

BARTNICKI Adam, RUBIEC Arkadiusz, TYPIAK Rafał

## KONFIGURACJA SYSTEMU WIZYJNEGO DLA POTRZEB STEROWANIA BEZZAŁOGOWĄ PLATFORMĄ LĄDOWĄ W FUNKCJI TELEOPERATORA

### *Streszczenie*

*Robotyzacja zadań realizowanych w warunkach bezpośredniego zagrożenia zdrowia i życia człowieka-operatora, to zjawisko coraz powszechniejsze. Wprowadzanie do tego typu działań zdalnie sterowanych platform lądowych, wyposażonych w wyspecjalizowany osprzęt roboczy zdecydowanie zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia strat ludzkich. Powodzenie prowadzonych misji z wykorzystaniem zdalnie sterowanych robotów zależy przede wszystkim od pewności ich działania w trudnych, niesprzyjających warunkach, a więc z jednej strony od samej konstrukcji nośnej pojazdu, nadwozia, układu jezdnego, elementów wykonawczych, a z drugiej strony szeroko rozumianej „elektroniki”, a więc systemu sterowania, czujników położenia, ruchu, identyfikacji skażeń, a przede wszystkim zobrazowania terenu. W referacie przedstawiono konfigurację systemu zobrazowania terenu dla potrzeb sterowania bezzałogową platformą lądową w funkcji teleoperatora.*

### WSTĘP

Robotyzacja zadań realizowanych w warunkach bezpośredniego zagrożenia zdrowia i życia człowieka-operatora, to zjawisko coraz powszechniejsze. Dotyczy to zarówno działań na współczesnym polu walki (podejmowanie, transport i niszczenie ładunków niebezpiecznych przez patrole saperskie), operacji antyterrorystycznych (rozbrajanie min-pułapek, eksploracja pomieszczeń), a także działań prowadzonych przez grupy ratownicze w warunkach pokojowych w celu zapobieżenia rozprzestrzenianiu się substancji niebezpiecznych (kolizje komunikacyjne z udziałem substancji trujących, toksycznych, awarie w zakładach produkujących materiały niebezpieczne, elektrowniach atomowych etc.). Wprowadzanie do tego typu działań zdalnie sterowanych platform lądowych, wyposażonych w wyspecjalizowany osprzęt roboczy zdecydowanie zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia strat ludzkich. Powodzenie prowadzonych misji z wykorzystaniem zdalnie sterowanych robotów zależy od pewności ich działania w trudnych, niesprzyjających warunkach, a więc z jednej strony od samej konstrukcji nośnej pojazdu, nadwozia, układu jezdnego, elementów wykonawczych, a z drugiej strony szeroko rozumianej „elektroniki” - czyli systemu sterowania, zobrazowania terenu, czujników położenia, ruchu, identyfikacji skażeń etc. Dlatego też prowadzone są liczne prace naukowo-badawcze, zmierzające do zbudowania wysoce niezawodnego systemu sterowania dedykowanego zdalnie sterowanym platformom lądowym przeznaczonym do realizacji zadań w warunkach bezpośredniego zagrożenia życia i zdrowia człowieka [6].

## 1. STEROWANIE BEZZAŁOGOWĄ PLATFORMĄ LĄDOWĄ W FUNKCJI TELEOPERATORA

Jednym z najistotniejszych elementów układu sterowania bezzałogową platformą lądową w funkcji teleoperatora jest system zobrazowania otoczenia zwany systemem wizyjnym. Prowadzone w Katedrze Budowy Maszyn Wojskowej Akademii Technicznej badania struktur systemów wizyjnych, w aspekcie wykorzystania ich w procesie zdalnego sterowania bezzałogowymi platformami lądowymi w funkcji teleoperatora, pozwoliły na opracowanie systemu wizyjnego dla zdalnie sterowanego pojazdu, realizującego zadania zmniejszenia zagrożenia wywołanego niekontrolowanym uwalnianiem substancji niebezpiecznych [1,2,3,4]. W wyniku przeprowadzonych badań funkcjonalnych systemu, ostatecznie zdecydowano się na wykorzystanie 8 kamer wideo rozmieszczonych w specjalnie wytypowanych miejscach pojazdu, przy czym łącze wideo przesyłało obraz z pojazdu do pulpitu sterowania jednocześnie z 3 wybranych źródeł, co znacznie zmniejszało obciążenie łącza transmisyjnego. W zależności od realizowanego zadania operator przełączał obraz pomiędzy wyselekcjonowanymi grupami kamer. Proces przełączania realizowany był z wykorzystaniem układu zarządzania obrazem, a integracja systemu wizyjnego z wewnętrznym systemem sterowania pojazdem, umożliwiała ingerencję operatora w rodzaj wyświetlanego obrazu [4].

## 2. KAMERY

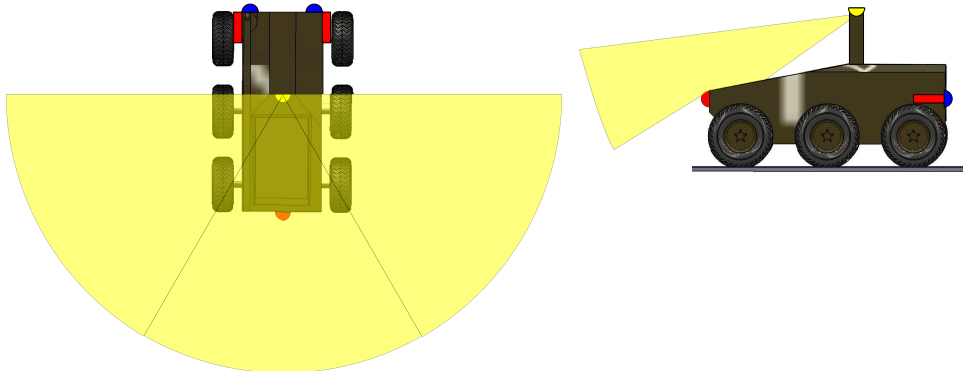
Kamery zostały pogrupowane zgodnie z realizowanymi zadaniami (rys.1). Są to: jazda z dużymi prędkościami do przodu oraz nadzorowanie pracy urządzeń dodatkowych (rys.1a), manewrowanie w trudnym terenie (rys.1b), jazda do tyłu oraz nadzorowanie pracy urządzeń dodatkowych (rys.1c). W grupie kamer dedykowanych do jazdy z dużymi prędkościami zastosowano 3 kamery wideo Introx IN-SDI-5593-VDN, których parametry podano w tabeli 1, ustawione w taki sposób, aby ich obraz tworzył panoramę otoczenia pojazdu, o kącie obserwacji 180 stopni przed pojazdem. Dzięki takiemu rozmieszczeniu, operator otrzymuje dokładną informację o otoczeniu zarówno podczas kierowania pojazdem jak i obsługi urządzeń dodatkowych zamontowanych z przodu pojazdu, bądź operujących w przestrzeni przed pojazdem. Kamery te umieszczono na specjalnym wsporniku, który stanowił jednocześnie konstrukcję nośną elementów zasilania i przesyłania obrazu w układzie jego zarządzania i dystrybucji (rys.2).

**Tab. 1.** Parametry kamery Introx IN-SDI-5593-VDN

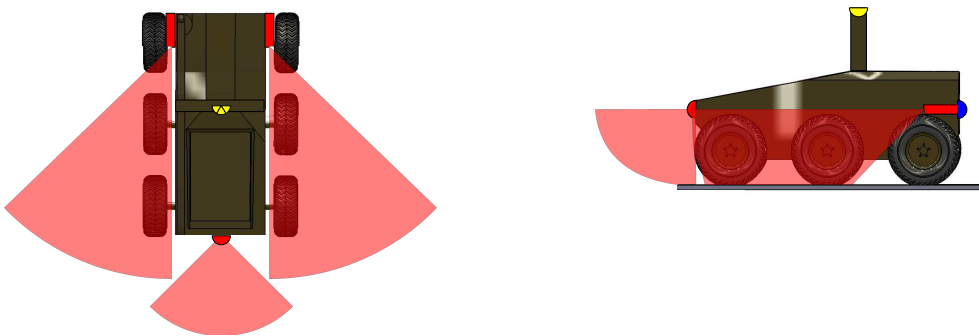
|                         |                                                                                  |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Przetwornik             | 1/3" Panasonic CMOS                                                              |
| Rozdzielczość pozioma   | 700 linii TV                                                                     |
| Czułość                 | Kolor: 1,0 lux Cz/b: 0,5 lux<br>Kolor wł. DSS: 0,002 lux Cz/b wł. DSS: 0,001 lux |
| Rozdzielczość           | 1920x1080 , 1280x720                                                             |
| Migawka elektroniczna   | Auto / Ręczna od 1/25 sek. do 1/60.000 sek.                                      |
| Funkcje standardowe     | WDR, DNR, HLC, Maski Prywatności, AGC, DSS, ACE                                  |
| Menu OSD                | Tak                                                                              |
| Obiektyw (kąć widzenia) | MP 2,8-10mm F1.2 asferyczny z korekcją IR, przesłona DC                          |
| S/N                     | Ponad 50dB (wył. AGC)                                                            |
| Typ obudowy             | wandaloodporna zewnętrzna IP66                                                   |
| Zoom cyfrowy            | od x2 do 32x                                                                     |
| Zasilanie               | DC12V                                                                            |
| Pobór mocy              | 250mA                                                                            |
| Temperatura pracy       | -20 C ~ +50 C                                                                    |
| Detekcja ruchu          | TAK                                                                              |

Do jazdy w trudnym terenie wykorzystywano 3 kamery, których zadaniem było dostarczanie informacji o położeniu potencjalnie niebezpiecznych elementów otoczenia względem kół i przedniej burty pojazdu. Wytypowano parę kamer IN-SDI-5593-BIR30N (tab.2) umieszczonych po bokach pojazdu przeznaczonych do obserwacji kół oraz burt pojazdu, umożliwiając tym samym operatorowi możliwość oceny możliwości pokonywania przeszkód terenowych oraz omijania niebezpiecznych przeszkód terenowych. Przemieszczanie się w trudnym terenie z możliwością pokonywania przeszkód wspierane będzie przez trzecią kamerę Introx IN-SDI-5593-VDN umieszczoną z przodu pojazdu (rys.3).

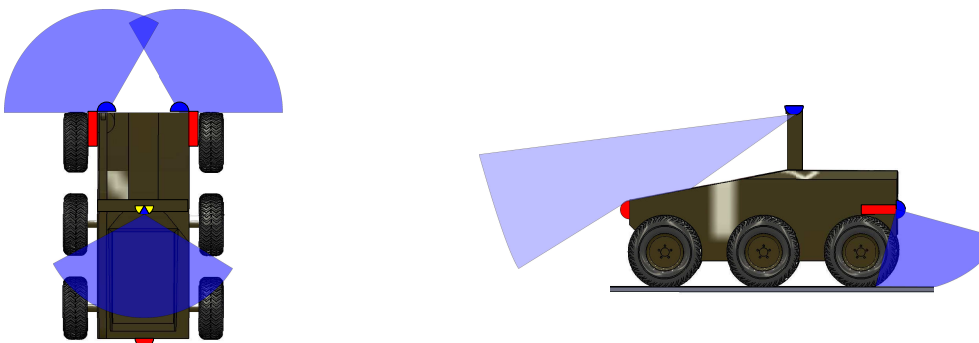
a)



b)



c)



**Rys. 1.** Grupy kamer wraz z zaznaczonymi ich obszarami obserwacji dla różnych zadań realizowanych przez system wizyjny: a) jazda z dużymi prędkościami do przodu oraz nadzorowanie pracy urządzeń dodatkowych; b) manewrowanie w trudnym terenie; c) jazda do tyłu oraz nadzorowanie pracy urządzeń dodatkowych



**Rys. 2.** Rozmieszczenie na pojeździe kamer dedykowanych do jazdy z dużymi prędkościami

W celu realizacji zadań jazdy do tyłu wykorzystano trzy kamery Introx IN-SDI-5593-VDN, z których dwie umieszczono z tyłu pojazdu, ustawione w taki sposób by ich obrazy tworzyły panoramę o kącie obserwacji zbliżonym do 180 stopni, a trzecią stanowi jedna z kamer wykorzystywanych do jazdy z dużymi prędkościami. Przeprowadzone analizy, potwierdzone badaniami, wykazały, że zadania realizowane z wykorzystaniem tych kamer będą wymagały jedynie poglądowej wiedzy odnośnie otoczenia pojazdu, sprowadzającej się do rejestrowania obecności potencjalnie niebezpiecznych przeszkód, zwłaszcza, że zakłada się poruszanie w tym kierunku z niewielkimi prędkościami (rys.4).

**Tab. 2.** Parametry kamery Introx IN-SDI-5593-BIR30N

|                         |                                                                                  |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Przetwornik             | 1/3" Panasonic CMOS                                                              |
| Rozdzielczość pozioma   | 700 linii TV                                                                     |
| Czułość                 | Kolor: 1,0 lux Cz/b: 0,5 lux<br>Kolor wł. DSS: 0,002 lux Cz/b wł. DSS: 0,001 lux |
| Rozdzielczość           | 1920x1080 , 1280x720                                                             |
| Migawka elektroniczna   | Auto / Ręczna od 1/25 sek. do 1/60.000 sek.                                      |
| Zasięg oświetlenia IR   | zasięg 30m                                                                       |
| Porty                   | RS-485                                                                           |
| Funkcje standardowe     | WDR, ACE, DSS, AGC, Maski Prywatności, HLC, DNR                                  |
| Obiektyw (kąt widzenia) | 2,8-10mm F1.2                                                                    |
| S/N                     | Ponad 50dB (wył. AGC)                                                            |
| Typ obudowy             | zewnetrzna, IP66                                                                 |
| Zoom cyfrowy            | od x2 do 32x                                                                     |
| Zasilanie               | DC12V                                                                            |
| Pobór mocy              | 500mA                                                                            |
| Temperatura pracy       | -200 C ~ +50 O C                                                                 |

Wszystkie kamery zamknięto w obudowach zapewniających im wysoką odporność na działanie warunków atmosferycznych i wpływ czynnika użytego do samooczyszczania pojazdu przy opuszczaniu terenu skażonego. Dodatkowe wzmocnienia chronią kamery na burtach i z przodu pojazdu przed uszkodzeniami mechanicznymi.



**Rys. 3.** Rozmieszczenie na pojeździe kamer dedykowanych do jazdy w trudnym terenie

### 3. ŁĄCZE VIDEO

Konieczność przesyłania jednocześnie trzech sygnałów wideo wymusiła potrzebę wykorzystania łącza wideo pracującego na bardzo wysokich częstotliwościach. Wstępne testy wykazały, że wykorzystanie nadajników pracujących na częstotliwości 5,6 GHz jest w stanie zapewnić zasięg wymagany w projekcie jednocześnie oferując możliwość jednoczesnej transmisji wymaganej liczby sygnałów wideo.



**Rys. 4.** Rozmieszczenie na pojeździe kamer dedykowanych jeździe do tyłu oraz nadzorowaniu pracy urządzeń dodatkowych

Należy jednak pamiętać, że tak wysoka częstotliwość jest narażona na negatywne działanie dużej ilości czynników zewnętrznych, powodując tym samym zwiększenie możliwości wystąpienia zakłóceń. Ostatecznie wykorzystano łącze cyfrowe CDS-5HD TV (rys.5), wykorzystujące metodę modulacji sygnału OFDM i korzystające z technologii MiMO

w celu poprawy jakości sygnału, gdy nadajnik jest w ruchu. System CDS-5HD pozwala przesłać bezprzewodowo obraz w rozdzielczościach: 1080p, 720p.

Wykorzystuje zaawansowaną, bezprzewodową technologię MIMO z modulacją OFDM co gwarantuje stabilną transmisję z niewielkim opóźnieniem poniżej 30ms. Zestaw jest przystosowany do pracy z kamerą wyposażoną w wyjście HD-SDI. Nadajniki dostępne są z uchwytem oraz gniazdem V-Lock lub Anton Bauer. Pozwala to na bezpośrednie zamocowanie nadajnika na kamerze oraz dołączenie do niego akumulatora. Akumulator podłączony do nadajnika pozwala również zasilac kamerę TV. Główne zalety urządzeń CDS-5HD:

- transmisja obrazu w wysokiej rozdzielczości HD (zastosowana kompresja MJPEG),
- opóźnienie transmisji poniżej 20-30ms,
- automatyczne wykrywanie rozdzielczości obrazu,
- zasięgi transmisji 150 i 300 m,
- wolna od opłat częstotliwość pracy 5,2GHz,
- połączenie szyfrowane 128bitowym kodem AES,
- dynamicznie wybieranej mocy oraz częstotliwości (kanału) pracy,
- wejście HD-SDI do przesłania wideo oraz audio,
- nadajnik wyposażony w dodatkowe wejście liniowe audio,
- wspiera wiele formatów wideo HD.



**Rys. 5.** Łącze cyfrowe CDS-5HD TV

Podstawowymi elementami łącza cyfrowego CDS-5HD TV są: nadajnik audio/wideo CDS-5HD TV-Tx z wejściem HD-SDI (rys.6a) i odbiornik CDS-5HD Rx z wyjściem wideo HDMI (rys.6b). Parametry urządzeń przedstawiono w tabeli 3.

Nadajniki i odbiorniki wyposażone są w anteny dookólne o wzmacnieniu 2 dB i polaryzacji V, pracujące przy częstotliwościach 5,2÷5,8 GHz. Zasięg transmisji oferowany przez układ nadawczo-odbiorczy serii CDS-5HD TV wynosi około 300 m, lecz wartość ta odnosi się do pracy w warunkach stacjonarnych bądź podczas poruszania się z małymi prędkościami. Dlatego też, w celu poprawy jakości sygnału, zastosowano dodatkowe anteny sektorowe Sektor 5 zapewniające większy poziom wzmacnienia sygnału (tab. 4, rys.7).

a)



b)



**Rys. 6.** Podstawowe elementy cyfrowego łącza video: a) nadajnik audio/wideo CDS-5HD TV-Tx, b) odbiornik CDS-5HD Rx

**Tab. 3.** Parametry układu nadawczo odbiorczego CDS-5HD TV-Tx / CDS-5HD Rx

|                                         |                                       |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| Częstotliwość pracy                     | 5,2 GHz                               |
| Metoda transmisji                       | MIMO                                  |
| Modulacja                               | OFDM                                  |
| Ilość kanałów                           | 4                                     |
| Opóźnienie transmisji                   | 20-30ms                               |
| Zasięg LOS                              | 150 i 300 m (z dodatkowymi antenami)  |
| Mechanizm HDCP                          | TAK                                   |
| Obsługiwane rozdzielczości:             | 720p@50/59,94/60 1080p@23,98/24/25    |
| Kompresja obrazu                        | MJPEG                                 |
| Wejście wideo                           | HD-SDI (SMPTE 292M)                   |
| Wejście audio                           | Dołączone HD-SDI                      |
| Wyjścia w odbiorniku                    | HDMI (wideo + audio 2ch)              |
| Format obrazu - nadajnik                | RGB 8:8:8, YUV 4:2:2, 8/16bits        |
| Format obrazu - odbiornik               | RGB 6:6:6, 8:8:8                      |
| Szyfrowanie transmisji i zabezpieczenia | 128 bit AES oraz HDCP                 |
| Wejście antenowe                        | SMA żeńskie 50 Ω                      |
| Zasilanie                               | 9 - 14V / dedykowany zasilacz 1,5A DC |
| Temperatura pracy                       | 0°C - +55 °C                          |
| Pobór prądu (max)                       | Tx: 1000mA/12V Rx: 1000mA/5V          |
| Wymiary [mm]                            | Tx: 144x174x28 Rx: 164x170x21         |
| Waga (bez akumulatora)                  | Tx: 1.0kg Rx: 0,6kg                   |



**Rys. 7.** Antena podwójna sektorowa Sektor 5

**Tab. 4.** Parametry anteny Sektor 5

|                     |                                         |
|---------------------|-----------------------------------------|
| Rodzaj anteny       | Antena podwójna sektorowa               |
| Typ anteny          | MIMO                                    |
| Częstotliwość pracy | 5.2 - 5.8GHz                            |
| Rodzaj polaryzacji  | V/V                                     |
| Wzmocnienie         | 17 dBi                                  |
| Kąt pracy           | 85/8 stopni                             |
| Przeznaczenie       | Systemy cyfrowe CDS-5021TV oraz CDS-5HD |

## 4. PRZEŁĄCZNIK OBRAZU HD

W celu przełączania obrazu pomiędzy ośmioma źródłami wykorzystano przełącznik obrazu SDI-MX-8/4, który oferuje możliwość wyboru jednego z 8 źródeł wejściowych sygnału HD-SDI na jedno z 4 wyjść przełącznika. Normalna praca przełącznika realizowana jest poprzez sterowanie za pomocą przycisków bądź dołączonego pilota zdalnego sterowania. W projekcie wykorzystano wbudowane gniazdo RS232 w celu zarządzania stanem przełącznika, wykorzystując system sterowania pojazdem (rys.8). W tabeli 5 przedstawiono wybrane parametry techniczne przełącznika. W celu integracji przełącznika z magistralą CAN, znajdującą się na pojeździe, wykorzystano konwerter CAN/RS232 i7530-FT (rys. 9). Wykorzystując jego możliwości, można było zintegrować przełącznik SDI-MX-8/4 z magistralą CAN w taki sposób, aby był on obecny w sieci jako niezależny moduł nadawczo-odbiorczy. Jednocześnie możliwa jest filtracja sygnałów pojawiających się na magistrali danych w celu odbierania tylko tych komend, które są dedykowane dla przełącznika.



Rys. 8. Przełącznik obrazu SDI-MX-8/4

Tab. 5. Wybrane parametry techniczne przełącznika obrazu SDI-MX-8/4

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wejścia:                        | 8 x SDI (SD/HD/3G-SDI) - gniazdo BNC                                                                                                                                                                                                                           |
| Wyjścia:                        | 4 x SDI (SD/HD/3G-SDI) - gniazda BNC                                                                                                                                                                                                                           |
| Obsługiwane formaty SDI:        | <ul style="list-style-type: none"><li>• SD-SDI: SMPTE 259M-C przy bitrate 270 Mbit/s</li><li>• HD-SDI: SMPTE 292M przy bitrate 1.485 Gbit/s i 1.485/1/001 Gbit/s</li><li>• 3G-SDI: SMPTE 424M/425M-AB przy bitrate 2.970 Gbit/s i 2.970/1.001 Gbit/s</li></ul> |
| Ochrona ESD:                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• ± 8 kV (wyładowanie poprzez powietrze)</li><li>• ± 4 kV (wyładowanie poprzez kontakt)</li></ul>                                                                                                                        |
| Max. długości kabla SDI:        | <ul style="list-style-type: none"><li>• 3G do 100 metrów (BELDEN 1694A)</li><li>• HD do 200 metrów (BELDEN 1694A)</li><li>• SD do 300 metrów (BELDEN 1694A)</li></ul> Podane odległości mogą się różnić w zależności od użytego kabla.                         |
| Zasilanie:                      | DC 5V / 2.6A (zasilacz w komplecie)                                                                                                                                                                                                                            |
| Pobór mocy:                     | 8.5 W                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Temperatura pracy / wilgotność: | 0°C ... 40°C / 20 ... 90% RH (bez kondensacji)                                                                                                                                                                                                                 |
| Wymiary:                        | 436 x 132 x 92 mm                                                                                                                                                                                                                                              |
| Masa:                           | 2.42 kg                                                                                                                                                                                                                                                        |





**Rys. 9.** Konwerter i7530-FT CAN/RS232 firmy ICPCOM

Tak skonfigurowany system wizyjny został poddany badaniom funkcjonalnym, których wyniki przedstawione zostaną w kolejnym etapie realizacji projektu. Wstępne testy porównawcze wykazały znaczną przewagę badanego układu nad porównywalnymi rozwiązaniami analogowymi.

## **PODSUMOWANIE**

Kluczowym elementem bezpośrednio wpływającym na efektywność zadań realizowanych z wykorzystaniem zdalnie sterowanych, bezzałogowych platform lądowych jest system wizyjny. Jakościowy i ilościowy dobór przesyłanych do operatora informacji o otoczeniu pojazdu jednoznacznie wpływa na czas poprawnej pracy operatora, a więc jego zmęczenie. Przekłada się ono wprost na jakość realizowanych procesów roboczych. Stosowanie wielokanałowych systemów wizyjnych wpływa na stosunkowo szybkie zmęczenie operatora i spadek efektywności sterowania. Zasadnym wydaje się zatem budowanie struktur systemów wizyjnych w oparciu o elementy mniej oraz bardziej precyzyjne. Tam gdzie potrzebne są ogólne informacje o otoczeniu należy stosować elementy o mniejszej rozdzielczości, mające stosunkowo małe zapotrzebowanie na ilość transferowanych danych. Natomiast gdy wymagane jest sterowanie precyzyjne, np. przy podejmowaniu ładunków niebezpiecznych, powinno stosować się kamery wysokiej rozdzielczości. Przedstawione rozwiązanie systemu wizyjnego w powiązaniu z parametrami technicznymi wykorzystanych komponentów pozwoliło na efektywne sterowanie pojazdem w funkcji teleoperatora. Z łatwością może ono być implementowane w innych zdalnie sterowanych pojazdach bezzałogowych.

Niniejsza praca jest częściowo finansowana z projektu rozwojowego nr OROB 003101/10/31/1

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Bartnicki A., Konopka S., Typiak R.: Opracowanie systemu wizyjnego dla szybkobieżnej bezzałogowej maszyny inżynieryjnej. *Logistyka* 6/2010. Poznań 2010
2. Bartnicki A., Łopatka M. J., Typiak R.: Problemy teleoperacji w sterowaniu bezzałogowymi platformami lądowymi. *Technologie podwójnego zastosowania*. Monografia pod redakcją naukową Andrzeja Najgebauera. WAT. Warszawa 2012
3. Bartnicki A., Typiak R.: Dobór systemu intuicyjnego sterowania robotem wsparcia inżynieryjnego. *Logistyka* 3/2012. Poznań 2012
4. Bartnicki A., Sprawka P.: Badania funkcjonalności systemu sterowania bezzałogową platformą lądową. *Autobusy, technika, eksploatacja, systemy transportowe* 3/2013.

5. Bartnicki A., Typiak R.: System wizyjny bezzałogowej platformy lądowej w zadaniach zmniejszania zagrożenia wywołanego niekontrolowanym uwalnianiem substancji niebezpiecznych. Technika Transportu Szynowego 9/2012
6. Konopka S., Łopaska M.J., Muszyński T., Typiak A.: Bezzałogowe platformy lądowe. Nowoczesne technologie systemów uzbrojenia. WAT., Warszawa 2008

## **VISION SYSTEM CONFIGURATION FOR UNMANNED GROUND VEHICLE CONRTOL IN TELEOPERATION MODE**

### *Abstract*

*Performing tasks by robots in conditions of human health and life hazards is more common phenomenon. Factor which have detrimental effect on victims number reduction in this tasks is using of remotely ground vehicles. This missions success depends on robots in difficult conditions certain operations, therefore first of all robot construction, chassis, actuators and from the other hand electronics equipment especially terrain visualization system. This paper presents terrain visualization system configuration for unmanned ground vehicle in teleoperation mode control.*

### **Autorzy:**

**ppłk dr inż. Adam Bartnicki** – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Katedra Budowy Maszyn, [abartnicki@wat.edu.pl](mailto:abartnicki@wat.edu.pl), tel. (22) 683-93-88

**mgr inż. Arkadiusz RUBIEC** – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Katedra Budowy Maszyn, [arubiec@wat.edu.pl](mailto:arubiec@wat.edu.pl), tel. (22) 683-71-07

**mgr inż. Rafał Typiak** – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Katedra Budowy Maszyn, [rtypiak@wat.edu.pl](mailto:rtypiak@wat.edu.pl), tel. (22) 683-73-06