

УДК 004.891.2:632

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ БАЗИ ЗНАНЬ МАМДАНІ-ЗАДЕ ДЛЯ ПРОСТОРОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ЩІЛЬНОСТІ ПОПУЛЯЦІЙ

В. М. Дубовой

Доктор технічних наук, професор
Кафедра комп'ютерних систем управління
Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021
E-mail: v.m.dubovoy@gmail.com

О. С. Сольський

Викладач
Кафедра економічної кібернетики
та інформаційних систем
Уманський національний університет садівництва
вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл.,
Україна, 20305
E-mail: alex-2005z@rambler.ru

В даній статті запропоноване рішення задачі просторової інтерполяції чисельності популяцій за допомогою геоінформаційної технології, що базується на нечіткій базі знань Мамдані-Заде. Запропонована модель дозволяє здійснювати просторову інтерполяцію щільності шкідників в режимі реального часу в умовах, коли вхідні параметри моделі якісні або нечіткі

Ключові слова: просторова інтерполяція, захист рослин, нечітка база знань, Мамдані, Заде, геоінформаційна технологія

В данной статье предложено решение задачи пространственной интерполяции численности вредителей с помощью геоинформационной технологии, которая основывается на нечёткой базе знаний Мамдани-Задэ. Предложенная модель позволяет осуществлять пространственную интерполяцию плотности вредителей в режиме реального времени в условиях, когда входные параметры модели качественные или нечеткие

Ключевые слова: пространственная интерполяция, защита растений, Мамдани, Задэ, нечеткая база знаний, геоинформационная технология

1. Вступ

В контексті розв'язання проблеми розробки інформаційної технології планування захисту рослин (ЗР) [1], метою якої є підвищення ефективності процесу вибору методів та засобів захисту рослин, не вирішеною є задача просторової інтерполяції результатів обстежень шкідників на території, де ці обстеження не проводилися.

2. Формування цілі дослідження

Для своєчасного виявлення шкідників (хвороб рослин) на полях с.-г. підприємства та вжиття відповідних заходів щодо ЗР необхідно постійно проводити фітосанітарний (ФС) моніторинг [2], що потребує конкретних знань та ресурсів. Районні ФСІ (фітосанітарні інспекції) періодично проводять ФС моніторинг вибірково на полях району і передають геоінформаційні дані про наявність та чисельність шкідників до обласної ФСІ [2].

Подібні обстеження проводяться у великих господарствах.

Ціль дослідження – розробити модель просторової інтерполяції результатів досліджень районних ФСІ на сусідніх (географічно близьких) територіях для визначення видового та кількісного складу шкідників на заданій території.

3. Аналіз об'єкту досліджень

Системний аналіз предметної області дозволив визначити особливості, які необхідно враховувати при розробці моделі просторової інтерполяції чисельності шкідників:

- нерівномірність поширення шкідників, яка залежить від багатьох екологічних та біологічних факторів;

- швидкість та радіус розповсюдження (міграційна здатність) кожного виду шкідника різні;

- чисельність шкідника на полі залежить від заходів захисту рослин, які були виконані на даному полі, та часу, який пройшов після їх застосування;

- розвиток шкідників залежить від метеорологічних показників (від температури повітря, кількості опадів, відносної вологості повітря), тому для інтерполяції необхідно використовувати результати спостережень на територіях, що розташовані на не великій відстані, де відносно однакові ці показники.

Методи, які використовуються в інформаційних технологіях [3, 4] не можуть бути використані в нашій країні через слабку мережу ФС моніторингу.

Для ефективної просторової інтерполяції за допомогою статистичних моделей необхідно мати точні результати обстежень. Відповідно до методики проведення польових досліджень для всіх видів шкідників з помірним рівнем чисельності середня помилка при обліку лежить в межах 15-40% і рідко буває нижче

10%, реальна точність обліків у сільськогосподарській практиці також не перевищує 80 % [5].

На розповсюдження шкідників впливає дуже багато параметрів, більшість з яких не формалізовані, або математичний опис є дуже складним, інформація про ці фактори може бути нечіткою або неповною. В таких умовах результати інтерполяції також мають нечіткий характер. Виходячи із особливостей предмету дослідження, будемо використовувати локальні методи просторової інтерполяції [6, 7]. Для їх формалізації застосуємо апарат теорії нечітких множин і нечіткої логіки.

4. Розробка моделі просторової інтерполяції

Використання нечіткої логіки дозволяє розробити таку геоінформаційну модель для просторової інтерполяції чисельності шкідників (хвороб рослин), яка б враховувала зазначені особливості і обмеження ФС моніторингу та похибка результатів була в межах допустимої для сільськогосподарського обліку. Модель має вирішувати дану задачу в режимі реального часу.

В моделі будемо використовувати топографічну двовимірну систему координат (без врахування висоти). Координати об'єктів представлені у векторній формі. В повідомленнях ФСІ використовується середня щільність шкідників на полі, тому для ідентифікації результатів спостережень будемо використовувати координати геометричного центру поля (полігону). В зв'язку із здійсненням інтерполяції порівняно на невеликій площі, вимірювання відстаней будемо проводити за найкоротшою прямою без урахування сферичності земної поверхні [8].

При розробці моделі необхідно враховувати такі дані:

- 1) результати досліджень на сусідніх територіях;
- 2) основний напрямок вітрів (роза вітрів) на кожній із цих територій;
- 3) особливості поширення даного виду шкідників (хвороб рослин) в залежності від фази динаміки популяції в якій він знаходиться;
- 4) погодні умови.

Задача вирішується окремо для кожного виду шкідника (хвороби рослини).

Алгоритм розв'язку задачі:

- 1) визначити території, на яких проводилися дослідження і які розташовані на відстані, що не перевищує міграційну здатність шкідника (r) (рис. 1) (\otimes - задана територія, \oplus - території, на яких проводилися дослідження і результати цих досліджень можуть бути використані при розв'язуванні задачі, \circ - території, які не враховуються в моделі);

- 2) отримати із цих територій результати досліджень $R_i(x_i, y_i, \Psi_i, \text{НВ}_i, \text{СВ}_i, \text{ОП}_i, \text{ФП}_i, \text{КП}_1, \text{КП}_2)$, де $i = 1..m$, де m - кількість вибраних для аналізу територій;

x_i, y_i - координати геометричного центру i -тої території, в якій проводилися дослідження; Ψ_i - щільність шкідників (хвороб рослин) на i -тій території; НВ_i - основний напрям вітрів (роза вітрів) на i -тій території; СВ_i - середня швидкість вітрів на i -тій території; ОП_i - оцінка умов, які сприяють розповсюдженню (поширенню) шкідника (хвороби рослин) на i -тій території; ФП_i - фаза динаміки популяції шкідника (хвороби рослин) на i -тій території; КП_1 - культура, яка вирощується на i -тій території (районі) (на полі, на якому проводилося обстеження);

3) будемо вважати, що щільність шкідника (хвороби рослини) на заданій території не може бути меншою, ніж найменша із вибраних сусідніх територій:

$$\Psi_{\text{зн}} = \min_i(\Psi_i), \quad (1)$$

4) переглянути результати досліджень сусідніх територій, у випадку $\Psi_{\text{ЗТ}} < \Psi_i$ - визначити за допомогою моделі нечіткого висновку Мамдані-Заде (рис. 2) як може вплинути щільність шкідників (хвороб рослин) на i -тій території на щільність шкідників (хвороб рослин) на заданій території.

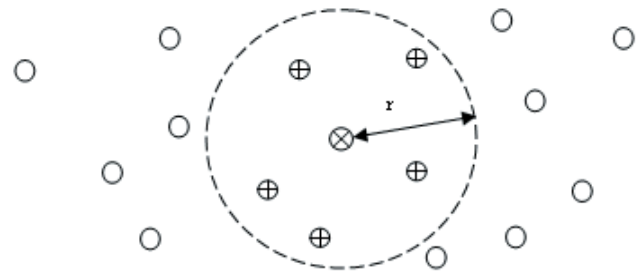


Рис. 1. Визначення територій, результати спостережень на яких можуть бути враховані при визначенні щільності шкідника на заданій території

На рис. 2 показана схема нечіткого висновку на основі ієрархічної бази знань, що моделює залежність $\Psi_{\text{П}}^* = f(s^*, a^*, \text{ШВ}^*, \text{ОП}^*, \text{ФП}^*, \Psi^*, \text{КП1}^*, \text{КП2}^*)$, яка складається із 3-х нечітких баз: $\text{ХВ}^* = f_1(a^*, \text{ШВ}^*)$, $\text{ХД}^* = f_2(s^*, \text{ХВ}^*)$ та $\Psi_{\text{П}}^* = f_3(\text{ХД}^*, \text{ОП}^*, \text{ФП}^*, \Psi^*, \text{КП1}^*, \text{КП2}^*)$. Опис вхідних і вихідних змінних нечітких баз знань f_1, f_2, f_3 представлений в табл. 1.

Параметри функцій належності деяких змінних залежать від виду шкідника (хвороби рослини) (в стовпчику Const позначенні знаком « \rightarrow ») (наприклад: змінна Ψ^* (щільність шкідника)).

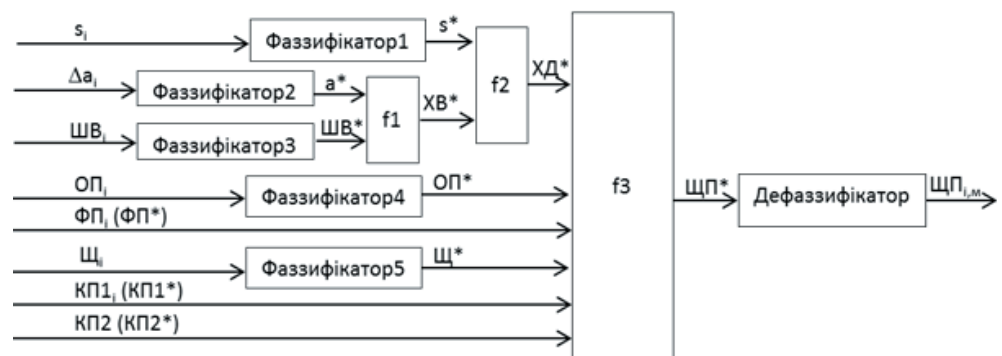


Рис. 2. Схема нечіткого висновку для визначення $\Psi_{\text{П}_{i,m}}$

Так як рослинам завдають шкоди велика кількість видів шкідників (хвороб рослин), відповідно обсяг баз знань f1, f2, f3 є досить великим, тому будуть описані лише принципи їх побудови.

Таблиця 1

Опис змінних нечітких бази знань f1, f2, f3

Змінна	Опис змінної	Const
ХВ*=f1(a*,ШВ*)		
a*	Напрямок вітру на і-тій території відносно досліджуваної території (Δа – кут між основним напрямком вітру на і-тій території та відрізком, що з'єднує центр і-тої території з досліджуваною територією).	+
ШВ*	Середня сила вітру на і-тій території.	+
ХВ*	Характеристика вітру на і-тій території відносно досліджуваної території.	+
ХД*=f2(s*, ХВ*)		
s*	Характеристика відстані між центром і-тої території та досліджуваною територією.	-
ХВ*	Характеристика вітру на і-тій території відносно досліджуваної території.	+
ХД*	Характеристика дальності.	+
ЩП*=f3(ХД*, ОП*,ФП*,Щ*)		
ХД*	Характеристика дальності.	+
ОП*	Оцінка умов, які сприяють поширенню (розповсюдженню) шкідника (хвороби рослин) на і-тій території.	+
ФП*	Фаза динаміки популяції шкідника (хвороби рослини).	+
Щ*	Щільність шкідника на і-тій території.	-
КП1*	Культура, яка росте на і-тій території (на полі, на якому проводилося обстеження)	-
КП2*	Культура, яка росте на досліджуваній території (на полі, на якому визначається щільність шкідника)	-
ЩП*	Прогнозована щільність шкідника на досліджуваній території.	-

Фазифікацію термів будемо здійснювати за допомогою гаусової функції належності:

$$\mu^t(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, \tag{2}$$

для змінних, параметри функцій належності яких не залежать від виду шкідника (хвороби рослини), та:

$$\mu^t(x) = e^{-\frac{(x-b_j)^2}{2c_j^2}}, \tag{3}$$

для яких залежать, де $\mu^t(x)$ – функція належності змінної x до терму t; b – параметр функції належності, що відповідає координаті максимуму ($\mu^t(x)=1$); c – параметр звуження-розширення функції належності; j=1..m, де m – кількість видів шкідників (хвороб рослин). Параметри функцій належності для кожного лінгвістичного терму бази знань f1 визначені на основі опитування експертів і наведені в табл. 2. Параметри функцій належності для кожного лінгвістичного терму баз знань f2, f3 мають визначатися для кожного виду шкідливого організму окремо на основі результатів спостережень за декілька років в різних регіонах

країни та опитування експертів, відповідно обсяг баз знань f2, f3 є досить великим. В зв'язку із обмеженим обсягом статті наведено лише фрагмент: базу знань f1, решта побудовані за тим самим принципом.

Під час налаштування моделей параметри можуть бути змінені для мінімізації середньоквадратичного відхилення між експериментальними даними та результатами моделювання [8].

Таблиця 2

Параметри функцій належності термів бази знань f1

Змінна	Терм-множини	Параметри функцій належності	
		c	b
a*	Попутний вітер (П)	25	0
	Попутний боковий вітер (ПБ)	8	60
	Боковий вітер (Б)	8	90
ШВ*	Протилежний боковий вітер (ПТБ)	8	120
	Протилежний вітер (ПТ)	25	180
	Сильний вітер (СВ)	5	30
ХВ*	Слабкий вітер (СЛВ)	3	10
	Штиль (Ш)	2	0
	Попутний сильний вітер (ПСВ)	5	30
	Попутний слабкий вітер (ПСЛВ)	3	10
	Боковий вітер (БВ)	2	0
	Протилежний слабкий вітер (ПТСЛВ)	3	-10
	Протилежний сильний вітер (ПТСВ)	5	-30

Експертні лінгвістичні висловлювання, що відображають взаємозв'язок між факторами a*, ШВ* та результатом ХВ*, подані в табл. 3.

Нечіткий логічний висновок здійснюється за міні-максним принципом [9]. Для дефазифікації використовуємо метод центру тяжіння [10].

Результати просторової інтерполяції можуть бути відображені на карті або передані в інші моделі та методи для подальшого аналітичного перетворення. Базовим шаром для відображення результатів може бути будь-яка карта (Google Maps, Yandex Maps, Bing Maps, MapQuest та ін). Для відображення результатів просторової інтерполяції кожного виду шкідливого організму використовується окремий шар. Для одночасного відображення результатів інтерполяції по всіх найбільш шкідливих організмах може бути використана гістограма.

Таблиця 3

Нечітка база знань ХВ*=f1(a*,ШВ*)

№ п/п	a*	ШВ*	ХВ*	№ п/п	a*	ШВ*	ХВ*
1	П	СВ	ПСВ	9	ПБ	Ш	БВ
2	П	СЛВ	ПСЛВ	10	ПТБ	Ш	БВ
3	ПБ	СВ	ПСЛВ	11	ПТ	Ш	БВ
4	ПБ	СЛВ	БВ	12	ПТБ	СЛВ	БВ
5	Б	СВ	БВ	13	ПТБ	СВ	ПТСЛВ
6	Б	СЛВ	БВ	14	ПТ	СЛВ	ПТСЛВ
7	Б	Ш	БВ	15	ПТ	СВ	ПТСВ
8	П	Ш	БВ				

Розроблена модель знаходиться на етапі налаштування та одночасного тестування. В зв'язку із особливостями розповсюдження шкідників, повне налаштування моделі та накопичення достатньої кількості правил в базі знань може тривати декілька років.

Часткове налаштування моделі станом на 30 березня 2013 року було здійснено для 2-х видів шкідників (листяної бурякової попелиці та звичайного бурякового довгоносика) на основі даних спостережень на протязі 10 років в Уманському та Тальнівському районах Черкаської області (вибірка із 48 спостережень для кожного). Тестування моделі проводилося на основі результатів спостережень в Гайворонському районі Кіровоградської області (вибірка із 57 спостережень для листяної бурякової попелиці та із 56 спостережень для звичайного бурякового довгоносика). Середньостатистичне відхилення при тестуванні моделі склало 9,37 % для першого виду та 10,72 % для другого, що є в межах допустимої точності для обліку чисельності популяцій за допомогою проб [5].

Через особливості предмету дослідження, модель може бути використана для визначення чисельності шкідників (хвороб рослин) при першій їх появі, до застосування засобів ЗР, а також після їх застосування,

якщо вже пройшов певний час (цей час для кожного заходу ЗР різний).

Основні задачі моделі:

– в сукупності з іншими моделями та методами ІТ – сигналізації про необхідність проведення реальних досліджень в господарстві з видачею підказки щодо методу їх проведення та видачі рекомендації щодо дій, якщо результати інтерполяції вірні;

– восени оцінка агрофону та фітосанітарного стану полів, на яких не проводились дослідження для забезпечення інформацією модель довгострокового прогнозування.

5. Висновок

В роботі запропонований підхід щодо просторової інтерполяції результатів досліджень на сусідніх територіях для визначення видового та кількісного складу шкідників на заданій території на основі нечіткої бази знань. Дана модель дозволяє здійснювати просторову інтерполяцію щільності шкідників в режимі реального часу в умовах, коли вхідні параметри якісні або нечіткі.

Література

1. Дубовой, В. М. Структура та задачі інформаційної технології у проблемі захисту рослин [Текст] / В. М. Дубовой, О. С. Сольський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 2. – С. 115 – 119.
2. Лісовий, М. П. Довідник із захисту рослин [Текст] / М.П.Лісовий, Л. І. Бублик, Г. І. Васечко, В. П. Васильєв. – К. : Урожай, 1999. – 744 с.
3. WebGIS Design & Implementation for Pest Life - cycle & Control Simulation Management: The Case of Olive - fruit Fly / [Ioannis Karydis, Panagiotis Gratsanis, Christos Semertzidis, Markos Avlonitis] [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.ionio.gr/~karydis/my_papers/KarydisGSA2013%20-%20WebGIS%20Design%20&%20Implementation%20for%20Pest%20Life-cycle.pdf.
4. NEWA. Network for Environment and Weather Applications [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://snyderfarm.rutgers.edu/weather-pest-forecasting.html>.
5. Учет численности популяций с помощью проб [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.vitadez.ru/katalog/populyatsiya-nasekomich>.
6. Matheron G. Principles of geostatistics / G. Matheron // Economic Geology, 58, 1963.
7. Jin Li. A review of spatial interpolation methods for environmental scientists [Текст] / Jin Li, Andrew D. Heap // Geoscience Australia, GPO Box 378, Canberra, ACT 2601, Australia. – 2008. – 154 pp.
8. Світличний, О. О. Основи геоінформатики: Навчальний посібник [Текст] / О. О. Світличний, С. В. Плотницький . – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 295 с.
9. Штовба, С. Д. "Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику" [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/>.
10. Ротштейн, А. П. Идентификация нелинейных зависимостей нечеткими базами знаний [Текст] / А. П. Ротштейн, Д. И. Кательников // Кибернетика и системный анализ. – 1998. – №5. – С.53 – 61.