стратегій) та в умовах повної відсутності обміну інформацією гравці колективними зусиллями забезпечують розв'язування задачі перехоплення активного об'єкта. Властивість самоорганізації забезпечується статистичним навчанням активних елементів у середовищі з апріорі невідомими характеристиками.

Невирішеними залишаються питання ефективності ігрових методів переслідування при корельованих втратах гравців, нестаціонарних завадах та при обміні інформацією між гравцями.

1. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. Серия "Информатизация России на пороге XXI века". – М.: СИНТЕГ, 1999. 2. Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем. Серия "Информатизация России на пороге XXI века". – М.: СИНТЕГ, 1999. 3. Gerhard Weiss and Sandip Sen, editors. Adaptation and Learning in Multiagent Systems. Springer Verlag, Berlin, 1996. 4. Stone P. Layered Learning in Multiagent Systems. MIT Press, 2000. 5. Stone P. Layered Learning in Multiagent Systems. MIT Press, 2000. 5. Wooldridge M. An Introduction to Multiagent Systems. John Wiley & Sons (Chichester, England), 2002. 6. Воробьев Н.Н. Основы теории игр: Бескоалиционные игры. – М.: Наука, 1984. 7. Доманский В.К. Стохастические игры // Математические вопросы кибернетики. – 1988. – № 1. – С. 26–49. 8. Fudenberg D., Levine D.K. The Theory of Learning in Games. MIT Press, 1998. 9. Кравець П.О. Рекурентні ігрові алгоритми з обміном інформацією // Інформаційні системи та мережі: Вісник ДУ "Львівська політехніка". – 1999. – № 383. – С. 112–128. 10. Кравець П.О. Регуляризований ігровий метод керування випадковими процесами в умовах невизначеності // Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології: Вісник НУ "Львівська політехніка". – 2002. – № 468. – С. 101 – 109. 11. Кравець П.О. Самоорганізація гри активних елементів в умовах дії колективних оцінок // Искусственный интеллект: Міжнародний науково-теоретичний журнал Інституту проблем штучного інтелекту. – Донецьк. – 2004 – № 4. – С. 358 – 367. 12. Korf R. E. A Simple Solution to Pursuit Games // Proceedings of the Eleventh International Workshop on Distributed Artificial Intelligence, Glen Arbor, Michigan,February 1992, pp. 183–194. 13. Stephens L. M., Merx M. The Effect of Agent Control Strategy on the Performance of a DAI Pursuit Problem // Proceedings of the Tenth International Workshop on Distributed Artificial Intelligence, Bandera, Texas, October 1990, pp. 263–292. 14. Назин А.В., Позняк А.С. Адаптивный выбор вариантов: Рекуррентные алгоритмы. – М.: Наука, 1986. 15. Вазан М. Стохастическая аппроксимация. – М.: Мир, 1972. 16. Мулен Э. Теория игр с примерами из математической экономики. – М.: Мир, 1985. 17. Невельсон М.Б., Хасьминский Р.З. Стохастическая оптимизация и рекуррентное оценивание. – М.: Наука, 1972.

УДК 621.3

Я.М. Матвійчук, В.К. Паучок
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань
Тернопільська академія народного господарства

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ МАКРОМОДЕЛЮВАННЯ ГЕО-ГЕЛІОГЕННИХ ВЕЛИЧИН

Описано макромодельний підхід, що дасть змогу адекватно описати динамічний вплив сонячного вітру на земну сейсміку та приповерхневий інфразвук.

The macromodel approach permitting adequately to describe dynamic influencing of a solar wind on earth seismicyty and near-surface infrasound is discribed.

Вступ

Живі організми та технічні вироби зазнають невпинного фізичного впливу малих коливань фізичних полів Землі й Сонця. Наслідки цього впливу, як біологічні, наприклад, – магнітобіологічні ефекти [1], чутливість до сонячної активності [2], так й технічні, зокрема, порушення стійкості роботи засобів зв'язку, вимірювального обладнання, становлять важливу тему досліджень біологічних й технічних наук. Тому постає актуальна задача моделювання основних гео-геліогенних величин, до яких, зокрема, зараховують сейсмічну активність, амплітуду інфразвуку на поверхні Землі та інтенсивність сонячного вітру.

Основна частина

Теоретичний опис таких величин становить складну задачу, розв'язання якої потребує суттєвого спрощення та ідеалізації. Так, рівняння Максвелла, записані для земного й сонячного електромагнітних полів, рівняння Ома та Кірхгофа для струмів Фуко, що циркулюють в рідкому провідному ядрі Землі з надвисоким тиском, урахування сили Лоренца, що спричиняє коливання провідних пластів, врахування теплопереносу й дифузії, – це далеко не повний перелік співвідношень, які потрібно взяти до уваги, обмежуючись межами класичної електродинаміки. До цього треба додати імовірні описи геологічної структури Землі, особливості перебігу реакцій на Сонці, фотосферної конвенції тощо.

Тому для моделювання основних гео-геліогенних величин шукають альтернативних методів. Так, в роботі [3] для розв'язання подібної задачі застосовано апарат нейронних мереж. Як відомо, суттєвим недоліком такого підходу є відсутність методів подолання некоректності під час ідентифікації („навчання”) нейронної мережі.

З уваги на це для опису взаємозв'язку між вибраними гео-геліогенними величинами – сонячною активністю, сейсмічною активністю й рівнем інфразвуку – запропоновано підхід математичного макромоделювання. Зокрема, взято структуру макромоделі у формі системи звичайних диференціальних рівнянь спеціального виду, яка для загального багатовимірного випадку обґрунтована в [4] та використовувалась для моделювання різних одновимірних об'єктів у [5–9].

Отже, поставлено задачу побудови динамічної макромоделі взаємодії Землі зі сонячною радіацією протягом часу T за трьома величинами – інтенсивність сонячного вітру $u(t)$, активність сейсмічних коливань $y_1(t)$, амплітуда інфразвуку біля поверхні Землі $y_2(t)$ на основі експериментальних даних

$$u(t_k),\, y_1(t_k),\, y_2(t_k);\;\; t_k \in [0,\, T];\;\; k=1,\ldots,m, \tag{1}$$

де m – кількість дискретних вимірювань, виконаних за спеціальними методиками.

Оскільки сейсмічна активність й інфразвук мають геогенне походження, а сонячна активність є зовнішнім чинником, є підстави припускати, що вибрані величини пов'язує система алгебро-диференціальних рівнянь загального вигляду

$$\begin{aligned} \dot{\bar{x}} &= \bar{f}(\bar{x},u,t), \\ \bar{y} &= \bar{\varphi}(\bar{x},u,t), \end{aligned} \tag{2}$$

де $u(t)$ – дійсна функція, що відображає сонячну активність, яка є зовнішньою дією щодо модельованого об'єкта; $\bar{y}(t)=\left(y_1(t), y_2(t)\right)$ – дійсна вектор-функція, що відображає сейсмічну активність $y_1(t)$ та інфразвук $y_2(t)$ як реакцію об'єкта; $\bar{x}(t)$ – невідомий вектор станів; $\bar{\varphi}(.)$, $\bar{f}(.)$ – невідомі вектор-функції.

В [4] показано, що системі (2) еквівалентна за входом-виходом система

$$\begin{aligned} &\frac{d}{dt}\begin{pmatrix} y_{10} \\ y_{20} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{11} \\ y_{21} \end{pmatrix}; \\ &\frac{d}{dt}\begin{pmatrix} y_{11} \\ y_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{12} \\ y_{22} \end{pmatrix}; \\ &\ldots \\ &\frac{d}{dt}\begin{pmatrix} y_{1n} \\ y_{2n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P(c^1, \tilde{y}(t), \tilde{u}(t)) \\ P(c^2, \tilde{y}(t), \tilde{u}(t)) \end{pmatrix}, \end{aligned} \tag{3}$$

де $y\;(t)=(y_{10}(t),\dots y_{1n}(t),y_{20}(t),\dots,y_{2n}(t))$, $u\;(t)=(u_0(t),\ u_1(t))$; $y_{1i} \equiv y_1^{(i)}$; $y_{2i} \equiv y_2^{(i)}$; $u_j \equiv u^{(j)}$; n – порядок модельованої динамічної системи; $P(\ )$ – багатовимірний поліном

$$P\left(c^q, \tilde{y}(t), \tilde{u}(t)\right) = \sum_I c_I^q y_{10}^{i_{10}}(t) \dots y_{1n}^{i_{1n}}(t) y_{20}^{i_{20}}(t) \dots y_{2n}^{i_{2n}}(t) u_0^{j_0}(t) u_1^{j_1}(t)\ , \tag{4}$$

де q=1,2; I – мультиіндекс $I = (i_{10},\dots,i_{1n},i_{20},\dots,i_{2n}, j_0, j_1)$, $0 \le i_0^1 + \dots + i_n^1 + i_0^2 + \dots + i_n^2 + j_0 + j_1 < r$.

Параметрична ідентифікація макромоделі (3) полягає в обчисленні похідних дискретних залежностей (1)

$$y_{qi}(t_k) = \frac{d^i y_q(t)}{dt^i}\Big|_{t=t_k}\ ;\ u_j(t_k) = \frac{d^j y(t)}{dt^j}\Big|_{t=t_k}\ ;\ q=1,2;\ i=0,\dots,n+1;\ j=0,1;\ k=0,\dots,m; \tag{5}$$

та визначенні векторів коефіцієнтів апроксимації c^1, c^2 за лінійною задачею мінімізації:

$$\min_c \sum_{k=1}^m \left(y_{ln+1}(t_k) - P\left(c^q, \tilde{y}(t_k), \tilde{u}(t_k)\right)\right)^2,\ q=1,2. \tag{6}$$

Задачі (5), (6) є суттєво некоректним в сенсі Адамара, тому для їх розв’язання необхідно застосувати алгоритми регуляризації.

Класична регуляризація задачі (6) полягає у мінімізації регуляризаційного функціоналу Тіхонова

$$\min_c \left(\sum_{k=1}^m \left(y_{n+1}(t_k) - P\left(c^q, \tilde{y}(t_k), \tilde{u}(t_k)\right)\right)^2 + \alpha \sum_I \left(c_I^q\right)^2 \right),\ l=1,2, \tag{7}$$

де $\alpha>0$ – параметр регуляризації.

Дослідження подібних задач [6] показує, що значення параметрів c^1, c^2, знайдені з рівняння (7), не завжди дають бажану якість моделі (3). В [7] обґрунтовано метод регуляризації задачі (7), який полягає у виявленні та видаленні „зайвих” доданків з багатовимірного степеневого полінома (4). Цей метод успішно застосовано для розв’язування низки технічних й економічних задач, зокрема, відтворення хаотичного руху [8] й обчислення тривалих прогнозів економічних величин [9]. В [6] для регуляризації обчислення похідних (5) застосовано метод ковзного апроксимаційного полінома з усередненням.

Висновки

Проведений аналіз поставленої задачі та огляд методів ідентифікації макромоделей дає змогу припускати, що динамічна модель (3), яка пов’язує інтенсивність сонячного вітру з сейсмічною активністю та амплітудою інфразвуку, достатньо точно відображатиме модельовані явища, що своєю чергою дасть практичний інструмент дослідження та прогнозування активності модельованих гео-геліогенних чинників.

Аналіз отриманого розв’язку, зокрема, порівняння точності моделі (3), (5), (7) за наявності зовнішнього впливу $u(t)$ та без нього має прояснити міру впливу сонячної активності на досліджувані геогенні фонові фактори та міру їх взаємозалежності.

1. Бинги В.Н., Савин А.В. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические проблемы // УФН, – Т. 173, № 3. – С. 265–300. 2. Чижевский А.Л. Солнце и мы. – М.: Знание, 1963. – 48 с. 3. Грицик В.В., Войчишин К.С. Прогнозування геліотехногенного впливу на стан здоров’я людей // Автоматика-2000. Міжнар. конф. з автоматичного управл. – Львів. 11–15 вересня 2000: Праці в 7-ми томах. – Т. 6. – Львів-2000. – С. 136–139. 4. Матвійчук Я.М. Математичне макромоделювання динамічних систем: Теорія і практика. – Львів: Вид-во ЛНУ, 2000. – 214 с. 5. Грибков Д.А., Грибкова В.В. и др. Восстановление дифференциальных уравнений автостохастических систем по временной реализации одной динамической переменной процесса // Журн. техн. физ. – 1994, Т.64, – №3. – С. 1–12. 6. Матвійчук Я., Паучок В. Регуляризована ідентифікація динамічних прогностичних макромоделей. // Теор.електротехніка. – 2003. – Вип. 57. – С. 13–18. 7. Курганевич А., Матвійчук Я.М. Регуляризація задачі ідентифікації макромоделей нелінійних динамічних систем методом редукції апроксимаційного базису // Теоретична електротехніка. – 2000. – Вип. 55. – С. 31–36. 8. Матвійчук Я.М. Математичне моделювання хаотичних рухів у детермінованих системах // Розвиток фізич. науки у Львівському ун-ті. Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фізична. Вип.26. Львів, 1993. – С.61–66. 9. Матвійчук Я., Паучок В. Прогнозування курсу валют методом макромоделювання. // Банківська справа, № 5–6, 2004. – С.73–78.