

## **ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემები**

თეა თოდუა  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### **რეზიუმე**

უკანასკნელ წლებში ინტენსიურად ვითარდება ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემები. რეალური სამყაროს ამოცანების უმეტესობა საკმაოდ რთულია იმისათვის, რომ მისი გადაწყვეტა მხოლოდ ერთი, ცალკე აღებული მეთოდის საშუალებით შეიძლებოდეს. ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემები საშუალებას იძლევა ეფექტურად გააერთიანოს ფორმალიზებადი და არაფორმალიზებადი ცოდნა ხელოვნური ინტელექტის ტრადიციულ საშუალებათა ინტეგრაციით. სტატიაში განხილულია ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემების აგების სხვადასხვა მეთოდი.

**საკვანძო სიტყვები:** ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემები. ხელოვნური ინტელექტი.

### **1. შესავალი**

თანამედროვე ხელოვნური ინტელექტუალური სისტემები მათი არქიტექტურის მიხედვით შეიძლება დაგვით ერთკომპონენტთან (single component) და მრავალკომპონენტთან (multi component) სისტემებად [1].

ერთკომპონენტის ინტელექტუალური სისტემები დაფუძნებულია ხელოვნური ინტელექტის მხოლოდ ერთი საშუალების გამოყენებაზე (მაგალითად, ექსპერტული სისტემა ან ხელოვნური ნეირონული ქსელი). მრავალკომპონენტის ინტელექტუალური სისტემები თავის თავში აერთიანებენ ხელოვნური ინტელექტის სხვადასხვა საშუალებას ერთიან გამოთვლით მოდელში. მის კომპონენტებს გააჩნიათ საკუთარი ფუნქციონალურობა და გაერთიანებულნი არიან მრავალშრიან იერარქიულ მოდელში. ასეთი სისტემის კორექტული მუშაობა დამოკიდებულია ყველა შრის სწორ მუშაობაზე, ერთ-ერთი შრის არასწორად მუშაობამ შეიძლება გამოიწვიოს სხვა შრეების არაკორექტული მუშაობა. ცხადია, ეს აისახება მთელი სისტემის მუშაობაზე. მრავალკომპონენტის ინტელექტუალური სისტემები აერთიანებენ ხელოვნური ინტელექტის სხვადასხვა საშუალებას, რომლებიც ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან დასმული ამოცანის გადაწყვეტის მისაღებად.

მრავალკომპონენტის ინტელექტუალური სისტემების ერთ-ერთი სახეს წარმოადგენენ ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემები. ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემები საშუალებას იძლევა უფრო ეფექტურად გააერთიანოს ფორმალიზებადი და არაფორმალიზებადი ცოდნა ხელოვნური ინტელექტის ტრადიციული საშუალებების ინტეგრაციის ხარჯზე. ძირითადი იდეა მდგომარეობს არა იმაში, რომ გადაწყვეტილების ძიებისა და ამოცანის ამოსახსნელად გამოყენებულ იქნას ერთი უნივერსალური ინსტრუმენტი, არამედ ხელოვნური ინტელექტის, გადაწყვეტილების მიღების თეორიისა და სისტემური ანალიზის მეთოდების კომბინაცია. ჰიბრიდული სისტემები, რომლებიც მუშაობენ ცოდნის წარმოდგენისა და დამუშავების რამდენიმე მეთოდის გაერთიანების პრინციპის საფუძველზე, მნიშვნელოვნად უკეთესი შედეგების მიღების საშუალებას იძლევა, ვიდრე ეს ხელოვნური ინტელექტის მხოლოდ ერთი მეთოდის გამოყენებით მიიღწევა იმავე პრობლემის გადასაჭრელად. ჰიბრიდული

ინტელექტუალური სისტემების გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია მედიცინაში, საბანკო საქმეში, სახეთა ამოცნობაში, გაუმართაობის აღმოჩენისას ტექნიკურ სისტემებში, იმ სფეროებში, სადაც საქმე გვაქვს როგორც მკაფიო, ასევე არამკაფიო ცოდნასთან [2,3,4].

## **2. ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემების კლასიფიკაცია**

ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემების კლასიფიკაცია, მათი არქიტექტურის გათვალისწინებით, შესაძლებელია შემდეგ ტიპებად: 1. კომბინირებული; 2. ინტეგრირებული; 3. გაერთიანებული და 4. ასოციაციური; 5. განაწილებული.

კომბინირებული ინტელექტუალური სისტემის მაგალითად შეიძლება გამოდგეს ჰიბრიდული ექსპერტული სისტემები, რომლებიც წარმოადგენენ ექსპერტული სისტემებისა და ნეირონული ქსელების კომბინაციას და აერთიანებენ როგორც ფორმალიზებად (ექსპერტულ სისტემებში) ასევე არაფორმალიზებად ცოდნას (ნეირონულ ქსელებში).

კომბინირებული სისტემების მაგალითია სამედიცინო დიაგნოსტიკის ექსპერტული სისტემა [5]. სამედიცინო დიაგნოსტიკის ჰიბრიდული ექსპერტული სისტემის შემადგენლობაში შედის სამი ძირითადი კომპონენტი: 1) არამკაფიო ნეირონული ქსელი; 2) არამკაფიო ექსპერტული სისტემა და 3) გადაწყვეტილების მიღებისა და მიღებული გადაწყვეტილების განმარტების მოდული. ჰიბრიდული ექსპერტული სისტემის შემადგენლობაში შედის კიდევ ორი დამატებითი ინტერფეისული მოდული, რომლებიც აერთიანებენ ნეირონულ ქსელსა და ექსპერტულ სისტემას და არამკაფიო ნეირონული ქსელისა და არამკაფიო ექსპერტული სისტემების მონაცემების ურთიერთგარდაქმნის საშუალებას იძლევიან. სამედიცინო დიაგნოსტიკის ჰიბრიდული ექსპერტული სისტემა მოიცავს ცოდნის რიცხვით და ლინგვისტურ წარმოდგენას, სისტემაში გამოიყენება თვითორგანიზებადი არამკაფიო ნეირონული ქსელისა (ონლაინ სწავლების შესაძლებლობით) და არამკაფიო ექსპერტული სისტემის იერარქიული ინტეგრაცია, რაც ოპტიმიზებულია გენეტიკური ალგორითმის მეშვეობით. ნეირონული ქსელი ხელს უწყობს სწრაფ სწავლებას, მაშინ როცა ექსპერტული სისტემა საშუალებას იძლევა განხორციელდეს არამკაფიო მონაცემების ინტერპრეტაცია და მიღებული გადაწყვეტილების განმარტება. ნეირონული ქსელის სწავლება შესაძლებელია როგორც მასწავლებლით, ასევე მის გარეშე, ასევე შესაძლებელია სწავლება ძველი ინფორმაციის გადაშუქების გარეშე. არამკაფიო ექსპერტული სისტემა – ეს ექსპერტული სისტემაა, რომელიც გაერთიანებულია არამკაფიო სიმრავლეებთან. ექსპერტული სისტემა აგებულია ცოდნის საფუძველზე, რომელიც ჩაშენებულია უკვე ნასწავლ ნეირონულ ქსელში. ექსპერტული სისტემა გამჭვირვალეა მომხმარებლისათვის. გადაწყვეტილებები, რომლებიც მიღებულია ექსპერტული სისტემის მიერ, ადვილია გასაგებად, რამდენადაც წესები ცოდნის ბაზაში “if then” ფორმატში ბუნებრივ ენას იყენებს. გარე შესასვლელი მონაცემები ჰიბრიდულ სისტემაში აღწევს როგორც ექსპერტული სისტემის, ასევე ნეირონული ქსელების გავლით. ექსპერტული სისტემისა და ნეირონული ქსელის გამოსასვლელი მონაცემები აღწევს გადაწყვეტილების მიღებისა და მიღებული გადაწყვეტილების განმარტების მოდულის შესასვლელს.

ინტეგრირებული ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემების არქიტექტურაში წამყვანი ადგილი უჭირავს ძირითად მოდულ-ინტეგრატორს, რომელიც დასმული ამოცანისა და გადაწყვეტილების ძიების მიმდინარე პირობებისგან დამოკიდებულებით ფუნქციონირებისათვის ირჩევს სისტემაში შემავალ ამ ან თუ იმ ინტელექტუალურ მოდულს.

ინტეგრირებული ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემის მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ სისტემა RAISON[6]. ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემა RAISON – ეს არის ინტეგრირებული, ცოდნაზე დაფუძნებული ექსპერტული სისტემა, რომელიც მოიცავს ნეირონულ ქსელს (გამოიყენება როგორც სწავლების ინსტრუმენტი), მონაცემთა ბაზას, გეოინფორმაციულ სისტემას, კარტოგრაფიულ ანალიზატორს, გრაფიკულ და პროგრამულ-ენობრივ კომპონენტებს.

ნეირონული ქსელებისა და გენეტიკური ალგორითმების დამახასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს მათი სწავლების უნარი და ადაპტაცია ოპტიმიზაციის მეშვეობით. ამ მეთოდების გაერთიანება ხელოვნური ინტელექტის სხვა მეთოდებთან საშუალებას იძლევა გაიზარდოს მათი სწავლების ეფექტურობა. ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემების ასეთი არქიტექტურა შეიძლება მივაკუთვნოთ გაერთიანებული ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემების ტიპს.

გაერთიანებული ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემის მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ენერგეტიკულ სისტემებში გაუმართაობის განსაზღვრის ჰიბრიდული ექსპერტული სისტემა [3]. ენერგეტიკულ სისტემებში გაუმართაობის განსაზღვრის ჰიბრიდული ექსპერტული სისტემა შედგება შემავალი პირობის მოდულისა და დასკვნის მოდულისგან. დასკვნის მოდული განკუთვნილია გაუმართაობის ადგილმდებარეობისა და ტიპის განსაზღვრავად ხელოვნური ნეირონული ქსელის გამოყენებით (მრავალშრიანი პერსეპტრონი).

ასოციაციური ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემების არქიტექტურა გულისხმობს, რომ ასეთი სისტემების შემადგენლობაში შემავალ ინტელექტუალურ მოდულებს შეუძლიათ იმუშაონ როგორც ავტონომიურად, ასევე სხვა მოდულებთან ინტეგრაციაში. ამჟამად, ასეთი ტიპის სისტემების არასაკმარისად განვითარების გამო, ასოციაციური არქიტექტურის მქონე სისტემები საიმედოდ არ ითვლება და მათ ფართო გამოყენება ვერ ჰპოვეს.

გარდა ამისა, შეიძლება განვიხილოთ ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემების კიდევ ერთი ტიპი, რომლის გამოჩენაც განპირობებულია ცოდნისა და მონაცემების მოცულობის მნიშვნელოვანი ზრდით, რომლებიც შეიძლება შენახული იქნეს ინტერნეტის მეშვეობით მისაწვდომ განაწილებულ მონაცემთა ბაზებში. ასეთი ტიპის ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემის არქიტექტურას განაწილებული ეწოდება. განაწილებული ინტელექტუალური სისტემები წარმოადგენენ მულტიაგენტურ მიდგომას განაწილებული ხელოვნური ინტელექტის სფეროში [7]. ამ მიდგომის დროს თითოეული ფუნქციონალური ინტელექტუალური მოდული მუშაობს ავტონომიურად და ურთიერთქმედებს სხვა მოდულებთან (აგენტებთან) შეტყობინებების ქსელში გადაცემის გზით. ამჟამად არსებული ინტელექტუალური სისტემები, როგორცაა ექსპერტული სისტემები, ნეირონული ქსელები და ა. შ. შეიძლება გარდაქმნილ იქნან აგენტებად.

### **3. ჰიბრიდული სისტემების აგების აუცილებლობის ანალიზი**

არამკაფიო სიმრავლების თეორიის, ნეირონული ქსელების, გენეტიკური ალგორითმებისა და მოდელირების სხვა მეთოდების გაერთიანებამ და განუსაზღვრელობების დამუშავებამ გამოიწვია პერსპექტიული სამეცნიერო მიმართულების შექმნა, რომელიც ცნობილია რბილი გამოთვლების სახელწოდებით. რბილი გამოთვლების მთავარ კომპონენტებს წარმოადგენენ არამკაფიო ლოგიკა, ნეირონული ქსელები, გენეტიკური ალგორითმები და ალბათური გამოთვლები. რბილ გამოთვლებში ძალიან მნიშვნელოვანია ის, რომ მისი შემადგენელი მეთოდოლოგიები ერთმანეთს ავსებენ და არ წარმოადგენენ კონკურენტებს. მრავალი არსებული პრობლემის გადაწყვეტა შეუძლებელია მხოლოდ ერთი მეთოდით, ამიტომაც ინტელექტუალური სისტემების განვითარებაში წარმატებას შეიძლება მივაღწიოთ რბილი გამოთვლების ზემოთ ჩამოთვლილი შემადგენელი კომპონენტების კომბინაციის გზით, ჰიბრიდულ სისტემებში. თითოეულ შემადგენელ მეთოდოლოგიას აქვს ბევრი შესაძლებლობა მათი გამოყენებისათვის რბილი გამოთვლების ფარგლებში. არამკაფიო ლოგიკა დევს უზუსტობებთან მუშაობის მეთოდების, ინფორმაციის გრანულირებისა და მიახლოებითი განხილვების საფუძველში. ნეიროგამოთვლები ასახავენ სწავლის უნარიანობას, ადაპტაციასა და იდენტიფიკაციას. გენეტიკური ალგორითმები შემთხვევითი ძიების სისტემატიზებისა და მახასიათებლების ოპტიმალური მნიშვნელობების მიღწევის საშუალებას იძლევა. ალბათური გამოთვლები უზრუნველყოფენ ბაზას განუსაზღვრელობების სამართავად და მსჯელობის ჩასატარებლად. ყოველივე ზემოთ თქმულის საფუძველზე, შეიძლება ავლნიშნოთ, რომ ერთ-ერთი ხერხი ჰიბრიდული სისტემების შესაქმნელად, შეიძლება გახდეს არამკაფიო ექსპერტული სისტემის, ხელოვნური ნეირონული ქსელებისა და გენეტიკური ალგორითმების ინტეგრაცია. ექსპერტული სისტემა იძლევა მოსალოდნელ პასუხებს კონკრეტულ სიტუაციაში და აჩვენებს, როგორ იცვლებიან ეს პასუხები ახალ სიტუაციებში. ეს საშუალებას იძლევა შევავსოთ ახალი სტრატეგიების ან პროცედურების გავლენა გადაწყვეტილებაზე, დავამატოთ ახალი წესები ან შევცვალოთ არსებული. ჰიბრიდული ტექნოლოგიების შექმნისას, მონაცემების მიხედვით სისტემების გაერთიანების გარდა, შეიძლება გამოვიყენოთ ნეიროგამოთვლები არამკაფიო ექსპერტული სისტემების კერძო ამოცანების გადასაწყვეტად. გენეტიკური ალგორითმების გამოყენება ჰიბრიდულ სისტემებში განპირობებულია მათი გამოყენების მაღალი ეფექტურობით ნეირონული ქსელის სწავლების პროცედურაში. ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემების თეორიის, მეთოდოლოგიისა და ტექნოლოგიების ანალიზი აჩვენებს, რომ აქ ჯერ კიდევ ბევრია გასაკეთებელი. თუმცა, ცალსახად შეიძლება ითქვას, რომ ჰიბრიდულ ინტელექტუალურ სისტემებს შეუძლიათ გადაწყვიტონ ის ამოცანები, რომელთა მოდელირებაც შეუძლებელია რომელიმე ერთი მეთოდის გამოყენებით, აჩქარებენ ინტელექტუალური სისტემების შექმნას, და რამდენჯერმე ამცირებენ შეცდომას პროგნოზირებაში.

### **4. დასკვნა**

უკანასკნელ წლებში ხელოვნური ინტელექტის ტრადიციული მეთოდები, როგორცაა ექსპერტული სისტემები, არამკაფიო სისტემები, ხელოვნური ნეირონული ქსელები, გენეტიკური

ალგორითმები და ა. შ. სულ უფრო და უფრო ერთიანდება ჰიბრიდულ ინტელექტუალურ სისტემებში. ჰიბრიდული ინტელექტუალური სისტემები საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნეს ხელოვნური ინტელექტის ტრადიციული საშუალებების უპირატესობა, მათი ზოგიერთი ნაკლის გადალახვის გზით ჰიბრიდულ ინტელექტუალურ სისტემებს შეუძლია ისეთი ამოცანების გადაწყვიტა, რომლებიც არ წყდება ხელოვნური ინტელექტის ცალკეული მეთოდებით.

**ლიტერატურა:**

1. Jacobsen H.A. A generic architecture for hybrid intelligent systems. IEEE Fuzzy Systems. Anchorage, Alaska. 1998. P. 709-714
2. Herrmann C. A hybrid fuzzy-neural expert system for diagnosis. Proc. of IJCAI. Montreal. 1995. P. 1-10
3. Mori H. et al. A hybrid intelligent system for fault detection in power systems. Proc. of IEEE IJCNN. Honolulu. 2002. Vol. 2. P. 2138-2143
4. Sivathasan S., Cecelja F., Balachandran W. ECG Diagnosis using neural network and fuzzy expert system. Proc. of PREP'99. UMIST. Manchester. 1999. P. 340-343
5. Meesad P., Yen G. A hybrid intelligent system for medical diagnosis. Proc. of IJCNN'01. Washington. 2001. P. 2558-2563
6. Lam D., Swayne D. A hybrid expert system and neural network approach for environmental application. Proc. of ICESD. Bangkok. 1994. P. 298-303
7. Lhotská L., Vlcek T. Efficiency enhancement of rule-based expert systems. Proc. of the 15th IEEE CBMS. 2002. P. 1063-1068.

**HYBRID INTELLIGENT SYSTEMS**

Todua Tea  
Georgian Technical University

**Summary**

Hybrid intelligent systems are intensively developing during in last years. Problems of the real world are quite difficult and it is not possible to solve them by means of only one separately taken method. Hybrid intellectual systems allow to connect formalizable and non-formalizable knowledge more effectively due to integration of traditional means of an artificial intellect. In this article some methods of construction of hybrid intellectual systems are considered.

**ГИБРИДНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

Тодуа Т.  
Грузинский Технический университет

**Резюме**

В последние годы интенсивно развиваются гибридные интеллектуальные системы. Задачи реального мира достаточно трудные для того, чтобы возможно было их решение с помощью только одного, отдельно взятого метода. Гибридные интеллектуальные системы позволяют более эффективно соединять формализуемые и неформализуемые знания за счет интеграции традиционных средств искусственного интеллекта. В статье рассмотрено несколько методов построения гибридных интеллектуальных систем.