4. Грицик В.В., Айзенберг Н.Н., Бунь Р.А., Данилюк О.В., Гече Ф.Є., Кисіль Б.В., Олексів Б.Я., Опотяк Ю.В., Стямець С.П., Ткаченко Р.О., Вальковський В.О., Войчишин К.С. Нейронні та нейроподібні мережі: синтез, реалізація, застосування та майбутнє // Інформаційні технології і системи. – 1998. – № 1/2. – С.15–52.
5. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польск. И. Д. Рудинского.: – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
6. Cover T. Geometrical and statistical properties of system of linear inequalities with applications in pattern recognition // IEEE Trans. Electronic Computers, 1965. - Vol. 14. -Pp. 326-334.
7. Ткаченко Р., Юрчак І., Цимбал Ю. Неітераційне навчання нейронних мереж прямого поширення // Матли міжн. наук.-техн. конференції " Інформаційні системи та технології", Львів, 21–23 жовтня, 1999 р. – С. 12–15.
8. Wright E.O. Classes. New York: Verso, 1985.

Я.Драган , М.Медиковський, Л.Сікора*
Національний університет "Львівська політехніка"
*Центр стратегічних досліджень екобіотехнічних систем

УДК 538 56

СИСТЕМНО-СИГНАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ РИТМІКИ В БІОСОЦІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

© Драган Я., Медиковський М., Сікора Л., 2003

Сформульовано певні загальні принципи системного аналізу біосоціотехнічних систем, зокрема принципи вираження специфіки ритміки властивостями характеристик моделей сигналів, що несуть відомості про стан таких систем і механізми породження цієї ритміки.

Some general principles of system analysis concerning biosocial and technical systems, in particular the principles for description of rhythmics specificness by the properties of models characteristics of signals which transfer data about states of such systems and about this rhythmics generation machanisms.

Вступ

Для складних систем, що стали останнім часом об'єктом вивчення у багатьох галузях науки, особливо пов'язаних з інформаційними проблемами, характерними є, за термінологією біокібернетиків, гомеостаз і ритм [1]. Ця властивість притаманна не тільки біомедичним об'єктам, але й суспільним і виробничим. Крім суто внутрішніх причин існування ритму, його задає добово-сезонний хід астрометсорологічних процесів [2]. І часто власне ритм є механізмом забезпечення гомеостазу – стабільності функціонування системи. Такими (тобто ритмічними) є не тільки такі природні процеси в живих організмах, як серцебиття, дихання, активності – сну тощо, але й соціальні процеси праці як тижневий сезонний ритм (включно з переходом на так званий літній

час), а також функціонування продукційних закладів, установ освіти, торгівлі і всієї сфери обслуговування.

Тому актуальним є вироблення як системного підходу до опису проявів ритміки у сиґналах – фізичних носіях відомостей про просторово-часову структуру (тобто будову і функціонування) систем, так і концепції механізмів породження ритміки. Часто ритм, навіть у серйозних публікаціях, трактують як просту періодичність, зокрема у проблемі так званого біологічного годинника [3]. Як було вже аргументовано показано [2,4], модель ритміки має бути зовсім іншим математичним об'єктом – спеціального вигляду випадковим процесом, який поєднує в собі як різні можливі види повторності, так і випадковість у сенсі теорії ймовірностей, а повторність міститься у властивостях ймовірнісних характеристик цих процесів. При цьому повторність значень характеристик адекватно щодо специфіки кратності ритміки типу добово-сезонної з "накладанням" на неї 11-річного сонячного циклу описується частковим випадком майже періодичності – так званою (в математиці) квазіперіодичністю. Цей термін для опису ритміки виявився незручним, оскільки неможливо вказати, скільки власне ритмів як періодичностей у характеристиках враховано. Тому вжито було [4] термін "поліперіодичність", хоч краще було б сказати "поліперіодність" згідно з терміном "багаточастотність" з теорії коливань. При цьому докладно проаналізовано подвійну ритміку на підставі її моделі у вигляді біперіодично корельованого випадкового процесу [5,6].

Моделі породження та реєстрограм ритміки

Системний підхід до опису механізму породження ритміки має базуватись на постулаті, що сигнал є не тільки носієм відомостей про властивості системи, а найперше є свідченням про функціонування системи, його закономірності. Щоб розкрити їх, "виявити" й описати, потрібна модель, яка б обґрунтувала алґоритми опрацювання сиґналу для такого виявлення й установлення оцінок характеристик функціонування.

Ритміка – наявність ритмічної повторності значень сигналу, не обов'язково точної, а часто тільки повторності значень характеристик випадкового процесу, що є моделлю цього сигналу. А ритм має у своїй основі проходження системою (тобто в часі) послідовності повторних фаз у її розвитку (еволюції).

Щоб описати можливість такого прояву, фазовий простір системи має бути розбитий на певні різні фази, а зображна точка (мітка) системи тоді пробігає їх у певній послідовності, і точка простору, куди вона потрапляє у даний момент, визначає (чи краще б сказати – описує) стан системи у цей момент.

Поняття фазового простору в загальній теорії системи запозичено з так званої теорії динамічних систем. Його запропонував А. Пуанкаре, щоб вилучити час із явного опису еволюції системи. Тепер під фазовим простором (від *гр.* поява) розуміють сукупність усіх можливих станів фізичної чи іншої за природою системи, наділену відповідною структурою згідно з природою системи і задачами. Стани колись називали фазами, а тепер ці поняття розрізняють: фаза може охоплювати цілу сукупність споріднених якоюсь ознакою станів.

З кожною множиною розбиття простору станів, що їх пробігає мітка (зображна точка), зіставляють певні значення характеристик системи. І коли трактувати систему як детерміновану, ці значення безпосередньо, тобто каузально (причинно), визначають

значення отримуваного від системи сигналу, а коли систему трактувати як стохастичну, то з кожною множиною розбиття слід зіставити окремий універсум у сенсі теорії ймовірностей, і тоді зображна точка матиме ще один ступінь вільності в цьому універсумі, породжуючи значення випадкової величини як опису стану системи і відповідного йому значення сигналу.

Оцінення стану системи за прийнятим сигналом фактично є розв'язанням зворотної логічної задачі, бо за висновком треба реконструювати (можливий) механізм його породження. Такий підхід розвиває і формалізує ідею діагнозу, тобто, у свою чергу, розвиток аналізу, статистики.

Конкретні моделі реєстрограм ритміки як стохастичних коливань та відображення їх у властивостях сигналів, а також принципи оцінення їхніх характеристик охарактеризовано у працях [2,4].

Початково наслідували Ф. Гальберґа, який, керуючись ідеєю розробити апарат, що описував би весь процес, а не окремий його стан, розвинув так званий косінор-аналіз у хронобіології. Цей апарат "дає змогу розрахувати амплітуду і початкову фазу (акрофазу) гармоніки ритму" ([7], де відновлено відповідний алгоритм, бо у Гальберґа точного опису його немає).

Суть цього алгоритму така: вхідними даними є "пучок хронограм", кожну з яких будують за не менш ніж трьома замірами, які можуть бути еквідистантними чи ні, і заміряння в той самий час доби – необов'язкова вимога. Кожну хронограму апроксимують синусоїдою методом найменших квадратів, а синусоїду зображують на площині точкою, полярними координатами якої є амплітуда й акрофаза. Всі отримані в такий спосіб точки у декартових координатах трактують як реалізації двовимірної випадкової величини з гіпотетичним нормальним розподілом і будують еліпс розсіяння генерального середнього. Результуючий висновок косінор-аналізу, отримуваний з усередненого пучка хронограм, є амплітудою й акрофазою синусоїди заданого дослідником періоду. Їх указують у довірчому, установленому ним інтервалі, межі якого обчислюють досить просто.

Розгляд косінор-аналізу підтверджує суттєвність концепції – модель має відображати у своїй структурі суттєві властивості досліджуваного об'єкта, але тільки і винятково з погляду розв'язуваних при цьому задач. Власне потреби у відомостях, необхідних для розв'язання конкретного типу задач, визначають, які ж властивості об'єкта є суттєвими в даному разі.

Косінор-аналіз, оцінюючи тільки два параметри ритму – амплітуду й акрофазу, оцінює як інтенсивність біоритмів за амплітудами, так і ступінь їхньої синхронності за різницею акрофаз. А дослідження форми хвилі біоритмів, не пов'язане з косінор-аналізом, могло б розкрити функційну значущість форми і показати, "що стоїть за несинусоїдністю біоритмів" [7].

І вже у праці [2] було аргументовано використання періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП) в ролі ймовірнісної моделі ритміки. По-перше, тому що вона переносить ідею повторності на випадкові процеси як періодичність їхніх характеристик – у теорії другого порядку ними є матсподівання $m_\xi(t) = E\xi(t)$ та коваріація $r_\xi(t,s) \equiv E\overset{\circ}{\xi}(t)\overline{\overset{\circ}{\xi}(s)}$, де E – символ усереднення за розподілом процесу $\xi(t)$, $\overset{\circ}{\xi}(t) = \xi(t) - m_\xi(t)$ – центроване значення процесу, а риска над виразом – символ комплексного

спряження (розглядати комплекснозначні процеси зручно з математичного погляду). І названа періодичність формулюється так: існує таке число $T > 0$, що названі характеристики інваріантні (тобто незмінні) при зсувах у часі на величини, кратні до T, тобто $m_\xi(t + T) = m_\xi(t)$, $r_\xi(t + T, s + T) = r_\xi(t, s)$. А по-друге, модель ритміки у вигляді ПКВП охоплює як часткові випадки використовувані часто такі моделі ритміки, як

1) адитивна

$$\xi(t) = f(t) + \eta(t),$$

де $f(t)$ – періодична періоду T функція, а $\eta(t)$ – стаціонарний випадковий процес,

2) мультиплікативна

$$\xi(t) = f(t)\eta(t),$$

3) адитивно-мультиплікативна

$$\xi(t) = f_1(t)\eta(t) + f_2(t),$$

що є поєднанням обох попередніх, та різні імпульсні моделі, які являють собою модульовану стаціонарним процесом чи стаціонарною послідовністю сукупність еквідистантних (з відстанню T) імпульсів [8], а також імпульсний пуассонів процес з періодичною інтенсивністю пуассонових точок [9]. До них належать і лінійні процеси, породжені періодичним формівним фільтром, окремим прикладом якого є розв'язок дифрівняння з періодичними коефіцієнтами, коли правою його частиною є білий шум або стаціонарний випадковий процес. Це так звана модель О. Коронкевича, який власне й запровадив ПКВП ([2]).

Косінор-аналіз фактично зводить ритм до часткового випадку адитивної моделі, коли періодична функція є поодинокою синусоїдою.

Установлено ([10, 11]), що коваріація ПКВП має подання у вигляді подвійного ряду

$$r(t,s) = \sum_{k,j\in\mathbf{Z}} e^{i\Lambda(kt-js)} D_{kj}(t-s), \ \forall t,s \in \mathbf{R}, \tag{1}$$

де $\Lambda = 2\pi/T$ – базова частота процесу, $\mathbf{Z}$ – множина цілих чисел, $\mathbf{R}$ – множина дійсних чисел, $\forall$ – квантор загальності ("для всіх"), $D(u) = [D_{kj}(u)]$ – додатньо означена матриця-функція. Це подання рівносильне поданню процесу одинарним рядом (так зване подання через стаціонарні компоненти)

$$\xi(t) = \sum_{k\in\mathbf{Z}} e^{i\Lambda kt} \xi_k(t), \tag{2}$$

де $\xi(t) = [\xi_k(t)]$ – векторний стаціонарний процес. Збіжність останнього ряду є в енергетичній метриці $\|\cdot\|_{h^T} = \frac{1}{T}\int^T \mathbf{E}|\cdot|^2 dt$ ([10]), коли нормою є середня за період корельованості усереднена за розподілом миттєва потужність процесу.

Формули (1) і (2) є підставою обґрунтування алгоритмів опрацювання сиґналів ритміки статистичними методами, якщо її моделлю є ПКВП.

Моделі кратної ритміки дають так звані полі ПКВП, для яких за означенням характеристики $m_\xi(t)$, та $b_\xi(t, u) = r_\xi(t + u, t)$ є квазіперіодичними за функціями, тобто майже періодичними такими, що їхні показники Фур'є мають вигляд $\lambda_k = \sum_{k=\overline{1,N}} n_{kj}\Lambda_j$, $k \in \mathbf{Z}$ де n_{kj} – цілі, а $\Lambda_j, j = \overline{1, N}$ – несумірні числа.

Базовані на моделі ритміки у вигляді ПКВП, яка охоплює і стаціонарний процес, алгоритми вимірювання характеристик складних систем та опрацювання отриманих при цьому даних є тоді підставою адаптації до наявних умов засобів керування процесами у системі шляхом створення і використання набору стратегій, які у сукупності ґарантують утримання фазової мітки системи в області найімовірніших станів. Вибір таких станів разом з застосуванням названого методу адаптації забезпечує гомеостаз складної системи і стабільність її функціонування за змін у зовнішніх умовах і ґарантує успіх роботи системи.

Висновок

Конкретні приклади такого підходу до створення засобів автоматичного керування описані у працях [12–16], в яких розглянуто методи аналізу і синтезу структури і динаміки як об'єктів, так і систем керування. В них для формування керуючих дій використані вищенаведені концепції, які покладені в основу синтезу класів стратегій, що дозволяє адаптуватися технологічній структурі до зміни параметрів динаміки зовнішнього середовища і ґарантує відповідний режим функціонування технологічного процесу в умовах дії збурень на матеріальні, енергетичні та інформаційні ресурси.

1. Гольдэкр Р. Регуляция ритма и гомеостазис в биологии и медицине // Кибернетика и живой организм. – К.:Наук.думка, 1984. – С. 31–52.
2. Информационные связи биогелиофизических явлений и элементы их прогноза / К.С. Войчишин, Я.П. Драган, В.И. Куксенко, В.Н. Михайловский. – К.: Наук. думка, 1974. - 208с.
3. Luce G.G. Biological rhythms in human and animal physiology. – New York: Dover publ., Inc, 1975. – 183p.
4. Драган Я., Євтух П., Сікора Л., Яворський Б. Поліперіодично корельовані випадкові процеси як адекватні моделі кратної ритміки природних явищ і технологічних процесів // Комп'ютерні технології друкарства. – 2000. - №4. – С. 269–290.
5. Драган Я.П. О бипериодических коррелированных случайных процессах // Отбор и передача информации. – 1972. – Вып. 34. – С.12–14.
6. Драган Я.П. , Яворский И.Н. Ритмика морского волнения и подводные акустические сигналы. – К.:Наук.думка, 1982. – 248с.
7. Емельянов И.П. Формы колебаний в биоритмологии. – Новосибирск: Наука, 1976. – 127с.
8. Войчишин К.С., Драган Я.П. О некоторых свойствах стохастической модели системы с периодически изменяющимися параметрами // Алгоритмизация производственных процесов. – К.: Вид. Ін-ту кіберн. АН УРСР 1972. - С. 11–26.
9. Войчишин К.С., Драган Я.П. Пример образования периодически коррелированых случайных процессов // Радиотехника и электроника. – 1973. – 18, №9. – С. 1957–1960.
10. Драган Я.П. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів. – Львів: Центр стратегічних досліджень еко-біотехнічних систем, серія ТСС, Т1, 1997. – XVI+349с.
11. Драган Я.П., Сікора Л.С., Яворський Б.І. Основи сучасної теорії стохастичних сигналів: енергетична концепція,математичний апарат, фізичне тлумачення. – Львів: Центр стратегічних досліджень еко-біотехнічних систем, серія ТСС. – Т. 4. – 1999. – 133с.
12. Сікора Л.С. Інформаційно-ресурсна концепція ідентифікації і синтезу робасних систем управління. – Львів: Центр стратегічних досліджень еко-біотехнічних систем, серія ТСС. – Т. 5 – 1999. – 372с.

13. Сікора Л.С. Робасні та інформаційні концепції в процедурах синтезу систем управління. - Львів: Центр стратегічних досліджень еко-біотехнічних систем. – Серія ТСС. – Т. 6. – 2001. – 577с.
14.Сікора Л.С. Лазерні інформаційно-вимірювальні системи для управління технологічними процесами. – Ч. 2. Системологія прийняття рішень на управління в складних технологічних структурах. Т. 3. – Львів: Каменяр, 1998. – 453 с.
15. Сікора Л.С., Драган Я.П., Медиковський М.О. Системологія і логіка формування процедур прийняття рішень //1-й Международный радиоэлектронный форум "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития": Сб. науч.трудов. – Харків: Нац. ун-т радіоелектроніки, 2002. – С.44–46.
16. Омельченко В.О., Безрук В.М., Драган Я.П., Колесников О.О., Омельченко А.В. Імовірнісні моделі випадкових сигналів та полів у прикладах і задачах: Навч. посібник / За ред. В.О.Омельченка. – К.: ІСДО, 1996. – 272с.

Е. Хаймуді, Ю.Цимбал
Національний університет "Львівська політехніка"

УДК 681.142.37

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ РЕАЛІЗАЦІЙ ДЛЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

© Хаймуді Е., Цимбал Ю., 2003

Розглянуто моделі штучних нейронних мереж із попередньою обробкою реалізацій на основі геометричного підходу для застосування у задачах розпізнавання образів. Проведено експерименти на практичних задачах, які підтвердили доцільність застосування запропонованих методів попередньої обробки у картах із самоорганізацією та мережах зустрічного поширення. Побудовані дво- та тривимірні топографічні карти для візуалізації отриманих результатів розпізнавання.

The artificial neural network models with preprocessing of input vectors are considered on the basis of the geometrical approach for application in the tasks of pattern recognition. The experiments on the practical tasks have been carried out. The expediency of application of the offered methods of preprocessing in self-organizing maps and counter propagation networks of has been confirmed. 2D and 3D topographical maps for visualization of the obtained results of recognition have been constructed.

Вступ

Останнім часом при розв'язанні інтелектуальних задач (розпізнавання образів, адаптивного керування, прогнозування, діагностики) значного поширення набули сис-