

## **Mgr inż. Piotr Szczerba**

Rzeszów University of Technology,  
Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics  
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Poland  
E-mail: [psz@prz.edu.pl](mailto:psz@prz.edu.pl)

## **Dr inż. Paweł Rzucidło**

Rzeszów University of Technology,  
Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics  
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Poland  
E-mail: [pawelrz@prz.edu.pl](mailto:pawelrz@prz.edu.pl)

## **Dr inż. Zygmunt Szczerba**

Rzeszów University of Technology,  
Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics  
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Poland  
E-mail: [zygszrze@prz.edu.pl](mailto:zygszrze@prz.edu.pl)

## **Mgr inż. Grzegorz Drupka**

Rzeszów University of Technology,  
Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics  
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Poland  
E-mail: [g.drupka@prz.edu.pl](mailto:g.drupka@prz.edu.pl)

## **Układ wizyjny wspomagający pilota w warunkach zmiennego oświetlenia**

**Słowa kluczowe:** wskaźnik, pilot, operator, stacja naziemna, eksploatacja UAV, zjawiska optyczne, algorytmy wizyjne, algorytmy adaptacyjne, niezawodność operacji

**Streszczenie:** Celem niniejszego opracowania jest zademonstrowanie możliwości zastosowania współczesnych układów optoelektronicznych wspomaganych przez algorytmy przetwarzania obrazu w lotnictwie. Układy optoelektroniczne mogą wspomóc pracę pilota lub pracę operatora bezzałogowego statku powietrznego (BSP) po zainstalowaniu w kabinie pilota bądź w stacji naziemnej. Geneza problemu jest związana z aspektami bezpiecznej eksploatacji statku powietrznego w warunkach dynamicznie zmieniającego się oświetlenia otoczenia obserwowanego przez pilota samolotu lub operatora śledzącego monitor w stacji naziemnej i obserwującego obraz z kamery zainstalowanej na BSP. Zaproponowane rozwiązanie ma pomóc uniknąć sytuacji, w których świadomość sytuacyjna pilota/operatora pogarsza się na skutek silnych zjawisk optycznych.

### **1. Wstęp**

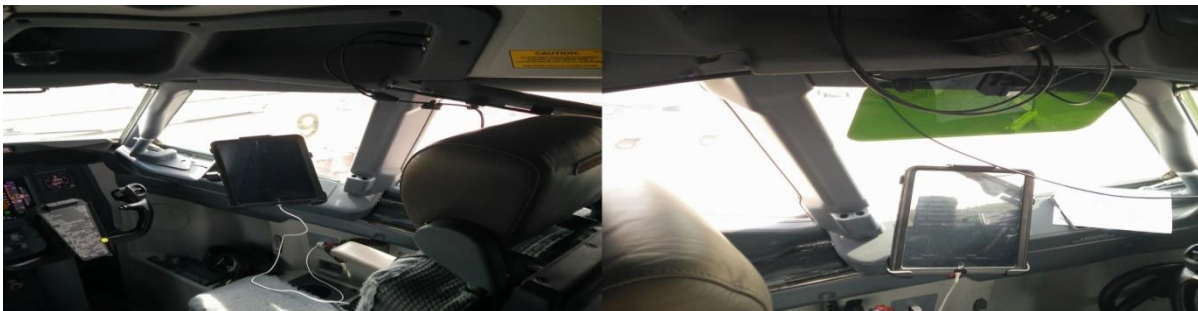
Układ pilot – samolot jest jednym z bardziej skomplikowanych układów antropotechnicznych [10, 30, 32, 43]. Zasadniczą przyczyną popełniania błędów przez pilotów jest duża ilość odbieranych informacji w niewielkim przedziale czasowym [14, 15, 29, 30]. Charakterystycznym w pracy pilota jest przenoszenie uwagi na przyrządy i jednoczesna interpolacja informacji z napływających sygnałów [6, 16, 29, 43]. Wiąże się z tym szereg zagrożeń, które mogą prowadzić do wystąpienia łańcucha niebezpiecznych

zdarzeń, mogących stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia załogi oraz pasażerów [10, 30, 38]. Odpowiednie wyposażenie kabiny, optymalizuje podział funkcji pomiędzy operatora a maszynę, minimalizując zagrożenia. Kabina powinna charakteryzować się odpowiednim przystosowaniem pilota do maszyny i na odwrót [41, 43]. Pilot samolotu, bądź operator bezzałogowego statku powietrznego, działania wykonuje na podstawie odbieranej informacji sytuacyjnej [5, 15, 32]. Dysponując pełną informacją, jest w stanie wykonać swoje zadanie prawidłowo. Problem zaczyna się, gdy pojawiają się zakłócenia odbieranych sygnałów, bądź występuje zupełny ich brak. Może mieć to znaczenie w odniesieniu do wskazań przyrządów pokładowych, ale także do informacji odbieranych bezpośrednio z otoczenia. Przykładowym wypadkiem, w którym miał miejsce wybór terenu do awaryjnego lądowania był lot z 22.03.2014 roku z lotniska Kaniów EPKW do Mielec EPML. Ponieważ lądowanie odbywało się pod słońce, załoga zauważyła dopiero kilkanaście metrów nad ziemią, że pole jest przedzielone zaoranym pasem. Nastąpiło przyziemienie, a samolot skapotał [31].

Niniejsze opracowanie dotyczy koncepcji rozwiązania minimalizującego powstawanie zakłóceń i artefaktów [40] w następstwie prześwietleń spowodowanych silnym światłem słonecznym oraz źródłami sztucznego oświetlenia (np. promień lasera skierowany w stronę kabiny pilotów [26]). Podczas eksploatacji samolotu zjawisko olśnienia jest szczególnie groźne. Problem ten występuje również w innych środkach transportu. Niewątpliwą inspiracją w tym obszarze badań są prace naukowe prowadzone w motoryzacji. Obszerne badania, włącznie z wdrożeniami, zostały przedstawione w pracach [11, 19, 45] i dotyczą ulepszenia tradycyjnych przesłon dla kierowców oraz optoelektronicznego filtra w obrębie przedniej szyby [47, 9]. Badania nad wpływem olśnienia na kierowców od lusterka wstecznego podczas jazdy nocnej, przedstawia praca [48]. Najnowsze rozwiązania świateł matrycowych likwidujące problem olśnienia od lamp czołowych, umożliwiające niezależne dynamiczne sterowanie wieloma wiązkami światła samochodu przedstawiono w pracach [22, 23, 37, 49].

W lotnictwie orientacja wzrokowa istotna jest zarówno w procesie pilotażu, jak i nawigacji [42]. Pozwala również uniknąć zaistnienia kolizji z innymi statkami powietrznymi. Problem olśnienia, nie dotyczy jedynie lotnictwa załogowego, jest także obecny w lotnictwie bezzałogowym. Związany jest głównie z zakłóceniami pochodzącymi od światła słonecznego, ale również z amatorskich laserów. Najczęściej stosowanym ograniczaniem skutków olśnienia podczas eksploatacji samolotu są okulary ochronne, eliminacja powierzchni błyszczących czy osłonięcie źródeł promieniowania (rys. 1) [2, 34, 35, 41, 45]. Do wad takich rozwiązań należą:

- stosowanie ekranów przesłon geometrycznie dopasowanych do szyby i samolotu,
- angażowanie pilota do czynności manualnego ustawiania przesłon,
- działanie w ograniczonym obszarze okna samolotu,
- wystąpienie ubocznych zakłóceń i artefaktów na obszarach granicznych przesłon,
- proceduralny zakaz korzystania z przesłon podczas startu i lądowania,
- ograniczone zastosowanie w lotnictwie bezzałogowym.



Rys. 1. Wnętrze kabiny Boeinga 737; nieosłonięte okno od strony pierwszego oficera (po lewej) oraz okno od strony fotela kapitana, częściowo zasłonięte przez przesłonę (opracowanie własne)

Okulary stanowią skuteczne narzędzie do ochrony samego wzroku, jednak ze względu na różnorodność i specyfikę filtrów, mogą pogorszyć niezawodność odczytu informacji z przyrządów pokładowych [36]. Prowadzone aktualnie na świecie badania, w aspekcie polepszenia widzenia pilotów, związane są głównie z ergonomią i ulepszeniami gospodarki informacyjnej. Dotyczą one m.in. rozwoju rzeczywistości rozszerzonej, a także systemów syntetycznej [24] i wzmocnionej wizji [18, 25]. W systemach wzmocnionej wizji wykorzystywane są technologie związane z obserwacją w podczerwieni oraz radiolokacją [4, 7, 12, 13, 28]. Systemy te pozwalają na bezpośrednią obserwację otoczenia i drogi startowej podczas lądowania w nocy lub w mgłę. Pilot, dzięki zastosowaniu tej klasy systemów, widzi obiekty mogące stanowić potencjale zagrożenie. Motywacją do podjęcia prac nad systemem wspomagającym pilota w warunkach zmiennego oświetlenia jest dysproporcja istniejących rozwiązań w tym zakresie, względem systemów związanych z wspieraniem widzenia nocnego i operacji wykonywanych w trudnych warunkach atmosferycznych.

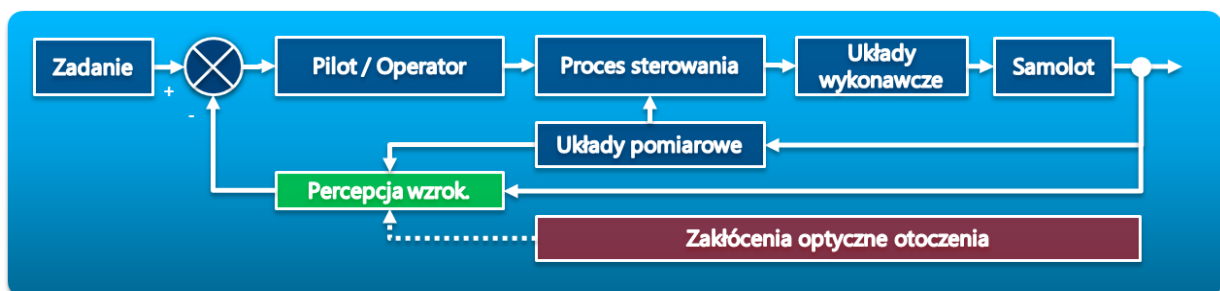
## 2. System wizyjny, jako narzędzie wspomagające pilota lub operatora BSP

### 2.1. Koncepcja proponowanego rozwiązania

Układ wizyjny wspomagający pilota-operatora, zaproponowany w niniejszej pracy, umożliwia obserwację otoczenia na specjalnie przeznaczonym do tego celu module zainstalowanym w kabinie samolotu (lub w stacji naziemnej w przypadku systemu BSP). System wizyjny ma za zadanie tak przetworzyć obraz, aby „wyciągnąć” kluczowe dla pilota informacje, a dodatkowo umożliwić wizualizację obserwowanego otoczenia bez zakłóceń, z jednoczesną możliwością wskazania potencjalnych zagrożeń (np. zwierząt na pasie). Na rys. 2 przedstawiono schemat ideowy systemu będącego połączeniem czterech części: optyki i przetwornika obrazu, układu akwizycji, układu obróbki obrazu przechwyconego (algorytm wizyjny) oraz układu wizualizacji obrazu końcowego.



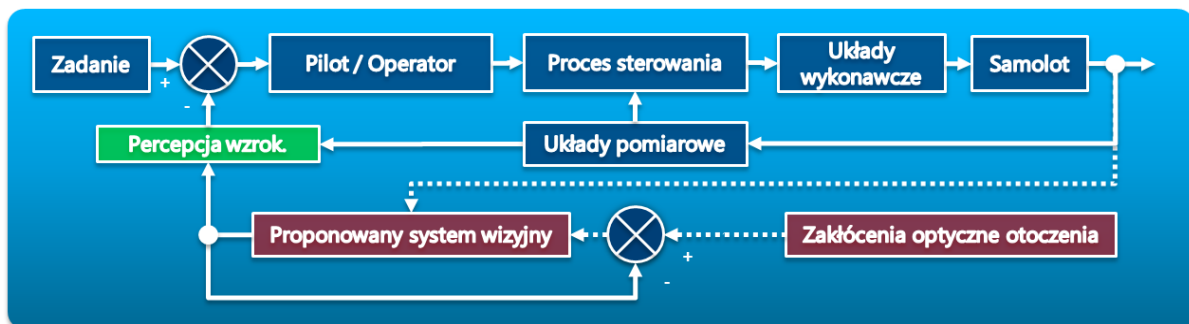
Rys. 2. Schemat ideowy adaptacyjnego systemu wizyjnego (opracowanie własne)



Rys. 3. Schemat procesu sterowania samolotem z uwzględnieniem wpływu zakłóceń optycznych

Na rys. 3 przedstawiony został uproszczony schemat prezentujący jednowymiarowy układ regulacji prezentujący proces sterowania samolotem przez pilota (lub bezzałogowym statkiem powietrznym przez operatora stacji naziemnej). Układ człowiek-samolot przedstawiono w sposób uproszczony, gdyż uwzględniono jedynie bodźce o charakterze wizualnym. Bodźce te trafiają do pilota z przyrządów pokładowych, jak również z obrazu widzianego przez okno kabiny samolotu (w przypadku pilota). W przypadku operatora BSP bodźce pochodzą z ekranu monitora będącego elementem przyrządów stacji naziemnej. Bazując na rys. 3 przedstawiono ten sam schemat, jednak rozbudowany o wykorzystanie proponowanego wskaźnika wizyjnego. Zastosowanie elementu niwelatora zakłóceń zaznaczonego na schemacie z rys. 4 pozwala na kompensację zakłóceń wizualnych, przy dodatkowym zapewnieniu przez proponowany system stałych warunków obserwowanego obrazu. W konsekwencji może przełożyć się to na bezpieczniejszą eksploatację statku powietrznego. Koncepcja ogólna zakłada pewne cechy proponowanego systemu, które jednak nie muszą być wyznacznikiem:

- rozwiązanie powinno w minimalnym stopniu ingerować w zainstalowaną awionikę na pokładzie samolotu bądź wyposażenie stacji naziemnej (rozwiązanie bezinwazyjne [20]),
- może być to rozwiązanie mobilne lub stacjonarne urządzenie (np. zintegrowane z wyświetlaczami w stacji naziemnej),
- koncepcja sprzętowa zakłada zastosowanie systemu zarówno w lotnictwie klasycznym, jak i bezzałogowym,
- dzięki możliwości rozbudowy i wielowarstwowych dekompozycji obrazu wyjściowego rozwiązanie pozwala na wyświetlanie zarówno bezpośredniego obrazu otoczenia obserwowanego przez przetwornik obrazowy, ale także pozwala na zintegrowanie go ze wskaźnikiem przeziernym typu HUD (ang. Head Up Display).



Rys. 4. Uproszczony schemat procesu sterowania samolotem w przypadku wystąpienia zakłóceń optycznych, z uwzględnieniem obecności proponowanego systemu wizyjnego



Rys. 5. Proponowana koncepcja w zastosowaniu do BSP; kamera obserwacyjna na BSP (z lewej) oraz widok konsoli operatora (opracowanie własne)



Integracja z HUD lub wskaźnikiem okularowym może wprowadzić informacje o charakterze rzeczywistości rozszerzonej (np. zagrożeniach w otoczeniu, linie pasa startowego, typ i sposób oświetlenia pomocniczych systemów lądowania [1, 27, 46]).

Obraz widziany przez przetwornik, podobnie jak ludzkie oko, jest tak samo wrażliwy na zakłócenia od światła. Różnica polega na tym, że ludzkie oko ma ograniczony i indywidualny próg adaptacji. W zależności od częstotliwości sygnału zakłócającego, wzrok pilota radzi sobie z tym zjawiskiem lepiej lub gorzej. W przypadku zakłóceń o charakterze stałym może powodować to tymczasowe oślepienie. Dla zakłóceń o charakterze gaussowskim, o częstotliwości zmian okresowych pomiędzy 1 Hz i 30 Hz, pilot poza efektem ściemniania lub rozjaśniania będzie widział także cykliczne migotanie (spowodowane np. ruchem obrotowym wirnika na śmigłowcu). Układ przetwornika obrazowego, uzbrojony w odpowiednią optykę i wspomagany przez zaproponowany algorytm, może stanowić skuteczne narzędzie eliminujące wspomniane problemy. Na wstępie obraz próbkowany jest z przetwornika i jako strumień wideo kierowany do komputera obliczeniowego. Tutaj rozpoczyna się etap drugi przetwarzania, gdzie strumień wideo zostaje poddany obróbce cyfrowej według określonego algorytmu tak, aby na wyjściu otrzymać obraz pozbawiony niepożądanych efektów świetlnych. Zastosowany algorytm może być dodatkowo doposażony w funkcje tworzące tzw. rzeczywistość rozszerzoną, wprowadzające do obrazu syntetyczne wskazania [3, 4, 5, 12, 17, 27].

## 2.2. Struktura sprzętowa systemu

W proponowanym rozwiązaniu sprzętowym systemu można wydzielić cztery części: układ optyczny, przetwornik obrazu, komputer obliczeniowy oraz układ wizualizacji (rys. 6).



Rys. 6. Schemat struktury sprzętowej proponowanego rozwiązania

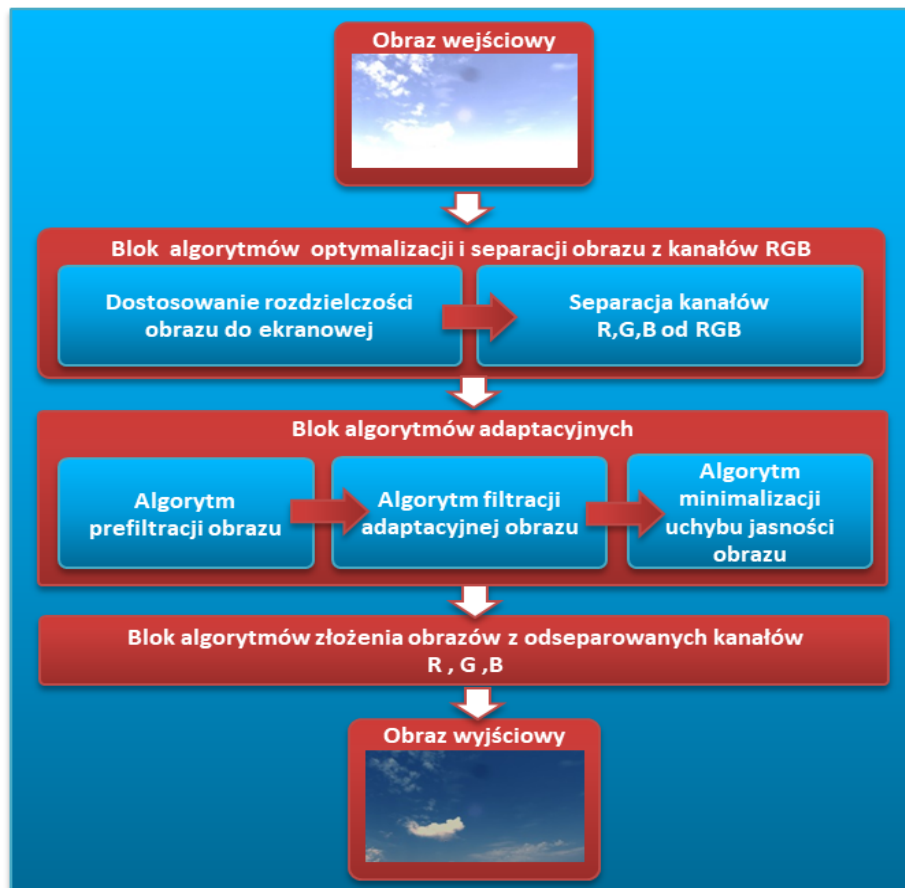
Układ optyczny stanowi obiektyw przystosowany do pracy w różnym zakresie natężenia światła, jednak typowy do obserwacji krajobrazów. Układ ten powinien dodatkowo charakteryzować się niskim współczynnikiem dystorsji i szerokim zakresem utraty jasności na brzegach obrazu przy zmiennej przesłonie. Układem przetwornika obrazu w naszym przypadku jest sensor zapewniający (wraz z dobraną optyką) pole widzenia w zakresie 90<sup>0</sup>-120<sup>0</sup>. Układ obliczeniowy, w zależności od zastosowania, może być mieć charakter stacjonarny lub mobilny.

Układ stacjonarny stanowi wydajny komputer PC, wspomagający obliczenia graficzne. W przypadku układu mobilnego jest to stacja robocza wyposażona w wydajny moduł obliczeń równoległych. Na komputerach obliczeniowych niezbędne jest umieszczenie docelowego systemu (Windows lub Linux) z zainstalowanym opracowanym oprogramowaniem do korekcji sygnału obrazowego. Ostatni element stanowi układ

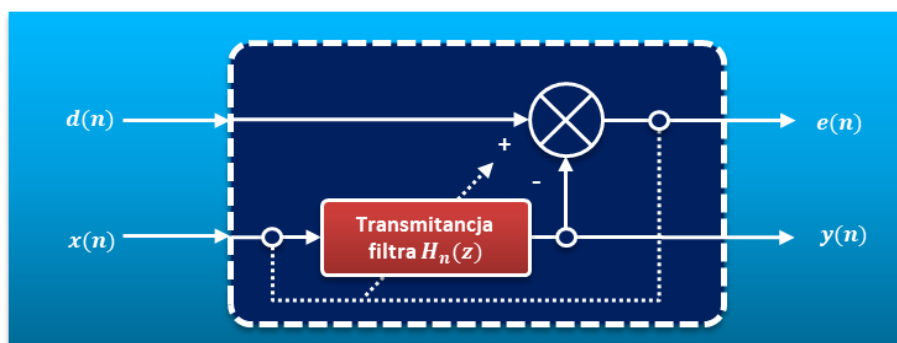
wizualizacji, który powinien być przystosowany do wyświetlania obrazu w standardzie minimum Full HD i dodatkowo zapewniać możliwość automatycznego sprzętowego dostosowywania jasności wyświetlacza do luminancji otoczenia.

### 2.3. Algorytmy przetwarzania obrazu

Schemat ideowy algorytmu przetwarzania obrazu został przedstawiony na rys. 7. Charakterystycznymi elementami tego algorytmu są bloki adaptacyjnej filtracji zakłóceń gdzie znajduje się filtr eliminujący drobne zakłócenia typu „sól i pieprz”, filtr adaptacyjny oraz regulator poziomu jasności obrazu wyjściowego.



Rys. 7. Schemat ideowy algorytmu przetwarzania obrazu



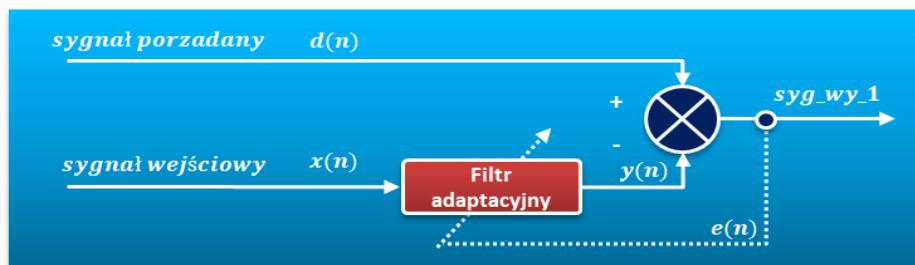
Rys. 8. Struktura filtra adaptacyjnego;  
 $d(n)$  – sygnał odniesienia,  $x(n)$  – sygnał filtrowany,  
 $e(n)$  – sygnał błędny,  $y(n)$  – wynik filtracji

Filtr o zmiennej transmitancji  $H_n(z)$  przekształca sygnał wejściowy  $x(n)$  tak, aby sygnał wynikowy  $y(n)$  posiadał minimalny uchyb w odniesieniu do sygnału odniesienia  $d(n)$ . Optymalne współczynniki dobierane przez filtr zmieniają się w funkcji czasu. Transmitancja  $H_n(z)$  dla filtru adaptacyjnego rekursywnego ma postać (1).

$$H_n(z) = \frac{b_0(n) + b_1(n)z^{-1} + b_2(n)z^{-1} + \dots + b_m(n)z^{-M}}{a_1(n)z^{-1} + b_2(n)z^{-1} + \dots + a_n(n)z^{-N} + 1} \quad (1)$$

Sygnał wyjściowy  $e(n)$ , zwany błędem dopasowania sygnału wyjściowego  $y(n)$  do zadanych sygnałów wejściowych  $d(n)$  i  $x(n)$  jest funkcją współczynników filtra, którą można uzależnić od wartości sygnału  $y(n)$  (rys. 8). W zależności od wewnętrznej konfiguracji filtra może on być wykorzystany do takich operacji obliczeniowych jak:

- identyfikacja modelu,
- modelowanie odwrócone,
- predykcja sygnału wyjściowego,
- filtracja sygnału wejściowego.



Rys. 9. Struktura filtru adaptacyjnego do eliminacji zakłóceń



Rys. 10. Ogólny ideowy schemat blokowy filtru adaptacyjnego RLS wykorzystanego w algorytmie przetwarzania obrazu

Z punktu widzenia zastosowania filtru adaptacyjnego do proponowanego rozwiązania odpowiednia wydaje się być struktura zaprezentowana na rys. 9. Struktura układu zaprogramowana na usuwanie zakłóceń zwykle jest skonstruowana tak, że sygnał wejściowy podstawowy jest sygnałem  $d(n)$  pożądanym, sygnał  $x(n)$  zawiera zakłócenia obecne w sygnale podstawowym, ofiltrowany sygnał wyjściowy  $y(n)$  jest odejmowany od sygnału pożądanego i na tej podstawie generowany jest sygnał  $e(n)$  zwany sygnałem błęd, który to z kolei jest wykorzystywany, jako sygnał pomocny do doboru współczynników wagowych  $w_n$  (w zależności od typu algorytmu adaptacyjnego). W omawianym rozwiązaniu zostało zaproponowane wykorzystanie filtracji adaptacyjnej na przykładzie schematu podanego na rys. 10. Idea zastosowania filtra z wykorzystaniem proponowanego algorytmu adaptacyjnego opiera się na automatycznym doborze przez algorytm współczynników wagowych  $w_n$  poprzez stałe aktualizowanie filtra o nowe dane, w oparciu o zasadę działania tzw. modelu autoregresywnego z zewnętrznym wejściem (dyskretnego modelu wejściowo-wyjściowego

dla procesów stochastycznych). W omawianym rozwiązaniu  $d(n)$  to poziom wzorcowy luminancji obrazu, sygnał  $x(n)$  to sygnał reprezentujący aktualny poziom luminancji poszczególnych klatek obrazu wejściowego,  $y(n)$  reprezentuje adaptowany do luminancji wzorcowej sygnał wyjściowy, ze zredukowanymi zakłóceniami (zależnie od stopnia rekurencji). Uproszczony model takiego filtra dla układu może być ogólnie wyrażony, jako zależność (2).

$$y(n) = z^{-k}(B(z^{-1})/A(z^{-1})) + e(n)(1/A(z^{-1})) \quad (2)$$

gdzie:

$y(n)$	- wartości wyjściowe w chwili „n”,
$e(n)$	- wektor wartości wyznaczonego błędu,
$z^{-k}$	- opóźnienie sygnału o „k” chwil,
$z^{-k}(B(z^{-1})/A(z^{-1}))$	- człon zasadniczy toru sterowania,
$e(n)(1/A(z^{-1}))$	- zakłócenia stochastyczne.

W przypadku zastosowania praktycznego częściej stosowany jest uproszczony zapis wyrażenia (2) dany wzorem (3).

$$y(n) = \hat{w}^H(n-1)x(n) \quad (3)$$

$x(n)$  - wektor zawierający wartości wejściowe.

Algorytm wewnątrz filtra adaptacyjnego ma za zadanie minimalizować wskaźnik wagowy, który w przypadku ogólnym zdefiniowany jest jako (4).

$$\hat{w}(n) = \hat{w}(n-1) + k(n)e(n) \quad (4)$$

$\hat{w}(n)$  - wartość wektora wagowego estymowana w chwili „n”.

Wektor  $k(n)$  zwany jest wzmocnieniem kalmanowskim i określony jest formułą (5).

$$k(n) = (\lambda^{-1}P(n-1)x(n))/(1 + \lambda^{-1}x^H(n)P(n-1)x(n)) \quad (5)$$

Zapis (4) otrzymano z wykorzystaniem ogólnego wzoru na wzmocnienie (6).

$$k(n) = P(n)x(n-1) \quad (6)$$

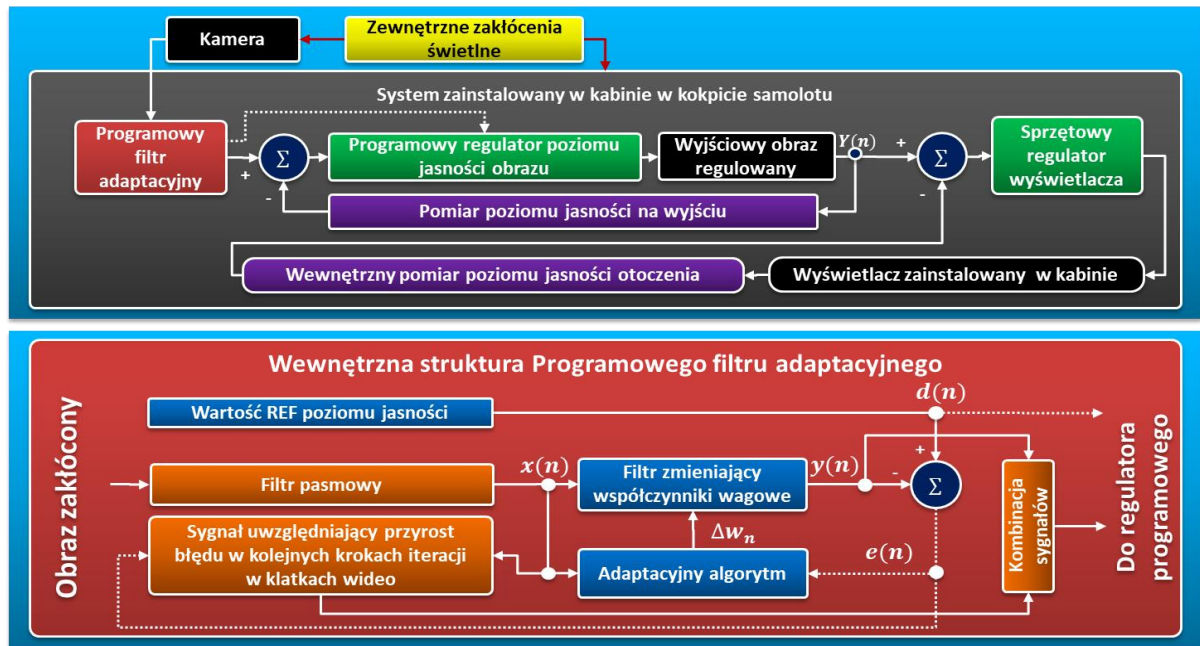
Macierz kowariancji  $P(n)$  wyznaczono na drodze przekształcenia rekurencyjnego, gdzie ogólny zapis tej macierzy ma postać (7).

$$P(n) = \lambda^{-1}[P(n-1) - \frac{P(n-1)x(n-1)x^H(n-1)P(n-1)}{\lambda + x^H(n-1)P(n-1)x(n-1)}] \quad (7)$$

Współczynnik  $\lambda$  dany w powyższych wzorach jest zwany współczynnikiem zapomnienia i musi być z góry określony. Może to być wartość mieszcząca się w przedziale  $\langle 0; 1 \rangle$  z zaznaczeniem, że wartość równa 1 w proponowanym rozwiązaniu oznacza korekcję w nieskończoności, a 0 brak możliwości aktualizacji wskaźnika wagowego. Zmniejszanie

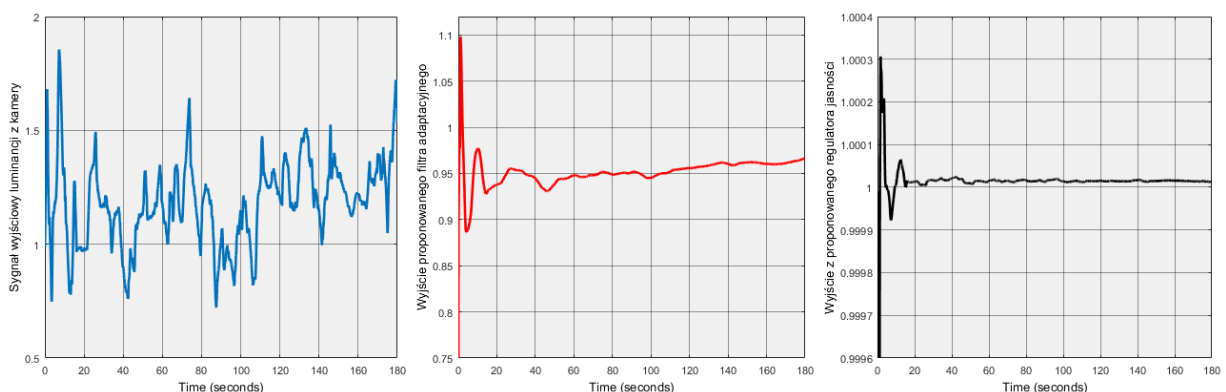


wartości  $\lambda$  do 0 prowadzi do ograniczenia działania filtra do aktualnej chwili czasu, bez uwzględnienia stanów w  $n$  poprzednich krokach.



Rys. 11. Schemat układu automatycznego usuwania zakłóceń i sterowania poziomem jasności obrazu wyjściowego (u góry), schemat wewnętrznej budowy filtra adaptacyjnego (na czerwonym bloku poniżej)

Powracając do struktury ogólnej proponowanego rozwiązania, do układu adaptacyjnego trafia sygnał po przejściu przez filtr pasmowy. Dalej układ adaptacyjny współpracuje z dyskretnym regulatorem, zgodnie z schematem przedstawionym na rys. 11. Układ ten posiada dodatkowe wejście referencyjne oraz wejście śledzące pozwalające dynamicznie minimalizować zmiany poziomu jasności obrazu wyjściowego, wynikające ze zmian parametru obliczanego błędu i współczynników wagowych filtra RLS, a w konsekwencji tzw. wzmocnienia Kalmana. W trakcie działania skutkuje to uzyskaniem na wyjściu obrazu pozbawionego zakłóceń, ale narażonego na zmiany jasności w zależności od amplitudy i szybkości zmian jasności obrazu wyjściowego. Na zmiany te główny wpływ ma wartość dobranej wartości współczynnika  $\lambda$ .



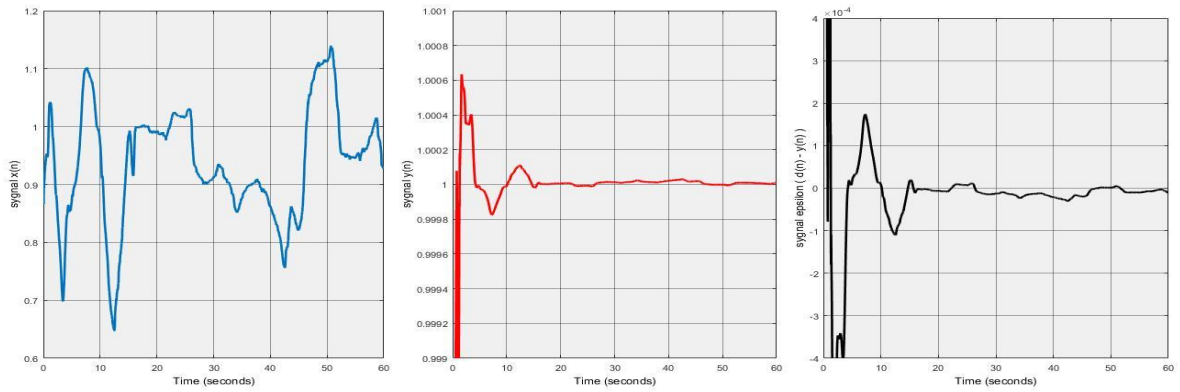
Rys. 12. Zakłócony sygnał luminancji (z lewej), sygnał wyjściowy  $y(n)$  dla układu bez programowego regulatora jasności (wykres środkowy) oraz sygnał  $y(n)$  dla układu z regulatorem programowym 2DOF PID

Wprowadzony do układu adaptacyjnego programowy regulator poziomu jasności obrazu działa w oparciu o algorytm 2DOF PID. Na jego wejście trafia sygnał uchybu oraz wartość referencyjna bezpośrednio z filtra. Regulator ten stabilizuje sygnał wychodzący z układu filtra adaptacyjnego oraz minimalizuje uchyb zmian poziomu jasności obrazu w

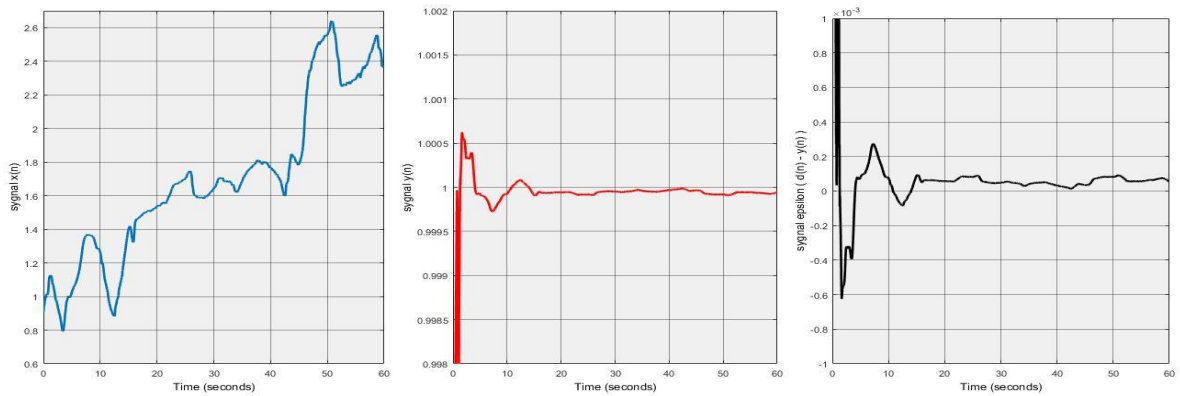
kolejnych n-klatkach względem zadanej wartości referencyjnej (rys. 12). Rozwiązanie to umożliwi redukcję zakłóceń, oraz uzyskanie relatywnie stałej amplitudy poziomu jasności obrazu wyjściowego.

### 3. Wyniki badań

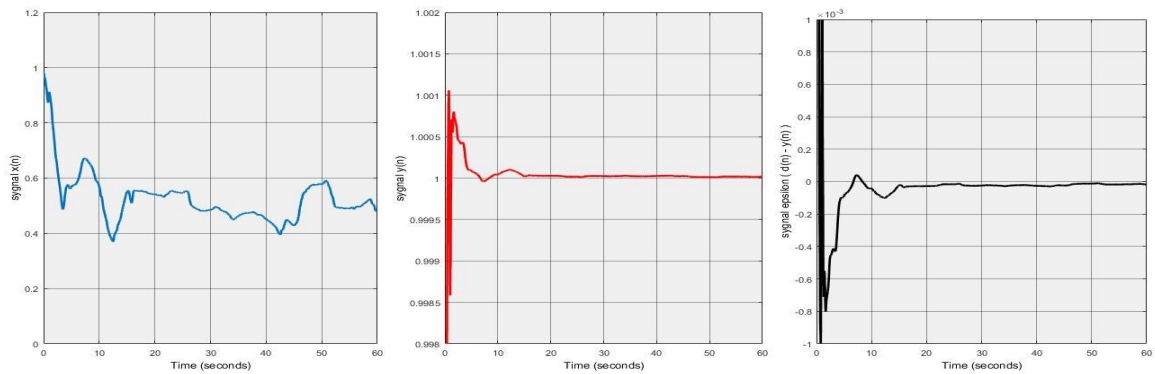
W rozdziale tym zaprezentowane zostały przykładowe wyniki badań symulacyjnych. Proponowane rozwiązanie zostało poddane testom w środowisku obliczeniowym Matlab/Simulink. Zamodelowany został układ wizyjny wraz z algorytmem automatycznego sterowania poziomem jasności obrazu wyjściowego, działający zgodnie ze strukturą przedstawioną na rys. 11. Jako sygnał źródłowy wykorzystany został sygnał wideo nagrany przez kamerę zamontowaną na kadłubie platformy bezzałogowej, w warunkach normalnej widzialności, o stosunkowo dużym zakresie zmienności średniego poziomu luminancji obrazu wejściowego mieszczącego się pomiędzy wartościami 0.0 a 2.5. Wartość 0.0 oznacza obraz zupełnie zaciemniony, natomiast 2.5 obraz przepalony. Na sygnał ten dodatkowo zostały nałożone zakłócenia o charakterze zarówno stałym jak i gaussowskim, o jednocześnie zmiennych parametrach amplitudy i częstotliwości. Na przedstawionych wykresach (rys. 13-18) zostały zaprezentowane trzy rodzaje sygnałów. Pierwszy od lewej to sygnał wejściowy  $x(t)$ , następnie przedstawiono sygnał wyjściowy  $y(t)$  z badanego układu oraz uchyb regulacji  $\varepsilon(t)$  uzyskiwany w trakcie badania układu w środowisku symulacyjnym. Analizując przedstawione wykresy można zaobserwować, że sygnał wyjściowy z proponowanego algorytmu działa skutecznie, zmniejszając zakłócenia w pasmie częstotliwości rozróżnialnym dla ludzkiego oka. Rys. 13 prezentuje przypadek badania systemu w warunkach, gdzie parametr wejściowej luminancji obrazu ulegał zmianie na skutek szybkich zmian orientacji przestrzennej BSP. Badanie to było przeprowadzone w specyficznych warunkach eksploatacyjnych, wynikających z dość niskiego położenia słońca, co przy pilotażu małego i lekkiego bezzałogowego statku powietrznego na stosunkowo niedużych wysokościach ma ogromny wpływ na bezpieczeństwo. Symulacja podobnych sytuacji wykazała ponadto, że proponowany algorytm, bez względu na orientację aparatu względem mocnego źródła światła, pozwala wyświetlać obraz na stałym poziomie luminancji. Wyniki badań zaprezentowane na rys. 14-15 dowodzą skuteczności algorytmu na zakłócenia związane zarówno ze zmianą orientacji przestrzennej BSP (względem słońca, ale także nałożonego na niego dodatkowego zakłócenia o charakterze całkującym (postępujący zmierzch) bądź różniczkującym (np. mechaniczne zacinać się przesłony kamery na skutek przeciążeń lub zmiennych warunków termicznych). Wpływ innego rodzaju zakłóceń zilustrowano na rys. 16-18. Dotyczą one badań odporności algorytmu na zakłócenia o charakterze gaussowskim i częstotliwościach zmian 10 Hz (rys. 16) oraz 0.1 Hz (rys. 17). Sytuacja taka może mieć miejsce np. podczas wystąpienia korkociągu, w fazie wirowania ze stałą prędkością. Zarówno dla samolotu klasycznego jak i dla bezzałogowego statku powietrznego możliwe jest uzyskanie prędkości kątowej dochodzącej do kilkuset stopni na sekundę. Pochylenie w korkociągu rzędu  $90^{\circ}$  i jednoczesne obroty względem osi x, w połączeniu z niskim położeniem słońca mogą wywoływać u pilota lub operatora silne boczne zakłócenia widzenia. Czwartą grupę symulacji stanowią badania analogiczne do tych zaprezentowanych na rys. 16-17, z tą jednak różnicą, że wykonywane były przy zmniejszającej się oraz zwiększającej się (rys. 18) prędkości wirowania samolotu w korkociągu. Uzyskane wyniki wskazują, że algorytm ten równie skutecznie będzie mógł radzić sobie z zakłóceniami pochodzącymi od poruszających się z różną prędkością obrotową łopat wirnika śmigłowca.



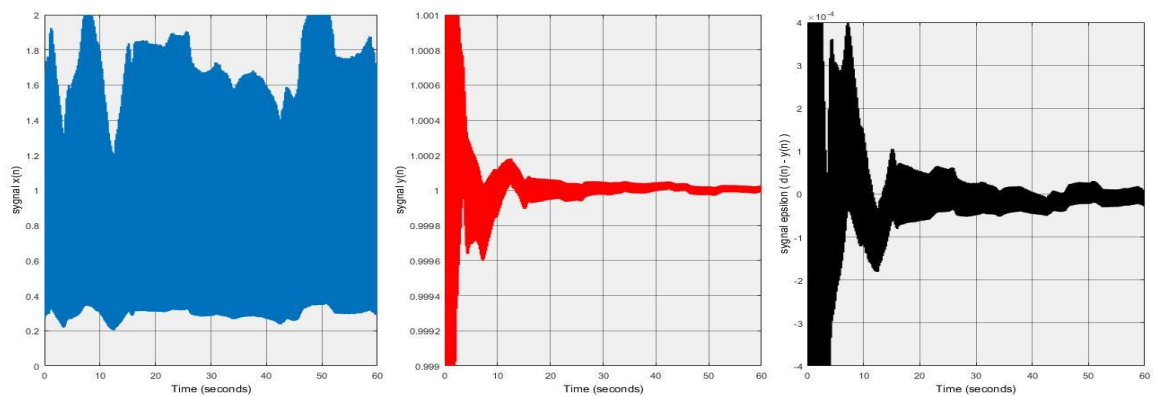
Rys. 13. Charakterystyki układu regulacji adaptacyjnej w trakcie przetwarzania sygnału w warunkach swobodnych (bez dodatkowych zakłóceń zewnętrznych)



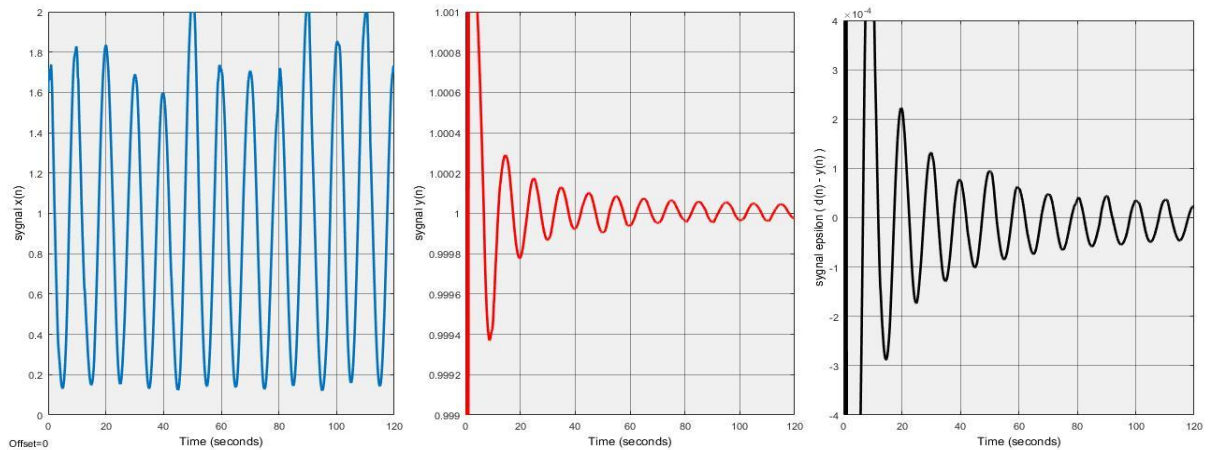
Rys. 14. Charakterystyki układu z dodatkowo nałożonym wymuszeniem o charakterze całkującym



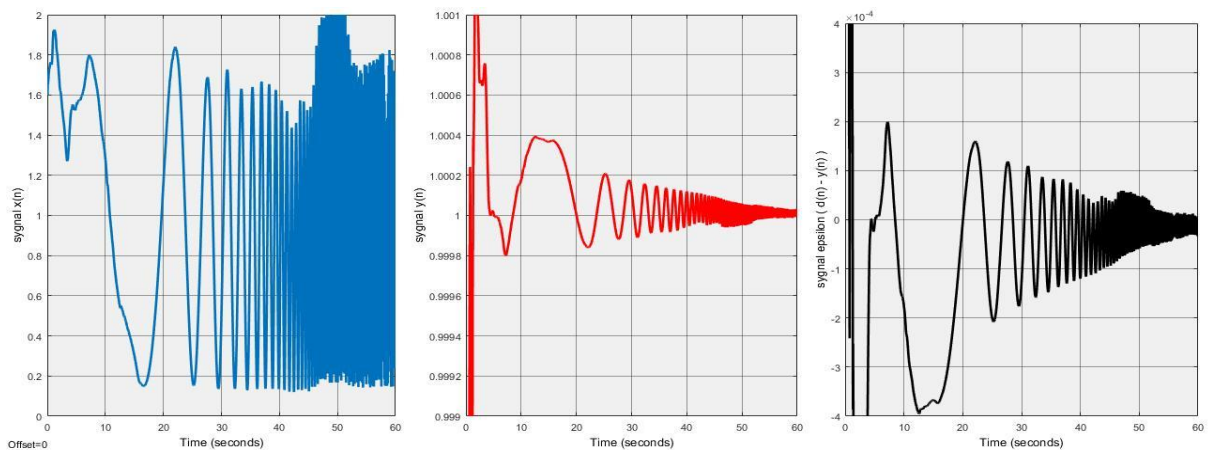
Rys. 15. Charakterystyki wyjściowe z dodatkowo nałożonym wymuszeniem o charakterze różniczkującym



Rys. 16. Charakterystyki wyjściowe układu z dodatkowo nałożonym wymuszeniem o charakterze gaussowskim o częstotliwości własnej 10 Hz



Rys. 17. Charakterystyki wyjściowe układu z dodatkowo nałożonym wymuszeniem o charakterze gaussowskim o częstotliwości własnej 0.1 Hz



Rys. 18. Charakterystyki wyjściowe układu z dodatkowo nałożonym wymuszeniem o charakterze gaussowskim o zmiennej amplitudzie i rosnącej częstotliwości własnej w zakresie od 0.01 Hz do 10 Hz.

W oparciu o przedstawione charakterystyki czasowe można zaobserwować, że sygnał wyjściowy z proponowanego układu sterowania poziomem jasności zmniejsza się i ostatecznie uchyb sygnału wyjściowego spada do zera. Ze względu na skrócony charakter przedstawianych tutaj wyników, autorzy starali się pokazać skuteczność algorytmu proponowanego rozwiązania dla charakterystycznej zmienności zakłóceń sygnału wejściowego, zwykle spotykanym w warunkach rzeczywistej eksploatacji statków powietrznych. Na rys. 19 przedstawiono obrazy uzyskane w trakcie działania algorytmu przy ustalonych parametrach luminancji. W warunkach rzeczywistych, zmiany luminancji będą wynikały nie tylko ze zmian orientacji przestrzennej statku powietrznego, lecz również ze zmiany pory dnia. Na rysunku tym po lewej stronie widoczny jest obraz wejściowy, po stronie prawej natomiast obraz wynikowy z proponowanego systemu. Symulacje przeprowadzono dla jednego obrazu testowego, którego luminancję zmieniano od wartości 0.25 (charakterystycznej dla obrazu niedoświetlonego) do wartości 2.5 (obraz prześwietlony).



Rys. 19. Obrazy wejściowe (z lewej) z wartością luminacji (od góry, odpowiednio: 0.25, 1.5, 2.5) i obraz wyjściowy (z prawej)

#### 4. Wnioski końcowe

Proponowane rozwiązanie, mimo iż dotyczy lotnictwa, jest rozwiązaniem interdyscyplinarnym. Może być wykorzystane również w innych dziedzinach transportu (np. w motoryzacji). Prezentowana koncepcja opiera się na przetwarzaniu sygnałów oraz teorii sterowania, nie mniej jednak artykuł został wzbogacony aspektami związanymi z teorią czynnika ludzkiego i wpisuje się w obszar eksploatacji statków powietrznych, w tym również bezzałogowych.

Problem olśnienia występuje w lotnictwie podczas wykonywania lotów w zmiennych warunkach pogodowych oraz w trakcie zmiany pory dnia (wschody i zachody słońca). Warunki takie zostały zasymulowane podczas badań prowadzonych z wykorzystaniem rzeczywistych nagrań. Na przedstawionych charakterystykach czasowych można zaobserwować, że sygnał wyjściowy z proponowanego układu sterowania poziomem jasności obrazu stabilizuje się na oczekiwanej wartości luminancji wynoszącej 1. Dzieje się to zarówno w przypadku zakłóceń o charakterze ciągłym, takim jakie mają miejsce podczas typowego olśnienia słonecznego występującego podczas lotu z kursem „na słońce”, jak również w przypadku zakłóceń o charakterze zmiennym, wywołanym przez światło słoneczne przebijające się przez chmury lub wynikające z nagłych zmian orientacji przestrzennej samolotu. Zjawiska takie mogą być szczególnie dokuczliwe podczas eksploatacji w nietypowych stanach lotu związanych np. z akrobacją lub sterowaniem wysokomanewrowym statkiem powietrznych, gdzie obiekt zmienia położenie względem słońca (i innych źródeł światła) w sposób nagły. Proponowany układ szybko niweluje w takich sytuacjach chwilowe oscylacje natężenia oświetlenia do wartości odbiegających od wzorcowej luminancji równej 1.0 o nie więcej niż  $\pm 1 \times 10^{-4}$ . W przypadku obserwowania przez pilota takiego obrazu wyjściowego, oscylacje świetlne są niezauważalne. Należy dodatkowo pamiętać, że



proponowane finalne rozwiązanie posiada na wyjściu jeszcze sprzętowy regulator dostosowywania poziomu jasności wyświetlacza, w zależności od poziomu luminancji otoczenia.

Badania, jakie prowadzą aktualnie zespoły naukowe na świecie w dziedzinie eksploatacji pojazdów w obszarze szeroko pojętego transportu, zwracają się w ostatnich latach w kierunku wykorzystania metod optycznych oraz wizyjnych [8, 20, 21, 33, 39, 44]. Przedstawione rozwiązanie ma duże szanse rozwoju, w przyszłości system ten zostanie zintegrowany i będzie badany z opracowanym przez autorów wizyjnym systemem automatycznego wspomaganie pilota, podczas eksploatacji w wybranych fazach lotu. Rozwiązanie to może znaleźć zastosowanie zarówno do poprawy precyzji manewrów wykonywanych manualnie przez pilota-operatora, jak też do wsparcia automatycznego wykrywania obiektów (intruzów) mogących stanowić potencjalne zagrożenie dla statku powietrznego. Przeprowadzone testy i badania wskazują również na możliwość wykorzystania opracowanego rozwiązania w celu uniknięcia olśnienia załogi przez światło amatorskiego lasera. Zaproponowane rozwiązanie może stanowić wsparcie dalszych interdyscyplinarnych badań nad poprawą warunków obserwacji prowadzonej przez pilota bądź operatora UAV podczas eksploatacji statku powietrznego.

## Literatura

1. Abramov A., Bayer C., Heller C. A flexible modeling approach for robust multi-lane road estimation, IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 10.1109/IVS.2017.7995904, Los Angeles, CA, 2017.
2. Aircraft Spruce, [http://www.aircraftspruce.com/catalog/graphics/notinuse/RV-10Rosen\\_B.jpg](http://www.aircraftspruce.com/catalog/graphics/notinuse/RV-10Rosen_B.jpg), access: 2018.07.19.
3. Akopdjanan Y., Machikhin A., Bilanchuk V., Drynkin V., Falkov E., Tsareva T., Fomenko A. Flight study of on-board enhanced vision system for all-weather aircraft landing, 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics 2014; 9292: 92920X.
4. Arthur J., Kramer L., Bailey R. Flight test comparison between enhanced vision (FLIR) and synthetic vision systems. Enhanced and Synthetic Vision 2005; 5802: 25-37.
5. Basmadji F., Gruszecki J., Kordos D., Rzucidlo P. Development of ground station for a terrain observer-hardware in the loop simulations. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference 2012; 4629.
6. Basmadji F., Gruszecki J., Rzucidlo P. Prediction, Analysis and Modeling of Human Performance. Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference and Exhibition, Gothenburg - Sweden 2009; SAE Technical Paper 2009-01-2297.
7. Beier K., Gemperlein H. Simulation of infrared detection range at fog conditions for Enhanced Vision Systems in civil aviation. Aerospace Science and Technology 2004; 8(1): 63-71.
8. Boden F., et al. Editorial for the special feature on Advanced In-flight Measurement Techniques AIM2. Measurement Science and Technology 2017; 28.4: 040101.
9. Cernasov N. Automatic glare reduction system for vehicles. Patent application US20090204291A1 2009.
10. Ciecieski P., Pieniżek J., Rzucidło P., Tomczyk A. Modyfikacja charakterystyk systemu pośredniego sterowania samolotem z wykorzystaniem interfejsów człowiek-maszyna, Sieć Naukowa Aeronautica Integra. Journal of Aeronautica Integra 2008; 2(4): 29-36.

11. Engerstrom L., Samuelsson A. Exploring sun visor concepts, Department of Technology Management and Economics Division of Entrepreneurship and Strategy. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden 2016; Report No. E 2016:102
12. Foyle D., Ahumada A., Larimer J., Sweet B. Enhanced/Synthetic Vision Systems: Human Factors Research and Implications for Future Systems, 1992; SAE Technical Paper 921968, <https://doi.org/10.4271/921968>.
13. Gruszecki J. [red] Wybrane zagadnienia awioniki, Kijor K., Rzucidło P., Szpunar R., Integracja systemów syntetycznej i wzmocnionej wizji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2011, 61-70.
14. Gruszecki J., Rogalski T., Nowak D. Precision of Pilotage as a Function of Pilot Information Workload. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, Minneapolis 2012; AIAA-2012-4492.
15. Gruszecki J., Rzucidło P. Simplified Informatics Model of Pilot-Operator and Prediction of Human Performance. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, Honolulu, Hawaii 2008; AIAA-2008-7110.
16. Gruszecki J., Tomczyk A., Rzucidło P., Dołęga B., Kopecki G., Pieniążek J., Rogalski T. Opracowanie technologii oraz stanowiska do optymalizacji interfejsu człowiek-maszyna w kokpitach wojskowych statków powietrznych. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2007.
17. Hines G., Rahman Z., Jobson D., Woodell G., Harrah S., Real-time enhanced vision system, Proc. SPIE 5802, Enhanced and Synthetic Vision, 2005; doi: 10.1117/12.603656
18. Kashyap, S. K., Naidu, V. P. S., & Shanthakumar, N. Development of Data Acquisition Systems for EVS Flight Experiments, Control and Data Fusion e-Journal: CADFEJL Vol. 1, No. 1, pp. 31-36, Jan-Feb 2017.
19. Kim J., Shin H. Algorithm & SoC Design for Automotive Vision Systems, Springer Netherlands, 2014.
20. Kopecki G., Rzucidło P. Integration of optical measurement methods with flight parameter measurement systems, Measurement Science and Technology, 2016; 27(5): 054003. <http://dx.doi.org/10.1088/0957-0233/27/5/054003>
21. Kucaba-Pietal A., Stasicki B., Politz Ch., Roloff Ch., Boden F., Jentink H., de Grot K., Szumski M., Valla M., Póltora P., Szczerba P., James S., Kirmse T., Weikert T. AIM<sup>2</sup> Advanced Flight Testing Work-shop. Norderstedt: BOD, 2013.
22. Maier M., Moisel J., Herold F. Multibeam Headlights in the Mercedes-Benz CLS-Class. ATZworldwide 2015; 117(2): 4-9.
23. Moisel J., Ackermann R., Griesinger M. Adaptive Headlights Utilizing LED Arrays. Proceedings of the Int. Symposium on Automotive Lighting (ISAL) Darmstadt, 2009; 287-296.
24. Naidu V., Rao N., Girija G. Enhanced and Synthetic Vision for Remotely Piloted Vehicles, 2011.
25. Naidu, V. P. S., Rao, P. N., Kashyap, S. K., Shanthakumar, N., & Girija, G. (2011, November). Experimental study with enhanced vision system prototype unit. In Image Information Processing (ICIIP), 2011 International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
26. Nakagawara V., Wood K., Montgomery R. Laser exposure incidents: pilot ocular health and aviation safety issues. Optometry-Journal of the American Optometric Association 2008; 79(9):518-524.
27. Oszust M., Kapuscinski T., Warchol D., Wysocki M., Rogalski T., Pieniążek J., Kopecki G., Ciecinski P., Rzucidło P. A vision-based method for supporting

- autonomous aircraft landing, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, DOI: AEAT-11-2017-0250 (accepted for publication).
28. Pencikowski P., Low-cost vehicle-mounted enhanced vision system comprised of a laser illuminator and range-gated camera. *Enhanced and Synthetic Vision 1996*; 2736 doi: 10.1117/12.241036; <https://doi.org/10.1117/12.241036>
  29. Pieniżek J. Adaptation of the display dynamics for monitoring of controlled dynamical processes. *Human System Interactions (HSI), 3rd International Conference on Human System Interaction, Rzeszów 2010*.
  30. Pieniżek J. *Kształtowanie współpracy człowieka z lotniczymi systemami sterowania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2014.
  31. PKBWL Raport wstępny o wypadku (poważnym incydencie) lotniczym 338/14, Katowice 2014.
  32. Polak G. Operational and technological directions for Unmanned Aircraft Systems development. *Security and Defence Quarterly 2018*; 1(18): 57-74.
  33. Politz, C., Lawson, N. J., Konrath, R., Agocs, J., & Schröder, A., Development of Particle Image Velocimetry for In-Flight Flow Measurement. In *Advanced In-Flight Measurement Techniques* (pp. 269-289). Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.
  34. RAM Universal Sun Visor with Suction Cup Mount, <http://www.mypilotstore.com/mypilotstore/sep/9989>, access: 2018.07.19.
  35. Rash C., Manning S. For Pilots, sunglasses are Essential in Vision Protection *Human Factors & Aviation Medicine 2002*; 49(4):1-8.
  36. Rash, C. E., McLean, W. E., Mozo, B. T., Licina, J. R., & McEntire, B. J. (1999). Human factors and performance concerns for the design of helmet-mounted displays. In *RTO HFM symposium on current aeromedical issues in rotary wing operation*.
  37. Reichl M., Intelligente LED-Scheinwerfer für mehr Sicherheit. <http://www.photonikforschung.de/service/aktuellnachrichten/detailseite/archiv/2013/05/15/article/intelligente-led-scheinwerfer-fuer-mehr-sicherheit>, access: 2018.07.26.
  38. Rozporządzenie (WE) nr 1899/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. zmieniające rozporządzenie Rady (EWG) nr 3922/91 w sprawie harmonizacji wymagań technicznych i procedur administracyjnych w dziedzinie lotnictwa cywilnego.
  39. Rzucidło P., Kopecki G. H., deGroot K., Kucaba-Pietal A., Smusz R., Szewczyk M., Szumski M. Data acquisition system for PW-6U in flight boundary layer mapping, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 2016; 88(4):572 – 579. DOI: 10.1108/AEAT-12-2014-0215
  40. Sánchez-Tena M., Alvarez-Peregrina C., Valbuena-Iglesias M., Palomera P. Optical Illusions and Spatial Disorientation in Aviation Pilots. *Journal of medical systems 2018*; 42(5): 79.
  41. Sasim B. *Elementy ergonomii kabin samolotów wojskowych*, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2009
  42. Stewart K. *Podręcznik pilota szybowcowego – praktyka*, Wydanie I, 2015.
  43. Szczepański C. Method of Optimizing the Human-Machine Interface at Military Aircraft. *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, Chicago, IL 2009*; AIAA-2009-5923.
  44. Szewczyk M., Smusz R., de Groot K., Meyer J., Kucaba-Pietal A., Rzucidło P. In-flight investigations of the unsteady behaviour of the boundary layer with infrared thermography. *Measurement Science and Technology 2017*; 28(4): 044002. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa529c>

45. Tutunea D., Dima A., Bica M., Buculei M. The design of sun visors for automotive industry. *Annals of the University of Oradea. Fascicle of Management and Technological Engineering* 2014; XXIII(XIII): 124-127.
46. Wilson J., Zimmerman K., Schwab D., Oldham M., Stockwell R. U.S. Patent No. 7,525,448. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office 2009.
47. Yechezkal E. Enhanced vision for driving, Patent No.: US 7,199,767 B2, 2007.
48. Yuter S. Vehicle glare reducing systems, Patent application 20120303214 2012.
49. Zuse, K: Fotoelektrisch durch Gegenlicht steuerbare Beleuchtungsvorrichtung. German Patent No. 1190413, 1958.