

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ХОПФІЛДА ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ СТАНУ РОЗВИТКУ ЕМБРІОНІВ ПТАШЕНЯТ КУРЕЙ

¹Черкаський державний технологічний університет;

²Черкаська філія ПВНЗ «Європейський університет», Черкаси

Моніторинг розвитку курячих ембріонів є важливою частиною процесу вилуплення, який дозволяє визначити, коли яйце не розвивається, а також коли яйце близьке до вилуплення. Можливість уважніше стежити за розвитком ембріона дозволяє визначати оптимальні моменти часу для зміни параметрів інкубації, таких як вологість, для створення найкращих умов для вилуплення пташенят. Для моніторингу розвитку курячих яєць під час інкубації запропоновано автоматизувати процес овоскопування завдяки визначенню стану ембріонів пташенят завдяки застосуванню системи технічного зору NI EVS-1464R компанії National Instruments, де для отримання зображень доступна низка апаратних засобів (плати відеозахоплення для цифрових камер з різним інтерфейсом, системи реального часу і смарт-камери), та штучної нейронної мережі Хопфілда. Це дозволяє реалізувати асоціативну пам'ять. Головне завдання асоціативної пам'яті зводиться до запам'ятовування вхідних (навчальних) вибірок таким чином, щоби при представленні нової вибірки система змогла згенерувати відповідь — яка із запам'ятованих раніше вибірок найближча до образу, що надійшов. Така нейронна мережа змінює свій внутрішній стан за кожну ітерацію і зупиняється, коли поточний стан збігається з попереднім. У такому разі стверджують, що нейронна мережа зійшлася до одного зі станів, збережених у її пам'яті. Якщо ж у пам'яті не виявлено схожий образ, мережа може видати неіснуючий аттрактор. Виконано моделювання розпізнавання різних станів ембріонів пташенят курей. У разі виконання овоскопування світлий сектор площі яйця відповідає сигналу, що дорівнює 0, а темний сектор — сигналу 1. Всього в моделюванні аналізувалися стани двадцяти трьох секторів площі яйця птиці. На мові C++ розроблено програмний засіб на базі нейронної мережі Хопфілда й виконано перевірку його здатності ідентифікувати живі та неживі ембріони пташенят курей. Правильна ідентифікація спотворених векторів дозволяє застосовувати мережу Хопфілда у птахівництві, що зменшить надмірну стомлюваність операторів й унеможливить помилкове вибраковування нормальних яєць.

Ключові слова: інкубація, розпізнавання, моніторинг, нейронна мережа Хопфілда, овоскопування.

Вступ

Визначення виживання пташиних ембріонів під час інкубації має важливе значення для економії коштів у птахівництві. Розвиток курячого ембріона від закладання яєць в інкубатор до вилуплення займає в середньому 21 день. Під час цього процесу є декілька етапів зростання та позиціонування ембріона, крім самого вилуплення, які визначені як важливі етапи. Можливість відстежувати ці події корисна для забезпечення правильного розвитку ембріонів. Оцінка зростання ембріона важливіша після 11-го дня інкубації, оскільки ембріон, що розвивається, вступає у фазу росту в другій половині інкубації. Крім того, експоненційне зростання і відмінності між ембріонами помітніші у другій половині інкубації. У промислових інкубаторних цехах для контролю ембріонального розвитку пташенят курей часто застосовують ручне овоскопування, що вимагає вилучення яєць з інкубатора або відкриття інкубатора [1]. Такий метод є тривалим і може призвести до загибелі ембріонів через їхнє переохолодження. Метою овоскопування яєць є розпізнавання, а потім відділення живих яєць, тобто яєць, з яких слід виводити в інкубаторі домашню птицю, від неживих яєць, наприклад, незапліднених мертвих яєць, тухлих яєць й порожніх яєць [2], [3]. Відомі методи моніторингу розвитку ембріонів з використанням різних засобів візуалізації, таких як ма-

шинний зір, ультразвук, мікроскопія, томографія, магнітно-резонансна томографія та інфрачерво-на візуалізація [4], [5]. Ці методи застосовують для наукових досліджень, а птахофабрикам потрібна розробка автоматизованих систем моніторингу розвитку ембріонів пташенят курей в процесі інкубації. Під час виконання овоскопування яйця просвічуються світлом. За світлом, що проникає через оболонку, можна судити про розвиток ембріона. Яйця умовно класифікуються на запліднені та незапліднені. Запліднені яйця можна розділити на нормальні та мертві ембріони в шкаралупі. Моніторинг розвитку ембріонів пташенят в основному спрямований на видалення незапліднених і мертвих яєць з інкубатора під час овоскопування.

Метою роботи є автоматизація процесу овоскопування для моніторингу розвитку курячих яєць у процесі інкубації завдяки розпізнаванню стану ембріонів пташенят, застосовуючи штучну нейронну мережу Хопфілда та систему технічного зору. Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання:

- визначити систему технічного зору, яка включає засоби, що виконують функції нейронної мережі Хопфілда;
- розробити програмний засіб на базі нейронної мережі Хопфілда й перевірити його здатність ідентифікувати живі та неживі ембріони пташенят курей.

Результати дослідження

Опубліковані в [6] результати досліджень показують, що в процесі інкубації через безперервне зростання ембріонів відмінність відтінків сірого кольору у разі просвічування яєць зменшується. Фотографії яєць (рис. 1), показують поступове потемніння ембріонів пташенят зі збільшенням часу інкубації.

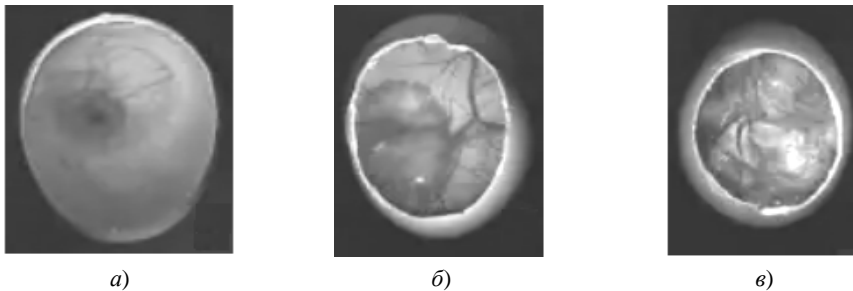


Рис. 1. Зміна відтінків сірого в процесі інкубації курячих яєць: *a* — яйце на 7-й день інкубації; *б* — яйце на 14-й день інкубації; *в* — яйце на 21-й день інкубації

Значення відтінків сірого кольору, показані на рис. 2, для запліднених, незапліднених і мертвих яєць у шкаралупі, дозволяють чітко розрізнити стани ембріонів пташенят, починаючи з 7-го дня інкубації. Ці ознаки дозволяють розпізнавати запліднені й незапліднені яйця, а також яйця, що містять мертві ембріони.

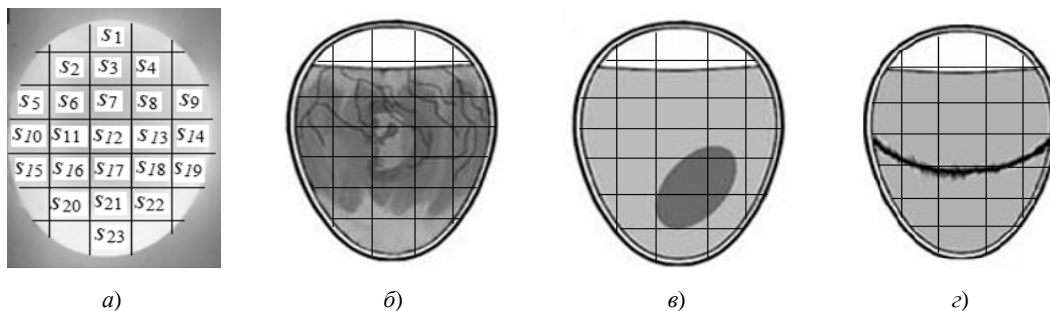


Рис. 2. Сектори курячого яйця на різних стадіях розвитку ембріона: *a* — сектори площі курячого яйця; *б* — сектори живого ембріона; *в* — у яйці немає ембріона; *г* — ембріон помер

Перетворення відтінків кольору в цифровий код дозволяє сформувати вхідні дані для автоматизації процесу овоскопування шляхом розпізнавання стану ембріонів пташенят на базі нейронної мережі Хопфілда під час моніторингу розвитку курячих яєць. Для обробки даних процесу овоскопування за допомогою нейронної мережі Хопфілда площа курячого яйця розділена на 23 секції, як показано на рис. 2*a*. У живому яйці (рис. 2*б*) доцільно аналізувати стан секторів $S_1 - S_{23}$. Стан секторів яйця, де немає ембріона, показано на рис. 2*в*. У такому яйці особливо виділяються сектори

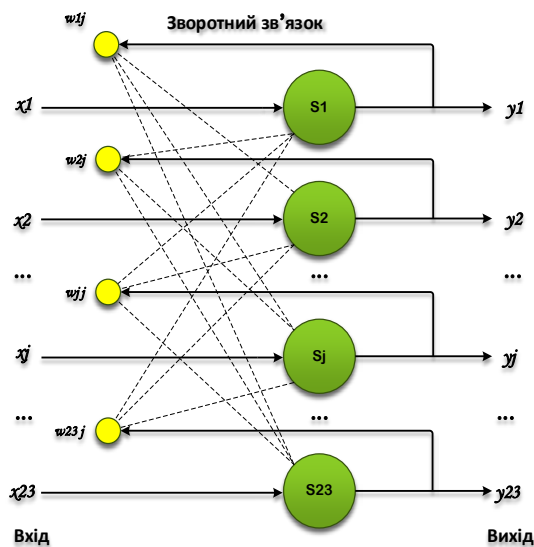


Рис. 3. Структурна схема мережі Хопфілда з числом нейронів $n = 23$ для визначення стану ембріонів пташенят

Процес навчання мережі Хопфілда під час вирішення поставленого завдання складається з таких кроків. Для станів ембріонів пташенят, що істотно відрізняються, сформовані еталонні вектори вхідних сигналів (табл. 1).

Таблиця 1

Зразки сигналів для ініціалізації мережі

Стан ембріона	Вхідний сигнал мережі
Живий	011111111111111111111110
Немає ембріону	0000000000000000001100100
Мертвий	00000000010001001000000
«Бовтун»	000000000000000000000000

Вектори еталонних сигналів сформовані у вигляді файлу `inp.txt`, з якого зчитуються дані за допомогою наведеної нижче послідовності команд.

```
FILE *inp;
inp = fopen ("in.txt","r" );
int pattern[m*n];
for(j=0;j<m;j++) // rows
{
    for(i=0;i<n;i++) // columns
    {
        fscanf(in,"%i", &pattern[j*n+i]);
        cout<<pattern[j*n+i];
    }
    cout<<endl;
}
cout<<endl;
fclose (inp);
```

Мережа Хопфілда має обмежені можливості, тому кількість образів m , що запам'ятовуються, не повинна перевищувати величини, приблизно рівної $0,15n = 3,45$. Не дивлячись на це обмеження, для навчання мережі з табл. 1 вибрані всі чотири еталонні вектори.

Виконується множення 1-го еталонного вектора на транспоноване значення цього вектора і формується перша матриця значень ваг мережі Хопфілда [9], [10]

$$\forall i = 0 \dots n - 1, \forall j = 0 \dots n - 1 \rightarrow W_1(i, j) := V_1(j) \cdot V_1(i)^T, \quad (1)$$

де $W_1(i, j)$ — перша матриця ваг мережі; $V_1(j)$ — перший еталонний вектор навчальної вибірки; $V_1(i)^T$ — транспоноване значення 1-го еталонного вектора.

Аналогічним чином з 2-го, 3-го та 4-го еталонних векторів формуються відповідні матриці ваг

$$\begin{aligned} \forall i = 0 \dots n-1, \forall j = 0 \dots n-1 \rightarrow W_2(i, j) &:= V_2(j) \cdot V_2(i)^T; \\ \forall i = 0 \dots n-1, \forall j = 0 \dots n-1 \rightarrow W_3(i, j) &:= V_3(j) \cdot V_3(i)^T; \\ \forall i = 0 \dots n-1, \forall j = 0 \dots n-1 \rightarrow W_4(i, j) &:= V_4(j) \cdot V_4(i)^T. \end{aligned} \tag{2}$$

Здійснюється додавання сформованих матриць ваг мережі та обнуляються елементи загальної матриці, розташовані на головній діагоналі

$$W(i, j) := W_1(i, j) + W_2(i, j) + W_3(i, j) + W_4(i, j), \forall i = j \rightarrow W(i, j) := 0. \tag{3}$$

Відповідно до зчитаних еталонних сигналів сформована матриця ваг мережі має вигляд

$$w = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 4 \\ 2 & 0 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 0 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 4 & 0 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 0 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 0 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 0 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 0 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 4 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 0 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 0 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 0 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 4 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 0 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 0 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 0 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 4 & 2 & 0 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 0 & 4 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 0 & 2 & 4 & 2 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 4 & 2 & 2 & 0 & 2 & 0 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 0 & 2 & 4 & 4 & 2 & 0 & 2 \\ 4 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}.$$

На входи мережі подається тестовий сигнал, який встановлює нові значення аксонів [7], [8]

$$y_i(0) = x_i, \quad i = 0 \dots n-1. \tag{4}$$

Нуль у дужці праворуч від y_i означає нульову ітерацію у циклі роботи мережі.

Розраховується новий стан нейронів

$$s_j(p+1) = \sum_{i=0}^{n-1} w_{ij} y_i(p), \quad j = 0 \dots n-1 \tag{5}$$

та нові значення аксонів

$$y_j(p+1) = f[s_j(p+1)], \tag{6}$$

де f — активаційна функція, сформована у вигляді стрибка [7], [8].

Виконується перевірка, чи змінилися вихідні значення аксонів за останню ітерацію. Якщо так, то обчислення за формулами (4)—(6) повторюються, інакше, якщо виходи стабілізувалися, це означає, що мережа Хопфілда розпізнала тестовий зразок як один із еталонних зразків.

Для дослідження властивості мережі розпізнавати стани розвитку ембріонів на її входи послідовно подавалися тестові набори, що відрізняються на 10 % від еталонних зразків. Результати розпізнавання мережею даних тестових наборів подані в табл. 2. Навіть за подачі на входи мережі вектора $V_{error} = [01010100111001101001000]$, який відрізняється від еталонного значення на 50 %, програмний засіб на базі мережі Хопфілда сформував на виході вектор $V_{out} = [00000000010001001000000]$, що відповідає ідентифікації мертвого ембріона.

Таблиця 2

Результати тестування мережі Хопфілда

Спотворений вектор	Упізнаний зразок	Стан ембріона
011111111111111111010	011111111111111111110	Живий
0000000001000001100000	0000000000000001100100	Немає ембріону
00100000010001101000000	00000000010001001000000	Мертвий
0010100000000000011010	000000000000000000000	«Бовтун»

Пропонується реалізувати автоматизоване овоскопування яєць, застосовуючи систему технічного зору NI EVS-1464R компанії National Instruments (NI), засновану на графічному середовищі розробки додатків NI LabVIEW [11], яка дозволяє використовувати більшість відомих математичних методів обробки даних. Для отримання зображень доступна ціла низка апаратних засобів NI: плати відеозахоплення для цифрових камер з різним інтерфейсом, системи реального часу, смарт-камери NI. Конфігурація камер змінюється за допомогою Vision Builder for Automated Inspection або можна запрограмувати камеру за допомогою модулів Lab-VIEW RealTime Module та Vision Development. Додатково смарт-камери можуть містити вбудовану систему цифрового введення/виведення та системи промислового зв'язку для взаємодії у реальному часі та інтеграції з промисловими пристроями автоматизації.

Висновки

Встановлено, що програмний засіб на базі нейронної мережі Хопфілда, розроблений на мові C++, дозволяє ідентифікувати стан ембріонів пташенят на пізніх етапах їх розвитку. При просвічуванні яєць з різними станами розвитку ембріонів світлодіодними лампами з довжинами хвиль від 585 до 635 нм на 11-й день інкубації відтінки сірого кольору різняться більше ніж у 10 разів, що забезпечує розпізнавання яєць з ймовірністю до 100 %. Автоматизований візуальний контроль розвитку ембріонів птиці дає можливість зробити детальні та кількісні вимірювання відхилень процесу інкубації. Система технічного зору може зберігати результати аналізу й безпосередньо зображення яєць, що інспектуються. Іноді лише аналіз таких даних дає можливість зрозуміти причину відхилень й досліджувати якість впливу коригувальних дій. Результатом може бути створення найкращих умов для вилуплення пташенят в інкубаторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] C. Yeo, H. Park, K. Lee, and C. Song, "Avian Embryo Monitoring During Incubation using Multi-Channel Diffuse Speckle Contrast Analysis," *Biomed. Opt. Express*, 7 (1), pp. 93-98, 2016.
- [2] T. Georgieva, E. Stefanov, J. Alikhanov, Z. Shynybay, A. Kulmakhambetova, and P. Daskalov, "Approach for Egg Defects Assessment using Image Analysis," in *30th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*. 2010, pp. 1103-1106. <https://doi.org/10.2507/30th.daaam.proceedings.154>.
- [3] L. Liu, and M. O. Ngadi, "Detecting Fertility and Early Embryo Development of Chicken Eggs using Near-Infrared Hyperspectral Imaging," *Food Bioprocess Technol.*, no. 6, pp. 2503-2513, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0933-3>.
- [4] M. Hashemzadeh, and N. Farajzadeh, "A Machine Vision System for Detecting Fertile Eggs in the Incubation Industry," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 9, no. 5, pp. 850-862, 2016.
- [5] M. Boğa, K. K. Çevik, H. E. Koçer, and A. Burgut, "Computer-Assisted Automatic Egg Fertility Control," *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, no. 25 (4), pp. 567-574, 2019. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2018.21329>.
- [6] S.-Y. Tsai, C.-H. Li, C.-C. Jeng, and C.-W. Cheng, "Quality Assessment during Incubation Using Image Processing," *Sensors*, no. 20, p. 5951, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20205951>.

- [7] С. Короткий, «Нейронные сети Хопфилда и Хэмминга,» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/86091/>.
- [8] С. Осовский, *Нейронные сети для обработки информации*, пер. с англ. М., Россия: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
- [9] Р. В. Шамин, *Лекции по искусственному интеллекту и машинному обучению*, Лекция № 3. Нейронная сеть Хопфилда. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ai.lector.ru/?go=lection03>. Дата обращения: Ноябрь. 7, 2021.
- [10] С. Хайкин, *Нейронные сети: полный курс*, 2-е изд., испр., пер. с англ. М., Россия: ООО «И. Д. Вильямс», 2006. 1104 с.
- [11] В. Махов, В. Ширококов, и А. Закутаев, «Построение систем технического зрения на базе компьютерных технологий National Instruments,» *Control Engineering*, no. 4 (76), pp. 62-69, 2018.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 30.11.2021

Уткіна Тетяна Юрївна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри робототехніки та спеціалізованих комп'ютерних систем, e-mail: t.utkina@chdtu.edu.ua.

Черкаський державний технологічний університет, Черкаси;

Рябцев Володимир Григорович — д-р техн. наук, професор, науковий консультант.

Черкаська філія ПВНЗ «Європейський університет», Черкаси

T. Yu. Utkina¹
V. G. Riabtsev²

Application of the Hopfield Neural Network for the State of Chicken Embryos Development Recognition

¹Cherkasy State Technological University;

²Cherkasy branch of the European University

Monitoring chicken embryos development is an important part of the hatching process to determine when the egg is not developing and when the egg is close to hatching. The ability to closely monitor the embryo development allows determining the optimal time to change incubation parameters, such as humidity, to create the best conditions for hatching, leading to more efficient chick production. To monitor the chicken eggs development during incubation, it was proposed to automate the process of ovoscopy through determining the chick embryos state by using the NI EVS-1464R technical vision system from National Instruments, where a number of hardware is available for image acquisition (video capture cards for digital cameras with different interfaces, real-time systems and smart cameras), and the Hopfield's artificial neural network. This allows associative memory to be implemented. The main task of associative memory is reduced to storing input (training) samples in such a way that when a new sample is presented, the system can generate an answer – which of the previously stored samples is closest to the received image. This neural network changes its internal state for each iteration and stops when the current one coincides with the previous one. In this case, the neural network is said to converge to one of the states stored in its memory. If a similar image is not found in memory, the network may issue a nonexistent attractor. The modeling of recognition of the chicken embryos various states is carried out. When perform the ovoscopy, the light sector of the egg area corresponds to a signal equal to 0, and the dark sector to signal 1. In total, during the modeling, the states of 23 sectors of the bird's egg area are analyzed. A software tool based on the Hopfield neural network is developed in C++ and its ability to identify live and non-living embryos of chicken chicks has been tested. Correct identification of distorted vectors allows the use of the Hopfield net in the poultry industry, which will reduce excessive operator fatigue and eliminate the false rejection of good eggs.

Keywords: incubation, recognition, monitoring, Hopfield neural network, ovoscopy.

Utkina Tetyana Yu. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Robotics and Specialized Computer Systems, e-mail: t.utkina@chdtu.edu.ua ;

Riabtsev Volodymyr G. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Scientific Consultant