

WAŻ Mariusz¹
NAUS Krzysztof²

TRÓJWYMIAROWA WIZUALIZACJA INFORMACJI RADIOLOKACYJNEJ

Artykuł przedstawia metodę tworzenia zobrazowania radarowego 3D. Wymaga to zastosowania specjalnej techniki rejestracji obrazu zapewniającego pozyskanie informacji o trzeciej współrzędnej. Współrzędną tą stanowi wzmocnienie sygnału radarowego, które jest wprost proporcjonalne do skutecznej powierzchni odbicia obserwowanych obiektów.

USING 3-DIMENSIONAL VISUALIZATION OF RADAR INFORMATION

The paper presents the method for building 3D radar visualization. The method requires applying a special technique for radar images registration which makes it possible to obtain information about third coordinate, i.e. about amplification of radar signal which is directly proportional to effective surface of reflection of observed objects.

1. WSTĘP

Współczesne radary nawigacyjne nie posiadają możliwości wizualizacji zobrazowania radarowego 3D. Rozwój technologii w zakresie cyfrowego przetwarzania sygnałów, spowodował jednak zwiększenie możliwości w zakresie transformacji informacji radarowej do różnych reprezentacji cyfrowych. Zwiększyła się też możliwość zapisu powyższych obrazów. Stosując urządzenia do przetwarzania i rejestracji obrazów radarowych tzw. systemy RSC (Radar Scan Converter) można obrazy radarowe rejestrować i przetwarzać w czasie rzeczywistym. Zastosowanie nowoczesnych technik komputerowych użytkowanych w grafice komputerowej pozwala na szybkie i łatwe przetworzenie obrazu radarowego do postaci trójwymiarowej. Opracowaniu podlegać powinno także ujednoczenie standardu tworzenia obrazu radarowego 3D ze standardem map elektronicznych 3D stosowanych coraz częściej w nawigacji.

2. KONCEPCJA TWORZENIA OBRAZU RADAROWEGO

Mapy elektroniczne 3D wkrótce mogą stać się obowiązującym standardem stosowanym nie tylko w nawigacji lądowej i lotniczej ale także w nawigacji morskiej. Ułatwi to

¹ Instytut Nawigacji i Hydrografii Akademii Marynarki Wojennej; ul. Śmidowicza 69 81-103 Gdynia, m.waz@amw.gdynia.pl;

² Instytut Nawigacji i Hydrografii Akademii Marynarki Wojennej; ul. Śmidowicza 69 81-103 Gdynia, k.naus@amw.gdynia.pl;

dostosowanie ich do współczesnych wymogów wizualizacji zobrazowania na szybko rozwijających się displayach 3D, ujednoczenia ich z trójwymiarowymi reprezentacjami stosowanymi w symulatorach nawigacyjnych oraz porównywania zobrazowania z obrazem wizyjnym otaczającej przestrzeni w celu wyznaczenia pozycji. W związku z tym istnieje także potrzeba dostosowania do trójwymiarowej reprezentacji obrazów radarowych, które już dziś prezentowane są jako kolejna warstwa mapowa.

Przy współczesnej technice i możliwościach współczesnych systemów map elektronicznych, przechodzenie z jednego rodzaju odwzorowania w drugie nie stwarza większego problemu. Dlatego też porównując ze sobą obrazy radarowe i mapy morskiej możemy dokonać transformacji obrazu mapy, jego odwzorowania, do reprezentacji bardziej podobnej obrazowi radarowemu.

Jednym z rozwiązań zaproponowanych w [4] jest zastosowanie dynamicznego odwzorowania azymutalnego perspektywicznego z dodatnim punktem rzutowania. Odwzorowanie powyższe powinno być generowane dynamicznie wraz z poruszającą się jednostką własną. Prowadzenie nawigacji (zakresu drogi) na takim zobrazowaniu jest ciężkie gdyż w zobrazowaniu tym równoleżniki i południki nie są prostymi wzajemnie prostopadłymi a loksodroma nie linią prostą przecinającą południki pod tym samym kątem. Niemniej jednak odwzorowanie to, jako poglądowe, powinno dostarczyć nawigatorowi możliwość jego porównania z obrazem radarowym, zidentyfikowania obiektów i celów występujących wokół jednostki własnej, oraz kontroli prawidłowości wskazań systemów wyznaczania pozycji. Odbyć się to może poprzez precyzyjne zgranie obrazu radarowego z mapą i ewentualne poprawienie błędnej pozycji obserwowanej.

Poprawkę odległości dla tego odwzorowania liczymy z zależności [6]:

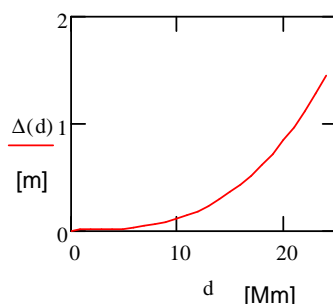
$$\Delta = d - \frac{k \cdot R \cdot \sin\left(\frac{d}{R}\right)}{K - R \cdot \cos\left(\frac{d}{R}\right)} \quad (1)$$

gdzie: R – promień Ziemi,

K – wysokość punktu rzutowania od środka Ziemi,

k – odległość płaszczyzny rzutowania od punktu rzutowania,

d – zakres pracy radaru (odległość do punktu centralnego na płaszczyźnie odniesienia).



Rys. 1. Poprawka odległości dla odwzorowania azymutalnego perspektywicznego z dodatnim punktem rzutowania.

Wpływ zniekształceń odległości jest pomijalnie mały dla zakresów poniżej 24 mil morskich. Wynosi on zaledwie $\sim 1,5$ metra. Tym samym dla map morskich w skali 1:50000 minimalna „średnica plamki” wynosi 0,24 mm i daje to dokładność odczytu współrzędnych 12 metrów. Jak widać zniekształcenie zarówno dla mapy i obrazu radarowego jest niewielkie.

Współczesne wskaźniki radarów nawigacyjnych dają duże możliwości wpływu operatora na wygląd zobrazowania radarowego, niemniej jednak wprowadzają pewne ograniczenia w ingerencji w formę wizualizacji obrazów radarowych. Po obróbce sygnał wizyjny prezentowany jest na wskaźnikach radarowych w postaci cyfrowej, w kartezjańskim układzie współrzędnych. Obraz radarowy wyświetlany jest na monitorach w postaci macierzy kwadratowej o z góry zadanej liczbie pikseli w wierszach i w kolumnach. Posiada on strukturę rastrową. Obraz radarowy przechowywany w pamięci komputera jako raster stanowi zbiór danych ciągłych, które zmieniają się w zależności od miejsca w obserwowanej przestrzeni: warunków hydrometeorologicznych, ukształtowania linii brzegowej i występowania różnorodnych obiektów itd. Każdy punkt obrazu radarowego (wektorowego) przedstawiony jako wartość dyskretna powinien prezentować kolejne współrzędne, które informują o wystąpieniu echa radarowego. Piksele obrazu reprezentujące „wodę” (brak echa) przyjmujące w każdym miejscu taką samą wartość, nie mają znaczenia. Pozostałe piksele tworzące linie i obszary odnoszą się do linii brzegowej, lądu oraz obiektów stałych i ruchomych obecnych na obserwowanym przez radar akwenie. Cyfrowy, wektorowy obraz radarowy przedstawia się następująco [5]:

$$\mathbf{OR} = \{(\varphi, \lambda, W) : \varphi \in \langle 0, 90^\circ \rangle, \lambda \in \langle 0, 180^\circ \rangle, W \in \langle 0, K \rangle \wedge \varphi, \lambda, W \in \mathbb{R} \wedge K \in \mathbb{N}\} \quad (2)$$

gdzie: φ, λ – współrzędne geograficzne poszczególnych pikseli obrazu;
 W – poziom wzmocnienia piksela obrazu identyfikowanego jako echo radarowe
 K – maksymalne możliwe wzmocnienie piksela obrazu.

Oraz dla obrazów inwariantnych w biegunowym układzie współrzędnych:

$$\mathbf{OR}_b = \{(\alpha, d, W) : \alpha \in \langle 0, 360^0 \rangle, d \in \langle 0, Z \rangle, W \in \langle 0, K \rangle \wedge \alpha, d, W \in R \wedge Z, K \in N\} \quad (3)$$

gdzie: α – współrzędna biegunowa identyfikowana jako namiar (NR),
 d – współrzędna biegunowa identyfikowana jako odległość (dr).

3. OBRAZ RADAROWY A NMT (NUMERYCZNY MODEL TERENU)

W ogólnym przypadku kiedy zjawisko o charakterze ciągłym jak np. powierzchnię terenu można przedstawić funkcją analityczną postaci:

$$z = f(x, y) \quad , \quad (4)$$

zagadnienie nie stanowi żadnych trudności, ponieważ dzięki znanej funkcji w każdym potrzebnym punkcie $P(x,y)$ można określić wartość zjawiska. W sytuacji kiedy modelowanych zjawisk (np. obserwacja radarowa) nie można określić funkcją analityczną stosujemy inne rozwiązania, oparte na wartościach zjawiska zarejestrowanych w wybranych punktach pomiarowych. Idealne odtworzenie powierzchni przez model nie jest możliwe, ponieważ ze względów ekonomicznych, czasowych i wielkości zbiorów danych, nie da się pomierzyć ani wyrazić całej złożoności powierzchni obiektu. Podstawowymi problemami związanymi z numerycznym modelem terenu są:

- problem odpowiedniego doboru charakterystycznych punktów powierzchni (*ang. sampling problem*) w celu uzyskania jak najlepszego efektu przy minimalizacji ilości danych,
- problem odtworzenia (przedstawienia) powierzchni na podstawie istniejących danych (*ang. representation problem*).

W systemach komputerowych tworzone są najczęściej dwa podstawowe typy modeli opisujących kształt terenu (numeryczny model terenu - NMT): regularny w postaci prostokątnej siatki punktów – GRID i nieregularny w postaci siatki trójkątów – TIN. Model zapisany w formacie GRID może być zarazem interpretowany jako macierz wysokości, co znacząco ułatwia prowadzenie analiz przestrzennych. Model TIN powstaje w wyniku triangulacji spełniającej warunek Delaunay'a. Dobór punktów źródłowych do modelu TIN powinien być prowadzony zgodnie z zasadami próbkowania celowego, zapewniającego wybór punktów charakterystycznych, reprezentatywnych dla modelowanego obszaru.

Model siatki trójkątów – TIN (*ang. Triangular Irregular Network*) charakteryzuje się tym, że:

- dzieli on powierzchnie dna na trójkątne elementy,
- wierzchołki trójkątów znajdują się w punktach pomiarowych,
- zachowuje on relacje topologiczne pomiędzy formami rzeźby terenu np.dna,
- pozwala on na uwzględnienie linii strukturalnych (izobat i mielizn),
- umożliwia zmianę rozdzielczość, zależną od konfiguracji dna,
- pliki z danymi opisującymi siatkę mają dużą objętość.

Natomiast model regularnej siatki kwadratów, prostokątów (*ang. GRID*) jest:

- modelem macierzowym o stałej rozdzielczości,
- prosty w zapisie,

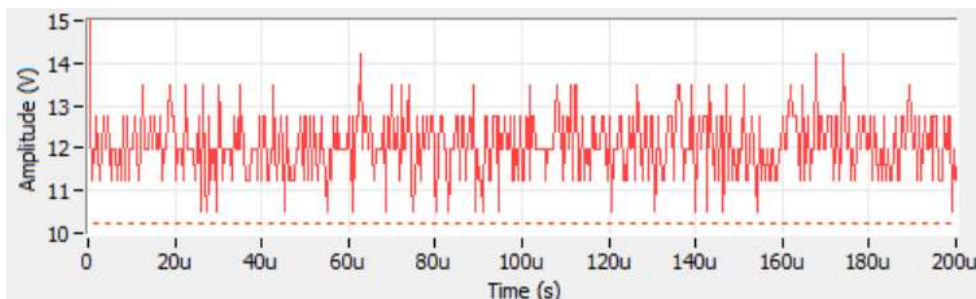
- modelem umożliwiającym zmianę dokładności zobrazowania dna,
- modelem którego każdy element macierzy przechowuje średnią wysokość pola elementarnego,
- podstawą do utworzenia modeli pochodnych – nachyleń i ekspozycji.

Numeryczny Model Terenu (NMT) definiuje się jako: „numeryczną reprezentację powierzchni terenowej, utworzonej poprzez zbiór odpowiednio wybranych punktów leżących na tej powierzchni oraz algorytmów interpolacyjnych umożliwiających jej odtworzenie w określonym obszarze” oraz także jako: „numeryczna, dyskretna (punktowa) reprezentacja wysokości topograficznej powierzchni terenu, wraz z algorytmem interpolacyjnym umożliwiającym odtworzenie jej kształtu w określonym obszarze” [1].

Tak zdefiniowany model zawiera informacje o relacjach topologicznych łączących poszczególne punkty w terenie. Zdefiniowanie topologii następuje w wyniku zastosowania algorytmów interpolacyjnych, odtwarzających ukształtowanie modelowanej powierzchni. Zwykle NMT jest reprezentowany przez punkty, rozłożone regularnie lub nieregularnie na powierzchni terenu i uzupełnione dodatkowo punktami opisującymi morfologiczne formy terenu. Algorytm interpolacyjny, który jest nieodłączną składową NMT, pozwala na określenie wartości wysokości dla dowolnego punktu o położeniu określonym przez jego współrzędne płaskie.

W przypadku obrazów radarowych nie ma mowy o współrzędnych wysokościowych poszczególnych ich punktów. Wynika to ze specyfiki obserwacji radarowej. Radar promieniując falę elektromagnetyczną wokół okrętu mierzy poziom natężenia fali odebranej przez antenę, która odbiła się charakterystycznych elementów terenu.

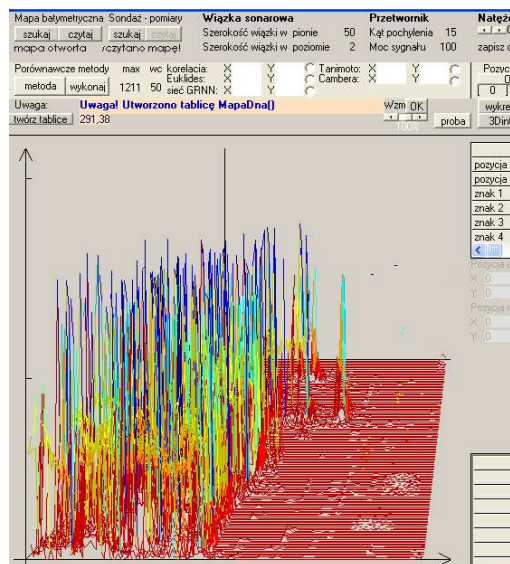
Zasadniczym zagadnieniem w tworzeniu radarowego zobrazowania trójwymiarowego będzie sposób pozyskania informacji o trzeciej współrzędnej. Współczesne radary nawigacyjne są urządzeniami dwuwspółrzędnymi. Jednakże należałoby się zastanowić nad celowością posiadania danej wysokościowej o obiektach. Czy do celów nawigacyjnych, w zobrazowaniu radarowym dane takie są niezbędne? Wzmocnienie wyświetlanego echa w zobrazowaniu radarowym jest uzależnione od powierzchni skutecznego odbicia. Powierzchnia ta nie zawsze jest wprost proporcjonalna do wielkości (gabarytów) obserwowanych obiektów. Trzecim wymiarem, trzecią współrzędną może być zatem poziom odbitego i powracającego do odbiornika sygnału radiolokacyjnego. Wartość ta wizualizowana jest jako poziom wzmocnienia sygnału wizyjnego i przedstawiona jako W w zależnościach (2) i (3). Takie podejście daje większe możliwości w zakresie wizualizacji i prezentacji wybranych elementów zobrazowania radarowego.



Rys. 2. Wartości wzmocnienia sygnału wizyjnego radaru nawigacyjnego BM252

Powyżej przedstawiono zarejestrowane wartości wzmocnień sygnału wizyjnego W za pomocą urządzenia do rejestracji i analizy sygnałów wizyjnych. Wzmocnienie to reprezentowane jest jako wartość napięcia analogowego sygnału wizyjnego wyrażone w woltach (V). Czas, po którym dotarł do odbiornika sygnał o zadanym napięciu jest wprost proporcjonalny do odległości echa od anteny radarowej (d). Pojedynczy pomiar wykonywany jest na danym namiarze (a) z góry zadaną rozdzielczością (liczbą pomiarów na jeden obrót anteny radarowej). Dlatego też w kolejnych rozważaniach obraz radarowy prezentowany będzie w postaci (3).

Poniżej zaprezentowano trójwymiarową reprezentację obrazu radarowego przedstawioną zgodnie z powyższym opisem. Do tego celu wykorzystano autorski program do wizualizacji 3D mapy dna morskiego.

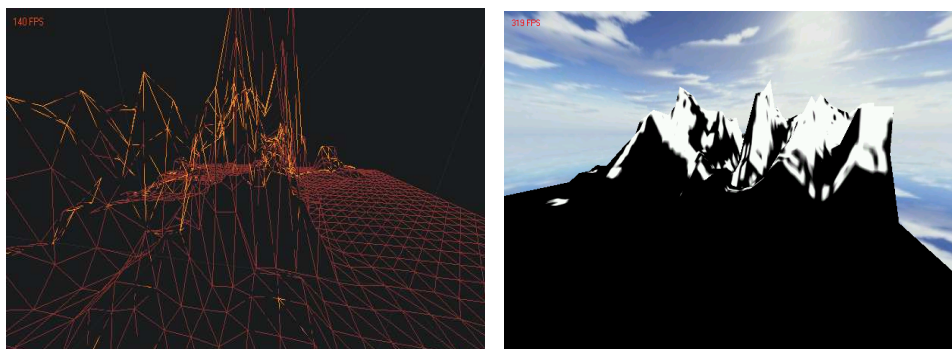


Rys. 3. Trójwymiarowa reprezentacja obrazu radarowego

4. ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII DIRECTX I OPENGL

Posiadając obraz radarowy zapisany jako wektor trójwspółrzędny, w celu stworzenia wizualizacji trójwymiarowej, skorzystać możemy ze specjalnych pakietów, interfejsów programowych (API – Application Programming Interface). Dzięki temu możliwe staje się kodowanie trójwymiarowych aplikacji graficznych działających pod kontrolą systemu operacyjnego. Takimi API są biblioteki grafiki DirectX firmy Microsoft.

Obrazy trójwymiarowe są budowane w DirectX zgodnie z zasadami grafiki wektorowej. Każdy obiekt składa się z pewnej liczby wielokątów (w DirectX są to trójkąty). Najważniejszą kwestią jest ułożenie obiektów w kolejności od najdalszych do tych położonych najbliżej obserwatora. DirectX oferuje algorytm z-Buffer realizujący to zadanie. Jest to struktura pamięci, w której przechowywane są współrzędne Z każdego piksela. Dla każdej klatki animacji współrzędne Z wszystkich pikseli składających się na obiekty 3D są porównywane ze współrzędnymi Z znajdującymi się w Z-Bufferze (z poprzedniej klatki). Jeśli dany piksel ma mniejszą współrzędną Z, to jest rysowany na miejscu poprzedniego. Następnym krokiem w wizualizacji sceny 3D jest teksturowanie (texture mapping). Polega ono na nałożeniu dwuwymiarowej bitmapy na obiekt składający się z wielokątów 3D. Algorytm nakładania tekstur opiera się na co najmniej dwóch bitmapach, różniących się rozmiarem. Jeśli obserwator znajduje się blisko obiektu, to nakładana jest bitmapa największa, w miarę oddalania się, bitmapy są podmieniane na coraz mniejsze. Kolejnym etapem budowy obrazu jest oświetlanie obiektu. DirectX oferuje następujące źródła światła.

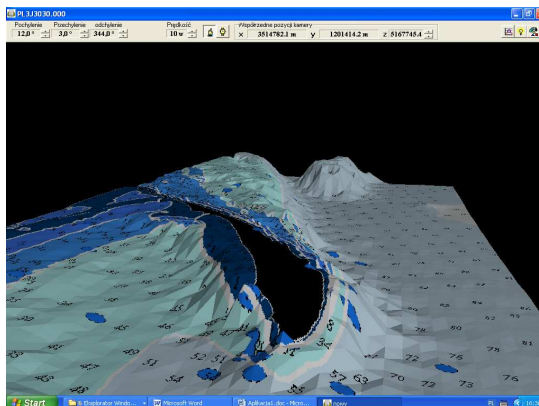


Rys. 4. Obraz radarowy przedstawiony jako: regularna siatka trójkątów oraz po nałożeniu tekstur

Podobnie z wykorzystaniem biblioteki OpenGL można zrealizować proces generowania trójwymiarowego zobrazowania. Dla przykładu poniżej przedstawiono sposób tworzenia trójwymiarowego dna morskiego. Odbyna się to w czterech podprocesach:

- modelowania geometrycznego dna morskiego,
- modelowania właściwości materiału,
- modelowania oświetlenia,

- zobrazowania na ekranie monitora wymodelowanej, trójwymiarowej powierzchni dna w dynamicznym odwzorowaniu perspektywicznym.



Rys. 5. Trójwymiarowa reprezentacja mapy elektronicznej

Jak widać proces tworzenia obrazów 3D w tej technologii jest analogiczny jak w przypadku DirectX. Reprezentacje obrazów zarówno radarowych i mapy morskiej są porównywalne co dowodzi szerokich możliwości stosowania do tych celów obu dynamicznych bibliotek.

5. WNIOSKI

Zastosowanie radarów na okrętach i statkach morskich poprawia bezpieczeństwo nawigacyjne szczególnie w warunkach ograniczonej widzialności i złej pogody. Radar wykorzystywany jest w nawigacji nie tylko do wyznaczania pozycji a także do wykrywania i identyfikacji jednostek, obiektów i celów. Jednak urządzenia te mimo, że w sposób ciągły ulepszone nie są doskonałe. Ich główną wadą jest niewielka odporność na zakłócenia, w tym zakłócenia bierne oraz zbyt mała czułość, utrudniająca a czasami wręcz uniemożliwiająca wykrycie małych obiektów. W związku z powyższym istnieje konieczność prowadzenia prac badawczych nad dalszym rozwojem tych urządzeń. W związku z powyższym istotnym zagadnieniem staje się proces pozyskiwania obrazów radarowych do nawigacji. Rejestracja reprezentacji cyfrowej obrazów radarowych nie stwarza już większego problemu. Poprzez sprzężenie radaru nawigacyjnego z komputerem z wykorzystaniem odpowiednich interfejsów operator systemu jest w stanie zarejestrować obrazy radarowe i dokonać ich obróbki.

Wprowadzanie nowoczesnych technologii jak również nowego oprogramowania analizującego sygnał wizyjny radaru może znacznie udoskonalić proces detekcji ech, a tym samym zwiększyć prawdopodobieństwo wykrycia ech użytecznych, w tym ech znajdujących się w obszarze występowania zakłóceń. Jednym z kierunków rozwoju, który to umożliwia, jest zastąpienie typowych wskaźników typu „P” wskaźnikami umożliwiającymi zobrazowanie wielowymiarowe 3D. Prace związane z zastosowaniem wielowymiarowego zobrazowania w radarach morskich wymagały opracowania nowego

algorytmu i nowego oprogramowania analizującego sygnał wizyjny umożliwiającego tworzenie obiektów 3D. Niezbędne było również opracowanie metody pozyskiwania cyfrowego obrazu radarowego z układów obróbki pierwotnej. W efekcie tych działań uzyskano nowy i w przypadku radarów morskich dotychczas niestosowany sposób prezentacji zobrazowania.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Gaździcki J.: *Leksykon geomatyczny*, Wydanie drugi, Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej, Warszawa 2002.
- [2] Naus K.: *Geometric model of a tree-dimensional visualization of an Electronic Navigational Chart*. 10th International Conference „Computer Systems Aided Science, Industry and Transport” TRANSCOMP 2006, Zakopane 2006, Vol. II, pp. 99-102.
- [3] Naus K.: *Zastosowanie dynamicznego odwzorowania perspektywicznego do zobrazowania elektronicznej Mapy Nawigacyjnej*. Rozprawa doktorska, AMW, Gdynia 2003
- [4] Nowak D., Wąż M.: *Wektorowa mapa radarowa a komputerowe zobrazowanie sytuacji nawigacyjnej*. Transport nr 1(17) 2003. Politechnika Radomska 2003.
- [5] Wąż M.: *3D Picture display for navigation radar*. Annual of Navigation No. 11; Gdynia 2006
- [6] Wąż M., Nowak D.: *Wektorowy obraz radarowy*. VI Międzynarodowe Sympozjum Nawigacyjne, AM, Gdynia 2005, str. 271-276