

# ОЦІНКА ЄМНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СЕРЕДОВИЩ З ЛОКАЛЬНОЮ ВЗАЄМОДІЄЮ

І.Я.Кіцула

Ужгородський державний інститут інформатики, економіки і права,  
м.Ужгород, вул.Заньковецької, 87 б.  
e-mail: shaman@mail.uzhgorod.ua

У роботі запропоновано метод оцінки інформативної ємності систем з локальною взаємодією, що мають набір метастабільних станів  $\{R_n\}$ . У таких системах у результаті процесів релаксації або зовнішньої дії може реалізуватися один з можливих структурних станів з набору  $\{R_n\}$ , що відповідає за макроскопічні параметри середовища. Як пошук фізичних принципів фіксації кожного з таких станів, так і оцінка їх числа представляють інтерес для пошуку нових засобів запису інформації та інформаційних середовищ. Складність полягає в тому, що такі системи, як правило, є неергодичними. Ступінь неергодичності системи визначається як характером локальної взаємодії, так і відносними імовірностями реалізації станів  $\{R_n\}$ . Тому наш розрахунок проведено на прикладі моделі кластера з локальною магнітною або хімічною взаємодією між  $N$  атомами.

## Вступ

Пошук нових інформаційних середовищ та принципів запису інформації є важливою задачею сучасної науки. Відомо, що на сьогодні найбільш доступними і застосовуваними є методи збереження, де використовують магнітний та оптичний запис інформації. У першому випадку це реалізація фізичного стану речовини, коли всі спіни внаслідок фізичної дії в певній локальній області спрямовані в одному напрямку. При оптичному методі використовується лазер для фіксації (випалювання) певної послідовності сигналів. В обох випадках запис здійснюється на макрорівні,  $\sim 1$  мкм, що значно більше по відношенню до розмірів основних структурних елементів речовини, молекул або атомів. Це дає надію на розробку способу запису інформації на мікрорівні, де будуть використовуватися властивості зв'язків атомів або характер (топология) їхнього розташування один відносно одного. Наприклад, положення спінів атомів рис. 1 або різноманітність типу зв'язків атомів речовини (гомо-, гетеро-, рис. 2) та характеру їх розташування. Зміна конфігурації магнітних спінів у речовині або співвідношення гомо-, гете-

розв'язків під дією зовнішніх факторів реалізує інший фізичний стан речовини, що дає можливість реалізувати фіксацію інформації.

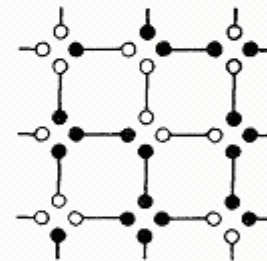


Рис.1. Задача спінів.

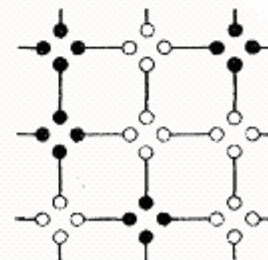
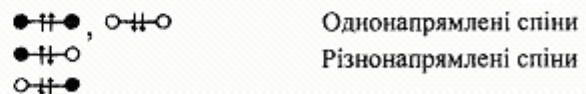


Рис.2. Задача зв'язків.



Як правило, фізичні системи, що мають набір метастабільних станів  $\{R_n\}$ , є неергодичними, оскільки мають скінченний час перебування в них. При цьому також виникає проблема обчислення кількості інформації, яку можна записати, маючи середовище (кластер) з певним набором атомів і їх властивостей. У даній роботі такий розрахунок проведено на прикладі моделі кластера з локальною магнітною або хімічною взаємодією між  $N$  атомами. Зокрема, проведено комп'ютерне моделювання інформаційної ємності середовища, що містить два сорти атомів валентності  $m$ ,  $n$ , шляхом перебору всіх можливих співвідношень гомо-, гетерозв'язків.

### Теорія

Спроби кількісного виміру інформації починалися неодноразово. Перші виразні пропозиції про загальні способи виміру кількості інформації були зроблені Р.Фішером (1921 р.) у процесі розв'язку питань математичної статистики [1]. Проблемами збереження інформації, передачі її по каналах зв'язку і задачами визначення кількості інформації займалися Р.Хартлі (1928 р.) і Х.Найквіст (1924 р.). Р.Хартлі заклав основи теорії інформації, визначивши міру кількості інформації для деяких задач. Найбільш переконливо ці питання були розроблені й узагальнені американським інженером Клодом Шенноном у 1948 р. [2]. З цього часу почався інтенсивний розвиток теорії інформації взагалі і заглиблене дослідження питання про вимір її кількості зокрема.

На думку В.М.Глушкова, інформація незалежна від нашої свідомості. Її об'єктивний характер заснований на об'єктивності існування її джерела – розмаїтості (різноманітності). Для того, щоб побудувати строгу теорію інформації, К.Шеннону довелося відвернутися від її змісту. В.М.Глушков розвиває цей підхід, пропонує дуже загальне і сміливе поняття інформації та підкреслюючи при цьому її

незалежність від одержувача, що залишає остронь і значущу сторону інформації [3].

Першу спробу побудови теорії семантичної інформації зробили Р.Карнап і И. Бар-Хіллел. Концепція Карнапа–Бар-Хіллела, що одержала згодом розвиток у працях Кемені, є тільки початком досліджень в області виміру змісту переданої інформації. Ця концепція дозволяє, наприклад, виявити зв'язок гіпотези з початковим достовірним значенням, зокрема, зробити висновок про ступінь підтвердження гіпотези.

Фінський учений Я.Хінтікка поширив основні ідеї семантичної теорії інформації Карнапа і Бар-Хіллела на логіку висловлень. Для багатьох ситуацій (спостереження, виміру, підтвердження гіпотези, наукового пророкування, пояснення) він запропонував метод визначення зменшення невизначеності, що, наприклад, зазнає гіпотеза  $g$  після одержання того або іншого емпіричного факту  $h$ , або взагалі зміни інформаційного змісту висловлювання  $g$  при одержанні висловлювання  $h$ . Однак, незважаючи на визначені досягнення, концепція Карнапа–Бар-Хіллела виявилася малоприматною для аналізу змісту природної мови.

Тепер розглянемо інше визначення інформації: «Інформація – міра упорядкованості». Це визначення також є одним з варіантів «різноманітного» її розуміння. Упорядкованість завжди пов'язана з обмеженням розмаїтості, що ми можемо розуміти як керування. Дійсно, керувати системою – значить обмежувати її розмаїтість. Обмеження розмаїтості пов'язане з одержанням інформації. Керування неможливе без інформаційних процесів. Але чи є зміст говорити про керування, коли мова йде про процеси, що відбуваються в неживій природі? Оскільки в об'єктів неживої природи не може бути цілей, то говорити про керування і, отже, про інформацію, коли мова йде про неживу природу, немає сенсу. Керування і, отже, інформаційні процеси мають місце тільки в кібернетичних і біологічних системах. Тому поняття інформації можна

пов'язувати тільки з об'єктами живої природи, а також з об'єктами, створеними руками людини.

Для того, щоб вивести найбільш загальне визначення поняття "інформація", виділимо таку його властивість, яка з одного боку була б властивою будь-якому його конкретному прояву, і з іншого дозволяла б відрізнити їх від проявів інших понять. Іншими словами, ми хочемо виділити необхідну і достатню ознаку, за якою ми будемо визначати, чи відноситься те або інше явище до прояву поняття "інформації".

Почнемо з того, що побудуємо найпростішу схему з трьох понять: "об'єкт", "середовище" і "взаємодія". "Об'єкт" – це щось стійке в часі й обмежене в просторі, що цікавить нас як єдине ціле. "Середовище" – це безліч всіх інших потенційних "об'єктів", що цікавлять нас тільки з погляду їхнього впливу на стани виділеного "об'єкта" і зворотного впливу "об'єкта" на їхні стани. "Взаємодія" – це розтягнутий у часі процес взаємозалежної зміни параметрів стану "об'єкта" і "середовища". Ця схема є замкнутою в тому значенні, що "середовище" містить у собі всі потенційні "об'єкти", здатні впливати на стан виділеного "об'єкта". Далі не будемо брати в лапки приведені поняття.

Енергетична і речовинна взаємодія об'єктів є симетричною, тобто скільки один віддав, стільки ж інший одержав. Переходи між речовиною й енергією не впливають на загальний баланс, оскільки діють закони збереження константи їхнього співвідношення. Так само не впливає на загальний баланс руйнування об'єкта в результаті таких взаємодій тому, що, знову ж, зберігається сума констант співвідношення речовини й енергії, що утворилися в результаті руйнування частин (нових об'єктів).

Отже, будь-яка взаємодія між об'єктами, у процесі якого один здобуває деяку субстанцію, а інший її не втрачає, називається інформаційною взаємодією. При цьому передана субстанція називається інформацією.

З цього визначення випливають дві найбільш загальні властивості інформації. Перша – інформація не може існувати поза взаємодією об'єктів. Друга – інформація не втрачається жодним з них у процесі цієї взаємодії.

Із теорії ймовірності відомо, що інформація є однією з форм прояву залежності між різними явищами. Образно висловлюючись, можна сказати, що інформація є слід, який залишає одне явище на іншому. Проте в реальних фізичних об'єктах число можливих фізично-відмінних станів системи  $\omega$  є обмеженим, що визначає їх інформаційний ресурс. З іншого боку, величина характеризує міру розвпорядкування або хаосу системи. Згідно з [4], інформаційна ентропія  $S$  визначається через конфігураційне виродження стану системи  $\omega$  співвідношенням:

$$S = k \ln(\omega), \quad (1)$$

де  $k$  – стала Больцмана. Розрахунок  $\omega$ , а отже  $S$  для конкретних інформаційних середовищ і є предметом даної роботи.

### Модель і розрахунок

У ролі інформаційного середовища розглядається кластер, що містить  $N=10^6$  атомів двох сортів, наприклад, А та В з долею атомів сорту А –  $\alpha$ , що мають, відповідно, валентності (кількість хімічних зв'язків)  $m$  та  $n$ . Будемо вважати, що в кластері відсутні "обірвані" хімічні зв'язки, тобто всі зв'язки між атомами є насиченими. Позначивши кількість гомозв'язків А-А, В-В і гетерозв'язків типу А-В (В-А) атомів через  $x$ ,  $z$ ,  $y$ , можемо показати, що правильною є така система.

$$\begin{aligned} 2x + y &= N\alpha m, \\ 2z + y &= N(1 - \alpha)n, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\alpha$  – частка  $a$  атомів сорту А у кластері. Коли ввести число атомів сорту А, що мають  $i$  гетерозв'язків ( $i = 0, m$ ) в кластер як  $k_i$ , і, відповідно,  $l_j$  – число атомів сорту В, що мають  $j$  гетерозв'язків ( $j = 0, n$ ),

то легко показати, що  $x, z, y$  і  $k_i, l_j$  пов'язані між собою наступною системою рівнянь.

$$x = \sum_{i=0}^m (m-i)k_i \frac{3}{2}, \quad z = \sum_{j=0}^n (n-j)k_j \frac{l_j}{2},$$

$$y = \sum_{i=0}^m ik_i. \quad (3)$$

Як видно з (2) та (3), одному набору хімічних зв'язків у кластері відповідає набір  $\{k_i, l_j\}$  атомів сорту А та В, що мають різне співвідношення гомо-, гетерозв'язків. Така модель була використана в роботі [5] для дослідження структурних перетворень у склах. Більш складніша стохастично-агломераційна модель, запропонована в роботі [6], "переключення" гомо-, гетерозв'язків, яку можна реалізувати за допомогою зовнішніх фізичних факторів, веде до зміни наборів  $\{k_i, l_j\}$  у кластері, тобто до реалізації інших фізичних станів речовини. У нашому випадку виродження стану речовини або

параметр  $\omega$  (1) визначається за допомогою комбінаторних розрахунків:

$$\omega = (N\alpha)! / \left( \prod_{i=1,m} k_i! \right) (N(1-\alpha))! / \left( \prod_{j=1,n} l_j! \right),$$

де  $k_i, l_j$  – число атомів, відповідно, сорту А та В, що мають різні енергії зв'язку в кластері. Інформаційна ентропія  $S$  такого кластеру буде визначатись формулою:

$$S = \frac{1}{N} \ln \left( \frac{(N\alpha)! (N(1-\alpha))!}{\prod_i k_i! \prod_j l_j!} \right). \quad (4)$$

Для прикладу розглянемо простіший випадок, коли  $n=m=2$ . З (2), (3) можна виразити

$$k_1 = 2N\alpha - y - 2k_0,$$

$$k_2 = k_0 + y - N\alpha.$$

Звідси

$$\frac{(N\alpha)!}{k_0! k_1! k_2!} = \frac{(N\alpha)!}{k_0! (2N\alpha - y - 2k_0)! (k_0 + y - N\alpha)!},$$

$$\frac{(N(1-\alpha))!}{l_0! l_1! l_2!} = \frac{(N(1-\alpha))!}{l_0! (2N(1-\alpha) - y - 2l_0)! (l_0 + y - N(1-\alpha))!}. \quad (5)$$

Задовольняючи умови екстремуму

$$\frac{(2N\alpha - y - 2k_0)^2}{k_0(k_0 + y - N\alpha)} = 1, \quad \frac{(2N(1-\alpha) - y - 2l_0)^2}{l_0(l_0 + y - N(1-\alpha))} = 1$$

отримаємо

$$k_0 = \frac{(7N\alpha - 3y) - \sqrt{(7N\alpha - 3y)^2 - 12(2N\alpha - y)^2}}{6}, \quad (6)$$

$$l_0 = \frac{(7N(1-\alpha) - 3y) - \sqrt{(7N(1-\alpha) - 3y)^2 - 12(2N(1-\alpha) - y)^2}}{6}. \quad (7)$$

Отже ентропія

$$S = \frac{1}{N} \ln \left( \frac{(N\alpha)! (N(1-\alpha))!}{k_0! (2N\alpha - y - 2k_0)! (k_0 + y - N\alpha)! l_0! (2N(1-\alpha) - y - 2l_0)! (l_0 + y - N(1-\alpha))!} \right),$$

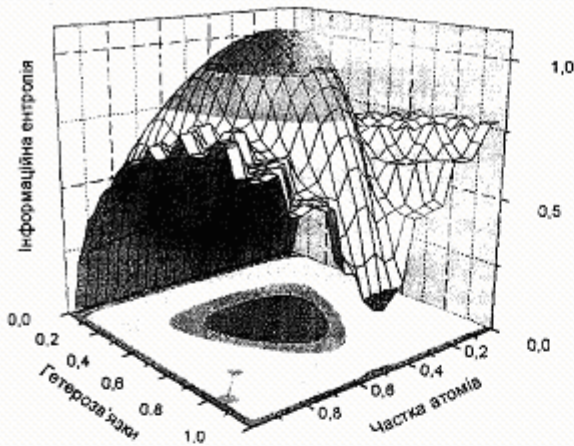


Рис. 3. Залежність ентропії  $S$  від кількості гетероз'язків  $a$  та частки атомів сорту  $\alpha$ .

враховуючи умови (5) та (6). На рис. 3 наведено результат розрахунку інформаційної ентропії (4), що демонструє наявність екстремального співвідношення компонентів кластера, коли ентропія, а отже й інформаційна ємність, максимальні.

Зауважимо, що при проведенні розрахунків не враховувалися обмеження на число наборів  $\{k_i, l_j\}$ , що може обмежувати величину  $S$ .

### Висновки

Таким чином, запропонована модель дає можливість оцінити ємність інформаційних середовищ, що мають атоми двох сортів, які локально взаємодіють між собою. Можна сподіватися, що величина питомої інформаційної ємності речовини буде залежати також від координаційного числа атомів  $m, n$ , а також від топології розташування атомів кластера. У подальшому представляє інтерес врахувати фізичні обмеження, що впливають на число можливих наборів  $\{k_i, l_j\}$ , а отже, й інформаційну ємність середовища.

Автор висловлює подяку проф. Маслюку В.Т. за запропоновану тему досліджень.

### Література

1. Статистические методы в экспериментальной физике. Под ред. А.А. Тьяпкина (Атомиздат, Москва, 1976)
2. К.Шеннон, *Работы по теории информации и кибернетике* (ИЛ, Москва, 1963)
3. Основы автоматического управления. Под ред. В.С. Пугачева (Изд-во физ-мат. литературы, Москва, 1963)
4. Г.Хакен, *Синергетика* (Мир, Москва, 1985)
5. V.T.Maslyuk, *J. Non-Cryst. Solids* **161**, 43 (1990).
6. R.Kerner, M. Micoulaut, *J. Non-Cryst. Solids* **210**, 298 (1997)
7. М.Д.Бальмаков, *Стеклообразное состояние вещества* (Изд-во Санкт-Петербургского университета, Санкт-Петербург, 1996)
8. М.Д.Бальмаков, *ФХС*, **25**, 233 (1999)

## ESTIMATION OF CAPACITY OF INFORMATION MEDIA WITH LOCAL INTERACTION

I.Ya.Kitsula

Uzhhorod State Institute of Information Science, Economics and Law,  
87 B, Zankovetskoj str., Uzhhorod,  
e-mail: shaman@mail.uzhgorod.ua

A method of estimating the informative capacity of systems with local interaction, possessing a set of metastable states  $\{R_n\}$  is suggested. In such systems, as a result of relaxation processes, or under external action one of the possible structural states from  $\{R_n\}$  sets, responsible for the macroparameters of the medium, can be realized. Both search for the physical principles of fixing such states and the estimation of their number are of interest for searching new methods of information recording and information media. The complexity of calculation lies in nonergodic nature of such systems. The degree of nonergodicity is determined both by the local interaction character and the relative probabilities of  $\{R_n\}$  states realization. Therefore our calculations were carried out at the example of a  $N$ -atom cluster with local magnetic or chemical interactions.