

TYPIAK Rafał¹

Projekt systemu sterowania ugrupowaniem bezzałogowych maszyn inżynieryjnych

systemy wielomaszynowe, zdalne sterowanie,
ugrupowania bezzałogowych maszyn inżynieryjnych,
bezzałogowe maszyny inżynieryjne

Streszczenie

W referacie poruszono problem wykorzystania zespołu bezzałogowych maszyn inżynieryjnych do realizowania pojedynczego, złożonego zadania inżynieryjnego. Opisano problemy, z jakimi spotykają się operatorzy tych maszyn. W proponowanym rozwiązaniu umożliwia pojedynczemu operatorowi sterowanie ugrupowaniem maszyn bezzałogowych - czyli grupą pojazdów bezzałogowych o różnych funkcjonalnościach wykorzystywanych do zrealizowania tego samego zadania. Autor analizuje opracowywany w Stanach Zjednoczonych standard JAUS pod względem podobieństw ideowych do proponowanego rozwiązania, zarysowując jednocześnie cechy charakterystyczne, które mają świadczyć o większej możliwości powodzenia jego realizacji. W referacie zawarto opis funkcjonalny proponowanego systemu wraz z opisem elementów do jego realizacji. W podsumowaniu przedstawiono potencjalne kierunki rozwoju projektu.

CONCEPT OF A CONTROL SYSTEM DESIGNED FOR A GROUP OF UNMANNED ENGINEERING MACHINES

Abstract

The article discusses a problem of using multiple unmanned engineering machines when performing a single, complex engineering task. It also describes problems faced during the execution of said task by operators of these machines. At the same time it proposes that a single operator could control the so-called "grouping of unmanned machines", which is a group of vehicles with different functionalities used to accomplish the same task. The author analyzes the JAUS standard developed in the United States, in terms of ideological similarities to the proposed project, highlighting the characteristics which allow to assess a greater possibility of success of its implementation. The paper contains the functional description of the proposed system along with a description of the elements on the basis of which it would be implemented. In the summary section, the author presents potential development path for his project.

1. WSTĘP

Rynek bezzałogowych maszyn inżynieryjnych (BMI) rozwija się dwukierunkowo. Powstaje coraz więcej firm, które dostosowują załogowe maszyny inżynieryjne do pracy w układzie teleoperacji. Na przykład firma Qinetiq North opracowała moduł teleoperacyjny, który można integrować z ponad 17 modelami maszyn firmy Bobcat bez ingerencji w konstrukcję maszyny. Drugim kierunkiem jest powstawanie firm opracowujących nowe rozwiązania maszyn wyłącznie bezzałogowych. Przykładem takiej firmy jest węgierski Dok-ing, który opracował serię specjalistycznych maszyn bezzałogowych, dedykowanych do konkretnych zadań (gaszenie pożarów, prace w szybach kopalń, rozminowywanie terenu). Jednakże, w pewnych przypadkach funkcjonalność pojedynczej maszyny nie jest wystarczająca do wykonania danego zadania. Pomocnym wtedy byłoby wykorzystanie do realizacji zadania dodatkowych maszyn bezzałogowych. Obecnie nie ma łatwej możliwości zmiany rodzaju maszyny, którą się steruje. Każda konstrukcja jest przypisana do swojego panelu operatorskiego i zamiana polega na wymianie jednego panelu na drugi. W takiej sytuacji powstaje nawarstwienie się elementów sterujących, często wraz z dodatkowymi operatorami. Taka sytuacja miała miejsce podczas usuwania stłuków katastrofy w Fukushima, gdzie wykorzystano duże ilości sprzętu bezzałogowego (rys. 1).

¹Dane teledresowe autorów (Time New Romans, 8pt wyrównanie do lewej)



Rys.1. Centrum sterowania bezzałogowymi maszynami inżynieryjnymi podczas prac odgruzowywania reaktora atomowego w Fukushima

Istniejące rozwiązanie stwarza poważne ryzyko zaistnienia wypadku z powodu nagromadzenia w miejscu danego zadania większej ilości maszyn, których operatorzy pracują z ograniczoną świadomością środowiskową. W omawianym przypadku, podczas realizowania zadania załadunku ciężarów, każdy z operatorów musiał posiadać taką samą ilość informacji wizualnej, aby zrównać poziom świadomości środowiskowej. W celu zminimalizowania negatywnych skutków odsunięcia operatora od sterowanej maszyny wykorzystuje się specjalnie opracowywane stanowiska operatorskie, wyposażone w dostosowane układy zobrazowania otoczenia maszyny oraz nowatorskie, bardziej naturalne sposoby interakcji pomiędzy operatorem a obiektem sterowanym. Niestety korzystanie z tego typu rozwiązań, w przypadku sterowania większą ilością BMI, jest kłopotliwe z kilku względów. Pierwszym, bardzo ważnym jest wysoka cena takich konstrukcji. Wykorzystanie ich w większych ilościach nie miałoby ekonomicznego uzasadnienia, ze względu na panujący trend obniżania kosztów pracy. Kolejnym problemem jest potrzeba wygospodarowania odpowiedniej przestrzeni do umieszczenia odpowiedniej ilości stanowisk. Potrzeba ta może się okazać niemożliwa do zaspokojenia w przypadku, gdy dane zadania należy wykonać w krótkim czasie w nieprzyjnym terenie. W końcu pojawia się potrzeba zapewnienia jak najwyższego poziomu bezpieczeństwa pracy, co może wymagać umiejscowienia odpowiedniej ilości paneli operatorskich obok siebie bądź zapewnienie operatorom łączności ze sobą nawzajem. Ze względu na specyfikę środowisk, w których obecnie planuje się wykorzystanie takich maszyn, opisane wyżej problemy logistyczne mogą się okazać bardzo trudne lub wręcz niemożliwe do rozwiązania.

W celu poprawienia efektywności sterowania większą liczbą BMI podczas realizowania pojedynczego zadania, w ramach badań własnych, podjęto próby stworzenia systemu sterowania, który umożliwiłby pojedynczemu operatorowi na sterowanie wieloma bezzałogowymi maszynami inżynieryjnymi pracującymi w ugrupowaniu. Nie można obecnie określić, która ze strategii sterowania („wielu operatorów – wiele maszyn” czy „jeden operator – wiele maszyn”) jest bardziej efektywna, lecz bez możliwości przeprowadzenia testów porównawczych, a tym samym bez zapewnienia możliwości sterowania wieloma BMI przez jednego operatora, to pytanie pozostanie bez odpowiedzi.

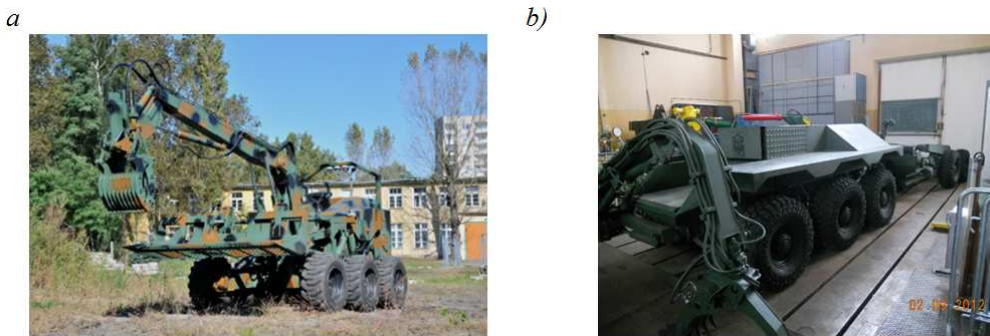
2. OCENA WYKONALNOŚCI

Prace nad podobnymi (pod względem funkcjonalności) rozwiązaniami są ustawicznie podejmowane poza granicami kraju. Koncentrują się one jednak obecnie na tworzeniu teoretycznych mechanizmów umożliwiających tworzenie ugrupowań bezzałogowych konstrukcji inspekcyjno-obszaryjnych. W ramach projektu Future Combat Systems, Stany Zjednoczone planują integrację wszystkich możliwych systemów walki w jedną współdzielącą sieć danych (rys. 2).



Rys.2. Schemat idei Future Combat Systems

Nie należy jednak oczekiwać by tak szeroko zakrojony projekt został zrealizowany w przeciągu najbliższych kilku lat. Est to tym bardziej oczywiste w świetle informacji o zawieszeniu prac nad rozwojem standardu JAUS, który miał być podstawą utworzenia omawianej sieci. W porównaniu do JAUS'a proponowane rozwiązanie nie przewiduje współdzielenia informacji pomiędzy wszystkimi elementami sieci, lecz raczej zapewnienia możliwości transmisji informacji od każdego z elementów wykonawczych sieci (BMI) do jednego, stałego elementu sterującego (operator). Innym problemem, jaki wyniknął w ramach opracowywania standardu JAUS był sposób wykorzystania informacji przez elementy sieci. Wstępne prace zakładały połączenie ze sobą bezzałogowych pojazdów latających (UAV) z autonomicznymi pojazdami lądowymi (UGV). Niestety problemy wynikające z potrzeby integracji konstrukcji, które są chronione prawami patentowymi należącymi do różnych firm spowodowały, że niemożliwe było dokonanie koniecznych zmian w systemach sterowania tych pojazdów. W przypadku proponowanego systemu taki problem nie występuje, gdyż w Polsce bezzałogowe maszyny inżynieryjne tworzone są jedynie w Katedrze Budowy Maszyn WAT, w ramach projektów badawczo-rozwojowych, jako demonstratory technologii. Dlatego też, w razie potrzeb, możliwe jest bezproblemowe i szybkie dokonanie potrzebnych zmian. Przewiduje się, że jako elementy opracowywanego systemu sterowania wykorzysta się robota inżynieryjnego oraz bezzałogową platformę do realizowania zadań w strefach zagrożenia (rys. 3).

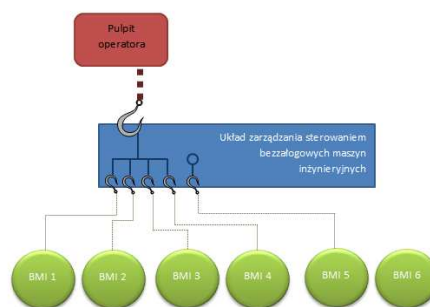


Rys.3. Bezzałogowe maszyny inżynieryjne będące opracowane w Katedrze Budowy Maszyn WAT: a) robot inżynieryjny, b) bezzałogowa platforma do realizowania zadań w strefach zagrożenia

Planuje się także opracowywanie nowopowstających konstrukcji w taki sposób, aby spełniały jak najwięcej założeń opracowywanego systemu, w celu jeszcze łatwiejszej ich integracji.

3. ZAŁOŻENIA SYSTEMU STEROWANIA UGRUPOWANIEM BEZZAŁOGOWYCH MASZYN INŻYNIERYJNYCH

W czasie analiz poprzedzających rozpoczęcie prac nad opracowaniem założeń teoretycznych proponowanego systemu sterowania uznano, że podstawowym zadaniem, jakie powinien on realizować (poza zapewnieniem możliwości sterowania wieloma BMI), jest dostosowywanie pracy do dynamicznie zmieniających się warunków realizowanych zadań. Wynika to w dużej mierze ze specyfiki środowisk, w których wykorzystywane są BMI [1, 2]. Zastosowanie standardowych modeli sterowania w tym przypadku okazuje się nieefektywne. Dlatego też uznano, że opracowany system będzie tworzył razem ze stanowiskiem operatorskim i wszystkimi dostępnymi BMI grupę typu „ad hoc” z tzw. układem zarządzania sterowaniem BMI, jako elementem stałym, skupiającym wszystkie inne części grupy. Schemat tej filozofii sterowania przedstawiony jest na rysunku 4.



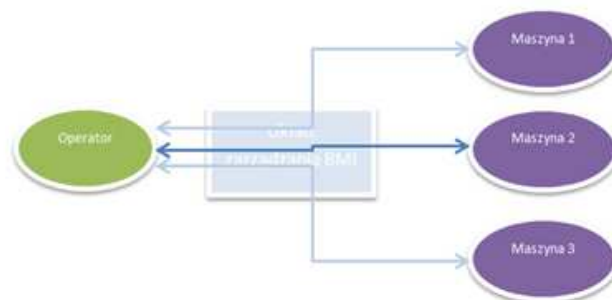
Rys.4. Schemat sieci typu ad hoc na przykładzie ugrupowania BMI z jednym operatorem sterującym czterema maszynami

Dzięki takiemu podejściu do zagadnienia tworzenia ugrupowania, każda z BMI może działać niezależnie. Jeżeli tylko zachowany będzie odpowiedni sposób przesyłania danych sterująco pomiarowych, możliwe będzie włączenie danej

maszyny do ugrupowania, bądź (w razie potrzeby) jej usunięcie, bez potrzeby przeprogramowywania i zmian konstrukcyjnych. Pozwoli to na szybki powrót do konfiguracji zdalnego sterowania przez pojedynczego operatora za pomocą dedykowanego panelu operatorskiego.

Układ zarządzania sterowaniem BMI byłby elementem niezależnym od stanowiska operatorskiego, dzięki czemu możliwe byłoby wykorzystywanie go z różnymi rodzajami stanowisk operatorskich spełniających wymogi odnośnie sposobu przesyłania danych kontrolnopomiarowych. Odpowiedzialny byłby za komunikację pomiędzy operatorem a sterowanymi maszynami, zapewniając odpowiednią komunikację na stopniach pośrednich trasy danych (rys. 5) pomiędzy operatorem a układem zarządzania oraz układem zarządzania a maszyną, automatycznie dostosowując się do warunków zadania takich jak ilość maszyn wykorzystywanych (przy założeniu, że może się ona zmieniać w czasie trwania zadania). Jednocześnie, miałby on charakter „przezroczysty” dla operatora. Według założeń, jedynym momentem, gdy wchodziłby on w interakcję z układem zarządzania byłoby podczas wyboru maszyn, które chce użyć do realizowanego przez siebie zadania. Przez resztę czasu pracy, system zapewniałby sposób sterowania podobny do przewodowego połączenia dedykowanego stanowiska operatora z BMI.

Efekt działania układu zarządzania BMI



Rzeczywisty przepływ informacji



Rys.5. Sposób komunikowania się operatora z maszyną wykorzystując układ zarządzania BMI

Proponowany system sterowania opierałby się na magistrali CAN w wersji 2.0B. Jest to bardzo istotne, ze względu na zwiększone w tym standardzie zabezpieczenia przeciwzakłóceniami oraz rozbudowane możliwości konfiguracji sieci opartej na tym standardzie. Dzięki nim będzie można podłączyć do ugrupowania ponad sto bezzałogowych maszyn inżynierskich. Dodatkowo standard ten jest wykorzystywany w dużej ilości obecnie powstających maszyn inżynierskich oraz przystosowana jest do przesyłania dużych ilości danych pomiarowych, obecnych w specjalistycznych stanowiskach operatorskich.

4. OPRACOWANE STRATEGIE POSTĘPOWANIA UKŁADU ZARZĄDZANIA BMI

Obecnie opracowano mechanizmy kilku podstawowych zadań, jakie powinny być realizowane przez układ zarządzania sterowaniem bezzałogowymi maszynami inżynierskimi. Obecnie opracowano założenia funkcjonalne funkcji związanych z: dodawaniem i usuwaniem danej marki BMI do bazy dostępnych maszyn, normalną pracą układu zarządzania podczas działania z BMI, przełączaniem pomiędzy sterowanymi maszynami, procedurami awaryjnymi w przypadku utraty łączności ze stanowiskiem operatorskim. Ich opis został przedstawiony poniżej:

- **Baza danych dostępnych BMI i powiązanie z układem zarządzania sterowaniem**

Zakłada się utworzenie bazy danych BMI, które są przystosowane do sterowania z wykorzystaniem opisywanego w referacie systemu sterowania. Będzie ona zawierać parametry techniczne danej jednostki wraz z serią zdjęć, które pozwolą na identyfikację danej jednostki. Ułatwi to operatorowi wybór odpowiednich maszyn. Jednocześnie każda

z maszyn powinna posiadać unikatowy identyfikator, aby można było wybrać konkretną jednostkę w przypadku gdyby istniała więcej niż jedna maszyna danej marki. Dodatkowo wprowadzanie zmian w liczbie i rodzaju dostępnych BMI (na przykład w firmie) wymagać będzie jedynie zmian w bazie, bez potrzeby przeprogramowywania każdego dostępnego stanowiska operatorskiego.

W przypadku gdy dana maszyna bezałogowa będzie niezdatna do pracy, możliwe byłoby usunięcie lub zablokowanie jej w bazie danych. Dzięki temu operatorzy nie będą mogli podejmować prób korzystania z niesprawnej lub nieistniejącej maszyny.

- **Przygotowanie BMI do pracy**

Po otrzymaniu przez operatora zlecenia na wykonanie danego zadania inżynierskiego odwoływałby się on do układu zarządzania w celu sprawdzenia dostępnych dla niego BMI. Po oszacowaniu ich przydatności mógłby za jego pośrednictwem zarezerwować sobie do nich dostęp. Dzięki temu, posiadałby on wyłączność na sterowanie nimi.

- **Normalna praca układu zarządzania**

Podczas realizowania zadania inżynierskiego, głównym zadaniem układu zarządzania będzie przekazywanie informacji sterująco pomiarowych pomiędzy maszyną a operatorem. Jednakże będzie on też odpowiedzialny za wyszukiwanie nowych BMI, które mogłyby zostać udostępnione w czasie realizowania zadania. W takim przypadku, jego zadaniem będzie poinformowanie operatora o zaistniałej możliwości. Dodatkowo, jeżeli operator stwierdziłby, że dana maszyna nie jest mu już potrzebna, układ zarządzania zwolniłby do niej dostęp.

- **Strategie zmiany trybu pracy BMI w czasie realizowania zadania inżynierskiego**

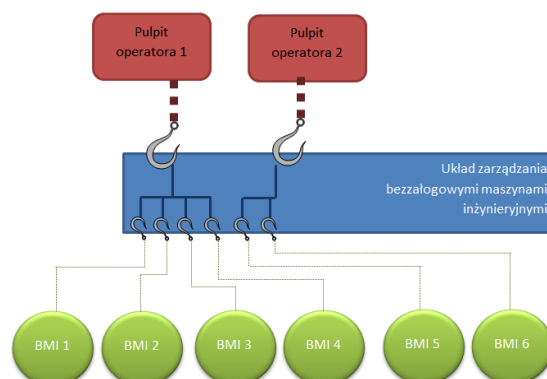
Podczas pracy operator sterowałby wyłącznie jedną maszyną. Miałby jednak możliwość przełączenia się na sterowanie dowolną z zarezerwowanych przez siebie wcześniej. Natomiast maszyny, z których w danej chwili się nie korzysta mogłyby być wprowadzane w różne tryby pracy. Podstawowym byłoby utrzymanie wszystkich parametrów pracy, wymuszając jedynie zatrzymanie ruchu pojazdu i jego elementów wykonawczych. Inną możliwością jest wprowadzenie ich w tryb oszczędzania energii (np. przejście na bieg jałowy, wyłączenie świateł lub narzędzi, itp.) a po przejściu sterowania powracanie do poprzednich ustawień.

- **Strategie utraty połączenia z operatorem**

Obecnie planowane są dwie podstawowe strategie postępowania w przypadku utraty łączności z operatorem. Pierwszą jest przejście w tryb oszczędzania energii, zgłoszenie błędu sterowania dla wszystkich pokładowych sterowalnych podsystemów wykonawczych i załączenie oświetlenia ostrzegawczego. Drugą jest przeprowadzenie kompletnego zatrzymania systemu wraz z wyłączeniem silnika i elementów elektronicznych. Taki rodzaj postępowania może być korzystny w przypadku pracy w bardzo niebezpiecznym środowisku, w którym każda przypadkowa akcja się okazać niebezpieczna dla maszyny i otoczenia bądź, gdy chcemy uchronić się przed niepowołanym przejęciem kontroli nad maszyną (wymagałoby to specjalnej bezpiecznej procedury rozruchowej dla maszyny).

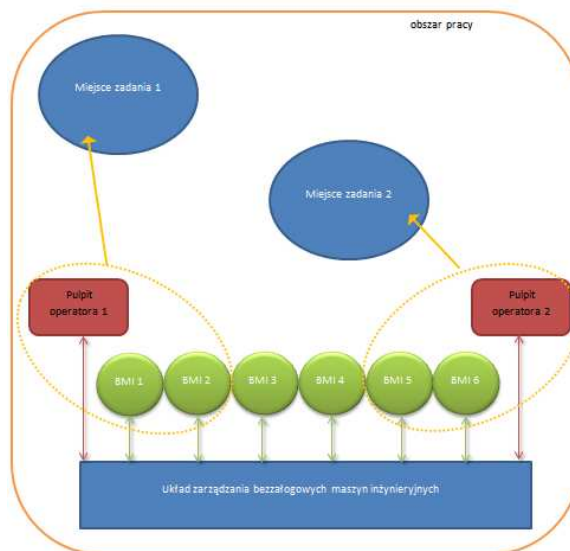
5. WNIOSKI

Proponowane rozwiązanie pozwoli pojedynczemu operatorowi na sterowanie zespołem maszyn inżynierskich w sposób naturalny, ukierunkowany na poprawienie jego efektywności pracy. W dalszej części zakłada się przyjęcie czasu realizacji zadania oraz precyzji wykonania, jako podstawowych kryteriów oceny. Następnie podjęte zostaną próby rozwoju struktury układu zarządzania sterowaniem BMI w taki sposób, aby mógł on pełnić funkcje centralnego ośrodka umożliwiającego sterowanie dostępnymi BMI większej ilości operatorów (rys. 6).



Rys.6. Schemat sieci z układem zarządzania obsługującym jednocześnie dwóch operatorów

Podstawowym ograniczeniem zaproponowanego w artykule systemu jest ukierunkowanie go do obsługi pojedynczego operatora. Jest to założenie świadome mające na celu uproszczenie działania proponowanego rozwiązania, zachowując jednocześnie wysoką ilość nowatorskich rozwiązań w opracowywanym systemie. Dzięki kolejnym wersjom systemu, możliwe będzie realizowanie wielu zadań w różnych miejscach danego obszaru pracy. Operatorzy będą mogli zgłaszać swoją obecność w systemie i rezerwować na swój użytek każdą z dostępnych dla systemu BMI. Będą oni mogli także swobodnie rozłączać się z systemem bez potrzeby ponownego go uruchamiania i przestojów w pracach innych operatorów. Dodatkowo, operatorzy będą mogli współdzielić ze sobą wykorzystywane poprzez przekazywanie sobie kontroli nad nimi w razie potrzeby (rys. 7).



Rys.7. Schemat realizowania dwóch niezależnych zadań w ramach jednego obszaru pracy z wykorzystaniem centralnego układu zarządzania BMI

W przyszłości zapewne zaczną powstawać autonomiczne maszyny inżynieryjne, które będą wymagały operatora, jako nadzorca [3] [4] [5], do wykonania bardziej skomplikowanych czynności bądź w celu podjęcia pewnych decyzji. W takim przypadku możliwe byłoby wykorzystanie zaproponowanego systemu w prawie niezminionej formie, gdyż obecnie przewiduje się zapewnienie operatorowi omawianych funkcjonalności. Z tego też powodu ważne jest opracowywanie opisanego rozwiązania, jako zagadnienie, które w przyszłości będzie się stawało coraz bardziej popularne.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Typiak A.: *Requirements for mobility of platforms and power supply system for unmanned ground vehicles*, Journal of Kones Powertrain and Transport, vol.16, nr 2. 2009.
- [2] Bartnicki A., Typiak A.: *Wykorzystanie magistrali CAN w systemie sterowania bezzałogowym pojazdem ratowniczym*, Zeszyty Naukowe Publikacje z zakresu perspektyw i rozwoju systemów ratownictwa, bezpieczeństwa i obronności w XXI wieku, Gdynia, AMW 2010
- [3] Appelqvist P., Knuutila J., Ahtiainen J.: *Mechatronics Design of an Unmanned Ground Vehicle for Military Applications*, Helsinki, Helsinki University of Technology 2011.
- [4] Chen Y. C., Barnes J., Harper-Sciarini M.: *Supervisory Control of Multiple Robots: Human-Performance Issues and User-Interface Design*, IEEE transactions on systems, man, and cybernetics—part c: applications and reviews, vol. 41, no. 4, 2011.
- [5] Praca zbiorowa: *US Army unmanned aircraft systems roadmap 2010 – 2035*, Alabama USA, US Army UAS Center of Excellence 2010.