

სტრუქტურულად გადანყობადი მრავალფუნქციური სისტემების საიმედოობის მოდელი

სერგო ცირამუა¹, ირაკლი ბაშელიშვილი²

¹საქართველოს უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
s.tsiramua@ug.edu.ge

²აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი, საქართველო
bashelishvili.irakli@gmail.com

ანოტაცია - ნაშრომში წარმოდგენილია ადამიანურ-მანქანური სისტემების ადამიანი-ოპერატორის თვისებები და პარამეტრები, სტრუქტურულად გადანყობადი სისტემების სტრუქტურის ძირითადი მახასიათებლები და მიღებულია სისტემის საიმედოობის შეფასების მოდელი.

საკვანძო სიტყვები - მრავალფუნქციური ელემენტები, ადამიანურ-მანქანური სისტემები, სტრუქტურულად გადანყობადი, ლოგიკურ-ალბათური მეთოდები, მტყუნება, საიმედოობა, მოდელი.

I შესავალი

მრავალფუნქციური ელემენტები(მფე) გვხვდება ტექნიკის ყველა სფეროში, ცოცხალ ბუნებაში, ორგანიზაციულ, საზოგადოებრივ - სანარმოო და სხვა ტიპის სისტემებში. მრავალფუნქციური ელემენტებისა და მათ ბაზაზე შედგენილი სისტემების კვლევა მეცნიერების ახალ, პერსპექტიულ მიმართულებას წარმოადგენს.

საზოგადოებრივ-სანარმოო სისტემაში მრავალფუნქციურ ელემენტად გვევლინება ადამიანი-ოპერატორი, რომელიც ფლობს რამოდენიმე სპეციალობას და შეუძლია მოცემული სისტემის რამოდენიმე ფუნქციის შესრულება. ადამიანი-ოპერატორის ფუნქციური შესაძლებლობების გაზრდა შესაძლებელია სპეციალისტის გადამზადების გზით და მისი მიზანია ადამიანურ-მანქანური სისტემების მოქნილობისა და საიმედოობის მაჩვენებლების ამაღლება. საზოგადოდ, ადამიანი თავისი ბუნებით მრავალფუნქციურია, ვინაიდან მას აქვს შესაძლებლობა დროის მოცემულ პერიოდში შეისწავლოს და დაეუფლოს რამოდენიმე მომიჯნავე სპეციალობას. მრავალფუნქციური ადამიანი-ოპერატორები (მფო) გვხვდება კომპლექსურ ბრიგადებში, საპროექტო ჯგუფებში, სადისპეტჩერო სამსახურებში და სხვა.[1]

ადამიანურ-მანქანური სისტემების(ამს) და ადამიანური ფაქტორების შესახებ სამეცნიერო პუბლიკაციებში ნაკლებად არის გაშუქებული მფო-ს ბაზაზე შექმნილი ამს-ის ეფექტიანობის საკითხები. ასევე, არასაკმარისად არის შესწავლილი მფო-ს ბაზაზე შექმნილი ამს-ის ორგანიზაციული მოდელირების საკითხები. შესაბამისად, ეფექტიანობის შეფასების მაჩვენებელ-ბლების გარეშე გაძნელებულია მაღალი ეფექტიანობის მქონე ამს-ის დაპროექტება მფო-ს ბაზაზე.

მრავალფუნქციურ ოპერატორს(მფო) ვუნოდებთ ფუნქციური სიჭარბის მქონე ოპერატორს (სპეციალისტს; გუნდის, ჯგუფის ან ეკიპაჟის წევრს), რომელსაც გააჩნია უნარი დროის ნებისმიერ t მომენტში შეასრულოს ერთი განსაზღვრული f ფუნქცია მისი ფუნქციური შესაძლებლობების სიმრავლიდან

$$F_a = \{f_a / a \in [1, k]\}, k > 1.$$

ფუნქციური სიმძლავრის მიხედვით მოცემული ამს-ის მიმართ მფო შესაძლებელია იყოს ორფუნქციური ($k=2$), სამფუნქციური ($k=3$) და ა.შ., k -ფუნქციური ($k>1$). როცა $k=1$, საქმე გვაქვს ერთფუნქციურ(ვინრო სპეციალისტის) ოპერატორთან(ეფო), რომელსაც მოცემულ A ამს-ში შეუძლია მხოლოდ მასზე დაკისრებული ერთი განსაზღვრული ფუნქციის შესრულება F სიმრავლიდან. გამომდინარე A სისტემაზე დაკისრებული F სიმრავლის ფუნქციათა რაოდენობიდან m , მფო შესაძლებელია იყოს ფუნქციურად სრული ($k=m$) ან ფუნქციურად არასრული ($k<m$) მოცემული ამს-ის მიმართ[2].

თუ მფო a ფლობს A სისტემაზე დაკისრებული $F = \{f_j / j \in [1, m]\}$ სიმრავლის ნებისმიერი ფუნქციის შესრულების უნარს $F_a = F$ სიმრავლის, ასეთ მფო-ს ვუნოდებთ ფუნქციურად სრულ ოპერატორს(ფსო). თუ მფო-ს a შეუძლია შეასრულოს A სისტემაზე დაკისრებული ფუნქციებიდან რაღაც ნაწილი $F_a \subset F$, ასეთ მფო-ს

ვუნოდებთ ფუნქციურად არასრულ ოპერატორს (თაო). მფო-ს მრავალფუნქციურობის კოეფიციენტი განისაზღვრება, როგორც $v = k/m$. [2]

მრავალფუნქციური ოპერატორების თვისებები გვაძლევენ საშუალებას მათ ბაზაზე შევქმნათ გადაწყობადი სტრუქტურის სისტემები, რომლებსაც გააჩნიათ უნარი რომელიმე შემადგენელი ელემენტის ნაწილობრივი მტყუნების შემთხვევაში გადაწყობა სტრუქტურა და განაგრძონ წარმატებული ფუნქციონირება.

მფო-ს ნაწილობრივი მტყუნება წარმოადგენს შემთხვევას, როდესაც მფო კარგავს მასზე დაკისრებული ფუნქციის შესრულების უნარს, მაგრამ ინარჩუნებს მისი ფუნქციური შესაძლებლობებიდან გამომდინარე სისტემაზე დაკისრებული სხვა ფუნქციების შესრულების უნარს.

ამგვარად, მფო-ს ნაწილობრივი მტყუნების შემთხვევაში, როდესაც მტყუნება ხდება მხოლოდ დაკისრებული ფუნქციის $f \in F\alpha_i$ მიმართ, დასაშვებ დროში ხდება მფო-ს გადართვა $F_\alpha = \{f_\alpha / \alpha \in [1, k]\}$ სიმრავლის სხვა ფუნქციის შესრულებაზე, ხოლო დაკარგული ფუნქციის შესრულებას იწყებს მოცემული ამს-ის სხვა მფო(ადგილი აქვს ოპერატორების ურთიერთ-შენაცვლებას).

მფო-ს ყველა შესაძლო მდგომარეობების სიმრავლე ვუნოდით ისეთი მდგომარეობების სიმრავლეს, როდესაც დროის ნებისმიერ t მომენტში მფო შესაძლებელია იმყოფებოდეს ერთ რომელიმე ფუნქციურ მდგომარეობაში $\{f_j(t)\}$ ან სრული მტყუნების მდგომარეობაში. განვიხილოთ მფო-ს დისკრეტული მდგომარეობები და გადასვლები ერთი მდგომარეობიდან მეორეში.

განვიხილოთ მფო-ს მდგომარეობების სიმრავლე $G_\alpha = \{g_1, g_2, \dots, g_i, \dots, g_d\}$, სადაც d - ყველა შესაძლო მდგომარეობათა რაოდენობაა.

ვთქვათ g_i შეესაბამება მფო-ს ისეთ მდგომარეობას, როდესაც დროის t მომენტში მას შეუძლია შეასრულოს ნებისმიერი ფუნქცია მისი ფუნქციური შესაძლებლობების სიმრავლიდან $F_\alpha = \{f_\alpha / \alpha \in [1, k]\}$ ანუ

$$S_1 \Rightarrow \{f_1, f_2, \dots, f_k\};$$

S_2 - მფო-ს შეუძლია შეასრულოს ნებისმიერი ფუნქცია, გარდა f_1 ფუნქციისა:

$$S_2 \Rightarrow \{f_1, f_2, \dots, f_k\} \text{ და ა.შ.}$$

$$S_3 \Rightarrow \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$$

.....

$$S_{d-1} \Rightarrow \{f_1, f_2, \dots, f_{k-1}, f_k\}$$

$$S_d \Rightarrow \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$$

ცხადია, მფო-ს ყველა შესაძლო მდგომარეობათა რაოდენობა შეადგენს $d=2^k$.

მფო იმყოფება ფუნქციურ მდგომარეობაში, თუ დროის მოცემულ მომენტში მას გააჩნია ერთი რომელიმე ფუნქციის, მოცემული სიმრავლიდან რამოდენიმე ან ყველა ფუნქციის შესრულების უნარი მისი ფუნქციური შესაძლებლობების სიმრავლიდან $f_j \in F\alpha_i$. მფო-ს ასეთ ფუნქციურ მდგომარეობას შეესაბამება მდგომარეობათა სიმრავლე $\{g_d\}$, რომლის სიმძლავრე შეადგენს $\text{card}\{g_d\} = 2^k - 1$.

ამგვარად, ჩვენს მიერ აღწერილ მფო-ს საიმედოობის მოდელში მხოლოდ ერთი მდგომარეობა - $S_d \Rightarrow \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$ შეესაბამება მფო - ს სრულ მტყუნებას, როდესაც იგი ვერ ასრულებს ვერცერთ ფუნქციას $F\alpha_i$ სიმრავლიდან, დანარჩენ შემთხვევებში იგი რჩება ფუნქციურ მდგომარეობაში და შეუძლია შეიტანოს თავისი ნვლილი ამს-ის ფუნქციონირებაში სისტემის ფუნქციონირების პირობებიდან გამომდინარე.

მფო-ს ბაზაზე შექმნილი სისტემის სტრუქტურა განისაზღვრება ფუნქციური ელემენტების შემადგენლობით, ურთიერთკავშირებით და ელემენტებს შორის ფუნქციათა განაწილების სქემით. სტრუქტურულად გადაწყობადი სისტემების სტრუქტურის ძირითად მახასიათებლებს წარმოადგენენ:

$n - A = \{a_i\}$ სისტემის ელემენტების რაოდენობა;

m - სისტემაზე დაკისრებული $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ ფუნქციების რაოდენობა;

k_i - თითოეული i -ური მფო-ს ფუნქციური შესაძლებლობების რაოდენობა;

k_Σ - ყველა მფო-ს ფუნქციური შესაძლებლობების ჯამი;

S_Σ - ადამიან-ოპერატორებს შორის ფუნქციათა განაწილების სქემა.

ამს-ის საიმედოობის, მტყუნებისადმი მდგრადობის, მოქნილობის მახასიათებლები ცალსახად არის დამოკიდებული მითითებულ სტრუქტურულ პარამეტრებზე და მათ ურთიერთთანაფარდობაზე.

სტრუქტურულად გადაწყობადი ამს-ის მოდელი მოიცავს ადამიანი-ოპერატორის პარამეტრებს (მრავალფუნქციურობის ხარისხი, ფუნქციური შესაძლებლობები), ორგანიზაციის პროცესს (შერჩევა, დაკომპლექტება, ფუნქციათა

განანილება), ფუნქციონირების პროცესს (ურთიერთკონტროლი, ურთიერთდახმარება, ურთიერთშენაცვლება, ჩანაცვლება), ფუნქციონირების შედეგი (ეკონომიურობა, საიმედოობა, სიცოცხლისუნარიანობა, უსაფრთხოება).

ზემოთქმულიდან გამომდინარე ამს-ის მოდელი მფო-ების ბაზაზე შესაძლებელია გამოისახოს შემდეგი კორტეჟის სახით:

$W = \{F, A, Fa_i, P(Fa), S, R, Q\}$, სადაც F- სისტემაზე დაკისრებული ფუნქციების (სამუშაოების, დავალებების, ამოცანების) სიმრავლეა;

A- პერსონალის (საპროექტო ჯგუფის, ეკიპაჟის, სანარმოო ბრიგადის, დისპეტჩერების, გუნდის წევრების) სიმრავლეა; Fa_i i - ური მფო-ს ფუნქციური შესაძლებლობების სიმრავლეა; P(Fa) - მფო-ს ფუნქციური შესაძლებლობების ალბათური მატრიცაა; S - ამს-ის სტრუქტურაა (მფო-ებს შორის ფუნქციათა განანილების სქემა); R - ამს-ის მუშაობისუნარიანობის პირობაა, რომელიც მოიცემა ლოგიკური ფუნქციის სახით; Q - ეფექტიანობის მაჩვენებლების (მოქნილობის, საიმედოობის, სიცოცხლისუნარიანობის, უსა- ფრთხოების, დანახარჯების) სიმრავლეა.

ამს-ის საიმედოობის (უმტყუნოდმუშაობისა და მტყუნებისადმი მდგრადობის) შესაფასებლად ავლენროთ მისი მუშაობისუნარიანობის პირობა.

$A = \{a_i / i \in [1, n]\}$ სისტემის მიერ $F = \{f_j / j \in [1, m]\}$ ფუნქცია სრულდება წარმატებულად, თუ ყველა $n^* = m (n^* \leq n)$ დროის მოცემულ მომენტში ასრულებს სისტემაზე დაკისრებულ F სიმრავლის ყველა $f_j, j \in [1, m]$ ფუნქციას, ისე რომ ნებისმიერი მფო დროის ნებისმიერ მომენტში ასრულებს მხოლოდ ერთ განსაზღვრულ ფუნქციას მისი ფუნქციური შესაძლებლობების სიმრავლიდან Fa_i .

როდესაც ამს A დაკომპლექტებულია მფო-ებით, მაშინ მათ გააჩნიათ ურთიერთშენაცვლების თვისება და F ფუნქცია შესაძლებელია შესრულდეს მფო-ებს შორის ფუნქციათა სხვადასხვა განანილების გზით.

ლოგიკურ ფუნქციას $F_A = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ რომელიც აკავშირებს ელემენტების მდგომარეობებს სისტემის მდგომარეობასთან, ეწოდება სისტემის მუშაობისუნარიანობის ფუნქცია (სმფ). ჩვენს მიერ განხილული ამს-ის ფუნქციური რესურსების მატრიცას წარმოადგენს $B(m \times n) = [a_i(f_j)]$, სადაც

$$a_i(f_j) = \begin{cases} 1 & \text{თუ მფო } a_i \text{ ფლობს } f_j \text{ ფუნქციის შესრულების უნარს} \\ 0 & \text{თუ მფო } a_i \text{ ვერფლობს } f_j \text{ ფუნქციის შესრულების უნარს.} \end{cases}$$

მაშინ სმფ ჩაინერება წარმატებული ფუნქციონირების უმოკლესი გზებით:

$$S_q = a_{i_1}(f_{j_1}) \& a_{i_2}(f_{j_2}) \& \dots \& a_{i_m}(f_{j_m}) \quad (1)$$

სადაც

$$i_1 = 1, 2, \dots, n - m + 1;$$

$$i_2 = i_1 + 1, i_1 + 2, \dots, n - m + 2;$$

$$\dots \dots \dots$$

$$i_m = i_{m-1} + 1, i_{m-1} + 2, \dots, n;$$

$$j_1 \neq j_2 \neq \dots \neq j_m; j_1, j_2, \dots, j_m \in [1, m]; q \in [1, N_s];$$

N_s ფუნქციონირების უმოკლესი გზების რაოდენობაა, რომელიც წარმოადგენს მფო-ებს შორის ფუნქციათა განანილების ვარიანტებს და გამოითვლება ფორმულით:

$$N_s = \text{per} B(m \times n)$$

ამს-ის მუშაობის უნარიანობის პირობა აღინერება ფუნქციონირების ყველა უმოკლესი გზების (მუშაობის უნარიანობის ფუნქციების) დიზუნქციით:

$$F_A = [a_1(f_1), a_2(f_2), \dots, a_n(f_m)] = \bigcup_{q=1}^{N_s} S_q \quad (2)$$

მფო-ების ბაზაზე დაკომპლექტებული გადა-წყობადი სტრუქტურის მქონე ამს-ის მუშაობის უნარიანობის აღნერის ანალიზური ფორმა გვაძლევს საშუალებას მივიღოთ სისტემის საიმედოობის მაჩვენებლების შეფასების ფორმულები ლოგიკურ-ალბათური მეთოდების გამოყენებით.

ამს-ის ყველა შესაძლო მდგომარეობების სიმრავლე Ω , რომელსაც ვუწოდებთ უნივერსალურ სიმრავლეს, შეიცავს

$N_\Omega = \text{card} \Omega = 2^{p^{\max}}$ ქვესიმრავლეს უნივერსალური სიმრავლე Ω შედგება ორი ურთიერთ-არაგადამკვეთი სიმრავლისაგან $R \subset \Omega, Q \subset \Omega$, სადაც R სისტემის მუშა მდგომარეობების სიმრავლეა, რომლებიც აკმაყოფილებენ პირობას (1), Q- არამუშა მდგომარეობების სიმრავლე, რომლებიც ვერ აკმაყოფილებენ პირობას (1). ამგვარად R და Q სიმრავლეები აკმაყოფილებენ პირობას $R \cup Q = \Omega$ და $R \cap Q = \emptyset$.

განვიხილოთ ამს-ის საიმედოობის შეფასების მოდელები.

ვთქვათ ამს შედგება მხოლოდ ეფო-ებისაგან, რომლებსაც შეუძლიათ მხოლოდ მათზე დაკისრებული ერთი განსაზღვრული ფუნქციის შესრულება. თუ რომელიმე ეფო $a_j \in A_i$ დაკარგავს მასზე დაკისრებული ფუნქციის $f_j \in F$ შესრულების უნარს, მაშინ სისტემა გადადის

არამუშა მდგომარეობაში. ასეთი სისტემის საიმედოობის შეფასების მოდელი იქნება

$$P(F) = \prod_{j=1}^{m_i} p_j(f_j^{(i)}),$$

სადაც $p_j(f_j)$ -ური ოპერატორის მიერ შესრულების ალბათობაა.

ასეთ სისტემას შეუძლია ფუნქციონირების გაგრძელება თუ სისტემაში შემოვიყვანთ სარეზერვო ადამიან-ოპერატორებს, რომლის მოდელი ემთხვევა რეზერვირების თეორიაში ცნობილი პარალელურ-მიმდევრობით სქემას.

როდესაც ამს დაკომპლექტებულია მფო-ებით, მაშინ როგორც ზემოთ ავლინებთ, რომელიმე მფო-ს ნაწილობრივი მტყუნების შემთხვევაში სისტემაში შესაძლებელია ოპერატორების ისეთი ურთიერთშენაცვლების განხორციელება, რომელიც უზრუნველყოფს სისტემის ფუნქციონირების გაგრძელებას. ასეთი სისტემის უმტყუნოდ მუშაობის ალბათობა განისაზღვრება ყველა მუშა მდგომარეობების ალბათობების ჯამით:

$$P_A(F) = P_1(f_{11}, \dots, f_{1k_1}) \times P_2(f_{21}, \dots, f_{2k_2}) \times \dots \times P_m(f_{m1}, \dots, f_{mk_m}) + \\ + P_1(f_{11}^*, \dots, f_{1k_1}^*) \times P_2(f_{21}, \dots, f_{2k_2}) \times \dots \times P_m(f_{m1}, \dots, f_{mk_m}) + \dots \\ + P_1(f_{11}^*, \dots, f_{1k_1}^*) \times P_2(f_{21}^*, \dots, f_{2k_2}^*) \times \dots \times P_m(f_{m1}, \dots, f_{mk_m}) + \dots \\ + P_1(f_{11}^*, f_{21}^*, \dots, f_{1k_1}^*) \times P_2(f_{21}^*, f_{22}^*, \dots, f_{2k_2}^*) \times \dots \times P_m(f_{m1}^*, \dots, f_{mk_m}^*) \\ P_m(f_{m1}^*, \dots, f_{mk_m}^* - 1, f_{mk_m})$$

(3)

სადაც $P_1, P_2, \dots, P_m - a_{ij}, i \in [1, n]$ ელემენტის მიერ $F = \{f_j / j \in [1, m]\}$ სიმრავლის ყველა ან ნაწილი ფუნქციების შესრულების ალბათობებია გამომდინარე თითოეული მათგანის ფუნქციური შესაძლებლობებიდან $F_{ai} = \{f_j / j \in [1, k_i]\}$.

კერძო შემთხვევაში, როდესაც $p_1 = p_2 = \dots = p_n = p$ სისტემის უმტყუნოდ მუშაობის ალბათობა განისაზღვრება შემდეგნაირად

$$P_A(F) = \sum_{\gamma=0}^{k_{\Sigma}} N_L(\gamma) p^{\gamma} (1-p)^{k_{\Sigma}-\gamma} \quad (4)$$

სადაც $N_L(\gamma)$ ამს-ის მუშა მდგომარეობების რაოდენობაა γ რაოდენობის დაკარგული ფუნქციების პირობებში; p - ელემენტების მუშაობის უნარიანობის ალბათობებია.

დასკვნა

თუ ამს შედგება მფო-ებისაგან, ასეთი სისტემა მოქნილი სტრუქტურისაა არა სარეზერვო ოპერატორების ხარჯზე, არამედ მფო-ების ფუნქციური სიჭარბის ხარჯზე. თუ მოხდება რომელიმე მფო-ს ნაწილობრივი მტყუნება დაკისრებული ფუნქციის მიმართ, შესაძლებელი იქნება ოპერატორთა ისეთი ურთიერთშენაცვლება (სისტემის გადანაცვლება), როდესაც აღდგება სისტემაზე დაკისრებული ყველა ფუნქციის ერთდროულად შესრულების პირობა.

მფო-ს ბაზაზე ფორმირებული ამს-ის ეფექტიანობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რომელ კლასს მიეკუთვნებიან მასში შემავალი ადამიან-ოპერატორები. მაგალითად, რაც უფრო მაღალია თითოეული ოპერატორის მრავალფუნქციურობის კოეფიციენტი, მით უფრო დიდია მათი გამოყენების არეალი სისტემაში, მით უფრო მაღალია ურთიერთკონტროლის, ურთიერთდა-ხმარებისა და ურთიერთშენაცვლების დონე და შესაბამისად, სისტემის მოქნილობისა და საიმედოობის მაჩვენებელი.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] Tsirumua S.G., Kashmadze R.V. Designing of Highly Effective "Human-Computer" Systems, Based on Multifunctional Elements. Proceedings of the Fifth International Conference on Human-Computer Interaction, Orlando, Florida, 1993, p. 33-37.
- [2] ს.ცირამუა. რთული სტრუქტურის სისტემების ლოგიკურ-ალბათური მოდელირება. სალექციო კურსი, საქართველოს უნივერსიტეტი, 2014. 110 გვ.