

ZASTOSOWANIE OBLICZEŃ RÓWNOLEGLYCH DO KLASYFIKACJI PUNKTÓW *OVERLAP*

APPLICATION OF PARALLEL COMPUTING FOR CLASSIFICATION OF OVERLAPPING POINTS

Ryszard Bratuś, Paweł Musialik, Piotr Pióro, Marcin Prochaska, Antoni Rzonca

DEPHOS Software sp. z o.o.

SŁOWA KLUCZOWE: punkty typu *overlap*, przetwarzanie równoległe, klasyfikacja punktów, kąt skanowania

STRESZCZENIE: Publikacja omawia nowatorskie metody rozwiązania ważnego technologicznie zagadnienia, jakim jest klasyfikacji punktów *overlap*, czyli punktów w pasie podwójnego pokrycia pomiędzy sąsiednimi szeregami skanowania. Prezentowane podejście oparte jest na wydajnej metodzie obliczeń równoległych na procesorach graficznych GPU, pozwalającej na zastosowanie bardziej zaawansowanego algorytmu podczas analizy i przetwarzania danych.

Celem sprawdzenia wydajności przeprowadzono testy badanego narzędzia do klasyfikacji punktów *overlap*, a wyniki odniesiono do możliwości powszechnie stosowanego programu Terrascan firmy Terrasolid. Proponowane innowacje obliczeniowe mają na celu poprawę jakości danych skaningowych pozyskiwanych przy pomocy latających platform takich jak lekkie samoloty czy wiatrakowce. Podniesienie jakości procesu klasyfikacji punktów typu *overlap*, wymaga dwóch wstępnych etapów przetwarzania. Pierwszy polega na obcięciu brzegów szeregu ściśle według zadanego kąta od pionu. Zastosowane podejście daje bardziej regularne wyniki niż inne metody. Z kolei drugi, oparty o algorytm rozgęszczenia punktów, prowadzi do usuwania nadmiarowych profili skanowania. Proponowane rozwiązanie to klasyfikacja punktów *overlap* według kąta padania promienia skanera na teren i obiekty terenowe.

Reasumując, w ramach opisanych badań dotychczas stosowane metody klasyfikacji punktów *overlap* zostały poddane rewizji. Korzystając z praktycznych uwag oraz sugestii ze strony wykonawców, wprowadzono szereg udoskonaleń, których prezentacja i dyskusja jest przedmiotem niniejszej publikacji.

1. WPROWADZENIE

Badania nad zastosowaniem obliczeń równoległych do klasyfikacji punktów *overlap* stanowiły fragment projektu finansowanego przez Unię Europejską pt. „Badania nad masowym przechowywaniem, udostępnianiem i przetwarzaniem przestrzennych danych laserowych” realizowanego w latach 2012-2015 w firmie DEPHOS Software. Przekrojowy opis wyników niniejszego projektu przedstawiono w publikacji (Będkowski *et al.*, 2015). W ramach prac nad oprogramowaniem LiMON przekształcono algorytm pod kątem

wymagań przetwarzania równoległego. Stanowiło to okazję do ponownego przeanalizowania metod, jakie stosowane są do klasyfikacji chmur punktów (Bratuś *et al.*, 2016) oraz wyznaczania punktów *overlap*, czyli punktów z obszarów o wielokrotnym pokryciu szeregami skanowania. Problem ten zostanie przedstawiony w niniejszej publikacji. Oprócz podniesienia wydajności poprawie uległa jakość danych pomiarowych. Konieczność polepszenia jakości danych dotyczy szczególnie danych pochodzących z lekkich platform latających, które z uwagi na podatność lekkiego statku powietrznego na ruchy powietrza często nie spełniają wymogów typowych specyfikacji. Dla lepszego zdefiniowania problemu posłużono się specyfikacją projektu ISOK oraz CAPAP w zakresie wymagań dotyczących minimalnej gęstości oraz równomierności gęstości, a także kąta poprzecznego oraz klasyfikacji punktów typu *overlap*. Dlatego oprócz tytułowej klasyfikacji *overlap* publikacja omawia technologicznie ważne i innowacyjnie oprogramowane procesy, które należy wykonać przed klasyfikacją punktów *overlap* tj.: obcięcie po kącie oraz zapewnienie odpowiedniej gęstości i równomierności punktów. Tematyka niniejszej publikacji wpisuje się także w obszar zagadnień dotyczący kontroli jakości danych (Rzonca, 2012).

Badania opisane w niniejszej publikacji miały na celu potwierdzić tezę, że zasadne było zastosowanie obliczeń równoległych i własnych metod klasyfikacji punktów *overlap* dla podniesienia jakości danych wynikowych, a w przeważającej liczbie przypadków również wydajności przetwarzania.

2. OPIS PROBLEMU

Prowadzone badania mają dwa podstawowe cele. Pierwszym kierunkiem jest podniesienie wydajności obliczeń dzięki zastosowaniu przetwarzania równoległego na procesorach kart graficznych GPU (technologia nVidia CUDA). Drugim kierunkiem jest wykorzystanie takich rozwiązań obliczeniowych, aby skontrolować i podnieść jakość danych pozyskiwanych z pokładu lekkich statków powietrznych. Parametry tych danych powinny być dostosowane do wymagań typowych projektów wielkoobszarowych realizowanych na terenie naszego kraju. Dane te z uwagi na dużą wrażliwość statku powietrznego na podmuchy wiatru i na niejednorodność ośrodka, w którym się on porusza, posiadają szereg wad. Niektóre z nich mogą być niwelowane dzięki odpowiednio zaprojektowanemu nalotowi. Pierwszym typowym błędem jest wzajemne przesunięcie kolejnych linii skanowania (profilu skanowania) w kierunku prostopadłym do kierunku lotu. Przyczyną tego zjawiska są nagłe poprzeczne przechyły statku powietrznego i sensora. Wówczas wyraźnie widoczne są poszarpane krawędzie szeregów. Drugim, dużo bardziej dotkliwym problemem, jest niejednorodność gęstości polegająca na zmiennym stosunku odległości pomiędzy kolejnymi punktami tej samej linii skanowania do odległości pomiędzy kolejnymi liniami skanowania. Przyczyną są nagłe nachylenia sensora w kierunku lotu. Po rozwiązaniu powyższych problemów należy dodatkowo usunąć punkty nadmiarowe znajdujące się w pasach podwójnego pokrycia pomiędzy sąsiadującymi szeregami skanowania, czyli tzw. punkty *overlap*. Analizę danych pod kątem tych punktów można przeprowadzić z wykorzystaniem standardowego oprogramowania Terrascan (funkcja *Cut overlap*) na kilka sposobów, które zostaną omówione w następnym punkcie publikacji.

Przy okazji implementacji równoległej algorytmu w programie LiMON postanowiono zastosować własne rozwiązania obliczeniowe, które pozwoliłyby podnieść nie tylko

wydajność procesu, ale również jakość danych pozyskiwanych przy pomocy lekkich platform latających.

3. PRZEDSTAWIENIE POWSZECHNIE STOSOWANYCH ROZWIĄZAŃ

Powszechnie stosowanym narzędziem przy edycji danych skaningowych jest program Terrascan firmy Terrasolid.

Pierwszą czynnością służącą dostosowaniu pozyskanych danych laserowych do wymogów specyfikacji projektów jest obcięcie szeregów według kąta skanowania w oparciu o informacje zapisane w trajektorii. Algorytm stosowany w oprogramowaniu Terrascan nie został szczegółowo opisany przez jego twórców. Kierując się jednak nazewnictwem opcji funkcji *Classify by angle*, można zakładać, że obcięcie szeregów skanowania odbywa się według kąta skanowania, od kierunku pionowego oraz od krawędzi szeregu. W zależności od wybranej opcji, algorytm bierze pod uwagę trzy różne parametry:

- Kąt skanowania zapisany dla każdego punktu w pliku LAS (opcja *Use: Scan angle*)-uzyskany wynik nie jest jednak zadawalający, szczególnie stosując dane pochodzące z lekkich statków powietrznych bez zastosowania platform samopoziomujących;
- Kąt od kierunku pionowego (opcja *Use: Angle from vertical*), właściwsze podejście dla danych pozyskanych mocno rozpoziomowanym sensorem. W tym przypadku niemożliwe jest podanie ściśle zasady działania algorytmu, a jedynie ocena wyniku, co będzie opisane niżej.
- Kąt od krawędzi szeregu (opcja *Use: Angle from edge*) – opcja praktycznie nieprzydatna przy obcinaniu szeregu do zadanego w specyfikacji kąta.

Drugim procesem, który został oprogramowany w ramach projektu w Dephos Software sp. z o.o. jest rozgęszczanie chmury poprzez usuwanie poszczególnych linii skanowania. To rozwiązanie nie ma odpowiednika w funkcjach dostępnych w programie Terrascan.

Trzecim procesem opracowanym w Dephos Software sp. z o.o. jest klasyfikacja punktów typu *overlap*. Oprogramowanie Terrascan do tego stopnia jest uznane za standard w zakresie przetwarzania lotniczych danych skaningowych, że zleceniodawca polskiego projektu ISOK określa metody przetwarzania danych, używając terminologii wprost zaczerpniętej z tego oprogramowania (Specyfikacja ISOK, 2012): „wymaga się użycia tzw. procesu *‘cut overlaps’* w celu wyodrębnienia z pasa skanowania punktów najbardziej dokładnych (z uwagi na fakt, iż wielkość błędów wzrasta wraz z kątem skanowania) i rozłożonych równomiernie (w przypadku stosowania skanerów z oscylującym lustrem). Wykonawca punkty wycięte zobowiązany jest umieścić w klasie „Overlap Points” wg. formatu LAS”. Identycznie traktuje to zagadnienie specyfikacja projektu CAPAP (Specyfikacja CAPAP, 2016).

W oprogramowaniu Terrascan dostępnych jest pięć metod klasyfikacji punktów *overlap* (Instrukcja programu Terrascan, 2016):

- *Cut by quality* - klasyfikacja według jakości punktów na podstawie wysokości linii nalotowej, jakości pracy sprzętu, dokładności obserwacji GPS do wyznaczenia trajektorii oraz kierunku większości linii nalotowych. Jakość linii skanowania może być również wprowadzona manualnie;
- *Cut single scanner edges* – usuwanie krawędzi szeregu pozyskanych pojedynczym skanerem. Opcja ta dotyczy lotniczych systemów wyposażonych w dwa skanery;

- *Cut by offset* – klasyfikacja punktów, która pozostawia punkty skanowane z mniejszym kątem skanowania do linii pionu i z założoną oczekiwaną gęstością, opiera się na trajektorii;
- *Cut by scan angle* – usuwa punkty o wartości kąta skanowania większej niż zadana wartość;
- *Cut by range* – usuwa punkty o większej odległości skanowania zachowując zadaną gęstość; Metoda dedykowana systemom mobilnym.

W przypadku projektu ISOK konieczne jest użycie obcięcia po kącie skanowania oraz „*cut by offset*” celem przeredzenia obszarów podwójnego pokrycia.

4. PROPONOWANA METODA

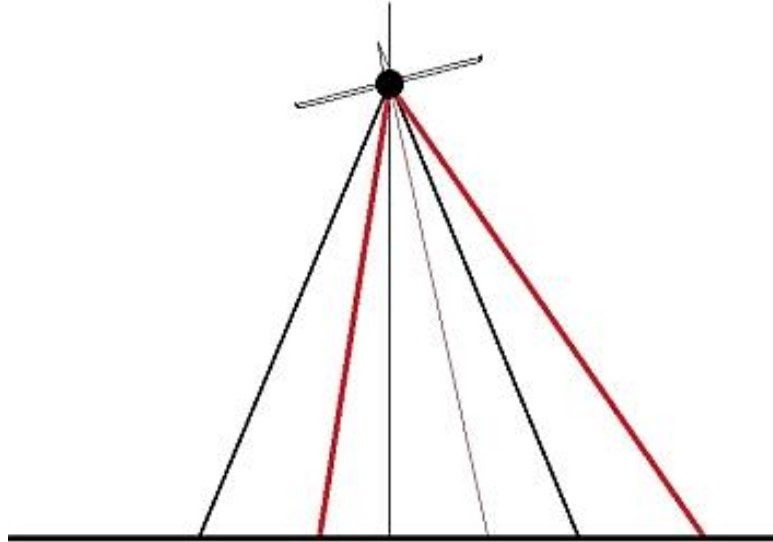
Proponowane podejście polega na zastosowaniu obliczeń równoległych, które w założeniu mają podnieść wydajność obliczeń. Zaproponowano modyfikacje w procesie odcięcia po kącie skanowania i metody klasyfikacji punktów typu *overlap*, a także opracowano całkowicie nową funkcjonalność służącą usuwaniu nadmiernej liczby linii skanowania (profilu skanowania) w przypadku zmieniającego się kąta ϕ (w rozumieniu fotogrametrycznym - kąt nachylenia podłużnego).

4.1. Obliczenia równoległe

Zastosowanie obliczeń równoległych miało na celu podniesienie wydajności obliczeń. Celem potwierdzenia hipotezy, że równoległa implementacja obliczeń wykonywanych na chmurze punktów może obniżyć czas klasyfikacji punktów *overlap*, wykonano testy ilościowe. Te same zestawy danych zostały poddane przetwarzaniu szeregowemu programem Terrascan na komputerze wyposażonym w procesor AMD FX4300 QuadCore 3.8 GHz i pamięć operacyjną 8 GB oraz przetwarzaniu równoległemu programem LiMON na komputerze z zainstalowaną kartą nVidia Tytan 6 GB. Dla procesów równoległych pomierzono czas samych procesów oraz czas razem z ładowaniem danych. Pomiar samego czasu przetwarzania ma uświadomić, jak bardzo wydajne są procesy równoległe. Natomiast czas pomierzony razem z ładowaniem pozwala porównać w przybliżeniu wydajność proponowanych rozwiązań z czasem przetwarzania w programie Terrascan. Jako że Terrascan nie pozwala na zarejestrowanie samego czasu procesu, wykonano pomiar zewnętrznym stoperem. Uzyskany wynik należy traktować orientacyjnie, gdyż jego dokładność to około $\pm 1s$.

4.2. Obcięcie po kącie

Obcięcie po kącie zostało zmodyfikowane w taki sposób, żeby można było uwzględnić ściśle przechylenie boczne całego sensora podczas skanowania, czyli niezerowego kąta ω . Ta zmiana została wprowadzona z myślą o danych pochodzących ze lekkich platform skanujących, które z przyczyn warunków panujących w powietrzu mogą być obciążone dodatkowymi błędami. Na rysunku 1 pokazano geometryczną zasadę obcięcia brzegów szeregu według kąta skanowania oraz według kąta od pionu.



Rys. 1. Zasada geometryczna obcięcia po kącie – zakresy kątowe odcięcia: kolor czerwony –obcięcie według kąta skanowania, kolor czarny –obcięcie według kąta od pionu, dodatkowe linie cienkie - odpowiednio kierunek pionu grawitacyjnego oraz chwilowy kierunek pionu sensora wychylonego.

Oczywistym jest, że uzyskuje się wyższą jakość danych (kształt rzutu szeregu na terenie), stosując kryterium obcięcia na podstawie rzeczywistego kąta od pionu zamiast zapisanego w pliku LAS kąta skanowania. Jednak, sądząc po wynikach, inaczej liczony jest kąt od pionu w oprogramowaniu Terrasolid, a inaczej w badanym rozwiązaniu. W oprogramowaniu badawczym kąt od pionu wyznaczany jest na podstawie współrzędnych punktu na terenie oraz trajektorii nalotu, w którym ten punkt został pomierzony (synchronizacja za pomocą zarejestrowanego czasu GPS). Wobec wychyleń bocznych sensora (kąt ω) jest to metoda dająca w wyniku dane o bardziej regularnym obrysie szeregu. Na rysunku 2 pokazano szereg przed przycięciem i po przycięciu metodą Terrascana (opcja kąta od pionu), natomiast na rysunku 3 pokazano porównanie szeregu przyciętego opcją kąta od pionu w Terrascan i w LiMON.

Oprócz szeregu testów jakościowych, które jak widać na zamieszczonych rysunkach potwierdzają prawidłowe działanie algorytmu LiMON, algorytm poddano testowi wydajności. Pomierzono czas ładowania i procesu obcięcia po kącie w badanym algorytmie dla trzech różnych kątów przycięcia. Pomiar ten wykonano z dokładnością do ± 1 ms przy pomocy zegara wbudowanego w algorytm. Wyniki w postaci wykresu zamieszczono na rysunku 4. Widać wyraźnie, zgodnie z przewidywaniami, że kąt obcięcia praktycznie nie wpływa na czas przetwarzania.

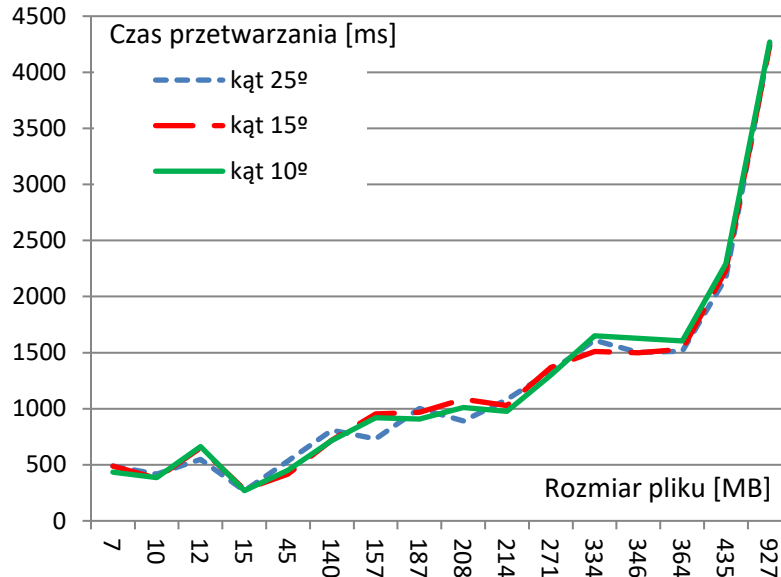


Rys. 2. Obcięcie danych szeregu po kącie w Terrascan: dane oryginalne (kolor biały) oraz dane obcięte po kącie od pionu (kolor różowy)

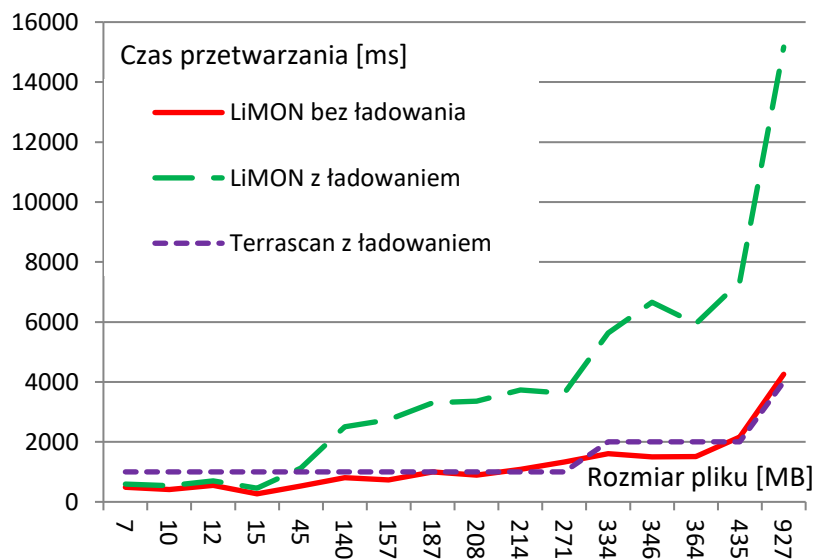


Rys. 3. Porównanie wyników przycięcia po kącie od pionu: kolor różowy - Terrascan i kolor seledynowy - LiMON

Można zauważyć, że obcięcie według rzeczywistego kąta od pionu daje lepszy, bardziej regularny wynik. Dodatkowo zaletą metody odcinania według kąta od pionu zastosowanej w LiMON jest niezależność od zapisu kąta skanowania w pliku LAS. W powszechnie stosowanym formacie LAS w wersji 1.2 kąt skanowania podawany jest z dokładnością do 1 stopnia. W nowym formacie 1.4, który się jeszcze nie upowszechnił, możliwy jest zapis rzeczywistych wartości kątów. Kąt skanowania został uznany za zbyt mało precyzyjny i nie jest wykorzystywany w oprogramowaniu LiMON. Do wyznaczenia rzeczywistego kąta używane jest położenie interpolowane na trajektorii oraz współrzędne danego punktu. Jak dokładnie odbywa się to w Terrascanie (opcja „cut by offset”), nie wiadomo, ale wizualnie wynik jest mniej regularny. Należy podkreślić, że do obliczeń stosuje się przestrzenne współrzędne punktów, więc kształt obciętej chmury punktów w rzucie na teren nie wynika z deniwelacji terenu.



Rys. 4. Wyniki testów wydajności przetwarzania przy pomocy algorytmu LiMON dla trzech różnych kątów obcięcia



Rys. 5. Wyniki testów porównawczych wydajności przetwarzania (wraz z ładowaniem)

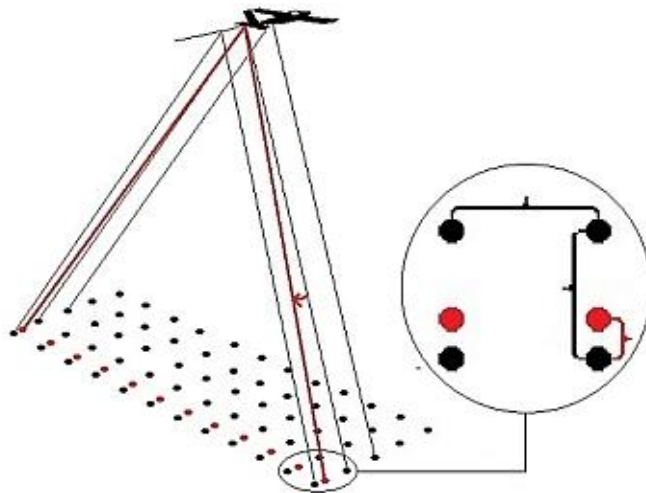
Następnie, najdokładniej jak to było możliwe, pomierzono sumaryczny czas ładowania i przetwarzania danych w programie Terrascan przy pomocy stopera z dokładnością ± 1 s.

Porównanie czasów ładowania i przetwarzania dla kąta 15 stopni zamieszczono na rysunku 5.

Wyniki wskazują, że czas ładowania i przetwarzania równoległego w LiMON jest nieznacznie dłuższy niż w Terrascanie. Na ten wynik ma wpływ niska sprawność algorytmu ładowania oraz bardziej skomplikowany algorytm analizujący dokładnie kąt skanowania każdego punktu chmury. Mimo zastosowania obliczeń równoległych, chcąc uzyskać lepszy jakościowo wynik, uzyskano nieznacznie gorsze czasy przetwarzania. Niemniej jednak jakość danych wynikowych rekompensuje dodatkowe, pojedyncze sekundy przetwarzania.

4.3. Usuwanie nadmiernego zagęszczenia linii

Kolejnym niekorzystnym rezultatem stosowania lekkich platform latających, podatnych na nagłe ruchy pionowe i poziome powietrza podczas pozyskania danych, jest nadmierne zbliżanie się do siebie kolejnych linii skanowania (profilu skanowania) będące przede wszystkim wynikiem zmian kąta ϕ - nachylenia sensora w kierunku lotu. Specyfikacja projektu ISOK w tym zakresie podaje następujące wymaganie: "Punkty laserowe muszą pokrywać powierzchnię terenu równomiernie tak, aby stosunek średniej odległości punktów laserowych w kierunku lotu i w kierunku poprzecznym zawierał się w przedziale od 1:1.5 do 1.5:1." Rysunek 6 przedstawia zjawisko zmiany proporcji odległości kolejnych profili do odległości punktów w ramach profili, natomiast rysunek 7 pokazuje w powiększeniu fragment szeregu skanowania, w którym wystąpiło zjawisko zbliżenia kolejnych profili z powodu wystąpienia nachylenia w kierunku lotu (ϕ). Korzystając z czasu GPS, wykonywana jest analiza i przyporządkowanie punktów do kolejnych linii skanowania (profilu). Linie, których punkty nie spełniają kryterium stosunku odległości kolejnych linii skanowania do odległości punktów w ramach linii powinny być usuwane lub przenoszone na wskazaną warstwę.



Rys. 6. Kolejne profile skanowania nakładające się z powodu zmian kąta ϕ , na rysunku zaznaczonego czerwoną strzałką



Rys. 7. Przykład danych niespełniających warunku równomierności rozkładu punktów z powodu nachylenia skanera w kierunku lotu (kąt ϕ)

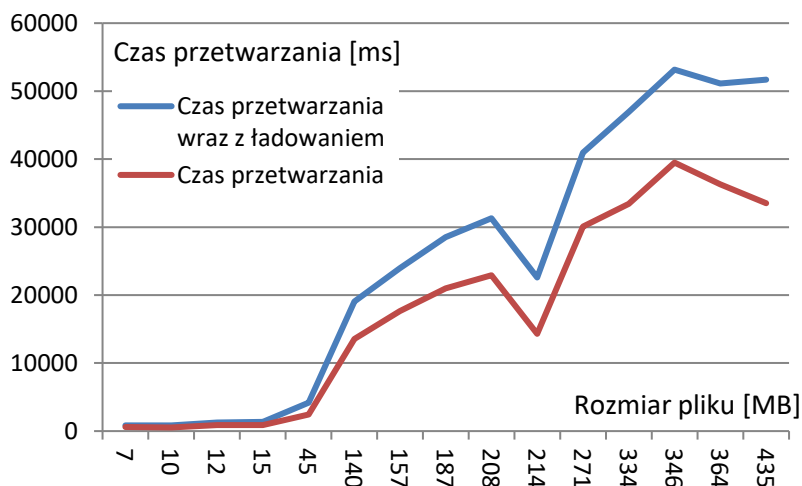


Rys. 8. Punkty szeregu testowego po przetworzeniu

Testowany algorytm działa w sposób następujący. Dla każdego profilu znajduje punkty, które położone są w określonym zakresie kąta od pionu. Następnie dla każdego z tych punktów sprawdzany jest warunek równomierności. Jeżeli jest on zakłócony, zwraca profil jako kandydata do usunięcia. Dla każdego profilu sumowana jest liczba punktów (tzw. głosów), które wskazują na konieczność usunięcia. Jeżeli jakiś profil uzyskał określony procent głosów, zostaje oznaczony do usunięcia.

Wyniki działania obrazuje rysunek 8. Można zauważyć, że kryterium stosunku odległości kolejnych profili do odległości punktów w profilu zostało spełnione (w porównaniu do rysunku 7).

Rozwiązanie to jest unikalne - powstało jako metoda dostosowania jakości danych z lekkich platform skanujących do wymogów typowych specyfikacji. Dlatego też nie da się jego wydajności odnieść do innego rozwiązania. Jednak uzyskane wyniki świadczą o wysokiej wydajności algorytmu. Wynika to przede wszystkim z zastosowania przetwarzania równoległego. Na rysunku 9 zamieszczono wykres z pomiarami czasu przetwarzania z czasem ładowania i bez czasu ładowania. Należy zauważyć, że w czasie ładowania zawarty jest czas potrzebny na przydzielenie punktów do odpowiadających im linii skanowania. Zgodnie ze standardem LAS informacja ta powinna być zapisana w pliku, jednak w praktyce często jest pomijana, co wymusza konieczność jej odtworzenia. Proces przydzielania punktów do kolejnych linii skanowania przeprowadzany jest na podstawie wzajemnego położenia punktów i zapisanych kątów skanowania. Przeciętnie ten krok odpowiada za 60% czasu ładowania.



Rys. 9. Wyniki testu wydajności procesu rozrzedzania punktów w programie LiMON

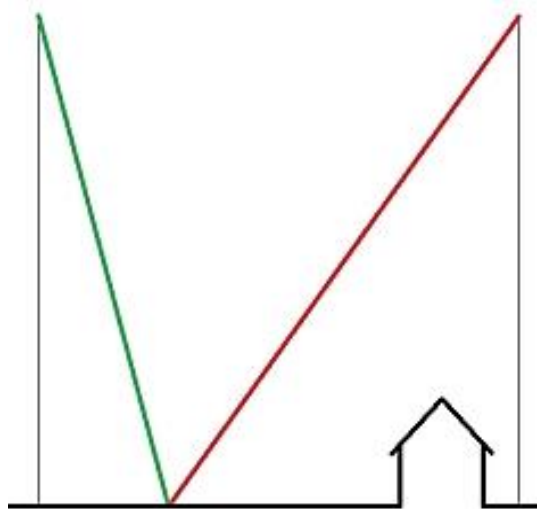
4.4. Klasyfikacja punktów typu *overlap*

Ostatnim procesem dostosowującym dane do wymagań typowych projektów takich jak ISOK czy CAPAP jest klasyfikacja punktów *overlap*, czyli nadliczbowych punktów, które znajdują się w pasach podwójnego pokrycia pomiędzy szeregami. Istnieje kilka metod wyboru tych punktów, co ostatecznie ma doprowadzić do pozostawienia chmury punktów o zadanej gęstości. W powstałym narzędziu badawczym zaimplementowano algorytm, która polega na wyborze tych punktów, których kąt między kątem skanowania a normalną do skanowanej powierzchni jest najmniejszy. Do tego celu konieczne jest policzenie wektorów normalnych dla każdego punktu chmury. W ramach projektu przeprowadzono badania, które miały potwierdzić, że zastosowanie wektorów normalnych do klasyfikacji *overlap* powinno umożliwić lepszy wybór punktów. W wyniku przetwarzania za pomocą tak działającego algorytmu pozostały tylko te punkty, które zostały pozyskane z wyższą dokładnością.

Odniesieniem dla proponowanej metody jest klasyfikacja punktów *overlap* według kryterium najmniejszego kąta do pionu (stosowana w programie Terrascan funkcja *cut overlap*, opcja *Cut by offset*). W badanym algorytmie kierunek skanowania porównywany jest z kierunkiem wektorów normalnych odpowiednich punktów. Przebieg działania algorytmu jest następujący:

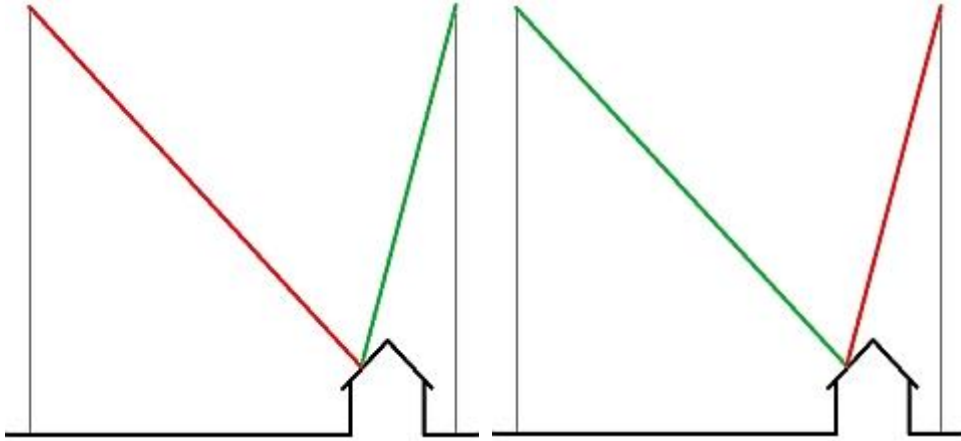
- Dla każdego punktu wyznaczany jest wektor normalny na podstawie otoczenia (metoda bazująca na Będkowski *et al.*, 2016).
- Znajdowany jest obszar wielokrotnego pokrycia. Jeżeli w danym promieniu występują punkty z dwóch różnych szeregów, obszar jest uznawany za obszar *overlap*. Wszystkie punkty tego obszaru umieszczane są odpowiednio w klasie *overlap* (klasa 12).
- Dla każdego punktu z klasą *overlap* interpolowany jest najbliższy punkt trajektorii, z którego punkt pochodzi - znajdują się dwa najbliższe punkty trajektorii według czasu i na tej podstawie najbliższy punkt jest aproksymowany na linii między nimi.

- Punktom przydzielany jest parametr jakościowy będący cosinusem kąta pomiędzy wektorem normalnym danego punktu a wektorem pomiędzy danym punktem i uprzednio interpolowanym punktem trajektorii. Parametr jakościowy o wartości 1 oznacza pełną zgodność wektorów (kierunek i zwrot) i jest traktowany jako najlepszy. Wartość 0 to wartość dla wektorów prostopadłych; wartość -1 przypisywana jest wektorom przeciwnym.
- W obszarach podwójnego pokrycia pomiędzy szeregami skanowania sprawdzana jest gęstość według odpowiedniego parametru liczby punktów w rzucie na płaszczyznę poziomą. Jeżeli liczba punktów niebędących punktem *overlap* jest niższa niż graniczna gęstość, to punkt *overlap* o najwyższej wartości parametru jakościowego jest przenoszony z klasy 12 na klasę 0. Sprawdzanie kryterium gęstości powtarzane jest iteracyjnie aż do uzyskania zadanej wartości gęstości.
Takie rozwiązanie pozwala zachowywać punkty o lepszej jakości posadowione na powierzchniach pionowych i nachylonych.



Rys. 10. Schemat działania klasyfikacji punktów *overlap* leżących na płaszczyźnie poziomej: na zielono kierunek do punktu pozostawionego, na czerwono kierunek do punktu *overlap*

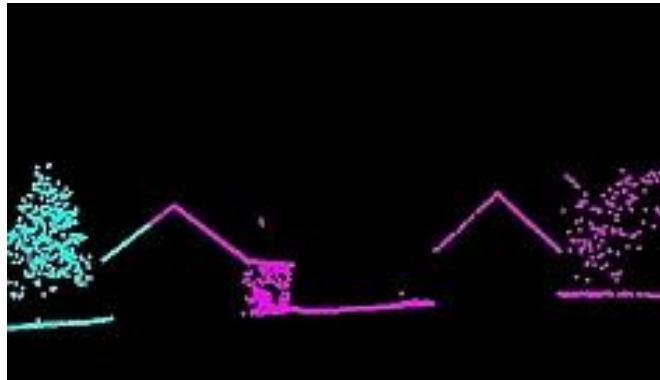
Na rysunku 10 pokazano schematycznie zasadę działania klasyfikacji punktów *overlap* w przypadku powierzchni poziomej. Oba algorytmy – badany oraz ten znany z oprogramowania Terrascan – zadziałają identycznie, ponieważ kierunek wektorów normalnych jest pionowy. Inaczej będzie w przypadku zeskanowanych stromych stoków lub dachów. W przypadku połaci dachowej wyniki będą różne: na rysunku 11 pokazano wynik działania metody zaimplementowanej w oprogramowaniu Terrascan, natomiast na rysunku 12 - metody opartej na analizie kierunku wektorów normalnych.



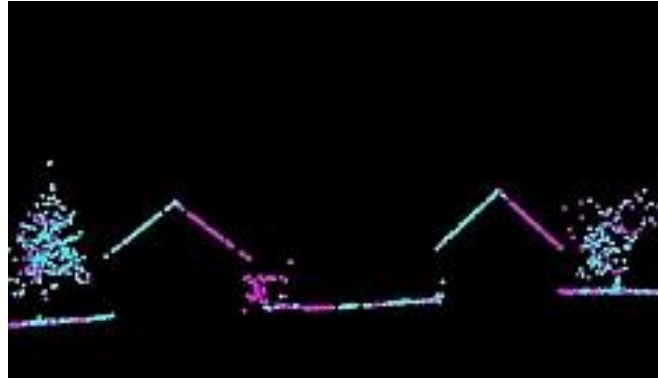
Rys. 11. Wynik klasyfikacji *overlap* w oprogramowaniu Terrascan: na zielono kierunek do punktu pozostawionego, na czerwono kierunek do punktu *overlap*

Rys. 12. Wynik klasyfikacji *overlap* opartej o analizę wektorów normalnych: na zielono kierunek do punktu pozostawionego, na czerwono kierunek do punktu *overlap*

Wyraźnie widać, że w przypadku takich punktów, które znajdują się na pochyłej powierzchni np. połąci dachu, w programie Terrascan, punkty zostaną odfiltrowane jako *overlap* z szeregu lewego, ponieważ były one skanowane pod większym kątem, niż punkty należące do szeregu prawego. Pomimo że współrzędne punktów z szeregu lewego posiadają wyższą dokładność wyznaczenia, zostaną nieodfiltrowane, gdyż punkty szeregu prawego w tym obszarze zostały zeskanowane praktycznie prostopadle do płaszczyzn poziomej. Odwrotnie zadziała w tym przypadku algorytm zaimplementowany w oprogramowaniu LiMON. Z uwagi na lepszy kąt padania wiązki laserowej, punkty pochodzące z lewego szeregu pozostaną. Odfiltrowane będą punkty z prawego szeregu.



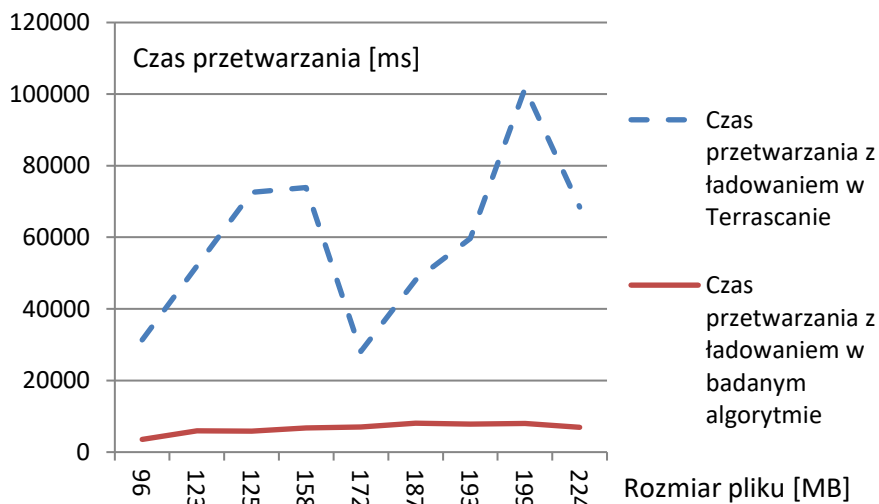
Rys. 13. Punkty pozostawione w wyniku odfiltrowania punktów *overlap* w oprogramowaniu Terrascan: punkty seledynowe - punkty szeregu lewego, punkty różowe - punkty szeregu prawego



Rys. 14. Punkty pozostawione w wyniku odfiltrowania punktów *overlap* w badanym algorytmie: punkty seledynowe - punkty szeregu lewego, punkty różowe - punkty szeregu prawego

Na rysunku 13 oraz 14 pokazano praktyczne zastosowanie nowego algorytmu. Wynik potwierdza słuszność początkowych przypuszczeń. Zastosowanie wektorów normalnych do klasyfikacji punktów *overlap* faktycznie pozwala na pozostawienie tych punktów, które pozyskane były pod korzystniejszym kątem. Kąt skanowania w przypadku laserowych pomiarów odległości jest bardzo istotnym czynnikiem decydującym o dokładności pomiaru odległości, która jest jedną z obserwacji wykonywanych przez skaner laserowy.

Oprócz szeregu testów jakościowych przeprowadzono również test wydajności w odniesieniu do oprogramowania Terrascan. Wyniki pokazano na wykresie zamieszczonym na rysunku 15.



Rys. 15. Wyniki testu wydajności procesu klasyfikacji punktów *overlap*: podano czas przetwarzania z ładowaniem dla Terrascana i badanego algorytmu

Widać wyraźnie, że czas konieczny do przetworzenia z ładowaniem jest około 10-ciokrotnie krótszy od czasu w oprogramowaniu Terrascan. Oprócz lepszej jakości danych wejściowych, ścisłej spełniających przytoczone wcześniej wymogi specyfikacji, uzyskano krótsze czasy przetwarzania dzięki zastosowaniu metody obliczeń równoległych.

5. PODSUMOWANIE

Powyższa praca omawia nowatorskie podejście do problematyki klasyfikacji punktów w pasie podwójnego pokrycia pomiędzy szeregami skanowania.

Pierwszym procesem wstępnym jest usunięcie punktów w każdym szeregu ściśle według kryterium kąta od pionu. Wynik wskazuje na większą regularność obciążenia w przypadku proponowanego algorytmu pomimo znacznych, chwilowych wychyleń sensora na boki w stosunku do kierunku lotu (kąt ω). Analiza wydajności musiała objąć również proces ładowania, gdyż pomiar czasu w programie Terrascan był wykonywany bez możliwości określenia czasu samego procesu, oraz ma charakter przybliżony z powodu ręcznego pomiaru czasu. Jej wynik wskazuje na przewagę programu Terrascan. Jednak zasadniczy proces jest bardzo krótki – podobne wyniki uzyskano na tych samych 15-tu zestawach danych dla 3 różnych kątów obciążenia.

Drugim procesem przygotowawczym jest unikalna metoda rozgęszczania danych tak, aby spełniały wymogi specyfikacji pomimo początkowej nieregularności danych pomierzonych ze skanera umieszczonego na lekkim statku powietrznym. Wpływ kąta ϕ może być praktycznie wyeliminowany dzięki usuwaniu całych profili skanowania. Zachowanie odpowiednich proporcji pomiędzy odległościami kolejnych profili oraz punktów w profilach przy utrzymaniu na odpowiednim poziomie gęstości punktów jest możliwe tylko przy danych pozyskanych z za wysoką gęstością. Dodatkowo potwierdzono wysoką wydajność tego procesu.

Tytułowy proces, czyli klasyfikacja punktów typu *overlap*, odznacza się wysoką jakością wynikowej chmury punktów oraz znaczną wydajnością przetwarzania. Pomimo zaawansowanego procesu, wymagającego dodatkowo wyznaczenia wektorów normalnych dla każdego punktu, uzyskano około 10-ciokrotne przyspieszenie.

Reasumując, wyniki prac badawczych w zakresie klasyfikacji punktów nadmiarowych typu *overlap* wraz z procesami przygotowawczymi uważane za bardzo pozytywne, co potwierdziły wyniki testów.

Badania wykonano w ramach projektu finansowanego przez Unię Europejską pt. "Badania nad masowym przechowywaniem, udostępnianiem i przetwarzaniem przestrzennych danych laserowych" realizowanego w latach 2012-2015 w firmie DEPHOS Software sp. z o.o. nr umowy UDA-POIG.01.04.00-12-125/11-00.

LITERATURA

Będkowski, J.; Bratuś, R.; Prochaska, M.; Rzonca, A. 2015. Use of parallel computing in mass processing of laser data, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 27, 45-59.

Bratuś, R.; Musialik, P., Prochaska, M.; Rzonca, A. 2016. Development of lidar data classification algorithms based on parallel computation with nvidia cuda technology, MAM 11/2016.

Bedkowski, J., Majek K., Nüchter A. 2013. General purpose computing on graphics processing units for robotic applications. *Journal of Software Engineering for Robotics* 4(1), 23-33.

Rzonca A. 2013. Opracowanie systemu kontroli jakości realizacji nalotów fotogrametrycznych i skaningowych dla hiszpańskiego Narodowego Planu Ortofotomapy Lotniczej (PNOA), *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 25, 189-201.

Specyfikacja projektu CAPAP „Warunki techniczne na pozyskanie danych wysokościowych” Załącznik nr 1 do Szczegółowego Opisu Przedmiotu Zamówienia - Warunki techniczne, Warszawa 2016.

Specyfikacja projektu ISOK „Warunki techniczne na pozyskanie danych wysokościowych” Załącznik nr 1 do Szczegółowego Opisu Przedmiotu Zamówienia - Warunki techniczne, Warszawa 2012.

Terrasolid. 2016: <https://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf>

APPLICATION OF PARALLEL COMPUTING FOR CLASSIFICATION OF OVERLAPPING POINTS

KEYWORDS: overlapping points, parallel computing, points classification, scan angle

Summary

The paper presents innovative methods of solving important technological problem: the classification of LiDAR points located in the overlapping area between two parallel scan strips. The presented approach is based on an efficient method of parallel computation using graphic processors, allowing to apply more sophisticated algorithms for data analysis and processing.

The tests of the algorithms were executed in order to verify correctness of the assumption that the innovative solutions presented in the paper might increase the efficiency and correctness of the data, referred to well known and popular technological solutions. The suggested computational innovations are applied to increase the quality of the LiDAR data acquired by light airplanes and gyrocopters.

Two approaches to increase the quality of classification of overlapping points have been proposed. The first process is cutting-off the points of the strip borders strictly according to defined angle measured from vertical direction. The second process is dissolving of the points to get the regular density of the result point cloud.

The title issue is the classification of overlapping points according to the angle of incidence to the terrain and other objects. The normal vectors calculation for each of the scan points is necessary for the analysis. Such solution increases the quality of overlaps classification and guarantees its high efficiency thanks to the parallel computation.

In conclusion, during the research three innovative approaches were tested and reviewed against commonly used methods. Parallel computation can improve quality and reduce time of processing for overlap classification problem was confirmed.

Dane autorów / Authors details:

Ryszard Bratuś
ryszard.bratus@dephos.com

Paweł Musialik
pjmusialik@gmail.com

Piotr Pióro
ppioro@terramap.pl

Marcin Prochaska
mprochaska@dephos.com

Antoni Rzonca
arzonca@dephos.com
tel. 505103540

Przesłano / Submitted 25.04.2017
Zaakceptowano / Accepted 23.06.2017