

УДК 651.51

Л.М. КИСЛИЦЯ

Вінницький національний технічний університет, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ІЄРАРХІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Розроблено інформаційну технологію підтримки прийняття рішень в умовах багатокритеріальності для аналізу часових рядів. Розроблене власне дерево ієрархії критеріїв для аналізу випадкових процесів. Для оцінки альтернативних рішень запропоновано використання ієрархічного підходу, представлено основні етапи застосування та формули для розрахунку критеріїв різних ієрархічних рівнів. Перевірено використання інформаційної технології для прийняття рішень під час роботи з фінансовими активами і відмічено її використання і для випадкових процесів довільної природи.

Ключові слова: прийняття рішення, багатокритеріальна оптимізація, скалярна згортка, часовий ряд, ієрархічний підхід.

Вступ

Розвиток сучасного виробництва, науки та і всього суспільства загалом характеризується широким упровадженням сучасних технологій, «технологізацією» виробництва і, як наслідок, підвищенням продуктивності праці, темпів глобалізації світової економіки. Тому останнім часом все більше зростає потреба в системах, які здатні виконувати не тільки запрограмовану послідовність дій над раніше визначеними даними, але й здатні самі аналізувати нову інформацію, знаходити в ній закономірності, проводити прогнозування, приймати рішення тощо.

Разом із тим, аналіз сучасного стану досліджень в області створення систем прогнозування процесів, які містять стаціонарні та нестаціонарні складові, свідчить про наявність таких проблем [1, 2]:

- жоден з існуючих якісних методів сам не може бути застосований для розв'язання наближених до реальності задач;
- проблема обробки нечітких даних при використанні різноманітних ієрархічних та мережових структур для зберігання експертної інформації;
- недостатня дослідженість проблеми великої розмірності, яка виникає при значному обсязі експертних даних.

Універсальних та досконалих підходів до розв'язання цієї проблеми на сьогодні не існує. Прийняття обґрунтованих оперативних та стратегічних рішень щодо розвитку стаціонарних та нестаціонарних процесів неможливе без використання прогнозів тенденцій розвитку та ризиків, що виникають в процесах. На сьогодні існує ряд методів та підходів до розв'язку задачі математичного моделювання та прогнозування як загальних тенденцій до зростання

чи спаду того чи іншого процесу, так і ризиків, які часто мають нестаціонарний характер.

Задачунайкращоговибору вивчає теорія прийняття рішень (ПР). За її допомогою можна здійснити вибір більш обґрунтовано, ефективно використовуючи апріорну інформацію про вимоги та очікувані результати. Звичай вважається, що оптимальним є таке можливе рішення, яке якнайповніше відповідає намірам, інтересам або цілям ОПР. Однак в складних ситуаціях доводиться мати справу не з однією, а відразу з декількома такими функціями. Так буде, наприклад, коли якість явища, об'єкт або процес розглядати з різних точок зору і для формалізації кожної точки зору використовується відповідна функція. Надзвичайно широкий і важливийз практичної точки зору клас задачвибору складають багатокритеріальні задачі, в яких якість рішеннящо приймається, оцінюється по декількох критеріях одночасно [2].

У зв'язку з цим виникає потреба у створенні зручніших і досить надійних методів багатокритеріального вибору рішеньна основі обробки експертних знань і нечіткого розпізнавання ситуацій для аналізу стаціонарних та нестаціонарних процесів.

Метою роботи є розробка інформаційної технології підтримки прийняття рішень, яка можуть бути ефективно застосована для прогнозування динаміки стаціонарних та нестаціонарних процесів в умовах багатокритеріальності.

Основна частина

Аналіз випадкових процесів включає в себе 3 основні етапи: ідентифікація типу процесу (стаціонарний чи не стаціонарний, гомоскедастичний чи

гетероскедастичний), вибір математичної моделі, яка найбільш адекватно описує процес, та прогнозування динаміки процесу за допомогою цієї моделі.

Для кожного типу випадкового процесу були автором були розроблені спеціальні класи математичних моделей, представлені в [3, 4]. Дана робота присвячена розробці інформаційної технології ППР для аналізу часових рядів, тому опишемо найбільш важливі етапи процесу її створення.

Особа, що приймає рішення, має в своєму розпорядженні дискретну множину рішень, які оцінюються відповідно до відібраних критеріїв. Одні критерії є кількісними (числовими), а інші – якісними (лінгвістичними). Тому ставиться задача знайти рішення або їх групу заданої розмірності, що задовольняє її найбільшою мірою. Для її вирішення пропонується використання ієрархічних підходів до прийняття рішення в умовах багатокритеріальності.

Основна ідея ієрархічного підходу полягає в наступному: безліч елементів, що відображають складну ситуацію, можна об'єднати в групи відповідно до основних властивостей елементів. Така модель дозволяє повторювати даний процес так, що групи, або їх загальні властивості, розглядаються як елементи наступного рівня системи.

Ці елементи, в свою чергу, можуть бути згруповані відповідно до інших виділених властивостей, створюючи елементи ще більш високого рівня, і так до тих пір, поки не буде досягнута мета процесу прийняття рішення. Ця система напластовування рівнів, кожен з яких характеризується безліччю ознак, називається ієрархією.

Якість альтернативи визначається ієрархічною системою векторів:

$$y^{(j-1)} = \left\{ y_i^{(j-1)} \right\}_{i=1}^n, \quad j \in [2, m], \quad (1)$$

де $y^{(j-1)}$ – вектор критеріїв на $(j-1)$ -му рівні ієрархії, по компонентам якого оцінюється якість властивостей альтернативи на j -му рівні; m – кількість рівнів ієрархії; $n^{(j-1)}$ – кількість оцінюваних властивостей $(j-1)$ -го рівня ієрархії.

Чисельні значення n критеріїв $y(1) = y$ першого рівня ієрархії для даної альтернативи задані. Тому можна стверджувати, що $n(1)=n$ й $n(m)=1$.

Один і той же критерій $(j-1)$ -го рівня може брати участь в оцінці декількох властивостей j -го рівня, тобто в ієрархії можливі перехресні зв'язки. Структурна схема системи критеріїв якості альтернативи показана в табл. 1, 2.

Важливість (значущість) кожної з компонент критерію $(j-1)$ -го рівня при оцінці k -ої властивості j -го рівня характеризується коефіцієнтом пріоритету, сукупність яких складає систему векторів пріоритету:

$$p_{ik}^{(j-1)} = \left\{ p_{ik}^{(j-1)} \right\}_{k=1}^{n^{(j)}}, \quad j \in [2, m], \quad (2)$$

Визначення коефіцієнтів p_i на кожному рівні ієрархії може бути виконане шляхом оптимізації на симплексі з використанням дуального підходу, описаного в [4], або методом експертних оцінок за шкалою балів.

У останньому випадку ОПР або експерт повинен оцінити відносний вплив кожного часткового критерію нижчого рівня ієрархії на загальну оцінку k -ої властивості альтернативи на наступному рівні при заданих умовах і співвіднести свою оцінку з відповідною точкою на шкалі, що характеризується числом f . Допускається вибирати точки між числами або приписувати декілька критеріїв одній точці на шкалі.

Тоді коефіцієнти пріоритету можна визначити по наступній формулі:

$$p_{ik}^{(j-1)} = f_{ik} / \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} f_{iki}, \quad k \in [1, n^{(j)}], \quad j \in [2, m], \quad (3)$$

де $p_{ik}^{(j-1)}$ – i -та компонента вектора пріоритету критерію на $(j-1)$ -му рівні ієрархії при розрахунку оцінки ефективності k -ої властивості j -го рівня;

f_{ik} – оцінка значущості i -ої властивості $(j-1)$ -го рівня для k -ої властивості j -го рівня (визначається експертами або ОПР за шкалою балів).

Далі для аналітичної оцінки ефективності ієрархічних структур подальших рівнів пропонується застосувати метод вкладених скалярних згорток [2]. Композиція здійснюється за «принципом матрьошки»: скалярні згортки зважених компонент векторних критеріїв нижчого рівня є компонентами векторних критеріїв вищого рівня. Скалярна згортка критеріїв, отримана на самому верхньому рівні, автоматично стає вираженням для оцінки ефективності всієї ієрархічної системи в цілому [2].

Алгоритм вирішення задачі методом вкладених скалярних згорток представляється ітераційною послідовністю операцій зваженої скалярної згортки векторних критеріїв кожного рівня ієрархії знизу доверху з урахуванням векторів пріоритету на основі вибраної схеми компромісів:

$$\left\{ \left(y^{(j-1)}, p^{(j-1)} \right) \rightarrow y^{(j)} \right\}, \quad j \in [2, m], \quad (4)$$

Тоді пошук оцінки ефективності всієї ієрархічної системи (альтернативи) в цілому виражається задачею визначення скалярної згортки критеріїв на верхньому рівні ієрархії:

$$y^* = y^{(m)}, \quad (5)$$

При використанні рекурентної формули (4) важливим представляється раціональний вибір схеми компромісів. Для застосування методу вкладених скалярних згорток адекватною є нелінійна схема

компромівів, описана в [4]. Вираз для оцінки k-ої властивості альтернативи на j-му рівні ієрархії із застосуванням нелінійної схеми компромівів має вигляд:

$$y^{(j)}(p_k^{(j-1)}, y_{0k}^{(j-1)}) = \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1}, \quad (6)$$

$k \in [1, n^{(j)}],$

де критерії (j-1)-го рівня нормовані, наприклад, по формулі:

$$y_0 = y / A, \quad (7)$$

де A – максимальне значення, яке може приймати критерій.

Таким чином, $y_{0k}^{(j-1)}$ – компоненти нормованого вектора $y_0^{(j-1)}$, що беруть участь в оцінці k-ої властивості альтернативи на j-м рівні ієрархії; $n_k^{(j-1)}$ – їх кількість; $n^{(j)}$ – кількість властивостей, що оцінюються на j-му рівні.

Нормування критеріїв проміжних рівнів до мінімального значення відповідно до схеми нелінійних компромівів відбувається за формулою:

$$\hat{y}_{0k}^{(j)} = \frac{y_{k \min}^{(j)}}{y_k^{(j)}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1}}, \quad (8)$$

Для того, щоб отримати необхідний відносний критерій, що мінімізується, потрібно здійснити наступну заміну:

$$y_{0ik}^{(j)} = 1 - \hat{y}_{0ik}^{(j)},$$

і остаточний вираз для рекурентної формули розрахунку аналітичних оцінок властивостей альтернатив на всіх рівнях ієрархії набуває вигляду:

$$y_{0k}^{(j)} = 1 - \left\{ \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1} \right\}^{-1}, \quad j \in [2, m]. \quad (9)$$

Якісна (лінгвістична) оцінка альтернативи розраховується зіставленням аналітичної оцінки з оберненою нормованою фундаментальною шкалою. Інтервальна нормована обернена шкала представлена в табл. 1.

Таблиця 1

Категорії якості рішення

Категорія якості	Інтервали оберненої нормованої фундаментальної шкали оцінок y_0
Неприйнятна	1,0-0,7
Низька	0,7-0,5
Задовільна	0,5-0,4
Добра	0,4-0,2
Висока	0,2-0,0

В залежності від інтервального значення альтернативи ОПР вибирає ту, яка відповідає категорії «Висока», «Добра» чи «Задовільна». Якщо всі наявні альтернативи потрапляють у категорії «Низька» чи «Неприйнятна», то ОПР потрібно переглянути розставлені пріоритети або замінити деякі критерії.

Для аналізу випадкових процесів було розроблене власне дерево ієрархії критеріїв, яке включає наступні групи критеріїв:

1. Ефективність математичної моделі, представлена двома рівнями – адекватністю, що включає в себе ще 4 критерії нижчого рівня – статистичні показники, та прогностичною здатністю моделі, що складається з 3 критеріїв – оцінок якості прогнозу. Окремо треба відмітити, що підгрупа критеріїв, яка характеризує адекватність моделі, буде складатись з різних критеріїв в залежності від виду цієї моделі.

2. Спеціальні часткові критерії, яка може включати в себе будь-яку кількість рівнів в залежності від вибору ОПР і ситуації, що пропонується для вирішення.

3. Критерій, який характеризує рівень професіоналізму ОПР в даній області прийняття рішень: новачок, регулярний користувач і професіонал.

Розглянемо застосування розробленої технології для оцінки альтернативних рішень при прогнозуванні поведінки ціни фінансових активів [5]. Для цього були обрані активи трьох відомих світових компаній AA, APOL та YHOO і денні фінансові дані, представлені часовими рядами датою на 12.10.2009. Альтернативні рішення щодо подальших дій були визначені наступні: Продавати, Купувати, Чекати. Для кожної з альтернатив було побудовано власне дерево критеріїв та визначені значення спеціальних часткових критеріїв, які характеризують даний актив на фінансовому ринку в рамках фундаментального та технічного аналізу. На першому етапі для часового ряду, що характеризував певний фінансовий актив, була проведена ідентифікація типу процесу, підібрана відповідна математична модель та обраховані основні статистичні показники оцінки її адекватності та якості прогнозу. Далі за допомогою ієрархічного підходу було розраховано оцінки визначених альтернатив для всіх трьох часових рядів. Результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Оцінки альтернативних рішень

Альтернатива	AA	APOL	YHOO
Купувати	0,23	0,58	0,11
Продавати	0,17	0,25	0,66
Чекати	0,7	0,15	0,23

Аналізуючи результати оцінок альтернатив, можна зробити висновок, що на момент прийняття рішення для отримання прибутку актив YHOO необхідно продавати, актив APOL купувати, а з AA не

приймати ніяких дій і зачекати до іншого слушного моменту. Розроблену технологію прийняття рішення можна застосовувати не тільки для оцінки фінансових рядів. В результаті досліджень було доведено ефективність її застосування для прогнозування трафіку завантаженості мережі, значень затримок RRT та інших технологічних процесів, які можна представляти часовими рядами. На основі розробленої технології планується розробити СППР і перевірити її використання в режимі реального часу.

Висновки

Розроблено інформаційну технологію підтримки прийняття рішень для аналізу часових рядів в умовах багатокритеріальності. Було доведено ефективність використання ієрархічного підходу для оцінок альтернатив, що в свою чергу дає змогу підвищити ефективність прийняття рішень за рахунок представлення критеріїв оцінок рішень у вигляді дерева ієрархій. Описано методику і приклад застосування технології для прийняття рішення щодо фінансових активів.

Література

1. Кини Р. *Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения* / Р. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
2. Ларичев О.И. *Теория и методы принятия решений* / О.И. Ларичев. – М.: Наука, 2000. – 240 с.
3. Кветний Р.Н. *Автоматизована система для прийняття експертних рішень з використанням GARCH – моделей* / Р.Н. Кветний, В.Ю. Коцюбинський, Л.М. Кислиця // *Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Вип. 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 102-107.*
4. Кветний Р.Н. *Настроювання автоматизованої системи для прийняття експертних рішень з використанням GARCH-моделей* / Р.Н. Кветний, В.Ю. Коцюбинський, Л.М. Кислиця // *Наукові праці ВНТУ, 2009, №1. – С. 105-109.*
5. Кветний Р.Н. *Adaptive information technology of decision-making support for time series prediction* / Р.Н. Кветний, В.Ю. Коцюбинський, Л.М. Кислиця, Н.В. Казимірова // *Матеріали 5-ої міжнародної наукової практичної конференції «Динаміката на сьвременната наука – 2009».* – 2009. – Т. 15. – С. 15-19.

Надійшла до редакції 22.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, професор каф. АІВТ А.Я. Кулик, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИЕРАРХИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ АНАЛИЗА ЧАСОВЫХ РЯДОВ

Л.М. Кислиця

Разработано информационную технологию поддержки принятия решений в условиях многокритериальности для анализа часовых рядов. Разработано собственное дерево иерархий критериев для анализа случайных процессов. Для оценки альтернативных решений предложено использование иерархического подхода, представлены основные этапы применения и формулы для расчета критериев разных иерархических уровней. Проверено использование информационной технологии для принятия решений во время работы с финансовыми активами и отмечено ее использование и для случайных процессов произвольной природы.

Ключевые слова: принятие решения, многокритериальная оптимизация, скалярная свертка, часовой ряд, иерархический поход.

INFORMATION TECHNOLOGY OF SUPPORT OF DECISION-MAKING IS ON BASIS OF HIERATICAL APPROACH FOR ANALYSIS OF ROWS OF SENTINELS

L.N. Kislitsa

The information technology of decision-making support for times series are developed for usage in the multi-objective conditions. The own tree of hierarchy's criteria is developed for the analysis of casual processes. To estimate alternative decisions a hieratical approach is offered, author described the basic stages of usage and presented formula for the calculation and rating of criteria on different hierarchical levels. This information technology is tested on financial time series for a decision-making and author proved efficiency of its usage for the casual processes of arbitrary nature.

Key words: decision-making process, multi-objective optimization, scalar compression, sentinel row, hieratical approach.

Кислиця Людмила Миколаївна – магістр комп'ютерних наук, асистент кафедри АІВТ Вінницького національного технічного університету, Вінниця, Україна, email: lus83@mail.ru.