УДК 681.3:519.15

В. В. Різник, д-р техн. наук

КОМБІНАТОРНА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СПРЯЖЕНИХ СИМЕТРИЧНИХ ТА АСИМЕТРИЧНИХ СТРУКТУР

***Анотація**. Стаття присвячена проблемі кодування векторних даних за допомогою використання геометричних властивостей кругового симетричного поля, всередині якого знаходиться асиметричне підполе у вигляді моделі багатоелементної системи з нееквідистантною структурою. Циклічна пропорція асиметрично розподілених в симетричному полі елементів визначає значення вагових розрядів системи кодування даних з мінімізованим числом розрядів.*

***Ключові слова:** метод, модель, поворотна симетрія, досконале розбиття, оптимальна пропорція, властивість простору, комбінаторна конфігурація, вектор, циклічна матриця, числова послідовність, модуль, тор, надмірність системи, багатовимірна система, кодова комбінація, векторний код, квантування, завадостійкість, надійність, швидкодія, роздільна здатність, досконалість, гармонія*

V. Riznyk, ScD.

COMBINATORIAL OPTIMIZATION OF SYSTEMS BASED ON SYMMETRIC AND ASYMMETRIC STRUCTURE USAGE

***Abstract.** The article is devoted to the problem of vector data coding using geometric properties of circular symmetric field, while an asymmetric subfield of the field is arranged internally as in model of multidimensional system with non-uniform structure. Cyclic proportion of asymmetrically distributed elements in symmetric field defines the values of digit weights in the coding system with minimizing number of positions.*

***Keywords:** method, model, circular symmetry, perfect distribution, optimal proportion, space property, combinatorial configuration, vector, cyclic matrix, numerical sequence, modulo, torus, system redundancy, multidimensional system, code combination, vector code, quantization, noise immunity, reliability, transformation speed, resolving ability, perfection, harmony*

В. В. Ризнык, д-р техн. наук

КОМБИНАТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОПРЯЖЕННЫХ СИММЕТРИЧНЫХ И АСИММЕТРИЧНЫХ СТРУКТУР

***Аннотация**. Статья посвящена решению проблемы кодирования векторных данных путем использования геометрических свойств кругового симметричного поля, внутри которого находится асимметричное подполе в виде модели многоэлементной системы с неэквидистантной структурой. Циклическая пропорция асиметрично распределенных в симметричном поле элементов определяет значения весовых розрядов системы кодирования данных с минимизированным количеством разрядов.*

***Ключевые слова:** метод, модель, поворотная симметрия, совершенное розбитие, оптимальная пропорция, свойство пространства, комбинаторная конфигурація, вектор, циклическая матрица, числовая последовательность, модуль, тор, избыточность системы, многомерная система, кодовая комбинация, векторный код, квантование, помехоустойчивость, надежность, быстродействие, разделительная способность, совершенство, гармония*

Вступ. Організація ефективної роботи інформаційних систем здійснюється на основі найновіших досягнень в області теорії систем, яка набула статусу теоретичного фундаменту системотехніки в кібернетиці [1] і пов'язана з опрацюванням сукупності філософських, методологічних, конкретно–наукових та прикладних проблем аналізу й синтезу систем [2]. Дослідження включають в себе використання сучасних математичних методів оптимізації систем, спрямованих на зменшення інформаційної надмірності для того, щоб спростити систему та поліпшити технічну характеристику.

Мета дослідження і постановка завдання

Метою дослідження є вдосконалення інформаційних систем та пристроїв керування системами, стан яких визначається функціями кількох змінних, залежних від просторових координат. Завдання полягає в тому, щоб зменшити інформаційну надмірність і поліпшити технічну характеристику системи.

Проблема надмірності систем

Під інформаційною надмірністю системи розуміють надмірність у кількості інформації, яку переробляють. Зменшення природної інформаційної надмірності здійснюється для того, щоб спростити систему, а штуч-

ної – з метою поліпшення основної характеристики системи (завадостійкості або точності, надійності тощо) [3]. На рис. 1 наведено приклад системи у вигляді шкали кутоміра з двома позначками, які нанесені нерівномірно з величинами кутових відстаней у співвідношенні 1 : 2.

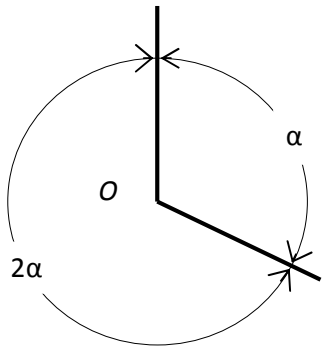

Рис. 1. Шкала кутоміра з двома позначками, рознесеними на кутові відстані у співвідношенні 1 : 2.

Приклад ілюструє загальносистемний підхід до зменшення надмірності систем і поширюється на клас технічних систем, функціонування яких пов'язано з використанням комбінаційних можливостей обмеженого числа певним способом впорядкованих структурних елементів системи для виконання поставлених завдань. До цього класу систем входять інформаційні мережі з розподіленими каналами зв'язку, комп'ютерні системи з розподіленим навантаженням, системи кодування даних, інформаційно-вимірювальні та інші системи, де мінімізація надмірності дає змогу поліпшити характеристику. Так, для збільшення просторової роздільної здатності керуючого пристрою в системі з розподіленими параметрами необхідно, щоб у ньому здійснювався обмін інформацією між асиметрично розподіленими у просторі точками. Проблема подолання надмірності симетрії стосується не лише технічних систем, але й філософського трактування таких понять як інформація, простір, час, які розширюють наукові уявлення про гармонію світобудови й пізнавальну роль людини, пов'язану з інформаційними процесами реального світу.

Взаємозв'язок симетрії та асиметрії

Яскраво виражена симетрія виявляється у численних структурах неорганічного світу і в поведінці геометричних об'єктів різної фізичної природи [4, 5]. Глибокі ідеї щодо взаємозв'язку симетрії та асиметрії викладені у книзі Г. Вейля [6]. Широке поле для дослідження проблеми фізичної інтерпретації законів, за якими проглядається фундаментальна роль співвідношення симетрії та асиметрії, стосується дослідження квантових систем з використанням теорії груп [6, 7]. В технічних системах під симетрією системи розуміють інваріантність її математичної чи фізичної моделі відносно певної групи лінійних перетворень, яка може бути в структурі систем автоматичного керування і в періодичності її функціонування, в системах керування виробництвом і в інших типах складних систем керування з просторово-часовою симетрією [8].

Метод вирішення завдання

В основу методу покладено дослідження комбінаторних властивостей систем інцидентності [9]. Для наочності викладення пропонованого методу комбінаторної оптимізації технічних систем в роботі розглядається абстрактна модель системи у вигляді множини симетрично впорядкованих по колу її структурних елементів, частина яких розподілена асиметрично у складі симетричної структури, і досліджуються їх просторові співвідношення, щоб за результатами дослідження знайти мінімально необхідне для керування системою число керованих кодом комбінацій. Зручним прикладом практичної реалізації методу запропонована система кодування векторних даних у вигляді двійкового позиційного коду, інформаційна надмірність якого зведена до теоретичного мінімуму. На даному прикладі показана можливість поліпшення якісних показників систем інформаційно-вимірювальної техніки, комп'ютерних технологій та інших технічних пристроїв, побудованих за принципом комбінаторної оптимізації шляхом зменшення інформаційної та структурної надмірності систем. Запропонований метод дає змогу вдосконалити керування системою, стан якої визначається функціями кількох змінних, залежних від просторових координат, завдяки зменшенню числа керованих кодом комбінацій на множині її фіксованих станів.

На рис. 2 наведена схема для відшукання оптимального співвідношення між поворотною симетрією порядку S та вбудованою в неї асиметрією. На схемі умовно зображено найменший α_{min} і найбільший α_{max} кутові відстані між S симетричними променями в радіальній системі відліку кутових відстаней на сумірні сектори, які утворені двома сусідніми променями, що виходять з центральної точки O.

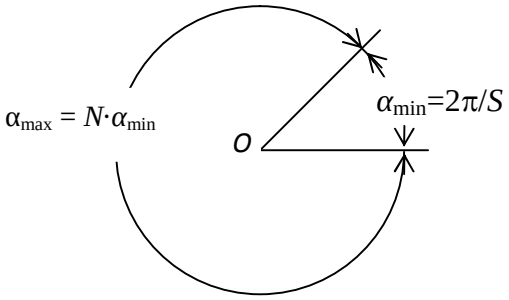

Рис. 2. Визначення оптимального співвідношення між симетрією S-го порядку і вбудованою в неї асиметрією

Для обчислення оптимального циклічного співвідношення між симетрією S-го порядку і вбудованою в неї асиметрією справедливі наступні залежності:

$$\alpha_{min}= 2\pi/S\,, \quad \alpha_{max} = (S-1)\,\alpha_{min}\,, \qquad (1)$$
$$S \geq 2.$$

Загальна кількість N нерівних центральних кутів, кратних розміру кута α_{min}, які можуть поміститися в просторовому секторі максимального кута α_{max}, визначається числом усіх можливих впорядкованих комбінацій «2 із n

$$N= n(n\text{-}1), \qquad (2)$$

де n – загальна кількість нерівних один відносно другого центральних кутів

$$S =N+1. \qquad (3)$$

З рівнянь (2) і (3) випливає формула, яка пов'язує між собою порядок S симетричної сфери і загальну кількість частин (секторів) гармонійного розбиття цієї сфери на n асиметричних частин

$$S(n) = n(n\text{-}1)+1. \qquad (4)$$

Залежність (4) встановлює теоретичний зв'язок між центральною симетрією порядку S і закодованою в ній асиметричною структурою n -го порядку для будь-яких великих числових значень n і S.

За формулою (4) легко визначити порядок n асиметричних структур, вбудованих в поле симетричної сфери S-го порядку, гармонійне спряження яких може породжувати оптимальні циклічні пропорції.

Поняття оптимальної циклічної пропорції випливає з геометричної властивості поворотної симетрії S-го порядку й закодованої у її структурі асиметричних підструктур n-го порядку.

Теоретичні дослідження й комп'ютерна верифікація геометричних властивостей симетричних структур з вбудованими асиметричними підструктурами добре узгоджується з класичною теорією комбінаторних конфігурацій [9], яка базується на алгебричній теорії груп і поширюється на інші математичні інтерпретації комбінаторних конфігурацій [9 – 12].

Метод кодування векторних даних

В основу запропонованого методу закладено принцип комбінаторної оптимізації вагової системи n-позиційного коду, в якому позиціям присвоєно значення відповідних ваг t- вимірного вектора у вигляді впорядкованих t-наборів цілих чисел. Ваги обрані так, щоб забезпечити можливість покриття множиною лінійних комбінацій, утворених комбінаційним додаванням будь-якого числа послідовно впорядкованих базових t-наборів, множини вузлів просторової решітки t-вимірного тора в t-вимірній циклічній системі координат. Додавання базових t-наборів здійснюється з урахуванням відповідних модулів $m_1, m_2, \ldots m_t$, числові значення яких випливають зі співвідношення

$$\prod_1^t m_i = n(n-1). \qquad (5)$$

Векторні модульні суми утворюються на множині послідовно впорядкованих базових комбінацій запропонованого коду, де будь-яка сума може складатися з будь-якого числа послідовно впорядкованих за кільцевою схемою базових комбінацій.

Нижче наведено приклад оптимальної системи кодування множини векторів від (0,0,0) до (1,2,4) на 3D решітці з розмірами 2×3×5, яка має вигляд тора, з використанням множини з 30 (N=30) лінійних комбінацій, утворених на шести (n=6) послідовно впорядкованих за кільцевою схемою комбінаціях з відповідними ваговими значеннями базових 3D векторів: (0,1,0), (0,2,3), (1,1,2), (0,2,2), (1,0,3), (1,1,1).

Спосіб формування кожної кодової комбінації здійснюється на впорядкованій за кільцевою схемою множині базових комбінацій шляхом обрання відповідної пари базових комбінацій та послідовного додавання усіх комбінацій, що знаходяться в проміжку між обраними базовими комбінаціями:

1) (0,0,0) ≡ (0,1,0) + (0,2,3) + (1,1,2) + (0,2,2)+ +(1,0,3),
2) (0,0,1) ≡ (0,2,2) + (1,0,3) + (1,1,1),
3) (0,0,2) ≡ (1,1,2) + (0,2,2) + (1,0,3),
4) (0,0,3) ≡ (0,1,0) + (0,2,3),
5) (0,0,4) ≡ (0,2,2) + (1,0,3) + (1,1,1) + (0,1,0)6+(0,2,3),
6) (0,1,0) ≡ (0,1,0),
7) (0,1,1) ≡ (0,2,2) + (1,0,3) + (1,1,1) + (0,1,0),
8) (0,1,2)≡ (1,0,3) + (1,1,1) + (0,1,0) + (0,2,3),
9) (0,1,3) ≡ (1,1,1) + (0,1,0) + (0,2,3) + (1,1,2)+ + (0,2,2),
10) (0,1,4) ≡ (0,1,3) + (1,1,1),
11) (0,2,0)≡(0,2,3) + (1,1,2) + (0,2,2) + (1,0,3),
і т.д.
30) (1,2,4) ≡ (0,1,4) + (0,2,4) + (1,1,1) + (1,1,2)+ (1,0,3).

З наведеного прикладу можна бачити, що множина усіх векторних 3D сум, обчислених з урахуванням модулів m_1=2, m_2=3, m_3=5, взаємно однозначно відповідає множині координат усіх вузлових точок тривимірної решітки тора з розмірами 2×3×5. На відміну від позиційних кодів з числовими вагами розрядів, у пропонованому коді n позиціям присвоєні відповідні вагові значення t-вимірних векторів, а розміри просторової t-вимірної решітки визначаються із залежностей (2-4). При застосуванні такого коду по каналу зв'язку за фіксований відтинок часу може пересилатися більша кількість інформації, що відкриває перспективи створення нових високопродуктивних засобів опрацювання інформації та комп'ютерних систем. Надмірність коду зведена до теоретичного мінімуму, оскільки множина усіх дозволених кодових комбінацій взаємно-однозначно відповідає множині усіх координат просторової t-вимірної решітки тора. Ця особливість двійкового коду дає змогу вдосконалити керування системами, стан яких визначається функціями кількох змінних, залежних від просторових координат, завдяки скороченню числа керованих кодом комбінацій, а також розробити правила нетрадиційної векторної комп'ютерної арифметики на двійковому коді для створення нового класу спеціалізованих векторних процесорів .

Слід відзначити ряд переваг запропонованого методу оптимізації технічних систем у порівнянні з іншими за такими показниками як: надійність, швидкодія, завадостійкість, роздільна здатність, продуктивність. Слід відзначити високий рівень захисту інформації, яка пересилається у вигляді векторних даних каналами зв'язку, від несанкціонованого доступу, а також потенційні можливості використання принципу оптимальних циклічних пропорцій для створення високопродуктивних векторних процесорів.

Запропонований метод може знайти застосування в системах керування, стан яких визначається функціями кількох змінних, залежних від просторових координат, у тому числі в системах керування з розподіленими параметрами. Такими функціями можуть бути векторні поля, де інформаційний та енергетичний контакти між ланками системи керування здійснюються на контактних полях тієї чи іншої розмірності. Застосування методу в системах потокового виробництва дає змогу підвищити гнучкість керування інформаційними й матеріальними потоками, завдяки розширенню комбінаційних можливостей використання просторово-часового поля під час виконання виробничої програми [13]. Практично корисні комбінаторні властивості оптимальних циклічних пропорцій лягли в основу створення інформаційних технологій з підвищеною роздільною здатністю [14] та розроблення вдосконаленого методу стандартизації і сертифікації технічних об'єктів [15].

Висновки

Вдосконалення методів керування системами пов'язано з подоланням проблеми надмірності (інформаційної, структурної, алгоритмічної) систем, яка може бути вирішена на основі використання сприятливих комбінаторних властивостей геометрично спряжених симетричних та асиметричних структур у вигляді «оптимальних циклічних пропорцій». Запропонований метод дає змогу вдосконалити керування системою на множині $N=n(n-1)$ її фіксованих станів у багатовимірному фазовому просторі, завдяки зме-

ншенню числа її керованих кодом комбінацій в *n*-1 разів. При цьому підвищується швидкодія та завадостійкість.

Метод має певні потенційні можливості щодо створення високопродуктивних спеціалізованих векторних процесорів для опрацювання великих масивів даних.

Список використаної літератури

1.Скурихін В. І. Системотехніка /В. І. Скурихін // Енциклопедія кібернетики. Том другий. Головна редакція УРЕ. – К. : – 1973. – С. 429 – 431.

2. Кухтенко О. І. Загальна теорія систем / О. І. Кухтенко // Енциклопедія кібернетики. Том другий. Головна редакція УРЕ. – К. : – 1973. – С. 402 – 406.

3. Железнов М. А. Надмірність системи / М. А. Железнов // Енциклопедія кібернетики. Том другий. Головна редакція УРЕ. – К. : – 1973. – С. 133 – 135.

4. Шафрановский И. И. Симметрия в природе/ И. И. Шафрановский. – Л. : Недра. – 1985. – 165 с.

5. Тарасов Л. В. Этот удивительный симметричный мир / Л. В.Тарасов. – М.: Просвещение. – 1982. – 176 с

6. Вейль Г. Симметрия / Г. Вейль. Пер. з англ. – М. : Наука. – 1968. – 192 с.

7. Вигнер Е. Этюды о симметрии / Е. Вигнер. Пер. з англ. – М. : Мир. – 1971. – 320 с.

8. Удилов В. В. Представлень груп теорія / В. В.Удилов // Енциклопедія кібернетики. Том другий. Головна редакція УРЕ, К. : – 1973. – 292 с.

9. Холл М. Комбинаторика / М. Холл. Пер. з англ. – М. : Мир. – 1970. – 470 с.

10.Singer J. A Theorem in Finite Projective Ggeometry and Some Applications to Number theory, (1938), *Trans. Amer. Math. Soc*. – No. 43. – Pp. 377 – 385.

11. Golomb S.W., and Riznyk V.V. Researches and Applications of the Combinatorial Configurations for Innovative Devices and Process Engineering, (1996), CRDF Cooperative Grants Program, Los Angeles, CA 90089-2565, US, March 5 1996, 10 p.

12. Riznyk V. Combinatorial Sequencing Theory and Its Applications (Report), Abstract, Original language: (In English), Lehrstuhl für Informatik V, Universität Mannheim, Germany, 10.10.1997.

13. Riznyk M., and Riznyk V. Manufacturing Systems Based on Perfect Distribution Phenomenon, Intelligent Systems in Design and Manufacturing III, Proceedings of SPIE, Boston, USA, Vol. 4192, 6 – 8 November 2000, pp. 364 – 367. ISSN: 0277-786X. ISBN: 0-8194-3857-X, Published by SPIE – The International Society for Optical Engineering, P.O. Box 10. Bellingham, Washington 98227-0010 USA.

14. Riznyk V. Advanced 3D Information Technologies Based on Symmetry and Nonsymmetry Complementary Ensembles, (2013), *Proceedings of the VIIIth International Conference on Computer Science and Information Technologies CSIT 2013, 11-16 November*, pp. 115 – 115. ISBN: 978-617-607-520-2, Lviv, Ukraine, Publishing Lviv Polytechnic.

15. Bandyrska O. Normowanie Ciągów nie Nadmiarowych Metodą Optymalizacji Kombinatorycznej, Systemy Informacyjne w Kształceniu Technicznym, Information System in Technical Education, Lublin, 2005, pp. 95 – 99. ISDN: 83-89246-58-9 Original language: (In Polish), Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 20-950 Lublin.

Отримано 01.03.2014

References

1.Skurykhin V.I. Systemotekhnika. [Systems Engineering], (1973), *Encyclopedia of Cybernetics*. *The Second Volume*. Kiev, Ukraine, *Academy of Science of USSR. Main Edition URE,* pp. 429 – 431 (In Ukrainian).

2. Kukhtenko O.I. Zahalna teorija system [General System Theory], (1973), *Encyclopedia of Cybernetics. The Second Volume*. Kiev, Ukraine, *Academy of Science of USSR. Main Edition URE*, pp. 402 – 406 (In Ukrainian).

3. Rzeleznov M.A. Nadmirnist' systemy [System Redundancy], (1973), *Encyclopedia of Cybernetics. The Second Volume.* Kiev, Ukraine, *Academy of Science of USSR. Main Edition URE*, pp.133 – 135 (In Ukrainian).

4. Shafranovskiy I.I. Simmetrija v prirode [Symmetry in Nature], Leningrad, Russian Federation, (1985), *Nedra Publ*., 165 p. (In Russian).

5. Tarasov L.V. Etot udivitelnyj simmetricheskiy mir [This Wonderful Symmetrical World], Moskow, Russian Federation, (1982), *Prosveshchenie Publ.*, 176 p. (In Russian).

6. Weyl H. Simmetrija [Symmetry], Moskow, Russian Federation, (1968), *Nauka Publ.*, 192 p. (In Russian).

7. Wigner E. Etjudy o simmetrii [Symmetries and Reflections], (1971), Moskow, Russian Federation, *Mir Publ.*, 320 p. (In Russian).

8. Udylov V.V. Predstavlen' hrup teoriya Tom druhyj. [Group theory Representation], (1973), *Encyclopedia of Cybernetics. The Second Volume*, Kiev, Ukraine, *Academy of Science of USSR. Main edition URE*, 292 p. (In Ukrainian).

9. Hall M. Kombinatorika [Combinatorial Theory], Moskow, Russian Federation, (1970), *Mir Publ.*, 470 p. (In Russian).

10. Singer J. A Theorem in Finite Projective Geometry and Some Applications to Number theory, (1938), *Trans. Amer. Math. Soc.*, No. 43, pp. 377 – 385 (In English).

11. Golomb S.W., and Riznyk V.V. Researches and Applications of the Combinatorial Configurations for Innovative Devices and Process Engineering, (1996), *CRDF Cooperative Grants Program*, Los Angeles, CA 90089-2565, US, March 5 1996, 10 p. (In English).

12. Riznyk V. Combinatorial Sequencing Theory and Its Applications, (1997), *Report. Lehrstuhl für Informatik V, Universität Mannheim, Germany*, 10.10.1997 (In English).

13. Riznyk M., and Riznyk V. Manufacturing Systems Based on Perfect Distribution Phenomenon, Intelligent Systems in Design and Manufacturing III, Proceedings of SPIE, Boston, USA, Vol. 4192, 6 – 8 November 2000, pp. 364 – 367. ISSN: 0277-786X. ISBN: 0-8194-3857-X, Published by SPIE – The International Society for Optical Engineering, P.O. Box 10. Bellingham, Washington 98227-0010 USA.

14. Riznyk V. Advanced 3D Information Technologies Based on Symmetry and Non-symmetry Complementary Ensembles, (2013), *Proceedings of the VIIIth International Conference on Computer Science and Information Technologies CSIT 2013, 11-16 November, 2013*, 115 p. ISBN: 978-617-607-520-2, Lviv, Ukraine, *Publishing Lviv Polytechnic.*

15. Bandyrska O. Normowanie ciągów nie nadmiarowych metodą optymalizacji kombinatorycznej, Systemy informacyjne w kształceniu technicznym [Non-redundant Sequence Normalization, Information System in Technical Education], Lublin, 2005, pp.95 – 99. ISDN: 83-89246-58-9 Original Lnguage: (In Polish), Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 20–950 Lublin (In Polish).

Різник Володимир Васильович, д.т.н.,
професор каф. АСУ Нац. ун-ту «Львівська політехніка»,
79013, м. Львів, вул. С. Бандери 12,
тел. 0674395003,
79008, вул. Лисенка 14/11.
e-mail: rvv@polynet.lviv.ua