

Mariusz Wąż¹⁾, Krzysztof Naus¹⁾

WIZUALIZACJA WIELOWYMIAROWEGO OBRAZU RADAROWEGO

DISPLAYING MULTIDIMENSIONAL RADAR IMAGE

STRESZCZENIE W artykule przedstawiono możliwości zastosowania bibliotek graficznych OpenGL, DirectX i innych aplikacji do tworzenia zobrazowania radarowego 3D. Opisano etapy procesu generowania trójwymiarowego zobrazowania radarowego i zilustrowano to na przykładach. Zwrócono także uwagę na zastosowanie specjalnej techniki rejestracji i przetwarzania obrazu zapewniającego pozyskanie informacji o trzeciej współrzędnej.

Słowa kluczowe:

radar, obraz radarowy, obraz trójwymiarowy.

ABSTRACT This paper presents the possibilities to use graphics libraries OpenGL, DirectX and other applications to make a 3D display. It describes the stages of the process of generating a radar 3D display and contains illustrated examples. It also draws attention to using a special technique for recording and processing an image which ensures the acquisition of data related to the third coordinate.

Keywords:

radar, radar image, 3D display.

DOI: 10.5604/0860889X/1097972

¹⁾ Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, 81-103 Gdynia, ul. J. Śmidowicza 69; e-mail: {m.waz; k.naus}@amw.gdynia.pl

WSTĘP

Zasadniczym zagadnieniem w tworzeniu radarowego zobrazowania trójwymiarowego jest sposób pozyskania informacji o trzeciej współrzędnej. Trzeba mieć na uwadze to, że współczesne radary nawigacyjne są urządzeniami mierzącymi odległość w układzie współrzędnych 2D. Wzmocnienie wyświetlanego echa w zobrazowaniu radarowym jest uzależnione od powierzchni skutecznego odbicia, która tylko po części może świadczyć o wielkości obserwowanego obiektu. Powierzchnia ta nie zawsze jest wprost proporcjonalna do wielkości (gabarytów) obserwowanych obiektów, zależy także od materiału, z jakiego jest wykonany obiekt oraz od jego struktury. Może być ona zwiększona dzięki zastosowaniu odpowiednich reflektorów radarowych. Nie ma więc możliwości pozyskania wiarygodnej informacji o wysokości obserwowanego obiektu przez radar. Na podstawie jasności plamki obserwowanego echa można tylko przypuszczać, że reprezentuje ono duży bądź mały obiekt. Trzecim wymiarem (trzecią współrzędną) może być zatem poziom natężenia odbitego i powracającego do odbiornika sygnału radiolokacyjnego [8, 9, 11, 13, 14]. Dalej opisano kilka metod wizualizacji wielowymiarowego obrazu radarowego.

INTRODUCTION

The main issue in generating a 3D display is the way to acquire data relating to the third coordinate. It must be born in mind that present-day navigational radars are devices which measure the range in the 2D system. To enhance an echo image on a radar display depends on the radar cross section, which can, only in part, give information on the size of the object observed. The radar cross section is not always directly proportional to the size (overall dimensions) of the objects observed and is also dependent on the material an object is made of, as well as its structure. The radar cross section can be enlarged with the use of appropriate radar reflectors. Thus, it is not possible to acquire reliable data on the height of an object being observed by radar. It is only possible to make an assumption based on the brightness of an echo spot being observed as to whether it represents a large or a small object. Thus the intensity level of the radar signal reflected to the receiver can be the third dimension, the third coordinate [8, 9, 11, 13, 14]. A few methods used to display a 3D radar image are described below. These methods were used during the execution of a KBN research project entitled '3D display of shipboard navigational radar images used to

Metody te wykorzystano podczas realizacji projektu badawczego KBN pt. „Wielowymiarowe zobrazowanie okrętowego radaru nawigacyjnego do detekcji obiektów o niskiej wykrywalności” (nr 0537/B/T00/2009/37).

TRZECIA WSPÓŁRZĘDNA ZOBRAZOWANIA RADAROWEGO

Jak wspomniano we wstępie, trzecią współrzędną może być natężenie odbitego i powracającego do odbiornika sygnału radiolokacyjnego. Wartość ta wyrażona jest jako poziom wzmocnienia sygnału wizyjnego W lub U (zależności (1) i (2)). Takie podejście daje większe możliwości w zakresie sposobów wizualizacji wybranych elementów zobrazowania radarowego. Najważniejszym zadaniem przed tworzeniem reprezentacji 3D jest zapisanie obrazu radarowego w postaci cyfrowej umożliwiającej odczytanie trzech współrzędnych dla każdego piksela obrazu. Obraz radarowy można przedstawić jako wektor opisany na zbiorze liczb rzeczywistych [7, 12, 13, 14]:

$$\mathbf{O}^k \rightarrow R; \mathbf{O}^k = (\varphi, \lambda, W), \quad (1)$$

gdzie:

where:

φ, λ — współrzędne geograficzne poszczególnych pikseli obrazu
 $\varphi \in \langle 0, \pm 90^\circ \rangle, \lambda \in \langle 0, \pm 180^\circ \rangle /$
 geographical coordinates for particular pixels of an image
 $\varphi \in \langle 0, \pm 90^\circ \rangle, \lambda \in \langle 0, \pm 180^\circ \rangle ;$

detect objects of low detection rate' (nr 0537/B/T00/2009/37).

THIRD COORDINATE OF RADAR DISPLAY

As mentioned in the introduction the intensity of a signal reflected and returned to a radar apparatus can be the third coordinate. This magnitude is expressed as the level of the image signal enhancement W or U (dependences (1) and (2)). This approach offers higher possibilities related to the ways of displaying selected elements of a radar image. The main task, prior to generating a 3D representation, is to record a radar image in a digital form which can be used to read off the three coordinates for each pixel of the display. A radar display can be presented as a vector described on a set of real numbers [7, 12, 13, 14]:

W — poziom wzmocnienia piksela obrazu identyfikowanego jako echo radarowe
 $W \in < 0, K > \wedge K \in N /$
 level of pixel enhancement in a display identified as a radar image echo
 $W \in < 0, K > \wedge K \in N .$

Dla sygnałów wizyjnych zarejestrowanych w biegunowym układzie współrzędnych [7, 12, 13, 14]:

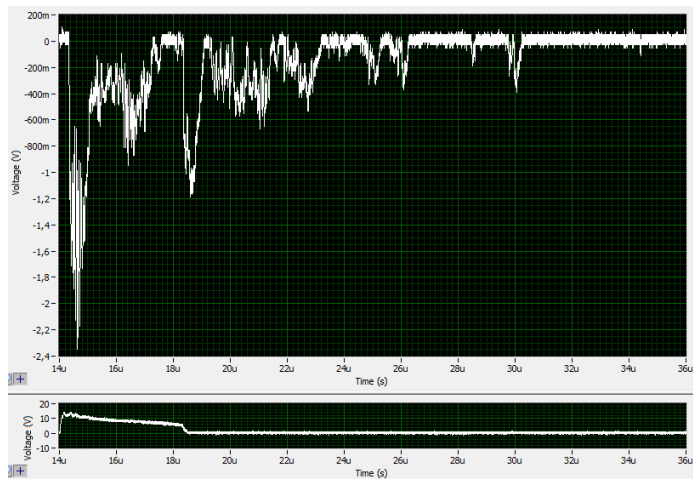
And for display signals recorded in a polar coordinates system [7, 12, 13, 14]:

$$\mathbf{O}^b \rightarrow R; \mathbf{O}^b = (\alpha, d, U), \quad (2)$$

gdzie:

where:

- α — współrzędna biegunowa identyfikowana jako namiar (NR) $\alpha \in < 0, 360^0 > /$
 a polar coordinate identified as a bearing (NR) $\alpha \in < 0, 360^0 > ;$
- d — współrzędna biegunowa identyfikowana jako odległość (d_r) $d \in < 0, Z > /$
 a polar coordinate identified as a range (d_r) $d \in < 0, Z > ;$
- U — napięcie sygnału wizyjnego $U \in < 0, u > \wedge Z, u \in R /$
 display signal voltage $U \in < 0, u > \wedge Z, u \in R .$



Rys. 1. Przebieg zmian wartości napięcia sygnału wizyjnego radaru nawigacyjnego w funkcji czasu (wykres wykonano na podstawie danych zarejestrowanych oscyloskopem)

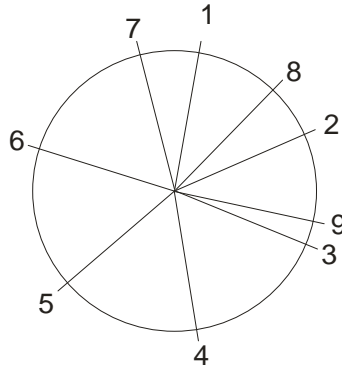
Fig. 1. Distribution of changes in display signal voltage in a navigational radar, in time function (the diagram is based on data recorded with an oscilloscope)

Na rysunku 1. przedstawiono przebieg zmian wzmacnienia sygnału wizyjnego U za pomocą oscyloskopu TEKTRONIX DPO 3012. Wzmocnienie to prezentowane jest jako wartość napięcia analogowego sygnału wizyjnego wyrażone w voltach (V). Należy nadmienić, że zarejestrowane wartości napięcia sygnału wizyjnego podlegają obróbce cyfrowej. Proces ten nie jest realizowany w czasie rzeczywistym. Zapis sygnału pozyskanego przez oscyloskop ze względu na parametry przesyłania i zapisu odbywa się co około 0,625 sekundy. Zakładając, że prędkość obrotowa anteny wynosi dwadzieścia obrotów na minutę, to przez trzy sekundy wykonuje ona pełen obrót o 360° . Wynika z tego, że dla kolejnych pomiarów namiary układają się sekwencyjnie z częstotliwością 1,67 Hz (około cztery namiary na jeden obrót anteny radarowej). W celu pozyskania obrazu radarowego zapisanego z rozdzielczością co jeden stopień wymagane jest prowadzenie rejestracji przez około 3,75 minuty. Dla uzyskania lepszych wyników należy zastosować urządzenie pomiarowe dające możliwość zapisywania sygnałów wizyjnych z większą częstotliwością. Przy częstotliwości 24 Hz pełen obraz radarowy pozyskujemy po piętnastu sekundach, czyli po sześciu obrotach anteny radarowej. Taką metodą możemy zapisywać sygnał wizyjny w pamięci komputera przy obracającej się antenie.

The distribution of changes in display signal enhancement U recorded with an oscilloscope TEKTRONIX DPO 3012 are presented in figure 1. This enhancement is presented as a voltage value of an analogue display signal expressed in Volts (V). It must be mentioned that the values recorded of the display signal voltage are subject to processing. This process is not realized in real time. Recording of signals from the oscilloscope mentioned above, due to transfer and recording parameters, is carried out approximately every 0.625 sec. Assuming that the rotational antenna speed is twenty rotations per minute, it takes three seconds to make one complete turn of 360° . It follows from that, that for the successive measurements the bearings lie sequentially with a frequency of 1.67Hz (approximately four bearings per one complete turn of the radar antenna). To obtain a radar display recorded with a resolution of every one degree it is necessary to continue recording for approximately 3.75 minutes. To obtain better results it is necessary to use a measuring device which can record display signals with a higher frequency. At a frequency of 24 Hz the full radar image is obtained after fifteen seconds, i.e. after six rotations of the antenna. This method can be employed to store a signal display in a computer memory while the antenna is rotating.

Schemat metody zapisu sygnału wizyjnego przedstawia poniższy rysunek.

The figure below presents a diagram of a display signal recording method.



Rys. 2. Schemat metody zapisu kolejnych namiarów sygnału wizyjnego z radaru
Fig. 2. A diagram of a method for recording successive bearings of a radar display signal

Na rysunku 2. widać, że kolejne namiary oznaczone 8, 9 itp. rejestrowane są już przy drugim obrocie anteny. Następny obrót rozpocznie pomiar 14. itd., aż ukończymy cały obraz radarowy, gdzie namiary będą oddalone od siebie co około jeden stopień.

It can be seen in figure 2 that the successive bearings marked 8, 9, etc. are recorded as early as during the second rotation of the antenna. The next rotation will start 14th bearing and so on, until the whole radar display is completed, where the bearings are distanced approximately one degree from one another.

Pomiarów należy dokonywać na radarach stacjonarnych lub jednostkach niebędących w ruchu.

It must be remembered that the measurement should be done using stationary or shipboard radars when ships are not in motion.

WYKORZYSTANIE SPECJALIZOWANYCH APLIKACJI DO TWORZENIA GRAFIKI TRÓJWYMIAROWEJ

USING APPLICATIONS DESIGNED TO PRODUCE 3D GRAPHICS

Mając obraz radarowy zapisany jako wektor trójwspółrzędny, w celu stworzenia wizualizacji trójwymiarowej możemy skorzystać z odpowiednich bibliotek graficznych. Pozwalają one

Having a radar image recorded as a three-coordinate vector, to generate a 3D display we can make use of appropriate graphics libraries. They allow coding 3D graphics applications

na kodowanie trójwymiarowych aplikacji graficznych działających pod kontrolą systemu operacyjnego. Przykładem takich bibliotek są OpenGL (*Open Graphics Library*) lub powszechnie znana biblioteka w systemie Windows Direct3D (część DirectX). Biblioteki te są przykładami uniwersalnego API (*Application Programming Interface*) do generowania grafiki umożliwiającej budowanie złożonych trójwymiarowych scen z podstawowych figur geometrycznych.

Technologię tę wykorzystano podczas realizacji projektu badawczego KBN pt. „Wielowymiarowe zobrazowanie okrętowego radaru nawigacyjnego do detekcji obiektów o niskiej wykrywalności” (nr 0537/B/T00/2009/37). Główne elementy projektu oparto na aplikacji komputerowej z zaimplementowanym modelem tworzenia wielowymiarowego sygnału wizyjnego pochodzącego z radaru nawigacyjnego generowanego na podstawie danych pozyskanych z rejestracji sygnałów wizyjnych oraz danych ENC. Aplikacja została opracowana w zintegrowanym środowisku rozwoju aplikacji C++ Builder 6.0. Pracuje pod kontrolą systemu operacyjnego Windows NT i XP przy wykorzystaniu interfejsu programowego biblioteki graficznej OpenGL [2, 3].

Proces generowania trójwymiarowego zobrazowania radarowego odbywa się w czterech podprocesach:

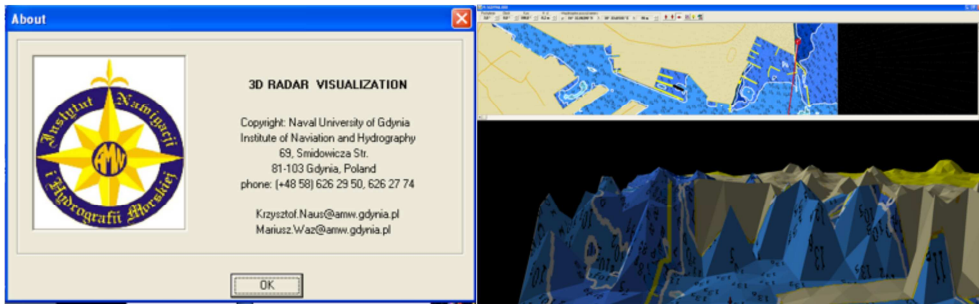
functioning under the control of an operational system. OpenGL (Open Graphics Library) or Windows Direct3D (part DirectX) are examples of such libraries. These libraries are an example of the Application Programming Interface (API) generate graphics which can be used to build complex 3D scenes from basic geometrical figures.

This technology was used to execute a KBN research project titled: ‘Multi-dimensional display of shipboard navigational radar to detect objects of low detection rate’ (No 0537/B/T00/2009/37). The main elements of the project are based on a computer application. A model for creating a 3D signal display obtained from a navigational radar generated from data obtained from display signal recordings and ENC data is implemented in the application. The application was created in C++ Builder 6.0, an integrated environment used to develop applications. It works under the control of Windows NT and XP using the Open graphic Library (OpenGL) programming interface [2, 3].

The process of generating 3D radar displays consists of four sub-processes:

- geometric modeling of a 3D radar display;
- modeling proper material;
- modeling lighting;

- modelowania geometrycznego wielowymiarowego obrazu radarowego;
 - modelowania właściwości materiału;
 - modelowania oświetlenia;
 - zobrazowania na ekranie monitora wymodelowanej trójwymiarowej powierzchni wielowymiarowego obrazu radarowego w dynamicznym odwzorowaniu perspektywicznym.
- displaying, on a screen, a modeled 3D surface of a multidimensional radar image in dynamic perspective representation.



Rys. 3. Program do wizualizacji zobrazowania radarowego 3D

Fig. 3. Software for generating a 3D radar display

Modelowanie geometryczne wielowymiarowego zobrazowania radarowego

Trójwymiarowe zobrazowanie radarowe generowane jest na podstawie danych pozyskanych z rejestracji rzeczywistych radarowych sygnałów wizyjnych. Dane pomiarowe są przechowywane w plikach tekstowych w postaci wektorów opisanych współrzędnymi geograficznymi każdego punktu pomiarowego oraz wartością napięcia sygnału wizyjnego. Na podstawie tych danych ustala się przestrzenne położenie punktów węzłowych siatki kwadratów elipsoidalnych opisującej numeryczny model „powierzchni obrazu radarowego”.

Geometrical modeling of a multidimensional radar display

A 3D radar display is generated from data obtained from recordings of real visual radar signals. Measurement data is stored in text files in the form of vectors described with geographical coordinates of each measurement point and the value of display signal voltage. This data is used to determine the spatial location of nodes in an ellipsoidal square grid describing the numerical model of 'radar image surface'. The main parameters of each node in this grid, necessary to determine its spatial location, are: ellipsoidal coordinates and the display

Zasadniczymi parametrami każdego węzła tej siatki, niezbędnymi do wyznaczenia jego przestrzennego położenia, są: współrzędne elipsoidalne i wartość sygnału wizyjnego. Wartość wzmocnienia sygnału radarowego w węźle wyznaczana jest w wyniku interpolacji (w prototypie zastosowano interpolację metodą odwrotnych odległości) wartości wzmocnienia (napięcia) sygnału wizyjnego wyznaczonych w punkcie węzłowym lub w pobliżu niego.

Parametry ustawialne przez operatora to:

- rozdzielczość — odpowiada za rozmiar „oczka” siatki;
- skala parametru — odpowiada za wzmocnienie sygnału wizyjnego w węźle siatki;
- parametr metody i stopień wygładzania — współczynniki ustawialne w zastosowanej metodzie interpolacyjnej odwrotnych odległości;
- liczba punktów do interpolacji — określa maksymalną liczbę najbliższych punktów wziętych do interpolacji.

W kolejnym etapie przetwarzania siatki kwadratów elipsoidalnych współrzędne elipsoidalne węzłów i wyinterpolowane w nim wartości radarowego sygnału wizyjnego transformowane są do geocentrycznego układu odniesienia. Tak przygotowany model geometryczny wykorzystywany jest bezpośrednio w czasie wizualizacji.

signal magnitude. The value of the signal enhancement in a node is determined as a result of interpolation (the distance weighted interpolation was used in the prototype) of display signal (voltage) enhancement magnitudes determined in the node or in its proximity.

Parameters set by an operator are:

- resolution — responsible for the size of a mesh in a grid;
- parameter scale — responsible for visual signal enhancement in a grid node;
- parameter of method and degree of smoothing — coefficients settable in the distance weighed interpolation method utilized;
- number of points for interpolation — determines the maximum number of closest points used in interpolation.

At the next stage of transforming an ellipsoidal square grid, ellipsoidal coordinates of nodes and the values of radar display signal interpolated in it are transformed into a geocentric reference system. A geometrical model prepared this way is used directly in the course display.

Modeling properties of material

Modeling properties of radar display surface material consists in determining the type of texture covering it and its properties with respect to the

Modelowanie właściwości materiału

Modelowanie właściwości materiału powierzchni zobrazowania radarowego polega na określeniu rodzaju pokrywającej go tekstury oraz jego właściwości [1, 3, 6]: refleksyjnych w odniesieniu do źródeł światła, emisji własnego światła oraz stopnia połyskliwości.

Powierzchnię obrazu radarowego pokryto teksturą klasycznej, „płaskiej” morskiej mapy nawigacyjnej. Zdecydowano się na to z dwóch powodów. Po pierwsze opracowana aplikacja nie ma możliwości pozyskiwania zobrazowania radarowego ze wskaźnika radaru nawigacyjnego. W trakcie badań dokonywano przede wszystkim rejestracji pierwotnego sygnału wizyjnego. Rejestracja zobrazowania radarowego wymuszałaby opracowanie metody powiązania tych sygnałów z rejestrowanym na poziomie wskaźnika rastrowym obrazem radarowym. Do tego celu proponuje się stosować specjalizowane karty PC RadarKit. W trakcie badań rejestrowano rastrowy obraz radarowy. Służył on do zgrubnego wykrywania różnic w wizualizacji informacji radarowej. Rejestracje nie były zsynchronizowane. Kolejny powód nakładania tekstury mapowej na obraz radarowy to ewentualne jego porównanie z mapą. W strefie przybrzeżnej nabiera to szczególnego znaczenia. Widoczne są elementy

reflective light sources, light emitting property and the degree of its gloss [1, 3, 6].

The radar display surface was covered with a superimpose background of a classical ‘flat’ navigational chart. There were two reasons for making this decision. Firstly, the application developed does not offer the possibility to acquire a radar display from a navigational radar indicator. During the investigations it was the original signal that was recorded first. To record a radar display would require developing a method for combining these signals with the radar raster display recorded at the indicator level. To this end it is suggested that specialized PC RadarKit cards be used (see chapter. 2). In the course of investigations the radar raster image was recorded. It was used to detect rough differences in the display information. The recordings were not synchronized. The other reason for superimposing the map background on the radar image was the possibility to compare the image with the chart. It is of special importance in the off-shore area. Land-based elements, which should generate a strong radar echo, are visible. This method of presenting the ‘shape’ of a radar display allows easier identification of off-shore objects. The texture does not have much importance on the open sea. It should be expected that points of

ładowe, które powinny generować silne echo radarowe. Taki sposób prezentowania „kształtu” obrazu radarowego pozwala na łatwiejszą identyfikację obiektów strefy brzegowej. Na otwartym morzu tekstura nie ma większego znaczenia. Należy oczekiwać, że w miejscu wzniesień na obrazy radarowym znajduje się obiekt generujący echo radarowe.

Właściwości materiału określono w ten sposób, żeby emitował własne światło, dla światła otoczenia i rozproszonego odbijał głównie światło niebieskie, absorbował całe światło odbłyśków i w żadnych warunkach nie był lśniący. W tabeli poniżej przedstawiono ustalone parametry modelowania właściwości materiału.

elevation in the radar display represent objects generating radar echo. The properties of the material were chosen according to the following criteria: it must emit its own light, in the case of ambient and diffused light it must reflect mainly blue light, absorb all reflected specular light and under no conditions can it be glossy.

Tabela 1. Właściwości materiału pokrywającego powierzchnię dna morskiego
Table 1. Properties of material covering sea bottom surface

Właściwość materiału Properties of material	Składowe koloru 32-bitowego Components of 32-bit color		
	Czerwony Red	Zielony Green	Niebieski Blue
Odbijanie światła otoczenia Reflecting ambient light	130	241	255
Rozpraszanie światła padającego Diffusing surface striking light	130	241	255
Intensywność światła emitowanego Intensity of emitted light	0	44	90
Intensywność światła odbłyśków Intensity of specular light	0	0	0
Stopień połyskliwości Degree of gloss	0	0	0

Modelowanie oświetlenia

Modelowanie oświetlenia polega na określeniu trzech różnych rodzajów światła [1, 3, 6]:

- otaczającego (*ambient*), padającego jednakowo na wszystkie powierzchnie ze wszystkich kierunków;
- rozproszonego (*diffuse*), którego promienie rozchodzą się równomiernie we wszystkich kierunkach z jednego punktu;
- odbłyску (*specular*), odbijającego się od powierzchni w sposób lustrzany.

Właściwości globalnego światła otoczenia ustala się, określając jego intensywność składowymi koloru RGB. Natomiast właściwości światła rozproszonego ustala się, podając parametry przyjętego w modelu pojedynczego światła pozycyjnego. Parametrami tymi są: współrzędne pozycji źródła światła, wektor padania światła, właściwości światła pozycyjnego (tj. intensywność, stopień skupienia, stała tłumienia, wielkość, tłumienie liniowe i kwadratowe).

Zobrazowywanie wielowymiarowe obrazu radarowego

Zobrazowanie na ekranie monitora wymodelowanej trójwymiarowej powierzchni obrazu radarowego, a ściślej powierzchni reprezentującej napięcia

Modeling lighting

Modeling lighting consists in determining three different kinds of light [1, 3, 6]:

- ambient light, striking uniformly all surfaces from all directions;
- diffuse light, whose rays travel uniformly in all directions from one point;
- specular light, reflecting from the surface as from a mirror.

The properties of global ambient light are set by determining its intensity with components of RGB color. The properties of diffuse light are set by giving parameters of the single position light adopted in the model. These parameters are: position coordinates of light source, light striking vector, properties of position light (i.e. intensity, degree of concentration, damping constant, linear and square damping magnitude).

Displaying a 3D radar image

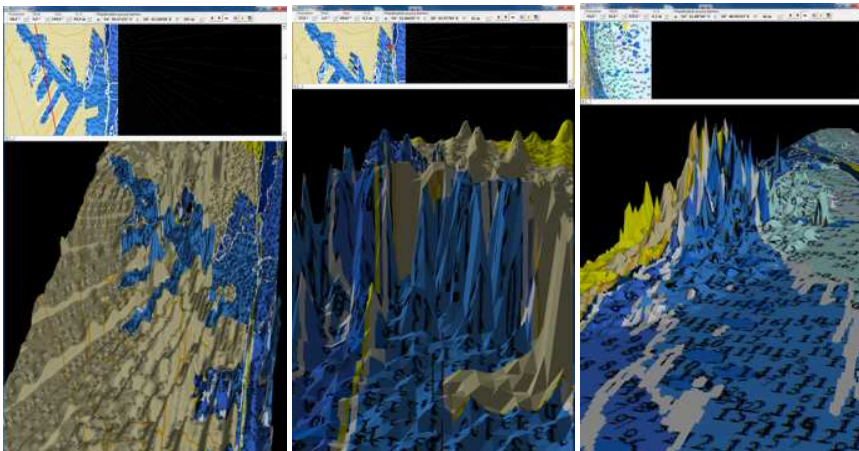
Displaying a modeled, three dimensional surface of a radar image on a screen, to be more precise a surface representing voltages of a radar visual signal, in a dynamic perspective representation, is done for specific projection parameters and camera movement parameters. These parameters are: position of (camera) observer in

radarowego sygnału wizyjnego w dynamicznym odwzorowaniu perspektywicznym, realizowane jest dla określonych parametrów rzutowania oraz parametrów ruchu kamery. Parametrami tymi są: pozycja obserwatora (kamery) względem geocentrycznego układu odniesienia opisana współrzędnymi ortokartezjańskimi, orientacja kamery opisana kątami orientacji przestrzennej: przechylenia, pochylenia i odchylenia, prędkość i kurs przemieszczającej się kamery.

Zaletą takiego zobrazowania jest to, że operator może dowolnie obracać zobrazowanie we wszystkich kierunkach. Kamera może zbliżyć się do każdego elementu zobrazowania radarowego i dokonywać jego analizy z dowolnego punktu obserwacji. Należy operować wówczas kątami pochylenia, obrotu oraz wysokością kamery nad poziomem morza.

geocentric reference system described with orto-Cartesian coordinates, camera orientation described with spatial orientation angles: tilt, inclination and deflection, speed and course of moving camera.

The advantage of such a display are that an operator can rotate the display in all directions. He can use the camera to close up on each and every element of the radar display and analyze it from any point of observation. Doing this, it is necessary to make use of inclination and rotation angles, and elevation of camera above the sea level.

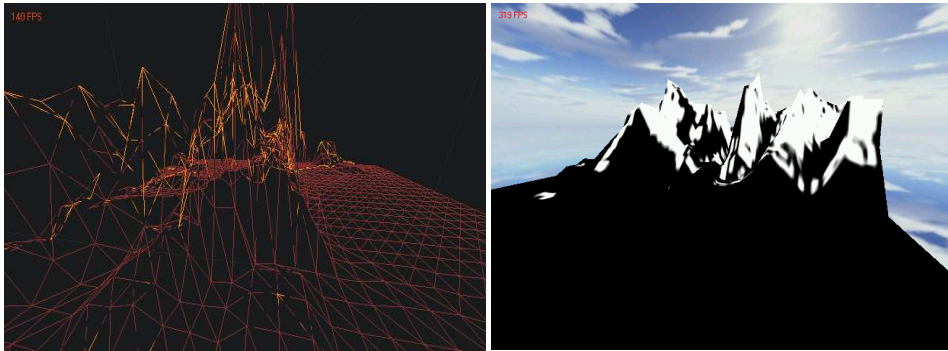


Rys. 4. Przykładowe wizualizacje wielowymiarowego zobrazowania radarowego

Fig. 4. Examples of radar 3D displays

Na potrzeby opisywanego projektu badawczego wykorzystywano także wspomnianą bibliotekę DirectX. Proces tworzenia obrazów 3D w tej technologii jest analogiczny jak w przypadku OpenGL. Poniżej zaprezentowano etapy tworzenia takiego zobrazowania. W pierwszej kolejności powstała regularna siatka trójkątów, na którą naniesiono teksturę bitmapy obrazu radarowego zarejestrowanego za pomocą specjalizowanej karty PC RadarKit.

For the purposes of the research project the already mentioned library DirectX was used. The process of generating 3D images in this technology is analogous to that of OpenGL. Below are the stages of generating such a display. First a regular grid of triangles was created. Then the specialized PC RadarKit card was used to superimpose the radar image bitmap texture on the grid.



Rys. 5. Obraz radarowy przedstawiony jako regularna siatka trójkątów oraz po nałożeniu tekstuury

Fig. 5. Radar display presented as a regular triangle grid and after superimposition of texture

Źródło / Source: M. Wąz, 3D Picture display for navigation radar, 'Annual of Navigation', 2006, No 11; M. Wąz, K. Naus, Trójwymiarowa wizualizacja informacji radiolokacyjnej, 'Logistyka', 2011, No 6, pp. 3878–3886 (3D display of radar data — available only in Polish); M. Wąz, T. Stupak, Amplitude detection of weak radar signal, Barcelona 5th The International Congress on Maritime Technological Innovations and Research Barcelona, 2007; M. Wąz, T. Stupak, A. Szklarski, Multidimensional presentation of radar image. Advances in marine navigation and safety of sea transportation, ed. A. Weintrit, Gdynia Maritime University, 2007.

Reprezentacje trójwymiarowych obrazów radarowych zbudowanych w tych technologiach są porównywalne, co dowodzi szerokich możliwości zamiennego stosowania do tych celów obu dynamicznych bibliotek.

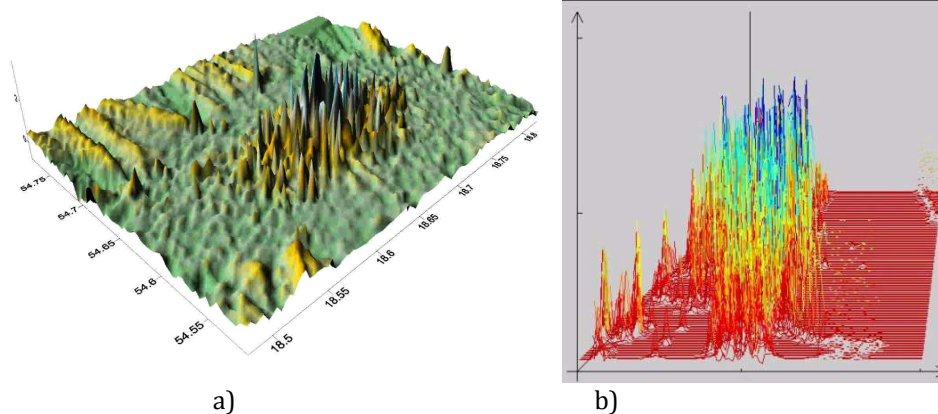
Representations of 3D radar images built with these technologies are comparable, which proves the wider possibilities of using both these two libraries interchangeably for these purposes.

Inne techniki wizualizacji trójwymiarowych obrazów radarowych

Do wyświetlania obrazu radarowego w postaci trójwymiarowej mogą posłużyć także ogólnie dostępne aplikacje do modelowania powierzchni wielowymiarowych. Poniżej zaprezentowano obraz radarowy wyświetlony w programie Surfer oraz w autorskim programie do wizualizacji danych przestrzennych „Echogram” (radarowych, sonarowych itp.) [8].

Other techniques of displaying radar 3D images

To display a radar image in a 3D form generally the available applications for multidimensional surface modeling can be used. A radar image displayed in the program Surfer and in the author's program for displaying spatial data 'Echogram' (radar, sonar, etc.) is presented below [8].



Rys. 6. Trójwymiarowa wizualizacja obrazu radarowego za pomocą programu Surfer (a) oraz „Echogram” (b)

Fig. 6. 3D display of a radar image generated with the program Surfer (a) and 'Echogram' (b)

Źródło / Source: M. Wąż, 3D Picture display for navigation radar, 'Annual of Navigation', 2006, No 11.

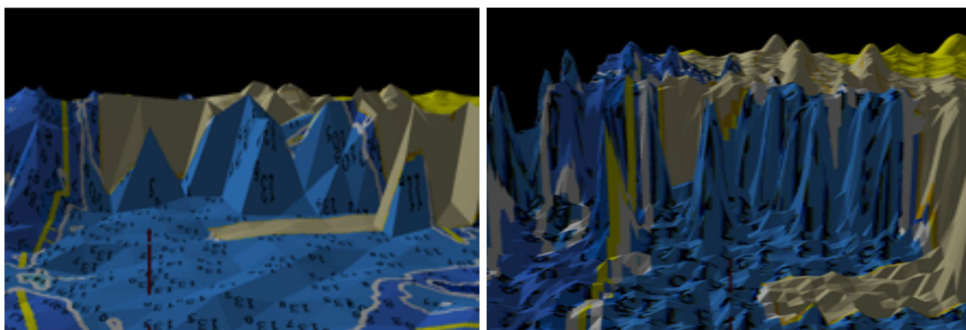
Powyższe zobrazowania cechują się tym, że można dowolnie obracać obraz, przybliżać i analizować każdą zmianę powierzchni.

The characteristics of the displays above are that an image can be freely rotated, closed up, and each surface analyzed.

WNIOSKI

Wszystkie opisane tu zabiegi doprowadziły do powstania narzędzia umożliwiającego dokonywanie szeregu analiz i porównań jakości zobrazowania radarowego 3D z tożsamym wyświetlanym na wskaźniku radarowym. Dobierając parametry interpolacji, w czasie wczytywania zobrazowania do systemu operator ma możliwość uszczegółowienia obrazu, złagodzenia wpływu zakłóceń na wartości sygnału w węzłach siatki grid.

Mała rozdzielczość i optymalna liczba punktów do interpolacji powierzchni uszczegóławia zobrazowanie radarowe. Przedstawione jest to na poniższym rysunku.



Rys. 7. Modyfikacje wielowymiarowego zobrazowania radarowego

Fig. 7. Radar 3D display modification

Programowa implementacja nowo opracowanego modelu trójwymiarowego zobrazowania radarowego i przedstawienie go zgodnie ze standardami tworzenia zobrazowania w ENC jest niezwykle złożoną operacją.

CONCLUSIONS

All the actions presented above have led to the development of a tool allowing several analyses and quality comparisons of a 3D display with the corresponding one displayed on the radar indicator. When choosing interpolation parameters, in the course of uploading a display into the system, an operator can make the display more detailed; lower the interference effect on the signal value in the grid nodes.

Low resolution and optimal number of points for surface interpolation make a radar image more detailed. This is presented in the figure below.

Software-focused implementation of a newly developed model of radar 3D display and its presentation in accordance with display standards in NEC is an extremely complex operation. It requires, for the purposes of

Wymaga opracowania na potrzeby modelowania geometrycznego bardzo skomplikowanych funkcji transformujących dane geometryczne i opisowe zakodowane zgodnie ze standardem S-57 do postaci macierzowej reprezentowanej siatką kwadratów elipsoidalnych i teksturę „płaskiej” morskiej mapy nawigacyjnej w odwzorowaniu Merkatora. Konieczne było stworzenie funkcji narzędziowych do modelowania właściwości materiału i oświetlenia powierzchni trójwymiarowego modelu obrazu radarowego. Wymagało to także zastosowania przekształceń geometrycznych w przestrzeni 3D w celu wyznaczenia miejsca położenia i orientacji przestrzennej, tzw. kamery, a w czasie wizualizacji wymodelowanego zobrazowywania w dynamicznym odwzorowaniu perspektywicznym (na ekranie logicznym i fizycznym monitora).

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Andrzejewski P., Kurzak J., *Wprowadzenie do OpenGL*, Wydawnictwo KWANTUM, Warszawa 2000 (*Introduction to OpenGL — available only in Polish*).
- [2] Daniluk A., *C++Builder Borland Developer Studio 2006. Compendium programisty*, Wydawnictwo Helion, Warszawa 2006 (*C++Builder Borland Developer Studio 2006. Compendium for a programmer — available only in Polish*).
- [3] Kilgard M. J., *The OpenGL Utility Toolkit Programming Interface API, Version 3.0*, Silicon Graphics, Inc. 1996.
- [4] 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.
- [5] Naus K., *Zastosowanie dynamicznego odwzorowania perspektywicznego do zobrazowania*

- elektronicznej mapy nawigacyjnej* (rozprawa doktorska / dissertation), AMW, Gdynia 2003 (*Use of dynamic perspective representation in electronic navigational chart display — available only in Polish*).
- [6] Neider J., Davis T., Woo M., *OpenGL Guide*, Addison-Wesley, 1993.
- [7] Nowak D., Wąż M., *Wektorowa mapa radarowa a komputerowe zobrazowanie sytuacji nawigacyjnej*, 'Transport', 2003, No 1, Politechnika Radomska 2003 (*Vector-based radar map — a computer based display of navigational situation — available only in Polish*).
- [8] Wąż M., *3D Picture display for navigation radar*, 'Annual of Navigation', 2006, No 11, Gdynia 2003.
- [9] Wąż M., Naus K., *Trójwymiarowa wizualizacja informacji radiolokacyjnej*, 'Logistyka', 2011, No 6, pp. 3878–3886 (*3D display of radar data — available only in Polish*).
- [10] Wąż M., Naus K., *Zgrywanie obrazu radarowego z mapą morską metodą wyrównania*, 'Logistyka', 2010, No 2 (*Matching radar images with navigational chart with leveling method — available only in Polish*).
- [11] Wąż M., Naus K., Nowak A., *Metody wizualizacji trójwymiarowego zobrazowania radarowego*, 'Technika Transportu Szynowego', 2012, No 9, pp. 3741–3750 (*Methods used to display radar 3D images — available only in Polish*).
- [12] Wąż M., Nowak D., *Wektorowy obraz radarowy*, VI Międzynarodowe Sympozjum Nawigacyjne (6th The International Symposium Navigation), AM, Gdynia 2005, pp. 271–276 (*Vector radar image — available only in Polish*).
- [13] Wąż M., Stupak T., *Amplitude detection of weak radar signal*, Barcelona 5th The International Congress on Maritime Technological Innovations and Research Barcelona, 2007.
- [14] Wąż M., Stupak T., Szklarski A., *Multidimensional presentation of radar image. Advances in marine navigation and safety of sea transportation*, ed. A. Weintrit, Gdynia Maritime University, 2007.