УДК 004.627

Н.С. САМУСЬ, О.В. ОШАРОВСЬКА
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ ПРИ КОДУВАННІ ГЕОМЕТРІЇ СІТКОВИХ 3D ОБ'ЄКТІВ

У даній статті розглядається кодування вершин вибраної сіткової 3D моделі за допомогою системи залишкових класів (СЗК) та паралельне оброблення при використанні такої системи. Аналізується ефективність такого методу кодування, а також проводиться порівняння зі звичайним двійковим представленням чисел. В результаті зроблені висновки щодо виграшу при паралельній обробці такого алгоритму кодування вершин сітки.
Ключові слова: 3D трикутна сітка, кодування вершин, система залишкових класів

N.S. SAMUS, O.V.OSHAROVSKA
O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications

USING A RESIDUE NUMBER SYSTEM IN THE CODING 3D MESH GEOMETRY OBJECTS

Abstract – The aim of research – to consider coding of vertices in selected 3D mesh model using method, named residue number system (RNS) and also to calculate its coding gain.

At first we presented integer coordinates of vertices by RNS and compared them with conventional binary representation. Then a parallel processing using RNS was proposed. The scheme of this method you can see in the figure 1. Finally, we compared the bitrate of these three methods.

Consequently, obtained results consist in the fact that a parallel processing using RNS is to 4.15 times better than conventional RNS and is to 3.33 times better than binary representation of mesh vertices.
Keywords: 3D triangular mesh, coding of vertices, Residue number system (RNS)

Вступ

Вибір системи кодування завжди вважався одним із найважливіших факторів при цифровій обробці. На сьогоднішній день хоча ще широко застосовуються методи і системи двійкового позиційного кодування, але все рівно ведеться впровадження нових непозиційних (чи змішаних) методів кодування, таких як, система залишкових класів, послідовності Фібоначчі, поля Галуа, система числення Штерна-Броко та інші. В даній статі звернемо увагу саме на систему залишкових класів та можливість розпаралелювання в ній, а також до якого виграшу воно призведе.

Так як у попередніх статтях було розглянуто кодування зв'язності ділянки сіткової 3D моделі за допомогою алгоритму Edgebreaker в поєднанні з кодом Хаффмана [1] чи арифметичним кодом [2], то далі розглянемо кодування без втрат геометрії таких сіткових моделей.

Кодування геометрії

Тому розглянемо кодування вершин вибраної ділянки сіткової 3D моделі. Для подальших обчислень візьмемо значення вершин, які вже про нормовані і приведені до цілочисельних значень (табл.1).

Таблиця 1

Цілочисельні значення всіх координат

№ точки	Координата X		Координата Y		Координата Z	
	пронормоване значення	значення x1000	пронормоване значення	значення x1000	пронормоване значення	значення x1000
0	0.951	951	0.464	464	0.980	980
1	0.872	872	0.499	499	0.804	804
2	1	1000	0.102	102	0.788	788
3	0.834	834	0.160	160	0.567	567
4	0.753	753	0.524	524	0.542	542
5	0.669	669	0.119	119	0.274	274
6	0.604	604	0.510	510	0.249	249
7	0.655	655	0	0	0	0
8	0.470	470	0.834	834	0.804	804
9	0.462	462	0.824	824	0.546	546
10	0	0	1	1000	0.810	810
11	0.477	477	0.837	837	1	1000

Система залишкових класів

Для кодування вершин використаємо спочатку систему залишкових класів (СЗК).

В системі залишкових класів числа представляються залишками від ділення числа A, представленого в позиційній системі числення, на вибрану систему взаємно простих модулів $p_1, p_2, ..., p_n$, при цьому діапазон представлення чисел [3]:

$$R = \prod_{i=1}^{n} p_i \qquad (1)$$

Число в СЗК має вигляд:

$$A = (r_1, r_2, ..., r_n), \qquad (2)$$

де $r_i = A(\mathrm{mod}\, p_i)$ – залишки від ділення.

Візьмемо, наприклад, наступну систему взаємно простих чисел $(p_{1,} p_{2,} p_3) = (7, 11, 13)$. Отримаємо діапазон $R = 7 \times 11 \times 13 = 1001 \rightarrow [0; M) = [0;1001)$. .

Знайдемо представлення цілих значень координат кожної точки і помістимо результат в табл.2.

Таблиця 2

Порівняння двійкового представлення координат і представлення з використанням СЗК

Координата	Двійкове представлення координати	Координата, представлена за допомогою СЗК	Двійкове представлення координати
951 464 980	1110110111 111010000 1111010100	(6, 5, 2) (2, 2, 9) (0, 1, 5)	110 101 010 0010 0010 1001 000 001 101
872 499 804	1101101000 111110011 1100100100	(4, 3, 1) (2, 4, 5) (6, 1, 11)	100 011 001 010 100 101 0110 0001 1011
1000 102 788	1111101000 1100110 1100010100	(6, 10, 12) (4, 3, 11) (4, 7, 8)	0110 1010 1100 0100 0011 1011 0100 0111 1000
834 160 567	1101000010 10100000 1000110111	(1, 9, 2) (6, 6, 4) (0, 6, 8)	0001 1001 0001 110 110 100 0000 0110 1000
753 524 542	1011110001 1000001100 1000011110	(4, 5, 12) (6, 7, 4) (3, 3, 9)	0100 0101 1100 110 111 100 0011 0011 1001
669 119 274	1010011101 1110111 100010010	(4, 9, 6) (0, 9, 2) (1, 10, 1)	0100 1001 0110 0000 1001 0001 0001 1010 0001
604 510 249	1001011100 111111110 11111001	(2, 10, 6) (6, 4, 3) (4, 7, 2)	0010 1010 0110 110 100 011 100 111 010
655 0 0	1010001111 0 0	(4, 6, 5) (0, 0, 0) (0, 0, 0)	100 110 101 0 0 0 0 0 0
470 834 804	111010110 1101000010 1100100100	(1, 8, 2) (1, 9, 2) (6, 1, 11)	0001 1000 0010 0001 1001 0010 0110 0001 1011
462 824 546	111001110 1100111000 1000100010	(0, 0, 7) (5, 10, 5) (0, 7, 0)	000 000 111 0101 1010 0101 000 111 000
0 1000 810	0 1111101000 1100101010	(0, 0, 0) (6, 10, 12) (5, 7, 4)	0 0 0 0110 1010 1100 101 111 100
477 837 1000	111011101 1101000101 1111101000	(1, 4, 9) (4, 1, 5) (6, 10, 12)	0001 0100 1001 100 001 101 0110 1010 1100

Отже, в 6 випадках використання системи залишкових кодів дало позитивний результат, в 3 випадках – той же результат, в інших – було гіршим в порівнянні зі звичайним двійковим представленням.

Тобто виграшу в чистому вигляді ми не отримуємо, однак при розпаралелюванні короткі комбінації не будуть приводити до значних помилок.

Вирахуємо середнє значення біт на координату:

- для звичайного двійкового представлення координати

$$C_{bin} = \sum_{m=1}^{10} m \cdot \frac{1}{N_{\max}}. \qquad (3)$$

де m – кількість розрядів, що потрібно для кодування вершин двійковим кодом змінної довжини; у нашому випадку найменшій розрядності відповідає число 0, яке кодується 1 бітом, а максимальна довжина в 10 біт відповідає числу 1000;

l – кількість чисел з розрядністю m; $N_{\max}$ – загальна кількість координат; у нашому випадку 1001.

$$C_{bin} = 1\times\frac{1}{1001} + 2\times\frac{3}{1001} + 3\times\frac{4}{1001} + 4\times\frac{8}{1001} + 5\times\frac{16}{1001} + 6\times\frac{32}{1001} + 7\times\frac{64}{1001} + 8\times\frac{128}{1001} +$$
$$+ 9\times\frac{256}{1001} + 10\times\frac{489}{1001} = 8{,}98001999\,\frac{\text{біт}}{\text{координату}}$$

- з використанням системи залишкових кодів

$$C_{\text{СЗК}} = \sum_{m=1}^{4} 3_{\text{m}} \cdot \frac{1}{K_{\max}}, \qquad (4)$$

де $K_{\max} = p_{1\max} \cdot p_{2\max} \cdot p_{3\max}$ – кількість всіх можливих комбінацій з залишків;

$p_{\max}$ – максимальній із взаємно простих модулів, який відповідає максимальній кількості можливих комбінацій на одному місці.

$$C_{СЗК} = 3\times\frac{1}{2197} + 6\times\frac{63}{2197} + 9\times\frac{448}{2197} + 12\times\frac{1685}{2197} = 11{,}21210742\,\frac{\text{біт}}{\text{координату}}.$$

Хоча збільшення ефективності кодування в порівнянні з простим двійковим представленням числа отримано не було, але з'явилися значні переваги:

- можливість паралельного оброблення кожного з трьох масивів залишків, що підвищує швидкодію роботи алгоритму стиснення;
- малорозрядність залишків (в даному випадку максимум 4 розряди);
- реалізація принципу конвеєрної обробки інформації;
- висока точність, надійність, спроможність до самокорекції.

Паралельне оброблення при використанні СЗК

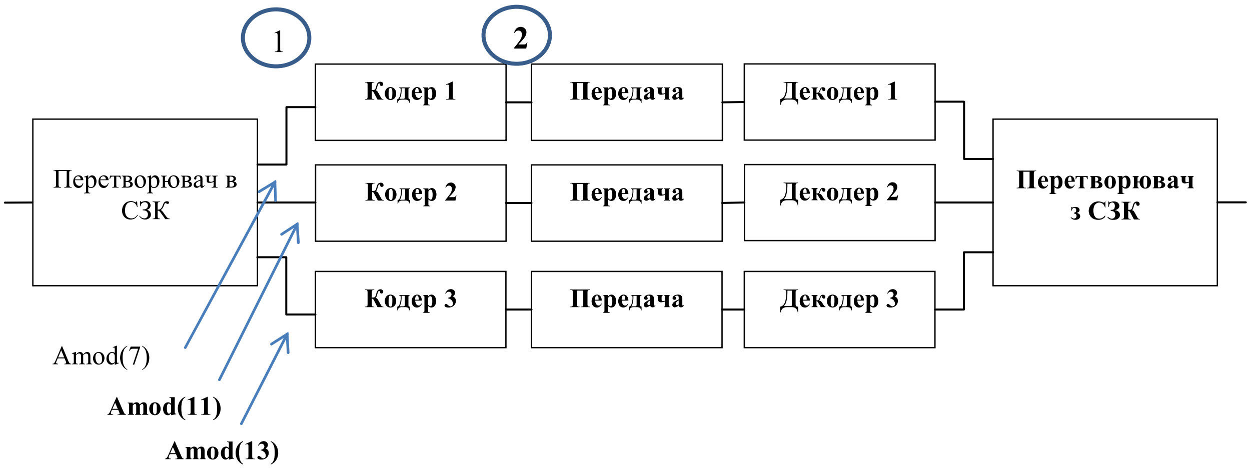

Рис. 1. Схема використання системи залишкових класів при кодуванні вершин

1 отримуємо послідовність залишків від ділення кожної координати на вибрану систему модулів p_i

Таблиця 3

Послідовність на виході перетворювача с СЗК

Система модулів	Послідовність залишків при вибраній системі модулів
Amod(7)	6 2 0 4 2 6 6 4 4 1 6 0 4 6 3 4 0 1 2 6 4 4 0 0 1 1 6 0 5 0 0 6 5 1 4 6
Amod(11)	5 2 1 3 4 1 10 3 7 5 7 3 9 6 6 9 9 10 10 4 7 6 0 0 8 9 1 0 10 7 0 10 7 4 1 0
Amod(13)	2 9 5 1 5 11 12 11 8 12 4 9 2 4 8 6 2 1 6 3 2 5 0 0 2 2 11 7 5 0 0 12 4 9 5 12

2 отримуємо набір закодованих послідовностей залишків від ділення кожної координати на вибрану систему модулів p_i (в даному випадку використовується звичайне двійкове представлення чисел)

Таблиця 4

Послідовність на виході кодерів 1…3

Система модулів	Послідовність закодованих залишків при вибраній системі модулів
Amod(7)	110 01 0 100 10 110 110 100 100 110 11 01 110 0 100 0 01 10 110 100 100 0 0 01 01 110 0 101 0 0 110 101 01 100 110
Amod(11)	101 10 01 11 100 01 1010 11 111 101 111 11 1001 110 110 1001 1001 1010 1010 100 111 110 0 0 1000 1001 01 0 1010 111 0 1010 111 100 01 0
Amod(13)	10 1001 101 01 101 1011 1100 1011 1000 1100 100 1001 10 100 1000 110 10 01 110 11 10 101 0 0 10 10 1011 111 101 0 0 1100 100 1001 101 1100

Вирахуємо середнє значення біт на координату:

$$C_{парСЗК_i} = \sum_{m=1}^{4} m \cdot \frac{1}{p_i}, \tag{5}$$

- для кодера 1:

$$C_{парСЗК_2} = 1 \times 1/7 + 2 \cdot 3/7 + 3 \cdot 3/7 + 4 \cdot 0/7 = 2{,}29\ біт/координату;$$

- для кодера 2:

$$C_{парСЗК_2} = 1 \times 1/11 + 2 \cdot 3/11 + 3 \cdot 4/11 + 4 \cdot 3/11 = 2{,}82\ біт/координату;$$

- для кодера 3:

$$C_{парСЗК_2} = 1 \times 1/13 + 2 \cdot 3/13 + 3 \cdot 4/13 + 4 \cdot 5/13 = 3{,}00\ біт/координату.$$

Якщо врахувати всі три кодера в один і той же момент, то отримаємо $2{,}7\ біт/координату$, що в 4.15 раз краще, ніж при використанні СЗК без розпаралелювання, а також в 3.33 раз ефективніше, ніж при використанні звичайного двійкового представлення координат. А значить в даному випадку, крім вищої завадостійкості, точності і надійності, ми отримуємо ще й вищу швидкодію і ефективність стиснення.

Висновки

Отже, в даній роботі був розглянутий нехарактерний для кодування зображень, відео і власне сіткових моделей метод – використання залишкових класів. При розпаралелюванні кодів СЗК ми отримали значні переваги - короткі комбінації не призведуть до значних помилок, збільшилася швидкодія приблизно в 3 рази в порівнянні з використанням системи залишкових класів, а також було досягнуте значне підвищення ефективності кодування (4.15 раз краще, ніж при використанні СЗК без розпаралелювання, а також в 3.33 раз, ніж при використанні звичайного двійкового представлення координат).

Література

1. Самусь Н., Ошаровська О.В. Сіткове кодування зображення за алгоритмом Edgebreaker / Самусь Н., Ошаровська О.В. // Цифрові технології: Збірник. – Одеса: Одес. нац. академія зв'язку ім. О.С.Попова. – 2014. – №15. – с.119-124.

2. Samus N.S., Osharovskaya E.V., 3D image mesh entropy coding, Proceedings of the O.S. Popov ONAT, 2014'2, pp. 214-220.

3. Яцків В.В., Яцків Н.Г. Метод кодування зображень в системі залишкових класів. // Матеріали 14-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та електронні технології». 27-31 травня 2013. – Одеса: ОНПУ. – 2013. – с.44-46.

References

1. Samus N., Osharovska O.V. "Image mesh coding by Edgebreaker algorithm". *Digital Technologies* 15 (2014): 119-124.

2. Samus N.S., Osharovskaya E.V. "3D image mesh entropy coding". *Proceedings of the O.S. Popov ONAT*, 2014'2: 214-220.

3. Yatskiv V.V., Yatskiv N.G. "Metod koduvannay zobrajen v systeme zalishkovych klassiv". *Proceeding of the XIVth International scientific-practical conference "Modern information and electronic technologies"*, 2013: 44-46.

Рецензія/Peer review : 18.6.2015 р. Надрукована/Printed :22.6.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією