

Д.В. Герасимчук, Б.Ю. Жураковський, Ю.П. Жураковський

ВИКОРИСТАННЯ МАТРИЧНОГО СТИСНЕННЯ ПРИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Розглядаються матричні способи стиснення повідомлень при передачі даних. Подаються аналітичні вирази для визначення коефіцієнтів стиснення за цими способами. Наводяться рекомендації щодо використання запропонованих матричних способів стиснення.

Впровадження у життя нових інформаційно-обчислювальних та комунікаційних мереж, підвищення продуктивності обчислювальної техніки, створення локальних мереж збору та обробки інформації неминуче призводить до значного збільшення інформаційних потоків, що, звичайно, ускладнює їх збір, передачу та обробку.

У той же час низька ефективність використання дискретних каналів зв'язку при передачі даних дуже часто пов'язана з багатократним повторенням одних і тих же повідомлень. Це пояснюється специфікою побудови інформаційних масивів, що передаються, де можуть мати місце значні інформаційні ділянки ідентичних інформаційних елементів, які характерні, наприклад, для вимірювальної та візуальної інформації [1, 2].

Тому, з метою підвищення ефективності каналів передачі даних використовують стиснення первинного інформаційного масиву. Звичайно, що ступінь та час стиснення такого масиву будуть залежати не тільки від його структури, але й від обраного способу стиснення [3].

При цьому також слід врахувати, що при передачі даних використовують стандартні двійкові коди, а також недвійкові коди з алфавітом $q = 2^h$, де h – ціле додатне число [2]. Це накладає деякі обмеження на вторинний алфавіт стиснутого інформаційного потоку. Так, наприклад, при використанні для стиснення інформаційного потоку четвіркового вторинного алфавіту, який складається з чотирьох символів, для передачі визначеного набору матриць у стиснутому інформаційному потоці можна використати тільки два символи, тому що два символи (0 та 1) заздалегідь відведені для кодування у вторинному інформаційному потоці нестиснутих елементів первинного потоку. Взагалі, для стиснення часто використовують, крім четвіркового, вторинні алфавіти з $q = 8$ та 16. У цьому разі запропоновані матричні способи стиснення мають деякі переваги у порівнянні з відомими, зокрема, за ступенем стиснення [3].

Для стиснення повідомлень в системах передачі даних можна застосувати такі три матричні способи:

- з апіорно заданими розмірами матриць;
- з попереднім аналізом вхідного інформаційного масиву;
- за допомогою матриць змінної структури.

Розглянемо більш детально запропоновані матричні способи стиснення.

Для одержання загального уявлення про матричне стиснення розглянемо цей процес на прикладі.

Так, вибірку з вхідного інформаційного потоку у вигляді послідовності інформаційних елементів, наприклад, 0101011001010110010111100101011001011110 можна подати у вигляді інформаційного масиву:

```
01010110
01010110
01011110
01010110
01011110.
```

Кількість стовпців та рядків визначають геометричні параметри такого масиву. Вочевидь, що у масиві можна виокремити деякі матриці, які містять рядки, що повторюються. Тоді у вихідний потік можна замість деякої матриці передавати тільки спеціальний символ вторинного алфавіту, який буде вказувати, скільки разів повторити попередню послідовність і якої довжини послідовність повторювати. Припустимо, що $q = 4$, символ $2 = 4 \times 4$ (стовпців x рядків), символ $3 = 2 \times 4$, тоді:

```
01010110 → 01010110 → 01010110203101 .
01010110 203101
01011110
01010110
01011110
```

Таким чином, при розмірі вхідної вибірки 40 символів одержуємо вихідний потік довжиною 14 символів. Коефіцієнт стиснення у даному разі дорівнює 2,857. Або, якщо канал двійковий,

тобто у канал зв'язку передається послідовність тільки з «0» та «1» («0» передається сполученням «00», «1» – «01», «2» – «10» і «3» – «11»), тоді вихідний потік буде складатися з 28 символів: 0001000100010100100011010001. Коефіцієнт стиснення у цьому разі буде дорівнювати 1,4285. Треба відзначити, що значний вплив на коефіцієнт стиснення справляють характер вхідної інформації та геометрія вхідного масиву.

В алгоритмах матричного стиснення, звичайно, мається на увазі сталість геометрії масиву, тому розгортання стиснутого повідомлення у приймальному пристрої виконується дуже просто і швидко. Організується «порожній» масив, у який записуються дані з вхідного потоку: «0» і «1» без змін, а (у прикладі, що розглядається) «2» і «3» – як повторення визначеної кількості разів відповідних попередніх рядків масиву з визначеною кількістю елементів (стовпців). Як тільки весь масив буде заповнений, він записується у вихідний потік, очищається, і цикл розгортання повторюється до тих пір, поки є дані у вхідному потоці.

Стиснення з апріорно заданими розмірами матриць

Цей алгоритм матричного стиснення повністю збігається з наведеним вище описом. Однак, при цьому введені такі умови:

геометрія масиву вибірки постійна і задана апріорно як у передавальному, так і у приймальному пристроях;

розміри матриць задані апріорно і також відомі у передавальному і приймальному пристроях. Крім того, кожній матриці заздалегідь ставиться у відповідність деякий символ вторинного алфавіту.

Слід зазначити, що на коефіцієнт стиснення даного алгоритму буде впливати відповідність підібраних апріорно матриць (їх параметри) характеру вхідного інформаційного потоку. Розміри таких матриць, найменш чутливих до характеру інформаційного потоку, які, у той же час, дозволяють досягти найбільшого коефіцієнта стиснення, визначаються, як правило, за допомогою експертних оцінок.

Як основну перевагу даного алгоритму у порівнянні з іншими, що подані далі, можна відзначити досить високий коефіцієнт стиснення завдяки відсутності передачі у вихідному потоці будь-якої службової інформації про розміри матриць, які заздалегідь зафіксовані у передавальному і приймальному пристроях.

Стиснення з попереднім аналізом вхідного інформаційного масиву

Алгоритм такого стиснення аналогічний наведеному вище. Однак, при цьому розміри матриць не задаються апріорно, а визначаються у результаті аналізу масиву вибірки. Іншими словами, даний алгоритм є багатопрохідним: на першому проході визначаються всі можливі матриці даного масиву вибірки, далі виконується аналіз – визначення декількох (перших двох для алфавіту $q = 4$, перших шести при $q = 8$ тощо) матриць, які покривають найбільшу площу масиву вибірки; у другому проході виконується згортка масиву вибірки за допомогою звичайного алгоритму матричного стиснення. Далі масив вибірки передається у вихідний інформаційний потік, в кінці якого записується стоп-символ, кількість і розміри визначених матриць. Розгортка повідомлень у приймальному пристрої виконується так само, як і у попередньому випадку, з тією різницею, що спочатку завантажуються з вхідного потоку вся інформація до стоп-символу, далі зчитуються розміри матриць, і тільки після цього виконується дійсно розгортка. Всього може бути використано, як було вказано вище, тільки $(q - 3)$ матриць, тому що символи «0» і «1» – інформаційні, а один символ зарезервованій під стоп-символ.

Навіть без попереднього аналізу можна зазначити, що цей алгоритм буде трохи програвати попередньому, з огляду на багатопрохідність, за часом та, якщо врахувати необхідність передачі разом зі згорнутим масивом додаткової інформації про розміри матриць, за коефіцієнтом стиснення. Однак, стиснення самого інформаційного масиву виконується краще, тому що розміри матриць оптимально адаптуються до даного конкретного масиву вибірки.

Стиснення за допомогою матриць змінної структури

Даний спосіб стиснення використовує тільки деякі елементи загального алгоритму матричного стиснення. За цим алгоритмом сканується масив вибірки вхідного потоку і після того, як знаходиться будь-яка матриця, у вихідний потік записуються: символ матриці, один з рядків матриці, кількість рядків матриці. Нестиснуті символи вхідного потоку записуються у вихідний інформаційний потік без будь-яких змін. Розгортання повідомлення у приймальному пристрої виконується за аналогією з описаними вище алгоритмами двох матричних способів стиснення.

Як перевагу цього алгоритму можна зазначити високу швидкість розгортання і досить високий коефіцієнт стиснення, з огляду на адаптацію до кожного конкретного масиву вибірки.

Дамо аналітичну оцінку матричних способів стиснення.

Основною умовою стиснення без втрат інформації, як відомо, є рівність кількості інформації у вхідному (первинному) і стиснутому вихідному (вторинному) інформаційних потоках, тобто $I_{вх} = I_{вих}$. Якщо інформаційний потік складається з множини N_1 елементів, $N_1 = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{n1}\}$, алфавіту q_1 , і з урахуванням того, що кожний елемент (символ) вхідного інформаційного потоку містить $I(x_i) = \log_2 q_1$ біт інформації, тоді кількість інформації, яка міститься у вхідному інформаційному потоці, біт

$$I_{вх} = \sum_{i=1}^{N_1} I(x_i). \quad (1)$$

За аналогією з (1), кількість інформації, що міститься у вихідному інформаційному потоці, який складається з множини N_2 елементів, $N_2 = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_{n1}\}$, алфавіту q_2 ,

$$I_{вих} = \sum_{j=1}^{N_2} I(y_j). \quad (2)$$

Для визначення коефіцієнта стиснення визначимо значення швидкостей передачі інформації у вхідному і вихідному потоках. Швидкість передачі інформації у вхідному потоці, біт/с,

$$R_{вх} = I_{вх}/T_{вх}, \quad (3)$$

де $T_{вх}$ – час передачі інформаційного масиву вхідного потоку, який з урахуванням однотипності інформаційних елементів, визначиться як

$$T_{вх} = N_1 t_1, \quad (4)$$

тут t_1 – тривалість передачі одного елемента вхідного інформаційного потоку.

За аналогією з (3) і урахуванням (4), одержуємо значення швидкості передачі інформації у вихідному потоці, біт/с,

$$R_{вих} = I_{вих}/T_{вих}. \quad (5)$$

де $T_{вих}$ – час передачі інформаційного масиву вихідного потоку.

Виконаємо більш детальний аналіз вихідного інформаційного потоку після його стиснення матричним способом.

Позначимо через $I_M(y_j)$ кількість інформації, що міститься у j -й матриці і $I(y_{j_0})$ – кількість інформації, що міститься в одиничних елементах, які не стискаються. Тоді вираз (2) буде мати вигляд, біт,

$$I_{вих} = \sum_{j_0=1}^{N_2^{j_0}} I(y_{j_0}) + \sum_{j=1}^{N_2^j} I_M(y_j), \quad (6)$$

де $N_2^{j_0}, N_2^j$ – кількість одиничних елементів (символів), які не стискаються, та матриць різної розмірності у вихідному інформаційному потоці відповідно.

У свою чергу, матриці можуть мати різні розміри, однак їх набір обмежений вторинним алфавітом, який використовується для передачі інформації, та обсягом інформаційного потоку, який стискається. Таким чином, друга складова виразу (6) може бути подана як

$$\sum_{j=1}^{N_2^j} I_M(y_j) = \sum_{j_1=1}^{n_1} I_M(y_{j_1}) + \sum_{j_2=1}^{n_2} I_M(y_{j_2}) + \dots + \sum_{j_k=1}^{n_k} I_M(y_{j_k}), \quad (7)$$

де n_1, n_2, \dots, n_k – число матриць різної розмірності; $k = \{1, 2, \dots, q\}$, тут $q = q_2 - q_1$, q_2 – алфавіт, який використовується для кодування вихідного потоку, q_1 – частина алфавіту, яка використовується у вихідному потоці для кодування одиничних символів (алфавіт вхідного потоку, первинний алфавіт).

Отже, не дивлячись на рівність кількості інформації, яка міститься у вхідному і вихідному потоках, кількість елементів N_1 і N_2 , якими передаються ці потоки, буде різною. При цьому, як правило, $N_1 > N_2$. Звичайно, що при матричному стисненні розмір матриць, їх правильний вибір відіграють значну роль, і чим більший буде розмір матриці, тим більшу кількість інформації вона містить.

З урахуванням (6) і (7) кількість елементів вихідного потоку

$$N_2 = N_2^{j_0} + N_2^j = N_2^{j_0} + (n_1 + n_2 + \dots + n_k), \quad (8)$$

а час передачі інформаційного масиву вихідного потоку, с,

$$T_{вих} = (N_2^{j_0} + n_1 + n_2 + \dots + n_k)t_j, \quad (9)$$

де t_j – тривалість передачі одного елемента (символу) вихідного інформаційного потоку. Підставивши у (5) значення $I_{вих}$ і $T_{вих}$ з (6), (7) і (9), одержимо швидкість передачі інформації $R_{вих}$, і, знаючи, що коефіцієнт стиснення визначається як $R_{смб} = R_{вих} / R_{вх}$, а також виходячи з рівності кількості інформації у вхідному і вихідному інформаційних потоках, маємо:

$$K_{смб} = \frac{I_{вих}}{T_{вих}} \times \frac{T_{вх}}{I_{вх}} = \frac{N_1 t_1}{(N_2^{j_0} + n_1 + n_2 + \dots + n_k)t_j}. \quad (10)$$

Як правило, тривалість передачі одного символу у вхідному і вихідному інформаційних потоках однаковий, тобто $t_1 = t_j$. Тоді

$$K_{смб} = \frac{N_1}{N_2^{j_0} + n_1 + n_2 + \dots + n_k}. \quad (11)$$

Вираз (11) справедливий для матричного способу стиснення з апріорно заданими розмірами матриць. У разі застосування способу з попереднім аналізом вхідного інформаційного масиву або способу стиснення за допомогою матриць змінної структури, коли параметри матриць необхідно передавати разом з інформаційним потоком, коефіцієнт стиснення визначається як

$$K_{смб} = \frac{N_1}{N_2^{j_0} + n_1 + n_2 + \dots + n_k + n_M}, \quad (12)$$

де n_M – кількість елементів, якими передаються розміри матриць.

Всі три алгоритми матричного стиснення були реалізовані на мові програмування високого рівня C++. При створенні виконуючих модулів використовувався компілятор, що оптимізує, Watcom C++ версії 10.0. Тести проводилися на ЕОМ з ЦП AMD – K5100 (аналог Intel Pentium 100 MHz).

Висновки

Всі три алгоритми матричного стиснення, які розглянуті у цій роботі, забезпечують досить високу швидкість згортання і розгортання інформаційного масиву та непоганий коефіцієнт стиснення, навіть при невеликих масивах вибірок вхідного потоку.

Отримані результати дозволяють зробити висновки про доцільність використання при передачі даних по каналах зв'язку алгоритмів матричного стиснення, у першу чергу, з апріорно заданими розмірами матриць та з попереднім аналізом вхідного інформаційного масиву.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кричевский Р.Е. Сжатие и поиск информации. – М.: Радио и связь, 1989. – 168 с.
2. Цымбал В.П. Теория информации и кодирование. – К.: Вища шк., 1992. – 263 с.
3. Жураковський Ю.П., Жураковський Б.Ю. Стиснення інформації в автоматизованих банківських системах // Наука та підприємництво. Матеріали міжнародного симпозиуму. – Вінниця: ВДТУ, 1996. – С. 198–199.

ГЕРАСИМЧУК Дмитро Володимирович – студент 4-го курсу Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:
– програмування.

ЖУРАКОВСЬКИЙ Богдан Юрійович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри багатоканальних систем зв'язку Київського інституту зв'язку Української Державної Академії зв'язку.

Наукові інтереси:
– теорія інформації;
– системи зв'язку.

ЖУРАКОВСЬКИЙ Юрій Павлович – доктор технічних наук, професор кафедри АУТС Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:
– теорія інформації;
– кодування.