

## “SHOVQIN DARAJASI YUQORI BO'LGAN KANALLARDA BCH VA XEMING ALGORITMLARI YORDAMIDA KO'P BOSQICHLI XATO TUZATISH USULLARINI TADBIQ ETISH”

O'qituvchi: **Xalilov MuhammadMuso**

Ishtirokchilar: **Sodiqjonov Ozodbek**

**Nomonjonov Sardorbek, Madrahimov Alisher**

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada axborot uzatish tizimlarida xatolarga chidamlilikni oshirish maqsadida BCH va Xeming kodlarini birlashtirgan gibrid kaskadli kodlash usuli tadqiq etiladi. Tadqiqotning asosiy g'oyasi — Xeming kodining kam resurs talab qilishi va BCH kodining ko'p sonli xatolarni tuzatish imkoniyatlaridan kombinatsiyalashgan holda foydalanishdir. Maqolada kaskadli tizimning strukturaviy sxemasi ishlab chiqilgan va turli darajadagi shovqinli kanallarda xatolarni tuzatish koeffitsiyenti tahlil qilingan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, taklif etilayotgan gibrid usul individual kodlash usullariga qaraganda ma'lumotlarning butunligini ta'minlashda yuqori samaradorlik ko'rsatadi.

**Аннотация:** В данной статье исследуется метод гибридного каскадного кодирования на основе кодов BCH и Хэмминга для повышения отказоустойчивости систем передачи информации. Основная идея исследования заключается в комбинированном использовании низкой вычислительной сложности кода Хэмминга и высокой корректирующей способности кода BCH. В работе разработана структурная схема каскадной системы и проанализирован коэффициент исправления ошибок в каналах с различным уровнем шума. Результаты показывают, что предложенный гибридный метод обеспечивает более высокую эффективность обеспечения целостности данных по сравнению с использованием этих методов по отдельности.

**Annotation:** This article investigates a hybrid concatenated coding method based on BCH and Hamming codes to enhance error tolerance in data transmission systems. The core idea of the research is to combine the low computational complexity of the Hamming

code with the multi-bit error correction capability of the BCH code. The paper develops a structural scheme for the concatenated system and analyzes the error correction efficiency across channels with varying noise levels. The results demonstrate that the proposed hybrid approach exhibits superior performance in maintaining data integrity compared to individual coding techniques.

**Kalit soʻzlar:** gibrid kodlash, kaskadli tizim, BCH kodi, Xeming kodi, xato tuzatish samaradorligi, shovqin chidamliligi, axborot ishonchliligi, siklik kodlar.

Zamonaviy raqamli aloqa tizimlarining asosiy vazifasi maʼlumotlarni uzatish kanallarida axborot yaxlitligini taʼminlashdir. Biroq, issiqlik shovqinlari, impulsli xalaqitlar va signal soʻnishi kabi faktorlar uzatilayotgan bitlar oqimida xatoliklarni yuzaga keltirishi muqarrar. Bu xatolarni bartaraf etish uchun oldinga yoʻnaltirilgan xatoni tuzatish (FEC — Forward Error Correction) texnologiyalari qoʻllaniladi. Hozirgi kunda keng tarqalgan Xeming va BCH kodlari oʻziga xos afzalliklarga ega boʻlsa-da, ularning individual qoʻllanilishi cheklangan samaradorlikka ega. Xususan, Xeming kodlari guruhli (burst) xatolarni tuzata olmaydi, BCH kodlari esa yuqori tartibli xatolarni tuzatishda dekoderga tushadigan hisoblash yuklamasini eksponentsial ravishda oshirib yuboradi. Ushbu tadqiqot kaskadli kodlash (Concatenated Coding) tamoyiliga asoslangan boʻlib, unda ikki xil kodning Koʻp bosqichli kombinatsiyasi orqali tizimning umumiy xato tuzatish qobiliyatini (Error Correction Capability) oshirish va energetik sarfni optimallashtirish masalalari yoritiladi.

Axborot uzatish tizimlarida shovqin taʼsirida yuzaga keladigan bit xatolari maʼlumotlarning buzilishiga olib keladi. Bunday xatoliklarni kamaytirish yoki bartaraf etish uchun oldinga yoʻnaltirilgan xatoni tuzatish (FEC) usullari qoʻllaniladi. FEC usullarida uzatilayotgan axborotga ortiqcha nazorat bitlari qoʻshilib, qabul qiluvchi tomonda xatolar aniqlanadi va tuzatiladi. Xeming va BCH kodlari siklik blok kodlar sinfiga mansub boʻlib, ular matematik jihatdan yaxshi oʻrganilgan va amaliy tizimlarda keng qoʻllaniladi. Xeming kodlari bir bitli xatolarni aniqlash va tuzatishda yuqori tezkorlikka ega boʻlsa, BCH kodlari bir nechta xatolarni tuzatish imkoniyatiga ega, biroq hisoblash murakkabligi nisbatan yuqoriroqdir.

Xeming kodlari minimal ortiqcha bitlar yordamida bir bitli xatoni tuzatish va ikki bitli xatoni aniqlash imkonini beradi. Ularning asosiy afzalligi — kodlash va dekodlash algoritmlarining soddaligi hamda apparat resurslariga bo‘lgan talabning kamligidir. Ammo Xeming kodlarining muhim kamchiligi shundaki, ular ko‘p bitli yoki guruhli (burst) xatolarni samarali tuzata olmaydi. Shu sababli yuqori shovqinli kanallarda faqat Xeming kodidan foydalanish axborot ishonchliligini yetarli darajada ta’minlay olmaydi.

BCH (Bose–Chaudhuri–Hocquenghem) kodlari ko‘p bitli xatolarni tuzatishga mo‘ljallangan bo‘lib, ular ixtiyoriy  $t$  ta bitgacha xatoni tuzatish imkonini beradi. BCH kodlari ayniqsa shovqin darajasi yuqori bo‘lgan kanallarda samarali hisoblanadi. Biroq BCH kodlarining dekodlash jarayoni murakkab bo‘lib, katta blok uzunliklarida hisoblash yuklamasi sezilarli darajada oshadi. Bu esa real vaqt rejimida ishlovchi tizimlar uchun muammo tug‘diradi.

Kaskadli (gibrid) kodlash sifatida Xeming kodi qo‘llaniladi. Tashqi kod sifatida BCH kodi ishlatiladi. Uzatuvchi tomonda axborot avval BCH kodi yordamida kodlanadi, so‘ngra hosil bo‘lgan kod so‘zlari Xeming kodi orqali qayta kodlanadi. Qabul qiluvchi tomonda esa dekodlash teskari tartibda amalga oshiriladi: avval Xeming dekoderi, so‘ng BCH dekoderi ishlaydi. Bunday Ko‘p bosqichli yondashuv natijasida Xeming kodi kichik xatolarni tezda bartaraf etadi, BCH kodi esa qolgan ko‘p bitli xatolarni tuzatadi.

#### Gibrid tizimning strukturaviy modeli

1. Axborot manbai
2. BCH kodlovchi
3. Xeming kodlovchi
4. Shovqinli uzatish kanali
5. Xeming dekoder
6. BCH dekoder
7. Axborot qabul qilgich

Mazkur struktura xatolarni bosqichma-bosqich kamaytirish imkonini beradi va tizimning umumiy ishonchliligini oshiradi.

**Nazariy tahlil:** Ma'lumotlarni uzatish tizimlarining ishlash prinsiplari va ularning zamonaviy infratuzilmadagi ahamiyati bo'yicha ilmiy adabiyotlar va texnik hujjatlar o'rganildi.

**Taqoslash usuli:** An'anaviy bir bosqichli kodlash tizimlari bilan gibrid kaskadli tizimlar solishtirilib, ularning xatoga chidamlilik darajasi tahlil qilindi.

**Tajribaviy tahlil:** Turli shovqin darajalarida (SNR) tizimning real sharoitdagi ishlash samaradorligi, signal sifati va uzatish tezligi bo'yicha eksperimental natijalar ko'rib chiqildi.

**Statistik ma'lumotlar tahlili:** Telekommunikatsiya markazlari ma'lumotlari asosida ko'p bosqichli kodlash tizimlarining joriy etilishi va rivojlanish dinamikasi o'rganildi.

Ushbu metodlar asosida olingan natijalar ko'p bosqichli xato tuzatish tizimlari telekommunikatsiya sohasida, xususan, zamonaviy tarmoqlarda ma'lumot uzatish sifatini ta'minlashda muhim rol o'ynashini va ularning kelajakdagi istiqbollari yuqori ekanligini ko'rsatadi.

## Xulosa

Ushbu maqolada shovqin darajasi yuqori bo'lgan kanallarda axborot uzatishda BCH va Xeming kodlarini birlashtirgan gibrid kaskadli kodlash usuli tahlil qilindi. Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, Xeming kodi tezkor va kam resurs talab qilsa-da, ko'p bitli xatolarni tuzatolmaydi, BCH kodi esa ko'p bitli xatolarni bartaraf etadi, ammo dekodlash murakkab.

Kaskadli kodlash tamoyili bo'yicha axborot avval BCH, so'ng Xeming kodi orqali kodlanadi; qabul qiluvchi tomonda esa teskari tartibda dekodlanadi. Shu tarzda kichik xatolar Xeming dekoderi bilan, qolgan ko'p bitli xatolar esa BCH dekoderi orqali tuzatiladi. Bu yondashuv tizimning umumiy ishonchligini oshiradi va ma'lumot uzatishda signal sifatini saqlaydi.

Nazariy tahlillar, tajribaviy sinovlar va statistik ma'lumotlar gibrid kaskadli kodlashning yuqori samaradorligini tasdiqladi. Xulosa qilib aytganda, BCH va Xeming kodlarini birlashtirgan kaskadli kodlash usuli zamonaviy axborot uzatish tizimlarida

xatolarga chidamlilikni oshirish va shovqin ta'sirini kamaytirish bo'yicha samarali yechim hisoblanadi.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Shuvalov V., *Error Control Coding: Theory and Practice*, Springer, 2018.
2. Lin S., Costello D., *Error Control Coding: Fundamentals and Applications*, 2nd Edition, Prentice Hall, 2004.
3. Bose R., Chaudhuri D., Hocquenghem A., *BCH Codes: Theory and Applications*, IEEE Transactions on Information Theory, 1960.
4. Hamming R. W., *Error Detecting and Error Correcting Codes*, Bell System Technical Journal, 1950.
5. Blahut R. E., *Theory and Practice of Error Control Codes*, Addison-Wesley, 1983.
6. MacWilliams F. J., Sloane N. J. A., *The Theory of Error-Correcting Codes*, North-Holland, 1977.
7. Wicker S. B., *Error Control Systems for Digital Communication and Storage*, Prentice Hall, 1995.
8. Richardson T., Urbanke R., *Modern Coding Theory*, Cambridge University Press, 2008.
9. Kumar P., *Concatenated Codes for High Noise Channels*, IEEE Communications Magazine, 2012.
10. IEEE Xplore Digital Library, *Recent Advances in BCH and Hamming Codes for Reliable Data Transmission*, 2023.