

Krzysztof CYRAN
Oleg ANTEMIJCZUK
Dagmara SOKOŁOWSKA
Adam ZAZULA

INTEGRACJA WSKAŹNIKÓW CDI Z SYMULATOREM LOTU LABORATORIUM WIRTUALNEGO LATANIA

Streszczenie. Artykuł opisuje projekt oraz implementację wskaźników CDI (Course Deviation Indicator) realizowaną w trakcie projektu EGALITE. Opracowane oprogramowanie posłużyło do integracji wskaźników z symulatorami lotniczymi klasy FNTF II będącymi na wyposażeniu Laboratorium Wirtualnego Latania Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Dzięki temu możliwe było wykorzystanie symulatorów do prac badawczych dotyczących zastosowania nawigacji satelitarnej w procedurach podejść precyzyjnych LPV. Celem wykorzystania symulatorów Laboratorium Wirtualnego Latania w projektach naukowych Unii Europejskiej jest redukcja czasu oraz zasobów finansowych niezbędnych do badań w dziedzinie aeronautyki. Zwiększa się również w ten sposób bezpieczeństwo badań naukowych oraz prac badawczo-rozwojowych związanych z aeronautyką.

Słowa kluczowe: Procedury LPV, nawigacja satelitarna, system GNSS, GPS, GALILEO, GLONASS ICAO, EGNOS, SBAS, ABAS, Lateral Guidance, Vertical Guidance, procedury RNAV, serwis SISneT, symulatory FNTF II, FNTF II/MCC, symulatory PHS, PAS.

1. WPROWADZENIE

Przy realizacji procedur podejść do lądowania obecnie powszechnie używany jest system nawigacyjny VOR (VHF Omnidirectional Range). Jest on najbardziej rozpowszechnionym kątowym systemem radionawigacyjnym stosowanym w lotnictwie. System ten jest bardziej uniwersalny i znacznie dokładniejszy od systemu NDB – radiolatarni bezkierunkowej (dopuszczalny błąd VOR $\pm 2,5$ stopnia, dokładność prowadzenia po linii drogi $\pm 5,2^\circ$). System i zasada działania są bardzo zbliżone do latarni morskiej. Częstotliwości pracy wynosi 108–117,9 MHz (w zakresie 108–112 co 200 kHz, pozostałe kanały wykorzystywane są przez system ILS), zaś Moc mieści się w zakresie 100–200 W. W szczególności moc 50 W stosuje się dla tzw. T-VOR - radiolatarni o obniżonej mocy ze względu na duże zagęszczenie urządzeń np. w okolicach lotnisk. W sygnale VOR zawarty jest azymut, który zostaje odczytany i zobrazowany przez pokładową część systemu. Na pokładzie statku powietrznego znajduje się jedynie instalacja odbiorcza. Dzięki swej budowie, system taki umożliwia otrzymanie namiaru od radiolatarni względem północy magnetycznej, osiągnięcia żadanego namiaru do lub od radiolatarni VOR, informacji o minięciu radiolatarni przez statek powietrzny oraz dźwiękową informację nadaną alfabetem morsa (trzy znaki alfabetu Morse'a identyfikujące daną radiolatarnię).

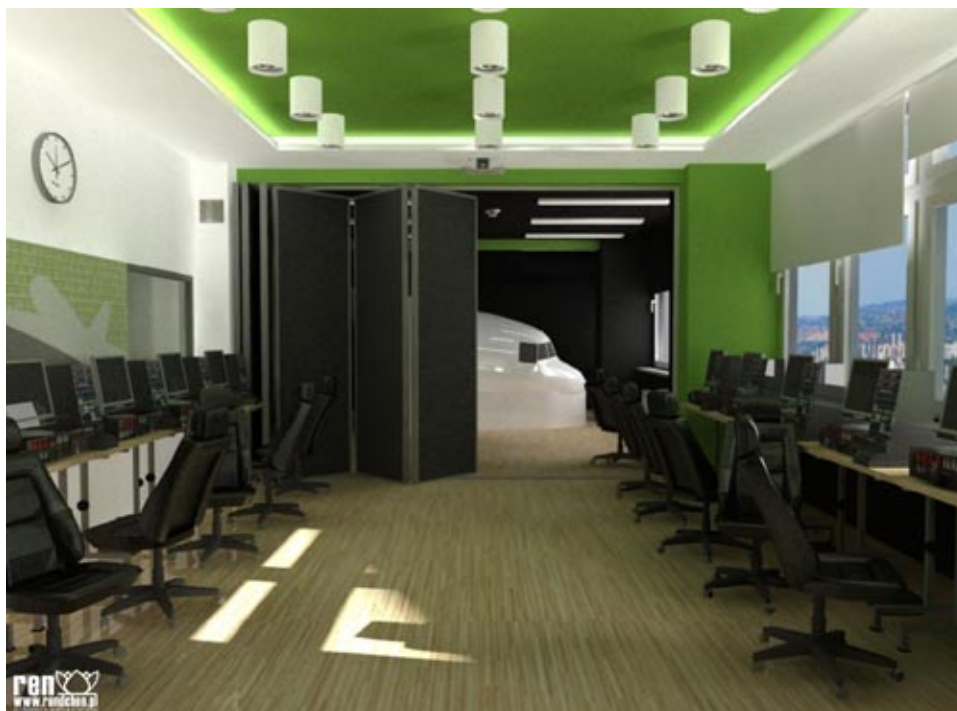
Pomimo wielu zalet systemu VOR, w przyszłości planowane jest coraz powszechniejsze wykorzystywanie, przy realizacji podejść, systemów opartych o elementy nawigacji satelitarnej (GNSS). Aby przygotować się do realizacji podejść precyzyjnych LPV w oparciu o tę metodę nawigacji [6], konieczne jest wykonanie szeregu doświadczeń, standardowo wymagających odbycia lotów testowych. Jednakże do celu tego można również wykorzystać symulatory lotu, o ile wyposaży się je w dodatkowe wskaźniki służące do wskazywania odchylenia od prawidłowego kursu w trakcie realizacji procedury podejścia. Budowa oprogramowania służącego do implementacji takich wskaźników CDI (Course Deviation Indicator) oraz ich integracja z symulatorem lotu umożliwiły wykorzystanie Laboratorium Wirtualnego Latania do realizacji eksperymentów przy projektowaniu procedur podejść LPV [8], będących uzupełnieniem lotów próbnych LPV [10]. Poniżej, po wprowadzeniu czytelnika w architekturę Laboratorium Wirtualnego Latania, przedstawiono rezultaty tych prac.

2. WYPOSAŻENIE LABORATORIUM WIRTUALNEGO LATANIA

Laboratorium Wirtualnego Latania jest unikatowym w skali kraju, ale również Europy, profesjonalnym zapleczem naukowo-badawczym, które powstało na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. Służy ono kształceniu studentów Politechniki Śląskiej oraz badaniom naukowym, prowadzonym przez naukowców Instytutu Informatyki w międzynarodowych konsorcjach.

Laboratorium zbudowano na przeszło 100 m² modernistycznego pomieszczenia (Rys. 1), które wyposażono w 12 symulatorów stacjonarnych oraz uzupełniono o dwa mobilne symulatory zainstalowane w specjalnych przyczepach. Dwa spośród urządzeń stacjonarnych to urządzenia treningowe, gabarytowo przypominające kadłuby samolotów. Stacjonarne symulatory FNTP II oraz FNTP II-MCC służą nauce pilotażu i nawigacji, jak również mogą być wykorzystywane do zdobywania czy też przedłużania uprawnień dla licencji zawodowych CPL (Commercial Pilot Licence – Licencja Pilota Zawodowego), liniowych ATPL (Airline Transport Pilot Licence – Licencja Pilota Samolotu Liniowego), a także treningów lotów według wskazań pokładowych IR (Instrument Rating). Urządzenia te pozwalają zapoznać się z budową kabin, przyrządami pokładowymi i modelem aerodynamicznym samolotów typu Cessna 172 RG, Piper Arrow IV, Piper Seneca III, King Air B200. Pozostałe 10 symulatorów, tzw. naziemne komputerowe urządzenia treningowe, przeznaczonych jest do nauki pilotażu i nawigacji dla samolotów klasy: Seneca III, Arrow IV, TB-10, TB-20, C172R, C 172RG, C182, Bonanza, Mooney, Baron oraz King Air B200.

Jak wspomniano wyżej, dodatkowo na wyposażeniu Laboratorium Wirtualnego Latania znajdują się dwa duże symulatory mobilne, wbudowane do przyczep samochodowych. Pełnią one rolę pracowni ćwiczebnej dla użytkowników jednosilnikowych samolotów klasy Cessna 172, 182, 182 RG oraz wielosilnikowych typu Piper Seneca III, Beech B 58 Baron, Piston R22, R44, Schweitzer 300, Estrom 280, FX Turbine MD500, Bell 206. Z uwagi na mobilny charakter symulatorów są one również narzędziem skutecznej promocji tak samego Laboratorium Wirtualnego Latania, Politechniki Śląskiej, jak również województwa śląskiego czy nawet Polski. W październiku 2011 r., jeden z symulatorów mobilnych, reprezentował nasz kraj podczas cyklicznego wydarzenia Komisji Europejskiej w Brukseli (Belgia) – OpenDays - ciesząc się olbrzymim uznaniem i skupiając liczną publiczność.



Rys. 1. Laboratorium Wirtualnego Latania

Obecnie Laboratorium Wirtualnego Latania służy studentom, oferując kształcenie w ramach specjalizacji „Informatyczne systemy w lotnictwie” oraz na studiach podyplomowych „Teleinformatyka w transporcie lotniczym”. Proces edukacji profesjonalnego personelu lotniczego realizowany jest we współpracy z Centrum Kształcenia Kadr Lotnictwa Cywilnego Europy Środkowo-Wschodniej, działającego przy Politechnice Śląskiej. Oprócz oferty edukacyjnej Laboratorium służy ważnym badaniom naukowym, prowadzonym przez pracowników Instytutu Informatyki w ramach międzynarodowych konsorcjów. Obecnie realizowane są trzy duże projekty, finansowane ze środków 7. Programu Ramowego Komisji Europejskiej – EGALITE, którego koordynatorem jest Politechnika Śląska oraz HEDGE Next i SHERPA, w których uczelnia pełni rolę partnera. Wszystkie trzy projekty dotyczą badań nad absorpcją technologii GNSS/EGNOS w zastosowaniach lotniczych, a także definiują obszary, w których EGNOS może zostać przygotowany pod fazę operacyjną.

LWL jest w posiadaniu symulatorów lotniczych FNTP II i FNTP/MCC spełniających wymagania JAR STD-3A [7].

3. BUDOWA WSKAŹNIKÓW CDI

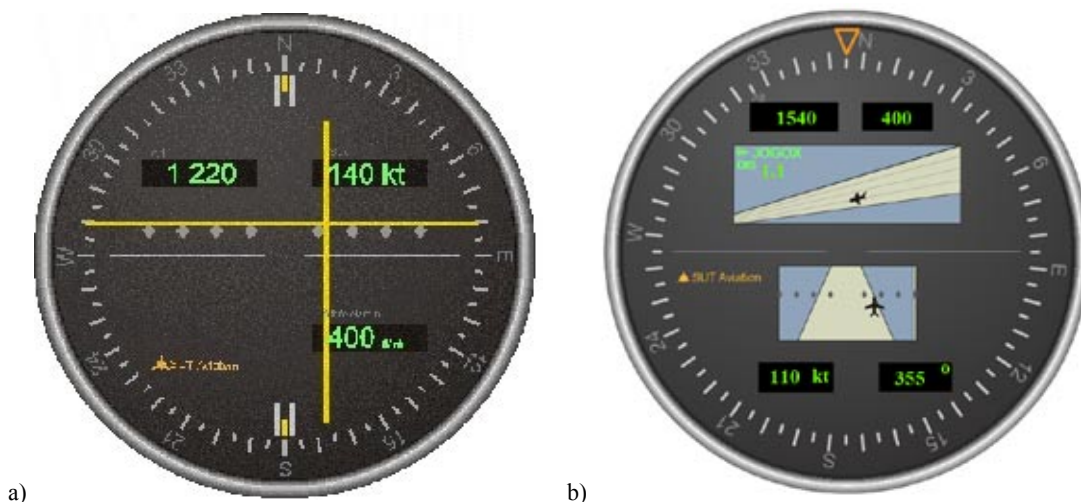
Dzięki zastosowaniu prostych funkcji geometrycznych doświadczony pilot jest w stanie, dzięki namiarowi z radiolatarni VOR/NDB, prowadzić samolot nawet po łuku. Niestety system VOR/NDB nie pozwala na prowadzenie samolotu z określoną wysokością i dlatego pilot musi kontrolować wskazania wysokościomierza na osobnym urządzeniu.

Biorąc pod uwagę ilość wykonywanych czynności przez pilota samolotu, wskazania muszą być proste w odczycie. Pilot musi w ciągu sekundy otrzymać wszystkie niezbędne informacje z danego wskaźnika bądź wyświetlacza, bez potrzeby nadmiernego skupiania się na interpretacji dostarczonej mu wizualnej informacji. W dwóch wskaźnikach

zaprojektowanych, wykonanych i zintegrowanych z symulatorem lotu, w ramach projektu EGALITE, wykorzystano te zależności, kładąc nacisk na prostotę w odczycie i jak największą ilość informacji możliwą do odczytu w krótkim czasie. Instalowane w symulatorach lotu wskaźniki muszą spełniać wymagania dotyczące budowy symulatorów lotu podlegających procedurom certyfikacji CSFSTD [3] [4].

Pierwszy z wskaźników (Rys. 2a) jest oparty na wzornictwie aktualnie używanych przez lotnictwo wskaźników VOR [1], obrazując pozycję samolotu względem radiolatarni. Analogicznie do wskaźnika VOR wskaźnik posiada pionową oraz poziomą strzałkę obrazującą kurs do zadanego punktu nawigacyjnego. Przesunięcie strzałki pionowej w prawo od środka wskaźnika informuje o pozycji samolotu na lewo od ścieżki. Analogicznie przesunięcie strzałki do góry obrazuje, że pozycja samolotu jest poniżej prawidłowego kursu do zadanego punktu w przestrzeni. Romby informują o ile stopni oddalony jest samolot od prawidłowego kierunku do zadanego punktu. Ponadto na obwodzie prezentowanego wskaźnika znajduje się prezentacja graficzna kursu samolotu oraz informacja o wysokości na jakiej znajduje się samolot, prędkość pozioma samolotu oraz prędkość wznoszenia/opadania w stopach na minutę. Na wskaźniku umieszczono takie informacje jak prędkość oraz wysokość, co dodatkowo ułatwia operacje pilota, gdyż nie musi on spoglądać na większą ilość przyrządów pokładowych, takich jak wysokościomierz lub prędkość IAS (prędkość IAS – Indicated Air Speed). System opiera się na otrzymanych informacjach z satelitów systemu GPS/Galileo, co umożliwia otrzymanie informacji oraz nawigowanie w każdym miejscu objętym zasięgiem, nawet w rejonie oceanów, gdzie dotychczas nie było możliwości instalacji radiolatarni, a nawigacja opiera się na innych systemach[2].

Druga zaprojektowana wersja wskaźnika (Rys 2b) jest nowatorskim podejściem do prezentacji niezbędnych danych. Analogicznie jak w poprzednim wskaźniku, zawarta jest informacja na obwodzie o kierunku samolotu, wewnątrz wskazanie aktualnej wysokości, prędkości oraz prędkości pionowej. Dodatkowo informacja o pozycji samolotu zobrazowana jest symbolem samolotu w widoku bocznym oraz w widoku z góry, obrazując tym samym położenie samolotu na ścieżce. Na widoku bocznym może być także zawarta informacja o wybranym punkcie nawigacyjnym oraz odległość do punktu w milach nautycznych. Poniżej zawarta jest także informacja o poprawnym kierunku do punktu nawigacyjnego.



ys. 2. Wskaźniki CDI wykonane dla potrzeb realizacji procedur LPV

Rys. 3 przedstawia zaprojektowany wskaźnik zintegrowany z kokpitem symulatora samolotu.

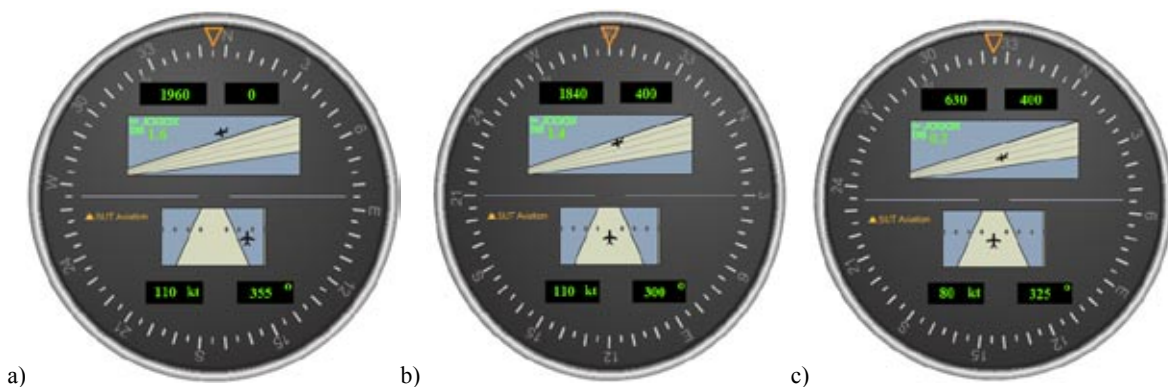


Rys. 3. Instalacja wskaźników CDI w symulatorze lotu

Projektowane wskaźniki instalowane na panelach sterujących symulatorów lotu PAS i PHS integrowane są z oprogramowaniem systemowym symulatora [5]. Parametry wyświetlane na wskaźnikach, takie jak np. prędkość wznoszenia, kierunek lotu czy parametry utrzymania statku powietrznego w ścieżce podejścia (odchylenia horyzontalne i wysokościowe) są obliczane w module zewnętrznym specjalnego oprogramowania sterowania lotem, który na podstawie danych o położeniu statku powietrznego w wirtualnej przestrzeni symulatora (Virtual World) przekazywanych drogą sieciową w sieci lokalne LAN oraz skomplikowanego modelu matematycznego opisującego zachowanie statku powietrznego wypracowuje odpowiednie wartości zmiennych sterujących wskaźnikiem CDI przesyłane zwrótnie do oprogramowania sterującego symulatora.

W ramach prac badawczych w projekcie EGALITE opracowane i wdrożone zostały specjalistyczne protokoły komunikacyjne łączące oprogramowanie symulatora z zewnętrznym modułem sterującym, uzupełniono definicje zmiennych systemowych symulatora lotu umożliwiające sterowanie wskaźnikiem CDI, integrując go z pozostałymi elementami panelu wskaźników znajdujących się w kokpicie symulatora (Rys. 3). Pilot biorący udział w teście wykonywania procedury podejścia, obserwując wskazania wskaźnika CDI dokonuje manewrów korygujących, tak aby statek powietrzny znajdował się we właściwej pozycji w stosunku do zdefiniowanej dla danego lotniska ścieżki podejścia.

Rys. 4a przedstawia statek powietrzny znajdujący się poza ścieżką podejścia, rys. 4b przedstawia statek powietrzny wchodzący na ścieżkę podejścia oraz rys. 4c przedstawia statek powietrzny znajdujący się dokładnie na ścieżce podejścia.



Rys. 4. Położenie statku powietrznego w stosunku do ścieżki podejścia na wskaźniku CDI

4. WNIOSKI

Podstawową wadą obecnie używanych systemów nawigacyjnych jest duża podatność na zakłócenia sygnału ze względu na przeszkody terenowe, bardzo drogie utrzymanie stacji naziemnej oraz jej serwisowanie. W systemach wykorzystujących nawigację satelitarną brak jest konieczności budowy instalacji naziemnej, możliwa jest także większa dokładność, gdyż aktualne systemy VOR powodują błąd dochodzący do 5 stopni. Innym problemem jest także brak możliwości dodawania większej ilości radiolaterni VOR z powodu zakłóceń oraz z powodu zagęszczenia urządzeń radiowych, na przykład w pobliżu lotnisk. Nowy system może współpracować z systemem ILS, co może dodatkowo zwiększyć precyzję podczas podejścia do lądowania. Aktualnie trwa proces adaptacji wskaźników w symulatorach lotów. System jest w stanie prowadzić samolot poprzez wybrane punkty, zarówno obrazując kierunek do punktu, jak i poprawną wysokość, czego brakuje w aktualnie używanych systemach nawigacji lotniczej. Ponadto dzięki zastosowaniu informacji z satelitów GPS/Galileo jesteśmy w stanie prowadzić poprawną nawigację nawet nad oceanami – system można zintegrować z systemami meteo, dzięki temu można prowadzić nawigację z dala od niebezpiecznych warunków atmosferycznych. W przyszłości system można zintegrować z systemami ADS, co dodatkowo poprawi bezpieczeństwo i zniweluje możliwość zderzeń samolotów w powietrzu.

Użycie symulatorów lotniczych do prowadzenia prac badawczych prowadzi do znaczących oszczędności ekonomicznych, czasu i zwiększenia poziomu bezpieczeństwa żeglugi powietrznej. Testowanie nowych koncepcji przyrządów pokładowych przed ich instalacją w prawdziwych statkach powietrznych umożliwia przetestowanie ich ergonomii, zasad działania i oprogramowania sterującego, bez konieczności wykonywania kosztownych prototypów rzeczywistych. Dzięki temu skróceniu ulega proces ich projektowania i walidacji, co w efekcie końcowym daje wymierne oszczędności finansowe i zwiększa bezpieczeństwo ich wdrażania na lotniskach cywilnych. Poprzez wielokrotne testowanie w środowisku wirtualnym, z wykorzystaniem różnych scenariuszy podejść, możliwe jest ich pełne dopracowanie.

5. LITERATURA

- [1] Wood, Charles (2008). "VOR Navigation". Retrieved January 9, 2010.
- [2] CASA. Operational Notes on VHF Omni Range (VOR).
- [3] CSFSTD(A) , EASA Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices, EASA, 2012.
- [4] CSFSTD(H) EASA Certification Specifications for Helicopter Flight Simulation Training Devices, EASA, 2012.
- [5] MSDN Microsoft ESP SDK. "Programming C++ Gauges".
- [6] FAA "LPV Procedures" 2004.
- [7] JAR STD-3A, "Flight Navigation Procedures Training", June 1999.
- [8] O. Antemijczuk, D. Sokołowska, K. A. Cyran, Integration of the MS ESP flight simulator with GNSS-based guidance system, Recent Advances in Systems Science and Mathematical Modeling, Paris, 2012.
- [9] Antemijczuk O., Tokarz K., Piechoczek E.: Implementacja procedur LPV w symulatorach lotniczych, Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (33) nr 2/2013 (str.51-62). OBRUM sp. z o.o.Gliwice, wrzesień 2013.
- [10]Fellner A., LPV flight trials in Poland, Communications in computer and information system, VII.2011.

INTEGRATION OF CDI INDICATORS WITH A FLIGHT SIMULATOR AT VIRTUAL FLYING LABORATORY

Abstract: The article presents design and implementation of CDI (Course Deviation Indicator) gauges conducted as part of the EGALITE project. The software developed served for integration of these gauges with flight simulators of FNTP II class, which are installed at Virtual Flying Laboratory of the Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science, Silesian University of Technology in Gliwice. This work enabled the use of flight simulators in research on application of satellite navigation in LPV precision approach procedures. The aim of the use of the Virtual Flying Laboratory simulators in EU research projects is to reduce the time and financial resources that are necessary for aeronautic research. It also increases the safety of aeronautic flight research and development studies.

Keywords: LPV procedures, satellite navigation, GNSS, GPS, GALILEO, GLONASS ICAO, EGNOS, SBAS, ABAS, Lateral Guidance, Vertical Guidance, RNAV procedures, SISneT service, FNTP II simulators, FNTP II/MCC, PHS, PAS simulators.

Powstanie Laboratorium Wirtualnego Latania było możliwe dzięki pozyskaniu środków na ten cel z Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2007 -2013.

Badania prowadzące do opisanych rezultatów otrzymały finansowanie z Programu Ludzie (Akcje Marii Curie) Siódmego Programu Ramowego Unii Europejskiej FP7/2007-2013/ na podstawie grantu REA nr 285462.