

# Wykrywanie przeszkód wewnątrz pomieszczeń na trajektorii lotu BSP

Bartosz Brzozowski

Zakład Awioniki i Uzbrojenia Lotniczego, Instytut Techniki Lotniczej, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Warszawa

**Streszczenie:** Na potrzeby autonomicznego wykonywania lotów bezpilotowych statków powietrznych opracowano system antykolizyjny. Składa się on z zaprojektowanego i wykonanego w Zakładzie Awioniki i Uzbrojenia Lotniczego Wojskowej Akademii Technicznej trójwymiarowego laserowego skanera przestrzeni oraz aplikacji zaimplementowanej w komputerze pokładowym BSP. W artykule omówiono budowę i zasadę działania opracowanego czujnika oraz szczegółowo opisano etapy wykrywania przeszkód realizowane przez aplikację. Na zakończenie przedstawiono wady i zalety przyjętego rozwiązania, a także dalsze kierunki rozwoju systemu.

**Słowa kluczowe:** system antykolizyjny, bezpilotowe statki powietrzne, laserowy skaner przestrzeni

**DOI:** 10.14313/PAR\_206/88

Wykonanie autonomicznych lotów wewnątrz pomieszczeń oraz wszędzie tam, gdzie występuje duże nagromadzenie przeszkód terenowych, wymaga zastosowania odpowiedniego systemu na pokładzie bezpilotowego statku powietrznego (BSP) umożliwiającego wykrycie obszarów niebezpiecznych. W przypadku wykonywania misji w terenie otwartym, gdy lot odbywa się na określonym pułapie (z reguły powyżej warstwy koron drzew) tego typu systemy są najczęściej pomijane. Pozwala to na zmniejszenie masy wyposażenia awionicznego, zwiększenie masy paliwa i tym samym zasięgu operacyjnego, a jednocześnie nie wpływa na niezawodność oraz bezpieczeństwo BSP.

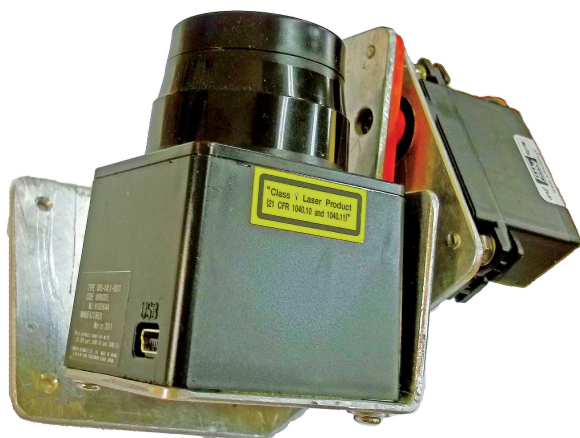
Zagrożenie podczas lotów na otwartej przestrzeni stanowią przede wszystkim inne obiekty latające. W takich przypadkach, w szczególności dla dużych BSP, stosuje się systemem ostrzegania TCAS (ang. *Traffic Alert and Collision Avoidance System*), stosowany na samolotach pasażerskich [7]. Dla mniejszych obiektów projektuje się systemy antykolizyjne wzorowane na tym systemie oraz współpracujące z nim [2]. Na rynku są już dostępne rozwiązania komercyjne, takie jak transponder T2000UAV-L

australijskiej firmy MicroAir o masie 450 g, umożliwiający współpracę z TCAS przez wysyłanie kodu identyfikacyjnego statku powietrzego nadanego przez kontrolę ruchu lotniczego.

W terenach zurbanizowanych oraz wewnątrz pomieszczeń często stosowaną techniką nawigacji w robotyce i pojawiającą się w lotnictwie bezałogowym, pozwalającą dodatkowo na uzyskanie wirtualnej mapy otoczenia ruchu obiektu, jest SLAM (ang. *Simultaneous Localisation And Mapping*) [1, 9]. W przypadku stosowania odpowiednich czujników SLAM nie tylko pozwala na precyzyjne określenie położenia, ale także na wykrywanie przeszkód, a po zaimplementowaniu algorytmów antykolizyjnych i systemów sterowania można taki moduł traktować jako autopilot. Technika ta wymaga stosowania czujników określających współrzędne i odległość od przedmiotów. Najczęściej stosowanymi są dwu- i trójwymiarowe laserowe skanery przestrzeni, czujniki ultradźwiękowe, kamery i radary. Prowadzone są również badania nad wykorzystaniem mocy odbieranego sygnału WiFi jako źródła informacji o położeniu [6]. Tym rozwiązaniem zainteresowała się ostatnio firma Apple z myślą o zastosowaniu go w swoich produktach i kupiła założoną przez naukowców dwuletnią firmę WiFiSLAM za 20 milionów dolarów [8].

## 1. Wprowadzenie

System antykolizyjny opracowany w Zakładzie Awioniki i Uzbrojenia Lotniczego Wojskowej Akademii Technicznej ma cechy technologii SLAM, ale w tym przypadku jest ona wykorzystywana wyłącznie do lokalizacji BSP podczas wykonywania misji oraz wykrywania przeszkód na trasie lotu. Dane pomiarowe uzyskiwane są z opracowanego modułu trójwymiarowego laserowego skanera przestrzeni, wykorzystującego czujnik URG-04LX firmy Hokuyo. Otrzymana w wyniku pomiaru chmura punktów może być zwizualizowana w celu sprawdzenia poprawności działania modułu. Na potrzeby zobrazowania działania algorytmów chmury zostały wygenerowane na różnych etapach jego realizacji. Natomiast podczas normalnego działania systemu dane pomiarowe przetwarzane są w czasie rzeczywistym w komputerze pokładowym i nie są rejestro-



**Rys. 1.** Zaprojektowany moduł pomiarowy [3]  
**Fig. 1.** Designed measurement module [3]

wane, więc nie ma możliwości uzyskania mapy otoczenia w trakcie lotu ani po zakończeniu misji.

Opracowane rozwiązanie jest dedykowane dla BSP pionowego startu i lądowania VTOL (ang. *Vertical Take-Off and Landing*) i lotów wewnątrz pomieszczeń. Elementem determinującym przeznaczenie systemu jest zastosowany czujnik, którego zasięg nie przekracza 5 m, a pomiar w jednej płaszczyźnie trwa 100 ms. Z tego powodu uruchomienie modułu pomiarowego następuje wyłącznie w zawisie BSP. Po zakończeniu pomiaru określone są obszary, w których występują przeszkody, następnie informacje te zostaną przekazane do modułu sterowania, w którym wyznaczona zostanie trajektoria lotu do kolejnego punktu trasy, która uwzględni przestrzenie wyłączone z ruchu. Końcowy punkt wyznaczonej trajektorii będzie określał miejsce, w którym konieczne jest zweryfikowanie obecności przeszkód przed dalszym lotem.

## 2. Moduł pomiarowy

Zaprojektowany moduł pomiarowy (rys. 1) składa się z 8-bitowego mikrokontrolera AT90USB firmy Atmel, czujnika laserowego URG-04LX firmy Hokuyo, oraz serwomechanizmu [3]. Wszystkie elementy zamontowane są na łożach wykonanych ze stopu aluminium, umożliwiających wprowadzenie czujnika w ruch oraz integrację modułu ze strukturą BSP.

### 2.1. Budowa

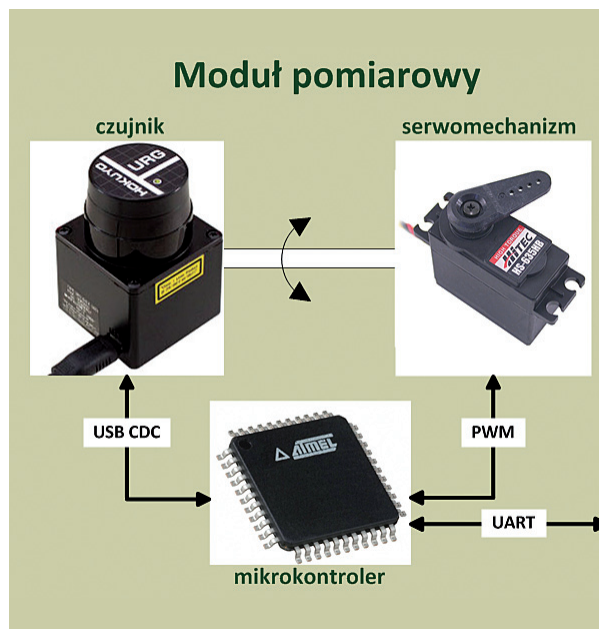
Na schemacie struktury modułu pomiarowego (rys. 2) zobrazowano jego podzespoły oraz sposób połączenia i wymiany sygnałów między nimi. Czujnik połączony jest mechanicznie z serwomechanizmem poprzez łożo czujnika, natomiast mikrokontroler wykorzystuje dwa interfejsy cyfrowe UART i USB oraz jeden analogowy PWM do komunikacji z komponentami systemu antykolizyjnego.

Czujnik URG-04LX umożliwia pomiary w jednej płaszczyźnie wykorzystując zwierciadło obracane z prędkością

600 obrotów na minutę do wysyłania i odbierania laserowej wiązki pomiarowej. Częstotliwość wysyłania impulsów pomiarowych została dobrana w taki sposób, aby uzyskać 1024 punkty dla pełnego obrotu, co w rezultacie dało rozdzielczość równą  $0,3515625^\circ$ . Struktura czujnika ogranicza kąt pomiarowy do  $240^\circ$ , czyli 683 punktów, a oprogramowanie umożliwia zawężenie obszaru pomiarowego w celu zmniejszenia ilości otrzymywanych danych lub uzyskania pomiarów wyłącznie w określonym wycinku płaszczyzny pomiarowej. Drugim parametrem, który może zostać skonfigurowany przez użytkownika jest rozdzielczość. Dokonuje się tego przez podanie liczby całkowitej określającej zwielokrotnienie podstawowej rozdzielczości. Podana liczba stanowi jednocześnie informację dla czujnika, ile kolejnych punktów pomiarowych ma zostać uśrednionych. Zmiany konfiguracyjne nie wpływają na częstotliwość pomiarów ani pobór mocy urządzenia, gdyż stanowią jedynie programowe ograniczenie przesyłanych danych, natomiast czujnik i tak wykonuje wszystkie 683 pomiary.

Wykonanie pomiarów w trzech wymiarach realizowane jest przez wprowadzenie czujnika laserowego w ruch za pomocą serwomechanizmu. Maksymalny zakres ruchu serwomechanizmu wynosi  $180^\circ$ , a w opracowanym systemie antykolizyjnym użytkownik może ustawić jego skok w zakresie  $1-10^\circ$  z rozdzielczością  $1^\circ$ . Aktualna pozycja serwomechanizmu określana jest przez otrzymaną z mikrokontrolera szerokość sygnału sterującego PWM.

Mikrokontroler AT90USB firmy Atmel został wybrany przede wszystkim ze względu na wygodną obsługę urządzeń klasy USB CDC (ang. *Universal Serial Bus Communication Device Class*), ponieważ komunikacja z czujnikiem jest możliwa wyłącznie za pomocą interfejsu tej klasy. Praca mikrokontrolera zgodnie z opracowanym algorytmem



**Rys. 2.** Schemat struktury skanera trójwymiarowego  
**Fig. 2.** Structural scheme of a tridimensional scanner

rozpoczyna się od inicjalizacji i konfiguracji czujnika, następnie serwomechanizm ustawiany jest w położeniu początkowym i rozpoczyna się proces skanowania przestrzeni. Skanowanie polega na cyklicznym wysyłaniu polecenia wykonania pomiaru do czujnika, odebraniu danych oraz zmiany położenia serwomechanizmu. Po osiągnięciu przez serwomechanizm położenia końcowego następuje transformacja odebranych współrzędnych danych z pomiarowego układu współrzędnych do układu kartezjańskiego o początku

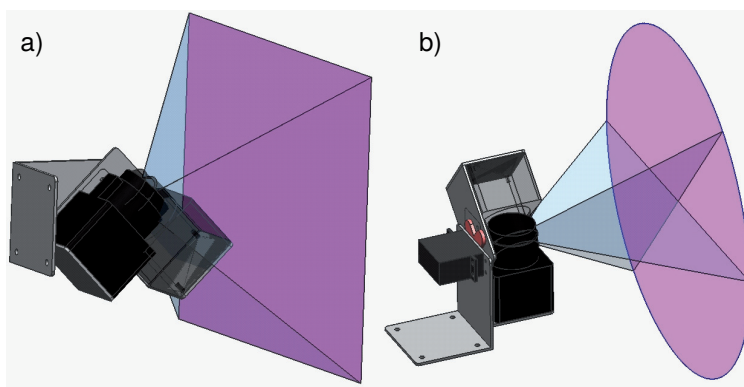
w punkcie przecięcia osi obrotu serwomechanizmu z osią silnika obracającego zwierciadło w czujniku. Po zakończeniu transformacji dane wysyłane są za pomocą interfejsu UART do komputera pokładowego.

Komputer pokładowy nie jest elementem modułu pomiarowego, ale pełni istotną rolę w systemie antykolizyjnym. W opracowanym rozwiązaniu jest to komputer klasy PC-104 z zaimplementowanym systemem operacyjnym czasu rzeczywistego Windows Embedded oraz aplikacją wielowątkową do zarządzania lotem. W jednym z wątków realizowana jest obsługa systemu antykolizyjnego. Polega ona na komunikacji z modułem pomiarowym w celu uzyskania danych pomiarowych w kartezjańskim układzie współrzędnych oraz przetworzeniu ich w celu określenia położenia przeszkód. Informacje te są następnie wykorzystywane do wyznaczenia trajektorii lotu BSP.

## 2.2. Zasada działania

Moduł pomiarowy umożliwia uzyskanie chmury punktów za pomocą jednej z dwóch metod: liniowej lub obrotowej. W celu zmiany metody należy obrócić czujnik w łożu o  $90^\circ$  i wgrać odpowiednią wersję oprogramowania dla mikrokontrolera. Pierwsza metoda, nazwana liniową, polega na ruchu czujnika w kierunku ortogonalnym do płaszczyzny skanowania (rys. 3a). W tym przypadku obszar skanowany przez urządzenie określa przestrzeń w postaci ostrosłupa czworokątnego o kącie wierzchołkowym równym  $120^\circ$ . W rezultacie otrzymywana jest chmura punktów, punkty pomiarowe układają się w równoległe linie. W drugiej metodzie płaszczyzna skanowania obracana jest wokół osi skierowanej równoległe do osi podłużnej BSP (rys. 3b). Metoda ta określona została jako obrotowa, gdyż w wyniku obrotu płaszczyzny skanowania punkty pomiarowe układają się w koncentryczne okręgi, a skanowany obszar określa przestrzeń w kształcie stożka o kącie rozwarcia równym  $120^\circ$  [4].

Wartości kątów rozwarcia wynikają z wprowadzonych ustawień konfiguracyjnych czujnika i zakresu ruchu serwomechanizmu. W obu metodach kąt pomiarowy czujnika został ograniczony do  $120^\circ$  oraz uśredniane są trzy kolejne pomiary, co skutkuje uzyskaniem rozdzielczości ok.  $1^\circ$ . W metodzie liniowej zakres ruchu został ograniczony do  $120^\circ$ , gdyż ustalono, że w celu wykrycia przeszkód na trasie lotu konieczna jest informacja jedynie o przestrzeni przed BSP, ponieważ obiekty znajdujące się bezpośrednio nad



**Rys. 3.** Porównanie zasady działania metod skanowania przestrzeni: a) liniowej i b) obrotowej [4]

**Fig. 3.** Comparison of scanning methods operations: a) linear and b) rotational [4]

i pod nim zostały już zidentyfikowane podczas wcześniejszego pomiaru. W metodzie obrotowej konieczne jest wykonanie pełnego obrotu czujnika o  $180^\circ$  w celu uzyskania informacji o całym obszarze przed BSP.

Na podstawie porównania przeprowadzonych pomiarów dla obu metod wynika, że bardziej niezawodna i szybsza jest metoda obrotowa. Metoda ta umożliwia ciągły pomiar odległości przed BSP, dzięki czemu może być również stosowana w trakcie lotu [4]. Niemniej jednak, w związku z nierównomiernym rozkładem punktów pomiarowych, w metodzie obrotowej konieczne staje się stosowanie bardziej złożonych algorytmów wykrywania przeszkód, których realizacja znacząco wydłuża czas pracy systemu. Głównie z tego powodu wykorzystano metodę liniową do wykrywania przeszkód w opracowanym systemie antykolizyjnym.

## 3. Wykrywanie przeszkód

Opracowane algorytmy wykrywania przeszkód wykorzystują otwarte biblioteki PCL (ang. *Point Cloud Library*) umożliwiające pracę z danymi w postaci chmury punktów. Na rys. 4 przedstawiono przykładowe dane odebrane z modułu pomiarowego obrazujące ekran odsunięty o 2 m od ściany w sali laboratoryjnej. Sufit w sali nie jest równoległy do podłogi i widać dwie podwieszane pod nim lampy. Przy ścianie po lewej stronie można zauważyć ławki i krzesła, natomiast po prawej – kaloryfer, parapet i okna. Na potrzeby prezentacji działania opracowanych algorytmów jako przeszkodę wybrano ekran, gdyż na wizualizacji wyraźnie widać jego kształt. Dzięki temu możliwe jest szczegółowe przeanalizowanie procesu wykrywania przeszkód, które zostało podzielone na trzy etapy. W pierwszym określone są granice przestrzeni ruchu, a w drugim wyznaczane są punkty stanowiące krawędzie obiektów i ich cienie. Natomiast w trzecim etapie wyznaczone punkty są grupowane i zdefiniowane zostają obszary stanowiące przestrzeń zawierającą przeszkody.



### 3.1. Granice

W ogólnym przypadku granicą przestrzeni, w której możliwe jest wykonywanie lotu wewnątrz pomieszczenia, stanowią jego ściany, podłoga oraz sufit, czyli duże płaszczyzny, w porównaniu z pozostałymi obiektami w pomieszczeniu. W szczególnych sytuacjach, na przykład podczas wykonywania misji przez BSP w pomieszczeniach po trzęsieniu ziemi, granice mogą mieć bardzo nieregularne kształty. Ponadto zdarzają się budynki, w których ściany mają nieregularny kształt, a sklepienia stanowią łuki. Stosowany obecnie algorytm wykrywania przeszkód wyznacza granice wyłącznie w formie płaszczyzn. W pomieszczeniach o nietypowych kształtach ściany lub sufity nie zostaną zinterpretowane jako granice, ale będą wykrywane jako przeszkody. Pozwoli to na uniknięcie kolizji, ale może spowodować niepoprawne działanie algorytmu wyznaczania trajektorii lotu.

Algorytm wyznaczania granic rozpoczyna się od przeprowadzenia procesu filtracji danych pomiarowych – usunięcie pojedynczych punktów znacząco odbiegających od ogólnej geometrii całego skanowanego obszaru. Usunięte punkty to najczęściej wynik wielokrotnego odbicia wiązki laserowej od różnych przeszkód, a interpretowane przez czujnik jako bezpośredni pomiar odległości w danym kierunku. Punkty te mogą wprowadzać znaczne błędy podczas wyznaczania elementów otoczenia ruchu BSP, zarówno na tym etapie jak i kolejnych.

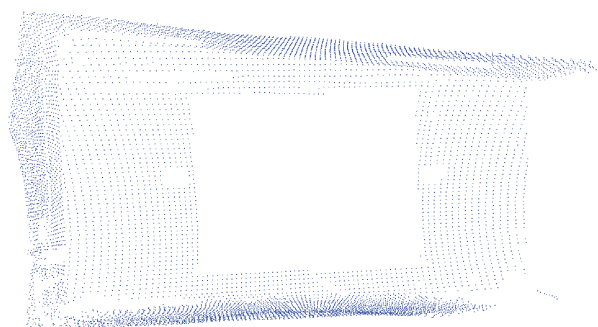
Jak wspomniano wcześniej, granice przestrzeni wyznaczone są jako największe płaszczyzny, najbardziej oddalone od modułu pomiarowego. Dla pojedynczej chmury punktów, w typowym pomieszczeniu, może się znajdować maksymalnie pięć granic. Płaszczyzny określane są na podstawie algorytmu RANSAC (ang. *Random Sample Consensus*) [5]. Jest to metoda iteracyjna estymacji parametrów modelu matematycznego znanego obiektu na podstawie danych eksperymentalnych opisujących ten obiekt oraz inne elementy odstające od obiektu. W przypadku wyznaczania granic poszukiwanym obiektem jest płaszczyzna zawierająca jak najwięcej punktów z chmury, modelem matematycznym jest wzór tej płaszczyzny, natomiast elementy odstające to wszystkie punkty pomiarowe nienależące do znalezionej płaszczyzny. Algorytm grupuje punkty, wyznaczając dla nich wzór opisujący płaszczyznę, a następnie porównuje, ile punktów pomiarowych zawartych jest w wyznaczonej płaszczyźnie, a ile stanowi elementy od niej odstające. Operacja ta jest powtarzana aż do uzyskania maksymalnego współczynnika takiego porównania. Następnie wyznaczana jest kolejna płaszczyzna z pozostałych punktów. Algorytm powtarzany jest aż liczba pozostałych punktów pomiarowych jest mniejsza niż 10 % maksymalnej liczby punktów w chmurze możliwej do uzyskania z zastosowanego modułu pomiarowego. Na koniec, aby wybrać granice z wyznaczonych płaszczyzn, sprawdzane jest ich wzajemne położenie oraz odległość od modułu pomiarowego.

Dla przykładowych danych pomiarowych algorytm wyznaczył 5 płaszczyzn, z czego 4, opisane równaniami normalnymi (1), zostały uznane za granice. Jedną z wykry-

tych płaszczyzn nienależącą do granic był ekran. Został on odrzucony, gdyż inna płaszczyzna, o zbliżonej orientacji, znajdowała się dalej od modułu pomiarowego. Punkty należące do tych płaszczyzn zostały zobrazowane na rys. 5.

$$\begin{aligned} 0,0453x + 0,0102y + 0,9989z - 3550,545 &= 0 \\ 0,0257x - 0,998y + 0,0573z + 963 &= 0 \\ 0,1168x - 0,9932y - 0,0029z - 2377,915 &= 0 \\ 0,999x + 0,0093y - 0,0433z + 3297,6 &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Opracowany moduł pomiarowy ma zasięg 5 m, więc w przypadku dużych pomieszczeń możliwe jest, że nie zostaną wykryte granice, a widoczne będą wyłącznie przeszkody.



Rys. 5. Wizualizacja wyznaczonych granic pomieszczenia

Fig. 5. Visualization of a determined borders of the lab

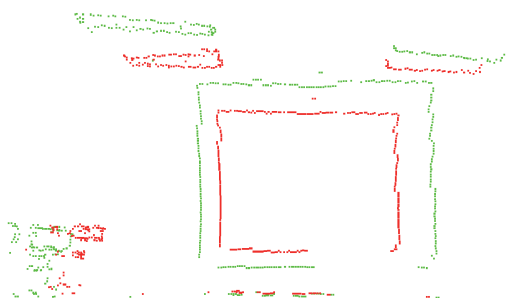
### 3.2. Krawędzie obiektów

Wyznaczenie krawędzi przeszkód odbywa się zgodnie z algorytmem opisanym w [10]. Przed jego rozpoczęciem chmura punktów musi zostać zamieniona na tak zwany *range image*. Oznacza to, że do współrzędnych trójwymiarowych każdego z punktów określonych w milimetrach dopisane zostają współrzędne dwuwymiarowe w pikselach. Współrzędne te powstają przez rzut danego punktu na płaszczyznę XY trójwymiarowego układu współrzędnych związanego z modułem pomiarowym, w którym współrzędna Z określa odległość. Zamiana odległości w milimetrach na piksele pozwala na automatyczne dopasowanie algorytmu w zależności od wielkości skanowanego obszaru oraz maksymalnych odległości bez konieczności każdorazowej zmiany parametrów wyszukiwania krawędzi.

Krawędzie obiektów wyznaczone są na podstawie odległości między poszczególnymi punktami. Brane pod uwagę są wyłącznie te punkty, które znajdują się na pierwszym planie, natomiast obiekty dalsze nie są uwzględniane. Dla każdego punktu zostają wyznaczone sąsiadujące punkty we współrzędnych dwuwymiarowych mieszczące się w kwadracie o wielkości 5 px, w którego środku znajduje się badany punkt. Następnie obliczane są odległości między tym punktem a jego sąsiadami we współrzędnych trójwymiarowych. Punkty, dla których odległości od sąsiednich punktów w jednym z kierunków są znacznie większe od odległości

w pozostałych kierunkach, traktowane są jako krawędzie obiektów. Dla każdego punktu krawędziowego określany jest następnie jego cień. Wyznaczany jest on jako najbardziej oddalony punkt w przestrzeni trójwymiarowej bezpośrednio sąsiadujący z punktem krawędziowym.

Dla przykładowych danych pomiarowych algorytm wyznaczył krawędzie (kolor czerwony) i ich cienie (kolor zielony) dla ekranu, lamp oraz krzeseł i ławek (rys. 6). Jak widać (rys. 5 i 6), zarówno algorytm wyznaczania granic, jak i krawędzi obiektu pominał znajdujące się z prawej strony sali laboratoryjnej okna oraz kaloryfer i parapet. Wynika to ze znacznie mniejszej liczby punktów pomiarowych w tamtym obszarze niż w pozostałych, braku wyraźnych krawędzi i cieni obiektów oraz dużej odległości od czujnika. Zdarzają się też nieciągłości w określonych krawędziach przeszkód, ale nie wpływa to na poprawność wyznaczenia obszarów niebezpiecznych.



Rys. 6. Krawędzie przeszkód i ich cienie

Fig. 6. Obstacles borders and theirs shadows

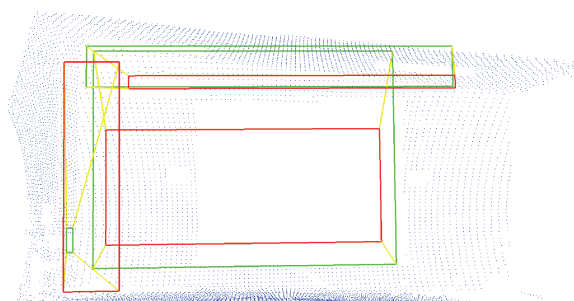
### 3.3. Obszary niebezpieczne

Wyznaczenie obszarów niebezpiecznych jest ściśle powiązane z określonymi krawędziami przeszkód. Punkty krawędziowe i ich cienie są grupowane w zależności od odległości od modułu pomiarowego oraz ich wzajemnego położenia. W każdej grupie krawędzi i odpowiadającej jej grupie cieni określone zostają maksymalne oraz minimalne wartości każdej współrzędnej w przestrzeni trójwymiarowej na podstawie współrzędnych wszystkich punktów należących do danej grupy. W ten sposób otrzymywane są współrzędne dwóch skrajnych punktów danej przeszkody. Ustalono, że nie znając kształtów przeszkód, a mając jedynie informację o ich skrajnych współrzędnych, można wyznaczyć prostokąt o przekątnej stanowiącej linię łączącą te dwa skrajne punkty. Wówczas kontur przeszkody dowolnego kształtu zawierać się będzie wewnątrz tego prostokąta. Na podstawie współrzędnych wierzchołków prostokątów krawędzi oraz cieni wyznaczanych jest 6 płaszczyzn oraz 12 linii, które tworzą układ równań wyznaczających fragment przestrzeni, w którym zawarta jest wykryta przeszkoda.

Zastosowany algorytm grupuje krawędzie przeszkód w zależności od ich wzajemnego położenia. Na etapie badań przeprowadzono szereg testów mających na celu określenie wpływu zastosowania filtracji oraz zmiany współczynnika

rozrzutu punktów przy ustalaniu danej grupy na funkcjonalność całego algorytmu wyznaczania obszarów niebezpiecznych. Okazało się, że filtracja przy tak małej grupie punktów, jaką otrzymuje się po wyznaczeniu krawędzi, powoduje wyznaczenie obszarów mniejszych niż rzeczywiste rozmiary przeszkód. W związku z tym zrezygnowano z filtracji wyników podczas wyznaczania krawędzi. Współczynnik rozrzutu punktów określających obszar niebezpieczny dobrano eksperymentalnie. Zbyt mały współczynnik powodował podział przeszkód na mniejsze grupy niż rozmiary przeszkód. Natomiast zbyt duży, w zależności od rozkładu przeszkód w przestrzeni, powodował wykrycie tylko największej przeszkody lub algorytm traktował wszystkie punkty krawędziowe jako granice jednej przestrzeni i wyznaczał tylko jeden obszar niebezpieczny. Wartość współczynnika została dobrana w taki sposób, żeby wyznaczone obszary, niezależnie od rozkładu przeszkód w przestrzeni, były zawsze większe niż rzeczywiste rozmiary przeszkód.

Dla przykładowych danych pomiarowych algorytm wyznaczył trzy obszary niebezpieczne (rys. 7). Linie ograniczające płaszczyznę powstałą z punktów krawędziowych oznaczono kolorem czerwonym, a z ich cieni – kolorem zielonym. Kolorem żółtym zaznaczono linie łączące wierzchołki prostokątów, które jednocześnie ograniczają cztery płaszczyzny zawierające po dwa sąsiednie punkty prostokątów krawędzi i cienia.



Rys. 7. Wyznaczone obszary niebezpieczne dla lotu

Fig. 7. Computed areas dangerous for flight

Po porównaniu obszarów niebezpiecznych z rys. 7 z punktami krawędziowymi z rys. 6 widać, że wyznaczone obszary są znacznie większe niż początkowo znalezione punkty ograniczające pojedyncze przeszkody. Lampy pod sufitem zostały otoczone jednym obszarem niebezpiecznym otaczającym obie przeszkody. Z kolei obszary niebezpieczne dla ekranu oraz ławek i krzeseł są znacznie większe z powodu uwzględnienia przez algorytm pojedynczych punktów krawędziowych, nienależących do tych obiektów, jako elementy tego samego obszaru niebezpiecznego. Spowodowane jest to taką samą odległością od modułu pomiarowego wspomnianych punktów jak odległość najbliższych krawędzi przeszkód. Tak działający algorytm bardziej ogranicza przestrzeń dozwoloną dla lotu niż rzeczywiste rozmieszczenie przeszkód, ale gwarantuje bezpieczeństwo, gdyż uwzględnia wszystkie najbliższe wykryte obiekty i zakłada, że jest między nimi powiązanie.

Jak wspomniano wcześniej, problemem dla opracowanego algorytmu przy poprawnej interpretacji otoczenia są przede wszystkim duże powierzchnie szklane oraz nieregularne granice. W przypadku ścian z dużym nagromadzeniem wnek okiennych, dla większości pomiarów zastosowany moduł pomiarowy z opracowanym algorytmem błędnie interpretuje takie obszary. Z tego powodu prowadzone są prace nad integracją czujników ultradźwiękowych z opracowanym systemem antykolizyjnym w celu weryfikacji informacji zwracanych przez algorytm.

## 4. Podsumowanie

Opracowano i przebadano element systemu antykolizyjnego składający się z modułu awionicznego w postaci trójwymiarowego laserowego skanera przestrzeni oraz aplikacji wykrywającej przeszkody na podstawie otrzymanej chmury punktów, ze skutecznością na poziomie 95 %. Moduł dedykowany jest dla BSP pionowego startu i lądowania, do zastosowań wewnątrz pomieszczeń. Ograniczenia te wynikają z zastosowanego czujnika pomiarowego o zasięgu 5 m i stosunkowo długim czasie wykonywania pomiarów.

Czas pomiaru jest największą wadą opracowanego systemu, dlatego rozpoczęto badania nad opracowaniem nowego, szybciej działającego czujnika o co najmniej takich samych parametrach dotyczących jakości otrzymywanych danych. Kolejną wadą przyjętego rozwiązania jest kilkakrotnie wspomniany problem z wykrywaniem elementów odbijających, przepuszczających lub rozpraszających promieniowanie świetlne. Z tego powodu system wymaga zastosowania dodatkowego zestawu czujników ultradźwiękowych zabezpieczających BSP przed kolizją z tego typu obiektami.

Dalsze prace nad projektowanym systemem antykolizyjnym mają na celu usprawnienie sposobu otrzymywania chmury punktów, integrację z dodatkowymi czujnikami oraz implementację algorytmów wyznaczania trajektorii lotu.

## Bibliografia

- Alpen M., Frick K., Horn J., *A Real-Time On-Board Orthogonal SLAM for an Indoor UAV*, "Intelligent Robotics and Applications" 7508/2012, 542–551.
- Asmat J., Rhodes B., Umansky J., Villavincencio C., Yunas A., Donohue G., Lacher A., *UAS Safety: Unmanned Aerial Collision Avoidance System (UCAS)*, "Systems and Information Engineering Design Symposium", 2006, 43–49. DOI: 10.1109/SIEDS.2006.278711
- Brzozowski B., Kordowski P., Rochala Z., Wojtowicz K., *Project of a miniature 3D LIDAR for VTOL UAVs*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, 2/2013, 309–312.
- Brzozowski B., Kordowski P., Rochala Z., Wojtowicz K. *Metody skanowania przestrzeni w systemie antykolizyjnym BSP*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 288, Mechanika, z. 85, 397–403. DOI: 10.7862/rm.2013.35.
- Fischler M.A., Bolles R.C., *Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography*, "Communications of the ACM", Vol. 6/24, 1981, 381–395. DOI: 10.1145/358669.358692
- Huang J., Millman D., Quigley M., Stavens D., Thrun S., Aggarwal A., *Efficient, generalized indoor WiFi GraphSLAM*, "Proceeding of International Conference on Robotics and Automation", 2011, 1038–1043. DOI: 10.1109/ICRA.2011.5979643
- Hyeon-Cheol L., *Implementation of collision avoidance system using TCAS II to UAVs*, "Aerospace and Electronic Systems Magazine", Vol. 21–7/2006, 8–13. DOI: 10.1109/MAES.2006.1684262
- Lessin J.E., *Apple Acquires Indoor Location Company WifiSLAM*, The Wall Street Journal, 23.03.2013, [http://blogs.wsj.com/digits/2013/03/23/apple-acquires-indoor-location-company-wifislam].
- Sanfourche M., Delaune J., Le Besnerais G., de Plinval H., Israel J., Cornic P., Treil A., Watanabe Y., Plyer A., *Perception for UAV: Vision-Based Navigation and Environment Modeling*, "Journal Aerospace Lab" 4/2012, AL04-04, 1–19.
- Steder B., Rusu B.R., Konolige K., Burgard W., *Point Feature Extraction on 3D Range Scans Taking into Account Object Boundaries*, "International Conference on Robotics and Automation", 2011, 2601–2608. DOI: 10.1109/ICRA.2011.5980187. ■

### Obstacles detection on the UAVs indoor flight path

**Abstract:** An anti-collision system was developed for autonomous indoor flights of unmanned aerial vehicles (UAVs). It consists of a designed and built in the Department of Avionics and Airplane Armament three-dimensional laser range scanner and an application implemented in a main avionics computer. In this paper structure and working principles of the sensor were described and stages of obstacles detection realized by the application were detailed. Finally advantages and disadvantages of the system were showed as well as future directions of its development.

**Keywords:** anti-collision system, UAV, LIDAR

Artykuł recenzowany; nadesłany 09.12.2013 r., przyjęty do druku 21.01.2014 r.

#### mgr inż. Bartosz Brzozowski

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej kierunku Lotnictwo-Awionika (2009), obecnie asystent naukowo-dydaktyczny oraz uczestnik studiów III stopnia na Wydziale Mechatroniki i Lotnictwa (WAT). Główne zainteresowania naukowe dotyczą nawigacji oraz sterowania BSP.

e-mail: [bbrzozowski@wat.edu.pl](mailto:bbrzozowski@wat.edu.pl)

