

Koncepcja innowacyjnego systemu ratunkowego do wykrywania osób zasypanych śniegiem z wykorzystaniem BSP (dronów)

The concept of an innovative rescue system for detecting people buried in snow using UAVs (drones)

Adam Pieprzycki¹ A,C,E,F , Bartosz Srebro¹ B,D,G 

¹ Akademia Tarnowska, Wydział Nauk Technicznych, Katedra Informatyki, ul. Mickiewicza 8, 33-100 Tarnów, Polska

Artykuł oryginalny

Abstrakt

Przedstawiony system jest projektem naukowo-wdrożeniowym realizowanym w Katedrze Informatyki Akademii Tarnowskiej we współpracy z Tatrzańskim Ochotniczym Pogotowiem Ratunkowym (TOPR). Celem projektu jest opracowanie systemu ratunkowego dla osób zasypanych w lawinach śnieżnych, wykorzystującego platformę bezzałogowego statku powietrznego (BSP/UAV – Unmanned Aerial Vehicle), zintegrowaną z aktywnym detektorem lawinowym LVS (Lawinenverschütteten-Suchgerät), a także (w dalszej kolejności) z pasywnym reflektorem ratowniczym Recco Rescue Reflector. Zastosowanie BSP (dronów) do szybszego i bardziej precyzyjnego wykrywania osób zasypanych w lawinie może znacząco usprawnić proces ich ratowania. Do operatora (pilotu lub osoby wspomagającej) mogą być przesyłane różne dane, w tym położenie bezzałogowego statku powietrznego (BSP), określane na podstawie sygnału GPS, oraz informacje dotyczące poziomu i kierunku odbieranego sygnału LVS i/lub Recco (odbitego od płytki/reflektora Recco montowanej w odzieży lub butach). Analizowany system może dodatkowo wspomagać działania ratowników poprzez oznaczenie miejsca o największym natężeniu sygnału detektora, na przykład z wykorzystaniem zwalniaka lub oznaczenia farbą.

Abstract

The presented system is a scientific and implementation project carried out at the Department of Computer Science of the University of Applied Sciences in Tarnow in cooperation with the Tatra Volunteer Search and Rescue (TOPR). The aim of the project is to develop a rescue system for individuals buried in snow avalanches, utilizing an

Słowa kluczowe

- bezzałogowe statki powietrzne
- system ratunkowy
- ratownictwo lawinowe
- BSP
- UAV
- LVS
- Recco
- DJI

Udziały autorów

- A – przygotowanie badań
- B – gromadzenie danych
- C – analiza statystyczna uzyskanych wyników
- D – interpretacja uzyskanych wyników
- E – przygotowanie pierwotnej wersji tekstu
- F – przegląd literatury
- G – korekta i rewizja tekstu

Informacje o artykule

Historia artykułu (Article history)

- Otrzymano (Received): 2025-09-16
- Zaakceptowano (Accepted): 2025-11-29
- Opublikowano (Published): 2025-12-17

Wydawca (Publisher)

Akademia Tarnowska
University of Applied Sciences in Tarnow
ul. Mickiewicza 8, 33-100 Tarnow, Poland

Licencja (User license)

© by Authors. This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License CC-BY-SA.

Finansowanie (Financing)

Badania są finansowane z grantu wewnętrznego BAD-04/2025 Akademii Tarnowskiej oraz środków Tatrzańskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego (TOPR).

Konflikt interesów (Conflict of interest)

Nie zadeklarowano konfliktu interesów.

unmanned aerial vehicle platform (BSP/UAV – Unmanned Aerial Vehicle) integrated with an active avalanche transceiver LVS (Lawinenverschütteten-Suchgerät) and, at a later stage, with a passive Recco Rescue Reflector. The use of UAVs (drones) for faster and more precise detection of avalanche-buried victims may significantly enhance the efficiency of rescue operations. Various data may be transmitted to the operator (pilot or supporting personnel), including the UAV's position determined from GPS signals, as well as information regarding the level and direction of the received LVS and/or Recco signals (reflected from a Recco plate/reflector embedded in clothing or footwear). The analyzed system may additionally support rescuers by marking the location of the highest detected signal intensity, for example by using a release mechanism or color marking.

Wprowadzenie

Problematyka ratownictwa górskiego, szczególnie w przypadkach lawin, ma ogromne znaczenie społeczne, ponieważ każda minuta w takich sytuacjach ma kluczowy wpływ na przeżycie zasypanej osoby lub osób. Obecne technologie detekcji lawinowej opierają się głównie na ręcznych urządzeniach LVS i Recco. Metody te mają jednak ograniczoną skuteczność, wynikającą zwłaszcza z czasu potrzebnego służbom ratowniczym na ich użycie w trudnych warunkach terenowych.

Istnieją już prace dotyczące wykorzystania dronów w ratownictwie [1, 2] ale ich integracja z zaawansowanymi technologiami detekcji wciąż jest w fazie prototypowania, badań i rozwoju np.: IVAQ Finder [3] (dla DJI Matrice M350RTK), Avalanche PRO [4] lub wykorzystanie autorskich rozwiązań np. ARTVA [5], [6]/AVERLA [2].

W literaturze istnieją prace związane z omawianą tematyką, jednak żadna nie opisuje możliwości integracji systemu z bezzałogowymi statkami powietrznymi firmy DJI, które znajdują się na wyposażeniu TOPR. W pracy M. Janovca i wsp. [7] jedynie w ograniczonym zakresie zastosowano BSP DJI Inspire 2 oraz urządzenie LVS. Autorzy zaproponowali prowizoryczne, prototypowe rozwiązanie, w którym kamera rejestruje wskazania wyświetlacza LVS. Mimo to procedury poszukiwania osób zasypanych z wykorzystaniem BSP zostały tam przedstawione w ciekawy sposób. Analizowano obszar 60×80 m, stosując różne scenariusze poszukiwań (np. stałą odległość BSP–LVS (nadajnika) wynoszącą 24 m oraz nadajniki umieszczone pod śniegiem na głębokościach 40, 50 i 70 cm).

W pracy J. Stasika i T. Szandala [8] ciekawie przedstawiono integrację różnych systemów, jednak w rozwiązaniach wykorzystujących hexakopter BX8 BZB UAS, a nie platformy DJI. Inna publikacja [9] skupiła się na użyciu konwolucyjnych sieci neuronowych (CNN) do rozpoznawania osób na lawinisku, lecz w scenariuszach obejmujących osoby całkowicie zasypane śniegiem podejście to wydaje się niewystarczające. Również opis poszukiwań z użyciem bezza-

łogowych statków powietrznych o stałych skrzydłach UAS (Unmanned Aerial System) [10], mimo że rozwija metodykę misji autonomicznych, optymalizację tras lotu, nawigację i aktywne mapowanie, pozostaje poza możliwościami technicznymi w kontekście zastosowania samych BSP.

Badania prowadzone w różnych krajach wskazują, że odsetek całkowitego przeżycia osób zasypanych w lawinie wynosi 59% w Austrii i 52% w Szwajcarii [11, 12]. Bardziej pesymistyczne wyniki przedstawia zespół kanadyjskich badaczy, według których ryzyko śmierci w lawinie śnieżnej sięga nawet 77% [13]. Analiza tzw. krzywych przeżycia osób zasypanych w lawinie śnieżnej [11, 12, 14] – czyli prawdopodobieństwa przeżycia w funkcji czasu przebywania pod śniegiem – wskazuje, że:

- w ciągu pierwszych 7 minut prawdopodobieństwo przeżycia wynosi 87% w Austrii i 91% w Szwajcarii,
- w przedziale od 11 do 25 minut – 44% w Austrii oraz w przedziale od 10 do 20 minut – 43% w Szwajcarii,
- natomiast w zakresie od 28 do 40 minut – 18% w Austrii, oraz od 35 do 64 minut – 21% w Szwajcarii.

Dane te jednoznacznie potwierdzają gwałtowny spadek prawdopodobieństwa przeżycia wraz z upływem czasu przebywania pod śniegiem, co podkreśla kluczowe znaczenie szybkiej akcji ratunkowej w przypadku zejścia lawiny.

Materiały i metody

Opracowywany system powinien przyczynić się do zwiększenia szybkości lokalizowania poszkodowanych (zasypanych) osób podczas akcji ratunkowych realizowanych w zimowych warunkach górskich [5]. Innowacyjność projektu polega na połączeniu profesjonalnych dronów BSP (UAV), używanych przez ratowników TOPR, z nowoczesnymi technikami detekcji osób poszkodowanych w wypadkach lawinowych

Korespondencja

Adam Pieprzycki

e-mail: a_pieprzycki@atar.edu.pl

Akademia Tarnowska

Wydział Nauk Technicznych

Katedra Informatyki

ul. Mickiewicza 8

33-100 Tarnów, Poland

(narciarzy zjazdowych, skiturowych, pozatrasowych/freeride'owych/przełajowych, turystów wysokogórskich, użytkowników rakiet śnieżnych, wspinaczy czy użytkowników skuterów śnieżnych).

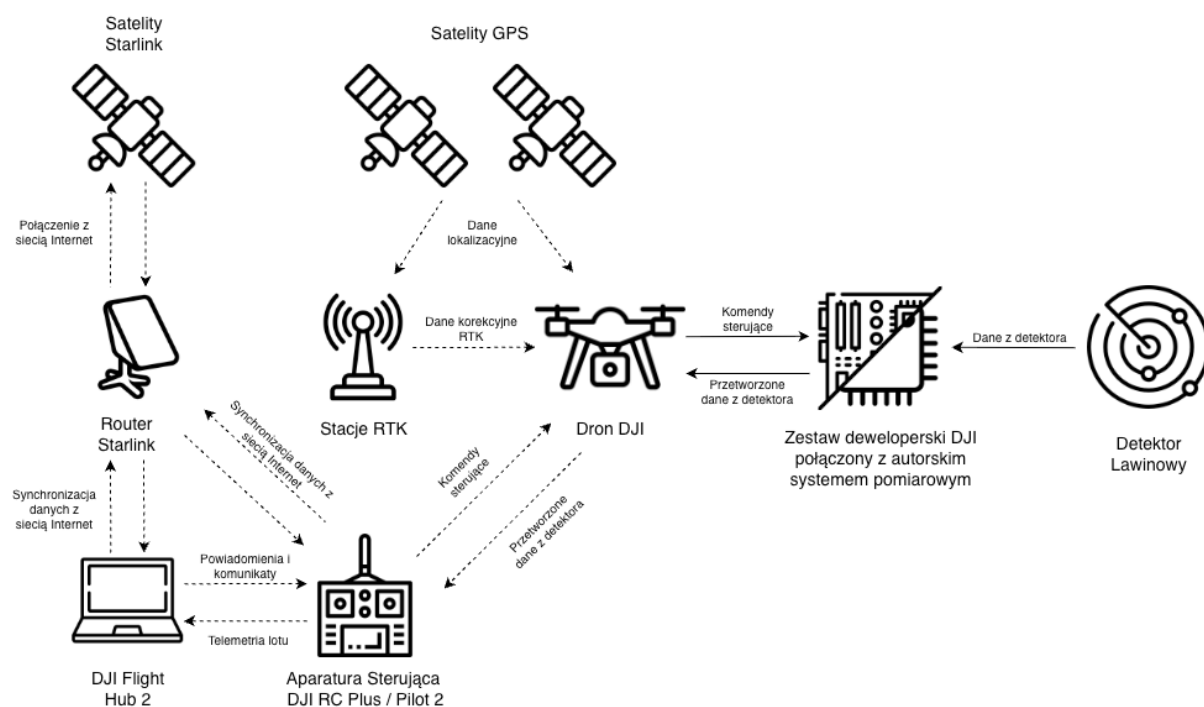
Dodatkowo system może zostać rozbudowany o autonomiczny moduł naprowadzania z zaimplementowanymi algorytmami analizy sygnałów w czasie rzeczywistym, np. z wykorzystaniem rozwiązania chmurowego DJI FlightHub 2 (lub innego komputera zewnętrznego), którego schemat przedstawiono na rysunku 1, bądź z użyciem dołączanego do BSP komputera DJI Manifold 3 [15]. Takie podejście może przyczynić się do usprawnienia i przyspieszenia procesu ratownictwa lawinowego.

Trudne warunki terenowe i/lub atmosferyczne mogą utrudniać lub wydłużać obecnie stosowane metody ratunkowe. Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych (BSP/dronów) może wpłynąć na poprawę efektywności poszukiwań osób zasypanych, jednak ich wykorzystanie w górskim ratownictwie lawinowym wymaga integracji różnych metod poszukiwania (LVS, Recco, psy lawinowe, sygnał telefonii

komórkowej z wykorzystaniem IMSI Catcher NeoSoft SAR 900 / LifeSeeker [16] oraz sondowanie — w przypadku braku nadajnika LVS u poszkodowanego) oraz elektronicznych technologii detekcji, analizy i transmisji danych.

Projektowany system powinien integrować możliwości BSP z systemami wykrywania osób zasypanych śniegiem (LVS/Recco) [17]. Dodatkowo można rozważyć łączenie (fuzję) danych pochodzących z kamery lub kamer (np. wideo, termowizyjnej) BSP z danymi systemów LVS/Recco w celu identyfikacji osób na lawinisku. Takie podejście umożliwi analizę danych w czasie rzeczywistym, a także ich archiwizację (np. zapis misji autonomicznych oraz ich późniejszą analizę).

Dane, które mogą być przesyłane do operatora (pilot lub osoby wspomagającej/drugiego pilota), obejmują — oprócz położenia BSP określanego na podstawie sygnału GPS — poziom i kierunek odbieranego sygnału LVS i/lub Recco. Analizowany system może również bezpośrednio wspierać działania ratowników poprzez oznaczenie miejsca o najsilniejszym natężeniu sygnału detektora (np. za pomocą zwalniaka lub farby).

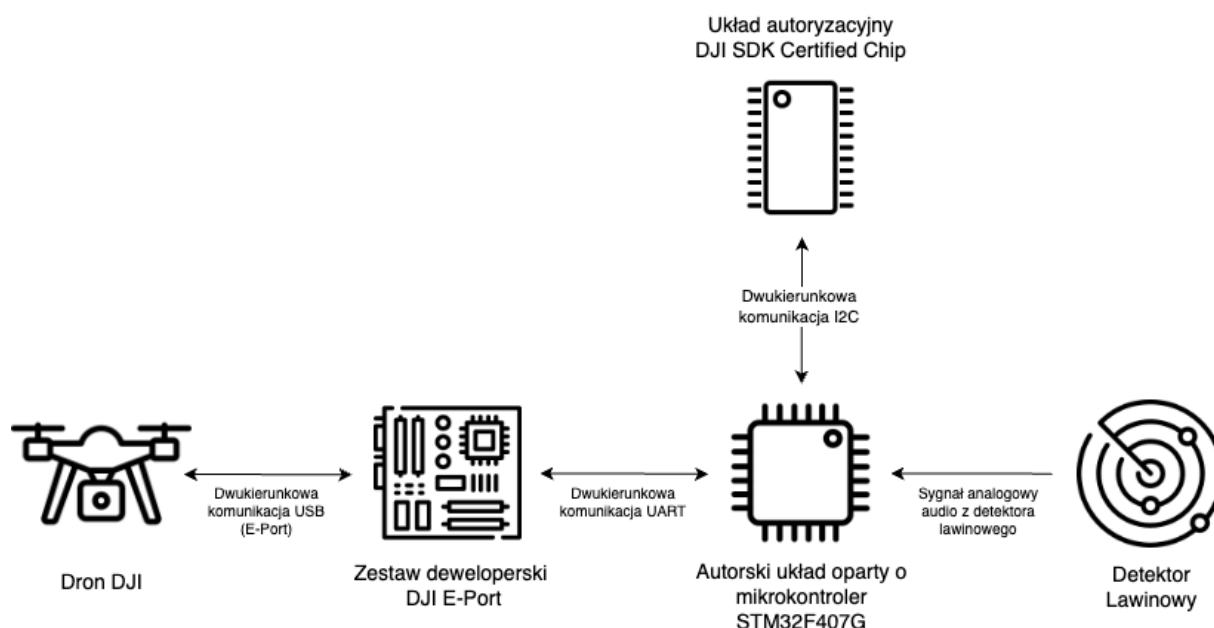


Rysunek 1. Przyjęta komunikacja w analizowanym systemie [18]

Projektowany system powinien być wyposażony w trójantenny odbiornik LVS (Avalanche Beacon), kompatybilny ze wszystkimi nadajnikami lawinowymi tego typu dostępnymi na rynku oraz zgodny ze standardem EN 300718 (Avalanche Beacons operating at 57 Hz;

Transmitter–receiver systems; Part 1: Harmonised Standard for access to radio spectrum) [19].

W ramach przedstawianego projektu zostaną przeanalizowane możliwości integracji urządzenia LVS (np. Mammot Barryvox Pulse) z BSP pod kątem dopa-



Rysunek 2. Elementy projektowanego systemu montowanego na BSP [18]

sowania konstrukcyjnego, synchronizacji transmisji danych, eliminacji zakłóceń LVS/Recco generowanych przez BSP oraz usprawnienia samego procesu poszukiwania osób zasypanych.

W celu redukcji zakłóceń przebadane zostaną różne metody ekranowania urządzenia LVS oraz zastosowania oddalonej od właściwego modułu anteny głównej (np. rozwiązania konstrukcyjne/druk 3D).

Elementy systemu

Projektowany system będzie składał się z BSP i współpracującego z nim układu/modułu.

Dron DJI

Rodzina profesjonalnych dronów DJI (Matrice 200/210/210 RTK/210 V2/210 RTK V2, Matrice 300 RTK/350 RTK/400, Matrice 30/30T, FlyCart 30, Matrice 3D/3TD, Matrice 4TD/4D, Matrice 4T/4E, Mavic 3 Enterprise Series: 3E/3T/3TA) umożliwia bezprzewodową transmisję danych do kontrolera z urządzeń zewnętrznych podłączonych za pośrednictwem złącza E-Port, zapewniającego komunikację zgodną ze standardem USB 2.0. Zasilanie urządzeń peryferyjnych realizowane jest zgodnie ze specyfikacją producenta i zależnie od modelu BSP wynosi od 12 V do 24 V (rysunki 1–2).

W projektowanym systemie zostanie wykorzystany interfejs DJI PSDK (E-Port) [20], który w fazie testowej

będzie implementowany na platformie DJI Matrice 4E, natomiast docelowo – na dronie DJI Matrice 300 RTK.

Zestaw deweloperski DJI E-Port

Moduł odpowiada za konwersję napięcia z zakresu 12–24 V do poziomu 5 V, niezbędnego do zasilania zewnętrznego układu pomiarowego oraz detektora lawinowego. Pełni również funkcję konwertera interfejsu komunikacyjnego, umożliwiając transmisję danych między dronem a dedykowanym systemem pomiarowym poprzez konwersję sygnału USB (E-Port) na UART TTL (rysunek 2).

Układ autoryzacyjny DJI SDK Certified Chip

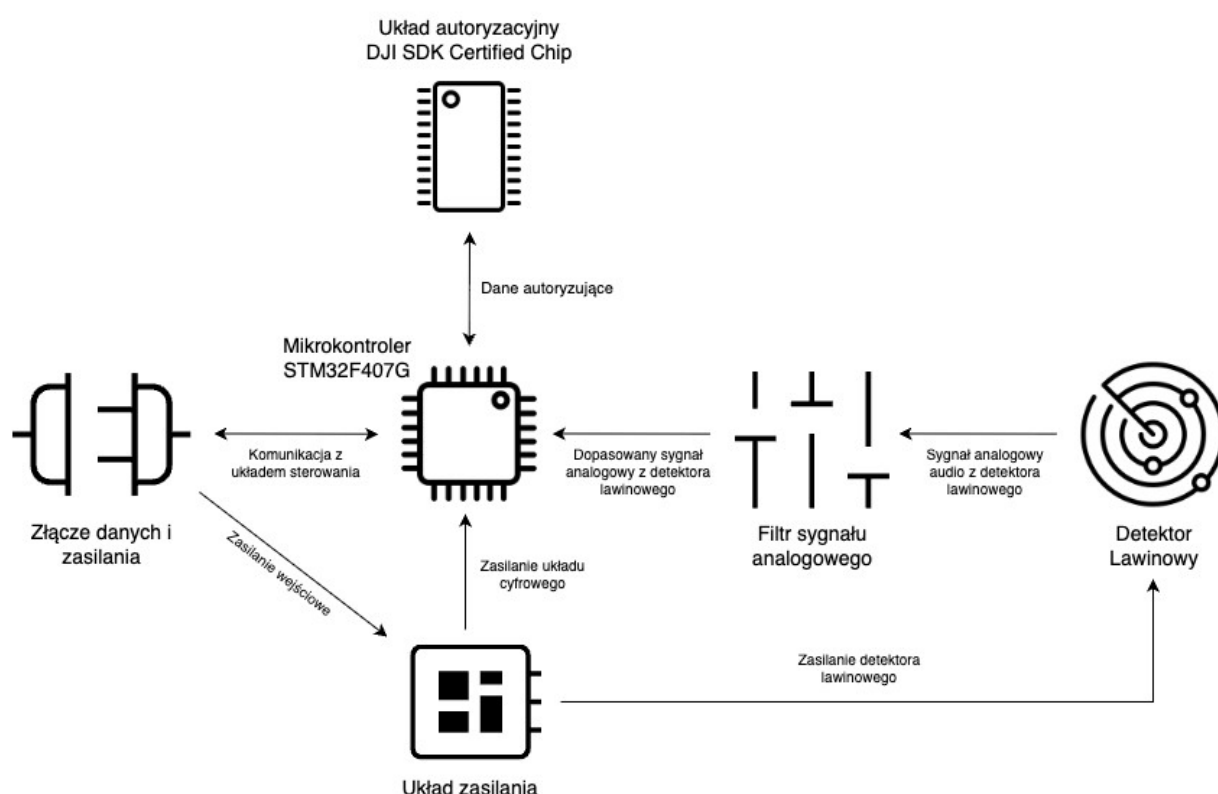
Jest to specjalizowany układ zabezpieczający odpowiedzialny za autoryzację połączenia między urządzeniami zewnętrznymi a dronami DJI. Stanowi on niezbędny element infrastruktury komunikacyjnej, umożliwiający integrację autorskiego systemu z platformą bezzałogową DJI (rysunki 2–3). W układzie zaimplementowano wbudowane algorytmy kryptograficzne, takie jak AES-256 (256-bitowy Advanced Encryption Standard) oraz kryptografię krzywych eliptycznych ECC (Elliptic-Curve Cryptography). Rozwiązanie to zapewnia integralność danych, bezpieczną komunikację oraz uwierzytelnianie akcesoriów jako zaufanych urządzeń (w tym przypadku – detektora lawinowego).

Autorski układ pomiarowy oparty na mikrokontrolerze STM32F407G

Układ realizuje przetwarzanie analogowego sygnału audio pochodzącego z detektora lawinowego LVS/Recco w celu lokalizacji zasypanych osób. Takie podejście ma wspierać pilota BSP w odnalezieniu sygnału, wyszukaniu jego maksimum, przemieszczeniu się nad miejsce o największym natężeniu oraz przekazaniu informacji lokalizacyjnych lub ich oznaczeniu.

Przetworzone dane (poziom mocy sygnału, lokalizacja) przesyłane będą do BSP za pośrednictwem interfejsu UART zgodnie z wytycznymi zawartymi w dokumentacji DJI Payload SDK [20] (rysunki 1–2).

Uproszczony schemat autorskiego układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 3. Układ ten stanowi kluczowy element systemu komunikacji pomiędzy detektorem lawinowym a kontrolerem BSP i zostanie zaprojektowany w oparciu o mikrokontroler STM32F407G, pełniący rolę centralnej jednostki przetwarzającej dane.



Rysunek 3. Uproszczony schemat autorskiego układu pomiarowego montowanego na BSP [18]

Detektor lawinowy (odbiornik) rejestruje sygnał analogowy, którego parametry (amplituda i częstotliwość) odzwierciedlają poziom mocy nadawanego sygnału (w przypadku LVS) lub odbitego sygnału od płytki/reflektora Recco. Sygnał ten zostanie doprowadzony do filtra sygnału analogowego, którego zadaniem będzie eliminacja ewentualnych zakłóceń oraz dostosowanie poziomu napięcia do wymagań wejścia przetwornika ADC w mikrokontrolerze.

Odfiltrowany sygnał zostanie przekazany do mikrokontrolera STM32F407G, który będzie odpowiedzialny za cyfrowe przetwarzanie danych, analizę sygnału oraz interpretację wyników lokalizacji. Mikrokontroler będzie również realizował komunikację z pozostałymi

elementami systemu oraz przesyłał dane pomiarowe do aparatury sterującej BSP.

Z mikrokontrolerem współpracować będzie układ autoryzacyjny DJI SDK Certified Chip, zapewniający komunikację z platformą DJI za pośrednictwem interfejsu Payload SDK (PSDK). Element ten odpowiada za autoryzację urządzenia w systemie BSP oraz umożliwia bezpieczne przesyłanie danych do aplikacji DJI Pilot 2 (rysunek 1), gdzie zostaną one zaprezentowane w postaci widżetu użytkowego (rysunki 4–5).

Zasilanie całego systemu zapewni dedykowany układ zasilania, którego zadaniem będzie stabilizacja napięć dla poszczególnych bloków funkcjonalnych oraz separacja torów analogowego i cyfrowego. Energia i dane będą

doprowadzane poprzez złącze danych i zasilania, umożliwiające jednocześnie zasilanie urządzenia oraz wymianę informacji z kontrolerem BSP (tabela 1, rysunek 3).

Tak zaprojektowana architektura systemu zapewni wysoką niezawodność działania, odporność na zakłócenia oraz pełną kompatybilność z infrastrukturą dronów wspierających DJI Payload SDK. W celu zapewnienia maksymalnej niezawodności oraz użytkowania odpowiedniego stopnia miniaturyzacji, układ

sterowania zostanie umieszczony na autorskiej płytce drukowanej.

Zestawienie przedstawione w tabeli 1 obrazuje przepływ sygnałów oraz zależności pomiędzy poszczególnymi blokami funkcjonalnymi autorskiego układu pomiarowego. Uwzględniono zarówno tor analogowy, odpowiedzialny za przetwarzanie sygnału z detektora lawinowego, jak i tor cyfrowy realizujący transmisję danych do kontrolera BSP.

Tabela 1. Zestawienie połączeń pomiędzy blokami układu pomiarowego

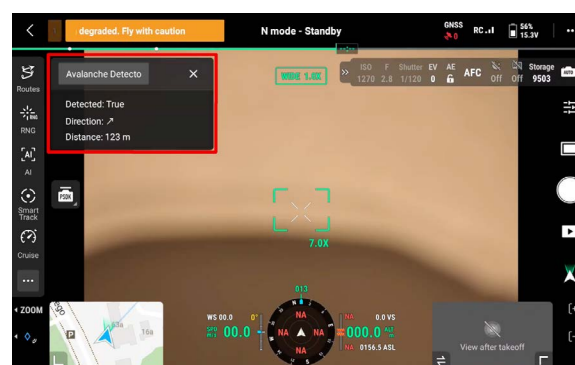
Źródło sygnału / moduł	Odbiornik sygnału / moduł	Rodzaj sygnału / komunikacji	Opis
Detektor lawinowy	Filtr sygnału analogowego	Sygnał analogowy (LVS)	Przebieg proporcjonalny do natężenia odbieranego sygnału LVS, amplituda ok. 1 Vpp
Filtr sygnału analogowego	Mikrokontroler STM32F407G (ADC)	Sygnał analogowy	Odfiltrowany sygnał analogowy, zakres napięć 0–3V
Mikrokontroler STM32F407G (I ² C)	Układ autoryzacyjny DJI SDK Certified Chip	Interfejs cyfrowy I ² C	Dwukierunkowa komunikacja danych i autoryzacji, prędkość magistrali zgodna z specyfiką wymagań DJI PSDK (400kHz)
Złącze danych	Mikrokontroler STM32F407G	Interfejs cyfrowy UART	Transmisja danych do kontrolera BSP zgodna z specyfikacją DJI PSDK (realizowana przez Payload-SDK)
Złącze zasilania	Układ zasilania	Zasilanie DC	Zasilanie wejściowe układu z platformy BSP. Zakres napięć: 12–24 V
Układ zasilania	Mikrokontroler STM32F407G	Zasilanie DC	Napięcie zasilania: 3,3V, stabilizowane, izolacja toru cyfrowego
Układ zasilania	Detektor lawinowy	Zasilanie DC	Napięcie zasilania: 5V, stabilizowane, izolacja toru analogowego

Przedstawione połączenia umożliwią pełną integrację systemu z platformą DJI przy jednoczesnym zachowaniu separacji galwanicznej torów sygnałowych i zasilających. Dzięki temu układ będzie charakteryzował się wysoką odpornością na zakłócenia elektromagnetyczne oraz stabilnością pracy w warunkach terenowych.

Parametry techniczne, takie jak zakres napięć czy prędkość transmisji, zostaną dostosowane do wymagań poszczególnych komponentów na etapie implementacji i testów prototypu.

Oprogramowanie kontrolera BSP

W celu zapewnienia efektywnego przekazywania informacji dotyczących parametrów sygnału detektora lawinowego typu LVS/Recco, operator BSP będzie miał możliwość uruchomienia dedykowanego oprogramowania bezpośrednio z poziomu aparatury sterującej (rysunki 4–5).



Rysunek 4. Zrzut ekranu aplikacji DJI Pilot 2 uruchomionej na aparaturze sterującej DJI RC Plus z widocznym widżetem danych detektora lawinowego

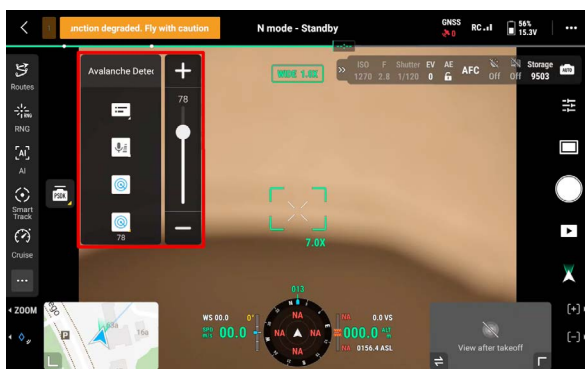
Oprogramowanie umożliwiające monitorowanie oraz sterowanie detektorem lawinowym zostanie opracowane zgodnie z wytycznymi DJI PSDK Custom Widget [14], co pozwoli na jego integrację z wbudowaną w aparaturę aplikacją kontrolującą pracę BSP

(rysunek 4). Takie rozwiązanie znacząco zwiększy funkcjonalność systemu oraz umożliwi wykorzystanie detektora lawinowego w połączeniu z dowolnym drogiem wspierającym DJI Payload SDK.

Oprogramowanie będzie umożliwiało wyświetlanie w czasie rzeczywistym informacji pozyskiwanych z układu pomiarowego (przetworzonych danych z detektora), takich jak:

- aktualny stan detekcji sygnału,
- szacowana odległość od źródła sygnału,
- kierunek jego emisji.

Wszystkie dane z urządzenia LVS prezentowane będą w formie widżetu zintegrowanego z głównym ekranem kontrolera (z poziomu standardowego menu PSDK) (rysunek 5), co umożliwi operatorowi jednoczesne monitorowanie parametrów lotu oraz pracy detektora.



Rysunek 5. Zrzut ekranu aplikacji DJI Pilot 2 uruchomionej na aparaturze sterującej DJI RC Plus z widocznym widżetem konfiguracyjnym parametrów współpracy z detektorem lawinowym

Opracowane oprogramowanie będzie również umożliwiało zdalne sterowanie pracą oraz parametrami detektora. Operator będzie mógł włączać i wyłączać urządzenie, a także regulować czułość detekcji sygnału bez konieczności fizycznej ingerencji w moduł pomiarowy (rysunek 4). Dzięki temu system znacząco usprawni obsługę misji poszukiwawczych prowadzonych w trudnych warunkach terenowych oraz pozwoli na szybsze reagowanie na zmieniające się warunki w trakcie lotu.

Dyskusja i kierunki dalszych prac

Analizowany system zostanie poddany testom w warunkach terenowych odzwierciedlających rzeczywiste sytuacje lawinowe, co pozwoli ocenić jego sprawność, skuteczność oraz dokładność w wykrywaniu osób zasypanych śniegiem (współpraca z TOPR).

Kluczowe zagadnienia badawcze, które wymagają zweryfikowania, obejmują:

- ocenę możliwości oraz skuteczności ekranowania toru BSP → detektor;
- pomiar poziomu zakłóceń elektromagnetycznych, m.in. z wykorzystaniem urządzeń radia definowanego programowo (SDR), takich jak RTL-SDR lub USRP E310;
- opracowanie i przetestowanie różnych wariantów anten (wielkość, geometria, usytuowanie, separacja, polaryzacja) oraz modyfikację detektora LVS Mammut Barryvox Pulse poprzez wyposażenie go w złącze do anteny zewnętrznej;
- zaprojektowanie i wykonanie w technologii druku 3D elementu integrującego detektor LVS z BSP;
- opracowanie oraz integrację trybu autonomicznego misji BSP wraz z analizą i wizualizacją danych; dodatkowo – możliwość wykorzystania oprogramowania UgCS (Universal Ground Control Software) do analizy post factum;
- opracowanie i weryfikację scenariuszy pomiarowych, obejmujących m.in. określenie maksymalnego zasięgu detekcji sygnału w torze analogowym (na podstawie odbioru akustycznego), badanie wpływu zakłóceń oraz określenie wymaganej separacji pomiędzy detektorem a BSP.

Przykładowe scenariusze testowe:

1. Scenariusz 1: określenie maksymalnego zasięgu detekcji dla różnych ustawień detektora.
2. Scenariusz 2: oszacowanie zakłóceń oraz wymaganej separacji detektor → BSP (np. w zakresie 0,5–5 m, z krokiem 0,5 m).
3. Scenariusz 3: ocena skuteczności wykrywania sygnału nadajnika umieszczonego pod śniegiem na różnej głębokości (40, 50, 70 cm) [7] przy ustalonej odległości przelotu.

Proponowany system wpisuje się w aktualny stan wiedzy dotyczący zastosowania BSP/UAV w działaniach ratowniczych, wprowadzając jednocześnie nowatorskie podejście polegające na integracji technologii detekcji lawinowej, przetwarzania i transmisji danych z wykorzystaniem standardowych platform DJI stosowanych w TOPR.

Bibliografia

- [1] Rauch S, Strapazzon G, Brugger H. On-site medical management of avalanche victims—a narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(19):10234. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910234>.
- [2] Procter E, Strapazzon G, Dal Cappello T, Zweifel B, Würtele A, Renner A, Falk M, Brugger H. Burial duration, depth

- and air pocket explain avalanche survival patterns in Austria and Switzerland. *Resuscitation*. 2016;105:173–176. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.06.001>.
- [3] Walcher M, Haegeli P, Fuchs S. Risk of death and major injury from natural winter hazards in helicopter and snowcat skiing in Canada. *Wilderness and Environmental Medicine*. 2019;30(3):251–259. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2019.04.007>.
- [4] Rauch S, Brugger H, Falk M, Zweifel B, D'Strapazzon G, Albrecht R, Pietsch U. Avalanche survival rates in Switzerland, 1981–2020. *JAMA Network Open*. 2024;7(9):e2435253. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.35253>.
- [5] Silvagni M, Tonoli A, Zenerino E, Chiaberge M. Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2016;8(1):18–33. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1238852>.
- [6] Girsberger Mountain Rescue. Avalanche Beacon Service [Internet]. 2025 [cited 2025 May 10]. Available from: <https://www.girsberger-elektronik.ch/has457-helicopter-antenna-system?lang=en>.
- [7] ETSI. EN300718 (Avalanche Beacons operating at 457 kHz; Transmitter-receiver systems; Part 1: Harmonised Standard for access to radio spectrum) [Internet]. 2025 [cited 2025 May 10]. Available from: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300700_300799/30071801/02.02.01_60/en_30071801v020201p.pdf.
- [8] DJI. Payload SDK [Internet]. 2025 [cited 2025 May 10]. Available from: <https://developer.dji.com/doc/payload-sdk-tutorial/en>.
- [9] Iob P, Frau L, Danieli P, Olivieri L, Bettanini C. Avalanche rescue with autonomous drones. In: *Proceedings of IEEE 7th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*, 22–24 June 2020, Pisa, Italy; 2020 pp. 319–324. <https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace48742.2020.9160116>.
- [10] Toson F, De Giudici F, Piva A, Artusi P, Chilò C, Banzi D, Toccane A, Danieli P, Olivieri L, Bettanini C. AVERLA: autonomous drone for avalanche rescue. In: *AIDAA XXVI International Conference*; 2021.
- [11] IVAQ. IVAQ Finder [Internet]. 2025 [cited 2025 May 10]. Available from: <https://ivaq.es/>.
- [12] ATLAS UAS. Avalanche PRO [Internet]. 2025 [cited 2025 May 10]. Available from: <https://www.atlasuas.com/products/avalanche-pro>.
- [13] De Giudici F, Toson F, Piva A, Artusi P, Olivieri L, Bettanini C. Design and testing of an autonomous ARTVA detector for small drones. In: *Proceedings of IEEE 8th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*, 23–25 June, 2021, Naples, Italy; 2021. pp. 104–108. <http://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace51421.2021.9511664>.
- [14] Janovec M, Kanderá B, Šajbanová K. Using unmanned aerial vehicles during the search of people buried in an avalanche. *Transportation Research Procedia*. 2022;65(2):350–360. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.11.039>.
- [15] Stasik J, Szandala T. An autonomous drone for avalanche search and rescue: Integrating ArduPilot and Tracking-Beacon Detection. *IEEE Access*. 2025;13:130758–130769. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3585245>.
- [16] DJI. Manifold 3 — Ignite the Future of Computing — DJI Enterprise [Internet]. 2025 [cited 2025 Oct 25]. Available from: <https://enterprise.dji.com/manifold-3>.
- [17] FlatIcon. Vector Icons and Stickers — PNG, SVG, EPS, PSD and CSS [Internet]. 2025 [cited 2025 Oct 25]. Available from: <https://www.flaticon.com/>.
- [18] Turning everyday cell phones into search-and-rescue beacons: Saving lives while getting ready for 6G [Internet]. MathWorks: MathWorks News and Stories. 2025 [cited 2025 Oct 25]. Available from: <https://www.mathworks.com/company/mathworks-stories/signal-processing-turns-cell-phones-into-search-and-rescue-beacons.html>.
- [19] Bejiga MB, Zeggada A, Nouffidj A, Melgani F. A convolutional neural network approach for assisting avalanche search and rescue operations with UAV imagery. *Remote Sensing*. 2017;9(2):100. <https://doi.org/10.3390/rs9020100>.
- [20] Lim J, Hafner ED, Achermann F, Girod R, Rohr D, Lawrence NRJ, Bühler Y, Siegwart R. Autonomous and efficient large-scale snow avalanche monitoring with an Unmanned Aerial System (UAS). Preprint — *EGUsphere*. 2024. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-2728>.