

ІНТЕГРОВАНІЙ ПРОГРАМНИЙ ПАКЕТ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ У ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМАХ

У даній роботі аналізується створений інтегрований програмний пакет “Fractal Walker” для вивчення процесів самоорганізації. Проводиться огляд характеристик, необхідних для аналізу фазових портретів систем при переході від порядку до хаосу та розглядається імплементація цих характеристик у вищеназваній програмі.

В останній час процеси самоорганізації дуже широко вивчаються в різних галузях науки. Самоорганізація проявляється у відкритих дисипативних системах з великим числом частинок, які знаходяться в станах, далеких від термодинамічної рівноваги [1]. Здебільшого поведінка таких систем описується диференційними рівняннями в часткових похідних або набором ітераційних співвідношень. У літературі існують розрізнені програми, які дають змогу розрахувати певні характеристики динамічних систем (див. [2,3]). Проте для проведення комплексних досліджень поведінки складних нерівноважних систем у зовнішніх полях актуальним є створення інтегрованого програмного пакету для визначення якомога більшого числа характеристик системи. Частковому вирішенню цієї задачі присвячена дана робота.

Розроблений нами інтегрований пакет програм “Fractal Walker” для IBM-сумісних комп’ютерів з 386 або вищим процесором працює в захищеному режимі, що дозволяє використовувати всю оперативну пам’ять комп’ютера. “Fractal Walker” написаний на алгоритмічній мові Сі і має власний графічний інтерфейс, який може бути легко сконфігурований та доповнений під довільні відеорежими з розрізною здатністю не менше 640x480 точок та з глибиною кольору в 1 байт (256 кольорів). Інтерфейс має модульну

структуру, що забезпечує ефективний перехід між видами робіт та високу наочність. Модулі чітко спеціалізовані для виконання певних робіт (рис.1).

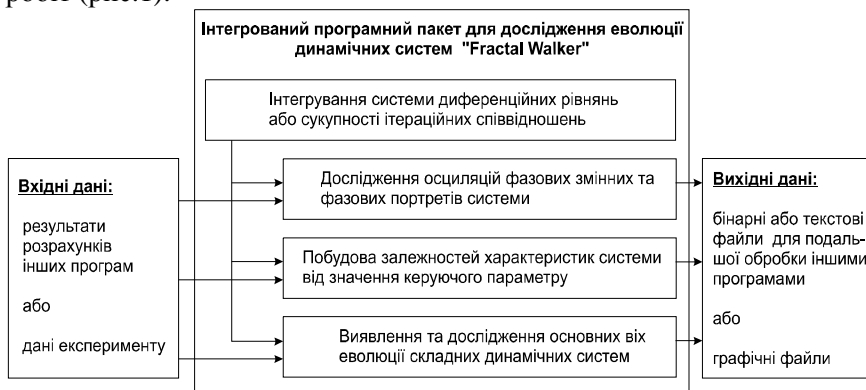


Рис.1 Модульна структура “Fractal Walker”

Інтегрування нелінійних систем диференційних рівнянь реалізовано за допомогою метода Рунге-Куты четвертого порядку, який дає досить високу точність розрахунків [4]. Програмний пакет має власну асемблероподібну мову, за допомогою якої задаються вирази для рівнянь і змінних. “Fractal Walker” дозволяє працювати з системами, що мають до 16 фазових змінних включно. Для якісного аналізу залежності розв’язків від початкових умов можна також розраховувати початкові умови для будь-якого конкретного випадку.

Програма створена таким чином, що рівняння, які описують поведінку досліджуваної системи, можна зберегти у власному форматі цього програмного пакету (файл проекту), або у вигляді форматowanego текстового файлу, в якому також описані основні параметри інтегрування (кількість рівнянь, крок інтегрування, кількість точок, тощо) та назви і значення змінних, що зручно для подальшого використання цієї інформації в інших частинах програмного пакету або документах.

Результати інтегрування системи диференційних рівнянь дають змогу дослідити осциляції фазових змінних, визначити характер коливань, провести порівняння їх амплітуд і вивчити

еволюцію фазового портрету системи як у вигляді проекцій на координатні площини, так і обертаючи трьохвимірну модель фазового портрету в просторі. При дослідженні осциляцій фазових змінних передбачена можливість виділення певної ділянки коливань, що дозволяє встановити яке місце вона посідає у фазовому портреті системи. Для кожної з фазових змінних можна побудувати спектральну густину потужності, що відображає розподіл енергії коливань у певному частотному інтервалі. Спектральний аналіз у програмному пакеті реалізовано на основі авторегресивного методу Берга [5] з глибиною авторегресії, яку можна змінювати подвоєнням від 16 до 256. Програмний пакет дає можливість визначити такі важливі характеристики фазових портретів, як максимальний показник Ляпунова та розмірність Хаусдорфа. Для зручності обміну даними з іншими програмами передбачено запис фазових змінних у бінарні та текстові файли, які можуть бути використані для передачі даних іншим програмам, або побудови графічних зображень (наприклад, Origin або MapleV). Також передбачено зчитування фазових портретів в аналогічних форматах. В якості прикладу на рис.2 приведено вигляд одного із модулів програмного пакету.

Важливим моментом дослідження динамічних систем є вивчення еволюції системи від порядку до хаосу. У “Fractal Walker” це реалізовано в одному з модулів, де можна задати початкові і кінцеві значення керуючого параметру та побудувати біфуркаційні діаграми, алгоритм яких було узагальнено як для дискретних ітераційних так і неперервних фазових кривих, що отримуються внаслідок розв’язку систем диференціальних рівнянь.

Нами запропоновано новий швидкодіючий метод дослідження еволюції динамічних систем – метод трасировки траєкторій, який полягає у вимірюванні зміни косинуса кута між фіксованим і біжучим векторами фазового портрету. Цей метод характеризує весь фазовий портрет системи в цілому і дозволяє швидко і наочно відобразити перехід системи від порядку до хаосу, а також встановити зміну топології та лінійних розмірів фазового портрету. Метод трасировки траєкторій також імплементовано у “Fractal Walker”.

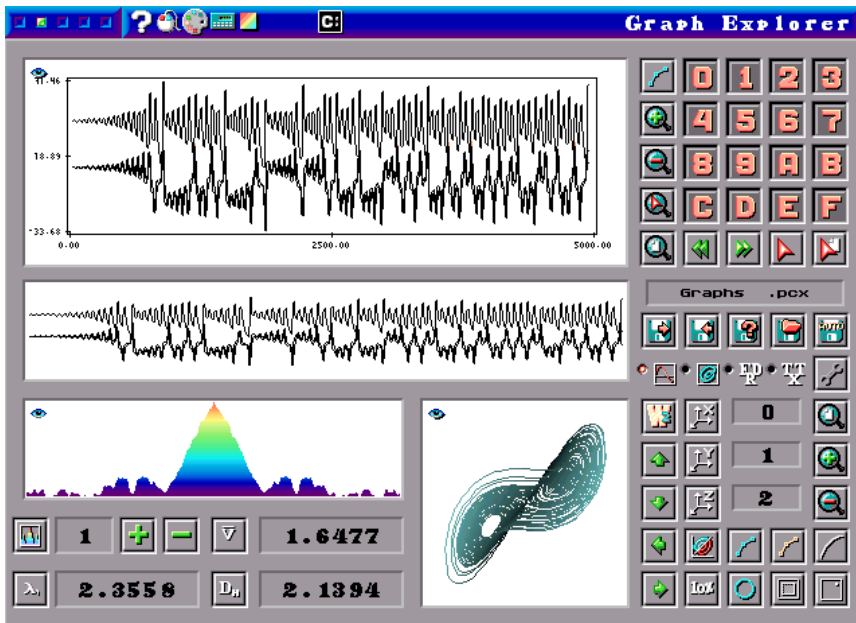


Рис.2. Модуль для дослідження осциляцій фазових змінних, фазового портрету системи і спектральної густини.

Слід зауважити, що оскільки розрахунок залежностей відповідних характеристик вимагає багатократного інтегрування системи, то на випадок часових обмежень у “Fractal Walker” передбачено метод “відкладених розрахунків”, тобто розрахунковий процес може бути перерваний у будь-якому місці, записаний на диск і потім продовжений з цього ж місця в інший час. Результати розрахунків можна досліджувати, змінюючи масштаб отриманих кривих або площин, а також записувати їх у бінарні або графічні файли.

Для полегшення дослідження основних віх еволюції фазових портретів в одному з модулів закладена можливість відзначати величини параметрів, при яких спостерігаються найбільш цікаві фазові портрети. Значення цих параметрів записуються в файл проекту і можуть бути супроводжені відповідним коментарем. “Fractal Walker” зразу ж розраховує фазовий портрет для вибраного

значення параметру і відображає осциляції фазових змінних та проекцію фазового портрета системи на відповідну площину, що дає можливість оперативно досліджувати не тільки всю еволюцію системи, але й її окремі моменти. Для зручності існує можливість визначення відповідних величин керуючого параметру шляхом простого натискування на кнопку миші, коли курсор розміщено над цікавою точкою розрахованої еволюційної залежності. Після розрахунку фазовий портрет можна вивчати за допомогою інших модулів програми, вираховувати його характеристики, тощо.

Будь-які зображення (фазові портрети, фазові криві або еволюційні залежності) можуть бути записані в графічний формат РСХ з використанням декількох шрифтів, що дає можливість використовувати їх в інших програмах або документах. Також передбачене використання різних палітр, що є дуже зручним для представлення малюнків як для екранного перегляду, так і для друку на чорно-білому або кольоровому принтері. Розміри результуючих зображень, розміри шрифтів та вид шкал легко сконфігурувати з самого програмного пакету.

Для дослідження складних систем, які важко записати у “Fractal Walker” з приводу їх громіздкості або при наявності експериментальних даних для фізичних систем, отриманих при приєднанні різних вимірювальних пристроїв до комп’ютера, розроблено спеціальний формат даних та сервісні програми до нього, які дозволяють вивчати еволюцію системи, використовуючи розроблений програмний пакет. Дані про різні фазові портрети разом з величинами керуючих параметрів записуються у метафайл, що архівується, і “Fractal Walker” може вилучити будь-який фазовий портрет для певного значення керуючого параметра. Це робить дослідження складних систем або аналіз експериментальних даних таким же доступним, як і роботу з простими системами. Присутній також і обернений перехід, коли метафайл, що описує еволюцію системи, може бути заздалегідь побудований даним програмним пакетом і потім використаний у розрахунках.

Отже, запропонований програмний пакет “Fractal Walker” дозволяє досить ефективно проводити процес дослідження еволюції складних динамічних систем, дає можливість легко приймати дані

від інших програм і передавати результати розрахунків у вигляді файлів різного формату іншим програмам для подальшого аналізу або візуалізації.

Перевірка на відомих моделях динамічних систем Рьослера, Лоренца, Ферхюльста [6,7] показала високу точність розрахунків, проведених за допомогою розробленого програмного пакету.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах.– М.: Мир, 1979. - 512с.
2. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. О вычислении размерности странных аттракторов// Журн. вычисл. матем. и математич. физики. – 1988.- **28**, №7.- С.1021-1037.
3. Determining Lyapunov exponents from a time series / Wolf A., Swift J.B., Swinney H.L. Vastano J.A. // Physica D.– 1985.-**16**, N3.-P. 285-317.
4. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям.-М.: Мир, 1984.-528с.
5. Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения.- М.: Мир, 1990.-584с.
6. Лихтенберг А., Либерман М. Регулярная и стохастическая динамика.– М.:Мир, 1984.- 528с.
7. Мун Ф. Хаотические колебания.– М.: Мир, 1990.- 311с.

SUMMARY

HORLEY P.P.

THE INTEGRATED PROGRAM FOR INVESTIGATION OF SELF-ORGANIZATION PROCESSES IN DYNAMIC SYSTEMS

In the given paper the authors are analysing the integrated program “Fractal Walker” for investigation of the self-organization processes. We also briefly discuss the main characteristics set which are necessary for studying of the phase portraits transformation during the order-chaos transition and show the way these methods are implemented in the software.