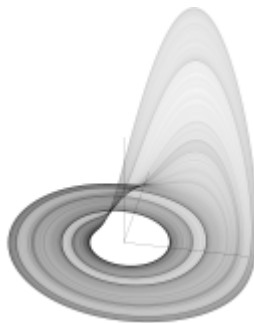


Коцан І. Я.

Кузнєцов І. П.

Біокібернетика

Практикум



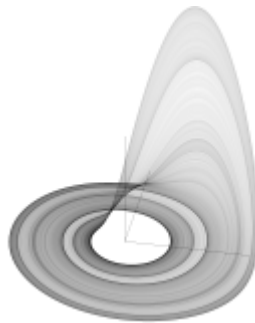
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Волинський національний університет імені Лесі Українки
Кафедра фізіології людини і тварин

Коцан І. Я.

Кузнєцов І. П.

Біокібернетика

Практикум



Луцьк-2011

УДК [57:007](076.5)

ББК 28.071.3я73-5

К75

Рекомендовано до друку методичною радою Волинського національного університету ім. Лесі Українки (протокол № 10 від 22.06.2011)

Рецензенти:

Федонюк А. А. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри вищої математики та інформатики Волинського національного університету ім. Лесі Українки;

Степанюк Я. В. – кандидат біологічних наук, доцент кафедри зоології Волинського національного університету ім. Лесі Українки

К75 Біокібернетика. Практикум : [навч. посіб.] / Уклад. І. Я. Коцан, І. П. Кузнєцов. – Луцьк: Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2011. – 32 с.

Посібник призначений для використання на практичних заняттях з курсу „Біокібернетика” з метою практичного закріплення вивченого матеріалу. Посібник укладено з урахуванням завдань навчального курсу, передбачених програмою вищих навчальних закладів. У посібнику розміщено методичні рекомендації до 11 практичних робіт, в кожній з яких наводяться теоретичні відомості, подаються питання для самоперевірки та рекомендації для індивідуально-дослідного завдання.

Посібник розрахований для студентів природничих спеціальностей вищих навчальних закладів денної та заочної форми навчання.

УДК [57:007](076.5)

ББК 28.071.3я73-5

- © Коцан І. Я., Кузнєцов І. П., 2011
- © Волинський національний університет імені Лесі Українки

ЗМІСТ

Практична робота 1. Поняття інформації. Кількість інформації.....	4
Практична робота 2. Передача сигналів у біологічних системах. Основи цифрової обробки сигналів.....	6
Практична робота 3. Швидке перетворення Фур'є та вейвлет-аналіз.....	9
Практична робота 4. Теорія систем.....	12
Практична робота 5. Застосування поняття ентропії по відношенню до біологічних систем.....	15
Практична робота 6. Теорія ігор та теорія клітинних автоматів у кібернетиці.....	17
Практична робота 7. Типи моделей біологічних явищ.....	21
Практична робота 8. Модель росту популяції Мальтуса.....	23
Практична робота 9. Формальний нейрон, нейронні сітки.....	24
Практична робота 10. Використання нейронних сіток у статистичному аналізі даних.....	27
Практична робота 11. Основні поняття синергетики. Використання методів синергетики при вивченні функцій організму людини.....	29

Практична робота 1

Поняття інформації. Кількість інформації

Мета і завдання: засвоїти основні поняття теорії інформації, навчитись визначати кількість інформації в системі.

Матеріали та обладнання: калькулятор.

Теоретичні відомості. Під інформацією в кібернетиці розуміють зміну ймовірнісного стану системи внаслідок отримання сигналу. Найменшою одиницею інформації є біт, який представляє собою вибір системою одного з двох можливих станів внаслідок надходження сигналу. Таким чином, чим більше ймовірних станів може набувати система в результаті отримання сигналу, тим більше інформації містить кожний сигнал. Згідно з теорією інформації, максимальна інформаційна ємність системи дорівнює:

$$H_{\max} = \log_2 N, \quad (1)$$

де N – кількість станів системи.

Для визначення не максимально можливої, а дійсної інформаційної ємності, враховують можливість повторного отримання того ж самого сигналу (який в такому випадку не несе інформації). Так, формула отримує наступний вигляд:

$$H = -k \sum_{i=1}^n P_i \log P_i, \quad (2)$$

де k – стала, що визначає одиниці вимірювання, n – кількість можливих станів, P_i – ймовірність того, що з загального числа можливих повідомлень буде отримано i -те повідомлення. Оскільки така формула визначення кількості інформації збігається із формулою визначення ймовірнісного стану термодинамічної системи у фізиці (ентропією), цю величину називають ентропією інформації. Цей показник використовують при обчисленні пропускної здатності каналу зв'язку:

$$C = \max[H(x) - H(y/x)], \quad \text{де (3)}$$

$H(x)$ – ентропія інформації корисного сигналу, $H(y/x)$ – ентропія інформації шуму (ймовірність появи шумового сигналу). Зазвичай канали зв'язку, в тому числі – в біологічних системах, володіють певною мірою надійності, яку називають надлишковістю каналу зв'язку, яка дорівнює:

$$U = C - H \quad (4).$$

Хід роботи

Завдання 1. ДНК людини можна уявити як послідовність символів, які представлені окремими нуклеотидами. Скільки біт інформації несе один нуклеотид? Скільки інформації ніс би один нуклеотид, якщо існувало би 2 (8, 16) типів нуклеотидів?

Завдання 2. Скільки інформації (в бітах) містить ДНК людини, один ланцюг якої складається приблизно з 70 млн. нуклеотидів? Скільки інформації містить ДНК миші, один ланцюг якої складається з 30 млн нуклеотидів?

Завдання 2. Задача для самостійного розв'язання. Частота виникнення потенціалу дії в аксоні пірамідального нейрона мозку людини коливається в межах від 10 до 100 імпульсів в секунду, при цьому, інформація про отриманий нейроном сигнал кодується саме у частотному типі активності. Значимою різницею між типами частотної активності є частота в 2 імпульс/с. Ймовірність виникнення спонтанного (шумового) імпульсу – 1 біт/с. Визначити пропускну здатність аксона як каналу зв'язку. Вважати, що ентропія інформації при передачі значимого сигналу є максимальною.

Питання для самопідготовки:

- 1) Визначення кібернетики.
- 2) Основні поняття кібернетики.
- 3) Визначення поняття інформації.
- 4) Що таке один біт інформації?
- 5) Визначення інформаційної ємності системи.
- 6) Визначення кількості інформації (ентропії інформації) за формулою Шеннона.
- 7) Визначення пропускну здатності каналу зв'язку.
- 8) Визначення надлишковості каналу зв'язку.

Завдання для індивідуально-дослідницької роботи:

Користуючись даними з курсової роботи і виходячи з кількості станів системи, що вивчається, визначити максимальну кількість інформації, що може отримати досліджувана система.

Література

1. Биологическая кибернетика / А. Б. Коган, Н. П. Наумов, Б. Г. Режабек, О. Г. Чораян. — [2—е изд.]. — М. : Высшая школа, 1977. — С. 48—64.
2. Исаева В. В. Синергетика для биологов. Вводный курс: [учебное пособие] / В. В. Исаева. — Владивосток : ДВГУ, 2003. — С. 42—48.
3. Каретин Ю. А. Синергетика. Курс лекций для биологов: [учебное пособие] / Ю. А. Каретин. — Владивосток : ДВГУ, 2007. — С. 3—12.
4. Наконечний А. Й. Цифрова обробка сигналів [Текст] : навч. посіб. / А. Й. Наконечний, Р. А. Наконечний, В. А. Павлиш. — Львів : Львівська політехніка, 2010. — С. 7—11.
5. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. — М. : Техносфера, 2007. — С. 29—35.
6. Allman E. Mathematical models in biology: an introduction / Elizabeth Allman. — Cambridge UK : Cambridge University Press, 2004. — P. 345—361.

Практична робота 2

Передача сигналів у біологічних системах. Основи цифрової обробки сигналів

Мета і завдання: засвоїти основні поняття теорії інформації та теорії передачі сигналів, ознайомитись із основами цифрової обробки сигналів.

Матеріали та обладнання: калькулятор.

Теоретичні відомості. Щоб бути переносником інформації, сигнал повинен відповідати принципу ізоморфізму, тобто повинна зберігатись взаємна відповідність різних природних носіїв, що дозволяють зберігати зміст повідомлення, що передається, незважаючи на чергування його носіїв. Перехід від одного носія до іншого супроводжується зазвичай зміною алфавіту сигналу. Такий процес називається кодуванням, а зворотний – декодуванням. В наш час обробка сигналів різної природи, в тому числі і біологічних, здійснюється за допомогою електронної обчислювальної техніки. При цьому слід пам'ятати, що в природі той чи інший сигнал представлений у неперервній формі (такій, що не дозволяє визначити найменший ступінь зміни значення сигналу). В ЕОМ, навпаки, застосовуються конкретні (дискретні) значення сигналу. Переведення сигналу з неперервної в дискретну форму досягається шляхом періодичного вимірювання значення сигналу. Для сигналів, що характеризують високу швидкість протікання процесів, які їх породжують, застосовують спеціальні прилади, що використовують аналого-цифровий перетворювач (АЦП, англ. – ADC). Для сигналів, що характеризують процеси нешвидкоплинні, застосовують «ручну» обробку, тобто просто зазначають в тому чи іншому вигляді значення сигналу. Втім, деякі моменти переведення сигналу з аналогової у цифрову форму є загальними як для «ручної», так і електронної обробки сигналу. Важливим моментом є частота дискретизації – це частота вимірювання характеристик (в основному – амплітуди або потужності) сигналу. Якщо нас цікавлять певні зміни періодичного характеру в характеристиках сигналу, частота дискретизації повинна бути щонайменше вдвічі більшою від частоти періодичних змін. Наприклад, якщо нас цікавлять щорічні зростання чисельності популяції певного виду, вимірювання чисельності потрібно проводити щонайменше двічі на рік, – це дозволить адекватно відтворити характер коливань показника. Відповідно, частота, що є вдвічі меншою за частоту опитування, є найбільшою частотою, показникам якої ми можемо довіряти. Таку частоту називають частотою Найквіста. Якщо в якомусь процесі існує періодична зміна показника з частотою $1 < \text{частота Найквіста} < 2$, то при побудові частотних характеристик отриманого сигналу може спостерігатись стробоскопічний ефект – перенесення потужності високої частоти у зону низьких частот протягом процесу дискретизації сигналу. Стробоскопічний ефект можна описати наступним рівнянням:

$$A = F - W$$

Де F – частота дискретизації, W – частота процесу.

Наприклад, якщо певні значні коливання чисельності популяції відбуваються з частотою 6 разів на рік, а вимірювання проводяться 10 разів на рік, стробоскопічний ефект виникне на частоті $= 10-6 = 4$ рази на рік. Таким чином, замість того, щоб зробити висновок про значні коливання 6 разів на рік, робиться помилковий висновок про значні коливання чисельності популяції 4 рази на рік.

Переведення у цифрову форму аналогових сигналів призводять до того, що дискретизується не тільки часовий параметр сигналу, але й його значення (зазвичай – амплітуда, рис. 1).

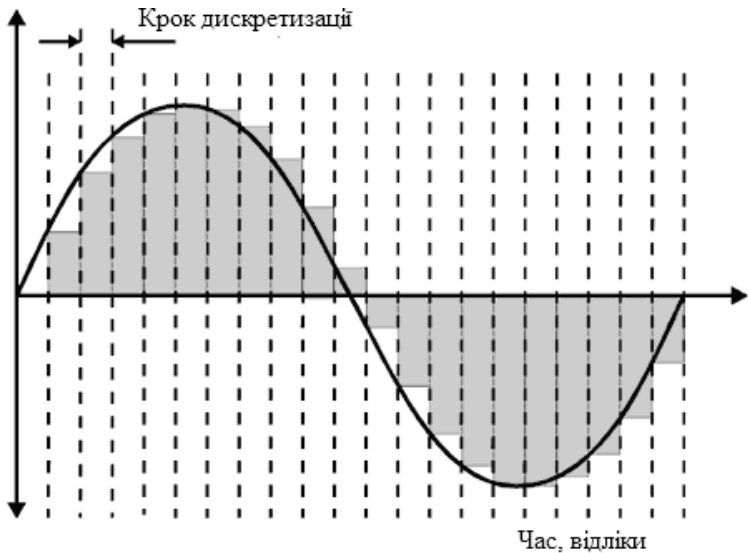


Рис. 1. Принцип дискретизації сигналу.

Якщо дискретизація проводиться за допомогою АЦП, зазвичай кількість можливих дискретних значень амплітуди сигналу є обмеженою і залежить від так званої розрядності АЦП. Так, АЦП розрядністю 8 біт розрізняє $2^8 = 256$ окремих значень сигналу. Наприклад, якщо розрядність АЦП = 2 біт ($2^2=4$), а амплітуда сигналу – 40 одиниць (припустимо, градусів), то в цифровому форматі розрізнятися будуть зміни значень сигналу, які дорівнюють $40/4 = 10$ градусів. Відповідно, комп'ютер не буде розрізняти температури 4 і 8 градусів – ці температури лежать в межах перших 10 градусів. Отже, чим більша розрядність АЦП, тим краще розрізняються найменші зміни потужності сигналу.

Хід роботи

Завдання 1. Опишіть перехід інформації від ДНК до білка. Вкажіть характеристики кодів (кількість літер, рівномірний код чи нерівномірний,

максимальну кількість можливих повідомлень для рівномірного коду), в яких представлена ця інформація. Наведіть власний приклад принципу ізоморфізму інформації в біологічній системі.

Завдання 2. Вимірюється амплітуда потенціалу дії в нервовій клітині за допомогою електродної техніки, підсилювача, АЦП і комп'ютера. Потенціал дії коливається в межах від -60 до 20 мВ. Розрядність АЦП дорівнює 16. яка найменша зміна потенціалу буде вказуватися ЕОМ?

Завдання 3. Періодичне зростання і зменшення швидкості росту рослини відбувається на 2 різних частотах: щотижня і щомісяця. Вимірювання швидкості росту проводяться 6 разів на місяць. Чи буде спостерігатись стробоскопічний ефект при спектральному (у вигляді спектра частот) представленні даних? Якщо так, то на якій частоті буде спостерігатись стробоскопічний ефект?

Питання для самоперевірки:

- 1) Що таке частота дискретизації сигналу?
- 2) Що таке частота Найквіста?
- 3) З якою частотою повинні відбуватися періодичні зміни досліджуваного сигналу по відношенню до частоти опитування, щоб виник стробоскопічний ефект?
- 4) Які типи кодів виділяють в теорії інформації та теорії передачі сигналу?
- 5) Що таке ізоморфізм інформації?

Завдання для індивідуально-дослідницької роботи:

Користуючись даними з курсової роботи, визначити частоту опитування (вимірювання) і визначити, які частоти досліджуваного сигналу не несуть спотвореної інформації. Визначити можливі наслідки наявності стробоскопічного ефекту при вимірюванні сигналу.

Література

1. Бейли Н. Математика в биологии и медицине / Норман Бейли; [пер. с англ. Е. Г. Коваленко]. — М. : Мир, 1970. — С. 106—131.
2. Биологическая кибернетика / А. Б. Коган, Н. П. Наумов, Б. Г. Режабек, О. Г. Чораян. — [2—е изд.]. — М. : Высшая школа, 1977. — С. 320—348.
3. Исаева В. В. Синергетика для биологов. Вводный курс: [учебное пособие] / В. В. Исаева. — Владивосток : ДВГУ, 2003. — С. 42—48.
4. Карегин Ю. А. Синергетика. Курс лекций для биологов: [учебное пособие] / Ю. А. Карегин. — Владивосток : ДВГУ, 2007. — С. 3—12.
5. Наконечний А. Й. Цифрова обробка сигналів [Текст] : навч. посіб. / А. Й. Наконечний, Р. А. Наконечний, В. А. Павлиш. — Львів : Львівська політехніка, 2010. — С. 12—25.
6. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. — М. : Техносфера, 2007. — С. 29—35.

Практична робота 3

Швидке перетворення Фур'є та вейвлет-аналіз

Мета і завдання: засвоїти основи цифрової обробки сигналів, ознайомитись із методами спектрального аналізу даних, вейвлет-аналізом.

Матеріали та обладнання: набір даних (часові ряди), електронні таблиці Excel.

Теоретичні відомості. Серед сучасних методів математичного аналізу біологічних, фізичних, економічних процесів одними з найбільш

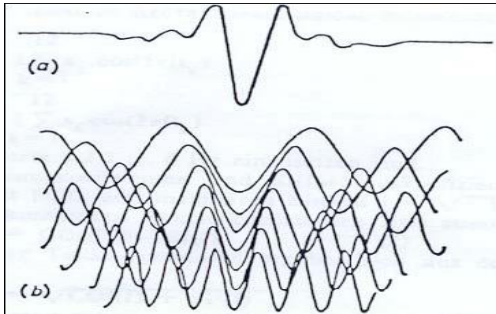


Рис. 2. Результат застосування ШПФ.

популярних є швидке перетворення Фур'є (ШПФ (FFT)) та вейвлет-аналіз. Сутність ШПФ полягає в тому, що будь-який коливальний процес можна уявити у вигляді суперпозиції (дodatку) простих синусоїдальних хвиль різної частоти (рис. 2). При цьому можна визначити внесок кожної частоти у коливальний процес. Подібні відношення можна представити у вигляді спектрограми (рис. 3). На спектрограмі можна чітко побачити, яка частота найсильніше проявляється у процесі, що вивчається.

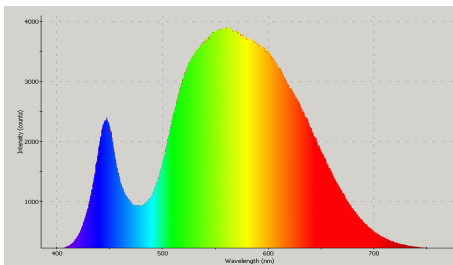


Рис. 3. Спектр сигналу.

Втім, недоліком спектрального аналізу коливальних процесів за допомогою ШПФ є те, що спектрограми не показують, протягом якого часового інтервалу була виражена та чи інша частота. Для того, щоб виявити і відстежити зміни спектральних характеристик досліджуваного

сигналу, використовують вейвлет-аналіз (вейвлет-перетворення). Сутність вейвлет-перетворення полягає в тому, що ділянки коливального процесу сумують із хвилею певної форми (вейвлетом). Після закінчення сумачі, змінюють масштаб вейвлету і проводять сумачію повторно, до тих пір, поки вейвлет не досягне певного масштабу (зазвичай – масштабу всього запису коливального процесу) (рис. 4). Таким чином, малі масштаби вейвлету

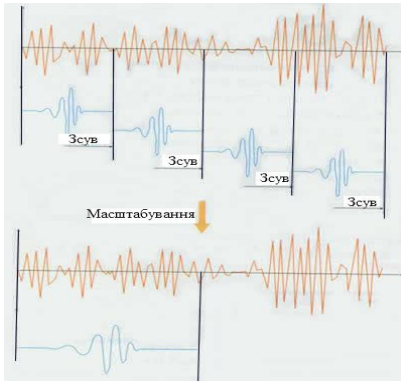


Рис. 4. Принцип вейвлет-перетворення.

підсилюють високочастотні коливання, великі масштаби – низькочастотні. Результати вейвлет-перетворення можуть бути представлені у зручній для аналізу формі, коли по вісі ox відкладається час, по осі oy - частота (точніше – масштаб вейвлету), а по осі oz – потужність тієї чи іншої частоти.

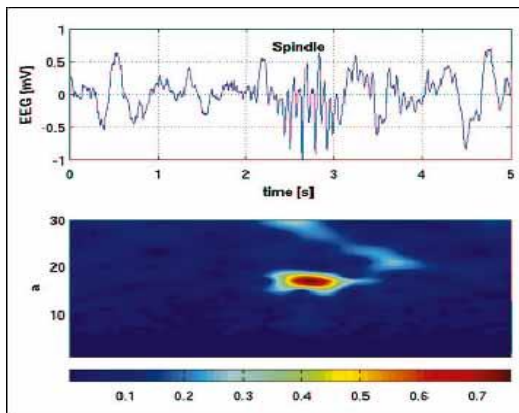


Рис. 5. Вихідний сигнал, та результати його вейвлет-перетворення.

Доволі часто різні рівні потужності позначають різним кольором, що дозволяє не використовувати вісь oz (рис. 5).

Хід роботи

Завдання 1. Визначити внесок різних частот у коливальний процес (16 значень) за допомогою ШПФ.

Пояснення до завдання 1: функція ШПФ є однією з функцій додаткового пакету аналізу MS Excel. Для проведення цього аналізу засобами MS Excel необхідно, щоб кількість значень дорівнювала степеню 2 (2, 4, 8, 16...). Щоб отримати значення потужності кожної частоти, необхідно отримані комплексні числа перевести у дійсні за допомогою функції МНІМ.АВS (ІМАВS). Для визначення значення частоти, що відповідає тому чи іншому значенню потужності, потрібно використати наступну формулу: (Порядковий номер частоти-1)*(частота опитування/кількість значень).

Завдання 2. Виходячи з результатів вейвлет-перетворення на рис. 6, зробити висновок про характерні зміни частотних характеристик сигналу (час і частота).

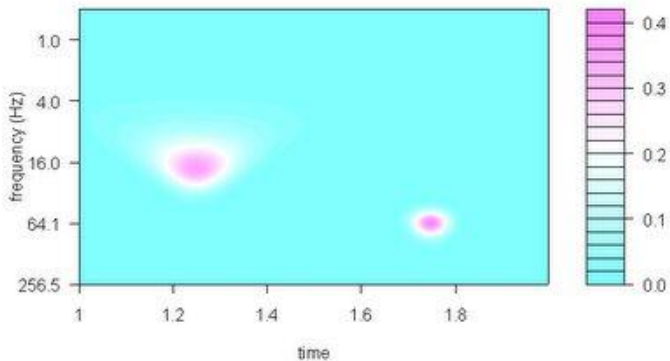


Рис. 6. Результати вейвлет-перетворення вихідного сигналу.

Питання для самоперевірки:

- 1) В чому сутність Фур'є-перетворення?
- 2) Що таке спектр потужності сигналу?
- 3) Що собою являє віконна функція?
- 4) Що таке стаціонарний і нестаціонарний сигнали?
- 5) В чому сутність вейвлет-аналізу?

Завдання для індивідуально-дослідницької роботи:

Користуючись даними з курсової роботи, визначити спектр потужності досліджуваного сигналу та провести його вейвлет-аналіз.

Література

1. Бейли Н. Математика в биологии и медицине / Норман Бейли; [пер. с англ. Е. Г. Коваленко]. — М. : Мир, 1970. — С. 106—131.
2. Биологическая кибернетика / А. Б. Коган, Н. П. Наумов, Б. Г. Режабек, О. Г. Чораян. — [2—е изд.]. — М. : Высшая школа, 1977. — С. 320—347.
3. Наконечний А. Й. Цифрова обробка сигналів [Текст] : навч. посіб. / А. Й. Наконечний, Р. А. Наконечний, В. А. Павлиш. — Львів : Львівська політехніка, 2010. — С. 30—42.
4. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. — М. : Техносфера, 2007. — С. 67—77.
5. Allman E. Mathematical models in biology: an introduction / Elizabeth Allman. — Cambridge UK : Cambridge University Press, 2004. — P. 85—104.

Практична робота 4 Теорія систем

Мета і завдання: засвоїти основні поняття теорії систем, навчитись виділяти основні елементи системи, визначати зв'язки між елементами системи.

Матеріали та обладнання: навчальні посібники біологічної тематики.

Теоретичні відомості. Загальна теорія систем побудована на фундаменті чотирьох аксіом і чотирьох законів, які виводяться з аксіом:

аксіома 1 – в системі завжди є одна постійна генеральна мета (принцип цілеспрямованості, визначеності систем)

аксіома 2 – мета для систем ставиться ззовні (принцип завдання мети для систем)

аксіома 3 – для досягнення мети система повинна діяти певним чином (принцип виконання дії системами)

аксіома 4 – результат дії систем існує незалежно від самих систем (принцип незалежності результату дії)

– закон збереження (принцип постійності дії систем для збереження постійності мети)

– закон причинно-наслідкових обмежень (принцип існування і детермінізму дій систем)

– закон ієрархії цілей (принцип розподілу мети на підцілі)

– закон ієрархії систем (принцип розподілу підцілей між підсистемами і принцип підлеглості підсистем)

Системний аналіз – це процес отримання відповіді на питання: «Чому виконується (не виконується) генеральна мета системи?».

Поняття «Системний аналіз» включає два інших поняття – «система» і «аналіз». Поняття «система» нерозривно пов'язане з поняттям «Мета системи». Поняття «аналіз» означає розкладання по частках (класифікація).

Отже, «системний аналіз» – це розкладання мети системи на її підцілі (класифікація або ієрархія цілей) і розкладання самої системи на її підсистеми (класифікація або ієрархія підсистем) з наміром з'ясувати, які системи (підсистеми) і чому можуть (не можуть) виконати поставлені перед ними цілі (підцілі).

Будь-які системи, у тому числі і системи живого організму, працюють за принципом: «необхідно і досить», який є принципом оптимального управління. Поняття «необхідний» визначає якість мети, а поняття «достатній» – її кількість. Якщо якісні і кількісні параметри мети даною системою можуть бути виконані, вона достатня.

Чому дана система не може виконати дану мету? На це питання відповідає системний аналіз, тому що він може показати, що зазначений об'єкт «складається з... для...», тобто, показати, для якої мети зроблений даний об'єкт, з яких елементів, і яку роль грає кожен елемент для досягнення даної мети.

Основні правила системного аналізу: визначення складності і ієрархії цілей і систем.

Складність системи характеризують і визначають:

- мета (визначає призначення системи)
- блок управління (стежить за правильністю виконання дій для досягнення мети)
- ієрархія (визначає взаємовідношення між всіма елементами системи без виключення)
- виконавчі елементи

Враховуючи зазначене вище, можна досить легко і просто зрозуміти функціонування систем будь-якої складності, зрозуміти, що потрібно, щоб система могла нормально функціонувати (виконувати задані нею цілі) і зрозуміти, чому вона не може цього зробити, якщо вона дефектна.

Поняття мети це центральне поняття системного аналізу. Тільки стабільність відповідності між результатом дії системи та поставленою метою характеризує всю групу взаємодіючих елементів як систему, додаючи їй відмінної ознаки. Якщо немає постійності необхідного результату дії, - немає системи. Мета визначає як елементарний склад систем, так взаємодію її елементів, які управляються блоком управління.

Мета будь-якого організму – вижити за будь-яких умов зовнішнього середовища. Результатом дій організму має бути виживання. Проте ресурси організму обмежені, тому він не може виживати в будь-яких умовах, а тільки у визначених, обмежених його ресурсами. Через обмеженість ресурсів кожен живий організм вибирає певні умови (свою екологічну нішу) і пристосовує свої ресурси саме до даних умов. Для досягнення мети (виживання) організм повинен виконати ланцюг дій, але будь-яка дія вимагає споживання енергії. Тому, одна з підцілей – енергопостачання організму. Для цього необхідно постачати до тканин кисень і забирати вуглекислий газ (підциль – обмін метаболічних газів), а для цього необхідно

забезпечити контакт навколишнього повітря з кров'ю, а для цього потрібно вентилувати легені і т.д., і т. п. Отже, чітко прослідковується ієрархія цілей.

Хід роботи

Завдання 1. Навести приклад біологічної системи, вказати її властивості: мету, блок управління, ієрархію, виконавчі елементи. Замалювати блок-схему такої системи.

Завдання 2. У вказаній системі визначити, як в ній проявляються такі властивості, як емерджентність, надійність, неаддитивність, мультиплікативність.

Питання для самоперевірки:

- 1) Що розуміють під терміном «система»?
- 2) Властивості систем, їх класифікація.
- 3) Термодинамічна класифікація систем.
- 4) Типи зв'язків між елементами системи.
- 5) Характерні особливості біологічних систем.

Завдання для індивідуально-дослідницької роботи:

Користуючись даними з курсової роботи, замалювати структуру досліджуваного явища або об'єкта, або схему проведення експерименту, зазначивши вхідні та вихідні параметри, структурні елементи, зв'язки між ними та типи цих зв'язків.

Література

1. Антонов А. В. Системный анализ: [учебник для вузов] / А. В. Антонов. — М. : Высшая школа, 2004. — С. 61—81.
2. Биологическая кибернетика / А. Б. Коган, Н. П. Наумов, Б. Г. Режабек, О. Г. Чораян. — [2—е изд.]. — М. : Высшая школа, 1977. — С. 48—104.
3. Исаева В. В. Синергетика для биологов. Вводный курс: [учебное пособие] / В. В. Исаева. — Владивосток : ДВГУ, 2003. — С. 37—42.
4. Каретин Ю. А. Синергетика. Курс лекций для биологов: [учебное пособие] / Ю. А. Каретин. — Владивосток : ДВГУ, 2007. — С. 12—27.
5. Самарский А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. — М. : Физматлит, 2002. — С. 11—25.
6. Allman E. Mathematical models in biology: an introduction / Elizabeth Allman. — Cambridge UK : Cambridge University Press, 2004. — P. 39—41.

Практична робота 5

Застосування поняття ентропії по відношенню до біологічних систем

Мета і завдання: засвоїти основні принципи, які визначають організацію та інформаційні процеси в живих системах.

Матеріали та обладнання: калькулятор.

Теоретичні відомості. Поняття ентропії було введено в 1865 році Рудольфом Клаузіусом. Широко використовується поняття ентропії і в біології: живий організм — це перш за все енергетична система, де діють ті ж закони термодинаміки, що і в неживій природі. Проте, живі організми характеризуються деякими особливостями, які відсутні у фізичних об'єктів: розмноження, розвиток та ін. Відповідно, енергетичний обмін таких систем володіє якісною своєрідністю і вимагає спеціального аналізу. Ентропія дає найповнішу і в той же час найбільш узагальнену характеристику системи. Вона може вказувати, які процеси можливі в даних умовах, і до якої межі вони можуть протікати. При оборотних процесах зміна ентропії дорівнює нулю, а при необоротних - вона позитивна. Особливістю біосистем є те, що в них практично немає оборотних процесів. Всі процеси, які в них протікають, носять необоротний характер, тобто супроводжуються збільшенням ентропії. Таким чином, чим більше збільшення ентропії при даному процесі, тим більше він необернений.

Значення ентропії особливо чітко виявляється при розгляді другого принципу термодинаміки: у ізолюваній системі можуть мимоволі протікати тільки такі процеси, при яких ентропія або залишається постійною (оборотні процеси), або збільшується (необоротні процеси). Мимовільного зменшення ентропії в такій системі не відбувається.

Для розгляду можливості застосування другого принципу термодинаміки до біосистем слід брати не організм як такий, а організм разом з ділянкою середовища, що забезпечує його нормальне функціонування протягом певного часу (умовно ізолювана система). До умовно ізолюваної системи другий принцип термодинаміки повністю прикладений. В окремих ділянках цієї системи ентропія, здавалося, може зменшуватися (наприклад, в зеленому листі при фотосинтезі). Проте це зменшення відбувається за рахунок зростання ентропії в іншій частці такої системи (наприклад, в джерелі світла, від якого світлова енергія надходить в лист). В результаті спільна ентропія такої системи, відповідно до другого принципу термодинаміки, не зменшується, а має тенденцію до збільшення.

Особливістю біосистем є те, що багато процесів, що протікають в них, знаходяться на значному віддаленні від термодинамічної рівноваги. В цих умовах для системи характерний дуже інтенсивний обмін ентропією із зовнішнім середовищем, що забезпечує можливість протікання в системі процесів самоорганізації і виникнення специфічних динамічних структур. Все вищенаведене вказує на важливу роль ентропії в біосистемах. Проте потрібно відзначити, що ця термодинамічна функція має декілька

сміслових значень, і не всі вони в рівній мірі можуть застосовуватися до живих організмів.

Ентропія як міра розсіяння енергії при необоротних процесах. Чим більше зростання ентропії при якому-небудь процесі, тим більше розсіяння енергії і тим більш необертним є даний процес.

Ентропія як міра можливості процесу. У цій якості ентропія вказує, що мимоволі можуть протікати тільки такі процеси, при яких ця функція або збільшується (необоротні процеси), або залишається постійною (оборотні процеси). Процеси, при яких ентропія зменшується, мимоволі протікати не можуть, тобто термодинамічно неможливі.

Ентропія як міра впорядкованості системи. Чим менше впорядкованості в системі, тим більшою є її ентропія. Особливо чітко зв'язок ентропії з впорядкованістю системи виявляється у формулі Планка— Больцмана, яка пов'язує ентропію з термодинамічною ймовірністю:

$$S = k \ln W$$

де S — ентропія, k — стала Больцмана, $(3,31 \cdot 10^{24}$ ентропійних одиниць (1 ентропійна одиниця дорівнює $1 \text{ кал} \cdot \text{град}^{-1}$), і W — термодинамічна ймовірність, тобто число способів, якими досягається даний стан.

$$W = N! / (N_1! \cdot N_2! \cdot N_3! \cdot \dots \cdot N_i!),$$

де (якщо йдеться про молекули) N — загальне число молекул, N — число молекул в i -тому фазовому об'ємі.

Приклад:

Припустимо, є система, що складається з трьох відділів. У системі знаходяться дев'ять молекул. Повний безлад в такій системі буде тоді, коли молекули розподілені рівномірно, тобто в кожному відділі буде по три молекули. Термодинамічна ймовірність такої системи дорівнює:

$$W = \frac{9!}{3!3!3!} = 1680.$$

Повна впорядкованість в системі спостерігається при знаходженні всіх дев'яти молекул в одному з трьох відділів. Термодинамічна ймовірність такої системи матиме наступний вигляд:

$$W = \frac{9!}{0!9!0!} = 1.$$

Таким чином, чим більше впорядкованість в даній системі, тим менше її термодинамічна ймовірність, і, отже, тим меншою є ентропія.

Можливість застосування ентропії як міри впорядкованості у відношенні до біосистем можна побачити з результатів обчислень, наскільки змінюється ентропія при утворенні організму людини з елементів, що його складають (мономерів, полімерів, клітин). Впорядкованість людського організму можна оцінити приблизно в 300 ентропійних одиниць.

Для порівняння: настільки саме змінюється ентропія стакана води при її випаруванні.

Хід роботи

Завдання: виходячи з наведених теоретичних даних, оцінити можливість застосування ентропії у якості:

- 1) міри розсіяння енергії при необоротних процесах в біологічних системах.
- 2) міри можливості протікання біологічних процесів.
- 3) міри впорядкованості системи.

Питання для самоперевірки:

- 1) Поняття ентропії, другий закон термодинаміки, його справедливність для біологічних систем.
- 2) Біологічні системи як відкриті системи, їх взаємодія із зовнішнім середовищем з точки зору термодинаміки.
- 3) Що таке негентропія?
- 4) Процеси регуляції та керування як засоби зменшення ентропії живого організму.
- 5) Які типи інформаційних процесів протікають в живому організмі?

Завдання для індивідуально-дослідницької роботи:

Виходячи з результатів курсової роботи, визначити рівень структурованості і описати можливий рівень ентропії в досліджуваному об'єкті, порівнявши його за цими характеристиками із іншими об'єктами.

Література

1. Антонов А. В. Системный анализ: [учебник для вузов] / А. В. Антонов. — М. : Высшая школа, 2004. — С. 101—124.
2. Біофізика / [Костюк П. Г., Зима В. Л., Магура І. С. та ін.]; за ред. П. Г. Костюка. — К. : Обереги, 2001. — С. 25—39.
3. Биологическая кибернетика / А. Б. Коган, Н. П. Наумов, Б. Г. Режабек, О. Г. Чораян. — [2—е изд.]. — М. : Высшая школа, 1977. — С. 105—136.
4. Исаева В. В. Синергетика для биологов. Вводный курс: [учебное пособие] / В. В. Исаева. — Владивосток : ДВГУ, 2003. — С. 107—115.
5. Каретин Ю. А. Синергетика. Курс лекций для биологов: [учебное пособие] / Ю. А. Каретин. — Владивосток : ДВГУ, 2007. — С. 47—58.

Практична робота 6

Теорія ігор та теорія клітинних автоматів у кібернетиці

Мета та завдання: закріпити знання по сучасних напрямках розвитку кібернетики. Ознайомитись із конкретними прикладами теорії ігор та теорії автоматів.

Матеріали та обладнання: комп'ютерні версії ігор «Дилема ув'язненого» та «Життя» (life.june.com.ua).

Теоретичні відомості. Теорія ігор – математичний метод вивчення оптимальних стратегій в іграх. Під грою розуміють процес, у якому приймають участь дві або більше сторін, які ведуть боротьбу за реалізацію власних інтересів. Кожна з цих сторін має власну ціль і використовує власну стратегію. За вичерпністю інформації розрізняють ігри з повною інформацією, у яких кожен гравець знає про місцезнаходження усіх учасників гри в будь-який момент часу (шахи, шашки, го) та ігри з неповною інформацією, де гравцям невідомо, якими ресурсами володіють і якою стратегією користуються інші учасники гри (більшість карткових ігор). За кінцевим результатом ігри поділяють на ігри із нульовим додатком, в таких іграх додаток виграшів та програшів (із знаком «-») буде дорівнювати нулю (шахи, хрестики-нулики і т.д.), та ігри з ненульовим додатком, в таких іграх додаток результатів усіх учасників гри може відрізнитися від нуля (приклад гри з від'ємною сумою – глобальна ядерна війна). У фізіології теорія ігор знаходить застосування при моделюванні вибору домінуючої мотивації, при моделюванні роботи органів, які конкурують між собою у отриманні певних поживних або біологічно активних речовин (що особливо може проявлятися при порушенні функцій цих органів), і т.п.

У біології теорія ігор (зокрема, її частина, пов'язана із т.з. «дилемою ув'язненого») застосовується у етології, еволюційній біології.

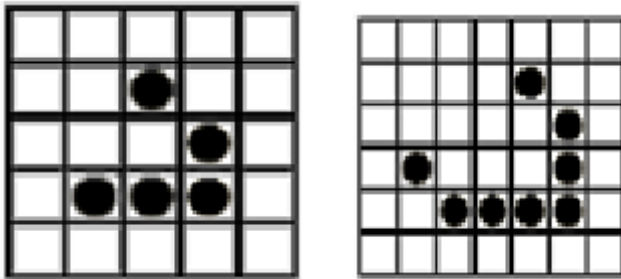
Важливе місце в теорії ігор посідає «дилема ув'язненого». Класичний опис дилеми представлений наступними умовами: двоє підозрюваних, А та Б, арештовані. У поліції немає достатніх доказів для звинувачення, і, ізолювавши їх один від одного, поліція пропонує обом наступне: якщо перший свідчить проти другого, а останній зберігає мовчання, то перший звільняється, а другий отримує 10 років ув'язнення. Якщо обидва мовчать, то через недостатність доказів, обох приговорюють до 6 місяців ув'язнення. Якщо обидва свідчать один проти іншого, обидва отримують по 2 роки ув'язнення. Кожен ув'язнений вибирає, мовчати чи свідчити проти іншого. Жоден з них не знає, що зробить інший. Дилема з'являється, якщо припустити, що обидва намагаються мінімізувати власний термін ув'язнення.

Цікаві модельні уявлення про організацію складних форм поведінки на основі теорії ігор і теорії кінцевих автоматів розроблені Гельфандом і Цетлінім. Зокрема, було показано, що керування численими м'язами тіла будеться на основі вироблення в нервовій системі певних функціональних блоків – синергій, а не шляхом незалежного керування кожним м'язом.

Теорія автоматів – це розділ дискретної математики, який вивчає абстрактні машини у вигляді математичних моделей і проблеми, які вони можуть вирішувати. Найбільш тісно теорія автоматів пов'язана із теорією алгоритмів. Одним з основних напрямків теорії автоматів є вивчення т.з.

клітинних автоматів. Клітинний автомат – це набір клітин, що утворює певну періодичну решітку із певними правилами, що визначають стан клітини в наступний момент часу, виходячи зі стану клітин, що знаходяться на певній відстані (найчастіше – сусідні клітини). Основний напрямок вивчення клітинних автоматів – вивчення можливості алгоритмічного розв’язання тих чи інших проблем. Останнім часом теорія автоматів та теорія алгоритмів набула великого інтересу з боку психологів та фізіологів у зв’язку із популярною думкою про **необчислюваність** (неможливість описати конкретний алгоритм) психічних процесів людини.

Одним з найбільш яскравих прикладів клітинних автоматів є гра «Життя», яку винайшов у 1970 році Джон Конуей. Основна ідея гри полягає в тому, щоб почавши з певного простого розміщення фішок (організмів) на полі, прослідкувати за еволюцією вихідної позиції під дією «генетичних законів Конуея», які визначають народження, загибель та виживання фішок. Генетичні закони Конуея надзвичайно прості: а) фішка виживає і переходить в наступне покоління, якщо поряд з нею зайняті фішками 2 або 3 сусідні клітини; б) фішка гине у випадку, якщо поряд зайнято більше трьох клітин (від «тісняви»), або менше двох клітин (від «самотності»); в) якщо порожня клітина межує рівно з трьома клітинами, на яких є фішки, в цій клітині народжується нова фішка. На рис. 7 представлені фігури, які в процесі гри відтворюють власну структуру («глайдер», «корабель»).



а) б)

Рис. 7. Конфігурації, які відтворюють власну структуру: глайдер (а), корабель (б).

Серед основних властивостей автоматів виділяють наступні: 1) розмірність (кількість вимірів, в яких існує автомат) – наприклад, гра «Життя» є двохвимірним клітинним автоматом; 2) так зване «сусідство» - радіус взаємодії однієї клітини із іншими клітинами: в грі «Життя» він дорівнює 1, тобто клітина взаємодіє тільки із безпосередніми сусідами; 3) форма клітини вказує на кількість сусідніх клітин, із якими вона безпосередньо контактує: в грі «Життя» цей показник дорівнює 8; 4) кількість станів, в яких може перебувати клітина: в грі «Життя» кількість станів клітини дорівнює двом («жива» та «нежива»); 5) кількість кроків,

протягом яких клітина зберігає набутий стан: в грі «Життя» цей показник дорівнює одиниці.

Хід роботи

Завдання 1. Ознайомитись із грою, що відтворює «дилему ув'язненого». Описати стратегії, які призводять до виграшу у грі. Зробити висновки.

Завдання 2. Ознайомитись із грою «Життя» та основними конфігураціями у цій грі. Описати явища самоорганізації, які виникають при певних конфігураціях клітинного автомату. Зробити висновки, вказати на теоретичне та практичне застосування теорії клітинних автоматів у практиці.

Питання для самоперевірки:

- 1) Теорія ігор в кібернетиці, її практичне застосування.
- 2) Типи ігор за кінцевою сумою результатів.
- 3) Теорія клітинних автоматів в кібернетиці.
- 4) Теорія алгоритмів в кібернетиці, її зв'язок із фізіологією.
- 5) Теорема Геделя, її значення у розвитку науки.

Завдання для індивідуально-дослідницької роботи:

Виходячи з даних курсової роботи, описати досліджуваний об'єкт або його складовий елемент як клітинний автомат, зазначивши основні характеристики клітинного автомату (вимірність, «сусідство» і т.д.).

Література

1. Антонов А. В. Системный анализ: [учебник для вузов] / А. В. Антонов. — М. : Высшая школа, 2004. — С. 393—442.
2. Биологическая кибернетика / А. Б. Коган, Н. П. Наумов, Б. Г. Режабек, О. Г. Чораян. — [2—е изд.]. — М. : Высшая школа, 1977. — С. 168—192.
3. Браже Р. А. Синергетика и творчество: [учебное пособие] / Рудольф Александрович Браже. — Ульяновск : УлГТУ, 2002. — С. 131—142.
4. Гроссман С., Тернер Д. Математика для биологов / С. Гроссман, Д. Тернер. — М. : Высшая школа, 1983. — С. 307—310.
5. Исаева В. В. Синергетика для биологов. Вводный курс: [учебное пособие] / В. В. Исаева. — Владивосток : ДВГУ, 2003. — С. 56—66.
6. Карегин Ю. А. Синергетика. Курс лекций для биологов: [учебное пособие] / Ю. А. Карегин. — Владивосток : ДВГУ, 2007. — С. 67—97.
7. Allman E. Mathematical models in biology: an introduction / Elizabeth Allman. — Cambridge UK : Cambridge University Press, 2004. — P. 85—112.

Практична робота 7

Типи моделей біологічних явищ

Мета і завдання: засвоїти знання з основ математичного моделювання біологічних процесів.

Матеріали та обладнання: навчальні посібники біологічної тематики.

Теоретичні відомості. Серед великої кількості типів математичних моделей слід виділити деякі, які найбільш часто застосовуються у біологічних дослідженнях.

Так, в біології доволі часто застосовуються моделі як за типом чорного ящика (в тому випадку, коли потрібно вивчити загальні властивості біологічних систем або встановити відповідність вихідних даних отриманим результатам), так і структурні моделі (в тих випадках, коли досліджується структура певного об'єкта або явища).

Оскільки біологічні об'єкти є складними системами, для більш точного моделювання використовуються нелінійні моделі, – складним системам властива нелінійна поведінка. Втім, при спрощенні моделі або вивченні роботи конкретних складових системи є сенс використовувати лінійні моделі. Слід зазначити, що нелінійність в поведінці біологічних систем визначається не тільки і не стільки великою кількістю складових підсистем, скільки складним характером взаємодій цих підсистем, – нелінійні ефекти виникають внаслідок взаємодій складових елементів системи. При цьому для опису таких ефектів зазвичай вистачає математичного опису роботи двох-трьох підсистем. Також потрібно зауважити, що нелінійність в біологічних системах витікає із взаємозалежності елементів системи. Найпростішим прикладом такої моделі може бути модель «хижак-жертва», в якій поведінка хижака впливає на поведінку жертви, і, внаслідок зворотного зв'язку, – на саму себе.

При моделюванні біологічного явища доволі успішно можна застосовувати статистичні моделі, які базуються на вивченні статистики попередньо отриманих результатів. Такі дані дають можливість встановити, який характер змін досліджуваного показника: лінійне зростання (лінійна модель), зміна показника відповідно до законів геометричної чи арифметичної прогресії, коливальні зміни (неперіодична і періодична модель). Біологічним процесам характерні зміни показників у відповідності до законів геометричної прогресії (процеси росту і розмноження), – якщо не існує обмежуючих факторів, якщо ж такі фактори наявні, то зміни показника набувають характер коливального процесу, який може бути описаний за допомогою системи тригонометричних рівнянь. Слід пам'ятати, що нелінійні процеси характеризуються непараметричним розподілом результатів, і, таким чином, використання статистичних моделей по відношенню до таких явищ в більшості випадків є недоцільним.

Хід роботи

Завдання 1. Дані наступні процеси: а) ріст колонії бактерій на поживному середовищі, який нічим не обмежується; б) коливання протягом доби температури тіла людини (вдень – найбільша, вночі – найменша). Температура тіла людини регулюється роботою симпатичної і парасимпатичної нервових систем; в) розмір популяції травоядної тварини, яка харчується єдиним видом рослини і розмір популяції цієї тварини, таким чином, залежить від кількості рослин на даній території; г) рівномірне зростання кількості гормонів в організмі тварини в залежності від тривалості світлового дня в період зростання світлового дня. Який тип моделі краще характеризує кожен тип біологічного процесу? Намалуйте структурну модель одного з наведених прикладів біологічних процесів.

Завдання 2. На Вашу думку, яка з цих моделей характеризує біологічний процес у наведених вище прикладах: а) $y=ax+b$; б) $y = kx^2$; в) $y=a \sin(x) + b \cos(x)$; г) $x=(\alpha-cy)x$
 $y=(-\beta+dx)y$

Відповідь обґрунтуйте.

Питання для самоперевірки:

- 1) Класифікація математичних моделей, типи математичних моделей за цими класифікаціями.
- 2) Етапи створення математичної моделі.
- 3) В чому полягає складність моделювання біологічних явищ?

Завдання для індивідуально-дослідницької роботи:

Виходячи з даних курсової роботи, вказати, який тип математичної моделі найбільш близький до досліджуваного процесу.

Література

1. Антонов А. В. Системный анализ: [учебник для вузов] / А. В. Антонов. — М. : Высшая школа, 2004. — С. 101—124.
2. Бейли Н. Математика в биологии и медицине / Норман Бейли; [пер. с англ. Е. Г. Коваленко]. — М. : Мир, 1970. — С. 173—201.
3. Биологическая кибернетика / А. Б. Коган, Н. П. Наумов, Б. Г. Режабек, О. Г. Чораян. — [2—е изд.]. — М. : Высшая школа, 1977. — С. 240—256.
4. Гроссман С., Тернер Д. Математика для биологов / С. Гроссман, Д. Тернер. — М. : Высшая школа, 1983. — С. 283—309.
5. Исаева В. В. Синергетика для биологов. Вводный курс: [учебное пособие] / В. В. Исаева. — Владивосток : ДВГУ, 2003. — С. 56—66.
6. Каретин Ю. А. Синергетика. Курс лекций для биологов: [учебное пособие] / Ю. А. Каретин. — Владивосток : ДВГУ, 2007. — С. 67—97.

7. Самарский А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. — М. : Физматлит, 2002. — С. 26—57.
8. Allman E. Mathematical models in biology: an introduction / Elizabeth Allman. — Cambridge UK : Cambridge University Press, 2004. — P. 2—40.

Практична робота 8

Модель росту популяції Мальтуса

Мета і завдання: закріпити знання з основ математичного моделювання біологічних процесів, ознайомитись із основним типом моделей росту біологічних популяцій.

Матеріали та обладнання: калькулятор.

Теоретичні відомості. Однією з найбільш простих і типових математичних моделей біологічних явищ є так звана модель росту популяції Мальтуса. Ця модель враховує кількість нових народжень (f) та кількість померлих осіб (d) в популяції. Тобто на певну кількість народжених (f) припадає певна кількість померлих (d) осіб в популяції. Наприклад, у високорозвиненому людському суспільстві $d=1/70$ (тривалість життя однієї людини приблизно 70 років, отже щороку помирає $1/70$ людської популяції), а $f=4/100$ (на 100 осіб популяції народжується 4 нові особи). Звичайно, ця модель є дуже наближеною. Для вивчення розвитку популяції зручно використовувати ΔP (зміни в чисельності популяції протягом певного часу). Відповідно, $\Delta P=(f-d)P$. Отже, зростання чисельності популяції протягом наступного проміжку часу (P_{t+1}) буде становити $P_{t+1}=P_t+\Delta P=P_t+(f-d)P_t=(1+f-d)P_t$. Зведення декількох констант в оду ($1+f-d \rightarrow \lambda$) дає вираз $P_{t+1}=\lambda P_t$. Така модель називається мальтусовою, на честь видатного математика Томаса Мальтуса, який досліджував ріст біологічних популяцій.

Хід роботи

Завдання. Популяція нараховує спочатку 100 осіб, але протягом однієї години збільшується втричі. Дайте відповідь на наступні питання:

А) Створіть таблицю значень кількості популяції від першого до п'ятого часового інтервалу.

Б) Наведіть два рівняння, що характеризують ріст популяції: перше – описуючи P_{t+1} за допомогою P_t , друге – описуючи ΔP в за допомогою (v термінах) P_t .

В) Опишіть народжуваність і смертність у цій популяції.

Питання для самоперевірки:

- 1) До якого типу моделей відноситься модель Мальтуса?
- 2) В яких галузях біології можна застосовувати модель Мальтуса?
- 3) Які основні недоліки моделі Мальтуса?

Завдання для індивідуально-дослідницької роботи:

Виходячи з даних курсової роботи, описати модель зміни чисельності елементів у досліджуваній системі за типом моделі Мальтуса.

Література

1. Антонов А. В. Системный анализ: [учебник для вузов] / А. В. Антонов. — М. : Высшая школа, 2004. — С. 372—392.
2. Бейли Н. Математика в биологии и медицине / Норман Бейли; [пер. с англ. Е. Г. Коваленко]. — М. : Мир, 1970. — С. 173—201.
3. Биологическая кибернетика / А. Б. Коган, Н. П. Наумов, Б. Г. Режабек, О. Г. Чораян. — [2—е изд.]. — М. : Высшая школа, 1977. — С. 240—256.
4. Гроссман С., Тернер Д. Математика для биологов / С. Гроссман, Д. Тернер. — М. : Высшая школа, 1983. — С. 283—309.
5. Исаева В. В. Синергетика для биологов. Вводный курс: [учебное пособие] / В. В. Исаева. — Владивосток : ДВГУ, 2003. — С. 56—66.
6. Каретин Ю. А. Синергетика. Курс лекций для биологов: [учебное пособие] / Ю. А. Каретин. — Владивосток : ДВГУ, 2007. — С. 67—97.
7. Самарский А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. — М. : Физматлит, 2002. — С. 26—57.
8. Allman E. Mathematical models in biology: an introduction / Elizabeth Allman. — Cambridge UK : Cambridge University Press, 2004. — P. 2—40.

Практична робота 9

Формальний нейрон, нейронні сітки

Мета і завдання: закріпити на практичних прикладах знання про роботу формального нейрона та нейронних сіток.

Матеріали та обладнання: таблиці і малюнки зі схемами нейронних сіток.

Теоретичні відомості. Формальний нейрон в кібернетичі – це перетворювач даних, фізичною сутністю якого можна знехтувати, який сприймає вхідні сигнали, обробляє їх і подає на вихід. Формальний нейрон може представляти собою логічну структуру. Формальний нейрон володіє наступними властивостями:

1) Він може утворювати зв'язки із іншими нейронами (синапси). Нейрони, які не мають синапсів на вході, називаються *вхідними*, і їх біологічним аналогом є рецептори. Решта нейронів називаються *внутрішніми*.

2) Зв'язки між нейронами можуть бути гальмівними та збуджуючими. Формальний нейрон має поріг збудження. Подальше

проходження сигналу по формальному нейрону залежить від суми вхідних сигналів. Якщо сума вхідних сигналів більша або дорівнює значенню порога збудження, то сигнал проходить на вихід нейрона. В разі, якщо сума вхідних сигналів менша за поріг збудження, сигнал на виході відсутній. Загальна сума вхідних сигналів є різницею між сумою сигналів від збуджуючих синапсів та сумою сигналів від гальмівних синапсів.

3) При розгляді роботи формальних нейронів час вважається *дискретним*. Це означає, що кожний нейрон в нейронній сітці у конкретну мить часу може знаходитись лише в одному з двох станів: бути збудженим або незбудженим.

Нейронні сітки – це сукупність нейронів, з'єднаних між собою збуджуючими та гальмівними зв'язками. Складні нейронні сітки можуть мати декілька шарів нейронів.

Хід роботи

Завдання 1. Розподілити гальмівні та збуджуючі зв'язки у зразку нервової сітки.

Зразок нейронної сітки моделює механізм роботи м'язів, які підіймають та опускають крила метелика. Нейронна сітка має три вхідні нейрони - рецептор світла, рецептор тепла (при температурі більше 36 градусів) та рецептор холоду. Якщо сонце не світить і холодно, метелик складає крила. Якщо сонце світить і холодно, метелик розкриває крила. Якщо тепло (більше 36 градусів) і світить сонце, метелик знов складає крила. Виходячи із цих умов, визначити збуджуючі та гальмівні зв'язки в нейронній сітці на рис. 8.

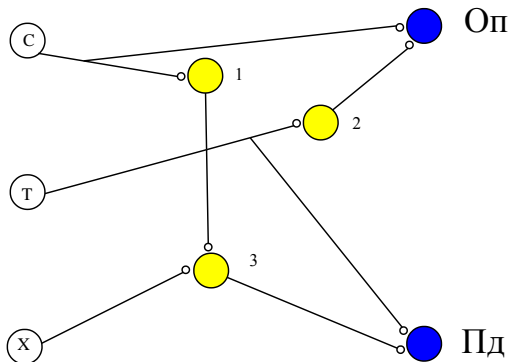


Рис. 8. Нейронна сітка – модель роботи м'язів метелика, які підіймають та опускають крила.

Завдання 2. Описати етапи роботи нейронної сітки - детектора руху у зоровій системі.

Зразок нейронної сітки модулює механізм роботи нейрона-детектора руху в зоровій системі жаби (рис. 9). При постійному надходженні сигналу на один і той самий рецептор, нейрон-детектор перебуває в незбудженому стані. При переході сигналу з одного рецептора до іншого, нейрон-детектор переходить у збуджений стан. Показати етапи проведення імпульсу при: 1) надходженні імпульсу на один і той самий рецептор; 2) при переході вхідного імпульсу з одного рецептора на інший.

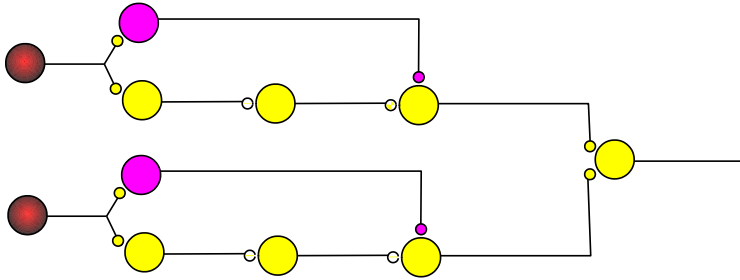


Рис. 9. Модель роботи нейрона-детектора руху у нервовій системі жаби.

Питання для самоперевірки:

- 1) Що таке формальний нейрон?
- 2) Що розуміють під поняттям «дискретного часу» по відношенню до нейронних сіток?
- 3) Які типи формальних нейронів виділяють?
- 4) Які типи логічних операцій можна змоделювати за допомогою нейронних сіток?

Завдання для індивідуально-дослідницької роботи:

Виходячи з даних курсової роботи, описати, які процеси у досліджуваному об'єкті або явищі можуть бути представлені у вигляді роботи нейронної сітки.

Література

1. Исаева В. В. Синергетика для биологов. Вводный курс: [учебное пособие] / В. В. Исаева. — Владивосток : ДВГУ, 2003. — С. 84—91.
2. Каретин Ю. А. Синергетика. Курс лекций для биологов: [учебное пособие] / Ю. А. Каретин. — Владивосток : ДВГУ, 2007. — С. 67—97.
3. Малинецкий Г. Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г. Г. Малинецкий, А. Б. Потапов. — М. : УРСС, 2002. — С. 158—187.
4. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. — М. : Горячая Линия-Телеком, 2007. — С. 22—54.

5. Смолин Д. В. Введение в искусственный интеллект. Конспект лекций: [учебное пособие] / Денис Валерьевич Смолин — М. : Физматлит, 2007. — С. 28—34.
6. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс / Саймон Хайкин. — М. : Диалектика-Вильямс, 2006. — С. 31—88.

Практична робота 10

Використання нейронних сіток у статистичному аналізі даних

Мета і завдання: закріпити знання з теорії нейронних сіток, навчитись застосовувати нейронні сітки для аналізу цифрових даних.

Матеріали та обладнання: цифрові дані по об'єктам, що відносяться до різних категорій, статистична програма із можливістю побудови нейронної сітки (Statgraphics Centurion, Statistica або Neural Lab).

Теоретичні відомості. Останнім часом нейронні сітки набули значної популярності у статистичному аналізі даних. Це пов'язано, по-перше, із розвитком електронної техніки і методів програмування, які дозволяють створювати нейронні сітки в автоматичному режимі, по-друге – із можливістю аналізу нелінійних залежностей в отриманих наборах даних. Тобто, цей метод дозволяє виділити групи даних, які не виділяються іншими методами варіаційної статистики, і які важко визначити «на око». Характерною особливістю нейронних сіток є те, що їх можна навчити класифікувати дані на основі декількох прикладів і в подальшому використовувати навчену нейронну сітку у класифікації нових даних, про які невідомо, до якого класу вони відносяться. Відповідно, виникли методи статистичного аналізу попередніх даних, які дозволяють виявити важливі особливості таких даних і в подальшому більш чітко спрямувати проведення експериментів і отримання нових даних в потрібному напрямку. Такий підхід в аналізі статистичних даних і подальшому їх дослідженні називається DataMining. Багато сучасних статистичних програм підтримують функцію створення нейронних сіток. В такому випадку зазвичай створюються прості за своєю архітектурою нейронні сітки на зразок наведеної (рис. 10).

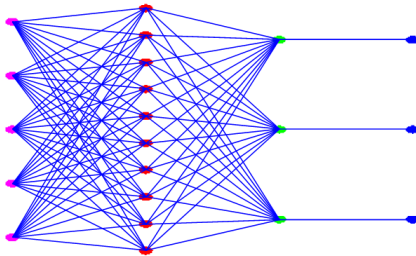


Рис. 10. Приклад структури автоматично створеної нейронної сітки.

В цій нейронній сітці кількість нейронів у вхідному шарі відповідає кількості змінних, які описують дані (5 нейронів), внутрішній шар відповідає кількості випадків, які аналізуються (10 нейронів), вихідний шар відповідає кількості груп, які потрібно визначити (3 групи).

Хід роботи

Завдання. Використовуючи програму для статистичного аналізу або спеціалізоване програмне забезпечення для створення нейронних сіток, проаналізувати за допомогою нейронної сітки (нейронного класифікатора) довільні експериментальні дані, які описують характеристики біологічних об'єктів, що відносяться до різних груп.

Зробити висновки по результатах проведеного аналізу про успішність використання нейронних сіток для статистичного аналізу наведених даних.

Питання для самоперевірки:

- 1) Що таке персептрон?
- 2) Які алгоритми використовуються для навчання нейронних сіток?
- 3) Які типи передатних функцій використовуються в формальній нейронах нейронних сіток?
- 4) Що таке нейрон Хеба?
- 5) Що таке карти Кохонена?

Завдання для індивідуально-дослідницької роботи:

Використовуючи дані курсової роботи, провести за допомогою нейронної сітки статистичний аналіз якості класифікації основних типів явищ або об'єктів, що вивчаються.

Література

1. Исаева В. В. Синергетика для биологов. Вводный курс: [учебное пособие] / В. В. Исаева. — Владивосток : ДВГУ, 2003. — С. 67—68.
2. Каретин Ю. А. Синергетика. Курс лекций для биологов: [учебное пособие] / Ю. А. Каретин. — Владивосток : ДВГУ, 2007. — С. 67—97.
3. Малинецкий Г. Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г. Г. Малинецкий, А. Б. Потапов. — М. : УРСС, 2002. — С. 158—187.
4. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. — М. : Горячая Линия-Телеком, 2007. — С. 22—54.
5. Смолин Д. В. Введение в искусственный интеллект. Конспект лекций: [учебное пособие] / Денис Валерьевич Смолин — М. : Физматлит, 2007. — С. 136—156.
6. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс / Саймон Хайкин. — М. : Диалектика-Вильямс, 2006. — С. 172—218.

Практична робота 11

Основні поняття синергетики. Використання методів синергетики при вивченні функцій організму людини

Мета і завдання: засвоїти основні поняття синергетики. На конкретних прикладах розглянути застосування синергетики для вивчення функцій організму людини.

Матеріали та обладнання: нативні EEG та ЕМГ в цифровому вигляді, комп'ютерна програма Fractan 4.4 для оцінки параметрів динамічного та детерміністичного хаосу.

Теоретичні відомості. В наш час однією з наукових дисциплін, що найбільш інтенсивно розвиваються, є синергетика – міждисциплінарний напрямок наукових досліджень, завданням якого є вивчення природних явищ і процесів на основі принципів самоорганізації систем. Важливим поняттям синергетики є поняття детерміністичного хаосу – складної непередбачуваної поведінки складної детермінованої нелінійної системи. Особливість поведінки таких систем полягає в тому, що найменші помилки у вихідних значеннях параметрів подібних систем в процесі розвитку системи призводять до змін, які неможливо прорахувати, тобто із часом система набуває стану, який неможливо прорахувати і передбачити (рис. 4). Незважаючи на це, подібні системи можна певним чином описувати, в т.ч. – математичними засобами. Справа в тому, що більшість траєкторій вірогідного розвитку систем описується т.з. атракторами. Атрактор – це множина точок у фазовому просторі динамічної системи, до яких прямують траєкторії системи. Якщо траєкторія пройшла достатньо близько до атрактора, то із часом вона вже не покине окіл атрактору і навіть буде спостерігатись ефект притягнення до атрактору (звідси і походить назва атрактору: attract з англійської – притягувати). Основними характеристиками атракторів є наступні показники. Кореляційна розмірність вказує на вимірність фазового простору атракторів (кількість взаємно перпендикулярних осей). Ентропія Колмогорова обернено пропорційна часу, протягом якого може бути передбачена поведінка системи. Показники Ляпунова характеризують швидкість зростання ступеня хаотичності системи, тобто наскільки швидко показники системи відійдуть від прогнозованих значень. Багато атракторів мають кореляційну розмірність, яка не є цілим числом. Тому подібні атрактори називають *дивними атракторами*. Однією з особливостей дивних атракторів є фрактальна структура – частина атрактора повторює форму всього атрактора (рис. 11). Таким чином, знаючи систему рівнянь, які описують частину дивного атрактора, можна відновити систему рівнянь, яка описує весь атрактор. В такому випадку кажуть про *фрактальну* структуру атрактора.

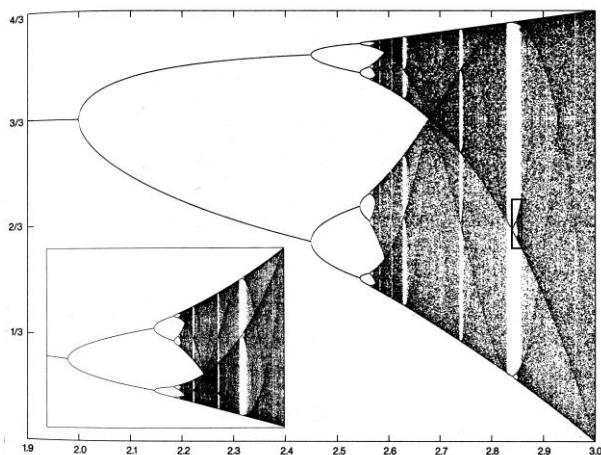


Рис. 11. Траєкторія вірогідного розвитку системи.

Хід роботи

Завдання. Використовуючи програмне забезпечення Tisean або Fractan та цифрові дані - нативну ЕЕГ та ЕМГ (цифрові дані повинні бути представлені у вигляді файлу із часовим рядом у вигляді стовпчика числових значень) порівняти показники кореляційної розмірності в ЕЕГ та ЕМГ, або в ЕЕГ при різних типах функціональних проб. Щоб обчислити кореляційну розмірність за допомогою пакету Tisean, потрібно у командному рядку ввести команду на зразок «d2 mydata.txt -M10 -o» (без лапок), де mydata.txt - ім'я файлу з часовим рядом, -M10 – максимальний вкладений вимір дорівнює 10, -o – параметр, який вказує, що результати будуть виведені у вигляді файлу з тим самим ім'ям, що і назва вихідного файлу і розширенням «.d2». В отриманому файлі будуть міститися декілька груп значень, розділених порожніми рядками, причому перший рядок в групі буде вказувати на порядок вкладеного розміру, другий рядок – на значення кореляційної розмірності. Для процесів із детерміністичним хаосом характерне припинення зростання кореляційної розмірності на певному етапі із збільшенням значення вкладеного виміру. Оскільки більшість біологічних сигналів містить як періодичну, так і хаотичну складові, значення кореляційної розмірності при аналізі таких сигналів буде постійно зростати. В такому випадку вважають, що кореляційна розмірність дорівнює значенню, при якому ціла частина кореляційної розмірності не змінюється із збільшенням значення вкладеного виміру.

Зробити висновки про складність процесів, які лежать в основі виникнення ЕЕГ та ЕМГ.

Питання для самопідготовки:

- 1) Поняття про самоорганізацію. Самоорганізація живої матерії.
- 2) Роль процесів самоорганізації у діяльності мозку.
- 3) Основні поняття синергетики.
- 4) Що таке кореляційна розмірність та експонента Ляпунова, що ці показники характеризують?
- 5) Що таке фрактал? Типи фракталів.
- 6) Що таке фрактальна розмірність?

Завдання для індивідуально-дослідницької роботи:

Використовуючи дані курсової роботи, визначити кореляційну розмірність процесів, що вивчаються. Порахувати фрактальну розмірність для морфологічних структур різних біологічних організмів.

Література

1. Бак П., Чен К. Самоорганизованная критичность / П. Бак, К. Чен // В мире науки. — 1991. — № 3. — С. 16—24.
2. Браже Р. А. Синергетика и творчество: [учебное пособие] / Рудольф Александрович Браже. — Ульяновск : УлГТУ, 2002. — С. 11—44.
3. Исаева В. В. Синергетика для биологов. Вводный курс: [учебное пособие] / В. В. Исаева. — Владивосток : ДВГУ, 2003. — С. 7—15.
4. Каретин Ю. А. Синергетика. Курс лекций для биологов: [учебное пособие] / Ю. А. Каретин. — Владивосток : ДВГУ, 2007. — С. 58—67.
5. Малинецкий Г. Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г. Г. Малинецкий, А. Б. Потапов. — М. : УРСС, 2002. — С. 35—94.
6. Allman E. Mathematical models in biology: an introduction / Elizabeth Allman. — Cambridge UK : Cambridge University Press, 2004. — P. 85—112.

ДЛЯ НОТАТОК