

Krzysztof Chrzanowski*, Tomasz Raźniewski**

Automatyzacja procesu oceny jakości wzmacniaczy obrazu

1. Wprowadzenie

Przyrządy noktowizyjne umożliwiają prowadzenie skutecznej obserwacji w nocy w warunkach niskiego poziomu oświetlenia i stanowią obecnie standardowe wyposażenie wojska, funkcjonariuszy straży granicznej, służby celnej i policji, jak również znalazły szerokie pole cywilnych zastosowań (myślistwo, nauka, przemysł, rekreacja).

Wzmacniacz obrazu to najważniejszy blok przyrządu noktowizyjnego. Jakość wzmacniacza obrazu określa w decydującej mierze jakość całego przyrządu noktowizyjnego. Defekty wzmacniacza obrazu przejawiające się obecnością czarnych punktów widocznych na ekranie wzmacniacza występują praktycznie zawsze; nawet w przypadku wzmacniaczy obrazu oferowanych przez znanych producentów. Dopóki ilość i rozmiary tych czarnych punktów są niewielkie, ich występowanie można uznać za nieutrudniające prowadzenia obserwacji i dopuszczalne.

Normy wojskowe serii MIL określają ilość, rozmiary i lokalizację defektów wzmacniaczy obrazu objawiających się występowaniem czarnych punktów na ekranie wzmacniacza [1–3]. W przeciągu ostatniego pięćdziesięciolecia pomiary ilości, rozmiarów i lokalizacji czarnych punktów prowadzono i wciąż prowadzi się, wykorzystując klasyczny mikroskop do powiększenia obrazu ekranu wzmacniacza, a następnie porównując obrazy realnych czarnych punktów na ekranie wzmacniacza z wzorcowymi punktami o różnych rozmiarach.

Do głównych wad tej klasycznej metody pomiaru należy czasochłonność oraz subiektywizm pomiaru. Ta ostatnia wada powoduje, że różne zespoły pomiarowe uzyskują różne wyniki badań tego samego wzmacniacza obrazu. Pojawienie się na rynku aparatów cyfro-

* Wyższa Szkoła Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi, Inframet w Starych Babicach;
kchrza@inframet.com

** Inframet w Starych Babicach; trzniewski@inframet.com

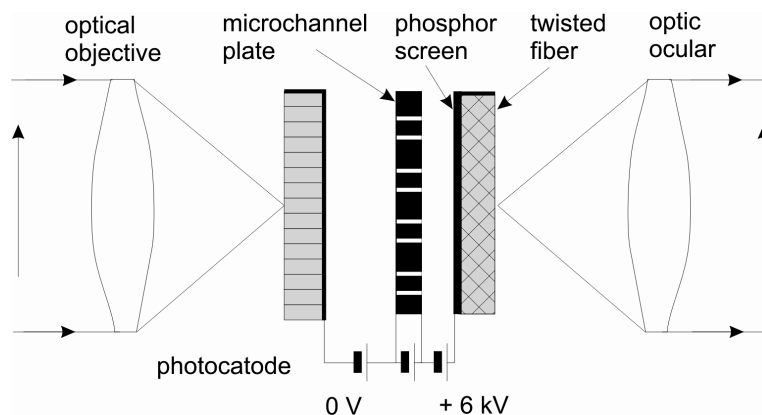
wych o wysokiej rozdzielczości obrazu umożliwiło akwizycję obrazu wzmacniaczy w postaci cyfrowej oraz możliwość wykorzystania metod przetwarzania obrazów w badaniach tychże urządzeń.

Niniejszy referat prezentuje wyniki prac nad utworzeniem programu komputerowego umożliwiającego automatyzację procesu badań jakości wzmacniaczy obrazu.

2. Wymagania normatywne w zakresie defektów obrazu

Przyrządy noktowizyjne zbudowane są z czterech głównych bloków:

- 1) obiektywu,
- 2) wzmacniacza obrazu,
- 3) okularu,
- 4) zasilacza wysokiego napięcia.



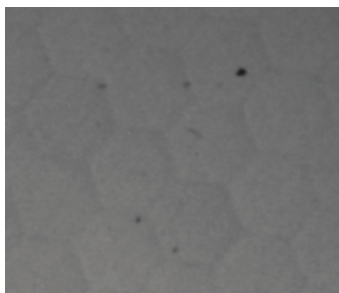
Rys. 1. Schemat blokowy przyrządu noktowizyjnego

Schemat przyrządu noktowizyjnego ilustruje rysunek 1. Obiektyw wytwarza obraz o bardzo niskiej jasności obserwowanej scenarii w płaszczyźnie fotokatody wzmacniacza obrazu. Wzmacniacz obrazu na swym ekranie tworzy kopię obrazu projektowanego przez obiektyw. Jasność obrazu na ekranie wzmacniacza jest tysiące razy wyższa od jasności obrazu projektowanego przez obiektyw. Okular umożliwia człowiekowi obserwację obrazu powstałego na ekranie wzmacniacza. Układ zasilania umożliwia podanie wysokiego napięcia do elektrod wzmacniacza i poprawną jego pracę. Wygląd przykładowego wzmacniacza obrazu ilustruje rysunek 2.



Rys. 2. Fotografia wzmacniacza obrazu II+ generacji

Normy regulujące badania jakości wzmacniaczy obrazu [1–3] wyróżniają ponad dwadzieścia parametrów, mających wpływ na jakość wzmacniacza. Jednym z najważniejszych jest ilość, rozmiary i lokalizacja defektów obrazu, tzw. czarnych punktów. Defekty te są szczególnie widoczne podczas obserwacji jednorodnie oświetlonego tła (rys. 3). W przypadku idealnego wzmacniacza otrzymany obraz byłby również jednorodny. W obrazach generowanych przez realne wzmacniacze obrazu zawsze występuje pewna ilość czarnych punktów.



Rys. 3. Fotografia kilku czarnych punktów na ekranie wzmacniacza obrazu

Czarny punkt to obszar ekranu wzmacniacza obrazu o kontraście wyższym od 30% względem otaczającego tła, gdzie kontrast jest wyznaczany zgodnie z równaniem (1).

$$C = \left| \frac{L_p - L_t}{L_t} \right| \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie L_p , L_t – luminancja punktu i luminancja tła.

Jak widzimy, czarny punkt jest punktem szarym, ale zwyczajowo i tak jest nazywany punktem czarnym.

Definicja czarnego punktu jest prosta. Pozornie również jego odnalezienie jest proste. W zasadzie wystarczy spojrzeć na ekran wzmacniacza obrazu, wykorzystując mikroskop, i już można łatwo odnaleźć gdzie znajdują się czarne punkty. Aby jednak określić, czy

wzmacniacz obrazu spełnia wymagania jakościowe, nie wystarczy określenie ilości czarnych punktów. Konieczne jest precyzyjne określenie ilości rozmiarów oraz klasyfikacja odnalezionych punktów do kilku sektorów, zgodnie z wymaganiami zaprezentowanymi w tabeli 1.

Pomiary ilości, rozmiarów i lokalizacji czarnych punktów, wykorzystując klasyczny mikroskop do powiększenia obrazu ekranu wzmacniacza obrazu, poprzez porównanie obrazu realnych czarnych punktów na ekranie wzmacniacza z wzorcowymi punktami o różnych rozmiarach to typowa metoda badań wzmacniaczy obrazu pod kątem oceny wpływu czarnych punktów na jakość obrazu. Metoda ta jest jednak czasochłonna oraz subiektywna.

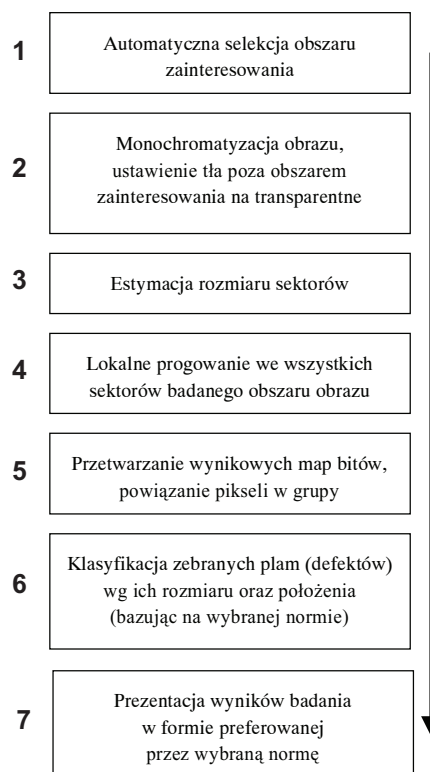
Tabela 1
Maksymalne dopuszczalne ilości czarnych punktów zgodnie z normą MIL-STD-105

Rozmiar plamy (μm)	Dopuszczalne liczby plam w sektorach		
	$\varnothing 5,6 \text{ mm}$	$\varnothing 5,6 < \varnothing 14,7 \text{ mm}$	$\varnothing 14,7 < \varnothing 17,5 \text{ mm}$
> 300	0	0	0
230 – 300	0	1	2
150 – 230	1	2	4
75 – 150	3	7	12
< 75	Pomija się	Pomija się	Pomija się

Obie ww. wady utrudniają stosowanie tej metody w warunkach przemysłowych i od co najmniej trzydziestu lat próbowano je wyeliminować, jednak bez specjalnych sukcesów. Zastosowanie rejestracji obrazu ekranu wzmacniacza na błonie fotograficznej i późniejsze poprowadzenie analizy z wykorzystaniem klasycznej metody proponowane w raporcie [4] należy uznać za półśrodek, który przyspiesza testowanie, ale nie rozwiązuje problemu subiektywizmu. Ze względu na małe rozmiary analizowanych punktów rozdzielczość obrazu oferowana przez kamery video okazała się niewystarczająca, aby umożliwić precyzyjną analizę obrazu wzmacniaczy. Jednakże pojawienie się na rynku w przeciągu ostatnich pięciu lat aparatów cyfrowych o rozdzielczości powyżej 8 mln pikseli zmieniło sytuację. Stało się możliwe zarejestrowanie obrazu całego wzmacniacza z taką rozdzielczością, aby na najmniejszy punkt wzmacniacza przypadało kilkanaście pikseli aparatu cyfrowego. Oznacza to, że ilość, rozmiary i lokalizacja czarnych punktów mogą być wyznaczone już nie tylko klasyczną subiektywną metodą przez człowieka, ale metodą automatyczną przez program komputerowy.

3. Algorytm przetwarzania obrazu

Wyznaczanie defektów w zarejestrowanym obrazie jest procesem opartym realizacji serii obliczeń matematycznych i przekształceń obrazu [5]. Ekran wzmacniacza obrazu to tylko część obrazu zarejestrowanego z wykorzystaniem cyfrowego aparatu fotograficznego. Ponieważ obszarem zainteresowania dla algorytmu nie jest całość bitmapy wejściowej, a jedynie eliptyczny jej wycinek prezentujący badaną powierzchnię wzmacniacza obrazu, niezbędny jest etap selekcji tego obszaru zainteresowania.

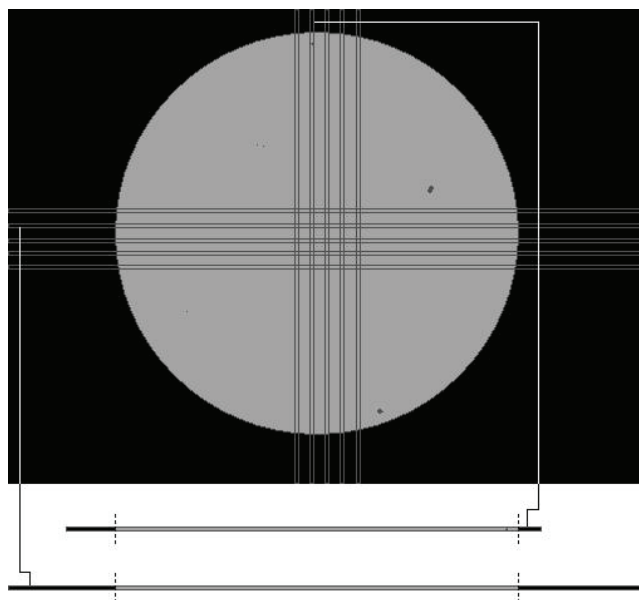


Rys. 4. Ogólny schemat algorytmu detekcji defektów obrazu

Jest to pierwsza faza przetwarzania obrazu, który składa się w całości z kroków zarysowanych w poniższym algorytmie, przedstawionym na rysunku 4:

1. Na etapie automatycznej selekcji obszaru zainteresowania, bitmapa wejściowa jest badana w przekrojach poziomym i pionowym (rys. 5). Porównując wyniki zarówno dla orientacji poziomej, jak i pionowej, uzyskuje się współrzędne wierzchołków prostokąta, w który wpisana jest elipsa, będąca obszarem zainteresowania dla kolejnych etapów algorytmu. Zastosowanie kilku próbek-wycinków dla obu orientacji, pozwala na oszacowanie położenia i rozmiaru ekranu wzmacniacza obrazu także w przypadku niestannego wyśrodkowania go w obiektywie aparatu rejestrującego obraz.
2. Podstawą tego etapu jest utworzenie 32-bitowego obrazu odpowiadającego rozmiarami bitmapie wejściowej. Nowa bitmapa jest początkowo w całości transparentna, a na niej rysowany jest obszar bitmapy wejściowej, wyznaczony eliptycznym obszarem zainteresowania. W ten sposób uzyskuje się podstawę do przeprowadzenia analizy tylko na pikselach (nieprzezroczystych) należących do wspomnianego obszaru. Dodatkowo powstała bitmapa zostaje zmonochromatyzowana.

3. Przetworzona bitmapa jest dzielona na n sektorów, które są następnie kolejno analizowane. Ilość sektorów zależy od wielkości bitmapy wejściowej oraz stopnia złożoności obrazu. Etap podziału na sektory i estymacji rozmiaru sektorów jest konieczny, ponieważ kontrast defektów obrazu musi być wyznaczany względem otoczenia lokalnego, a nie globalnego.
4. Bazując początkowo na rozmiarach obszaru zainteresowania, tworzone są dwie tablice dwuwymiarowe typu logicznego – jedna do przechowywania informacji o ciemnych, druga o jasnych pikselach. Przechowują one zbiorcze wyniki dla procesów progowania w każdym z sektorów, w których to obliczana jest średnia wartość jasności pikseli, a następnie całość sektora jest progowana względem wartości średniej oraz współczynników progowania. Pierwszy z nich określa procentowo próg, poniżej którego piksel uznaje się za składową ciemnego defektu, drugi zaś – w umowny sposób określa próg powyżej średniej wartości, w przypadku którego przekroczenia piksel zaliczany jest jako składowa defektu jasnego.
5. Tablice stanów logicznych, reprezentujących ciemne i jasne piksele, analizowane są celem utworzenia na ich podstawie kolekcji obiektów, charakteryzujących defekt, jako zbiór pikseli jednakowego typu. Na podstawie takiego obiektu sklasyfikować można w późniejszym etapie dany defekt – w zależności od wybranej normy – wg jego położenia na wzmacniaczu obrazu oraz wg długości średnicy. Algorytm łączący ustawione flagi w zbiory, traktowane jako defekty, przebiega w identyczny sposób dla ciemnych, jak i jasnych pikseli. Od lewego górnego rogu tablicy wyszukiwana jest ustawiona flaga. Znalezienie takiej sygnalizuje początek „zbierania” pikseli defektu i rozpoczyna proces, którego przebieg naszkicowany został na rysunku 6. W każdym obiegu pętli scalającej kwalifikowane są tylko bity ustawione oraz niezaliczone już wcześniej w poczet składowych defektu. Dodatkowym parametrem mogącym wpływać na działanie algorytmu scalającego, jest zakres scalania. Określany w pikselach, oznacza zasięg testowania sąsiadujących bitów w tablicy. Rysunek 7 przedstawia ideę zastosowania tego parametru, którego odpowiednie ustawienie pozwala na scalanie bardzo zbliżonych do siebie defektów i traktowanie ich jako jednej całości.
6. Zgromadzone obiekty plam klasyfikowane są do zdefiniowanych przez używaną normę sektorów. Jeśli plama zlokalizowana jest na pograniczu dwóch sektorów, jako sektor przynależności ustala się ten, w którego poczet wchodzi większość pikseli plamy. Rysunek 8 obrazuje sposób działania algorytmu klasyfikacji plam. Dla każdego z trzech kroków w przypadku wykorzystywania omawianej normy, dokonywane jest „wycięcie” określonej części obrazu analizowanego, które polega w zasadzie na utworzeniu kopii bitmapy wejściowej, a następnie ustawieniu na kolor transparentny fragmentów, które nie zaliczają się do aktualnie analizowanego sektora. Tak „wycięte” bitmapy są traktowane jako maska dla tablic bitów, zawierających składowe plam. Na ich podstawie odbywa się zliczanie ilości plam zawierających się w nieprzezroczystym obszarze reprezentującym obraz danego sektora.
7. Ostatnim etapem algorytmu jest odpowiednia dla wybranej normy prezentacja wyników, która przybiera postać podobną do tej, przedstawionej w tabeli 1.

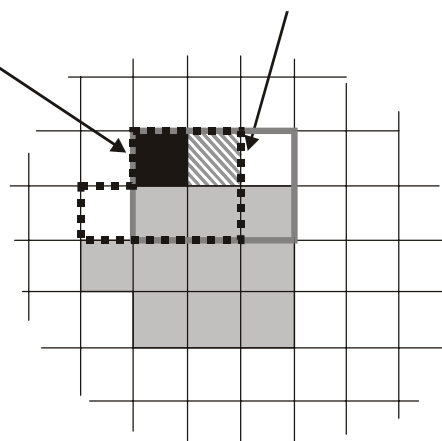


Rys. 5. Zilustrowane działanie algorytmu automatycznej selekcji obszaru zainteresowania:
 a) z przekrojów wybierany jest najszerszy pod względem rozpiętości jasnego obszaru;
 b) na podstawie porównań wycinków otrzymuje się parametry obszaru zainteresowania

Znaleziono ustawiony bit – analizowany jest obszar objęty obwódką (■ ■ ■ ■) i zbierane są sąsiadujące ustawione bity

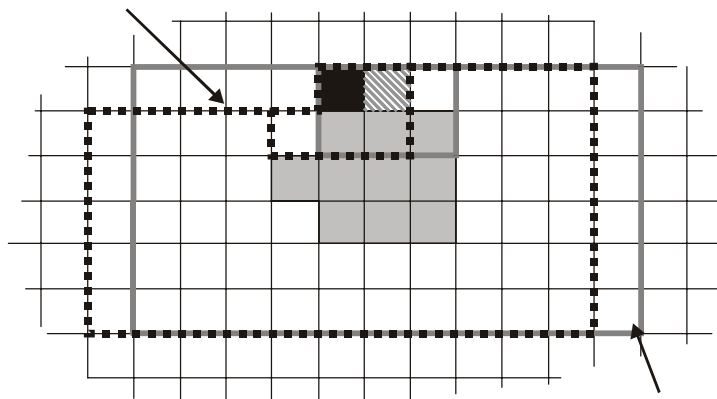
Na zbiorze nowo zgromadzonych sąsiadów bazują kolejne obiegi pętli zbierającej, testujące piksele w sąsiedztwie zaznaczonym (—)

Pętla zbiorcza kończy swoje działanie z chwilą, kiedy po swoim kolejnym obiegu nie znajdzie nowych ustawionych sąsiadujących flag



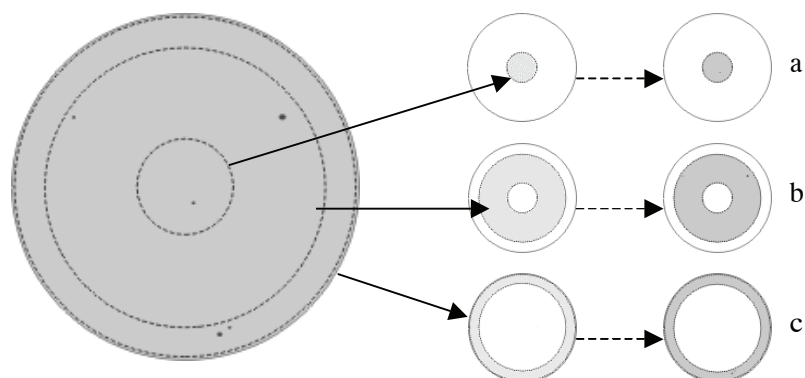
Rys. 6. Zarys działania algorytmu scalającego ustawione bity jako defekty

Pierwotny obszar testowania sąsiedztwa
dla stopnia scalania równego 5 pikseli



Wtórny obszar testowania sąsiedztwa
dla stopnia scalania równego 5 pikseli

Rys. 7. Obszary testowania sąsiedztwa dla przykładowego zakresu scalania równego 5 pikseli

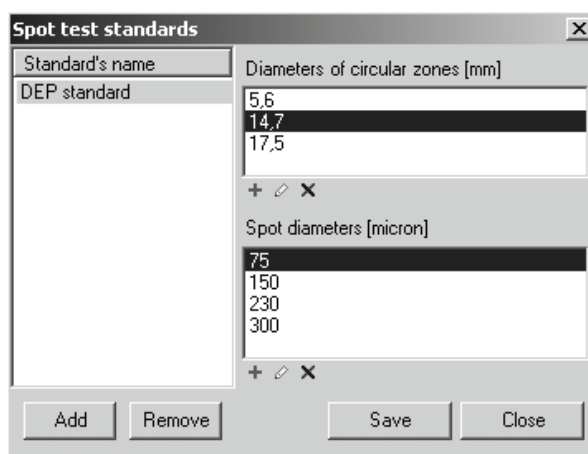


Rys. 8. Etap klasyfikacji plam: a) wycięcie koła o średnicy 5,6 mm z obrazu obszaru zainteresowania; b) wycięcie pierścienia o średnicy wewn. 5,6 i zewn. 14,7 mm; c) wycięcie pierścienia o średnicy wewn. 14,7 mm

4. Struktura i działanie programu SPOT

Program SPOT utworzony został za pomocą Visual C#.NET. Działa w systemach z zainstalowanym środowiskiem uruchomieniowym Microsoft .NET Framework. Program ten umożliwia wczytanie fotografii cyfrowej ekranu wzmacniacza obrazu, który ma zostać przebadany pod kątem defektów.

Po wczytaniu bitmapy dokonana musi zostać kalibracja dystansu, która pozwoli na przeprowadzenie testów w zgodzie z wybraną normą. Następnie przejść można do właściwych czynności związanych z wykrywaniem defektów wzmacniacza, korzystając z właściwego narzędzia (*Spot finder*). W oknie tego narzędzia, oprócz funkcji estymujących obszar zainteresowania (pozycję i obszar ekranu) oraz wyznaczających plamy na ekranie, określać można również format wyników – dokładniej – normy, wg której mają być one podawane, korzystając z przycisku *Define standards*.

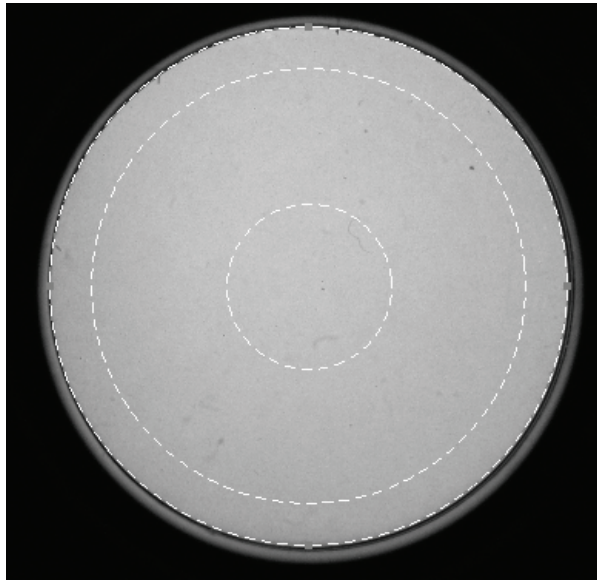


Rys. 9. Okno definicji norm w zakresie badania defektów wzmacniaczy obrazów

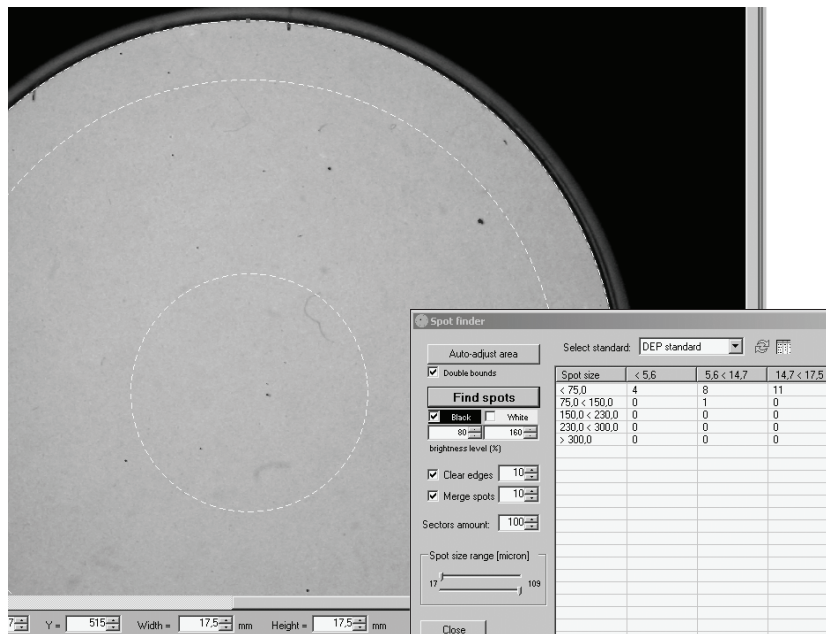
Okno definicji norm (rys. 9) pozwala na dodawanie nowych oraz edycję istniejących już norm obowiązujących w zakresie badań wzmacniaczy obrazu. Dla normy definiuje się ilość oraz rozmiary stref, w obrębie których klasyfikować będzie się defekty. Strefy te mają być okręgami o wspólnym środku, ulokowanymi w centrum ekranu (wyznaczonego obszaru zainteresowania). Definiuje się również klasy plam pod względem ich średnicy (tę zaś określa się jako średnicę okręgu opisanego na plamie, która może mieć nieregularny kształt).

W celu automatycznego dostosowania obszaru analizy do ekranu wzmacniacza prezentowanego na obrazie, użyć można funkcji *Auto-adjust area*. W razie niedoskonałości działania tej funkcji można również dokonywać ręcznej zmiany obszaru. Automatycznie również wybrana zostaje norma, wg której wyznaczane są strefy (widoczne na rys. 10, wyznaczone przez białe przerywane linie).

Spośród ustawień algorytmu analizującego większość jest ustalona na optymalnym poziomie, który w przypadku badań wzmacniaczy obrazu powinien umożliwiać osiągnięcie właściwych wyników. Wskazać należy jednak, jakiego rodzaju defektów algorytm ma szukać i jakie prezentować w wynikach (pola *Black* i *White*). Przyciskiem *Find spots* uruchamia się proces analizy obrazu, szerzej omówiony w poprzednim rozdziale. Po ukończeniu analizy wyświetlone zostają wyniki, podane według wybranej normy, zaś na obrazie pojawiają się migoczące plamy, uznane przez algorytm za defekty.



Rys. 10. Obraz ekranu wzmocniacza z wyznaczonymi sektorami



Rys. 11. Przykładowe wyniki działania programu SPOT

Po otrzymaniu wyników można manipulować zakresem rozmiarów plam, ustalając minimalną i maksymalną średnicę, przy której plama uznawana jest za defekt. Dwoma suwakami *Spot size range*, określić można (w μm) minimalny i maksymalny rozmiar defektu. Tuż po przeanalizowaniu obrazu wartości te są ustawiane jako minimalna (po lewo) i maksymalna (po prawo) średnica spośród znalezionych. Zwiększając minimalny rozmiar można wyeliminować przypadki plam nie będących w rzeczywistości defektami wzmacniacza obrazu. Przykładowe wyniki działania programu przedstawione zostały na rysunku 11.

5. Wnioski

Zaprezentowany program komputerowy SPOT umożliwia analizę obrazu generowanego przez wzmacniacze obrazu, określenie lokalizacji defektów obrazu oraz wyznacza ilość i rozmiar defektów w poszczególnych sektorach wzmacniacza obrazu. Wyniki analizy prezentowane są zgodnie z zaleceniami norm serii MIL lub norm producentów. Zastosowanie wytworzonego programu SPOT umożliwia znaczne zwiększenie szybkości procesu badań wzmacniaczy obrazu oraz wyeliminowanie subiektywności klasycznej metody badań z wykorzystaniem mikroskopu i oka ludzkiego jako narzędzia pomiarowego.

Literatura

- [1] DEP Standard No 2283A3: *Image intensifier 18 mm, microchannel wafer XX 1940*. 1994
- [2] MIL-I-43453: *Image intensifier assembly, 18 mm microchannel wafer, MX 10130*. 1989
- [3] MIL-PRF-490526: *Image intensifier assembly, 18 mm microchannel wafer, MX 9916*. 1992
- [4] Marasco P.L., Pinkus A.R., Task H.L.: *Photographic Assessment of Dark Spots in Night Vision Device Images*. Report AFRL-HE-WP-TR-2003-0048: United States Air Force Research Laboratory: Twenty-Plus Years Of Night Vision Technology, 2003, 439–445
- [5] Tadeusiewicz R., Korohoda P.: *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków, 1997

