

Зв'язок, радіотехніка, радіолокація, акустика та навігація

УДК 681.375

DOI: 10.30748/zhups.2018.56.07

Г.В. Альошин¹, О.В. Коломійцев², В.В. Посохов³, С.І. Клівець²

¹ Українська державна академія залізничного транспорту, Харків

² Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

³ Національна академія національної гвардії України, Харків

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЛАЗЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Розглянуті існуючі проблеми глобального синтезу лазерних інформаційно-вимірювальних систем на множенні структур, сигналів і технічних параметрів. Показано, що структурний і сигнальний синтез лазерних систем носить евристичний характер, а параметричний синтез – об'єктивніший. Обґрунтовані шляхи постановки і рішення задач оптимізації інформаційних і вимірювальних лазерних систем. Запропоновано новий сепарабельний метод параметричного синтезу лазерних інформаційно-вимірювальних систем і алгоритми для його вирішення. Результат рішення дозволяє використовувати його в якості «кривих обміну». Запропоновано метод зшивання результатів локальних задач оптимізації. Запропоновано метод перетворення нечіткої множини вартості у випадкову величину. Запропоновано спосіб використання «кривих обміну» для підвищення достовірності евристичного структурного або сигнального синтезу.

Ключові слова: ефективність, лазерна система, лазерна інформаційно-вимірювальна система, глобальний синтез, синтез параметрів.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасні лазерні інформаційно-вимірювальні системи (ЛІВС) дозволяють мати: стабільні еталонні частоти та широкий спектр сигналів, що забезпечує високі точності вимірювання параметрів руху (ПР) літальних апаратів (ЛА) і швидкості передачі інформації [1; 3–5].

В залежності від тактико-технічного призначення в склад лазерних систем (ЛС) входять два типи каналів – інформаційні або вимірювальні. Інформаційні канали використовувалися для зв'язку ЛС зі космічними апаратами (ЛА), а вимірювальні – для зовнішніх траєкторних вимірювань.

Також інформаційні канали можуть використовуватися разом з вимірювальними для динамічних ліній, наприклад, для систем зльоту та посадки ЛА, або для забезпечення проведення полігонних випробувань сучасних зразків ЛА. Однак розрахунки і оптимізація таких сумісних і несумісних за каналами ЛС можуть значно ускладнюватися.

Таким чином, синтез ЛІВС, яка відповідає сучасним вимогам, пов'язаний з її оптимізацією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Постановка задачі підвищення ефективності ЛІВС пов'язана з критерієм оптимальності, під яким розуміється правило, за яким за даними тактико-технічними вимогами (ТТВ) приймають рішення за показниками, які дозволяють одержати кращу ефективність. Розрізняють, при використанні вектору показників якості, умовні критерії переваги [1–2].

Для показників ЛІВС можуть використовуватися середньостатистичні оцінки або математичні очікування. Якщо статистика, що є, бідна, то використовуються «логістичні» розподіли або евристичні математичні функції приналежності, або середні статистичні оцінки. Це теж інформація, якщо немає іншої, хоча вона і не «страждає» вірогідністю. «Логістичні» криві визначають досвідчені кваліфіковані фахівці – експерти, яких не можна обвинуватити у відсутності знань та інтуїції. Така впевненість може з'явитися, якщо використовувати додаткову інформацію про показники якості системи та методи оптимізації систем, що запропоновані в [1–4].

Склад показників якості каналу ЛІВС повинен вміщувати усі суттєві показники. Якщо використовуються не всі показники, то це неповна модель якості каналу і, можливо, казати, що модель неадекватна реальному каналу, але є деяким наближенням до нього.

Найкращим наближенням до ефективності реального каналу будуть ТТВ, які вміщують показник вартості, від якого залежить можливість реалізації оптимальних рішень. Найкращим показником вартості системи може бути доступна маркетингова ціна, яка в певній мірі відображає технологію виготовлення, логістику, характеристику ринку, тощо.

Однак, вартість є нечіткою величиною. За цією причиною відомі наукові результати оптимізації ЛС [3–4] в певній мірі непридатності для використання. Але знаходження і стабільність апарату оптимізації задач і алгоритмів інваріантних до нечітких множин

вартості потрібні завжди. Це також є складовою проблеми підвищення ефективності ЛІВС.

Формулювання мети статті. Якщо метою і головною проблемою наукових розробок є підвищення ефективності ЛІВС, то вона, звичайно, вирішується на етапі її ескізного проектування з урахуванням усіх можливих досягнень у науці і техніці. Отже, необхідно розробити шляхи постановки і рішення задач оптимізації інформаційних і вимірювальних каналів ЛІВС.

Виклад основного матеріалу

1. Складність і сутність проблеми оптимізації ЛІВС.

Оптимальне рішення задачі оптимізації за умовним критерієм якості являє собою залежність вектору оптимальних технічних параметрів від допустимих показників якості з ТТВ і констант. А оптимальне значення цільової функції залежить від допустимих значень інших показників $D_1 = D_1(D_{1\text{доп}}, \dots, D_{n\text{доп}})$, де $D_{i\text{доп}}$ – допустиме значення $D_i(\vec{X})$, – «криві обміну» [2], які можна застосовувати для об'єктивного визначення структури ЛІВС, що суттєво розвине їх теорію.

При оптимізації ЛІВС потрібне і враховане подолання ряду наступних проблем, що заважають оптимальному синтезу параметрів ЛІВС:

1) різноманітність і багатофункціональність ЛІВС, які потрібні, та вага вибору єдиного адекватного критерію і повнота критерію;

2) велика розмірність вектору технічних параметрів (ТП) – «прокляття багатомірності»;

3) різноманітність умов функціонування ЛІВС;

4) наявність випадкових і нечітких параметрів та факторів;

5) оптимальний синтез ЛІВС повинен виконуватись на множинах технічних параметрів, сигналів та структур;

6) відсутність єдиного методу оптимізації ЛІВС, оскільки алгоритм рішення суттєво залежить від методу, форми показників та від постановки задач синтезу;

7) відсутність рішень багатьох задач системного аналізу для широкого парку багатофункціональних систем, тобто, задач отримання залежностей показників якості ЛІВС від її ТП, необхідних для оптимального синтезу систем;

8) необхідність виконання умов Слейтера, щоб впевнитись у тому, що множина допустимих рішень не пуста, виконання умов одноmodalності (поодинокості рішення), опуклості (впуклості), умов зходимості рішення та інших умов;

9) відсутність ідей та пропозицій для рішення задач синтезу сумісних систем, у тому числі задач оптимального та сигнального суміщення;

10) знайти зв'язок задач оптимізації з технологічністю систем і функціональних елементів;

11) подвійність рішень задач;

12) оскільки одне отримане оптимальне рішення дає мало інформації про поведінку оптимальної системи, про критичність оптимуму, про варіанти побудови, тощо, потребується широкий діапазон рішень для побудови «кривих обміну» [2], що дозволить оцінити якість систем.

2. Задачі оптимізації ЛІВС.

Після формування вектору показників якості ЛІВС за ТТВ і умов роботи системи для вибору кращого критерія оптимізації потрібно провести системний аналіз показників якості у формі їх залежності від усіх ТП. Якщо використані усі суттєві показники якості ЛІВС і їх ТП, то таку задачу оптимізації за вибраним критерієм по відношенню до показників і параметрів можна вважати глобальною. Якщо ні, то це часткова задача оптимізації при фіксованих параметрах. При неповному складі показників результат оптимізації не є адекватним реальної системі і представляє собою відповідну модель якості кращої системи.

РТС математично описуються на трьох множинах величин: структур, сигналів та параметрів. Параметри сигналів звичайно пов'язані з відповідними технічними параметрами. Структури і сигнали вибираються оптимально, але евристично експертами.

Для вимірювальних ЛС можливою оптимальним вибором методу оцінювання і структури вимірювача на основі певного алгоритму за тим же вектором показників (ТТВ), що і для оптимізації ТП. Тобто, бажана оптимізація на трьох множинах за тим же ТТВ. Але далі показана лише оптимізація (синтез) ТП для певних структур та сигналів.

3. Оптимізація параметрів однофункціональної ЛІВС.

Для ілюстрації параметричного синтезу візьмемо типову лазерну лінію зв'язку в один бік (або зворотний) каналу вимірювання ПР ЛА. Структура каналу і склад функціональних елементів (ФЕ) відомий. Різні тільки ТП, які відповідають своєму призначенню. Технічні параметри – це продукт роботи відповідних ФЕ. Розглянемо тільки енергетичний потенціал каналу ЛІВС. Процедури пошуку зв'язку можуть бути такими, як відомі [1]. Вираз для числа фотонів на виході приймальної оптики нагадує формулу радіолокації і відрізняється згасанням сигналу на трасі. Рівень сигналу (число фотоелектронів) на виході ФТД:

$$S_i = \frac{W_i \tau_i e^{-\gamma R} d^2 \prod_i T_i \prod_i T_{i, \text{ТТР}} \eta_i}{\Theta_i^2 R^2 h \nu_i},$$

де W_i – пікова потужність ЛВ; τ_i – тривалість імпульсу; e – заряд електрона; γ – повний коефіцієнт послаблення сигналу на трасі; R – максимально допустима відстань між передаючою та приймальною антенами системи (обмежена необхідним відношенням сигнал/шум); d – діаметр приймальної антени;

$\prod_i T_i$ – загальний коефіцієнт передачі суміщеної оптики передавача і приймача; $\prod_i T_{i(гp)}$ – загальний коефіцієнт передачі оптики приймача грубого (точного) прицілювання; η_i – квантовий вихід ФТД; Θ – ширина діаграми спрямованості (ДС) ЛВ приймачої грубого (точного) стеження; \hbar – постійна Планка; ν_i – частота ЛВ.

Нас інтересує потрібні для якісного прийому рівень сигналу і відношення сигнал/шум на вході терміналу, або декодеру інформаційного каналу, чи кутовому дискримінатору каналу стеження за кутом. Тобто, після ФТД працюють також підсилювачі, фільтри, перетворювачі, які доповнюють формулу рівня сигналу. Якщо нема обмежень за вартістю (ціни) ЛВС, то приймається рішення за вказаними параметрами за принципом достатності. Однак, вгадати експерту, яка буде вартість ФЕ і вибрати експертам параметри так, щоб стала меншою загальна вартість практично неможливо.

Але це може зробити знайдений алгоритм, якщо відомі залежності вартості $C_i[X_i(Y_i)]$ ФЕ від їх ТП \bar{Y} . Тоді задача параметричного синтезу системи буде мати вигляд:

$$\min_{\left\{ \begin{matrix} X_i \\ X_j \end{matrix} \right\}} D[\Delta V_\lambda] = \min \left\{ \frac{\text{const}}{\prod_{j=1}^{n_1} X_j(Y_j)} + \sum_{i=1}^{n_2} X_i^2(Y_i) \right\} + D_c; \quad (1)$$

$$\sum_{o=1}^{n_1} C_j(X_j) \leq C_{\lambda 1}, \sum_{i=1}^{n_2} C_i(X_i) \leq C_{\lambda 2}; \quad (2)$$

$$C_{\lambda 1} + C_{\lambda 2} = C_\lambda.$$

де $X_j(Y_j)$ – монотонна (сепарабельна) функція від ТП, який впливає на втрати енергії сигналу (чим вона більше, тим краще); $X_i(Y_i)$ – монотонна функція нестабільності еталонів (чим менше, тим вище точність); D_c – втрати точності за рахунок атмосфери; $D[\Delta V_\lambda]$ – дисперсія похибки вимірювань ПР ЛА; D_c – дисперсія похибки за рахунок траси; n_1, n_2 – число параметрів ФЕ j -й та i -й груп; $n = n_1 + n_2$ – число використовуваних параметрів системи; $C_j(X_j), C_i(X_i)$ – вартості ФЕ з параметрами двох груп; $C_{\lambda 1}, C_{\lambda 2}$ – допустима вартість ФЕ першої і другої груп параметрів; перша складова цільової функції є похибка стеження за рахунок шумових фотонів, а друга складова – похибка за рахунок нестабільності еталонів при цифрових вимірюваннях.

Задача (1–2) є складною тому, що залежності (2) можуть бути будь-якими і заздалегідь невідомі та ще ц нечіткі. Без конкретних обмежень (2) задачу неможливо розв'язати. Без конкретних виразів неможливо назвати кращий метод математичного програмування: лінійне, нелінійне, градієнтне першого

або другого порядку, або методи прямого пошуку. Тому алгоритм повинен задовольняти наступним вимогам: 1) бути універсальним для будь-яких виразів функцій; 2) на нього не повинна впливати багаторозмірність («прокляття багатомірності»); 3) швидко знаходитися; 4) бути простим, тощо.

Відомий своїй універсальністю метод лінеаризації всіх функцій за Вульфом, який зводить задачу до стандартних методів лінійного програмування. Однак, інші вимоги не виконуються.

Отже для конкретної цільової функції вихід є. На першому кроці задачу можна спростити, якщо в залежності (2) підставити можливо нелінійні функції $Y_i(X_i)$ і отримати $C_i(X_i)$, де X_i – фазовий параметр. Після рішення задачі і отримання оптимального значення X_i враховується ТП $Y_i(X_i)$.

Далі універсальності заважають будь-які залежності вартості ФЕ від ТП $C_i(X_i)$. Якщо вони випуклі і їх лінеаризувати в околиці будь-якого початкового плану, то рішення задачі, яке дійсне в діапазоні лінійності, можна отримати навіть в аналітичному вигляді. Але поки лише на першому кроці. Алгоритм рішення можна повторювати і наближати його до сталого значення значно швидше метода Вульфа, який задовольняє вимогам, крім вимог 2–5. Тому, запропонований новий метод сепарабельного програмування у якому лінеаризується тільки обмеження за вартістю (2) для кожної задачі, тоді:

$$q^{-1}(\bar{X}) = k_1 \frac{1}{\prod_{j=1}^{n_1} X_j}, \quad (3)$$

при $\sum_{j=1}^{n_1} [C_j(X_{0j}) + C'_j(X_{0j})(X_j - X_{0j})] = C_\lambda$

або $\sum_{j=1}^{n_1} C'_j(X_{0j})X_j = C_E,$ (4)

де $C_{E1} = C_{\lambda 1} - \sum_{i=1}^{n_1} C_{0i} + \sum_{i=1}^{n_1} C'_i(X_{0i}).$

Оскільки у цільової функції (1) була зміна ТП на фазові параметри, то і у обмеженні за вартістю теж потрібна така зміна. Це суттєво спрощує задачу.

Застосовується метод множників Лагранжа та формується функція:

$$L = \frac{k_1}{\prod_{j=1}^{n_1} X_j} + \lambda [\sum_{i=1}^{n_1} C'_i(X_{0i})X_j - C_{E1}].$$

Звідси:

$$\frac{dL}{dX_k} = -\frac{a}{X_k} + \lambda C'_k = 0$$

для $\forall k \in (1, n_1),$

де $a = \frac{k_1}{\prod_{j=1}^{n_1} X_j}.$

Оскільки приватні похідні ідентичні, то підставивши множник Лагранжа в обмеження (4), отримаємо розв'язання задачі:

$$X_{i(p)} = \frac{C_{E1}(\bar{X}_{(p-1)})}{n1C'_i(X_{i(p-1)})}, \quad (5)$$

де p – номер ітерації;

та оптимум
$$q^{-1}(\bar{X}_{opt}) = \frac{k_1 \prod_{j=1}^{n1} C'_j(X_{j(p)})}{[C_{E1}(\bar{X}_{(p)}) / n1]^{n1}}. \quad (6)$$

Тоді відношення потужності сигнал/шум ϵ :

$$q(\bar{X}_{opt}) = k_2 [C_{\epsilon 1}(\bar{X}_{opt}) / n1]^{n1},$$

де
$$k_2 = \frac{1}{k_1 \prod C'_j(X_{jopt})}.$$

На відміну від методу Вульфа у даному випадку вирішуються наступні питання:

1) розв'язання простішої задачі *будь-якого розміру в аналітичному вигляді*, користуючись сепарабельністю функцій, 2) використання достатньо простого рішення, отриманого в аналітичному вигляді (формули) у якості ітеративного рішення; 3) розв'язання остаточного рішення якщо функція зв'язку була лінійна, то це кінцеве рішення, якщо ні, то його можливо оцінити за критерієм наближеності апроксимації до початкової функції за всіма параметрами:

$$\Delta X_i \leq \frac{0,2C'_i(X_i)}{C''_i(X_i)},$$

де $C''_i(X_i)$ – друга похідна вартості;

4) для параметрів, які за областю задовільної апроксимації, треба обмежити крок до межі цієї області.

Правилом зупинки може служити критерій точності рішення:

$$X_{j(p)} - X_{j(p-1)} \leq \sigma X_{j(p-1)},$$

де p – номер кроку ітерації; σ – відносна точність рішення; j – номер параметру.

Таке рішення має наступні переваги перед відомими методами математичного програмування: 1) вирішується проблема багатомірності, 2) простіше розв'язуються задачі на умовний екстремум, але поки що при одній функції зв'язку, 3) програма стає універсальною за відношенням до будь-яких функцій зв'язку, а при повному наборі розв'язаних простіших задач вона може бути універсальною і для різних класів цільових функцій, 4) характер випуклості або впуклості впливає лише за наявності екстремуму, що потребується, 5) значення у числах використовуються тільки при ітераціях, 6) результат отриманий у вигляді алгоритму та оптимуму в аналітичному вигляді та гідний для аналізу в області задовільної апроксимації, що особливо важливо при стохастичному програмуванні для визначення дові-

рчих інтервалів, 7) технічні параметри відшукуються у вигляді зворотних функцій фазових параметрів.

Аналогічно вирішується задача мінімізації другої складової похибки вимірювань при обмеженнях на свої асигнування C_{d2} :

$$\min \sum_{i=1}^{n2} X_i^2, \quad (7)$$

при
$$C_{(i)}(\bar{X}_{(i)}) \leq C_{d2} \quad (8)$$

або
$$\sum_{i=1}^{n2} C'_i(X_{0i})X_i \leq C_{E2}; \quad (9)$$

$$C_{E2} = C_{d2} - \sum_{i=1}^{n2} [C_i(X_{0i}) - C'_i(X_{0i})X_{0i}].$$

Функція Лагранжу для задачі (7; 9) має вигляд:

$$L_2 = \sum_{i=1}^{n2} X_i^2 + \lambda_2 [C_{E2} - \sum_{i=1}^{n2} C'_i X_i].$$

З умови
$$\frac{dL_2}{dX_k} = 2X_k - \lambda_2 C'_k = 0,$$
 отримуємо значення $X_k = \lambda_2 C'_k / 2$, яке підставляємо в умову (9)

для отримання значення λ_2 . Тоді друга задача має аналітичне рішення та оптимум відповідно:

$$X_{i(r)} = \frac{C_{E2}(\bar{X}_{(r-1)})C'_i(\bar{X}_{i(r-1)})}{\sum_{i=1}^{n2} [C'_i(X_i)]^2}; \quad (10)$$

$$F_2(C_{E2}) = \frac{C_{E2}}{\sum_{i=1}^{n2} [C'_i(X_i)]^2}. \quad (11)$$

Зшити рішення двох задач (3–4) і (10–11) можливо рішенням послідовної більш простої двумірної задачі:

$$\sigma_\lambda^2 = F_1(C_{E1}) + F_2(C_{E2}); \quad (12)$$

$$C_{d1} + C_{d2} \leq C_d,$$

де допустимі значення двох груп параметрів визначаються формулами (4) і (5).

Рішення може бути отримано методом Ньютона-Рафсона у вигляді ітеративної формули. Загальне рішення виглядає наступним чином: спочатку для задачі (12) ітеративно відшукується рішення і оптимум, далі оптимальне рішення значення C_{E1} і C_{E2} підставляється в задачі (3–4 і 10–11) уточнюються їх рішення і оптимум. Після чого вирішується оптимум задачі (5–6).

Наприклад, оптимум задачі (5–6) можна знайти, при вже відомих оптимумах двох приватних задач:

$$F = \frac{A}{C_{E1}^{n1}} + \frac{C_{E2}^2}{B} \quad (13)$$

при
$$C_{E1} + C_{E2} = C_E, \quad (14)$$

де
$$A = n1^{n1} \prod_{j=1}^{n1} C'_j, B = \sum_{m=1}^{n2} (C'_m)^2.$$

Задача розв'язується за одною змінною методом підстановки. Рішення знаходиться з умови

$\frac{dF}{dC_{E1}} = 0$ в аналітичному вигляді методом Ньютона-

Рафсона з рівняння:

$$C_{E1} = C_E - \frac{D}{C_{E1}^{n_1+1}}, \text{ де } D = \frac{n_1 AB}{2}.$$

Можна вирішити задачу графічним методом, або за допомогою ітераційної формули. Можливе узагальнення задачі і для сумісної багатфункціональної, (багатоканальної) інформаційно-виміральної системи [1; 3–12]. При цьому може визначатись також січення системи, де ступінь суміщення доставляє системі оптимум. Список простіших задач, які мають аналітичні рішення, можна розширювати і узагальнювати, як це зроблено у різних задачах [1; 3–12], а також збирати у вигляді таблиць, аналогічним таблицям інтегралів.

4. *Метод перетворення нечітких множин вартості у випадкову величину.*

Перетворення нечітких множин вартості у випадкову величину потрібно для підвищення фактору достовірності і об'єктивності в результати рішень задач оптимізації. Ідея проста – знаходження кореляційних техніко-економічних зв'язків у той статистики, що є. Збір маркетингових даних часто показує, що кореляції нема. Все одно потрібна така статистика із вказанням для кожного ФЕ не тільки ціну та ТП, але і інші показники [7].

Вартість будь-якого ФЕ завжди є нечіткою множиною, тому що крім основного параметра ФЕ залежить також від інших неосновних параметрів, від умов застосування і інших факторів. Таку вартість не можливо використовувати. Таким чином, для коректної обробки техніко-ресурсної статистики необхідно наступне:

1) для кожної точки статистики у певній таблиці відображаються також інші другорядні параметри ФЕ;

2) відбраковуються явно некращі ФЕ;

3) будується лінія середньоквадратичної регресії (ЛСКР) вартості на параметр методом найменших квадратів (МНК);

4) в оптимізації беруть участь ті ФЕ, для яких є ЛСКР;

5) решта параметрів ФЕ, які не беруть участі у оптимізації, фіксуються і за розміром беруться такими же, як у ФЕ реальної ЛІВС того же призначення.

Необ'єктивність, що вважається, нечіткістю або велика дисперсія витратного або іншого ресурсного показника закладає у методику досліджень певну похибку. Для вартісного показника вона може бути суттєво зменшена, якщо діяти з урахуванням докладеного:

1) для реального синтезу ЛС брати за можливість оптову ціну функціональних елементів;

2) підходити до визначення вартості, або ціни ФЕ, однотипних ЛІВС з позицій рівноправності показників якості для умовного критерія переваги;

3) виробляти перерахунок вартості (ціни) до теперішнього часу;

4) відбраковувати за методикою, за допомогою МНК або факторного аналізу, або хоча би евристично, елементи з явно спекулятивними або демпінговими значеннями ціни, якщо часу існування демпінгових цін достатньо для комплектування оптимізованої ЛІВС;

5) відбирати функціональні елементи засобів зв'язку з приблизно однаковими з решти інших параметрів та для ЛІВС одного призначення.

Висновки

1. Критерієм якості ЛІВС може служити енергетичний потенціал лазерної лінії зв'язку в бік ЛА, який враховує вплив траси.

2. Задачі оптимального вибору або оптимізації ЛІВС на множинах структур, сигналів і параметрів повинні вирішуватись за одним вектором ТТВ.

3. Вартісний показник вносить нову якість в задачі про ефективність, тому що дає зв'язок з технологічністю ЛІВС.

4. Задачі параметричного синтезу ЛІВС носять більш об'єктивний характер чим задачі вибору структур та сигналів.

5. Алгоритми задач оптимізації однофункціональних ЛІВС можуть бути створені і без техніко-економічної статистики.

6. Алгоритми задач параметричного синтезу задовольняють вимогам універсальності, інваріантності до розмірності задачі, швидкої зходимості, простоти і володіють якостями сепарабельного і блокового програмування.

7. Новий метод математичного програмування не має недоліків, які є у інших методів і які згадані раніше. Він вирішує проблему багатомірності, зходимості, простоти, побудови кривих обміну, тощо.

8. Новий метод оптимізації систем та мереж має наступні переваги перед існуючими методами:

– проблема багатовимірності майже не впливає;

– універсальність алгоритму оптимізації для довільних сепарабельних функцій;

– ітеративний процес швидко зходиться, як і у градієнтному методі;

– рішення отримане у загальному (аналітичному) вигляді, що дозволяє одразу отримати криві обміну;

– аналітичний вигляд рішення та оптимуму дозволяє одразу бачити та прогнозувати, які виробництва і якості ЛІВС і їх ФЕ потрібно розвивати.

9. Метод оптимізації спідручний і для розв'язання багатопараметричних задач з сепарабельними функціями цілі і де функціями зв'язку є асигнування на систему, оскільки ці асигнування завжди є глобальними обмеженнями.

10. Отримати рішення складних задач блочного програмування більш просто, тому що вони зшиваються з рішень та оптимумів більш простих стандартних задач.

11. Навіть якщо отримані оптимуми складні для аналітичного системного аналізу, їх числений аналіз ефективності простіше і усі інші переваги методу зберігаються.

12. Отримані алгоритми рішень нескладно програмувати на ПЕОМ.

13. Новий метод оптимізації може використовуватись і для несепарабельних цільових функцій, якщо їх розкласти у поліноміальні ряди низьких порядків, але, при цьому, ефективність метода знижується до ефективності метода Вульфа.

14. На відміну від звичайних методів проектування ЛІВС або інших систем, де інтуїтивно назначають параметри ФЕ, пропонується використовувати усю можливу маркетингову статистику, що майже на порядок може підвищувати ефективність систем.

Список літератури

1. Алешин Г.В. Эффективность сложных радиотехнических систем / Г.В. Алешин, Ю.А. Богданов. – К., 2008. – 288 с.
2. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества / Л.С. Гуткин. – М., 1974. – 278 с.
3. Устинов Н.Д. Лазерная локация / Н.Д. Устинов. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
4. Пратт В.К. Определение оптимальных характеристик оптических систем / В.К. Пратт // Труды НИИР. – 1970. – Т. 58. – № 10. – С. 355-364.
5. Информационные технологии и системы в управлении, образовании, науке: коллективная моногр. / под ред. В.С. Пономаренко; А.В. Коломийцев и др. – Х.: Цифрова друкарня, 2013. – № 1, – 278 с.
6. Информационные системы в управлении, образовании, промышленности: коллективная моногр. / под ред. В.С. Пономаренко; Г.В. Алешин, А.В. Коломийцев и др. – Х.: Вид-во ТОВ “Щедра садиба плюс”, 2014. – 498 с.
7. Информационные технологии и защита информации в информационно-коммуникационных системах: коллективная моногр. / под ред. В.С. Пономаренко; Г.В. Алешин, А.В. Коломийцев и др. – Х.: Вид-во ТОВ “Щедра садиба плюс”, 2015. – 486 с.
8. Информационные технологии: проблемы и перспективы: коллективная монография; под ред. В.С. Пономаренко / Г.В. Алешин, А.В. Коломийцев и др. – Х.: Вид-во Рожко С.Г., 2017. – 447 с.
9. Распознавание радиолокационных целей по сигнальной информации: моногр.; под ред. Е.Л. Казакова / Е.Л. Казаков, А.Е. Казаков, Д.Г. Васильев, А.В. Коломийцев, Д.Н. Рыжов. – Х.: КП “Городская типография”, 2010. – 232 с.
10. Kudriashov V. “Experimental Evaluation of Opportunity to Improve the Resolution of the Acoustic Maps”. In: Kountchev R. and Nakamatsu K. (eds.), *New Approaches in Intelligent Image Analysis*, Intelligent Systems Reference Library 108, pp. 353-373. Springer International Publishing Switzerland 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-32192-9_11, SJR: 0.154.
11. Основы проектирования лазерных локационных систем / М.С. Малашин и др. – М.: Высшая школа, 1983 – 297 с.
12. Молебный В.В. Оптико-локационные системы / В.В. Молебный. – М.: Машиностроение, 1981 – 184 с.
13. Каумен М. Лазерная космическая связь / М. Каумен. – М.: Радио и связь, 1993 – 240 с.

References

1. Aleshin, G.V., Bogdanov, Y.A. (2008), “*Effektivnost slozhnyh radiotekhnicheskikh system*” [*Efficiency of the difficult radio-technical systems*], Kiev, 288 p.
2. Gutkin, L.S. (1974), “*Optymyzacyja radioelektronnyh ustroystv po sovokupnosti pokazateley kachestva*” [*Optimization of radio electronic devices on the aggregate of indexes of quality*], Moscow, 278 p.
3. Ustinov, N.D. (1984), “*Lasernaja lokacija*” [*Laser lokashion*], Engineer, Moscow, 272 p.
4. Pratt, V.K. (1970), “*Opredelenye optymalnyh harakterystyk opticheskikh system*” [*Determination of optimal descriptions of the optical systems*], *Trudi NIIR*, T. 58, No. 10, pp. 355-364.
5. Kolomytsev, A.V. (2013), “*Informatsionnyie tehnologii i sistemy v upravlenii, obrazovanii, nauke: kollektivnaya monografiya*”, [*Information technologies and systems in management, education, science*], Digital printing house No. 1, Kharkiv, 278 p.
6. Aleshin, G.V. and Kolomytsev, A.V. (2014), “*Informazionnie sistemi v upravlenii, obrazovanii, promishlennosti: kollektivnaya monografiya*”, [*The informative systems are in a management, education, industry*], The Generous farmstead plus, Kharkiv, 498 p.
7. Aleshin, G.V. and Kolomytsev, A.V. (2015), “*Informazionnie tehnologii i zashita informazii v snformazionno-kommunikazionnih sistemah: kollektivnaya monografiya*” [*Information technologies and priv in the of informatively-communication systems*], The Generous farmstead plus, Kharkiv, 486 p.
8. Aleshin, G.V. and Kolomytsev, A.V. (2017), “*Informatsionnyie tehnologii: problemy i perspektivy: kollektivnaya monografiya*” [*Information technology: challenges and perspectives*], Rozhko S.H., Kharkiv, 447 p.
9. Kazakov, E.L., Kazakov, A.E., Vasiliev, D.G., Kolomytsev, A.V. and Ryzhov, D.N. (2010), “*Raspoznavanie radiolokatsionnyih tseley po signalnoy informatsii: monografiya*” [*Recognition of radar targets for signaling information*], City Printing House, Kharkiv, 232 p.
10. Kudriashov, V. (2016), “*Experimental Evaluation of Opportunity to Improve the Resolution of the Acoustic Maps*”. In: Kountchev R. and Nakamatsu K. (eds.), *New Approaches in Intelligent Image Analysis*, Intelligent Systems Reference Library 108, pp. 353-373. Springer International Publishing Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-319-32192-9_11, SJR: 0.154.
11. Malashin, M.S. (1983), “*Osnovi proektirovaniya lasernih lokazionnih sistem*” [*Bases of planning of the laser lokazion's systems*], Higher school, Moscow, 297 p.
12. Molebnyi, V.V. (1981), “*Optiko-lokazionnie sistemi*” [*Optik-lokazion's systems*], Engineer, Moscow, 184 p.
13. Kaumen, M. (1993), “*Lasernaja kosmicheskaja svjaz*” [*Laser space connection*], Radio and connection, Moscow, 240 p.

Відомості про авторів:

Альошин Геннадій Васильович
доктор технічних наук професор
професор кафедри Української державної
академії залізничного транспорту,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1876-7616>

Коломійцев Олексій Володимирович
доктор технічних наук старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>

Посохов Віталій Васильович
старший викладач Національної академії
національної гвардії України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2520-3050>

Клівець Сергій Іванович
науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8109-0639>

Information about the authors:

Gennadiy Aloshin
Doctor of Technical Sciences Professor
Professor of Department of Ukrainian State
Academy of Railway Transport,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1876-7616>

Oleksii Kolomiitsev
Doctor of Technical Sciences Senior Research
Chief of Scientific Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>

Vitalij Posohov
Senior Instructor of Department of National Academy
of the National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2520-3050>

Sergii Klivets
Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8109-0639>

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛАЗЕРНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Г.В. Алешин, А.В. Коломийцев, В.В. Посохов С.И. Клевец

Рассмотрены существующие проблемы глобального синтеза лазерных информационно-измерительных систем на множествах структур, сигналов и технических параметров. Показано, что структурный и сигнальный синтез лазерных систем носит эвристический, а параметрический синтез более объективный характер. Показаны пути постановки и решения задач оптимизации информационных и измерительных лазерных систем. Предложен новый separable метод параметрического синтеза лазерных систем и алгоритмы для его решения. Результат решения позволяет использовать его в качестве «кривых обмена». Предложен метод шивания результатов локальных задач оптимизации. Предложен метод преобразования нечетких множеств стоимости в случайную величину. Предложен способ использования «кривых обмена» для повышения достоверности эвристического структурного или сигнального синтеза.

Ключевые слова: эффективность, лазерная система, информационно-измерительная система, глобальный синтез, синтез параметров.

EFFICIENCY OF THE LASER INFORMATIVELY-MEASURING SYSTEMS

G. Aloshin, O. Kolomiitsev, V. Posohov, S. Klivets

The existing problems of the global synthesis of laser information-measuring systems on sets of structures, signals and technical parameters are considered. It is shown that the structural and signal synthesis of laser systems is heuristic, and parametric synthesis is more objective. The ways of setting and solving problems of optimization of information and measuring laser systems are shown. A new separable method of parametric synthesis of laser systems and algorithms for its solution is proposed. The result of the solution makes it possible to use it as "exchange curves". A method for matching the results of local optimization problems is proposed. A method for converting fuzzy value sets into a random variable is proposed. A way of using "exchange curves" is proposed to increase the reliability of heuristic structural or signal synthesis.

The new method of optimization of the systems and networks has next advantages before existent methods: the problem of multidimensionality does not almost influence; universality of algorithm of optimization is for arbitrary separable functions; an iterative process finds a decision quickly, as well as in a gradient method; a decision is got in a general (analytical) view, that allows at once to get the curves of exchange; the analytical type of decision and optimum allows at once to see and forecast, what productions and internalss of the system and them functional elements it is needed to develop.

Unlike the ordinary methods of planning of the systems, where intuitively functional elements appoint parameters, it is suggested to use all possible marketing's statistics, that almost on an order can promote efficiency of the systems.

Keywords: efficiency, laser system, information-measuring system, global synthesis, synthesis of parameters.