

KOMPUTEROWY SYSTEM KONTROLI URZĄDZEŃ RADIONAWIGACYJNYCH¹

OPIS

Artykuł zawiera opis komputerowego systemu do kontroli i pomiaru z powietrza naziemnych urządzeń radionawigacyjnych, systemów łączności radiowej i radarów używanych w lotnictwie cywilnym. Ze względu na specyfikę zastosowania bardzo wiele czynników musiało być przedmiotem głębokiej analizy aby sprostać wymaganiom funkcjonalnym, wytrzymałościowym i niezawodnościowym stawianym systemowi. W artykule skoncentrowano się na przedstawieniu wybranych wyników analizy od strony konstrukcji oprogramowania.

WSTĘP

Opisany w artykule system do kontroli urządzeń radionawigacyjnych z powietrza przeznaczony jest do pomiaru wybranych ich parametrów, a następnie ich zarejestrowania, zobrazowania i dokonania automatycznej analizy, aby umożliwić inspektorowi ocenę i wydanie certyfikatu upoważniającego do eksploatacji urządzenia w nawigacji lotniczej. Z punktu widzenia pilota jedyną istotną informacją dostarczaną na podstawie sygnałów z urządzenia nawigacyjnego jest położenie samolotu. O poprawności pracy urządzenia jednak decyduje znacznie więcej parametrów oprócz tych, które służą bezpośrednio do określania położenia.

Aby pomiary były możliwe system musi być wyposażony w niezależne od mierzonych urządzeń precyzyjne systemy odniesienia. W omawianym systemie wykorzystano:

- ☐ teodolit telemetryczny wyznaczający położenie katowe samolotu względem wybranego kierunku,
- ☐ satelitarny system określania położenia (GPS),
- ☐ generatory pomiarowe.

Pomiar urządzeń nawigacyjnych wymaga poruszania się samolotu w trakcie lotu inspekcyjnego po nietypowych trajektoriach, np. w poprzek w stosunku do kierunku lądowania. Powoduje to, że przydatność standardowych pokładowych przyrządów nawigacyjnych staje się znacznie ograniczona lub w niektórych przypadkach całkowicie nieprzydatna do nawigacji w locie inspekcyjnym. Dlatego system został wyposażony w specjalne wskaźniki zainstalowane w kokpicie pilota przeznaczone do prowadzenia pilota po zadanej w danej procedurze pomiarowej trajektorii.

W omawianym zastosowaniu przy konstrukcji systemu dokonano analizy bardzo wielu czynników, a do najważniejszych należą:

- ☐ niezawodność - jest krytycznym parametrem decydującym o przydatności systemu i a co ważniejsze wyznaczonych przez niego wyników do analizy poprawności pracy urządzenia,
- ☐ dokładność - z punktu widzenia inspektora system jest przyrządem pomiarowym i w związku z tym musi dostarczać wyniki o odpowiedni małej stopie błędów,
- ☐ wytrzymałość - system jest przeznaczony do zainstalowania na pokładzie samolotu i w związku z tym musi wytrzymać duże przeciążenia mogące się pojawić w sytuacjach awaryjnych a jego mocowanie musi być zrealizowane w odpowiednich węzłach,
- ☐ temperatura - w trakcie normalnej eksploatacji samolotu należy się liczyć z temperaturami otoczenia w zakresie ujemnych temperatur i 50°C dla temperatur dodatnich.
- ☐ wibracje - praca silników i turbulencje powodują powstanie drgań o znacznym natężeniu i szerokim spektrum,
- ☐ zasilanie - instalacja pokładowa dostarcza nietypowe napięcie 27V a dodatkowym problemem są znaczne jego wahania,

¹ Artykuł opublikowany w materiałach konferencji: IV Konferencja „Sieci i Systemy Informatyczne - teoria, projekty, wdrożenia” Łódź, wrzesień 1996

- ❑ ergonomia - inspektor przebywa zwykle na pokładzie kilka godzin dziennie i oprócz pomiarów jest odpowiedzialny za koordynację całego lotu co wymaga prowadzenia korespondencji radiowej z kilkoma punktami i bieżącego planowania lotu,

STRUKTURA SYSTEMU

Przyjęto, że struktura konstruowanego komputerowego systemu kontroli urządzeń radionawigacyjnych jest rozproszona. W strukturze takiej występują zasadniczo dwa elementy:

- ❑ komputer obliczeniowy,
- ❑ zestaw inteligentnych układów wej./wyj. służących do realizacji pomiarów sygnałów wejściowych z odbiorników i do sterowania urządzeń zewnętrznych.

Komputer komunikuje się z układami za pośrednictwem wybranego interfejsu.

W omawianym rozwiązaniu wykorzystano do budowy systemu komputer zgodny ze standardem IBM/PC w wykonaniu dla zastosowań przemysłowych firmy TexasMicro (USA) typu FTSA-. Jako układy wej./wyj. wybrano natomiast moduły pomiarowe serii D1000 firmy DGH. Komunikacja pomiędzy modułami a komputerem odbywa się za pośrednictwem standardowego interfejsu RS 485.

Komputer główny wyposażono dodatkowo w szereg inteligentnych sterowników odciążających procesor główny od wykonywania szeregu zadań otrzymując w ten sposób strukturę wieloprocesorową.

W ten sposób osiąga się następujące korzystne właściwości układu:

- ❑ możliwość umieszczania elementów pomiarowych bardzo blisko źródła mierzonego sygnału,
- ❑ przesyłanie wyników z wszystkich punktów pomiarowych za pośrednictwem małej liczby przewodów - w tym przypadku 1 pary,
- ❑ eliminację możliwości powstania błędów pomiarowych na skutek zakłócenia sygnału w przewodach doprowadzających,
- ❑ możliwość wykrycia błędów przy przesyłaniu wartości mierzonej pomiędzy układem pomiarowym i komputerem,
- ❑ zwiększenie niezawodności dzięki eliminacji przewodów pomiarowych pomiędzy źródłem sygnałów a komputerem,
- ❑ możliwość separacji galwanicznej pomiędzy źródłem sygnałów i komputerem,
- ❑ otwartość rozwiązania dzięki możliwości dołączania praktycznie dowolnej liczby kolejnych modułów pomiarowych,
- ❑ dołączanie kolejnych modułów nie wymaga ingerencji w komputerze, co korzystnie wpływa na jego niezawodność,
- ❑ możliwość korzystania przez wiele komputerów z tych samych układów pomiarowych,
- ❑ zwiększenie niezawodności dzięki możliwości zdalnej kontroli poprawności pracy modułów pomiarowych.

Dzięki przyjętej koncepcji budowy systemu w postaci rozproszonej można sprostać kilku postawionym wcześniej założeniom i zbudować strukturę blokową systemu komputerowego w postaci modularnej. Zasadniczą ideą tego rozwiązania jest wydzielenie autonomicznych bloków sterująco-pomiarowych, z których każdy odpowiedzialny jest za obsługę sygnałów przychodzących i wychodzących do/z jednego z odbiorników radiowych. Moduły dla tych samych rodzajów odbiorników są identyczne i mogą być stosowane zamiennie.

Bloki współpracujące z odbiornikami nawigacyjnymi muszą dokonywać pomiarów wybranych wielkości sygnałów zmiennoprądowych o przebiegach sinusoidalnych i niesinusoidalnych. Dlatego każdy blok został dodatkowo wyposażony w przetwornik pomiarowy, którego zadaniem jest konwersja sygnałów zmiennoprądowych na stałoprądowe według przyjętej dla danego rodzaju sygnału zależności.

Odbiorniki radiowe wymagają dostarczenia im informacji niezbędnych do strojenia. Informacja ta przekazywana jest cyfrowo z inteligentnego sterownika zainstalowanego w komputerze głównym

Zgodnie z wymaganiami system musi sterować dwoma wskaźnikami krzyżowymi, z których jeden ma być zainstalowany na tablicy przyrządów systemu a drugi w kokpicie pilota. Są one sterowane za pośrednictwem modułów DGH dołączonych do wspólnego interfejsu RS 485.

Ponieważ do przeprowadzenia niektórych pomiarów czułość wskaźnika krzyżowego nie wystarcza pilotowi do prowadzenia samolotu po zadanej trajektorii w trakcie odbywania lotów pomiarowych, istnieje konieczność zainstalowania dodatkowego wyświetlacza alfanumerycznego, na którym będą wyświetlane dodatkowe informacje dla pilota. Zostanie tu wykorzystany wyświetlacz firmy Brodersen typu UCT-31.

System współpracuje z generatorem wzorcowym za pośrednictwem interfejsu GPIB (IEEE488). Aby dodatkowo ułatwić procedurę kalibracji ten sam interfejs zostanie wykorzystany do sterowania przełącznikami w.c.z. pracującymi w obwodach antenowych odbiorników nawigacyjnych.

Komputer czyta informacje na bieżąco z globalnego systemu nawigacji satelitarnej (GPS) i układu telemetry. Do tego celu wykorzystane są dwa niezależne kanały interfejsu RS 232.

OPROGRAMOWANIE

Opracowanie każdego programu komputerowego wymaga wyspecyfikowania na wstępie funkcji jakie ma on spełniać, tak aby jego projektant i przyszły użytkownik mieli uzgodnione zdania co do zakresu pracy.

W wielu zastosowaniach wyspecyfikowanie co system komputerowy ma robić jest niewystarczające i trzeba dodatkowo zdefiniować jak ma realizować swoje funkcje. Jest to szczególnie istotne w tych przypadkach, gdy nie można w sposób jednoznaczny i bez wątpliwości bazując na metodach formalnych i zdroworozsądkowych oraz budując co bardzo istotne rozwiązania z uwzględnieniem wymogów zapisanych w dokumentach normalizacyjnych wybrać odpowiednie rozwiązania algorytmiczne.

Dlatego w celu realizacji komputerowego systemu kontroli urządzeń radionawigacyjnych z powietrza konieczne okazało się zdefiniowanie zarówno co system ma robić jak i jak ma realizować swoje funkcje.

Podstawowe założenia przy konstrukcji oprogramowania

Zawarte w tym rozdziale rozważania mają na celu sformułowanie pewnych wskaźników jakości, które pozwolą ograniczyć obszar poszukiwań rozwiązania optymalnego.

Niezawodność

Pierwszym zagadnieniem, na które należy zwrócić uwagę, to szeroko rozumiana niezawodność systemu. Uwzględniając specyfikę zastosowania uważamy, że paradoksalnie:

całkowity brak działania systemu to jedna z najlepszych awarii

jaka może się przytrafić

Praktyka inżynierska wymaga jednak, aby system był zaprojektowany na najgorszy przypadek, którym jest pozornie poprawne działanie systemu. Jedynym rozwiązaniem, które tu może być pomocne to **samo-testowanie się systemu** obejmujące zarówno program jak i sprzęt. Ponieważ realizacja tego jest jedynie możliwa w torach przetwarzania cyfrowego, tora analogowe należy ograniczyć do niezbędnego minimum.

Przy aktualnym poziomie technologii wytwarzania sprzętu komputerowego i pomiarowego podstawowym źródłem błędów w pracy systemu komputerowego jest realizowany program. Są tego dwa powody. Pierwszy to brak praktycznie realizowalnych metod sprawdzania poprawności programu i algorytmu, na bazie którego został on zbudowany. Drugi powód to fakt, że ze swej natury znaczna część programu to zwykle rozwiązanie prototypowe. Z wymienionych powodów nie można z góry wykluczyć powstania błędów, jednak **konstrukcja oprogramowania powinna zapewniać wykrywanie błędów i ich obsługę. Obsługa błędów powinna polegać co najmniej na odnotowaniu faktu, miejsca i okoliczności jego zaistnienia.** Jest to niezbędne do wykluczenia tych cykli pomiarów urządzeń nawigacyjnych, w trakcie realizacji których odnotowano niesprawności systemu. Potrzebne to będzie również przy konserwacji oprogramowania. Ze względu na bardzo wysokie koszty lotów inspekcyjnych konieczne jest konstruowanie oprogramowania ze stopniową degradacją funkcji.

Podstawowym jednak zagadnieniem jest zastosowanie takich metod w trakcie procesu tworzenia oprogramowania, które zminimalizują prawdopodobieństwo wystąpienia jakichkolwiek nieprawidłowości w jego realizacji. W tym celu zastosować trzeba **specjalne techniki programowania.**

Tworzony system ma pracować w czasie rzeczywistym. Oznacza to, że czynnik **czasu należy brać pod uwagę już na etapie tworzenia oprogramowania.** Dodatkową trudność sprawia fakt, że w omawianym zastosowaniu wykluczona jest możliwość zastosowania jednego z gotowych produktów programowych. Ze względu jednak na konieczność ograniczania

zakresu rozwiązań prototypowych należy zminimalizować obszar indywidualnie tworzonej warstwy użytkowej oprogramowania i w maksymalnym stopniu wykorzystać dostępne oprogramowanie systemowe jako platformę do budowy wspomnianej już warstwy użytkowej.

Jedną z ważniejszych metod stosowanych do zmniejszania prawdopodobieństwa wystąpienia błędów w pracy systemów komputerowych jest testowanie. Testowanie niestety może jedynie pokazać, że błędy są. Nie może jednak służyć do wykazania, że ich nie ma, ponieważ w praktyce nie można nigdy w rozsądnym czasie sprawdzić wszystkich możliwych kombinacji sytuacji i zdarzeń jakie mogą się w ogóle pojawić. Pomimo to intensywne testowanie jest nieodzowne. W omawianym przypadku **testowanie musi objąć nie tylko poprawność działania programu realizującego wybrane algorytmy przetwarzania danych pomiarowych, ale również tory pomiarowe sygnałów analogowych**. Planując proces testowania trzeba brać pod uwagę, że rzeczywiste sygnały analogowe z odbiorników radiowych można uzyskać jedynie w powietrzu na pokładzie samolotu po uprzednim zamontowaniu systemu. To jednak jest zdecydowanie zbyt późno na testowanie systemu i znacznie zwiększa koszt procesu testowania tak po stronie przyszłego użytkownika jak i konstruktora systemu. Dlatego **niezbędne jest niezależnie opracowanie i wykonanie układu do symulacji przebiegów sygnałów analogowych normalnie generowanych przez odbiorniki radiowe**.

Aktualnie dostępny powszechnie sprzęt komputerowy i pomiarowy cechuje duża niezawodność pracy w warunkach laboratoryjnych. W omawianym zastosowaniu warunki otoczenia, z którymi mamy do czynienia, są skrajnie trudne nawet dla sprzętu przewidzianego dla profesjonalnych zastosowań przemysłowych. **Wibracje, przeciążenia, szeroki zakres temperatury pracy, duża wilgotność i niestabilne zasilanie to czynniki, na które musi być odporny stosowany sprzęt**. Dodatkową trudnością jest to, że wszystkie one w praktyce mogą występować jednocześnie.

Współpraca systemu kontrolno-pomiarowego z odbiornikami / nadajnikami musi uwzględniać możliwość zakłócania się torów pomiarowych, przesyłu informacji i przetwarzania danych od sygnałów w.cz. i przetwornic pracujących w zasilaniu odbiorników. Dlatego, jak już wspomniano, należy **skrócić linie przesyłu sygnałów analogowych do minimum i zastąpić je liniami przesyłu sygnałów cyfrowych**.

Z natury pracy odbiorników wynika, że dostarczane przez nie sygnały analogowe mogą być zaszumione i zakłócone. **Układy wejściowe torów pomiarowych muszą mieć zatem wbudowane filtry**. Ponieważ jednak natura zakłóceń nie jest dokładnie znana i może się zmieniać w zależności od bardzo wielu czynników zewnętrznych, **filtry te powinny mieć zmienne programowo parametry** modyfikowalne przed każdym nowym pomiarem.

Odpowiedzialność

Zagadnienia tego nie trzeba w tym konkretnym zastosowaniu nikomu uświadamiać. Zostało ono wymienione na końcu, ponieważ prowadzi do najbardziej ogólnego założenia koniecznego do przyjęcia przez konstruktora systemu kontroli pracy urządzeń radionawigacyjnych, a mianowicie

lepiej żeby system nie mierzył nic, jak ma mierzyć źle

Założenie to musi być rozumiane jako nadrzędne w stosunku do wszystkich innych.

KONSTRUKCJA OPROGRAMOWANIA

Wstęp

W omawianym zastosowaniu znaczna część oprogramowania musi być opracowana zgodnie z indywidualnymi potrzebami konstruowanego systemu. Punktem wyjścia do sformułowania funkcji realizowanych przez program są dokumenty

1. Zalecenia ICAO Dokument 8071,
2. Aneks 10 do Międzynarodowej Konwencji Lotnictwa Cywilnego 1994.

Po szczegółowym zapoznaniu się z treścią tych dokumentów trzeba jednak stwierdzić, że nie są one wystarczające do zaprojektowania i napisania oprogramowania. Niezbędne będą jeszcze dodatkowe ustalenia obejmujące między innymi:

- ☐ sposób prezentacji wyników pomiarowych,
- ☐ opracowanie algorytmów przetwarzania sygnałów wej/wyj,
- ☐ wybór informacji, które mają być rejestrowane w trakcie realizacji pomiarów,

- ☐ zawartość raportów z poszczególnych cykli pomiarowych,
- ☐ sposób inicjacji generowania raportów (automatycznie / ręcznie, kiedy, itp.)
- ☐ zachowanie się systemu w sytuacjach nadzwyczajnych, np. po wykryciu niezgodności pomiaru realizowanego w kilku torach równoległe, wykryciu niesprawności sprzętu, itp.
- ☐ zakres modyfikacji parametrów systemu, np. parametrów filtrów dla sygnałów wejściowych, okresu rejestrowania wybranych informacji, itp.
- ☐ szczegółów związanych z archiwizacją danych, np. co archiwizować, jak długo, itp.
- ☐ sposób i zakres porównywania danych aktualnych z danymi z poprzednich pomiarów.

To tylko część zagadnień, które muszą być przedmiotem szczegółowej analizy. Trzeba tu podkreślić, że ze względu na odpowiedzialność systemu brak precyzyjnych ustaleń już na etapie formułowania szczegółowych założeń dla programu może doprowadzić do bardzo poważnych kłopotów przy jego wdrażaniu.

Tryb opracowania oprogramowania.

Biorąc to wszystko pod uwagę wprowadzono wieloetapowy tryb postępowania przy tworzeniu oprogramowania. Jego główne etapy zostały poniżej opisane.

- ☐ Sformułowanie zadań systemu i struktury oprogramowania.
- ☐ Sformułowanie specyfikacji funkcji programu.
- ☐ Opracowanie oprogramowania.
- ☐ Testowanie oprogramowania.
- ☐ Wdrażanie.

Na podstawie zdefiniowanych zadań systemu w kolejnym etapie powstała szczegółowa specyfikacja realizowanych przez system funkcji i zawiera między innymi:

- ☐ wyliczone i opisane wszystkie funkcje w tym procedury pomiarowe, które program ma realizować
- ☐ określenie sposobów ich realizacji,
- ☐ określenie wyglądu ekranów dla poszczególnych procedur pomiarowych,
- ☐ wyliczenie raportów generowanych przez system i ich zawartość,
- ☐ opis sposobów archiwizacji danych,

Opracowana w pierwszej fazie projektu specyfikacja funkcji systemu jest w drugiej fazie bazą do realizacji przyjętych algorytmów. W tej fazie po uzgodnieniu dopuszcza się jeszcze wprowadzanie pewnych drobnych zmian, które w trakcie realizacji algorytmów okażą się niezbędne. Przewiduje się również prezentację wyników cząstkowych bezpośrednio użytkownikowi w celu ich konfrontacji z jego oczekiwaniami, ponieważ specyfikacja jest tylko pewnym formalnym dokumentem, w którym nie wszystko da się zapisać.

W tej fazie pracy powstało również oprogramowanie symulatora. Symulator ten jest niezbędny do testowania poprawności oprogramowania w etapie następnym.

Jak wspomniano wcześniej niezawodność oprogramowania jest zagadnieniem kluczowym. Dlatego w trakcie opracowywania oprogramowania zostaną podjęte specjalne środki w celu minimalizacji prawdopodobieństwa wystąpienia błędów, a w tym:

- ☐ zastosuje się specjalną technikę tworzenia oprogramowania, w której tworzony program podlega wielokrotnej weryfikacji,
- ☐ znaczna część oprogramowania będzie uniwersalnym oprogramowaniem systemowym sprawdzonym już wcześniej w wielu zastosowaniach przemysłowych,
- ☐ zastosuje się technikę programowania współbieżnego, w której poszczególne zadania realizowane są niezależnie od siebie i mogą być realizowane jednocześnie,

- ❑ oprogramowanie będzie charakteryzowało się stopniową degradacją funkcji, co oznacza, że błąd w jednej funkcji nie powinien oddziaływać na inne funkcje,
- ❑ oprogramowanie będzie rejestrowało wszystkie sytuacje wyjątkowe jakie wystąpią i zarejestrowane dane będą mogły być później wykorzystane do diagnostyki przy konserwacji oprogramowania.

Etap ten ma za zadanie wykrycie w programie możliwie wszystkich błędów i stwierdzenie zgodności realizowanych funkcji ze specyfikacją.

Przy wykrywaniu błędów niezbędny będzie opracowany w etapie wcześniejszym symulator sygnałów analogowych pochodzących z odbiorników. Duży wysiłek, jaki musi być włożony w tym etapie, powinien zaprocentować w trakcie wdrażania systemu. Wykonywanie weryfikacji poprawności działania systemu w trakcie lotów inspekcyjnych, chociaż nieodzowne do ostatecznej akceptacji systemu jako narzędzia do kontroli urządzeń nawigacyjnych, jest ze względu na wysokie koszty i niedogodności z tym związane nieakceptowalne. Ponieważ jednak każdy symulator jest tylko pewnym uproszczeniem rzeczywistości, nie można z góry założyć, że w trakcie lotów inspekcyjnych nie będą wykryte jeszcze jakieś błędy. Zaproponowany tryb postępowania gwarantuje jednak minimalizację ich ilości, a często nawet całkowite ich wykluczenie.

PODSTAWOWE PROCEDURY SYSTEMU

Przetwarzanie danych pomiarowych

Wstęp

Rys. przedstawia schematycznie proces przetwarzania danych w systemie. Źródłem danych są odbiorniki wymienione w poprzednim rozdziale. Przychodzące z nich sygnały można podzielić na:

- ❑ analogowe stałoprądowe,
- ❑ analogowe zmiennoprądowe,
- ❑ dwustanowe,
- ❑ cyfrowe.

Sygnały analogowe stałoprądowe są czytane za pośrednictwem przetworników analogowo-cyfrowych, które zamieniają aktualną wartość sygnału na postać cyfrową. Podobnie odczytywane są sygnały zmiennoprądowe, dla których dodatkowo przewidziano przetworniki dokonujące konwersji wybranego parametru na sygnał stałoprądowy. Tak wytworzony sygnał stałoprądowy jest dalej przetwarzany analogicznie jak opisano to wyżej.

Sygnały dwustanowe jak i cyfrowe są czytane bezpośrednio za pośrednictwem odpowiednich interfejsów przez system bez dodatkowego przetwarzania.

Wytworzone przez odbiorniki sygnały mogą być zakłócone i zaszumione. Dlatego przed wprowadzeniem do systemu i zarejestrowaniem mogą być filtrowane przez filtry cyfrowe. Dla wszystkich sygnałów analogowych filtr cyfrowy jest integralną częścią przetwornika analogowo-cyfrowego.

Dla danych cyfrowych z odbiorników nawigacyjnych filtracja jest realizowana bezpośrednio przez system.

Wszystkie filtry mają programowo ustawiane parametry.

Ponieważ parametry torów odbiorników nie są dostatecznie stabilne w czasie, konieczna jest kalibracja. Wyniki kalibracji przechowywane są przez system tak, aby na bieżąco można było dokonywać korekty wartości sygnałów. Korekta ta jest realizowana w bloku kalibracji (Rys.).

Dopiero dla tak przetworzonych sygnałów ich wartości są rejestrowane i wykorzystywane przez system.

Zasadniczo system realizuje swoje funkcje przetwarzając dane wejściowe w dwóch praktycznie niezależnych etapach:

- ❑ rejestracja,
- ❑ zobrazowanie.

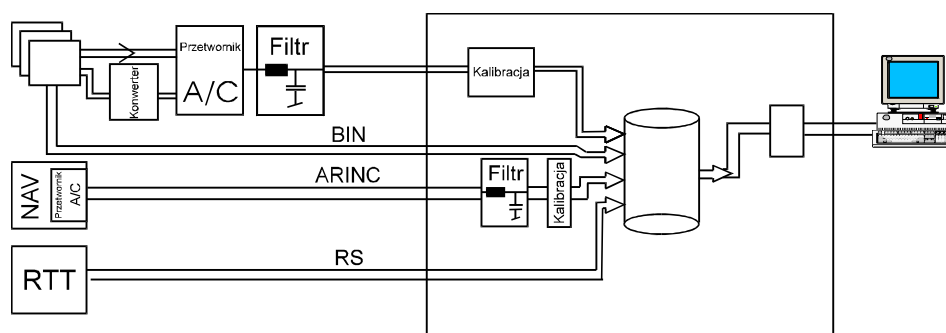
W pierwszym etapie stopień przetworzenia danych ograniczono do niezbędnego minimum. Takie podejście umożliwi wykorzystanie danych nie tylko przez opisywany system. Przykładowo zarejestrowane dane będą mogły być wprost wykreślane podobnie jak na tradycyjnym rejestratorze.

W tym etapie przewidziano jedynie, że przed rejestracją wartość sygnałów zostanie poddana filtracji i kalibracji. Filtracja powinna wyeliminować zakłócenia i szумы, natomiast kalibracja minimalizować błędy wynikające z niestabilności parametrów torów odbiorczych systemu.

Proces zobrazowania, jak wspomniano wyżej, jest realizowany na bazie zarejestrowanych danych wejściowych i ma na celu wyliczenie i pokazanie w możliwie jak najbardziej ergonomiczny sposób wybranych parametrów urządzeń nawigacyjnych. Wspomniane dane zobrazowywane są na:

- ☐ kolorowym monitorze graficznym,
- ☐ drukarce graficznej,
- ☐ wyświetlaczu alfanumerycznym pilota.

Pierwsze dwa urządzenia są przeznaczone dla inspektora dokonującego lotu inspekcyjnego. Trzecie z wymienionych urządzeń jest przeznaczone dla pilotów samolotu inspekcyjnego a jego zadaniem jest wspomaganie pilota przy prowadzeniu samolotu inspekcyjnego po zadanej trajektorii.



Rys. . Schemat przepływu danych.

Rejestracja sygnałów

FILTRACJA SPRZĘTOWA SYGNAŁÓW

Sygnały analogowe stałoprądowe są filtrowane przez filtry cyfrowe pierwszego rzędu na wejściach przetworników analogowo/cyfrowych. Filtr jest wbudowany i zintegrowany z wejściami przetworników. Stałe czasowe filtrów nastawiane są programowo, a ich wartości ustala się w danych początkowych. Nastawienie stałej filtru na "0" jest równoważne z wyłączeniem filtru.

FILTRACJA PROGRAMOWA SYGNAŁÓW

Zasadniczo sygnały wejściowe są czytane za pośrednictwem przetworników analogowo-cyfrowych i mogą w nich podlegać filtracji cyfrowej. Wyjątek stanowią sygnały - dane numeryczne czytane za pośrednictwem interfejsów szeregowych (RS232 i ARINC) z teodolitu, GPS i namiary z odbiorników nawigacyjnych. Czytane są one bezpośrednio w postaci cyfrowej i nie mogą podlegać filtracji na drodze pomiędzy odbiornikiem a komputerem. Dlatego dla wymienionych danych wprowadza się filtrację w postaci filtru jednobiegunowego o stałej czasowej określonej w konfiguracji programu. Nastawienie stałej filtru na "0" jest równoważne z wyłączeniem filtru.

KALIBRACJA

Dla wybranych sygnałów wejściowych zanim zostaną one zarejestrowane i użyte do dalszego przetworzenia wylicza się odpowiadające im wartości na podstawie wyznaczonych doświadczalnie funkcji kalibracyjnych.

Funkcje kalibracyjne wyznaczane są okresowo na podstawie pomiarów sygnałów wzorcowych generowanych przez precyzyjne generatory laboratoryjne.

Kalibracja dla sygnałów pochodzących z odbiornika nawigacyjnego jest realizowana automatycznie. Generator wzorcowy w tej procedurze jest sterowany programowo przez system.

Opisana w tym punkcie procedury kalibracji torów pomiarowych mają za zadanie zminimalizowanie błędów pomiarowych powstających w wyniku zmian parametrów urządzeń pracujących w tych torach a w szczególności odbiorników pokładowych urządzeń nawigacyjnych. Drugim zadaniem jest wyznaczenie współczynników proporcjonalności pozwalających na przeliczanie mierzonych sygnałów wejściowych na interesujące nas wielkości.

Niezależnie od procedur pełnej kalibracji jest możliwe sprawdzenie wrywkowe (test torów pomiarowych) dla odbiorników nawigacyjnych. Test ten ma za zadanie ewentualne wykrycie pomiędzy kolejnymi pomiarami w trakcie wykonywania oblotów urządzeń pojawienia się ewentualnych dużych błędów na skutek zmian parametrów odbiorników. Test ten można wykonać tylko dla odbiornika nawigacyjnego. W wyniku jego działania otrzymujemy jedynie informację o przydatności odbiorników do dalszych pomiarów. Nie jest natomiast wykonywana jakakolwiek korekta współczynników kalibracyjnych. O przydatności odbiorników do dalszych pomiarów decyduje inspektor prowadzący pomiary na podstawie wyznaczonych uchybów pomiarowych dla poszczególnych wielkości.

Na podstawie realizacji procedur kalibracyjnych wyznaczane są tablice służące dalej do wyznaczania wartości mierzonych wielkości. Tablice te zawierają tylko współczynniki dla wybranych punktów pomiarowych. Dla każdej wielkości kalibrowanej w kolejnych rozdziałach wymieniono punkty, w których jest wykonywana kalibracja. Wartości wielkości mierzonych pomiędzy punktami kalibracji będą określone drogą interpolacji. Synchronizacja

W trakcie realizacji procedur pomiarowych wybrane dla poszczególnych procedur wielkości są rejestrowane. Z punktu widzenia rejestracji generalnie można wprowadzić następujący podział sygnałów:

1. dane z telemetrii,
2. dane z GPS'a,
3. wartości sygnałów analogowych,
4. dane cyfrowe z odbiorników nawigacyjnych.

Informacje w każdej z wymienionych grup przychodzą asynchronicznie. Przy ich rejestracji przyjęto następujące zasady:

- ☐ wszystkie dane są rejestrowane z częstością 5/s,
- ☐ bieżąca (ostatnio przesłana za pośrednictwem odpowiedniego interfejsu) dana z GPS'a i telemetrii (grupa 1 i 2) są rejestrowane niezależnie jeden raz zgodnie z najbliższym cyklem rejestracji,
- ☐ w punktach gdzie dane z GPS i Telemetrii nie są dostępne rejestrowana jest informacja o braku danych, a do celów obliczeniowych w tych punktach przybliżoną ich wartość wyznacza się na podstawie interpolacji.

Przerwa w odczytywaniu danych z urządzeń wymienionych w punkcie 1 i 2 przez okres dłuższy niż określony w konfiguracji systemu jest traktowany jako permanentny brak danych, a konsekwencją jest zaprzestanie wyliczania wartości pośrednich i wykreślania odpowiednich wykresów. Obszar braku danych jest wyłączony z dalszej analizy. Oczywiście zastrzeżenie to dotyczy tylko tej analizy, dla której wadliwie pracujące urządzenie zostało wybrane jako odniesienie.

Zobrazowanie wyznaczanych wielkości

1.1.1.1 WSTEP

Wybrane wielkości rejestrowane są na bieżąco wyświetlane na ekranie monitora graficznego tak by inspektor mógł ocenić przebieg aktualnej procedury.

W trakcie trwania rejestracji danych prowadzona jest również bieżąca analiza wyników. Analiza ta ma dostarczyć informacji, czy jest celowe kontynuowanie pomiaru, czy raczej trzeba dokonać korekty wybranego parametru w urządzeniu naziemnym i rozpocząć pomiar od nowa.

Rezultaty są obrazowane w postaci napisów tekstowych, wykresów słupkowych i wykresów liniowych.

1.1.1.2 ZOBRAZOWANIE TEKSTOWE

Zasadniczo wszystkie wielkości wyświetlane na bieżąco w postaci tekstowej - cyfrowej na ekranie w trakcie pomiaru nie podlegają filtracji programowej. Na ekranie zobrazowywana jest ich bieżąca wartość chwilowa. Wyjątek stanowią wielkości wyświetlane na wykresach słupkowych, które podlegają analogicznej obróbce jak wartości obrazowane w postaci słupka.

1.1.1.3 WYKRESY SŁUPKOWE

Wykresy słupkowe przedstawiają orientacyjnie wartości oznaczonych nad nimi sygnałów. Tło wykresów jest czarne. Lewy wykres dotyczy odbiornika systemu A, prawy - systemu B. Kolor wykresu (słupka) zależy od tego czy reprezentowany przez niego parametr mieści się w granicach tolerancji czy nie. Jeżeli wartość sygnału jest prawidłowa odpowiadający mu słupek jest zielony, w przeciwnym przypadku kolor zmienia się na czerwony. Powrót sygnału do wartości prawidłowej przywraca zielony kolor odpowiedniego słupka. Dodatkowo na wykresach zaznaczone są poziomymi liniami żółtymi granice dopuszczalnych wartości sygnałów oraz ich wartości zalecane (środkowe) liniami zielonymi jasnymi. Strefa wartości dopuszczalnych zajmuje

ok. 2/3 dysponowanej powierzchni wykresu. Pozwala to na ocenę głębokości modulacji z dokładnością nie gorszą niż ok. 0.5%.

Dokładna wartość chwilowa podawana jest w trybie tekstowym pod wykresami. Górna liczba dotyczy systemu A, dolna - systemu B.

Na potrzeby wyświetlania na ekranie w postaci wykresów słupkowych wybranych wielkości wyznaczana jest ich wartość średnia z okresu o długości określonej w konfiguracji programu. Filtracja ta realizowana jest niezależnie od filtracji sprzętowej mierzonych sygnałów. Wyliczona w podany sposób wielkość wyświetlana jest zarówno w postaci słupka jak i tekstowo - cyfrowo.

1.1.1.4 WYKRESY LINIOWE

W trakcie realizacji rejestracji sygnałów dla poszczególnych procedur pomiarowych na bieżąco wykreslane są na ekranie monitora przebiegi wartości chwilowych dla wybranych wielkości. Procedura ta realizowana jest również w trakcie analizy danych archiwalnych i tworzenia wydruków z raportami.

Przyjęto, że wykresy są wykonywane w skali czasowej, natomiast oś pozioma wyskalowana jest w milach morskich albo kątach zależnie od rodzaju pomiaru. Ponieważ jednak liczba zbieranych danych w trakcie pomiaru może być zbyt duża, aby przebieg wyznaczonej na ich podstawie wielkości zawierał wszystkie punkty odpowiadające zebranym danym, ze względu na ograniczoną rozdzielczość urządzeń wej/wyj monitora i drukarki, trzeba przyjąć pewną metodę redukcji ilości danych. Użycie procedury redukcji oznacza, że na wykresie jeden jego punkt graficzny będzie odpowiadał kilku punktom pomiarowym. Ze względu na przeznaczenie systemu przyjęto, że procedura redukcji danych powinna wyznaczać ze zbioru punktów pomiarowych przypadających na dany punkt wykresu jeden, dla którego wartość wyznaczonej wielkości maksymalnie różni się co do wartości bezwzględnej od wartości znamionowej - zalecanej. Biorąc pod uwagę ograniczenie w postaci częstości przerysowywania ekranu związanego ze zmianą skali przyjęto następujące współczynniki podziału:

$$1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{6}, \frac{1}{8}, \dots, \frac{1}{3 \cdot 2^{k+1}}, \frac{1}{2 \cdot 2^{k+2}} \quad (0)$$

Reasumując, po osiągnięciu przez wykres krawca ekranu automatycznie następuje zmiana skali zgodnie z kolejnymi współczynnikami podanymi w .

Każdy z wykresów słupkowych oraz każda z wielkości reprezentowanych przy pomocy liczb mogą być przedstawione w postaci wykresu liniowego. Jasny punkt określa, która wielkość jest prezentowana również jako wykres linowy.

Obsługa checklist dla każdego pomiaru

Kontrola parametrów urządzeń nawigacyjnych realizowana w trakcie powietrznej inspekcji wymaga przeprowadzenia pewnego ciągu operacji. Dla każdego urządzenia i rodzaju inspekcji ciąg ten jest określony i ustalony. Aby ułatwić pracę inspektorowi na ekranach sterujących poszczególnych procedur pomiarowych zostały umieszczone listy pomiarów lub sprawdzeń, które trzeba wykonać w celu realizacji inspekcji. Każdy element listy został zaopatrzony we wskaźniki sygnalizujący stan procedury. Są możliwe następujące stany:

- ☐ procedura nie była wykonywana,
- ☐ procedura była wykonana i urządzenie nawigacyjne ma badane w niej parametry w normie,
- ☐ procedura była wykonywana, ale badane w niej parametry mają wartości nie mieszczące się w dopuszczonych normami granicach,

Zaznaczenie, że procedura była realizowana odbywa się automatycznie, natomiast wybór opcji wskazującej jakość pracy mierzonego urządzenia zależy od inspektora.

Ponieważ loty inspekcyjne są realizowane w różnym celu listy procedur zostały opracowane tak, aby były możliwie pełne i uniwersalne. Dlatego nie wszystkie procedury przewidziano do kontroli danego urządzenia muszą być wykonywane w trakcie jego inspekcji. Oznaczenie stanu procedury ma tylko znaczenie informacyjne i nie wpływa na przebieg innych funkcji systemu.

Funkcja lupy pomiarowej i kursora pomiarowego

Lupa pomiarowa - to mechanizm programowy umożliwiający oglądanie wartości sygnałów prezentowanych w postaci graficznej w zmiennej skali X. Stosując lupę pomiarową można oglądać dowolnie wybrany fragment wykresu rozciągnięty na całym ekranie monitora. Funkcja lupy jest tylko dostępna w trakcie przeglądania danych archiwalnych.

Nazwą *kursor pomiarowy* będzie określany dalej mechanizm programowy służący do dokładnego odczytywania wartości sygnału prezentowanego w postaci graficznej oraz znacznik na ekranie wskazujący miejsce, którego dotyczą dane w dodatkowym oknie tekstowym. Funkcja kursora pomiarowego jest dostępna zarówno w trakcie wykreślenia wartości bieżących wielkości wyznaczanych w trakcie pomiarów, jak również w trakcie przeglądania danych archiwalnych.

Prowadzenie pilota po zadanej trajektorii

Na podstawie danych odbieranych z nawigacyjnych urządzeń pokładowych, które pozwalają wystarczająco dokładnie wyznaczyć położenie samolotu względem wyznaczonego toru lotu, system na bieżąco wylicza błąd pilotażu i zobrazowuje go w postaci graficznej na ekranie specjalizowanego wyświetlacza umieszczonego w kokpicie w polu widzenia pilota samolotu inspekcyjnego. Na wyświetlaczu tym umieszczane są również dodatkowe informacje ułatwiające nawigację w trakcie realizacji procedur pomiarowych

W trakcie realizacji procedur pomiarowych po jej uruchomieniu na wyświetlaczu alfanumeryczny w kokpicie pilotów zostaje wyświetlony komunikat zawierający informacje o:

- ☐ aktualnym azymucie, elewacji albo dewiacji,
- ☐ odległości (w milach morskich)
- ☐ wymaganym kierunku lotu.

Azymut/elewacja określane są pomiędzy wybranym charakterystyczny dla danej procedury kierunkiem odniesienia i linią łączącą punkt odniesienia i samolot. W poszczególnych procedurach pomiarowych zostanie zdefiniowany zarówno kierunek odniesienia jak i punkt odniesienia, względem których opisywana wielkość jest wyznaczana. Zostanie tam również podana lista urządzeń, których można użyć do określania tej wielkości. Zwykle do dokładnego wyznaczenia tej wielkości potrzeba dwóch urządzeń. W poszczególnych procedurach zostaną zdefiniowane możliwe kombinacje oraz odpowiadające im algorytmy wyznaczania tej wielkości. Po rozpoczęciu realizacji procedury nie można zmieniać dokonanego wyboru. W przypadku utraty operatywności urządzenia (zanik sygnału, wyjście poza pokrycie, zakłócenia, itp.) na wyświetlaczu wielkość ta nie będzie wyświetlana na czas braku danych.

Dewiacja jest wielkością wyświetlaną w μA wyznaczaną z funkcji kalibracyjnej i sygnału dewiacji odczytywanego bezpośrednio z odbiornika nawigacyjnego. W procedurach, w których lot odbywa się na kierunku o dewiacji innej niż $0\mu A$ wyświetlana jest wartość będąca różnicą dewiacji zadanego kierunku i dewiacji aktualnej.

Odległość samolotu od punktu odniesienia jest wyznaczana na podstawie wskazań GPS..

Strzałki w dolnym wierszu wskazują pożądaną zmianę kierunku lotu. Wychylenie "wskaźnika" następuje przy zejściu z kursu, a długość wyświetlanego odcinka jest proporcjonalna do aktualnego błędu od zadanego toru lotu.

Sposób wyznaczania wspomnianego wyżej błędu został określony dla poszczególnych procedur pomiarowych niezależnie.

Czułość "wskaźnika" można zmienić przed rozpoczęciem pomiarów w danych początkowych niezależnie dla poszczególnych procedur pomiarowych.

Analiza trajektorii lotu

Korzystając z faktu, że w trakcie realizacji pomiarów są rejestrowane współrzędne geograficzne z GPS lub dane z teodolitu i DME, można odtworzyć tor lotu samolotu, po którym poruszał się on w trakcie procedury pomiarowej. Odtworzony tor lotu w postaci błędu od zadanej trajektorii lotu jest wykreślany na wykresie w raporcie z pomiaru.

W przypadku lotów po prostych (np. promień VOR, na kursie ILS, itp.) błąd jest wyrażony w stopniach i jest różnicą zadanego kąta dla mierzonego kursu i kątem położenia prostej przechodzącej przez punkt odniesienia i aktualnego położenia samolotu

Dla lotów wykonywanych na okręgach przyjęto, że błąd będzie liczony jako różnica zadanego promienia okręgu i promienia okręgu, na którym aktualnie znajduje się samolot.

CAS 94-028 Łódź ul. Chodkiewicza 1a tel/fax: +48 (42) 6862547; +48 (42) 6865028
--

www.cas.eu techsupp@cas.eu
--