



Zastosowanie techniki HDR do obrazów pozyskiwanych z sektorowego sonaru skanującego

JAROSŁAW DUDA

Akademia Morska, Wydział Mechaniczny, 70-500 Szczecin,
Wały Chrobrego 1/2, j.duda@am.szczecin.pl

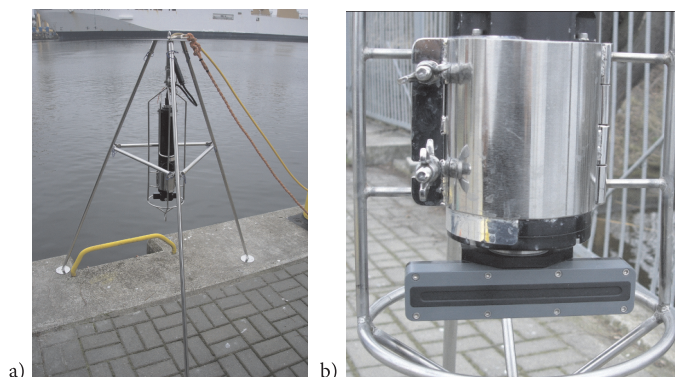
Streszczenie. Obrazy pozyskiwane za pomocą sonarów sektorowych mają często ograniczoną głębokość bitową do ośmiu bitów. Powoduje to szereg restrykcji związanych z percepcją obrazów sonarowych, jak również z późniejszym ich przetwarzaniem. W artykule przedstawione zostały badania związane z zastosowaniem techniki uzyskiwania obrazów o szerokim zakresie tonalnym (*High Dynamic Range*) do obrazów sonarowych. Zastosowanie techniki HDR pozwala na zwiększenie ilości informacji przenoszonej przez obraz sonarowy i brak konieczności wyboru między lepszą reprezentacją dna czy też obiektów się na nim znajdujących.

Słowa kluczowe: przetwarzanie obrazów, obraz sonarowy, sonar skanujący, histogram, wzmocnienie sygnału, rozróżnialność obiektów, HDR

1. Wstęp

Obrazy sonarowe mają duże zastosowanie w obrazowaniu dna akwenów. Pozwalają też na poszukiwanie obiektów znajdujących się na dnie. Częste stosowanie sonarów do tego typu zastosowań jest spowodowane zbyt małą widocznością w wodzie przy zastosowaniu urządzeń pracujących w zakresie fal światła widzialnego, takich jak np. kamery. Jedynym urządzeniem, które pozwala na zobaczenie tego, co znajduje się pod wodą, jest w takim przypadku sonar. Urządzenie to ma szerokie zastosowanie i jest często stosowane do obrazowania informacji o dnie, jak również do prowadzenia poszukiwań różnych obiektów, np.: wraków statków, samochodów, topielców itp.

Zasięg sonaru jest uzależniony od częstotliwości sygnału akustycznego. Im wyższa częstotliwość, tym mniejszy zasięg, ale lepsza rozdzielczość obrazu sonarowego pozwalająca na zaobserwowanie małych obiektów.



Rys. 1. System sonarowy MS1000: a) głowica skanująca na trójnogu; b) przetwornik; c) interfejs oraz stacja operatorska (źródło: opracowanie własne, Hydrograf XXI)

Do pozyskiwania obrazów sonarowych użytych do uzyskania obrazów HDR wykorzystany został system sonarowy MS1000 w trybie skanowania we współrzędnych biegunowych. W trybie tym przetwornik umieszczony w głowicy sonaru (rys. 1b) wykonuje pełny obrót o kąt 360° , co pozwala na uzyskanie obrazu sonarowego przypominającego obraz radarowy (rys. 2a). System sonarowy MS1000 składa się z głowicy skanującej, interfejsu wraz z zasilaczem oraz stacji operatorskiej (rys. 1).

Sonar pracuje z częstotliwością 675 kHz i pozwala na uzyskanie zasięgu od 0,5 m do 100 m. Głowica jest przystosowana do pracy na głębokości do 3000 m i może być umieszczawiana na dnie akwenu wodnego na trójnogu pokazanym na rysunku 1a. Głowica jest wyposażona w kompas, który umożliwi określenie kierunku „widzenia” sonaru.

Interfejs/zasilacz sonaru MS1000 przedstawiony na rysunku 1c (z lewej strony) służy do podłączenia głowicy sonaru do stacji operatorskiej oraz do doprowadzenia do niej zasilania. Dane z głowicy przesyłane są z zastosowaniem transmisji szeregowej zgodnie ze standardem RS485 lub RS232. Rodzaj transmisji jest wybierany automatycznie. Interfejs daje też możliwość podłączenia stacji operatorskiej za pomocą złącza USB.

Stacja operatorska wyposażona jest w oprogramowanie pozwalające oglądać na bieżąco obrazy rejestrowane przez sonar. Możliwa jest też modyfikacja parametrów pracy poszczególnych elementów systemu sonarowego, w którego skład mogą wchodzić dodatkowe głowice sonarowe, jak również altimetry do pomiaru głębokości i inne czujniki.

W systemie sonarowym MS1000 można wpływać na uzyskiwany obraz sonarowy poprzez modyfikację wielu parametrów. Jednym z nich jest wzmocnienie, które występuje zarówno od strony nadajnika jak i odbiornika.

Sygnal odbierany przez odbiornik jest korygowany przez zasięgową regulację wzmocnienia (TVG, ang. *Time Varying Gain*), zwiększając jego wzmocnienie

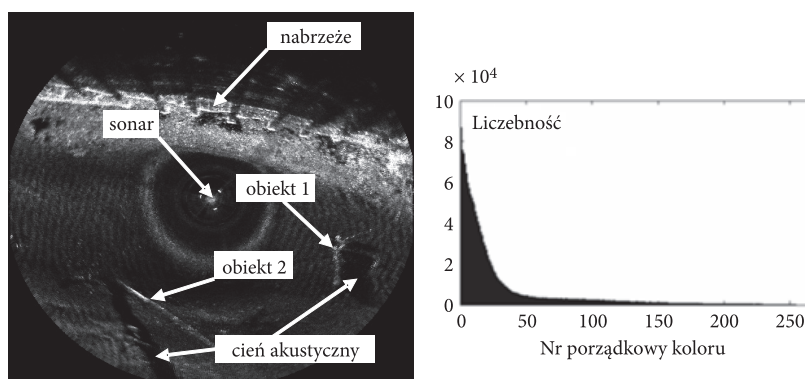
w funkcji czasu (odległości) w celu skompensowania strat propagacyjnych występujących w ośrodku wodnym.

Poza wzmocnieniem TVG system sonarowy MS1000 umożliwia dodatkową obróbkę obrazu sonarowego poprzez inne rodzaje wzmocnienia odbiornika [8]:

- automatyczna regulacja wzmocnienia (AGC, ang. *Automatic Gain Control*) — reguluje wzmocnienie podczas odbioru ech od każdego impulsu nadawczego tak, aby utrzymać nominalny poziom sygnału. Przednie zbocza sygnału echa od celów są tym samym najbardziej widoczne, podczas gdy tylne zbocza zanikają;
- wzmocnienie sterowane rewerberacją (RCG, ang. *Reverberation Controlled Gain*) — wykorzystuje do regulacji wzmocnienia uśredniony poziom sygnału odbieranego w wyniku wysłania pewnej liczby impulsów nadawczych; daje to efekt zwiększonego wzmocnienia przy niewielkich zakłóceniach i mniejszego wzmocnienia w warunkach silnych zakłóceń;
- połączenie obu poprzednich (RCG i AGC).

Opuszczany na dno akwenu wodnego sektorowy sonar skanujący umożliwia oglądanie dna w promieniu kilkudziesięciu metrów od jego posadowienia. Odległość ta jest uzależniona od doboru parametru „zakresu” (*range*) w programie obsługi sonaru. Ze względu na umiejscowienie głowicy sonaru blisko dna cienie akustyczne powstałe od znajdujących się na nim obiektów są znacznie dłuższe niż ma to miejsce w przypadku sonaru bocznego. Dzięki temu można dokładniej oglądać szczególnie małe obiekty, gdyż cień powstały od dużych obiektów może zasłaniać inne obiekty.

W czasie wykonywania rejestracji jakimkolwiek sonarem operator musi zawsze dobrać odpowiednie wzmocnienie sygnału akustycznego generowanego przez sonar, tak aby odebrany sygnał odbity pozbawiony był dodatkowych zniekształceń, które odzwierciedlone zostaną na obrazie sonarowym. Wartość wzmocnienia jest ustawiana w programie obsługi sonaru za pomocą parametru „Gain”.

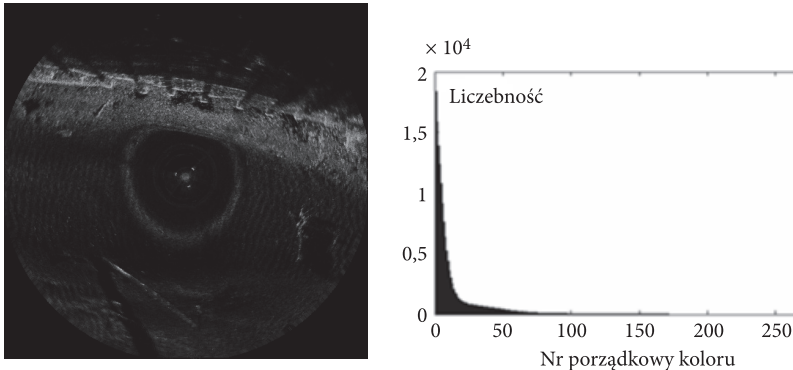


Rys. 2. Obraz sonarowy i jego histogram zarejestrowany z typowym wzmocnieniem (źródło: opracowanie własne na podstawie danych z jednostki Hydrograf XXI)

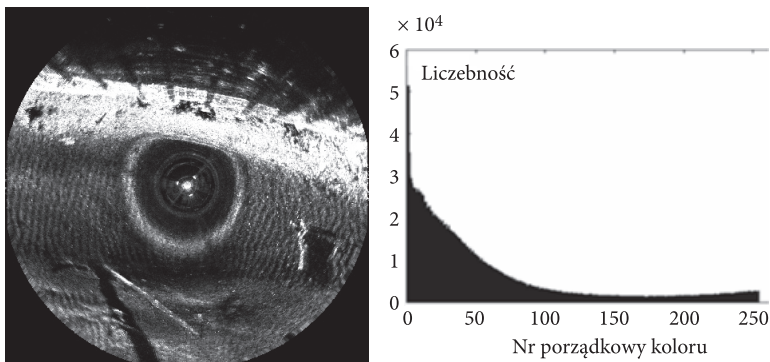
Zgodnie z instrukcją do sonaru MS1000, w celu uzyskania wyraźnego obrazu obiektu, należy ustawić odpowiedni zakres zasięgu (*Range*) oraz odpowiednie wzmocnienie (*Gain*). Przy tym samym zakresie zasięgu zastosowanie zbyt dużego poziomu wzmocnienia powoduje utratę ostrości celów oraz nasycenie odbiornika i ograniczanie przez to sygnału. Przy tym samym poziomie wzmocnienia większy zasięg daje na wyświetlanym obrazie więcej szumów niż mniejszy zasięg [8].

Wartość wzmocnienia odpowiada więc za „widzialność” oraz rozróżnialność obiektów rejestrowanych przez sonar (rys. 3 i 4). Błędne dobranie tego parametru może uniemożliwić późniejszą analizę obrazu sonarowego i konieczność ponownego wykonania rejestracji.

Dodatkowe utrudnienie stanowi wąska szerokość bitowa obrazów rejestrowanych przez sonar. Skutkuje to niewielką ilością wartości pozwalających na zobrazowanie informacji sonarowej. Umieszczenie większości punktów histogramu



Rys. 3. Obraz sonarowy z rysunku 2 i jego histogram zarejestrowany z za małym wzmocnieniem (źródło: opracowanie własne na podstawie danych z jednostki Hydrograf XXI Akademii Morskiej w Szczecinie)



Rys. 4. Obraz sonarowy z rysunku 2 i jego histogram zarejestrowany z za dużym wzmocnieniem (źródło: opracowanie własne na podstawie danych z jednostki Hydrograf XXI Akademii Morskiej w Szczecinie)

z jego lewej strony poprawia właściwości percepcyjne dla oka ludzkiego. Z drugiej strony zbyt mała liczba wartości z jego prawej strony stapia obiekty z dnem.

Sonar sektorowy daje możliwość obserwacji dna bez konieczności przemieszczania się jednostki pływającej, wymaganego przy stosowaniu sonaru bocznego.

Sonar sektorowy umieszczony na dnie akwenu umożliwia więc wielokrotne wykonywanie rejestracji tego samego obszaru bez konieczności przemieszczania się. Z tego powodu możliwe jest uzyskanie obrazów o szerokim zakresie tonalnym, do wykonania których konieczne jest kilkukrotne zarejestrowanie tego samego obszaru, co w tym przypadku nie stwarza żadnych przeszkód i nie zajmuje dużo więcej czasu. Obrazy HDR stosowano dotychczas głównie w fotografii. W artykule zaproponowano po raz pierwszy zastosowanie tego typu obrazów dla rejestracji sonarowych.

2. Sonarowe obrazy LDR

Obrazy rejestrowane przy pomocy sonaru mają najczęściej ośmiobitową głębokość bitową, co oznacza że posiadają niską dynamikę (ang. *Low Dynamic Range Image* — LDR). W celu wyświetlenia obrazu sonarowego należy tak jak dla zdjęć monochromatycznych zdefiniować tzw. mapę kolorów. W fotografii najczęściej stosuje się tzw. mapę odcieni szarości. Mapa kolorów przypisuje każdej wartości punktu obrazu odpowiedni kolor. Z tego powodu mówienie o konkretnym kolorze nie jest jednoznaczne i wygodniej jest stosować np. pojęcie nr porządkowego koloru. W oprogramowaniu do sonaru MS1000 jest zdefiniowanych kilka map kolorów, które można wykorzystywać podczas przeglądania obrazów sonarowych. Program pozwala też na definiowanie własnych map kolorów.

Rozkład punktów histogramu uzyskiwanego na podstawie obrazu sonarowego o ośmiobitowej głębokości jest przesunięty bardzo w lewą stronę (rys. 2). Skutkuje to dobrą widocznością dna, ale słabą rozróżnialnością znajdujących się na nim obiektów. Jediną możliwością poprawienia histogramu podczas pomiarów jest manipulacja wzmocnieniem sygnału akustycznego generowanego przez sonar (rys. 3 i 4). Wzmacnianie sygnału akustycznego skutkuje jednak pojawieniem się dodatkowych zniekształceń, szczególnie od obiektów znajdujących się najbliżej źródła sygnału akustycznego, jak również od samego źródła (rys. 4). Przy zbyt wysokim wzmocnieniu w rezultacie można uzyskać niewyraźny obraz. Sytuację taką można zaobserwować na rysunku 4. Mimo że obraz wydaje się wyraźniejszy niż ten z rysunku 2, to zbyt duże wzmocnienie spowodowało pogorszenie obrazu, szczególnie w pobliżu źródła sygnału akustycznego. Jeżeli obiekty byłyby mniejsze od prezentowanych, to nie będzie ich można odróżnić od dna.

Sama zmiana wzmocnienia nie daje jednak zadowalających rezultatów. Dlatego też należy zastosować inne podejście, które pozwoli na uzyskanie histogramu z wartościami również w jego prawej części.

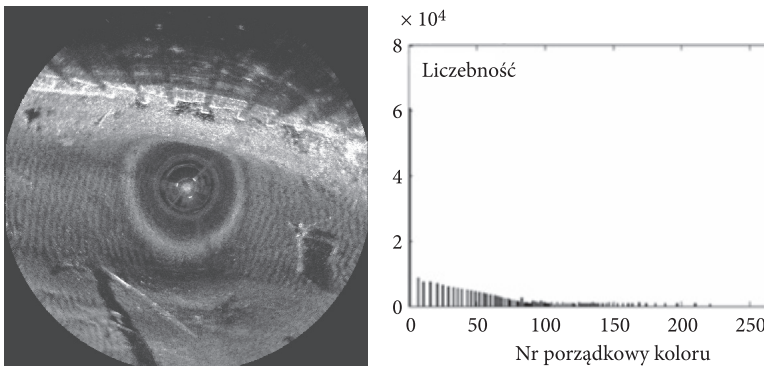
Jedyną możliwością polepszenia percepcji obrazu sonarowego o niskim poziomie dynamiki bez powtarzania rejestracji sonarowych jest zastosowanie metod przetwarzania obrazów.

Ze względu na występowanie wartości jasności w sonarowych obrazach LDR z lewej strony histogramu zastosowano operację wyrównania histogramu. Jest ona transformacją funkcji jasności obrazu w taki sposób, aby jej nowe wartości były maksymalnie wyrównane. Inaczej mówiąc, operacja wyrównania histogramu polega na obliczeniu histogramu dla obrazu. Na jego podstawie wyliczana jest średnia wartość ilości punktów w przedziałach jasności. Następnie na podstawie wartości średniej obliczane są nowe wartości histogramu dla poszczególnych poziomów jasności tak, aby ilość punktów w każdym przedziale była taka sama. W rzeczywistości jednak nie da się osiągnąć takiej samej ilości punktów we wszystkich przedziałach jasności, należy więc uzyskać jak najbardziej równomierne rozłożenie punktów w przedziałach.

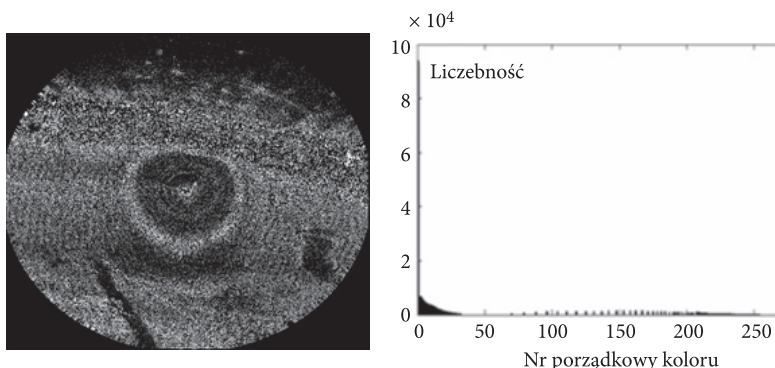
W efekcie wzrasta różnica między punktami o wartościach często występujących na obrazie, zwiększając jego wyrazistość oraz jasność. Natomiast punkty o wartościach rzadziej występujących są ze sobą utożsamiane. Powoduje to jednak utratę części informacji poprzez zmniejszenie ilości przedziałów, spowodowane przemieszczeniem punktów do pozostałych przedziałów [14].

Utrata ta uzależniona jest od zastosowanego algorytmu przydziału nowych wartości dla punktów. Istnieje kilka metod wyrównania histogramu. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono rezultaty wybranych metod. Na rysunku 5 można zauważyć poprawę jasności oraz rozróżnialności szczegółów. Natomiast na rysunku 6 widać, że ta metoda wyrównania histogramu spowodowała dodatkowe silne zniekształcenie obrazu sonarowego mimo poprawy histogramu.

Porównując histogramy z rysunków 4 i 5, można zauważyć, że histogram uzyskany za pomocą algorytmu jego wyrównania ma podobny rozkład do histogramu obrazu ze zwiększonym wzmocnieniem sygnału akustycznego. Z tą różnicą, że występują w nim przerwy między przedziałami świadczące o utracie danych.



Rys. 5. Obraz sonarowy z rysunku 2 oraz jego histogram po wyrównaniu metodą przydzielania nowych wartości punktów do najbliższego mniej licznego przedziału (opracowanie własne)



Rys. 6. Obraz sonarowy z rysunku 2 oraz jego histogram po wyrównaniu metodą sprawdzania wartości punktów sąsiednich (opracowanie własne)

Wyrównanie histogramu może pozwolić na poprawę percepcji obrazu sonarowego, ale mimo uzyskania przesunięcia wartości histogramu bardziej w prawą stronę powoduje jednak często utratę informacji. Nie umożliwia więc uzyskania w pełni zamierzonego efektu. Na rysunku 6 można jednak zauważyć pozostanie cieni akustycznych od obiektów.

3. Sonarowe obrazy o szerokim zakresie tonalnym (HDR)

Metoda uzyskiwania obrazów HDR, która jest stosowana w fotografii, polega na uzyskaniu jednego obrazu z szeregu obrazów LDR o ośmiobitowej szerokości bitowej na jeden kanał. Każdy z tych obrazów jest wykonany przy różnej wartości ekspozycji. W razie braku obrazów o różnej ekspozycji można zastosować metody opisane w [12], jak również w [1] (rys. 7).

W celu uzyskania obrazu HDR najczęściej stosuje się trzy obrazy, z czego jeden jest o ekspozycji „0” i jest tzw. obrazem odniesienia, a pozostałe ± 2 . Inaczej mówiąc jeden z obrazów jest prawidłowo doświetlony, natomiast jeden jest niedoświetlony i jeden prześwietlony. Algorytm wykonywany jest dla każdego z kanałów obrazu osobno. Można też wykonać go dla obrazów czarno-białych. Stosuje się wtedy różne metody konwersji obrazów kolorowych do czarno-białych. Do najczęstszych należy wykorzystanie informacji dla kanału zielonego lub wykonanie konwersji według poniższej zależności [15]:

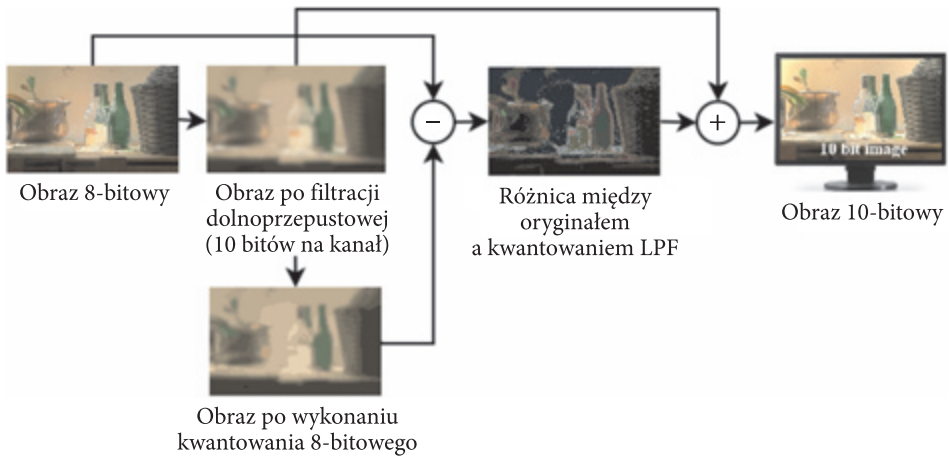
$$Y = (54 R + 183 G + 19 B)/256, \quad (1)$$

gdzie: Y — luminancja w przestrzeni barwnej XYZ.

Z przestrzeni barwnej RGB można przejść do przestrzeni XYZ, stosując zależność [15]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4128 & 0,3576 & 0,1805 \\ 0,2126 & 0,7152 & 0,0722 \\ 0,0193 & 0,1192 & 0,9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,2405 & -1,5371 & -0,4985 \\ -0,9693 & 1,8760 & 0,0416 \\ 0,0556 & -0,2040 & 1,0572 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}.$$

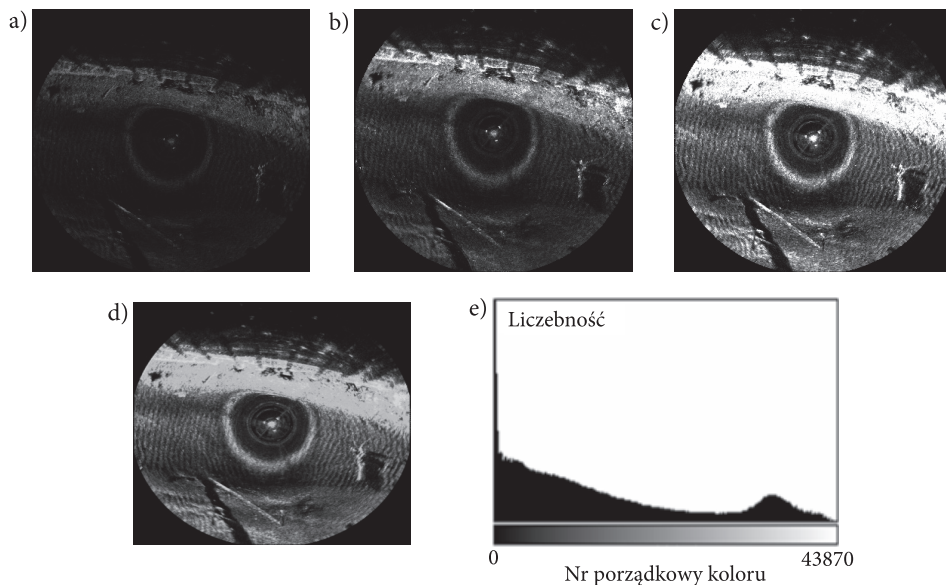


Rys. 7. Poszerzenie głębokości bitowej obrazu o dwa bity bez obrazów o różnej ekspozycji z zastosowaniem metody dekonturowania Daly'ego i Fenga [1]

Dotychczas metoda HDR była głównie stosowana w fotografii. W artykule zaproponowano jej zastosowanie dla obrazów sonarowych. Obrazy sonarowe są przeważnie czarno-białe, więc konwersja do skali odcieni szarości nie jest konieczna.

Ze względu na monochromatyczny zapis obrazów sonarowych w artykule zaproponowano, że wartość ekspozycji można zastąpić wartością wzmocnienia sygnału akustycznego. Należy więc określić obraz, który będzie obrazem odniesienia zarejestrowanym przy określonym wzmocnieniu sygnału akustycznego. Będzie on obrazem o ekspozycji równej „0”. Pozostałe dwa obrazy uzyskać można poprzez znaczne zwiększenie wzmocnienia, otrzymując w ten sposób obraz o niższej ekspozycji, oraz poprzez zmniejszenie wzmocnienia i uzyskanie obrazu o wyższej ekspozycji (rys. 8). Ekspozycja jest definiowana jako iloczyn irradiancji oraz czasu ekspozycji. W celu polepszenia wyniku końcowego można zastosować serię N-1 obrazów o rozmiarach x wierszy i y kolumn.

Do połączenia obrazów o niskiej dynamice w obraz HDR konieczna jest znajomość liniowej funkcji odpowiedzi urządzenia rejestrującego. Wnioskowanie z zastosowaniem funkcji odpowiedzi jest możliwe przy odpowiedniej sekwencji



Rys. 8. Powstanie sonarowego obrazu HDR: a) obraz o mniejszym wzmocnieniu; b) obraz o wzmocnieniu „wzorcowym”; c) obraz o większym wzmocnieniu; d) sonarowy obraz HDR; e) histogram sonarowego obrazu HDR (źródło: opracowanie własne na podstawie danych z jednostki Hydrograf XXI Akademii Morskiej w Szczecinie)

obrazów [15]. Dla każdego punktu obrazu można określić wartość funkcji odpowiedzi [4]:

$$Z_{ij} = f(E_i, t_j), \quad (3)$$

gdzie: E — irradiancja obrazu;
 t — czas ekspozycji.

Ponieważ zakładamy, że funkcja f jest monotoniczna i odwracalna, to można zapisać:

$$f^{-1}(Z_{ij}) = E_i t_j. \quad (4)$$

Następnie po obustronnym zlogarytmowaniu i podstawieniu $g = \ln f^{-1}$ otrzymujemy równanie:

$$g(Z_{ij}) = \ln E_i + \ln t_j, \quad (5)$$

gdzie: i — określa kolejny punkt obrazu;
 j — określa obraz o kolejnym czasie ekspozycji.

Debevc i Malik zaproponowali rozwiązanie zagadnienia znalezienia wartości punktów x_i z obrazów Z_j dla obrazu HDR poprzez minimalizację funkcji $O(x)$ [15]:

$$O = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P \left\{ w(Z_{ij}) \left[g(Z_{ij}) - \ln E_i - \ln \Delta t_j \right] \right\}^2 + \lambda \sum_{z=Z_{\min}+1}^{Z_{\max}-1} \left[w(z) g''(z) \right]^2, \quad (6)$$

gdzie $w(Z)$ są wagami funkcji pozwalającymi na określenie udziału wartości punktu z danego obrazu w obrazie końcowym [4]:

$$w(z) \begin{cases} z - Z_{\min} & \text{dla } z \leq \frac{1}{2}(Z_{\min} + Z_{\max}) \\ Z_{\max} - z & \text{dla } z > \frac{1}{2}(Z_{\min} + Z_{\max}). \end{cases} \quad (7)$$

W zależności od możliwych wartości metoda Debveca i Malika pozwala na dobranie wartości z całego zakresu lub też ograniczenie go np. dla ośmiobitowego obrazu do zakresu od 0 do 255.

4. Informacja zawarta w sonarowym obrazie LDR oraz HDR

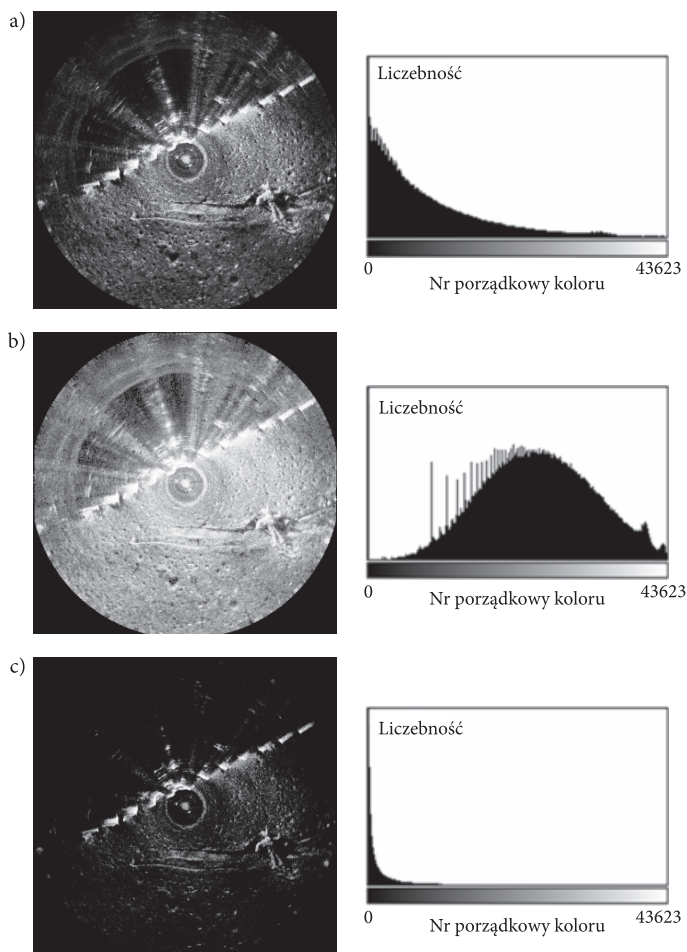
Obrazy HDR prezentowane w artykule charakteryzują się szesnastobitową głębokością bitową. Przenoszą więc dużo większą ilość informacji niż standardowe obrazy LDR. Analizując obrazy z rysunków 9-12 oraz ich histogramy, można od razu zauważyć, że niezależnie od przekształcenia na obrazach HDR zawsze poprawia się widoczność różnych elementów obrazu sonarowego. Histogramy tych obrazów zawsze charakteryzują się dużą liczebnością wartości w różnych częściach lub na całej długości histogramu.

Przedstawione na rysunkach 9-12 operacje zostały wykonane dla tych samych parametrów przekształceń zarówno dla obrazów LDR jak i HDR.

Jak można zauważyć na rysunkach 11 i 12, wykonywanie przekształceń obrazów LDR nie daje tak dobrych wyników jak dla obrazów o szerokim zakresie tonalnym. Na uwagę zasługuje jedynie korekcja gamma, ale tylko dla wartości mniejszych od 1 (rys. 11b), oraz zwiększenie kontrastu (rys. 12a).

Korekcja gamma dla obrazu LDR (rys. 11b) spowodowała jego rozjaśnienie oraz zwiększyła kontrast. Poprawiła się też przez to percepcja wzrokowa obiektów znajdujących się na obrazie. Efekty te można również zaobserwować na histogramie, który został znacznie przesunięty w prawą stronę, a właściwie na jego środek. Ze względu na niewielką ilość wartości wyraźnie wzrosła odległość między przedziałami histogramu.

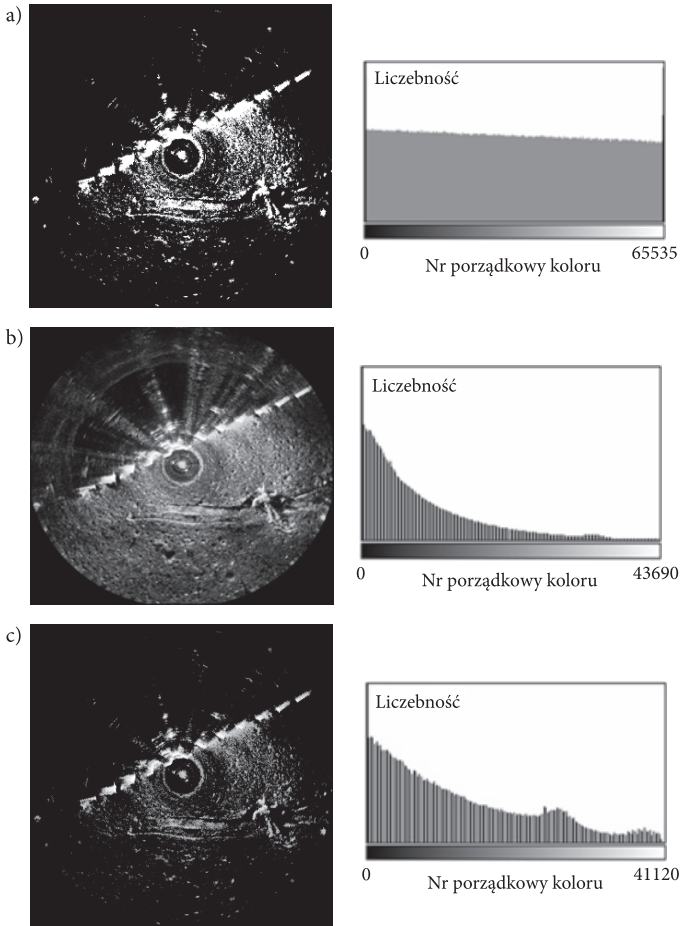
Wykres histogramu dla operacji zmiany kontrastu jest przedstawiony w skali logarytmicznej (rys. 12a) ze względu na niskie wartości słupków histogramu. Na wykresie tym wyraźnie widać, że wartości punktów obrazu są rozłożone w całym zakresie



Rys. 9. Obrazy sonarowe HDR i odpowiadające im histogramy: a) Obraz HDR; b) korekcja gamma poniżej wartości 1; c) korekcja gamma powyżej wartości 1 (źródło: opracowanie własne na podstawie danych z jednostki Hydrograf XXI Akademii Morskiej w Szczecinie)

histogramu. Obraz sonarowy został bardzo przyciemniony. Jest to spowodowane tym, że wartość wzmocnienia kontrastu dla obrazu LDR z rysunku 12a odpowiada wartości wzmocnienia kontrastu dla obrazu HDR z rysunku 10a w celu porównania otrzymanego wyniku. Widać tu, że dla takiego samego kontrastu obraz HDR zachowuje dużą liczbę szczegółów, natomiast obraz LDR przedstawia już tylko zarysy obiektów.

Inne przekształcenia stosowane dla obrazów LDR nie dały zadowalających rezultatów, co wyraźnie widać też na histogramach (rys. 11 i rys. 12). Są one wąskie i skupione głównie w jednym przedziale histogramu. Miejsce skupienia jest uzależnione od wykonanej operacji.

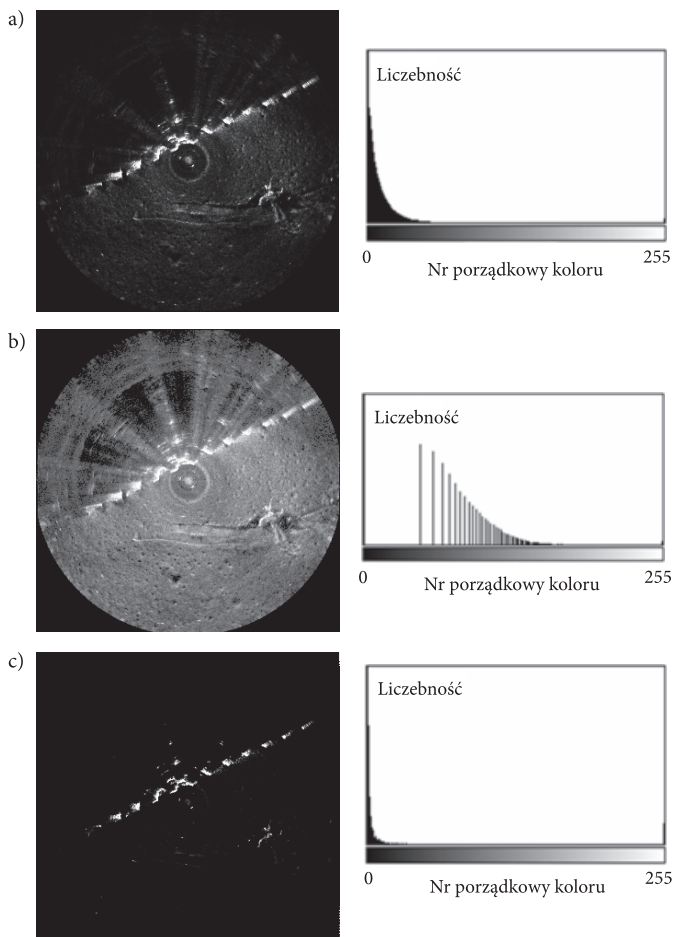


Rys. 10. Obrazy sonarowe HDR i odpowiadające im histogramy: a) zwiększenie kontrastu (histogram w skali logarytmicznej); b) zmniejszenie kontrastu; c) zmniejszenie jasności (źródło: opracowanie własne na podstawie danych z jednostki Hydrograf XXI Akademii Morskiej w Szczecinie)

5. Podsumowanie

Obrazy sonarowe o ośmiobitowej szerokości bitowej przenoszą zbyt małą ilość informacji. Ograniczenie to pogarsza percepcję wzrokową obrazów sonarowych oraz ogranicza możliwości ich komputerowej analizy (rys. 5-6, rys. 11-12).

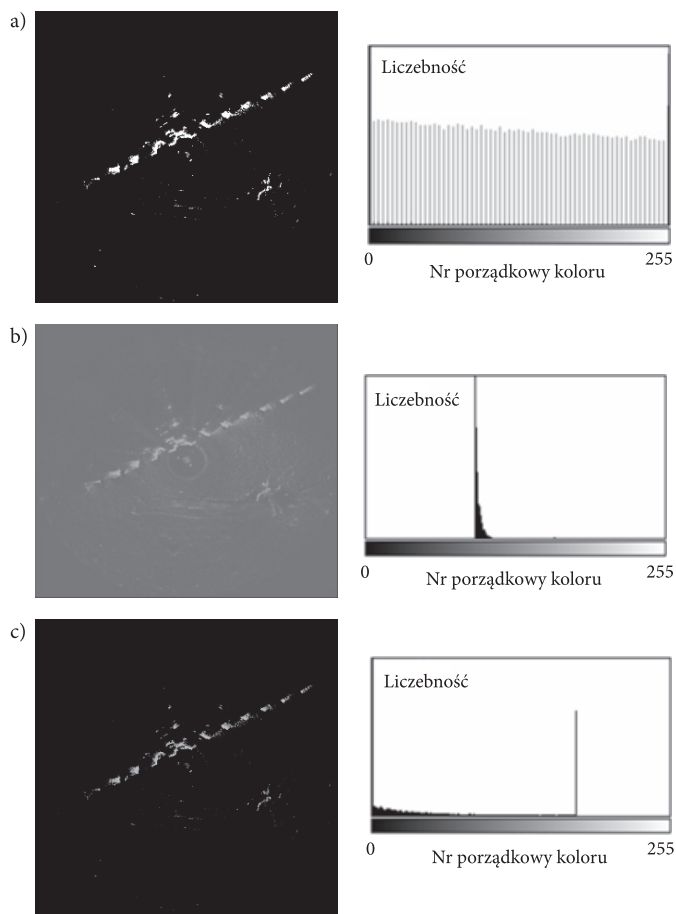
Zastosowanie techniki HDR do obrazów sonarowych daje możliwość zwiększenia ilości informacji przenoszonej przez te obrazy. Pozwala ona na przedstawienie obrazu w zakresie jasności porównywalnym do widzianego przez człowieka. Obraz uzyskany z zastosowaniem techniki HDR ma większą dynamikę i w przeciwieństwie do obrazów LDR daje możliwość na dobrą reprezentację na jednym obrazie



Rys. 11. Obrazy sonarowe LDR i odpowiadające im histogramy: a) obraz LDR; b) korekcja gamma poniżej wartości 1; c) korekcja gamma powyżej wartości 1 (źródło: opracowanie własne na podstawie danych z jednostki Hydrograf XXI Akademii Morskiej w Szczecinie)

zarówno tła jak i obiektów, gdyż histogram obrazów HDR ma również wartości z prawej strony w przeciwieństwie do obrazów LDR.

Poszerzenie histogramu oraz zwiększenie ilości punktów obrazu poprawia różniczalność wzrokową obiektów znajdujących się na dnie akwenu prezentowanych na obrazach sonarowych w wysokiej dynamice. Pozwala też na lepsze zastosowanie metod komputerowego przetwarzania obrazów ze względu na zwiększenie ilości przenoszonej informacji przez przetworzony obraz sonarowy oraz zwiększenie głębokości bitowej dla obrazu sonarowego. Zastosowanie techniki HDR daje możliwość wyodrębnienia potrzebnej w danej chwili informacji bez konieczności wykonywania ponownych rejestracji.



Rys. 12. Obrazy sonarowe LDR i odpowiadające im histogramy: a) zwiększenie kontrastu (histogram w skali logarytmicznej); b) zmniejszenie kontrastu; c) zmniejszenie jasności (źródło: opracowanie własne na podstawie danych z jednostki Hydrograf XXI Akademii Morskiej w Szczecinie)

Artykuł wpłynął do redakcji 5.07.2010 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w grudniu 2010 r.

LITERATURA

- [1] F. BANTERLE, K. DEBATTISTA, A. ARTUSI, S. PATTANAIK, K. MYSKOWSKI, P. LEDDA, M. BŁOJ, A. CHALMERS, *High Dynamic Range Imaging and Low Dynamic Range Expansion for Generating HDR Content*, EUROGRAPHICS, 2009.
- [2] M. BORAWSKI, *Rachunek wektorowy w przetwarzaniu obrazów*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin, 2007.
- [3] J. BROWN, *High Dynamic Range Digital Photography*, RPS Journal, November 2000.
- [4] P. E. DEBEVEC, J. MALIK, *Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs*, International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Addison-Wesley Publishing Co., New York, USA, 1997.

- [5] F. DRAGO, W. L. MARTENS, K. MYSZKOWSKI, N. CHIBA, *Design of a Tone Mapping Operator for High Dynamic Range Images Based upon Psychophysical Evaluation and Preference Mapping*, Proc. IS&T SPIE Electronic Imaging 2003, The Human Vision and Electronic Imaging VIII Conference, 2003.
- [6] D. GRORTA, *HDR PhotoStudio Creates Vivid, Detailed Images*, PCWORLD, March 2010.
- [7] R. C. GONZALEZ, R. E. WOODS, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, New Jersey, 2002.
- [8] Instrukcja obsługi sonaru MS1000, Kongsberg Mesotech Ltd., 2008.
- [9] G. M. JOHNSON, M. D. FAIRCHILD, *Rendering HDR images*, IS&T/SID 11th Color Imaging Conference, Scottsdale, 2003, 36-41.
- [10] G. W. LARSON, H. RUSHMEIER, CH. PIATKO, *A Visibility Matching Tone Reproduction Operator for High Dynamic Range Scenes*, University of California, 1997.
- [11] W. MALINA, S. ABLAMEYKO, W. PAWLAK, *Podstawy cyfrowego przetwarzania obrazów*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2002.
- [12] T. MERTENS, J. KAUTZ, F. VAN REETH, *Exposure Fusion: A Simple and Practical Alternative to High Dynamic Range Photography*, Computer Graphics forum, 28, 1 2009, 161-171.
- [13] K. PLATANIOTIS, A. VENETSANOPOULOS, *Color image processing and applications*, Springer-Verlag, New York, 2000.
- [14] T. PAVALIDIS, *Grafika i przetwarzanie obrazów*, WNT, Warszawa, 1987.
- [15] E. REINHARD, G. WARD, S. PATTANAIK, P. DEBEVEC, *High Dynamic Range Imaging*, Elsevier, 2005.
- [16] J. C. RUSS, *The image processing handbook*, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, New York, 2007.
- [17] F. SHEN, Y. ZHAO, X. JIANG, M. SUWA, *Recovering high dynamic range by Multi-Exposure Retinex*, Elsevier, 2009.
- [18] A. STATECZNY (red.), *Metody nawigacji porównawczej*, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk, 2004.
- [19] P. WEBB, *Rendering High Dynamic Range Images on the Web*, www.mathworks.com, MATLAB Digest, czerwiec 2008.

J. DUDA

Application of HDR image method for sector scanning sonar images

Abstract. The images obtained with sector scanning sonar have often bit depth limited to eight bits. It causes a lot of limitations related with sonar images perception and also later with their transformation.

Already during sonar images registration process, the operator must decide what is more important to him. The operator must choose between good visibility of bottom or objects located on it. Such is a characteristic property of low dynamic range (LDR) images. In other words, operator has to choose between better representation of bottom or the objects, what is realized by changing the gain of the acoustic signal. Selection between better representation of the bottom or the objects is performed by increasing or reducing the strengthening of the acoustic wave generated by the sonar transducer.

Increase in the strength of the acoustic wave causes additional distortion on the sonar image which can be observed particularly near the sonar transducer. These distortions are also produced by the presence of the object, growing if the object is nearby the sonar transducer.

If the sonar acoustic wave is too strong, then induced distortions cause poor visibility of sonar images. Using the transformations of the low dynamic range sonar images to improve the poor visibility of

particular elements often causes an additional loss of information. As a result, the image can become unreadable. Unfortunately, there is no possibility of artificial enhancement of the information contained in the image.

The article presents the research related to HDR images using for the sonar images. The HDR method is used in photography to improve their perception. Using images with different value of exposition can be presented by both dark and bright elements. HDR images characterize a good object resolution. Nowadays, HDR images were used mainly in photography. In the article, the HDR method was applied for the first time to the sector scanning sonar images. In the sonar HDR images, the exposure value was replaced by the strength of the sonar acoustic signal.

Using the HDR method in photography increases the aperture or decreases photo array sensitivity effect on the value of exposition. Inversely, to reduce exposure we must decrease the aperture or increase sensitivity of the matrix.

For the sonar images there is only one parameter influencing the exposure value, namely the gain of the sonar acoustic signal. For the HDR sonar images, increasing exposure is equivalent to reduction of the gain acoustic signal and decreasing exposure with an enlargement of the gain acoustic signal. Using three images of different exposure during a single sonar registration, we obtain the high dynamic range sonar image.

In contrary to the side scan sonar, which has to be towed several times over the same area, it allows to locate the sector scanning sonar on a tripod at the bottom. For this reason, the sector scanning sonar location does not occur the distortion associated with the movement of the vessel and waving.

Because the registered sonar images are not shifted mutually, there is not necessity to match them what simplify HDR sonar images process realization.

The HDR technique can also be applied to images obtained from side-scan sonar. However, the main problem to have HDR images is obtaining images from the same place and their matching.

Using the HDR method allows to enlarge the quantity of information contained in sonar image by increasing the bit width of the sonar image, namely from eight to sixteen bit. Obtaining more values and regular values distribution on the HDR sonar image histogram results in no necessity of choice between better representation of bottom or object located on the sonar image.

Keywords: image processing, sonar image, sector scanning sonar, histogram, object visibility, High Dynamic Range Image (HDRI)