

# AUTOMATYCZNE WIZYJNE ROZPOZNAWANIE LĄDOWISKA HELIKOPTEROWEGO

mgr inż. **Karol GRZYWACZ**  
Politechnika Warszawska  
mgr inż. **Maciej ROMICKI**  
Wojskowa Akademia Techniczna  
prof. dr hab. inż. **BOHDAN BUTKIEWICZ**  
Politechnika Warszawska

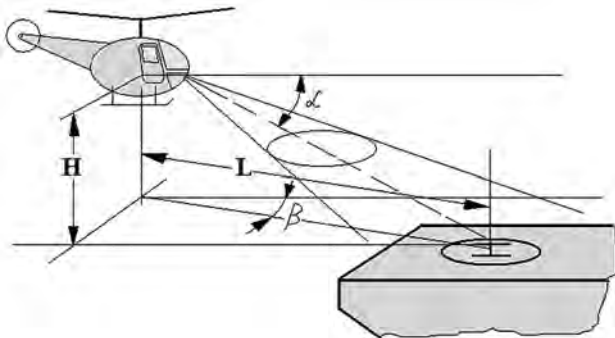
*Prezentowana praca jest próbą pokazania, że kamera i procesor mogą pomagać pilotowi śmigłowca przy lądowaniu w trudnych warunkach. Przy podchodzeniu do lądowania, gdy pilot jest zajęty obserwacją terenu i szukaniem lądowiska sygnał, że kamera widzi lądowisko i może je wskazać byłby cenną informacją. W prezentowanej pracy zajęto się tylko wąskim wycinkiem przedstawionego procesu – znalezieniem niezawodnych algorytmów rozpoznania jednego ze wzorców lądowisk w kształcie obwódki i litery H. Do rozpoznawania okręgów/elips wykorzystano kołową transformację Hougha (CHT) o ograniczonej do 3 wymiarów tablicy akumulacji. Po wyszukaniu elips, analizowane jest ich wnętrze i najbliższe zewnętrzne otoczenie, w celu potwierdzenia lub nie występowania w nim litery H. Ze względu na wymóg inwariantności procedur rozpoznających H względem takich przekształceń geometrycznych, jak translacja, skalowanie, obrót i pochylenie zdecydowano się na wykorzystanie centralnych momentów geometrycznych i momenty  $H_u$  oraz symetrii H względem swojego środka, pokrywania się środka H ze środkiem lądowiska czy niepowtarzalność i niezmienność momentów geometrycznych połówek litery H. Przyjęto, że obraz wejściowy zapisany jest za pomocą stratnej kompresji w formacie JPEG. Uzyskane algorytmy zaimplementowane zostały w języku C++. Program działa poprawnie, jednak występują czasem błędne rozpoznania lądowiska. Należy się jednak spodziewać, że w sekwencji obrazów tej samej sceny rejestrowanych przez kamerę wykrywalność będzie wzrastać w miarę zbliżania.*

## 1. WPROWADZENIE

Najistotniejszą umiejętnością człowieka jest możliwość podejmowania decyzji na podstawie informacji docierających poprzez zmysły z otaczającego świata. Szacuje się, że ok. 90% informacji uzyskujemy przy pomocy wzroku, dlatego też ten kanał percepcji ma największy wpływ na nasze działania. Zdolność widzenia trójwymiarowego, różnicowania oraz nazywania przedmiotów człowiek zawdzięcza możliwości określenia wzajemnego położenia i porównywania obiektów ze wzorcami przechowanymi w ogromnej bazie – mózgu. Urządzenia techniczne dają o wiele większy wachlarz informacji: można mierzyć odległość obiektu od zadanego położenia, intensywność oświetlenia lub wreszcie promieniowanie w zakresie widmowym niedostępnym dla oka. Jednak wzajemna korelacja i wnioskowanie na podstawie tych informacji jest w każdym zastosowaniu danego systemu wizyjnego indywidualne i ograniczone tylko do zaprogramowanego zakresu. Widzenie maszynowe wciąż więc nie zastąpi widzenia ludzkiego i wszędzie tam gdzie decyzja jest krytyczna algorytmy mogą stanowić tylko wsparcie decyzyjne. Natomiast wszędzie tam, gdzie koszt pomyłki jest niewielki (badanie liczby szaszetek z herbatą w jednym pojemniku, określenie klasy mięsa po jego kolorystyce i jednorodności itd.) maszyny z powodzeniem zastępują człowieka. Niniejsza praca jest próbą stworzenia algorytmów rozpoznających typowy wzorec lądowiska (obwódka + umieszczona centralnie litera „H”) wspomagających pilota w lądowaniu, wyszukujących lądowiska np. na zdjęciach szpiegowskich czy wreszcie decydujących o lądowaniu w przypadku bezałogowych maszyn latających.

## 2. CEL PRACY

Wydaje się, że idea poszukiwania przez komputer pokładowy symbolu lądowiska dla helikoptera jest całkiem nowa. W lotnictwie może mieć zastosowanie (obecnie) wyłącznie dla śmigłowców, których prędkość lotu i przyziemienia jest mała albo bardzo mała a szybkość i możliwości przetwarzania cyfrowego obrazu są wystarczające dla korygowania ich lotu. Dodatkowo – co powiedziano wcześniej – kamera umieszczona na śmigłowcu może „widzieć” więcej niż pilot. W związku z tym wykorzystanie przedstawionych właściwości staje się oczywiste (rys. 1): umieszczona na stałe (na sztywno) na śmigłowcu kamera zauważa w polu widzenia symbol lądowiska. Komputer pokładowy oblicza kąty  $\alpha$  i  $\beta$ , i – na obecnym etapie – przekazuje je pilotowi w postaci obrazu na ekranie lub głosowo. Byłby to pierwszy etap badania skuteczności metody odczytywania symbolu lądowiska. Badania takie można również (a nawet powinno się) przeprowadzić na latającym, zdalnie sterowanym modelu śmigłowca. Dalszym etapem wykorzystania przedstawionej idei byłoby jej powiązanie z dokładnym pomiarem wysokości lotu H (przy pomocy np. radiowysokościomierza – w ostatniej fazie lotu, przy podchodzeniu do lądowania). Ze znanych wartości  $\alpha$ ,  $\beta$  i H można obliczyć odległość L a stąd, znając wartości  $\alpha$ ,  $\beta$ , H i L z odpowiednią dokładnością komputer pokładowy potrafi posadzić (teoretycznie) śmigłowiec dokładnie na wyznaczonym miejscu. A to dla statku bezałogowego byłoby, po wykonaniu niektórych zadań rozwiązaniem podstawowym. Dla próby realizacji przedstawionego scenariusza pierwszym etapem jest zbadanie możliwości odczytu symbolu lądowiska, co pokazano poniżej.



Rys. 1. Parametry widzenia przez kamerę lądowiska

### 3. ZAŁOŻENIA PROJEKTU

Z definicji nie zakłada się szczególnych warunków akwizycji obrazu, ponieważ jednak stosowane będą algorytmy segmentacji krawędziowej to elementy lądowiska (linia ograniczająca, litera „H”) powinny kontrastować (zbiory punktów definiujące kształty powinny mieć luminancję istotnie różną od tła), co jest jednak założeniem naturalnym.

Powinno się zakładać, że detekcja lądowiska jest już możliwa, gdy rozróżnialne są elementy składowe lądowiska, więc gdy uda się je opisać matematycznie na płaszczyźnie dyskretnej w postaci elips, okręgów (ew. ich fragmentów – łuków stanowiących duży ułamek obwodu całej figury) i transformowanych odcinków prostych tworzących literę „H”. Natomiast takie założenie, aczkolwiek nietrudne w implementacji znakomicie podnosi złożoność obliczeniową algorytmów i wydłuża czas ich działania (zależność nieliniowa). Uzyskane algorytmy powinny pozostawiać duże możliwości przystosowania programu pod kątem parametrów zależnych od warunków lotu (pochylenie, wysokość), akwizycji (rozdzielczość, kąt widzenia kamery), czy szybkości obliczeń w stosunku do dokładności wyników. Wszystkie te parametry mogą być ustalone wcześniej lub mogą być aktualizowane w czasie rzeczywistym (automatyczny pomiar wysokości i pochylenia).

### 4. REALIZACJA

Zazwyczaj widzenie maszynowe dzieli się na etapy [1]. Ten projekt podzielono na cztery główne zadania takie jak wstępna obróbka obrazu, której zadaniem jest poprawa jakości obrazu, segmentacja, czyli ekstrakcja interesujących obiektów, analiza wysegmentowanych obiektów i ostatecznie rozpoznawanie obrazu, czyli podjęcie decyzji o rozpoznaniu na podstawie cech.

W tym projekcie operacje będą wykonywane na obrazie w skali szarości o 256 poziomach jasności. Zakłada się, że przetwarzane obrazy są monochromatyczne – jeden piksel reprezentuje liczba 8-bitowa lub polichromatyczne 24-bitowe (konwersja do skali szarości automatyczna).

### 5. PRZETWARZANIE WSTĘPNE

Obrazy często posiadają niepożądane cechy: są zaszumione, mają słaby kontrast lub niewłaściwą jasność. Takie cechy są wadami zarówno z punktu widzenia estetycznego jak i rozpoznawania obrazu. Należy je minimalizować, gdyż mogą prowadzić do rozmycia konturów i błędnej identyfikacji. Do eliminacji każdej z wad stosuje się inne przekształcenia i istotna jest ich kolejność (operacje nie są

przemienne). W tym opracowaniu przyjęto, że wyżej wymienione trzy niepożądane cechy występują najczęściej i tym kierunku następuje poprawa obrazu.

### 6. FILTRACJA SZUMÓW WYSOKOCZĘSTOTLIWOŚCIOWYCH

Szumy impulsowe filtruje się dość łatwo, ponieważ są dobrze widoczne. Znając dokładną lokalizację zakłócenia można je usunąć bez wpływania na sąsiedztwo. W tym celu stosuje się filtry nieliniowe, których działanie polega na zastąpieniu piksela szumowego wartością wspólną dla jak największej liczby sąsiadów. Doskonale w tym zastosowaniu są filtry medianowe, w których wartości otoczenia są sortowane i element środkowy tak powstałego szeregu jest szukaną wartością piksela. Jeżeli zakłócenie jest punktowe to wszyscy (lub prawie wszyscy) sąsiedzi tej fluktuacji mają wartości zbliżone do pożądanej wartości obliczanego piksela środkowego. Taka też będzie mediana, zaś wartość szumowego piksela znajdzie się na początku lub końcu szeregu.

### 7. POPRAWA KONTRASTU

Poprawa kontrastu ma na celu zwiększenie różnicy jasności między pikselami ciemnymi i jasnymi, polega na liniowym przemnożeniu wszystkich pikseli obrazu o wybrany współczynnik  $>1$ . Różnica między poziomami jasności oczywiście także skaluje się przez ten współczynnik.

### 8. SEGMENTACJA KONTUROWA

Segmentacja konturowa to wykrywanie interesujących obiektów poprzez detekcję ich krawędzi, rozumianych jako linie leżące na granicy obszarów o różnych jasnościach (choć może także być wynikiem zmiany tekstury) [2]. Lądowiska są bowiem tworzone wizualnie przez elementy dobrze widoczne i kontrastujące tak wzajemnie jak i z otoczeniem np. jasną literę „H” i ciemne podłoże (asfalt, beton, ziemię). Metody konturowe wykorzystują operatory gradientowe, a następnie progowanie [4]. Do segmentacji konturowej zdecydowano się użyć algorytmu (filtru) Canny’ego, gdyż uchodzi on za bardzo efektywny oraz skuteczny i jest najczęściej używanym narzędziem do wykrywania krawędzi. Jego pełny opis można znaleźć w [3]. Wielkość maski filtracji gaussowskiej przyjęto stałą  $5 \times 5$  pikseli i podobnie odchylenie standardowe  $\sigma$  jest parametrem ustalonym empirycznie, jednak jego nieduże zmiany nie mają krytycznego wpływu na segmentację. Pewnym problemem może być odpowiedni dobór progów. Zazwyczaj przyjmuje się próg górny jako dwu- trzykrotność progów niskiego ( $T_H \approx 2 \div 3 T_L$ ) [3], choć wybór tego drugiego jest już zadaniem niełatwym podlegającym automatyzacji. Jednak testowanie różnych progów pozwoliło określić zakresy progów ( $30 \pm 5$  i  $60 \pm 10$ ), dające zadowalające wyniki dla różnych obrazów (wysegmentowano lądowisko i literę H).

### 9. ANALIZA OBRAZÓW: ROZPOZNAWANIE OKRĘGÓW, ELIPS I ICH FRAGMENTÓW – TRANSFORMATA HOUGHA

Przyjęty model lądowiska zakłada, że składowymi wzorcami są między innymi okręgi. W ogólności należy przyjąć, że

dla kątów kamery różnych od  $90^\circ$  w obrazie będą występowały elipsy. Jednak wielka oś zawsze będzie równoległa do osi X obrazu, co prowadzi do pewnych uproszczeń. Jednocześnie należy założyć, że wysegmentowane elipsy, z racji zdyskretyzowania obrazu i zmieniających się warunków akwizycji (możliwe niewielkie odchylenia i drgania helikoptera) nie będą idealne.

Do wyszukiwania okręgów i elips postanowiono użyć „kołowej transformaty Hougha” [1], [3], która transformuje dany punkt do przestrzeni analitycznych parametrów okręgu, bądź elipsy.

Dla pełnego opisu elipsy potrzebne jest 5 parametrów, w przypadku, gdy „spłaszczenie” figury jest jednokierunkowe (oś wielka jest równoległa do OX) – cztery parametry. Dla każdego punktu obrazu będącego pozytywem (wartość = 255), zakłada się trzy dowolne wartości z dziedziny rozważanych parametrów i z równania figury wyliczany jest ostatni. Taka czwórka wartości określa jednoznacznie pole, początkowo wyzerowanej, czterowymiarowej tablicy akumulatora, które należy zainkrementować (co oznacza, że następny piksel należy do tej elipsy). Lokalne maksima akumulatora z dużym prawdopodobieństwem wskazują, że w obrazie istnieją elipsy o parametrach określonych przez współrzędne tych maksimów.

Ze względu na złożoność pamięciową postanowiono zredukować liczbę wymiarów do trzech. Konsekwencją jest konieczność obliczenia liczby pikseli pokrytych przez figurę złożoną z elipsy zewnętrznej i wewnętrznej oraz powierzchni znajdującej się pomiędzy nimi (zwaną dalej „pierścieniem”) w jednym spójnym odcinku czasu działania procedury. Taki mechanizm istotnie różni się więc od podejścia klasycznego, gdzie praktycznie do zakończenia działania procedury nie wiadomo ile pikseli należy do hipotetycznej elipsy (jakie są wartości pól akumulatora). Osiągnięto 3-4-krotne przyspieszenie przetwarzania obrazu. To rozwiązanie ma jednak tę wadę, że oblicza się dodatkowo współrzędne punktów negatywnych (0). Jednak złożoność pamięciowa jest tu bardziej krytyczna niż obliczeniowa.

Wprowadzono szereg parametrów uelastyczniających działanie transformaty, ponieważ jednak rozpoznanie jest automatyczne, to ich estymacja przebiega a priori. Jedynie dwa parametry określające maksymalne i minimalne „spłaszczenie” elipsy (w kierunku osi małej) wyrażone jako ułamek osi wielkiej, można ekstrahować z mierzalnych wielkości takich, jak kąt widzenia lądowiska i wysokość lotu helikoptera. Należy pamiętać, że optymalizacja dostępnych parametrów, zawsze ma charakter kompromisu między czasem działania i dokładnością.

## 10. ANALIZA OBRAZU: ROZPOZNAWANIE LITERY „H”

Abstrahując od wielu rozwiniętych podejść do rozpoznawania liter zdecydowano się na potraktowanie litery „H” lądowiska jako obiekt o dobrze zdefiniowanej geometrii (o ustalonym stosunku odpowiednich elementów składowych H). Obiekt taki jest transformowany przekształceniami jakie typowo występują w rzeczywistych obrazach, więc przesunięciem, skalowaniem, obrotem i pochyleniem. Wszystkie charakterystyki służące do rozpoznania „H” powinny być inwariantne na takie transformacje. Postanowiono zbadać zmienność tzw. momentów  $H_u$  [4],

wykorzystujących znormalizowane centralne momenty geometryczne, na następujący zestaw liter H:



Rys. 2. Różne transformacje litery H

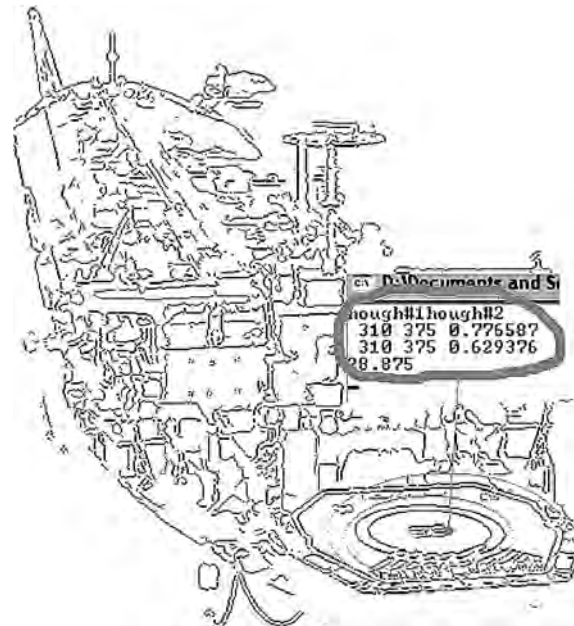
Wybrano moment  $H_{u8}$ , ponieważ wykazuje dużą zmienność na wspomniane przekształcenia geometryczne i zarazem jego wartość dla kompozycji dowolnej znacznie odbiega od wartości dla H.

W procesie rozpoznania H postanowiono dodatkowo badać inne charakterystyki spójnego zestawu pikseli znajdującego się w środku znalezionej elipsy takie jak momenty  $H_{u1}$  połówek obiektu, symetrię obiektu względem osi środka ciężkości, stosunek pola powierzchni obiektu do pola elipsy i położenie środka ciężkości obiektu w stosunku do środka elipsy.

## 11. REGUŁA DECYZYJNA I TESTOWANIE

Podsumowując, program posiada dwa główne stopnie rozpoznania: najpierw elipsy (okręgi) ograniczające lądowisko, a następnie wieloetapowe procedowanie na środku (bądź ewentualnie także na najbliższym otoczeniu) tych elips. W skład drugiego stopnia wchodzi badanie momentu  $H_{u8}$  obiektu centralnego, momentów  $H_{u1}$  połówek obrazu H w podziale podłużnym i poprzecznym, symetrii, położenia środka względem środka znalezionej elipsy i pola obiektu względem pola elipsy. Stosunek odpowiednich pól i momenty  $H_u$  są najbardziej niezawodne. Dlatego od odpowiedniego stosunku pól postanowiono uzależnić obliczenia kolejnych etapów, momentowi całej figury przypisać wagę największą (3), momentom połówek figury wagę mniejszą (2), centryczności wagę (1), symetrii względem osi OX najmniejszą (0.5) i podobnie względem osi OY (0.5). Kompilację wszystkich etapów wyrażono jedną liczbą z zakresu  $<0; 1>$ , im większa wartość tym większe prawdopodobieństwo wykrycia lądowiska.

Przykładowe obrazy testowe przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wyniki rozpoznania. W czerwonych obwódkach podano możliwość, że rozpoznano rzeczywiste lądowisko; Wynosi ona 0,644 dla górnego zdjęcia i 0,776 dla dolnego

## 12. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone testy wykazały, że większość znalezionych lądowisk ma wartość generowaną przez regułę decyzyjną powyżej 0.6 natomiast nie-lądowisk z większą od tej wartością jest niewiele. Można więc założyć, że będzie to dobra wartość stanowiąca próg rozpoznania. Należy zaznaczyć, że wszystkie (oprócz pierwszego sztucznego) wykorzystywane tu obrazy uległy wcześniej stratnej kompresji JPEG, co mogło mieć wpływ na poprawną segmentację, a w konsekwencji końcowe wyniki.

Występują błędne rozpoznania i program w prezentowanej postaci nie daje pewności znalezienia lądowiska, nie mógłby więc być stosowany jako samodzielnie decydujący np. o lądowaniu, natomiast wszędzie tam gdzie decyzja nie jest krytyczna lub decyzję końcową podejmuje operator-człowiek system ten może mieć aplikację. Należy się spodziewać, że w sekwencji obrazów tej samej sceny wykrywalność będzie wzrastać.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] **Choraś R. S.:** *Komputerowa wizja – Metody interpretacji identyfikacji obiektów.* Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa 2005.
- [2] **Amanowcz B.:** *Optymalizacja metody segmentacji konturowej obrazów barwnych.* Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych. Warszawa 2005.
- [3] **Malina W., Smiatacz M.:** *Metody cyfrowego przetwarzania obrazów.* Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa 2005.
- [4] **Tadeusiewicz R., Korohoda P.:** *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów.* Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji. Kraków 1997.

AUTOMATIC VISIONAL RECONNAISSANCE  
OF HELICOPTER LANDING FIELD

Summary

Presented work is the demonstration trial that camera and processor can help helicopter pilot in the landing process in the difficult conditions. With the landing approach, when pilot is occupied with terrain observation and by the search for a landing field, the signal that camera sees the landing field and can show it will be the valuable information. In the presented work the only narrow segment of a submitted process – the search of certain algorithms of the landings field recognition from patterns of the letter H and the border shape is mentioned. To recognition of the circumferences/ellipses the circular Hough transform (CHT) is utilized with the accumulation table limited to 3 dimensions. After ellipses search, their interior and nearest outer surroundings are analyzed, for the confirmation (or not) of the letter H occurrence in it. Considering the requirement of the invariance of the letter H recognizing procedures with regard to such geometric transformations as translation, graduation, turn and inclination, it was decided on the utilization of central geometric moments and  $H_u$  moments and H symmetry with regard to its centre, the treating of letter H centre with the centre of landing field or non-repetition and the invariability of the letter H halves geometric moments. It was assumed, that input picture is recorded with the help of lossy compression in the JPEG format. Received algorithms are implemented in the C++ programming language. Program performs correctly, however the incorrect recognition of landing field occurs sometimes. However, it can be expected, that in the sequence of pictures of the same scene recorded by the camera, the recognition will improve in the process of the approach.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ  
ПОСАДОЧНОЙ ПЛОЩАДКИ ВЕРТОЛЁТА  
ПО ВИДЕО-ОБРАЗУ

Резюме

Работа является попыткой показать, что видеокамера и процессор могут помочь пилоту вертолётa во время посадки в трудных условиях. При подходе на посадку, когда пилот занят наблюдением местности и поиском места посадки сигнал, что видеокамера видит посадочную площадку и может её указать, был бы ценной информацией. В представленной работе авторы занялись только небольшим фрагментом представленного процесса - поиском надёжных алгоритмов нахождения одного из образов посадочной площадки в форме обводки и буквы H. Для обнаружения окружностей/эллипсов использовано окружное преобразование Hougha (CHT) с ограниченной до 3 измерений в таблице аккумуляции. После обнаружения эллипса, анализируется изображение внутри и ближайшее наружное окружение, с целью подтверждения или опровержения наличия буквы H. Поскольку требуется инвариантность процедур обнаружения буквы H относительно таких геометрических преобразований как трансляция, градуирование, вращение и наклонение, решено использовать центральные геометрические моменты и момента  $H_u$ , симметрию H относительно её центра, наложение центра H с центром посадочной площадки, а также неповторимости и неизменности геометрических моментов половинок буквы H. Принято, что исходное изображение записано с помощью компрессии в формате JPEG. Полученные алгоритмы были осуществлены в языке C++. Программа действовала исправно, но иногда появлялись ошибочные обнаружения посадочной площадки. Следует ожидать, что в серии изображений одной и той же сцены регистрируемых камерой изображений, обнаруживаемость будет расти с уменьшением расстояния.