

УДК 621.518.3

ЄРКО В.Б., старший науковий співробітник

МЕТОДИКА СИНТЕЗУ БОРТОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Запропоновано методичний підхід щодо синтезу інформаційно-вимірювальних комплексів при використанні декількох критеріїв

Сучасні інформаційно-вимірювальні комплекси (ІВК) призначені для оцінки великої кількості (сотень і навіть тисяч) [1] взаємопов'язаних та взаємодіючих параметрів і відносяться до класу складних технічних систем [2]. Застосовуються ІВК, як правило, при проведенні льотних випробувань і оцінки технічного стану військової авіаційної техніки. Витрати на створення, розміщення та експлуатацію подібних комплексів можуть досягати 10...30% витрат на створення літального апарату (ЛА) [3].

Отже, задача синтезу ІВК за умов обмеженості матеріальних ресурсів є актуальною.

Для оцінки оптимальності ІВК пропонується використовувати критерій його безпосередньої вартості в натуральному вираженні. Вартість ІВК має ряд переваг перед іншими критеріями. По-перше, цей критерій має властивість адитивності: загальна вартість ІВК завжди може бути представлена сумою вартостей його складових. По-друге, критерій вартості забезпечує «тотожність ефекту»: за допомогою вартості може бути проведене порівняння внеску окремих характеристик у показник якості ІВК у цілому. Вартість є мірою, просто й природно пов'язаною з основними характеристиками ІВК. При цьому залежність значення вартості від значень характеристик ІВК являє собою абстраговану, виражену в грошових (або відносних) одиницях інформацію про стан рівня розробки, виробництва й експлуатаційної технологічності тих складових ІВК, які визначають значення його характеристик (часткових критеріїв). Незважаючи на це, вартісні показники, які мають однакову розмірність, фізично відрізняються один від одного. Фізична складова вартості обумовлює неможливість зведення та оптимізації характеристик, які мають різну фізичну сутність. Вирішення задачі за критерієм вартості дає можливість абстрагованого обліку часткових критеріїв фізичних значень ІВК та створює спосіб екстремізації в єдиному метричному просторі.

Метою статті є розробка методичного підходу щодо вирішення завдання синтезу бортових ІВК, який забезпечить оптимізацію матеріальних витрат при виборі варіантів комплексів.

Постановка задачі.

Розглянемо зразок ВАТ з кількістю k параметрів, що вимірюються, і вектор $\sigma = \{ \sigma_\gamma \}_{\gamma=1}^k$ припустимих погрішностей оцінки цих параметрів. Блоки ІВК розміщено в області V трьохмірного монтажного простору ЛА, а їх геометричні розміри до уваги не беруться.

Потрібно визначити такий варіант ІВК, який буде мати мінімальну вартість серед всіх припустимих варіантів комплексів [4].

В загальному вигляді вартість ІВК S_Σ є вектором критеріальних функцій з трьох компонентів

$$S_\Sigma = \{ S^C, S^P, S^E \},$$

де S^C – вартість створення комплексу; S^P – вартість розміщення комплексу на борту ЛА; S^E – вартість застосування (експлуатації) комплексу.

Вартість S^E у загальному вигляді включає в себе: вартість підготовки комплексу до застосування, вартість витрат ресурсу зразка ВАТ і ІВК у процесі застосування, вартість паливо-мастильних матеріалів, які витрачаються в кожному польоті, вартість обробки й аналізу результатів вимірів. Вартість S^C складається з вартості комплектувальних виробів обладнання ІВК, конструкторських та виробничих витрат.

S^E перебуває у взаємозв'язку й взаємному протиріччі з витратами S^C на створення ІВК. Збільшення величини S^C (використання обладнання з високими показниками надійності, точності, наявності в складі блоків систем вбудованого контролю й т.п. і, як наслідок, більш дорогого) приводить до зменшення вартості його застосування й навпаки. Отже, вартість створення та експлуатації ІВК може бути охарактеризована вектором критеріальних функцій $\{ S^E, S^C \}$, компоненти якого перебувають у взаємному протиріччі. Аргументами цих функцій є сукупність характеристик ІВК в вигляді проектних змінних Ω [2].

Облік впливу всієї безлічі Ω проектних змінних ІВК на вартість комплексу приводить до невиправданого ускладнення завдання, що вирішується. Природним є вибір сукупності найбільш важливих і інформативних характеристик – координат критеріального простору, у якому повинна здійснюватися оптимізація вартості. Для спрощення задачі оптимізації доцільно використання декількох характеристик (погрішності, кількості польотів, часу експлуатації) при фіксації інших (просторових координат).

Значення критеріїв вартості фізично обмежено граничними значеннями припустимих погрішностей оцінки заданих параметрів об'єкта досліджень. Таким

чином, якщо прийняти, що зазначені погрішності відображають особливості створення та експлуатації ІВК і є змінними величинами, то діапазон їх зміни прямо зв'язаний з вартістю комплексу. Тому доцільно, в даному випадку, прийняти $\Omega = \sigma$.

Вирішення завдання. Використання щодо побудови ІВК відомих [2, 5, 6] методів прикладного статистичного аналізу дозволяє надати компоненти вектора функцій $\{S^E(\sigma), S^C(\sigma)\}$ у вигляді відповідних регресійних залежностей. Отримані критеріальні функції є достатніми для розв'язання завдання. За допомогою відомих методів [2] формують область що не поліпшуються, у k -мірному просторі, кожна з точок якої відповідає одному з варіантів ІВК. Область оптимальних (у сенсі Парето) за вартістю варіантів ІВК являє собою точки в деякій області в k -мірному (відповідно до кількості вимірюваних параметрів зразка ВАТ) просторі [2].

Для кожного з отриманих варіантів ІВК притаманний індивідуальний склад обладнання та структура електричних з'єднань (топология мережі зв'язків). Вибір остаточного варіанта ІВК є задачею знаходження мінімальної вартості розміщення елементів, які входять до його складу.

Отримані варіанти комплексів, в області оптимальних (у сенсі Парето) за вартістю варіантів побудови ІВК, є складними багаторівневими системами. Для усіх отриманих варіантів, природно, що на нульовому рівні знаходяться безпосередньо датчики, які функціонально жорстко "прив'язані" до конструкції ЛА. Комутація інформаційних сигналів з датчиків, обробка інформації, накопичення здійснюється на наступних рівнях.

При визначенні довжини міжблокових зв'язків доцільно використовувати ортогональну метрику [1]

$$l_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| + |z_i - z_j|, \quad (1)$$

яка використовується для опису розміщення систем бортового обладнання, а отже, може бути використана і для розміщення складових бортового ІВК [6].

Формула (1) набуває вигляд для можливих варіантів ІВК:

$$S^P(U) = S^P(X) + S^P(Y) + S^P(Z),$$

де $X = [X_{ri_r}]$, $Y = [Y_{ri_r}]$, $Z = [Z_{ri_r}]$ – матриці координат модулів ІВК за відповідними координатними вісями, варіант $u_{ri_r} [x_{ri_r}, y_{ri_r}, z_{ri_r}]$, де $r = 1, 2, \dots, R$ – кількість рівнів, $i_r = 1, 2, \dots, M_r$ – кількість блоків в r -му рівні.

Мінімальна вартість мережі зв'язків для варіанта q побудови ІВК набуває вигляду:

$$S^P(U^q) = \sum_{i_{R-1} \in J(R-1,0)} \left\{ \dots \sum_{i_1 \in J(1,i_2)} \left\{ \sum_{i_0 \in J(0,i_1)} \left\{ s_{0i_0} \|u_{0i_0} - u_{1i_1}\| + s_{1i_1} \|u_{0i_0} - u_{1i_1}\| \right\} \right\} + \dots \right\} + s_{R-1, i_{R-1}} \|u_{R-1, i_{R-1}} - u_{Ri_2}\|, \quad (2)$$

де s_{ri_r} – питома вартість з’єднувальної мережі визначає: кількість провідників в окремих лініях зв’язку відносно вартості їх загальної кількості в з’єднувальній мережі бортового ІВК; $s = [s_{ri_r}]$ – матриця питомих вартостей міжблокових зв’язків від i_r -го блоку r -го рівня ІВК.

Завдання полягає в зведенні багатопараметричної функції $S^P(U^q)$ до однопараметричної $S^{P\min}_{R,1}(U_{R,1})$, яка кожній матриці координат $U_{R,1}$ ставить до відповідності мінімально можливе значення $S^{P\min}_{R,1}$. Даний перехід здійснюється послідовно за R кроків за умови що на кожному r -му кроці фрагмент $S^P_{ri_r}(U_{ri_r})$ має мінімальну вартість. Оптимальне розміщення системи визначається при мінімізації функції $S^{P\min}_{R,1}(U_{R,1})$.

Таким чином, визначення $S^{P\min}_{R,1}(U_{R,1})$ є знаходженням для кожного з варіантів q побудови ІВК, починаючи з першого, значень $S^P(U^q)$ відповідно. Процес завершується порівнянням отриманих вартостей і визначенням такого q^* , при якому отримано мінімальну вартість мережі.

Отже, після розрахунку мінімальних значень вартості розміщення для кожного з варіантів ІВК можливо провести їх порівняння. Отриманий мінімальний за вартістю розміщення варіант визначить єдину точку в отриманій попередньо області рішень, що не поліпшуються, яка буде відповідати варіанту ІВК з мінімальними витратами на його створення, експлуатацію і розміщення на борту об’єкта ВАТ.

Приведена вище методика дає можливість оптимізувати матеріальні витрати на створення ІВК для ВАТ військового призначення. Маючи на увазі, що вартість сучасних ІВК складає за оцінками різних джерел 0,5...1 млн. у.о. [7...9], то за попередніми розрахунками при застосуванні методики синтезу, що пропонується, вартість створення ІВК знижується на 5...10%.

Висновки:

1. Задача синтезу інформаційно-вимірювальних комплексів літальних апаратів є задачею пошуку екстремуму багатокритеріальної функції.
2. Вирішення задачі визначення складу ІВК приводить до отримання області рішень, що не поліпшуються (оптимальній в сенсі Парето), до якої входять q можливих варіантів складу ІВК.
3. Отримана у результаті обчислень точка в області рішень, що не поліпшуються (оптимальній в сенсі Парето) визначає остаточний варіант ІВК. Координати даної точки отримані за рахунок порівнянь варіантів розміщення.
4. Варіант комплексу, отриманий в результаті синтезу бортових ІВК, є оптимальним за витратами на його створення, експлуатацію і розміщення на борту ЛА.
5. Методика, що запропонована у статті, є повністю формалізованою, не залежить від емпіричних процедур і може бути використана для синтезу інформаційно-вимірювальних комплексів ЛА військового призначення.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колосов В.Г., Мелехин В.Ф. Проектирование узлов и систем автоматики и вычислительной техники. - Ленинград: Энергоатомиздат, 1983, - 256 с.
2. Воронін А.М., Зіатдінов Ю.К., Козлов О.І., Чабанюк В.С. Векторна оптимізація динамічних систем. – К.: Техніка, 1999, - 284с.
3. Безпека авіації / В.П.Бабак, В.П.Харченко, В.О.Максімов та ін.; За ред. В.П.Бабака - К.: Техніка, 2004.–584с.
4. Егер С.М., Лисейцев Н.К., Самойлович О.С. Основы автоматизированного проектирования самолетов. - М.: Машиностроение, 1986, - 232с.
5. Технология самолетостроения. / Под ред. Абибова А.Л. – М.: Машиностроение, 1982, - 552с.
6. Варламов Р.Г. Компоновка радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Советское радио, 1975, - 352 с.
7. McClelland Lori A. The B-1B has arrived. Def. Electronics. №8, 1985.
8. Aviation Week and Space Technology. 2000-2009.
9. Critical weapons systems technologies noted. Military Res. Lett. 1989.

Надійшла до редакції 29.10.2010