

УДК 621.396.96

В.В. Мегельбей

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ РЛС ПРИ СУМІЩЕННІ РЕЖИМІВ ВІЯВЛЕННЯ (ДОПОШУКУ), СУПРОВОДЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ ТА НАВЕДЕННЯ РАКЕТ

В статті розглядаються принципи побудови адаптивного алгоритму управління багатофункціональною радіолокаційною станцією при суміщенні режимів виявлення (допошуку), супроводження повітряних цілей та наведення зенітних керованих ракет сучасних та перспективних багатоканальних зенітних ракетних комплексів. Підвищення пропускну здатності багатофункціональної РЛС можливо за рахунок розробки адаптивних методів управління їх функціонуванням. На основі методу оптимального управління розподілом енергетичних (часових) ресурсів багатофункціональної РЛС за критерієм мінімуму витрат енергетичних (часових) ресурсів станції при забезпеченні виконання обмежень щодо якості реалізації радіолокаційних функцій визначені основні принципи побудови адаптивного алгоритму управління роботою багатофункціональної РЛС. Адаптивний алгоритм управління покликаний зводити енергетичний (часовий) баланс багатофункціональної РЛС за різних умов функціонування з врахуванням важливості завдань, що вирішуються зенітним ракетним комплексом.

Ключові слова: багатофункціональна РЛС, енергетичні (часові) ресурси, адаптивність, метод оптимального управління розподілом енергетичних (часових) ресурсів, критерій ефективності.

Вступ

Загальна постановка проблеми. Повітряна обстановка в зоні дії засобів протиповітряної оборони характеризується наявністю великої кількості повітряних цілей, в тому числі, малопомітних, швидкісних, маневруючих, а також перешкод природного та штучного характеру. Таким чином, сьогочасні умови ведення протиповітряного бою вимагають зростання об'єму і якості радіолокаційної інформації. В сучасних і перспективних зенітних ракетних комплексах (ЗРК) багатофункціональна радіолокаційна станція (БФ РЛС) та обчислювальний комплекс складають основу інформаційної системи ЗРК. За допомогою БФ РЛС ЗРК реалізують функції виявлення, супроводження повітряних цілей та наведення зенітних керованих ракет. При реалізації цих радіолокаційних функцій за допомогою однієї БФ РЛС виникає задача управління розподілом її енергетичних (часових) ресурсів між радіолокаційними функціями, що реалізуються, в залежності від обстановки, що складається, та з врахуванням вимог до якості реалізації зазначених радіолокаційних функцій. Забезпечити підвищення пропускну здатності БФ РЛС існуючих та перспективних ЗРК можливо за рахунок розробки нових методів оптимального управління її енергетичними (часовими) ресурсами [3, 4].

Метою роботи є визначення основних принципів побудови адаптивного алгоритму управління БФ РЛС при суміщенні режимів виявлення (допошуку), супроводження повітряних цілей та наведення ЗРК для підвищення пропускну здатності БФ РЛС.

Викладення матеріалів дослідження

Основним принципом при побудові системи управління БФ РЛС є ієрархічність, що дозволяє розділити багатомірну задачу управління на окремі складові [1]. На першому рівні системи управління вирішуються завдання по організації роботи БФ РЛС з врахуванням інформації про ефективність роботи її підсистем, обстановки, що складається, і команд від вищестоящих систем. На цьому рівні здійснюється, в основному, ситуаційне керівництво функціонуванням МФ РЛС [1].

На другому рівні цієї системи управління вирішується завдання розподілу енергетичних (часових) ресурсів МФ РЛС між функціональними режимами. Розподіл залежить від апріорних і апостеріорних характеристик обстановки в робочій зоні МФ РЛС [1].

На третьому рівні системи управління БФ РЛС вирішується задача оптимального розподілу виділених на другому рівні долі ресурсів в кожному з функціональних режимів.

На нижньому рівні, четвертому, оптимізується управління параметрами БФ РЛС и систем первинної обробки інформації.

Управління ресурсами БФ РЛС на другому рівні виконується шляхом перерозподілу часток енергетичних (часових) ресурсів БФ РЛС між радіолокаційними функціями, що реалізуються [1]. Частки енергетичних (часових) ресурсів характеризуються коефіцієнтом енергоспоживання ξ_n , який показує, яка частина загального енергетичного або часового

ресурсу БФ РЛС витрачається на виконання η -ої радіолокаційної функції за цикл управління [2-4]:

$$\xi_{\eta} = \frac{t_{\eta}}{T_{\text{ц}}} = \frac{k_{\eta}}{K}, \quad (1)$$

де t_{η} - час, що виділяється для реалізації η -ї радіолокаційної функції в циклі управління роботою БФ РЛС; $T_{\text{ц}}$ - тривалість циклу управління БФ РЛС, поділена на K тактових інтервалів; k_{η} - кількість тактових інтервалів, що виділяється для реалізації η -ї радіолокаційної функції в циклі управління роботою БФ РЛС.

Виходячи з цього та використовуючи підхід, запропонований в [2], був отриманий аналітичний вираз для часткового показника ефективності управління енергетичними (часовими) ресурсами в режимі виявлення (допошуку):

$$J_o^{(n+1)} = \zeta_{(n+1)} \times \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^Q k_q^{[m]} \left[U_+ \left(p_q^{[m]} \right) - U_+ \left(p^* - p_q^{[m]} \right) \right], \quad (2)$$

де $\zeta_{(n+1)}$ - одиничний коефіцієнт енергоспоживання, $\zeta_{(n+1)} = \frac{\tau}{T_{\text{ц}}^{(n+1)}}$; τ - тривалість тактового інтервалу; $T_{\text{ц}}^{(n+1)}$ - тривалість наступного $(n+1)$ циклу управління; $m = \overline{1, M}$ - кількість цілевказувань, за якими необхідно провести допошук цілей в наступному $(n+1)$ циклі управління; $q = \overline{1, Q}$ - кількість об'ємів розрізнення, які необхідно оглянути за даними m -о цілевказування в наступному циклі управління; $k_q^{[m]}$ - одиничний вектор розмірності $1 \times Q$; $U_+(\cdot)$ - ступінчаста функція; $p_q^{[m]}$ - апіорна ймовірність знаходження цілі в q -у об'ємі розрізнення за даними m -о цілевказування в наступному циклі управління; p^* - поріг для значення апіорної ймовірності знаходження цілі в q -у об'ємі розрізнення за даними m -о цілевказування у наступному циклі управління.

В режимі супроводження повітряних цілей частковий показник ефективності управління енергетичними (часовими) ресурсами може бути отриманий шляхом математичних перетворень коефіцієнту енергоспоживання (1) з метою виразу його через параметри функціонування багатофункціональної радіолокаційної станції

В результаті отримаємо аналітичний вираз для часткового показника ефективності управління ене-

ргетичними (часовими) ресурсами в режимі супроводження повітряних цілей:

$$J_c^{(n+1)} = \tau \sum_{i=1}^I \frac{1}{T_i^{[c]}}, \quad (3)$$

де $i = \overline{1, I}$ - кількість цілей, що необхідно супроводжувати в $(n+1)$ циклі управління; $T_i^{[c]}$ - період локації i -ї цілі, що супроводжується.

При наведені ЗКР задачі щодо супроводження ракети ідентичні задачам, що вирішуються під час супроводження повітряних цілей. Тому, залишаючи незмінним процес управління ракетою (формування команд управління та передача їх на борт ракети), для процесу супроводження ЗКР частковий показник ефективності управління енергетичними (часовими) ресурсами може бути отриманий аналогічно до показника (3):

$$J_n^{(n+1)} = \tau \sum_{g=1}^G \frac{1}{T_g^{[n]}}, \quad (4)$$

де $g = \overline{1, G}$ - кількість ЗКР, що наводиться в $(n+1)$ циклі управління; $T_g^{[n]}$ - період локації g -ї ЗКР, що наводиться.

Таким чином, отримані часткові показники ефективності управління енергетичними (часовими) ресурсами в функціональних режимах БФ РЛС дозволяють визначити частки енергетичних (часових) ресурсів, що необхідні для реалізації відповідних режимів роботи БФ РЛС в наступному циклі управління.

В якості параметрів управління доцільно вибрати наступні:

- поріг для значення апіорної ймовірності знаходження цілі в q -у об'ємі розрізнення за даними m -о цілевказування в наступному циклі управління - p^* ;

- період локації i -ї цілі, що супроводжується - $T_i^{[c]}$;

- період локації g -ї ЗКР, що наводиться - $T_g^{[n]}$.

Сукупність цих параметрів являє собою вектор управління: $u = \left\| p^*, T_i^{[c]}, T_g^{[n]} \right\|$.

Для вибраних параметрів управління були визначені обмеження, що визначаються необхідною точністю супроводження повітряних цілей та наведення ЗКР:

$$T_{i(g)}^{[c(n)]} < \sqrt{\frac{\sigma_{\Phi, \text{пт}}^2 - \sigma_{\Phi, n|n}^2}{\sigma_{\Phi, n|n}^2}}, \quad (5)$$

де $\sigma_{\varphi, \text{пт}}^2$ - дисперсія помилок, що вимагається, екстраполяції параметрів траєкторій цілей, що перебувають на супроводженні; $\sigma_{\varphi, \text{n|n}}^2$ - дисперсія помилок оцінювання координат цілей, що супроводжуються $\varphi \in \{x, y, z\}$; $\sigma_{\dot{\varphi}, \text{n|n}}^2$ - дисперсія помилок оцінювання прирощення координат цілей, що супроводжуються $\dot{\varphi} \in \{\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}\}$.

Крім того накладаються обмеження на процес управління розподілом енергетичних (часових) ресурсів БФ РЛС ЗРК:

- обмеження на максимальне значення часткового показника ефективності управління енергетичними (часовими) ресурсами в функціональних режимах:

$$D = \{J_{\eta}(\cdot) \mid 0 \leq J_{\eta}(\cdot) \leq S_{\eta}, \eta \in [1, 3]\}; \quad (6)$$

- обмеження на сумарні витрати енергетичних (часових) ресурсів БФ РЛС ЗРК:

$$J_0^{(n+1)} + J_c^{(n+1)} + J_n^{(n+1)} \leq 1. \quad (7)$$

Одним з можливих підходів до вирішення багатокритеріальної задачі оптимального управління є метод узагальненого показника, який передбачає згортання часткових показників в одну числову функцію з послідовним відшукуванням точок екстремумів цієї функції [5, 6].

В [5] запропонований підхід до формування узагальненого показника ефективності управління розподілом енергетичних (часових) ресурсів БФ РЛС при суміщенні режимів її роботи з використанням схеми нелінійних компромісів.

Узагальнений критерій ефективності J^* з урахуванням часткових показників ефективності реалізації зазначених радіолокаційних функцій має вигляд:

$$J^* = \left[\begin{aligned} & \frac{S_o}{S_o - \zeta_{(n+1)} \times} + \\ & \times \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^Q k_q^{[m]} \left[\begin{aligned} & U_+(p_q^{[m]}) - \\ & -U_+(p^* - p_q^{[m]}) \end{aligned} \right] \\ & + \frac{S_c}{S_c - \tau_{\text{ТИ}} \sum_{i=1}^I \frac{1}{T_i^{[c]}}} + \\ & + \frac{S_n}{S_n - \tau_{\text{ТИ}} \sum_{g=1}^G \frac{1}{T_i^{[n]}}} \end{aligned} \right] \rightarrow \min, \quad (8)$$

де S_o , S_c , S_n - обмеження зверху на значення часткових показників в режимах виявлення (допошуку), супроводження повітряних цілей і наведенні ЗРК відповідно.

Таким чином, пошук оптимального управління розподілом енергетичних (часових) ресурсів БФ РЛС при суміщенні режимів її роботи здійснюється за критерієм мінімуму витрат енергетичних (часових) ресурсів станції при забезпеченні виконання обмежень (5) - (7).

Вирішення задачі пошуку оптимального управління розподілом енергетичних (часових) ресурсів БФ РЛС передбачається виконувати за допомогою спеціалізованої цифрової обчислювальної машини в реальному масштабі часу, тому для пошуку мінімуму цільової функції (8) доцільно використовувати числові методи.

Одним з можливих числових методів пошуку екстремумів функцій є метод дуального програмування, за допомогою якого можливо знайти глобальний екстремум функції багатьох змінних, при цьому він потребує меншу кількість ітерацій у порівнянні з іншими відомими методами [7].

Адекватне реагування системи управління на зміни в цільовій обстановці в зоні дії ЗРК вимагає розробки спеціальних поведінкових процедур, які б дозволили їм адекватно реагувати на ті або інші зміни.

Така взаємодія передбачає створення моделей доцільної, нормативної і ситуативної поведінки, а також розробку методів багаторівневого планування і корекції планів в динамічних ситуаціях.

Такі моделі повинні передбачати алгоритми встановлення пріоритетів функціональних режимів БФ РЛС та пріоритетів в кожному режимі (відповідно другий та третій рівень системи управління).

В алгоритмах управління роботою БФ РЛС повинні бути передбачені правила прийняття рішень щодо перерозподілу обмеження зверху на значення часткових показників в режимах виявлення (допошуку), супроводження повітряних цілей і наведенні ЗРК S_o , S_c , S_n в залежності від ситуації, коли витрати ресурсів більші ніж передбачені розподілом.

Такі варіанти можливо заздалегідь прорахувати та зберігати у базі даних.

Висновок

Таким чином, серед основних принципів побудови алгоритмів адаптивного управління роботою БФ РЛС ЗРК слід виділити ієрархічність побудови системи управління, принцип зміни стратегії управління в залежності від апостеріорних даних про цільову обстановку, отриманих у попередніх циклах управління.

В управлінні роботою БФ РЛС повинні передбачатися алгоритми встановлення пріоритетів функціональних режимів БФ РЛС та пріоритетів в кожному режимі. Варіанти роботи БФ РЛС (різні варіанти суміщення режимів пошуку, супроводження повітряних цілей та наведення ЗРК) та набір можливих ситуацій доцільно заздалегідь прорахувати та зберігати в базі даних обчислювальних засобів БФ РЛС.

Перспективним напрямком створення системи управління функціонуванням БФ РЛС є використання алгоритмів штучного інтелекту. Необхідною умовою створення таких алгоритмів є наявність відповідних баз знань, що ґрунтуються на навчаючих наборах даних та (або) нечітких правилах.

Складання таких баз даних є основним напрямком досліджень використання алгоритмів на основі штучного інтелекту у системі керування БФ РЛС ЗРК.

Список літератури

1. Кузьмин С.З. *Цифровая радиолокация* / С.З. Кузьмин – Кю: Изд-во КВЦ, 2000. – 428 с
2. Галака О.І. *Основні тенденції розвитку та ймовірні форми воєн і збройних конфліктів майбутнього* / О.І. Галака, О.А. Ільяшов, Ю.М. Павлюк // *Наука і оборона*. – 2007. – № 4. – С. 15-23.

3. Мегельбей В.В. *Обоснование частного показателя эффективности затрат энергетического ресурса при реализации режима обнаружения воздушных целей многофункциональной РЛС зенитного ракетного комплекса* / В.В. Мегельбей, Г.В. Мегельбей, С.В. Кадубенко, Д.О. Смольяков // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – Х.: ХУ ПС, 2009. – Вып. 1(19). – С. 60-66.

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. Пискунов С.Н. *Оптимальное распределение энергетических ресурсов многофункциональной РЛС между функциональными режимами* / С.Н. Пискунов, О.Л. Смирнов, В.М. Решетник, Е.В. Титова // *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*. – Х: ХГТУРЭ. – 1998. – Вып. 107. – С. 42-45.

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

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

8. Воронин А.Н. *Сложные технические и эргатические системы: методы исследования* / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, А.В. Харченко. – Х.: Факт, 1997. – 210 с.

Надійшла до редколегії 2.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. О.Г. Толстолузька, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна. Харків.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РЛС ПРИ СОВМЕЩЕНИИ РЕЖИМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ (ДОПОИСКА), СОПРОВОЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ И НАВЕДЕНИЯ РАКЕТ

В.В. Мегельбей

В статье рассматриваются принципы построения адаптивного алгоритма управления многофункциональной радиолокационной станцией при совмещении режимов обнаружения (допоиска), сопровождения воздушных целей и наведения зенитных управляемых ракет современных и перспективных многоканальных зенитных ракетных комплексов. Повышение пропускной способности многофункциональной РЛС возможно за счет разработки адаптивных методов управления их функционированием. На основе метода оптимального управления распределением энергетических (временных) ресурсов многофункциональной РЛС по критерию минимума затрат энергетических (временных) ресурсов станции при обеспечении выполнения ограничений относительно качества реализации радиолокационных функций определены основные принципы построения адаптивного алгоритма управления работой многофункциональной РЛС. Адаптивный алгоритм управления призван сводить энергетический (временной) баланс многофункциональной РЛС при разных условиях функционирования с учетом важности заданий, которые решаются зенитным ракетным комплексом.

Ключевые слова: многофункциональная РЛС, энергетические (временные) ресурсы, адаптивность, метод оптимального управления распределением энергетических (временных) ресурсов, критерии эффективности.

THE AUFBAU PRINCIPLES OF ADAPTIVE ALGORITHM PRINCIPLES OF MANAGEMENT BY WORK ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES MULTIFUNCTION RADAR BETWEEN ITS OPERATING CONDITIONS

V.V. Megelbey

In the article principles of construction of adaptive algorithm of management are examined by the multifunction radio-location station at combination of the modes of discovery, accompaniment of air aims and aiming of the missile of modern and perspective multichannel anti-aircraft missile complexes. Increase of carrying capacity multifunction radar maybe due to development of adaptive methods of management their functioning. On the basis of method of optimal management by allocation of power (timing) resources multifunction radar on the criterion of a minimum of expenses of power (timing) resources of the station at providing of implementation of limitations in relation to quality of realization of radio-location functions basic principles of construction of adaptive algorithm of management are certain by work multifunction radar. The adaptive algorithm of management is called to strike the power (timing) balance multifunction radar at different terms functioning taking into account importance of tasks that decide a anti-aircraft missile complex.

Keywords: multifunction radar, energy (timing) budgets, coefficient of energy consumption, adaptivity, optimal assignment of energy (timing) budgets.