

УДК 621.371.322

В.В. МЕГЕЛЬБЕЙ, С.В. КАДУБЕНКО, А.В. МЕГЕЛЬБЕЙ

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Украина

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ (ВРЕМЕННЫХ) РЕСУРСОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РЛС МЕЖДУ РЕЖИМАМИ ЕЕ РАБОТЫ

Рассмотрена задача оптимального распределения энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС между режимами ее работы. Предложен показатель эффективности распределения энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС. При помощи математического аппарата свертки частных показателей по нелинейной схеме компромиссов получено аналитическое выражение показателя эффективности распределения энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС между основными режимами работы. Сформулирована задача оптимального распределения энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС.

Ключевые слова: многофункциональная РЛС, энергетические (временные) ресурсы, коэффициент энергопотребления, оптимальное распределение энергетических (временных) ресурсов.

Введение

В настоящее время в качестве информационных средств в современных и перспективных образцах ЗРК предпочтение отдается многофункциональным РЛС (МФ РЛС) - единому радиотехническому комплексу, который совмещает функции РЛС различного назначения.

При реализации основных радиолокационных функций станции, к которым относят обнаружение, сопровождение целей и наведение ракет [1], возникает необходимость распределения ограниченных энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС между ними [1, 2]. Как правило, программы и алгоритмы функционирования МФ РЛС существующих зенитных ракетных комплексов (систем) (ЗРК (ЗРС)) закладываются в вычислительные средства на этапе проектирования [3]. Их работа рассчитана на равномерное и равнодискретное распределение энергетических (временных) ресурсов между обслуживаемыми объектами в каждом из режимов работы МФ РЛС или адаптирована к нескольким заранее определенным условиям функционирования. С целью реализации потенциальных возможностей МФ РЛС ЗРК необходимо оптимизировать процесс управления распределением энергетических (временных) ресурсов станции.

При реализации неизменного алгоритма функционирования в РЛС не учитывается изменение обстановки, что не позволяет в полной мере использовать потенциальные возможности МФ РЛС [4]. Управление распределением энергетического ресур-

са с учетом быстро меняющейся внешней обстановки даст возможность увеличить пропускную способность МФ РЛС и, как следствие, эффективность ЗРК (ЗРС) [1].

Таким образом, основной задачей при модернизации существующих многофункциональных РЛС или разработке перспективных ЗРК (ЗРС) с МФ РЛС является использование потенциальных возможностей МФ РЛС в различных условиях функционирования и, соответственно, оценка эффективности применения МФ РЛС в системах высшего порядка [3].

Целью работы является постановка задачи оптимального распределения энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС между основными режимами ее работы.

Формулирование задачи. Для постановки задачи оптимального распределения энергетических (временных) ресурсов многофункциональных РЛС при совмещении основных режимов работы необходимо рассмотреть процесс управления функционированием МФ РЛС.

Упрощенная структурная схема многоуровневой иерархической системы управления МФ РЛС [1] представлена на рис. 1.

На первом уровне системы управления решаются задачи по организации работы МФ РЛС с учетом информации об эффективности работы ее подсистем, складывающейся обстановки и команд от вышестоящих систем. На этом уровне осуществляется, в основном, ситуационное руководство функционированием МФ РЛС [1].

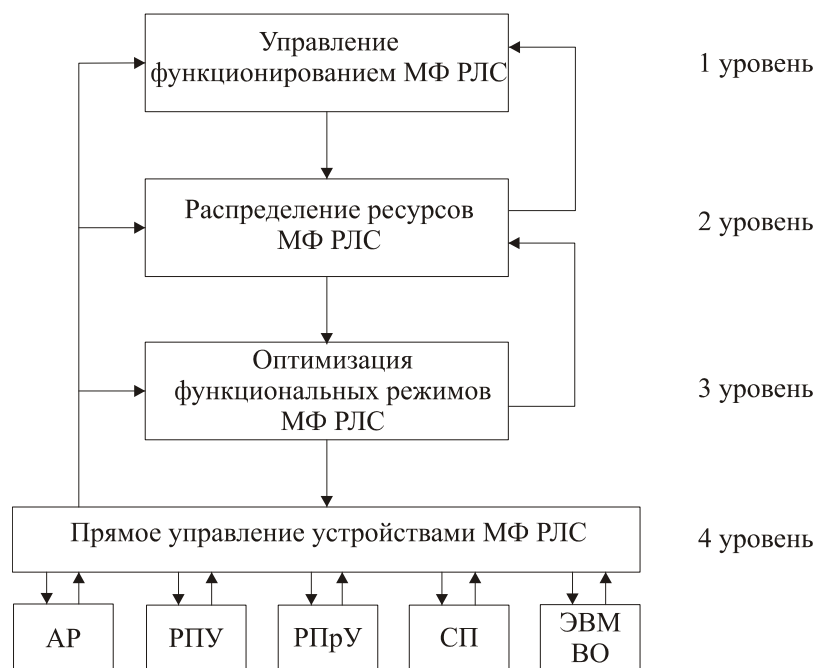


Рис. 1. Многоуровневая иерархическая система управления МФ РЛС

На втором уровне данной системы управления решается задача распределения энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС между функциональными режимами. Распределение зависит от априорных и апостериорных характеристик обстановки в рабочей зоне МФ РЛС [1]. Управление на этом уровне осуществляется путем перераспределения долей энергетических (временных) ресурсов, предназначенных на реализацию функциональных режимов МФ РЛС. Доли энергетических (временных) ресурсов характеризуются коэффициентом энергопотребления, который показывает, какая часть общего энергетического или временного ресурса МФ РЛС расходуется на выполнение η -й радиолокационной функции за цикл управления [5]:

$$\xi_{\eta} = \frac{t_{\eta}}{T} = \frac{n_{\eta}}{N_T} = \frac{E_{\eta}}{E} = \frac{S_{\eta}}{S}, \quad (1)$$

где t_{η} - время, выделяемое на реализацию η -й радиолокационной функции; T - общее время работы МФ РЛС, разделенное на S тактовых интервалов; n_{η} - количество зондирований направления, выделяемое на реализацию η -й радиолокационной функции; N_T - общее число зондирований за время T ; E_{η} - энергия МФ РЛС, выделяемая на реализацию η -й радиолокационной функции; E - общая энергия станции; S_{η} - количество тактовых интервалов, выделяемое на реализацию η -й радиолокационной функции.

Таким образом, управляемым параметром является коэффициент энергопотребления, а задача оптимального управления энергетическим и временными ресурсами МФ РЛС сводится к нахождению такого вектора управления $u(\xi_{\eta})$, $\eta = \overline{1, d}$, который бы обеспечил оптимум показателя эффективности управления.

В общем случае показатель эффективности распределения энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС оценивается по совокупности частных показателей эффективности в функциональных режимах, которые образуют d -мерный вектор

$$J^* = (J_{\eta} [\xi_{\eta}])_{\eta=1}^d \in \Theta, \quad (2)$$

где Θ - область допустимых значений частных показателей эффективности η -й радиолокационной функции. При совмещении основных режимов функционирования МФ РЛС он должен учитывать показатели эффективности каждого из режимов. Совокупность этих показателей образует функционал эффективности управления энергетическими (временными) ресурсами МФ РЛС

$$J^* = (J_o(\xi), J_c(\xi), J_n(\xi)) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $J_o(\xi), J_c(\xi), J_n(\xi)$ - частные показатели эффективности режимов обнаружения, сопровождения воздушных целей и наведения ЗУР.

Как видно из выражений (2), (3), оптимизационная задача распределения энергетического ресурса МФ РЛС является векторной. Как правило, при

решении задач векторной оптимизации не удается обеспечить оптимум одновременно для всех частных показателей, по которым оценивается эффективность управления распределением энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС. Поэтому нахождение оптимального распределения энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС сводится к поиску компромисса между решениями, оптимальными с точки зрения частных показателей [6, 7]. Таким образом, в каждом из функциональных режимов МФ РЛС для решения оптимизационной задачи необходим частный показатель эффективности распределения энергетических (временных) ресурсов, который зависит от коэффициента энергопотребления.

В режиме обнаружения целесообразно использовать показатель эффективности, предложенный в работе [5], так как он наиболее полно учитывает особенности функционирования МФ РЛС на различных этапах работы в режиме обнаружения воздушных целей и может быть, в случае необходимости, сведен к более простому виду. Для Q целей, которые обслуживаются в режиме обнаружения МФ РЛС, показатель эффективности будет иметь вид:

$$J_o(\xi) = \zeta_\pi \left(g + \sum_{q=1}^Q h_q \right), \quad (4)$$

где ζ_π - единичный коэффициент затрат энергетического ресурса; g - число разрешающих объемов, которые осмотрены МФ РЛС к моменту обнаружения цели включительно; Q - количество целей, которое обслуживает МФ РЛС в режиме обнаружения воздушных целей; h_q - сумма объемов захвата и подтверждения траектории q -й цели выраженных числом разрешающих объемов. Ограничением является энергетический (временной) ресурс, необходимый для осмотра всех разрешающих объемов зоны обнаружения МФ РЛС.

Для режимов сопровождения воздушных целей и наведения зенитных управляемых ракет (ЗУР) на цели основным требованием является точность оценки параметров движения цели и ракеты. Одними из факторов достижения требуемой точности оценки параметров движения целей и ракет являются время облучения цели и скорость обновления информации (темп локации). Гибкость управления сканированием лучом ФАР дает возможность изменения времени облучения цели и скорости обновления информации. Наблюдаемые цели могут быть сгруппированы по определенным признакам, и скорость обновления информации при решении задачи сопровождения может изменяться в зависимости от

установленных приоритетов [2]. На различных этапах наведения зенитных управляемых ракет на цели также целесообразно применять переменный темп локации. Такой подход позволяет получить определенный выигрыш энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС [8].

Кроме того, требования к точности оценки параметров движения целей или ракет отличаются для различных целей или ракет на разных этапах функционирования МФ РЛС в режимах сопровождения воздушных целей или наведения ЗУР. Таким образом, применение неравноточных и неравнодискретных измерений в режимах сопровождения воздушных целей и наведения ЗУР с учетом быстро меняющейся внешней обстановки дает возможность увеличить пропускную способность МФ РЛС и, как следствие, повысить эффективность зенитного ракетного комплекса (системы).

Известный показатель эффективности в режиме сопровождения при проведении неравноточных и неравнодискретных измерений имеет вид:

$$J_c(\xi) = \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \left[\frac{\tilde{\sigma}_{li}^2 C_{li}}{(\tilde{\sigma}_{li}^2 \xi_{ci} + C_{li})} \right], \quad (5)$$

где $\tilde{\sigma}_{ln}^2$ - дисперсия ошибки оценки l -о параметра траектории n -й цели; C_{li} - коэффициент, связывающий ошибки измерения в различных системах координат и зависящий от характеристик РЛС и цели; ξ_{ci} - коэффициент энергопотребления.

Ввиду общности требований к процессам измерений в режимах сопровождения воздушных целей и наведения ЗУР возможно использование показателя (5) для характеристики эффективности в режиме наведения ЗУР. Для режима наведения ЗУР показатель (5) примет вид:

$$J_H(\xi) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \left[\frac{\tilde{\sigma}_{jk}^2 C_{jk}}{(\tilde{\sigma}_{jk}^2 \xi_{Hk} + C_{jk})} \right], \quad (6)$$

где $\tilde{\sigma}_{jk}^2$ - дисперсия ошибки оценки j -о параметра траектории k -й ракеты; C_{jk} - коэффициент, связывающий ошибки измерения в различных системах координат и зависящий от характеристик РЛС и ракеты; ξ_{Hk} - коэффициент энергопотребления.

Для обеспечения требуемого качества выполнения радиолокационных функций по сопровождению воздушных целей и наведению ЗУР необходимо, чтобы дисперсии оценок параметров траекторий целей и ракет были не хуже требуемого, т.е.

$$\sigma_{l_i}^2 \leq \sigma_{\text{тр } l_i}^2, \sigma_{j_k}^2 \leq \sigma_{\text{тр } j_k}^2, \quad J = \sum_{i=1}^N S_i (S_i - J_i)^{-1}. \quad (7)$$

Для решения векторных задач оптимизации разработаны ряд методов, многие из которых предполагают применение эвристического подхода. Решение задачи оптимального управления энергетическими (временными) ресурсами МФ РЛС должно выполняться спецвычислителем (контроллером) в реальном масштабе времени и без участия оператора. Поэтому наиболее приемлемым для решения данной векторной задачи оптимизации является метод обобщенного показателя, который подразумевает свертывание частных показателей в одну числовую функцию.

Исходя из требования адаптации скалярной свертки частных показателей к меняющейся внешней обстановке, будем производить скалярную свертку частных показателей по нелинейной схеме компромиссов [6] в соответствии с выражением:

$$J^* = \sum_{t=1}^T \left[\frac{N}{N - \zeta_{\pi} \left(g + \sum_{q=1}^Q h_q \right)} + \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sigma_{\text{тр } l_i}^2}{\sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \left(\sigma_{\text{тр } l_i}^2 - \frac{\tilde{\sigma}_{l_i}^2 C_{l_i}}{\tilde{\sigma}_{l_i}^2 \xi_{c_i} + C_{l_i}} \right)} + \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sigma_{\text{тр } j_k}^2}{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \left(\sigma_{\text{тр } j_k}^2 - \frac{\tilde{\sigma}_{j_k}^2 C_{j_k}}{\tilde{\sigma}_{j_k}^2 \xi_{H_k} + C_{j_k}} \right)} \right]. \quad (8)$$

Решение оптимизационной задачи предполагает наличие априорной информации перед каждым циклом управления. При этом цели и ракеты движутся по детерминированным траекториям либо совершают маневр с известной интенсивностью.

Таким образом, задача оптимального управления энергетическим и временным ресурсами МФ РЛС при совмещении основных режимов работы сводится к нахождению такого вектора управления $u(\xi_o, \xi_c, \xi_n)$, который бы минимизировал целевую функцию (8) при ограничениях:

$$\begin{cases} \xi_o + \xi_c + \xi_n \leq 1; \\ N = \text{const}; \\ \sigma_{l_i}^2 \leq \sigma_{\text{тр } l_i}^2; \\ \sigma_{j_k}^2 \leq \sigma_{\text{тр } j_k}^2. \end{cases}$$

Заключение

Поставленная оптимизационная задача распределения энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС между основными режимами ее работы является векторной. Использование математического аппарата скалярной свертки по нелинейной схеме компромиссов, дает возможность получить обоб-

щущий показатель эффективности распределения энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС. Полученный показатель является функцией трех переменных и может быть оптимизирован известными методами линейного программирования.

Используя предложенную схему скалярной свертки, аналитическое выражение показателя эффективности распределения энергетических (временных) ресурсов МФ РЛС при совмещении основных режимов работы можно представить в следующем виде:

Литература

1. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация / С.З. Кузьмин. – К/: Издательство КВШ, 2000. – 428 с.
2. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
3. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
4. Решетник В.М. Проблемы управления ЗРК / В.М Решетник, М.К. Можар, И.Ю. Гришин // Наука і оборона. – 1994. – № 4. – С. 25-32.
5. Обоснование частного показателя эффективности затрат энергетического ресурса при реализации режима обнаружения воздушных целей многофункциональной РЛС зенитного ракетного комплекса / В.В. Мегельбей, С.В. Кадубенко, А.В. Мегельбей [та ін.] // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2009. – № 1(19). – С. 60-66.

6. Воронин А.Н. Многокритериальный синтез динамических систем / А.Н. Воронин – К.: Наук. думка, 1992. – 160 с.

7. Демидов Б.А. Методы военно-научных исследований. Ч. 2 / Б.А. Демидов. – Х.: ВИРТА ПВО, 1987. – 486 с.

8. Мегельбей Г.В. Розподілення енергетичного ресурсу багатofункціональної РЛС зенітного ра-

кетного комплексу при наведенні зенітних керованих ракет на цілі / Г.В. Мегельбей, С.В. Кадубенко, В.В. Мегельбей // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – Вип. 3 (15). – С. 57-60.

9. Воронин А.Н. Метод вложенных скалярных свёрток в теории многокритериальной оценки и оптимизации / А.Н. Воронин // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 5. – С. 64-38.

Поступила в редакцию 3.08.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник НИО Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков, Украина.

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ (ЧАСОВИХ) РЕСУРСІВ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ РЛС МІЖ РЕЖИМАМИ ЇЇ РОБОТИ

В.В. Мегельбей, С.В. Кадубенко, Г.В. Мегельбей

Розглянута задача оптимального розподілу енергетичних (часових) ресурсів БФ РЛС між режимами її роботи. Запропонований показник ефективності розподілу енергетичних (часових) ресурсів БФ РЛС. За допомогою математичного апарату згортки часткових показників за нелінійною схемою компромісів отримано аналітичний вираз показника ефективності розподілу енергетичних (часових) ресурсів БФ РЛС між основними режимами роботи. Сформульовано задачу оптимального розподілу енергетичних (часових) ресурсів БФ РЛС.

Ключові слова: багатofункціональна РЛС, енергетичні (часові) ресурси, коефіцієнт енергоспоживання, оптимальний розподіл енергетичних (часових) ресурсів.

THE OPTIMAL ASSIGNMENT TASK OF ENERGY (TIMING) BUDGETS OF MULTIFUNCTION RADAR BETWEEN ITS OPERATING CONDITIONS

V.V. Megelbey, S.V. Kadoubenko, A.V. Megelbey

The optimal assignment task of energy (timing) budgets of multifunction radar is considered between its operating conditions. The efficiency index of energy (timing) budgets of multifunction radar is offered. Through a mathematical apparatus compression quotient indexes on the nonlinear scheme of compromises are got analytical expression the efficiency index of energy (timing) budgets of multifunction radar between operating conditions. The optimal assignment task of energy (timing) budgets of multifunction radar is formulated.

Key words: multifunction radar, energy (timing) budgets, coefficient of energy consumption, optimal assignment of energy (timing) budgets.

Мегельбей Вячеслав Викторович – ад'юнкт науково-організаційного відділу Харківського університету Воздушних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна.

Кадубенко Станіслав Валентинович – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри Харківського університету Воздушних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна.

Мегельбей Анна Васильевна – канд. техн. наук, науковий співробітник наукового центру Воздушних Сил Харківського університету Воздушних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна.