
DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.051**РЕЛЯЦІЙНО-СЕПАРАБЕЛЬНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ МОНІТОРИНГУ ПРИ ПЕРЕМІННИХ І НЕЧІТКИХ ІНТЕРВАЛАХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

Скалозуб В.В., Горячкін В.М., Мурашов О.В.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Комп'ютерне моделювання в сучасних технологіях являється майже необхідним при збиранні даних про процеси функціонування, при їх аналізі, інтерпретації та прогнозуванні, створенні складних технологічних та автоматизованих процесів та систем. Разом з тим відбувається постійне підвищення вимог до повноти характеристик процесів, що приводить до необхідності урахування все більшого набору властивостей досліджуваних технологій, процесів і систем. Через все зростаючу складність різноманітних технологічних процесів також ускладнюються можливості отримати достовірні та актуальні дані, що суттєво впливає на результати розробок, їх відповідність вимогам замовника, адекватність відображення процесів ін. Через названі та інші фактори для складних розподілених та багатокористувацьких інформаційних технологій в якості вихідних достовірних даних можливо отримати лише часові послідовності характеристик процесів, часові ряди (ЧР). При тому натепер існують процеси (клінічний моніторинг процесів реабілітації, контроль стану віддалених об'єктів, моніторингу функціонування та параметрів експлуатації систем з великою кількістю незалежно функціонуючих елементів, процесів моніторингу технічного стану систем, які обслуговуються на основі параметрів «поточного стану» тощо), для яких можливо отримати дані, які мають нечітку, розмиту, структуру. Такі властивості стосується не лише наборів контрольованих параметрів, а в тому числі моментам та періодам спостережень. Разом з тим на основі первинних даних, за рахунок їх аналізу та прогнозування далі встановлюються властивості систем у цілому, а також формуються засоби та заходи керування. Зазначене показує актуальність завдань щодо аналізу, моделювання і прогнозування характеристик недетермінованих процесів, представлених часовими послідовностями при нерівномірних та нечітких моделях інтервалів (НМІ) між спостереженнями.

У дослідженнях була використана математична модель процесу, яка використовує сепарабельні форми обліку часових інтервалів між рівнями ряду (СПМ). При цьому інтервали вибірок виділяються у окрему складову, розглядаються як одна із компонентів вектору даних, що характеризують

процеси моніторингу. Таким же чином окремо моделюються інші характеристики досліджуваних процесів, як процеси з рівномірним кроком спостережень. Для урахування в моделі часової складової процесів враховуються лише послідовності величин інтервалів. Отримані результати моделювання всіх параметрів «накладаються» на результати моделювання часових інтервалів у відповідності до порядку (номеру) їх розміщення у початкових даних. Таким чином, СПМ процесу представляє сформовані для кожного компоненту вектору первинних параметрів, які зв'язуються між собою за допомогою оцінок періодів, отриманих за окремою моделлю часового інтервалу, яка має рівномірний крок.

У доповіді представлені результати дослідження можливостей та ефективності комплексних алгоритмів із моделювання та прогнозування процесів із нечіткими ознаками. При цьому в цілому було вирішене завдання щодо розробки та дослідження ефективності алгоритмів із моделювання та прогнозування числових часових рядів з нечітким кроком спостережень. Розглянуті та реалізовані завдання зі створення процедур аналізу та прогнозування характеристик недетермінованих часових рядів на основі FTS алгоритмів, а також їх комбінацій з іншими. В рамках дослідження проведено розробку та аналіз процедури перетворення часових послідовностей з нечітким кроком до часових рядів з перемінним кроком. Виконана розробка нечітких реляційно-сепарабельних моделей першого та другого порядку, призначених для аналізу та прогнозування послідовностей даних, отриманих та формалізованих моделями з «нечітким кроком» між спостереженнями. На основі запропонованих моделей представлення процесів моніторингу та реляційно-сепарабельних алгоритмів були реалізовані завдання щодо дослідження ефективності алгоритмів моделювання недетермінованих послідовностей з нечітким кроком. Визначені особливості запропонованих процедур моделювання числових часових рядів з нечітким кроком між спостереженнями.

Головне завдання, що було вирішене шляхом створення реляційно-сепарабельних моделей (PCM) процесів моніторингу з перемінним та нечітким кроком спостережень, полягало в формуванні синтетичної моделі процесів та алгоритмів з НМІ, що поєднують реляційні алгоритми нечіткого моделювання з сепарабельною формою відображення недетермінованих процесів. В рамках застосування PCM поєднуються результати застосування СПМ, що представлені в попередніх дослідженнях, з нечіткими реляційними моделями (першого та другого порядку) досліджуваних процесів. Реляційна модель процесу

визначається системою реляційних відношень, отриманих на основі вихідної послідовності даних. яку узагальнено можливо представити так: $R(V, T) = \{R_1(V, V); R_2(T, T); R_3(V^*V, V); R_4(T^*V, T); R_5(T^*V, V); R_6(T^*T, V^*V, V); R_7(T^*T, V^*V, T)\}$. В $R(V, T)$ параметр «V» відповідає певному контрольованому показнику процесу, а «T» - показник часу. Відношення $R_6(*)$ та $R_7(*)$ РСМ відповідають моделям другого порядку, враховують кілька попередніх етапів розвитку процесів. Модель $R(V, T)$ формується за первинними даними процесів, які перетворюються до табличних форм на основі нечітких моделей областей варіювання показників (V, T). Таблиці представляють нечіткі «правила» зв'язку між показниками (V, T). Кожна клітина таблиць містить два параметри – «номер нечіткого терму» що має бути на наступному кроці процесу, а також нечітка міра для очікуваного терму. Узагальнено крок процедури розрахунків в рамках РСМ можна представити так $R_7(t_p^*t_q, v_p^*v_q, t_s/v_s)$. Значення (t_s/v_s) використовуються для розрахунку поточних оцінок показників (V, T), а також для визначення наступних кроків процесу. Результати розрахунків за моделями РСМ та СПМ узагальнюються шляхом оптимального вибору вагових коефіцієнтів.

В результаті виконаних досліджень, моделювання та розробок було встановлено, що запропонований підхід до процесів при НМІ, що містить процедури переходу від «ЧР НМІ довільного типу НВ» - «ЧР НМІ з трикутними моделями НМІ (апроксимація ЧР НМІ)» - «ЧР з перемінним кроком спостережень для системи α -рівнів» - «аналіз та прогнозування дійсних ЧР з перемінним кроком для сукупності α -рівнів» - «узагальнення результатів дослідження ЧР з перемінним кроком на α -рівнях методами скаляризації (центр тяжіння)». являється раціональним та результативним. При цьому також забезпечуються вимоги до точності результатів аналізу та короткострокового прогнозування.

Отримані результати далі були використані при формування програмного забезпечення щодо моделювання та прогнозування характеристик моніторингу процесів реабілітації хворих на діабет, з урахуванням їх особливостей. До головних відмінностей моніторингу процесів реабілітації хворих були віднесені наступні - урахування нечітких інтервалів між спостереженнями, а також індивідуальність моделей (ІМ) процесів для кожного клієнта. Застосування ІМ дозволяло у певному наближенні вирішувати головні завдання процесів реабілітації. А саме – перше, прогнозувати максимальні періоди (у дійсній або нечіткій формі) до стану/подій, що визначені певними вимогами; - друге, визначати можливість небезпечних оцінок показників

моніторингу процесів реабілітації хворих.

У дослідженні встановлено певні можливості щодо підвищення точності та числової ефективності алгоритмів моделювання процесів моніторингу з перемінним та нечітким кроком спостережень, які були визначені шляхом порівняльного аналізу результатів, отриманих на основі РСМ моделювання, з раніше відомими розрахунками.

RELATIONAL-SEPARABLE MODELS OF MONITORING PROCESSES WITH VARIABLE AND FUZZY OBSERVATION INTERVALS

Skalozub Vladyslav, Horiachkin Vadym, Murashov Oleh

Abstract. The report presents the results of research on the formation of models and procedures intended for the analysis and forecasting of the characteristics of non-deterministic processes represented by time sequences with uneven and fuzzy interval models (UFMI) between observations. At the same time, the data of monitoring processes of rehabilitation of patients, maintenance of systems according to the current state, etc. were used. at UFMI. The development of fuzzy relational and combined relational-separable models (RSM) of the first and second order, intended for the analysis and forecasting of sequences of UFMI data, was carried out. The possibility of increasing the accuracy and numerical efficiency of the modeling of the specified monitoring processes when applying RSM algorithms has been established.

Keywords: monitoring procedures, patient rehabilitation processes, maintenance of systems according to the current state, fuzzy and variable step of observations, fuzzy relational models, combined relational-separable models, analysis and short-term forecasting, software.