

AUTOMATYZACJA BUDOWY SONAROWEJ MAPY DNA NA PODSTAWIE OBRAZÓW Z SONARU BOCZNEGO

AUTOMATION OF SONAR MAP CREATING BASED ON SIDESCAN SONAR IMAGES

Michał Pałczyński

Wydział Informatyki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Słowa kluczowe: sonar, sonarowa mapa dna, mozaikowanie obrazów sonarowych
Keywords: sonar, sonar map of seabed, sonar images mosaicing

Wprowadzenie

Współczesne systemy GIS charakteryzują się coraz większą ilością różnorodnych informacji, a więc rosnącą liczbą warstw informacyjnych, które dają możliwości wartościowych analiz przestrzennych (Maguire et al., 1991). W przypadku akwenów wodnych jednymi z najistotniejszych danych są informacje dotyczące głębokości oraz rzeźby dna, w szczególności na obszarach objętych żeglugą. Zasadniczym źródłem informacji o ukształtowaniu dna są pomiary hydroakustyczne, dokonywane z użyciem echosondy pionowej lub wielowiązkowej, które są podstawą budowy modelu dna oraz map głębokości (Stateczny, 2004). Innym urządzeniem skanującym dno akwenu jest sonar, który nie daje bezpośredniej wiedzy o głębokości akwenu, ale pozwala w formie wizualnej zarejestrować fakturę dna, a także zaobserwować różnego rodzaju obiekty podwodne (Belderson et al., 1972). Poza bezpieczeństwem żeglugi obrazy sonarowe znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, takich jak geologia, archeologia, przemysł naftowy, ratownictwo czy wojskowość. Z punktu widzenia systemów GIS atrakcyjne wydaje się, aby dla obszarów pokrytych wodami utworzyć dodatkową warstwę rastrową przedstawiającą fakturę dna dla całych akwenów w postaci zobrazowania sonarowego czyli sonarową mapę dna. Ze względu na jej charakterystyczny wygląd oraz sposób jej tworzenia z pojedynczych obrazów, nazywana jest zwykle mozaiką. Pozwala ona w szczególności na precyzyjne lokalizowanie obiektów podwodnych na mapie cyfrowej oraz dokonywanie różnego rodzaju związanym z nimi analiz przestrzennych.

Obrazy sonarowe a mozaika obrazów sonarowych

Obraz sonarowy składa się z linii, z których każda jest zapisem echa sygnału akustycznego wysyłanego przez przetwornik, a następnie odbitego od obiektów podwodnych. W przypadku sonarów bocznych dwuwymiarowy obraz powstaje dzięki przemieszczaniu się przetwornika wzdłuż trasy zwanej profilem sondażowym (Stepnowski, 2001). Kolejne linie stanowią więc odwzorowanie obszarów dna nieco względem siebie przesuniętych oraz obróconych (w przypadku gdy przetwornik nie porusza się po linii prostej).

Podczas typowej prezentacji obrazu sonarowego, linie wyświetlane są jedna obok drugiej lub jedna nad drugą tworząc prostokąt, którego jeden bok odpowiada liczbie próbek przypadających na jedną linię, a drugi zależy od liczby zarejestrowanych impulsów (rys. 1a i 1b). Należy zauważyć, że daje to bardzo nikłe podstawy do lokalizacji przestrzennej widocznych obiektów, a także wprowadza zależność ich kształtów i proporcji od parametrów ruchu przetwornika.

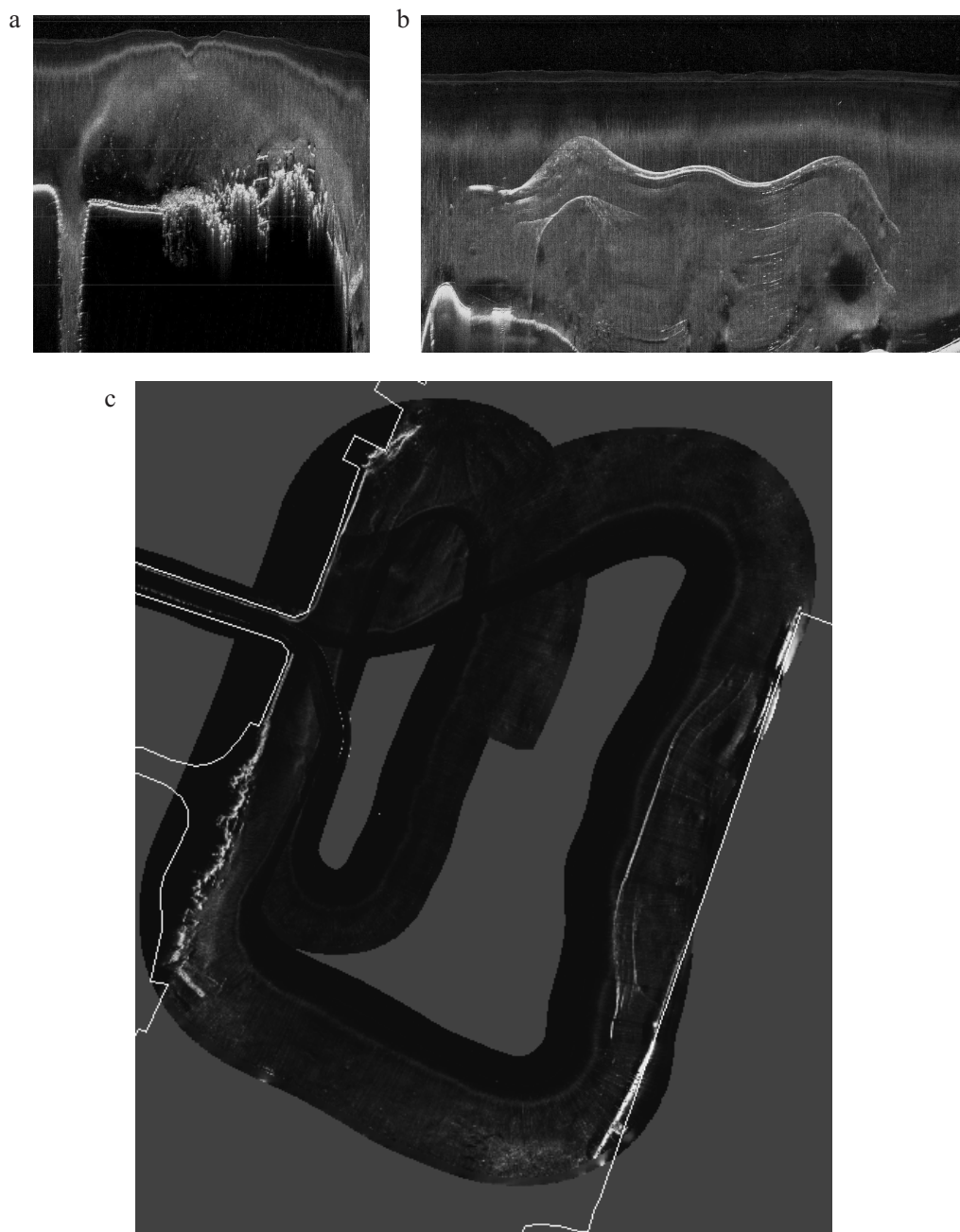
Znacznie więcej użytecznych informacji niesie ze sobą tzw. mozaika, która powstaje dzięki odwzorowaniu jednego lub więcej obrazów sonarowych do przestrzeni mapy dzięki wykorzystaniu informacji o położeniu i orientacji przetwornika podczas sondażu (Szatan i Kaberow, 2008). Dzięki mozaice echa obiektów mogą zostać zlokalizowane w odpowiednim układzie geodezyjnym, a ich kształt i proporcje uniezależniają się od trajektorii i prędkości ruchu przetwornika podczas sondażu (rys. 1c).

Odniesienie przestrzenne obrazu sonarowego

W klasycznym zobrazowaniu sonarowym, jedyną informacją związaną z geoprzestrzenną lokalizacją obiektów jest podawana liczbowo pozycja przetwornika zarejestrowana równocześnie z daną linią obrazu. Dodatkowo na podstawie znajomości ustawionego zakresu urządzenia możliwe jest określenie odległości danego obiektu od linii wyznaczającej trajektorię profilu sondażowego. To jednak wciąż zbyt mało by w sposób czytelny precyzyjnie pokazać rzeczywistą pozycję obiektu na podstawie jego echa. Budowa mozaiki powoduje, że możliwa jest znacznie dokładniejsza lokalizacja obiektów, a także obserwacja trasy sondażu i obszaru dna objętego rejestracją.

Wpływ toru ruchu przetwornika sonaru na kształty obiektów na obrazie

Trasa sondażu wpływa w dużym stopniu na kształty obiektów. W szczególności duże zmiany powodują wszelkie odchylenia od profilu prostoliniowego. Na rysunku 1b przedstawiono obraz sonarowy wykonany przy burcie dużego statku stojącego przy nabrzeżu. Ponieważ profil sondażowy był krzywoliniowy, widoczne na obrazie echo burty sprawia wrażenie znacznie zakrzywionego. Wykonanie mozaiki pozwala dostrzec charakterystyczny kształt burty oraz płetwy sterowej statku (rys. 1c).



Rys 1. Obrazy sonarowe i mozaika: a – obraz brzegu kanału z wyjściem z przystani; b – obraz burty statku przy nabrzeżu; c – mozaika obrazów sonarowych z naniesioną mapą konturową granic lądu (źródło danych: Akademia Morska w Szczecinie)

Problem proporcji obiektów na obrazie sonarowym

Należy zauważyć, że odwzorowanie obszaru objętego sondażem w klasycznym odwzorowaniu może znacznie zmienić proporcje wymiarów wzdłuż i w poprzek linii sondażu. Dzieje się tak dlatego, że gęstość punktów dna odpowiadających punktom obrazu mierzona wzdłuż profilu sondażowego zależy lokalnie od prędkości przetwornika i częstości sondowania, natomiast gęstość mierzona wzdłuż linii obrazu zależy od ustawionego zakresu i liczby próbek przypadających na jedną linię. Gęstości te mogą się znacznie różnić, w dodatku zmieniają się podczas sondażu. Powoduje to, że obraz sonarowy może wprowadzić w błąd co do proporcji rzeczywistych obiektów. Na przykład obraz o wymiarach 657x663 punkty, przedstawiony na rysunku 1a odwzorowuje obszar dna o wymiarach około 180 m wzdłuż profilu (na rysunku – w poziomie) i 50 m w poprzek. Na mozaice przedstawionej na rys. 1c zostały odtworzone właściwe proporcje obiektów.

Budowa mozaiki

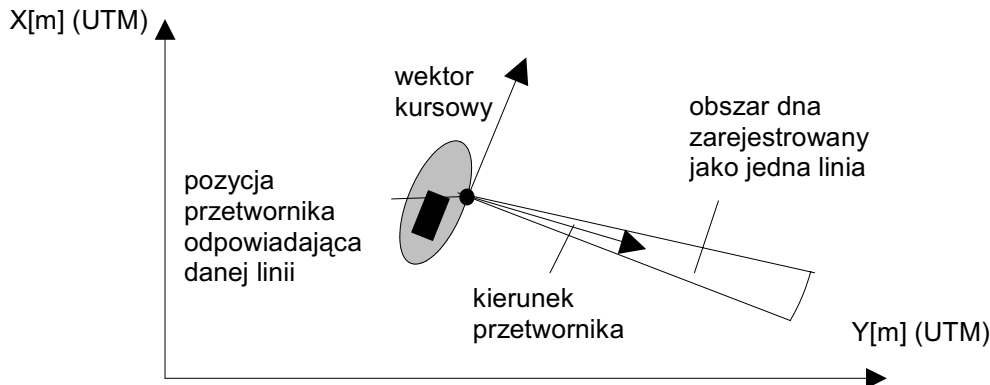
Koncepcja mozaiki obrazów sonarowych znana jest już od dawna, przy czym jej realizacja dokonywana była za pomocą różnych metod (Szatan i Kaberow, 2008). Współczesne mozaiki, bazujące na obrazach cyfrowych powstają głównie w oparciu o ręczne dopasowywanie (sklejanie) obrazów w programach graficznych. Łączenie obrazów przebiega też czasem na podstawie automatycznego dopasowywania według wskazanych ręcznie punktów charakterystycznych. Z drugiej strony, oprogramowanie dostarczane przez producentów sonarów jest już w stanie generować mozaikę w czasie rzeczywistym (tzw. RTM – ang. *Real Time Mosaic*). Posiada ona jednak zwykle małą rozdzielczość, gdyż jej celem jest głównie kontrola pokrycia badanego akwenu. Opracowanie skutecznych metod automatycznej budowy mozaiki w dużej rozdzielczości (najlepiej w czasie rzeczywistym) byłoby bardzo przydatne praktycznie.

Odniesienie przestrzenne echa impulsu

Warunkiem koniecznym budowy mozaiki obrazów sonarowych jest zapis informacji o pozycji przetwornika dla każdej zarejestrowanej linii obrazu. Pozwala to umiejscowić początek linii w układzie geodezyjnym. Należy zauważyć, że w praktyce zazwyczaj rejestracji podlega pozycja odbiornika (np. GPS), który może być znacznie oddalony od przetwornika (w sonarach holowanych nawet o kilkadziesiąt metrów). Konieczne jest wtedy wprowadzenie odpowiedniej poprawki.

Drugą niezbędną daną jest kierunek linii, który zależy od orientacji przestrzennej przetwornika. Niektóre sonary, np. Kongsberg MS 1000 (Kongsberg, 2008), dzięki wbudowanemu kompasowi, umożliwiają rejestrację kąta swojej osi względem północy. W przeciwnym wypadku pozostaje możliwość wyznaczenia kursu na podstawie różnicy kolejnych pozycji. Może to sprawiać problemy spowodowane błędami odczytów pozycji (np. odbiornika GPS), przez co w kolejnych liniach powstają znaczne i niepożądane wahania kierunku. Konieczne jest wtedy dokonanie filtracji ciągu pozycji (Borawski, 1998).

W sonarach bocznych przetwornik montowany jest prostopadle do burty, więc można założyć, że kierunek linii należy wyznaczyć jako wektor prostopadły do wektora kursowego, przy czym zwrot wektora zależy od burty, na której zamontowano urządzenie (rys. 2).



Rys 2. Położenie i kierunek linii w układzie współrzędnych mozaiki dla przetwornika zamontowanego na prawej burcie

Georeferencja mozaiki

Ponieważ mozaika obrazów sonarowych tworzona jest zwykle dla niewielkich akwenów, buduje się ją w układzie współrzędnych kartezjańskich XY definiowanym zgodnie z odwzorowaniem UTM, odpowiednio dla danej strefy długości geograficznej.

Przed rozpoczęciem generowania mozaiki należy zdefiniować zakres współrzędnych, jaki będzie ona obejmować. Prezentowany obszar zawsze jest prostokątem o osiach równoległych do osi układu współrzędnych. Drugim istotnym parametrem jest rozdzielczość, którą najwygodniej zdefiniować w pikselach na metr, a więc będzie ona oznaczać ile punktów obrazu ma przypadać na jeden metr odwzorowanego akwenu mierzony równoległe do osi układu. W celu zachowania właściwych proporcji rozdzielczość pionowa i pozioma obrazu musi być jednakoowa. Wartość ta wpływa ponadto zasadniczo na rozmiar obrazu wynikowego.

Problem rzutowania linii sonaru

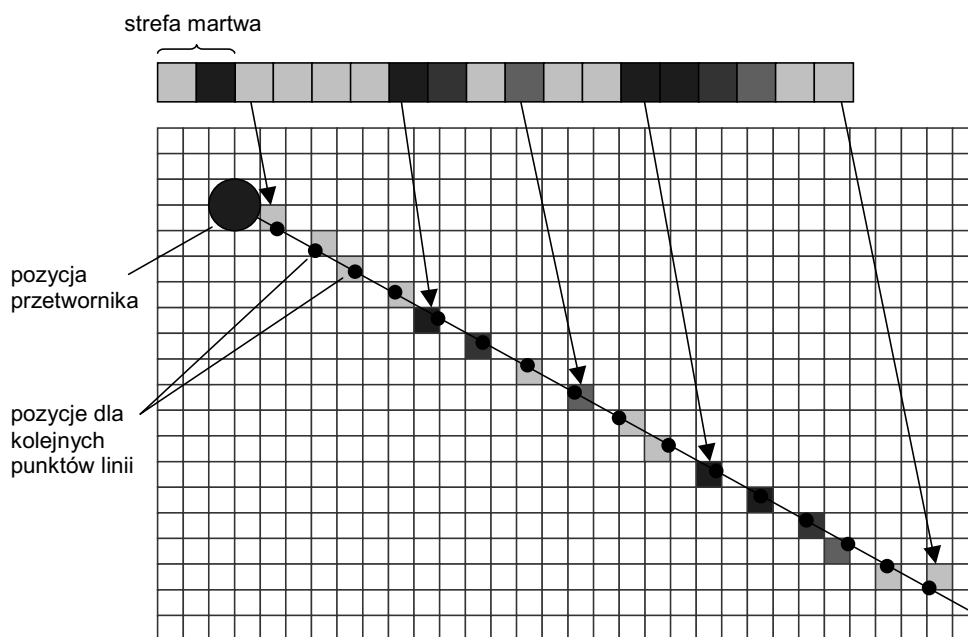
Jednym z podstawowych elementów automatycznej budowy mozaiki jest algorytm rzutowania zarejestrowanej linii obrazu do przestrzeni mozaiki. Wpływa on znacząco na wygląd i czytelność otrzymanego obrazu. Głównym problemem jest w nim odwzorowanie poszczególnych punktów linii obrazu sonarowego na kanwę mozaiki, przy czym rozdzielczość obrazu i mozaiki mogą się znacznie różnić.

Na podstawie pozycji i kierunku przetwornika, a także jego zakresu i liczby punktów w linii można ustalić współrzędne UTM dla każdego punktu linii. Należy przy tym pamiętać o tym, że pierwszy fragment linii tworzy tzw. strefę martwą, która odpowiada propagacji dźwięku pionowo w dół (Szatan i Kaberow, 2008). Uwzględnienie tego faktu wymaga podania przybliżonej głębokości w punkcie sondażu lub automatycznego wyznaczenia martwej strefy na podstawie wykrycia pierwszego odbicia od dna.

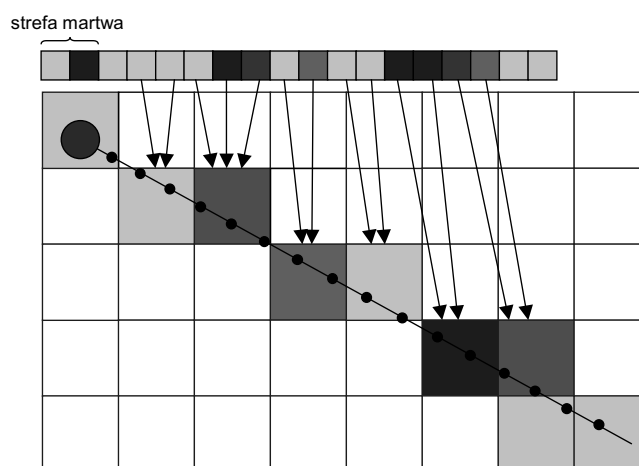
Każdemu punktowi w linii można zatem przypisać odpowiadający mu elementarny obszar mozaiki (rys. 3). Każdy z tych obszarów stanie się pojedynczym punktem na obrazie docelowym.

Niezależnie od przyjętej metody rzutowania, jeżeli rozdzielczość mozaiki jest niższa od rozdzielczości obrazu, niektóre punkty linii są odwzorowywane na ten sam punkt mozaiki, co wymaga uśrednienia ich jasności (rys. 4). W rezultacie obraz traci część szczegółów. Efekt ten można zaobserwować porównując obrazy sonarowe i mozaikę na rysunku 1.

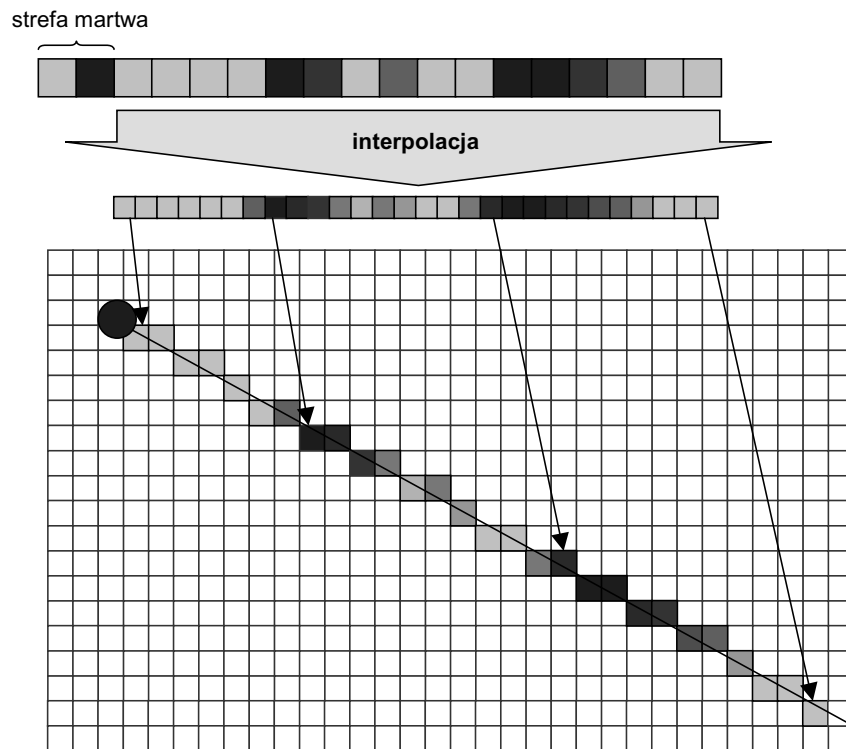
Najprostszą metodą odwzorowania linii jest przypisanie jasności danego punktu odpowiadającemu mu punktowi mozaiki, tak jak jest to pokazane na rysunku 3. W przypadku, gdy



Rys. 3. Odwzorowanie fragmentu linii obrazu sonarowego na kanwę mozaiki



Rys. 4. Utrata szczegółów obrazu na mozaice w wyniku uśrednienia sąsiednich punktów

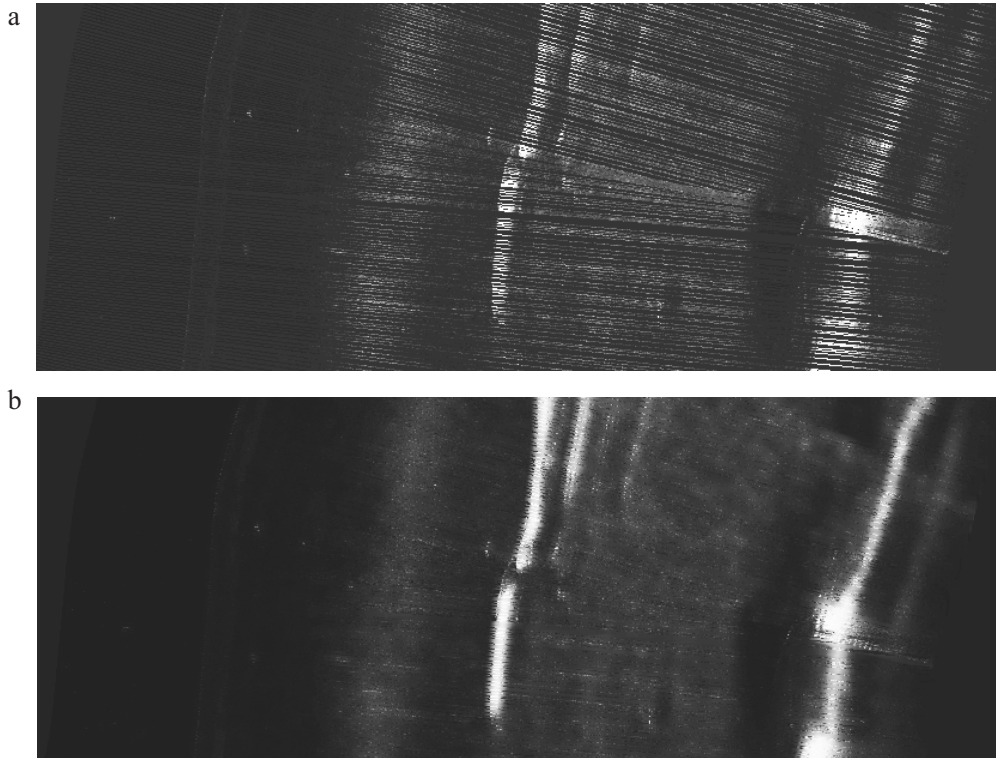


Rys. 5. Odwzorowanie fragmentu linii obrazu sonarowego na kanwę mozaiki z uwzględnieniem interpolacji

rozdzielczość mozaiki jest większa niż rozdzielczość danej linii, pojawia się problem nieciągłości linii, widoczny na rysunku 3. Powoduje on, że obraz traci znacznie na czytelności.

W celu wyeliminowania tego efektu należałoby dokonać interpolacji punktów pośrednich, ale ich wybór jest niejednoznaczny. Rozwiązaniem tego problemu jest wyznaczenie przebiegu linii zgodnie z algorytmami rastrowymi grafiki komputerowej (np. algorytm Bresenhama (Foley, 1995) na podstawie współrzędnych początku i końca linii. Aby obliczyć jasności kolejnych punktów nowej linii należy dokonać liniowej interpolacji jasności punktów linii oryginalnej (rys. 5). W mozaice uzyskanej tą metodą linie zachowują ciągłość niezależnie od rozdzielczości.

Znacznie poważniejszy problem może stanowić dysproporcja pomiędzy rozdzielczością obrazu sonarowego wzdłuż linii i pomiędzy liniami. Utrudnia to dobór rozdzielczości mozaiki, ponieważ w przypadku rozdzielczości dopasowanej do rozdzielczości pomiędzy liniami, zwykle znacznie niższej niż wzdłuż linii, obraz pozbawiony jest części szczegółów. Przykładem może być mozaika na rys. 1c. W przypadku dopasowania rozdzielczości umożliwiającego dokładne odwzorowanie linii, mogą natomiast pojawić się wyraźne przerwy pomiędzy liniami, które znacznie utrudniają percepcję obrazu (rys. 6a). Brakujące obszary można uzupełnić za pomocą interpolacji dokonanej w przestrzeni mozaiki (rys 6b). Należy tu jednak zachować rozwagę, ponieważ jasność wstawionych punktów cechować będzie wysoka niepewność. Może się okazać, że w rzeczywistym akwenu znajduje się mały obiekt, którego nie widać na



Rys. 6. Fragment mozaiki z rys. 1c w rozdzielczości ok. 8-krotnie większej:
a – bez użycia interpolacji pomiędzy liniami, b – z użyciem interpolacji

obrazie sonarowym gdyż znalazł się pomiędzy sąsiednimi impulsami sonaru, a wygenerowany sztucznie fragment mozaiki sugeruje, że niczego w tym miejscu nie ma. Należy więc ograniczyć wielkość maski interpolacji, co wiąże się z potencjalną niemożnością utworzenia mozaiki wysokiej jakości w dużej rozdzielczości.

W celu badania przedstawionych algorytmów wykonano oprogramowanie, za pomocą którego wygenerowano m.in. mozaiki przedstawione na rys. 1c, 6a i 6b. Budowa oprogramowania finansowana była z projektu badawczego nr N R10 0007 04, pt. „Technologia budowy rzeczno systemu informacyjnego” realizowanego przez Akademię Morską w Szczecinie.

Podsumowanie

Automatyczne generowanie sonarowej mapy dna natrafia na liczne problemy, spośród których w przedstawionym artykule zwrócono uwagę na skutki różnic w rozdzielczości obrazów sonarowych oraz mozaiki. Zaproponowano także nowy algorytm odwzorowywania linii obrazu, który pozwoli zwiększyć rozdzielczość docelowej mozaiki.

Literatura

- Belderson R.H., Kenyon N.H., Stride A.H., Stubs A.R., 1972: Sonographs of the sea floor, Amsterdam, London, New York.
- Borawski M., 1998: Influence of Sonar Image Correction Considering Course and Location of Ship on Recognition Quality, The Fifth International Conference Advanced Computer Systems, Szczecin.
- Foley, J., 1995: Wprowadzenie do grafiki komputerowej, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Maguire D.J., Goodchild M.F., Rhind D., 1991: Geographical Information Systems, London.
- Stateczny A. (red.), 2004: Metody nawigacji porównawczej, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk.
- Stepnowski A., 2001: Systemy akustycznego monitoringu środowiska morskiego, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk.
- Szatan M., Kaberow R., 2008: Mozaikowanie obrazów sonarowych, *Przegląd Hydrograficzny*, nr 4, Gdynia.
- Kongsberg Mesotech Ltd., 2008: Instrukcja obsługi sonaru MS 1000.

Abstract

The idea of automatic sonar map synthesis is presented in the paper. The map is created on the basis of sidescan sonar images and georeference for each line of the images. The map in the form of sonar images mosaic gives more useful information than separate images. Automation of the mosaicing process significantly reduces time and cost of its creation. Additional advantage is the possibility of creating a sonar map during the survey, helping the crew to get more complete coverage of the examined area. In the paper, different algorithms for mapping sonar image line into the mosaic were discussed with regard to the quality of the sonar map obtained. The results of the experiments made with the use of prototype software to implement the methods discussed, were presented.

dr inż. Michał Pałczyński
mpalczynski@wi.zut.edu.pl
tel. +48 91 449 55 61