

WYBRANE PROBLEMY REALIZACJI STEROWANIA RUCHEM SAMOLOTU KOMUNIKACYJNEGO W TRYBIE UAV – DOŚWIADCZENIA Z PROJEKTU FP6 SOFIA

W pracy przedstawiono doświadczenia i wybrane problemy, jakie napotkano podczas pracy nad projektem FP6 SOFIA (Safe Automatic Flight Back and Landing of Aircraft), mającym na celu opracowanie koncepcji i algorytmów pozwalających na automatyczny powrót samolotu na ziemię w przypadku pojawienia się niebezpieczeństwa na pokładzie.

CHOSEN PROBLEMS MET DURING REALIZATION OF THE FLIGHT CONTROL OF GENERAL AVIATION PLANE IN UAV MODE – EXPERIENCES FROM THE FP6 SOFIA PROJECT

The article presents experience and chosen problems met during the work on the FP6 SOFIA (Safe Automatic Flight Back and Landing of Aircraft) project, which purpose was to develop concepts and techniques enabling the safe and automatic return to ground in case of hostile actions.

1. WSTĘP

W latach 2006–2009 Instytut Lotnictwa wraz z szeregiem firm i instytucji z całej Europy wziął udział w projekcie FP6 SOFIA (Safe Automatic Flight Back and Landing of Aircraft). Projekt miał na celu stworzenie systemu awionicznego mającego zapewnić automatyczny powrót samolotu na ziemię w przypadku wrogiego aktu na pokładzie. W artykule przedstawiono doświadczenia i wybrane problemy, które pojawiły się podczas realizacji tego projektu, w szczególności podczas testów stworzonego systemu przeprowadzonych przez Instytut Lotnictwa na samolocie I-23.

2. OPIS PROJEKTU SOFIA

Projekt SOFIA [1] miał za zadanie opracowanie koncepcji i technik umożliwiających bezpieczny automatyczny powrót na ziemię samolotu w wypadku wystąpienia zagrożenia bezpieczeństwa na pokładzie. Celem projektu było stworzenie zaawansowanego systemu awionicznego, którego najważniejszym aspektem było zaprojektowanie funkcji rekonfiguracji lotu (*Flight Reconfiguration Function* – FRF). Funkcje FRF miały zapewnić automatyczne kierowanie samolotem, tak by bezpiecznie doprowadzić go do odpowiedniego lotniska bez udziału załogi uniemożliwiając wrogim jednostkom przejęcie kontroli nad maszyną. System FRF zapewniał:

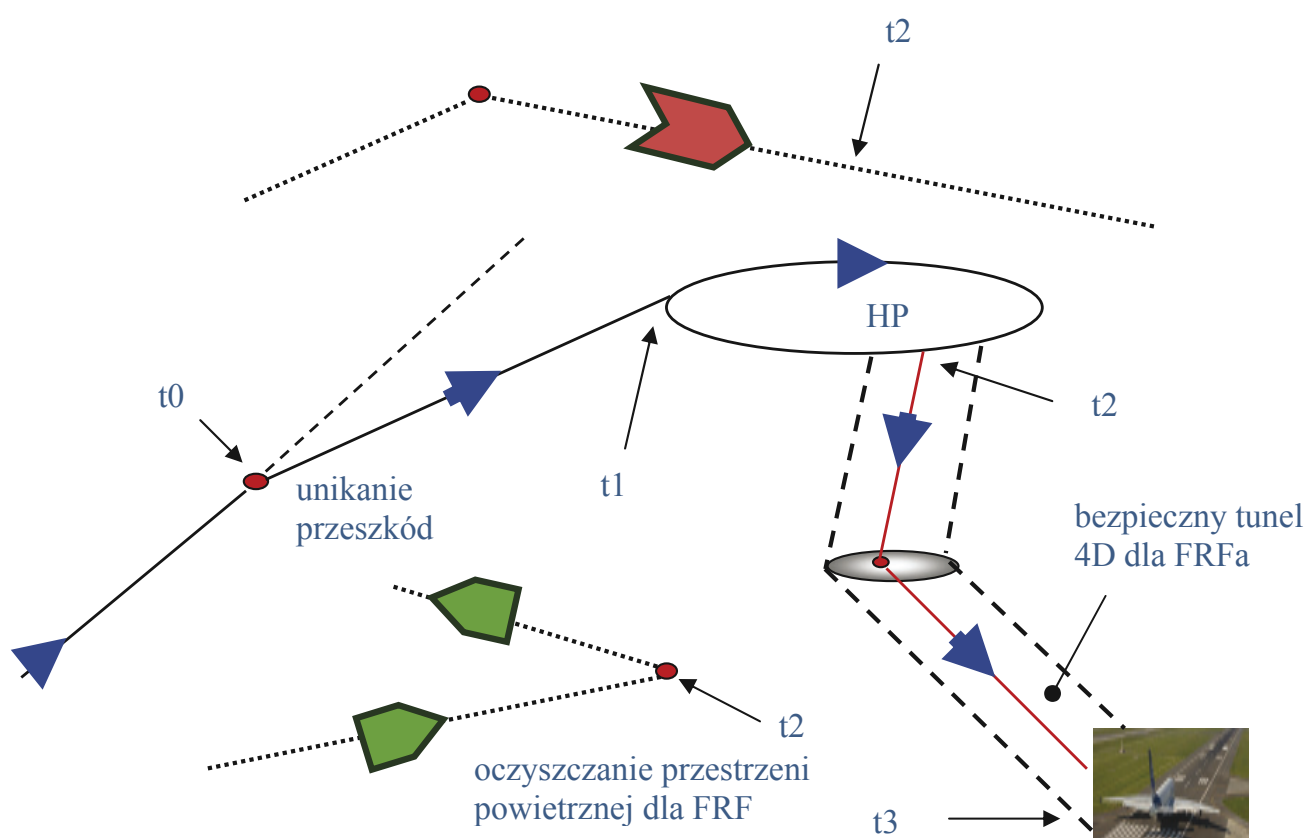
- wyznaczenie najbliższego autoryzowanego lotniska,
- obliczenie nowego planu lotu,
- negocjacje planu lotu ze stacją naziemną lotniska,
- kontrolę wszystkich systemów awionicznych związanych z lotem i lądowaniem samolotu.

Po stworzeniu systemu miała zostać przeprowadzona walidacja koncepcji i działania funkcji FRF przy użyciu platform, na które składały się symulatory Naziemnej Stacji Kontroli

Ruchu Lotniczego i symulatory kabinowe oraz przez przeprowadzenie rzeczywistych prób w locie na dwóch samolotach typu *General Aviation*.

3. ZAŁOŻENIA PROJEKTU SOFIA

Projekt SOFIA był kontynuacją projektu SAFEE [1], którego celem było stworzenie systemu wykrywania zagrożenia i zarządzaniem odpowiedzią na niebezpieczeństwo, które może wystąpić na pokładzie samolotu (*Threat Assessment Management System – TARMS*). System TARMS po zidentyfikowaniu i potwierdzeniu zagrożenia uruchamiał system awaryjnego unikania przeszkód (*Emergency Avoidance System - EAS*), który przejmował kontrolę nad maszyną i generował manewr mający zapewnić uniknięcie kolizji samolotu z ziemią, przeszkodami na ziemi czy obszarami zakazanymi pojmowanymi jako rzeczywiste obiekty i doprowadzał maszynę do obszaru oczekiwania (*holding pattern – HP*).



Rys. 1. Schematyczna reprezentacja scenariusza działania systemu FRF (własność konsorcjum SOFIA kontrakt AST5-CT-2006-030911)

Wstępem do projektu SOFIA był moment, w którym system TARMS odbierał informacje o zagrożeniu, potwierdzał jej wiarygodność i aktywował system EAS (t_0 na rys. 1), który prowadził samolot do zdefiniowanego obszaru oczekiwania (t_1 na rys. 1). System FRF był aktywowany w wybranym momencie lotu w HP. W projekcie SOFIA rozważane były 3 rozwiązania działania FRF (t_2 na rys. 1):

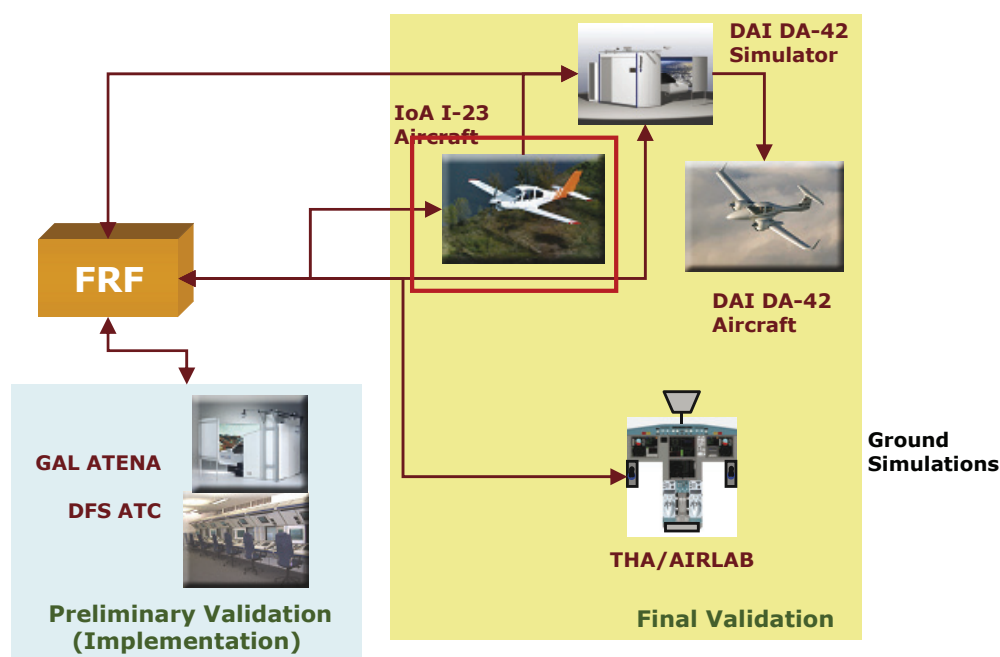
- nowy plan lotu był automatycznie generowany przez FRF,
- nowy plan lotu był generowany przez Stacje Kontroli Lotów i negocjowany z samolotem,
- nowy plan lotu był dostarczony przez jednostkę militarną nadzorującą lot samolotu.

Następnie Nasiemna Stacja Kontroli Ruchu Lotniczego oczyszczala przestrzeń powietrzną z samolotów potencjalnie zagrazajacych samolotowi lecacemu pod kontrola systemu FRF (t_2 na rys. 1). Samoloty byly natychmiast zawracane i kierowane na nowe trajektorie tworzac bezpieczny czterowymiarowy tunel dla samolotu FRF, az do momentu wyladowania samolotu (t_3 na rys. 1).

Ze wzgledu na to, ze Instytut Lotnictwabral udzial w rozwoju i badaniach pierwszego rozwiazania – generowania planu lotu bez wymiany danych z innymi jednostkami i bez negocjacji, w dalszej czesci artykulu opisywane bedzie jedynie to rozwiazanie.

4. ROLA INSTYTUTU LOTNICTWA W PROJEKCIE SOFIA

Instytut Lotnictwa w projekcie SOFIA byl odpowiedzialny za integracje systemu funkcji rekonfiguracji lotu na samolocie GA, a nastepnie walidacje algorytmow i sprawdzenie poprawnosci dzialania stworzonego oprogramowania w wariacie pierwszym – lot bez polaczenia ze stacja naziemna, bez negocjacji planu. W praktyce polegalo to na przygotowaniu komputera, na ktorym osadzony byl system FRF, zintegrowanie go na samolocie I-23 i przetestowanie stworzonego oprogramowania. Zdobyte w ten sposob doswiadczenia i wyniki badan mialy byc wykorzystane do poprawienia systemu i przygotowania go do kolejnych prob w locie na samolocie firmy Diamond (DA-42) (rys. 2).



Rys. 2. Plan walidacji systemu FRF
(wlasnosc konsorcjum SOFIA kontrakt AST5-CT-2006-030911)

4.1. Platforma sprzetowa

W celu przeprowadzenia testow na I-23, samolot musial zostac poddany modernizacji. W sklad nowej sprzetowej platformy testowej weszly (rys. 3):

- komputer FRF/AP - komputer PC/104 (Celeron 650 MHz, 512 RAM, 4 GB ATA/IDE Flash) z dodatkowymi kartami do obslugi szyny CAN i GSM/GPRS, na ktorym zaimplementowano oprogramowanie FRF wykonane przez partnerow projektow SOFIA oraz autopilota,
- mechanizmy wykonawcze z linkami sterujacymi lotek, sterow wysokoosci i trymerow,

- panel autopilota 2D z osobnym systemem zasilania, wyłącznikami bezpieczeństwa i bezpiecznikami,
- szyna CAN łącząca jednostki obliczeniowe z komputerem FRF/AP, mechanizmami wykonawczymi i panelem sterowania.



Rys. 3. Wnętrze samolotu I-23 po modernizacji dla systemu FRF

Automatyczny lot wzdłuż trajektorii, za który najczęściej odpowiedzialny jest moduł FMS w autopilotach samolotów GA, zastąpiony został przez procedury FRFa i algorytmy autopilota wykonywane na komputerze FRF/AP. Uzyskano w ten sposób to system bardzo elastyczny, umożliwiając wprowadzanie ewentualnych zmian i poprawek do systemu co okazało się bardzo znaczące podczas testów systemu.

4.2. Platforma programowa

Programową platformą testową został wybrany przez konsorcjum system Windows XP Professional. Ze względu na brak gwarancji czasu wykonywania operacji (jak to jest w systemach czasu rzeczywistego) nie był to docelowy system operacyjny, ale na etapie testów był wystarczający i łatwo dostępny dla wszystkich firm biorących udział w testach. Przy tworzeniu oprogramowania zdecydowano się na wykorzystanie zintegrowanego środowiska programistycznego firmy Microsoft – Visual Studio 6.0 dla języków C++ lub Basic, w zależności od preferencji uczestników projektu. Środowisko programistyczne zostało zaproponowane przez firmy odpowiedzialne za tworzenie oprogramowania do systemu FRF ze względu na doświadczenie w pracy i tworzeniu projektów w tym środowisku a także jego dostępność.

Struktura stworzonego systemu została oparta na architekturze klient-serwer. W systemie aplikacja klienta korzystała z usług zapewnianych przez funkcje systemu FRF zawarte w modułach programowych (komponentach), za które odpowiedzialne były poszczególne firmy tworzące oprogramowanie i których kod nie był udostępniany innym uczestnikom projektu ze względu na politykę firmy. Moduły programistyczne zamknięte były w klasach, bibliotekach lub programach i udostępniały jedynie swoją funkcjonalność bez szczegółów dotyczących implementacji czy rozwiązań algorytmicznych. Komunikacja pomiędzy poszczególnymi częściami oprogramowania odbywa się poprzez klasy COM/DCOM [2].

4.3. Przeprowadzone badania i problemy z nimi związane

Ze względu na to, że stworzony system miał być wykorzystywany na rzeczywistych samolotach, a podczas tworzenia projektu miały zostać przeprowadzone próby w locie, system FRF, poza określoną w założeniach funkcjonalnością, musiał być bezpieczny i niezawodny. Stworzone w projekcie funkcje rekonfiguracji lotu musiały działać bezawaryjnie, algorytmy musiały być wykonywane w odpowiednich ramach czasowych i uniemożliwiać wystąpienie stanów nieokreślonych i błędów. System musiał działać wydajnie i efektywnie wykorzystywać posiadane zasoby. Ze względu na zastosowanie na różnych platformach sprzętowych system FRF musiał być łatwy do adaptacji i integracji. Musiał mieć również przygotowane jednolite bazy danych (lotnisk, pasów startowych, obszarów zabronionych i przeszkód, rzeźby terenu i danych o samolocie) [3].

Tworzenie systemu tego typu, szczególnie w wypadku, gdy w tworzeniu oprogramowania bierze udział wiele firm nie mających doświadczeń we współpracy ze sobą, okazało się procesem skomplikowanym, który potrafił zmieniać się dynamicznie wraz z rozwojem projektu, często niezależnie od wstępnych ustaleń zarówno pod względem algorytmów jak rozwiązań programistycznych [4].

W przypadku testów przeprowadzanych przez Instytut Lotnictwa pierwsze problemy pojawiły się momencie adaptacji systemu na platformie testowej. Trzeba było dostosować wejścia i wyjścia stworzonego systemu FRF do interfejsów autopilota i zapewnić przepływ danych lotu z czujników samolotów do systemu FRF i danych o nowym planie lotu z systemu FRF do systemu sterowania samolotem. Mimo zwartej struktury systemu należało wprowadzić kilka zmian, np. do poprawnego działania autopilota, system FRF musiał zmodyfikować jedno z wyjść tak by dostępna była wartość błędu odległości od trajektorii ze znakiem.

Proces adaptacji okazał się procesem czasochłonnym, któremu towarzyszyła stała wymiana informacji między firmami tworzącymi oprogramowania a firmami testującymi je na docelowych urządzeniach. Wymiana informacji oparta była na kontakcie telefonicznym i mailowym, który nie jest tak efektywny jak kontakt bezpośredni i zajmował dużo czasu. W szczególnych przypadkach przy adaptacji systemu niezbędny okazał się przyjazd i pomoc twórców oprogramowania co wiązało się z dodatkowymi kosztami. Po zintegrowaniu oprogramowania na samolocie przystąpiono do testów.

Przed rozpoczęciem właściwych badań systemu FRF przygotowana platforma testowa została sprawdzona osobno by uzyskać pewność, że ewentualne błędy wynikają tylko z nieprawidłowego działania testowanego oprogramowania, a nie są powodowane przez platformę. Ze względu na specyfikę przeprowadzanych badań i koszt ich wykonywania, działanie systemu FRF było testowane na początku „na ziemi”, podczas symulacji komputerowych. Po przejściu testów wstępnych odbywały się próby w locie. Procedura testów była powtarzana eliminując pojawiające się podczas prób kolejne błędy i nieścisłości.

Symulacje komputerowe stworzone w celu wstępnego przetestowania oprogramowania FRF na ziemi były bardzo proste, jednak nawet takie nieskomplikowane doświadczenia pozwoliły zdobyć wiele informacji na temat błędów i braków w oprogramowaniu oraz uzyskać wiele wskazówek jak poprawić jego jakość i wiarygodność. Podczas symulacji oprogramowanie było testowane przez wprowadzenie do systemu prostych tras lotu i kontrolowanie czy dane generowane przez system są prawidłowe. W późniejszych fazach testów podawane do systemu trasy symulowały trasę lotu przewidzianą na rzeczywiste próby w locie, a w końcowych na wejście były podawane rzeczywiste dane z wykonanego wcześniej lotu. W wypadku wystąpienia błędu oprogramowanie przekazywane było do twórców w celu modyfikacji kodu lub działania algorytmów. Ze względu na prostotę symulatora możliwe było

przekazywanie jego kodu partnerom w celu lepszego unaocznienia spostrzeżeń co do działania systemu.

Podczas przeprowadzonych badań wykryto część błędów, do których należały m.in.:

- problem stabilności oprogramowania – w początkowych fazach testów aplikacja potrafiła przestać działać w niespodziewanym momencie podczas lotu wzdłuż zadanej trajektorii,
- zatrzymanie działania aplikacji, gdy samolot znalazł się zbyt daleko od wyznaczonej trajektorii lotu,
- problemy z czyszczeniem rejestru komputera,
- problem z wizualizacją niektórych parametrów na interfejsie graficznym systemu,
- problem z dostępem do niektórych zmiennych systemu wymaganych przez autopilota,
- wahania kroku czasowego działania aplikacji.

Należy nadmienić, że w celu przeprowadzenia prób na samolocie Instytut musiał uzyskać pozwolenie na testy w locie samolotem z eksperymentalnym oprogramowaniem od EASA. Okazało się to procesem bardzo czasochłonnym, gdyż ze względu na gruntowną przebudowę układy sterowania, samolot musiał przejść ponowną certyfikację. Po odbyciu ponad 20 testów naziemnych i technicznych, wykonanych w obecności obserwatora Urzędu Lotnictwa Cywilnego Instytut Lotnictwa uzyskał zgodę na wykonanie prób w locie.

5. WNIOSKI

W wyniku pracy nad projektem SOFIA powstał system awioniczny, łatwy do integracji na różnych jednostkach, gdzie automatyzacja wprowadzona przez funkcje FRF może być wykorzystywana w łatwy, otwarty sposób, by wspomóc załogę samolotu w sytuacjach niebezpiecznych. System został przebadany a wyniki testów zachęcają do dalszej pracy i rozwoju projektu.

Praca przy projekcie SOFIA pozwoliła Instytutowi Lotnictwa zdobyć wiele doświadczeń dotyczących zarówno metodyki tworzenia dużych projektów lotniczych, jak i współpracy z firmami z innych krajów i instytucji. Wiele informacji, począwszy od sposobów definicji wstępnych założeń projektu, tak aby wszyscy uczestnicy byli zadowoleni z podziału pracy i wyboru rozwiązań programistycznych i lotniczych, poprzez prowadzenie dokumentacji w czasie trwania całego projektu aż do rozpowszechniania osiągnięć współpracy innym firmom i instytucjom z Europy, pozwoli w przyszłości na znaczne usprawnienie działań w podobnych przedsięwzięciach. Udział w SOFII unaoczniał liczbę i typy problemów jakie mogą powstać w czasie trwania takiego projektu, od małych, takich jak różne rozumienie tych samych pojęć przez różne firmy, po duże, takie jak uzyskiwanie certyfikatów lotu dla samolotu z nowym, eksperymentalnym systemem pokładowym.

W wyniku udziału w projekcie powstała również tania, szybka i łatwa do modyfikacji platforma testowa do prowadzenia badań nad systemami sterowania, awionicznymi i programistycznymi jedynie poprzez zmianę oprogramowania komputera AP/FRF.

BIBLIOGRAFIA

1. *SOFIA reports*, 2005-2008.
2. *DCOM Technical Overview*. MSDN, Microsoft Corporation 1996.
3. *Cykl tworzenia oprogramowania na przykładzie projektu SOFIA.*, Prace Instytutu Lotnictwa 2010 (oddana do wydawnictwa).
4. *Software engineering. The eighth edition*, Ian Sommerville.