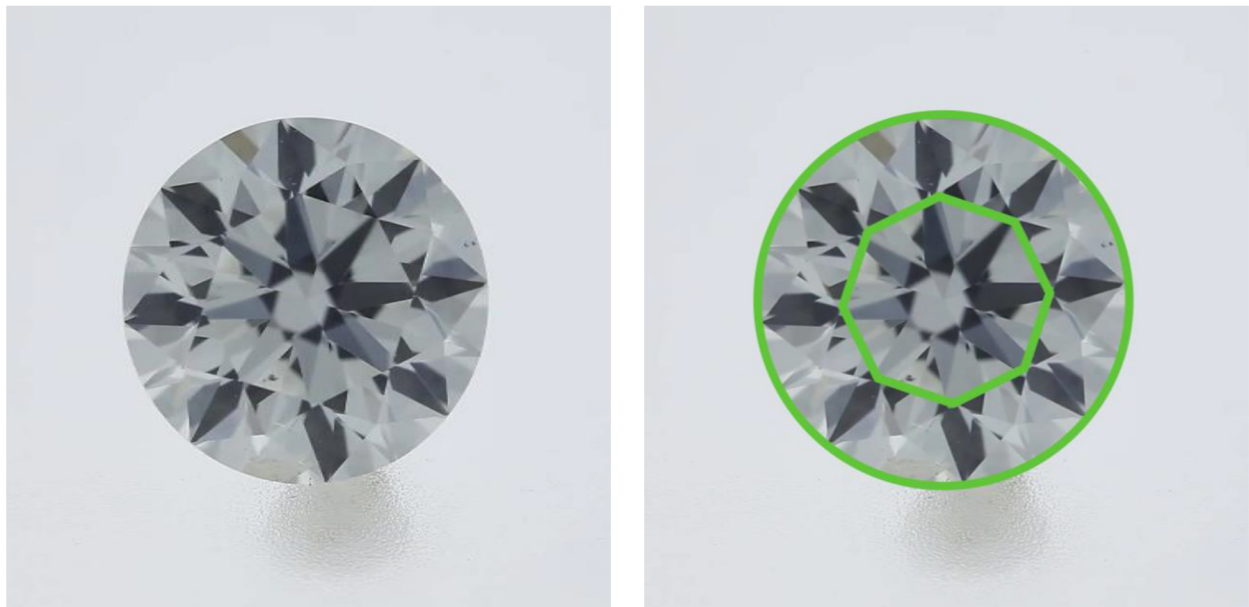


Algorytm oceny wielkości tafli diamentu

Opis rozwiązania

Algorytm przystosowany jest do działania na zdjęciach kamieni szlachetnych oszlifowanych wg. klasycznego szlif brylantowego (w szczególności szlif Hearts&Arrows), wykonanych góry, ukazujących taflę kamienia pod kątem prostym do osi widzenia, tak jak przedstawiono to na rysunku 1. Celem algorytmu jest lokalizacja oraz pomiar wielkości tafli diamentu, która definiowana jest jako stosunek średnicy tafli kamienia, stanowiącej sześciokątą, górną powierzchnię kamienia, do średnicy rondysty, a więc obwodu kamienia.

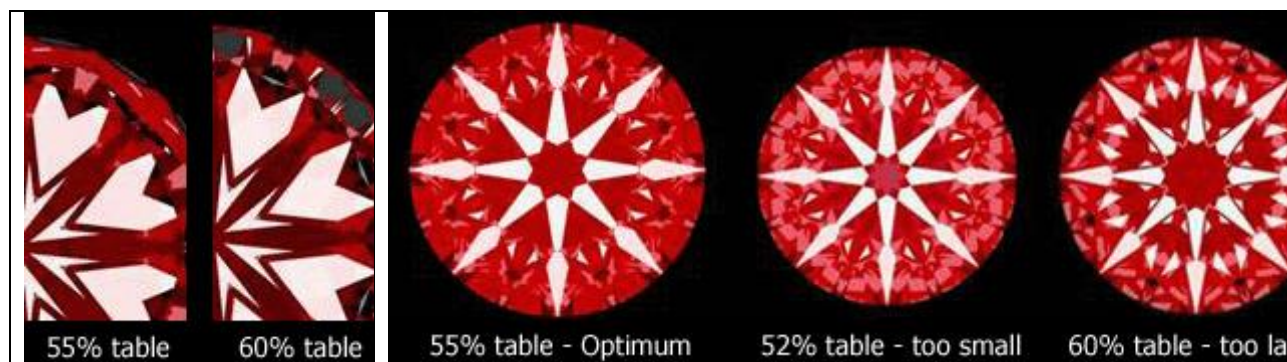


Rysunek 1. Przykładowe zdjęcie brylantu wykonane od góry, stanowiące poprawne wejście dla algorytmu. Na zdjęciu po prawej stronie oznaczone zostały tafla i rondysta brylantu.

1. Założenia

Algorytm dedykowany jest do oceny jakości szlif Heart&Arrows. Szlif ten przypomina klasyczny, współczesny szlif brylantowy, charakteryzuje się jednak odpowiednimi proporcjami oraz, przede wszystkim, specyficznym efektem odbicia światła formującym kształty serc w widoku od spodu kamienia oraz strzał w widoku od góry. Efekt ten widoczny jest jednak tylko przy użyciu specjalnego przyrządu, który umożliwia dokładne ustawienie kąta patrzenia oraz zapewnia odpowiednie oświetlenie od spodu oraz od boku kamienia. Ocena jakości tego efektu nie może być zatem wykonana na podstawie zwykłych zdjęć wykonanych aparatem fotograficznym. Możliwy jest natomiast dokładny pomiar geometrycznych własności kamienia, które są kluczowe dla

doskonałości szlifu i bezpośrednio wpływają na jakość wzoru H&A. Podstawowym parametrem tego typu jest wielkość tafli diamentu, która powinna wynosić od 54 do 57% (w stosunku do średnicy rondysty). Rysunek 2 przedstawia wpływ wielkości tafli na jakość wzoru H&A.



Rysunek 2. Przykładowy różnej wielkości tafli oraz uzyskanej jakości wzoru H&A.
Źródło: <http://www.heartsandarrows.com/hearts-arrows-diamond-ideal-cut-dna.aspx>

2. Narzędzia

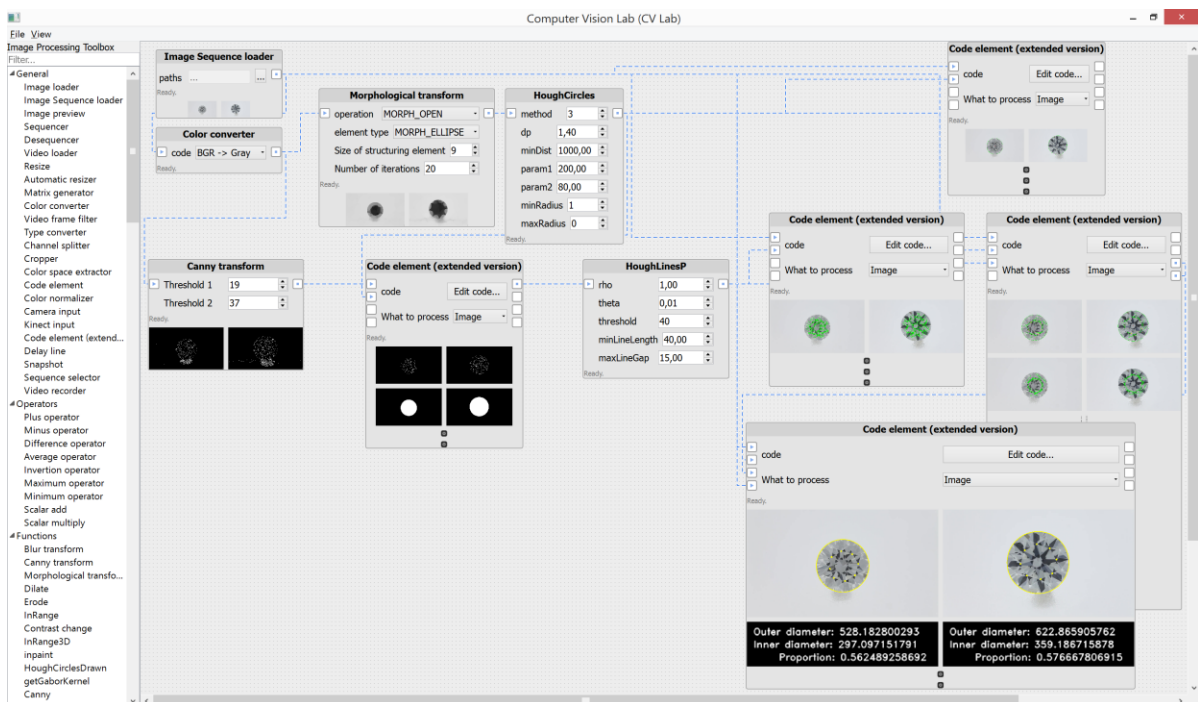
Implementacja algorytmu wykonana została przy użyciu otwartej biblioteki OpenCV oraz wspomagającego narzędzia CV-Lab, wytworzonego przez naukowców Politechniki Gdańskiej. Aplikacja ta rozszerza standardową funkcjonalność biblioteki OpenCV o możliwość graficznego konstruowania i dostrajania algorytmów analizy i przetwarzania obrazu. Rozwiązuje to problem nadmiernej czasochłonności konstrukcji algorytmów w formie kodu źródłowego. W klasycznym sposobie obsługi biblioteki OpenCV po stworzeniu odpowiedniego kodu niezbędne jest przeprowadzenie czasochłonnej kompilacji i/lub uruchomienie programu w celu obserwacji efektu wprowadzonych zmian. Dodatkowo użytkownik musi samodzielnie przygotować odpowiedni kod dla demonstracji interesujących go wyników przetwarzania, co utrudnia pracę nad algorytmem.

Aplikacja CV-Lab umożliwia pracę z biblioteką OpenCV bez konieczności pisania kodu źródłowego. Klasy i funkcje biblioteki dostępne są w postaci elementów palety narzędzi (toolboxu), które są włączane do przetwarzania za pomocą myszki metodą drag'n'drop. Przebieg przetwarzania ustalany jest poprzez tworzenie połączeń między wyjściami i wejściami wybranych elementów. W ten sposób powstaje odpowiedni graf przetwarzania, obrazujący, a jednocześnie realizujący działanie algorytmu. Każdy element ma możliwość wyświetlenia podglądu jego wyjścia. Pozwala to zobrazować nie tylko ostateczny efekt przetwarzania, ale również wybrane wyniki pośrednie. Parametry metod przetwarzania obrazu obecne w funkcjach biblioteki są odzwierciedlone w postaci suwaków oraz pól tekstowych umożliwiających szybkie dostosowanie parametrów metod. Podobnie jak zmiana konfiguracji elementów w grafie, zmiana parametrów elementów powoduje natychmiastowe przeliczenie obrazów wynikowych, co umożliwia płynną pracę przy tworzeniu i strojeniu algorytmu z możliwością natychmiastowej oceny wyników zmian.

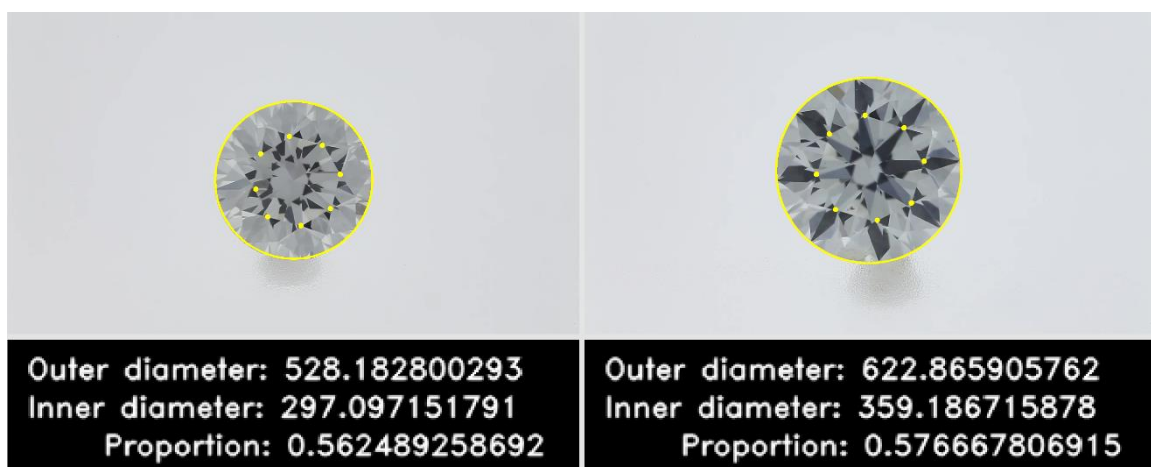
3. Opis metody

Proces automatycznej analizy polega na wykonaniu dwóch pomiarów: średnicy rondysty kamienia oraz średnicy tafli. Pierwszy pomiar jest stosunkowo prosty i realizowany jest za pomocą dobrze

znanej metody wykrywania okręgów w obrazie opartej na transformacji Hougha. Natomiast w przypadku pomiaru średnicy tafli, poprawne wykrycie oraz zaznaczenie tafli wymaga kontekstowej analizy krawędzi wykrytych na powierzchni kamienia. W pierwszym kroku krawędzie wykrywane są za pomocą algorytmu Canny'ego. Następnie identyfikowane są proste odcinki przy pomocy transformacji Hougha i wyodrębniane są te spośród odcinków, których położenie oraz kąt względem środka kamienia są poprawne jako potencjalne boki ośmiokąta tafli. Następnie odcinki te są wydłużane, a powstające w ten sposób przecięcia stają się zbiorem potencjalnych narożników ośmiokąta. Ośiem właściwych narożników zostaje następnie wybranych z powyższego zbioru za pomocą algorytmu k-średnich (k-means), co ostatecznie umożliwia pomiar średnicy wykrytego ośmiokąta tafli w stosunku do średnicy kamienia. Rysunek 3 przedstawia opracowany w aplikacji CV-Lab schemat algorytmu wraz z wynikami pośrednimi analizy dwóch zdjęć kamieni. Natomiast rysunek 4 przedstawia przykładowe wyniki działania algorytmu.



Rysunek 3. Przykładowy różnej wielkości tafli oraz uzyskanej jakości wzoru H&A.



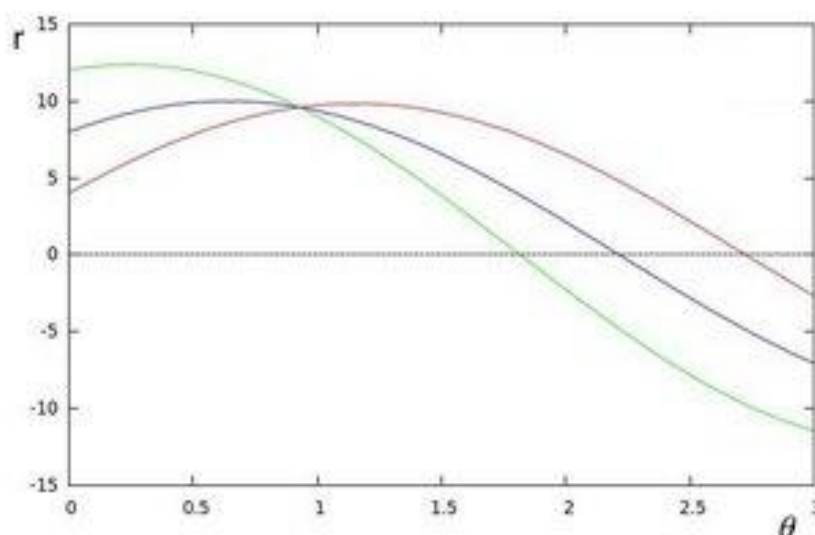
Rysunek 4. Przykładowy wynik działania algorytmu. Oznaczona została rondysta (okrąg) oraz tafla diamentu (wierzchołki ośmiokąta).

3.1. Transformacja Hougha

Algorytm wykorzystuje dwóch wariantów transformacji Hougha: oryginalnej wersji, umożliwiającej wykrywanie prostych i odcinków oraz jej późniejszego rozszerzenia, umożliwiającego wykrywanie okręgów. Zasada działania obu transformacji jest bardzo podobna. Pierwszym krokiem jest wykrycie krawędzi na obrazie. Następnie dla każdego punktu w zbiorze krawędzi wyznaczana jest rodzina wszystkich możliwych linii przebiegających przez ten punkt i jest wyrażana w systemie polarnym wg. wzoru:

$$y = \left(-\frac{\cos \theta}{\sin \theta} \right) x + \left(\frac{r}{\sin \theta} \right)$$

Następnie jest ona rejestrowana w formie krzywej w przestrzeni Hougha. W miarę powtarzania tej operacji dla kolejnych punktów krawędzi, współliniowe punkty otrzymują w przestrzeni Hougha krzywe przecinające się, a punkt przecięcia wyznacza parametry linii, na której punkty te są położone. Ponadto, liczba krzywych przebiegających przez dany punkt w przestrzeni Hougha oznacza liczbę punktów ze zbioru krawędzi leżących na tej prostej. Przykład reprezentacji zbioru prostych w przestrzeni Hougha dla trzech współliniowych prostych został przedstawiony na rysunku 5.



Rysunek 5. Reprezentacja rodzin prostych przebiegających przez trzy współliniowe punkty w przestrzeni Hougha. Punkt przecięcia krzywych wyznacza współrzędne prostej, na której leżą punkty.

Źródło: http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/hough_lines/hough_lines.html

Transformacja Hougha dla detekcji okręgów przebiega w podobny sposób. Po wykryciu krawędzi dla każdego punktu w zbiorze krawędzi wyznaczane są wszystkie możliwe okręgi, których promień mieści się w zadanym z góry przedziale oraz które są styczne do rozpatrywanego punktu. Środki tych okręgów są następnie rejestrowane w indeksie, gdzie kumulują się one w czasie powtarzania operacji dla kolejnych punktów. Jako rezultat detekcji zwracane są też okręgi z indeksu, w dla których liczba pasujących punktów ze zbioru krawędzi był największa oraz ew. spełnione są inne, dodatkowe kryteria.

3.2. Operator Canny'ego

Algorytm Canny'ego realizuje detekcję krawędzi w obrazie w kilku etapach:

1. Wstępna detekcja krawędzi – najczęściej wykorzystywany jest operator Sobela, który na podstawie pierwszej pochodnej umożliwia wyznaczenie map krawędzi pionowych oraz poziomych. Następnie wyznaczane jest natężenie oraz kierunek krawędzi za pomocą poniższych wzorów, a kierunki zaokrąglane są do 4 wartości (0, 45, 90 i 135 stopni).

$$\mathbf{G} = \sqrt{\mathbf{G}_x^2 + \mathbf{G}_y^2} \quad \Theta = \arctan\left(\frac{\mathbf{G}_y}{\mathbf{G}_x}\right)$$

2. Szkieletyzacja – grubość krawędzi jest zmniejszana do 1 piksela w sposób zachowujący ich ciągłość.
3. Podwójne progowanie – wykryte krawędzie są klasyfikowane na podstawie natężenia jako wyraźne (powyżej wyższego progu) lub słabe (pomiędzy wysokim a niskim progiem). Krawędzie poniżej niskiego progu zostają odrzucone.
4. Śledzenie krawędzi z histerzą – wykrywane są słabe krawędzie, które są połączone z krawędziami wyraźnymi i zostają włączone razem z wyraźnymi krawędziami do ostatecznej odpowiedzi. Słabe krawędzie nie połączone z wyraźnymi zostają odrzucone.

5. Analiza dokładności pomiaru

Dokładność pomiaru wielkości tafli ograniczona jest rozdzielczością obrazu kamienia na wykonanym zdjęciu. Zdjęcia wejściowe mają rozdzielczość 1920x1080 pikseli. Obraz kamienia zajmuje przy tym około połowę wysokości zdjęcia, co daje rozdzielczość obrazu kamienia na poziomie 500x500. Oznacza to błąd pomiaru średnicy kamienia $\Delta d_r = 0.002d_r$. Natomiast średnica tafli jest równa przynajmniej połowie średnicy rondysty, co daje błąd pomiaru $\Delta d_t = 0.004d_t$. Oznacza to, że błąd pomiaru wielkości tafli jako ilorazu średnicy tafli i średnicy rondysty jest obarczona maksymalnym błędem $\Delta W \cong 0,006$. Jest to więc wystarczająca dokładność biorąc zakres optymalnych wielkości tafli (0,54-0,57). Należy jednak pamiętać, że pomiar obarczony jest także innymi błędami. Ich źródłem są zniekształcenia geometryczne wprowadzane bez obiektyw, które powodują, że proporcja rozmiaru tafli do średnicy rondysty widoczna na zdjęciu nie pokrywa się idealnie z realną proporcją. Drugim źródłem jest niedoskonałość kąta wykonania zdjęcia, który zwykle odbiega nieco od osi kamienia. Błędy te szacunkowo nie zaburzają jednak pomiaru w sposób znaczący. Ogólną dokładność metody można również stosunkowo łatwo poprawić poprzez zwiększenie rozdzielczości zdjęć, która obecnie była ograniczona do wartości umożliwiającej nagrywanie flimu (rozdzielczość Full HD), co nie wymaga żadnych zmian algorytmu i automatycznie skutkuje dokładniejszym pomiarem.

6. Sposób uruchomienia aplikacji

Algorytm dostarczony jest formie kodu źródłowego w języku Python oraz w formie pliku wykonywalnego .exe. Wywoływanie odbywa się poprzez polecenie:

```
diamenty.exe sciezka_do_zdjecia
```

W przypadku nie podania ścieżki, użyte zostaje zdjęcie jewels/Photo002.jpg

Program wypisze zmierzoną wielkość tafli kamienia. Wygeneruje również dwa obrazy:

output1.png - zawierający zdjęcie kamienia z zaznaczoną taflą i obrysem kamienia

output2.png - zawierający wyniki pomiarów kamienia