

УДК 681.3+007+614

Ю.П. Рак, д-р техн. наук, проф., О.Б. Зачко

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗАСОБАМИ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Наведено методику побудови математичних моделей для прогнозування інформаційних індексів екологічної безпеки з використанням програмного забезпечення нейронних мереж.

Рівень ефективності управління екологічною політикою держави характеризується розробкою інформаційно-аналітичного інструментарію, здатного забезпечити моніторинг та аналіз стану навколишнього природного середовища. Моніторинг екологічної безпеки держави повинен включати аналіз статистичної бази показників, які характеризують стан екологічної ніші, антропогенний вплив на природу тощо. Оскільки множина таких показників є багатогранною, і кожен рік міняється їх кількість, то аналіз рівня екологічної безпеки держави в розрізі регіонів необхідно проводити за допомогою введення та розрахунку інтегрального індикатора рівня екологічної безпеки, який ми назвемо – інформаційний індекс екологічної безпеки.

Інформаційний індекс екологічної безпеки – це безрозмірний показник (коефіцієнт), що характеризує екологічний стан регіону і міняється в діапазоні граничних значень $[0, 1]$, де значення 0 характеризує найгірший стан, 1 – найкращий стан екологічної ситуації.

Методика розрахунку інформаційного індексу екологічної безпеки передбачає ряд етапів, серед яких нормалізація даних, обчислення «головних компонент» у модулі факторного аналізу системи Statistica, з подальшим обчисленням інформаційних індексів по регіонах. Кожен з цих етапів включає в собі ряд операцій, деякі з них передбачають розгалуження типу «якщо <умова>, то <операція>». Велика кількість етапів обрахунку, та використання для кожного з етапів різних програмних середовищ (нормалізація даних та обчислення індексів проводиться в середовищі MS Excel, факторний аналіз – в Statistica) роблять складним процес впровадження даної методики для користувачів, що не мають підготовки в галузі статистичного аналізу та не володіють математичним апаратом на професійному рівні. Тому завданням даного дослідження є розробка інструментарію, за допомогою якого кінцевому користувачу необхідно було на вході системи задати множину статистичних показників, а на виході – отримати інформаційний індекс екологічної безпеки.

Для реалізації даного завдання ми розробили інтелектуальну систему на основі штучних нейронних мереж. Штучні нейромережі є електронними моделями нейронної структури мозку, який головним чином навчається з досвіду. Природній аналог доводить, що множина проблем, які поки що не підвладні розв'язуванню наявними комп'ютерами, можуть бути ефективно вирішені блоками нейронних мереж. Існують і продовжують створюватися комп'ютерні системи, побудовані на основі штучних нейронних мереж – нейрокомп'ютери, що представляють собою спеціальну програмно-технічну систему, здатну реалізовувати деяку формальну модель природної мережі нейронів. Такі системи здатні розпізнавати образи, обробку сигналів і зображень, прогнозування природних і соціально-економічних явищ тощо. Тобто конекціоністський підхід при створенні систем штучного інтелекту (подібний до мозку людини) є на сьогодні домінуючим.

Розглянувши просту базову модель нейронних мереж (штучний нейрон) як деякий пороговий елемент, що моделює чотири основні функції природного нейрона з n входами та одним виходом (рисунок 1).

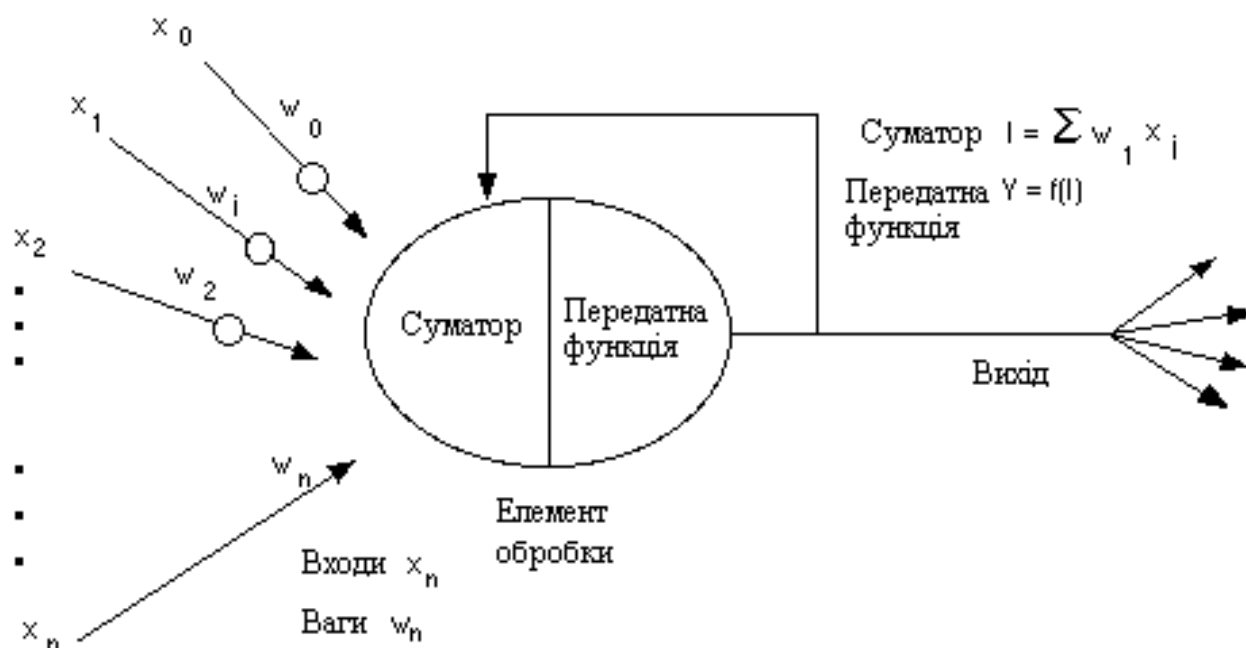


Рисунок 1 – Базовий штучний нейрон

Причому кожному входу приписується вага w_i , яка може бути як додатною, так і від’ємною.

Модифіковані входи передаються на функцію сумування, яка переважно тільки сумує добутки. Проте можна обрати багато різних операцій, такі як середнє, найбільше, найменше, логічні функції «або» та «і» тощо, які могли б виробляти деяку кількість різних значень.

У будь-якому з цих випадків, вихід функції сумування надсилається у передатну функцію і скеровує весь ряд на дійсний вихід (0 або 1, -1 або 1, або яке-небудь інше число) за допомогою певного алгоритму, який дістав назву узагальнена дельта-процедура. В існуючих нейромережах в якості передатних функцій можуть бути використані сигмоїда, синус, гіперболічний тангенс тощо (рисунок 2).



Рисунок 2 – Сигмоїдальна передатна функція

Сигмоїдальною прийнято називати монотонно зростаючу функцію $f(S)$, яка дорівнює 0 при $S = -\infty$ та 1 при $S = \infty$. Після обробки сигналу, нейрон на виході має результат передатної

функції, який надходить на входи інших нейронів або до зовнішнього з'єднання, як це передбачається структурою нейромережі. Усі штучні нейромережі конструюються з базового формуючого блоку – штучного нейрону.

Інша частина створення і використання нейромереж стосується нескінченної кількості зв'язків, що пов'язують окремі нейрони. Групування у мозку людини відбувається так, що інформація обробляється динамічним, інтерактивним та самоорганізуючим шляхом. Біологічні нейронні мережі створені у тривимірному просторі з мікроскопічних компонент і здатні до різноманітних з'єднань. Але для створеної людиною мережі існують фізичні обмеження.

Існуючі на даний час, нейромережі є групуванням штучних нейронів. Це групування обумовлено створенням з'єднаних між собою прошарків.

На рисунку 3 показана типова структура штучних нейромереж. Хоча існують мережі, які містять лише один прошарок, або навіть один елемент, більшість застосувань вимагають мережі, які містять як мінімум три нормальних типи прошарків – вхідний, прихований та вихідний. Прошарок вхідних нейронів отримує дані або з вхідних файлів, або безпосередньо з електронних датчиків. Вихідний прошарок пересилає інформацію безпосередньо до зовнішнього середовища, до вторинного комп'ютерного процесу, або до інших пристроїв. Між цими двома прошарками може бути багато прихованих прошарків, які містять багато нейронів у різноманітних зв'язаних структурах. Входи та виходи кожного з прихованих нейронів просто йдуть до інших нейронів.

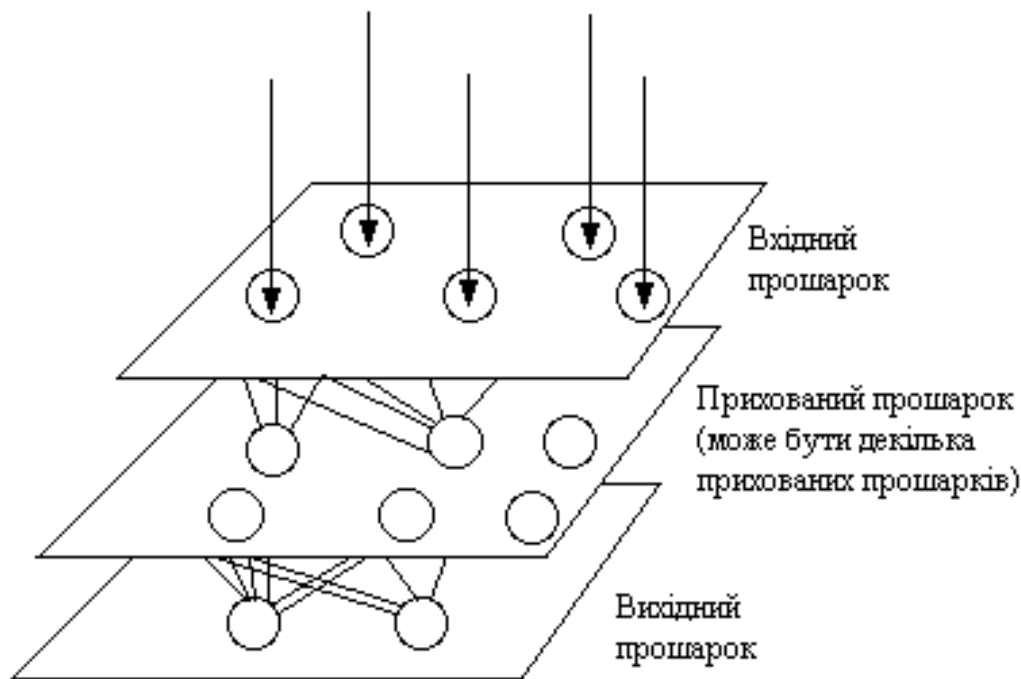


Рисунок 3 – Діаграма трьохшарової нейронної мережі

Так як здатність до навчання є фундаментальною властивістю мозку, то саме процес навчання може розглядатися як визначення архітектури мережі і налаштування ваг зв'язків для ефективного виконання спеціальної задачі. Нейромережа налаштовує ваги зв'язків по наявній навчальній множині. Властивість мережі навчатися на прикладах робить їх більш привабливими в порівнянні із системами, які функціонують згідно визначеній системі правил, сформульованої експертами.

Для вирішення задачі процесу навчання необхідно мати інформацію щодо моделі зовнішнього середовища, у якій функціонує нейрона мережа. По-друге, необхідно визначити,

як модифікувати вагові параметри мережі. Алгоритм навчання означає процедуру, в якій використовуються правила навчання для налаштування ваг.

Існують три загальні парадигми навчання: «з учителем», «без учителя» (самонавчання) і змішана. У першому випадку нейромережа має у своєму розпорядженні правильні відповіді (виходи мережі) на кожен вхідний приклад. Ваги налаштовуються так, щоб мережа виробляла відповіді як можна більш близькі до відомих правильних відповідей. У нашому прикладі ми будемо використовувати саме парадигму навчання «з учителем», де алгоритм навчання мережі включає такі етапи:

1. Ініціалізація мережі: вагові коефіцієнти і зсуви мережі приймають малі випадкові значення.

2. Визначення елемента навчальної множини: (вхід – вихід). Входи (x_1, x_2, \dots, x_N) , повинні розрізнятися для всіх прикладів навчальної множини.

3. Обчислення вихідного сигналу:

$$S_{im} = \sum_{i_{m-1}}^{N_{m-1}} W_{im, j_{m-1}} V_{i_{m-1}} - b_{im}; \quad (1)$$

$$y_{im} = f(S_{jm}); \quad (2)$$

$$i_m = 1, 2, \dots, N_m; \quad m = 1, 2, \dots, L, \quad (3)$$

де S – вихід суматора;

w – вага зв'язку;

y – вихід нейрона;

b – зсув;

i – номер нейрона;

N – число нейронів у прошарку;

m – номер прошарку;

L – число прошарків;

f – передатна функція.

4. Налаштування синаптичних ваг:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + r g_j x_i', \quad (4)$$

де w_{ij} – вага від нейрона i або від елемента вхідного сигналу i до нейрона j у момент часу t ;

x_i' – вихід нейрона i ;

r – швидкість навчання;

g_j – значення похибки для нейрона j .

Якщо нейрон з номером j належить останньому прошарку, тоді:

$$g_j = y_j(1 - y_j)(d_j - y_j), \quad (5)$$

де d_j – бажаний вихід нейрона j ;

y_j – поточний вихід нейрона j .

Якщо нейрон з номером j належить одному з прошарків з першого по передостанній, тоді:

$$g_j = x_j'(1 - x_j') \sum_k g_k w_{jk}, \quad (6)$$

де k – пробігає всі нейрони прошарку з номером на одиницю більше, ніж у того, котрому належить нейрон j .

Зовнішні зсуви нейронів b налаштовуються аналогічним чином:

- тип вхідних сигналів: цілі чи дійсні;
- тип вихідних сигналів: дійсні з інтервалу, заданого передатною функцією нейронів;
- тип передатної функції: сигмоїдальна.

В нейронних мережах застосовуються кілька варіантів сигмоїдальних передатних функцій. В нашому випадку використовується функція Ферми (експонентна сигмоїда):

$$f(S) = \frac{1}{1 + e^{-2aS}}, \quad (7)$$

де s – вихід суматора нейрона;

a – деякий параметр.

Наша модель зовнішнього середовища для навчання мережі включає показники по екологічній безпеці регіонів України [1] та розраховані інформаційні індекси екологічної безпеки. Методика розрахунку інформаційних індексів екологічної безпеки наведена в роботі [2]. Для дослідження ми взяли 9 показників, що характеризують екологічну ситуацію в регіонах за 2006 р., такі як:

- шкідливі викиди в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, тис. т;
- шкідливі викиди в атмосферне повітря пересувними джерелами, тис. т;
- заготівля деревини, тис. куб. м;
- заготівля деревини від рубок головного користування, тис. куб. м;
- відтворення лісів на землях лісового фонду, тис. га;
- утворилось відходів I–III класів небезпеки, тис. т;
- розміщено відходів у спеціально відведених місцях чи об'єктах (полігонах, комплексах, спорудах, ділянках надр тощо), що належать підприємствам, тис. т;
- розміщено відходів в місцях неорганізованого складування за межами підприємств, тис. т;
- наявність відходів I–III класів небезпеки у спеціально відведених місцях чи об'єктах (полігонах, комплексах, спорудах, ділянках надр тощо) та на території підприємств, тис. т.

У структурі нейронної мережі ми на вхід подали показники по екологічній безпеці регіонів України, а на вихід – інтегральний показник, яким є інформаційний індекс екологічної безпеки. Нейронна мережа повинна спрогнозувати інформаційний індекс екологічної безпеки, не знаючи методики її розрахунку, на базі вбудованих алгоритмів пошуку оптимальних вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків. Результати моделювання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Регіони України	Інформаційний індекс	[NET] Ср. кв. похибка	[NET] інформаційний індекс
Автономна Республіка Крим	53.70	0.0000113	53.23
Вінницька	85.62	0.0001000	84.60
Волинська	92.45	0.0000092	92.02
Дніпропетровська	60.48	0.0000026	60.71
Донецька	13.31	0.0001000	12.19
Житомирська	84.44	0.0000126	84.94
Закарпатська	91.59	0.0000000	91.58
Запорізька	0.00	0.0006000	3.49
Івано-Франківська	77.11	0.0000010	77.25
Київська	73.95	0.0000055	74.28

Закінчення таблиці 1

Регіони України	Інформаційний індекс	[NET] Ср. кв. похибка	[NET] інформаційний індекс
Кіровоградська	83.89	0.0000027	83.65
Луганська	82.45	0.0000345	83.28
Львівська	88.05	0.0000498	87.06
Миколаївська	79.57	0.0000045	79.87
Одеська	89.94	0.0000032	90.19
Полтавська	84.13	0.0000060	84.48
Рівненська	92.33	0.0000052	92.01
Сумська	73.60	0.0000004	73.68
Тернопільська	89.37	0.0000150	89.92
Харківська	84.83	0.0000009	84.97
Херсонська	91.12	0.0000001	91.08
Хмельницька	95.45	0.0002000	93.44
Черкаська	85.63	0.0001000	84.58
Чернівецька	99.93	0.0005000	96.86
Чернігівська	85.62	0.0000293	84.85
Київ	83.69	0.0000024	83.47
Севастополь	100.00	0.0003000	97.48

В таблиці 1 наведені значення інформаційних індексів екологічної безпеки України, розраховані по методиці Айвазяна [2], а також інформаційні індекси, побудовані нейронною мережею ([NET] інформаційний індекс). Як видно з таблиці 1, інформаційний індекс екологічної безпеки переведений у відсоткову форму (граничні значення міняються в діапазоні [0, 100]). Це пов'язано з тим, що при обчисленнях вагових коефіцієнтів в моделях багатошарових персептронів слід виключати вихідні поля, де значення знаходяться в інтервалі [0, 1], що пов'язано з специфікою обчислень. Наведені також середньоквадратичні похибки по кожному випадку, що підтверджують коректність використання методики і математичних обчислень побудованої моделі.

Використовуючи конфігурацію нейронної мережі у виді трьохшарового персептрона, де:

- вхід: 9 нейронів;
- прихований шар: 8 нейронів;
- вихід: 1 нейрон, отримуємо результат представлений у вигляді таблиці 2.

Слід зазначити, що в першому шарі нейронної мережі є 10 вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків, а не 9 як має бути, що відповідає 9 нейронам вхідного шару (9 показників по екологічній безпеці). Це пов'язано додавання ще одного нейрона, який дорівнює 1, для парності, що пов'язано з специфікою обчислень. Те саме стосується прихованого шару.

Таблиця 2 – Конфігурація нейронної мережі

Шар 1			
нейрон: 0			
W_0 = 9.26348113845111E-001			
W_1 = 6.07009370916051E-001			
W_2 = 9.78644457292612E-001			
W_3 = 4.69906409772418E-001			
W_4 = 1.56794134451772E-001			
W_5 = -2.16588142245790E-001			

W_6 = -8.26193375847460E-001			
W_7 = 2.18337058976827E-001			
W_8 = -5.66822333115485E-001			
W_9 = 1.73229691289598E-001			
нейрон: 1			
W_0 = 7.11639860886988E-001			
W_1 = 8.34663769930586E-001			
W_2 = 6.95385248346434E-001			

W_3 = 4.83075062720386E-001
W_4 = 1.48359244205457E+000
W_5 = -1.54024440218362E-001
W_6 = -4.71031394737213E-001
W_7 = 2.43828313699643E-001
W_8 = -2.15342988969576E-001
W_9 = 1.25047322280510E-001
нейрон: 2
W_0 = 3.53443387355785E-001
W_1 = -2.33781799972977E-001
W_2 = -4.90206510065699E-001
W_3 = 2.05734412342438E-001
W_4 = 3.07825376701931E-001
W_5 = 1.42518636824424E-001
W_6 = -1.28380699483176E+000
W_7 = -3.96343925490679E-001
W_8 = -1.03813849884676E+000
W_9 = 1.19470891960298E+000
нейрон: 3
W_0 = 3.84878757879319E-001
W_1 = 6.24178257927365E-002
W_2 = 3.26578987705686E-001
W_3 = 1.68946081880059E-002
W_4 = 4.83317400870208E-001
W_5 = 7.54262806058946E-001
W_6 = 1.08966870462368E+000
W_7 = 4.98716009240534E-001
W_8 = 6.79054123273073E-001
W_9 = 9.53828385086654E-001
нейрон: 4
W_0 = 2.07214030637890E-001
W_1 = 1.02192290342525E+000
W_2 = 6.09441996650391E-001
W_3 = 6.97438931521266E-001
W_4 = 6.10507204766278E-001
W_5 = -1.12494947741433E-001
W_6 = 6.91499319303966E-001
W_7 = 6.10027797506585E-001
W_8 = -6.55743964767509E-002
W_9 = 2.68598417372494E-001
нейрон: 5
W_0 = 6.86486545078927E-001

W_1 = -3.38672228978390E-001
W_2 = -5.14208120561102E-001
W_3 = 3.24126540255686E-001
W_4 = 1.32565172417760E-002
W_5 = 1.54710026442257E+000
W_6 = 7.32578170957870E-001
W_7 = -1.95612463746193E-001
W_8 = 7.11966043091863E-001
W_9 = 1.05277905089699E+000
нейрон: 6
W_0 = 8.18162887789852E-001
W_1 = 6.92770093566544E-001
W_2 = 5.82017027842017E-001
W_3 = 5.71697898245758E-001
W_4 = 5.83168987991459E-001
W_5 = 6.84259989942019E-001
W_6 = -1.45326220396276E-003
W_7 = 3.58695882158701E-001
W_8 = -9.19707873043248E-002
W_9 = 4.78483691537316E-001
нейрон: 7
W_0 = 8.80821194038136E-001
W_1 = 3.85389845975574E-001
W_2 = 5.17424075165061E-001
W_3 = 3.47493754169116E-001
W_4 = 7.44635123881693E-001
W_5 = -5.44029648380097E-002
W_6 = 4.30273389235634E-001
W_7 = 1.04958569954095E+000
W_8 = 3.39104284163807E-001
W_9 = 3.43125924250454E-001
Шар 2
нейрон: 0
W_0 = 2.08874674416409E+000
W_1 = 1.23365949601606E+000
W_2 = 1.96572861571714E+000
W_3 = -1.62063249731311E+000
W_4 = -5.60482625149585E-003
W_5 = -2.06775688773415E+000
W_6 = 5.91727571365318E-002
W_7 = 1.13072879284442E-001
W_8 = -7.70461728494330E-001

Висновок.

Розроблена нейронна мережа на базі трьохшарового персептрона дозволяє скоротити число етапів побудови та забезпечити прогноз інформаційних індексів екологічної безпеки, використовуючи як вхідну інформацію статистичні дані по екологічній ситуації в регіонах. Запропонована математична модель прогнозування інформаційних індексів, що характеризують рівень та стан екологічної безпеки регіонів чи держави в цілому дає високу точність прогнозу і може виконати важливу функцію в забезпеченні подальшого підвищення ефективності функціонування УІАС НС МНС України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 році // Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/annual_report/2008/content_1.ua.php?m=B5&PHPSESSID=df93613218f3d7e020b0d7c7b0b7d494.
2. Айвазян С.А. Интегральные индикаторы качества жизни населения: их построение и использование в социально-экономическом управлении и межрегиональных сопоставлениях. – М.: ЦЭМИ РАН, 2000. – 118 с.
3. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с.

