

UOT 355/359

YENİ NƏSİL RABİTƏ ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ MANEƏYƏDAVAMLILIQ MƏSƏLƏLƏRİNİN TƏHLİLİ VƏ TƏDQIQI

tex.e.d., professor Bayram İbrahimov¹

i.bayram@mail.ru

m.t.h.e.ü.f.d, dosent Yalçın İsayev²

yalchin.isaev.73@mail.ru

dissertant Əsmər Nəbiyeva³

^{1,2}Milli Müdafiə Universitetinin Hərbi Elmi Tədqiqat İnstitutu

^{1,3}Azərbaycan Texniki Universiteti

DOI: 10.30546/9878.2024.1.10.19.

Xülasə. Məqalə yeni nəsillə rabitə şəbəkələrində maneəyədavamlılıq məsələlərinin təhlili və tədqiqinə həsr edilmişdir. Təklif olunan məqalədə telekommunikasiya şəbəkələrində siqnalların maneəyədavamlılıq problemlərinə baxılır və qəbul zamanı onların göstəricilərinin yaxşılaşdırılması üsulları geniş təhlil edilir. Tədqiqat işinin məqsədi yeni nəsillə rabitə şəbəkələrində maneəyədavamlılıq məsələlərinin təhlili və tədqiqindən ibarətdir. Məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı vəzifələr qoyulmuşdur: məsələnin qoyuluşunun məqsəd funksiyası, rabitə kanallarına təsir edən maneə mənbələrinin ümumi təhlili, impuls maneə mənbələrini nəzərə alan rabitə kanalının riyazi modelinin işlənilməsi və bitə görə səhv ehtimalının tədqiqi və qiymətləndirilməsi. Problemi həll etmək üçün aşağıdakı tədqiqat üsullarından istifadə olunur: riyazi modelləşdirmə, maneəyədavamlılıq və siqnalların rəqəmsal emalı üsulları. Aşağıdakı nəticələr əldə edilmişdir: hərbi təyinatlı rabitə sistemlərində koherent və qeyri-koherent qəbul alqoritmlərini, modulyasiya və maneəyədayanıqlı kodlama üsullarını tədqiqi ilə keyfiyyətli qəbul prosesini təmin edən effektiv yeni yanaşma təklif olunmuşdur. Tədqiq edilən yeni yanaşmanın bazasında rabitə sistemlərinə maneə mənbələrinin təsirini nəzərə alan diskret rabitə kanalının riyazi modeli işlənilməsi və hazırlanmışdır. Yekun nəticə: diskret rabitə kanallarının riyazi modelinin bazasında maneəyədayanıqlılıq təhlil etmək üçün verilmiş sisteminin fiziki aralıqlarının struktur sxemi və məlumat siqnallarının etibarlı ötürülməsi üsulu seçilmiş, elektrik və optik siqnalların qəbulu zamanı kanalların keyfiyyət göstəriciləri tədqiq olunmuşdur. Riyazi modelinin bazasında sistemin maneəyədayanıqlılıq göstəricilərini qiymətləndirmək üçün aşağıdakı analitik ifadələr alınmışdır: ikili rabitə kanallarında amplitud, tezlik və faza modulyasiyasından istifadə etməklə bitə görə səhv ehtimalı, demodulyatorun çıxışında siqnal-küy nisbəti, Viterbi alqoritmində Rida-Solomona kodundan istifadə etməklə, diskret siqnalların optimal qəbulu üçün bitə görə səhv ehtimalı.

Açar sözlər: bitə görə səhv ehtimalının, verilmiş sürəti, bitə görə səhv ehtimalı, koherent modem, demodulyator, təsadüfi maneələr, siqnal-küy nisbəti, rabitə kanalı.

Giriş

Müasir dövrdə rəqəmli texnologiyaların imkanlarından effektiv istifadə etməklə, hərbi təyinatlı (HT) çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin NGN (Next Generation Network) və FN (Future Networks) arxitektura konsepsiyaları bazasında sürətli inkişafı faydalı və xidməti trafiklərin məlumat səllərinin elektrik və optik rabitə kanalları vasitəsilə maneəyədavamlı ötürülməsini tələb edir [1; 2]. Maneəyədavamlılıq məsələləri və problemi müasir telekommunikasiyanın və radiotexnikanın ən vacib problemlərindən biri hesab edilir [3; 4].

Telekommunikasiya şəbəkələrində və radiotexniki komplekslərdə maneələrə qarşı dayanıqlılıq məsələlərinə müxtəlif elmi nəşrlərdə rast gəlinir [3; 4; 5] və siqnalların etibarlı qəbulu üçün onların keyfiyyət göstəriciləri təhlil edilir. Təhlil edilən bu elmi məqalələrdə [6; 7; 8] isə qəbul zamanı siqnal-küy nisbəti, verilmiş sürəti və səhv ehtimalları verilir. Lakin baxılan ədəbiyyat icmallarında müxtəlif maneə mənbələrinin təsiri, fiziki aralıqların riyazi modeli və keyfiyyət göstəriciləri kompleks təhlil və tədqiq edilməmişdir [9; 10; 11; 12].

Məqalə HT yeni nəsil rabitə şəbəkələrində maneəyədavamlılıq məsələlərinin təhlili və tədqiqinə həsr edilmişdir.

Məsələnin qoyuluşu

İlkin olaraq, təklif olunan məqalənin məqsədinə uyğun olaraq, maneəyədavamlılıq məsələlərinin təhlili və tədqiqi üçün məlumatın ötürülməsi zamanı veriliş, rabitə kanalı və qəbul prosesinin keyfiyyət göstəriciləri arasında funksional asılılığı nəzərdən keçirək. Baxılan funksional asılılıq kəmiyyət və keyfiyyət göstəriciləri nəzərə alınmaqla aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər [2]:

$$Q_{KG}(t, \lambda_i) = W[C(\lambda_i), P_{BER}, T_{BBX}(t, \lambda), SNR(P_s), N_m(t)], \quad (1)$$

burada,

$C(\lambda_i, \Delta F_k)$ – verici və qəbuledici üçün fiziki aralığın tezlik zolağının eni ΔF_k və daxil olan sellərin intensivliyini nəzərə almaqla sistemin buraxma qabiliyyəti hesab edilir, *bps*;

P_{BER} – qəbuledici sistemə rabitə kanalından daxil olan faydalı siqnalların bitə görə səhv ehtimalı hesab olunur;

$T_{BBX}(t, \lambda_i)$ – faydalı və xidmət trafik paketlərinin verilmiş t anında ötürülməsi zamanı daxil olan məlumat sellərinin intensivliyini λ_i nəzərə alaraq, yeni nəsil rabitə şəbəkələrinin ehtimal-zaman xüsusiyyətlərinin göstəricilərini nəzərə alan funksiya hesab olunur;

$SNR(P_s)$ – faydalı siqnalın veriliş gücünü P_s nəzərə almaqla, siqnal-küy nisbəti hesab edilir, dB;

$N_m(t)$ – uyğun t zaman anında müxtəlif maneə mənbələrinin siqnal formasında təsir formasını göstərir.

Təklif olunmuş (1) ifadəsi ümumi formada yeni nəsil telekommunikasiya şəbəkələrində məlumatların maneəyədavamlı ötürülməsini xarakterizə edən riyazi ifadə olub, kəmiyyət və keyfiyyət kriteriyaları (göstəriciləri) ilə təyin olunur.

Maneə mənbələrinin təhlili

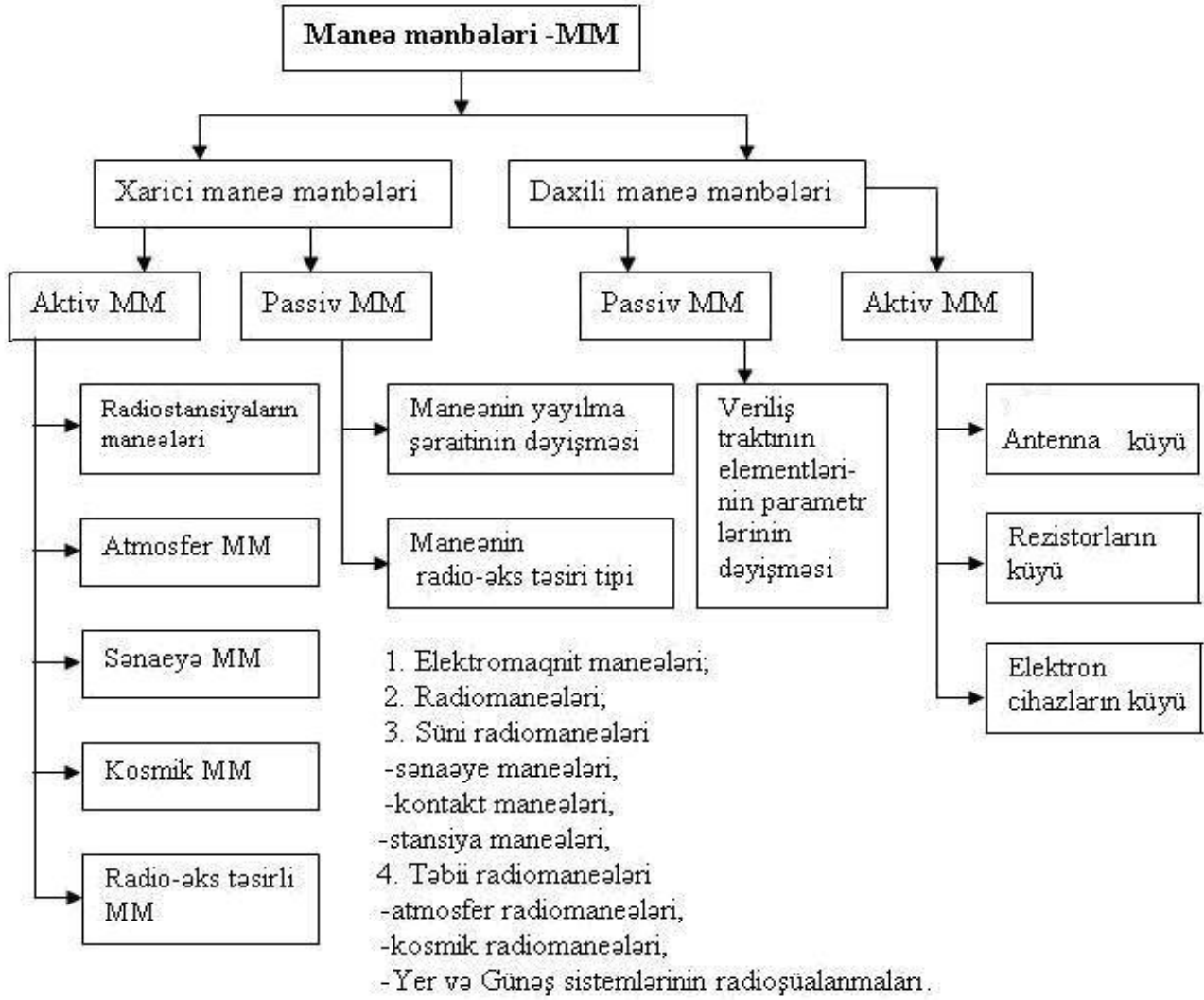
Məlumat mübadiləsi sisteminin bütün veriliş traktında olduğu kimi, HT rabitə kanallarında da faydalı siqnalların ötürülməsi zamanı, onlara aşağıdakı maneə mənbələrinin $N_m(t)$ təsir etməsi nəzərdə tutulur [2; 7; 8; 9]. HT rabitə kanallarına təsir edən maneə mənbələrinin ümumi təsnifatı sxemi şəkil 1-də verilmişdir.

Rabitə sistemlərində maneə mənbələrinin bazası xarici MM, $N_m^x(t)$ və daxili MM, $N_m^d(t)$ ilə təyin olunması şəkil 1-də geniş şərh edilmişdir.

Yeni nəsil rabitə şəbəkələrinin işləmə xarakterinə uyğun olaraq, yuxarıda qeyd olunanlarla yanaşı, çox sayda elmi məqalədə [2; 5; 11] və araşdırmalarda [10; 12] daxili və xarici maneə mənbələrinin rabitə kanalına geniş spektrdə təsirini nəzərə alan bir sıra çatışmazlıqlar aşkar edilmişdir. Bu problemlərin həlli ilə bağlı geniş tədqiqat işləri və təhlillər hələ də davam etdirilir.

Rabitə sistemlərində maneə mənbələrinin ümumi təsnifatını nəzərə almaqla (Şəkil 1), MM riyazi modelinin təsviri haqqında məsələyə baxmaq məqsədəuyğundur. Bunun üçün, ilk növbədə nəzərə almaq lazımdır ki, maneə zamanının təsadüfi funksiyası kimi təsəvvür olunur, diskret vaxtın təsadüfi funksiyası – təsadüfi ardıcılıq kimi təyin edilir. Bu zaman fasiləsiz vaxtın təsadüfi funksiyasını – təsadüfi proses adlandırmaqla, $P[m \leq x, N(t)]$ təsadüfi funksiyaların paylanma funksiyaları ilə $F_m[x, N(t)]$ xarakterizə olunur [2]:

$$F_m[x, N(t)] = P[m \leq x, N(t)], \quad N(t) = W[N_m^x(t), N_m^d(t)]. \quad (2)$$



Şəkil 1. Rabitə sistemlərində maneə mənbələrinin ümumi təsnifatı

Baxılan (2) ifadəsi, həmçinin rəqəmsal xüsusiyyətlər nəzərə alınmaqla, paylama funksiyaları şəklində də istifadə olunur. MM riyazi modelini hazırlamaq üçün stasionar və qeyri stasionar təsadüfi proseslərdə nəzərə alınır.

Təsadüfi maneə mənbələrinin siqnalın X paylanma funksiyası $F(x)$, verilmiş ehtimala uyğun olaraq $X < x$, yəni

$$F(x) = P(X < x)$$

yazılır. Burada ehtimal olunur ki, təsadüfi siqnalın X ədədi qiyməti x bir çox qiymətlərindən kiçik olacaqdır.

Qeyd edək ki, bütün təsadüfi proseslər arasında normal paylama prosesi – Hauss prosesi xüsusi yer tutur. Fakt budur ki, təsadüfi proseslərin təcrübəsindən elmə məlum olan çoxlu sayda təsadüfi proseslər, məhz Hauss paylanma funksiyası ilə ifadə olunur:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (3)$$

burada,

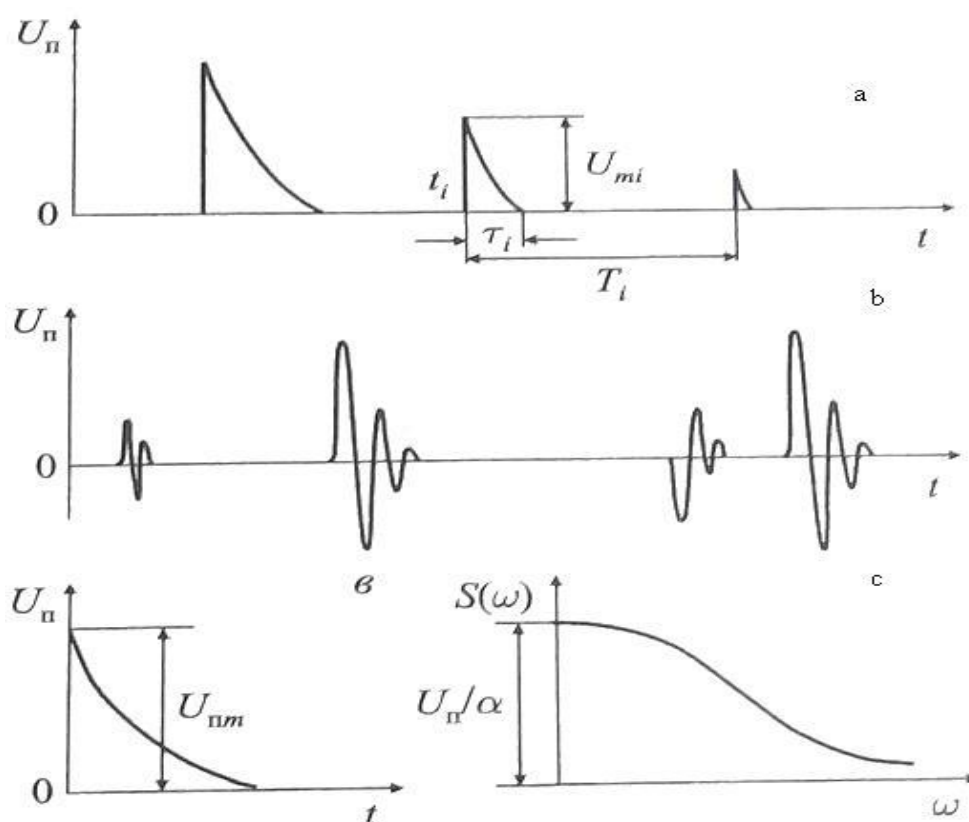
x – təsadüfi kəmiyyət;

a, σ – funksiyanın parametrləridir.

Sonuncu (3) ifadəsi, baxılan hal və vəziyyətlər üçün tanınmış Lyapunov teoremi ilə izah olunur [2], ona görə müstəqil təsadüfi dəyişənlərin cəminin paylanması bəzən kifayət qədər geniş şərtlərin paylanması xarakterindən asılı olmayaraq, normala yaxınlaşır. Hauss prosesi də riyazi (3) baxımdan mühüm xüsusiyyətlərə malikdir. Bu xüsusiyyətlər ehtimal nəzəriyyəsi və təsadüfi proseslər nəzəriyyəsi üzrə əsərlərdə də – [11; 12]-də ətraflı təsvir edilmişdir.

İmpuls maneə mənbələri

HT rabitə şəbəkələrinə təsir edən maneə mənbələrindən biri də impuls maneəsi hesab olunur. İmpuls maneəsi fərdi impulsları və ya fərdi video və ya radio impulslarının müntəzəm, tez-tez qeyri-stasionar təsadüfi ardıcılığını təmsil edir. Şəkil 2 (a, b, c) də impuls maneələrinin təsir formaları, zaman və tezlik diaqraması təsvir olunmuşdur. Təsvir forması bütün hallarda impuls maneəsinin funksiyası ilə verilmişdir: $U_n = F(t)$ və $S(\omega) = F(\omega)$.



Şəkil 2. İmpuls maneələrinin təsir formaları, zaman və tezlik diaqraması

Təklif olunmuş şəkil 2 (a, b, c) təyinatları, zaman və tezlik diaqraması t_i -ci impulsun yaranma vaxtı; τ_i – davamlılıq; T_i – izləmə intervalı və $U_{max i}$ – i -ci impulsu üçün maksimum gərginliyin qiyməti hesab olunur.

Şəkil 2-də zaman və tezlik diaqramasına uyğun olaraq, aşağıdakı bərabərsizlikləri – ümumi impuls maneə mənbələri üçün xarakterik hesab etmək olar:

$$\tau_i \ll T_i, \quad T_i \gg \tau_{yer}, \quad \tau_i < \tau_c, \quad (4)$$

burada,

τ_{yer} – impuls maneəsinin təsirinə məruz qalan dövrənin qurulmasına sərf olunan zaman;

τ_c – signalın elementar göndərilməsi müddətidir.

İmpuls maneəsi, əsasən, sənaye və atmosfer maneə mənbələrinin təsirindən yaranır. Təsadüfi impuls prosesinin həyata keçirilməsinin analitik ifadələri aşağıdakı formada ifadə edilir:

$$u_n(t) = \sum_{i=1}^n U_{ni} \cdot \varphi(t - t_i, \tau_i). \quad (5)$$

Sonuncu (5) ifadəsinə görə baxılan proses parametrləri həm təsadüfi, həm də müntəzəm ola bilər. Bərabərsizliklər toplusu olan (4), impuls təsiri üst-üstə düşən döyünmə – fluktuasiya müdaxiləsindən əsaslı şəkildə fərqlənən tək bir impulsun təsiri kimi nəzərdən keçirməyə imkan verir. İmpuls maneəsinin riyazi ifadəsi, tipik eksponensial funksiya şəklində aşağıdakı kimi göstərilə bilər (Şəkil 1):

$$u_0(t) = \begin{cases} U_{nm} \exp(\alpha \cdot t), & t \geq 0, \\ 0, & t < 0. \end{cases} \quad (6)$$

burada,

α – maneələrin aşağı düşmə sürətini xarakterizə edən əmsal.

Furye çevirmələrinə uyğun olaraq, impuls maneəsinin amplitudlarının spektral sıxlığı belə təyin edilir [1; 12]:

$$S(j\omega) = \int_0^{\infty} u_n(t) e^{j\omega t} dt = \int_0^{\infty} U_{nm} e^{\alpha t} e^{-j\omega t} dt = \int_0^{\infty} U_{nm} \exp(\alpha - j\omega)t dt, \quad (7)$$

burada,

$$S(j\omega) = \frac{U_{nm}}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}, \quad (8)$$

Axırıncı (7) və (8) ifadələri impuls maneəsi, tezliklə azalan genişzolaqlı spektr ilə xarakterizə olunur.

İmpuls maneəsinin təsir müddəti nə qədər qısa olarsa, yəni, α əmsalı nə qədər yüksək olarsa, tezlik spektri bir o qədər geniş və bərabərölçülü olar və ümumi formada aşağıdakı kimi yazılır [2]:

$$W(U_{nm}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left[-\left(\frac{\lg^2 U_{nm}}{2\sigma_n^2}\right)\right], \quad \sigma_n^2 = \overline{\lg^2 U_{nm}}, \quad (9)$$

burada,

σ_n^2 – təsadüfi impuls maneəsinin dispersiyası olub, belə təyin edilir:

$$\sigma_n^2 = \overline{\lg^2 U_{nm}} = D_n[x]$$

Lakin, uzun müddət aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, zamana görə impulsların paylanması funksiyası Puasson paylanma qanununa yaxın hesab edilir və riyazi olaraq belə ifadə olunur:

$$F(k, \theta) = \left[\frac{(\theta/T_{cp})^k}{k!} \right] e^{-\theta/T_{cp}}, \quad \theta/T_{cp} = \lambda t, \quad (10)$$

burada,

$F(k, \theta)$ – vaxt ərzində k impulsların görünmə ehtimalı hesab edilir θ ; T_{cp} – impuls maneənin izlənməsinin orta dövrüdür.

Əgər, biz $\theta/T_{cp} = \lambda t$ əvəzlənməsini qəbul etsək, klassik ehtimal sıxlıq Puasson paylanma funksiyasını almış olarıq. Yəni,

$$P(k, t, \lambda) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \exp(-\lambda t) . \quad (11)$$

Sonuncu (10) və (11) ifadələri təsadüfi impuls maneələrinin paylanma və ehtimal sıxlıq funksiyaları olub, təsadüfi impuls maneə mənbələrinin ehtimal xarakteristikalarını hesablamaq və rabitə kanalının riyazi modelini yaratmaq üçün istifadə oluna bilər.

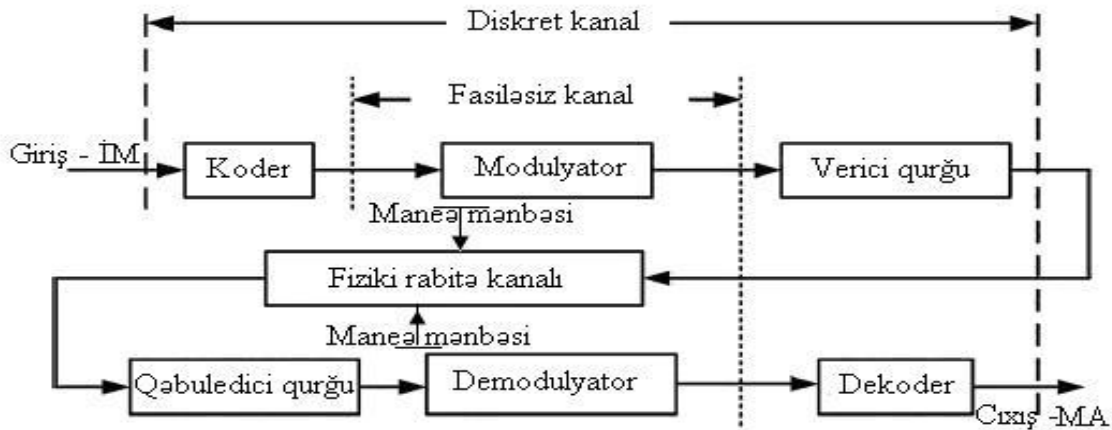
Rabitə kanalının sadə riyazi modeli

HT multiservisli telekommunikasiya şəbəkələrində maneəyədavamlılığın yüksəldilməsi probleminin real həlli yollarından biri veriliş sistemlərinə ciddi riyazi modelləşdirmə metodlarının geniş tətbiqidir. Bunlar arasında dominant yeri şəbəkələr nəzəriyyəsi, qəbuledici sistemlərin demodulyatorunun sintezi və siqnalların optimal qəbulu nəzəriyyəsi, koherent və qeyri-koherent qəbul üsulları hesab edilir [1; 4].

Şəkil 3-də diskret siqnallarının verilişi zamanı düzgün ötürülməsi üçün işləyən veriliş sistemi və rabitə kanalının təklif edilən struktur sxemi tədqiqat obyekti hesab edilir və aşağıdakı kimi göstərilir.

Struktur sxem əsasən aşağıdakı idarəedici bloklardan ibarətdir:

- diskret və fasiləsiz kanallar, fiziki rabitə kanalı;
- giriş-informasiya mənbəyi (İM), çıxış məlumatı alan (MA), son ünvan, maneə mənbəsi (MM).



Şəkil 3. Məlumat siqnallarının düzgün ötürülməsi üçün veriliş sistemi və rabitə kanalının struktur sxemi

Şəkil 3-ə əsasən məlumatlar rabitə kanalı vasitəsilə müstəqil simvollar ardıcılığı şəklində ötürüldüyü zaman hesabı ifadə $\{a_i\}$, $i = 0, 1, \dots, k - 1$ olunur və takt T intervalı nəzərə alınmaqla aşağıdakı kimi yazılır:

$$S(t, b) = N_m(t) + \sum_{i=0}^{k-1} a_i \cdot g(t - i \cdot T), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (12)$$

Sonuncu (12) ifadəsi qəbuledicinin girişində impuls ardıcılığını və riyazi modelin (RM) yekun ifadəsini xarakterizə edir.

Demodulyatorun sintez məsələsini nəzərə almaqla, RM bazasında bəzi vacib göstəricilərin təyin olunma alqoritminin təhlilinə baxaq.

1. İkili rabitə kanalında amplitud, tezlik və faza modulyasiyasından istifadə etdikdə, səhv ehtimalı belə təyin olunur:

$$P_{BER} = 1 - F[(E_0 / 2N_0)^{0.5}] = 1 - F\{[(E_0 + E_1 + 2E_{0,1}) / 2N_0]^{0.5}\}, \quad (13)$$

burada,

E – uyğun olaraq ikili siqnalın enerjisi hesab olunur, $E \in b_i \in \{0,1\}$, $E = (E_0, E_1)$;

N_0 – maneə siqnalının gücünün spektral sıxlığıdır, Vt / Hs .

2. İkili rabitə kanalında demodulyatorun çıxışında siqnal-küy nisbəti (SNR, Signal Noise – to Rate) $SNR(P_S)$:

$$SNR(P_S) = \lg[(P_S / N_0) \cdot T], \text{ dB}, \quad T = 1 / \Delta F, \quad (14)$$

burada, ΔF – demodulyatorunda razılaşıdırıcı süzgecin tezlik zolağının enidir.

3. Demodulyatorun çıxışında diskret siqnalların qəbulu ehtimalı belə təyin edilir:

$$P_{ds} = 1 - \sum_{i=1}^t C_N^{N-i} \cdot (1 - P_{te})^{N-i} P_{te}^i, \quad (15)$$

burada,

P_{te} – ikili siqnal məlumatların veriliş sistemində ötürülməsi zamanı təhrif olunma ehtimalı;

C_N^{N-i} – $N - 1$ üzrə binomial əmsalın N elementi;

t – Rida-Solomona kodunun düzəldici qabiliyyəti, kod ardıcılığının uzunluğu N və kod sürəti nəzərə alınmaqla belə təyin edilir:

$$t = 0,5N \cdot (1 - R_k) = 0,5(k + r)(1 - R_k), \quad (16)$$

burada,

R_k – Rida-Solomona kodunun sürəti olub, belə ifadə edilir $R_k = (k / N) < 1$.

4. Viterbi alqoritmi əsasında qurulmuş qəbuledicinin mürəkkəbliyini və Rida-Solomona kodunun kod məsafəsini nəzərə almaqla, diskret siqnalların optimal qəbulu üsulundan istifadə edərək, bitə görə səhv ehtimalının yekun ifadəsi belə təyin olunur [12]:

$$P_{BER} = K_{\min} \cdot Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}} \cdot d_{\min}\right), \quad (17)$$

burada,

K_{\min} – minimum məsafədə yerləşən siqnalların və onların fərqləndiyi simvolların sayından asılı olaraq təyin edilmiş bir sabitdir;

d_{\min} – kod məsafəsi olub, ötürülən bilən siqnallar arasındakı minimum Evklid məsafəsində hesab edilir;

E_b – bir bit məlumatın ötürülməsinə sərf olunan enerji; $Q(x)$ – Qauss funksiyasının səhv inteqralı hesab olunur və belə təyin edilir:

$$Q(x) = (1 / 2\pi)^{0.5} \cdot \int_0^{\infty} \exp(-0.5u^2) du.$$

Alınmış sonuncu (11), ..., (17) ifadələri rabitə kanalının riyazi modelinin bazasında maneəyədavamlılığı xarakterizə edən analitik ifadələr toplusu hesab olunur.

Tədqiqatlar əsasında müəyyən edilmişdir ki, baxılan problemin həlli zamanı əsas maneə veriliş sistemlərində siqnalların rəqəmli emalı proseslərinin kifayət qədər adekvat riyazi modellərinin və qəbulun maneəyədavamlılığı xarakteristikalarının effektiv ədədi analizi və optimallaşdırılması metodlarının olmamasıdır [2; 4; 12].

Nəticə

Aparılmış nəzəri təhlillər nəticəsində məlum olmuşdur ki, elektrik və optik veriliş sistemlərinin HT yeni nəsillə rabitə şəbəkələrində maneəyədavamlılıq məsələlərinin tədqiqi üçün ilk növbədə, RK-na təsir edən MM-in, yüksək effektivliyə malik modulyasiyanın və kodun tipi, veriliş sürətlərinin nəzərə alınması vacibdir.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı

1. İbrahimov, B.Q. Elektrik rabitə nəzəriyyəsi. Dərslük. / B.Q. İbrahimov. – Bakı, – 2016.– 384 s.
2. İbrahimov, B.Q. Telekommunikasiya sistemləri və texnologiyaları. Dərs vəsaiti. / – Bakı: AzTU, – 2021. – 354 s.
3. Прокис, Д. Цифровая связь / Д.Прокис, (пер. с англ., Д.Д. Кловского). – Москва: Радио и связь, – 2020. – 800 с.
4. Зюко, А.Г. Теория электрической связи. Учебник для вузов. / А.Г.Зюко Д.Д.Кловский, В.И.Коржик, М.В.Назаров. (Под ред. Д.Д.Кловского). – Москва: Радио и связь, – 1999. – 432 с.
5. Ruixin, Y. (2020) Spectral and Energy Efficiency of DCO-OFDM in Visible Light Communication Systems with Finite-Alphabet Inputs / Y. Ruixin, M.Shuai, X.Zihan, L.Hang, L. Xiaodong, L.Xintong, D.Xiong // IEEE Transactions on Wireless Communications, – 2020.№ 21(8), p. 6018-6032.
6. Гордиенко, В.Н. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов В.Н.Гордиенко, М.С.Тверецкий, – Москва: Горячая линия, – 2013. – 396 с.
7. Пушкина, Е.О. Вероятность ошибки в системе связи с OFDM и QAM в канале с АБГШ // Инфокоммуникационные технологии. – 2013. № 2. Том 12, – с.59-62.
8. Исмаилов, И.А., Ибрагимов, Б.Г., Бахтияров, И.Н. Исследование достоверности передачи сообщения мультисервисного трафика в корпоративных сетях связи// – Баку Научные сборники – НАА, – 2021. № 2(23). – с. 8 – 14. DOI:10.34826/НАА.2021.23.2.002.
9. Ibrahimov, B.G., Hashimov, E.Q., Hasanov, A.H., Talibov, A.M. Research and analysis indicators fiber-optic communication lines using spectral technologies // – Kharkiv: Advanced Information Systems, – 2022. №1. Vol.6. – p. 61-64. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.1.10>.
10. Jin, X., Zheng, C., Xijuan, G., Timo, H. Energy Efficient Resource Allocation for Wireless Powered UAV Wireless Communication System with Short Packet // Berlin: Springer, IEEE Transactions on Green Communications and Networking. – 2023. №7 (1). – p. 101-113.
11. Маслов, О.Н., Щербакова, Т.А. Анализ и моделирование мультипликативных процессов // – Радиотехника. – 2019. №6. – с. 101-105.
12. Ibrahimov, B. Investigation of Noise Immunity Telecommunication Systems According to The Criterion Energy Efficiency // – Riga: Sciendo, Transport and Telecommunication – 2023. № 4.VOL. 24, –PP. 375-384. DOI 10.2478/TTJ-2023-0029. (WOS, Q2).

Аннотация

**Исследования и анализ задачи помехоустойчивости
в сетях связи последующего поколения
Байрам Ибрагимов, Ялчын Исаев, Асмар Набиева**

Данная статья посвящена анализу и исследованию вопросов помехоустойчивости в сетях связи нового поколения. В предлагаемой статье рассмотрены проблемы помехоустойчивости приема сигналов в телекоммуникационных сетях специального назначения и подробно проанализированы методы улучшения при приеме их показателей. Целью научно-исследовательской работы является анализ и изучение задачи помехоустойчивости в сетях связи нового поколения. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: целевая функция постановки задачи, общий анализ источников помех, влияющих на каналы связи, разработка

математической модели канала связи с учетом источников импульсных помех, исследование и оценка вероятности битовых ошибок. Для решения задачи используются следующие методы исследования: математическое моделирование, методы помехоустойчивости и методы цифровой обработки сигналов. Были получены следующие важные результаты: Путем исследования алгоритмов когерентного и некогерентного приема, методов модуляции и помехоустойчивого кодирования в системах связи военного назначения, предложен новый эффективный подход к обеспечению качественного процесса приема. На основе исследуемого нового подхода разработана математическая модель дискретного канала связи, учитывающая влияние источников помех на системы связи. Заключение и выводы: На основе математической модели дискретных каналов связи для анализа помехоустойчивости выбраны структурная схема физических интервалов системы передачи и способ надежной передачи сигналов данных, а также показатели качества каналов при изучении прием электрических и оптических сигналов. На основе математической модели получены следующие аналитические выражения для оценки показателей помехоустойчивости системы связи: вероятность битовая ошибок при использовании амплитудной, частотной и фазовой модуляции в двоичных каналах связи, отношение сигнал/шум на выходе демодулятора, для вероятности битовой ошибки оптимальный прием дискретных сигналов с использованием кода Риды-Соломона и алгоритма Витерби.

Ключевые слова: вероятность битовая ошибок, скорость передачи, когерентный модем, демодулятор, вероятность битовой ошибки, непреднамеренные помехи, отношения сигнал/помехи, канал связи.

Abstract

Research and analysis of the problem of noise immunity in next generation networks

Bayram Ibrahimov, Yalchin Isaev, Asmar Nabiyeva

This article is devoted to the analysis and research of noise immunity issues in new generation communication networks. This article examines the problems of noise immunity of signal reception in special-purpose telecommunication networks and analyzes in detail methods for improving the reception of their performance. The purpose of the research work is to analyze and study the problem of noise immunity in new generation communication networks. To achieve the goal, the following tasks were set: target function of the problem statement, general analysis of interference sources affecting communication channels, development of a mathematical model of the communication channel taking into account sources of impulse interference, research and assessment of the probability of bit errors. To solve the problem, the following research methods are used: mathematical modeling, noise immunity methods and digital signal processing methods. The following important results were obtained: By studying coherent and incoherent reception algorithms, modulation methods and noise-resistant coding in military communications systems, a new effective approach to ensuring a high-quality reception process was proposed. Based on the new approach under study, a mathematical model of a discrete communication channel has been developed, taking into account the influence of interference sources on communication systems. Conclusions: Based on the mathematical model of discrete communication channels, a structural diagram of the physical intervals of the transmission system and a method of reliable transmission of data signals, as well as indicators of the quality of channels when studying the reception of electrical and optical signals, were selected to analyze the noise immunity. Based on the mathematical model, the following analytical expressions were obtained to evaluate the noise immunity indicators of a communication system: the probability of bit errors when using amplitude, frequency and phase modulation in binary communication channels, the signal-to-noise ratio at the demodulator output, for the probability of a bit error, the optimal reception of discrete signals using a code Reed-Solomon and Viterbi algorithm.

Keywords: bit error probability, transmission speed, coherent modem, demodulator, bit error probability, unintentional noise, signal-to-noise ratio, communication channel

Məqalə redaksiyaya daxil olmuşdur: 23.08.2023

Təkrar işlənməyə göndərilmişdir: 22.02.2024

Çapa qəbul edilmişdir: 11.03.2024