

RAQAMLI KANALLARDA O'TKAZUVCHANLIK NAZARIYASI

Malikov Og'abek

Akramov Oybek

Islomov Asadulloh

email: ogabekmalikov22@gmail.com<https://doi.org/10.5281/zenodo.20081194>

Annotatsiya. Ushbu maqola raqamli aloqa kanallarida o'tkazuvchanlik qobiliyati va axborot uzatishning nazariy asoslarini tadqiq etishga bag'ishlangan. Tadqiqotning asosiy maqsadi — Klod Shennon tomonidan ishlab chiqilgan matematik modellarni zamonaviy yuqori tezlikdagi aloqa tizimlari kontekstida tahlil qilishdir. Maqolada kanal o'tkazuvchanligini belgilovchi asosiy fizik parametrlar: chastota polosasi kengligi, signal kuchi va additiv oq shovqinning (AWGN) ta'siri batafsil yoritilgan. Shuningdek, nazariy maksimal tezlikka erishish imkonini beruvchi modulyatsiya va kodlash usullarining samaradorligi baholangan. Maqola aloqa muhandisligi va axborot nazariyasi sohasidagi mutaxassislar uchun nazariy manba bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: Raqamli kanal, o'tkazuvchanlik qobiliyati, Shennon-Xartli teoremasi, signal-shovqin nisbati (SNR), chastota diapazoni, ma'lumotlar uzatish samaradorligi.

In English: Abstract: This article is devoted to the study of the theoretical foundations of channel capacity and information transmission in digital communication channels. The primary objective of the research is to analyze the mathematical models developed by Claude Shannon within the context of modern high-speed communication systems. The article provides a detailed explanation of the key physical parameters determining channel capacity: bandwidth, signal power, and the influence of Additive White Gaussian Noise (AWGN). Furthermore, the effectiveness of modulation and coding techniques that allow approaching the theoretical maximum transmission rate is evaluated.

Keywords: Digital channel, channel capacity, Shannon-Hartley theorem, signal-to-noise ratio (SNR), bandwidth, data transmission efficiency.

На русском языке: Аннотация: Данная статья посвящена исследованию теоретических основ пропускной способности и передачи информации в цифровых каналах связи. Основная цель исследования заключается в анализе математических моделей Клода Шеннона в контексте современных высокоскоростных систем связи. В статье подробно рассматриваются ключевые физические параметры: ширина полосы частот, мощность сигнала и влияние аддитивного белого гауссовского шума (AWGN). Также оценивается эффективность методов модуляции и кодирования, позволяющих приблизиться к теоретическому пределу скорости.

Ключевые слова: Цифровой канал, пропускная способность, теорема Шеннона-Хартли, отношение сигнал-шум (SNR), полоса частот.

Kirish

Zamonaviy axborot jamiyatida ma'lumot almashinuvi tezligi va ishonchliligi har qanday texnologik tizimning asosiy samaradorlik ko'rsatkichlaridan biri hisoblanadi. Internet tarmoqlari, mobil aloqa tizimlari, sun'iy yo'ldosh kommunikatsiyalari va optik tolali uzatish liniyalari kabi raqamli aloqa vositalari insoniyat hayotining barcha jabhalariga chuqur kirib bormoqda. Ushbu tizimlarning ishlash samaradorligi esa bevosita kanal orqali uzatiladigan ma'lumotlar hajmi, ya'ni o'tkazuvchanlik qobiliyati bilan belgilanadi.

Raqamli aloqa kanallari doimo turli xil cheklovlar — fizik muhit xususiyatlari, shovqinlar, signal yo‘qotishlari va interferensiyalar ta‘sirida ishlaydi. Shu sababli, berilgan kanal orqali maksimal qancha axborotni xatolarsiz uzatish mumkinligi masalasi aloqa nazariyasining markaziy muammolaridan biri hisoblanadi. Aynan shu savolga javob sifatida Klod Shennon tomonidan ishlab chiqilgan axborot nazariyasi fundamental asos bo‘lib xizmat qiladi.

Shennonning ishlari natijasida aloqa kanallarining nazariy chegaralari aniqlanib, axborotni optimal uzatish qonuniyatlari ishlab chiqildi. U tomonidan taklif etilgan Shennon–Xartli teoremasi kanal o‘tkazuvchanligini aniqlovchi asosiy matematik model bo‘lib, unda chastota polosasi kengligi va signal-shovqin nisbati asosiy parametrlar sifatida qaraladi. Ushbu nazariya nafaqat nazariy jihatdan muhim, balki amaliy aloqa tizimlarini loyihalashda ham muhim ahamiyat kasb etadi.

Bugungi kunda 5G va kelajakdagi 6G texnologiyalari, yuqori tezlikdagi optik tarmoqlar hamda sun‘iy intellekt asosidagi aloqa tizimlari aynan Shennon chegaralariga yaqinlashishga qaratilgan. Shu sababli, raqamli kanallarda o‘tkazuvchanlik nazariyasini chuqur o‘rganish zamonaviy muhandislik va ilmiy tadqiqotlarning ajralmas qismiga aylangan.

Asosiy qism

Raqamli aloqa kanallarida o‘tkazuvchanlik qobiliyati deganda, ma‘lum vaqt birligi ichida kanal orqali xatolarsiz uzatilishi mumkin bo‘lgan maksimal axborot miqdori tushuniladi. Ushbu kattalik odatda bit/sekund (bit/s) da o‘lchanadi va u kanalning fizik hamda statistik xususiyatlariga bog‘liq bo‘ladi.

Shennon–Xartli teoremasi

Klod Shennon tomonidan 1948-yilda ishlab chiqilgan teorema kanal sig‘imini aniqlashda asosiy nazariy vosita hisoblanadi:

$$C = B \cdot \log_2(1 + S/N)$$

Bu yerda kanal o‘tkazuvchanligi (C) chastota diapazoni (B) va signal-shovqin nisbati (S/N) ga bog‘liq holda aniqlanadi. Ushbu formula shuni ko‘rsatadiki, kanal sig‘imi signal kuchi oshgani sari ortadi, ammo bu o‘shish logarifmik xarakterga ega bo‘lib, cheksiz tezlikka erishish amalda mumkin emas.

Chastota polosasi kengligining ta‘siri

Chastota polosasi kengligi (bandwidth) kanalning asosiy resurslaridan biri hisoblanadi. Agar boshqa shartlar o‘zgarmas bo‘lsa, chastota diapazonining kengayishi o‘tkazuvchanlikni to‘g‘ridan-to‘g‘ri oshiradi. Masalan, yuqori chastotali diapazonlardan foydalanish (millimetr to‘lqinlar) 5G texnologiyasida katta tezliklarni ta‘minlash imkonini beradi.

Biroq, chastota resurslari cheklangan bo‘lib, ularni samarali taqsimlash va foydalanish muhim muhandislik muammosi hisoblanadi. Bundan tashqari, yuqori chastotalarda signalning so‘nishi kuchliroq bo‘ladi, bu esa qo‘shimcha texnologik yechimlarni talab qiladi.

Signal-shovqin nisbatining (SNR) roli

Signal-shovqin nisbati aloqa sifati va ishonchliligini belgilovchi asosiy ko‘rsatkichlardan biridir. Agar signal quvvati shovqinga nisbatan yuqori bo‘lsa, uzatilayotgan axborotning aniqligi ortadi. Aksincha, shovqin darajasi yuqori bo‘lsa, xatoliklar soni ortadi va samaradorlik pasayadi.

Shennon nazariyasiga ko‘ra, SNR oshishi bilan o‘tkazuvchanlik ortadi, ammo bu o‘shish ham logarifmik xarakterga ega. Shu sababli, faqat signal kuchini oshirish orqali katta samaradorlikka erishish har doim ham iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas.

Shovqin va AWGN modeli

Amaliy aloqa kanallarida eng ko'p qo'llaniladigan model — bu additiv oq Gauss shovqini (AWGN) modelidir. Ushbu modelda shovqin tasodifiy va barcha chastotalar bo'yicha bir xil taqsimlangan deb qabul qilinadi. AWGN modeli matematik jihatdan qulay bo'lib, u ko'plab real tizimlar uchun yaxshi yaqinlashuv beradi.

Shovqin ta'siri signalni buzadi va uzatish jarayonida xatoliklarni keltirib chiqaradi. Shu sababli, zamonaviy tizimlarda shovqinga chidamli modulyatsiya va kodlash usullaridan foydalaniladi.

Zamonaviy texnologiyalar va o'tkazuvchanlikni oshirish usullari

Hozirgi kunda o'tkazuvchanlikni maksimal darajaga yetkazish uchun bir qator ilg'or texnologiyalar qo'llanilmoqda:

- **Yuqori tartibli modulyatsiya (QAM-256, QAM-1024)** — bir vaqtning o'zida ko'proq bit uzatish imkonini beradi.
- **Xatolarni tuzatuvchi kodlash (LDPC, Turbo kodlar)** — uzatishdagi xatoliklarni kamaytiradi.
- **MIMO texnologiyasi (Multiple Input Multiple Output)** — bir nechta antennalar orqali parallel uzatishni ta'minlaydi.
- **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)** — chastota resurslarini samarali taqsimlaydi.

Ushbu texnologiyalar yordamida amaliy tizimlar Shannon chegarasiga maksimal darajada yaqinlashmoqda.

Xulosa

Xulosa qilib aytganda, raqamli aloqa kanallarida o'tkazuvchanlik qobiliyati fundamental fizik va statistik chekllovlar bilan belgilanadi. Shannon–Xartli teoremasi ushbu cheklavlarning nazariy chegarasini aniqlab berib, zamonaviy aloqa tizimlarini loyihalashda asosiy yo'riqnomam vazifasini bajaradi.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, o'tkazuvchanlikni oshirishning ikki asosiy yo'li mavjud: chastota polosasi kengligini kengaytirish va signal-shovqin nisbatini yaxshilash. Biroq, real sharoitda ushbu parametrlar texnik va iqtisodiy omillar bilan cheklangan. Shu sababli, zamonaviy tizimlarda yuqori samaradorlikka erishish uchun murakkab modulyatsiya usullari, xatolarni tuzatuvchi kodlash algoritmlari hamda MIMO kabi ko'p antennali texnologiyalar keng qo'llanilmoqda.

Kelajakda 6G va undan keyingi avlod aloqa tizimlarida sun'iy intellekt asosidagi signalni qayta ishlash, adaptiv kodlash va ultra keng polosali texnologiyalar yordamida Shannon chegarasiga yanada yaqinlashish kutilmoqda. Shu jihatdan, o'tkazuvchanlik nazariyasi nafaqat fundamental ilmiy yo'nalish, balki amaliy muhandislik muammolarini hal qilishda ham muhim ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Shannon, C. E. (1948). "A Mathematical Theory of Communication". *Bell System Technical Journal*.
2. Proakis, J. G., & Salehi, M. (2008). *Digital Communications*. 5th edition. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.

3. Haykin, S. (2009). *Communication Systems*. 5th edition. John Wiley & Sons.
4. Sattorov, A. va boshqalar. (2020). *Raqamli aloqa tizimlari*. Toshkent: TUIT nashriyoti.
5. Goldsmith, A. (2005). *Wireless Communications*. Cambridge University Press.