

ეკონომიკაში დაგეგმვის ამოცანებისათვის ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების თეორიული მიდგომების ზოგადი მიმოხილვა

გორა უგულავა

ქუთაისის უნივერსიტეტის დოქტორანტი

ugulava.gocha@unik.edu.ge

საკვანძო სიტყვები: ეკონომიკური დაგეგმვა; ხელოვნური ინტელექტი; გადაწყვეტილებათა მიღება; თეორიულ-ალბათობითი (სტოქასტიკური) მოდელი; დაგეგმვის ალგორითმები

J.E.L. classification: O21, C02

DOI: <https://doi.org/10.52244/ep.2021.22.11>

ანოტაცია. ხელოვნური ინტელექტის მეთოდები და ტექნოლოგიები სულ უფრო მეტად მკვიდრდება ჩვენს ყოველდღიურობაში. ნაშრომში განხილულია ეკონომიკის ისეთ მნიშვნელოვან სფეროში, როგორცაა დაგეგმვა და გადაწყვეტილებათა მიღება, ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების და მიდგომების მრავალფეროვნება, მიმოხილულია ძირითადი ალგორითმების, მოდელების და თეორიების შინაარსი, ძლიერი და სუსტი მხარეები. ყურადღება გამახვილებულია მათ კლასიფიკაციაზე. გარემოს ფაქტორებისადმი დასაგეგმი პროცესის დამოკიდებულებიდან გამომდინარე განხილულია როგორც კლასიკური, ასევე არაკლასიკური დაგეგმვის გარემოები. ცალკეა გამოყოფილი დროისა და რესურსების ფაქტორების ზეგავლენა დაგეგმვის პროცედურებზე. აქცენტირებულია ყურადღება განუსაზღვრელობის პირობებში დაგეგმვის მოდელების თეორიულ-ალბათობითი (სტოქასტიკური) აპარატის საფუძველზე აგების საკითხებზე.

ციტირებისთვის: უგულავა გ. (2021) ეკონომიკაში დაგეგმვის ამოცანებისათვის ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების თეორიული მიდგომების ზოგადი მიმოხილვა. ეკონომიკური პროფილი, №2(22), გვ. 107-122. DOI: <https://doi.org/10.52244/ep.2021.22.11>

შესავალი

ბოლო დროს საერთაშორისო პრაქტიკაში მრავალი სფერო მოიცვა ციფრულმა ტრანსფორმაციამ. თანამედროვე განვითარების პირობებში, მმართველობასა და პოლიტიკის განსაზღვრაში საინფორმაციო-კომუნიკაციური ტექნოლოგიების ფართო დანერგვამ ხელი შეუწყო როგორც თავად ამ დარგების, ასევე მათში მოღვაწე პერსონალის ძირეულ ცვლილებებს. მმართველობითი სუბიექტები, თავიანთი საქმიანობის პირობებში, დაგეგმვის ეტაპიდან გადაწყვეტილებათა მიღების ეტაპამდე აწყდებიან აუცილებლობას ოპერირება გაუწიონ დიდ მონაცემებს (Big Data), არაწრფივ, ექსპონენციალურად ზრდად, კრიტიკულად გადატვირთულ მონაცემებიან სცენარებს. ყოველივე ამას ერთვის თან გადაწყვეტილებათა მიღების ვადების მკვეთრი შემცირება. ამ პირობებში ადამიანის ინტელექტუალურ-ანალიტიკური შესაძლებლობების ამოწურვითაა

განპირობებული ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიებს დანერგვის აუცილებლობა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს უმოკლეს ვადებში, ოპერატიულად ანალიტიკურად გადამუშავდეს მონაცემთა უზარმაზარი მასივები, შეუღლდეს რთულად დაკავშირებადი ობიექტები, მოიძიოს დაგეგმვის თანამედროვე ახალი ოპტიმალური გზები, მეთოდები, ტექნოლოგიები.

თანამედროვე საინფორმაციო, კომპიუტერულ-პროგრამული და სხვა ტექნოლოგიების დაგეგმვასა და გადაწყვეტილებათა მიღების პროცესებში გამოყენების საკითხები სულ უფრო მზარდ აქტუალობას იძენს. გარკვეული ასახვა მათ რიგი ავტორების ნაშრომებში ჰპოვეს: Cunningham, E. (2021), Mhlanga, D. (2021), Szalavetz, A. (2019), The World Bank (2019), Kunnathuvalappil Hariharan, N. (2018), Kumar, S. L. (2017), Соколов, И. А. И др. (2017), Survey report (2017), UK Digital Strategy Policy paper (2017), OECD (2014), Preparing For The Future Of Artificial Intelligence (2016), Barth T.J., Arnold E. (1999) და სხვა. თუმცა, ეს თემა სრულად შესწავლილი და ამოწურული ვერ იქნება. დიდ კვლევით ინტერესს იწვევს ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიების გამოყენების გზები დაგეგმვის ამოცანათა გადაჭრის საკითხებში, თანამედროვე ძიებათა მიმართულებები, სხვადასხვა მეთოდურ-ალგორითმული მიდგომების პერსპექტივები.

ძირითადი ნაწილი

ხელოვნურ ინტელექტს განვმარტავთ როგორც ხელოვნურ, რთულ კომპიუტერულ-პროგრამულ-აპარატულ სისტემას კოგნიტიურ-ფუნქციონალური არქიტექტურით და საჭირო ტევადობისა და სწრაფმოქმედების გამოთვლითი სიმძლავრებით, რომელსაც შეუძლია ადამიანისათვის დამახასიათებელი შემოქმედებითი და ინტელექტუალური ფუნქციების შესრულება, გარკვეული კლასის სირთულის ამოცანათა გადასაჭრელად ევრისტიკული პროგრამების შექმნა (მათ შორის თვითსწავლების საფუძველზე) და მათი დახმარებით ამ ამოცანათა გადაჭრა.

დეფინიციის საბაზისო, საწყის დონეზე, დაგეგმვა შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც მიზნის მიღწევისათვის მოქმედებათა თანმიმდევრობის განსაზღვრის პროცესი. დაგეგმვის გარემოდან გამომდინარე ის შეიძლება დაიყოს კლასიკურ და არაკლასიკურ დაგეგმვის გარემოდ. თუ გარემო სრულად დაკვირვებადია, დეტერმინირებული და სტატიკურია (გარე ცვლილებები იგნორირებულია) და დროისა და მოქმედების თვალსაზრისით დისკრეტულია, მაშინ **კლასიკური დაგეგმვის გარემოსთან** გვაქვს საქმე. ნაწილობრივ დაკვირვებადი ან სტოქასტიკური გარემოს შემთხვევაში **არაკლასიკური დაგეგმვის გარემოს** მივიღებთ. კლასიკური დაგეგმვის გარემო რთული ეკონომიკური პროცესების დაგეგმვასთან მიმართებაში შესაძლოა განვიხილოთ, როგორც რეალური ამოცანის ერთგვარი ფორმალიზაცია, მისი მოდელირების ეტაპი, რაც საშუალებას მოგვცემს უფრო ღრმად ჩავწვდეთ ამ პროცესების არსს, ანალიტიკური ინსტრუმენტების გამოყენებით მოვახდინოთ მათი დეტალიზება, ალგორითმული აღწერა და ავტომატიზირება. თუმცა, ზოგ შემთხვევებში (მაგ., რიგი ლოგისტიკური ოპერაციების დაგეგმვა), კლასიკური დაგეგმვის გარემოს მეთოდოლოგიაც საკმაოდ ეფექტურია. (Russell, S., & Norvig, P. 2002)

კლასიკური დაგეგმვის გარემოს პროცედურები მჭიდრო კავშირშია ძიების ალგორითმებთან და მოქმედებათა პროპოზიციონალური და პირველი რიგის ლოგიკის მათემატიკური აპარატის გამოყენებით ასახვასა და წარდგენასთან.

დაგეგმვის პროცესის ალგორითმიზაციის ინტუიციურად პირველი, ყველაზე მარტივი მიდგომა - **სრული მოწესრიგებითი დაგეგმვა** (Total Order Planning - TOP) - არსებულ მდგომარეობათა სივრცეში ძიების გამოყენება. ძიება შეიძლება განვახორციელოთ როგორც პირდაპირი, ასევე მიზნიდან უკუმიმართულებებით. **პროგრესული დაგეგმვის** პროცედურა მოიცავს საწყისი მდგომარეობიდან დაწყებული, შესაძლო მდგომარეობათა სივრციდან აღებული ყოველი მდგომარეობისათვის, ყველა არსებული მოქმედების თანმიმდევრულ გადარჩევას, ყოველ ბიჯზე მიზნის მიღწევის პირობის შემოწმებითა და თითოეული ეტაპის ღირებულების გათვალისწინებით. ანალოგიური პროცედურით ხორციელდება **რეგრესული დაგეგმვის** პროცესი, რომელიც უკუმიმართულებით, მიზნიდან (შედეგიდან) - მის გამომწვევ (წინმსწრებ) მოქმედებამდე უკან მიემართება და ის მხოლოდ რელევანტურ მოქმედებებს განიხილავს. (Ghallab M., Howe A., Knoblock C A., and McDermott D. 1998)

წრფივი თანმიმდევრობითობის საპირისპიროდ, დაგეგმვის ალგორითმი მოქმედებათა პარალელური შესრულებით ან მათი შესრულების თანმიმდევრობის მითითების გარეშე **ნაწილობრივ-მოწესრიგებითი დაგეგმვის** (Partial Order Planning – POP) ალგორითმს წარმოადგენს. ალგორითმში მოქმედებათა, მოწესრიგების შეღუდვათა, მიზეზობრივი კავშირების და ღია წინაპირობების სიმრავლეთა კომპონენტების არსებობა ამ ტიპის ალგორითმების რიგ უპირატესობებს განაპირობებს. კერძოდ: მიზეზობრივი კავშირები უზრუნველყოფს ძიების იმ სივრცეების დროულ მოკვეთას, რომლებიც არ შეიცავენ შედეგებს დაუძლეველი კონფლიქტების გამო. დეკომპოზიციის წყალობით მიიღწევა ვარიანტების შერჩევის მოქნილობა. სხვა შემთხვევაში ყველა შესაძლო ლინეარიზაციის ვარიანტების რაოდენობა ძალზე დიდი იქნებოდა, რაც პროცესისათვის შესაძლოა დაუძლეველ გარემოებად ქცეულიყო. ნაწილობრივ-მოწესრიგებით დაგეგმვასაც რიგი ნაკლოვანებები გააჩნია: დეკომპოზიციის შედეგად მიღებული შუალედური მდგომარეობები არ არის ცხადად წარმოდგენილი. ამდენად, რთულია იმის დადგენა, მოცემულ ეტაპზე თუ რამდენადაა დაცილებული გეგმა მიზნის მიღწევის მდგომარეობისაგან. დღეისათვის არ არსებობს სრული და ზუსტი აღქმა იმისა, თუ როგორ გამოვთვალოთ ნაწილობრივ-მოწესრიგებითი დაგეგმვისას ევრისტიკული ფუნქციები. არსებული პრაქტიკით ევრისტიკების გასაანგარიშებლად უკეთეს შედეგებს იძლევა დაგეგმვის გრაფების მათემატიკური აპარატის გამოყენება. (Nguyen X. and Kambhampati S. 2001)

ბოლო პერიოდში წარმოებულმა პროპოზიციონალური ლოგიკის მსჯელობათა ფორმირების და ოპერირების ეფექტური ალგორითმების შემუშავების კვლევებმა კვლავ გააღვივა ინტერესი დაგეგმვისადმი ერთ-ერთ ადრეული მიდგომის - **პროპოზიციონალური ლოგიკის მეშვეობით დაგეგმვის** მიმართ. დაგეგმვა შესაძლოა ხორციელდებოდეს სიტუაციური ათვლის ფორმალურ სისტემაში რაიმე თეორემის დამტკიცების პრინციპებით. საწყისი მდგომარეობისა და გამოყვანის აქსიომების მეშვეობით, მოქმედებათა (მსჯელობათა) გარკვეული თანმიმდევრობის შედეგად მიზანი „ჭეშმარიტის“ (True) მნიშვნელობას შეიძენს. (Kautz H. and Selman B. 1998)

ზემოთ მოყვანილი ყველა მეთოდისათვის აქტუალურია დაგეგმვის პროცესში კომბინატორული აფეთქების კონტროლი. რეალურ პრობლემურ ამოცანებში შესაძლო მდგომარეობათა რაოდენობა ექსპონენციალურად იზრდება ობიექტთა მახასიათებელი თვისებების, ურთიერთქმედებების,

სხვა, მნიშვნელობის მქონე ფაქტორების რაოდენობათა მიხედვით. ამ მხრივ სირთულეების დასაძლევად მიზანშეწონილია დეკომპოზიციის, შედეგობრივი კავშირების, დაგეგმვის გრაფების, მოწესრიგებადი ქვემიზნების და ევრისტიკული ფუნქციების გამოყენება.

განხილული მიდგომები საერთო ნაკლით ხასიათდება - მათში არ არის გათვალისწინებული ეკონომიკური დაგეგმვისათვის ასეთი არსებითი ფაქტორები, როგორებიცაა დრო და რესურსები. რესურსების შეზღუდულობა, მოვლენათა დროში განვრცობა, მათი დაწყებისა და დასრულების მომენტები ეკონომიკური პროცესებისათვის არსებით მახასიათებლებს წარმოადგენენ. დროითი ფაქტორის გათვალისწინება ხდება ალგორითმებში მოქმედებათა ხანგრძლივობის, მათი დაწყებისა და დასრულების დროთა ანალიზით. **კრიტიკული გზის მეთოდი** (Critical Path Method – CPM) გამოყენებით, თითოეული მოქმედებისათვის დროითი რეზერვის გაანგარიშებისა და მოქმედებათა განხორციელების თანმიმდევრობის გათვალისწინებით, კრიტიკული გზის დროითი რეზერვის ნულოვანი მნიშვნელობის პირობებში აიგება მოქმედებათა განრიგი, რომელიც გეგმის შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს. (Aliyu, A. M. 2012).

მეთოდების რეკომბინირება, ალგორითმების შევსება, ევრისტიკათა მოდიფიცირება - ეს მიმართულებები დღეისათვის აქტიურად წარმოებადი კვლევების თემატიკაა. ამგვარი რთული ამოცანების გადაჭრის პერსპექტიული დაგეგმვის მეთოდია - იერარქიული დეკომპოზიცია, რომელიც **ამოცანათა იერარქიულ ქსელებს** (Hierarchical Task Network – HTN) ეფუძნება. დაგეგმვა ზემოდან ქვემოთ წარმოებს, ამოცანა აღიწერება ზოგადად, აბსტრაქციის მაღალ დონეზე და შემდგომ გეგმებში ზუსტდება მოქმედებათა დეკომპოზიციის მეშვეობით. ყოველ შემდგომ ბიჯზე მაღალი დონის ამოცანა დაიყვანება ქედა დონის მოქმედებათა ნაწილობრივ მოწესრიგებულ სიმრავლემდე. პროცესი გრელდება ვიდრე გეგმაში მხოლოდ პრიმიტიული მოქმედებები არ დარჩება. რაიმე გეგმის სრული დამუშავებისას, დაგეგმვის გამოცდილების დაგროვებით, შესაძლებელია მიღებული გეგმის გეგმათა ბიბლიოთეკაში შენახვა, მომავალში სხვა ანალოგიური, ან უფრო მაღალი დონის გეგმების შედგენის პროცესში მათ გამოსაყენებლად. ამდენად, დროთა განმავლობაში შექმნილი მეთოდების განზოგადებით მიიღწევა კომპეტენტურობის და გეგმების შედგენის პროცესის ეფექტურობის ზრდა. დადებითი მხარეებიდან ასევე აღსანიშნავია რეალურ პირობებში იერარქიული გეგმების განხორციელების და კორექტირების სიმარტივე, ქვეამოცანათა ერთობლივი გამოყენების შესაძლებლობა, დიდი რთული გეგმების მცირე გამოთვლითი დანახარჯებით ფორმირება. ამ ტიპის დაგეგმვის ეფექტურობის დამადასტურებელია მათი პრაქტიკაში ფართოდ გავრცელება, განსაკუთრებით საწარმოო და ლოჯისტიკურ პროცესებში. (Kambhampati S., Mali A. D., and Srivastava B. 1998, Georgievski, I., & Aiello, M. 2014).

თუ შეზღუდული არადეტერმინირებულობის პირობებში ამოცანა შეიძლება გადაწყდეს ყოველი შესაძლო ვარიანტისათვის გეგმის შედგენით, შეუზღუდავი არადეტერმინირებულობის პირობებში ყველა შესაძლო წინაპირობის ან შედეგის წინასწარ განსაზღვრა შეუძლებელია. ამ პირობებში აუცილებელია უკუკავშირის არსებობა, გეგმის შესრულების მიმდინარეობის უწყვეტი მონიტორინგი, მისი გადახედვა და გარემო ცვლილებების შესაბამისი კორექტირება.

განვიხილოთ ამგვარი, **არაკლასიკური დაგეგმვის გარემოს** პირობებში გამოყენებული მიდგომები და მეთოდები.

ყველაზე მარტივი გამოსავალი სტანდარტული, ზოგადი, თანმიმდევრობითი გეგმების შემუშავება და მათი რეალიზაციაა, არსებული წინაპირობებისა და მისაღები შედეგების გაუთვალისწინებლად. დაგეგმვის ამგვარ გზას - **თავსებადი დაგეგმვა** ეწოდება და იგი იძულების იდეას ეფუძნება. ამ იდეის მიხედვით, მიმდინარე სიტუაციის შესახებ ნაწილობრივი ინფორმაციის პირობებშიც კი, არსებული მდგომარეობა იძულების გზით შეიძლება გადაყვანილ იქნას ახალ, განსხვავებულ მდგომარეობაში. ხშირ შემთხვევებში ეს მეთოდი გამოუყენებელია. იგი სათანადო დათქმებით, შეიძლება გამოყენებულ იქნას მხოლოდ იმ ვითარებაში, როდესაც სხვა ალტერნატიული გზები დიდ დანახარჯებთანაა დაკავშირებული ან არ მოიპოვება არანაირი საწყისი ინფორმაცია დაგეგმვის სხვა მეთოდების გამოსაყენებლად.

განუსაზღვრელობის დაძლევის ერთ-ერთი გზაა **პირობითი დაგეგმვის** გამოყენება. სრული დაკვირვებადობის პირობებში ჩვენთვის დროის ყოველ მომენტში ცნობილია მიმდინარე ვითარება. რადგან გარემო არადეტერმინირებულია, წინასწარ ვერ განვჭვრეტთ ჩვენი მოქმედებების შედეგებს. ამდენად, გეგმაში პირობითი ეტაპების ჩაშენებით, პერიოდულად ვამოწმებთ გარემოს მდგომარეობას. ამ ინფორმაციის საფუძველზე ვიღებთ გადაწყვეტილებებს შემდგომი მოქმედებების შესახებ. ამისათვის საჭიროა, რომ მოქმედებებს დიზიუნქტიური, ანუ ორი ან მეტი შედეგი ჰქონდეთ მათი განხორციელებისას. თუმცა, რეალურ პირობებში ძალზე იშვიათად თუ შეგვხვდება სრულად დაკვირვებადი გარემო, ის უფრო ნაწილობრივ დაკვირვებადია, ანუ გარემოს შესახებ დროის მიმდინარე მომენტში ჩვენ მხოლოდ ცოდნის გარკვეულ, შეზღუდულ მოცულობას ვფლობთ. ამ შემთხვევაში საწყისი სახედი მდგომარეობა, მდგომარეობათა სიმრავლის ცნებებში აღიწერება. ამავე სიმრავლეში ძიების მეთოდით მიიღება შემდგომი გადაწყვეტილებებიც. ამ პირობებში განსაკუთრებულ მნიშვნელობას შესრულების კონტროლი და გეგმის კორექტირება იძენს.

კონტროლი ორი ძირითადი მიმართულებით ხორციელდება: პირველი - მოქმედებათა კონტროლი - **გარემოს** მონიტორინგით ვადგენთ გეგმის შემდგომი მოქმედების მიზანშეწონილობას, და მეორე - **გეგმის** კონტროლი - როდესაც არა მხოლოდ შემდგომ მოქმედებას ვამოწმებთ, არამედ მთლიანი გეგმის დარჩენილ ნაწილს სრულად. კონტროლის ეტაპზე რაიმე გაუთვალისწინებელი მომენტის აღმოჩენისას ხდება გეგმის კორექტირება, შემუშავდება ახალი გეგმა დასახული მიზნის მისაღწევად. რესურსული დანახარჯების ზრდისაგან თავის ასაცილებლად, ამგვარი კორექტირება ხშირად ძველი გეგმის შესწორებით ხდება - მოიძებნება გზა მიმდინარე გაუთვალისწინებელი მდგომარეობიდან გეგმაში მოცემულ ერთ-ერთ განსაზღვრულ მდგომარეობამდე გადასასვლელად, რაც მთლიანი გეგმის შეცვლის აუცილებლობას აგვარიდებს. (Bertoli, P., Cimatti, A., & Roveri, M. 2014)

ხშირია შემთხვევები, როცა დაგეგმვის მიზანი არა კონკრეტული, დროში მოცემული ერთი შედეგია, არამედ დაგეგმვის მიზანი - პერმანენტული, დროში განგრძობადი პროცესია. ამ შემთხვევაში უპრიანია დაგეგმვის არა როგორც ცალკეულ პროცესთა ჯამის, არამედ როგორც ერთიანი, განგრძობადი, უწყვეტი პროცესის განხილვა. **უწყვეტი დაგეგმვის** პირობებში,

საჭიროა ცვალებადი გარემოს მუდმივი მონიტორინგი და მის შესაბამისად გარემოს მოდელის კორექტირება. ამ ცვლილებების შესაბამისად და წინაპირობების გათვალისწინებით ხდება მოქმედებათა გეგმის დაზუსტება, საჭიროებისას მიზნების ფორმულირების განახლება. ამ პროცესში შეიძლება მრავალი დეფექტი გამოიკვეთოს, რომელთა გადაწყვეტა მყისიერად უნდა მოხდეს. მათ შორისაა: გამორჩენილი მიზნები, მიზეზობრივი კავშირების კონფლიქტები, გაუთვალისწინებელი კავშირები, ზემეტი მოქმედებები, შეუსრულებელი მოქმედებები, არასაჭირო (მათ შორის მოძველებული) მიზნები და სხვა. (Myers, K. L. 1998).

ცალკე განსახილველ შემთხვევას წარმოადგენს **მულტიაგენტური დაგეგმვა**. გარემოში რამოდენიმე აგენტის ფუნქციონირების სახისა და ურთიერთმიმართებიდან გამომდინარე, შეგვიძლია განვასხვავოთ კოოპერირების და კონკურენციის ვარიანტები. **კოოპერირების** შემთხვევაში აგენტებს ერთობლივი მიზნები და გეგმები აქვთ, ამიტომ მათ კოორდინაციის მექანიზმი ესაჭიროებათ. გარემო, ამ შემთხვევაში, სტატიკური ვერ იქნება. მეორე, **კონკურენციის** ვარიანტის პირობებში, აგენტები საკუთარი სარგებლიანობის ფუნქციების ურთიერთ კონფლიქტურ ვითარებაში იმყოფებიან. ამ შემთხვევების მათემატიკური მოდელირება თამაშების თეორიის, მინიმალის მეთოდების ალგორითმების და სხვა შესაბამისი ინსტრუმენტების გამოყენებით ხდება. (Torreño, A., Onaindia, E., Komenda, A., & Štolba, M. 2017)

განხილული აგენტები სარგებლობენ ცოდნის ბაზებით, რომელთა ეპისტემიოლოგიური წვლილი მათ განსაზღვრულობაში მდგომარეობს. სამწუხაროდ აგენტებს თითქმის არასდროს აქვთ წვდომა გარემოს შესახებ მონაცემებთან. ამდენად ისინი მოქმედებენ განუსაზღვრელობის პირობებში. სწორი სტრატეგიის, რაციონალური გადაწყვეტილების შერჩევა დამოკიდებულია როგორც სხვადასხვა მიზნის მნიშვნელობაზე, ასევე მათი მიღწევადობის ალბათობაზე. განსახვავებენ მტკიცებულებათა მიღებამდე შეფასებულ ალბათობებს (აპრიორულ ანუ უპირობო) და ახალ მტკიცებულებათა შეფასების შემდგომ ალბათობებს (აპოსტერიულ ანუ პირობითს). დაგეგმვის პროცესში ვარიანტთა შერჩევასა საჭიროა მოვიპოვოთ ინფორმაცია სხვადასხვა გეგმის ყველა შესაძლო შედეგს შორის მიღებული უპირატესობების შესახებ. ამგვარი უპირატესობების მეშვეობით მსჯელობების და წარმოდგენების ფორმირებისათვის გამოიყენება **სარგებლიანობის (utility) თეორია**. მისი ძირითადი პრინციპია - **მაქსიმალური მოსალოდნელი სარგებლიანობა** (Maximum Expected Utility – MEU) - ანუ, აგენტი რაციონალურია მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა ის ირჩევს იმგვარ მოქმედებას, რომელიც საშუალებას იძლევა მიღწეულ იქნას ამ მოქმედების ყველა შესაძლო შედეგის მიხედვით გასაშუალოებული მაქსიმალურად მოსალოდნელი სარგებლიანობა. ამდენად, განუსაზღვრელობის პირობებში დაგეგმვის შესახებ მსჯელობების ფორმირების მათემატიკურ აპარატს ალბათობის თეორია წარმოადგენს. ამგვარი მოდელები (Naive Bayes Classifier) პრაქტიკაში ჩვეულებრივ კარგი შედეგებით გამოირჩევიან. (Gehrke, M. at al. 2018).

ისევე როგორც განსაზღვრული ცოდნის მიმართ გამოიყენება პროპოზიციონალური ლოგიკა, განუსაზღვრელი ცოდნის წარმოსადგენად გამოიყენება **ბაიესის ქსელები**. ბაიესის ქსელის მიერ შესაძლოა მოცემულ იქნას სრული ერთობლივი განაწილება, რომლის თითოეული ელემენტი განისაზღვრება როგორც ლოკალურ პირობით განაწილებათა შესაბამისი ელემენტების ნამრავლი.

ეს კი ალბათობითი წარმოდგენის ზომების ექსპონენციალური შემცირების საშუალებას იძლევა. სტოქასტიკური აპროქსიმაციის მეთოდები (მაგალითად მონტე-კარლოს მარკოვის ჯაჭვების საფუძველზე - MCMC) საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ აპოსტერიული ალბათობების შეფასებები, თანაც გაცილებით უფრო დიდ, მოცულობით ქსელებში.

დამატებით ალბათობის თეორია შესაძლოა გამოყენებულ იქნას პირველი რიგის ლოგიკიდან გამომდინარე ცოდნის წარმოდგენის იდეებთან ერთობლივად, რითაც განუსაზღვრელობის პირობებში მსჯელობათა ფორმირების მძლავრი სისტემების შექმნის შესაძლებლობები ჩნდება. **ალბათობათა რელაციური მოდელები** (Relational Probability Model – RPM) მოიცავს გარკვეულ შეზღუდვებს წარმოდგენის საშუალებებზე, რითაც გარანტირებულია სრულიად განსაზღვრული ალბათობათა განაწილების მიღება, რომელიც ეკვივალენტური ბაიესის ქსელის სახით შეიძლება იქნას გამოსახული. (Milch, B. 2007)

მოდელების აგებისას ალბათობის გამოყენება, ისევე როგორც სხვა მეცნიერებებში, ხელოვნური ინტელექტის შემთხვევაშიც დიდი ხანია იქცა დომინირებად მეთოდად. თუმცა, მის პარალელურად, განუსაზღვრელობის პირობებში მსჯელობათა ფორმირებისათვის სხვა მიდგომებიც გამოიყენება. ალბათობის, როგორც რიცხვითი მეთოდის საპირისპიროდ, დაინერგა მეთოდები, რომლებიც ადამიანის მსჯელობას განიხილავენ როგორც მეტწილად „ხარისხობრივ“ პროცესს. ამგვარ მიდგომებს განეკუთვნებიან: *მსჯელობათა ფორმირება თავდაპირველი დაშვებებით, განუსაზღვრელობათა გათვალისწინება წესების საფუძველზე და დემპსტერ-შეფერის თეორიის საფუძველზე ალბათობის შესახებ ცოდნის წარმოდგენისას დარწმუნების ხარისხის შესაფასებლად ინტერვალური მნიშვნელობების გამოყენება.*

სინამდვილის შემცენებაში ალბათობის თეორიას ისეთივე ონტოლოგიური ღვაწლი მიუძღვის, როგორც ლოგიკას. არამკაფიო ლოგიკის კვლევების მიხედვით გაუთვითცნობიერებულობა (vagueness) - არცოდნა იმისა, თუ რამდენად „ჭეშმარიტია“ რომელიმე მოვლენა, განუსაზღვრელობის კვალდაკვალ ჩაყენებული იქნა ხელოვნური ინტელექტის სამსახურში. ამ ლოგიკის დებულებათა საფუძველზე დამუშავდა არამკაფიო მართვის მეთოდოლოგია - მართვის სისტემების შექმნა, რომლებშიც რეალურ შემავალ მონაცემებსა და გამომავალ პარამეტრებს შორის კავშირი წარმოდგენილია არამკაფიო წესების მეშვეობით.

განხილული ალბათობითი მეთოდები გულისხმობდა არსებული რეალობის სტატისტიკურობას, როდესაც ყოველ შემთხვევით ცვლადს ერთი ფიქსირებული მნიშვნელობა გააჩნია. თუმცა, გარემოს განუსაზღვრელობის პირობებში ფუნქციონირებად აგენტებს უნდა გააჩნდეთ შესაძლებლობა თვალი ადევნონ გარემოს მიმდინარე მდგომარეობას. ამდენად, გადასაწყვეტია ალბათობითი დროითი პროცესების თაობაზე მსჯელობათა ფორმირებისა და წარმოდგენის პრობლემა. გარემოს ცვლილებების გასათვალისწინებლათ შესაძლებელია მრავალი შემთხვევითი ცვლადის გამოყენება, რომლებიც აღწერენ ამ მდგომარეობას დროის ყოველ მომენტში. ასეთი წარმოდგენები შეიძლება შეირჩეს იმგვარად, რომ დააკმაყოფილონ მარკოვის ჯაჭვებისადმი წაყენებული მოთხოვნები, ანუ მომავალი მდგომარეობა არ იყოს დამოკიდებული წარსულზე თუ კი მოცემულია ახლანდელი მდგომარეობა. პროცესის სტაციონარულობის, ანუ დროის განმავლობაში მისი კანონების უცვლელულობის დაშვება საგრძნობლად ამარტივებს წარმოდგენას.

დროითი ალბათობითი მოდელი შეიძლება განვიხილოთ ორმხრივ: როგორც გადასვლის მოდელი, რომელიც განვითარების პროცესს აღწერს და როგორც აღქმის მოდელი, რომელიც დაკვირვების პროცესს ასახავს. დროით მოდელებში ალბათობითი წარმოდგენის ძირითადი ამოცანებია: ფილტრაცია, პროგნოზირება, დაგლუვება, სავარაუდო ახსნის განსაზღვრა. ყოველი ამ ამოცანა მარტივი რეკურსიული ალგორითმების გამოყენებით შეიძლება იქნეს გადაწყვეტილი. ამ ალგორითმებისა და დამატებითი გაუმჯობესებების შერწყმით მიიღება დროითი მოდელების სამი დიდი ერთობა. პირველია - **ფარული მარკოვის მოდელები** (Hidden Markov Models – HMM) - დროითი ალბათობითი მოდელი, რომელშიც პროცესის მდგომარეობაა აღწერება ერთი დისკრეტული შემთხვევითი ცვლადით. ამ ცვლადის შესაძლო მნიშვნელობებია სწორედ გარემოს შესაძლო მდგომარეობები.

მეორე მოდელია - **კალმანის ფილტრი** (Kalman Filter – KF) - გარემოს მდგომარეობის მაჩვენებლების შეფასება დროში დისკრეტული, ცდომილებების შემცველი დაკვირვების შედეგების საფუძველზე. ამოცანა შეიძლება ფორმულირდეს როგორც დროითი ალბათობითი მოდელის ალბათობითი ლოგიკური გაანგარიშება, სადაც გადასვლის მოდელი აღწერს გარემოს ცვალებადობის პრინციპებს, ხოლო აღქმითი მოდელი აღწერს დაკვირვების პროცესს.

მესამე მოდელია - **დინამიური ბაიესის ქსელი** (Dinamic Bayesian Network – DBN). ეს მოდელი მოიცავს წინა ორ მოდელს, როგორც მის კერძო შემთხვევებს. დინამიური ბაიესის ქსელი შედგება ორი ბაიესის ქსელისაგან - საწყისი ქსელი, რომელიც განსაზღვრავს ყოველ დროით ჭრილში ქსელის სტრუქტურას და ტრანზიტული ქსელი, რომელიც ორ უახლოეს დროით ჭრილს შორის გადასვლას განსაზღვრავს. ჭრილი - დინამიური ბაიესის ქსელის მიმდინარე მდგომარეობას აღწერს დროის დისკრეტულ მომენტში. რთული სისტემის მდგომარეობის მის შემადგენელ ცვლადებზე დეკომპოზიციის წყალობით, დინამიური ბაიესის ქსელი დროითი ალბათობითი მოდელის განმუხტულობის უპირატესობებით სარგებლობის საშუალებას იძლევა. თუმცა, ამ მოდელებში მრავალი მდგომარეობის ცვლადების გამოყენება ზედმეტად ართულებს გაანგარიშებების წარმოებას. ამდენად, პრაქტიკაში აპროქსიმაციის ეფექტურ ალგორითმად რჩება ნაწილაკთა ფილტრაციის ალგორითმი. (Pfeffer, A. J. 2000).

როგორც აღინიშნა, ალბათობის თეორიაზე დაფუძნებული მოდელები გვამლევს საშუალებას, განუსაზღვრელობის პირობებში, დავრწმუნდეთ გარემოდან მიღებულ ცვალებად ინფორმაციაში, ხოლო სარგებლიანობის თეორია წარმოგვიდგენს თუ საით უნდა მიისწრაფოდეს აგენტი (მიზნის დასახვა). ამ მიდგომათა გაერთიანებით წარდგენილი **გადაწყვეტილებათა მიღების თეორია** საშუალებას გვამლევს აგენტს დაუუსახოთ კონკრეტული მოქმედებების შესრულების თანმიმდევრობა. ამ თეორიის მიხედვით სარგებლიანობის ფუნქციას არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება: აგენტი მოქმედებებს იმგვარად შეარჩევს, რომ შესაძლებელი იყოს მოსალოდნელი სარგებლიანობის მაქსიმიზება (**რაციონალური აგენტის თეორია**). მრავალატრიბუტიანი სარგებლიანობის შემთხვევაში, სარგებლიანობა რამოდენიმე სხვადასხვა მდგომარეობის ატრიბუტზეა დამოკიდებული.

არაწინააღმდეგობრივი გადაწყვეტილებების მიღების მოქნილი მეთოდია **სტოქასტიკური დომინირება**, რომელიც ატრიბუტთა სარგებლიანობის ზუსტი მნიშვნელობების არ არსებობის

პირობებშიც ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს. გადაწყვეტილებათა მიღების ამოცანათა გადასაჭრელად უფრო მარტივ ფორმალურ სისტემას **გადაწყვეტილებათა მიღების ქსელები** წარმოადგენს, რომელიც ბაიესის ქსელების ბუნებრივი გაფართოებაა. ზოგ შემთხვევებში, გადაწყვეტილების მიღებისათვის საჭირო ხდება დამატებითი ინფორმაციის მოძიება. **ინფორმაციის ღირებულება** განისაზღვრება როგორც სარგებლიანობის მოსალოდნელი ზრდის ნამეტი ამ ინფორმაციის გარეშე გადაწყვეტილების მიღების შემთხვევაში სარგებლიანობის დონესთან შედარებით.

აღბათობით სისტემებთან შედარებით **ექსპერტული სისტემების** გამოყენება, რომლებიც შეიცავს ინფორმაციას სარგებლიანობის შესახებ, დამატებით შესაძლებლობებს წარმოშობს. მათ არა მხოლოდ გადაწყვეტილებათა გამომუშავების უნარი გააჩნიათ, არამედ შეუძლიათ ინფორმაციის ღირებულების გამოყენება იმის განსაზღვრით ღირს თუ არა დამატებით მისი მოპოვება. გარემოს განუსაზღვრეობის პირობებში თანმიმდევრული *მრავლობითი გადაწყვეტილებების მიღების* ამოცანები, როგორც **გადაწყვეტილებათა მიღების მარკოვის პროცესებია** (Markov Decision Process – MDP), განისაზღვრება გადასვლის მოდელების მეშვეობით. ამ ამოცანის გადაწყვეტაა - სტრატეგია, რომელშიც აგენტისათვის მიღწევადი ყოველი მდგომარეობა დაკავშირებულია რაიმე ამონახსნთან. ოპტიმალური სტრატეგია ახდენს მდგომარეობათა თანმიმდევრობის სარგებლიანობის მაქსიმიზებას. მრავალი აგენტის ერთდროული ურთიერთქმედების არსებობის შემთხვევაში, აგენტების რაციონალური ქცევის აღწერისათვის **თამაშების თეორია** გამოიყენება. მისი ამონახსნები - *ნეშის წონასწორობები* - იმ სტრატეგიათა პროფილებია, რომლებშიც არც ერთ აგენტს არ გააჩნია სტიმული, რომლის გავლენითაც ის გადაუხვევდა მისთვის განსაზღვრულ სტრატეგიას. (Sucar, L. E. (Ed.). 2011)

დასკვნა

როგორც კვლევამ გვიჩვენა დაგეგმვა - ბოლო პერიოდში ხელოვნური ინტელექტის კვლევის სფეროში ერთ-ერთ ყველაზე საინტერესო და აქტუალურ მიმართულებად იქცა. დაგეგმვისა და გადაწყვეტილებების მიღების მოდელების კრებსით ცხრილებზე უბრალო თვალის გადავლევაც საკმარისია იმისათვის, რომ ავლნიშნოთ მიდგომების დიდი რაოდენობა და ალგორითმული მრავალფეროვნება (იხ. ცხრილი 1 და 2). ამ მიმართულების განვითარებას დიდი ხნის ისტორია არ აქვს, თუმცა უკვე დღეისათვის მიღებულია ხელშესახები შედეგები, ხოლო მომავლის მოლოდინები წარსულში გაკეთებულ თამამ პროგნოზებსაც კი სცდება. ხელოვნური ინტელექტის მოქმედ ექსპერტებთან ურთიერთქმედებაში გამოყენება ექსპერტებს შორის ერთიან დისკურსს ჩამოაყალიბებს, მნიშვნელოვნად დააჩქარებს ურთიერთგაგების მიღწევას. დაგეგმვასთან და მონაცემთა დიდი მოცულობების ანალიტიკურ დამუშავებასთან დაკავშირებული სირთულეები ხელს ვერ შეუშლის დაგეგმვისა და გადაწყვეტილებათა მიღების ამოცანების ეფექტურ ოპტიმალურ განხორციელებას, მეთოდების შემდგომ დახვეწასა და განვითარებას.

დაგეგმვის ამოცანების მოდელები

| დაგეგმვის გარემო | ფაქტორი | მოდელი | ქვეტიპი |
|------------------|--|---|----------------------------|
| კლასიკური | დროითი ფაქტორის გარეშე | სრული მოწესრიგებითი დაგეგმვა TOP | პროგრესული დაგეგმვა |
| | | ნაწილობრივ მოწესრიგებითი დაგეგმვა POP | რეგრესული დაგეგმვა |
| | | პროპოზიციონალური ლოგიკის მეშვეობით დაგეგმვა PL | |
| | დროითი ფაქტორის გათვალისწინებით | კრიტიკული გზის მეთოდი CPM | |
| | | ამოცანათა იერარქიული ქსელები HTN | |
| | | | |
| არაკლასიკური | რეალური გარემო | თავსებადი დაგეგმვა | |
| | | პირობითი დაგეგმვა | |
| | | უწყვეტი დაგეგმვა | |
| | | მულტიაგენტური დაგეგმვა | კოლპერირება კონკურენცია |
| | განუსაზღვრელობის პირობებში - სტატისტიკური გარემო | ბაიესის ქსელი BN | |
| | | ალბათობათა რელაციური მოდელები RPM | |
| | | მსჯელობათა ფორმირება თავდაპირველი დაშვებით | |
| | | განუსაზღვრელობათა გათვალისწინება წესების საფუძველზე | |
| | | დემპსტერ-შეფერის თეორიის საფუძველზე | |
| | განუსაზღვრელობის პირობებში - ალბათობითი დროითი პროცესები | ფილტრაცია და პროგნოზირება | |
| | | დაგლუვება | |
| | | სავარაუდო თანმიმდევრობის ძიება | |
| | | ფარული მარკოვის მოდელები HMM | |
| | | კალმანის ფილტრი KF | |
| | | დინამიური ბაიესის ქსელი DBN | |

გადაწყვეტილებათა მიღების ამოცანების მოდელები

| დონე | მოდელი |
|--------------------------|---|
| მარტივი გადაწყვეტილებები | რაციონალური აგენტი |
| | მრავალატრიბუტიანი სარგებლიანობის თეორია |
| | სტოქასტიკური დომინირება |
| | გადაწყვეტილებათა მიღების ქსელები |
| | ინფორმაციის ღირებულება |
| | საექსპერტო სისტემები |
| რთული გადაწყვეტილებები | გადაწყვეტილებათა მიღების მარკოვის პროცესები |
| | თამაშების თეორია |

დაგეგმვის პროცესის შესწავლაში ორგანულად შეერწყა ერთმანეთს ხელოვნური ინტელექტის კვლევის ორი ძირითადი მიმართულება - ძიება და ლოგიკა. იდეათა ამგვარმა ურთიერთ გაზიარებამ, ზოგჯერ მათმა სიმბიოზმა, ამ მიმართულებით, როგორც თეორიული წიაღსვლები გააღრმავა, ასევე მათი პრაქტიკული იმპლემენტაციის გაფართოებაც გამოიწვია. თუმცა, წინ კიდევ დიდი გზაა გასავლელი: ჩამოსაყალიბებელია მკაფიო ხედვები ამოცანათა სახეობიდან გამომდინარე შესაბამისი კონკრეტული მეთოდების შერჩევის პრობლემატიკის მხრივ, და არ გამოვრიცხავთ სრულად ახალი მეთოდებისა და მიდგომების შექმნასაც.

ლიტერატურა:

1. Cunningham, E. (2021). Artificial Intelligence-based Decision-Making Algorithms, Sustainable Organizational Performance, and Automated Production Systems in Big Data-Driven Smart Urban Economy. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 9(1), 31-41.
2. Mhlanga, D. (2021). Artificial Intelligence in the Industry 4.0, and Its Impact on Poverty, Innovation, Infrastructure Development, and the Sustainable Development Goals: Lessons from Emerging Economies?. *Sustainability*, 13(11), 5788.
3. Szalavetz, A. (2019). Artificial intelligence-based development strategy in dependent market economies—Any room amidst big power rivalry?. *Central European Business Review*, 8(4), 40-54.
4. The World Bank (2019). World Development Report 2019 - The Changing Nature Of World. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/816281518818814423/pdf/2019-WDR-Report.pdf>
5. Kunnathuvalappil Hariharan, N. (2018). Artificial Intelligence and human collaboration in financial planning.

6. Kumar, S. L. (2017). State of the art-intense review on artificial intelligence systems application in process planning and manufacturing. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 65, 294-329.
7. Соколов, И. А., Дрожжинов, В. И., Райков, А. Н., Куприяновский, В. П., & Намиот, Д. Е. (2017). Искусственный интеллект как стратегический инструмент экономического развития страны и совершенствования ее государственного управления. *International Journal of Open Information Technologies*, 5(9).
8. Survey report 2017: what is the current state of artificial intelligence systems? – Rethink IT 2017 Europe in cooperation with Lean IX, March 2017, URL: <https://www.leanix.net/en/download/Rethink-AI-survey-report-2017>
9. UK Digital Strategy Policy paper. -- Department for Culture, Media & Sport and The Rt Hon Karen Bradley, 1 March 2017, 48 p., URL: <https://www.gov.uk/government/publications/uk-digital-strategy>
10. OECD (2014), Measuring the Digital Economy: A New Perspective. – OECD Publishing, Paris, 2014, 160 p., URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264221796-en>
11. Preparing For The Future Of Artificial Intelligence. (2016) - Executive Office of the President National Science and Technology Council Committee on Technology, October 2016, 58 p., URL: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf
12. Barth T.J., Arnold E. (1999). Artificial intelligence and administrative discretion: implications for public administration. *American Review of Public Administration*. 1999. Vol. 29(4). P. 332–351
13. Russell, S., & Norvig, P. (2002). Artificial intelligence: a modern approach.
14. Ghallab M., Howe A., Knoblock C A., and McDermott D. (1998) PDDL- the planning domain definition language. Tech. rep. DCS TR-1165, Yale Center for Computational Vision and Control
15. New Haven, Connecticut. Nguyen X. and Kambhampati S. (2001) Reviving partial order planning. In Proceedings of the Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-01), p. 459-466, Seattle.
16. Morgan Kaufmann. Kautz H. and Selman B. (1998) BLACKBOX: A new approach to the application of theorem proving to problem solving. Working Notes of the AJPS-98 Workshop on Planning as Combinatorial Search.
17. Aliyu, A. M. (2012). Project management using Critical Path Method (CPM): A pragmatic study. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, 18(3-4), 197-206.
18. Kambhampati S., Mali A. D., and Srivastava B. (1998) Hybrid planning for partially hierarchical domains. In Proceedings of the Fifteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-98), p. 882-888, Madison, Wisconsin. AAAI Press.
19. Georgievski, I., & Aiello, M. (2014). An overview of hierarchical task network planning. *arXiv preprint arXiv:1403.7426*.
20. Bertoli, P., Cimatti, A., & Roveri, M. (2014). Conditional planning under partial observability as heuristic-symbolic search in belief space. In *Sixth European Conference on Planning*.
21. Myers, K. L. (1998). Towards a framework for continuous planning and execution. In *Proceedings of the AAAI Fall Symposium on Distributed Continual Planning* (Vol. 12, p. 13).
22. Torreño, A., Onaindia, E., Komenda, A., & Štolba, M. (2017). Cooperative multi-agent planning: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 50(6), 1-32.
23. Gehrke, M., Braun, T., Möller, R., Waschkau, A., Strumann, C., & Steinhäuser, J. (2018). Lifted maximum expected utility. In *International Workshop on Artificial Intelligence in Health* (pp. 131-141). Springer, Cham.
24. Milch, B. (2007). Relational Probability Models.
25. Pfeffer, A. J. (2000). *Probabilistic reasoning for complex systems*. Stanford University.
26. Sucar, L. E. (Ed.). (2011). *Decision Theory Models for Applications in Artificial Intelligence: Concepts and Solutions: Concepts and Solutions*. IGI Global.