

## Koncepcja systemu kontroli, sterowania i zarządzania BSP wykorzystującego technologię wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości

**Streszczenie.** W pracy dokonano krótkiej analizy charakterystyk i wad obecnie funkcjonujących systemów sterowania BSP, przedstawiono koncepcję systemu sterowania i zarządzania BSP, eliminującego tradycyjne kontrolery na rzecz sterowania ruchem ręki i dłoni operatora, oraz zaprezentowano mobilną i stacjonarną wersję tego systemu. Omówiono trudności stojące przed realizacją takiego systemu oraz jego potencjalnych odbiorców.

**Abstract.** The paper provides a brief analysis of the characteristics and drawbacks of currently functioning UAV control systems, presents the concept of a control and management system for UAV that replaces traditional controllers with hand and finger motion control by the operator, and introduces both mobile and stationary versions of this system. The difficulties in implementing such a system and its potential users are discussed. (The concept of a control, steering, and management system for UAV utilizing virtual and augmented reality technology.).

**Słowa kluczowe:** Rzeczywistość wirtualna, rzeczywistość rozszerzona, bezzałogowe statki powietrzne, system zarządzania  
**Keywords:** Virtual reality, augmented reality, unmanned aerial vehicles, management system

### Wstęp

Historyczną prawidłowością jest powiązanie rozwoju technologicznego i działań militarnych. Strony konfliktu stawiają na rozwój i wykorzystanie nowoczesnych i często niszowych technologii mających zapewnić im przewagę taktyczną i strategiczną. Staje się to przyczynkiem do przyspieszonego ich rozwoju pod względem możliwości, dostępności i ceny oraz stanowi bodziec do poszukiwań nowych obszarów ich zastosowania. Wiodące armie świata wykorzystują obecnie technologie rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej głównie do celów szkoleniowych [1], zarówno w działaniach o charakterze dowódczym jak i sprawnościowym. Jest to, jednakże jedynie niewielka część potencjału jaki drzemie w tych systemach. Za szczególnie intrygującą oraz przyszłościową uznano możliwość ich wykorzystania w szeroko pojętych procesach związanych z bezzałogowymi statkami powietrznymi (BSP). W niniejszym artykule dokonano próby przedstawienia i omówienia koncepcji systemu pozwalającego na sterowanie i nadzór nad BSP.

### Sterowanie i zarządzanie BSP – stan obecny

Aby dokonać analizy możliwości usprawnienia zarządzania i kontroli nad bezzałogowymi statkami powietrznymi należy dokonać przeglądu aktualnego stanu rzeczywistości w tym aspekcie. W przypadku BSP o stosunkowo niewielkiej masie (do kilkudziesięciu kilogramów) i zasięgu (kilkudziesięciu kilometrów) najpopularniejszym środkiem bezpośredniego sterowania pozostają tzw. „pady” (rys. 1) - kontrolery wyposażone najczęściej w dwa niewielkie manipulatory drążkowe pozwalające na kontrolę nad czterema podstawowymi parametrami BSP (yaw – odchyłu, pitch – skoku, roll – obrotu, throttle – przepustnicy) [2] oraz zestaw przycisków i przełączników do obsługi dodatkowych funkcji [3]. Niektóre z nich pozwalają również na odbiór i wyświetlanie podstawowych danych telemetrycznych.

Drugim popularnym sposobem sterowania, zwłaszcza w przypadku planowania i wykonywania misji automatycznych, jest wykorzystanie naziemnej stacji kontrolnej (GCS – Ground Control Station) [5]. Często

przyjmuje ona formę komputera (rys. 2) wyposażonego w nadajniki i odbiorniki pozwalające na uzyskanie pełni danych z połączonych BSP. Rozwiązanie to znajduje zastosowanie w przypadku nadzoru i wykonywania lotu większymi jednostkami operującymi często na odległościach setek kilometrów.



Rys. 1. Przykład kontrolera BSP – LUNA 3 firmy RuggON [4]



Rys. 2. Przykład naziemnej stacji kontroli – PGCS 3 firmy UAVOS [6]

### Problemy obecnego podejścia do sterowania BSP

Dokonując analizy doświadczeń użytkowników i ograniczeń technologiczno-konstrukcyjnych dla popularnych obecnie podejść kontroli i zarządzania bezzałogowymi statkami powietrznymi można zidentyfikować kilka kluczowych obszarów, których działania można usprawnić. Podstawową wadą, widoczną zwłaszcza w przypadku kontrolerów, jest konieczność wykorzystania pełnego zestawu drążków do kontroli prędkości, wysokości i kierunku lotu BSP. Wymusza to stosowanie przez operatora znacznie mniej precyzyjnych przycisków i przełączników w przypadku konieczności obsługi zamontowanego na pojeździe ruchomego stabilizatora z kamerą (rys. 3) [7]. Utrudnia to prowadzenie skutecznego rozpoznania w warunkach prowadzenia działań bojowych mogąc skutkować wydłużeniem okna czasowego w którym BSP narażony jest na wykrycie i wyeliminowanie przez siły wroga.



Rys. 3. Przykład kamery na stabilizatorze ruchomym [8]

Zastosowanie płaskiego wyświetlacza w kontrolerze czy naziemnej stacji kontrolnej do wizualizacji pozycji bezzałogowego statku powietrznego jest dalekie od optymalnego [9]. Z uwagi na charakterystykę działania BSP aspekt wertykalności jest kluczowym elementem przy wykonywanych operacjach zwiadu czy realizacji misji bojowych. Szybka ocena wzajemnej pozycji i odległości między obserwowanymi obiektami w trzech wymiarach jest utrudniona z uwagi na dwuwymiarowość reprezentacji pozycji sterowanego pojazdu na mapie taktycznej.

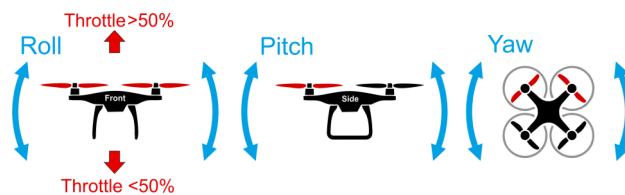
### Założenia systemu

Aby system spełniał swoje zadanie, to jest usprawniał sterowanie i zarządzanie działaniem bezzałogowego statku powietrznego i jego podsystemów, musi zapewniać nie gorsze parametry taktyczno-techniczne niż obecnie używane urządzenia. Musi pozwalać na działanie w terenie i być możliwy do transportu pieszo i samochodowo. Jednocześnie musi eliminować bądź minimalizować wpływ wad wykrytych w klasycznych systemach sterowania. Z tego powodu dokonano analizy szeregu technologii z zakresu rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej oraz technik rejestrowania i przechwytywania pozycji i ruchu ciała człowieka. Za konieczne uznano, analogicznie jak w przypadku obecnie funkcjonujących technologii, opracowanie dwóch wersji systemu, mobilnej – o mniejszych możliwościach, ale łatwej w transporcie przez pojedynczą osobę oraz stacjonarnej o szerokim zakresie funkcji.

### Sterowanie BSP

U podstaw działania proponowanego systemu leży kwestia całkowitej eliminacji kontrolera z analogowymi

drążkami sterującymi i przyciskami, i zastąpienie go w całości sterowaniem z wykorzystaniem ruchu ręki, dłoni i palców. Umieszczenie w przestrzeni względem ciała odpowiada za zmianę parametrów sterujących bezzałogowym statkiem powietrznym (rys. 4).



Rys. 4. Wizualizacja czterech podstawowych parametrów sterujących BSP [10]

Stopień odchylenia i odległość przesunięcia od pozycji neutralnej, ustalonej w momencie wydania polecenia włączenia bądź wyłączenia silników, ma porównywalny wpływ na zmianę parametrów lotu BSP do zmiany pozycji manipulatorów drążkowych pozwalając uzyskać podobną precyzję i dokładność sterowania. Zmiana pozycji i stopnia ugięcia palców pełni rolę analogiczną do działania przełączników w tradycyjnym kontrolerze pozwalając na zmianę trybów lotu, uzbrajanie silników i obsługę wyposażenia pokładowego [11].

Poprzez skupienie wszystkich funkcji sterowania w jednej ręce operatora umożliwiono wykorzystanie drugiej do wykonywania innych zadań, jak np. poruszanie stabilizatorem z kamerą pokładową pozwalając na uzyskanie wysokiej precyzji i płynności w prowadzeniu rozpoznania.

### Wersja mobilna

System w tym wariantcie przeznaczony jest do użycia w terenie przez operatora BSP klasy mini lub micro [12]. Powinien on zawierać następujące elementy (rys. 6):

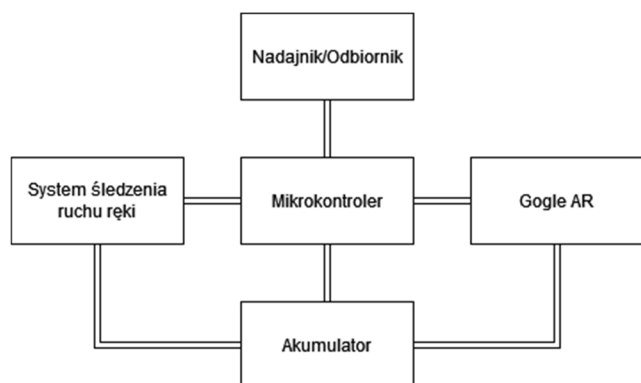
- Zastaw do odczytu pozycji ręki i dłoni – Z uwagi na konieczność działania w terenie możliwe jest wykorzystanie technologii optycznego śledzenia pozycji z wykorzystaniem kamer i sensorów umocowanych na uprząży operatora lub specjalnie skonstruowanej rękawicy sensorycznej z zestawem żyroskopów, przyspieszeniomierzy i czujników ugięcia (rys. 5).



Rys. 5. Przykład rękawicy sensorycznej – Metaglove Quantum firmy Manus [13]

- Gogle rozszerzonej rzeczywistości – Biorąc pod uwagę kwestię wykorzystania systemu w obszarach bliskich pola walki wykorzystanie rzeczywistości rozszerzonej pozwoli na uzyskanie i wizualizację wszystkich danych otrzymywanych z BSP nie odcinając jednocześnie operatora od możliwości wizualnej kontroli własnego otoczenia. Dodatkową zaletą jest możliwość wykorzystania czujników gogli do sterowania pozycją kamery na bezzałogowym statku powietrznym poprzez zmianę pozycji głowy [14].

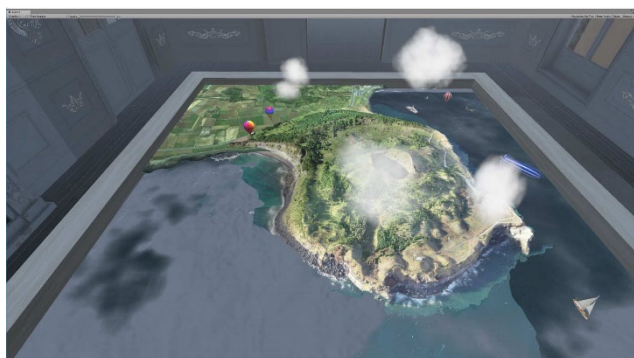
- Akumulator, mikrokontroler i nadajnik-odbiornik – Zestaw pozwalający na działanie całego systemu poprzez zapewnienie zasilania i komunikacji między operatorem a BSP. mikrokontroler odpowiada za analizę informacji otrzymanych z czujników, logikę ich translacji na wartości sygnału w modulacji PWM (Pulse width modulation) wykorzystywane do sterowania bezzałogowym statkiem powietrznym [15] oraz obsługę transmisji.



Rys. 6. Ogólny schemat budowy mobilnego systemu sterowania BSP

### Wersja stacjonarna

Do nadzoru nad i prowadzenia misji o dalekim zasięgu za rozwiązanie optymalne uznano stworzenie pomieszczenia przekształconego w naziemną stację kontroli. Pozyskane dane telemetryczne oraz audiowizualne z zarządzanych bezzałogowych statków powietrznych poddawane są obróbce i analizie przez centralny komputer zarządcy stacji a następnie są nanoszone na trójwymiarową mapę obrazującą pozycję oraz przestrzeń wokół BSP (rys. 7). Operatorzy, wyposażeni w gogle rzeczywistości wirtualnej, mają możliwość obserwacji przebiegu realizacji misji oraz w razie konieczności, reagowania na zmieniające się warunki i okoliczności na polu walki. Korzystając z analogicznej technologii jak w przypadku mobilnej wersji (możliwe również będzie zastosowanie pełnego motion capture dzięki możliwości rozlokowania kamer do obserwacji markerów) [16] operator będzie mógł przejąć kontrolę bezpośrednią nad każdym z bezzałogowych statków powietrznych. Działanie w jednej wspólnej przestrzeni z możliwością bezpośredniej obserwacji wszystkich BSP w sektorze działań znacznie uprości współdziałanie i koordynację działań. Naziemna stacja kontroli wyposażona jest w zestaw łączności radiowej oraz satelitarnej pozwalający na zachowanie ciągłości połączenia niezależnie od dystansu operacyjnego nadzorowanych bezzałogowych statków powietrznych.



Rys. 7. Przykład trójwymiarowej mapy wirtualnej rzeczywistości [17]

### Wyzwania i trudności

Poza oczywistymi zaletami szerokiej integracji technologii rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej z bezzałogowymi statkami powietrznymi, obejmującymi m. in. poprawę ergonomii sterowania, i orientację w przestrzeni zarówno dla operatora działającego w terenie i obsługującego naziemną stację kontrolną, takie podejście niesie ze sobą wyzwania, które należy przezwyciężyć. Podstawowym problemem, zwłaszcza w przypadku bezpośredniego sterowania BSP, jest uzyskanie systemu czasu rzeczywistego przeznaczonego do analizy i translacji pozycji ręki sterującej operatora na sygnał sterujący dla statku bezzałogowego [18]. Czas konieczny na przetworzenie danych z sensorów i czujników oraz nadanie sygnału musi być porównywalnie szybki do obecnie stosowanych kontrolerów.

Niektóre technologie śledzenia ruchu i pozycji ciała (np. wykorzystujące kamery działające w paśmie podczerwonym) (rys. 8) mogą być zawodne w przypadku różnych warunków pogodowych, oświetlenia czy temperatury otoczenia [19]. Problematyczne może być również odpowiednie rozmieszczenie elementów śledzących na oprzyrządowaniu operatora tak, aby zapewnić niezawodność działania również w dalekich od idealnych warunkach pola bitwy.



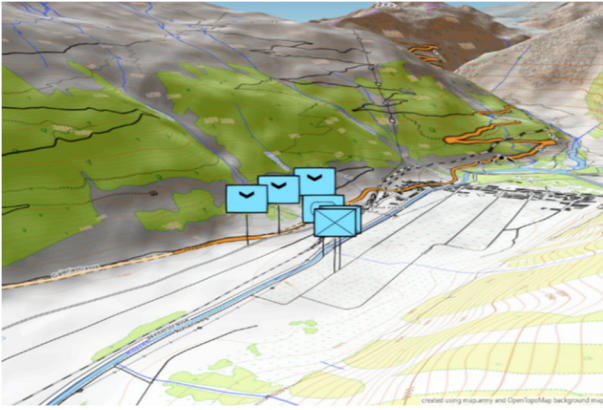
Rys. 8. Przykład modułu kamer IR - Stereo IR 170 firmy Ultraleap [20]

### Potencjalni odbiorcy systemu i jego zastosowania

Przy omówieniu potencjalnych użytkowników dla przedstawionego systemu należy wspomnieć o jego istotnej zalety, czyli łatwości integracji z istniejącymi bezzałogowymi statkami powietrznymi. Sygnał sterujący przesyłany do BSP może być łatwo dostosowany do kodowania, modulacji, protokołów i torów komunikacyjnych używanych w popularnych obecnie systemach co pozwala na stosowanie go równoległe z tradycyjnymi systemami kontrolnymi.

W opracowaniu koncepcji skupiono się w znacznej mierze na militarnym aspekcie wykorzystania opisywanych technologii z uwagi na zidentyfikowanie sił zbrojnych oraz służb mundurowych jako głównych odbiorców systemu. Opracowanie wersji mobilnej i stacjonarnej pozwala na wykorzystanie go zarówno w działaniach rozpoznawczych i bojowych na poziomie taktycznym jak i strategicznym. Zaproponowana naziemna stacja kontrolna może zostać z powodzeniem wykorzystana do planowania misji oraz pozwalać na nadzór nad polem walki poprzez potencjalne wykorzystanie sieci neuronowych do analizy sygnałów wizualnych z kamer BSP [21] celem wykrycia i identyfikacji potencjalnych punktów i obiektów zainteresowania i wizualizacji ich w środowisku trójwymiarowym (rys. 9).





Rys. 9. Przykład wizualizacji pozycji jednostek sojusznicznych i BSP w środowisku trójwymiarowym [22]

Podobnie służby mundurowe mogą wykorzystać system do ochrony infrastruktury krytycznej, nadzoru nad zgromadzeniami i patrolowania terenu o istotnym znaczeniu jak granice państwowe czy miejsca katastrof naturalnych, pozwalając na łatwą koordynację działań wielu operatorów i służb naziemnych.

Wśród potencjalnych odbiorców znajdują się również organizacje cywilne oraz użytkownicy prywatni. Możliwe jest wykorzystanie systemu do prowadzenia monitoringu terenu czy analizy stanu technicznego infrastruktury z jednoczesnym wykorzystaniem wielu bezzałogowych statków powietrznych.

#### Podsumowanie

Postępująca popularyzacja technologii rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej powiązana jest z jej malejącą ceną i rosnącą niezawodnością, kompaktowością i parametrami technicznymi. Obecny poziom ich zaawansowania pozwala na implementację tych technologii w szerokim wachlarzu branż. Pozwala na przeniesienie poziomu percepcji i wizualizacji do naturalnego dla człowieka środowiska trójwymiarowego pozwalając na lepsze przedstawienie danych przestrzennych dla zastosowań w których jednoznaczność i szybkość podejmowania decyzji jest kluczowa.

**Autorzy:** inż. Sebastian Szymański, dr inż. Krzysztof Górski, mgr inż. Korneliusz Sierpowski, inż. Igor Mielczarek, inż. Jakub Grzesiak, Akademia Wojsk Lądowych, Katedra Informatyki, ul. Czajkowskiego 109, 51-147 Wrocław, E-mail: sebastian.szymanski@awl.edu.pl, krzysztof.gorski@awl.edu.pl, korneliusz.sierpowski@awl.edu.pl, igor.mielczarek@awl.edu.pl, jakub.grzesiak@awl.edu.pl, Maciej Kowal, Akademia Wojsk Lądowych, Naukowe Koło Łączności i Elektroniki, ul. Czajkowskiego 109, 51-147 Wrocław, E-mail: s10057@edukacja.awl.edu.pl

#### LITERATURA

- [1] Xinxiong L. Virtual Reality and Its Application in Military *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* (2018) 170 032155
- [2] Susanto T., Bayu Setiawan M., Jayadi A., Rossi F., Hamdhi A., Persada Sembiring J., Application of Unmanned Aircraft PID Control System for Roll, Pitch and Yaw Stability on Fixed Wings, *2021 International Conference on Computer Science,*

- Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE), Banyuwangi, Indonesia, (2021), pp. 186-190*
- [3] Yousaf J., Zia H., Alhalabi M., Yaghi M., Basmaji T., Shehhi E.A., Gad A., Alkhedher M., Ghazal M., Drone and Controller Detection and Localization: Trends and Challenges. *Appl. Sci.* (2022), 12, 12612
- [4] Strona producenta: <https://insideunmannedsystems.com/ruggon-unveils-military-grade-rugged-uav-ground-control-system-at-ces-2024/> [Dostęp: 12.04.2024]
- [5] Khan N.A., Brohi S.N., Jhanjhi N., UAV's Applications, Architecture, Security Issues and Attack Scenarios: A Survey. In: Peng, S.L., Son, L.H., Suseendran, G., Balaganesh, D. (eds) *Intelligent Computing and Innovation on Data Science. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 118. Springer, Singapore (2020), 753-760
- [6] Strona producenta: <https://www.uavos.com/uavos-expands-its-family-of-ground-control-stations/> [Dostęp 12.04.2024]
- [7] Liu X., Zhou H., Chang Y., Xiang X., Zhao K. and Tang D., Visual-based Online Control of Gimbal on the UAV for Target Tracking, *2020 Chinese Automation Congress (CAC)*, Shanghai, China, (2020), 5754-5759.
- [8] <https://www.droneassemble.com/product/2k-4mp-zoom-gimbal-camera-with-2560x1440-hdr-qhd-hybrid-night-vision-3-axis-stabilizer-lightweight-for-drone-mapping-suvery-inspection/> [Dostęp 12.04.2024]
- [9] Choy S.-M., Cheng E., Wilkinson R. H., Burnett I., Austin M. W., Quality of Experience Comparison of Stereoscopic 3D Videos in Different Projection Devices: Flat Screen, Panoramic Screen and Virtual Reality Headset, *IEEE Access*, vol. 9, (2021), 9584-9594
- [10] [https://docs.px4.io/main/en/flying/basic\\_flying.html](https://docs.px4.io/main/en/flying/basic_flying.html) [Dostęp: 12.04.2024]
- [11] Meattini R., Suárez R., Palli G., Melchiorri C., Human to Robot Hand Motion Mapping Methods: Review and Classification, *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 39, no. 2, (2023), 842-861
- [12] Szabolcsi R., Beyond Training Minimums – A New Concept of the UAV Operator Training Program. International conference KNOWLEDGE-BASED ORGANIZATION. 22. 10.1515/kbo-2016-0096
- [13] <https://techvers.eu/rekawice-haptyczne-manus-quantum-metaglove/> [Dostęp: 12.04.2024]
- [14] Wonsick M., Padir T., A Systematic Review of Virtual Reality Interfaces for Controlling and Interacting with Robots. *Appl. Sci.* (2020), 10, 9051
- [15] Mitrashchuk V. V., Baranova M. P., Control algorithms and capabilities of universal UAV *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 862 032062, (2020)
- [16] Menolotto M., Komaris D.-S., Tedesco S., O'Flynn B., Walsh M., Motion Capture Technology in Industrial Applications: A Systematic Review. *Sensors*, (2020), 20, 5687.
- [17] <https://www.pix4d.com/blog/vr-experience-photogrammetry/> [Dostęp 12.04.2024]
- [18] Zhang F., Bazarevsky V., Vakunov A., Tkachenka A., Sung G., Chang C. L., Grundmann M., Mediapipe hands: On-device real-time hand tracking. *arXiv preprint arXiv:2006.10214*, (2020)
- [19] Suarez J., Murphy R. R., Hand gesture recognition with depth images: A review. *2012 IEEE RO-MAN: the 21st IEEE international symposium on robot and human interactive communication*, IEEE, (2012), 411-417
- [20] Strona producenta: <https://www.ultraleap.com/product/stereo-ir-170/> [Dostęp: 12.04.2024]
- [21] Morgan F. E., Boudreaux B., Lohn A. J., Ashby M., Curriden C., Klima K., Grossman D., Military applications of artificial intelligence. *Santa Monica: RAND Corporation*, (2020)
- [22] <https://www.map.army/> [Dostęp 13.04.2024]