

біту інформації, можна записати, що приріст швидкості передачі інформації буде визначатись:

$$\Delta V(\%) = \frac{h}{N} \cdot L(\%), \quad (16)$$

де  $N$  – кількість основних бітів, що передаються у кожному символі;

$L(\%)$  – статистична кількість інформації, що припадає на 2 і 4 частоти «сузір'я» КАМ у відсотках.

#### Висновки

За рахунок перекомутації частот-носіїв під час існування кожного окремого модулюючого імпульсу можливе підвищення швидкості передачі інформації, яка базується на основі використання алгоритму КАМ. Для цього необхідно передавати додаткові біти, якщо вузол поточного модулюючого символу «сузір'я» КАМ знаходиться у 2 або 4 частоті на комплексній площині подання синфазної та квадратурної компонент. Кількість додаткових бітів, які передаються в одному символі, залежить від кількості використаних перекомутацій частот-носіїв. При цьому не відбувається розширення спектру сигналу, що є основною перевагою запропонованого методу.

У таблиці 2 наведені значення приросту інформації у відсотках залежно від кількості основних бітів, що передаються в одному символі, і кількості використаних перекомутацій (при рівномірному розподілі інформації у частотах «сузір'я» КАМ).

Таблиця 2

#### Залежність приросту швидкості передачі інформації від кількості перекомутацій

Алгоритм КАМ	$N$	$h$			
		1	2	3	4
КАМ-4	2	25 %	50 %	75 %	100 %
КАМ-16	4	12,5 %	25 %	37,5 %	50 %
КАМ-32	5	10 %	20 %	30 %	40 %
КАМ-64	6	8,33 %	16,67 %	25,00 %	33,33 %
КАМ-128	7	7,14 %	14,29 %	21,43 %	28,57 %
КАМ-256	8	6,25 %	12,5 %	18,75 %	25 %

Таким чином, запропонований алгоритм дозволяє підвищити швидкість передачі інформації без розширення спектру сигналу і з введенням мінімальних додаткових схемотехнічних удосконалень в передавальну і приймальну частини обладнання каналу зв'язку.

#### Література

1. Голуб В. С. Квадратурные модуляторы и демодуляторы в системах радиосвязи / В. С. Голуб // Электроника : НТБ: науч.-техн. жур. – 2003. – № 3. – С. 28–32.
2. Коханов А. Б. Способ модуляции-демодуляции сигналов с квадратурным изменением угловой компоненты / А. Б. Коханов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре: науч.-техн. жур. – 2006. – № 4. – С. 9–13.
3. Бакланов И. Г. Технология ADSL/ADSL2+ теория и практика применения / И. Г. Бакланов. – М. : Метротек, 2007. – 384 с.
4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – СПб. : Питер, 2002. – 608 с.

Надійшла 18.8.2011 р.

УДК 681.3.04

І.А. ДИЧКА, М.В. НОВОСАД

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

### ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ УЩІЛЬНЕННЯ АЛФАВІТНО-ЦИФРОВИХ ДАНИХ ПРИ ЇХ ПОДАННІ У ГРАФІЧНО-КОДОВАНОМУ ВИГЛЯДІ

*Наведено узагальнений структурний метод ущільнення алфавітно-цифрових повідомлень, створених на основі як кириличного, так і латинського алфавітів. Ущільнення алфавітно-цифрових даних досягається за рахунок використання кількох режимів кодування вхідних повідомлень. Запропоновано математичну модель для оцінювання ступеня ущільнення алфавітно-цифрових даних.*

*The method of structural compression for alphanumeric messages based on Cyrillic and Latin alphabets is presented. The alphanumeric data compression is achieved by using multiple modes of coding incoming messages. A mathematical model for evaluating the degree of compression of alphanumeric data is proposed.*

Ключові слова: графічний код, алфавітно-цифрові дані, ущільнення даних, кодослово, поля Галуа.

#### Вступ

Використання графічного кодування інформації є одним з напрямів підвищення швидкості,

надійності та ефективності введення даних до обчислювальної системи. Графічно-кодовані дані візуально та конструктивно подаються у вигляді графічного коду (ГК). ГК-позначка – це двомірний масив дискретних графічних елементів, оформлений як єдине ціле з використанням простих графічних форм: квадрата, многокутника, штриха, круга тощо.

ГК розміщують на поверхні об'єкта обліку, він є ідентифікатором об'єкта і переміщується разом з об'єктом по всій траєкторії його руху. Зчитування ГК-позначок з носія здійснюють оптичним способом, у тому числі й на відстані [1].

Завдяки властивості автоматичного зчитування ГК набули поширення в різних галузях людської діяльності: промислового виробництва, системах документообігу, транспортній сфері, поштової галузі тощо.

У сучасних системах автоматичної ідентифікації на основі графічного кодування даних вимагається, щоб ГК подавав від кількох сотень до кількох тисяч алфавітно-цифрових символів, тобто був не лише ідентифікатором об'єкта, а слугував би своєрідною переносною базою даних (portable data file). Досягти цього можна лише забезпечивши високу інформаційну щільність даних, що підлягають поданню у графічно-кодованому вигляді.

### Постановка задачі

Ефективність стандартних схем кодування даних відомих графічних кодів є недостатньою (особливо для послідовностей кирилических символів) для отримання поліпшених показників ущільнення інформації при поданні алфавітно-цифрових даних у вигляді ГК-позначок. Тому актуальною є задача розроблення методу подання алфавітно-цифрової інформації у вигляді двомірних графічних кодів з підвищеними показниками ущільнення та способу оцінювання ступеня ущільнення залежно від параметрів ГК-позначки.

У графічно-кодованому вигляді можуть подаватися будь-які алфавітно-цифрові дані, що належать розширеному ASCII (комп'ютерному алфавіту) [1-3]. Проте при створенні певної множини алфавітно-цифрових повідомлень може використовуватись обмежений набір символів з розширеного ASCII, який назвемо алфавітом повідомлень.

Якщо потужність алфавіту повідомлень менша за 256 – потужність розширеного ASCII, та відмінна від степеня двійки, то з'являється можливість закодувати повідомлення з ущільненням даних.

Ущільненням даних називатимемо таке кодування алфавітно-цифрових повідомлень (тексту), при якому для повідомлення завдовжки  $h$  алфавітно-цифрових символів, що використовує алфавіт  $A$  потужності  $P_A$ , довжина  $B(h)$  результуючої двійкової послідовності, отриманої внаслідок певного перетворення вихідного тексту, задовольняє умову  $B(h) < h \log_2 P_A$ .

Для неущільнених повідомлень:  $B(h) = h \log_2 P_A$ .

Ступінь ущільнення алфавітно-цифрових даних оцінюватиме коефіцієнтом ущільнення:

$$U(P_A) = \frac{h \log_2 P_A}{B(h)}.$$

Необхідно розробити математичну модель для оцінювання ступеня ущільнення алфавітно-цифрових даних на етапі проектування графічного коду залежно від потреб та вимог конкретної системи автоматичної ідентифікації.

### Проектування ГК-позначки

Розглядатимемо випадок чорно-білих матричних графічних кодів.

Матричні графічні коди (МГК) істотно відрізняються від лінійних та стекових ГК. Особливістю МГК є повноцінне використання двомірності – інформація подається із застосуванням двох ортогональних осей. Наслідком цього є збільшення інформаційної щільності зберігання даних. Двомірний спосіб зберігання даних має особливості побудови та обробки ГК-позначок порівнянно з лінійним та стековим способами.

МГК утворюють з чорно-білих ГК-елементів розташовуючи їх у вигляді матриці (рис. 1).

Мінімальний ГК-елемент (комірка), зазвичай, повинен мати однакові розміри по горизонталі та вертикалі (у загальному випадку ця вимога необов'язкова). Допускається розфарбовування кількох суміжних комірок однаковим кольором. Між суміжними комірками не повинно бути проміжків.

Структурно ГК-позначка МГК містить матрицю комірок, маркер, мірні лінійки (рис. 1).

Маркер та L-подібний бордюрий рисунок (мірні лінійки) використовують для позиціонування пристрою зчитування та визначення орієнтації ГК-позначки відносно сканера. Маркер розміщується у лівому верхньому куті. Маркер та L-подібний бордюрий рисунок однозначно задавають орієнтацію ГК-позначки відносно зчитувача. Мірні лінійки задають розміри комірок і розмір ГК-позначки по горизонталі та вертикалі. Разом ГК-елементи мірних лінійок та маркер утворюють бордюрий рисунок.

При формуванні бітової матриці ГК-позначки зручно користуватись ГК-знаками (рис. 2). ГК-знак є мінімальною структурною одиницею ГК-позначки (ГК-позначка складається з ГК-знаків).

Нехай ГК-знак складається з  $s = 10$  комірок, і, отже, подає один  $q$ -значний ( $q = 2^{10} = 1024$ ) розряд кодового слова коду Ріда-Соломона. Тоді множина всіх можливих ГК-знаків утворить алфавіт  $\Omega$  графічного коду потужності  $P_\Omega = 1024$ , який називають символікою графічного коду.

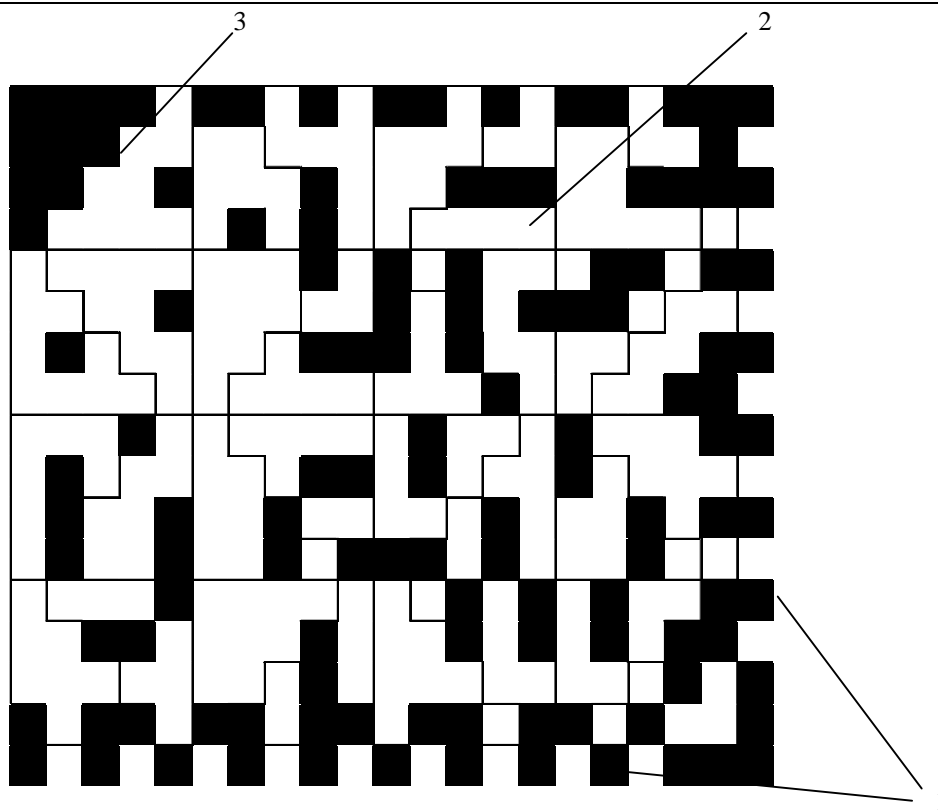


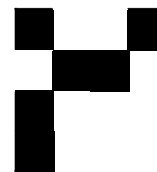
Рис. 1. Структурна організація ГК-позначки МГК: 1 – мірні лінійки; 2 – матриця ГК-елементів; 3 – маркер

0	1	2	3
4	5	6	
7	8		
9			

порядок розміщення бітів у ГК-знаку (9 – старший розряд, 0 – молодший розряд)

1	0	0	1
0	1	1	
1	0		
1			

бітова карта ГК-знака, що відповідає кодовектору 1011101001



зображення кодовектора на носії

Рис. 2. Приклад ГК-знака при  $s = 10$

Значення кожної окремої комірки визначає її колір: світлий відповідає нулю, а темний – одиниці. Матриця ГК-позначки заповнюється бітовими наборами послідовно, починаючи з верхнього правого кута.

ГК-позначка на рис. 1 вміщує 32 ГК-знаки, із них один (у верхньому лівому куті) використовується як маркер. Отже, така ГК-позначка передаватиме 31 кодослово. Форма ГК-позначки може бути довільною залежно від потреб галузі застосування. Для зручності сканування доцільно будувати ГК-позначку так, щоб вона мала форму квадрата чи прямокутника близького до квадрата.

Унаслідок механічних та інших впливів (старіння барвника, носія тощо) ГК-позначка може зазнавати спотворень, що призводять до помилок у зчитуваній інформації. Спотворення в ГК-елементах можуть виникати також при формуванні ГК-зображення. Наприклад, під час друкування ГК-позначки можливе згортання або розпливання фарби, що призводить до зміни геометричних розмірів ГК-елементів.

ГК-позначка МГК у своєму складі містить два ГК-знаки, які задають параметри ГК:  $n$  – загальну довжину кодового слова КК Ріда-Соломона, тобто кількість ГК-знаків у ГК-позначці,  $r$  – кількість контрольних ГК-знаків у кодовому слові КК Ріда-Соломона. ГК-знаки, що задають параметри ГК-позначки, можуть розміщуватися у першому рядку ГК-знаків матриці або кількаразово повторюватися у задалегідь визначених місцях ГК-позначки.

Розглянемо декодування МГК. Після зчитування ГК-позначки першим етапом є її розпізнавання. Воно полягає в пошуку розміщення мірних лінійок, маркера, інших елементів бордюрного рисунка. У результаті аналізу елементів цих структурних одиниць визначається верхній лівий кут матриці комірок, розміри комірки, що задаються компонентами мірних лінійок. Далі аналізують перші два ГК-знаки, розміщені в першому рядку ГК-знаків матриці.

Знаючи параметри  $n$ ,  $r$  ГК-позначки, декодер виокремлює та розпізнає ГК-знаки. Це здійснюється калібруванням елементів ГК-позначки мінімальною коміркою, розміри якої на цьому етапі декодування вже відомі. Результатом розпізнавання ГК-знаків є формування 10-розрядних векторів ГК-знаків.

Результатом зчитування є прийнята послідовність кодовекторів. Ця послідовність може містити помилки, якщо окремі елементи ГК-позначки зазнали пошкодження протягом періоду зберігання

графічнокодованої інформації.

Декодер МГК використовує надлишковість прийнятої послідовності для того, щоб виправити спотворення, та формує рішення щодо придатності скорегованої послідовності до подальшої обробки.

Якщо всі спотворення виправлено, то відбувається розпакування даних з метою отримання первісного текстового повідомлення, що було закодоване у графічнокодованому вигляді.

### Структурний метод підвищення інформаційної щільності графічних кодів

Ущільненням алфавітно-цифрової послідовності є обов'язковим етапом при її поданні у вигляді графічного коду. Можливість ущільнення ґрунтується на перетворенні даних з одного алфавіту в інший – з алфавіту символів в алфавіт ГК-знаків графічного коду. Ущільнення даних досягається, якщо використовувати декілька алфавітів символів – алфавіт десяткових цифр, алфавіт текстових символів, алфавіт розширеного ASCII. Це означає, що вхідну алфавітно-цифрову послідовність слід поділяти на відповідні підпослідовності символів – цифрові підпослідовності, підпослідовності текстових символів, підпослідовності символів розширеного ASCII, і в межах кожної підпослідовності виконувати відповідне перетворення символів – з алфавіту поточної підпослідовності в алфавіт ГК-знаків.

Коефіцієнт ущільнення даних, якщо його розглядати як функцію потужності використовуваного алфавіту символів, може мати декілька локальних екстремумів. Саме в точках екстремумів й досягається максимум ущільнення.

Структурний метод підвищення інформаційної щільності графічних кодів поляє в наступному:

1. Якщо необхідно створювати ГК-позначки ємністю  $V$  ГК-знаків, то символика  $\Omega$  графічного коду повинна мати потужність  $P_{\Omega} = 2^s$ , де  $s \geq \lceil \log_2 V \rceil$ .

2. Вибираємо необхідну кількість службових кодовекторів  $P_{\Omega_{сл}}$ . Тоді кількість інформаційних кодовекторів становить  $P_{\Omega_{інф}} = P_{\Omega} - P_{\Omega_{сл}}$ .

3. Шукаємо локальні екстремуми коефіцієнта ущільнення  $U_s^{(P_{\Omega_{інф}})}$ . Для цього розв'язуємо систему

$$\begin{cases} P_A^n \leq P_{\Omega_{інф}}^m, \\ n \log_2 P_A \geq m \log_2 P_{\Omega_{інф}}, \end{cases} \quad (1)$$

при відомому  $P_{\Omega_{інф}}$ . Розв'язками (1) є множина значень потужності  $P_A$  алфавітів, при яких  $U_s^{(P_{\Omega_{інф}})} > 1$ , та тип перетворення “ $n$ ” → “ $m$ ”, при якому для кожного  $P_A$  досягається локальний екстремум  $U_s^{(P_{\Omega_{інф}})}$ .

4. Знаходимо кількість режимів кодування алфавітно-цифрових послідовностей як  $R = L + 1$ ,  $L$  – кількість вибраних для практичного застосування локальних екстремумів коефіцієнта ущільнення  $U_s^{(P_{\Omega_{інф}})}$  (обов'язковим додатковим режимом кодування є режим ASCII). Визначаємо правила переходу між режимами.

5. Для кожного режиму кодування формуємо алфавіти, поділені на набори символів, та визначаємо правила переходу між наборами та між режимами.

6. Формуємо правила розбиття вхідної алфавітно-цифрової послідовності на підпослідовності суміжних символів, до яких входять лише символи алфавіту з одного режиму.

7. Кожну отриману підпослідовність символів обробляємо за правилами відповідного режиму та перетворюємо в послідовність кодовекторів.

З точки зору забезпечення максимуму ущільнення алфавітно-цифрових даних і зручності роботи з послідовностями символів перевагу слід віддати створенню ГК-позначок з параметрами (табл. 1): ємність до 1024 ГК-знаків,  $P_A = 140$  (коефіцієнт ущільнення 1,12),  $P_A = 10$  (коефіцієнт ущільнення 1,2).

### Математична модель для оцінювання ступеня ущільнення алфавітно-цифрових даних

Виконаємо математичне оцінювання ступеня ущільнення потоку вхідних алфавітно-цифрових даних з урахуванням додаткових символів – символів-перемикачів режимів та зсувачів текстового режиму.

Вважатимемо, що у вхідному повідомленні цифрові підпослідовності подані наступним чином: перед черговою цифровою підпослідовністю та після неї розміщують символ-перемикач, і кожен символ (цифра) в таких підпослідовностях подається 4-ма бітами. Нецифровим символам ставляться у відповідність 8-розрядні коди.

Нехай  $t$  – ймовірність появи цифрових підпослідовностей у повідомленні  $C$  (кожен символ таких підпослідовностей подається 4-а бітами),  $(1 - t)$  – ймовірність появи текстових підпослідовностей у повідомленні  $C$ ,  $d$  – кількість символів перемикачів. Оскільки для цифрових підпослідовностей має місце 4-розрядне перетворення (а не 8-розрядне, то ймовірність  $t$  слід брати з коефіцієнтом  $\frac{1}{2}$ ). Тоді вхідне повідомлення  $C$  завдовжки  $h$  алфавітно-цифрових символів передаватиме

$$L_0 = 8(h(\frac{1}{2}t + 1 - t) + d) = 8h - 4ht + 8d$$

біт інформації.

Таблиця 1

**Найбільш доцільні для практичного застосування значення потужностей алфавіту  $P_A$ , за яких досягається ущільнення даних при  $s=10$  ( $P_\Omega = 1024$ ,  $P_{\Omega_{\text{інф}}} = 1013$  і  $P_{\text{сл}} = 11$ )**

Потужність алфавіту $P_A$	Коефіцієнт ущільнення $U_{10}^{(1013)}$	Тип перетворення "n" → "m"	Коментар
10	1,20	"3" → "1"	Три суміжні цифрові символи перетворюють в 1 кодовектор з поля GF (1024)
75	1,12	"8" → "5"	8 суміжних символів з алфавіту потужності $P_A = 75$ перетворюють в 5 кодовекторів з поля GF (1024)
140	1,12	"7" → "5"	7 суміжних символів з алфавіту потужності $P_A = 140$ перетворюють в 5 кодовекторів з поля GF (1024)

При перетворенні повідомлення з використанням трьох режимів кодування під час першого проходу його довжина може зрости на  $y$  символів-перемикачів режимів ( $y < h$ ).

Нехай  $p$  – ймовірність появи цифрових підпоследовностей довжиною не менше 3 символів у повідомленні  $C$ . Тоді  $(1 - p)$  – ймовірність появи текстових підпоследовностей у повідомленні  $C$ . Після другого проходу повідомлення  $C$  буде перетворено на  $g = h(\frac{1}{3}p + \frac{5}{7}(1 - p)) + y$  кодослів завдовжки  $L = g \cdot 10$  біт. Оскільки для цифрового режиму має місце перетворення "3" → "1" (табл. 1), то ймовірність  $p$  слід брати з коефіцієнтом  $\frac{1}{3}$ . Оскільки для текстового режиму має місце перетворення "7" → "5" (табл. 1), то

ймовірність  $(1 - p)$  слід брати з коефіцієнтом  $\frac{5}{7}$ . Враховуючи, що кожному з утворених кодослів відповідатиме ГК-знак ємністю 10 бітів обчислимо коефіцієнт ущільнення  $U$  вхідного повідомлення  $C$ :

$$U = \frac{L_0}{L} = \frac{8(h(\frac{t}{2} + 1 - t) + d)}{10(h(\frac{p}{3} + \frac{5}{7}(1 - p)) + y)} = \frac{8h - 4ht + 8d}{10h(\frac{5}{7} - \frac{8}{21}p) + 10y} = \frac{84h - 42ht + 84d}{h(75 - 40p) + 105y} \quad (2)$$

Вважатимемо, що  $t \approx p$  і  $d \approx y$ .

Нехай  $y = d = 0$ , тобто вважатимемо, що вхідне повідомлення не потребує символів-перемикачів режимів. Тоді тотожність (2) зводиться до (3):

$$U(p) = (84 - 42p) / (75 - 40p) \quad (3)$$

Побудуємо графік  $U(p)$  залежності коефіцієнта ущільнення від ймовірності  $p$  появи цифрових підпоследовностей у повідомленні  $C$  (рис. 3).

Нехай  $y = d = 0,5 \cdot h$ , тобто вважатимемо, що символи-перемикачі режимів подовжують повідомлення на 50 %. Тоді тотожність (2) зводиться до (4):

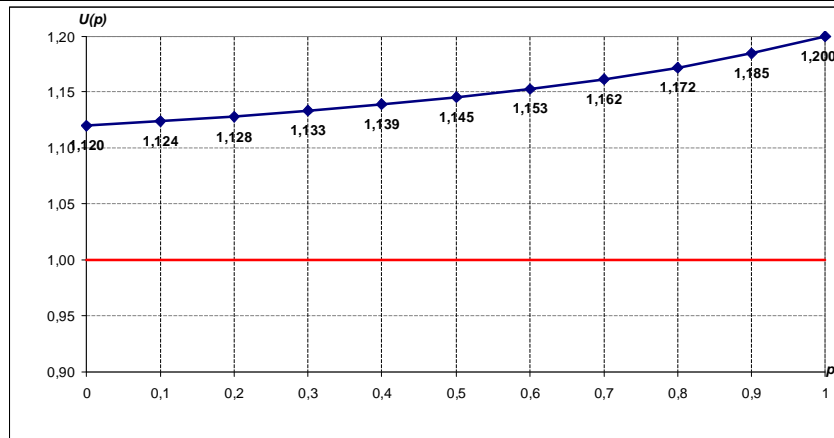
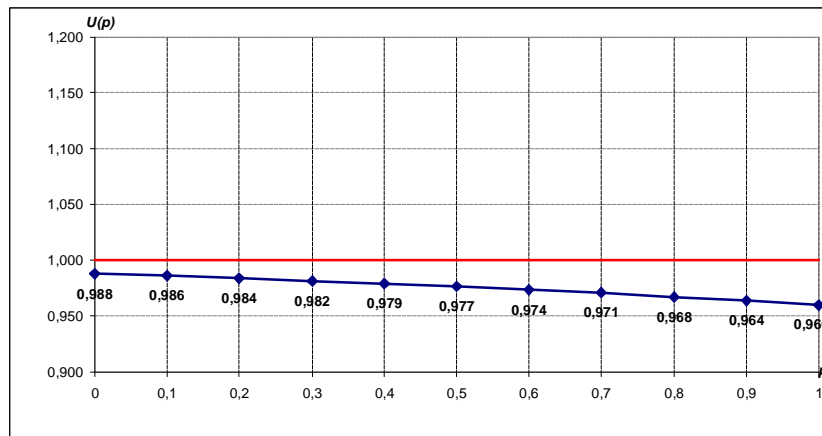
$$U(p) = \frac{126 - 42p}{127,5 - 40p} \quad (4)$$

Побудуємо графік  $U(p)$  залежності коефіцієнта ущільнення від ймовірності  $p$  появи цифрових підпоследовностей у повідомленні  $C$  (рис. 4).

Ущільнення гарантовано досягається при  $d \leq 0,3 \cdot h$  (тобто коли кількість символів-перемикачі режимів становить не більше 30 % від довжини  $h$  повідомлення), а при  $d \geq 0,5 \cdot h$  ущільнення не буде (рис. 4).

Якщо перетворене після першого проходу вхідне повідомлення міститиме незначну кількість символів-перемикачів порівняно зі значенням  $h$ , то максимальне значення коефіцієнта ущільнення  $U_{\text{max}}$  прямуватиме до величини 1,2 при  $p=1$  і до величини 1,12 при  $p=0$  (асимптотичні оцінки) (рис. 3).

Якщо  $U > 1$ , то це означає, що на носії кількість елементів буде меншою за кількість біт, яку несе вхідне повідомлення (тобто відбувається ущільнення на рівні бітів).

Рис. 3. Графік залежності  $U(p)$  при  $d = 0$ Рис. 4. Графік залежності  $U(p)$  при  $d = 0,5 \cdot h$ 

### Порівняльний аналіз структурного та статистичного методів ущільнення даних

Проведемо порівняльний аналіз структурного та статистичного методів ущільнення даних. Як структурний метод візьмемо розроблений метод ущільнення даних, а як статистичний – широко поширений архіватор WinRar. Методика порівняння буде наступною:

1. Розглядаємо чотири типи текстів завдовжки  $h$  символів кожний: кириличний, латинський, цифровий та змішаний. Кожен з текстів зберігаємо в окремому файлі.txt. Розмір.txt файлу в байтах завжди дорівнює загальній кількості  $h$  символів відповідного тексту.

2. Архівуємо кожен файл програмою WinRar. Аналізуємо розмір  $r.rar$  файлу і знаходимо коефіцієнт ущільнення  $W(h)$  як відношення розміру  $h.txt$  файлу до розміру  $r$  відповідного.rar файлу:  $W(h) = h / r$ . Знаходимо діапазон розміру.txt файлів при якому  $W(h) < 1$  (ущільнення не досягається), тобто розмір.rar файлу більший за розмір.txt файлу, а також розмір.txt файлу при якому коефіцієнти ущільнення структурного і статистичного методів співпадають (табл. 2).

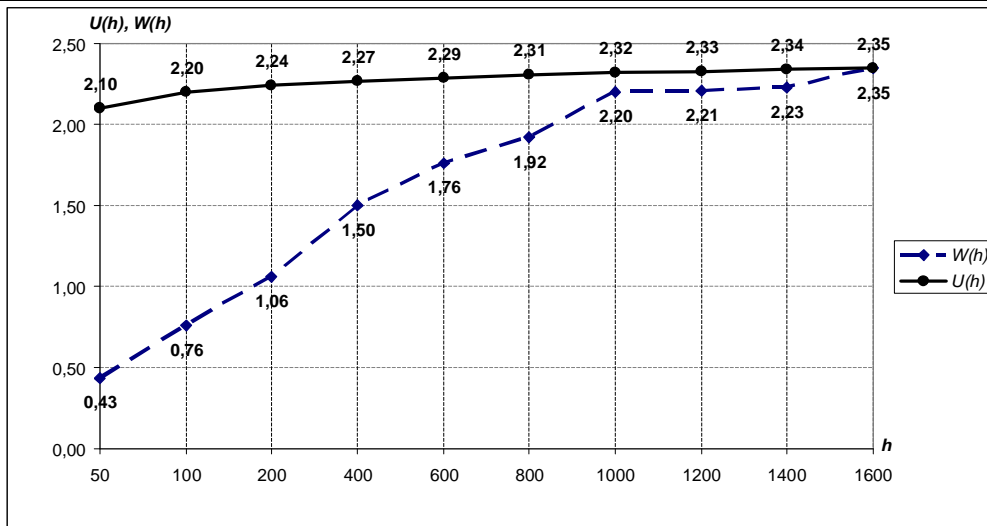
3. Ущільнюємо кожен алфавітно-цифрову послідовність розробленим методом. Порівнюємо отримані результати для різних типів і довжин послідовностей з результатами програми WinRar (рис. 5, 6).

Таблиця 2

Показники ущільнення  $W$  архіватора WinRar

Тип тексту	Розмір $h$ файлу (байт), при якому $W(h) < 1$	Розмір $h$ файлу (байт), при якому $W(h) = U(h)$
Цифровий текст	1 – 174	1600
Латинський текст	1 – 240	300
Кириличний текст	1- 300	350
Змішаний текст	1 – 462	1600

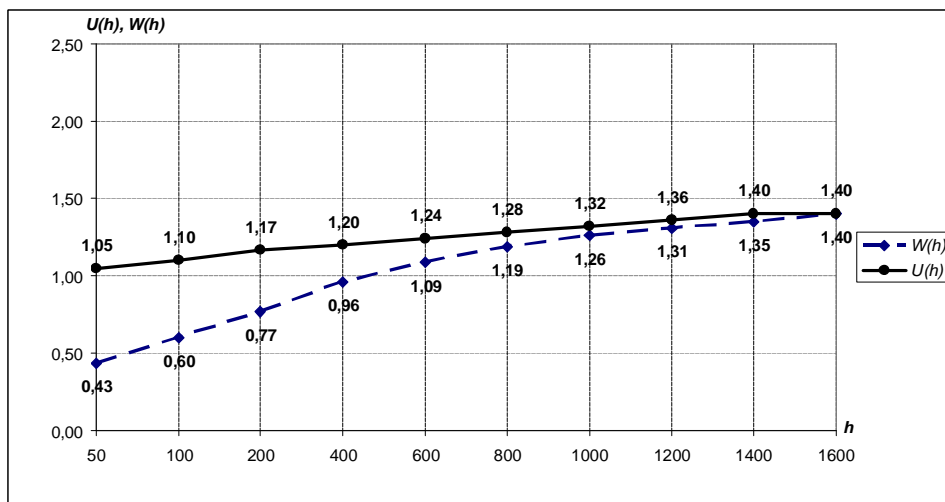
Побудуємо графік  $U(h)$  залежності коефіцієнта ущільнення алфавітно-цифрових послідовностей від довжини  $h$  для розробленого методу ущільнення та графік  $W(h)$  залежності коефіцієнта ущільнення алфавітно-цифрових послідовностей від довжини  $h$  для програми-архіватора WinRar. Графіки наведені для двох типів послідовностей: послідовність цифрових символів (рис. 5) і змішана послідовність (рис. 6).

Рис. 5. Графіки коефіцієнтів ущільнення  $U(h)$  та  $W(h)$  для цифрових послідовностей

Аналіз отриманих результатів доводить доцільність використання структурного методу ущільнення у наступних випадках:

- для цифрових та змішаних текстів, якщо довжина повідомлення не перевищує 1600 символів
- для кирилических текстів, якщо довжина повідомлення не перевищує 350 символів
- для латинських текстів, якщо довжина повідомлення не перевищує 300 символів.

Найбільш поширеними є змішані тексти. Розроблений метод ущільнення доцільно використовувати для послідовностей завдовжки до 1600 символів (це в середньому 300 слів – одна сторінка формату A5). Для більших довжин послідовностей статистичні методи забезпечують кращі показники ущільнення.

Рис. 6. Графіки коефіцієнтів ущільнення  $U(h)$  та  $W(h)$  для змішаних текстів

## Висновки

Запропоновано узагальнений структурний метод ущільнення алфавітно-цифрових повідомлень, створених на основі як кирилического, так і латинського алфавітів. Ущільнення алфавітно-цифрових даних досягається за рахунок використання кількох режимів кодування вхідних повідомлень (текстового режиму, цифрового режиму та режиму ASCII).

Найбільшого ущільнення (на 20 % при строгій оцінці) можна досягти при поданні у графічно-кодованому вигляді десяткових даних ( $P_A = 10$ , коефіцієнт ущільнення дорівнює 1,200).

Високі показники ущільнення досягаються при побудові ГК-позначок середньої ємності (близько 1024 ГК-знаків), якщо використовувати символіку потужності  $P_Q = 1024$  та алфавіт потужності  $P_A = 140$  (строга оцінка: 20 % – при поданні десяткових даних, 12 % – алфавітно-цифрових даних).

Розроблено математичну модель для оцінювання ступеня ущільнення алфавітно-цифрових даних, яка за заданими параметрами дозволяє вже на етапі проектування графічного коду оцінити коефіцієнт ущільнення залежно від вимог конкретної системи автоматичної ідентифікації.

Розроблений метод ущільнення доцільно використовувати для послідовностей завдовжки до 1600 символів. При цьому досягаються кращі показники ущільнення порівняно зі статистичними методами ущільнення. Розроблений структурний метод забезпечує ущільнення з високими показниками як для кирилических так і латинських текстів, що є істотною перевагою над методами ущільнення широко

поширених графічних кодів DataMatrix, QR-кодів, PDF417 (які орієнтовані на роботу з латинськими послідовностями і мають значно гірші показники ущільнення для кирилических послідовностей [1, 4-5]).

### Література

1. Арманд В. А. Штриховые коды в системах обработки информации / В. А. Арманд, В. В. Железнов – М. : Радио и связь, 1989. – 92 с.
2. Коды, исправляющие ошибки / У. Питерсон, Э. Уэлдон. – М.: Мир, 1976. – 594 с.
3. Цымбал В. П. Теория информации и кодирование / Цымбал В. П. – К. : Вища шк., 1982. – 304 с.
4. Дичка І. А. Структурні способи підвищення інформаційної щільності лінійних штрихових кодів / І. А. Дичка // Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2002. – № 4 (24). – С. 13–19.
5. Тарасенко В. П. Штрихові коди та їх застосування / Тарасенко В. П., Дичка І. А., Голуб В. І. – К. : Корнійчук. – 2000. – 175 с.

Надійшла 5.8.2011 р.

УДК 004.7

К.В. КОЛЕСНИКОВ, Е.С. АНДРОСОВ  
Черкасский государственный технологический университет

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДЕРЖЕК В ТЕХНОЛОГИИ LONG TERM EVOLUTION

*Технология Long Term Evolution (LTE) поколения 4G является важным шагом в развитии мобильных сетей. LTE основана на нескольких перспективных технологиях, таких как OFDM, MIMO и т.д., а также перспективной архитектуре System Architecture Evolution (SAE).*

*Основные целевые показатели производительности технологии LTE: значительное увеличение пика скорости передачи данных; значительное сокращение задержек в сети; улучшенная эффективность использования спектра сигнала; более низкая стоимость и сложность. Работа посвящена основным механизмам, которые применяются для сокращения задержек в сети LTE как в данных управления, так и в данных пользователя.*

*Certainly, the technology Long Term Evolution (LTE) of the generation 4G is an important step in the development of mobile networks. LTE is based on several advanced technologies such as OFDM, MIMO, etc., as well as an advanced architecture System Architecture Evolution (SAE).*

*The main targets of performance technology LTE: a significant increase in peak data rates; a significant reduction in network latency; an improved efficiency of the signal spectrum; the lower the cost and complexity. Work is devoted to basic mechanisms that are used to reduce delays in the network LTE, both in data management, and in the user's data.*

Ключевые слова: LTE, задержка, SAE, TTI, RLC, HARQ.

### Введение

Задержка имеет большое влияние на пользовательские приложения. В частности, голосовые услуги, такие как VoIP и видео-телефония, требуют низких задержек в сети. Игры и приложения с большим количеством подтверждений также требуют низких задержек в сети. Так как требования пользователей в плане поддержки всё новых и новых сервисов в мобильной среде постоянно растут, то мобильные технологии непрерывно эволюционируют.

Не представляется возможным сократить задержки без снижения transmission time interval (TTI). Round trip time (RTT) в GSM/EDGE – сетях составляет около 150 мс. WCDMA-сети ещё больше уменьшают задержку, в технологии HSDPA она составляет около 80 мс, технология Enhanced Uplink (HSUPA) позволяет добиться ещё большего уменьшения задержки. Дальнейшая эволюция уже в поколении 4G стремится (среди прочих целей) уменьшить задержки до уровня около 5 мс.

Основные механизмы для сокращения задержки включают: сокращение Time Transmit Intervals (TTI) и ускорение механизмов обратной связи (HARQ процедуры) [1].

Сокращение TTI существенно уменьшает задержку. TTI в EDGE составляет 20 мс, WCDMA сокращает TTI до 10 мс, в HSDPA она доведена до уровня 2 мс, технология LTE сокращает её до 0,5 мс.

Для тактовой синхронизации передатчика, через обратную связь передаётся информация при помощи radio link control (RLC). Протокол RLC обычно работает в режиме подтверждения, который требует ретрансляцию потерянных радиоблоков. Подтверждение отнимает много времени, т. к. организация обратного канала требует, чтобы приемник периодически отправлял (по запросу):

- подтверждения о радиопередачах;
- информацию о текущем состоянии радиообстановки.

Быстрая обратная связь позволяет передатчикам быстрее ретранслировать потерянные данные и делает радиопередачу более эффективной. Поставив более жесткие требования ко времени реакции и добившись быстрого реагирования на неудачные радиопередачи, можно добиться того, что потерянные радиоблоки ретранслируются гораздо быстрее, что в свою очередь сокращает задержки. Можно сократить время задержки ещё больше, объединив быструю обратную связь и сниженное значение TTI.