

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СРЕДСТВА НА МЕСТНОСТИ

Д.Ю. Свистунов

(Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков)

Статья посвящена формализации задачи оптимизации пространственного размещения радиолокационного средства на местности на основе комплексного анализа цифровой картографической информации.

многокритериальная оптимизация, местность, пространственное размещение средства радиолокации, позиция, рельеф

Постановка проблемы. Решение задачи оптимизации пространственного размещения на местности позиции радиолокационного средства связано с необходимостью учета следующих факторов:

- множество возможных вариантов выбора является пространственно – распределенной структурой;
- отсутствуют математические модели, связывающие значения показателей свойств местности места дислокации РЛС;
- необходимо учитывать свойства, не поддающиеся количественной оценке;
- многоаспектность задачи выбора района позиции и, следовательно, понятия качества системы.

Учитывая изложенное, в качестве метода выбора целесообразно использовать метод оценки и сравнения возможных вариантов размещения РЛС по совокупности показателей их свойств.

Спецификой оценки системы вариантов по совокупности показателей является ее относительный характер. Такая оценка может быть использована только для сравнения и выбора наилучшего в некотором смысле варианта. Используемая в настоящее время в РТВ методика выбора позиции [1], не отвечает современным требованиям малого времени обоснования решения на смену позиции. Кроме того, осуществляемый соответственно с действующей методикой выбор позиции не является решением оптимизационной задачи с точки зрения обеспечения необходимых параметров зоны обнаружения и требований к позиции.

Анализ последних исследований и публикаций. В общем случае задача выбора позиции РЛС зависит от многих факторов и ее можно от-

нести к классу векторных задач оптимизации. В векторной задаче оптимизации можно выделить три последовательных этапа сужения исходного множества решений: сужение исходного множества решений до множества допустимых решений; сужение множества допустимых решений до множества эффективных решений; выбор единственного решения из множества эффективных решений [2].

В рассматриваемой оптимизационной задаче выбора позиции допустимыми позициями будут являться те, которые удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. Этап поиска допустимых решений включает анализ морфометрических свойств рельефа района выбора позиции, а также проверку соответствия выбираемых позиций установленной системе ограничений.

Выбор эффективного решения при выборе позиции сводится к поиску позиций, при размещении на которых наиболее полно могут быть реализованы боевые возможности подразделений и ТТХ РЛС. Вопрос отыскания таких позиций наиболее важен, так как именно от степени реализации боевых возможностей зависит успешное выполнение задачи.

Целью статьи является формализация задачи выбора позиции РЛС на местности – разработка математического аппарата для оптимизации пространственного размещения РЛС как элемента системы радиолокационной разведки на основе комплексного учета свойств местности.

Изложение основного материала. Задача оптимизации пространственного размещения РЛС на местности может быть сформулирована в виде поиска координат позиции, для которых достигается максимум нелинейной целевой функции – обобщенного показателя эффективности размещения $Q(x, y)$ при следующей системе ограничений:

– значения коэффициентов реализации пространственных показателей боевых возможностей подразделения $K_{рпв_i}(x, y)$ не должны быть меньше допустимых значений $K_{рпв_доп\ i}$;

– РЛС не может быть развернута на участках местности, для которых не выполняются требованиям к позиции;

– позиция не может быть выбрана на тех участках местности, для которых отсутствует возможность развертывания РЛС (населенный пункт, объекты гидрографии, занятая противником территория и т.п.);

– время решения оптимизационной задачи $t_{реш}$ не должно превышать допустимое $T_{доп}$ для обеспечения возможности практического использования результатов моделирования к заданному сроку или в ритме работы органов управления [3].

Таким образом, задачу поиска рациональной позиции математически можно представить в следующем виде:

$$Q(x, y) = \sum_{i=1}^m r_i K_{рпв\ i}(x, y) \rightarrow \max,$$

$$\begin{cases} K_{рпв\ i}(x, y) \geq K_{рпв\ доп\ i}; \\ P_i(x, y) \geq P_{доп\ i}; \\ (x, y) \notin \Omega_{запр}; \\ t_{реш} \leq T_{доп}. \end{cases} \quad (1)$$

Второе и третье из сформулированных выше ограничений в общем случае можно рассматривать как нелинейные функции пространственных координат.

Сформулированная задача является, по сути, задачей нелинейного программирования и обладает рядом следующих особенностей, без учета которых ее решение не сможет привести к желаемому результату, либо время решения задачи будет недопустимо велико.

1. Вычисление целевой функции для одной точки стояния РЛС по методике составляет единицы секунд. Расчеты показывают, что при использовании "полнопереборных" алгоритмов [4] время решения задачи для участка местности 100 км² (1776889 точек регулярной сети с шагом 75 метров) может составить более 20 суток. Поэтому, в целях сокращения времени на проведение расчетов количество вычислений целевой функции желательно свести к минимуму.

2. Поскольку для вычисления значений целевой функции используются высоты рельефа района выбора позиции, целевая функция, вычисленная в каждой точки района выбора позиции, представляет собой многоэкстремальную функцию, зависящую от двух аргументов – географических координат земной поверхности. Следовательно, при решении задачи оптимизации необходимо обеспечить нахождение глобального экстремума целевой функции.

3. Значения целевой функции в значительной степени определяются параметрами зон обнаружения РЛС, размещенных на конкретных позициях. Параметры зон обнаружения, в свою очередь, зависят от рельефа земной поверхности, причем, в большинстве случаев оптимальная с точки зрения площади зоны обнаружения РЛС позиция будет находиться в районе одной из господствующих высот.

4. Учет ограничений в соответствии с предъявляемыми к позиции требованиями, изложенными в формуляре на соответствующий образец радиолокационного вооружения, связан с необходимостью расчета показателей $P_i(x, y)$, отражающих существенные для выбора позиции факторы

(углы закрытия, углы уклона позиций и т.п.). Показатели $P_1(x,y)$ являются пространственно распределенными функциями – показателями пригодности позиций к размещению на них РЛС и могут быть получены путем соответствующих преобразований функции высот рельефа.

Решение сформулированной задачи поиска экстремума нелинейной целевой функции и содержащей нелинейные ограничения может основываться на подходе, связанном с преобразованием задачи нелинейного программирования в эквивалентную ей последовательность задач безусловной оптимизации [5].

Приемлемое время решения задачи поиска экстремума целевой функции может быть обеспечено путем проведения двухэтапной процедуры выбора позиции – предварительного и окончательного.

На предварительном этапе, который может проводиться до начала ведения боевых действий, целесообразно осуществлять оценку показателей, обладающих большим интервалом временной стационарности. Такими показателями могут быть функции $P_1(x,y)$, полученные на основе преобразований функции высот рельефа района выбора позиции.

На окончательном этапе целесообразно оценивать лишь показатели реализации пространственных параметров РЛП, учитывающие направления удара и тактику применения СВН. Исходные данные для расчета таких показателей (требуемые рубежи выдачи РЛИ, требуемые зоны информации, сектора ответственности и т.п.) должны задаваться непосредственно перед или в ходе ведения боевых действий.

Можно выделить два основных подхода к проведению этапа предварительного выбора. Первый подход предполагает проведение предварительного расчета и последующее хранение параметров зон обнаружения РЛС для каждой из возможных позиций. Такому подходу присущи такие недостатки:

- при проведении предварительного расчета параметров зоны обнаружения РЛС сложно учесть влияние таких внешних факторов, как наличие постановщиков помех. Направление действия, количество и спектральную плотность мощности постановщиков помех в конкретном воздушном ударе предугадать практически невозможно, и для каждого варианта налета потребуется проводить пересчет параметров зоны обнаружения;

- зона обнаружения является объемным телом сложной формы, она не может быть в полной мере описана одним числом. Хранение параметров сечений зон для всего диапазона высот и направлений вероятного действия противника для всех возможных позиций может потребовать недопустимо большой объем дискового пространства ПЭВМ;

- параметры зоны обнаружения определяются как характеристиками позиции, так и ТТХ РЛС, поэтому предварительный расчет зон необходимо осуществлять для всего парка радиолокационной техники РТВ.

Второй подход может быть связан с предварительной оценкой факторов, определяющих параметры зоны обнаружения, но стационарных во времени и являющихся характеристиками только позиции. Следует заметить, что для учета сформулированных выше ограничений существенные для выбора позиции факторы в любом случае должны оцениваться. Поэтому именно этот подход целесообразно использовать для проведения предварительного этапа выбора позиции. Поскольку существенных для выбора позиции факторов несколько, и все они характеризуют качество позиции, имеет смысл перейти от совокупности показателей к одной интегральной характеристике качества позиции – обобщенному показателю пригодности позиции к размещению на ней РЛС.

Физический смысл обобщенного показателя пригодности – функция предпочтения, определяющая степень пригодности позиций для размещения РЛС. Значения функции целесообразно распределять в диапазоне от нуля до единицы. Нулевое значение соответствует тем точкам местности, для которых требования к позиции не выполняются, единица – лучшей либо лучшим позициям, для которых показатели пригодности максимальны. Аргументами функции являются географические координаты точек района выбора позиции. Использование введенной функции предпочтения позволяет осуществлять предварительный выбор лучших позиций из множества допустимых. На рис. 1 представлен вид обобщенного показателя пригодности для участка земной поверхности – района выбора позиции, изображенного на рис. 2.

Поскольку показатель пригодности косвенно характеризует зону обнаружения РЛС, аргументы, в которых достигаются экстремумы функции, можно использовать в качестве начальных условий для расчета целевой функции, что позволит существенно сократить количество итераций при нахождении ее экстремумов и учесть тем самым первую особенность задачи.

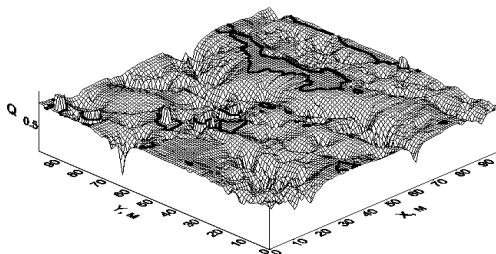


Рис. 1. Вид обобщенного показателя пригодности

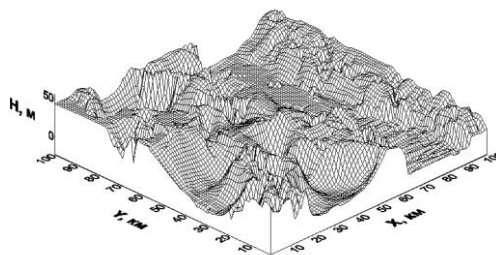


Рис. 2. Цифровая модель рельефа района выбора позиции

Таким образом, на предварительном этапе потребуется сформировать обобщенную функцию предпочтения от показателей $P(x,y)$ и найти ее экстремумы. Поскольку рельеф задан узлами регулярной прямоугольной сети точек, показатель пригодности, так же как и функция рельефа, не является гладкой функцией, для которой вычисление производных не представляется возможным. Следовательно, сформулированная подзадача принадлежит к классу задач безусловной максимизации негладких функций многих переменных. Решения подобного класса задач может быть получено либо на основе методов, в которых поиск осуществляется на основе сопоставления значений функции в пробных точках, либо на основе метода Нелдера и Мида (деформируемого многогранника) [5]. В работах [5, 6] показано, что использование методов с сопоставлением значений функции неэффективно, поэтому для нахождения экстремумов функции предпочтения $H(x,y)$ воспользуемся методом деформируемого многогранника, т.е.

$$H(x, y) = f(P_1(x, y)) \rightarrow \max . \quad (2)$$

Экстремумы многоэкстремальной функции предпочтения предлагается находить путем расчета интервала корреляции значений функции для всей области определения, разбиения области определения функции на подобласти с радиусом, равным радиусу корреляции и нахождения экстремума функции для каждой подобласти. Такая процедура позволяет модифицировать метод случайного поиска, который наиболее распространен для решения подобных задач поиска всех экстремумов функции.

Окончательный этап сводится к нахождению глобального экстремума целевой функции, используя в качестве начальных условий множество координат точек, полученных на предварительном этапе. Задача максимизации нелинейной целевой функции с нелинейными ограничениями $Q(x,y)$ может быть приведена к задаче безусловной максимизации функции выигрыша $Q_U(x,y)$ путем применения методов штрафных функций. В дальнейших расчетах при проведении оптимизации использовалась квадратичная штрафная функция. Целевая функция второго этапа оптимизации может быть представлена следующим соотношением:

$$Q_U(x, y, \rho) = Q(x, y) + \frac{\rho}{2} \hat{c}(x, y)^T \hat{c}(x, y) \rightarrow \max , \quad (3)$$

где $\hat{c}(x, y)$ – вектор нарушенных в точках с координатами (x, y) ограничений; ρ – параметр штрафа.

Модельная схема решения негладких задач с ограничениями состоит в выполнении итерационных процедур решения безусловной подзадачи методом деформируемого многогранника и процедур увеличения либо уменьшения параметра штрафа.

Таким образом, для решения задачи оптимизации размещения радиолокационного средства на местности потребуются:

- формализовать факторы, существенные для выбора позиции;
- сформировать обобщенный показатель пригодности позиции и найти его экстремумы;
- задавая в качестве начальных условий экстремумы показателя пригодности, найти экстремумы показателя эффективности размещения РЛС на местности;
- из найденных экстремумов выбрать глобальный.

Выводы. В статье предложен математический аппарат для решения задачи оптимизации пространственного размещения РЛС на местности. Изложенный подход позволяет учесть один из недостатков существующей методики выбора позиции – отсутствие количественного оценивания вариантов размещения радиолокационных средств. Решение указанной задачи сравнения осуществлялось командиром. Между тем приведение вариантов размещения в сопоставимый вид является одним из ключевых моментов сравнительного анализа, способным оказать влияние не только на количественные, но и на качественные результаты сравнения.

Предложенный вариант решения задачи выбора рациональных позиций позволяет учесть ряд специфических особенностей, которые заключаются в необходимости комплексного оценивания местности для размещения позиций радиолокационных средств, а также в необходимости оценивания радиолокационного обеспечения, осуществляемого в интересах нескольких потребителей РЛИ одновременно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указания РТВ ПВО по выбору позиции радиолокационного подразделения. – Воениздат, 1982. – 80 с.
2. Демидов Б.А. Теория и методы военно-научных исследований вооружения и военной техники. – Х.: ВИРТА ПВО, 1990. – 558 с.
3. Городнов В.П. Моделирование боевых действий частей, соединений и объединений войск ПВО: Учебное пособие. – Х.: ВИРТА ПВО, 1987. – 380 с.
4. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 416 с.
5. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 536 с.
6. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 509 с.

Поступила 1.03.2006

Рецензент: доктор военных наук, профессор И.О.Кириченко,
Национальный университет внутренних дел, Харьков.