

СИНТЕЗ ТОПОЛОГИИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ

С.О. Бурлаков, д-р техн. наук, профессор

В.К. Снежко, канд. техн. наук, доцент

С.А. Якушенко, канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотр. НИЦ

В.Е. Егрушев, канд. техн. наук, доцент

С.С. Веркин, канд. техн. наук, преподаватель

В.В. Антонов, преподаватель

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

(Россия, г. Санкт-Петербург)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-1-1-15-18

Аннотация. В работе рассмотрено комплексное использование спутниковых радионавигационных систем и опорных станций на летательных аппаратах, что позволяет повысить точность определения местоположения мобильных объектов. При построении топологии локальной радионавигационных систем определено положение опорных станций, с учетом вероятности минимального воздействия помех на них, варьируя защитным ресурсом подсистемы позиционирования (энергетическим, частотным, сигнальным и пространственным) при выполнении остальных требований.

Ключевые слова: радионавигационные системы, опорные станции, интегрированные системы навигации, воздействие помех, синтез топологии.

Важной особенностью интегрированной системы навигации, связи (ИСНС) является комплексное использование спутниковых радионавигационных систем (РНС) и опорных станций (ОС) на летательных аппаратах, что позволяет повысить точность определения местоположения мобильных объектов. С точки зрения функционирования в условиях воздействия помех, отличительной особенностью интегрированных систем является использование однонаправленных измерительных линий [2, 4]. Воздействие помех различной структуры на измерительные линии может привести к существенному снижению показателей качества функционирования системы.

Физическая постановка задачи. При построении топологии локальной РНС необходимо так расположить в пространстве опорные станции, чтобы вероятность воздействия помех на них была минимальной, варьируя защитным ресурсом подсистемы позиционирования (энергетическим, частотным, сигнальным и пространственным) при выполнении остальных требований. Предположим, что ОС создают локальное радионавигационное поле на тер-

ритории размером axb для обслуживания различных по приоритету мобильных объектов. Поэтому каждая ОС характеризуется вектором весов $A = \{A_i\}$, $i = 1, \dots, S'$, определяющих их важность, причем $S' \in S$. Опорные станции взаимосвязаны обменом навигационной информацией и территориями (зонами) обслуживания α_{ij} .

Рассмотрим наихудший случай помеховой обстановки – постановку организованных помех по входу опорной станции. Возможности вскрытия места размещения ОС заданы матрицей $\|p_{\text{вскр } i}\|_{RS'}$ (R – средства местоопределения ОС по элементам РНС в результате решения задачи выбора оптимальной стратегии), а возможность подавления радионавигационных линий заданы матрицей $\|p_{\text{пн } i}\|_{VS'}$.

Необходимо определить местоположение ОС и их количество в сети РНС, т.е. синтезировать топологию локальной РНС таким образом, чтобы обеспечить максимальную устойчивость её функционирования в смысле помехозащищенности при выполнении остальных требований (доступности, точности определения координат, зоны обслуживания).

Содержательная постановка задачи. Требуется определить матрицу назначения координат ОС (x, y, h) РНС доставля-

ющую максимальное значение целевой функции.

$$P_{зац} \left(S(x^o, y^o, h^o) \right) = \max_{\substack{\rho, \omega, \varepsilon \\ \{x, y, h\}}} \sum_{i=1}^{S'} A_i \left\{ 1 - \prod_{r=1}^R \left[1 - \alpha_{ji} \left(p_{вскр\ r\ i} (x, y, h) \right)^{\rho_r} \left(1 - \prod_{b=1}^B \left(p_{возд\ b\ i} (x, y, h) \right)^{\omega_b} \left(1 - \prod_{m=1}^M q_{ин(b)m}^{\varepsilon_{in(b)m}} \right) \right) \right] \right\}, \quad (1)$$

при следующих ограничениях и условиях:

$$\begin{aligned} 0 < p_{вскр\ r\ i} (x, y, h) < 1; 0 < p_{возд\ b\ i} (x, y, h) < 1; 0 < q_{ин(b)i} < 1; 0 < A_i < 1; \\ \sum_{j=1}^S \rho_{ji} = 1; \sum_{j=1}^S \omega_{bi} = 1; \sum_{j=1}^S \varepsilon_{ин(b)i} = 1; i, j = \overline{1, S'}; m = \overline{1, M}; r = \overline{1, R}; b = \overline{1, B}; \quad (2) \\ M < S'; R < S'; B < S', \sigma \leq \sigma_{тр}; p_d \geq p_{д\ тр}, \end{aligned}$$

где (x, y, h) – возможные координаты точек размещения элементов РНС; (x^o, y^o, h^o) – оптимальные координаты проекции точек размещения ОС; $p_{вскр\ r\ i} (x, y, h)$

– вероятность вскрытия i -ой ОС с координатами (x, y, h) r -ым средством постановки помех при условии его назначения на эту станцию, т.е. при $\rho_{ji} = 1$; $p_{возд\ b\ i} (x, y, h)$ – вероятность нанесения ущерба i -ой ОС с координатами (x, y, h) b -ым средством постановки помех ($p_{пр\ bi} \vee p_{оп\ bi}$) при условии его назначения на этот элемент, т.е. при $\omega_{bi} = 1$; $q_{ин(b)i}$ – вероятность защиты i -го элемента РНС m - ресурсом защиты (энергетическим, частотным, сигнальным, пространственным и т.п.) при использовании r -го средства местоопределения ОС и b -го средства воздействия и при условии назначения данного ресурса защиты, т.е. при $\varepsilon_{ин(b)i} = 1$; $A = \{A_i\}$, $i = \overline{1, S'}$ – важность ОС в системе; σ – точность определения координат; p_d – доступность абонентов к системе.

Метод и алгоритм решения задачи. Задача поиска координат для развертывания ОС носит оптимизационный характер, и может быть решена одним из известных методов оптимизации [5]. Так как система действий поиска строго предопределяется сложившейся ситуацией, определяемой группировкой средств воздействия и ресурсом средств для развертывания ОС

РНС, то алгоритм поиска носит регулярный (детерминированный) характер. Это значит, что в одинаковых ситуациях система действий будет также одинакова в противоположность случайным процессам (алгоритмам), которые допускают неодинаковую систему действий в тождественных ситуациях.

Методами решения таких задач являются: метод сканирования; метод поочередного изменения параметров (Гауса-Зейделя); метод тяжёлого шарика; градиентный метод; метод наискорейшего спуска и метод сканирования.

Анализ целевой функции показывает, что она относится к классу аддитивных целочисленных функций с ограничениями смешанного типа. Варьируемыми параметрами целевой функции являются вероятностные характеристики источника помех, а также пространственные, частотные, энергетические и сигнальные ресурсы защиты сети. Значение вероятностей, в свою очередь, зависят от энергетических соотношений как на измерительных радиоприемниках, так и на линии постановки помех для заданных координат (x, y, h) .

Кроме того, значение целевой функции определяется весом элементов РНС. Тогда в результате поиска оптимального местоположения ОС - изменения координат (x, y, h) , значение целевой функции будет изменяться то в большую, то в меньшую сторону в зависимости от воздействия, защитных ресурсов и т.п. Следовательно, целевая функция относится к классу нелинейных, выпук-

лых аддитивных функций с условной оптимизацией целочисленного типа.

В этом случае приемлемым методом ее решения является метод сканирования, т.к. целевая функция имеет сложную зависимость от изменяемых параметров (пространственных, энергетических, весовых). Кроме того, метод сканирования не накладывает никаких ограничений на вид целевой функции.

Суть метода заключается в определении и сравнении значений целевой функции во всех узлах сетки как показано на рисунке 1.

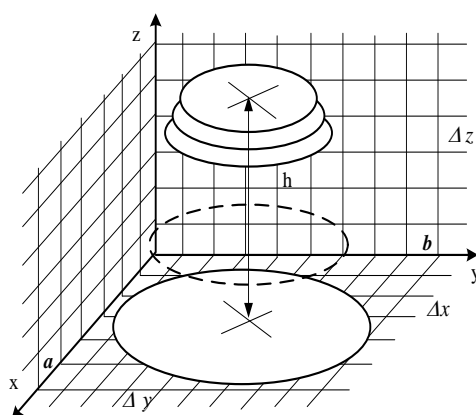


Рис. 1. Пояснение метода сканирования

В результате поиска определяются координаты оптимального, с точки зрения помехозащищенности местоположения ОС. Поиск координат опорных станций РНС продолжается до тех пор, пока будет существовать область поиска или весь выделенный ресурс ОС не будет израсходо-

Расчет обычно начинается с левого верхнего узла и слева направо, снизу вверх, в зависимости от того, какая переменная меняется во внутреннем цикле ($x_i + \Delta x$; $y_i + \Delta y$) затем осуществляется сканирование по вертикали $h_i + \Delta h$ в пределах допустимых значений. Алгоритм метода сканирования для данного случая приведен на рисунке 2.

Точность решения задачи методом сканирования зависит от величины шага сканирования ($\Delta x, \Delta y, \Delta h$). Причем уменьшение шага приводит к квадратичному увеличению числа расчетных процедур.

ван при выполнении требований к РНС по точности (геометрическому фактору) и доступности (рабочей зоны позиционирования). Для этого цикл поиска в заданной области повторяется, причем район, «обслуженный» первой ОС, из области поиска исключается.

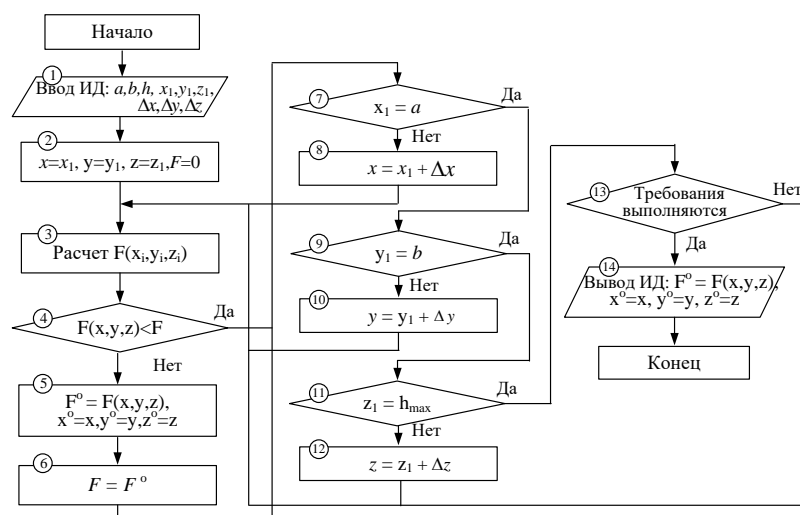


Рис. 2. Алгоритм метода сканирования

В результате второго цикла поиска определяется местоположение второй по оптимальности ОС и т.д.

При завершении поиска будет найдено минимальное количество ОС, задействованных в РНС. Сеть с полученной топологией будет иметь максимальную помехозащищенность и непрерывное радионавигационное поле на заданной территории, обеспечивающее требуемую точность позиционирования. Методики оценки точности, геометрического фактора, рабочей зоны и доступности изложены в [1, 3, 4].

Достоинством данного метода является простота и возможность точного получе-

ния оптимального решения. Однако увеличение размерности задачи (рабочей зоны позиционирования и шага сканирования) и количества ОС приводит к значительному росту объема вычислений. Тем не менее, такой подход является предпочтительнее в случае выбора топологии РНС, поскольку множество возможных вариантов ограничено геометрическим фактором и методом позиционирования. Точность метода целиком и полностью определяется корректностью выбора исходных данных, полнотой множества вариантов структуры РНС и шагом сканирования.

Библиографический список

1. Роджерс К. Укладки и покрытия. – М.: Мир, 1968. – 132 с.
2. Роль радионавигационных систем при управлении подвижными объектами // Радиотехника. – 1996. – №1. – С. 60-65.
3. Снежко В.К., Прасько Г.А. О рабочих зонах позиционирования в сетях сухопутной подвижной радиосвязи // Технологии и средства связи. – 2008. – №4.
4. Снежко В.К., Якушенко С.А. Военные интегрированные системы навигации, связи и управления – ВАС. – Санкт-Петербург, 2013. – 456 с.
5. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. – Киев: Наук. Думка, 1986. – 268 с.

SYNTHESIS OF THE TOPOLOGY OF THE INTEGRATED NAVIGATION AND COMMUNICATION SYSTEM FUNCTIONING IN THE CONDITIONS OF INFLUENCE

S.O. Burlakov, *Doctor of Technical Sciences, Professor*

V.C. Snezhko, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

S.A. Yakushenko, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of National Research Center*

V.E. Egrushev, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

S.S. Verkin, *Candidate of Technical Sciences, Lecturer*

V.V. Antonov, *Lecturer*

Military Academy of Communications. Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (Russia, St. Petersburg)

Abstract. *The paper considers the integrated use of satellite radio navigation systems and reference stations on aircraft, which makes it possible to improve the accuracy of determining the location of mobile objects. When constructing the topology of local radio navigation systems, the position of reference stations was determined, taking into account the probability of minimal interference on them, varying the protective resource of the positioning subsystem (energy, frequency, signal and spatial) while meeting the remaining requirements.*

Keywords: *radio navigation systems, reference stations, integrated navigation systems, interference effects, topology synthesis.*