

WYODRĘBNIE NIE DRZEW Z DANYCH LIDAROWYCH Z ZASTOSOWANIEM TRANSFORMATY HOUGH

TREE EXTRACTION FROM THE CLOUD OF POINTS USING HOUGH TRANSFORM

Natalia Borowiec, Bożena Niemiec

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, Wydział Geodezji
Górnictwej i Inżynierii Środowiska, AGH Akademia Górniczo – Hutnicza

SŁOWA KLUCZOWE: detekcja obiektów, lotniczy skaningu laserowy, obraz cyfrowy, transformata Hougha

STRESZCZENIE: W niniejszej pracy podjęto próbę automatycznego wyodrębnienia drzew z chmury punktów na podstawie utworzonego obrazu wysokiej roślinności z przefiltrowanych danych laserowych. W tym celu został napisany skrypt w programie MATLAB. Idea jego działania opiera się na tezie, że na obrazach cyfrowych kształt drzew w górnych piętrach zbliżony jest do okręgów. Do ich detekcji posłużono się transformatą Hougha – jedną ze skutecznych metod wykrywania kształtów w widzeniu komputerowym. Badania przeprowadzono na danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego, obejmujących teren Cmentarza Rakowickiego w Krakowie.

1. WPROWADZENIE

Zgodnie z przyjętym w Polsce modelem leśnictwa wielofunkcyjnego, okresowo przeprowadzane są inwentaryzacje zasobów leśnych w celu pozyskania aktualnych informacji na temat ich kondycji oraz na potrzeby określenia lub modyfikacji ich planu urządzenia. Do ważniejszych parametrów charakteryzujących drzewostan należy liczba drzew w populacji oraz ich przestrzenne zagęszczenie. Te cechy podlegają dynamicznym zmianom podczas całego okresu trwania drzewostanu. Tradycyjne pomiary terenowe dostarczają jedynie fragmentaryczne dane, ponieważ są przeprowadzane na kołowych powierzchniach próbnych (zadrzewiony obszar o powierzchni ok. 0,5 ha), a nie na całym obszarze zadrzewionym. Dodatkową wadą tej metody jest jej pracochłonność, czasochłonność oraz stosunkowo wysoki koszt.

Techniki fotogrametrii i teledetekcji są znane i stosowane w leśnictwie od dziesięcioleci. Do najczęściej wykorzystywanych danych teledetekcyjnych należą wysokorozdzielcze zobrażenia satelitarne, lotnicze oraz chmura punktów, uzyskana z lotniczego skaningu laserowego. Dzięki szybkiemu rozwojowi technologii geoinformatycznych proces pozyskiwania informacji o drzewostanach jest w coraz to większym stopniu zautomatyzowany.

W przypadku zdjęć satelitarnych bądź lotniczych, algorytmy automatycznie określające liczbę drzew bazują na zależnościach pomiędzy jasnością pikseli i ich położeniem. Jasności pikseli korespondują z odpowiedzią spektralną drzewostanów w rejestrowanym przedziale długości fali promieniowania elektromagnetycznego. Na przykład zobrazowania satelitarne w bliskiej i średniej podczerwieni wykorzystuje się m.in. do określenia kondycji zdrowotnej drzew i ich składu gatunkowego. Natomiast dane laserowe dają możliwość zbadania struktury pionowej i poziomej drzewostanu. Techniki wykrywania drzew z chmury punktów opierają się głównie na analizie wygenerowanego Numerycznego Modelu Koron Drzew (CHM, ang. *Crown Height Model* lub DCM, ang. *Digital Canopy Model*), w którym poszukiwane są lokalne maksima. Jednym z nich jest algorytm zlewniowy, który odwraca model powierzchni koron a następnie poszukuje mikrozlewni. Punkt o najmniejszej wartości zostaje zaklasyfikowany jako wierzchołek natomiast granica tak utworzonej mikrozlewni wyznacza granice koron (Wężyk *et al.*, 2010).

Do wykrycia pojedynczych drzew wykorzystuje się również technikę wododziałową (Marmol, Będkowski, 2008) lub modyfikację tej techniki, czyli algorytm "kropli deszczu" (Będkowski, Stereńczak, 2008).

Inna metoda wykrywania pojedynczych drzew, została zaprezentowana w publikacji (Marmol, 2009), gdzie oprócz danych lidarowych wykorzystano cyfrowe zdjęcia lotnicze. W pierwszym etapie są wykrywane obrysy koron drzew z wykorzystaniem operatora Laplace'a na utworzonym pseudorastrze z danych lidarowych, a następnie włączono do wykrycia maksimów informację wydobytą ze zdjęć lotniczych.

Niezależnie od rodzaju danych, najważniejszym, a zarazem najtrudniejszym zadaniem jest opracowanie algorytmu skutecznie wykrywającego pojedyncze drzewo, ponieważ detekcja drzewa umożliwia dalszą analizę jego cech, takich jak: gatunek, wysokość, objętość. Polskie lasy charakteryzują się dużym rozdrobnieniem kompleksów oraz zróżnicowaniem gatunkowym. Występują zarówno drzewa iglaste jak i liściaste, które różnią się między sobą m.in. wielkością i kształtem koron, co powoduje podniesienie poziomu trudności ich identyfikacji oraz lokalizacji.

2. DANE

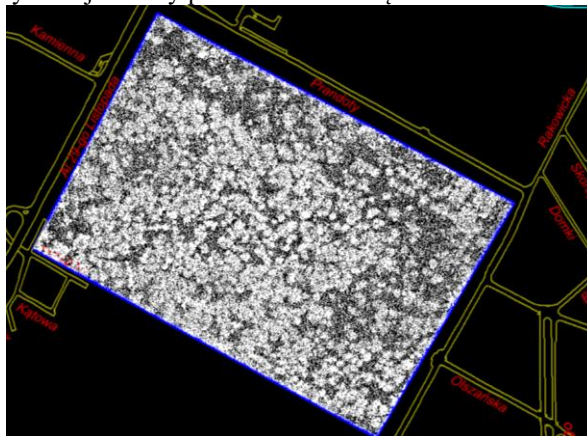
Badania przeprowadzono dla obszaru Cmentarza Rakowickiego w Krakowie. Cmentarz ten, pierwotnie położony był poza granicami miasta, a aktualnie w jego centrum. Obszar cmentarza ograniczają ulice: 29 Listopada, Wita Stwosza, Rakowicka oraz Biskupa Jana Prandoty. Nazwa cmentarza pochodzi od oddalonej o 2 km, od centrum Krakowa, wsi Rakowice, do której prowadziła droga biegnąca obok cmentarza (Rys.1). Od czasu założenia cmentarza w 1803 r. był on kilkakrotnie powiększany, w chwili obecnej zajmuje powierzchnię ok. 42 ha (wraz z włączonym w jego obręb Cmentarzem Wojskowym przy ul. Prandoty), na której znajduje się ponad 75 tysięcy grobów.



Rys. 1. Po lewej: położenie cmentarza Rakowickiego (Open Street Map, 2018), po prawej: zdjęcie lotnicze cmentarza Rakowickiego (Open Street i Google Map, 2018)

Teren ten również ma charakter parku, który odgrywa ważną rolę w systemie zieleni miasta. Istniejący układ wysokich drzew cechuje się dużą swobodnością w rozmieszczeniu. Drzewa rosną najczęściej w luźnych, różnogatunkowych grupach, nieznacznie oddalonych od sąsiednich, lub w bardziej zwartych, monogatunkowych zespołach (Fabijanowska, 2012). Część drzew została posadzona, pozostałe wyrosły z samosiewu. Pokrywają one w miarę równomiernie cały obszar nekropolii. Skład gatunkowy drzewostanu jest różnorodny, do najczęściej występujących gatunków należą: jesiony, wiązy, klony, dęby, lipy, kasztanowce, żywotniki, sosny, świerki, cyprysiki. Pomiędzy grobowcami rosną krzewy oraz inna niska roślinność zielona.

Dane lidarowe (chmura punktów), na podstawie których przeprowadzono badania, pochodzą z nalogu nad obszarem Krakowa i jego okolic (ok. 400 km²), wykonanego w 2006 r. na zlecenie Biura Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta Krakowa. Do pomiaru wykorzystano system pomiarowy FLI-MAP 400, gdzie średnia wysokość lotu wynosiła 350m, a gęstość uzyskanej chmury punktów mieści się w zakresie 16 – 20 pkt/m² (Rys. 2).

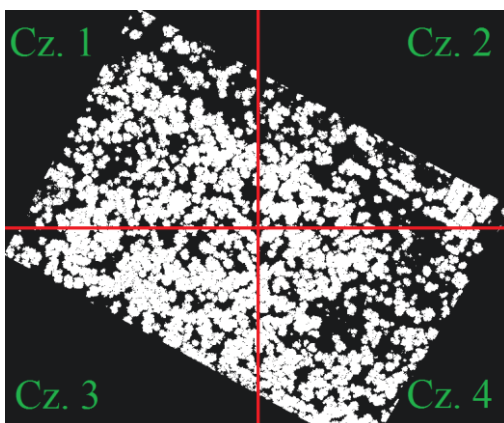


Rys. 2. Wycięty fragment surowej chmury punktów

3. WSTĘPNA OBRÓBKA DANYCH

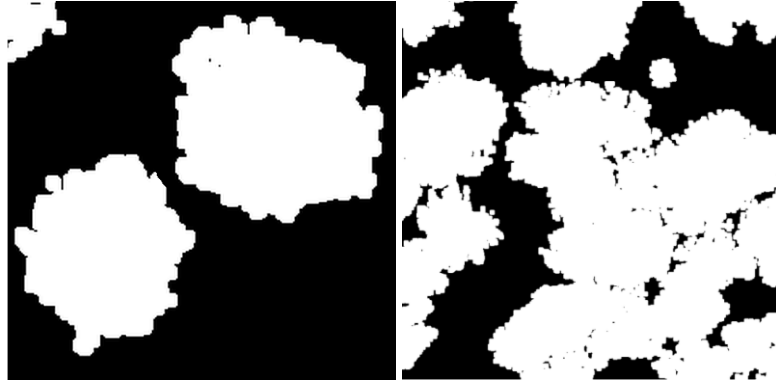
Surową chmurę punktów poddano automatycznej filtracji i klasyfikacji. Najpierw sklasyfikowano punkty leżące znacznie poniżej pozostałych, jako ewidentnie nienależące do powierzchni terenu (ang. *low points*). Następnie znaleziono punkty powierzchni topograficznej (ang. *ground*) z wykorzystaniem algorytmu aktywnego modelu TIN (ang. *Triangular Irregular Network*). Pozostała część chmury punktów odpowiadała elementom pokrycia terenu (np. budynki, roślinność). Na podstawie wysokości względem powierzchni topograficznej została przeklasyfikowana ona na warstwy: niska roślinność (ang. *low vegetation*), średnia roślinność (ang. *medium vegetation*), wysoka roślinność (ang. *high vegetation*). Kryteria obowiązujące podczas klasyfikacji wysokościowej są następujące: niska roślinność 0-1.5m, średnia roślinność 1,5 - 5m, wysoka roślinność >5m.

Obszarem zainteresowania były wysokie drzewa, dlatego do pseudorastra o oczku równym 0,1m w formacie TIFF wyeksportowano jedynie warstwę wysokiej roślinności. Otrzymany obraz binarny ma wymiary 7915 x 6775 pikseli. Wysoka roślinność (powyżej 5m) jest reprezentowana przez kolor biały (piksele o niezerowej wartości). Ze względu na duży rozmiar pliku obraz podzielono na 4 równe części, z których każda stanowi obraz wejściowy do MATLAB (Rys. 3).



Rys. 3. Uzyskany pseudoraszer reprezentujący drzewa z zaznaczonym podziałem

Pojedyncze drzewa, wyraźnie oddzielone od sąsiednich, są zbliżone kształtem do kół o nieregularnych konturach. Na analizowanym obszarze przeważają jednak skupiska drzew, znajdujące się często w niewielkich odległościach od siebie i stykające się ze sobą koronami. Dlatego obraz wyjściowy składa się głównie ze „zlepionych” obiektów, których struktura bardziej lub mniej przypomina koła. W strukturze koron można również zauważyć prześwity (Rys. 4).



Rys. 4. Fragment obrazu z pojedynczymi drzewami (po lewej) oraz skupiska (po prawej).

Na otrzymanym obrazie zero-jedynkowym możliwe jest zastosowanie transformaty Hougha, która to pozwoli na detekcje obiektów o kształcie zbliżonym do okręgu.

4. TRANSFORMATA HOUGH'A

4.1. Zagadnienie i zasada działania TH

Transformata Hougha (ang. *Hough Transform - TH*) została przedstawiona przez jej twórcę, Paula Hougha, w 1962 roku w formie patentu o nazwie „*U. S. Patent 3,069,654*”. Celem Hougha było opracowanie skutecznego i szybkiego sposobu wykrywania tras naładowanych cząstek elementarnych w komorze pęcherzykowej (w przybliżeniu linii prostych i łuków), zarejestrowanych na rosnącej liczbie fotografii (Hough i Arbor, 1962). Oryginalna metoda dotyczy wykrywania na obrazie linii prostych, później uogólniono ją do wykrywania kształtów dających się opisać analitycznie, np. okręgów czy elips, a następnie do odnalezienia dowolnych kształtów.

Transformata Hougha polega na odwzorowaniu punktów krawędziowych obiektu z obrazu do odpowiednio zdefiniowanej przestrzeni parametrów (przestrzeni Hougha), a następnie przeszukaniu jej w celu znalezienia miejsc przecięć hiperpowierzchni wygenerowanych w procesie mapowania. Współrzędne punktów przecięć korespondują z wartościami parametrów wykrywanych kształtów (Illingworth i Kittler, 1987).

Początkowo transformata Hougha nie rokowała wielkich nadziei na szersze zastosowanie w praktyce, jednak z czasem oraz postępem w technice obliczeniowej, algorytm ten zdobył wielką popularność, m.in. ze względu na swoją prostotę oraz wiele możliwych sposobów jego udoskonalenia. W wyniku szeregu badań nad transformatą Hougha powstały takie odmiany jak: szybka, probabilistyczna, randomizowana, adaptacyjna, hierarchiczna, rozmyta oraz ze zmienną rozdzielczością.

Obecnie transformata Hougha znajduje praktyczne zastosowanie w wielu dziedzinach, m.in. przy analizie danych astronomicznych, map topograficznych, obrazów satelitarnych, w spektroskopii, sejsmologii, biomedycynie (do wykrywania guzów nowotworowych), przy identyfikacji osób (badanie odcisków palców).

Jednak aby obliczenie transformaty Hougha było możliwe z zastosowaniem komputera, każdy z wymiarów przestrzeni parametrów musi zostać poddany ograniczeniu do

odpowiedniego przedziału wartości a następnie skwantowany, czyli podzielony na równe, rozłączne przedziały. W rezultacie nieskończony zbiór parametrów jest zawężany do skończonej liczby punktów. Dobór właściwego poziomu kwantyzacji ma bezpośredni wpływ na precyzję lokalizacji szukanych elementów na rozpatrywanym obrazie. W przypadku transformaty Hough'a dla linii prostych, przestrzeń parametrów uzyskuje postać tablicy dwuwymiarowej, której każdy poszczególny element jest identyfikowany za pomocą skwantowanych wartości parametrów (ρ, θ) - ρ - kąt zawarty pomiędzy dodatnią osią rzędną OX , a normalną do linii, θ - promień wodzący, równy odległości linii od początku układu współrzędnych. Tablica ta nosi nazwę akumulatora lub tablicy akumulatorów (Borowiec, 2013).

4.2. Transformata Hough'a dla okręgów - określenie przestrzeni parametrów

W niniejszych badaniach wykorzystano transformatę Hough'a dla okręgów (ang. *Circle Hough Transform* - *CHT*). W geometrii euklidesowej okrąg jest zbiorem wszystkich punktów, odległych od określonego punktu (jego środka) o zadaną odległość (promień). W kartezjańskim układzie współrzędnych spełniają one równanie:

$$(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 = r^2 \quad (1)$$

gdzie:

(x_0, y_0) - współrzędne środka,

r - długość promienia okręgu.

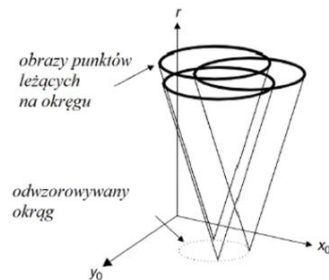
Powyższe równanie okręgu jest w postaci kanoniczej. Innym sposobem zdefiniowania okręgu w tym układzie jest użycie jego postaci parametrycznej:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + r \cdot \cos \alpha, \\ y &= y_0 + r \cdot \sin \alpha \quad \text{dla } \alpha \in [0, 2\pi) \end{aligned} \quad (2)$$

Poprzez zastosowanie projekcji wstecznej uzyskuje się wzory opisujące obraz okręgu w przestrzeni parametrów (x_0, y_0, r) :

$$\begin{aligned} (x_0-x)^2 + (y_0-y)^2 &= r^2 \\ x_0 &= x - r \cdot \cos \alpha \\ y_0 &= y - r \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (3)$$

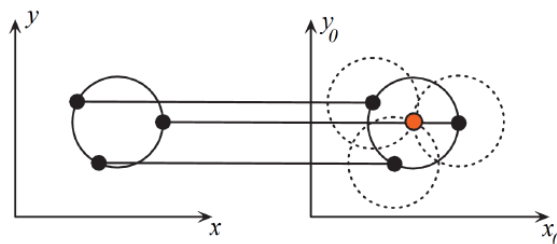
Obrazem punktu po wykonaniu transformacji jest powierzchnia stożka. Natomiast okrąg odwzoruje się do przestrzeni Hougha jako nieskończenie wiele powierzchni stożków, przecinających się w jednym punkcie, którego współrzędne odpowiadają parametrom definiującym mapowany okrąg (Rys. 5).



Rys. 5. Okrąg i jego obraz w przestrzeni parametrów.

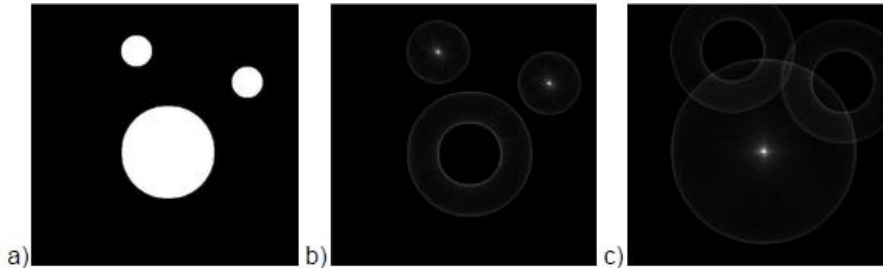
Aby zdefiniować jednoznacznie jeden okrąg potrzeba 3 parametrów, dlatego tablica akumulatorów przyjmuje trójwymiarową postać, co znacznie podnosi zapotrzebowanie na pamięć procesora oraz złożoność obliczeniową całej transformaty. W celu zredukowania tych niepożądanych cech zostały opracowane mniej lub bardziej skuteczne metody (Smereka, Dulęba, 2008).

Rhody i Carlson w swojej publikacji założyli stałość promienia (jeden z parametrów), tym samym zmniejszając wymiar akumulatora do 2, a następnie przeprowadzili transformację okręgów do przestrzeni Hougha. Pojedynczy punkt na obrazie został odwzorowany jako okrąg o wcześniej ustalonym promieniu. Jeśli założona wartość promienia faktycznie odpowiada promieniowi przetwarzanego okręgu, jego obrazy w przestrzeni parametrycznej przetną się w jednym punkcie (Rys. 6, 7), (Rhody, Carlson, 2005).



Rys. 6. Obrazy punktów należących do okręgu w przestrzeni kartezjańskiej i parametrycznej.

Dana H. Ballard (Ballard, 1981) zauważył, że środek okręgu musi znajdować się w odległości r od jego krawędzi wzdłuż kierunku wektora gradientu. W analizie matematycznej gradient jest polem wektorowym, który wskazuje kierunek najszybszych wzrostów wartości danego pola skalarnego w poszczególnych punktach. Dla różniczkowalnej funkcji skalarnej $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, gradient jest zdefiniowany jako pole wektorowe, składające się z n pochodnych cząstkowych: $\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right]$



Rys. 7. Obraz wejściowy (a) oraz obraz akumulatora dla dwóch różnie ustalonych promieni (b, c)

Spostrzeżenie Ballarda oznacza, że wartość gradientu dla punktów krawędzi musi wynosić 0. Użycie tej informacji wraz z równaniem okręgu powoduje zmniejszenie o 1 liczby szukanych parametrów, czyli powierzchnia stożka w przestrzeni parametrów zostaje zredukowana do linii.

4.3. Wykrycie obrysów drzew przy zastosowaniu transformaty Hougha

W celu wykrycia obrysów drzew zaimplementowano w Matlabie skrypt, który to składał się z 4 części:

- wstępne przetwarzanie obrazu (*pre-processing*),
- akumulacja transformaty Hougha dla okręgów i znalezienie współrzędnych środków okręgów o promieniu z określonego zakresu,
- analiza znalezionych współrzędnych okręgów,
- wizualizacja wyników.

Podczas pracy w MATLABie korzystano z trybu *Cell Mode*, który umożliwia podzielenie skryptu na części i wywoływanie ich indywidualnie. Dla każdej z nich został policzony czas wykonania poleceń. Diagram sekwencji działań skryptu ilustruje rysunek 8.

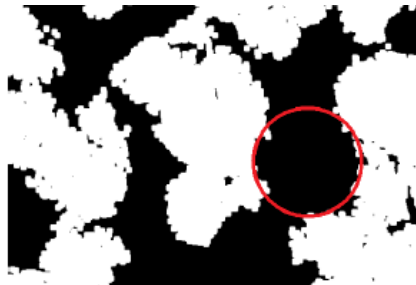


Rys. 8. Diagram sekwencji działań skryptu.

Na początku skrypt wczytuje analizowany obraz. Następnie usuwane są pojedyncze, odizolowane piksele zerowe, a brzegi obrazu drzew zostają wygładzone za pomocą operacji zamknięcia (filtr morfologiczny). Na tak przygotowanym obrazie skrypt wykrywa krawędzie drzew wykorzystując filtr Sobela. Wybór rodzaju filtru krawędziującego nie miał większego znaczenia, ponieważ dla obrazów binarnych uzyskuje się bardzo podobne wyniki. Do wyliczenia transformaty Hougha wykorzystano równanie parametryczne okręgu. Aby zredukować przestrzeń parametrów do 2, założono stałość promienia. Na podstawie pomiarów wykonanych w serwisie geoportal.gov.pl, określono minimalną (2 m) i maksymalną (12m) wartość promienia poszukiwanych kół. Następnie przeprowadzana jest

w pętli standardowa transformata Hougha dla okręgów, dla każdej wartości promienia z ustalonego uprzednio zakresu. Detekcja maksimów w tablicy akumulatorów odbywa się za pomocą wbudowanej funkcji MATLABa *houghpeaks*. Zakłada się, że muszą one przekroczyć 60% maksymalnej wartości danego akumulatora. Dla każdego promienia obliczane są ponadto wartości przyrostów: $x_p = r \cdot \cos\alpha$, $y_p = r \cdot \sin\alpha$ dla $\alpha \in [0, 2\pi)$, zgodnie z równaniem parametrycznym okręgu. Zarówno znalezione współrzędne środków okręgów, jak i wartości przyrostów są zapisywane do tablicy struktur.

Analiza poprawności współrzędnych środków okręgów opiera się na sprawdzeniu ich położenia względem brzegów drzew i sprawdzeniu, jaką część ich powierzchni stanowią drzewa. Koło uznaje się za poprawnie wykryte, jeśli jego środek znajduje się w pobliżu szkieletu obrazu oraz powierzchnia części wspólnej danego koła i obrazu wejściowego, do powierzchni tego koła jest większa niż 80%. Te warunki zapewniają wyeliminowanie kół wykrytych na obszarze nie zadrzewionym (Rys. 9). Ostatnim etapem jest wizualizacja wyników na ortofotomapie.



Rys. 9. Przykład niepoprawnie wykrytego okręgu.

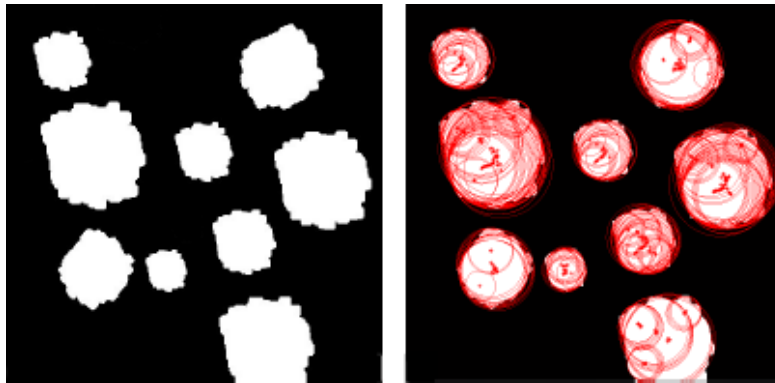
Poniżej przedstawiono wynik działania skryptu (Rys. 10). Czas wykonywania poleceń skryptu dla całego obszaru przedstawia się następująco: *pre-processing* - 35 sekund, akumulacja CHT - 2h 9min 52sek, analiza znalezionych współrzędnych - 8h 44min 2sek, wyświetlenie wyników - 31 sekund. W sumie cały proces przetwarzania obrazów wraz z wyświetleniem wyników trwał 10h 55min. Do obliczeń wykorzystano komputer z procesorem Intel Core 2 Duo 2.00 GHz, pamięcią RAM 4.00 GB i 32-bitowym systemem operacyjnym.



Rys. 10. Wizualizacja wyników – po lewej: wykryte okręgi nałożone na obraz binarny (pseudoraster), po prawej: wykryte okręgi nałożone na ortofotomapę.

Sprawdzenie skuteczności działania skryptu wykonano dla niewielkiego obrazu syntetycznego 500x500 pikseli. Powstał on przez powielenie kształtu jednego drzewa, jego obrót, przesunięcie, powiększenie lub pomniejszenie (Rys. 11).

Utworzony obraz przedstawia drzewa, które nie stykają się ze sobą koronami. Rezultat działania skryptu jest zadowalający – zostały znalezione wszystkie szukane drzewa (przechodzi przez nie przynajmniej jeden okrąg). Jednak do uzyskanego wyniku należy podchodzić z dużą dozą sceptycyzmu, ponieważ dane wejściowe reprezentują wyidealizowany obraz drzew.



Rys. 11. Po lewej - obraz syntetyczny, po prawej: rezultat działania skryptu.

Dodatkowo wyniki działania algorytmu porównano z ręcznie wskazanymi wierzchołkami drzew na ortofotomapie (Rys. 12). Niestety ręczne określenie środka korony drzewa to ocena subiektywna, szczególnie w miejscach gdzie korony drzew nachodziły na siebie. Jednak uzyskane wyniki liczebności drzew były porównywalne, a mianowicie liczba wierzchołków drzew na ortofotomapie wyniosła 515, natomiast liczba wykrytych drzew, w wyniku wykorzystania transformaty Hough'a, to 439.



Rys.12 Fragment ortofotomapy ze wskazaniem wierzchołków drzew.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Pomimo wzrostu dokładności sensorów i coraz większej różnorodności danych teledetekcyjnych, w pełni automatyczna identyfikacja i ekstrakcja drzew stanowi nie lada wyzwanie, które zostało rozwiązywane na wiele różnych sposobów. Praktycznie dla wszystkich badaczy zajmujących się tą dziedziną, największym problemem stanowi wyodrębnienie małych lub też rosnących blisko siebie drzew, tworzących zbite drzewostany o homogenicznych koronach.

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano zadowalające rezultaty. Znaczna część drzew z analizowanego obszaru została odnaleziona. Dostatecznie dobra skuteczność działania skryptu, nawet dla obiektów o nieregularnych brzegach i połączonych ze sobą, stanowi jego niewątpliwą zaletę. Warto również podkreślić, że opracowany algorytm lokalizuje drzewa na terenie faktycznie zadrzewionym. Nie jest on jednak doskonały: obliczenia są czasochłonne i wymagają dużego zapotrzebowania pamięci procesora. Skrypt wykazuje wysoką skuteczność w przypadku pojedynczych drzew, natomiast nie zawsze jest w stanie równie efektywnie wykryć ich skupiska. Z powyższych względów zaprezentowana metoda może być wykorzystywana dla małych, niezbyt zagęszczonych drzewami obszarów.

Na badanym obszarze poprawnie zostało wykrytych 439 drzew dzięki zastosowaniu transformaty Hough'a. Jednak należy mieć na uwadze fakt, że dane referencyjne nie były w 100% wiarygodne, oraz że badania zostały dotychczas przeprowadzone na jednym polu testowym.

Warto zaznaczyć, że do wykrycia drzew wykorzystano tylko i wyłącznie dane lidarowe. Liczba wykrytych drzew mogłaby się zwiększyć, gdyby zintegrowano informacje pochodzące z innych źródeł tj. zdjęcia lotnicze, satelitarne.

Wszystkie obliczenia omówione w niniejszym artykule zostały wykonane w środowisku MATLAB (The MathWorks). Badania wykonano w ramach badań statutowych nr 11.11.150.949.

LITERATURA

Ballard D., 1981. Generalizing the Hough Transform to detect arbitrary shapes, *Pattern Recognition*, 13(2), 111-122.

Będkowski K., Stereńczak K., 2008. *Porównanie zasięgów koron drzew wyznaczonych na podstawie danych skanowania laserowego i pomiarów fotogrametrycznych*. Czasopismo Techniczne.19 Środowisko z.2-Ś. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.

Borowiec N., 2013. Transformata Hougha jako narzędzie wspomagające wykrywanie dachów budynków, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 25, 45 - 54.

Fabijanowska K., 2012. Koncepcja rewaloryzacji układu zieleni na Cmentarzu Rakowickim w Krakowie. *Czasopismo Techniczne. Architektura*, 109(2-A), 287-301.

Hough P., Arbor A., 1962. *Method and means for recognizing complex patterns*, US Patent No. 3,069,654.

Illingworth J., Kitter J., 1988. A survey of the Hough Transform, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 44(1), 87-116.

Marmol U., 2009. Wykrywanie pojedynczych drzew na podstawie zintegrowanych danych lidarowych i fotogrametrycznych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 19, 279-286.

Marmol U., Będkowski K., 2008. Dokładność określenia wysokości drzew na podstawie numerycznego modelu koron drzew opracowanego z wykorzystaniem danych lotniczego skanowania laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 18a, 377-385.

Rhody H., Carlson C. F., 2005. *Hough Circle Transform*", Rochester Institute of Technology, Center for Imaging Science.

Smereka M., Dulęba I., 2008. Circular object detection using a modified Hough Transform, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 18 (1), 85-91.

Wężyk P., Tompański P., de Kok R., Szostak M., Kukawski M., 2010. Metoda określania liczby drzew w drzewostanie z wykorzystaniem danych ALS oraz ortoobrazów. *Sylwan* 154 (11), 773-782.

TREE DETECTION FROM THE CLOUD OF POINTS USING HOUGH TRANSFORM

KEY WORDS: object detection, airborne laser scanner, digital image, Hough transform

Summary

In the present study attempts to automatically extract trees from image which was created from points cloud representing high vegetation. For this purpose the script was written in MATLAB. The idea of the operation is based on the thesis that on the digital image trees shape in the upper floors is similar to circles. To detect trees the transform Hough was used - one of the effective methods to detect shapes in computer vision. The research was conducted on data from airborne laser scanning, which included the area of the Rakowicki cemetery in Krakow. In order to check the number of trees, a manual vectorization (indication of the trees tops) on the orthophotomap was made. However this measurement is sub-optimal, but allowed to assess the correctness of the HT algorithm.

Dane autorów / Authors details

dr inż. Natalia Borowiec
e-mail: nboro@agh.edu.pl
telefon: 12 617-23-02

mgr inż. Bożena Niemiec
e-mail: bozena.niemiec@gmail.com

Przesłano / Submitted 21.12.2018
Zaakceptowano / Accepted 31.12.2018