нейронний контролер, що дасть змогу уникнути перевантаження у мережі. Розроблено структурну схему фазі-контролера, визначено вхідні та вихідні лінгвістичні змінні, їх терми та функції належності; розроблено базу правил для фазі-контролер; наведено математичні моделі для фазі-нейронного контролера. Також було проведено моделювання роботи фазі-контролера та фазі-нейронної мережі у програмі Matlab.

Література

1. Kejik P., Fuzzy logic based call admission control in UMTS system. / Kejik P., Hanus S // Proceedings of the 2009 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic System Technology. – Aalborg (Denmark), 2009. – P. 375– 378. ISBN 978-1-4244-4067-2.

2. Kejík P. Comparison of Fuzzy Logic and Genetic Algorithm Based Admission Control Strategies for UMTS System / Kejík P., Hanus S // Radioengineering. – 2010. – p. 6– 10. ISSN: 1210-2512.

3. Kejík P. Simulation of Radio Resources Management in UMTS System / Kejík P., Hanus S // In Proceedings of the 15th Conference STUDENT EEICT 2009. – Brno: NOVPRESS s.r.o., 2009. – P. 254– 258. ISBN: 978-80-214-3870-5.

Надійшла 20.4.2011 р.

УДК 005; 007.52

В.І. КРАМАР, С.А. ЛУПЕНКО
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

У роботі проведено огляд та порівняльний аналіз моделей процесів самоорганізації систем на концептуальному рівні. Розглянуто перспективи застосування принципів самоорганізації в інформаційних системах та проведено оцінювання потенціалу відомих підходів до моделювання процесів самоорганізації в інформаційних системах.

In this paper, a review and comparative analysis of models of self-organization are described on a conceptual level. The prospects of applications of self-organization principles and the potential of known approaches to modeling of self-organization processes in information systems are viewed.

Ключові слова: самоорганізація, процес, моделі, інформаційні системи.

Вступ

Самоорганізація – процес виникнення впорядкованих структур системи без специфічної дії зовнішніх факторів. Науковий термін "самоорганізація" був введений У.Ешбі в 1947 р. Взагалі самоорганізацію можна розглядати як процес і як явище. Феномен самоорганізації як природне явище вивчає фізика. Як процес самоорганізацію вивчає цілий ряд дисциплін, тому це поняття міждисциплінарне. Для вивченням процесів самоорганізації різної природи Г.Хакеном було введено спеціальну міждисциплінарну науку – синергетику.

При дослідженні та створенні самоорганізуючих систем необхідно побудувати модель, яка б найбільш адекватно їх описувала. На сьогоднішній час в науці є декілька різних підходів до опису та моделювання таких систем, кожен з яких має свої сильні та слабкі сторони, але єдиної математичної теорії самоорганізації все ще не створено.

Пояснення та трактування феномену самоорганізації в різних авторів можуть сильно відрізнятися. Це можна пояснити тим, що саме поняття самоорганізації є досить неоднозначним та використовується практично у всіх галузях науки. Тому постає проблема класифікації, систематизації, порівняння різних підходів опису процесів самоорганізації та їх моделей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В науковій літературі з кожним роком кількість статей та робіт по самоорганізуючих системах збільшується великими темпами. Але по класифікації чи порівнянні моделей самоорганізації публікації майже немає. У зв'язку з високою складністю порівняння дуже різних моделей, автори як правило, обмежуються оглядом та описом деяких моделей [1,2].

Нижче наведено обрані для порівняння відомі базові моделі, які певним чином описують процеси самоорганізації.

Брюселятор. Спрощена теоретична модель самоорганізації розроблена в 1960-их роках І.Пригожиним. Ця модель описує розподіл в просторі і часі реагентів вузького класу хімічних реакцій, при її дослідженні були з'ясовані властивості дисипативних структур у багатьох нелінійних системах. Рівняння реакції-дифузії складають ядро математичної моделі [3,4].

Модель самоорганізованої критичності. Цю модель ще називають "купа піску", вона є базовою моделлю теорії самоорганізованої критичності, яка в 1980-их роках була розроблена П.Баком. Вона показує, що критичний стан системи може виникати самостійно [5,6].

Клітинний автомат. Клітинний автомат – це математичний об'єкт із дискретними простором і часом. Кожне положення в просторі представлено окремою клітиною, а кожний момент часу – дискретним часовим кроком або поколінням. Стан кожної клітини визначається дуже простими правилами взаємодії. Ці правила описують зміну стану кожної клітини в наступному такті часу у відповідь на поточний стан сусідніх клітин. Вперше, ідея таких автоматів запропонована у роботах фон Неймана в 1940-х роках, коли він працював над ідеєю саморепродуктивних машин [7].

Генетичний алгоритм. Ідея генетичних алгоритмів запозичена у живої природи і полягає в організації еволюційного процесу, кінцевою метою якого є отримання оптимального рішення в складній задачі. На сьогоднішній день генетичні алгоритми довели свою конкурентноздатність при вирішенні багатьох NP-складних задач і особливо у практичних застосуваннях, де математичні моделі мають складну структуру і застосування стандартних методів динамічного або лінійного програмування дуже утруднено [8,9].

Мережа Кохонена. Мережа розроблена Т.Кохоненом на початку 1980-х років, відноситься до самоорганізуючих нейронних мереж. Вона використовує неконтрольоване навчання і навчальна множина складається лише зі значень вхідних змінних [10].

Гіперцикл. В кінці 1970-х років М.Ейген і П.Шустер запропонували модель гіперциклів. Гіперцикл – принцип природної самоорганізації, що зумовлює інтеграцію і узгоджену еволюцію системи функціонально-пов'язаних самореплікуючих одиниць [11,12].

Мережа Кауфмана. В 1969 році С.Кауфманом була розроблена NK-модель – мережа випадково пов'язаних логічних елементів, яку називають ще булевою мережею або мережею Кауфмана. Вона складається з булевих логічних елементів, які мають декілька входів і один вихід. Сигнали на входах і виходах елементів бінарні, тобто приймають значення 0 або 1 [13].

Модель багатоагентної системи. В основі поведінки моделей багатоагентних систем також лежить самоорганізація. У загальному прийнято вважати, що агентом є якась проста система, що базується на апаратній або програмній реалізації та володіє наступними властивостями: автономність, соціальність, реактивність, ініціативність [14].

Існує ще досить багато моделей, які тут не розглядаються, але описують самоорганізацію досить оригінальними концепціями та ідеями. Це, насамперед, аутопоезис У.Матурани та Ф.Варели, консервативна самоорганізація, континуальна самоорганізація А.Руденко, моделі лазерів Г.Хакена, фрактали Б.Мандельброта, теорія катастроф, теорія хаосу та багато інших.

Постановка завдання

Метою даної роботи є порівняльний аналіз моделей процесів самоорганізації та оцінювання їх потенціалу щодо можливості моделювання процесів самоорганізації в інформаційних системах.

Для досягнення поставленої мети необхідно розглянути відомі підходи до опису та моделювання процесів самоорганізації, обрати критерії для порівняння вибраних моделей та провести оцінювання їх потенціалу щодо можливості моделювання процесів самоорганізації в інформаційних системах.

Основна частина

На даний час виділяють такі основні математичні підходи до опису самоорганізуючих систем: неперервні моделі у формі диференціальних рівнянь, математичні моделі нелінійної динаміки, алгоритмічний опис процесів чи системи, теорія автоматів [15].

У моделях, що задаються диференціальними рівняннями, кожне рівняння визначає динаміку деякої змінної стану, сукупність яких впливає на структурні властивості системи. У сучасній науці переважає методологія, відповідно до якої, динаміка системи поблизу точок біфуркації повністю визначається лише невеликим числом цих змінних, названих змінними (параметрами) порядку. Оскільки фактично зміна структури в складних системах відбувається стрибкоподібно при переході через точку біфуркації, то можна вважати, що в кожній області стійкості є деяка зона нечутливості, де система залишається у поточній конфігурації до тих пір, поки внаслідок деяких причин параметри порядку не досягнуть критичних значень.

Алгоритмічні та семантичні підходи відображають функціонування систем на більш вищому абстрактному рівні. У таких моделях використовується нечітка логіка, булева алгебра, теорія ймовірності, формальні системи, теорія скінчених автоматів.

На сьогодні ще не існує єдиної математичної теорії процесів самоорганізації. Тобто моделювання цього процесу знаходиться на такій стадії, коли самоорганізація описується багатьма моделями, що розкривають різні аспекти модельованого об'єкту. Такі моделі порівнювати досить важко, оскільки в таких випадках не завжди вдається сформулювати точно визначені критерії порівняння. Це означає, що не можна говорити, що одна модель є кращою за іншу, оскільки вони можуть доповнювати одна одну або бути навіть суперечливими.

Тому класифікувати моделі самоорганізації будемо за формою моделі (хоча моделі можуть бути представлені і в інших формах), трактуванням самоорганізації та сферою застосування. Таку класифікацію проведено в таблиці 1.

Порівнюючи вибрані моделі за трактуванням самоорганізації, можна зробити висновок, що по суті в кожній моделі самоорганізація пояснюється по-різному. Але, все-таки, в трактуваннях присутнє поняття виникнення чи створення якоїсь нової структури. Ця загальна риса якраз і дозволяє говорити про ці моделі як моделі самоорганізації. Як вже згадувалося раніше, моделі описують різні аспекти процесу самоорганізації. Розглянемо їх детальніше.

Таблиця 1

Класифікація моделей самоорганізації систем

Назва моделі	Форма моделі	Трактування самоорганізації	Розробники моделі	Застосування
Брюселятор	Диференціальні рівняння	Виникнення дисипативних структур	Ілля Пригожин	Моделювання дисипативних структур, реакції Білоусова-Жаботинського
Модель самоорганізованої критичності	Автомат	Виникнення критичних станів системи	П'єр Бак	Моделювання катастрофічних ситуацій
Клітинний автомат	Автомат	Виникнення впорядкованих конфігурацій автомата	Джон фон Нейман	Моделювання дискретних систем
Генетичний алгоритм	Алгоритм	Створення популяцій найбільш пристосованих особин	Джон Холланд	Оптимізація, пошук рішень
Мережа Кохонена	Нейронна мережа	Утворення кластерів на топологічній карті через неконтрольоване навчання	Тейво Кохонен	Нейронні мережі, кластеризація
Гіперцикл	Диференціальні рівняння	Інтеграція та узгоджена еволюція самореплікуючих одиниць	Манфред Ейген, Петер Шустер	Моделювання еволюції від макромолекул до інтегрованих клітинних структур
Мережа Кауфмана	Автомат	Виникнення граничних циклів функціонування системи	Стюарт Кауфман	Моделювання систем "на межі хаосу та порядку", еволюційна біологія
Багатоагентна система	Алгоритм	Виникнення організованої поведінки та колективного інтелекту	- *	Штучний інтелект

* – теорія багатоагентних систем не має конкретного розробника, її історія починається ще з 20-их років XX ст. та з робіт фон Неймана по саморепродуктивних машинах (клітинних автоматах)

Брюселятор трактує самоорганізацію як виникнення дисипативних структур. Модель "купа піску" описує критичні стани, коли одна структура змінює іншу, тобто біфуркацію. В клітинних автоматах самоорганізація трактується як виникнення впорядкованих конфігурацій. Структура в автоматі вже є заданою правилами переходу, але вона змінюється в кожен наступний такт часу автомата і прямує до певного атрактора або змінюється безмежно. В генетичному алгоритмі самоорганізація пояснюється як створення популяцій найбільш пристосованих особин. Оскільки в генетичних алгоритмах присутня фітнес-функція, то самоорганізацію в них можна трактувати як підвищення порядку. У мережі Кохонена самоорганізація полягає в утворенні кластерів на топологічній карті через неконтрольоване навчання. Центрами виникнення структур виступають нейрони-переможці на вихідному шарі мережі. Модель гіперциклу використовується в біології для моделювання одного з етапів зародження життя, тому самоорганізація там пояснюється як виникнення нових структур з самореплікуючих одиниць, які можуть виступати як внутрішні фактори для цього процесу. У мережі Кауфмана самоорганізація пояснюється як виникнення граничних циклів функціонування системи, тобто прямування розвитку до деяких атракторів. В багатоагентних системах самоорганізацію можна трактувати як виникнення організованої поведінки та колективного інтелекту. Автономні агенти можуть самі бути досить складними системами, тому також можуть виступати як внутрішні фактори виникнення правил в системі, що веде в свою чергу до виникнення певної структури. Хоча в багатоагентних системах найбільший інтерес представляє вже організована поведінка, а не сама структура.

Після проведення аналізу моделей процесів самоорганізації і встановлення конкретних аспектів, які вони описують, можемо схематично показати процес самоорганізації на рис. 1.

Моделі, яка б описувала всю схему процесу самоорганізації все ще не створено. Це тому, що в наведеній схемі деякі аспекти процесу все ще залишаються нез'ясованими.

Розглянемо перспективи застосування принципів самоорганізації в інформаційних системах та проведемо оцінювання потенціалу відомих підходів до можливості моделювання процесів самоорганізації в інформаційних системах.

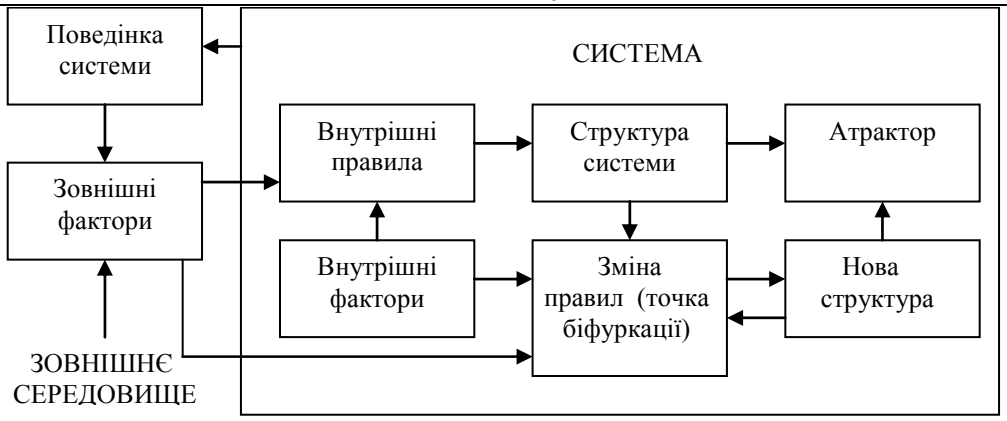

Рис. 1. Схема процесу самоорганізації

Перспективність застосування принципів самоорганізації в інформаційних системах полягає в отриманні ними суттєвих переваг над традиційними системами: надійність, масштабованість, адаптивність, автономність та ін. При чому ці переваги отримуються як "додаткові ефекти" при розробці деякої системи, оскільки вони є, по суті, властивостями будь-якої самоорганізуючої системи. Тому перед розробником самоорганізуючої інформаційної системи стоїть основна задача: правильно застосувати процеси самоорганізації в системі, щоб вона могла самоорганізовуватись, а не забезпечити окремі згадані вище властивості, як це робиться сьогодні.

Наприклад, в системах баз даних такі дослідження вже активно розвиваються. GaianDB – динамічна розподілена база даних з федеративним доступом та самоорганізацією розробляється корпорацією IBM [16]. Ще Дональд Кнут розглядав "самоорганізуючий" файл, в якому перевпорядковуються записи для найбільш ефективного пошуку [17]. Також перспективним є застосування процесів самоорганізації до самих структур даних, коли в базах даних відповідно до змін зовнішнього середовища могли б змінюватись структури даних на більш ефективні [18]. І не тільки змінюватись, але і, відповідно до концепції самоорганізації, виникати абсолютно нові структури даних, які самі по собі становлять науковий інтерес.

У задачах проектування інформаційно-пошукових систем застосування принципів самоорганізації взагалі можливе на будь-яких етапах створення таких систем: від класифікації та кластеризації даних до видачі результатів пошуку інформації [19]. Особливо перспективним таке застосування є для вирішення проблеми структуризації інформації, яка полягає у формуванні деякого породженого простору, який володіє достатнім рівнем впорядкованості і в розумному наближенні адекватного вхідному. Тобто відображення невпорядкованої множини складових елементів мережевого інформаційного простору на впорядкованій множині їх образів, що має необхідну організацію [20].

Глобальна мережа Інтернет є відкритою складною системою, в якій присутні процеси самоорганізації, моделювання яких дасть змогу набагато спростити проектування інформаційно-пошукових систем нового покоління

Технології, які будуть працювати з надвеликими і динамічними обсягами даних, які накопичилися в Інтернеті, повинні використовувати елементи самоорганізації.

Для моделювання процесів самоорганізації в інформаційних системах звичайно найбільш доцільно використовувати дискретні та алгоритмічні моделі, оскільки більшість сучасних інформаційних систем є дискретними. Як видно з таблиці 1 кожна з розглянутих моделей має своє специфічне застосування і багато з них вже використовуються в інформаційних технологіях, чим довели свою ефективність. Але власне їх використання більше полягає в застосуванні елементів самоорганізації до вирішення конкретних задач, ніж до самого моделювання процесу самоорганізації. Це пов'язано, насамперед, з тим, що самі процеси самоорганізації досить важко досліджувати в будь-яких системах та і більшість розглянутих моделей були розроблені не тільки для моделювання самого процесу самоорганізації. Можливість використання певної моделі буде залежати від трактування самоорганізації самим дослідником, від цього також буде залежати і оцінка потенціалу моделі до моделювання процесу самоорганізації в інформаційних системах.

Висновки

В роботі проведено огляд моделей процесів самоорганізації та здійснено їх порівняння. Такі моделі описують процес самоорганізації з різних точок зору та використовуючи термінологію галузі науки, в якій були розроблені ці моделі. Хоча більшість з них носять міждисциплінарний характер і можуть бути використані в інших сферах науки. Проведено оцінювання їх потенціалу можливості моделювання процесів самоорганізації в інформаційних системах.

Майбутні дослідження в теорії самоорганізації повинні полягати в розробці нових підходів до опису та моделювання самоорганізуючих систем. Ґрунтуючись на розроблених вже моделях, які досить по-різному трактують самоорганізацію, потрібно знайти найзагальніші принципи в них та побудувати єдину математичну теорію самоорганізації систем. Звичайно, розробка такої теорії найближчим часом малоймовірна, але деяка інтеграція вже відомих підходів та методів повинна відбуватись. Також важливе практичне значення має розробка штучних самоорганізуючих систем та застосування теорії самоорганізації

в інформаційних технологіях. Одна з основних задач на сьогодні – правильно застосувати принципи самоорганізації в інформаційних системах, щоб вони могли дійсно самоорганізовуватись.

Література

1. Heylighen F. The Science of Self-organization and Adaptivity / F.Heylighen // Knowledge Management, Organizational Intelligence and Learning, and Complexity. The Encyclopedia of Life Support Systems [ed. L.D. Kiel]. – Eolss Oxford Publishers Co. Ltd, 2001. – 26 p.

2. Бакурова А.В. Концепція моделювання самоорганізації соціально-економічних систем / А.В. Бакурова // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво, 2010. – № 2. – С. 21-28.

3. Курдюмов С.П. Синергетика – теория самоорганизации. Идеи, методы, перспективы / С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий // Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. Введение в информатику с позиций математического моделирования. Наука, 1988. – С. 79– 136.

4. Чернавский Д.С. Синергетика и информация: Динамическая теория информации / Д.С Чернавский. – изд. 3-е, доп. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009. – 304 с.

5. Бак П. Самоорганизованная критичность / П.Бак, К.Чен // В мире науки, 1991. – № 3. – С. 16-24.

6. Подлазов А.В. Теория самоорганизованной критичности – наука о сложности / А.В. Подлазов // Будущее прикладной математики. Лекции для молодых исследователей. – М.: Эдиториал УРСС, 2005. – С.404-426.

7. Тоффоли Т. Машины клеточных автоматов / Т. Тоффоли, Н. Марголус. – М.: Мир, 1991. – 280 с.

8. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence / J. H. Holland. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.

9. Goldberg D. E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning / D. E. Goldberg. – Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston: MA, USA, 1989. – 200 p.

10. Kohonen T. Self-Organizing Maps / T. Kohonen // Berlin: Springer-Verlag. – 1995. – 362 p.

11. Эйген М. Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул / М.Эйген, П.Шустер. – М.: Мир, 1982. – 270 с.

12. Файстель Р. Эволюция гиперциклов Эйгена, протекающих в коацерватах / Р.Файстель, Ю.Романовский, В.Васильев // Биофизика, 1980. – Т.25. № .5. – С. 882-887.

13. Редько В.Г. Эволюционная биокибернетика / В.Г. Редько // Компьютерра, 1999. – № 11. – С. 27-31.

14. Субботін С.О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: Монографія / С.О. Субботін, А.О. Олійник, О.О.Олійник; під заг. ред. С.О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с.

15. Юдашкин А.А. Методы синтеза самоорганизующийся систем обладающий памятью счетного числа состояний. – дис... д-ра техн. наук: 05.13.01. – М.: РГБ, 2005. – 230 с.

16. A dynamic distributed federated database / [G.Bent, P.Dantressangle, D.Vyvyan, and oth.] // Proceedings of the Second Annual Conference of ITA, Imperial College, London, 2008. – P. 238-244.

17. Кнут Д. Искусство программирования. Сортировка и поиск / Д.Кнут. – 2-е изд. – М.: «Вильямс», 2007. – Том 3. – 824 с.

18. Дрождин В.В. Синергетический подход к организации структур данных / В.В. Дрождин, А.М. Володин // Программные продукты и системы, 2010. – № 1. – С. 29– 34.

19. Крамар В.І. Самоорганізація в задачах проектування інформаційно-пошукових систем / В.І Крамар, С.А. Лупенко // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 12-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2010. – К.: ННК "ІПСА" НТУУ "КПІ", 2010. – С. 276.

20. Брайчевський С.М. Современные информационные потоки: актуальная проблематика / С.М. Брайчевський, Д.В. Ландэ // Научно-техническая информация, 2005. – Сер. 1. – С.21-33.

Надійшла 4.4.2011 р.