

УДК 681.52

М.П. ДИВАК, А.М. МЕЛЬНИК, А.В. КОВБАСІСТИЙ, О.А. ПАПА

ПІДХІД ДО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ WEB-РЕСУРСІВ

Тернопільський національний економічний університет

Анотація. У праці розглядаються математичні моделі динаміки ефективності функціонування інформаційних web-ресурсів. Обґрунтовано застосування стохастичних порогових моделей та запропоновано підхід до оцінювання параметрів цих моделей. Проведено ряд чисельних експериментальних досліджень, які виконані на основі даних функціонування конкретного web-ресурсу. На основі проведених експериментів підтверджено ефективність застосування запропонованих моделей. Для оцінки ефективності функціонування інформаційних web-ресурсів потрібні математичні моделі процесів їх функціонування. Ці моделі дозволяють вирішувати задачі оптимізації програмних алгоритмів і використання технічних ресурсів. Побудова таких моделей вимагає всебічного дослідження процесів функціонування web-ресурсів з урахуванням впливу всіх елементів системи на її функціонування. Принципова відмінність моделі, яка пропонується у даній роботі, від моделі TAR і TARMA полягає, перш за все, в тому, що значення модельованого показника виявляються доступні тільки частини, тому замість моделі часового ряду використовуються моделі динамічних систем спостереження. Крім того, передбачається можливість множинної зміни режимів в процесі еволюції системи спостереження.

Ключові слова: математичне моделювання, інформаційні веб-ресурси, джерело інформації, часовий інтервал.

Abstract. Modeling of estimation processes of functioning efficiency level of information web-resources is considered in the paper. The application of stochastic models with thresholds is represented. An approach to estimation of the parameters of these models is proposed. A number of experimental researches has been carried out. The researches were executed using real data of a web-resource functioning. Based on the experiments, an efficiency of the proposed approach has been approved. To estimate an efficiency of the information web-resources functioning, it is necessary to use mathematical models. These models allow to solve the tasks of software algorithms optimization and usage of technical resources. Their building requires a comprehensive research of the web-resources functioning processes taking into account the influence of all elements of a system on its functioning. The fundamental difference between the model proposed in this paper and the threshold autoregressive and time-dependent autoregressive moving average models consists primarily in the fact that the values of a modeled indicator are identified by only available parts. Therefore, instead of a time series model, models of dynamic observation systems are used. In addition, there is the possibility of multiple modes change in the evolution process of an observation system.

Keywords: mathematical modeling, information web-resources, information source, time interval

DOI: 10.31649/1681-7893-2019-38-2-29-37

ВСТУП

Для оцінки ефективності функціонування інформаційних web-ресурсів потрібні математичні моделі процесів їх функціонування. Ці моделі дозволяють вирішувати задачі оптимізації програмних алгоритмів і використання технічних ресурсів. Побудова таких моделей вимагає всебічного дослідження процесів функціонування web-ресурсів з урахуванням впливу всіх елементів системи на її функціонування [2,4,11].

Процеси взаємодії з інформаційними джерелами, полягають у формуванні запитів, перетворенні запитів в термінах джерел, отриманих та опрацьованих даних від джерел і формування результату, який за допомогою web-сервера буде відправлений web-браузеру. Це здійснюється підсистемою доступу до даних web-ресурсу. Для взаємодії з джерелами використовується схема даних, яка містить опис всіх підключених до ресурсу джерел, опис типів даних, що реалізуються джерелами, і правила формування запитів до джерел в термінах цих джерел.

Для моделі ефективності інформаційних джерел в якості вихідного показника обрано величину часу, витрачену джерелом на виконання запитів на поточному інтервалі спостереження [5,6,7]. Для моделі активності користувачів вихідним показником вибрано число запитів до інформаційних джерел на поточному інтервалі спостереження, при цьому зовнішні впливи виявляються неспостережуваними.

Оскільки для досліджуваних показників складно запропонувати моделі, побудовані на основі фізичних аналогій, моделі передбачається ідентифікувати. Характеристики розглянутих процесів демонструють поведінку нелінійних систем, оскільки для них характерні залежність збурень від поточних значень характеристики, циклічність, стрибкоподібні зміни.

Щоб врахувати нелінійну поведінку процесів і одночасно мати можливість використання корисних властивостей лінійних систем пропонується підхід на основі класифікації можливих станів досліджуваної характеристики. Передбачається, що область значень характеристики може бути розбита на інтервали. Усередині інтервалу динаміка значень показника описується найпростішими лінійними рівняннями. При виході показника за межі інтервалу модель змінюється. Такий підхід запропонований в [1,10], де розглядається модель авторегресії з порогом (TAR, threshold autoregression).

Принципова відмінність моделі, яка пропонується у даній роботі, від моделі TAR і TARMA полягає, перш за все, в тому, що значення модельованого показника виявляються доступні тільки частини, тому замість моделі часового ряду використовуються моделі динамічних систем спостереження [3,12]. Крім того, передбачається можливість множинної зміни режимів в процесі еволюції системи спостереження.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Ефективність, тобто необхідні витрати часу на обробку запитів, - це одна з основних характеристик інформаційного джерела [8,11,13]. Як показують спостереження, час обробки запитів джерелами може змінюватися в широких межах. На цей час впливає цілий набір неконтрольованих з боку ресурсу факторів, серед яких:

- різна продуктивність апаратного і програмного забезпечення, використовуваного джерелами;
- різний обсяг даних джерела;
- різниця в обсязі результатів виконання запитів, пов'язаний, в тому числі з складністю конкретного запиту;
- різна доступність джерел, пов'язана з характером роботи середовища.

Вплив перерахованих чинників важливий, проте ступінь їх впливу на кожне конкретне джерело в процесі його роботи змінюється незначно, тобто перераховані чинники можуть розглядатися як статичні. Однак є набір факторів, вплив яких на джерело не є ні постійним, ні прогнозованим:

- зміни, що вносяться до ресурсів джерела (додавання, видалення, модифікація екземплярів ресурсів);
- різний рівень навантаження на апаратне та системне програмне забезпечення з боку інших додатків, які існують на тій же платформі;
- різна завантаженість сегментів мережі для використання в взаємодії web-ресурсу з джерелом;
- сформовані для користувача переваги при виборі переліку джерел, що беруть участь у виконанні запиту.

При побудові моделі описаного явища повинні бути враховані наступні вимоги [14,15]:

- сформована модель повинна враховувати залежність модельованого показника від часу (бути динамічною), оскільки, як було зазначено вище, на час виконання запиту впливає як інтенсивність, так і передісторія роботи з джерелом;
- при моделюванні має використовуватися дискретний час - інтервали спостереження повинні бути сформовані таким чином, щоб обчислення необхідної оцінки можна було робити тільки в окремі моменти часу, розташовані один від одного на достатній відстані з тим, щоб використовувані моделлю обчислювальні ресурси були досить малі в порівнянні з ресурсами, необхідними для забезпечення основної функціональності web-ресурсу [16,17].

МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Процеси взаємодії з інформаційними джерелами, полягають у формуванні запитів, перетворенні запитів в термінах джерел, отриманих та опрацьованих даних від джерел і формування результату, який за допомогою web-сервера буде відправлений web-браузеру. Це здійснюється підсистемою доступу до даних web-ресурсу. Для взаємодії з джерелами використовується схема даних, яка містить опис всіх підключених до ресурсу джерел, опис типів даних, що реалізуються джерелами, і правила формування запитів до джерел в термінах цих джерел.

Для моделі ефективності інформаційних джерел в якості вихідного показника обрано величину часу, витрачену джерелом на виконання запитів на поточному інтервалі спостереження [5,6,7]. Для моделі активності користувачів вихідним показником вибрано число запитів до інформаційних джерел на поточному інтервалі спостереження, при цьому зовнішні впливи виявляються неспостережуваними.

Оскільки для досліджуваних показників складно запропонувати моделі, побудовані на основі фізичних аналогій, моделі передбачається ідентифікувати. Характеристики розглянутих процесів демонструють поведінку нелінійних систем, оскільки для них характерні залежність збурень від поточних значень характеристики, циклічність, стрибкоподібні зміни.

Щоб врахувати нелінійну поведінку процесів і одночасно мати можливість використання корисних властивостей лінійних систем пропонується підхід на основі класифікації можливих станів досліджуваної характеристики. Передбачається, що область значень характеристики може бути розбита на інтервали. У середині інтервалу динаміка значень показника описується найпростішими лінійними рівняннями. При виході показника за межі інтервалу модель змінюється. Такий підхід запропонований в [1], де розглядається модель авторегресії з порогом (TAR, threshold autoregression).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕДУР ОПТИМІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ WEB-СИСТЕМ

Для використання моделі в процедурах оптимізації за рахунок зміни параметрів відповідних моделей стає можливим моделювати різні види інформаційних джерел і режими активності користувача. Як результат, з'являється можливість аналізувати працездатність і ефективність web-системи з різними типами інформаційних джерел і режимами активності користувача, при різних комбінаціях налаштувань.

Виходячи із припущень щодо оцінки ефективності виконання запитів інформаційними ресурсами, замість кількісної оцінки ефективності пропонується ввести деякі умовні значення оцінки ефективності, визначивши категорії за якими вони можуть бути згруповані. Ці категорії формуються із часових витрат на виконання запитів до певного виду інформаційного ресурсу.

Згрупуємо усі запити до інформаційних ресурсів за категоріями:

- σ_f - запити, які виконуються швидко;
- σ_m - запити, які виконуються із середньою швидкістю;
- σ_s - запити, які виконуються повільно;

Для кожної категорії модель спостережень можна представити наступним рівнянням:

$$m_t = d_\sigma + e_\sigma \varphi_t \quad (1)$$

m_t – середній час виконання запиту ресурсом за останній інтервал спостереження;

d_σ – середній очікуваний час виконання запиту ресурсом для поточної категорії σ запитів.

e_σ – значення, що визначає відхилення спостережуваних значень від середніх величин для поточної категорії запитів.

φ_t – випадкове збурення, яке впливає на спостереження.

Для ресурсу S відомий показник r_t , що характеризує поточний режим його функціонування в певний момент часу t . Область значень R^1 показника r_t розіб'ємо на інтервали точками: $d: -\infty = d_0 < d_1 < \dots < d_{n-1} < d_n = +\infty$, n - число режимів ефективності, підставивши у відповідність кожному режиму один інтервал. Режим, в якому знаходиться ресурс S , визначимо як приналежність r_t до цього інтервалу.

Вважаємо, що в будь-якому режимі середній час виконання запиту ресурсом за останній інтервал спостереження можна описати рівнянням (1), тобто, при зміні режиму m_t модель не змінюється, змінюються лише параметри ці параметри можна замінити функціями $D(r_t)$ та $E(r_t)$, які повертають значення параметрів рівняння (1) в залежності від поточного режиму, що визначається значенням показника r_t .

Виходячи з припущення, що залежність вимірюваних характеристик (час виконання запиту) для ресурсу S від його перебування в одному з режимів ефективності є лінійною, то можна представити наступне рівняння для вимірюваної в момент часу t характеристики:

$$m_t = D(r_t) + E(r_t)\varphi_t \quad (2)$$

Для $D(x)$ та $E(x)$ запишемо наступні вирази для їх представлення:

$$D(x) = \begin{cases} D_1, & -\infty < x < d_1 \\ D_2, & d_1 \leq x < d_2 \\ \dots & \dots \\ D_n, & d_{n-1} \leq x < +\infty \end{cases} \quad (3)$$

$$E(x) = \begin{cases} E_1, & -\infty < x < d_1 \\ E_2, & d_1 \leq x < d_2 \\ \dots & \dots \\ E_n, & d_{n-1} \leq x < +\infty \end{cases} \quad (4)$$

Значення D_1, D_2, \dots, D_n та E_1, E_2, \dots, E_n є відомими, виходячи із наведених вище припущень.

Для знаходження параметрів роботи web-ресурсу, які описуються відношенням (2) розбиваємо інтервал спостережень $[t_0; +\infty]$ на деякі рівні відрізки $t_0 < t_1 < t_2 \dots t_{k-1} < t_k < \dots$. На поточному інтервалі $[t_{k-1}; t_k]$ для кожного інформаційного ресурсу вимірюємо та зберігаємо час виконання

відповідних запитів. У момент часу t_n формуємо із отриманих даних необхідну досліджувану вибірку, яка доповнюється середнім часом виконання запитів для кожного інформаційного ресурсу.

Довжина часового інтервалу $[t_{k-1}; t_k]$ повинна визначатися достатнім часом, щоб затрати обчислювальних ресурсів, які витрачаються для оптимізації web-ресурсу були б меншими ніж витрати ресурсів, які витрачаються на роботу всього web-ресурсу.

Для показника r_t повинна бути сформована модель, що описує закон, за яким ресурс S на поточному інтервалі спостереження $[t_{k-1}; t_k]$ повинен бути віднесений до тієї чи іншої категорії ефективності σ .

Зазначену модель, як і модель оцінки ефективності ресурсу, практично не можливо сконструювати виходячи з фізичного змісту процесів. Тому єдиним способом побудови таких моделей для стороннього спостерігача є використання підходу на основі «чорної скриньки», із використанням методів параметричної ідентифікації [5].

Загальна рекомендація теорії ідентифікації моделей систем полягає в тому, щоб починати ідентифікацію моделі на основі її простих структур [9]. Тому спочатку для побудови моделі обираємо просту параметричну модель.

Припустимо, що для ресурсу S показник r_t є випадковим процесом, який описується рівнянням авторегресії першого порядку [7,8]:

$$r_t = ar_{t-1} + s + b\psi_t, \quad (5)$$

де a, s, b - відомі невідомі числа (задані, або підлягають подальшій ідентифікації), ψ_t - послідовність незалежних, однаково розподілених випадкових величин, - випадкова величина, яка не залежить від ψ_t .

В якості об'єктивної числової характеристики T_t ефективності джерела S в момент часу t можна розглядати абсолютне значення часу виконання запитів ресурсом на поточному інтервалі спостереження $[t_{k-1}; t_k]$. Використання абсолютного значення T_t означає, що на його величину можуть впливати тільки ті фактори невизначеності, які безпосередньо з цим ресурсом пов'язані (складність виконуваного запиту, обсяг даних ресурсу, технічні характеристики апаратного забезпечення і т.д.).

Для виключення впливу різномірності реальних джерел, представляється доцільним взяти відношення показника T_t до довжини інтервалу спостереження $[t_{k-1}; t_k]$, тобто перейти від абсолютного значення до відносного:

$$E_q = \frac{T_{t_k}}{t_k - t_{k-1}}, \quad (6)$$

Де E_q - показник відносної ефективності.

Досліджуючи динаміку цього показника, можна вважати, що

$$r_{t_k} = r_{t_{k-1}} + \frac{T_{t_k}}{t_k - t_{k-1}}, \quad (7)$$

Використавши для опису r_t модель, яка представлена відношенням (2) залишається вибрати параметри, що забезпечують адекватність моделі спостереження до реально отриманих даних.

Наявність процесу r_t пов'язано з необхідністю моделювання поточного режиму ефективності інформаційного ресурсу. Даний процес необхідний, щоб забезпечити послідовність зміни режимів, який адекватний спостережуваним даним. Зміна режиму відбувається при виході значень процесу за межі інтервалу, визначеного для обраного режиму. В даному контексті величина та розмірність показника не має значення.

Таким чином, в якості моделі, яка описує динаміку показника ефективності web-ресурсу, пропонується наступна стохастична динамічна система спостережень загального вигляду:

$$\begin{cases} r_t = a_t r_{t-1} + s_t + b_t \psi_t, & t = 1, 2, \dots, \\ m_t = D(r_t) + E(r_t) \varphi_t \end{cases}, \quad (8)$$

де φ_t не залежить від ψ_t, r_0 .

Таким чином, є можливість обґрунтованого вибору параметрів розглянутої моделі за рахунок нескладного статистичного аналізу середовища функціонування вибраного інформаційного ресурсу.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Застосування описаної вище процедури розглянемо на прикладі web-ресурсу кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного економічного університету. Було проведено збір статистики часу виконання запитів трьома інформаційними джерелами: інтегрованою системою інформаційних ресурсів (IIS), персональними сторінками викладачів кафедри (PPT) і системою зберігання неструктурованого контенту даного web-ресурсу (UCWR). Для кожного джерела необхідно виміряти середній час відгуку в секундах з часовим інтервалом 2 хвилини.

РЕЗУЛЬТАТИ

На рисунку 1 представлено фрагменти вибірки даних для кожного інформаційного джерела (IIS), (PPT), (UCWR).

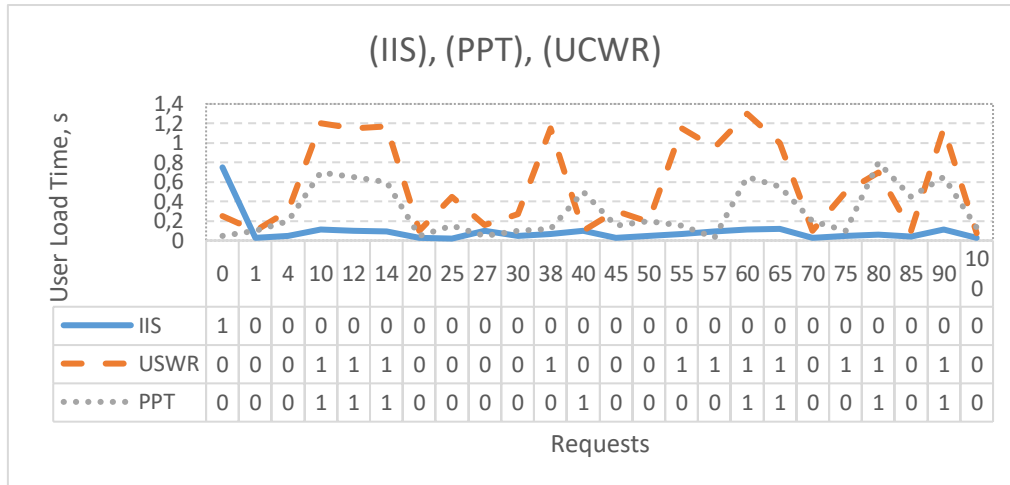


Рисунок 1 – Експериментальні дані для кожного інформаційного джерела (IIS), (PPT), (UCWR) ресурсу <http://www.dcs.tneu.edu.ua/>

На рисунку 1 видно, що час виконання запитів розподілено нерівномірно, існують деякі кращі значення, біля яких знаходиться велика частина спостережень. Особливо великі часові затримки для спостережень, які характеризують зберігання неструктурованого контенту досліджуваного web-ресурсу.

Ці значення були використані для визначення відповідних категорій ефективності. До категорії σ_f були віднесені спостереження зі значенням близько 0.1 секунди, до категорії σ_s спостереження зі значенням близько 1 секунди. До категорії σ_m віднесені спостереження в інтервалі між 0.1 і 1 секунда. Далі інтервали були скориговані так, щоб врахувати збурення значень, а також зроблено ці інтервали непересічними, щоб виключити частину значень, які знаходяться поблизу меж інтервалів і тому не можуть бути однозначно віднесені до тої чи іншої категорії.

Таким чином для отриманих даних визначено три інтервали $\Delta_f^r = (0; 0.15]$, $\Delta_m^r = (0.2; 0.45]$, $\Delta_s^r = (0.6; +\infty)$. З вибірки для кожного ресурсу були сформовані три множини значень, відповідно до обраних інтервалів. Далі були оцінені ймовірності віднесення кожного ресурсу до відповідної категорії, а також параметри $D_f, D_m, D_s, E_f, E_m, E_s$. Ймовірності визначалися частотами попадання спостережуваних даних у відповідні інтервали.

Параметри $D_f, D_m, D_s, E_f, E_m, E_s$ визначалися як середній час виконання запиту відповідним ресурсом, який відносився до певної категорії та середньоквадратичним відхиленням, який характерний для ресурсу відповідної категорії (таблиця 1).

Таблиця 1 – Оцінка ймовірності приналежності ресурсу до відповідної категорії ефективності

Ресурс	$P(r_t \in \Delta_f)$	$P(r_t \in \Delta_m)$	$P(r_t \in \Delta_s)$
IIS	0.95	0.03	0.02
PPT	0.74	0.19	0.07
UCWR	0.28	0.37	0.33

Для визначення параметрів процесу (5) в якості випадкових збурень був використаний стандартний гаусівський білий шум, а інтервали $\Delta_f^r = (-\infty, -10]$, $\Delta_m^r = (-10, 10]$, $\Delta_s^r = (10, +\infty]$.

У цих припущеннях параметри нормального розподілу були визначені шляхом вирішення системи рівнянь, які отримані з визначення властивостей щільності ймовірності).

Так як безпосередньо за спостереженнями не можна було зробити висновок про визначення параметра a , було проведено кілька чисельних експериментів з моделювання ефективності ресурсів з різними значеннями параметра a . З отриманих результатів було вибрано значення параметра a , що дає найбільш близьку поведінку моделі в порівнянні з фактичними значеннями. Вибрані значення параметра a і обчислених на його основі значень параметрів s, b наведені в таблиці 2.

На основі знайдених показників a, s, b та моделі (8) було побудовано моделі для всіх категорій досліджуваного web ресурсу. Результат моделювання для системи зберігання неструктурованого контенту аналізованого web-ресурсу представлено на рисунку 2.

Таблиця 2 – Оцінка ймовірності приналежності ресурсу до відповідної категорії ефективності

Ресурс	a	s	b
IIS	0.1	-83	50.5
PPT	0.2	-20	23.6
UCWR	0.3	0.73	19.9

Отримані моделі забезпечують значення статистичних параметрів (середнє значення і середньоквадратичне відхилення) кожної категорії ефективності ресурсів і частот віднесення ресурсу до категорії, які близькі до параметрів спостережень.

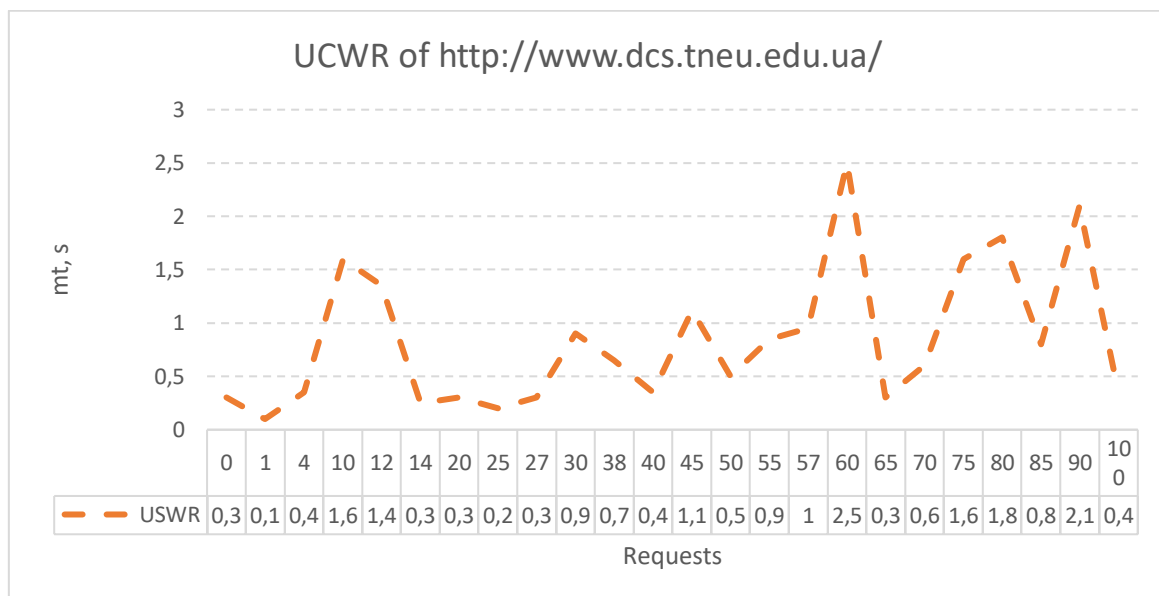


Рисунок 2 – Результати моделювання для неструктурованого контенту (UCWR) ресурсу <http://www.dcs.tneu.edu.ua/>

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботі запропонований підхід до моделювання базових показників оцінки ефективності функціонування інформаційних web-ресурсів. Він дозволяє врахувати характерні для нелінійних систем особливості, такі як залежність збурень від поточних значень показника, циклічність процесів, стрибкоподібні зміни характеристик. Для врахування таких явищ, з одного боку, і для можливості використання корисних властивостей лінійних систем ідентифікації, з іншого, в роботі реалізується підхід на основі класифікації можливих станів досліджуваного показника. В області значень показника вибираються інтервали. При знаходженні значень показника всередині інтервалу його динаміка описується найпростішими лінійними рівняннями.

ВИСНОВКИ

Встановлено можливість обґрунтованого вибору параметрів розглянутих моделей за рахунок нескладного статистичного аналізу середовища функціонування web-ресурсу.

Описано приклади застосування процедур оцінювання параметрів моделі на основі експериментальних даних, зібраних в процесі функціонування сайту кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного економічного університету www.dcs.tneu.edu.ua.

Отримані моделі можуть бути використані при вирішенні цілого ряду практичних завдань, що виникають при розробці і впровадженні web-систем: налаштування параметрів продуктивності, аналіз впливу структурованості контенту, оцінка ефективності функціонування під навантаженням.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tong H., Lim K.S. Threshold autoregression, limit cycles, and cyclical data (with discussion) // *Journal of Royal Statistical Society, Series B*, V.42, PP.245-292, 1980. J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
2. Kovbasisty A., Melnyk A., Dyvak M., Brych V. et al. Method for detection of non-relevant and wrong information based on content analysis of web resources, XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). Lviv, 2017, pp. 154–156.
3. Tong H. *Non-linear time series: a dynamical approach*. Oxford: Clarendon Press Oxford, 1990. – 564 p.
4. Pasichnyk, A. Melnyk, N. Dobrovol'ska. Management the Website Attendance Based on the Projected Traffic // *Proceedings of the international conference "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)"*, 19-23 Feb. 2013. – Polyana-Svalyava (Zakarpattia), 2013. – P. 277.
5. A. Ivanov. Mathematical models of basic processes of information web portal functioning. *Systems and Means of Informatics*, 2010, Volume 20, Issue 1, – P. 106–132.
6. R. Pasichnyk, A. Melnyk. Modeling of Cognitive Processes for Bio-Technical Systems // *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the International Conference. TCSET'2008*. – Lviv-Slavsko, Ukraine, 2008. – P. 27–28.
7. Manhas, Dr. A Study of Factors Affecting Websites Page Loading Speed for Efficient Web Performance. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*. 2013. – P. 32–35.
8. Bartuskova, A., Soukal, I. 2016. The Novel Approach to Organization and Navigation by Using all Organization Schemes Simultaneously. *Lecture Notes in Business Information Processing*. Springer. 261, 2016. – P. 99-106.
9. R. Pasichnyk, A. Melnyk. Modeling of effective studies in Adaptive Educational Systems // *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics. Proceedings of the International Conference. CADSM '2009*. – Lviv-Polyana, Ukraine, 2009. – P. 248–250.
10. M. Dyvak, P. Stakhiv, A. Pukas, "Algorithms of parallel calculations in task of tolerance ellipsoidal estimation of interval model parameters", *Bulletin of the Polish Academy of Sciences-Technical Sciences*, vol. 60, issue 1, 2012, pp.159-164.
11. Porplytsya, N., Dyvak, M., Spivak, I., Voytyuk, I., "Mathematical and algorithmic foundations for implementation of the method for structure identification of interval difference operator based on functioning of bee colony", *Proceedings of 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015 31 August 2015*, Article number 7230834, Pages 196-199
12. Roman, P., Natalia, P., Andriy, M., Iryna, S. "Concept model of resources accumulation and operational management in biotechnology, biomedical and Web information systems", *Proceedings of 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015 31 August 2015*, Article number 7230822, Pages 152-155
13. G. Duran, J. Valero, J.M. Amigó, A. Giménez, O. Martinez-Bonastre, Bifurcation analysis for the Internet congestion, 2019 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM), (2019) 1073–1074.
14. Sergey I. Vyatkin, Olexander N. Romanyuk, Sergii V. Pavlov, and etc. Offsetting and blending with perturbation functions // *Proc. SPIE 11045, Optical Fibers and Their Applications 2018*, 110450W, 2019;
15. Sergey I. Vyatkin, Olexander N. Romanyuk, Sergii V. Pavlov, and etc. A GPU-based multi-volume rendering for medicine // *Proc. SPIE 11045, Optical Fibers and Their Applications 2018*, 1104513, 2019);

16. Leonid I. Timchenko, Sergii V. Pavlov, and etc. Precision measurement of coordinates of power center of extended laser path images // Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080810;
17. Olexiy D. Azarov, Sergii V. Pavlov, and etc. Principles of fast count in modified Fibonacci numerical system // Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080829,

REFERENCES

1. Tong H., Lim K.S. Threshold autoregression, limit cycles, and cyclical data (with discussion) // Journal of Royal Statistical Society, Series B, V.42, PP.245-292, 1980.J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
2. Kovbasistyi A., Melnyk A., Dyvak M., Brych V. et al. Method for detection of non-relevant and wrong information based on content analysis of web resources, XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). Lviv, 2017, pp. 154-156.
3. Tong H. Non-linear time series: a dynamical approach. j Oxford: Clarendon Press Oxford, 1990. – 564 p.
4. Pasichnyk, A. Melnyk, N. Dobrovolska. Management the Website Attendance Based on the Projected Traffic // Proceedings of the international conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)”, 19-23 Feb. 2013. – Polyana-Svalyava (Zakarpattya), 2013. – P. 277.
5. A. Ivanov. Mathematical models of basic processes of information web portal functioning. Systems and Means of Informatics., 2010, Volume 20, Issue 1, – P. 106-132.
6. R. Pasichnyk, A. Melnyk. Modeling of Cognitive Processes for Bio-Technical Systems // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the International Conference. TCSET’2008. – Lviv-Slavsko, Ukraine, 2008. – P. 27-28.
7. Manhas, Dr. A Study of Factors Affecting Websites Page Loading Speed for Efficient Web Performance. International Journal of Computer Sciences and Engineering. 2013. – P. 32-35.
8. Bartuskova, A., Soukal, I. 2016. The Novel Approach to Organization and Navigation by Using all Organization Schemes Simultaneously. Lecture Notes in Business Information Processing. Springer. 261, 2016. – P. 99-106.
9. R. Pasichnyk, A. Melnyk. Modeling of effective studies in Adaptive Educational Systems // The Expirence of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics. Proceedings of the International Conference. CADSM ’2009. – Lviv-Polyana, Ukraine, 2009. – P. 248-250.
10. M. Dyvak, P. Stakhiv, A. Pukas, “Algorithms of parallel calculations in task of tolerance ellipsoidal estimation of interval model parameters”, Bulletin of the Polish Academy of Sciences-Technical Sciences, vol. 60, issue 1, 2012, pp.159-164.
11. Porplytsya, N., Dyvak, M., Spivak, I., Voytyuk, I., “Mathematical and algorithmic foundations for implementation of the method for structure identification of interval difference operator based on functioning of bee colony”, Proceedings of 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015 31 August 2015, Article number 7230834, Pages 196-199
12. Roman, P., Natalia, P., Andrij, M., Iryna, S. “Concept model of resources accumulation and operational management in biotechnology, biomedical and Web information systems”, Proceedings of 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015 31 August 2015, Article number 7230822, Pages 152-155
13. G. Duran, J. Valero, J.M. Amigó, A. Giménez, O. Martinez-Bonastre, Bifurcation analysis for the Internet congestion, 2019 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM), (2019) 1073-1074.
14. Sergey I. Vyatkin, Olexander N. Romanyuk, Sergii V. Pavlov, and etc. Offsetting and blending with perturbation functions // Proc. SPIE 11045, Optical Fibers and Their Applications 2018, 110450W, 2019;
15. Sergey I. Vyatkin, Olexander N. Romanyuk, Sergii V. Pavlov, and etc. A GPU-based multi-volume rendering for medicine // Proc. SPIE 11045, Optical Fibers and Their Applications 2018, 1104513, 2019);
16. Leonid I. Timchenko, Sergii V. Pavlov, and etc. Precision measurement of coordinates of power center of extended laser path images // Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080810;

17. Olexiy D. Azarov, Sergii V. Pavlov, and etc. Principles of fast count in modified Fibonacci numerical system // Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080829,

Надійшла до редакції: 25.09.2019

ДИВАК МИКОЛА ПЕТРОВИЧ – д.т.н., професор, Тернопільський національний економічний університет

МЕЛЬНИК АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ – к.т.н., доцент, Тернопільський національний економічний університет

КОВБАСІСТИЙ АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ – аспірант, Тернопільський національний економічний університет

ПАПА ОЛЕКСАНДР АНДРІЙОВИЧ – аспірант, Тернопільський національний економічний університет