინაცემთა ბაზაში არ ამყოფება, მაშინ სისტემა ცოდნის ბაზაში ეძებს ისეთ წესს, რომელსაც მივეყვართ  $Z$  ფაქტის არსებობასთან. ე.ი. უნდა მოძებნოთ ისეთი წესი, სადაც  $Z$  დგას ისრის მარჯვენა მხარეს. ასეთია პირველი წესი:  $F \cap B \rightarrow Z$  და სისტემამ უნდა დაადგინოს  $F$  და  $B$  ფაქტები.

მეორე ბიჯზე სისტემა ცდილობს  $F$  ფაქტის დადგენას. ჯერ ხდება  $F$  ფაქტის ქებნა მონაცემთა ბაზაში, ხოლო შემდეგ ისეთი წესის მოძებნაში, სადაც  $F$  ფაქტი ისრის მარჯვენა მხარეს იმყოფება. ასეთია მეორე წესი  $C \cap D \rightarrow F$  და სისტემა იწყებს  $C$  და  $D$  ფაქტების დადგენას.

(3-5) ბიჯებზე სისტემა პოულობს მონაცემთა ბაზაში  $C$  ფაქტს, მაგრამ  $D$  ფაქტის მოსაძებნად საჭიროა  $A$  ფაქტის დადგენა, რომელსაც იგი მონაცემთა ბაზაში აღმოაჩენს.

(6-8) ბიჯებზე სისტემა ასრულებს მესამე წესს, რათა  $D$  ფაქტი დაადგინოს. შემდეგ  $F$  ფაქტის დასადგენად ასრულებს მეორე წესს და ბოლოს ასრულებს პირველ წესს ძირითადი  $Z$  ფაქტის დასადგენად.

### 5.3 სემანტიკური ქსელები

ცოდნის წარმოდგენის აღსაწერად გამოიყენება სემანტიკური ქსელის მოდელი, რომელსაც გააჩნია ქსელური სტრუქტურა. ტერმინი „სემანტიკური“ ნიშნავს აზრობრივს, ხოლო თვით „სემანტიკა“ – არის მეცნიერება, რომელიც ამყარებს კავშირს სიმბოლოებსა და ობიექტებს შორის, ანუ სემანტიკა არის მეცნიერება ნიშნების განსაზღვრის შესახებ.

ყველაზე ზოგადად სემანტიკური ქსელი წარმოადგენს დარგობრივი სფეროს ინფორმაციულ მოდელს და გააჩნია ორიენტირებული გრაფის სახე, რომლის ძირითადი ელემენტებია კვანძები (წვეროები) და რკალები. წვეროები შეესაბამებიან დარგობრივი სფეროს ობიექტებს, კერძოდ ცნებას, მოვლენას ან თვისებას, ხოლო რკალები – მათ შორის კავშირებს.



**ცნება** წარმოადგენს ცოდნას დარგობრივი სფეროს ფიზიკური ან აბსტრაქტული ობიექტის შესახებ.

**მოვლენა** არის მოქმედება, რომელიც მიმდინარეობს რეალურ სამყაროში.

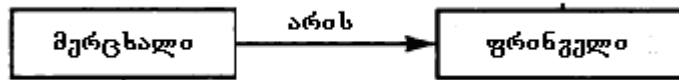
**თვისება** გამოიყენება ცნების და მოვლენის დასაზუსტებლად. იგი აღწერს ცნების თავისებურებებს და მახასიათებლებს (ფერი, ზომა, ხარისხი), ხოლო მოვლენის – ხანგრძლიობას, დროს, ადგილს.

**რკალი**, რომელსაც გააჩნია მიმართულება, ამყარებს ორ კვანძს შორის თანაფარდობას (კავშირს). რკალები შეიძლება დავახარისხოთ სხვადასხვა ტიპის მიხედვით: „არის“ (*AKO-A-Kind-of*), „ფლობს“, „გააჩნია“, „ეკუთვნის“, „წარმოადგენს“ და სხვა. გარდა ამისა, რკალი ქსელში ამყარებს მემკვიდრეობით იერარქიას. ეს იმას მიშნავს, რომ ქსელში დაბალი დონის ელემენტებს მემკვიდრეობით შეუძლიათ მიიღონ მაღალი დონის ელემენტების თვისებები. ეს ფაქტი იწვევს მეხსიერების ეკონომიას, რადგან მსგავსი კვანძების ინფორმაციის გამეორება აღარ არის საჭირო.

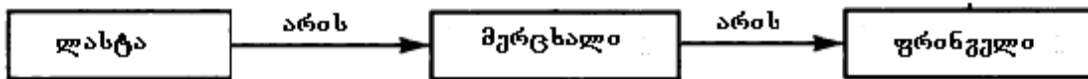
კვანძები რკალების საშუალებით შეიძლება დაკავშირებული იყოს ნებისმიერი რაოდენობის კვანძებთან, რის შედეგადაც ხდება ფაქტების ქსელის ფორმირება. თუ შემოვიტანთ შეზღუდვებს კვანძებისა და რკალების აღწერაში, მაშინ შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა სახის ქსელები. მაგალითად, თუ კვანძებს

არ გააჩნიათ საკუთარი შინაგანი სტრუქტურა, მაშინ მივიღებთ უბრალო (მარტივ) ქსელს, ხოლო თუ კვანძებს გააჩნიათ გარკვეული სტრუქტურა, მაშინ ასეთ ქსელს იერარქიული ქსელი ეწოდება. ეს დამუშავების საწყის ეტაპზე გამოიყენებოდა მხოლოდ უბრალო ქსელები, ხოლო შემდგომში თითქმის ყველა სემანტიკური ქსელი წარმოადგენს იერარქიულს.

მაგალითისათვის განვიხილოთ წინადადება: „ყველა მერცხალი ფრინველია“, რომელიც შეიძლება წარმოვადგინოთ გრაფის სახით, რომელიც შედგება ორი კვანძისაგან და ერთი რკალისაგან.

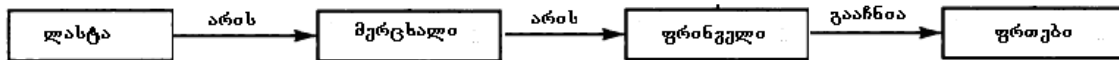


თუ მერცხალს გააჩნია კონკრეტული სახელი, მაგალწითად ლასტა, მაშინ სემანტიკური ქსელი შეიძლება ასე წარმოვადგინოთ:



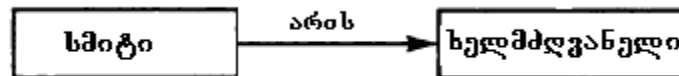
გარდა იმისა, რომ მოცემული ქსელით აღიწერება ორი ფაქტი „ლასტა მერცხალია“ და „მერცხალი ფრინველია“, მისგან შეიძლება გამოვიტანოთ ანუ დავადგინოთ შემდეგი ფაქტი: „ლასტა ნფრინველია“. ეს ფაქტი იმას გვიჩვენებს, რომ სემანტიკურ ქსელში არსებული მემკვიდრეობითი იერარქიის საშუალებით შეგვიძლია გარკვეული დასკვნების გაკეთება.

სემანტიკურ ქსელს შეუძლია წარმოადგინოს ცოდნა, რომელიც ეხება ობიექტის ატრიბუტებს, მაგალითად ფაქტი „ფრინველს გააჩნია ფრთები“ შეიძლება ასე წარმოვადგინოთ:

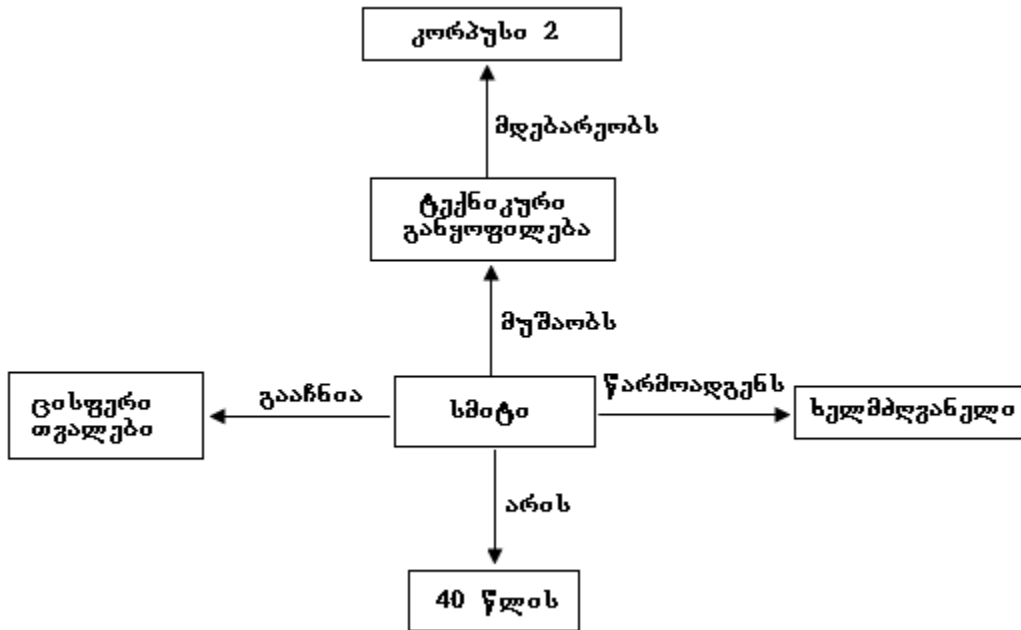


აქედან შეგვიძლია გავაკეთოდ შემდეგი დასკვნა: „ლასტას გააჩნია ფრთები“.

განვიხილოთ მეორე მაგალითი, რომელიც იმას გამოხატავს, რომ სმიტი არის ხელმძღვანელი:

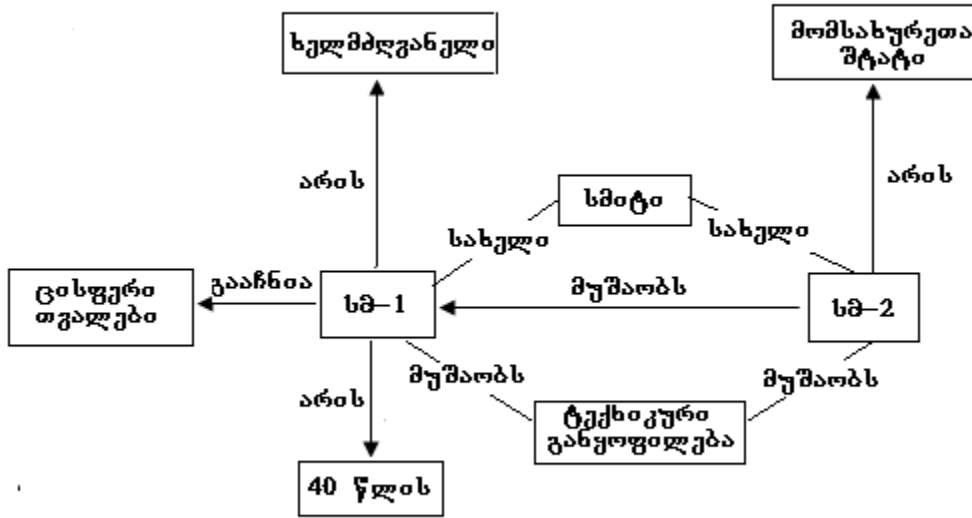


ასეთი მარტივი ქსელური ელემენტების საშუალებით შეგვიძლია ავაგოთ ფაქტების საკმაოდ რთული კომბინაცია. ქვემოთ მოყვანილ ნახაზე ნაჩვენებია ფაქტების ერთ-ერთი წარმოდგენა, რომელიც ეკუთვნის მოსამსახურე ადამიანს, რომელსაც სმიტი ჰქვია.

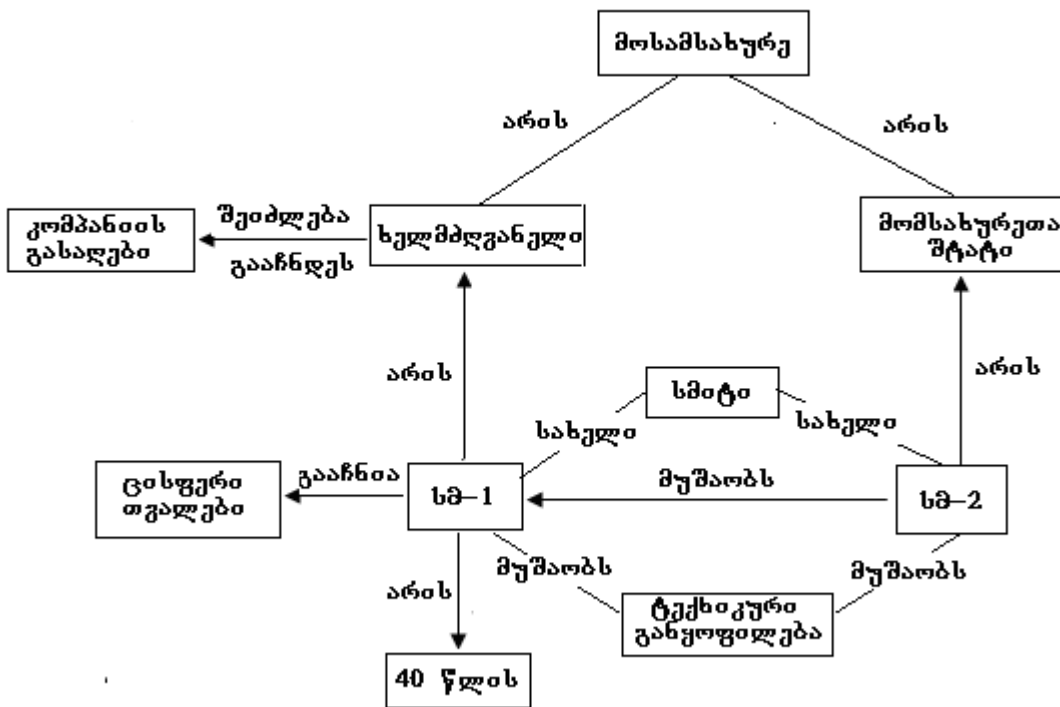


წარმოდგენილ ქსელში შევიდა შემდეგი ფაქტები: „სმიტი წარმოადგენს ხელმძღვანელს“, „სმიტი მუშაობს ტექნიკურ განყოფილებაში“, რომელიც მდებარეობს მეორე კორპუსში, „სმიტი 40 წლისაა“ და „სმიტს ცისფერი თვალები აქვს“.

ზემოდ წარმოდგენილი ბაზური სემანტიკური ქსელი საშუალებას არ იძლევა ისეთი სიტუაციის წარმოდგენას, როცა ცალკეული ობიექტები მიეკუთვნებიან ერთი და იგივე სემანტიკურ კლასს. მაგალითად, შესაძლებელია ისეთი შემთხვევა, როცა ერთ კომპანიაში მუშაობდეს ორი ერთიდაიგივე გვარის მქონე პიროვნება, რომელთაგან ერთი მუშაობს მეორეს ხელმძღვანელობით. ამ პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია თუ შემოვიტანთ ორ კვანძს, რომლებსაც აღვნიშნავთ, მაგალითად ასე: „სმ-1“ და „სმ-2“ დასახელებით, რათა მოვახდინოთ ორი პიროვნების იდენტიფიკაცია. შესაბამისი სემანტიკური ქსელი წარმოდგენილია შემდეგ ნასახე:



შესაძლებელია ამ სქემის გაფართოება, მაგალითად თუ შემოვიტანოთ „მოსამსახურე“-ს ცნებას. მაშინ ზემოდ მოყვანილ სქემას დაემატება კიდევ ერთი დონე, რომელიც შეესაბამება „მოსამსახურის“ ცნებას.



სემანტიკური ქსელის მემკვიდრეობითი იერარქია საშუალებას იძლევა ეფექტურად წარმოვადგინოთ ცოდნა, რომელიც იწვევს როგორც ძებნის პროცესის დაჩქარებას, ასევე ქსელიდან ზოგადად ფორმირებული შეკითხვის შედეგების ინფორმაციის ამოღებას. მაგალითად, ზოგიერთი ინფორმაცია ინდივიდ სმიტზე, როგორც ხელმძღვანელზე შეიძლება ამოღებული იყოს მარტივად მისი კომპანიაში სამომსახურეობითი მდგომარეობით. ამ დროს სულაც არ არის აუცილებელი მისი სახელის ცოდნა.

სემანტიკურ ქსელებს გააჩნიათ შემდეგი დადებითი თვისებები:

- ობიექტები აღიწერებიან ბუნებრივ ენაზე;
- ცოდნის მაღალი დონის სტრუქტურიზაცია;
- ობიექტების ასახვის და კავშირების თვალსაჩინეობა;
- ასოციატურობისა და იერარქიობის თვისებიდან გამომდინარე მას გააჩნია მაღალი მოქნილობა.

ნაკლოვანებს შორის შეიძლება აღინიშნოს:

- ალგორითმების დამუშავების და ანალიზის სირთულე, რომელიც გამოწვეულია სტრუქტურის არარეგულარობით და რკალების დიდი რაოდენობით;

- ქსელის სტრუქტურის პასიურობის გამო საჭიროა ფორმალური გამოტანის და დაგეგმის რთული აპარატი;

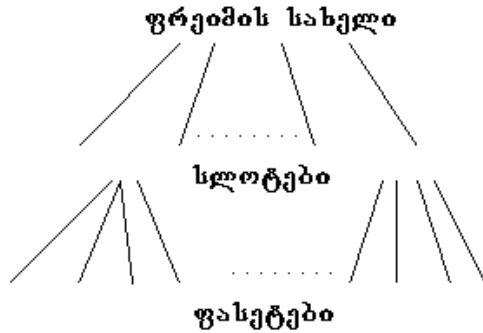
- წვეროების და კავშირების ტიპების მრავალფეროვნება;
- არამკაფიო და წინაღმდეგობრივი ცოდნის წარმოდგენა და დამუშავება.

#### 5.4 ცოდნის წარმოდგენის ფრეიმული მოდელი

ტერმინი „ფრეიმი“ (ინგლ. *frame* – ჩარჩო, კარკასი) შემოგვთავაზა მარვინ მინსკმა 1979წ. სივრცული სცენების აღქმის დროს მონაცემების სტრუქტურის აღნიშვნისათვის. ხელოვნურ ინტელექტის სფეროში ფრეიმი განეკუთვნება საერთო კონცეპციების და სიტუაციების წარმოდგენის სპეციალურ მეთოდს. მ. მინსკმა ფრეიმი განსაზღვრა შემდეგნაირად: „ფრეიმი არის მონაცემების სტრუქტურა, რომლის დანიშნულებაა რაიმე სტანდარტული სიტუაციის წარმოდგენა“.

ფრეიმს გააჩნია განსაზღვრული შიგა სტრუქტურა, რომელიც შედგება მრავალი ატრიბუტებისაგან, რომლებსაც სლოტები (ინგლ. *slot* – ღრეჩო, ხვრელი) ეწოდებათ და რომელთაც ენიჭებათ საკუთარი სახელი. თავის მხრივ, ყოველი სლოტი წარმოდგენილია მონაცემთა გარკვეული სტრუქტურით. ზოგჯერ სლოტი შეიცავს კომპონენტებს, რომელთაც ფასეტები ეწოდება. ფასეტი გვიჩვენებს სლოტის შევსების ზღვრულ მნიშვნელობას (მაგალითად, არტერიული წნევის მაქსიმალური მნიშვნელობა). გარდა კონკრეტული მნიშვნელობისა, სლოტში შეიძლება ინახებოდეს პროცედურები და წესები, რომლებიც საჭიროების

შემთხვევაში გამოიყენებიან. ფრეიმის იერარქიული სტრუქტურა წარმოადგენილია შემდეგ ნახაზზე:



ფრეიმების ერთობლიობა, რომლებიც გამოიყენებიან დარგობრივი სფეროს მოდელირებისათვის, წარმოადგენს იერარქიულ სტრუქტურას. იერარქიის ზედა დონეზე იმყოფება ფრეიმი, რომელიც შეიცავს ყველაზე ზოგად ინფორმაციას, რაც ჭეშმარიტია იერარქიის ქვედა დონეზე მყოფ ფრეიმებისათვისაც.

როგორც სემანტიკურ ქსელებში, ასევე ფრეიმულ მოდელში მემკვიდრეობითი თვისებების გადაცემა ზედა დონის ფრეიმიდან ქვედა დონის ფრეიმებზე ხორციელდება AKO (A Kid-Of-არის) ტიპის სლოტით. AKO სლოტი უზღვევებს იერარქიის ზედა დონის ფრეიმს, საიდანაც ხდება მემკვიდრეობითი თვისებების გადაცემა ქვედა დონის სლოტებზე. მაგრამ, თუ ქვედა დონის ფრეიმი შეიცავს საკუთარ მნიშვნელობებს, მაშინ ჭეშმარიტად მიიღება ქვედა დონის მნიშვნელობები. ფრეიმის განზოგადოებულ სტრუქტურას აქვს შრამდეგი სახე:

ფრეიმის სახელი				
სლოტის სახელი	მემკვიდრეობის მაჩვენებელი	სლოტის მაჩვენებელი	სლოტის მნიშვნელობა	დემონი
სლოტი 1				
სლოტი 2				
.....				
სლოტი n				

**ფრეიმის სახელი** წარმოადგენს იდენტიფიკატორს, რომელიც ენიჭება ფრეიმს. ფრეიმის სახელი არსებულ ფრეიმულ მოდელში უნდა იყოს უნიკალური. ყოველი ფრეიმი შედგება ნებისმიერი რაოდენობის სლოტებისაგან, ამათგან რამოდენიმე მათგანს სისტემა განსაზღვრავს სპეციფიური ფუნქციების შესასრულებლად, ხოლო დანარჩენს მომხმარებელი.

**სლოტის სახელი** არის იდენტიფიკატორი, რომელიც ენიჭება სლოტს. სლოტს ფრეიმში უნდა გააჩნდეს უნიკალური სახელი. საზოგადოდ სლოტის სახელს რაიმე აზრობრივი დატვირთვა არ გააჩნია და მხოლოდ წარმოადგენს სლოტის იდენტიფიკატორს, თუმცა ზოგიერთ შემთხვევაში მას შეიძლება გააჩნდეს სპეციფიური აზრი. ასეთ სახელებს, გარდა ფრეიმის შექმნის თარიღისა, ფრეიმის მოდიფიკაციის თარიღისა, კომენტარებისა და ა.შ.

მიეკუთვნებიან სახელები, რომლებიც გამოიყენებიან სტრუქტურულიზებული ობიექტების წარმოსადგენად. ასეთ სლოტებს უწოდებენ სისტემურს და გამოიყენებიან ცოდნის ბაზის რედაქტირებისათვის და გამოტანის მექანიზმის მართვისათვის.

**მემკვიდრეობის მაჩვენებელი** გამოყენება მხოლოდ იერარქიული ფრეიმული მოდელების დროს. ის გვიჩვენებს ფრეიმის მაღალი დონის სლოტის რომელის მაჩვენებლების გადაცემა ხდება მემკვიდრეობით ქვედა დონის სლოტებში. მემკვიდრეობის ტიპურ მაჩვენებლებს წარმოადგენენ:

– *S* (იგივე). სლოტს მემკვიდრეობით გადაეცემა მინაცემების იგივე მნიშვნელობები;

– *U* (უნიკალური). სლოტს მემკვიდრეობით გადაეცემა მინაცემები, რომლებსაც ყოველ ფრეიმში შეიძლება ჰქონდეს ნებისმიერი მნიშვნელობა;

– *I* (დამოუკიდებელი). სლოტში არ ხდება მემკვიდრეობითი გადაცემა;

– *R* (საზღვრების დადგენა). დაბალი დონის ფრეიმის სლოტები უნდა იმყოფებოდნენ გარკვეულ ინტერვალში, რომლის მნიშვნელობები ნაჩვენებია ზედა დონის ფრეიმში და სხვა.

**სლოტის მაჩვენებელი** უჩვენებს სლოტის მონაცემების ტიპს. სლოტში ჩართული მონაცემების ტიპი შეიძლება იყოს: *FRAME* (მაჩვენებელი), რომელიც გვიჩვენებს ფრეიმის ზედა დონის სახელს; *INTEGER* (მთელი); *REAL* (ნამდვილი); *BOOL* (ბულის); *TEXT* (ტექსტური ინფორმაცია); *LIST* (სია); *LISP* (მიერთების პროცედურა); *TASLE* (ცხრილი); *EXPRESSION* (გამოსახულება) და სხვა.

სლოტის მაჩვენებელი უნდა ემთხვეოდეს სლოტის მონაცემების ტიპს. გარდა ამისა, უნდა სრულდებოდეს მემკვიდრეობითი პრინციპები.

**დემონი** არის ავტომატურად გაშვების პროცედურა, როდესაც ხდება გარკვეული პირობის შესრულება. დემონები გაიშვებიან მაშინ, როცა მიმართავენ ფრეიმული მოდელის კონკრეტულ სლოტს. ყველაზე ხშირად გამოიყენება შემდეგი სამი დემონი:

– *IF-ADDED* (0)უ–ღამატმპშულია). გაიშვება იმ შემთხვევაში, როცა სლოტში ხდება ახალი მნიშვნელობის ჩაწერა;

– *IF-REMOVED* (0)უ–ამ(ო)ღმპშულია). გაიშვება მაშინ, როცა ხდება სლოტში ჩაწერილი მონაცემების ამოღება;

– *IF-NEEDED* (0)უ–საჭირ(ო)ა). გაიშვება იმ შემთხვევაში, როცა სლოტთან მიმართების დროს სლოტი ცარიელია.

ანსხვაგვებენ სტატიკურ და დინამიკურ ფრეიმულ სისტემებს. სტატიკური ფრეიმული სისტემის დროს, ამოცანის ამოხსნისას, ფრეიმები არ იცვლებიან, ხოლო დინამიკური ფრეიმული სისტემის დროს დასაშვებია ფრეიმების ცვლილებები.

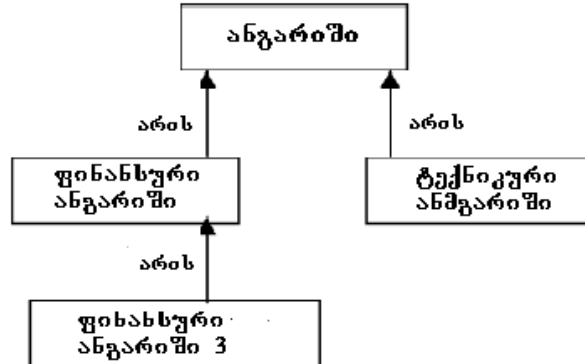
ანსხვაგვებენ ფრეიმ-ნიმუშებს (პროტოტიპები), რომლებიც ინახებიან ცოდნის ბაზაში და ფრეიმ-ეგზემპლიარებს, რომლებიც იქმნებიან რეალური სიტუაციების ასახვისათვის. ფრეიმ-პროტოტიპი წარმოადგენს არა აბსტრაქტულ სახეს, არამედ კლასის (ჯგუფის) ყველაზე უფრო ტიპურ წარმომადგენელს.

ყოველი კონკრეტული ფრეიმული მოდელის დროს ფრეიმების შემადგენლობა და სლოტები შეიძლება იყოს სხვადასხვა, მაგრამ ერთიანი

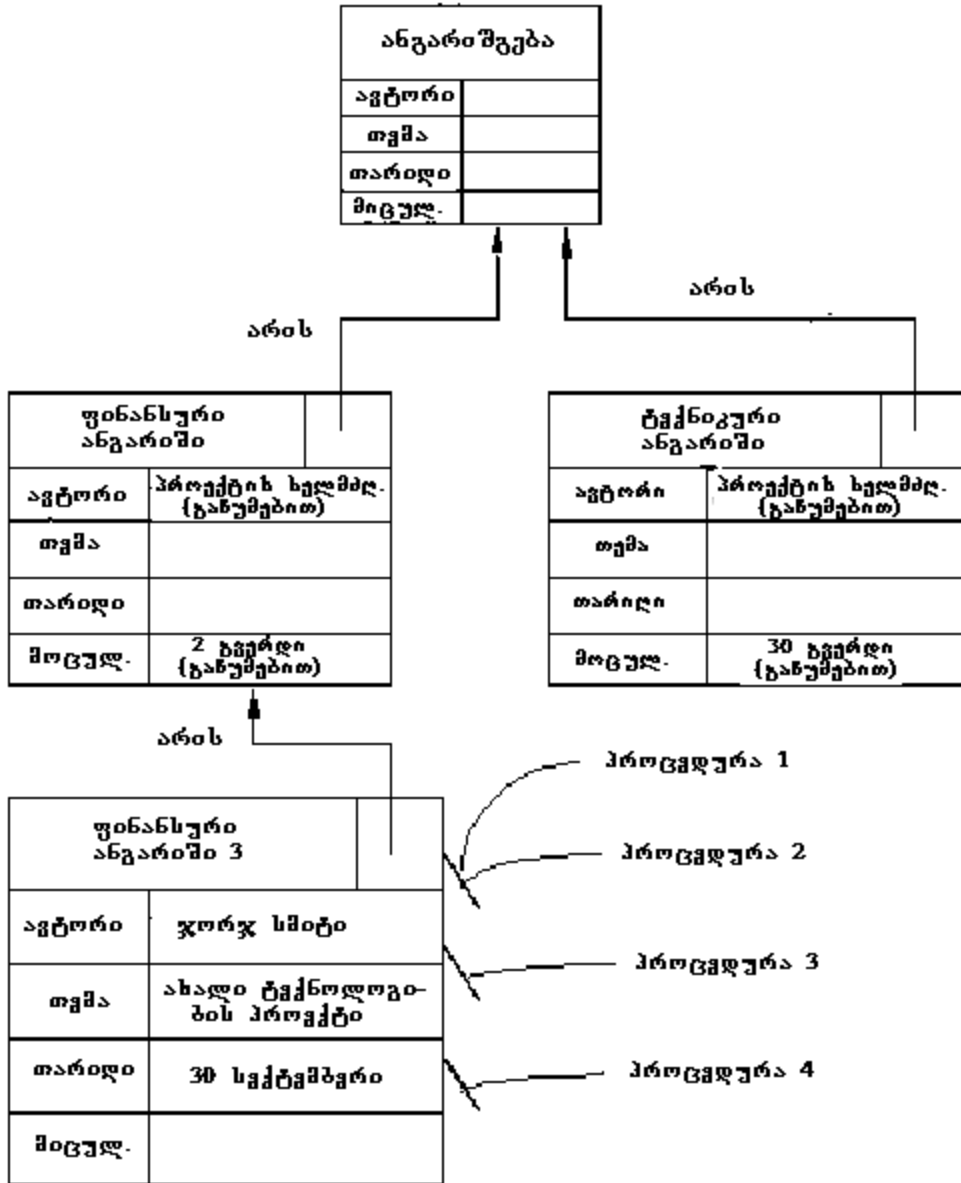


სისტემის ჩარჩოში მიზანშეწონილია ერთნაირი წარმოდგენა, რათა ზედმეტი გართულებები თავიდან იყოს აცილებული.

მაგალითისათვის განვიხილოთ ანგარიშების ფრეიმული წარმოდგენა, რომლის ბლიკ-სქემას აქვს შემდეგი სახე:



დაუშვათ, რომ ზოგიერთ სლოტს გაჩუმების პრინციპით გააჩნია გარკვეული მნიშვნელობა. მაგალითად, სანამ არ გვაქვს ინფორმაცია, მანამ ანგარიშის ავტორად ჩაითვლება პროექტის ხელმძღვანელი. ქვემოთ მოყვანილ ნახაზე წარმოდგენილია ანგარიშების ფრეიმული მოდელი.



**პროცედურა 1** (0უ-ღამატიპეშულია). „ავტორი“-ის სლოტის პიროვნებას შევატყობინოთ, რომ ანგარიში „თემის“ სლოტიდან, მოცულობით „მოცულობა“ სლოტიდან, საჭიროა წარმოვადგინოთ „თარიღი“-ის სლოტში ნაჩვენებ დროს.

**პროცედურა 2** (0უ-ღამატიპეშულია). „ავტორი“-ის სლოტის პიროვნებას შევატყობინოთ, რომ „თემის“ სლოტიდან ანგარიშის წარმოდგენა გაუქმებულია.

**პროცედურა 3** (0უ-ამოღეპეშულია). „ავტორი“-ის სლოტში მოვათავსოთ „თემა“ სლოტში არსებული პროექტის ხელმძღვანელის გვარი.

**პროცედურა 4** (0უ-საჭირია). „თარიღის“ სლოტში მოვათავსოთ ან „31 მარტი“ ან „30 ივნისი“ ან „30 სექტემბერი“ ან „31 დეკემბერი“. ერთ-ერთი რომელიმე მათგანი, იმის მიხედვით, თუ რომელი მათგანია ახლოს მიმდინარე თარიღთან.

მაგალითისათვის, თუ სისტემას შევკვითხებით „მე მჭირდება ახალი ტექნოლოგიის თემის შესრულების ფინანსური ანგარიში“, მაშინ სისტემა გაანალიზებს ამ წინადადებას და „თემის“ სლოტში შეაქვს „ახალი ტექნოლოგიის პროექტი“, რომელიც მდებარეობს ფინანსური ანგარიშის თავისუფალ კვანძში. შემდეგ ყველაფერი მიმდინარეობს ავტომატურად, კერძოდ:

1. „თუ-ღამათმუღია“ პროცედურა, რომელიც დაკავშირებულია „თემა“ სლოტთან, აწარმოებს პროექტის ხელმძღვანელის ძებნას. დაუშვით, მისი გვარია სმიტი, მაშინ პროცედურა „ავტორის“ სლოტში ჩაწერს ამ გვარს. თუ თემის ხელმძღვანელის გვარი არ მოიძებნა, მაშინ „ავტორის“ სლოტში გაჩუმების პრინციპით ჩაიწერება ტექსტი: „პროექტის ხელმძღვანელი“

2 „თუ-ღამათმუღია“ პროცედურა, რომელიც დაკავშირებულია „ავტორის“ სლოტთან იწყებს შესრულებას, რადგან სლოტში სულ ახლახან იქნა ჩაწერილი ახალი მნიშვნელობა. პროცედურა დაიწყებს შეტყობინების შედგენას სმიტისათვის გასაგზავნად, მაგრამ აღმოჩნდა, რომ მას არ გააჩნია წარმოდგენის თარიღი.

3. „თუ-ღამათმუღია“ პროცედურა ამოწმებს წარმოდგენის „თარიღი“-ის სლოტს და როდესაც ნახავს მას ცარიელს, გააქტიურებს „თუ-საჭიროა“ პროცედურას, რომელიც მოძებნის მიმდინარე თარიღს (მაგალითად, 10.04.2011) და გადაწყვეტს, რომ „30 ივნისი“ უახლოესი თარიღია და ამ თარიღს ჩასვამს „თარიღის“ სლოტში.

4. პროცედურა „თუ-ღამათმუღია“, რომელიც დაკავშირებულია „ავტორის“ სლოტთან, აღმოაჩენს, რომ კიდევ ერთი მნიშვნელობა, რომელიც უნდა ჩაიწეროს შეტყობინებაში, კერძოდ ანგარიშის მოცულობა არ არსებობს. რადგან „მოცულობა“-ის სლოტი არ არის პროცედურასთან დაკავშირებული, ამიტომ მას არ შეუძლია დახმარება. მაგრამ, ფინანსური ანგარიშის კვანძის ზემოდ არსებობს ფინანსური ანგარიშის ზოგადი კონცეფციის კვანძი, რომელიც შეიცავს ანგარიშის მოცულობას. პროცედურა, იყენებს რა მემკვიდრეობის კონცეფციას, იღებს მოცულობის ამ მნიშვნელობას და საბოლოოდ ადგენს შემდეგ შეტყობინებას: „ბატონო სმიტო, გთხოვთ მოამზადოთ ფინანსური ანგარიში ახალი ტექნოლოგიის პროექტის შესახებ 30 ივნისისათვის 2 გვერდის მოცულობით“

თუ დროის რომელიმე მომენტში სმიტის სახელი „ავტორი“-ის სლოტიდან მოხდება ამოღება, მაშინ სისტემა მას ავტომატურად გაუგზავნის შეტყობინებას იმის შესახებ, რომ ანგარიშგება მას არ მოეთხოვება (იმიტომ, რომ პროცედურა „თუ-ამოღებულა“ არ ამუშავდება).

ფრეიმული მოდელის ძირითად უპირატესობას წარმოადგენს მისი თვალსაჩინეობა და მოქნილობა. გარდა ამისა, ფრეიმული სტრუქტურა ახლოს არის ადამიანის მეხსიერებაში ინფორმაციის შენახვის თანამედროვე წარმოდგენასთან. შემდეგ დადებით თვისებად შეიძლება ჩაითვალოს ნებისმიერი სლოტის თვისება საჭიროების შემთხვევაში შესაბამისი პროცედურებით განსაზღვროს სლოტის მნიშვნელობა ან მოძებნოს ევრისტიკული მეთოდებით. ამისათვის ცოდნის ინჟინერმა წინასწარ უნდა დაამუშაოს ყველა საჭირო პროცედურები და ევრისტიკული მეთოდები, რომლებიც უნდა ჩართოს მს-ში მისი პროექტირების დროს.

ფრეიმული მოდელის ნაკლად შეიძლება აღინიშნოს მისი შედარებით მაღალი სირთულე, რაც გამოიხატება გამოტანის მექანიზმის სიჩქარის შემცირებაში და იერარქიულ სისტემებში ცვლილებების შეტანის სირთულით.

დღეისათვის არსებობს მცირე რაოდენობის მს, რომლებიც იყენებენ ფრეიმულ მოდელს. მათ შორის ყველაზე პოპულარულია *KEE* გარსი, რომელსაც გააჩნია ახსნის გრაფიკული საშუალებები. *KEE* გარსი არის სხვადასხვა ტიპის მს პროექტირების ეფექტური საშუალება. ამ სისტემის პროგრამული უზრუნველყოფა შექმნილია *LISP*-ის ენაზე და მოითხოვს სპეციალური აპარატურის გამოყენებას.

### 5.5 ცოდნის წაროდგენის ლოგიკური მოდელი

ცოდნის წაროდგენის ლოგიკური მეთოდის ძირითადი იდეა შედეგში მდგომარეობს: ყველა იფორაცია, როელიც საჭიროა პრაქტიკული ამოცანების ამოსახსნელად, განიხილება როგორც ფაქტების და მტკიცებულებების ერთობლიობა, როლებიც წარმოდგენილი არიან გარკვეული ლოგიკის სახით. ეს ფორულები შედგებიან მუდმივებისაგან, ცვლადებისაგან, პრედიკატებისაგან, ლოგიკური კავშირებისაგან და კვანტორებისაგან.

ყველა ლოგიკური მოდელის საფუძველს წარმოადგენს  $S$  ფორმალური სისტემის ცნება, რომელიც წარმოდგენილია შემდეგი ოთხეულით:

$$S = \langle B, F, A, R \rangle ,$$

სადაც

$B$  – ფორმალური სისტემის საბაზისო სიმბოლოების (ალფავიტის) ერთობლიობა;

$F$  – სინტაქსური წესების ერთობლიობა, რომლებსაც ფორმულები წოდება;

$A$  – აპრიორული ჭეშმარიტი ფორმულების (აქსიომების) ერთობლიობა;

$R$  – სასრულო სიმრავლის ფორმულებს შორის თანაფარდობა, რომელიც გამოტანის წესები ეწოდება.

ცოდნის ფორმალიზაციის ენას უნდა გააჩნდეს თავისი სინტაქსი და რეალური სამყაროს ობიექტებს შორის კავშირების წარმოდგენის საშუალებები. ამ მოთხოვნას აკმაყოფილებს პრედიკატების განსაზღვრის ენა ანუ პირველი რიგის ლოგიკა. აქედან გამომდინარე, ცოდნის წარმოდგენის ლოგიკურ მოდელებში ძირითადად გამოიყენება პირველი რიგის პრედიკატების ლოგიკა, რომელიც ეფუძნება მათემატიკური ლოგიკის ენას.

**პრედიკატი (ლოგიკური ფუნქცია)** ეწოდება ნებისმიერი რაოდენობის არგუმენტიან ფუნქციას, რომელიც ღებულობს მხოლოდ ორ მნიშვნელობას – ჭეშმარიტი და მცდარი. პრედიკატი განკუთვნილია ობიექტების თვისებების ან კავშირების გამოსახატავად. უნდა აღინიშნოს, რომ პრედიკატების ლოგიკა წარმოადგენს დაპროგრამების ენა პასკალის საფუძველს.

$n$ -რაოდენობის ცვლადებს (არგუმენტებს), რომლებზედაც პრედიკატია დამოკიდებული ეწოდება  $n$ -ადგილიანი პრედიკატი. ასე, რომ შეიძლება ვთქვათ ერთადგილიანი პრედიკატი, ორადგილიანი პრედიკატი და ა.შ. პრედიკატი აღინიშნება დიდი ლათინური ასოებით  $P, Q, R, \dots P(x), Q(x,y)$  და ა.შ.

მოვიყვანოთ ზოგიერთი ცნებები და განმარტებები, რომლებიც გამოიყენებიან პირველი რიგის პრედიკატების ლოგიკაში.

**ფორმალური სისტემა** ეწოდება აბსტრაქტული ობიექტების ერთობლიობას, სადაც განსაზღვრულია სიმბოლოების სიმრავლის მანიპულირების წესები, რომლებიც სინტაქსურად არიან დამუშავებულნი, ე.ი. აზრის გაუთვალისწინებლად (სემანტიკა). ფორმალურ სისტემას ზოგჯერ უწოდებენ ფორმალურ თეორიას ან უბრალოდ, ფორმულების სიმრავლეს. პირველი რიგის პრედიკატების ენის ალფაბეტი შეიცავს შემდეგ ლოგიკურ ოპერაციებს და კვანტორებს:

#### ლოგიკური ოპერაციები:

1. „ $\neg$ “ (უარყოფა ან დამატება). გამონათქვამი „ $\neg A$ “ იკითხება: „არა  $A$ “. ის ჭეშმარიტია მაშინ, როცა გამონათქვამი  $A$  მცდარია;
2. „ $\wedge$ “ (კონუნქცია). გამონათქვამი „ $A \wedge B$ “ იკითხება: „ $A$  და  $B$ “. ის ჭეშმარიტია იმ შემთხვევაში, როცა ჭეშმარიტია  $A$  და  $B$ ;
3. „ $\vee$ “ (დიზუნქცია). გამონათქვამი „ $A \vee B$ “ იკითხება: „ $A$  ან  $B$ “. ის ჭეშმარიტია მაშინ, როცა ჭეშმარიტია თუნდაც ერთი მათგანი;
4. „ $\rightarrow$ “ (იმპლიკაცია). გამონათქვამი „ $A \rightarrow B$ “ იკითხება: „თუ  $A$ , მაშინ  $B$ “. ის მცდარია მხოლოდ მაშინ, როცა  $A$  ჭეშმარიტია, ხოლო  $B$  მცდარი;
5. „ $\leftrightarrow$ “ (ეკვივალენტობა). გამონათქვამი „ $A \leftrightarrow B$ “ იკითხება: „ $A$  მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა  $B$ “. ის ჭეშმარიტია მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა  $A$  და  $B$  გააჩნიათ ერთი და იგივე ჭეშმარიტი მნიშვნელობა.

#### კვანტორები:

1. „ $\exists$ “ (არსებობის კვანტორი). გამონათქვამი „ $\exists A$ “ იკითხება: „არსებობს  $A$ “.
2. „ $\forall$ “ (ზოგადობის კვანტორი). გამონათქვამი „ $\forall A$ “ იკითხება: „ყველა  $A$ “.

**პროპოზიციონალური ფორმა** ან **ლოგიკის ალგებრის ფორმულა** ეწოდება ნებისმიერ გამონათქვამს, რომელიც შედგენილია ზოგიერთი საწყისი გამონათქვამებიდან ლოგიკური ოპერაციების საშუალებით. სხვა სიტყვებით, თუ  $F$  და  $G$  პროპოზიციონალური ფორმებია, მაშინ  $\neg F, (F \vee G), (F \wedge G), (F \rightarrow G)$  და  $(F \leftrightarrow G)$  - პროპოზიციონალური ფორმებია.

**თერმი** არის გამოსახულება, რომელიც შეიცავს მუდმივებს, ცვლადებს ან  $n$ -განზომილებიან  $f(t_1, t_2, \dots, t_n)$  ფუნქციებს, სადაც  $t_1, t_2, \dots, t_n$  წარმოადგენენ თერმებს.

**ატომი** ან ელემენტარული (ატომური) ფორმულა არის გამონათქვამი, რომელიც შეიცავს მუდმივებს, ცვლადებს, ფუნქციებს და პრედიკატებს. ამრიგად, თუ  $P$  -  $n$  ადგილიანი პრედიკატია, ხოლო  $t_1, t_2, \dots, t_n$  - თერმებია, მაშინ  $P(t_1, t_2, \dots, t_n)$

ატომია. თუ  $A$  და  $B$  – ატომებია, მაშინ  $(A \wedge B)$ ,  $(A \vee B)$ ,  $(A \rightarrow B)$ ,  $\neg A$ ,  $\neg B$  – ატომებია.

განვიხილოთ პრედიკატების ლოგიკის საშუალებით ტექსტის წარმოდგენის მაგალითები. ვთქვათ, გვაქვს შემდეგი ტექსტი: „თუ სტუდენტმა კარგად იცის დაპროგრამება, მაშინ ის შეიძლება გახდეს გამოყენებითი სფეროს ინფორმატიკის სპეციალისტი“. მეორე წინადადება: „თუ სტუდენტმა კარგად ჩააბარა გამოცდა ინფორმაციულ ტექნოლოგიებში, მაშინ მან კარგად იცის დაპროგრამება“.

წარმოვადგინოთ ეს ტექსტები პირველი რიგის პრედიკატების ლოგიკის ენაზე. შემოვიტანოთ აღნიშვნები:  $X$  – სტუდენტის ამღნიშვნელი ცვლადი, კარგი – მუდმივა, რომელიც შეესაბამება კვალიფიკაციის ხარისხს,  $P(x)$  – პრედიკატი, რომელიც გამოხატავს  $X$  სუბიექტის გამოყენებით ინფორმატიკაში სპეციალისტის გახდენის საშუალებას,  $Q(X, \text{კარგი})$  – პრედიკატია, რომელიც აღნიშნავს  $X$  – სტუდენტის უნარს დააპროგრამოს შეფასებით კარგი,  $R(X, \text{კარგი})$  – პრედიკატი, რომელიც აკავშირებს  $X$  სტუდენტს ინფორმაციულ ტექნოლოგიებში მიღებულ საგამოცდო შეფასებასთან.

შევადინოთ ფორმულების წესების ერთობლიობა:

$$(\forall X) Q(X, \text{კარგი}) \rightarrow P(x)$$

$$(\forall X) R(X, \text{კარგი}) \rightarrow Q(X, \text{კარგი}).$$

დაუშვათ, მოცემულია პრედიკატი: „ნებისმიერი  $A$ -თვის არსებობს თუნდაც ერთი  $B$ , რომლის მიმართ ჭეშმარიტია  $(A$  ნათესავია  $B)$  თანაფარდობა“. ამ პრედიკატის სწორი ფორმულაა:

$$\forall A (\exists (\text{ნათესავი}(A, B))).$$

თუ პრედიკატის გამოსახულებაში ცვლადების ნაცვლად ჩავსვამთ პრედიკატების სახელებს, მაშინ ის გადაიქცევა გამონათქვამად. ასე მაგალითად, თუ  $P(x)$  ჩავთვლით „ $x$ -მცენარე >“ და  $x$  –ის მაგივრად ჩავწერთ სახელს, მაგალითად, „ვარდი“, მაშინ ვღებულობთ ჭეშმარიტ გამონათქვამს, ხოლო თუ ჩავწერთ „ქვა“-ს, მაშინ მივიღებთ მცდარ გამონათქვამს.

ცოდნის წარმოდგენის ლოგიკური მოდელის ძირითად ღირსებას წარმოადგენს:

– ლოგიკური მოდელი იყენებს მათემატიკური ლოგიკის კლასიკურ აპარატს, რომლის მეთოდები საკმაოდ კარგად არის შესწავლილი;

– არსებობს გამოტანის საკმაოდ ეფექტური პროცედურები. მაგალითად ისეთი, როგორიც არის რეალიზირებული პასკალის დაპროგრამების ენაში;

– ცოდნის ბაზაში შეიძლება შევინახოთ მხოლოდ აქსიომების სიმრავლე, ხოლო სხვა დანარჩენი ცოდნა მივიღოთ ამ აქსიომებიდან გამოტანის წესების საშუალებით.

ლოგიკური მოდელის ძირითად ნაკლს წარმოადგენს ევრისტიკების დამტკიცება, რომლებიც ასახავენ დარგობრივი სფეროს სპეციფიკას. სხვა ნაკლოვანებს შორის შეიძლება აღინიშნოს:

– მონოტონურობა;

– გამოყენებული ელემენტების სტრუქტურირების საშუალებების არ არსებობა და წინააღმდეგობების არსებობის შეუძლებლობა;

– ცოდნის ფორმალიზაციის საკმაოდ დიდი ღონე;

- სუსტი თვალსაჩინობა;
- ლოგიკური ფუნქციების როგორც წაკითხვის, ასევე გაგების სირთულეები და სხვა.

აქედან გამომდინარე, ცოდნის წარმოდგენის ლოგიკური მოდელი თავისი ნაკლოვანებების გათვალისწინებით, დამოუკიდებლად იშვიათად გამოიყენება. ჩვეულებრივად იგი გამოიყენება ცოდნის წარმოდგენის სხვა მოდელებთან ერთად.

## 5.6 ბანუსაზღრელი ცოდნის წარმოდგენა

**განუსაზღრელი ცოდნის არსი.** პრობლემების გადაწყვეტის დროს ხშირად გვიწვევს განუსაზღვრელ ინფორმაციასთან მუშაობა, რომელიც შეიძლება დავეყოთ ორ კატეგორიად: დარობრივი სფეროს არასრულყოფილი ცოდნა და კონკრეტული სიტუაციის არასრულყოფილი ინფორმაცია. ჩვენი ცოდნა დარობრივ სფეროზე შეიძლება იყოს არასრული და გაურკვეველი. აქ შეიძლება გამოყენებული იყოს არასრულყოფილად ჩამოყალიბებული კონცეპციები ან მოვლენების არასაკმარისად შესწავლა. მაგალითად, ფსიქიური დაავადების დიანოსტიკის დროს არსებობს შიზოფრენიის წარმოშობისა და იმპტომატიკის ერთმანეთისაგან განსხვავებული თეორიები.

ცოდნის განუსაზღვრელობას მიყვებათ არაკორექტურ შედეგებთან, თუნდაც მარტივი შეთხვევის დროსაც. არასრული ცოდნის არსებობისას ჩვენ არ შეგვიძლია ვიწინასწარმეტყველოთ როგორ ეფექტს მოგვცემს ესა თუ ის მოქმედება. მაგალითად, თერაპიაში გამოყენებული ახალი პრეპარატი ხშირად გვაძლევს მოულოდნელ შედეგს. და ბოლოს, მაშინაც კი, როცა ჩვენ გაგვაჩნია დარობრივ სფეროზე სრული ინფორმაცია, ექსპერტმა შეიძლება ჩათვალოს, რომ ეფექტურია გამოვიყენოთ არა ზუსტი, არამედ ევრისტიკული მეთოდი.

ცოდნის განუსაზღვრელობის გარდა არასწორი ცოდნა, შეიძლება გამოწვეული იყოს კონკრეტული სიტუაციის არაზუსტი ან არასაიმედო მონაცემებით. პრაქტიკულ კვლევებში ყოველთვის არ არის შესაძლებელი სხვადასხვა მიზეზების გამო მივიღოთ დასმულ კითხვაზე სრული პასუხი, თუმცა დამატებითი ინფორმაციის გამოყენების შემთხვევაში, რომელიც მიღებულია პაციენტზე ძვირად ღირებული სამედიცინო პროცედურით ან ქირურგიური ჩარევის დროს, შესაძლებელია სრულყოფილი პასუხების მიღება. მაგრამ, უნდა გვახსოვდეს, რომ ასეთი ძვირადღირებული მეთოდების გამოყენება არაეფექტურია მაღალი ღირებულების და რისკის გამო. გარდა ამისა, დროის ფაქტორიდან გამომდინარე, ყოველთვის ვერ ხერხდება სწრაფად მივიღოთ საჭირო მონაცემები იმ შემთხვევის დროს, როცა სიტუაცია მოითხოვს სწრაფი გადაწყვეტილების მიღებას.

თუ შევაჯამებთ ზემოდ ნათქვამებს, შეგვიძლია ჩამოვყალიბოთ ის ძირითადი მიზეზები, რის გამოც ექსპერტები იყენებენ არაზუსტ მეთოდებს, ესენია:

- ზუსტი მეთოდები არ არსებობენ;

– ზუსტი მეთოდები არსებობენ, მაგრამ პრაქტიკაში მათი გამოყენება შეზღუდულია საჭირო ინფორმაციის არარსებობით ან შეუძლებელია მათი მოპოვება სიძვირის ან დროის უქონლობის გამო.

ხელოვნური ინტელექტის უმეტესი სპეციალისტები უკვე დიდი ხანია მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ არაზუსტი მეთოდები თამაშობენ მნიშვნელოვან როლს მს შექმნაში. შეუთანხმლებობას იწვევს მეთოდების გამოყენების საკითხები. მაგალითად, ბევრი მკვლევარი თანხმდება იმაზე, რომ ალბათობის თეორია არ წარმოადგენს ადეკვატურ ინსტრუმენტს ისეთი ამოცანების გადასაწყვეტად, სადაც საჭიროა განუსაზღვრელი ცოდნის და მონაცემების გამოყენება.

ყველა ამ მოსაზრებიდან გამომდინარე, განუსაზღვრელობასთან სამუშაოდ შეიქმნა ახალი ფორმალური აპარატი, რომელმაც მიიღო არამკაფიო ლოგიკის ან ნდობის ფუნქციის თეორიის დასახელებით.

**დარწმუნებლობის კოეფიციენტი.** ხელოვნური ინტელექტის სფეროში მომუშავე სპეციალისტებისათვის ტერმინი „ცოდნა“ ნიშნავს ინფორმაციას, რომელიც საჭიროა პროგრამისათვის, რათა მან იმოქმედოს „ინტელექტუალურად“. ეს ინფორმაცია დებულობს ფაქტების და წესების ფორმას. მს ფაქტები და წესები ყოველთვის არ არის ჭეშმარიტი ან მცდარი. ზოგჯერ არსებობს ფაქტების და წესების დაურწმუნებლობის ხარისხი და თუ ის გამოსახულია ცხადად, მაშინ მას „დარწმუნებლობის კოეფიციენტი“ ეწოდება.

დარწმუნებლობის კოეფიციენტი წარმოადგენს რიცხვს, რომელიც აღნიშნავს ალბათობას ან დარწმუნების ხარისხს, რომლითაც ხასიათდება მოცემული ფაქტი ან წესი. დარწმუნებლობის კოეფიციენტი წარმოადგენს ნდობის ხარისხის შეფასებას იმ გადაწყვეტილების მიმართ, რომელსაც მს იძლევა. ასეთი შეფასების მიღებისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ შორტლიფის სქემა:

$$DK[H : E] = NX[H : E] - UNX[H : E] , \quad (1)$$

სადაც

$DK[H : E]$  –  $H$  ჰიპოთეზის დარწმუნებლობის კოეფიციენტი  $E$  ხდომილობის არსებობის დროს;

$NX[H : E]$  – ნდობის ხარისხი მოცემული  $E$  ხდომილობის დროს;

$UNX[H : E]$  –  $H$  ჰიპოთეზის უნდობლობის ხარისხი  $E$

ხდომილობის გათვალისწინებით.

$DK, NX$  და  $UNX$  არ წარმოადგენენ ალბათურ სიდიდეებს.  $DK$  იცვლება  $-1$  (აბსოლუტური მცდარობა) დან  $+1$  (აბსოლუტური ჭეშმარიტობა) - მდე. ნული ნიშნავს სრულიად არ ცოდნას.  $NX$  და  $UNX$  მნიშვნელობები იცვლებიან  $0$ - დან  $1$  - მდე.

ცოდნის დარწმუნებლობის კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის, რომელიც ეფუძნება  $NX$  ნდობის ხარისხის მქონე სხვადასხვა ფაქტებს, გამოიყენება არამკაფიო ლოგიკის წესები:



$$\begin{aligned}
 P_1 \wedge P_2 &= \min(P_1 P_2) \\
 P_1 \vee P_2 &= \max(P_1 P_2) \\
 \bar{P}_1 &= 1 - P_1
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

აქედან გამომდინარე (1) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$DK[H : E_1 E_2] = NX[H : E_1] + NX[H : E_2](1 - NX[H : E_1]) \tag{3}$$

მძიმე  $E_1$  და  $E_2$  შორის გვიჩვენებს, რომ  $E_1$  მოსდებს  $E_2$ -ს . ანალოგიურად ზუსტება  $UNX$  მნიშვნელობა.

განვიხილოთ მაგალითი. ვთქვათ მოცემულია ორი წესი:

პირველი წესი:

0)უ :  $A$  ცხოვრობს ქ. თბილისში ( $NX=0,8$ )

და  $A$  არის  $Z$  პარტიის წევრი ( $NX=0,75$ )

მაშინ :  $A$  ხმას მისცემს  $B$  კანდიდატს.

მეორე წესი:

0)უ :  $A$   $T$  ასაკისაა ( $NX=0,4$ )

ან  $A$  არის კერძო მეწარმე ( $NX=0,6$ )

მაშინ :  $A$  ხმას მისცემს  $B$  კანდიდატს.

ჰიპოთეზა იმის შესახებ, რომ  $A$  ხმას მისცემს  $B$  კანდიდატს, პირველი წესის მიხედვით სავარაუდოა 0,75 ნდობის ხარისხით, ხოლო მეორე წესით  $A$  ხმას მისცემს  $B$  კანდიდატს 0,6 ნდობის ხარისხით. რადგან აქ გაგვაჩნია ნდობის სხვადასხვა ხარისხი, ამიტომ (3) ფორმულის თანახმად მივიღებთ:

$$DK = 0,75 + 0,6(1 - 0,7555) = 0,9.$$

ეს ბევრი წესი ევრისტიკულია ანუ ემპირიული ან გამარტივებული, რაც მნიშვნელოვნად აფერხებს ამოცანის ამოხსნას. ეს ევრისტიკებს იყენებს იმიტომ, რომ ამოცანები, რომლებსაც ის ხსნის რთულია, ბოლომდე არ არის ნათელი, არ ექვემდებარებიან მათემატიკურ ანალიზს ან ალგორითმულ გადაწყვეტას. ალგორითმული მეთოდები იძლევიან ამოცანის კორექტული (ოპტიმალური) ამონახსნის გარანტიას, მაშინ როცა ევრისტიკული მეთოდი უმრავლეს შემთხვევაში იძლევა მისაღებ ამონახსნს.

დარწმუნებლობის კოეფიციენტის განსაზღვრის მეორე წესი მოცემულია ეს MYCIN-ში, სადაც ზოგადად ის განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$CF(\text{მოქმედება}) = CF(\text{წინაპირობა}) \times CPF(\text{წესი}).$$

აქაც დარწმუნებლობის კოეფიციენტი იცვლება - 1-დან + 1-მდე, თუმცა შესაძლებელია სხვა სიდიდეების გამოყენებაც. კოეფიციენტის დადებითი მნიშვნელობა გამოსატავს ფაქტებს, დასკვნებს და სხვა მნიშვნელობების დარწმუნობის ხარისხს, ხოლო უარყოფითი მნიშვნელობა - უარყოფას.

თუ ცოდნის ბაზაში მოცემული წინაპირობისათვის მოიძებნა რამოდენიმე წესი, მაშინ ხდება ამ წესების გაერთიანება. ვთქვათ,  $X$  და  $Y$  წარმოადგენს ერთნაირი დასკვნის დარწმუნებლობის კოეფიციენტებს, რომლებიც მიღებულია სხვადასხვა წესიდან, მაშინ შეიძლება განვიხილოთ სამი შემთხვევა:

1. თუ  $X, Y > 0$ , მაშინ  $CF(X, Y) = X + Y - XY$
2. თუ  $X, Y < 0$ , მაშინ  $CF(X, Y) = X + Y + XY$
3. თუ  $X > 0$ , და  $Y < 0$  ან  $X < 0$ ,  $Y > 0$ , მაშინ

(4)

$$CF(X, Y) = \frac{X + Y}{1 - \min(|X|, |Y|)}$$

აქ  $|X|$ - ით აღნიშნულია  $X$  -ის აბსოლუტური სიდიდე. ზემოდ მოყვანილი მაგალითისათვის გვექნება:

$$CF(X, Y) = 0,75 + 0,6 - 0,75 \cdot 0,6 = 0,9.$$

ცხადია, რომ (4) ფორმულებს გააჩნიათ კომპუტაციურობის თვისება და ჰიპოთეზების თანმიმდევრობას არ აქვს მნიშვნელობა. თუ რა ხდება ამ ფორმულით ინტიუციურად აღვილი ასახსნელია. ასე მაგალითად, თუ ორივე ჰიპოთეზა ადასტურებს გამოსავალ შედეგს (ან პირიქით, ორივე უარყოფს), მაშინ დარწმუნებლობის კოეფიციენტი აბსოლუტური სიდიდით იზრდება. თუ ერთი ჰიპოთეზა შედეგს ადასტურებს, ხოლო მეორე უარყოფს, მაშინ ფორმულაში არსებული მნიშვნელი აგლუვებს ამ ეფექტს.

როცა ჰიპოთეზების რაოდენობა ორზე მეტია, მაშინ შესაძლებელია ამ ფორმულით მათი რიგრიგობით „გაშვება“ და რადგან ფორმულას გააჩნია კომპუტაციურობის თვისება, ამიტომ ჰიპოთეზების რიგითობა სულერთია.

დარწმუნებლობის კოეფიციენტს  $CF$  გააჩნია ბევრი საერთო ალბათურ შეფასებასთან, მაგრამ მათ შორის არსებობს გარკვეული განსხვავება.  $CF$  კოეფიციენტის თვისება ხშირად არ ექვემდებარება ალბათობის თეორიის წესებს და ამიტომ მათემატიკურად აგი არ წარმოადგენს ალბათურ სიდიდეს, მაგრამ  $CF$  გამოთვლა გარკვეული რაოდენობის წესებისათვის ან მოქმედებებისათვის მიგვანიშნებს რთული ხდომილობის ალბათობაზე.

## 6. გადაწყვეტილების ძებნის მეთოდები

ამოცანის ამოხსნის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ინფორმაციის ძებნაზე, დამოკიდებულია იმ დარგობრივი სფეროს თავისებურებებზე, სადაც ხდება ამოცანის ამოხსნა და იმ მოთხოვნებზე, რომლებსაც მომხმარებელი წაუყენებს ამოცანის ამოხსნას. დარგობრივი სფეროს თავისებურებებს მიეკუთვნება:

- სივრცის მოცულობა, სადაც ხდება გადაწყვეტილების ძებნა;
- სივრცესა და დროში დარგობრივი სფეროს ცვლილების ხარისხი (სტატიკური და დინამიკური სივრცეები);
- დარგობრივი სფეროს აღწერის მოდელის სირთულე. თუ მოდელი არ არის სრული, მაშინ სფეროს აღწერისათვის იყენებენ რამოდენიმე მოდელს, რომლებიც ავსებენ ერთმანეთს;
- ამოცანის ამოხსნისათვის მონაცემების განსაზღვრულობა, ხარისხი და მონაცემთა სისრულე.

მომხმარებლის მოთხოვნები ამოცანის ამოხსნის შედეგის მიმართ, როდესაც ხდება გადაწყვეტილებების ძებნა, შემდეგია:

- ამონახსენების რაოდენობა: ერთი ამონახსენი, რამოდენიმე ამონახსენი, ყველა ამონახსენი;

– შედეგის თვისებები ანუ შეზღუდვები, რომლებსაც უნდა აკმაყოფილებდეს მიღებული შედეგი;

– შედეგის მიღების ხერხები.

ამოცანის ამოხსნის არსებული მეთოდები, რომლებიც გამოიყენებიან მს-ში, შეიძლება მათი კლასიფიცირება შემდეგნაირად:

– ერთ სივრცეში ძებნის მეთოდები ანუ მეთოდები, რომლებიც გამოიყენებიან შემდეგ პირობებში: მცირე განზომილების სივრცეები, მოდელის სისრულე, ზუსტი და სრული მონაცემები;

– იერარქიულ სივრცეებში ძებნის მეთოდები ანუ მეთოდები, რომლებიც განკუთვნილი არიან დიდი მოცულობის სივრცეში სამუშაოდ;

– ძებნის მეთოდები, როცა მონაცემები არაზუსტი და არასრული არიან;

– ძებნის მეთოდები, რომლებიც იყენებენ რამოდენიმე მოდელს და განკუთვნილი არიან იმ შემთხვევისათვის, როდესაც სფეროს ადეკვატური აღწერისათვის ერთი მოდელი საკმარისი არ არის.

იგულისხმება, რომ ჩამოთვლილი მეთოდები საჭიროების შემთხვევაში უნდა გაერთიანდნენ იმისათვის, რომ ამოხსნათ ისეთი ამოცანები, რომელთა სირთულე რამოდენიმე პარამეტრით ერთდროულად იზრდება.

## 6.1 გადაწყვეტილების ძებნა ერთ სივრცეში

გადაწყვეტილების ძებნა ერთ სივრცეში იყოფა: ძებნა მდგომარეობის სივრცეში; ძებნა რელექციის მეთოდით; ევრისტიკური ძებნა და ძებნა „გენერაცია-შემოწმება“-ის მეთოდით.

**ძებნა მდგომარეობის სივრცეში.** მდგომარეობის სივრცეში ძებნა ჩვეულებრივ შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ გრაფების თეორიის ინტერპრეტაციით.

დაუშვათ, მოცემულია სამეული  $(S, F, S_T)$ , სადაც  $S_0$  – საწყისი მდგომარეობის სიმრავლეა;  $F$  – ამოცანის ოპერატორების სიმრავლე, რომლებიც ასახავენ ერთ მდგომარეობას სივრცეში,  $S_T$  – საბოლოო (მიზნობრივი) მდგომარეობის (ამოცანის ამოხსნა) სიმრავლე. მიზანია: განისაზღვროს ოპერაციების ისეთი თანმიმდევრობა, რომლებიც საწყის მდგომარეობას გარდაქმნის საბოლოოში.

გადასაწყვეტი პროცესი შეიძლება წარმოვადგინოთ გრაფის სახით:  $G=(X, Y)$ , სადაც  $X=(x_0, x_1, \dots, x_n)$  – მდგომარეობის გრაფის წვეროებია,  $Y$  – სიმრავლე, რომელიც შეიცავს წვეილ წვეროებს  $(x_i, x_j) \in X$ . თუ ყოველი წვეილი  $(x_i, x_j)$  მოუწესრიგებელია, მაშინ მას უწოდებენ წიბოს, ხოლო გრაფს – არაორიენტირებულს. თუ ყოველ წვეილისათვის  $(x_i, x_j)$  მოცემულია მიმართულება, მაშინ  $(x_i, x_j)$  წვეილს უწოდებენ რკალს (ორიენტირებული წიბო), ხოლო გრაფს – ორიენტირებულს (მიმართულების).  $(x_i, x_j)$  წვეილის წვეროებს უწოდებენ წიბოს დამამთავრებელ წერტილებს (რკალს).

მდგომარეობის სივრცეში ძებნა წარმოდგენილია ორიენტირებული გრაფის სახით.  $(x_i, x_j)$  წვეილის არსებობა ნიშნავს იმას, რომ არსებობს რამიმე ოპერატორი  $f (f \in F)$ , რომელიც  $x_i$  წვეროს მდგომარეობას გარდაქმნის  $x_j$  მდგომარეობაში.

ძებნის პროცესის თვალსაზრისით რომელიმე  $x_i$  წვეროსათვის უნდა გამოიყოს მიმართულების ყველა წვეილი  $(x_i, x_j) \in Y$ , ანუ რკალების სიმრავლე, რომლებიც გამოდიან  $x_i$  წვეროდან და ის წვეროთა სიმრავლე, სადაც ეს რკალები შედიან.

წვეროს  $X$  სიმრავლიდან გამოყოფენ  $X_0 \in X$  ქვესიმრავლეს, რომელიც შეესაბამება საწყის მდგომარეობის ( $S_0$ ) სიმრავლეს და  $T_T \in X$  ქვესიმრავლეს, რომელიც შეესაბამება მიზნობრივ (საბოლოო) მდგომარეობას ( $S_T$ ).

უნდა აღინიშნოს, რომ  $G$  გრაფი შეიძლება იყოს წარმოდგენილი როგორც ცხადად, ისე არაცხადად. გრაფის არაცხადად წარმოდგენა ნიშნავს განისაზღვროს  $X_0 \in X$  სიმრავლე, რომელიც შეესაბამება საწყის მდგომარეობას და ოპერატორთა სიმრავლეს, რომელიც წარმოქმნის მეზობელ წვეროებს. ამრიგად,  $G$  გრაფით მოიცემა მდგომარეობის სივრცე ანუ ის სივრცე, სადაც ხდება გადაწყვეტილების ძებნა. სივრცის შექმნა ხდება შემდეგი პროცედურებით: აიღება რომელიმე  $x_0 \in X_0$  წვერო, რომლის მიმართ გამოიყენება ყველა შესაძლო ოპერატორები, რომლებიც ქმნიან მეზობელ წვეროებს. ამ პროცესს ქვია წვეროების გახსნის პროცესი. თუ მიღებულია მიზნობრივი სფერო, მაშინ ამ წვეროს გახსნა არ ხდება. მდგომარეობის სივრცის შექმნის პროცესი მთავრდება, როცა ყველა გაუხსნელი წვეროები წარმოადგენენ მიზნობრივს ან ტერმინალურებს, ანუ ისეთ წვეროებს, რომელთა მიმართ შეუძლებელია რომელიმე ოპერატორის გამოყენება.

რადგან მდგომარეობის სივრცე შეიძლება შეიცავდეს უსასრულო რაოდენობის წვეროებს, ამიტომ პრაქტიკაში მდგომარეობის წარმოქმნის პროცესი შეზღუდულია ან დროით ან მეხსიერების მოცულობით. პრაქტიკაში საჭიროა ძებნის სრული პროცესის უზრუნველყოფა. ე.ი. ძებნა უნდა იყოს ორგანიზებული, რომ ყველა მიზნობრივი წვეროები მოძებნილი იყოს, რასაკვირველია თუ ისინი არსებობენ. ძებნის სისრულის საიმედო მეთოდია ყველა წვეროების გადარჩევა. იმისათვის, რომ მოხდეს მოდელს წვეროების სრული გადარჩევა, საჭიროა განისაზღვროს გარკვეული მეთოდი, რომლის მიხედვითაც მოხდება გრაფის წვეროების გადარჩევა. ზოგადად, არჩევენ ძებნის ორ მეთოდს: ძებნა სიღრმეში და ძებნა სიგანეში.

სიღრმეში ძებნის დროს ჯერ გაიხსნება ის წვეროები, რომლებიც ყველაზე ბოლოს იქნა წარმოშობილი. გრაფში სიღრმის წვერო განისაზღვრება შემდეგნაირად:

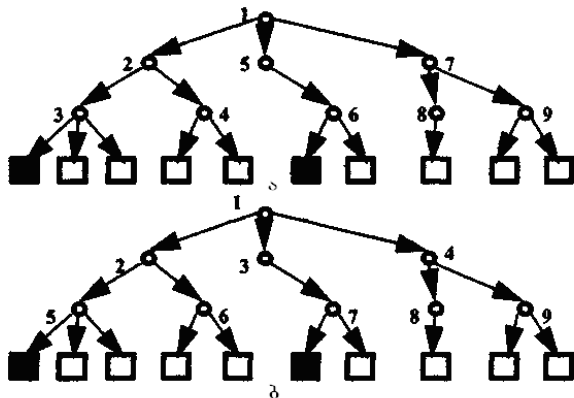
- საწყის წვეროს სიღრმე ნულის ტოლია;
- არასაწყისი წვეროს სიღრმე ტოლია ერთს დამატებული უახლესი მეზობლის წვეროს სიღრმე.

პრაქტიკულად რომელიმე მიმართულებით სიღრმეში ძებნის პროცესის რეალიზაცია მთავრდება შემდეგ შემთხვევაში:

- მიზნობრივი წვეროს მიღწევისას;
- ძებნის პროცესში ისეთი წვეროს შექმნა, რომლის სიღრმე აჭარბებს სიღრმის გარკვეულ ზღურბლს.

სიგანეში ძებნის მეთოდის დროს წვეროები იხსნებიან იმავე რიგით, როგორც ისინი არიან წარმოდგენილნი. თუ მდგომარეობის სივრცეში შევიყვანთ ოპერატორებს, რომლებსაც  $S_i$  მდგომარეობა გადაყავთ  $S_{i-1}$  მდგომარეობაში, მაშინ

ქებნა შეიძლება ჩატარდეს არა მარტო საწყის მდგომარეობიდან მიზნობრივ მდგომარეობამდე, არამედ უკუ მიმართულებითაც. ქებნის პირველ ტიპს უწოდებენ ქებნას მონაცემებიდან ან პირდაპირ ქებნას, ხოლო ქებნის მეორე ტიპს – ქებნა მიზნიდან ან უკუ ქებნა. შესაძლებელია ქებნა განხორციალდეს ერთდროულად ორივე მიმართულებით. ასეთ ქებნას უწოდებენ ორმხრივმიმართებულს.



ნახ. 1

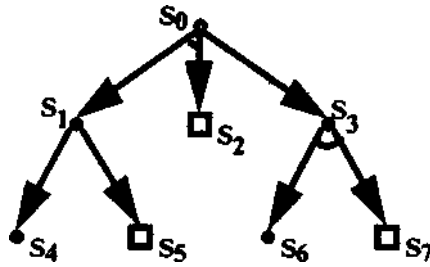
ნახაზე წარმოდგენილია სიღრმეში ქებნის მაგალითი (ნახ.1ა) და ქებნა სიგანეში (ნახ.1ბ). წვეროები დანომრილია მათი გახსნის რიგით. მიზნობრივი წვეროები აღნიშნულია შავი კვადრატებით, ხოლო ტერმინალურები – თეთრი კვადრატებით. ამ ორივე მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია ყველა ამონახსნის პოვნა. ორივე მეთოდს სჭირდება საკმაოდ დიდი მეხსიერება, რადგან აქ ხდება ქებნის ყველა გზის დამახსოვრება.

**ქებნა რელუქციის მეთოდით.** რელუქციის მეთოდით ამოცანის ამოხსნა, რომელიც წარმოდგენილია ქვეამოცანებად, დაიყვანება ქვეამოცანების ერთობლიობის ამოხსნამდე. ამოხსნის პროცესი მეორდება ყოველ ქვეამოცანისათვის მანამ, სანამ არ მიიღება ცხადი ამონახსენი. ქვეამოცანა ითვლება ცხადად, თუ კი მისი ამონახსენი საყოველთაოდ გასაგებია ან მიღებულია ადრე. ამოცანის ამოხსნის პროცესი, წარმოდგენილი ქვეამოცანებად, შეიძლება წარმოვადგინოთ სპეციალური მიმართულების  $G$  გრაფის სახით, რომელსაც უწოდებენ ღა/ან გრაფს.

გრაფში არჩევენ წვეროების ორ ტიპს: კონუქციური და დიზუნქციური წვეროები. კონუქციური წვეროები ან „ღა“ ტიპის წვეროები მეზობელ წვეროებთან ერთად გააჩნიათ შემდეგი ინტერპრეტაცია: ამოცანის ამოხსნა დაიყვანება ყველა ქვეამოცანების ამოხსნამდე, რომელებიც შეესაბამებიან მეზობელი წვეროების კონუქციურ წვეროებს. დიზუნქციური წვეროები ან „ან“ ტიპის წვეროები მეზობელ წვეროებთან ერთად გააჩნიათ შემდეგი ინტერპრეტაცია: ამოცანის ამოხსნა დაიყვანება მის ნებისმიერ ქვეამოცანის ამოხსნამდე, რომელიც შეესაბამება მეზობელი წვეროების დიზუნქციურ წვეროებს.

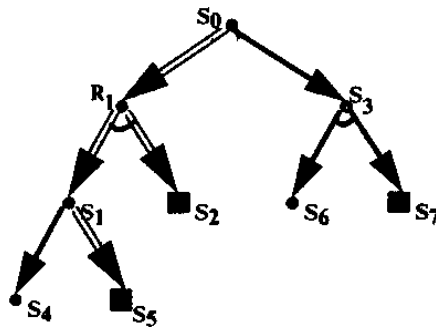
კონუქციური და დიზუნქციური წვეროები, რომელებიც გამოდიან კონუქციური წვეროებიდან, გრაფიკულად გასარჩევად წვეროებთან შეერთებული

არიან პატარა რკალით. ამოცანის დაყოფა ქვეამოცანებად წარმოდგენილია შემდეგ ნახაზე:



აქ  $S_0$  – საწყისი ამოცანაა, რომლის ამოხსნისათვის საჭიროა ამოიხსნას  $S_3$  ქვეამოცანა ან  $S_1$  და  $S_2$  ქვეამოცანები.  $S_1$  ამოცანის ამოხსნა დაიყვანება ან  $S_4$  ან  $S_5$  ქვეამოცანის ამოხსნაზე.  $S_3$  ქვეამოცანის ამოხსნა დაიყვანება  $S_6$  და  $S_7$  ქვეამოცანების ამოხსნაზე. იგულისხმება, რომ  $S_2$ ,  $S_5$ ,  $S_7$  ამოცანების ამონახსენი ცნობილია, ხოლო  $S_4$  და  $S_6$  ამოცანების ამონახსენები უცნობია.

მოყვანილ მაგალითში  $S_0$  ამოცანა შეიძლება ამოიხსნას ან  $S_3$  ამოცანის ამოხსნით, ან  $S_1$  და  $S_2$  ამოცანები ამოხსნით. რადგან ღა/ან ტიპის გრაფში ყოველი წვერო მიეკუთვნება მხოლოდ ერთ ტიპს, ამიტომ ზემოდ მოყვანილი გრაფის ჩასაწერად ღა/ან ტიპის გრაფად, საჭიროა შემოვიტანოთ დამატებითი წვერო  $R_1$ , რომელიც ნაჩვენებია შემდეგ ნახაზე:



ამ ნახაზე ორმაგი ხაზებით გამოყოფილია  $S_0$  ამოცანის გადამწყვეტი გრაფი, ხოლო ბოლო წვეროები აღნიშნული არიან მუქი კვადრატით.

ღა/ან ტიპის გრაფის ძებნის პროცესის მიზანია აჩვენოს, რომ საწყისი წვეროსათვის არსებობს ამომხსნელი გრაფი. ღა/ან ტიპის გრაფში ამომხსნელი წვეროების განსაზღვრა შეიძლება ასე ჩამოვაყალიბოთ:

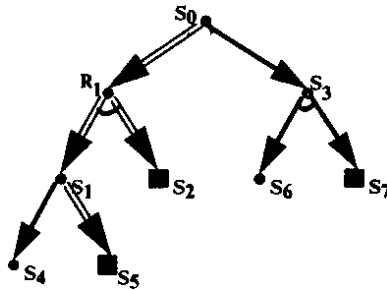
– საბოლოო (მიზნობრივი) წვეროები ამოხსნადია, რადგან მათი ამოხსნა ცნობილია;

– ან წვეროები ამოხსნადია მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა ამოხსნადია მეზობელი წვეროების ერთ-ერთი წვერო;

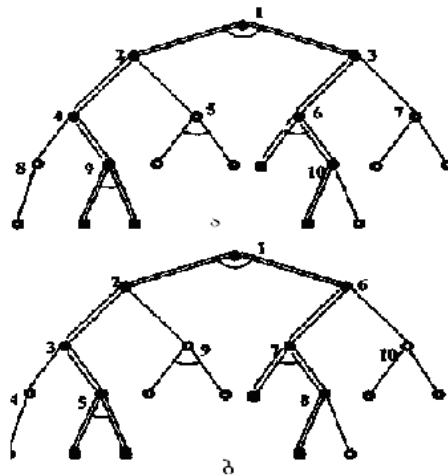
– ღა წვერო ამოხსნადია როცა ამოხსნადია ყველა მეზობელი წვერო.

ამრიგად, ამომხსნელი გრაფი განისაზღვრება როგორც ქვეგრაფი, რომელიც გვიჩვენებს, რომ საწყისი წვერო ამოხსნადია. ქვემოდ მოყვანილ

ნახაზე ნაჩვენებია ამოხსნადი წვეროები მუქი ფერით, ხოლო არამომხსნადი წვეროები – თეთრი ფერით.



ღა/ან ტიპის გრაფისათვის, ისევე როგორც მდგომარეობის სივრცეში ძებნისათვის, შესაძლებელია განისაზღვროს ძებნა სიღრმეში და სიგანეში, როგორც პირდაპირი, ასევე უკუ მიმართულებით. ქვემოთ მოყვანილ ნახაზე ნაჩვენებია ძებნის მაგალითები სიგანეში (ა) და სიღრმეში (ბ):



ამ ნახაზე წვეროები დანომრილია წვეროების გახსნის რიგობით. ბოლო წვეროები აღნიშნულია კვადრატით. ამოხსნილი წვეროები გამუქებულია. ამომხსნელი გრაფის რკალები აღნიშნულია ორმაგი ხაზებით.

**ევრისტიკული ძებნა.** ძებნას სიღრმეში და სიგანეში უწოდებენ ძებნის ბრმა მეთოდს, რადგან ამ მეთოდებში წვეროების გახსნის რიგი წინასწარ განსაზღვრულია და არანაირად არ არის დამოკიდებული მიზნის მდებარეობაზე. სივრცის გაზრდისას ძებნის ბრმა მეთოდს სჭირდება მნიშვნელოვანი დროითი დანახარჯები და მეხსიერება. ძებნის დროის შემცირების სურვილმა მიგვიყვანა ძებნის ევრისტიკულ მეთოდებთან ანუ ისეთ მეთოდებთან, რომლებიც იყენებენ დარგობრივი სფეროს გარკვეულ ინფორმაციას, რათა განიხილოს არა ძებნის მთელი სივრცე, არამედ ის გზები, რომლებიც გარკვეული ალბათობით მიგვიყვანს მიზნამდე. გადარჩევის შემცირების ერთი ხერხი მდგომარეობს „ინფორმატიული“ ოპერატორის შერჩევაში, რომელიც არ ქმნის ბევრ წვეროებს. მეორე ხერხი მდგომარეობს გადარჩევის ყოველ ბიჯზე, ევრისტიკული ინფორმაციის გამოყენებით, შემდგომი მიმართულების შერჩევაში. ამისათვის საჭიროა შემოვიტანოთ წვეროების „პერსპექტიულობის“ ზომა გარკვეული

შეფასების ფუნქციის სახით. უნდა აღინიშნოს, რომ ევრისტიკული მეთოდები ხშირ შემთხვევებში იწვევენ ინფორმაციის დანაკარგს.

**ძებნა „გენერაცია-შემოწმების“ მეთოდით.** ძებნის პროცესის შესრულებისათვის საჭიროა შემდეგი შესაძლო ამონახსნის გენერირება და მისი შემოწმება: ხომ არ არის ის შედეგობრივი. გენერატორი არის სრული, თუ კი ის უზრუნველყოფს ყველა შესაძლო შედეგების გენერირებას. გენერატორი არის არაჭარბი, თუ კი ის ყოველი ამონახსნის გენერირება ხდება მხოლოდ ერთხელ.

მიმდინარე შესაძლო ამონახსნის გენერირების დროს გენერატორსა და შემოწმების მოწყობილობას შორის წარმოიქმნება ცოდნის განაწილების გარკვეული პრობლემა. ბრმა და ევრისტიკული ძებნის დროს ყველა შესაძლო ამონახსნის გენერირებისათვის გენერატორს დარგობრივ სფეროზე გააჩნია მინიმალური ცოდნა. შემოწმების მოწყობილობა განსაზღვრავს, არის თუ არა მიმდინარე ამონახსნი მიზნობრივი. გენერატორის ცოდნის გაზრდას მიყვებარტ ძებნის სივრცის შემცირებასთან, მაგრამ ამ დროს იზრდება ყოველ მომდევნო ქვეამოცანაზე გენერაციის დანახარჯები.

## 6.2 ძებნა იერარქიულ სივრცეში

ერთ სივრცეში ძებნა არ იძლევა საშუალებას რთული ამოცანების ამოსახსნელად, რადგან სივრცის გაზრდა იწვევს ძებნის პროცესის დროის ექსპონენციალურად გაზრდას. დიდი ზომის სივრცის დროს საერთო სივრცე შეიძლება დაიყოს ქვესივრცეებად და ძებნა ვაწარმოვოდ ამ ქვესივრცეებში. შეიძლება ითქვას, რომ ამ შემთხვევაში ძებნის სივრცე წარმოდგენილია სივრცეების იერარქიად.

იერარქიულ სივრცეებში ძებნის მეთოდები იყოფა: ძებნა ფაქტორიზებულ სივრცეში; ძებნა ფიქსირებულ სივრცეების სიმრავლეში და ძებნა ცვლად სივრცეთა სიმრავლეში.

**ძებნა ფაქტორიზებულ სივრცეში.** ხშირად საჭიროა ამოცანის ყველა ამონახსნის ცოდნა. ამის მაგალითებია დიაგნოზის დასმა; მინაცემების ინტერპრეტაცია და სხვა. მართლაც, დიაგნოზის დასმისას ჩვენ გვაინტერესებს პაციენტზე ყველაფერი და არა მარტო პაციენტის რომელიმე დავადება. აქედან გამომდინარე, პრაქტიკაში ზოგჯერ ძებნის სივრცე შეიძლება იმდენად დიდი აღმოჩნდეს, რომ შეუძლებელი გამოდგეს ძებნის ბრმა მეთოდები. ევრისტიკული მეთოდების გამოყენებაც არ იძლევა შესაბამის ეფექტს, რადგან ისინი ვერ უზრუნველყოფენ ამოხსნის ყველა მნიშვნელობების მიღებას. თუ ჩვენ მოვახდენთ სივრცის ფაქტორიზებას, მაშინ ძებნა დიდ სივრცეში შეიძლება ეფექტურად იყოს ოგანიზებული.

სივრცეს ეწოდება ფაქტორიზებული როცა იგი იყოფა არასრული (ნაწილობრივი) გადაწყვეტილებების გადაუკვეთავ ქვესიმრავლეებად (კლასებად). ძებნა ფაქტორიზებულ სივრცეში ხორციელდება „იერარქიული გენერაცია-შემოწმების“ მეთოდის გამოყენებით. გენერატორი გამოიმუშავებს მიმდინარე არასრულ გადაწყვეტილებას, შემდეგ მოწმდება ამ გადაწყვეტილებით შესაძლებელია თუ არა მიზნამდე მიღწევა. თუ მიმდინარე არასრული გადაწყვეტილება უგულველყოფილია, მაშინ უგულველყოფილი იქნება ამ



კლასის ყველა სრული გადაწყვეტილება. თუ მიმდინარე არასრული ამონახსენი არ იქნა უგულველყოფილი, მაშინ გენერატორი გამოიმუშავებს ყველა სრულ გადაწყვეტილებას, ხოლო შემოწმების მოწყობილება განსაზღვრავს არის თუ არა ეს გადაწყვეტილება მიზნობრივი.

**ძებნა ფიქსირებულ ფაქტორიზებულ სივრცეში.** ფაქტორიზებულ სივრცეში ძებნის მეთოდი შეზღუდულია იმით, რომ ბევრ სფეროსათვის შეუძლებელია ნაწილობრივი ამოხსნით გაგაკეთოდ დასკვნა მის გამოუსადეგობაზე. მაგალითად, პლანირების კონსტრუირების ამოცანები. მართლაც, როგორც წესი, გეგმის ნაწილით ან კონსტრუქციის ნაწილით შეუძლებელია იმის თქმა, რომ ეს ფრაგმენტი არ წარმოადგენს სრული ამონახსნის ნაწილს. ასეთ შემთხვევებში შეიძლება გამოყენებული იყოს ძებნის პროცესი, რომელიც იყენებს აბსტრაქტული სივრცის ცნებას. აბსტრაქციამ ხაზი უნდა გაუსვას განსახილველი ამოცანის მნიშვნელობან თავისებურებებს, მოახდინოს ამოცანის დაყოფა უფრო მარტივ ქვეამოცანებად და განსაზღვროს ქვეამოცანების თანმიმდევრობა (გადაწყვეტის გეგმა), რომლებსაც მიყვავართ ძირითადი ამოცანის ამოხსნამდე.

**ძებნა ცვალებად სივრცეთა სიმრავლეში.** ბევრ სფეროსათვის შეუძლებელი ხდება ამოცანების დაყვანა ფიქსირებულ ქვეამოცანებად. ამის მაგალითია სივრცეში გადაწყვეტილების დაგეგმვა. ამ შემთხვევაში, ამოცანის ამოხსნის გეგმას უნდა გააჩნდეს ცვლადი სტრუქტურა და ამიტომ შეუძლებელი ხდება ამოცანის ქვეამოცანების ფიქსირება. ასეთი ტიპის ამოცანების გადასაწყვეტად შეიძლება გამოყენებული იყოს დადამავალი დაზუსტების მეთოდი.

იმისათვის, რომ რთულ სივრცეში გავამარტივოდ ძებნის პროცესი, მიზანშეწონილია მივიღოთ მცირე განზომილების სივრცე და შევეცადოთ ამ სივრცეში ამოცანის ამონახსნის მიღება. ეს მეთოდი მრავალჯერ შეიძლება გავიმეოროდ. ამ დროს ამოცანის ამოხსნის პროცესი შეიძლება წარმოვადგინოთ იერარქიულ სივრცეში, როგორც დადამავალი მოძრაობა ყველაზე უფრო აბსტრაქტულიდან კონკრეტულამდე, სადაც მიიღება საბოლოო ამონახსენი.

ამოცანის ამოხსნიდან გამომდინარე, აბსტრაქტული სივრცე იქმნება ინდივიდუალურად. ძებნის ეს მეთოდი ეფუძნება შემდეგ დაშვებებს:

- შესაძლებელია სივრცის არასრული დალაგება, რომელიც მისაღები იქნება ყველა ამოცანის ამოხსნისათვის;
- გადაწყვეტილება, რომელიც მიიღება ზედა დონეზე, არ არის აუცილებელი ქვედა დონეზე მისი გაუქმებისა.

### 6.3 ძებნის სხვა მეთოდები

**ძებნა ალტერნატიულ სივრცეებში.** ზემოთ განხილული ძებნის მეთოდებში იგულისხმება, რომ დარგობრივი სფეროს ცოდნა და ამოსახული ამოცანის მონაცემები წარმოადგენენ ზუსტს, სრულს და მათთვის სამართლიანი შედეგი მოსაზრებები:

- ყველა მტკიცებულებები, რომლებიც აღწერენ მდგომარეობას, ჭეშმარიტია;

– რომელიმე მდგომარეობისათვის ოპერატორის გამოყენება აყალიბებს ახალ მდგომარეობას, რომელიც აღიწერება მხოლოდ ჭეშმარიტი ფაქტებით.

მაგრამ, ნებისმიერი პრაქტიკული ამოცანის გადაწყვეტისას, განსაკუთრებით არაფორმალური ხორციელებული ამოცანებისათვის გავრცელებულია შებრუნებული სიტუაცია. ექსპერტს მუშაობა უწევს არამკაფიო ცოდნებთან და მონაცემებთან, თანაც დროის დეფიციტის პირობებში. როცა ექსპერტი ხსნის ამოცანას ის იყენებს მეთოდებს, რომლებიც ფორმალური მათემატიკური მსჯელობიდან განსხვავებულია. ამ შემთხვევაში ექსპერტს არ შეუძლია თავისი დაშვებების დამტკიცება, რის გამოც მათი ჭეშმარიტების დადგენა ღიად რჩება. აქედან გამომდინარე, ყველა მიღებული მტკიცებულებები არ შეიძლება დამტკიცებული იყოს.

ამრიგად, იმისათვის რომ სისტემამ არაზუსტი მონაცემებით და ცოდნით გააკეთოს დასკვნა, რომელიც ეფუძნება სად აზრს, მას უნდა შეეძლოს ვარაუდის გაკეთება, ხოლო ახალი ინფორმაციის მიღების შემდეგ, რომელიც გვიჩვენებს ვარაუდის მცდარობას, უარი თქვას როგორც მიღებულ ვარაუდზე, ასევე დასკვნაზეც.

**ძებნა რამოდენიმე მოდელის გამოყენებით.** ზემოდ განხილული ძებნის ყველა მეთოდი იყენებდა რომელიმე ერთ მოდელს. ე.ი. განიხილავდნენ დარგობრივი სფეროს რომელიმე ერთ თვალთახედვით. შეზღუდული რესურსების პირობებში, რთული ამოცანების ამოხსნისას, მრავალი მოდელის გამოყენებას შეუძლია მნიშვნელოვნად გაზარდოს სისტემის სიმძლავრე. ერთ სისტემაში რამოდენიმე მოდელის გაერთიანება საშუალებას იძლევა გადაილახოს შემდეგი სირთულეები:

– ძებნის დროს ერთი მოდელიდან მეორეზე გადასვლა საშუალებას გვაძლევს ჩიხში შესული პროცესიდან გამოსვლას;

– რამოდენიმე მოდელის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ კარგი ამონახსნის დაკარგვის ალბათობა, რომელიც გამოწვევულია შეზღუდული რესურსებით არასრული ძებნის გამო;

– რამოდენიმე მოდელის არსებობა სისტემას საშუალებას აძლევს თავი გაართვას არაზუსტი (მცდარი) მონაცემების პრობლემას.

უნდა აღინიშნოს, რომ რამოდენიმე მოდელის გამოყენება მოითხოვს დამატებით ცოდნას იმის შესახებ, თუ როგორ უნდა შევქმნათ და გაგაერთიანოთ სხვადასხვა შესედეულებები.

**ამოცანის ამოხსნის მეთოდის შერჩევა.** ამოცანის ამოხსნის მეთოდის შერჩევა, უპირველეს ყოვლისას, დამოკიდებულია ამოცანის სირთულეზე, რომელიც გამოწვეულია დარგობრივი სფეროს თავისებურებებით და იმ მოთხოვნებით, რომელსაც მომხმარებელი უყენებს ამოცანას. მარტივი ამოცანები ხასიათდებიან ძებნის მცირე განზომილებიანი სივრცით, სიზუსტით, სრული მონაცემებით და ერთი მოდელით სფეროს ადეკვატური აღწერით. სამწუხაროდ, პრაქტიკაში იშვიათად გვხვდება ამოცანები, რომლებიც აკმაყოფილებენ ამ პირობებს.

რთული ამოცანები ხასიათდებიან იმით, რომ ზემოდ ჩამოთვლილი პარამეტრებიდან თუნდაც ერთი აღმოჩნდება რთული. პრობლემის დაძლევისათვის, რომელიც გამოწვეულია ღიდ სივრცეში ძებნით, გამოიყენება მეთოდები, რომლებიც ეფუძნებიან იერარქიულ სივრცეების შექმნას. ამ

მეთოდებიდან ყველაზე მარტივი მეთოდი ეფუძნება გადაწყვეტის ფაქტორიზირებულ სივრცეს, რომელიც გვაძლევს საშუალებას მივიღოთ ყველა ამონახსენი. თუ ძეგნის სივრცის ფაქტორიზაცია შეუძლებელია, მაშინ ამავ დროს არ გვჭირდება ყველა ამონახსენი ან გვინდა შევარჩიოთ საუკეთესო ამონახსენი, მაშინ შეიძლება გამოვიყენოთ ერთგვაროვანი აბსტრაქტული სივრცეების იერარქია. თუ ძეგნის სივრცე ისეთია, რომ ნებისმიერი ამოცანა დაიყვანება წინასწარ ცნობილ ქვეამოცანათა თანმიმდევრობაზე, მაშინ გამოიყენება ფიქსირებული აბსტრაქტული სივრცე.

ამ მეთოდის ეფექტურობა განისაზღვრება დაუბრუნებელი სტრატეგიის გამოყენებაზე. იმ შემთხვევაში, როცა ქვეამოცანები ურთიერთდამოკიდებულნი არიან ანუ ზოგიერთი ქვეამოცანის ამოხსნისათვის შეიძლება დაგვჭირდეს ინფორმაცია, რომელიც მიიღება სხვა ქვეამოცანიდან, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ უმცირესი შესრულების პრინციპი. ეს მოდგომა საშუალებას იძლევა შევარჩიოთ ისეთი ქვეამოცანის ამოხსნა, რომელიც განიცდის ინფორმაციის უკმარისობას. შემდეგ ის გადადის სხვა ქვეამოცანის ამონახსნაზე და როდესაც არარსებული ინფორმაცია ხდება ხელმისაწვდომი იგი ბრუნდება საწყის ამოცანაზე.

იმ სიძნელეების დასაძლევად, რომელიც გამოწვეულია არასრული და არაზუსტი მონაცემებით (ცნებებით), გამოიყენება ალბათური, არამკაფიო და ზუსტი მეთოდები. ყველა ეს მეთოდი, ფაქტების შესაძლებელ კომბინაციების გამოყენებით, ეფუძნება იმედიანობის გაზრდის იდეას.

დარგობრივი სფეროს მოდელის არაადეკვატურობის დასაძლევად გამოიყენება მეთოდები, რომლებიც ორიენტირებული არიან რამოდენიმე მოდელის გამოყენებაზე. ეს მეთოდები საშუალებას იძლევიან დარგობრივი სფეროს აღწერის სხვადასხვა მოდელის შესაძლებლობების გაერთიანებას. გარდა ამისა, რამოდენიმე მოდელის გამოყენება საშუალებას იძლევა კარგი ამონახსნის დაკარგვის ალბათობის შემცირება, მიუხედავად იმისა, რომ საქმე გვაქვს არასრულ ძეგნასთან, რომელიც გამოწვეულია გამოთვლითი რესურსების შეზღუდვით.

## 7. ექსპერტული სისტემა MYCIN

პირველი სამედიცინო დანიშნულების ექსპერტული სისტემა არის MYCIN, რომელიც შეიქმნა მე-20 საუკუნის 70-იან წლებში სტენფორდის უნივერსიტეტში და განკუთვნილია სისხლის ინფექციური დაავადების დიაგნოსტიკისა და მკურნალობისათვის. MYCIN პაციენტების მონაცემთა ბაზასა და ცოდნის ბაზას შეიცავს, რომელიც დაახლოებით 400 – 500 წესისგან შედგება. ახალი პაციენტისათვის მონაცემთა ბაზაში იქმნება სპეციალური ჩანაწერისადაც მოთავსებულია ინფორმაცია სიმპტომებისა და პირველადი ტესტების შედეგების შესახებ. სისტემაში გამოყენებულია ცოდნის წარმოდგენის პროდუქციული მეთოდი.

MYCIN თავდაპირველად ჩაფიქსირებული იყო როგორც საკონსულტაციო პროგრამა, რომელიც ექიმს გაუწევდა კონსულტაციას დიაგნოზის დასმაში და მკურნალობის რეკომენდაციებს შესთავაზებდა. შემდეგ სისტემის გამოყენების სფერო გაფართოვდა და მოიცვა მთელი რიგი ინფექციური დაავადებები. ამან გამოიწვია ის, რომ MYCIN-ის ბაზაზე შეიქმნა ცარიელი საბაზო სისტემა EMYCIN, რომელიც მეტ-ნაკლებად ზოგადი დანიშნულების ეს გარსს წარმოადგენს, რომლის შევსება შესაძლებელია სხვა დანიშნულების მს შესაქმნელად. მაგალითად, სწორედ MYCIN იქნა გამოყენებული სუნთქვის დარღვევების ანალიზის მს PUFF - ის შესაქმნელად.

ხშირად MYCIN თვლიან დიაგნოსტიკურ პროგრამად, რაც არ არის სწორი. ამ პროგრამის დანიშნულებაა იყოს ექიმის ასისტენტი. მუშაობის პროცესში პროგრამა აყალიბებს დიაგნოზის ჰიპოთეზებს და ანიჭებს მათ გარკვეულ წონით კოეფიციენტებს, მაგრამ დამოუკიდებლად როგორც წესი, არ ღებულობს გადაწყვეტილებას.

MYCIN-ის დამუშავებისას სისტემას წაუყენეს შემდეგი მოთხოვნები:

1. ექიმისათვის პროგრამა უნდა ყოფილიყო სასარგებლო ეი. მან უტყუარი რეკომენდაციები უნდა მოგვცეს, რომლებიც ხარისხობრივად ექსპერტის რეკომენდაციებს არ უნდა ჩამოუვარდებოდეს:

2. პროგრამა უნდა იყოს პრაქტიკაში მოსახერხებელი და ცოდნის შექმნაზე და მის მოდიფიკაციაზე უნდა იყოს გათვლილი:

3. პროგრამას უნდა შეეძლოს მომხმარებელთნ დიალოგი, რათა მან ახსნას მის მიერ მიღებული გადაწყვეტილება:

4. ექიმისათვის პროგრამა უნდა იყოს მისი დამხმარე და არა მისი შემცველი.

ექიმის მიერ ეს გამოყენების მაგალითი შეიძლება იყოს შემდეგი სიტუაცია: მკურნალ ექიმს, რომელიც არ წარმოადგენს ინფექციური სფეროს სპეციალისტს, შესაძლებელია დასჭირდეს კონსულტაცია, მაგალითად მძიმე ოპერაციის შემთხვევაში პაციენტის სისხლის დაინფიცირების დროს. სირთულე იმაშია, რომ ბაქტერიული დაავადების მკურნალობა საჭიროა დაინიშნოს სწრაფად, სანამ ავადმყოფობის წარმოშობის მიზეზი დადგინდება. ექიმი შემდეგი დილემის წინაშე დგება: ან უნდა დაუნიშნოს ისეთი სპეციალური პრეპარატი, რომელსაც ფართო ანტიბაქტერიული სპექტრი აქვს, ან გარისკოს და პაციენტს სპეციფიკური პრეპარატი დაუნიშნოს, რამაც შეიძლება ავადმყოფი მძიმე მდგომარეობაში ჩააყენოს.

MYCIN სისტემით ამოცანის ამოხსნის პროცესი შეიძლება სამ ეტაპად დავეყოთ;

1) არის თუ არა პათოგენური მიკროორგანიზმი ანუ დაავადების გამომწვევი მიზეზი აღმოჩენილი:

2) თუ მიკროორგანიზმი პათოგენურია, მაშინ ის უნდა იდენტიფიცირებული უნდა იყოს, ანუ განისაზღვროს მისი ტიპი;

3) შეირჩეს შესაბამისი მკურნალობის მეთოდი.

მს შედგება შემდეგი ბლოკებისგან: მონაცემთა ბაზა, ცოდნის ბაზა, ინტერპრეტატორი, ცოდნის შექმნის, ანალიზისა და სინთეზის, დიალოგური და ახსნის მექანიზმები. მონაცემთა ბაზის დანიშნულებაა მონაცემების შენახვა,

რომელიც მიღებულია მომხმარებლისაგან და შუალედური მონაცემები, რომლებიც წარმოიქმნენ სისტემის მუშაობის პროცესში.

ცოდნის ბაზაში ინახება პროდუქციული წესები და ფაქტები. ინტერპრეტატორი (მართვის მექანიზმი) ასრულებს სისტემის ძირითად ფუნქციას, დიაგნოზის დასმას და მკურნალობის ტაქტიკის შემუშავებას. ანალიზისა და სინტეზის მექანიზმი უზრუნველყოფს მარტივი წინადადების დამუშავებას. ახსნის მექანიზმი იტყობინება რატომ და როგორ ამუშავებს გამოტანის პროგრამა ამა თუ იმ სიმბოლოს. ცოდნის შექმნის მექანიზმის დანიშნულებაა ექსპერტებიდან დიალოგის რეჟიმში შექმნილი ცოდნის შევსება .

განვიხილოთ მს MYCIN-თან , მუშაობის ზოგიერთი ფრაგმენტი.

**დიალოგის ზოგადი სტრუქტურა.** დიალოგის მექანიზმის (ქვესისტემა) მოქმედება შეიძლება წარმოდგენილი იყოს შემდეგი ეტაპების სახით:

- 1) ინსტრუქტაჟი;
- 2) ამოცანის განსაზღვრა;
- 3) ამოცანის ამოხსნა;
- 4) განმარტებები ამოცანის ამოხსნის პროცესში;
- 5) შედეგების გამოტანა და მათი შეფასება (წარმატება, მარცხი);
- 6) განმარტებები ამოცანის ამოხსნის შემდეგ;
- 7) წარუმატებლობის მიზეზების დადგენა და ახალი ცოდნის შექმნა.

ზემოთ ჩამოთვლილი ეტაპები წარმოადგენს ტიპურს მრავალი ექსპერტული სისტემისათვის. თუმცა ყოველი კონკრეტული დიალოგისათვის არ არის აუცილებელი ესა თუ ის ეტაპი გამოყენებული იყოს.

ინსტრუქტაჟის ეტაპზე სისტემა მომხმარებელს უხსნის თავის დანიშნულებას, განსაზღვრავს დიალოგის წარმართვის რიგს და ჩამოთვლის მომხმარებლისათვის მოსაწოდებელ საშუალებებს.

მაგალითისათვის მოვიყვანოთ MYCIN – თან დიალოგის ფრაგმენტი ( სისტემა ავლნიშნით ს–ით, მომხმარებელი მ–ით)

### თქვენ მოგესალმებით MYCIN

ს: ინსტრუქტრაჟი? (დიახ ან არა)

მ: დიახ

ს: ექსპერტული სისტემა MYCIN განკუთვნილია ინფექციური დაავადების კონსულტაციისათვის. მე ვთვლი, რომ თქვენ პაციენტის მკურნალობისათვის ინფორმაციის მიღება გნებავთ. მე დაგისვამთ კითხვებს პაციენტის შესახებ. თუ თქვენ დარწმუნებული არ ხართ პასუხში, მაშინ შეგიძლიათ ფრჩხილებში აჩვენოთ დარწმუნებლობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ( რიცხვი 1–დან 10–მდე) რიცხვი 10 შეესაბამება აბსოლუტურ დარწმუნებულობას. თუ შეკითხვის შეცვლა გსურთ, მაშინ შეიყვანეთ ბრძანება შეცვლა, რომელსაც უნდა მოყვებოდეს იმ შეკითხვის ნომერი, რომლის შეცვლასაც აპირებთ. ეცადეთ არ გამოიყენოთ ეს ბრძანება, რადგან ბრძანების გამოყენების შემდეგ სისტემა კონსულტაცია იწყებს თავიდან, რაც თავის მხრივ ინფორმაციის მიღების დროის გაზრდას იწვევს. სისტემის კითხვაზე თქვენ შეგიძლიათ სისტემას შეატყობინოთ შემდეგი ინფორმაცია: 1) **უცნობია** – თუ თქვენ არ იცით შეკითხვაზე პასუხი ; 2) **?**– როცა თქვენ გინდათ სისტემამ მოიყვანოს

შეკითხვაზე შესაძლებელი პასუხი; 3) ?? როცა თქვენ გსურთ სისტემამ მოიყვანოს კითხვაზე ყველა დასაშვები პასუხები; 4) **წმსი** – თუ თქვენ გინდათ სისტემამ აჩვენოს ის ძირითადი წესები, რომლებმაც მიგვიყვანა ამ შეკითხვამდე; 5) **რატომ** – როცა თქვენ გინდათ მიიღოთ დეტალური განმარტება იმ მიზეზებზე, რომლებმაც მიგვიყვანა დასმულ კითხვაზე; 6) **რბორ – N** - თუ თქვენ გინდათ მიიღოთ განმარტება იმის შესახებ, როგორ აპირებს სისტემა მიზნის მიღწევას, რომელიც ნაჩვენებია ერთ–ერთ წინა **რატომ** ბრძანებაში და ა.შ.

უფრო რთული სისტემისათვის ინსტრუქტაჟი შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ტექსტის სახით, რომელიც შეიცავს კითხვების დასახელებას, რომელთა გაცნობა შეუძლია მომხმარებელს ამ ეტაპზე. მომხმარებელი კურსორის საშუალებით მონიშნავს მისთვის სასურველ კითხვას, რის შემდეგაც სისტემა შესაბამის ტექსტზე გადადის. ამ ტექსტს შეიძლება ჰქონდეს თავისი შინაარსი და ა.შ.

**მომხმარებლის დიალოგი MYCIN–თან.** ქვემოთ მოყვანილია ექიმის ექსპერტულ სისტემასთან დიალოგის დასაწყისის ფრაგმენტი. ექიმის პასუხი აღნიშნულია \*\* სიმბოლოთი . დიალოგის სტრიქონები დანომრილია.

— — — — — პაციენტი – 1 — — — — —

(1) დაასახელოთ პაციენტის სახელი : ( სახელი, გვარი)

\*\* ფრედ სმიტი

(2) სქესი:

\*\* მამრობითი

(3) ასაკი

\*\* 55

(4) ინფიცირებული ადგილიდან აღებულია თუ არა მიკროორგანიზმის გამომწვევი კულტურა?

\*\*დიახ

— — — — — პაციენტი – 1 — — — — —

(5) რომელი ინფექციაა?

\*\* პირველადი ბაქტერიემია

(6) შეგვატყობინე პირველადი ბაქტერიემიის სიმპტომების გამოვლენის თარიღი

(თვე, რიცხვი, წელი)

\*\* მაისი, 5, 2010

(7) პირველადი ბაქტერიემიის ბოლო კულტურას ვუწოდოთ

(ინფექცია – 1)

— — — — — კულტურა – 1 — — — — —

- (8) რომელი ადგილიდან იქნა მიღებული კულტურა – 1 ?  
 \*\* სისხლი
- (9) როდის იქნა მიღებული კულტურა (კულტურა – 1) (თვე / დღე / წელი)  
 \*\* მაისი, 10, 2010
- (10) ამ კულტურის (კულტურა– 1) პირველ წარმომადგენელ მიკროორგანიზმს დავარქვათ:

----- მიკროორგანიზმი-1 -----

- (11) მოახდინეთ მიკროორგანიზმი-1 იდენტიფიცირება  
 \*\* უცნობია
- (12) წარმოადგენს თუ არა მიკროორგანიზმი-1 ჩხირს, კოკს და ა,შ  
 \*\* ჩხირი
- (13) როგორი შეფერილობა აქვს მიკროორგანიზმი-1?  
 \*\* გრამ – უარყოფითი
- (14) იყო თუ არა ინფიცირებულ ადგილიდან აღებული მიკროორგანიზმის გამომწვევი კულტურა?  
 \*\* არა
- (15) მიკროორგანიზმი-1 იზრდება აერობულად?  
 \*\* დიახ
- (16) მიკროორგანიზმი-1 იზრდება ანაეობულად?  
 \*\* დიახ
- (17) როგორია მიკროორგანიზმი-1 სავარაუდო შეღწევის ცხა?  
 \*\* კუჭ – ნაწლავის ტრაქტი (6)

წარმოდგენილ ფრაგმენტში სისტემა ჯერ ითხოვს პაციენტების მონაცემებს (1 დან 3 სტრიქონი) და შემდეგ ძირითადი ინფორმაციის შეგროვებაზე გადადის. სისტემა გამოდის შემდეგი ცხადი ვარაუდით:

1) დიალოგში შეიძლება განისაზღვროს ერთი ან რამდენიმე პაციენტი;  
 2) პაციენტს შეიძლება ჰქონდეს ერთი ან რამდენიმე ინფექცია;  
 3) ინფექციებს შეიძლება ჰქონდეს ერთი ან მეტი მასთან ასოცირებული კულტურა;

4) კულტურა შეიძლება შეიცავდეს ერთ ან რამდენიმე მიკროორგანიზმს.

ჩამოთვლილი ვარაუდი დიალოგის სტრუქტურის ახდენს და ექიმს შეუძლია გაიგოს, მაგალითად, განსახილველი მიკროორგანიზმი-1 მიეკუთვნება არა ყველა კულტურას, არამედ იმას, რომლის განხილვაც ხდებოდა უშუალოდ მიკროორგანიზმი-1 წინ.

შემდეგ სისტემა დიალოგის რეჟიმში განაგრძობს ინფორმაციის შეგროვებას ინფექციის გამომწვევის იდენტიფიკაციისათვის.

**ცოდნის შემაჯგებლობა და მისი წარმოდგენის მეთოდი.** დარგობრივი სფეროს ცოდნა სისტემაში წარმოდგენილია როგორც ფაქტების, წესების, მიზნის ხის, კონტექტების და ფიქსირებული ობიექტების იერარქიის სახით. სისტემაში

გამოყენებული ცოდნა შეიძლება დავეყთ ორ ჯგუფად: სტატიკური და დინამიკური. სტატიკური ცოდნა ინახება ცოდნის ბაზაში და არ არის დამოკიდებული კონკრეტულ დიალოგთან. ისინი შეიცავენ მონაცემებს, ავადმყოფობის, პრეპარატების, გამოტანის წესების და ცნობებს ობიექტების იერარქიის შესახებ. დინამიკური ცოდნა შეიცავს მუდმივებს, მიზნების სტრუქტურას, აქტიურ ფაქტებს და წესებს, ანუ ისეთ ფაქტებს და წესებს, რომლებიც გამოიყენებიან უშუალოდ მიმდინარე დიალოგის დროს.

სისტემაში ინახება ობიექტების შემდეგი ფიქსირებული იერარქია;

1) პაციენტი; 2) ინფექცია; 3) კულტურა; 4) მიკროორგანიზმი. სისტემა აწარმოებს დიალოგს ამ იერარქიის გათვალისწინებით. კერძოდ, ჯერ აგროვებს ინფორმაციას პაციენტზე, შემდეგ ინფექციაზე, კულტურაზე და მიკროორგანიზმზე.

ყველა ცოდნა მიღებული დიალოგის პროცედურის მიმდინარეობის დროს ორგანიზებულია სამეულის სახით: ატრიბუტი-ობიექტი-მნიშვნელობა. ასე მაგალითად, ზემოთ მოყვანილი დიალოგის დროს სისტემა აგროვებს ინფორმაციას შემდეგ ობიექტებზე: პაციენტი-1, ინფექცია-1, კულტურა-1. სისტემის საბოლოო ამოცანაა განსაზღვროს ამ ობიექტებისათვის ყველა ატრიბუტის მნიშვნელობა. ობიექტების იერარქიაში ნახვენებია, რომ ერთი პაციენტი შეიძლება რამოდენიმე სახის ინფექციით დაინფიცირდეს, ერთი ინფექციის დიაგნოსტიკისთვის შეიძლება რამდენიმე კულტურა დაითესოს, ერთი კულტურა შეიძლება რამდენიმე სახის მიკროორგანიზმს შეიცავდეს.

ზოგიერთი ფაქტისთვის, რომელიც ცოდნის ბაზაში ინახება, უფრო ეფექტურია ცოდნა არა სამეულის სახით, არამედ სიების და ცხრილების სახით წარმოვადგინოთ, რაც წესების სიმძლავრის გაზრდას უზრუნველყოფს. მაგალითად, სიის სახით შეიძლება ჩაიწეროს კულტურის მიღების არასტერილური ადგილის ცოდნა:

არასტერილური ადგილი: ( კანი, ყელი, შარღსაღუნარი (ურემტრა), ცხვირის ღრუ). ცხრილის სახით შეიძლება ჩაიწეროს მიკროორგანიზმები შესაბამისი კულტურის მიღების ადგილებით:

**ორბანო** – ფლორა

**ყელი:** ( *STREPTOCOCCUS – PNEUMONIAE*, *STREPTOCOCCUS. GRUUP –A*, *NEISSERIA – MENINGITIDIS*)

**კანი:** (*STAPHYLOCOCCUS – COAG – POS*, *STREPTOCOCCUS. GRUUP –A*, *STAPHYLOCOCCUS – COAG – NEG*).

ყოველ სამეულს მიეწერება დარწმუნებლობის კოეფიციენტი, რომელიც იცვლება -1 დან 1-მდე და მოცემული ობიექტის ატრიბუტის დამაჯერებლობის ხარისხს გვიჩვენებს. მაგალითად:

(კულტურა-1 ადგილი სისხლი 1,0)

(მიკროორგანიზმი – 2 ის იდენტიფიკაცია *LEBSIELLA* 0.25)

(მიკროორგანიზმი – 1 მპრპრობიარობა *PENICILLIN* – 1,0)

**წესების წარმოღვნა.** ეს MYCIN-ში წარმოდგენილია პროდუქციული წესებით. MYCIN-ს გააჩნია დაახლოებით 450 წესი. წესს აქვს შემდეგი სახე: „წინაპირობა მოქმედება“. ზედა დონეზე წინაპირობა წარმოადგენს წინადადების კომბინაციას, რომლებიც შეერთებული არიან „და“ ლოგიკური



ფუნქციით. ამ დროს ყოველი ზედა დონის წინადადება, თავის მხრივ, შეიძლება წინადადების კომბინაცია იყოს, შეერთებული „და“ და „ან“ ლოგიკური ფუნქციებით. მარტივ წინაპირობას (წინადადება) აქვს შემდეგი სახე <პრედიკატული ფუნქცია> <ობიექტი> <ატრიბუტი> <მნიშვნელობა>. სისტემას გააჩნია 24 პრედიკატური ფუნქცია (ტოლია, გაგება, განისაზღვროს და ა.შ), 80 ატრიბუტი (იდენტიფიკაცია, ადგილი, მგრძობიარობა და ა.შ.), 11 ობიექტი (მიკროორგანიზმი, კულტურა, წამალი და ა.შ).

ყოველი წესი წარმოადგენს დარგობრივი სფეროს ცოდნის დამოუკიდებელ ფრაგმენტს, სადაც წინაპირობების შემადგენლობაში ცხადად წარმოდგენილია წესების გამოყენების ყველა პირობები. იმის გამო, რომ MYCIN-ს საქმე ისეთ პრობლემურ სფეროსთან აქვს, სადაც განსჯა შეიძლება არაზუსტი ანუ მიახლოებითი იყოს, ამიტომ საჭიროა რაღაც მექანიზმი, რომელიც ამ სიტუაციას გაითვალისწინებს. ეს არის წესის დარწმუნებლობის კოეფიციენტი (დკ), რომელიც გვიჩვენებს სისტემის დამაჯერებლობას წესის სისწორეში. ამრიგად, ზოგადი წესის მოქმედებას გააჩნია შემდეგი სახე:

<დასკვნა> <ობიექტი> <ატრიბუტი> <მნიშვნელობა> <დკ>

მაგალითისათვის მოვიყვანოთ შემდეგი წესი:

- თუ:** (1) ინფექცია პირველადი ბაქტერიემიაა და  
(2) კულტურის ადგილი არის ერთ-ერთი სტერილური ადგილი და  
(3) მიკროორგანიზმის სავარაუდო შეღწევის გზა არის კუჭნაწლავის ტრაქტი.

**მაშინ:** შეიძლება ვივარაუდოთ (0,7 დკ), რომ მიკროორგანიზმი მენინგოკოკია. უნდა აღინიშნოს, რომ არამკაფიო მსჯელობა უშვებს ურთიერთგამომრიცხავი ატრიბუტების ერთდროულ არსებობას. ასე მაგალითად, მიკროორგანიზმის იდენტიფიცირების დროს სისტემამ შეიძლება დაასკვნას, რომ: 1) მიკროორგანიზმი არის *E. COLI* და 2) მიკროორგანიზმი არის *KLEBSIELLA*, მიუხედავად იმისა, რომ ეს არის ურთიერთგამომრიცხავი ფაქტი. ეს თავისებურება წარმოადგეს სისტემის დადებით ფაქტს, რადგან ის ასახავს სხვადასხვა რეალურ დასკვნებს.

**ახსნის საშუალებები.** MYCIN-ის ახსნის საშუალებები რეალიზებულია რამოდენიმე პროგრამის საშუალებით. ყველა ახსნა იყოფა სამ სახედ: 1) დიალოგის პროცესში მოქმედებების ახსნა; 2) შეკითხვებზე პასუხები, რომლებიც დაკავშირებულია მონაცემთა ბაზასთან. შეკითხვები ძირითადად ისმება რატომ და როგორ სიტყვებით. კითხვა რატომ ისმება, მაშინ როცა მომხმარებელს აინტერესებს ის მიზანი, რომლისაკენაც მიისწრაფის სისტემა ასრულებს რა მოცემულ მოქმედებას. კითხვა რატომ-ს გააჩნია ერთი პარამეტრი, რომელიც მიუთითებს ბიჯების იმ რაოდენობას, რომლითაც მიზნის ხეზე ზემოთ გადაადგილება ხდება. თუ პარამეტრი არ არის მითითებული, მაშინ იგი ერთის ტოლად ითვლება. განვიხილოთ დიალოგის ფრაგმენტი, სადაც გამოყენებულია კითხვა რატომ:

(35) E.COLI (მიკროორგანიზმი – 1) – ისთვის რამდენი კულტურა იქნა დადებითად შეფასებული?

\*\* რატომ? ( ანუ რატომ არის საჭირო განისაზღვროს

მიკროორგანიზმის დადებითი კულტურა?

[1,0] ეს გვაძლევს საშუალებას განისაზღვროს დაავადების გამოწვევა დაკავშირებულია თუ არა მიკროორგანიზმთან.

აღრე დადგენილი იყო, რომ

[1,1] მოცემული კულტურა აღებული იყო სტერილური ადგილიდან

[1,2] სერიაში კულტურის რიცხვი ორზე მეტია

[მიკროორგანიზმი-1] დადებითი კულტურის რიცხვი ორზე მეტია, მაშინ შეიძლება ვივარაუდოთ (0,5) რომ წარმოშობილი დაავადება დაკავშირებულია [მიკროორგანიზმი-1] (E.COLI)-თან [წმსი 49]

\*\* რატომ? (ანუ რატომ არის მნიშვნელოვანი განისაზღვროს წარმოშობილი დაავადება გამოწვეულია თუ არა მოცემული მიკროორგანიზმით?)

[2,0] ეს დაგვეხმარება განსახილველი ინფექციის დიაგნოზის დადგენისათვის

აღრე დადგენილი იყო:

[2,1] ინფექცია არ წარმოადგენდა არც პირველად ბაქტერიას და არც მენინგიტს

[2,2] და ამასთანავე აღნიშნული კულტურისათვის ჭეშმარიტია, რომ მისი ადგილი ამ წუთას სისხლია მაშასადამე,

[2,3] თუ წარმოქმნილი დაავადება დაკავშირებულია მოცემულ მიკროგანიზმთან, მაშინ დადგენილია (1,0) რომ განსახილველი ინფექციის დიაგნოზია მეორადი ბაქტერიემია.

კითხვა როგორ  $X$  (აქ  $X$  მიმართებაა რაიმე მიზანი) ანუ კითხვა იმაზე, თუ რომელი მოქმედებით მიაღწია (მიაღწევს) სისტემამ  $X$ -ში ნაჩვენებ მიზანს. კითხვა როგორ? – გააჩნია ერთი პარამეტრი, სადაც მითითებულია პროგრამის რომელიმე სტრიქონის ნომერი, სადაც სისტემის მიერ რატომ კითხვაზე მოცემული პასუხია.

განვიხილოთ დიალოგის ფრაგმენტი როგორ კითხვის გამოყენებით.

\*\* როგორ 1.1 ( ანუ როგორ განვსაზღვროთ, რომ

მოცემული კულტურა აღებულია სტერილური ადგილიდან?)

[3,1] გამოყენებული იყო წესი001, სადაც წარმოდგენილია (0,7), რომ მოცემული კულტურა აღებულია სტერილური ადგილიდან.

[3,2] გამოყენებული იყო წესი022, სადაც დასკვნის სახით (0,7) წარმოდგენილია, რომ მოცემული კულტურა მიღებულია სტერილური ადგილიდან.

\*\* როგორ 3,1 ( ანუ როგორ იყო გამოყენებული წესი 001?)

აღრე დადგენილი იყო, რომ:

[4,1] მოცემული კულტურის ადგილი იყო იმ ადგილებიდან ერთ-ერთი, სადაც სტერილობა დამოკიდებულია კულტურის აღების ადგილზე.

[4,2] კულტურის აღების მეთოდი არის ერთ-ერთი იმ მეთოდებიდან, რომლებიც ასოცირდებიან კულტურის

მღებარეობასთან. მაშასადამე, არსებობს ვარაუდი (0,8), რომ მოცემული კულტურა მიღებულია სტერილური ადგილიდან.

ესლა განვიხილოთ სისტემის მიერ შეკითხვებზე პასუხები, რომლებიც დაკავშირებულია ცოდნის და მონაცემთა ბაზაზე. კითხვები სტატიკურ ცოდნაზე იყოფა კითხვები ფაქტებზე დაკითხვები წესებზე. განვიხილოთ დიალოგის ერთი ფრაგმენტი.

(1)\*\* როგორ გადავწყვიტეთ, რომ მიკროორგანიზმი – 1 შეიძლება იყოს E.COLI ?

მე გამოვიყენე წესი 021 იმისათვის, რომ დავადგინოთ (0,47)

მიკროორგანიზმი – 1 იდენტიფიცირებულია, როგორც E.COLI.

შემდეგ მე გამოვიყენე წესი 084 იმისათვის, რომ დავადგინოთ (0,55)

მიკროორგანიზმი – 1 იდენტიფიცირებულია, როგორც E.COLI

შემდეგ მე გამოვიყენე წესი 033 იმისათვის, რომ დავადგინოთ (0,74)

მიკროორგანიზმი – 1 იდენტიფიცირებულია, როგორც E.COLI

(2)\*\* გამოყენებული იყო თუ არა წესი 163 მიკროორგანიზმი – 1 დასკვნისათვის? წესი 163 მიკროორგანიზმი –1 მიმართ

გამოყენებული იყო, მაგრამ წარუმატებლად, რადგან არასწორია ის, რომ პაციენტს დარღვეული აქვს შარდსასქესო ტრაქტის ფუნქციონირება.

(3) \*\* გამოვადგათ თუ არა ინფექცია–1 დასადგენად წესი 116?

არა წესი 116 არარელევანტურია მიკროორგანიზმი –1 პირველადი ბაქტერიემის დასადგენად. წესი 116 –ის მეორე წინადადება

(„ მიკროორგანიზმის მორფოლოგია არის კოკი“) მცდარია და ამიტომ ეს წესი გამოყენებული არ იყო.

(4) \*\* სისხლი სტერილური ადგილია? დიახ, სისხლი არის

ერთ–ერთი ის ადგილი რომლის სტერილიზაცია ნორმაშია და ა.შ

### ცოდნის შექმნა.

ცოდნის შექმნის პროცესი შეიძლება დაიყოს სამ ეტაპად: 1) არასრული ცოდნის აღმოჩენა და ამ ნაკლოვანების არმოსაფერვლად ახალი ცოდნის შექმნა; 2) სისტემაში ახალი ცოდნის შეტანა; 3) ახალი და ძველი ცოდნის შერწყმა (ანუ ცოდნის დამატება , გამორიცხვა და მოდუფიკაცია).

სისტემა MYCIN – ის ცოდნის პროცესის შექმნის პროცესის პირველ ეტაპზე ცოდნის შექმნა ხორციელდება ექსპერტისა და ცოდნის ინჟინერის საშუალებით. ცოდნის შექმნის მეორე ეტაპი სისტემაში ხორციელდება დიალოგურ რეჟიმში ავტომატიზირებულად. სისტემას ფრაზები გადაყავს თავის შიგა ენაზე, ახდენს მათ დამუშავებას და აყალიბებს ახა წესს.

ცოდნის ბაზაში ახალი წესისი შერწყმას ძველ წესთან ხდება მესამე ეტაპზე ეს პროცესი ფაქტიურად არაავტომატიზირებულია. შეიძლება გამოვეყოთ ამ ეტაპის ავტომატიზაციის ორი ასპექტი:

1) წესების გარკვეული ერთობლიობა (ახალი და ძველი) საჭიროა იყვნენ ურთიერთ არაგამომრიცხავი. ამ პრობლემის ავტომატიზაცია საკმაოდ რთულია, თუმცა ცხადია წარმოდგენილი ზოგიერთი ურთიერთ გამომრიცხავი წესების დადგენა საკმაოდ მარტივია ( მაგალითად, ორ ერთნაირ წესს გააჩნია სხვადასხვა სიდიდის დარწმუნებლობის კოეფიციენტი)

2) ახალი ცოდნის დამატება იწვევს ცოდნის ბაზის მეორადი მოდიფიკაციის პროცედურას. ეს პრობლემა ხდება მნიშვნელოვანი „აშინ, როცა ახალ წესში შეტანილია ახალი მნიშვნელობები, არგუმენტები და ობიექტები. მაგალითად, ახალი ცოდნის „კულტურის ადგილის შექმნა იწვევს ცოდნის ბაზის მეორადი მოდიფიკაციის პროცედურას, კერძოთ საჭიროა ლექსიკონს ახალი სიტყვა , ადგილების სიაში ახალი ადგილი, დახასიათდეს ეს ადგილი , როგორც სტერილური და არასტერილური. შემდეგ, თუ ადგილი არასტერილურია, საჭიროა მომხმარებლისგან მოვილოთ და ცოდნის ბაზაში შევიტანოთ მიკროორგანიზმების სია, რომლებიც ასოცირდებიან ამ ადგილთან და ა.შ. ამ მოდიფიკაციებიდან მხოლოდ ზოგიერთია ცხადი და მაშასადამე მათი ავტომატიზირება შესაძლოა, ხოლო დანარჩენი წინასწარ არ არიან ცნობილი.

ამრიგად, ექსპერტული სისტემა MYCIN – ში ცოდნის მიღების ძირითადი ეტაპები ავტომატიზირებულია არასრულყოფილად. მაგრამ, ახალი ცოდნის შექმნის საშუალება, რომელიც არ იწვევს არსებული ატრიბუტების და ობიექტების მნიშვნელოვან შეცვლას და ახსნის მექანიზმის საშუალებით მოახდინოს ახალი ცოდნის სისწორის შემოწმება, საკმარისია ცოდნის ბაზის შევსებისა და გამართვისათვის.

#### ლიტერატურა

1. Смолин Д.В. Введение в искусственный интеллект Конспект лекций. М. Физматлит. 2004.
2. Э.В.Попов и др. Статические и динамические экспертные системы: М., Финансы и статистика. 1996 .
3. Джексон П. Введение в экспертные системы.М., 2001.
4. Хабаров С. Экспертные системы (конспект лекции), СПб, 2002 .
5. Муромцев Д.И. Введение в технологию экспертных систем. Учебное Пособиеб, СПб, 2005.
6. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам.М.,Мир, 1989.