

Малежик О.І., канд.техн.наук.,
Остапенко О.С.,
Малежик І.О.,
Радченко В.А.

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ПОЛЬОТІВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ЗА ПОЛЬОТНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ

Інститут комп'ютерних технологій
Національного авіаційного університету

Викладено сутність основних компонент програмного забезпечення оперативного контролю польотів повітряних суден за інформацією бортових параметричних реєстраторів.

Вступ

Практичне використання польотної інформації (ПІ) передбачає такі основні аспекти: контроль техніки пілотування екіпажів повітряних суден (ПС), контроль функціонування бортового обладнання, інформаційне забезпечення розслідувань авіаційних подій та інцидентів, рішення задач дослідницького та навчально-методичного забезпечення тощо. Незалежно від вирішуваних задач практика використання ПІ заснована на оперативному обробленні даних про поодинокі польоти ПС, нагромадженні первинних оцінок у відповідних базах даних і подальшому статистичному дослідженні первинних оцінок з метою узагальнення результатів оперативного контролю на різних ієрархічних рівнях.

Цикл існування програмного забезпечення (ПЗ) від постановки задач контролю до практичного застосування можна представити у вигляді етапів: розробки математичного забезпечення контролю польотів; безпосереднього програмування; експлуатації програмних комплексів.

Розробка математичного забезпечення передбачає творіння алгоритмів контролю відповідно до діагностичних моделей, що відображують властивості об'єктів контролю і характеризують їхню спроможність виконувати задані функції.

Безпосереднє програмування являє собою розробку комп'ютерних програм оперативного оброблення ПІ шляхом перетворення математичних і логічних об-

разів алгоритмів контролю у конструктивні елементи мови програмування для заданих умов застосування конкретних наземних систем автоматизованого оброблення (НСАО) ПІ.

Експлуатація програмних комплексів зв'язана із технологією їхнього застосування, дослідженням якості функціонування та виробленням відповідних запитів та рекомендацій до розробників ПЗ.

Метою даної роботи є дослідження розвитку і сучасного стану ПЗ оперативного контролю польотів ПС за ПІ.

Етапи розвитку програмного забезпечення комп'ютеризованих систем контролю польотів повітряних суден в Україні

Першим промисловим зразком НСАО ПІ, що дозволяв виконувати програмну реалізацію алгоритмів контролю польотів ПС, була система "Луч-74", спроектована в 70-х роках минулого століття київськими фахівцями міністерства авіаційної промисловості колишнього Радянського Союзу. Склад апаратного забезпечення і технічні характеристики "Луч-74" - ємність оперативної пам'яті 8192 16-бітних слів та відсутність пристроїв зовнішньої пам'яті, - визначили основні принципи побудови відповідного ПЗ: оброблення ПІ в процесі її відтворення з носія та жорсткі обмеження на кількість і складність використовуваних алгоритмів контролю. Основна форма оброблення польотних даних – експрес-аналіз

(ЕА) ПІ на основі алгоритмів допускового контролю.

Функції, виконувані програмами обробки ПІ, декілька ширше за функції алгоритмів контролю. Окрім аналізу даних з метою контролю, програми повинні забезпечувати себе інформацією шляхом відтворення її з носія ПІ, а також здійснювати видачу результатів машинної обробки. Програми ЕА ПІ, що утворюють спеціальне ПЗ системи "Луч-74", побудовані за модульним принципом: модуля організації ЕА; модуля ЕА; модуля градувальних характеристик (ГХ) первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП).

Модуль організації ЕА програмно орієнтований на конкретний тип бортового реєстратора (БР), тобто на заданий формат кадру ПІ. Він, головним чином, забезпечує надходження заданого переліку польотних даних з носія на вхід алгоритмів контролю, виконує сервісні операції по представленню вихідної інформації ЕА тощо.

Модуль ЕА є програмною реалізацією алгоритмів контролю для заданого типу ПС.

Модуль ГХ містить інформацію про індивідуальні особливості ПВП для конкретного екземпляра ПС.

В 80-х роках минулого сторіччя була розроблена НСАО ПІ "Луч-84", яка мала на той час досить непогані характеристики: об'єм оперативної пам'яті – 124К 16-бітних слів, комплекс пристроїв зовнішньої пам'яті, наявність відеотерміналів, розвинуте ПЗ загального призначення. Все це обумовило принципову можливість розроблення більш потужного у порівнянні з "Луч-74" спеціального ПЗ, основна відмінність якого полягає у двоступеневому принципі оброблення ПІ. На першому етапі виконується копіювання ПІ з носія БР на жорсткий диск НСАО ПІ, причому відтворювані дані попередньо піддаються ущільненню. На другому етапі виконується власне логічне оброблення ПІ з метою контролю польотів ПС. Слід відмітити, що процес логічного оброблення ПІ в "Луч-84" виконувався в режимі ЕА і за алгоритмами, що мало відрізнялись

від використовуваних в ПЗ "Луч-74", хоча оброблення даних з копії практично знімало часові обмеження, властиві попередній НСАО ПІ. В цілому апаратура і ПЗ "Луч-84" дали змогу суттєво покращити сервісну частину і майже не змінили принципів і алгоритмів логічного оброблення ПІ.

Сучасна концепція побудови ПЗ передбачає наявність ряду взаємодіючих програм та установчих файлів. До основних функцій програм, що безпосередньо стикаються із ПІ (власне ПІ або даних, обчислених на її основі, наприклад, результатів контролю польотів) можна віднести такі:

- копіювання параметричної інформації БР з відповідних пристроїв відтворення;

- побудову профілю польоту тобто розпізнавання стандартизованих ділянок польоту (зльоту, заходу на посадку, посадки тощо);

- логічне оброблення ПІ за методом формування "портрета" окремих етапів польоту;

- логічне оброблення ПІ за методом ЕА;

- забезпечення експертного аналізу результатів контролю (АРМ експерта).

Окрім основних функцій ПЗ спеціального призначення, є значна кількість додаткових, зв'язаних, як правило, із підготовкою, коригуванням, індикацією та документуванням даних установчих файлів: ГХ, нормативних параметрів (номіналів), каталогів аеропортів, інформації про умови виконання польотів тощо.

Організація копіювання параметричної інформації

Основними операціями, що передують безпосередній машинній обробці, є відтворення ПІ з носія, введення її в пам'ять НСАО ПІ, вибірка кодів АП, РК, службових даних і, якщо буде потреба, відновлення фізичних значень АП по їх кодах. Узагальнений принцип відтворення ПІ та введення її в пам'ять НСАО ПІ полягає в програмному управлінні конструктивними елементами пристроїв відтворення даних різних типів БР. Основний перелік необхідних умов для забезпе-

чення відтворення та вводу містить наступні операції: установку режиму "відтворення" для забезпечення фізичного (схемного) доступу до інформації на носії; визначення обсягу ПІ і простору оперативної пам'яті для запису відтворених кодів; підключення каналу передачі кодів ПІ до ланцюга між пристроєм відтворення й заданим програмним масивом.

Зазвичай запис відтвореної ПІ в оперативну пам'ять виконується із використанням 2-х програмних масивів. Перед пересилкою даних відповідного програмного масиву до пристрою зовнішньої пам'яті, можуть бути виконані операції первинного перетворення кодів ПІ, наприклад перетворення кодових значень АП в фізичні одиниці вимірювання, ущільнення інформації, зміна структури даних тощо. Принципи перетворення кодових значень АП в фізичні одиниці і ущільнення ПІ розглянуті в [1].

На сучасному етапі для оперативного контролю польотів, що виконуються на значній відстані від місць базування авіакомпаній протягом тривалого часу, все частіше застосовуються мережні технології передачі ПІ до центрів її оброблення. Зазвичай передачі ПІ передують їй ущільнення. Одним з основоположних принципів ущільнення ПІ є той факт, що в процесі реєстрації коди контрольованих сигналів більшою чи меншою мірою зберігають постійні значення впродовж певних часових інтервалів. Властивості ущільнення ПІ істотно залежать від динаміки зміни контрольованих сигналів, визначуваної поточним етапом польоту. На рис.1. показаний приклад динаміки зміни показнику ущільнення всіх параметрів кадру залежно від етапів польоту, розділеного на інтервали тривалістю 2.5 хвилини.

На рисунку приведені значення коефіцієнта заповнення K_z і початкові значення барометричної висоти польоту для кожного інтервалу; коефіцієнт заповнення $K_z = 1/K_n$; коефіцієнт ущільнення (K_u) - відношення величини початкової пам'яті до відповідного значення фактичної пам'яті. Очевидно, що найбільше заповнення відповідає етапам зльоту і посадки, на яких зазвичай спостерігається інтенсивна зміна

значень цілого ряду реєстрованих сигналів, що знижує величину коефіцієнта ущільнення.

N	Kz	Hb	Графік Kz	Етапи
1	0.46	0	*	Зліт
2	0.58	1080	*	
3	0.40	3150	*	Набір висоти
4	0.32	5085	*	
5	0.26	6615	*	
6	0.32	7200	*	
7	0.32	7200	*	Ешелон
8	0.24	7965	*	
9	0.26	8100	*	
10	0.18	8100	*	
11	0.20	8100	*	
12	0.18	8100	*	
13	0.18	8100	*	Зниження
14	0.28	8100	*	
15	0.20	8100	*	
16	0.16	8100	*	
17	0.21	8100	*	Захід на посадку,
18	0.18	8100	*	
19	0.24	7065	*	посадка
20	0.26	5130	*	
21	0.22	3015	*	
22	0.26	2205	*	
23	0.30	1890	*	
24	0.28	810	*	
25	0.52	495	*	
26	0.66	225	*	
27	0.58	0	*	

Рис.1. Динаміка змін показників ущільнення ПІ в процесі польоту літака ТУ-154

Формування профілю польоту

Програма формування профілю польоту призначена для визначення часових інтервалів стандартизованих ділянок, таких як зліт, перерваний зліт, захід на посадку, посадка тощо. Крім того, програма може забезпечувати згладжування збійних значень реєстрованих параметрів, обчислення значень розрахункових АП (вертикальної швидкості, подовжнього прискорення тощо), відсутніх в структурі кадрів ПІ, і для виявлення деяких характерних точок польоту (запуску двигунів, початку та кінця ділянок набору висоти тощо.). Визначення стандартизованих ділянок польоту виконується шляхом аналізу значень т.зв. "профільних" параметрів, як правило, швидкості, висоти, вертикальної швидкості тощо. Визначені часові інтервали стандартизованих ділянок використовуються програмним забезпеченням оброблення ПІ за методом "портрета" контрольованого етапу або АРМ експерта. Результати профілювання польоту ПС стосовно інформації про стандартизовані етапи в складі інших даних зберігаються в описувачі польоту.

Оброблення польотної інформації за методом портрета

Сучасний підхід до контролю стандартизованих етапів польоту передбачає пошук небезпечних відхилень від правил пілотування, визначення чисельних значень оцінок частинних показників якості (ЧПЯ) і при виявленні знижених значень пошук відповідних причин. Всі зазначені дії виконуються на основі т.зв. портретів етапів як інформаційної бази виконання власне алгоритмів контролю. Теоретичні і прикладні аспекти формування портрета окремого етапу польоту викладені в [2].

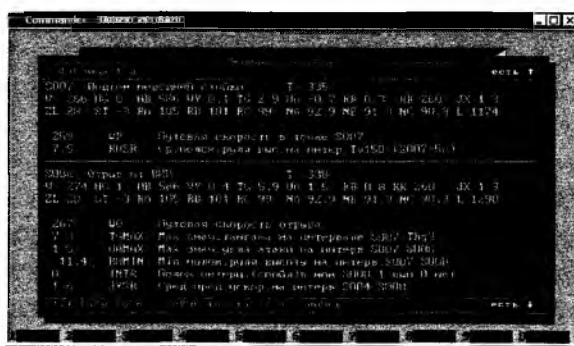


Рис.2. Індикація даних типового портрета зльоту літака Ту-154

Класичний варіант організації ЕА пов'язаний із переглядом ПІ польоту в цілому від його початку до кінця із застосуванням алгоритмів допускового контролю. Будь-яка програма контролю в остаточному підсумку порівнює характеристики польоту, що оцінюється, з його діагностичною моделлю, яка представлена у вигляді сукупності послідовних етапів, таких як зліт, політ по ешелону, передпосадочне маневрування, захід на посадку, посадка.

Кожен з етапів характеризується певним набором контрольних точок. Наприклад, зліт літака характеризується такими контрольними точками, як початок розбігу, ППОШ, відрив літака від ЗПС тощо. Відповідно до вимог нормативної документації для кожної контрольної точки встановлено перелік оцінюваних параметрів польоту та задані гранично допустимі значення цих параметрів. У такий спосіб програми ЕА повинні забезпечувати наступні операції:

- ідентифікацію етапів польоту;

- визначення моментів прольоту контрольних точок;

- обчислення гранично-допустимих значень контрольованих параметрів залежно від умов польоту (ваги літака, центрування, метеоумов та ін.);

- порівняння поточних значень контрольованих параметрів з константами обмежень;

- фіксацію подій виходу значень контрольованих параметрів за допустимі межі з видачею відповідних повідомлень.

У загальному випадку формалізований запис елементарної події виходу контрольованого параметра за межі допуску має вигляд логічного виразу:

$$S = P_E \wedge P_{KT} \wedge P_{VIX} \wedge TP, \quad (1)$$

де P_E - ознака існування заданого етапу польоту; P_{KT} - ознака існування відповідної контрольної точки; P_{VIX} - ознака наявності факту виходу значень контрольованого сигналу за допустимі межі; TP - задана тривалість події, що визначається із співвідношення

$$TP = T > T_3, \quad (2)$$

де T - час, протягом якого значення логічного виразу $P_E \wedge P_{KT} \wedge P_{VIX}$ є істинним; T_3 - задана тривалість події, що визначає факт порушення.

Технологія побудови комп'ютерних алгоритмів ЕА типу (4) передбачає наявність певних загальних властивостей:

- події є незалежними з точки зору моментів їх появи і закінчення;

- кожний вид події може мати довільну кількість входжень;

- кожний алгоритм виявлення події в загальному випадку враховує 2 фактори: логічну передумову виникнення події ($P_E \wedge P_{KT}$) і власне фіксацію як факт стійкого її існування в часі ($P_{VIX} \wedge TP$);

- результати виявлених подій фіксуються в певному спільному форматі.

- Теоретичні основи побудови алгоритмів ЕА викладені в роботі [1].

Сучасний підхід до організації ЕА П зберігає принцип послідовного перегляду даних із застосуванням алгоритмів допускового контролю, але при цьому можуть використовуватись дві обставини, що

спрощують пошук інтервалів імовірних появ контрольованих подій:

1. можливість виконувати перегляд ПІ не тільки для польоту в цілому, але й для обмежених ділянок (етапів, підетапів тощо);

2. попередня розмітка польоту опісля його профілювання і побудови портретів його основних етапів.

Попередня розмітка визначає наявність даних про стандартизовані етапи, контрольні точки тощо.

Забезпечення експертного аналізу результатів контролю

Програма експертного аналізу результатів контролю польотів ПС в загальних рисах повинна забезпечувати доступ, індикацію і документування будь-якої інформації, що використовується інформаційною технологією в цілому: реєстрованих сигналів; розрахункових АП; циклограм і ГХ; даних про умови виконання польотів; результатів контролю польотів; довідкової інформації по алгоритмах контролю, розрахунку нормативних параметрів тощо.

Можливе використання інших відомостей в залежності від конкретної реалізації ПЗ контролю польотів ПС за ПІ.

Висновки

1. Цикл існування ПЗ контролю польотів складається з розробки математичного забезпечення, безпосереднього програмування та експлуатації.

2. Сучасна концепція побудови ПЗ передбачає наявність ряду взаємодіючих програм та установчих файлів.

3. Основними функціями програм, що безпосередньо використовують ПІ або дані, обчислені на її основі, є такі: копіювання ПІ, побудова профілю польоту, виконання власне алгоритмів контролю за методом формування "портрета" окремих етапів польоту, логічне оброблення ПІ за методом ЕА, забезпечення експертного аналізу результатів контролю.

4. Додаткові функції ПЗ зв'язані, як правило, із підготовкою, коригуванням, індикацією та документуванням даних установчих файлів.

Список літератури

1. *Малежик А.И.* Основы компьютерных технологий оперативного контроля полетов воздушных судов по полетной информации: Монография. - К.: КМУГА, 1996. - 124с.

2. *Малежик О.И., Остапенко О.С., Стефанський С.Р.* Принципи організації комп'ютерного контролю польотів повітряних суден по інформації бортових реєстраторів // Вісник НАУ, № 1, 2004.