

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА
НА ТЕМУ:

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИЙ ПРИСТРІЙ ПЕРЕДАЧІ
ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ НЕРОЗДІЛЬНИХ КОДІВ

Завідувач кафедрою електроніки
і комп'ютерної техніки

_____ А.С. Опанасюк

Керівник роботи

_____ І.А. Кулик

Виконав студент гр. ТК-81

_____ А.О. Лобанов

Суми 2022

РЕФЕРАТ

В кваліфікаційній роботі бакалавра були розроблені алгоритм генерування квазірівноважних кодів на базі двійкових біноміальних чисел, а також зворотний алгоритм переходу від квазірівноважних кодів до біноміальних чисел. Отримані алгоритми відрізняються простими операціями, які досить легко реалізовувати апаратним та/або програмним способами. Телекомунікаційний пристрій на основі нероздільних кодів, зокрема квазірівноважних кодів, забезпечує практично рівну надійність передачі інформації, як і рівноважні коди, але має більшу інформаційну потужність за рахунок більшої кількості квазірівноважних комбінацій.

В кваліфікаційній роботі бакалавра проведено дослідження властивостей різних нероздільних кодів, перевірено правила переходу від двійкових біноміальних чисел до квазірівноважних кодів та навпаки. Також зроблена перевірка правильності роботи алгоритмів генерування квазірівноважних кодів.

Для виконання випускної роботи використано 10 літературних джерел. Область застосування даного пристрою – системи передачі даних, які застосовують для передачі інформації асиметричні канали зв'язку.

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 40 сторінок тексту, 4 таблиці і 8 рисунків і 2 креслення.

Ключові слова: синтез алгоритмів, пристрій передачі інформації, квазірівноважний код, алгоритм прямого та зворотного перетворення.

ЗМІСТ

1	Огляд літератури і постановка завдання проектування	4
1.1	Структура і особливості будови сучасних систем передачі даних.....	4
1.2	Аналогові та цифрові канали передачі даних	5
1.3	Нероздільні коди та їх властивості.....	15
1.4	Постановка завдань проектування.....	25
2	Розробка алгоритмів формування рівноважних та квазірівноважних кодів на основі біноміальних систем числення.....	26
2.1	Квазірівноважні коди	26
2.2	Двійкові біноміальні числа.....	27
2.3	Алгоритм прямого та зворотного перетворення	31
	Висновок	37
	Список літератури	38
	Додаток А.....	40

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
Разраб.		Лобанов А.О.			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Кулик І.А.				3	40
Реценз.					СумДУ ТК-81		
Н. контр.		Кулик І.А.					
Утверд.		Опанасюк А.С.					
					Телекомунікаційний пристрій передачі інформації на основі нероздільних кодів. Пояснювальна записка		

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Структура і особливості будови сучасних систем передачі даних

Будь-яка система цифрової передачі даних (цифрова система зв'язку) може бути змодельована за допомогою трьох основних компонентів. Такими компонентами є:

- передавальний пристрій;
- канал передачі даних (канал зв'язку);
- приймальний пристрій.

Додатково в таку структуру можуть входити

- джерело інформації;
- одержувач інформації.

В реальних системах зв'язку основні компоненти розбиваються на складові частини, тому в загальному випадку структура цифрової системи зв'язку може мати вигляд (рисунок 1.1):

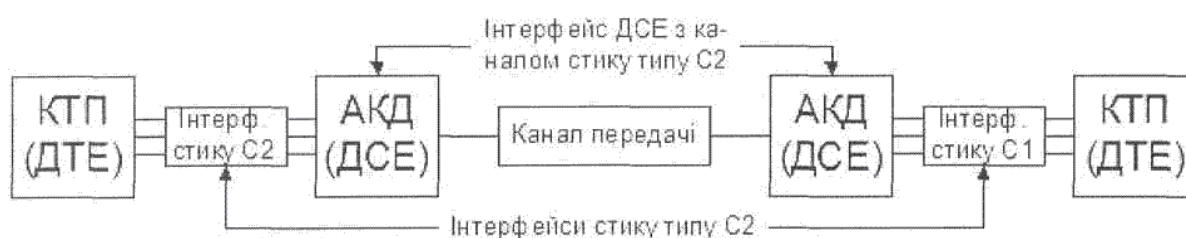


Рисунок 1.1 – Структура цифрової системи зв'язку

КТП – кінцевий термінальний пристрій, що може бути джерелом інформації або її споживачем (одержувачем), або тим і іншим одночасно. КТП може являти собою персональний комп'ютер, супер ЕОМ, термінал, пристрій (систему) збирання даних (АЦІ), касовий апарат, навігаційний приймач або будь-яку апаратуру, що може приймати, зберігати, обробляти та передавати дані. Часто для визначення КТП застосовують міжнародний термін DTE (date terminal equipment).

Безпосередня передача даних відбувається за допомогою АПД -апаратури передачі даних, за міжнародним позначенням DCE (date communications equipment). Функція DCE полягає в тому щоб забезпечити можливість обміну

інформацією між двома (або більше) DTE по каналу певного типу, наприклад, телефонному каналу загального користування (ТКЗК). DCE може являти собою аналоговий модем, якщо використовується аналоговий канал зв'язку або бути пристроєм обслуговування цифрового каналу типу E1/T1, або ISDN. У більшості випадків модем - це пристрій, який виконує функції модулятора-демодулятора, кодера-декодера та інші при обміні інформацією між персональними комп'ютерами як безпосередньо, так і в складі інформаційно-обчислювальних мереж (BBS, FIDONET, Internet, Novell і т.д.).

Для такого пристрою вхідний сигнал, це, як правило, цифрова послідовність даних, що надходить від DTE, а вихідний сигнал – це аналоговий сигнал, що подається в аналоговий телефонний канал. Однак це вірно для випадку, коли модем працює як модулятор. Якщо ж він працює як демодулятор, то все навпаки: вхідний сигнал має аналогову форму, а вихідний сигнал - це потік цифрових даних.

Важливу роль для взаємодії DTE і DCE відіграє їх інтерфейс, що складається з вхідних/вихідних кіл DTE, DCE, рознімачів та з'єднувальних кабелів.

1.2 Аналогові та цифрові канали передачі даних

Аналогові канали зв'язку є, в силу історичних причин, більш розвинутими, особливо на рівні телефонних мереж зв'язку. Прикладом аналогового каналу може бути ТКЗК, що складається з багаточисельних комутаційних пристроїв, пристроїв розподілення сигналів, групових модуляторів та демодуляторів. При передачі дискретних сигналів даних по аналоговому каналу на його вході та виході повинен знаходитись спеціальний пристрій, типу DCE, що перетворює цифрові дані від DTE в аналоговий сигнал з відповідним спектром (для ТКЗК від 300Гц до 3,4кГц) і передає його в канал, а сигнал з каналу перетворює з аналогової форми в цифрову. Ці функції, як правило, виконує аналоговий модем, інколи факсмодем.

Цифрові канали зв'язку мають ряд переваг перед аналоговими, але можуть використовуватись лише спеціалізовані лінії або системи зв'язку, наприклад, типу ІКМ, ISDN (integrated services digital network), канали типу T1/E1 та інші. При цьому передача інформації в конкретний канал супроводжується узгодженням параметрів DCE з параметрами конкретного каналу. Для цього використовують спеціальні

						Лист
						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	5

пристрої, що інколи називають адаптерами ISDN, адаптерами каналів E1/T1, лінійними драйверами і таке інше.

Як аналогові, так і цифрові канали зв'язку можуть бути виділеними або комутованими. Виділені канали комутуються один раз при укладанні договору оренди з підприємством зв'язку, або в момент прокладки індивідуальної лінії. Вони більш надійні, аніж комутовані, оскільки не включають комутаційної апаратури, але й більш дорогі. Комутовані канали виділяються за запитом DTE тільки на момент проведення сеансу зв'язку, а тому значно дешевші.

Як правило, канали зв'язку мають двопровідний або чотирипровідний стик з DCE (стик типу C2). Чотирипровідні канали мають два проводи для передачі сигналів і два проводи для приймання. Двопровідні канали дозволяють економити на вартості кабелів зв'язку, однак вимагають вирішення задачі розподілу сигналів за рахунок ускладнення апаратури шляхом введення диференційних систем в канали передачі/приймання. Однак такі диференційні системи приводять до спотворень амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик каналу та до виникнення ехо-сигналу.

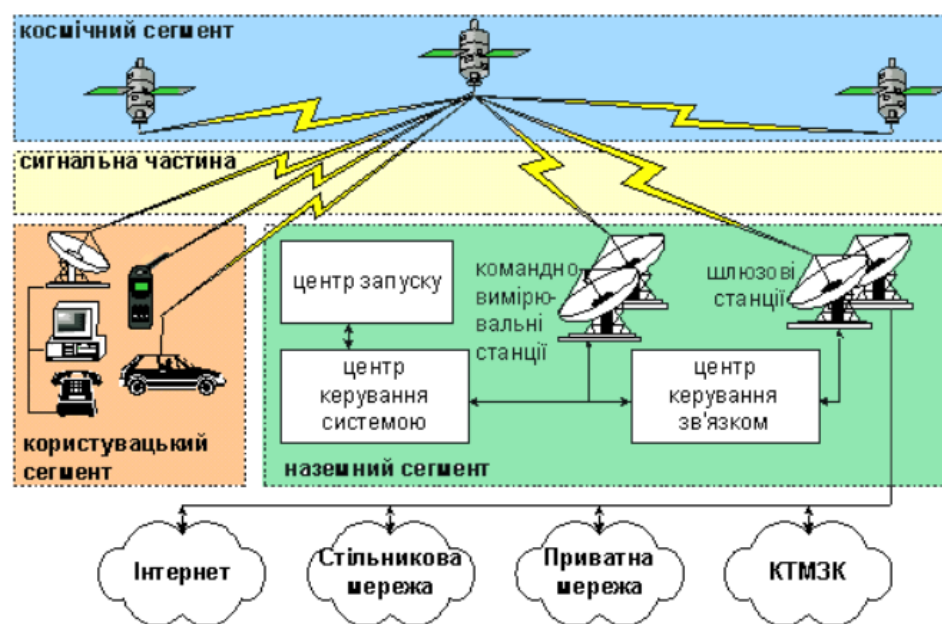


Рисунок 1.2 – Структура систем супутникового зв'язку

В системі супутникового зв'язку можна виділити чотири основних частини (рисунок 1.2):

1. космічний сегмент;
2. сигнальна частина;
3. наземний сегмент;
4. користувацький сегмент.

Космічний сегмент охоплює питання проектування супутника, розрахунку орбіти і запуску супутника. Сигнальна частина включає питання використовуваного спектру частот, впливу відстані на організацію і підтримку зв'язку, джерела інтерференції сигналу, схеми модуляції і протоколи передачі. Наземний сегмент включає розміщення і конструкцію наземних станцій, типи антен, використовуваних для різних додатків, схеми мультиплексування, що забезпечують ефективний доступ до каналів супутника. До користувацького сегменту входить абонентське устаткування.

Космічний сегмент

До системи супутникового зв'язку входить один або декілька супутників-ретрансляторів, які утворюють космічний сегмент системи.

Супутник - пристрій зв'язку, що приймає сигнали від наземної станції, підсилює і ретранслює їх одночасно на всі наземні станції, що знаходяться в зоні видимості супутника. Головними компонентами супутника є:

- ретранслятор (з приймальними і передаючими антенами);
- космічна платформа.

Бортовий ретранслятор приймає сигнали земних станцій, підсилює їхній і передає на землю. За допомогою бортових антен, переданий супутником сигнал фокусується в один чи кілька променів, чим забезпечується формування необхідної зони обслуговування.

Космічна платформа призначена для підтримки роботи супутника зв'язку. Основними функціями космічної платформи є забезпечення бортового ретранслятора електроживленням і утримання супутника на заданій орбіті. До складу космічної платформи можуть входити: центральний процесор; радіоелектронне обладнання; антенні системи; система орієнтації і стабілізації; двигуни; система електроживлення (акумулятори та сонячні батареї).

Електроживлення бортової апаратури здійснюється зазвичай від сонячних батарей і резервних акумуляторів.

Стійкість супутника і потрібна орієнтація антен підтримуються системою

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

орієнтації і стабілізації. Її задача - слідкувати за орієнтацією супутника в просторі і параметрами орбіти. У разі потреби корекції положення, на супутник (з наземної керуючої станції) передаються відповідні команди, після одержання яких включається устаткування і корекція здійснюється. Залишений напризволяще супутник через деякий час перейде до випадкових обертань, перетворившись в непридатний для забезпечення зв'язку пристрій.

Розмір і вага супутника обмежені в основному можливостями транспортних засобів (ракет-носіїв), вимогами до сонячних батарей і обсягами палива для життєзабезпечення (зазвичай, протягом десяти років).

Основними характеристиками супутників зв'язку є кількість радіочастотних каналів (ретрансляторів) чи стовбурів, потужність передавачів у кожному стовбурі, кількість і розміри зон обслуговування. Для зменшення взаємних перешкод передача сигналу із супутника (Downlink) ведеться на частоті, відмінній від частоти передачі сигналу з землі на супутник (Uplink). Тому ретранслятори супутника мають у своєму складі перетворювачі частоти. Зазвичай частота Downlink нижче, ніж лінії Uplink.

Частоти супутникового зв'язку.

Ширина смуги (bandwidth) супутникового каналу характеризує кількість інформації, що він може передати в одиницю часу. Типовий супутниковий прийомопередавач має ширину смуги 36 МГц на частотах від 4 МГц до 6 МГц. Таких прийомопередатчиків на супутнику встановлюється від 12-24, що дає в результаті від 432 до 864 МГц.

Як вже згадувалося, смуги частот супутника зв'язку вказуються у парах. Наземна станція передає сигнал на супутник на більш високій частоті (Uplink), а приймає на більш низькій (Downlink). Сучасні супутникові системи найчастіше застосовують одну з двох смуг: С-смугу (від супутника до наземної станції в області 6 ГГц і назад в області 4 ГГц), чи Ku-смугу (14 ГГц і 12 ГГц, відповідно). Ширина будь-якої полоси складає 500 МГц.

LEO-супутники використовують інші полоси, що одержали позначення L і Ka. L-смуга (15 МГц у діапазоні від 1.5 до 1.6 ГГц) використовується для обслуговування трафіку між супутником і мобільним пристроєм. Ka-полоса (2.5 ГГц у діапазоні від 30 до 120 ГГц) використовується для зв'язку між супутниками, а також між супутником і наземними станціями.

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

В таблиці 1.1 зведено використання різних радіочастотних діапазонів в різноманітних супутникових системах зв'язку.

Таблиця 1.1 – Використання радіочастотних діапазонів в супутникових системах зв'язку

Позначення смуги	Діапазон частот (ГГц)	Приклади систем	Типове використання
P	0.23 - 1.00	Orbcomm, E-SAT	Пейджинг, визначення місцезнаходження
L	1.53 - 2.70	Iridium, Globalstar, ICO, Thuraya	Телефонія, мобільний зв'язок, пейджинг, низькошвидкісна передача даних
S	2.70 - 3.50	Globalstar	-//-
C	3.70 - 6.50	Intelsat, Skynet	Фіксований зв'язок, передача відео, VSAT-застосування
X	7.25 - 8.50	-	-
Ku (Європа)	11.0 - 14.0	Direct TV, Echostar, Astra	Фіксований зв'язок, ТВ, передача даних, мобільний зв'язок, широкополосний зв'язок, доступ до Інтернет
Ku (США)	11.0 - 17.8	Spaceway, Cyberstar, Astrolink, Teledesic	
Ka	17.7 - 30.5	Teledesic, Skybridge, Cyberstar	Широкополосний зв'язок, високошвидкісна передача даних, доступ до Інтернет
V	31.0 - 70.0	Milstar, AFSATCOM, USTS	Військові застосування

Атмосфера Землі прозора для електромагнітного випромінювання в С-полосі, однак багато наземних мікрохвильових пристроїв генерують сигнал на цих

частотах, тому в умовах міста відносно слабкий супутниковий сигнал глушиться. Наземні станції для С-полоси вимагають дорогих і громізких антен і повинні розміщуватися подалі від міських центрів.

Радіохвилі Ku-полоси можна посиляти, використовуючи сильний і вузьконаправлений промінь. Це дозволяє використовувати антени невеликого діаметру і різко знижує їхню вартість. Наземні мікрохвильові сигнали ніяким чином не впливають на сигнали Ku-смуги, і наземні станції Ku-смуги можуть бути розміщені в центрах міст. Однак у даному діапазоні частот радіохвилі чутливі до атмосферних явищ.

Протоколи супутникових мереж.

Для супутникових систем застосовуються протоколи сімейства Aloha, розроблені на початку 70-х років в Гавайському університеті.

Перші версії цих протоколів були асинхронними. Наземна станція може почати передачу даних в будь-який момент часу, після чого прослуховує ефір, очікуючи, коли супутник ретранслює передачу. Якщо ретрансляція не відбувається - передача повторюється. Таким чином, ці протоколи працювали на основі множинного доступу з виявленням колізій, аналогічно Ethernet, проте час обробки колізій на відстанях в десятки тисяч кілометрів набагато більший ніж в локальних мережах.

При роботі за синхронними протоколами всі наземні станції, які працюють з певним супутником, жорстко синхронізуються з ним. Час квантується на інтервали фіксованої довжини і початок передачі кожної станції повинен співпадати з початком такого інтервалу. Це, в середньому, в два рази зменшує кількість конфліктів порівняно з асинхронною версією протоколу.

Подальші удосконалення протоколу Aloha полягають в наданні за вимогою конкретній наземній станції виділеного часового проміжку, а також присвоєнні наземним станціям пріоритетів.

Для кодування сигналу при передачі використовується два методи - FDM - мультиплексування з розділенням частот, і TDM - мультиплексування з часовим розділенням.

FDM орієнтований на передачу аналогових мовних сигналів. За цим методом кожному потоку виділяється полоса шириною в 4 КГц в загальній полосі пропускання. Для передачі цифрових даних їх спочатку перетворюють в

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

аналоговий сигнал, а потім декілька одночасних сигнальних потоки мультиплекуються в одну полосу пропускання.

В TDM час квантується, сигнал з одного потоку “розмазується” на всю полосу пропускання і передається на протязі виділеного інтервалу. Потім обробляється другий потік і т.д. Такий підхід дозволяє використовувати полосу більш гнучко, але вимагає більш складного обладнання.

Наземний сегмент.

В наземному сегменті супутникової системи зв'язку можуть виділятися (рисунок 1.3):

Центр запуску - визначає програму запуску, збірку ракети-носія, передстартові перевірки та випробовування. Після запуску супутника керування ним здійснюється центром керування системою.

Центр керування системою здійснює керування космічним угрупованням: - контроль запуску і точності виведення на задану орбіту; - контроль стану супутників; - контроль і керування орбітами супутників; - виведення супутників зі складу орбітального угруповання; та ін. Вказані функції здійснюються на основі інформації від супутників. Службова інформація може передаватися також через територіально рознесені командно-вимірювальні станції.

Центр керування зв'язком планує використання ресурсів супутників. Здійснює аналіз і контроль зв'язку через національні шлюзові станції.

Шлюзові станції (наземні станції) – до складу системи може входити декілька шлюзових станцій, які можуть встановлюватися незалежно у різних регіонах чи країнах.

Наземні станції можуть розрізнятися по видах послуг, що надаються з їхнім використанням, по складу устаткування а також по належності до того чи іншого стандарту.

Серед основних функцій шлюзової станції: організація доступу до супутника із наземних мереж, мультиплексування, модуляція, обробка сигналу і перетворення частот.

До складу будь-якої наземної станції входить радіочастотне і каналоутворююче устаткування. До радіочастотного устаткування відносяться : антени СВЧ -діапазону - для прийому та ретрансляції сигналів; транспондери - прийомо-передавачі. Як правило, ці компоненти поставляються в комплекті.

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Радіочастотне устаткування повинне відповідати типу обраного супутника і забезпечувати роботу каналоутворюючого устаткування.

Каналоутворююче устаткування визначає принципи роботи наземної станції і всієї мережі і працює за певними стандартами (SCPC, DAMA, TDMA, TDM/TDMA). До каналоутворюючого устаткування відносяться пакетні модеми (48 Мбіт/с).

Серед інших компонентів технічного забезпечення наземної шлюзової станції слід вказати: ЕОМ - для керування великими потоками інформації (з базою даних персональних терміналів); комутаційне обладнання - для з'єднання з різними наземними системами зв'язку.

На сьогоднішній день надзвичайно популярними є наземні станції на основі VSAT-терміналів, які відрізняються невеликими розмірами, легкістю установки та невеликою ціною.

Структура мереж мобільного зв'язку

Основні, найбільш загальні елементи мереж зв'язку показані на рис. Вони містять мобільні станції (МС), базові станції (БС), центри управління і комутації (ЦК), радіоінтерфейси (РІ)

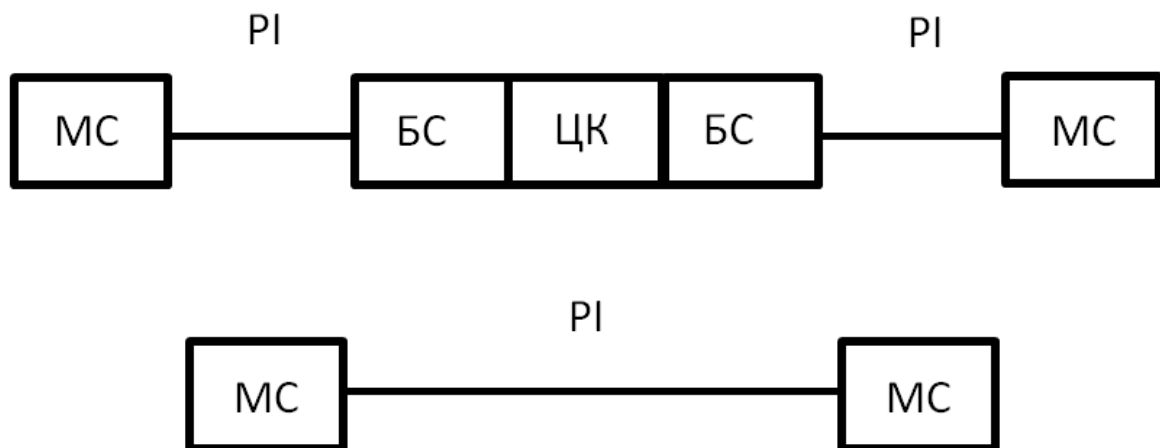


Рисунок 1.3. – Загальні елементи мереж зв'язку

Мобільні станції використовуються подвижники абонентами, БС - стаціонарні прийомопередаючі станції, які забезпечують радіозв'язок з МС у певній зоні (квоті, соті, секторі). В ЦК обирається напрямок передачі даних

(комутація), здійснюється управління БС і здійснюється доступ до зовнішніх систем.

Мобільні станції можуть обмінюватися інформацією один з одним або через ЦК, або безпосередньо. Використовуючи основні елементи, можливі побудувати регіональні і національні мережі (під мережі) мобільного зв'язку, структура яких у спрощеному варіанті показана на рис. 1.5. В якості прикладу взята транкінгова мережа стандарту TETRA

Окремі мережі та підмережі об'єднуються в єдину структуру за допомогою міжмережєвих інтерфейсів (CI) - кабельних або радіоліній. Контролери базових станцій (КБС) виконують функції комутації, управління БС, забезпечують доступ до зовнішніх мереж (телефонних, передачі даних). Вони можуть підрозділятися на головні (з розширеними можливостями) і підлеглі (з обмеженими функціями). Підмережа може містити власну станцію управління (СУ). Таким чином, функції управління і комутації розподіляються по всій мережі, що забезпечує швидку передачу викликів і збереження роботоспроможності мережі при несправностях окремого обладнання.

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

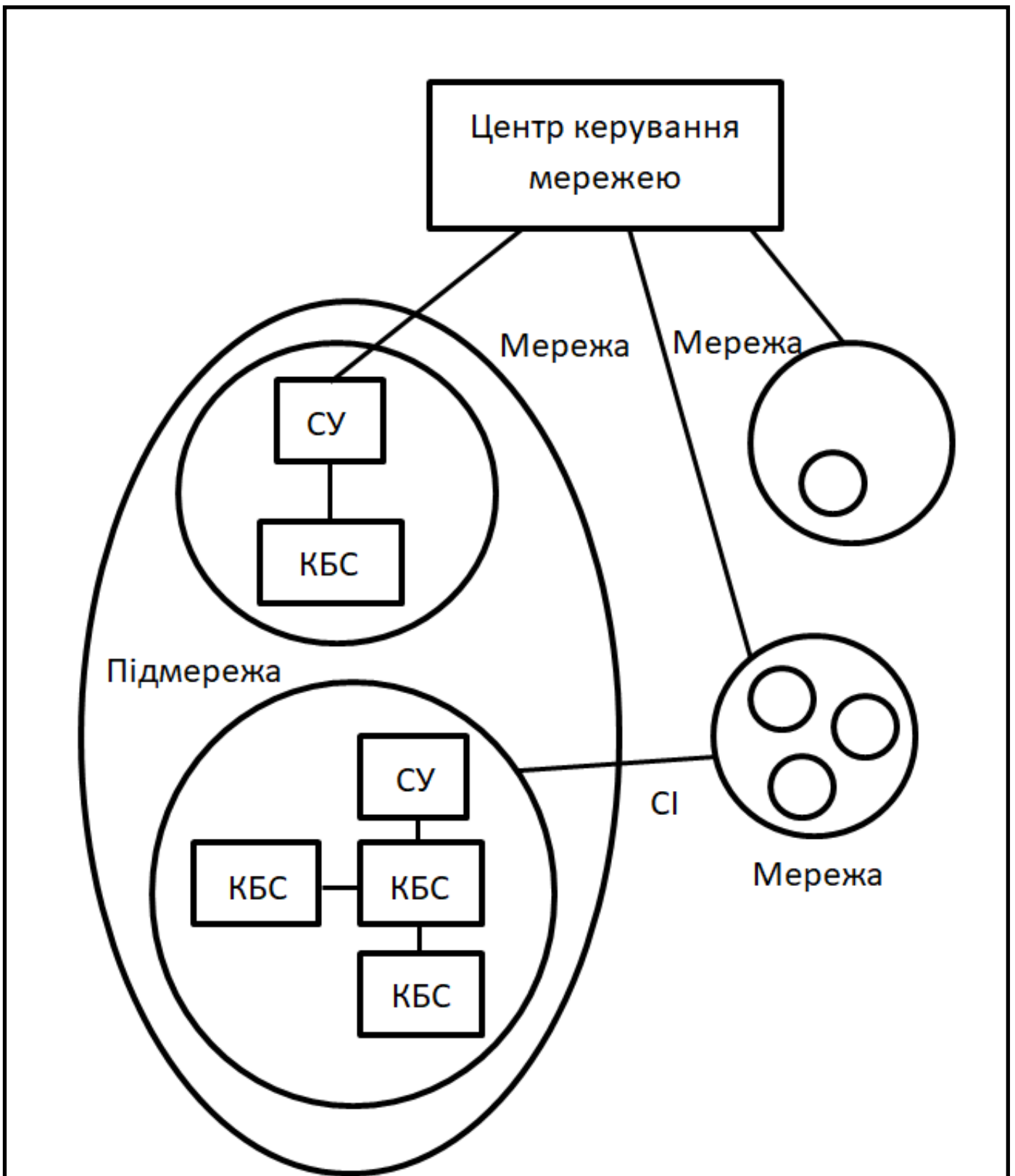


Рисунок 1.4 – Структура мереж та підмереж

1.3 Нероздільні коди та їх властивості

Робота цифрової телекомунікаційної системи відбувається наступним чином. Стан цифрового джерела інформації перетворюється в комбінацію завадостійкого коду, яка передається по каналу зв'язку. На приймальному кінці ця комбінація перевіряється декодувальним пристроєм на наявність помилки й при її відсутності передається приймачу інформації. При наявності помилки вона може бути виправлена або за допомогою повторної передачі, або, при наявності достатньої надмірності інформації, безпосередньо приймачем. Надмірність вводиться пристроєм, що кодує, який розташований після джерела інформації, під час перетворення кодової комбінації, яка генерується джерелом інформації, в завадостійку комбінацію. У результаті до вхідної двійкової кодової комбінації або додаються додаткові контрольні розряди або вона перетворюється в комбінацію іншого коду з іншою кількістю розрядів. У першому випадку надлишковий код буде роздільним, а в другому – нероздільним [1-2]. При цьому важливою особливістю телекомунікаційних систем є те, що в них обов'язково існують пристрої, що кодують та декодують. Перші з них вводять в передані повідомлення надлишкову інформацію, а другі за її допомогою визначають правильність отриманих повідомлень.

Особливістю нероздільних кодів, є те, що в них до розрядів вхідних кодових комбінацій, які кодують стани цифрового автомата, не додаються контрольні розряди, як в роздільних кодах, а вони перетворюються за певними правилами в інші комбінації, які після цього мають більше розрядів. При цьому як в роздільних, так і в нероздільних кодах з'являється надлишкова інформація, яка виділяє в завадостійкому коді дозволені комбінації. Поява забороненої комбінації є ознакою її помилковості. Завдяки цьому визначається правильність переданої комбінації на приймальному кінці.

Нероздільні коди на відміну від роздільних кодів не мають інформаційної та контрольної частини в явному вигляді. Вони мають загальну ознаку для всіх переданих комбінацій, яка відрізняє заборонені кодові комбінації від дозволених, наприклад, коли дозволеними комбінаціями будуть комбінації, що містять постійну кількість одиниць. Однак, нероздільні коди зустрічаються в телекомунікаційних системах значно рідше, тому що вони, як правило, менш

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		15

потужні ніж роздільні коди. Крім того, виникає необхідність перетворювати вхідні комбінації одного коду в вихідні комбінації іншого коду. При цьому, як й в роздільних кодах, виникає інформаційна надмірність, але вона прихована. Тому її використання для виявлення та виправлення помилок в комбінаціях після кодування в повідомленнях може бути більш складним, ніж в роздільних кодах. Значить, тоді більш складними будуть кодуючі та декодуючі пристрої телекомунікаційної системи. Так, наприклад, рівноважний код, який є нероздільним, для виявлення помилки вимагає підрахунок кількості одиниць в кодової комбінації та порівняння результату з контрольним числом, й тому буде більш складним у порівнянні з кодом з перевіркою на парність або на непарність, де відбуваються тільки операції додавання одиниць за модулем 2. Крім того, ще потрібно перетворювати вхідні комбінації в комбінації рівноважного коду.

Однак, однією з переваг нероздільних кодів при застосуванні в телекомунікаційних системах є скритність переданої інформації, хоча вона для реальних задач є недостатньою і на практиці потребує збільшення. Однак, є перспективні розробки, які дозволяють говорити про переваги нероздільних кодів, тому що в них одночасно відбувається захист інформації, як від помилок, так й від несанкціонованого доступу. Так що питання про те, які коди будуть більш перспективними для передачі та зберігання інформації в майбутньому відкрите. Однак, головна перевага нероздільних кодів в порівнянні з роздільними кодами полягає в тому, що нероздільні коди можуть бути ефективно застосовані для підвищення завадостійкості цифрових автоматів. Їх використання по суті є єдиним способом збільшення їх завадостійкості без резервування.

Нероздільні завадостійкі коди дозволяють знаходити помилки при обробці інформації цифровими автоматами за рахунок своєї надмірності, в тому числі й за рахунок природної надмірності цифрових автоматів. До того ж такі коди дають можливість завадостійкої передачі інформації безпосередньо з обчислювальних пристроїв без додаткового кодування в каналах зв'язку. В результаті один й той же завадостійкий код контролює інформацію як при її обробці, так й при передачі.

Тим самим реалізується наскрізний контроль як обчислювального пристрою, який виступає в ролі джерела інформації, так й каналу зв'язку. У ньому виключаються кодуючі пристрої в каналі зв'язку, а в ряді випадків й декодуючі. Це

здешевлює всю систему обробки та передачі інформації, підвищуючи при цьому надійність та швидкість її роботи.

Поява в процесі обробки інформації цифровим автоматом забороненої комбінації буде вказувати на помилку. Її виявить структура автомату або відповідний простий декодуєчий пристрій. Тим самим цифровий автомат самостійно вирішує, чи є його стан правильним чи помилковим. Тому стає непотрібним пристрій завадостійкого кодування при подальшій передачі стану автомата по каналу зв'язку. Це з одного боку заощаджує апаратні витрати, а з іншого – підвищує швидкість роботи та надійність системи обробки і передачі інформації. Хоча в окремих випадках при каналах зв'язку з високим рівнем шуму можна поставити на вході телекомунікаційної системи пристрій кодування для додаткового роздільного коду, й тоді буде отриманий код, який поєднує завадозахисні властивості роздільного та нероздільного кодів, що значно збільшить надійність передачі кодових комбінацій. Природно, що такий обчислювальний пристрій із забороненими кодовими комбінаціями ускладнюється в порівнянні з пристроєм, в якому вони відсутні. Але можливість виявлення та в деяких випадках виправлення помилок перебиває цей недолік. В майбутньому саме такі пристрої, що працюють в нероздільних кодах із забороненими комбінаціями, повинні прийти на зміну двійковим цифровим автоматам без заборонених комбінацій. Питання при цьому буде стояти тільки в тому, який нероздільний код виявиться найкращим для того чи іншого завдання обробки інформації.

Нероздільний код для завадостійкої обробки та передачі даних. Виходячи з вищесказаного, потрібно знайти та дослідити конкретний завадостійкий нероздільний код, який би здійснював наскрізний контроль як при обробці інформації, так й при її передачі. При цьому він повинен давати можливість відносно просто здійснювати арифметико-логічні операції у відповідному обчислювальному пристрої. В якості такого коду в даній роботі пропонується використовувати код Фібоначчі. Відповідно обчислювальний пристрій, який вирішує це завдання в запропонованому коді, буде представлятися «автоматом Фібоначчі». У даній роботі під «автоматом Фібоначчі» розуміється будь-який пристрій, який виконує навіть в обмеженому вигляді арифметико-логічні операції над числами Фібоначчі, введення даних, їх зберігання та формування сигналів керування. Такий пристрій може бути як вузькоспеціалізованим, наприклад, таким,

					ЕлІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

що виконує за допомогою лічильника тільки операції підрахунку, зберігання та виведення керуючих даних, так й універсальним, тобто таким, що має можливість програмування, додаткову зовнішню та оперативну пам'ять і виконує логічні та арифметичні операції. Вибір коду Фібоначчі для дослідження в даній роботі не є випадковим. На сьогодні існують методи та алгоритми фібоначчієвого підсумовування та лічби і на їх основі відповідні пристрої, а також цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі. Крім того, код Фібоначчі досить простий для схемної реалізації і при цьому він здатний виявляти помилки і деякі з них виправляти.

При використанні завадостійких блокових кодів інформаційна послідовність, що передається, розбивається на окремі блоки (кодові комбінації) з k інформаційних елементів. У процесі кодування до кожної k -елементної комбінації кодуєчий пристрій додає r додаткових елементів, відповідних передається комбінації, які дозволяють при декодуванні виявляти або виправляти можливі помилки. Блокові коди бувають роздільними та нероздільними. Роздільні вважаються ті, в яких передані елементи за їх призначенням можуть бути поділені на інформаційні та додаткові. В іншому випадку коди є нероздільними. Розглянемо нероздільні коди з повторенням вихідної інформаційної комбінації або її елементів та коди з постійною вагою, які відносяться до порівняно простих завадових кодів. У цих кодах всі дозволені комбінації містять однакову кількість ненульових елементів. Число дозволених комбінацій такого коду N_p визначається як число поєднань з n елементів коду w :

$$N_p = C_n^w = n! / w! (n-w)!,$$

де w — вага коду.

Типовим прикладом коду з постійною вагою є п'ятиелементний код, вага кожної дозволеної комбінації якого дорівнює 2. Із загальної кількості комбінацій п'яти- елементного коду 32 число дозволених комбінацій становить 10. Цей код з $n = 5$ і $w = 2$ застосовується для порозрядного кодування десяткових чисел від 0 до 9. Значення коду «2 із 5» для чисел від 0 до 9 наведено в таблиці 1.2.

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Таблиця 1.2 – Відповідність десятинних чисел і комбінацій коду «2 із 5»

Десятичное число	Код C_5^2
	7 4 2 1 0
1	0 0 0 1 1
2	0 0 1 0 1
3	0 0 1 1 0
4	0 1 0 0 1
5	0 1 0 1 0
6	0 1 1 0 0
7	1 0 0 0 1
8	1 0 0 1 0
9	1 0 1 0 0
0	1 1 0 0 0

Код із постійною вагою виявляє всі помилки, крім помилок парної кратності типу одночасного зміщення, коли одна з одиниць переходить у нуль, а один із нулів – в одиницю. Помилки прийому комбінацій коду з вагою w виявляються у вигляді лічильника одиниць, коефіцієнт рахунку якого дорівнює w . Якщо після закінчення прийому комбінації лічильник не повернеться у вихідне положення, це означає, що прийнята комбінація спотворена.

Двійковий відображений код. Код Грея.

Код Грея відрізняється від двійкового коду тим, що при переході до наступної кодової комбінації змінюється лише один елемент кодової комбінації.

Якщо при передачі повідомлень за допомогою коду Грея одночасно змінюється кілька розрядів коду, це свідчить про помилку, у цьому полягає виявляє здатність коду Грея.

Код Грея, не зважений та непридатний для обчислювальних операцій без попереднього переведення у двійковий код.

Якщо позначити: a_i - двійковий код;

b_i - код Грея, то правило переходу з двійкового коду до коду Грея має вигляд:

$$b_i = a_i \oplus a_{i+1}$$

де \oplus - додавання по mod 2 $a_{i+1} - a_i$ - зі здвигом на один розряд вправо

Приклад:

$$1) a_i = 11101 \oplus 11101$$

$$b_i = 10011$$

$$2) a_i = 1111 \oplus 1111$$

$$b_i = 1000$$

Схема кодера Грея наведено на рисунку 1.5. Як видно з кодера Грея значення вихідного сигналу в k -му розряді визначається значенням суми по mod 2 k -го і всіх старших розрядів коду Грея

Правила переходу із коду Грея в двійковий код. Існує кілька способів переходу

Використовується наступний алгоритм:

$$a_{n-1} = b_{n-1}; a_i = a_{i+1} \oplus b_i.$$

де a_{n-1} - значення старшого розряду двійкового числа.

$$a_i b_i n n n n$$

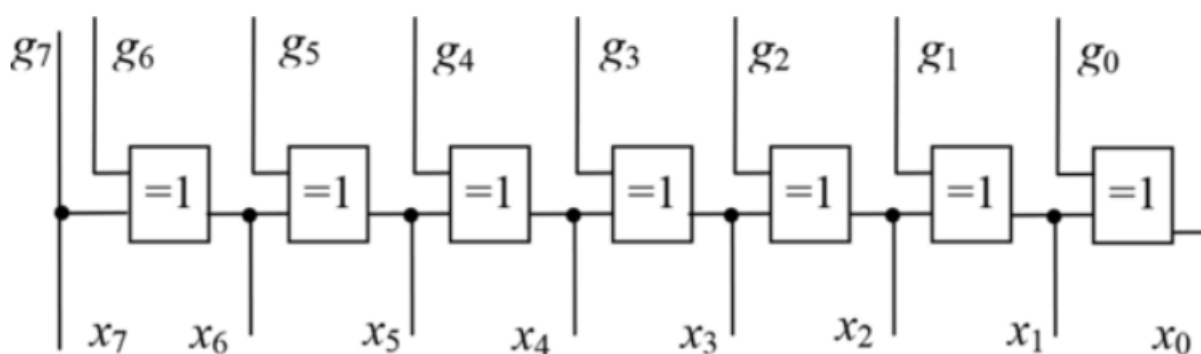


Рисунок 1.5 – Схема кодера Грея

Таблиця 1.3 – Відповідність двійкових кодів кодам Грея

Число	Дв. Код	Код Грея
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	
5	0101	0110
6	0110	0111
7	0111	0101
8	1000	0100
9	1001	
10	1010	1100
11	1011	1101
12	1100	1111
13	1101	1110
14	1110	
15	1111	1010
		1011
		1001
		1000

Приклад. Даний запис числа кодом Грея $b_i = 10101 \rightarrow b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$ отримати двійковий запис, використовуючи наведені вище формули, отримуємо $a_4 = b_4 = 1$;

$$\begin{aligned}
 a_3 &= a_4 \oplus b_3 = 1 \oplus 0 = 1; \\
 a_2 &= a_3 \oplus b_2 = 1 \oplus 1 = 0; \\
 a_1 &= a_2 \oplus b_1 = 0 \oplus 0 = 0; \\
 a_0 &= a_1 \oplus b_0 = 0 \oplus 1 = 1; \\
 a_i &= a_4 a_3 a_2 a_1 a_0 = 11001
 \end{aligned}$$

Перехід здійснюється по алгоритму

$$a_j = b_0 \oplus b_1 \oplus \dots \oplus b_i \oplus \dots \oplus b_{n-1}.$$

Тобто як сума по модулю 2 всіх попередніх значень.

Особливості коду Фібоначчі. Код Фібоначчі складається з фібоначчієвих чисел і є на сьогодні досить широко відомим. Його особливістю, як й всіх інших завадостійких кодів, є наявність для нього дозволених та заборонених комбінацій. Саме їх наявність в коді Фібоначчі на відміну від звичайних двійкових кодів, й робить цей код завадостійким, тому що заборонені комбінації цього коду є ознаками помилок. Для коду Фібоначчі, який за своєю природою використовує одиниці та нулі, ознакою помилки є наявність в них двох та більше одиниць поспіль. Причому поява трьох одиниць, що стоять поруч, дозволяє виправляти одиночну помилку, що особливо важливо в задачах обробки інформації, де новий запит інформації неможливий. Як бачимо, алгоритм виявлення та виправлення помилок є досить простим. Однак, цей код, крім завадостійкої обробки інформації, здатний також досить ефективно передавати інформацію з виявленням та виправленням деяких помилок. Це поряд з можливістю надійної обробки інформації на його основі робить його універсальним для багатьох застосувань, тому що зазвичай пристрої та системи обробки інформації не тільки формують дані, а й оперативно їх передають на різні вихідні пристрої. Такими пристроями можуть бути пристрої відображення інформації, вимірювальні пристрої, такі як частотоміри, таймери та інші їм подібні. Існує дві модифікації коду Фібоначчі – мінімальний (нормальний) та максимальний код, одержуваний при розгортці фібоначчієвих чисел. Реалізація арифметичних операцій над ними відбувається в процесі переходу від мінімальної форми до максимальної форми та зворотно. Однак, існує й можливість виконання цих операцій в мінімальній формі без всяких

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

переходів, що дає певні переваги у швидкодії та апаратурних витратах відповідних цифрових автоматів Фібоначчі. Мінімальна форма коду Фібоначчі покладена в основу даної роботи та відповідних автоматів Фібоначчі.

Фібоначієві числа. Фібоначієва система числення генерує фібоначієві числа в нормальній (мінімальній) формі, ваги яких являють собою послідовність чисел Фібоначчі 1, 1, 2, 3, 5, 8, F_n . Кожне число з цієї послідовності

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}.$$

Номер фібоначієвого числа задається нумераційної функцією, ваги якої представляються числами Фібоначчі:

$$N = a_n F_n + a_{n-1} F_{n-1} + \dots + a_i F_i + \dots + a_1 F_1,$$

де a_i - двійкове значення i -го розряду фібоначієвого числа; n - довжина числа; F_i - вага i -го розряду. В скороченому вигляді фібоначієве число записується таким чином:

$$N_a = a_n a_{n-1} \dots a_i \dots a_1 \dots$$

Нульовий розряд в ньому відсутній. Наприклад, числа 11, 17, 23, 41 і 52 в мінімальній формі коду Фібоначчі представлені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Фібоначієві числа

Номер розряду n	8	7	6	5	4	3	2	1
Вага розряда	34	21	13	8	5	3	2	1
N=11	0	0	0	1	0	1	0	0
N=17	0	0	1	0	0	1	0	1
N=23	0	1	0	0	0	0	1	0
N=41	1	0	0	0	1	0	1	0
N=52	1	0	1	0	1	0	0	0

Діапазон фібоначієвих чисел

$$P = F_n + F_{n-1}.$$

В кодах Фібоначчі ознакою помилки є поява двох та більше одиниць поруч. При наявності трьох одиниць, що розташовані поруч, одиниця всередині повинна бути замінена нулем. В результаті помилка виправляється. Так, якщо з'являється на вході приймача фібоначієве число 0111010101, то це означає, що в ньому сталася

помилка в 8 розряді. Для її виправлення достатньо одиницю, що розташована в цьому розряді, інвертувати в 0. Тоді правильним буде число $0101010101 = 33$.

Оцінка завадостійкості фібоначієвих чисел. Фібоначієві числа є нероздільними. Тому їх оцінка може проводитися відповідно до методики, запропонованої Харкевичем. Суть цієї методики зводиться до того, що в коді виділяються підмножини дозволених та заборонених кодових комбінацій. Після цього знаходиться відношення кількості заборонених комбінацій до їх загальної кількості, і це число віднімається від 1. Отриманий результат показує ймовірність виявлення помилки кодом, що розглядається. Ця ймовірність змінюється від 0, коли заборонених комбінацій немає, й до 1, коли всі комбінації відносяться до заборонених комбінацій. Цей критерій показує, що ймовірності виявлення помилок зі збільшенням довжини фібоначієвих чисел збільшуються, й при необмеженому зростанні довжини чисел прагнуть до 1. Звідси випливає висновок, що автомат Фібоначчі, який обробляє більш довгі числа, є більш надійним, ніж автомат, що працює з числами меншої довжини.

Висновками з даного розділу буде наступне:

Серед завадостійких кодів особливими властивостями виділяються завадостійкі нероздільні коди. Вони дозволяють одночасно контролювати збір, обробку та передачу інформації. Це дозволяє здійснювати одним й тим же кодом наскрізний контроль систем обробки та передачі інформації, що спрощує та здешевлює їх контроль, а також збільшує достовірність обробки і передачі інформації. У якості одного з перспективних завадостійких нероздільних кодів пропонується використовувати код Фібоначчі, який відрізняється простотою технічної реалізації та здатністю обробляти інформацію. Він же ефективно може використовуватися і для подальшої передачі інформації за допомогою телекомунікаційної системи. Аналогічно, як і фібоначієві числа, можна використовувати біноміальні числа біноміальних систем числення та числа інших подібних систем, наприклад, факторіальних. Для них також існують відповідні лічильники, а інформація з них здатна здійснювати наскрізний самоконтроль. Можна отримати й інші нові, поки ще невідомі, самоконтрольовані нероздільні коди, які можуть здійснювати наскрізний контроль при обробці та передачі інформації. Однак, вони потребують дослідження їх ефективності.

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

1.4 Постановка завдання проектування

На основі огляду технічної літератури щодо будови сучасних систем передачі інформації і проблем забезпечення якісного зв'язку можна зробити висновок, що перспективним уявляється використання в телекомунікаційних пристроях нероздільних кодів. Нероздільні коди такі, як рівноважні та квазірівноважні коди, мають такі позитивні властивості:

- виявлення помилок будь-якої кратності в асиметричних каналах зв'язку при передачі інформації;
- можливість застосування кодів не тільки саме при передачі повідомлень, але й при їх подальшій обробці в процесі формування керуючих сигналів або проведення обчислень;
- застосування досить простих операцій при отриманні кодів, які розглядаються.

Для ефективного використання в телекомунікаційних пристроях рівноважних та квазірівноважних кодів необхідно розробити алгоритми їх формування, які б відрізнялись підвищеною швидкодією та спрощеною технічною реалізацією. Таким чином, метою кваліфікаційного проекту бакалавра є розробка алгоритмів генерування квазірівноважних кодів, яку пропонується робити на основі двійкових біноміальних систем числення та породжуваних ними двійкових біноміальних чисел.

Для досягнення поставленої мети кваліфікаційного проекту необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідження властивостей двійкових біноміальних чисел, які обумовлюють генерування квазірівноважних кодів;
- перевірка правил переходу від двійкових біноміальних чисел до квазірівноважних кодів і навпаки;
- перевірити правильність роботи розроблених алгоритмів генерування квазірівноважних кодів.
- дати оцінку основних складнісних параметрів розроблених алгоритмів генерування квазірівноважних кодів.

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

2. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ФОРМУВАННЯ РІВНОВАЖНИХ ТА КВАЗІРІВНОВАЖНИХ КОДІВ НА ОСНОВІ БІНОМІАЛЬНИХ СИСТЕМ ЧИСЛЕННЯ

2.1 Квазірівноважні коди

Одним із перспективних напрямів розвитку телекомунікаційних пристроїв та систем є підвищення їх інформаційної потужності без збільшення довжини інформаційних повідомлень. У такий спосіб можна досить ефективно підвищити швидкість передачі інформації по каналах зв'язку, особливо якщо це здійснюється з мінімальним використанням апаратно-програмних витрат й без помітного зниження завадостійкості передачі даних.

Для збільшення інформаційної потужності систем передачі даних та пристроїв кодування/декодування пропонується застосування в них квазірівноважних кодів, множини яких на відміну від множин рівноважних комбінацій володіють значно більшою потужністю (кількістю кодових елементів) при тій самій кількості інформаційних розрядів. Це є наслідком використання декількох дозволених чисел одиниць в квазірівноважних кодових послідовностях.

Квазірівноважні коди, як і рівноважні, мають біноміальну структуру і для їх формування можна застосувати біноміальні числа, які генеруються двійковими біноміальними системами числення з параметрами n і k . Алгоритм отримання квазірівноважних кодових комбінацій, що мають довжину $(n-1)$ розрядів і кількості k та $(k-1)$ двійкових одиниць досить простий. Він полягає в тому, що до біноміальних чисел, які закінчуються одиницею, додають двійкові нулі, а до біноміальних чисел, які закінчуються нулем, додають одиниці доки не буде сформована результуюча квазірівноважна комбінація з $(n-1)$ розрядів. Очевидно, що і зворотний перехід до біноміальних чисел не буде становити технічних труднощів.

Слід зауважити також, що перетворення квазірівноважних $(n-1)$ - розрядних кодів, які мають k та $(k-1)$ одиниць, до звичайних рівноважних, які мають n розрядів і k одиниць, теж складається з простих операцій, а можливе сумісне застосування біноміальних кодів, квазірівноважних і рівноважних комбінацій в телекомунікаційних системах та пристроях кодування/декодування дозволить адаптивно підходити до організації передачі даних по каналах зв'язку.

					ЕлІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Серед перших результатів кодування з використанням двійкових біноміальних чисел є отримання рівноважних кодів, які знаходять широке застосування в системах комбінаторної оптимізації, передавання та шифрування даних. Рівноважні кодові комбінації з параметрами n і k представляють собою поєднання k одиниць із n двійкових розрядів. Важкість їх формування ґрунтується в тому, що, на жаль, відсутні прості, регулярні способи отримання рівноважних кодів із заданими значеннями n і k . Призначення же двійкових біноміальних чисел в якості основ для побудови рівноважних кодових послідовностей істотно спростить їх генерування не тільки в систематичному (лексикографічному) порядку, але і в випадковому.

Рідними з рівноважними кодами є квазірівноважні, які допускають кілька значних чисел k одиниць у n -розрядних комбінаціях. Квазірівноважні коди являють собою особливий інтерес не тільки як окремий тип комбінаторних конфігурацій – комбінацій зі змінним числом k одиниць, але і як коди, по-перше, мають поєднання істотно більшої потужності відповідно до рівноважних, а значить, є більш ефективними для передачі з точки зору інформаційної історичності, а, по-друге, як коди, здатні адаптуватися до рівня необхідної завадостійкості за рахунок зміни кількості параметрів k та їх значень.

Але формування квазірівноважних комбінацій викликає ті ж труднощі, що і формування рівноважних – відсутність регулярних способів їх генерування, що в повній мірі негативно показується для кодів великої потужності. І тут є ефективне рішення зазначеної проблеми, можливо на шляху використання двійкових біноміальних чисел, оскільки квазірівноважні кодові комбінації мають також біноміальну структуру.

2.2. Двійкові біноміальні числа.

Двійкові біноміальні числа $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_r)$ з параметрами n і k генеруються двійковою біноміальною системою числення, яка володіє числовою функцією вида

$$F_j = x_1 C_{n-1}^{k-q_1} + \dots + x_i C_{n-i}^{k-q_i} + \dots + x_{r-1} C_{n-r+1}^{k-q_{r-1}} + x_r C_{n-r}^{k-q_r} = \sum_{i=1}^r x_i C_{n-i}^{k-q_i}, \quad (1)$$

і системами обмеження для утворення множини X біноміальних чисел X_j

$$X_j \in X, j = 0, N-1:$$

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$\begin{cases} k \leq r \leq n-1 \\ q = k \\ x_r = 1 \end{cases} \quad \text{і} \quad \begin{cases} n-k = r-q \\ 0 \leq q \leq k-1, \\ x_r = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

де n і k – цілочислові параметри двійкової біноміальної системи числення;

r – кількість розрядів (довжина) біноміального числа, $r < n$;

x_i – біноміальна двійкова цифра – 0 або 1;

q – число одиниць в біноміальному числі;

q_i – сума одиничних значень x_i , починаючи з першого розряду числа до $(i-1)$ -го включно:

$$q_i = \sum_{t=1}^{i-1} x_t, \quad (3)$$

де $q_1 = 0$, $q_i \leq k$;

N – кількість двійкових біноміальних чисел X_j або потужність множини X .

Згідно системам обмежень числа $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_r)$ мають нерівномірну довжину $\min(k, n-k) \leq r \leq n-1$. Якщо біноміальні числа $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 1)$ задовольняють першу систему обмежень і, внаслідок, закінчуються розрядом $x_r = 1$, то їх відносять до першого класу біноміальних чисел. Якщо $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 0)$ задовольняють другу систему обмежень і, внаслідок цього, закінчуються розрядом $x_r = 0$, то такі числа відносяться до другого класу біноміальних чисел. При цьому перший і другий класи представляють собою неперетинаючих підмножин множини X біноміальних чисел.

В якості вагового коефіцієнта i -го розряду двійкового біноміального числа в числовій функції виступає біноміальний коефіцієнт $C_{n-i}^{k-q_i}$, який залежить як від позиції $i = \overline{1, r}$ розглядаючого розряду, так і від суми q_i попередніх цьому розряду двоїчних значень цифр x_i . Таким чином, структура двоїчних біноміальних чисел

$X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_r)$ визначає число поєднань виду $C_{n-i}^{k-q_i}$

Оскільки кількість N двійкових біноміальних чисел X_j з параметрами n і k складає $N = C_n^k$, то при розгляді відомої формули множення для чисел поєднань

$$C_n^k = C_{n-1}^{k-1} + C_{n-1}^k \quad (4)$$

можна передбачити, що структура біноміальних чисел лежить в основі кодових комбінацій довжини $(n-1)$ розрядів, які містять k і $(k-1)$ двійкових одиниць, тобто квазірівноважних комбінацій з параметрами n , k і $(k-1)$. Отже, на основі двоїчних біноміальних чисел X_j можливе взаємно-однозначне відображення

$$\varphi_{kr} : X[n, k] \rightarrow Y[n-1, k, k-1]$$

множини X біноміальних чисел $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_r)$ з параметрами n і k на множину $Y[n-1, k, k-1]$ квазірівноважних комбінацій Y_j довжини $(n-1)$ розрядів, які містять k і $(k-1)$ двійкових одиниць. Висказане передбачення базується нижче приведеною теоремою.

Теорема

При доданні зі сторони молодших розрядів до двійкових рівномірних біноміальних чисел $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 1)$ першого класу $(n-r-1)$ двійкових нулів, а до чисел $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 0)$ другого класу $(n-r-1)$ двійкових одиниць, формується квазірівноважний код $Y[n-1, k, k-1]$ довжини $(n-1)$ розрядів із кількістю двійкових одиниць k і $(k-1)$, де n і k - параметри біноміальних чисел X_j , r - число розрядів біноміальних чисел X_j , $\min(k, n-k) \leq r \leq n-1$

Доказ

Як відомо, довжина двоїчних нерівномірних біноміальних чисел $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_r)$ знаходиться в діапазоні $k \leq r \leq n-1$ для біноміальних чисел $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 1)$ першого класу, і $n-k \leq r \leq n-1$ для біноміальних чисел $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 0)$ другого класу.

Також із систем обмежень слідує, що для біноміальних чисел $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 1)$ першого класу кількість одиниць постійне і рівне k , а для біноміальних чисел $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 0)$ другого класу кількість

нулів постійне і рівне $l = n - k$. Таким чином, якщо числа $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 1)$ першого класу доповнити нулями до довжини $(n-1)$, то, очевидно, кількість

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

одиниць і них залишається постійним і рівним k . Тоді як, доповнюючи біноміальні числа $X_i = (x_1 x_2 \dots x_j \dots x_{r-1} 0)$ другого класу одиницями до довжини $(n-1)$, їх кількість буде $q = n-1 - (n-k) = k-1$.

Як наслідок, при доповненні біноміальних чисел $X_i = (x_1 x_2 \dots x_j \dots x_{r-1} 1)$ першого класу нулями, а біноміальних чисел $X_i = (x_1 x_2 \dots x_j \dots x_{r-1} 0)$ другого класу одиницями, до довжини $(n-1)$ отримуємо квазірівноважний код $Y[n-1, k, k-1]$ довжини $(n-1)$ розрядів із кількістю двоїчних одиниць k і $(k-1)$
Теорема доведена.

Із бієктивності відображення φ_{kp} можна зробити висновок, що кількість N вихідних двоїчних біноміальних чисел буде рівна потужності N_{kp} квазірівноважного коду.

Теорема 2.

Для потужності N_{kp} множини $Y[n-1, k, k-1]$ квазірівноважних комбінацій справедлива наступна рівність

$$N_{kp} = C_{n-1}^k + C_{n-1}^{k-1}. \quad (5)$$

Доказ.

Згідно бієктивності кодового відображення $\varphi_{kp} : X[n, k] \rightarrow Y[n-1, k, k-1]$ маємо $N_{kp} = N = C_n^k$. Отже, на основі властивості множення поєднань чисел

$$N_{kp} = C_n^k = C_{n-1}^k + C_{n-1}^{k-1}$$

Теорема доведена.

Для випадку, коли вихідні біноміальні числа X_i мають параметри $n=6$ і $k=3$, приведемо і лексикографічному порядку всі квазірівноважні комбінації $Y_j \in Y[5, 3, 2]$, використовуючи обґрунтований в теоремі 1 метод формування квазірівноважного коду (таблиця 2.1).

Кількість N_{kp} квазірівноважних комбінацій $Y_j \in Y[5, 3, 2]$ визначається згідно до виразу (5)

$$N_{kp} = C_{n-1}^{k-1} + C_{n-1}^k = C_5^2 + C_5^3 = 10 + 10 = 20$$

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На основі змісту розрядів x_r біноміальних чисел $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_r)$ приймається рішення про двійкове значення $(5-r)$ подаваних кодових елементів для формування квазірівноважних комбінацій $Y_j = (y_1 y_2 y_3 y_4 y_5)$, де $3 \leq r \leq 5$ і $j = \overline{0, 19}$. В таблиці 1 розряди x_r розташовуються зліва від додаткових кодових елементів, виділених темним фоном. Умовно проведена межа світлим і темним областями таблиці буде розділяти квазірівноважні комбінації $Y_j = (y_1 y_2 y_3 y_4 y_5)$ і відповідні їм біноміальні числа $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_r)$.

Крім того, на рисунку 2.1 показана деревовидна структура квазірівноважного коду $Y[5, 3, 2]$, яка повторює структуру множини біноміальних чисел $X[6, 3]$.

Таблиця 2.1 – Квазірівноважний код з параметром $n = 5$, $k = 3$ і $k = 2$

F_j	Квазірівноважні комбінації $Y_j \in Y[5, 3, 2]$					F_j	Квазірівноважні комбінації $Y_j \in Y[5, 3, 2]$				
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5		y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
0	0	0	0	1	1	10	1	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	11	1	0	0	1	0
2	0	0	1	1	0	12	1	0	0	1	1
3	0	0	1	1	1	13	1	0	1	0	0
4	0	1	0	0	1	14	1	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	15	1	0	1	1	0
6	0	1	0	1	1	16	1	1	0	0	0
7	0	1	1	0	0	17	1	1	0	0	1
8	0	1	1	0	1	18	1	1	0	1	0
9	0	1	1	1	0	19	1	1	1	0	0

2.3. Алгоритм прямого та зворотного перетворення

Відображення множини біноміальних чисел $X[n, k]$ на множину квазірівноважних комбінацій $Y[n-1, k, k-1]$, а також зворотне перетворення, можна реалізувати за допомогою алгоритмів, які використовують дуже прості операції порозрядного зрівняння, підрахунку і конкатенації.

Загальний алгоритм, який реалізує пряме відображення φ_{kr} для вихідних нерівномірних біноміальних чисел $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_r)$ з параметрами n і k виглядає наступним чином:

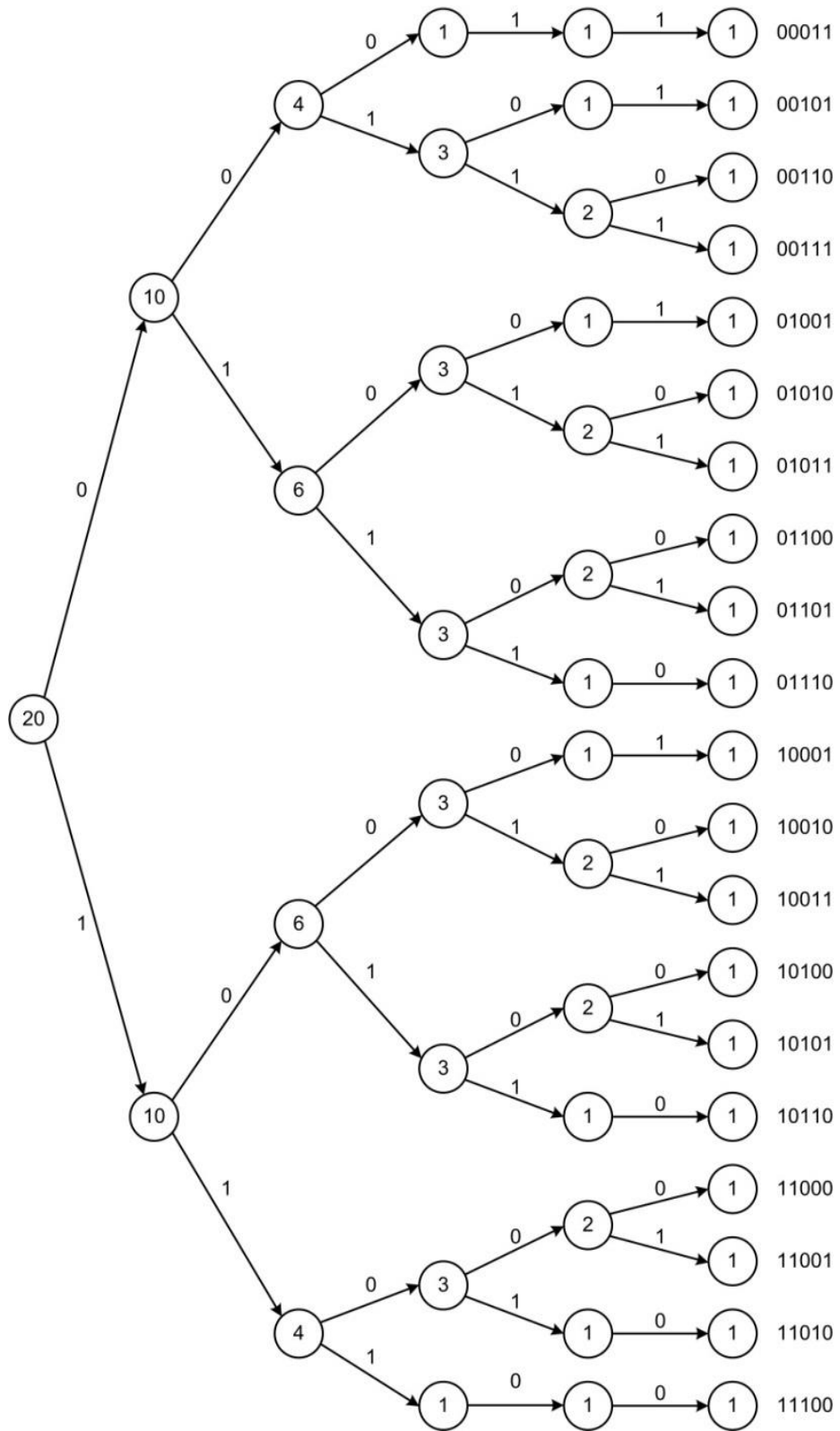


Рисунок 2.1 – Квазірівноважної код $\mathcal{Y}[5,3,2]$ на структурі множини біноміальних чисел при $n = 6, k = 3, k = 2$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

1. Визначення кількості r розрядів біноміального числа $X_j = (x_1x_2\dots x_i\dots x_r)$
2. Якщо $r = n - 1$, то біноміальне число $X_j = (x_1x_2\dots x_i\dots x_r)$ співпадає з відповідною квазірівноважною комбінацією $Y_j = (y_1y_2\dots y_i\dots y_{n-1})$. В протилежному випадку переходимо до кроку 3.
3. Визначення значення останнього розряду x_r , біноміального числа $X_j = (x_1x_2\dots x_i\dots x_r)$.
4. Якщо $x_r = 1$, то число $X_j = (x_1x_2\dots x_i\dots x_{r-1}1)$ відноситься до першого класу біноміальних чисел і до нього справа від розряду $x_r = 1$ додається $(n - r)$ двійкових нулів для отримання квазірівноважної комбінації виду $Y_j = (y_1y_2\dots y_i\dots y_{r-1}100\dots 0)$. В протилежному випадку переходимо до кроку 5.
5. До числа $X_j = (x_1x_2\dots x_i\dots x_{r-1}0)$, яке відноситься до другого класу біноміальних чисел, справа від розряду $x_r = 0$ додаємо $(n - r)$ двійкових одиниць для отримання квазірівноважної комбінації виду $Y_j = (y_1y_2\dots y_i\dots y_{r-1}011\dots 1)$.

В результаті роботи алгоритму прямого перетворення отримуємо шукані квазірівноважні комбінації $Y_j = (y_1y_2\dots y_i\dots y_{n-1})$ довжини $(n - 1)$ з кількістю k або $(k - 1)$ одиниць, відповідні вихідним нерівномірним біноміальним числам $X_j = (x_1x_2\dots x_i\dots x_r)$. При цьому повинні виконуватись рівності $x_1 = y_1, x_2 = y_2, \dots, x_{r-1} = y_{r-1}$.

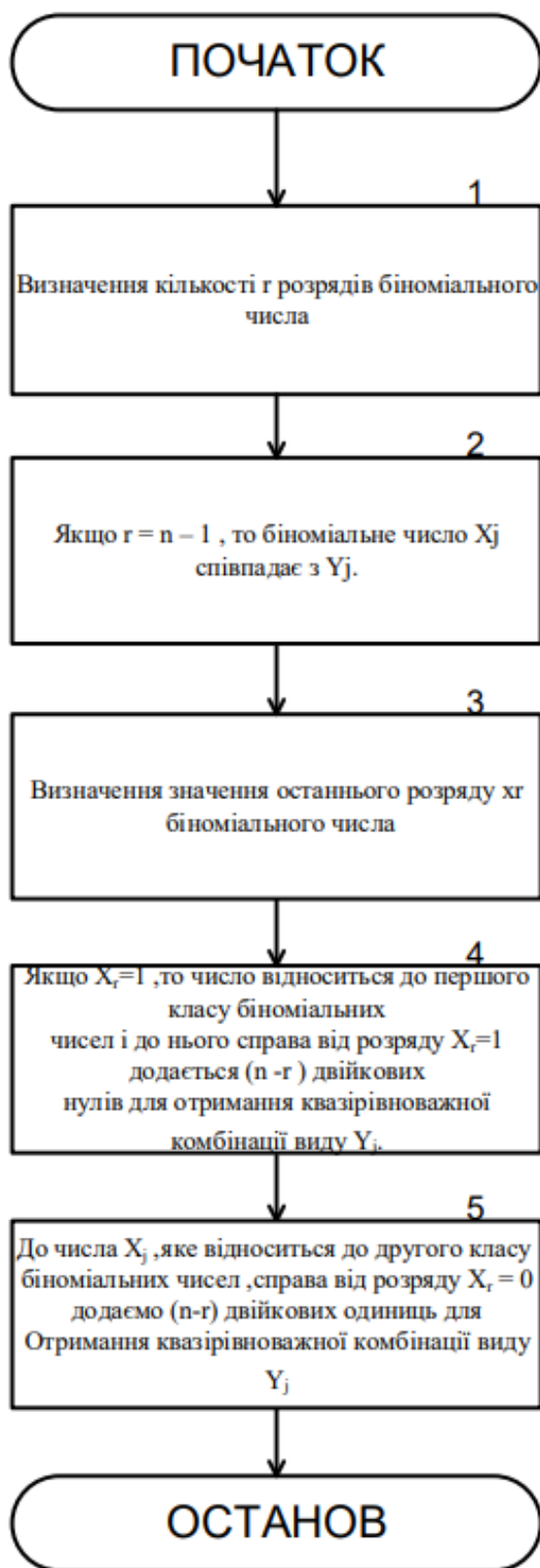


Рисунок 2.2 – Схема алгоритму прямого перетворення

Зворотнє відображення $\phi_{\delta\delta}^{-1} : Y[n-1, k, k-1] \rightarrow X[n, k]$ квазірівноважних комбінацій $Y_j = (y_1 y_2 \dots y_i \dots y_{n-1})$ з параметрами $(n-1)$, k і $(k-1)$ на відповідні біноміальні числа $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_r)$ виконується за допомогою наступного загального алгоритму зворотного переходу:

1. Визначення значення останнього розряду y_{n-1} квазірівноважної комбінації $Y_j = (y_1 y_2 \dots y_i \dots y_{n-1})$.
2. Підрахунок кількості двійкових одиниць q та нулей l в початковій квазірівноважній комбінації $Y_j = (y_1 y_2 \dots y_i \dots y_{n-1})$.
3. Якщо значення розряду $y_{n-1} = 1$, то переходим до кроку 4. В протилежному випадку вповнюється перехід до кроку 6.
4. Якщо кількість одиниць $q = k$ в комбінації $Y_j = (y_1 y_2 \dots y_i \dots y_{n-2} 1)$, то квазірівноважна комбінація співпадає із відповідним біноміальним числом $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 1)$. В протилежному випадку переходимо до наступного кроку.
5. У початковій комбінації $Y_j = (y_1 y_2 \dots y_i \dots y_{r-1} 0 1 1 \dots 1)$ всі останні одиничні розряди відкидаються до появи першого нуля $y_r = 0$, і в результаті виходить біноміальне число виду $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 0)$.
6. Якщо кількість нулів $l = n - k$ в комбінації $Y_j = (y_1 y_2 \dots y_i \dots y_{n-2} 0)$, то квазірівноважна комбінація співпадає з відповідним біноміальним числом $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 0)$. В протилежному випадку переходимо до наступного кроку.
7. В початковій комбінації $Y_j = (y_1 y_2 \dots y_i \dots y_{r-1} 1 0 0 \dots 0)$ всі останні нульові розряди відкидаються до появи першої одиниці $y_r = 1$, і в результаті виходить біноміальне число виду $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_{r-1} 1)$.

В результаті роботи алгоритму зворотного перетворення отримуємо шукані нерівномірні біноміальні числа $X_j = (x_1 x_2 \dots x_i \dots x_r)$ довжини r з параметрами n і k , які відповідають початковим квазірівноважним комбінаціям $Y_j = (y_1 y_2 \dots y_i \dots y_{n-1})$. При цьому повинні виконуватися рівності $y_1 = x_1, y_2 = x_2, \dots, y_{r-1} = x_{r-1}$.

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

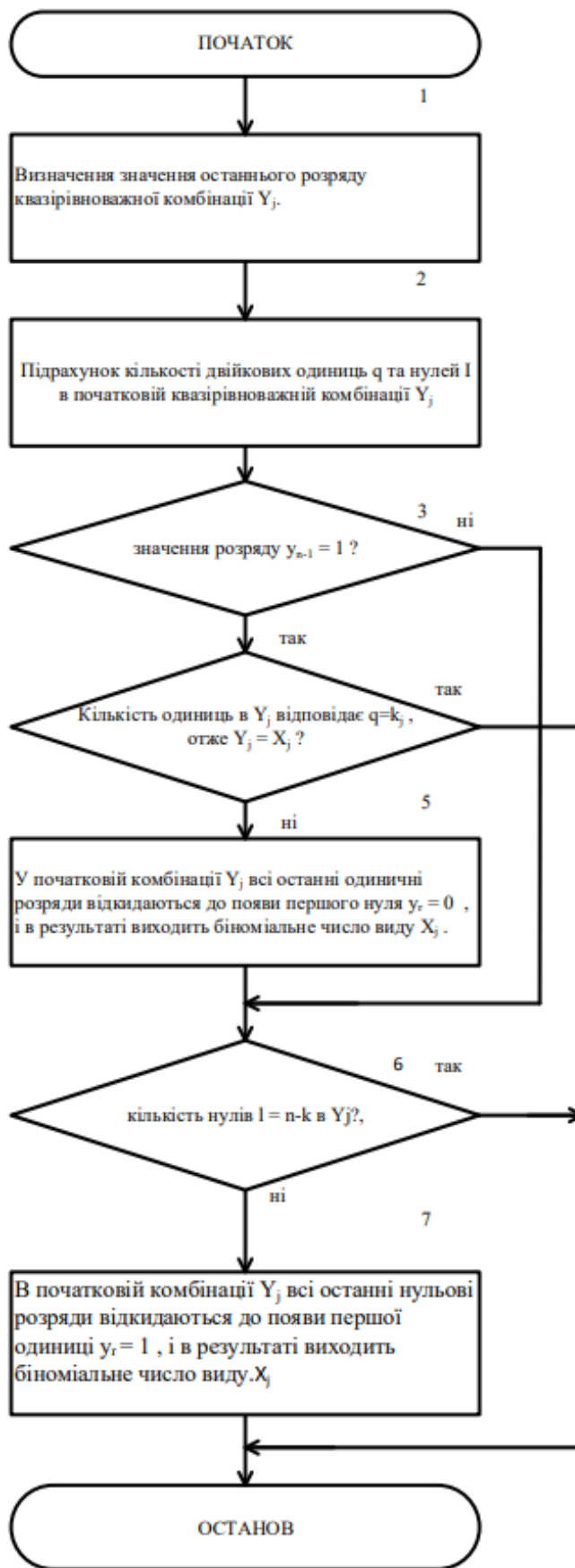


Рисунок 2.3 – Схема алгоритму зворотного перетворення

ВИСНОВОК

В кваліфікаційній роботі бакалавра розроблені узагальнений алгоритм прямого переходу від двійкових біноміальних чисел до квазірівноважних кодів, а також алгоритм зворотного переходу від квазірівноважних кодів до двійкових біноміальних чисел. Отримані алгоритми складаються з достатньо простих операцій: конкатенації та декатенації двійкових розрядів, підрахунку кількості розрядів та визначенні значення останнього розряду. Алгоритм прямого переходу містить п'ять кроків, алгоритм зворотного переходу – сім кроків.

Теоретичні твердження щодо розглянутих методів перетворення двійкових біноміальних чисел у квазірівноважні коди знайшли математичне обґрунтування. Також правильність роботи розроблених алгоритмів генерування квазірівноважних кодів була практично перевірена в роботі побудовою конкретних квазірівноважних кодів з параметрами $n = 6$ і кількістю двійкових одиниць $n = 2$ та $n = 3$. Генеровані квазірівноважні коди були упорядковані в таблиці в лексикографічному порядку, а на їх базі побудоване кодове дерево.

Аналіз характеристик алгоритмів показує, що проектовані алгоритми можуть досить просто реалізовані на практиці, апаратним або програмним способами. У випадку апаратної реалізації необхідно буде застосувати такі функціональні елементи, як регістри, лічильник розрядів, компаратор розрядів.

Квазірівноважні коди можуть бути ефективно застосовані в телекомунікаційних пристроях і системах для боротьби з помилками при передачі інформації по асиметричним каналам зв'язку. На відміну від рівноважних кодів квазірівноважні мають більшу інформаційну потужність, тобто при тій же кількості двійкових розрядів вони мають значно більшу кількість квазірівноважних комбінацій.

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. «Системи управління, навігації та зв'язку» 2021, випуск 2(64) (О. А. Борисенко, О. В. Бережна, С. М. Маценко, В. В. Сердюк, А. О. Горішняк, В. Р. Васильєв.) Сумський державний університет, Суми, Україна.
2. «Формування квазірівноважних кодів на основі двійкових біноміальних чисел» (І.А. Кулик, Е.М. Скордина, С.В. Костель) Сумський державний університет, Суми, Україна.
3. «Коди з виявленням помилок» (http://informkod.narod.ru/5_item.htm) «оновлена інформація 2021 року»
4. «Коди Фібоначі. Коди Грея» (<https://topref.ru/referat/53701/2.html>) «оновлена інформація 2021 року»
5. «Системи передачі даних. Конспект лекцій» (В.Д. Голь, М.С. Ірха) Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна.
6. «Супутникові системи навігації на транспорті» https://www.shevchenkove.org.ua/person_syte/Golub/%D1%81%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B82016/teoria7.html#:~:text=%D0%94%D0%BE%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8%20%D1%81%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B7%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%BA%D1%83,%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B4%D1%8F%D1%82%D1%8C%D1%81%D1%8F%20%D0%B2%20%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D1%96%20%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96%20%D1%81%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0. «оновлена інформація 2021 року»
7. «Структура мереж мобільного зв'язку» <https://kazedu.com/referat/196909/1> «оновлена інформація 2021 року»
8. <https://www.lawinsider.com/dictionary/telecommunication-device> «оновлена інформація 2021 року»
9. <https://www.nfon.com/en/get-started/cloud-telephony/lexicon/knowledge-base-detail/tele-communication-networks> «оновлена інформація 2021 року»

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

10. <https://study.com/academy/lesson/the-components-of-a-telecommunications-system.html> «оновлена інформація 2021 року»

					ЕЛІТ 6.172.00.02.426 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

ДОДАТОК А

*СЕКЦІЯ 5: Електронні системи, прилади
і засоби кодування інформації*

ФЕЕ :: 2022

Застосування квазірівноважних кодів в телекомунікаційних системах

Кулик І.А., доцент; Лобанов А.О., студент гр. ТК-81;

Зайцева М.В., студент гр. ТК-81

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Одним із перспективних напрямів розвитку телекомунікаційних пристроїв та систем є підвищення їх інформаційної потужності без збільшення довжини інформаційних повідомлень. У такий спосіб можна досить ефективно підвищити швидкість передачі інформації по каналам зв'язку, особливо якщо це здійснюється з мінімальним використанням апаратно-програмних витрат й без помітного зниження завадостійкості передачі даних.

Для збільшення інформаційної потужності систем передачі даних та пристроїв кодування/декодування пропонується застосування в них квазірівноважних кодів, множини яких на відміну від множин рівноважних комбінацій володіють значно більшою потужністю (кількістю кодових елементів) при тій самій кількості інформаційних розрядів. Це є наслідком використання декількох дозволених чисел одиниць в квазірівноважних кодових послідовностях.

Квазірівноважні коди, як і рівноважні, мають біноміальну структуру і для їх формування можна застосувати біноміальні числа, які генеруються двійковими біноміальними системами числення з параметрами n і k . Алгоритм отримання квазірівноважних кодових комбінацій, що мають довжину $(n-1)$ розрядів і кількості k та $(k-1)$ двійкових одиниць досить простий. Він полягає в тому, що до біноміальних чисел, які закінчуються одиницею, додають двійкові нулі, а до біноміальних чисел, які закінчуються нулем, додають одиниці доки не буде сформована результуюча квазірівноважна комбінація з $(n-1)$ розрядів. Очевидно, що і зворотний перехід до біноміальних чисел не буде становити технічних труднощів.

Слід зауважити також, що перетворення квазірівноважних $(n-1)$ -розрядних кодів, які мають k та $(k-1)$ одиниць, до звичайних рівноважних, які мають n розрядів і k одиниць, теж складається з простих операцій, а можливе сумісне застосування біноміальних кодів, квазірівноважних і рівноважних комбінацій в телекомунікаційних системах та пристроях кодування/декодування дозволить адаптивно підходити до організації передачі даних по каналам зв'язку.