

УДК 519.725

М. В. Васильська;**В. А. Гикавий,** к. т. н., доц.

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗГОРТКОВОГО КОДУВАННЯ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Розроблено систему моделей для комплексного дослідження наслідків використання згорткового кодування в системах мобільного зв'язку. Моделювання виконано на рівнях алгоритмів, схем і системи мобільного зв'язку як системи масового обслуговування. Такий підхід дозволяє оцінювати вплив змін на рівні елементної бази на характеристики системи в цілому.

Вступ

Системи мобільного зв'язку є найбільш динамічним сектором техніки, економіки і науки. Перша вимога до систем мобільного зв'язку при передачі інформації — захист інформації від завад. Друга вимога — ефективність для користувачів і виробників послуг мобільного зв'язку. Тому розробка будь-яких технічних новацій повинна бути системною, тобто враховувати аспекти нижніх і верхніх рівнів ієрархії виробництва. Наприклад, розробка нових алгоритмів захисту інформації ведеться з урахуванням можливостей елементної бази і одночасно структури — статистики і трендів — потреб споживачів послуг мобільного зв'язку. Основним інструментом розробки технічних систем будь-якого рівня сьогодні є моделювання. Свідченням цього є сотні пакетів для моделювання на ринку програмних продуктів.

Постановка задачі

В роботі центральною задачею є дослідження згорткового кодування. Для цього розроблено моделі і виконано моделювання на трьох рівнях — апаратної реалізації, алгоритмічної реалізації, та системної — використання кодера в складі системи надання послуг мобільного зв'язку. Для цього використовується три різних пакета моделювання.

Аналіз і вибір параметрів згорткових кодів. Згорткові коди дають надлишок інформації про корисний сигнал, тобто один вхідний біт корисної інформації кодується декількома вихідними бітами. В роботі розглянуто кодери зі швидкістю $1/2$, тобто одному біту вхідного сигналу відповідає два біти кодованого сигналу. Досліджені в роботі коди побудовані на основі зсувного послідовного регістру на D-тригерах. Досліджена залежність оптимальної довжини обмеження кодової відстані кодера при заданому співвідношенні сигнал/шум. Створена модель багатоканальної системи обслуговування, що є інструментом оцінки впливу ефективності кодування на ефективність системи мобільного зв'язку.

Згортковий код задається трьома параметрами: n , k і K . Код (n, k, K) обробляє вхідні дані порціями по k біт і генерує вихідну послідовність, що складається з n біт для кожних k біт входу. Для згорткових кодів n і k , як правило, є дуже малими числами. Згорткові коди використовують пам'ять, що характеризується довжиною кодового обмеження K . По суті, поточна n -бітова вихідна послідовність залежить не тільки від значень поточного вхідного блоку, що складає з k біт, але також і від попередніх $(K - 1)$ k -бітових блоків. Отже, поточна вихідна n -бітова послідовність є функцією останніх $(K \times K)$ вхідних бітів. Згорткові коди дозволяють здійснити виявлення і виправлення помилок безупинно, в чому полягає їх перевага [1]. Енергія сигналу, що припадає на біт інформації, повинна задовольняти нерівність

$$E_G \geq N_0 \log_e 2 = 0,69N_0, \quad (1)$$

де E_G в Дж, N_0 в Вт/Гц.

Нижня межа для співвідношення сигнал/шум $\frac{E_G}{N_0}$ складає — 1,6 дБ. При $\frac{E_G}{N_0} \geq 12$ дБ бітова помилка може бути нескінченно малою.

Таким чином, в цих межах лежить найкритичніший для передачі сигналу діапазон співвідношень сигнал/шум.

Для широкосмугових систем зв'язку з кодовим розділенням каналів при одночасній роботі на одній частоті M абонентів, апарати яких мають потужність P_C , рівень шуму для певного абонента утворюється апаратами інших [2]

$$\frac{P_C}{P_{N0}} = \frac{P_C}{P_C(M-1)} = \frac{1}{M-1}. \quad (2)$$

З іншого боку

$$\frac{P_C}{P_{N0}} = \frac{E_6}{N_0 G}, \quad (3)$$

де G — база сигналу

Величина G визначається як відношення швидкості передачі елементарних символів R_S до реальної швидкості передачі даних R_D : $G = \frac{R_S}{R_D}$. З виразів (2) і (3) отримуємо

$$\frac{E_6}{N_0} \approx \frac{G}{M}.$$

Наприклад, для $G = 128$ та $M = 64$ потрібне значення $\frac{E_6}{N_0} = 2$ або 3 дБ.

Залежність бітової помилки від довжини кодового обмеження

Задачею роботи є дослідження залежності бітової помилки від довжини кодового обмеження кодера і співвідношення сигнал/шум. Створено модель для досліджень, яка складається з приймальної, передавальної частин і лінії передачі. Схема містить такі блоки: генератор випадкової бінарної послідовності, згортковий кодер, модулятор (двійковий фазовий маніпулятор), зашумлена лінія передачі, демодулятор, декодер Вітербі і блок підрахунку бітової помилки, на один вхід якого подається сигнал з генератора бітової послідовності, на другий — сигнал з декодера (рис. 1).

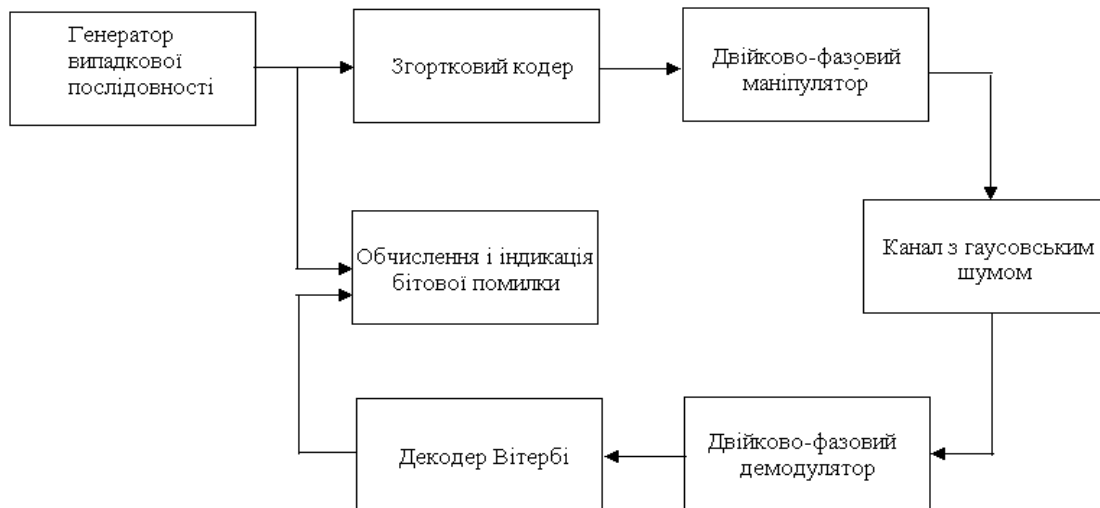


Рис. 1. Схема декодування

Таким чином на індикаторі цього блоку зображується коефіцієнт бітової помилки, тобто відношення числа помилкових бітів до загального числа прийнятих бітів. Досліджувалися моделі кодера і декодера з різною довжиною кодового обмеження. Канал передачі піддавався рівням завад в діапазоні, визначеному за виразом (1).

Розглянуто кодера зі швидкістю $1/2$, тобто одному біту вхідного сигналу відповідає два біти кодованого сигналу. Кодувальні послідовності для згорткових кодерів вибираються машинним перебором. З усіх можливих комбінацій генерувальної кодової послідовності вибираються ті, які експерименталь-

но виявились найбільш завадозахищеними. Для побудови кодерів використовується зсувний регістр на основі D -тригерів із зворотними зв'язками.

В роботі досліджено три кодери з кодувальними послідовностями [110 111] або [6 7] в октальному коді, [11111 11011] або [37 33] і [1111001 1011011] — [171 133]. Вони мають довжину кодового обмеження 3, 5 і 7, відповідно (рис. 2).

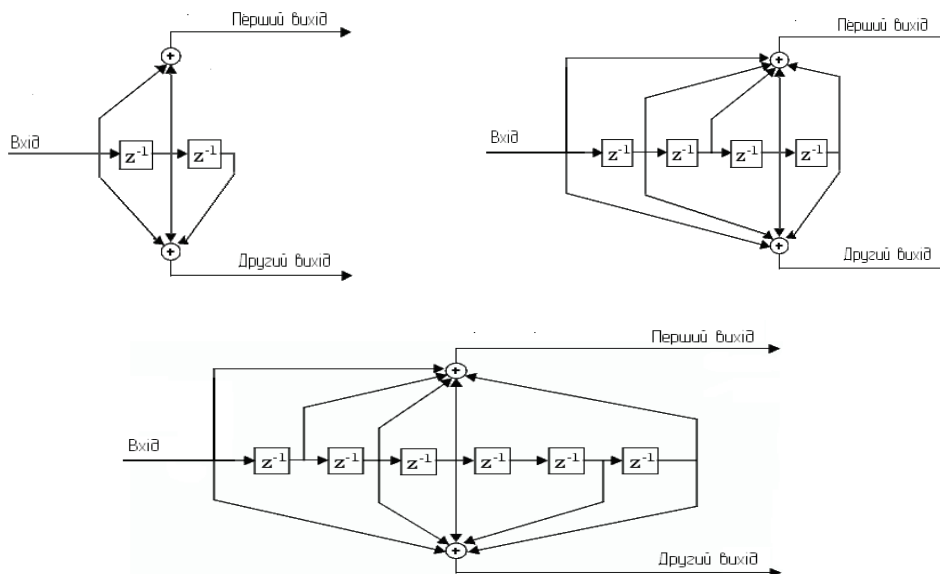


Рис. 2. Схеми декодерів з різною довжиною кодового обмеження

На рис. 3 подано залежність бітової помилки декодування при різній потужності від співвідношення сигнал/шум при довжині кодового обмеження 3, 5, 7, відповідно.

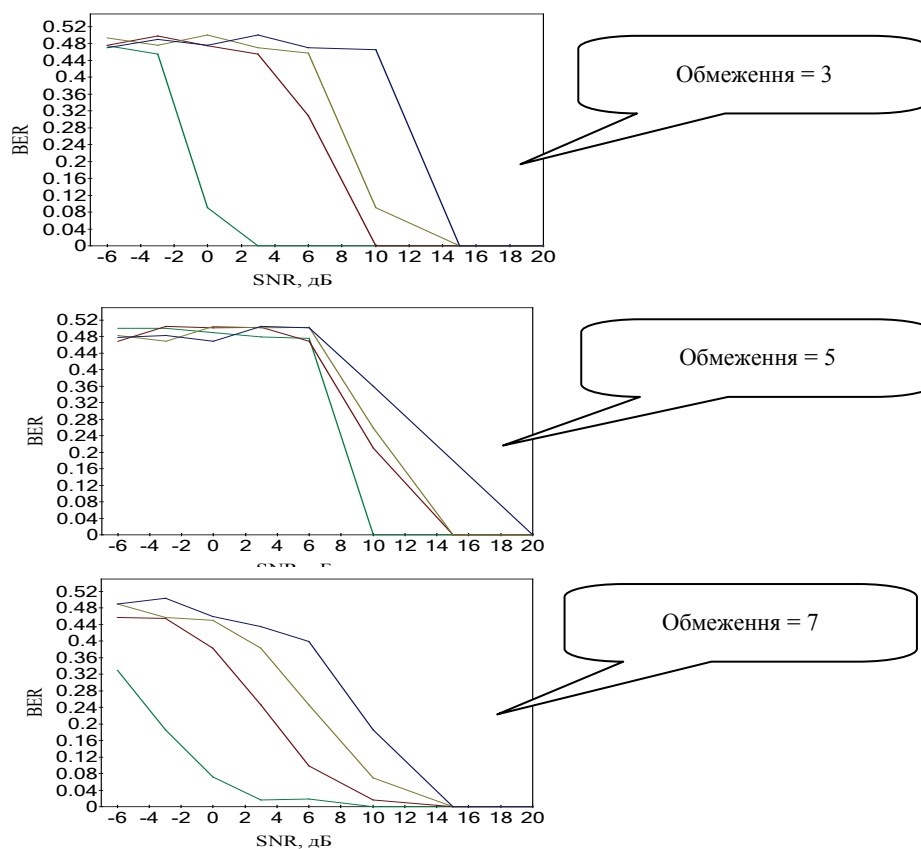


Рис. 3. Залежність бітової помилки декодування при різній потужності від співвідношення сигнал/шум

При малих співвідношеннях сигнал шум, коли шум перевищує сигнал у декілька разів усі кодери мають приблизно однакову ефективність. При постійному SNR (відношенні сигнал/шум в дБ),

бітова помилка менша при меншій потужності корисного сигналу, бо за однакового відношення сигнал/шум при збільшенні потужності сигналу збільшується потужність завад.

З співвідношенням сигнал/шум близько 0 дБ ефективнішим є кодер з більшою довжиною кодового обмеження, тобто кодер з довжиною кодового обмеження 7.

З великими співвідношеннями сигнал/шум всі кодери працюють з малою бітовою помилкою, тому ефективніше використовувати кодери з найменшою довжиною кодового обмеження, в даному випадку з довжиною 3, оскільки вони потребують меншу кількість тригерів для реалізації.

Моделювання процесів розподілу заявок в багатоканальній системі

Сучасні системи передачі і обробки даних можна назвати «ієрархічно багатоканальними» — на всіх рівнях від мікропроцесора до апаратних модулів мобільного зв'язку і вузлів передачі і обробки даних передбачається можливість розпаралелювання обробки задач (заявок). Системи мобільного зв'язку по різноманітності функцій і послуг далеко відійшли від простого телефонного зв'язку. Особливо це стосується Інтернет-послуг. Побудуємо універсальну, відкриту для налаштування і модифікації імітаційну модель багатоканальної системи [3], що може відобразити специфіку послуг мобільного зв'язку. Повний обсяг документу — 35 сторінок, подаємо тут головні фрагменти.

Модуль «Планування розподілу навантаження між каналами»

Прототипів для модуля не знайдено, тому розроблено дві альтернативи модуля. Далі подано кращу альтернативу. Словесний опис алгоритму:

- маємо загальну чергу задач (з попереднього кроку функціонування);
- направляємо чергову задачу елемента системи, що має мінімальне відносне завантаження;
- продовжуємо процедуру до повного розподілу загальної черги.

Задаємо вхідні дані для тестування модуля: потік задач

$$byby := koWza \left[\begin{pmatrix} 8 \\ 0,6 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1,8 \\ 0,5 \end{pmatrix} \right]; \quad kzaj := byby_1; \quad VZ := byby_2; \quad \text{кількість} \quad kzaj = 3; \quad \text{обсяги за}$$

дач: $VZ^T = (5 \ 4 \ 7)$; залишки черг від попереднього кроку $Ost^T = (13 \ 3 \ 7)$; продуктивності елементів $prs^T = (10 \ 15 \ 16)$. Транслюємо словесний опис алгоритму в текст програмного модуля. Виконаємо тестування модуля. Задаємо тестові вхідні дані (транспонуємо їх в рядки):

$$VZ^T = (5 \ 4 \ 7); \quad Ost^T = (13 \ 3 \ 7); \quad prs^T = (10 \ 15 \ 16).$$

Модуль «Моделювання багатоканальної, однофазної ОС»

Програму моделювання багатоканальної обчислювальної системи розробляємо на базі програми одноканальної системи. Складаємо словесний опис процесу переходу системи від попереднього стану в наступний:

- визначається результат обробки попередньої черги

$$S30 \leftarrow smH(prop, ss_3);$$

— на кожному кроці модулем $delsum3(VZ, Ost, prs)$, вхідна черга розподіляється між елементами;

- обробляються черги по всіх каналах – в циклі, або з використанням векторизації;

— визначаються довжина і обсяг черги після обробки;

— за допомогою модуля «кількість і обсяги заявок»: $BY \leftarrow koWza(vp1, vp2)$ визначається кількість і обсяг нових задач, що надійшли протягом кроку процесу;

- формується черга на наступний крок $S31 \leftarrow stack(S30, S2)$;

— формується вихід — наступний «вектор» стану обчислювальної системи.

На рис. 4 подано структуру цього «вектора», компоненти якого скаляр, матриця, матриця, вектор-рядок, вектор-рядок.

На рис. 5 подано текст модуля і, замість коментарів, поряд з модулем виведені структури даних, що є результатами роботи відповідних підпрограм. Модуль безпосередньо використовує вісім підпрограм.

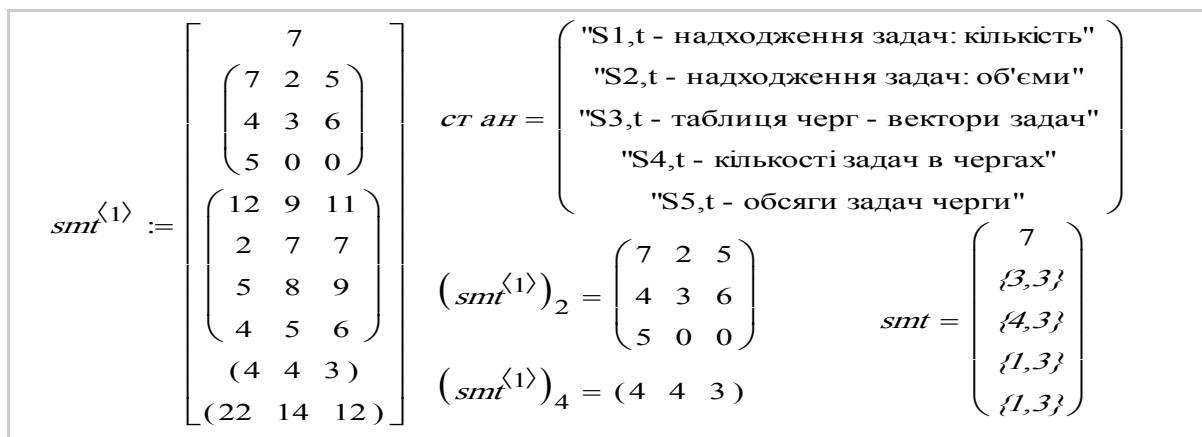


Рис. 4. Структура стану багатоканальної СМО

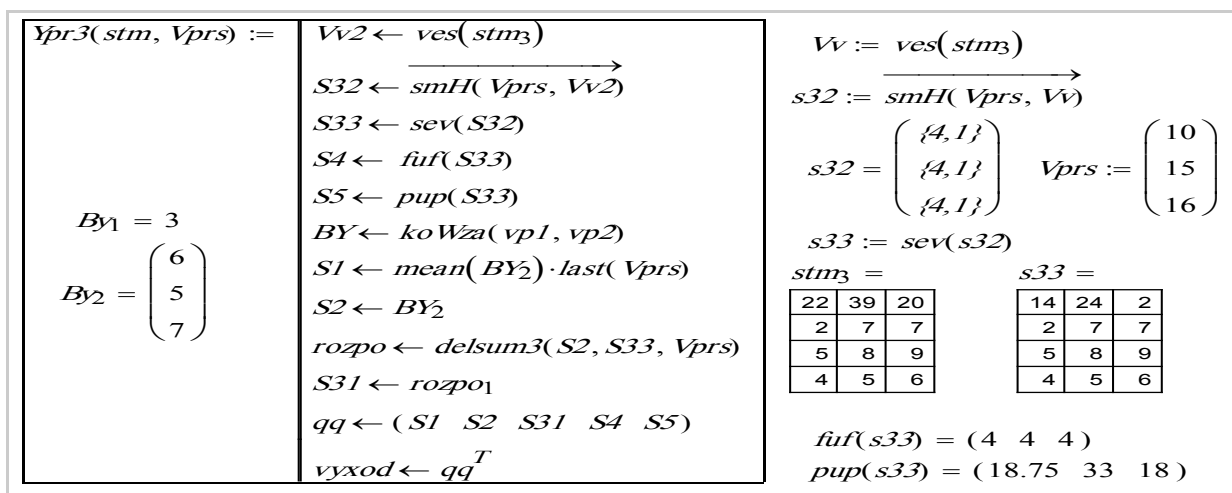


Рис. 5. Програма «оператор переходу для багатоканальної системи»

Програма бере певну структуру і повертає таку ж структуру — це «перехідна функція стану» визначена через функцію користувача. Нова структура має значення параметрів, що відповідають логіці процесів розподілу і обробки даних. Звернемо увагу на те, що обробка всіх черг до каналів системи виконується не традиційним циклом, а оператором векторизації, що в тексті програми подається стрілкою над математичним виразом. Інтерпретація стрілки — «виконати дану функцію для кожного елемента матриці». Векторизація прискорює виконання програми.

Програма моделювання багатоканальної, однофазної обчислювальної системи (ОС) є більш, ніж простою — це нелінійне різницеве рівняння для об'єкта — (обчислювальна система + потік задач) з досить складною структурою стану і складними правилами переходу між станами відображеними в операторі (див. рис. 5) переходу між станами. Проведемо тестування програми. Задаємо початковий стан $stm^{(1)}$ (див. рис. 4) та пропускну здатність системи, кількість кроків процесу $j := 1..100$. Записуємо рівняння (це можна назвати — робоча модель, програма)

$$stm^{(j+1)} := Ypr3(stm^{(j)}, vprs).$$

Виводимо результати обчислень та розшифровку складових вектора стану

$$kn1_j := (BYBY_{5,j})_{1,1}; \quad kn2_j := (BYBY_{5,j})_{1,2}; \quad kn3_j := (BYBY_{5,j})_{1,3};$$

$$sumO_j := kn1_j + kn2_j + kn3_j.$$

Будуємо графіки для приклада обчислювальних експериментів (рис. 6).

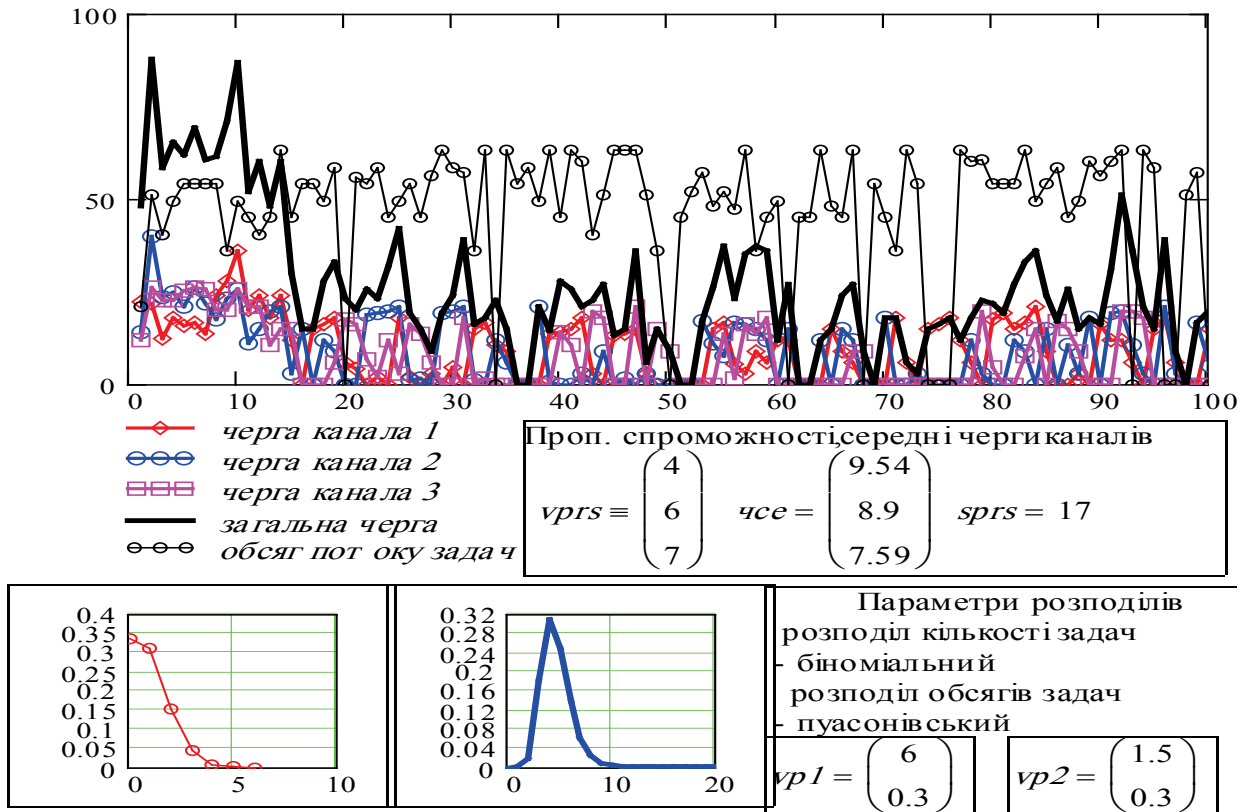


Рис. 6. Стенд: процеси в СМО на границі стійкості

Висновки

Розроблено систему робочих моделей системи мобільного зв'язку з використанням згорткових кодів. Побудовано моделі системи «кодер-декодер» і досліджено принципи захисту інформації за допомогою згорткового кодування та декодування за допомогою декодера Вітербі. Досліджено залежність величини бітрової помилки від довжини кодового обмеження кодера. Розроблено модель нижнього рівня — імітаційну модель згорткового кодера на базі послідовного регістра зсуву.

Розроблено модель верхнього рівня — імітаційну модель багатоканальної системи обслуговування. Для цієї моделі не знайдено близьких прототипів. Проведено дослідження процесів обробки заявок. За результатами моделювання системи радіозв'язку зроблено такі висновки. З малими величинами співвідношення сигнал/шум, усі кодери мають приблизно однакову ефективність. При постійному SNR (відношенні сигнал/шум в дБ), бітлова помилка менша у разі меншої потужності корисного сигналу, бо при однаковому відношенні сигнал/шум зі збільшенням потужності сигналу збільшується потужність завад. При співвідношенні сигнал/шум близько 0 дБ ефективнішим є кодер з більшою довжиною кодового обмеження, тобто кодер з довжиною кодового обмеження 7.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Блейхут Р. Е. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки / Р. Е. Блейхут. — М. : Мир, 1986. — 345 с.
2. Тихвинский В. О. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев. — М. : Эко-Трендз, 2007. — 216 с.
3. Боровська Т. М. Основи теорії управління та дослідження операцій : навчальний посібник / Т. М. Боровська, І. С. Колесник, В. А. Северілов. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 242 с. — ISBN 978-966-641-275-4.

Рекомендована кафедрою телекомунікаційних систем та телебачення

Надійшла до редакції 28.05.09
Рекомендована до друку 4.06.09

Васильська Майя Валеріївна — студентка Інституту магістратури, аспірантури та докторантури, **Гикавий Віктор Арсенійович** — доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення.

Вінницький національний технічний університет