

INFORMATYCZNY SYSTEM POZYSKIWANIA DANYCH O GEOMETRII PRODUKTÓW ROLNICZYCH NA PRZYKŁADZIE ZIARNIAKA KUKURYDZY

Jerzy Weres

Zakład Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. W modelowaniu procesów ciepłno-mechanicznych zachodzących w produktach rolniczych konieczna jest znajomość ich geometrii. Opracowano w związku z tym oryginalny system informatyczny do wykrywania krawędzi na cyfrowych obrazach przekrojów dowolnego obiektu oraz do automatycznego tworzenia siatki trójwymiarowych, izoparametrycznych elementów skończonych. Wynikowa tablica współrzędnych wszystkich węzłów tej siatki znajduje zastosowanie w oryginalnych programach autorskich do wizualizacji geometrycznego modelu badanego produktu oraz do prognozowania rozkładów temperatury i zawartości wody w jego wnętrzu. Przedstawiony w pracy przykład pozyskiwania danych o zewnętrznej i wewnętrznej geometrii produktów rolniczych, w postaci tablicy współrzędnych węzłów siatki MES, dotyczy ziarniaka kukurydzy.

Słowa kluczowe: modelowanie geometrii, wykrywanie krawędzi, siatka strukturalna MES

Wprowadzenie

Analiza procesów transportu ciepła i substancji zachodzących w produktach rolniczych wymaga m.in. znajomości skomplikowanej geometrii powierzchni zewnętrznej oraz wnętrza danego produktu, a także - umiejętności odwzorowania tej geometrii w matematycznych modelach badanych procesów. Upraszczenie kształtów produktów do postaci podstawowych brył znacząco obniża jakość modelowania, a zarazem utrudnia wyjaśnianie, predykcję i projektowanie rozpatrywanych procesów [Weres, Jayas 1994; Weres 2008].

Współczesna wiedza z zakresu komputerowych, współrzędnościowych metod pomiarowych [Jakubiec, Malinowski 2006], analizy obrazu w zastosowaniu do pomiaru geometrii [Gonzalez, Woods 2008; Shih 2010] oraz numerycznych metod odwzorowywania geometrii w modelach MES [Frey, George 2008; Zienkiewicz i in. 2005], wspierana zaawansowanymi technologiami wytwarzania oprogramowania, stwarza nowe perspektywy dokładniejszego modelowania procesów transportu ciepła i substancji w biomateriałach. Metody komputerowej analizy obrazów są powszechnie stosowane do charakteryzowania, poprzez wymiary liniowe i współczynniki kształtu, geometrii ziarniaków [Frączek, Wróbel 2006; Hebda, Micek 2005; Hebda, Micek 2007; Pearson, Brabec 2006; Szwed, Kusińska 2005; Younce i in. 1991; Zapotoczny 2005; Zapotoczny 2009]. Prace te, ciekawe poznawczo i metodycznie, nie dostarczają współrzędnościowych informacji niezbędnych do automatycznej budowy bryłowych modeli MES. Wyróżniają się publikacje oparte na koncepcji reprezentowania geometrii poprzez składanie informacji pozyskiwanych z przekrojów

badanego produktu [Frączek 2003; Frączek, Wróbel 2009; Takhar, Zhang 2009]. Idea ta jest rozwijana w niniejszej pracy poprzez spójne powiązanie pozyskiwanego opisu geometrii – współrzędnych siatki elementów skończonych z autorskimi systemami obliczeniowymi i wizualizacyjnymi MES. Przytoczone tu prace oparte na komputerowej analizie obrazu usunęły w cień obszerną grupę metod parametrycznego modelowania geometrii produktów rolniczych [np. Mabilie, Abecassis 2001].

Celem niniejszej pracy było wytworzenie oryginalnego systemu informatycznego do pozyskiwania danych o geometrii dowolnych produktów rolniczych o skomplikowanym kształcie i niejednorodnej wewnętrznej strukturze. Podstawowymi funkcjami proponowanego systemu mają być: wykrywanie krawędzi na cyfrowych obrazach przekrojów badanego produktu oraz automatyczne tworzenie siatki trójwymiarowych, izoparametrycznych elementów skończonych, a wynikami - współrzędne węzłów tej siatki, niezbędne w dalszych badaniach do wizualizacji modelu badanego produktu, w tym – jego wewnętrznej struktury, a także - do prognozowania rozkładów temperatury i zawartości wody w jego wnętrzu. Produktem wybranym do egzemplifikacji działania programu były ziarniaki kukurydzy.

Metoda

Opracowana metoda polega na budowie strukturalnej siatki trójwymiarowych, izoparametrycznych elementów skończonych odwzorowujących badany produkt, na podstawie informacji uzyskanych z analizy fotografii jego kolejnych przekrojów. Szczegółowe kroki postępowania są następujące:

1. Zdefiniowanie trójwymiarowego układu współrzędnych ortokartezjańskich x_1 , x_2 i x_3 . Przyjęcie jako początku tego układu lewego, dolnego, przedniego wierzchołka prostopadłościanu opisanego na badanym obiekcie. Dla przykładowego ziarniaka kukurydzy oś x_1 jest skierowana od początku układu współrzędnych wzdłuż grubości ziarniaka ku zarodkowi, oś x_2 – wzdłuż szerokości ziarniaka, a oś x_3 – wzdłuż wysokości ziarniaka, od jego podstawy do czubka.
2. Zdefiniowanie struktury siatki MES dla produktu: określenie liczby elementów wzdłuż osi x_1 , x_2 i x_3 .
3. Przygotowanie próbek, w przykładzie - ziarniaków kukurydzy odmiany Clarica:
 - zatopienie pojedynczego produktu w bloku syntetycznej żywicy, po zastygnięciu - umocowanie bloku w statywie i nawiercenie otworów referencyjnych do późniejszego ustalania położenia obrazów kolejnych przekrojów;
 - ścinanie kolejnych warstw bloku żywicy, w płaszczyznach x_2x_3 , wzdłuż osi x_1 , aż do zeszlifowania całego obiektu, bez naruszenia struktury zatopionego produktu, połączone z pomiarem wysokości bloku i wyznaczaniem grubości ściętej warstwy oraz wykonywaniem cyfrowej fotografii umieszczonym na statywie aparatem; do bieżącego przekroju jest przykładany wzorzec – przymiar z dokładną podziałką.
4. Komputerowe przetworzenie obrazu pierwszej warstwy produktu. Obejmuje algorytmy: przetwarzania obrazu do postaci monochromatycznej, redukcji ewentualnych zakłóceń, przesunięcia, obrotu, skalowania i przypisania punktów odniesienia, z wykorzystaniem otworów referencyjnych.

5. Wykonanie zautomatyzowanych procedur dla obrazów wszystkich kolejnych warstw:
 - przetworzenie obrazu danej warstwy według wzorca warstwy pierwszej;
 - wykrycie krawędzi danej warstwy: zewnętrznej oraz wewnętrznych oddzielających składniki, z możliwością wyboru algorytmu; zalecany – algorytm Canny’ego;
 - narysowanie fragmentu strukturalnej siatki izoparametrycznych elementów skończonych dla danej warstwy, z możliwością ręcznej korekty położenia jej węzłów;
 - automatyczny pomiar i zapis współrzędnych węzłów siatki dla danej warstwy; powstaje zbiorcza tablica współrzędnych węzłów dla całego produktu, z zamianą względnej jednostki długości (piksel) na wybraną jednostkę bezwzględną.

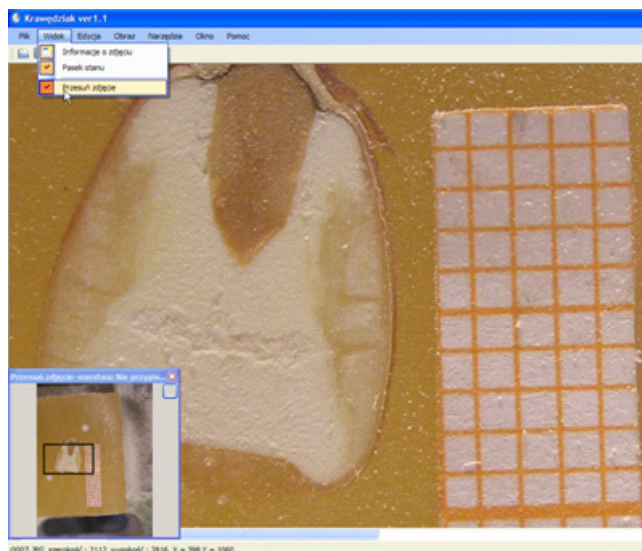
Implementacja punktów 4. i 5. powyższej metody w oryginalnym systemie informatycznym została oparta na standardach inżynierii oprogramowania, z wykorzystaniem środowisk Visual Paradigm, język UML 2.2 i Visual Studio 2010, język C# 4.0. Weryfikacja i walidacja zostały przeprowadzone w oparciu o przypadki testowe, stwierdzono zgodność systemu z przygotowanymi wcześniej wymaganiami funkcjonalnymi. W kodowaniu oprogramowania uczestniczyli magistranci [Orzechowski, Robakowski 2009; Wójkowski 2010].

Jakość pozyskiwania współrzędnych węzłów generowanej przez system siatki elementów skończonych oceniono analizując jakość zbudowanego na ich podstawie modelu trójwymiarowej geometrii przykładowego produktu – ziarniaka kukurydzy. Dokonano tego dwoma sposobami: 1) porównując odległości między węzłami utworzonej siatki MES a węzłami analogicznej siatki dla: a) prostopadłościanu, b) dotychczasowego modelu geometrii ziarniaka [Weres, Jayas 1994] oraz 2) porównując wyniki predykcji procesu transportu wody w ziarniakach kukurydzy z wynikami doświadczalnymi, z użyciem do predykcji uzyskanych współrzędnych węzłów, a także: a) współrzędnych węzłów dla prostopadłościanu, b) współrzędnych węzłów dotychczasowego modelu geometrii ziarniaka [Weres, Jayas 1994].

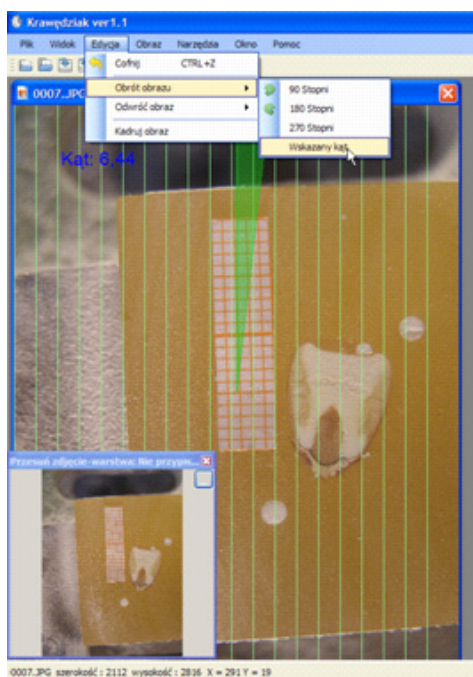
Opis wytworzonego systemu

Wytworzony system informatyczny do pozyskiwania danych o geometrii dowolnych produktów rolniczych o skomplikowanym kształcie i niejednorodnej wewnętrznej strukturze pełni dwie podstawowe funkcje: wykrywanie zewnętrznych i wewnętrznych krawędzi na cyfrowych obrazach przekrojów badanego produktu oraz automatyczne tworzenie strukturalnej siatki trójwymiarowych, izoparametrycznych elementów skończonych. Danymi niezbędnymi do działania programu są fotografie przekrojów badanego produktu, w przykładzie - ziarniaka kukurydzy, uzyskane w sposób opisany w p. 3. rozdziału Metoda. Wynikiem jest plik zawierający współrzędne wszystkich węzłów siatki, do wykorzystania w dalszych badaniach do prognozowania rozkładów temperatury i zawartości wody w badanym produkcie metodą elementów skończonych oraz wizualizowania analizowanego procesu i geometrycznego modelu produktu. Produktem użytym do egzemplifikacji działania systemu był ziarniak kukurydzy.

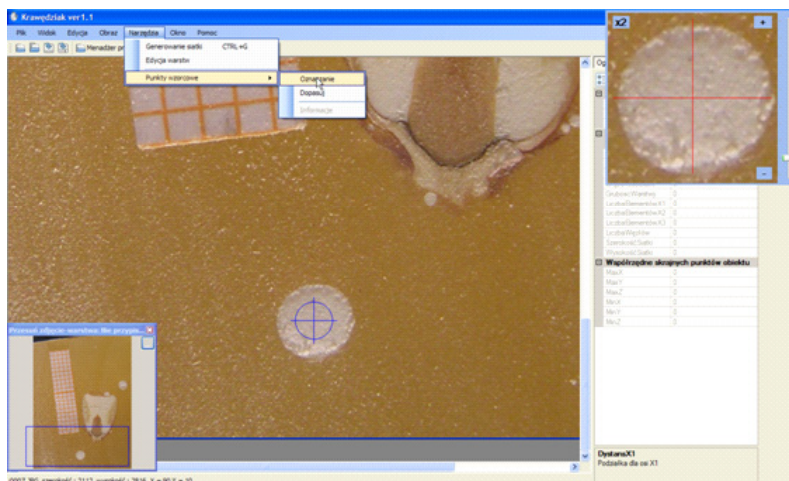
Czynności przygotowawcze dotyczą obrazu pierwszej warstwy ziarniaka (rys. 1–3) i polegają na ewentualnym przetworzeniu obrazu do monochromii, redukcji zakłóceń, przesunięciu, obrocie, skalowaniu i ustaleniu punktów odniesienia, w oparciu o otwory referencyjne.



Rys. 1. Przetworzenie obrazu pierwszej warstwy – wybór obszaru
Fig. 1. Processing of the image of the first layer – selection of the region

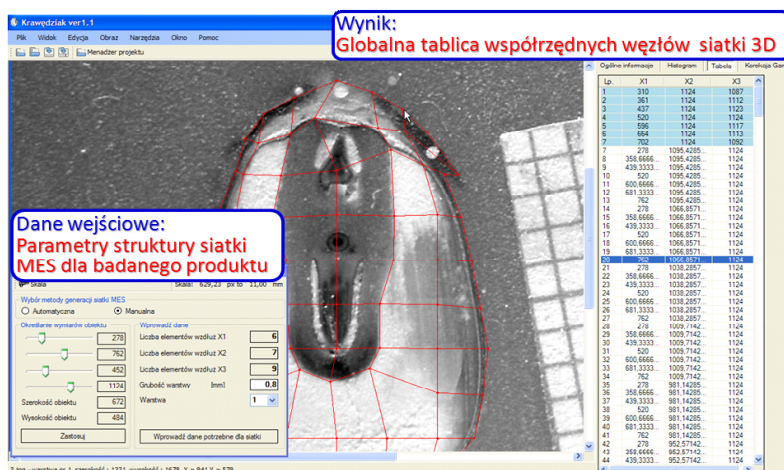


Rys. 2. Przetworzenie obrazu pierwszej warstwy – obrót obrazu
Fig. 2. Processing of the image of the first layer – image rotation



Rys. 3. Przetworzenie obrazu pierwszej warstwy – przypisanie punktów odniesienia
 Fig. 3. Processing of the image of the first layer – assignment of reference points

Kolejną grupę czynności rozpoczyna automatyczna obróbka obrazów wszystkich warstw, tak jak została przetworzona warstwa pierwsza. Następnie, dla wszystkich warstw po kolei, następuje wykrywanie zewnętrznej krawędzi oraz krawędzi wewnętrznych, odzielających poszczególne składniki danego produktu (rys. 4).



Rys. 4. Zautomatyzowane procedury wykrycia zewnętrznej i wewnętrznych krawędzi danej warstwy, wykreślenia fragmentu siatki oraz zmierzenia i zapisania współrzędnych węzłów
 Fig. 4. Automated procedures for detecting external and internal edges of the given layer, plotting the mesh fragment, and measuring and saving node coefficients

W tym celu umieszczono w systemie kilka zoptymalizowanych algorytmów, dających możliwość sterowania ich pracą. Na podstawie zdefiniowanej struktury siatki MES (dane wejściowe) zostaje automatycznie wykreślony fragment strukturalnej siatki izoparametrycznych elementów skończonych, użytkownik ma możliwość ręcznie zoptymalizować położenia węzłów. Współrzędne węzłów siatki zostają automatycznie zmierzone i zapisane we właściwych komórkach zbiorczej tablicy współrzędnych węzłów dla badanego produktu. Program umożliwia automatyczną zamianę jednostek długości – pikseli na milimetry.

Podsumowanie

Na podstawie oryginalnej procedury wykrywania krawędzi i tworzenia strukturalnej siatki trójwymiarowych, izoparametrycznych elementów skończonych zbudowano informatyczny system, który w automatyczny sposób, na podstawie wykonanych uprzednio fotografii przekrojów przygotowanych próbek ziarniaków kukurydzy, pozwolił pozyskać dane o zewnętrznej i wewnętrznej geometrii badanego produktu. Wyniki, w postaci współrzędnych węzłów trójwymiarowej siatki MES, są zintegrowane, jako dane wejściowe, z autorskimi programami do predykcji procesów transportu ciepła i substancji w badanych produktach rolniczych z wykorzystaniem analizy MES, a także do wizualizowania tych procesów w dowolnie wyciętym obszarze badanego produktu. Pozyskane w przykładzie wartości współrzędnych węzłów siatki dla ziarniaków kukurydzy posłużyły do dokładniejszego niż dotąd wyznaczenia i wizualizacji rozkładów zawartości wody i współczynnika dyfuzji wody w obszarze ziarniaka, w dowolnej chwili procesu; wyniki te stanowią podstawę prowadzonych obecnie badań naukowych w zakresie modelowania zjawisk transportu wody w ziarniakach zbóż.

Bibliografia

- Frączek J.** 2003. Wykorzystanie elementów komputerowej analizy obrazu w modelowaniu kształtu nasion. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11(53). s. 65-70.
- Frączek J., Wróbel M.** 2006. Metodyczne aspekty oceny kształtu nasion. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 12(87). s. 155-163.
- Frączek J., Wróbel M.** 2009. Zastosowanie grafiki komputerowej w rekonstrukcji 3D nasion. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 6(115). s. 87-94.
- Frey P., George P.L.** 2008. *Mesh Generation*. 2nd ed. Wiley-ISTE. Hoboken, NJ. ISBN 978-1848210295.
- Gonzalez R.C., Woods R.E.** 2008. *Digital Image Processing*. 3rd ed. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. ISBN 978-0131687288.
- Hebda T., Micek P.** 2005. Zależności pomiędzy właściwościami geometrycznymi ziarna zbóż. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 6(66). s. 233-241.
- Hebda T., Micek P.** 2007. Cechy geometryczne ziarna wybranych odmian zbóż. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 5(93). s. 187-193.

- Jakubiec W., Malinowski J.** 2006. Metrologia wielkości geometrycznych. WNT. Warszawa. ISBN 978-8320433265.
- Mabille F., Abecassis J.** 2001. Parametric Modelling of Wheat Grain Morphology: a New Perspective. *Journal of Cereal Science*. Nr 37(1). s. 43-53
- Orzechowski S., Robakowski P.** 2009. Analiza obrazów w pomiarze kształtu produktów rolno-spożywczych i trójwymiarowa wizualizacja tych produktów w badaniu ich właściwości. Praca magist. pod kier. Jerzego Weresa, UP w Poznaniu
- Pearson T.C., Brabec D.L.** 2006. Camera attachment for automatic measurement of single-wheat kernel size on a perton SKCS 4100. *Applied Engineering in Agriculture*. Nr 22(6). s. 927-933.
- Shih F.Y.** 2010. *Image Processing and Pattern Recognition: Fundamentals and Techniques*. Wiley-IEEE Press. Hoboken, NJ. ISBN 978-0470404614.
- Szwed G., Kusińska E.** 2005. Zmiana niektórych cech geometrycznych ziarniaków pszenicy w wyniku niekorzystnych warunków przechowywania. *Motrol Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*. Nr 7. s. 196-207.
- Takhar P.S., Zhang S.** 2009. Drying of corn kernels: from experimental images to multiscale multi-physics modeling. *Proc. of the COMSOL Conf., Boston, 2009*. CD Edition. 5 stron
- Weres J., Jayas D.S.** 1994. Effects of corn kernel properties on predictions of moisture transport in the thin-layer drying of corn. *Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)*. Nr 37(5). s. 1695-1705.
- Weres J.** 2008. Komputerowe wspomaganie analizy wybranych właściwości produktów rolniczych i leśnych. W: *Elementy inżynierii systemów rolnictwa*. Red. Weres J. et al. Wyd. UP Poznań. s. 205-218.
- Wójkowski S.** 2010. Informatyczny system pozyskiwania danych o trójwymiarowej geometrii produktów rolno-spożywczych z wykorzystaniem analizy obrazu. Praca magist. pod kier. Jerzego Weresa, UP w Poznaniu
- Younce F.L., Pitts M.J., Glenn G.M.** 1991. *Applied engineering in agriculture*. Nr 7 (3) s. 361-363.
- Zapotoczny P.** 2005. Wpływ rozdzielczości i kompresji obrazu na błąd pomiaru geometrii oraz barwy ziarniaków zbóż. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8 (68). s. 417-425.
- Zapotoczny P.** 2009. Dyskryminacja odmian ziarna pszenicy na podstawie cech geometrycznych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 5 (114). s. 319-328
- Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z.** 2005. *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals, Sixth Edition*. Elsevier: Butterworth-Heinemann. Oxford, UK. ISBN 978-0750663205.

INFORMATION SYSTEM FOR ACQUIRING DATA ON GEOMETRY OF AGRICULTURAL PRODUCTS EXEMPLIFIED BY A CORN KERNEL

Abstract. In modeling thermo-mechanical processes in agricultural products it is important to know their external and internal geometry. An original software was developed for detecting edges in digital images of sections of an arbitrary object and for automatic generating of a mesh of 3D isoparametric finite elements. The resulting array of coordinates of all nodes of the mesh can be then applied in original author's programs for visualizing the geometric model of a given product and for predicting its temperature and moisture content distributions. A corn kernel was used to exemplify acquisition of data on external and internal geometry of agricultural products in a form of an array of FEM mesh coordinates.

Key words: geometry modeling, edge detection, structural FE mesh

Adres do korespondencji:

Jerzy Weres; e-mail: weres@up.poznan.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 28
60-637 Poznań