

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРВАЛЬНИХ РІЗНИЦЕВИХ ОПЕРАТОРІВ У ЗАДАЧІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗВОРТНОГО ГОРТАННОГО НЕРВА

Дивак М.П.¹⁾, Пукас А.В.²⁾

Тернопільський національний економічний університет

¹⁾ д.т.н., професор; ²⁾ к.т.н., доцент

I. Постановка проблеми

У прикладних дослідженнях доволі часто доводиться будувати математичні моделі у вигляді диференціальних рівнянь. Зокрема, диференціальні рівняння в частинних похідних, які описують об'єкти з розподіленими параметрами. Для отримання розв'язку таких рівнянь в загальному випадку застосовують чисельні методи, попередньо апроксимували диференціальні рівняння різницевиими схемами [1]. Загальна схема таких досліджень наступна. Спочатку, обирають диференціальне рівняння із відомими деякими сталими у цьому рівнянні. Потім чисельними методами знаходять його розв'язок. На останньому етапі перевіряють адекватність отриманої моделі, співставляючи результати моделювання із фізичними уявленнями про модельований об'єкт чи із результатами експерименту.

Такий підхід супроводжують ряд труднощів. По-перше, вибір самого диференціального рівняння. Якщо рівняння виявиться достатньо простим, то у результаті математична модель буде неадекватною. Якщо ж дослідник зробить спробу більш повно відобразити властивості об'єкта, то модель буде дуже складною і непридатною до застосування. По-друге, адекватність більш повної моделі важко перевірити на неточних даних експерименту.

II. Особливості побудови інтервальних різницевих операторів

За цих умов найбільш придатним є використання різницевих аналогів диференціального рівняння в частинних похідних, налаштування яких доцільно здійснювати методами структурної та параметричної ідентифікації на основі даних експерименту. Найбільш вагомими результатами у цьому напрямку отримано вітчизняним вченим О.Г. Івахненком та його науковою школою. Один із важливих результатів, який витікає із розроблених О.Г. Івахненком алгоритмів МГУА, полягає у тому, що складність макромоделі завжди співставляється із точністю експериментальних даних [2]. Чим більші похибки в даних, тим простішою буде математична модель, яку отримують на їх основі. Саме цей принцип зіставлення точності експериментальних даних із точністю математичної моделі покладено в основу методів побудови макромоделей на основі інтервального підходу [3]. При цьому точність моделі забезпечується в межах точності інтервальних даних, яка визначається обмеженими за амплітудою похибками із прийняттям припущення, що отримані експериментальні дані знаходяться в межах відомого нижнього та верхнього значення.

Схема побудови макромоделі у цьому випадку наступна. Спочатку необхідно отримати дані експерименту та представити їх в інтервальному вигляді із урахуванням точності вимірювань чи допусків на зміну характеристики об'єкта. Потім необхідно обґрунтувати вибір структури різницевого оператора у такому вигляді:

$$v_{i,j,h,k} = \vec{f}^T (v_{0,0,0,0}, \dots, v_{0,0,h-1,0}, v_{i-1,0,0,0}, \dots, v_{0,j-1,0,0}, \dots, v_{i-1,j-1,h-1,k-1}, \vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}) \cdot \vec{g},$$

$$i = 1, \dots, I, \quad j = 1, \dots, J, \quad h = 1, \dots, H, \quad k = 1, \dots, K, \quad (1)$$

де $\vec{f}^T(\bullet)$ – вектор відомих базисних функцій, з допомогою яких виконують перетворення значень модельованої характеристики об'єкта, а також вхідних змінних у дискретних точках простору та для певних часових дискрет; $v_{i,j,h,k}$ – модельована характеристика у точці з дискретно заданими просторовими координатами $i = 1, \dots, I$, $j = 1, \dots, J$, $h = 1, \dots, H$ та на часовій дискреті $k = 1, \dots, K$; $\vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}$ – вектори вхідних змінних (управлінь) у точках з дискретно заданими просторовими координатами $i = 1, \dots, I$, $j = 1, \dots, J$, $h = 1, \dots, H$ та на часовій дискреті $k = 0, \dots, K$; \vec{g} – вектор параметрів різницевого оператора.

Для цього використовують формальні та неформальні методи структурної ідентифікації.

Далі здійснюють налаштування параметрів різницевого оператора із розв'язування ІСНАР у такому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\widehat{v}_{0,0,0,0}^-; \widehat{v}_{0,0,0,0}^+] \subseteq [z_{0,0,0,0}^-; z_{0,0,0,0}^+], \dots, [\widehat{v}_{i-2,j-2,h-2,k-2}^-; \widehat{v}_{i-2,j-2,h-2,k-2}^+] \subseteq [z_{i-2,j-2,h-2,k-2}^-; z_{i-2,j-2,h-2,k-2}^+] \\ [\widehat{v}_{i-1,j-1,h-1,k-1}^-] = \vec{f}^T([\widehat{v}_{0,0,0,0}^-], \dots, [\widehat{v}_{0,0,h-1,0}^-], [\widehat{v}_{i-1,0,0,0}^-], \dots, [\widehat{v}_{0,j-1,0,0}^-], \dots, [\widehat{v}_{i-2,j-2,h-2,k-2}^-], \vec{u}_0, \dots, \vec{u}_{k-1}) \cdot \vec{g} \\ z_{i,j,h,k}^- \leq \vec{f}^T([\widehat{v}_{0,0,0,0}^-], \dots, [\widehat{v}_{0,0,h-1,0}^-], [\widehat{v}_{i-1,0,0,0}^-], \dots, [\widehat{v}_{0,j-1,0,0}^-], \dots, [\widehat{v}_{i-1,j-1,h-1,k-1}^-], \vec{u}_{i,j,h,0}, \dots, \vec{u}_{i,j,h,k}) \cdot \vec{g} \leq z_{i,j,h,k}^+, \\ i = 2, \dots, I, j = 2, \dots, J, h = 2, \dots, H, k = 2, \dots, K \end{array} \right. \quad (2)$$

де $[\widehat{v}_{i,j,h,k}^-; \widehat{v}_{i,j,h,k}^+]$ – інтервальні оцінки модельованої характеристики, отримані на основі різницевого оператора; $[\widehat{v}_{i-1,0,0,0}^-] \subseteq [z_{i-1,0,0,0}^-], \dots, [\widehat{v}_{0,j-1,0,0}^-] \subseteq [z_{0,j-1,0,0}^-], \dots, [\widehat{v}_{i-1,j-1,h-1,k-1}^-] \subseteq [z_{i-1,j-1,h-1,k-1}^-]$ – задані початкові умови; $z_{i,j,h,k}^-, z_{i,j,h,k}^+$ – відповідно, нижня та верхня межі інтервалу можливих значень вимірної характеристики у точці з дискретно заданими просторовими координатами $i=1, \dots, I$, $j=1, \dots, J$, $h=1, \dots, H$ та часовою дискретною $k=1, \dots, K$.

Процедури структурної та параметричної ідентифікації інтервального (оскільки налаштування проводиться на основі інтервальних даних) різницевого оператора описано у працях [4].

III. Практичне застосування ІРО для задачі візуалізації зворотнього гортанного нерва

Зазначений підхід застосовувався для розв'язування ряду задач: макромодельовання процесів поширення забруднень в атмосфері [5], макромодельовання розподілу вологості в процесі виробництва гіпсокартону [6].

У доповіді авторами запропоновано застосування вище зазначеного підходу для розв'язування задачі ідентифікації та візуалізації зворотнього гортанного нерва [7-10]. Запропоновано розподіл енергії інформаційного сигналу, отриманого внаслідок подразнення тканин хірургічної рани з метою виявлення зворотнього гортанного нерва, описувати інтервальним різницеvim оператором:

$$v_{i,j} = \vec{f}^T(v_{0,0}, \dots, v_{i-1,0}, \dots, v_{0,j-1}, \dots, v_{i-1,j-1}, \vec{u}_{i,j}) \cdot \vec{g}, \quad i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J \quad (3)$$

де $v_{i,j}$ – у зазначеному випадку енергія інформаційного сигналу при подразненні у точці хірургічної рани з дискретно заданими $i = 1, \dots, I$, $j = 1, \dots, J$, $\vec{u}_{i,j}$ – вектори вхідних змінних (управлінь) у точках з дискретно заданими координатами $i = 1, \dots, I$, $j = 1, \dots, J$.

Висновок

У доповіді проведено зіставлення запропонованого підходу побудови макромоделі на основі ІРО із підходом, що ґрунтується на побудові макромоделі у вигляді алгебричних рівнянь. Показано вищу точність запропонованого методу для задачі візуалізації зворотнього гортанного нерва.

Список використаних джерел

1. Самарский А.А. Теория разностных схем. – 3е изд., испр.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.- 1989.-616 с.
2. Иващенко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – Киев.: Наук. думка. – 1981. – 296 с.
3. Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними: монографія / за ред. М. П. Дивака. – Тернопіль : Економічна думка, 2011. – 216 с.
4. Войтюк І.Ф., Дивак М.П., Дивак Т.М. Кількісні характеристики оцінки якості структури моделі у вигляді інтервального різницевого оператора // Відбір і обробка інформації. - 2011. - № 34(110). - С. 86-94.
5. Войтюк І.Ф., Дивак Т.М., Дивак М.П., Пукас А.В. Застосування інтервального різницевого оператора для апроксимації полів концентрацій шкідливих викидів автотранспорту // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 2011. - №1(37). - С. 44-52.
6. Дивак М.П. Ідентифікація параметрів різницевого оператора в задачах моделювання процесів поширення забруднень методами аналізу інтервальних даних / М.П. Дивак, А.В. Пукас, Т.М. Дивак // Зб. Наук. Праць ДонНТУ серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2009.- Вип.10(153)-С.224-229.
7. Т.М.Дивак. Параметрична ідентифікація інтервального різницевого оператора на прикладі макромоделі розподілу вологості у листі гіпсокартону в процесі його сушіння / Дивак Т.М. // Міжнародний науково-технічний журнал «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». – 2012. – № 3.– С. 79-85.
8. Dyvak M. Interval Model for Identification of Laryngeal Nerves / M. Dyvak, A. Pukas, O. Kozak // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 86 NR 1/2010, pp.139-140.
9. Дивак М.П. Пристрій для ідентифікації гортанного нерва. Дивак М.П., Шідловський В.О., Шідловський О.В., Козак О.Л., Розновський Я.Р. - Патент на винахід №99228. Зар. 23.06.2011. Опубл. 25.07.2012.- Бюл.№14. – 6 с.
10. M. Dyvak. Identification the Recurrent Laryngeal Nerve by the Autocorrelation Function of Signal as Reaction on the Stimulation of Tissues in Surgical Wound / M. Dyvak, N. Padletska, A. Pukas, O. Kozak // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics: Proceedings of the XII International Conference CADSM'2013.-Polyana-Svalyava, Ukraine: National University „Lviv Polytechnic”, 2013. pp.89-92.