İNFORMASİYANIN ÖTÜRÜLMƏSİ SİSTEMLƏRİNİN ETİBARLIĞININ QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

S.N. MUSAYEVA, E.Ə. KƏRİMOV*

Azərbaycan Texniki Universiteti

**Dövlət Neft və Sənaye Universiteti*

E_Kerimov.fizik@mail.ru

Məqalədə ötürmə sistemlərinin və informasiyanın dəyəri nəzərə alınmaqla ixtiyari strukturlu informasiyanın etibarlığının analizinin metodu verilmişdir. Etibarlığın hesablanmasının dəqiq və yaxınlaşmış formulları verilmiş, həmçinin, verilmiş dəqiqlikdə bu formulların tətbiq olunma şərtlərinə baxılmışdır. Bütün mümkün olan rabitə strukturlarında etibarlığın aşağı sərhədi alınmışdır. Müxtəlif strukturların etibarlığının analizi üçün metodların tətbiq olunma məsələlərinə baxılmışdır.

GİRİŞ

Sistemin etibarlılığı dedikdə, onun hər hansı kompleks funksiyaların yerinə yetirmək qabiliyyəti başa düşülür. Bununla əlaqədar olaraq, hər bir halda bu və ya digər işləmə qabiliyyətinə malik olan sistemin sonlu sayda hallarına baxmaq lazımdır. Hər bir an üçün sistemin etibarlığı bu halların ehtimalları və ya uyğun orta xarakteristikaları ilə təyin olunur. Belə xarakteristikalar sistemlərin müqayisəli analizində təyinedici faktor kimi hesab oluna bilməzlər, belə ki, bu və ya digər halı təkcə qeyd etmək deyil, həm də sistemin bu halların hər birində qalmasının nəticələrini qiymətləndirmək lazımdır.

Bununla əlaqədar olaraq, sistemlərin etibarlıq xarakteristikalarını məsələnin həlli effektivliyi və göstəriciləri ilə birlikdə sistemin vahid bir qiymətləndirilməsi kriteriyasına birləşdirmək məqsədəuyğun olardı. Sistemin poradik xarakterli işləməsi zamanı onun istifadə olunması ehtimalını da nəzərə almaq lazımdır. Bu ideyalar [1-3] işlərində öz əksini tapmışdır.

Baxılan məqalədə yuxarıda göstərilən mövqelərdən çıxış edərək ixtiyari rabitə strukturuna malik informasiyanın ötürülməsi sistemlərinin etibarlığının qiymətləndirilməsi məsələsi nəzərdən keçirilir.

Aşağıdakı fərziyyələri qəbul edək:

1. Sistemin hər bir qurğusunun zədələnməsi bu sistemin digər qurğularının vəziyyətindən asılı olmayaraq baş verir.
2. Qurğuların imtina ehtimalı sistemin istifadə olunub olunmamasından asılı deyil.
3. Siqnalların davam etmə müddəti sabitdir və siqnallar arasındakı orta müddətdən kifayət qədər kiçikdir.
4. Sistemdə ötürülən siqnallar zamanın təsadüfi anlarında yaranır.
5. Hər bir punktdan gələn siqnal seli Puasson nəzəriyyəsinə tabedir. Bu fərziyyə enerji sistemlərinin parametrlərinin dəyişməsinin statistik analizinin verilənləri ilə təsdiqlənir [4].
6. Qurğunun imtinalar seli stasionardır və Puasson qanununa tabe olur. Təmir müddəti eksponensial qanunla baş verir. Təmirin orta müddəti imtinalar arasındakı orta müddətdən kiçikdir (sistemin normal istismarı üçün lazım olan şərtdir).

MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU VƏ HƏLLİ

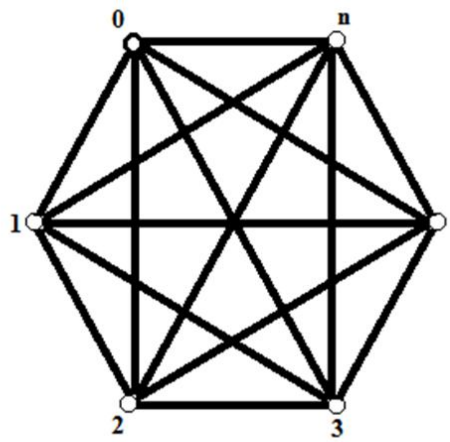
Belə bir modelə nəzər salaq: $(n + 1)$ punkt $(0, 1, 2, ..., n)$ verilmiş və bu punktların hər biri istənilən digər punktla ayrı xətlə bağlıdır (şəkil 1). İstənilən k -cı punktdan 0 -cı punkta siqnal ötürmək lazımdır. Bu əməliyyat ya k -cı punktu birbaşa 0 -cı punktla birləşdirən xətlə və ya da istənilən digər xətlərlə hər bir punktdan siqnalın sonlu sayda keçməsi şərti ilə həyata keçirilə bilər. Ötürülən siqnal hər bir punktda zamanın təsadüfi anlarında yaranır. Əvvəlcə, bütün punktlar tərəfindən göndərilən siqnalın eyni olması və deməli, punktların yalnız $\mu_k(t)$ - siqnallar selinin ani intensivlikləri kəmiyyətlərinin fərqləndiyi fərziyyəsindən çıxış edərək məsələni həll edək. Aşağıdakıların verilmiş olduğunu hesab edək:

1) $p_{ij}(t,t + \Delta t)$ – i -ci və j -cı $(i, j= 0, 1, 2, ..., n)$ punktları birləşdirən xəttin $(t, t+\Delta t)$ – zaman intervalında işlək vəziyyətdə olma ehtimalıdır;

2) $p_k(t, t + \Delta t)$ –k -cı punktun qəbuledici– ötürücü aparatlarının $(t, t + \Delta t)$ – zaman intervalında işlək vəziyyətdə olma ehtimalıdır;

3) $V_k(t, t + \Delta t)$ – isə $(t, t + \Delta t)$ – zaman müddətində k -cı punktda baxılan k -cı punktdan heç bir siqnal yaranmayacağının ehtimalıdır.

$(t, t+\Delta t)$ – zaman müddətində sistemdə heç olmasa bir siqnalın itəcəyi $F(t,t+ \Delta t)$ – ehtimalını təyin edək. Bu rabitə sisteminin etibarlığının kriteriyası qismində qəbul edilə bilər.



Şəkil 1. n – sayda punktdan ibarət sistemdə rabitə xətləri.

131 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

Qeyd edək ki, şəkil 1-də göstərilmiş strukturda bu və ya digər xətləri atmaqla, istənilən xətti almaq mümkündür. Ona görə də, verilmiş struktur üçün alınmış nəticələr bütün digər strukturlar üçün də doğrudur.

Qəbuledici – ötürücü aparatların kifayət qədər etibarlı olduğu halı, yəni, $p_к$=1 halını nəzərdən keçirək.

$Q_n(i_1, i_2,\dots,i_s)$ – işarəsini daxil edək. Bu işarə $i_1, i_2,\dots,i_s$ saylı s – punktun 0 – cı punktan ayrılması, digərlərinin isə onunla bağlı olması hadisələrinin baş vermə ehtimalıdır ($i_1< i_2<\dots <i_s$).

Bu zaman sistemin imtinaya gətirən bütün hallarını seçib, onların hər birinə siqnalların yaranma ehtimalını yazsaq, F(t,t+ Δt) – üçün aşağıdakı ifadəni ala bilərik:

$$F = \sum_{s=1}^{n} \sum_{\substack{i_1,\dots i_s=1 \\ i_1<i_2,\dots,<i_s}}^{n} Q_n(i_1, i_2, \dots, i_s)\left(1-\prod_{k=1}^{s} V_{ik}\right). \qquad (1)$$

burada, q_{ij} = 1 - p_{ij}; i_{n+1} = 0.

Əgər sistemin halını N – dərəcəli ikili ədədlə təsvir etsək (N – qurğuların sayıdır; 0 – qurğu işləmir, 1 – qurğu düzgün işləyir), onda bi ikili ədədlərin toplusu çoxlu sayda hadisələrin sayıdır, $Q_n(i_1, i_2,\dots,i_s)$ – kəmiyyəti bu çoxluqdan $i_1, i_2,\dots,i_s$ saylı s – punkt üçün əlaqəni qadağan, digər punktlar üçün isə icazə verən təsadüfi hadisənin ehtimalıdır.

$i_1, i_2,\dots, i_s$ saylı s – punktun 0 – cıdan ayrılması, qalan digərlərinin isə əlaqədə olması hadisəsi iki hadisənin üst – üstə düşməsini tələb edir:

1) $i_1, i_2,\dots, i_s$ saylı s – punktlar 0 – cı və digər yerdə qalan punktlardan ayrılmışdır (bu ehtimalı $Q_n^{`}$ - ilə işarə edək) və

2) digər qalan $i_{s+1},\dots,i_n$ punktları 0 – cı punktla əlaqədədirlər (ehtimalı $Q_{n-s}(0)$):

$$Q_n^{`} = \prod_{k1}^{s} \prod_{r=s+1}^{n+1} q_{i_k i_r},$$

İkinci hadisə yerdə qalan (s-n) punktdan heç olmasa birinin 0 -cı punktla əlaqədə olması hadisəsinin əksidir, yəni,

$$Q_{n-s}(0) = 1 - \sum_{m=1}^{n-s} \sum_{j_1,\dots,j_m} Q_{n-s}(j_1, \dots, j_m),$$

burada, j_k – cəm halında bütün qalan sayları üstələyir:

$$i_{s+1}, i_{s+2}, \dots, i_n \text{ və } j_1< j_2< \dots < j_m.$$

Beləliklə, $Q_n(i_1, i_2,\dots, i_s)$ – üçün aşağıdakı rekurrent münasibət doğru olacaqdır:

$$Q_n(i_1, \dots, i_s) = \left[\prod_{k=1}^{s} \prod_{r=s+1}^{n+1} q_{i_r i_k}\right]\left[1 - \sum_{m=1}^{n-s} \sum_{j_1,\dots,j_m} Q_{n-s}(j_1, \dots, j_m)\right], \qquad (2)$$

burada, s =1, 2, ... , n; $j_1 < j_2 < \dots < j_m$; q_{ij} = 1 –p_{ij}; i_{n+1} = 0.

$s = n$ üçün

$$Q_n(1,2, \dots, n) = \prod_{i=1}^{n} q_{i0},$$

$s = n$ -1 üçün

$$Q_n(i_1, i_2 \dots, i_{n-1}) = p_{i_n 0} \prod_{i=1}^{n} q_{i0} \prod_{\substack{j=1 \\ i,j\neq i_n}}^{n} q_{i_n j},$$

$s = 1$ üçün isə

$$Q_n(i_1) = \prod_{j=0}^{n} q_{i_1 j}.$$

(1) ifadəsi (2) ifadəsi ilə birlikdə daha ümumi ifadələr sayılır. Bu münasibətlərdən konkret bir struktura ifadə almaq üçün, ləğv edilmiş xətlərin imtinalar ehtimalını vahidə bərabər götürmək kifayətdir.

Siqnalların puasson seli üçün:

$$V_k(t, t+\Delta t) = exp\left[-\int_{t}^{t+\Delta t} \mu_k(t)dt\right].$$

Əgər $\mu_k(t)$ – funksiyası məhdud, yəni, $\mu_k(t) \leq A_k$ və Δt – çox kiçikdirsə $A_k\Delta t$ <<1, beləliklə;

$$V_k(t, t+\Delta t) = 1 - \mu_k(\tilde{t})\Delta t + 0[\Delta t], \qquad (3)$$

burada, $t \leq \tilde{t} \leq t+\Delta t$.

Kütləvi xidmət nəzəriyyəsinin metod və nəticələrindən istifadə edərək [5], sadə imtinalar seli və təmir müddətinin paylanmasının eksponensial qanunu zamanı qərarlaşmış iş rejimi üçün aşağıdakı ifadəni yaza bilərik:

$$p(t, t+\Delta t) = (1-\lambda\tau)(1-\lambda\Delta t), \qquad (4)$$

burada, λ –verilmiş qurğunun imtinalarının orta tezliyi, τ – həmin qurğunun təmirinin orta müddətidir.

(2) və (4) ifadələrini əvvəlcə (2) sonradan isə (1) münasibətlərində nəzərə alsaq:

$$F = \Delta t \sum_{s=1}^{n} \sum_{\substack{i_1,\dots,i_s=1 \\ i_1<i_2<,\dots,<i_s}}^{n} Q_n^*(i_1, i_2, \dots, i_s) \sum_{k=1}^{s} \mu_{ik}(t) + 0[\Delta t], \qquad (5)$$

burada, Q_n^* q_{ij} kəmiyyətlərinin $\beta_{ij} = \lambda_{ij}\tau_{ij}$ (ij – xəttinin verilmiş t – zamanında işlək vəziyyətdə olmaması ehtimalıdır) kəmiyyətləri ilə əvəz olunmaqla Q_n – dən alınır.

İndi isə göstərək ki, itirilən siqnallar seli puasson qanununa tabe olur. Bunun üçün [5] - ə uyğun olaraq aşağıdakı limitin mövcud olması və selin ordinarlığı kifayət edir:

$$\lim_{\Delta t \to 0} \frac{F(t, t+\Delta t)}{\Delta t} = \Phi(t). \qquad (6)$$

Birinci mülahizə birbaşa olaraq (5) ifadəsindən alınır:

$$\Phi(t) = \sum_{s=1}^{n} \sum_{i_1,\ldots,i_s=1}^{n} Q_n^{`}(i_1, \ldots i_s) \sum_{k=1}^{s} \mu_{i_k}(t), \quad (i_1 < i_2 <, \ldots, i_s). \qquad (7)$$

Ordinarlıq itirilən siqnallar selinin toplam selin bir hissəsi olduğundan irəli gəlir, belə ki, toplam sel sonlu sayda asılı olmayan ordinar sellərin cəmindən ibarət olduğundan özü də ordinar olacaqdır.

Beləliklə, $P_к(t, \Delta t)$ k siqnallarının $(t,t+ \Delta t)$ – müddəti ərzində itirilməsi ehtimalı aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$P_k(t, \Delta t) = \frac{[\Lambda(t, \Delta t)]^n}{k!} e^{-\Lambda(t, \Delta t)}, \qquad (8)$$

burada;

$$\Lambda(t, \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} \Phi(u) du.$$

[5]–ə uyğun olaraq $\Phi(t)$ – selin ani intensivliyidir. Məqsədəuyğun olar ki, bu orta xarakteristikanı rabitə sisteminin etibarlıq kriteriyası kimi götürək. $\Phi(t)$ – ilə birlikdə lazım olan zaman $P_к(t, \Delta t)$ – kəmiyyəti də təyin oluna bilər.

(7) – formulu ixtiyari struktur üçün doğrudur (kənarlaşdırılan xətlər üçün p -ni vahidə bərabər götürmək lazımdır). İxtiyari strukturun etibarlığını hesablamaq üçün digər başqa bir formul da tətbiq oluna bilər ki, bu formul xüsusi olaraq hər bir verilən struktura və birbaşa bu struktur üzrə şamil oluna bilsin.

Bütün xətləri 1, 2, ..., N ədədləri ilə nömrələyək, onda;

$$\Phi(t) = \sum_{s=m}^{N} \left\{ \sum_{\substack{i_1,\ldots,i_s=1 \\ i_1<,\ldots,<i_s}} \left[\prod_{r=1}^{s} \beta_{i_r} \prod_{l=s+1}^{N} (1 - \beta_{i_l}) \sum_{k=1}^{n} \alpha_k(i_1, \ldots, i_s) \mu_k(t) \right] \right\} = \sum_{s=m}^{N} L_s, \qquad (9)$$

burada, $\alpha_k(i_1, \ldots, i_s)$ – sistemin vahidə bərabər olan hal funksiyasıdır, əgər verilən halda k -cı punkt 0 -cı punktdan ayrılıbsa və rabitə kəsilməyibsə, m - baxılan struktur üçün bir punktdan çıxan xətlərin minimal sayıdır.

Xüsusi halda $\mu_k(t)=\mu(t)$ və $\beta_i=\beta$ olarsa, (9) ifadəsi aşağıdakı şəklə düşəcəkdir:

$$\Phi(t) = \mu(t) \sum_{s=m}^{N} \beta^s (1 - \beta)^{N-s} \Upsilon_s \qquad (10)$$

burada;

$$\Upsilon_s = \sum_{\substack{i_1,\ldots,i_s=1 \\ i_1<,\ldots,i_s}}^{N} \sum_{k=1}^{n} \alpha_k(i_1, \ldots, i_s).$$

Sistemdə s – qurğunun imtinasını s – dəfəlik imtina kimi adlandıraq.

Bu zaman (9) – ifadəsində olan L_s – kəmiyyəti vahid zamanda s – dəfəlik imtinalardan itirilən siqnalların orta sayıdır.

Yüksək dəfəlik imtinalar nadir hallarda yaranır, lakin, çoxlu sayda punktları sıradan çıxarır, belə ki, onların ümumi itkilərdə olan rolu kifayət qədər nəzərəçarpan olur. Digər tərəfdən, fərz etsək ki, m -dən N -ə qədər dəfəlik imtinaların hər biri bütün n – punktları sıradan çıxarır, belə bir nəticəyə gəlmək olur:

$$L_s < A\bar{\beta}^s (1 - \beta)^{N-s} C_N^s n, \qquad (11)$$

burada, $\bar{\beta} = \max_{(i)} \beta_i$; $A = \max_{(k)} A_k$, yəni, β<<1 üçün hansısa bir nömrədən başladıqda, L_s–hədləri nəzərə alınmayacaq qədər kiçik olacaqdır.

Hər bir konkret halda nəzərə alınan hədlərin sayının təyin edilməsi o qədər də çətin məsələ deyil. $\Phi(t)$ – üçün (9) – ifadəsi başqa şəkildə də yazıla bilər:

$$\Phi(t) = \sum_{k=1}^{n} \mu_k(t) W_k, \qquad (12)$$

burada;

$$W_k = \sum_{s=m}^{N} \left\{ \sum_{i_1,\ldots,i_s=1}^{N} \left[\prod_{r=1}^{s} \beta_{i_r} \prod_{l=s+1}^{N} (1 - \beta_i) \right] \alpha_k (i_1, \ldots, i_s) \right\}$$
$$(i_1 < i_2 <, \ldots, i_s),$$

ifadəsini hər verilən zaman anında k -cı punktun 0 -cı punktdan ayrılmış olacağı ehtimalı kimi interpretasiya etmək olar. (12) – ifadəsi istənilən verilmiş struktur üçün $\Phi(t)$ – funksiyasını təyin etməyə sadə üsul təklif edir.

β_i – lərin kifayət qədər kiçik qiymətlərində (9) ifadəsi nəzərəçarpacaq dərəcədə sadələşir:

$$\Phi(t)=\sum_{\substack{i_1,\dots,i_s=1\\ i_1<,\dots,<i_s}}\left[\prod_{r=1}^{s}\beta_{i_r}\sum_{k=1}^{n}\alpha_k(i_1,\dots,i_s)\mu_k(t)\right]. \tag{13}$$

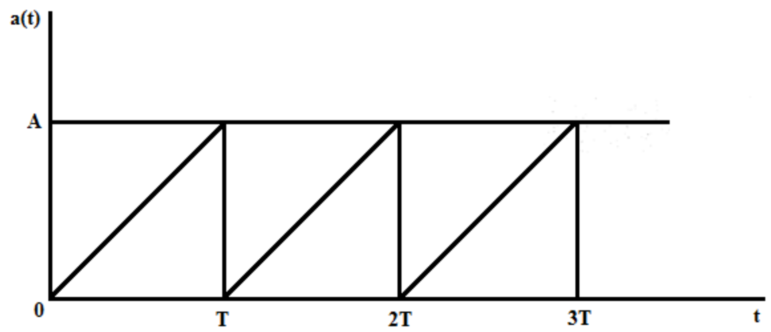
İndiyə qədər hesab edirdik ki, bütün punktlardan gələn siqnallar eynidir. Punktlardan gələn siqnalların müxtəlif olduğu hala nəzər salaq. Tutaq ki, telemexaniki sistem verilmiş işləmə qabiliyyətinə malik bir sıra texnoloji obyektlərə xidmət edir. Baxılan punktdan bir siqnalın itirilməsi α_k – ya maddi ziyan vurur. Ümumi halda bir siqnalın "qiyməti" $\alpha_k=\alpha_k(t)$ zamanından asılıdır və bu asılılıq verilən obyektdə texnoloji prosesin xarakteri ilə təyin olunacaqdır. Məsələn, tsiklik proseslər üçün bu asılılıq periodik olmalıdır və buraxılışın xətti qanun şəklində olduğu şərt daxilində bir tsikl müddətində $\alpha_k(t)$ – asılılığı şəkil 2-də göstərildiyi kimi olacaqdır.

k-cı punktun 0-cı punktdan ayrıldlğı şərt daxilində *k*-cı punktdan itkilərin ani intensivliyi $R_k(t)=\alpha_k(t)\cdot\mu_k(t)$ olacaq və bütün sistemin itkilərinin orta ani intensivliyi aşağıdakı ifadə ilə təyin olunacaqdır:

$$\pi(t)=\sum_{k=1}^{n}R_k(t)W_k(t), \tag{14}$$

burada, $W_k(t)$ - əvvəldə olduğu kimi t – zaman anında *k*-cı punktun 0-cı punktdan ayrıldığı ehtimalıdır (W_k - qərarlaşmış rejimdə t – dən asılı deyildir), başqa sözlə desək:

$$\pi(t)=\sum_{s=m}^{N}\left\{\sum_{\substack{i_1,\dots,i_s=1\\ i_1<,\dots,<i_s}}^{N}\left[\prod_{r=1}^{s}\beta_{i_r}\prod_{l=s+1}^{N}\left(1-\beta_{i_l}\right)\right]\sum_{k=1}^{n}\alpha_k(i_1,\dots,i_s)R_k(t)\right\}. \tag{15}$$



Şəkil 2. $\alpha_k(t)$ -nin t - dən asılılığı.

Şəkil 1- də göstərilən struktur üçün (7) ifadəsinə analoji ifadə yazmaq olar:

$$\pi(t)=\sum_{s=1}^{n}\sum_{i_1,\dots,i_s=1}^{n}Q_n^*(i_1,\dots,i_s)\sum_{k=1}^{s}R_{i_k}(t);\quad (i_1<i_2,\dots,<i_s). \tag{16}$$

Xüsusi halda $R_i(t)=R(t)$ olduqda:

$$\pi(t)=R(t)\bar{s},$$

burada, $\bar{s}$ – ayrılmış punktların orta sayıdır.

(15) – ifadəsinə uyğun:

$$\bar{s}=\sum_{s=m}^{N}\left\{\sum_{\substack{i_1,\dots,i_s=1\\ i_1<i_2,\dots,<i_s}}^{n}\left[\prod_{r=1}^{s}\beta_{i_r}\prod_{l=s+1}^{N}\left(1-\beta_{i_l}\right)\sum_{k=1}^{n}\alpha_k(i_1,\dots,i_s)\right]\right\}, \tag{15$'$}$$

(16) – ifadəsinə uyğun isə aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\bar{s}=\sum_{s=1}^{n}\sum_{\substack{i_1,\dots,i_s=1\\ i_1<i_2,\dots,<i_s}}^{n}sQ_n^*(i_1,\dots,i_s). \tag{16$'$}$$

Beləliklə, göstərilən halda orta itkilərin ümumi kriteriyası ayrılmış punktların orta sayının daha xüsusi kriteriyasına gətirilir.

Bütün tədqiqatlar $P_к=1$ şərti daxilində həyata keçirilmişdir. Asanlıqla görmək olar ki, verici-ötürücü aparatların və rabitə xətlərinin etibarlığı müqayisə olunandırsa, $\Phi(t)$ – və $\pi(t)$ – üçün uyğun olaraq (9) və (15) – ifadələrinə analoji ifadələr yazıla bilər. Burada fərq yalnız N – qəbuledici–ötürücü aparatlar da daxil olmaqla qurğuların ümumi sayı və $m=1$ olmağındadır, belə ki, istənilən strukturlar üçün ən azı elə bir qurğu tapılar ki, onun sıradan çıxması siqnalın itirilməsinə gətirər.

Aldığımız formulları bəzi hallarda rabitə sistemlərinin etibarlığının hesablanması üçün tətbiq edək. Sadəlik üçün əvvəlcə birfiderli sistemə baxaq.

Birfiderli sistem (şəkil 3) (12) – ifadəsinə görə

$$W_r = 1 - \prod_{s=1}^{r}(1-\beta_s) \text{ və } \Phi = \sum_{r=1}^{n}\mu_r\left[1-\sum_{s=1}^{r}(1-\beta_s)\right], \tag{17}$$

burada, n – punktların sayıdır.

Şəkil 3. Birfiderli sistem.

$\mu_r = \mu$ və $\beta_s = \beta$ olduqda:

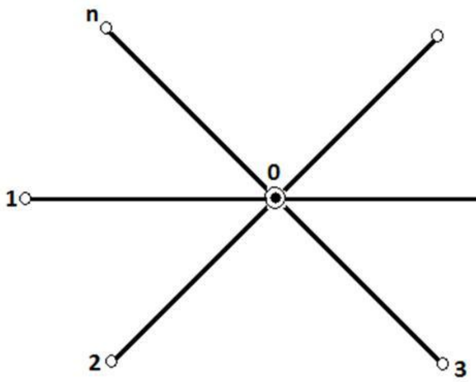
$$\Phi = \mu\sum_{r=1}^{n}[1-(1-\beta)^r] = \mu\left[n+1-\frac{1-(1-\beta)^{n+1}}{\beta}\right] =$$
$$= \mu\left[\frac{(n+1)n}{2}\beta - \frac{(n+1)n(n-1)}{2\cdot 3}\beta^2 + \cdots + (-1)^{n+1}\beta^n\right] \tag{18}$$

Tutaq ki, β = 0,01 yəni, imtinalar arasındakı zaman müddəti təmirə lazım olan orta zaman müddətindən 100 dəfə çoxdur.

Cədvəl 1.
Müxtəlif n – lər üçün 1% dəqiqliyi təmin edən nəzərə alınan s – hədlərin sayı.

Dəyişmə diapazonu, n	Nəzərə alınan hədlərin sayı, s
2	1
2-31	2
31-84	3

Kolşəkilli struktura nəzər salaq (şəkil 4).

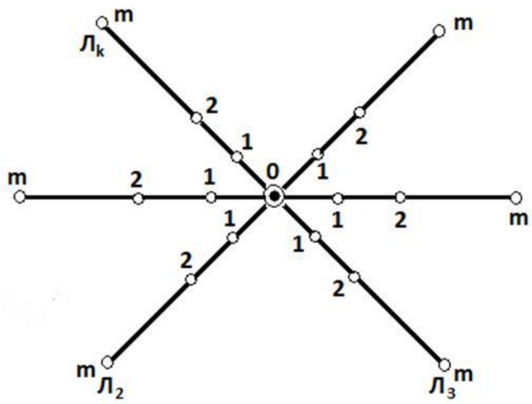


Şəkil 4. Kolşəkilli strukrur.

Kolşəkilli struktur üçün (12) ifadəsi belə yazıla bilər:

$$\Phi(t) = \sum_{i=1}^{k}\sum_{r=1}^{m_i}\mu_{ir}(t)W_{ir} = \sum_{i=1}^{k}\Phi_i(t,m_i),$$

burada, k – kolların sayı, m_i i – ci kolda punktların sayı, μ_{ir}–i -ci kolun r-ci punktundan daxil olan siqnalların orta tezliyi, W_{ir} ir – punktunun 0 -cı punktdan ayrılma ehtimalı, $\Phi_i(t, m_i)$ – t anında vahid zamanda i-ci koldan itirilən siqnalların orta sayıdır.



Şəkil 5.Radial struktur.

Əvvəlki çalışmanın nəticələrindən istifadə edərək (17) aşağıdakı ifadəni ala bilərik:

$$\Phi_i(t,m_i) = \sum_{r=1}^{m_i}\mu_{ir}\left[1-\prod_{s=1}^{r}(1-\beta_{is})\right],$$

burada, is – indeksi ilə i-ci kolun s – xətti işarə olunub və

$$\Phi(t) = \sum_{i=1}^{k}\sum_{r=1}^{m_i}\mu_{ir}\left[1-\prod_{s=1}^{r}(1-\beta_{is})\right]. \tag{19}$$

$\mu_{ir} = \mu$, $\beta_{is} = \beta$ və $m_i = m$ olduğu halda:

$$\Phi(t) = \mu k\sum_{r=1}^{m}[1-(1-\beta)^r] = \mu k\left[m+1-\frac{1-(1-\beta)^{m+1}}{\beta}\right]. \tag{20}$$

Qeyd edək ki, k =1 və m= n olduğu zaman (19) ifadəsi (17) ifadəsinə keçir. k=n və m=1 olduqda (19) ifadəsi radial strukturu təsvir edir (şəkil 5).

$$\Phi = \sum_{i=1}^{n}\mu_i\beta_i. \tag{21}$$

$\mu_i = \mu$ və $\beta_i = \beta$ olarsa:

$$\Phi = n\mu\beta. \qquad (22)$$

Nəhayət, tam qraf şəkilində struktura baxaq (şəkil 1). Yuxarıda göstərildiyi kimi belə struktur üçün $\Phi(t)$ – kəmiyyəti (7) ifadəsinin (2) ifadəsi ilə birlikdə münasibətlərindən alınır.

Cədvəl 2.

s və *n*-lər üçün $Q_n(s)$ –in ifadələri

s	*n*			
	1	2	3	4
0	$1 - \beta$	$1 - 3\beta^2 + 2\beta^3$	$1 - 4\beta^3 - 3\beta^4 + 12\beta^5 - 6\beta^6$	$1 - 5\beta^4 - 58\beta^6 + 20\beta^7 + 30\beta^8 -$ $- 12\beta^9 + 23\beta^{10}$
1	β	$\beta^2 Q_1(0)$	$\beta^3 Q_2(0)$	$\beta^4 Q_3(0)$
2	-	β^2	$\beta^4 Q_1(0)$	$\beta^6 Q_2(0)$
3	-	-	β^4	$\beta^6 Q_1(0)$
4	-	-	-	β^6
$\bar{s}_n$	β	$4\beta^2 - 2\beta^3$	$6\beta^3 - 3\beta^5 + \cdots$	$8\beta^4 + 24\beta^6 - \cdots$
$n \geq 3$ və $\beta \leq 0{,}01$ üçün $\tilde{s}_n \approx 2n\beta^n$				

$\beta_{ij} = \beta$ və $\mu_i = \mu$ olduğu xüsusi hala nəzər salaq.

Göründüyü kimi:

$$Q_n^*(i_1, \ldots, i_s) = Q_n^*(j_1, \ldots, j_s) = Q_n(s) \quad və \quad \Phi(t) = \sum_{s=1}^{n} s\mu C_n^s Q_n(s) = \mu\bar{s}_n, \qquad (23)$$

burada;

$$\bar{s}_n = \sum_{s=1}^{n} C_n^s \, Q_n(s)s \qquad (24)$$

verilən anda ayrılmış punktların orta sayıdır.

Bu zaman:

$$Q_n(s) = \beta^{s(n-s+1)}[1 - \sum_{m=1}^{n-s} C_{n-s}^m Q_{n-s}(m)]. \qquad (25)$$

Cədvəldə bəzi *s* – və *n* – lər üçün $Q_n(s)$ – in ifadələri verilmişdir.

$n \to \infty$ olduqda s_n – üçün asimptotik ifadə almaq olduqca maraqlı olardı.

Bunun üçün (24) ifadəsində yer alan cəmi nəzərdən keçirək:

$$[sC_n^s Q_n(s) + (n - s + 1)C_n^{n-s+1} Q_n(n - s + 1)] = \Gamma_s.$$

(25) ifadəsini və $sC_n^s = (n - s + 1)C_n^{n-s+1}$ bərabərliyini istifadə edərək aşağıdakı formulu ala bilərik:

$$\Gamma_s = sC_n^s \beta^{s(n-s+1)} \left[2 - \sum_{m=1}^{n-s} C_{n-1}^m Q_{n-s}(m) - \sum_{m=1}^{s-1} C_{s-1}^m Q_{s-1}(m)\right].$$

n – nin cüt olduğunu qəbul edək. Belə olan halda:

$$\bar{s}_n = \sum_{s=1}^{n/2} \Gamma_s = C_n^1 \beta^n \left[2 - \sum_{m=1}^{n-1} C_{n-1}^m Q_{n-1}(m)\right] +$$

$$+2C_n^2 \beta^{2(n-1)}[2 - \sum_{m=1}^{n-2} C_{n-2}^m Q_{n-2}(m) - C_1^1 Q_1(1)] + \cdots \qquad (26)$$

(26) ifadəsini β – nın dərəcələrinin artması sırasında yazaq. Bunun üçün nəzərə almaq lazımdır ki, (26) ifadəsinin birinci sətirindəki cəm β – ya nəzərən ən kiçik dərəcəsi $n - 1$ olan polinomdur:

$$\bar{s}_n = 2C_n^1 \beta^n + 4C_2^n \beta^{2n-2} + 0[\beta^{2n-2}]. \qquad (27)$$

Aydındır ki, $\beta < 1$ olduqda:

$$\lim_{n\to\infty} |\bar{s}_n - 2n\beta^n| = 0.$$

Göstərə bilərik ki, əgər n^* - aşağıdakı şərtdən təyin edilirsə:

$$(n^* - 1)\beta^{n^*-2} = \frac{\varepsilon}{2} \quad (28)$$

$n > n^*$ olduğu zaman:

$$\left|\frac{\bar{s}_n}{2n\beta^n} - 1\right| < \varepsilon$$

olacaq.

n -nin tək qiymətlərində $0[\beta^{2n-2}]$ qalığına daha bir həd əlavə olunur, bütün qalan fərziyyələr isə qüvvədə qalır. Beləliklə, kifayət qədər böyük n – lər üçün:

$$\bar{s}_n = 2n\beta^n. \quad (29)$$

Tutaq ki, $\beta = 0{,}01$ və $\varepsilon = 0{,}01$ nisbi dəqiqliklə nəticə almaq lazımdır. Belə olan halda (28) ifadəsindən $n^* = 4$ alarıq. Real sistemlərdə punktların sayı dörddən kifayət qədər çox və dəqiqliyin 1% olması tamamilə mümkün olduğundan (29) formulunu kifayət qədər dəqiq hesab etmək olar.

Lazım gələrsə daha aşağıda göstərilən həd nəzərə alınmış dəqiq formuladan istifadə etmək olar:

$$\bar{s}_n = 2n\beta^n + 2n(n-1)\beta^{2n-2}. \quad (30)$$

(29) ifadəösindən görünür ki, n -nin artması ilə ayrılmış punktların orta sayı kəskin azalır. Aldığımız bu nəticə tamamilə aydındır, belə ki, n-nin artması ilə hər bir punktdan 0-cı punkta siqnalların ötürülməsi üçün lazım olan yolların sayı artır.

(29) ifadəsi həm də onunla maraqlıdır ki, bütün mümkün olan strukturlar üçün itkilərin aşağı sərhəddini verir. Xətlərin etibarlılıq dərəcəsi müxtəlif olan halda $\bar{s}_n$ – ə analoji qiyməti təyin etməküçün (29) ifadəsində β – nı

$$\beta^* = \min_i \beta_i$$

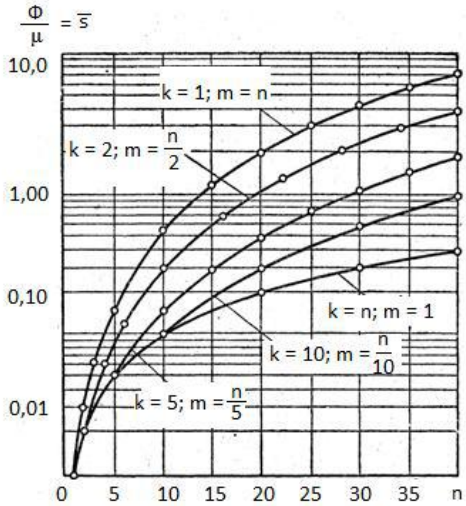
ilə əvəz etmək kifayətdir.

NƏTİCƏLƏR.

1. İnformasiyanın ötürülməsi üçün nəzərdə tutulan ixtiyari strukturlu sistemlərin qeyri-etibarlığı nəticəsində itkiləri hesablamağa imkan verən (14) və (16) ifadələri alınmışdır. Bu ifadələr informasiyanın emalı sistemlərini əhatə edir və xüsusən də ixtiyari struktura malik funksional blok-sxemlərin etibarlığının analizi üçün yararlıdır.

2. Ümumi halda böyük n və N-ə malik mürəkkəb strukturların hesablanması üçün hesablama maşınlarından istifadə olunması daha məqsədəuyğun sayılır.

3. Kəskin imtinalar və nisbətən sürətli təmir zamanı mürəkkəb sistemlərin etibarlığının analizi üçün daha sadə şəklə malik olan (13) ifadəsindən istifadə etmək lazımdır.



Şəkil 6. Müxtəlif (radial, kolşəkilli, birdiferli) strukturların etibarlığı.

4. Tam qraf şəklində strukturun baxılması zamanı qeyri-etibarlıq nəticəsində bütün mümkün olan strukturlar üzrə itkilərin aşağı sərhəddi alınmışdır ((29)-cu ifadə).

5. Baxdığımız çalışmalar göstərir ki, (şəkil 6) birdiferli, radial və kolşəkilli strukturların qeyri-etibarlığı qeyri-etibarlığın sərhəddindən nəzərəçarpacaq dərəcədə yuxarıdır. Maraqlıdır ki, bu strukturlar üçün aşağı sərhəd azaldığı zaman qeyri-etibarlıq n-nin artması ilə çoxalır ((29)-cu ifadə).

6. Qrafiklərdən (şəkil 6) göründüyü kimi baxdığımız üç strukturdan ən etibarlısı radial, ən az etibarlı struktur isə birdiferlidir. Kolşəkilli struktur isə ilgəksiz olan bütün digər strukturlar kimi aralıq vəziyyətdə yer alır.

[1] *А.Е. Алексеев*. Методы расчета показателей надежности технических систем: Часть Т. Учебное пособие. Архангельск: Изд-во ФГУП «ПО» Севмаш», 2003. 77 с.

[2] *А.Е. Алексеев*. Методы расчета показателей надежности технических систем: Часть ТТ. Методические указания по выполнению лабораторных работ. Архангельск: Изд-во ФГУП «ПО «Севмаш», 2003. 65 с.

[3] Теория надежности: Учебник для вузов, *В.А. Острейковский*. М. : Абрис, 2012.

[4] "Статистическое моделирование надежности работы системы на ЭВМ: метод, указания к выполнению домашнего задания по курсу "Теория надежности элементов и систем", *В.М. Крикун, А.В. Мищенко, Б.Н. Окоёмов и др*. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010."

[5] Теория надежности: Учебник для вузов, *В.А. Острейковский.* М.: Абрис, 2012. http://www.studentlibrary.ru/

S.N. Musayeva, E.A. Kerimov

ESTIMATION OF RELIABILITY OF INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS

The article presents analysis of reliability for information transmission systems of arbitrary structure taking into consideration the information value and the system sporadic operation. Some exact formula and approximate one are proposed for the calculation of the reliability. The conditions of the formulae applicability at given accuracy are considered. A lower boundary of the unreliability of each possible transmission structure is determined. The application of the method described to the analysis of the reliability of different structures is considered.

С.Н. Мусаева, Э.А. Керимов

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

В статье представлен анализ надежности для систем передачи информации произвольной структуры с учетом информационной ценности и спорадической работы системы. Предложены некоторая точная и приближенная формулы для расчета надежности. Рассмотрены условия применимости этих формул при данной точности. Определена нижняя граница ненадежности каждой возможной структуры передачи. Рассмотрено применение метода, описанного для анализа надежности различных структур.

Qəbul olunma tarixi: 10.07.2019