

УДК 338.43

Д. М. Квашук,
к. е. н., доцент кафедри економічної кібернетики,
Національний авіаційний університет
ORCID ID: 0000-0002-4591-8881
О. М. Густера,
к. е. н., доцент кафедри економічної кібернетики,
Національний авіаційний університет
ORCID ID: 0000-0003-1010-6100
І. О. Юнашов,
студент, Національний авіаційний університет
ORCID ID: 0000-0002-1178-0482

DOI: 10.32702/2306-6814.2020.4.60

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ХВОРОБ РОСЛИН В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО ЗОРУ

D. Kvashuk,
PhD in Economics, associate professor, department of economic cybernetics, National aviation university of Ukraine
O. Gustera,
PhD in Economics, associate professor, department of economic cybernetics, National aviation university of Ukraine
I. Yunashov,
Student, National aviation university of Ukraine

IDENTIFICATION OF PLANT DISEASES IN AGRICULTURE USING MACHINE VISION

Статтю спрямовано на класифікацію та визначення захворювань листя ряду сільськогосподарських рослин, з метою покращення інвестиційного клімату в землеробстві. В рамках даної статті, проведено дослідження сучасних технічних засобів для реалізації задач з попередження економічних ризиків, що пов'язані із захворюваннями рослин. Технічні можливості для вирішення таких проблем можуть бути забезпечені за допомогою програмної бібліотеки OpenCV, яка є також предметом дослідження статті.

Приділено увагу питанням економічної безпеки сільськогосподарських підприємств, які можуть вивести нашу країну на новий економічний рівень. Основними елементами економічної безпеки, що розглядаються у статті є механізми її забезпечення шляхом попередження захворювань рослин, руйнівні властивості яких впливають не лише на стан господарської діяльності підприємств, але й на економічну безпеку держави загалом.

У статті представлено алгоритмічно-програмне рішення для ідентифікації хвороби фітофтори огірків на початковій стадії розвитку. Приділено увагу можливостям програмної реалізації таких задач.

Визначено недоліки в застосуванні технологій машинного зору під час визначення хвороб рослин. Так, зокрема, такі природні фактори, як освітленість та тінь можуть стати причиною помилок під час визначення хвороби. Для попередження таких випадків у статті запропоновано ряд заходів для зменшення таких впливів, що дозволить зменшити значну частину помилок.

Також із застосування запропонованого програмного рішення проведено експеримент, який показав значний відсоток візуальних ознак хвороби листя огірка, який показав і недоліки такого методу. Так, зокрема частина листя, яка потрапила тінь була частково проігноровано. Тому вирішення таких недоліків потребує подальшого наукового опрацювання зазначеної проблематики та створення на базі існуючих підходів більш креативних.

Article focuses on the classification and definition of diseases the leaves of several crop plants, with the aim of improving the investment climate in agriculture. In this article, the study of modern technical means for the implementation of tasks for the prevention of economic risks associated with plant diseases. Technical possibilities for solving such problems can be achieved by using the software library OpenCV, which also is the subject of this article.

Attention is paid to issues of economic security of agricultural enterprises that can bring our country to a new economic level. The basic elements of economic security, the article under review are the mechanisms of security by preventing crop diseases and destructive properties which not only affect the state of economic activities of enterprises, but also the economic security of the state as a whole.

The article presents an algorithm-a software solution for identification of the Phytophthora disease of cucumbers in the early stage of development. Attention is paid to the capabilities of the software implementation of such tasks.

Identify gaps in the application of technologies of machine vision in the determination of plant diseases. Thus, in particular, such natural factors as light and shadow can cause errors in the determination of the disease. To prevent such cases in the article proposed a number of measures to reduce these impacts, which will reduce much of the errors.

Also, with the use of proposed software solutions, conducted an experiment that showed a significant percentage of the visual signs of the disease the leaves of cucumber, which showed the shortcomings of this method. Thus, in particular, some of the leaves that fell the shadow was partially ignored. Therefore, the decision of such faults requires further scientific study of this problem and establish on the basis of existing approaches more creative.

*Ключові слова: машинний зір, рослини, сільське господарство, економіка, інвестиції, огірки.
Key words: machine vision, plants, agriculture, economy, investments, cucumbers.*

ВСТУП

Застосування систем машинного зору в точному господарстві дозволяє встановлювати контроль за якістю ґрунту, кількості бур'янів, кількості шкідників тощо. На сьогодні існує багато способів одержання необхідної для управління сільськогосподарським — процесом інформації. Для отримання інформації про ґрунт, використовуються такі методи, як відбір ґрунтових проб та їх аналіз, завдяки обладнанню для оцінки фізико-механічних властивостей. Для отримання інформації про рослини використовуються контактні та безконтактні способи діагностики.

Найбільш широкої популярності, останнім часом набули саме безконтактні засоби, до яких можна віднести і машинний зір.

По мірі розвитку інформаційних технологій, розроблено різні сенсорні системи, які широко використовуються в сільськогосподарському виробництві для управління ефективністю ведення господарства.

Отже, для успішної реалізації технологій точного землеробства необхідна достовірна інформація про стан ґрунту, рослин та навколишнього середовища.

Для забезпечення точного землеробства надійним фундаментом є різноманітні дані з високою роздільною здатністю, які містять такі дані: врожайність сільськогосподарської культури, стану ґрунту та забезпеченість її елементами живлення та вологою, обсяг біомаси, тощо.

Для реалізації задач машинного зору в процесі ведення точного господарства, методи і технології, що використовуються для отримання цієї інформації, реалізуються прямо на літальних апаратах різного типу, аналіз яких наведено у статті.

Тому перед аналізом систем машинного зору слід визначитись із термінологією. Нині існують такі визначення: машинне зір, комп'ютерний та технічний зір. Якщо досліджувати західну періодику, то можна дійти висновку, що в англійській мові отримали поширення такі назви: Machine Vision та Computer Vision.

Термін "Машинний зір" (Machine Vision), як правило, вживається під час дослідження технологій, які використовуються в промисловій автоматизації, де використовуються "машини" в найбільш широкому розумінні. Термін "комп'ютерний зір" має дещо інше смислове навантаження, яке пов'язане з використанням обчислювальних машин, як основних елементів таких систем.

Тому основний акцент у системах машинного зору робиться на алгоритмічну частину, математику, аніж на сфері його практичного застосування.

Як правило, системи машинного зору поділяються на дві незалежні підсистеми: отримання зображень та обробки зображень. Кожна з яких має різний набір компонентів, в залежності від вимог конкретної прикладної задачі. З обробкою зображень все більше ростуть вимоги до графічних процесорів, на яких власне і працюють зазначені алгоритми та математичні функції.

За прогнозами ряду провідних світових міністерств транспорту, провідну роль у подальшому розвитку сільського господарства, будуть відігравати безпілотні системи контролю якості сільськогосподарських насаджень, в основі роботи яких лежать технології машинного зору [1; 2]. Можна безліч наводити позитивних прикладів, але разом із розвитком нової індустрії виникають і нові потреби та загрози, які пов'язані, як правило, із помилками, що були допущені на стадіях проектування, тестування та експлуатації безпілотних авіаційних систем. Відповідна практика адаптації нових зразків техніки існує досить давно. Та, на жаль, людський фактор присутній завжди, що час від часу призводить до збоїв технологічного обладнання.

Забезпечення кожної із зазначених потреб потребує автоматизованих систем управління на базі штучного інтелекту, інструментами створення якого є сучасні мови програмування, що реалізують оптимальні алгоритми управління, контролю та експлуатації — систем машинного зору. Реалізація механізмів розпізнавання образів цілком залежить від алгоритмів та мов програмування, на яких вони реалізовані, які на сьогодні не повною мірою досліджені.

До переваг машинного зору можна віднести:

- високу точність з виключенням можливості ушкодження рослини.
- безперервність при візуальному контролі, що на відміну від людського спостереження, де людина втомлюється, системи машинного зору можна використовувати цілодобово;
- економічна ефективність завдяки різкому зниженню вартості обчислювальної техніки;
- гнучкість, яка досягається за рахунок зміни програмного забезпечення.

Тому серед причин, що сприяють широкому впровадженню в сільське господарство систем машинного



Рис. 1. Зображення хворого листа огірка

зору, є невелика вартість, сталість, швидкодія та точність.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Одна з найсмачніших і найважливіших плодових культур, вирощуваних у на пострадянському просторі, це звичайні орішки. Вони експортуються до багатьох країн у вигляді законсервованих або стиглих фруктів, а також у формі перероблених витратних матеріалів наприклад, стиглі скибочки або сік, мариновані огірки, тощо. Огірки багаті вітаміном А та С та мають антибактеріальну активність проти різних бактерій. Останнім часом вартість експорту вітчизняних огірків зменшується через неконтрольоване використання пестицидів. Тому можна вважати, що настав час для дослідників ідей раннього виявлення захворювань та контролю за використанням небезпечних пестицидів, які шкідливі для — здоров'я.

До поширених захворювань огірків можна віднести різні бактеріальні захворювання та фітофтору. Ці захворювання виникають через грибові та вірусні інфекції, і головним чином впливають на врожайність, заражаючи листя, квіти, плоди та стебло. Зараження призводить до блокування фотосинтезу і змушує рослину загинути.

Виявлення захворювань або дефіциту зазвичай здійснюється фермерами шляхом частого спостереження за рослиною, її листям, плодами та стеблами. Для дрібних фермерів можливе раннє попередження захворювання шляхом використання мінімальної кількості хімічних пестицидів. Для великих підприємств часте спостереження та раннє виявлення хвороби є неможливим, і це призводить до сильних спалахів захворювання та зростання кількості шкідників.

За таких умов фермери змушені використовувати отруйні хімічні речовини для ліквідації хвороби, щоб зберегти врожайність.

Цю проблему можна вирішити шляхом автоматизації процесу моніторингу, використовуючи передові методи обробки зображень.

З погляду на зазначене у статті запропоновано автоматизовану систему ідентифікації хвороби листа огірків, яка є легкодоступною для фермерів, має — низьку вартість та може бути реалізована навіть на однопалатних комп'ю-

терах типу RaspberryPi, OrangePi, Arduino та ін.

Основними етапами реалізації такої задачі будуть:

- визначення особливостей зображення, що характеризуються певними точками, які можна дослідити в результаті застосування спеціальних фільтрів;

- встановлення їх координат для подальшої діагностики;

- виявлення особливостей цих точок для їх ідентифікації.

Все це, дозволяє розпізнати певні хвороби рослин з високою часткою точності, а саме:

- знайти ділянку хвороби рослини;

- кількісно виявити — ступінь її розвитку;

- дослідити уражену ділянку на предмет особливостей хвороби;

- визначити розмір самої рослини.

У результаті такого аналізу можна визначити захворювання листа рослини, завдяки неруйнівному способу ідентифікації таких захворювань.

Аналіз показав, що сьогодні широкою популярністю набули такі алгоритми розпізнавання зображень: SIFT; SURF; ORB; FAST; PCA-SIFT; F-SIFT.

Завдяки цим алгоритмам вдається визначити особливі точки в зображенні та встановити їх дескриптори, що представляють собою кількісні характеристики околиць особливих точок, які викладені у певній послідовності. Таку послідовність прийнято називати гістограмою дескрипторів.

У разі виявлення захворювання, заснованого на знебарвленні листя, вказані вище кроки є позитивними, але лише у випадку ідентифікації хвороби на основі деформації листя. Тому також мають використовуватись додаткові ознаки захворювання.

Алгоритми ідентифікації хвороб рослин, широко застосовуються в сільському господарстві, проте кожен має індивідуальні особливості, про які мова йде в таких працях [3—6].

Для визначення особливостей хвороби рослин, використовуючи ряд алгоритмів по обробці зображення, отримують унікальні характеристики кожної його точки, які називають дескрипторами.

Переважна більшість праць, які описують можливість застосування машинного зору в сільському господарстві характеризують методики виявлення хвороб рослин за такими критеріями, як характеристики кольору рослини [7] та особливостей структури їх листя [8]. Проте логічним і більш ефективним можна вважати спосіб поєднання таких підходів в один.

На практиці часто зустрічаються завдання, які пов'язані з розпізнаванням заданих в просторі ознак певного розміру (розпізнавання дефектів рослин, розпізнавання шкідників по зображенню). Тому під час вирішення таких задач, встановлюються особливості зображення, що обробляються числовою матрицею [9], з метою визначення локальних характеристик. За таких умов побудова алгоритму діагностики хвороб рослин стикається із значною кількістю обчислювальних труднощів. Це обумовлено необхідністю обробки великих масивів даних.



Рис. 2. Визначені ознаки захворювання листа огірка після обробки зображення з використанням фільтру кольору

Не менш важливою перешкодою для ідентифікації захворювання рослин по кольору є шуми, що формуються в результаті спалаху камери, або зміною освітленості та багатьма іншими факторами. Для цього вчені застосовують різні фільтри [10]. В залежності від рослини та особливостей знімків, вони намагаються підібрати оптимальний фільтр.

З метою виявлення максимальної кількості критеріїв хвороби рослини на цифровому зображенні, необхідна багатоетапна його обробка. Так, для ідентифікації кольорових ознак захворювання використовують фільтри по певному кольору. Проте колір більшості рослин неоднорідний. Тому, якщо його просто формалізувати одним числом (наприклад, середнім значенням), то навряд чи така ознака буде вибірковою. Тому для

```
import numpy as np
import cv2 as cv
import os
hsv_min = np.array((0, 144, 198), np.uint8)
hsv_max = np.array((100, 255, 255), np.uint8)
if __name__ == '__main__':
    fn = 'cucumber.jpg'
    img = cv.imread(fn)
    hsv = cv.cvtColor(img, cv.COLOR_BGR2HSV)
    thresh = cv.inRange(hsv, hsv_min, hsv_max)
    _, contours0, hierarchy = cv.findContours(thresh.copy(),
    cv.RETR_TREE, cv.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    for cnt in contours0:
        if len(cnt) > 4:
            ellipse = cv.fitEllipse(cnt)
            cv.ellipse(img, ellipse, (0, 0, 255), 2)
            cv.imshow('contours', img)
            cv.imwrite("output.jpg", img)
            cv.waitKey()
    cv.destroyAllWindows()
    cv.imshow('contours', img)
    cv.imwrite("output.jpg", img)
    cv.waitKey()
    cv.destroyAllWindows()
```

Рис. 3. Програмна реалізація визначення захворювань листа огірка

збільшення насиченості відтінку, спочатку конвертують RGB класифікацію зображення в HSV. Після цього застосовують відокремлення кластерів кольору, які характеризують уражену ділянку рослини. Потім, для зменшення зайвих шумів, відбувається згладжування низькочастотним та високочастотним фільтром, що дає більш чітку структуру зображення. Після чого ідентифікуються хворобливі плями. Застосувавши цей етап ідентифікації, можна визначити значний відсоток захворювання, проте цього не достатню, оскільки крім кольорових відтінків, рослина має ще й специфічні форми хворобливих плям (рис. 1), ідентифікуючи їх, можна значно збільшити точність діагностики.

Геометричні ознаки, які розглядаються для ідентифікації захворювання на основі форми листа огірків представлено на рисунку 1. Так, можна виділити ряд хворобливих плям, які представлені жовтого кольору.

На зображенні (рис. 1) висвітлено хворобу фітофтори листа рослини. До особливостей можна віднести, прямокутність, сферичність, форм-фактор.

Ці морфологічні ознаки походять від базового набору геометричних ознак, таких як діаметр, фізіологічна довжина та ширина, площа листа та периметр. Згадана вище велика кількість змінних (морфологічні особливості листа) можуть бути співвіднесеним з зразками такого захворювання в процесі ідентифікації хвороби.

Для вирішення задачі з ідентифікації хвороби огірків машинним способом, необхідні візуальні ознаки окремих хворобливих плям. Нехай це буде листя рослини, на якому помітно ознаки хвороби, які мають специфічний колір (рис. 1).

Встановимо діапазон кольору за яким потрібно виділити окремі точки зображення, що характеризують осередок захворювання смородини. А також для збільшення кольорового простору перетворимо формат RGB в HSV. Після чого відокремимо точки, які знаходяться в цьому діапазоні та отримаємо область характерних ознак хвороби.

Для встановлення особливих контурів даної області, застосуємо детектор контурів.

Програмна реалізація виконувалась із застосуванням бібліотеки OpenCv мовою програмування Python.

Таким чином, відфільтровані осередки хвороби червоної смородини мають такий вигляд (рис. 2).

Так, ми бачимо, що природні особливості хворобливих плям, мають жовті відтінки округлої форми, що успішно ідентифікується машинним способом. Як видно на малюнку, після фільтрації, вони виділяються у вигляді подібних між собою еліпсів. Їх кількість на зображенні рис. 2 = 258.

Програмний код, за допомогою якого реалізовано даний алгоритм, представлено на рисунку 3.

У результаті дослідження, можна спостерігати можливість ідентифікації захворювань рослин із застосування технологій машинного зору. Проте зважаючи на

такі фактори, як освітленість, затінення, якість зображення, можна виділити і недоліки машинного зору, які полягають у певній ймовірності хибних визначень.

ВИСНОВОК

Аналіз методів ідентифікації захворювань рослин в сільському господарстві показав високу актуальність розвитку технологій машинного зору. Проте значна кількість помилок під час розпізнавання є суттєвим недоліком.

Розглянутий приклад ідентифікації ураженої ділянки листя огірка, з використанням детекторів кольору та детекторів контурів, був запропонований з метою збільшення точності ідентифікації окремої частини зображення. Проте, як показав експеримент (рис. 2), не визначеними залишились частини листя, де падала тінь. Тому цей приклад може дістати подальшого розвитку, а відповідний підхід потребує подальшої наукової розробки та вдосконалення.

Література:

1. Наукові публікації і видавничі діяльність Міністерства транспорту Великобританії. Лондон, 2018. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/729458/taking-flight-the-future-of-drones-in-the-uk.pdf (дата звернення 12.02.2020).
2. Наукові публікації і видавничі діяльність Міністерства оборони США. 2019, url: https://fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap2005.pdf
3. Квашук Д.М., Підлужний В.І. Діагностика захворювань рослин з використанням технологій розпізнавання образів в системі економічної безпеки фермерських домогосподарств. 2019. №6 [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7137>
4. Nadir Sainz-Costa, Pedro Javier Herrera, Xavier P Burgos-Artizzu, Angela Ribeiro (2012) An empirical study on the viability of the application of SIFT algorithm to video stabilization in crop fields. Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering. URL: https://www.researchgate.net/publication/266888580_An_empirical_study_on_the_viability_of_the_application_of_SIFT_algorithm_to_video_stabilization_in_crop_fields
5. Jiang G., Wang X., Wang Z. & Liu H. (2016) Wheat rows detection at the early growth stage based on Hough transform and vanishing point. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 5 pp. 211—223.
6. Burgos-Artizzu, Xavier & Ribeiro, Angela & Guijarro, Maria & Pajares, Gonzalo (2011) Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 75. pp. 337—346.
7. Anami B.S., Pujari J.D., Yakkundimath R. (2011) Identification and classification of normal and affected agriculture/horticulture produce based on combined color and texture feature extraction. International Journal of Computer Applications in Engineering Sciences - Vol. 1, № 3. pp. 356—360.
8. El-Helly M., Rafea A., El-Gammal S. An Integrated Image Processing System for Leaf Disease Detection and Diagnosis. In Proceedings of the 1st Indian International Conference on Artificial Intelligence. Hyderabad, India, December 18—20, 2003, pp. 1182—1195.
9. Duda R.O., Hart P.E., Stork D.G. (2001) Pattern Classification. — New York: Wiley. — P. 680.
10. Song Kai, Liu Zhikun, Su Hang, Guo Chunhong. (2001) A Research of Maize Disease Image Recognition of Corn Based on BP Networks. Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, IEEE, pp. 246—249 (October 20, 2001).

References:

1. Department for Transport Great Minster House (2018), "Taking Flight: The Future of Drones in the UK", available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/729458/taking-flight-the-future-of-drones-in-the-uk.pdf (Accessed 12 Feb 2020).
2. U.S. Department of Defense (2005), "Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030", available at: https://fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap2005.pdf (Accessed 12 Feb 2020).
3. Kvashuk, D.M. and Pidluzhnyj, V.I. (2019), Efektyvna ekonomika, vol. 6, available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7137> (Accessed 10 Feb 2020).
4. Sainz-Costa, N. Javier Herrera, P. Burgos-Artizzu, X. P. and Ribeiro A. (2012), "An empirical study on the viability of the application of SIFT algorithm to video stabilization in crop fields", Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering, available at: https://www.researchgate.net/publication/266888580_An_empirical_study_on_the_viability_of_the_application_of_SIFT_algorithm_to_video_stabilization_in_crop_fields (Accessed 12 Feb 2020).
5. Jiang, G. Wang, X. Wang, Z. and Liu, H. (2016), "Wheat rows detection at the early growth stage based on Hough transform and vanishing point", Computers and Electronics in Agriculture, vol. 5, pp. 211—223.
6. Burgos-Artizzu, X. Ribeiro, A. Guijarro, M. and Pajares, G. (2011), "Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields", Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 75, pp. 337—346.
7. Anami B.S. Pujari J.D. and Yakkundimath R. (2011), "Identification and classification of normal and affected agriculture/horticulture produce based on combined color and texture feature extraction", International Journal of Computer Applications in Engineering Sciences, Vol. 1, no 3, pp. 356—360.
8. El-Helly, M. Rafea, A. and El-Gammal, S. (2003), "An Integrated Image Processing System for Leaf Disease Detection and Diagnosis", Proceedings of the 1st Indian International Conference on Artificial Intelligence, Hyderabad, India, December 18—20, pp. 1182—1195.
9. Duda, R.O. Hart, P.E. and Stork, D.G. (2001), Pattern Classification, Wiley, New York, USA.
10. Kai, S. Zhikun, L. Hang, Su and Chunhong G. (2001), "A Research of Maize Disease Image Recognition of Corn Based on BP Networks", Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, IEEE, October 20, pp. 246—249.

Стаття надійшла до редакції 25.02.2020 р.