

NEURONOWA IDENTYFIKACJA DOJRZAŁOŚCI WYBRANYCH ODMIAN JABŁEK

Streszczenie

Celem niniejszej pracy była identyfikacja poziomu dojrzałości wybranych odmian jabłek za pomocą sztucznych sieci neuronowych, dokonana na podstawie reprezentatywnych cech, pozyskanych metodami analizy obrazu. Aby można było prawidłowo rozwiązać tak sformułowane zadanie, wymagane było zapoznanie się z metodami analizy obrazu oraz zagadnieniami klasyfikacji z wykorzystaniem modeli neuronowych. W celu wyjaśnienia tego problemu został wytworzony, zgodnie z wymaganiami inżynierii oprogramowania, neuronowy system informatyczny przeznaczony do identyfikacji, zdefiniowanych wcześniej, klas dojrzałości wybranych odmian jabłek.

Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój technik komputerowych daje coraz większe możliwości nowoczesnego modelowania, m.in. za pomocą sztucznych sieci neuronowych, różnych zjawisk oraz procesów będących przedmiotem badań prowadzonych w wielu dziedzinach nauki. Sztuczne sieci neuronowe na ogół sprawdzają się w rozwiązywaniu problemów o znacznym stopniu złożoności, dla których nie dysponujemy modelami strukturalnymi czy nawet empirycznymi. Taka sytuacja często występuje w naukach rolniczych, gdzie mamy do czynienia z badaniami prowadzonymi na styku wielu obszarów, zarówno nauk podstawowych, jak również empirycznych. Przykładem aplikacji modeli neuronowych w rolnictwie jest wykorzystanie ich właściwości klasyfikacyjnych do identyfikacji stanu dojrzałości wybranych odmian jabłek, dokonanej na podstawie informacji zakodowanej w formie graficznej, np. w postaci łatwych do pozyskania zdjęć cyfrowych.

Celem niniejszej pracy było wytworzenie modelu neuronowego stanowiącego jądro systemu informatycznego „JabVis 1.1”, umożliwiającego identyfikację dojrzałości wybranych odmian jabłek.

Identyfikacja poziomu dojrzałości jabłek

Identyfikacja dojrzałości jabłek w tworzonym systemie informatycznym jest oparta o wygenerowany model neuronowy, który powstał z wykorzystaniem modułu „Sztuczne sieci neuronowe” zaimplementowanego w komercyjnym programie *Statistica* ver. 7.1. Analizie poddano trzy wybrane struktury sieci neuronowych, które często wykorzystuje się jako neuronowe klasyfikatory [6], tj:

- perceptron czterowarstwowy (sieć typu **MLP**: *MultiLayer Perceptron*),
- sieć radialnych funkcji bazowych (sieć typu **RBF**: *Radial Basis Functions*),
- probabilistyczna sieć neuronowa (sieć typu **PNN**: *Probabilistic Neural Networks*).

Dane zawarte w zbiorze uczącym zostały zebrane podczas badań przeprowadzonych w Gospodarstwie Rolno-Sadowniczym w Górze dla odmian jabłek: *Gala Must*, *Lobo* oraz *Rajka*. Zbiór wyjściowy jest plikiem określającym stan dojrzałości owocu z wykorzystaniem skali **BBCH**, zbudowanej na podstawie fenologicznych etapów rozwoju stosowanych w sadownictwie dla owoców ziarnkowych [5]. Ocena stopnia dojrzałości jabłek polegała na porównaniu wybranych, mierzalnych parametrów, a następnie podjęciu decyzji, w jakiej fazie dojrzałości znajduje się dany owoc. Do oceny stopnia dojrzałości jabłek wzięto pod uwagę kilka

wybranych kryteriów, które uznano jako zmienne charakterystyczne dla procesu dojrzwania jabłek. W celu estymacji stopnia dojrzałości jabłek skupiono się na dwu podstawowych parametrach, które uznano jako cechy reprezentatywne, tj.:

- barwie owocu (model **RGB**: *Red Green Blue*),
- kształcie owocu (reprezentowany przez wybrane współczynniki kształtu).

W celu identyfikacji kształtu jabłek wykorzystano pięć następujących współczynników kształtu [7]:

- bezwymiarowy współczynnik kształtu:

$$W_b = \frac{L^2}{4\pi S}, \quad (1)$$

gdzie:

L - obwód obiektu,

S - pole powierzchni obiektu;

- współczynnik cyrkularności R_{c1} (wyznacza on średnicę koła o obwodzie równym obwodowi analizowanego obiektu):

$$R_{c1} = 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}}, \quad (2)$$

gdzie:

S - pole powierzchni obiektu;

- współczynnik cyrkularności R_{c2} (wyznacza średnicę koła, którego pole równe jest polu analizowanego obiektu):

$$R_{c2} = \frac{L}{p}, \quad (3)$$

gdzie:

L - obwód obiektu;

- współczynnik Malinowskiej:

$$R_M = \frac{L}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot S}} - 1, \quad (4)$$

gdzie:

L - obwód obiektu,

S - pole powierzchni obiektu;

- pole S, którego pomiar sprowadza się do zliczenia pikseli należących do interesującego obszaru. Cecha ta jest czuła na błędy wynikłe z niewłaściwej binaryzacji, jednak z drugiej strony jest nieczuła na translacje oraz obroty.



Rys. 1. Gala Must [5]
Fig. 1. Gala Must [5]



Rys. 2. Lobo [5]
Fig. 2. Lobo [5]



Rys. 3. Rajka [5]
Fig. 3. Rajka [5]

W celu identyfikacji koloru jabłek pobierano próbki w dziedzięciu (ustalonych wcześniej) obszarach obrazów cyfrowych owoców (rys. 7).

Wybrane odmiany jabłek

Jabłko jest to owoc ziarnkowy, ceniony za wysoką wydajność i długi okres przechowywania. Owoc ten pochodzi z Azji Środkowej i jest jednym z najbardziej popularnych i powszechnie uprawianych. Jest on odporny na choroby i popularny ze względu na smak, który może być słodki lub kwaśny, w zależności od odmiany. Około 60 mln ton jabłek produkowanych jest każdego roku. Życie jabłoni wynosi średnio od 60 do 70 lat [5].

Gala Must jest jedną z odmian jabłoni, wyhodowaną w Nowej Zelandii przez sadownika J. H. Kidda. Powstała w wyniku skrzyżowania odmiany '*Kidd's Orange Red*' z odmianą '*Golden Delicious*'. Odmiana otrzymała swoją nazwę w 1962 roku i od razu wprowadzono ją do uprawy. Początkowo uprawiano ją tylko w Nowej Zelandii i była ona traktowana jako odmiana lokalna. Z biegiem czasu odmiana ta pojawiła się w innych krajach, m.in. w Brazylii i w Europie Zachodniej oraz w Ameryce Północnej. W Polsce odmiana ta znalazła się pod koniec lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku. W doświadczeniach odmianowo-porównawczych została negatywnie oceniona z powodu drobnych owoców i niskiej atrakcyjności rynkowej. Dopiero pojawienie się mutantów odmiany, jak i przykład innych krajów europejskich, wpłynęły na sadowników w Polsce. Konsekwencją tego było wpisanie odmiany w 1992 roku do polskiego Rejestru Odmian.

Owoce *Gala Must* mają kształt stożkowaty lub stożkowato owalny. Przy kielichu da się również zauważyć żebrowania. Owoce mają dobre wykolorowanie, pokryte są marmurkowo-pomarańczowym lub pomarańczowo-czerwonym, jaskrawym rumieńcem, skórka owoców jest gładka. Gotowość do zbioru *Gala* osiąga w drugiej lub trzeciej dekadzie września [5].

Lobo to odmiana uprawna jabłoni domowej (*Malus domestica* '*Lobo*'), która należy do odmian jesiennych. Gatunek ten został otrzymany około 1900 roku w Kanadzie w rolniczej stacji doświadczalnej w Ottawie, jako siewka odmiany *McIntosh*. Odmiana ma dużą popularność w Polsce, ale obecnie jest rzadziej sadzona z powodu dużej wrażliwości na parcha. Gatunek nie jest przydatny do nasadzeń amatorskich, ale dobry do uprawy wysokotowarowej. Szczególnie dobrze nadaje się w zimniejszych rejonach naszego kraju [5].

Rajka jest jedną z czeskich odmian wyselekcjonowaną z siewek powstałych ze skrzyżowania odmian '*Szampion*'

z '*Katka*'. Drzewo jest średniej wielkości, tworzy średnio zagęszczone rozłożyste korony z dużą ilością krótkopędów. Oprócz genetycznej odporności na parcha jabłoni, wyróżnia się małą podatnością na mączniaka jabłoni. *Rajka* bardzo wcześnie wchodzi w okres owocowania, wykazuje skłonność do przemennego owocowania. Plonuje tak samo obficie jak '*Szampion*' i również wymaga przerzedzenia zawiązków oraz cięcia letniego. Cechą charakterystyczną owoców o bardzo zaawansowanej dojrzałości jest występowanie tłustego, woskowego nalotu na skórce. Zawartość ekstraktu w owocach z reguły wynosi 12-14%. Podczas zbioru jędrność miąższu wynosi około 8 kg, a kwasowość zazwyczaj nie przekracza 0,8%. *Rajka* z powodu małej podatności na choroby oraz łatwej uprawy nadaje się z pewnością do sadów przydomowych [5].

Dojrzałość jabłek

Do identyfikacji dojrzałości jabłek wykorzystano skalę **BBCH** (niem. *Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt und CHemikalien Industrie*). Skala ta jest stosowana do określenia fenologicznych etapów rozwoju roślin. Skala **BBCH** została opracowana w odniesieniu do zakresu uprawy gatunków. Fazy fenologiczne rozwoju roślin używane są w wielu dyscyplinach naukowych oraz w sektorze rolnictwa. Skala wykorzystuje system dziesiętnego kodu, który jest podzielony na główne i drugorzędne fazy rozwoju.

Skala **BBCH** jest to jednolity system kodowania w fazach rozwoju wszystkich gatunków roślin dwuliściennych. Jest to wynik współpracy Centrum Biologicznych Badań Rolnictwa i Leśnictwa (BBA) Republiki Federalnej Niemiec, niemieckiego Federalnego Urzędu Odmian Roślin (BSA), Agrohemicznego Stowarzyszenia Niemieckiego (IVA) oraz Instytutu Warzyw i Roślin Ozdobnych w Großbeeren w Niemczech (IGZ).

Fazy dojrzałości, w jakich znajdowały się jabłka podczas robienia zdjęć odpowiadały kolejno indeksom skali **BBCH** dla owoców ziarnkowych, tj.: **81, 85, 87**, i przedstawiono je w tab.

Tab. Etapy rozwoju dojrzałości owoców i nasion w skali **BBCH** dla owoców ziarnkowych

Table. Development phases of the ripeness of fruits and seeds in the **BBCH** scale for seedy fruits

BBCH	Stadium dojrzałości owoców	
81	początek dojrzewania jabłek, pierwsze pojawienie się kolorów poszczególnych odmian	10% owoców w pełni dojrzałych
85	zwiększenie intensywności barw poszczególnych odmian	50% owoców w pełni dojrzałych
87	owoce gotowe do zbioru	70% owoców w pełni dojrzałych

Metodyka badawcza

Dane empiryczne (w postaci jabłek) pozyskano dzięki uprzejmości p. Grzegorza Wilczkowiaka, właściciela Gospodarstwa Rolno-Sadowniczego w miejscowości Góra k. Śremu.

Odmiany jabłek wybrano w taki sposób, aby wszystkie trzy gatunki w tym samym czasie znajdowały się w porównywalnych stadiach dojrzałości. Określono również wytyczne odnośnie terminów, w których mają być zrywane jabłka, tak aby owoce znajdowały się w określonym stadium dojrzałości. Pierwszy etap wykonywania fotografii przypadł na początek sierpnia, a ostatni etap na drugą dekadę września. W celu uzyskania optymalnego odwzorowania cech charakterystycznych wybranych odmian jabłek zostało zbudowane specjalistyczne stanowisko pomiarowo-badawcze, którego fragment przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Stanowisko badawcze
Fig. 4. Research station

Do budowy stanowiska badawczego został zastosowany namiot bezcieniowy z białym tłem oraz dwie kompaktowe lampy fluorescencyjne każda o mocy 9 W. Aparat został zamocowany na statywie. Jabłko zostało podwieszony w namiocie bezcieniowym i wprowadzone było w delikatny ruch tak, aby

można było fotografować go z różnych stron. Do wykonania serii zdjęć wykorzystany został aparat Canon, PowerShot A430; długość ogniskowej: 5 mm, czas migawki: 0.0016 s (1/640), wartość przysłony: f/2.8. Aparat ustawiony był manualnie tak, aby każde zdjęcie było wykonane w tych samych warunkach oświetleniowych.

Odległość fotografowania była zawsze stała i wynosiła ok. 30 cm, co pozwoliło na zachowanie naturalnej proporcji jabłek na zdjęciu. Wszystkie fotografie zostały wykonane w formacie JPEG. Wszystkie zdjęcia jabłek zostały przeskalowane do rozdzielczości 800 na 600 pikseli. Do pracy zostały wybrane trzy odmiany jabłek: *Gala Must*, *Lobo*, *Rajka*. Zdjęcia były wykonywane w trzech etapach. W każdym etapie na jedną odmianę przypadało 200 zdjęć, co dało w rezultacie 600 zdjęć na każdą serię. Zdjęcia wykonywane były dla czterech losowo wybranych jabłek z danej odmiany.

Zakres pracy obejmował następujące etapy:

- pozyskanie danych empirycznych z Gospodarstwa Rolno-Sadowniczego w miejscowości Góra k. Śremu,
- wytworzenie zbioru danych do uczenia sztucznych sieci neuronowych (na podstawie pozyskanych danych),
- wygenerowanie trzech topologii klasyfikacyjnych modeli neuronowych,
- przekonwertowanie kodu wytworzonych modeli neuronowych na kod języka C#,
- zaprojektowanie, wytworzenie, weryfikacja oraz walidacja systemu komputerowego „JabVis v.1.1”.

Jako cechy reprezentatywne dla procesu identyfikacji stopnia dojrzałości jabłek uznano czternaście zmiennych wejściowych, tj:

- dziewięć „próbek” kolorów,
- pięć współczynników kształtu.

Generowanie sieci neuronowych

Wytworzenie zbioru uczącego oparto na danych empirycznych (rys. 2) pozyskanych z doświadczeń przeprowadzonych w Gospodarstwie Rolno-Sadowniczym w miejsco-

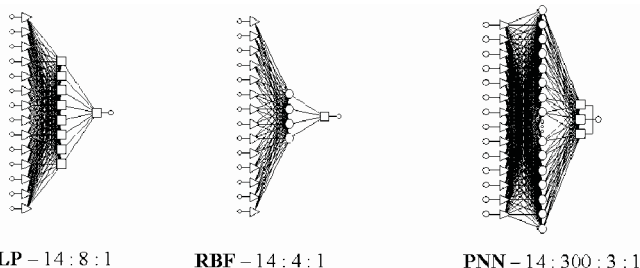
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	KOLOR5	KOLOR6	KOLOR7	KOLOR8	KOLOR9	BEZWYMIA	CYRKULAR	CYRKULAR	MALINOWS	POLE S	SKALA BB
1322	4280520100,000	4280699018,000	4279783521,000	4280244096,000	4280098622,000	0,789	174,844	155,335	-0,112	24010,000	87,000
1323	42805960496,000	4280624228,000	4279441708,000	4279506494,000	4280098615,000	0,810	175,730	158,200	-0,100	24254,000	87,000
1324	4280495746,000	4280246165,000	4279441193,000	4279571779,000	4280888669,000	0,788	172,472	153,107	-0,112	23363,000	87,000
1325	4280321184,000	4280436619,000	4279521123,000	4280115074,000	4280165188,000	0,793	174,749	155,654	-0,109	23984,000	87,000
1326	4280297069,000	4280165985,000	4279637809,000	4279703359,000	4280492612,000	0,814	173,547	156,608	-0,098	23655,000	87,000
1327	4280823678,000	4280427360,000	4280164161,000	4279770950,000	4280822085,000	0,803	170,538	152,789	-0,104	22842,000	87,000
1328	4280166777,000	4280032602,000	4279836484,000	4279902275,000	4280164161,000	0,801	171,038	153,107	-0,105	22976,000	87,000
1329	4280566415,000	4280231531,000	4280240225,000	4279769684,000	4280296519,000	0,793	173,319	154,380	-0,109	23593,000	87,000
1330	4280453538,000	4280504206,000	4279979106,000	4280113280,000	4280164425,000	0,796	174,472	155,654	-0,108	23908,000	87,000
1331	427968639,000	4279536538,000	4279967039,000	4278888854,000	4280636024,000	0,804	174,304	156,290	-0,103	23862,000	87,000
1332	4281552529,000	4280125083,000	4280033331,000	4279180621,000	4280631150,000	0,790	172,937	153,744	-0,111	23489,000	87,000
1333	4280559727,000	4280298873,000	4280032816,000	4279637817,000	4280493126,000	0,798	172,815	154,380	-0,107	23456,000	87,000
1334	4280821623,000	4280035169,000	4279506739,000	4280096068,000	4280755268,000	0,803	173,010	155,017	-0,104	23509,000	87,000
1335	4280125089,000	4280501643,000	4279717730,000	4280179072,000	4280164161,000	0,797	178,605	159,473	-0,107	25054,000	87,000
1336	4279921814,000	4279274393,000	4279801490,000	4279443285,000	4279983224,000	0,795	170,247	151,834	-0,108	22764,000	87,000
1337	4280034156,000	4280165483,000	4279901996,000	4279572282,000	4280427333,000	0,796	176,565	157,563	-0,108	24485,000	87,000
1338	4281032803,000	4280232056,000	4280177512,000	4279706461,000	4280756655,000	0,789	175,208	155,654	-0,112	24110,000	87,000
1339	4280454555,000	4279667094,000	4280032053,000	4280365681,000	4280115829,000	0,802	171,001	153,107	-0,105	22961,000	87,000
1340	4280559988,000	4280495222,000	4279896899,000	4279506489,000	4280361285,000	0,789	177,439	157,563	-0,112	24726,000	87,000
1341	4280641436,000	4280234614,000	4280242790,000	4279837789,000	4280427327,000	0,787	174,396	154,699	-0,113	23887,000	87,000
1342	4281094040,000	4278488216,000	4279967283,000	4279442764,000	4280047219,000	0,805	173,532	155,654	-0,103	23651,000	87,000
1343	4280954999,000	4280493921,000	4279899952,000	4279900483,000	4280296000,000	0,808	174,906	157,245	-0,101	24027,000	87,000
1344	4281086587,000	4280493921,000	4279768367,000	4279834179,000	4280492612,000	0,805	174,884	156,927	-0,103	24021,000	87,000
1345	4281085303,000	4280165483,000	4279900467,000	4279769160,000	4280230208,000	0,800	176,839	158,200	-0,105	24561,000	87,000
1346	4279995806,000	4279600537,000	4280298060,000	4279594365,000	4280823654,000	0,815	177,353	160,110	-0,097	24704,000	87,000
1347	4280296816,000	4279969138,000	4279638573,000	4279374394,000	4280361024,000	0,781	176,107	155,654	-0,116	24358,000	87,000
1348	4280127906,000	4280517792,000	4280169045,000	4279464324,000	4280692831,000	0,802	179,444	160,746	-0,104	25290,000	87,000
1349	4280957050,000	4280362342,000	4279507246,000	4279506241,000	4280427327,000	0,800	174,695	156,290	-0,105	23969,000	87,000
1350	4280960659,000	4279470745,000	4280229681,000	4279965776,000	4280701563,000	0,795	170,982	152,470	-0,108	22961,000	87,000

Zmienne wejściowe

Zmienne wyjściowe

Rys. 5. Fragment zbioru uczącego
Fig. 5. Sample of training data set

wości Góra k. Śremu. Po dokonaniu konwersji zdjęć cyfrowych do postaci akceptowalnej przez symulator sieci neuronowych uzyskano 1350 przypadków, które zebrano w zbiorze uczącym (rys. 5) [2]. Zgodnie z przyjętą standardową procedurą zbiór ten został podzielony, odpowiednio w stosunku 2:1:1 (zbiory: uczący, walidacyjny oraz testowy).



Rys. 6. Struktura sieci neuronowej typu MLP, RBF oraz PNN
Fig. 6. Structure of MLP, RBF and PNN neural networks



Rys. 7. Okno główne programu
Fig. 7. JabVis 1.1 - main window

Wykorzystując pakiet „Sieci Neuronowe” zaimplementowany w systemie informatycznym STATISTICA v. 7.1 oraz dane uczące (rys. 5), wygenerowano trzy modele neuronowe: MLP, RBF oraz PNN.

Sieć neuronowa typu MLP uczona była metodą „z nauczycielem”, sieć typu RBF techniką „hybrydową” natomiast wagi probabilistycznej sieci PNN dostrajane były metodą „bez nauczyciela”. Najlepsze właściwości klasyfikacyjne wykazała sieć typu MLP o strukturze: 14:8:1. Zbliżone cechy wykazała sieć RBF (rys. 6) natomiast sieć PNN generowała największy błąd testowy, wykazując również tendencję do przeuczenia.

System informatyczny „JabVis 1.1”

Wygenerowane sieci zostały następnie zaimplementowane w systemie informatycznym „JabVis 1.1”, wytworzonym w oparciu o nowoczesne środowisko programistyczne, jakim jest Microsoft Visual Studio 2008, wykorzystujące Framework .NET w wersji 3.5.

Wnioski

1. Informacja o kolorze i kształcie jabłek, zakodowana w postaci cyfrowych zdjęć, może stanowić podstawę do estymacji stopnia dojrzałości wybranych odmian jabłek.
2. Modele neuronowe typu MLP, RBF oraz PNN są właściwymi narzędziami klasyfikacyjnymi, umożliwiającymi efektywną identyfikację dojrzałości jabłek na podstawie ich zdjęć.
3. Wytworzony system komputerowy „JabVis 1.1” jest przyjaznym użytkownikowi narzędziem informatycznym, które oprócz walorów użytkowych może stanowić wsparcie procesów dydaktycznych z zakresu wykorzystania metod sztucznej inteligencji w rolnictwie.

Literatura

- [1] Boniecki P.: Elementy modelowania neuronowego w rolnictwie. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, Poznań, 2008.
- [2] Boniecki P., Koszela K., Przybylak A.: Klasyfikacja wybranych odmian jabłek oraz suszu marchwi z wykorzystaniem sieci neuronowych typu Kohonena. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2010, Vol. 55(1), str.11-16.
- [3] Kantorowicz-Bąk M.: Jabłoń w każdym ogrodzie. PWRiL, Poznań, 2000.
- [4] Kasperczak K., Wichłacz S.: Modelowanie neuronowe w procesie identyfikacji dojrzałości wybranych odmian jabłek. Praca magisterska wykonana w IIR UP w Poznaniu, 2010.
- [5] Kruczyńska D.: Nowe odmiany jabłoni. Hortpress, Warszawa, 2008.
- [6] Ossowski S.: Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.
- [7] Wojnar L., Kurzydłowski K.J., Szala J.: Praktyka analizy obrazu. Polskie Towarzystwo Stereologiczne, Kraków, 2002.
- [8] Wójcik T.: ABC fotografii cyfrowej. Wydawnictwo Skarbnica Wiedzy, Kraków, 2006.

NEURAL IDENTIFICATION OF RIPENESS OF CHOSEN VARIETIES OF APPLES

Summary

The main aim of this research was to identify the level of ripeness of chosen varieties of apples using neural networks. The process was based on a set of selected features acquired by images analysis. To secure one's object it was necessary to get to know the available and current image analysis methodologies as well as the neural networks' classification abilities. The neural computer system has been designed, regarding all requirements of software engineering in order to develop an implementation of the model proposed during the phase described above. The software is capable to identify the ripeness of an apple from the chosen varieties.