

УДК 621. 396. 96

## ПЕРСПЕКТИВНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МНОГОПОЗИЦИОННАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-КОГЕРЕНТНАЯ (РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ) ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЯ ПОТОКА ОБЪЕКТОВ

**Н.И. Матюхин**

*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, г. Харьков, 61077, пл. Свободы, 4.*  
Поступила в редакцию 5 апреля 2011 г.

Рассматривается возможность создания радиоголографической информационной системы для решения проблемных задач современной и перспективной радиолокации и построения на её примере системной теории радиолокации. Необходимость решение проблемных задач радиолокации приводит к определению путей её развития, а необходимость решения основной проблемной задачи радиолокационной системотехники – разработки системной теории радиолокации – приводит к определению путей развития формального языка для описания состояния и поведения сложной системы. Они, в свою очередь, приводят к необходимости повышения системных показателей качества системы, особенно при наблюдении потока объектов в условиях сильного противодействия, и к необходимости создания самой информационной системы нового поколения. Рассматривается технический облик такой системы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радиоголография, многопозиционная пространственно-когерентная система, динамическая конфликтная ситуация.

Розглядається можливість створення радіоголографічної інформаційної системи для вирішення проблемних завдань сучасної і перспективної радіолокації і побудови на її прикладі системної теорії радіолокації. Необхідність вирішення проблемних завдань радіолокації приводить до визначення шляхів її розвитку, а необхідність рішення основної проблемної задачі системотехніки радіолокації - розробки системної теорії радіолокації - приводить до визначення шляхів розвитку формальної мови для опису стану і поведінки складної системи. Вони, у свою чергу, приводять до необхідності підвищення системних показників якості системи, особливо при спостереженні потоку об'єктів в умовах сильної протидії, і до необхідності створення самої інформаційної системи нового покоління. Розглядається технічний вигляд такої системи.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** радіоголографія, багатопозиційна просторово-когерентна система, динамічна конфліктна ситуація.

Possibility of creation of the radioholographic informative system is shown for the decision of problem tasks of modern and perspective radio-location and construction on its example of system theory of radio-location. The decision of problem tasks of radio-location brings a necessity over to determination of ways of its development, and a necessity of decision of basic problem task of radio-location systems engineering is developments system the theory of radio-location - results in determination of ways of development of formal language for description of the state and conduct of the difficult system. They, in same queue, result in the necessity of increase of system indexes of quality of the system, especially at the supervision of stream of objects in the conditions of strong counteraction, and to the necessity of creation of the most informative system of new generation. The technical look of such system is examined.

**KEYWORDS:** radioholography, multiposition spatially-coherent system, dynamic conflict situation.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Радиолокационная системотехника (РЛСТ) является направлением системных исследований, в котором изучаются вопросы развития, проектирования и совершенствования локаторов на целостном уровне. Основу РЛСТ составляет системная теория радиолокации (СТРЛ) и многомерная системная математическая модель (ММ СММ), в которой описываются закономерности создания и поведения систем. В интересах общности системная теория строится на примере наиболее сложной и перспективной системы. Поэтому вопросы развития системы и её описания при системном проектировании тесно связаны между собою и исследуются одновременно. В современной и перспективной радиолокации (РЛ) известны проблемные задачи (ПЗ), которые не решаются с помощью существующих локаторов и локаторов ближайшей пкрспективы (наблюдение больших потоков объектов в условиях сильного противодействия, получение радиоголографического изображения объектов и корпусов источников помех и др.). Автором предложены возможные пути развития радиолокации – построение динамических (адаптивных) и радиоголографических информационных систем. В РЛСТ известны ПЗ, которые связаны с построением системной теории радиолокации – определение понятия состояния системы, отыскание уравнений состояния и динамики, состоавление идеализированных моделей состояния и игрового поведения, разработка системного формального языка для описания системы и решения задач полного системного описания – синтеза, анализа, управления и взаимодействия. Автором предложены возможные пути развития РЛСТ – построение имитационной

модели состояния и решения задачи синтеза, построение имитационной модели поведения и решения задачи управления, построение игровой имитационной модели и решение задачи взаимодействия в форме дифференциальной игры «наблюдение-противодействие», объединение нескольких нетрадиционных для радиолокации разделов математики для описания типовых подсистем (однофункциональных, многофункциональных и многолинейных). Выбранные пути развития РЛ и РЛСТ позволяют решить их проблемные задачи и обеспечить существенное повышение системных показателей качества – быстродействие, информативность, помехозащищенность, управляемость, живучесть и др.

Целью статьи является: определение технического облика перспективной информационной системы, способной наблюдать потоки объектов в условиях сильного противодействия.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**Технический облик радиолографической информационной системы.** В развитии радиолокации условно можно выделить пять этапов (поколений локаторов): 1) с зеркальными антеннами; 2) с большими щелевыми антеннами и фазоманипулированным (ФМ) сигналом; 3) многофункциональные (МФ) с фазированной антенной решеткой (ФАР); 4) со сплошной крупноапертурной (КА) антенной; 5) с сильно разреженно сверхкрупноапертурной (СКА) антенной (рис. 1). Локаторы 4 и 5 поколения работают в дифракционной зоне Френеля, требуют голографической обработки волнового поля. Локатор 5 поколения представляет собой многопозиционную пространственно-когерентную или радиолографическую систему. Радиолография основана на использовании свойства пространственной когерентности сигнала и регистрации его

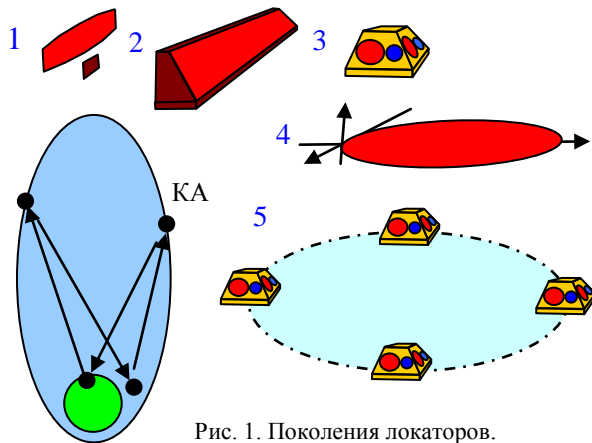


Рис. 1. Поколения локаторов.

амплитуды и фазы в разнесенных точках приема. Это в свою очередь определяет особенности построения голографических локаторов - большое число (10-30) когерентно-объединенных антенных позиций и его особые свойства – большая энергия зондирующего сигнала и высокое пространственное разрешение. Большое число антенных позиций (высокая стоимость) и их автономная синхронизация определяют основную трудность создания радиолографических систем, хотя принципиальных ограничений при этом не существует. Разработанные в настоящее время методы объединения сигналов, зарегистрированных на отдельных позициях, предусматривают, что позиции расположены в одной плоскости (регистрация плоской радиолограммы). На самом деле они распределены в пространстве и удалены друг от друга на большие расстояния ((10-10<sup>5</sup>) м). Поэтому второй трудностью, также не принципиального характера, является юстировка общей антенной системы. С технической точки зрения радиолографические системы привлекательны еще и тем, что позволяют создать единый антенный ресурс на прием и передачу, из которого формируются элементарные локаторы, выполняющие отдельные радиолокационные операции (обнаружение траекторий – всего порядка 15). Это важно при наблюдении объектов в условиях сильного противодействия, так как представляется возможным сконцентрировать ограниченный ресурс на поочередном выполнении отдельных операций по каждому наблюдаемому объекту. На примере радиолографической системы удобно строить системную теорию радиолокации, так как такая система может выполнять все известные и новые радиолокационные операции. Поэтому радиолографические системы определяют ближайшее будущее радиолокации.

Автором предложено исследовать возможности создания, так называемой, «большой» радиолографической системы (рис. 2), которая служит модельным примером для построения системной теории радиолокации. Она также является базовой системой для разработки 17 модельных примеров построения радиолографических систем на основе применения среднеапертурных (СА) ( $L=(10^2-10^3)\lambda$ ,  $L$ - размер апертуры,  $\lambda$ - длина волны), крупноапертурных ( $L=(10^4-10^5)\lambda$ ) и сверхкрупноапертурных ( $L=(10^6-10^7)\lambda$ ) антенн. К числу радиолографических систем, создаваемых на основе СКА антенн, относятся: многопозиционная пространственно-когерентная система, объединяющая существующие локаторы (рис. 3), система метрового диапазона, создаваемая на базе существующего локатора и трех концентрических кольцевых антенн (рис. 4). К числу радиолографических систем, создаваемых на основе применения КА антенн, можно отнести кооперативную радиолографическую систему с расположением антенных модулей (позиций) на летательных аппаратах (рис. 8), системы наземно-космического базирования (рис. 1) и др. К числу радиолографических систем, создаваемых на основе применения СА сферических антенн относятся бортовые системы: обзорная (вместо системы АВАКС) (рис. 9), для предотвращения столкновения самолетов в аэропорту (рис. 6); для предотвращения столкновения летательного аппарата с внезапно появляющимся объектом (рис. 5); аэродромная для «слепой» посадки самолета (рис. 7) и др.

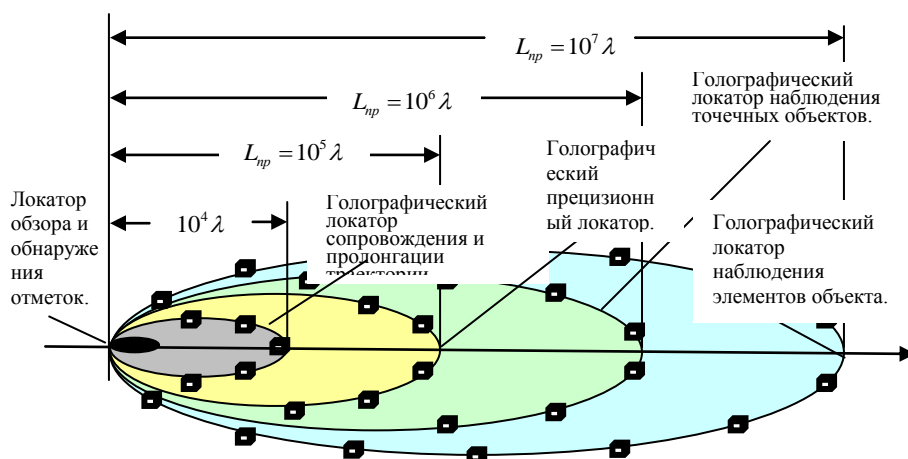


Рис. 2. Многопозиционная пространственно когерентная радиоголографическая информационная система («Большая» РГ ИС)

**Пространственное разрешение.** Пространственное разрешение объектов определяется выражением:  $\delta l_{\xi,\eta} = \lambda R / L$ ,  $l = \{\xi, \eta\}$ ,  $\xi, \eta$  - линейные пространственные координаты в картинной

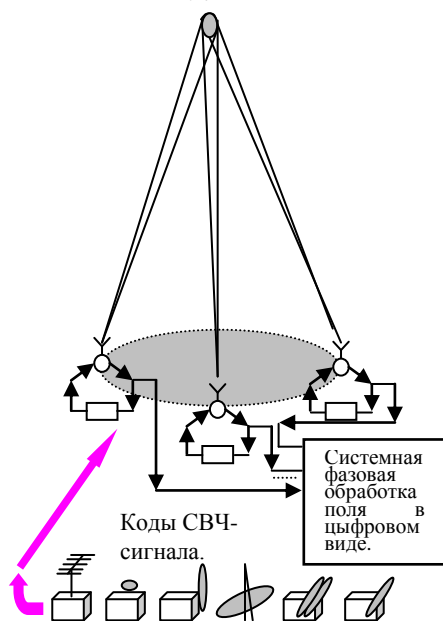


Рис. 3. Многочастотная, многопозиционная пространственно-когерентная (радиоголографическая) система, создаваемая на базе существующих локаторов.

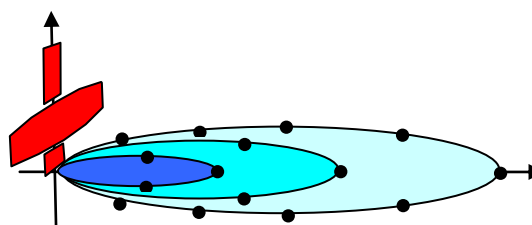


Рис. 4. Радиоголографическая система метрового диапазона, создаваемая на базе существующего локатора и трех кольцевых антенн.

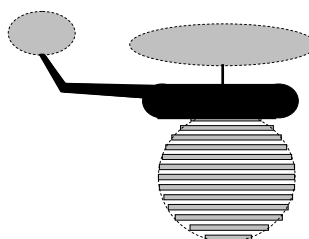


Рис. 5. Бортовая радиоголографическая система со сферической антенной, создаваемая для предотвращения летательного аппарата с внезапно появляющимися объектами.

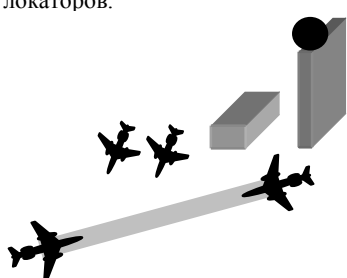


Рис. 6. Аэродромная радиоголографическая система для предотвращения столкновения самолетов.

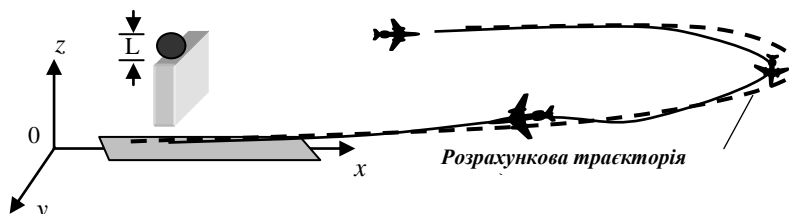


Рис. 7. Радиоголографическая система со сферической антенной для автоматической посадки самолета в условиях отсутствия видимости (вместо системы «Глиссада»).

плоскости. Разрешение по дальности определяется формулой  $\delta R = \delta l \cdot 2R / L$ . Разрешение по дальности может быть либо равно разрешению по пространству (при  $2R / L = 1$ ), либо отличаться от него (рис. 10). Поэтому необходимо применять либо короткие сигналы, либо сложные сигналы (ЛЧМ, ФМ), либо

создавать многочастотную и многопозиционную систему одновременно и складывать одновременно временные и пространственные гармоники. В этом случае достигается предельно возможная или потенциальная разрешающая способность по трем координатам порядка длины волны независимо от дальности.

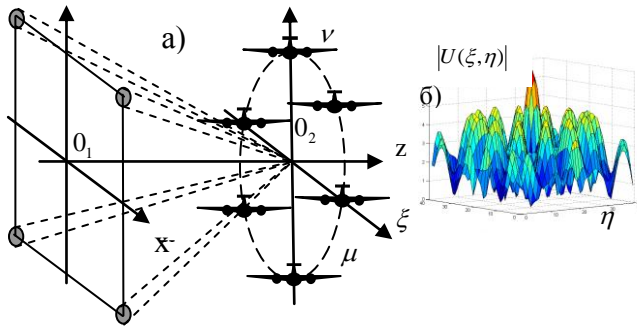


Рис. 8. Бортовая кооперативная радиолографическая система (а). Диаграмма направленности общей КА антенны (б).

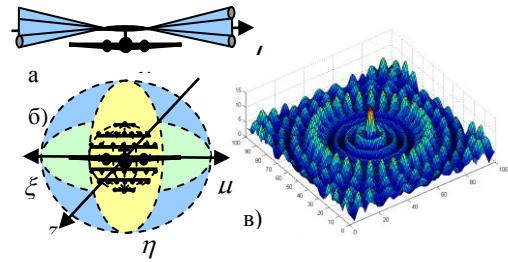


Рис. 9. Существующая обзорная система, создаваемая на основе применения линзы Лунеберга (а), и предлагаемая бортовая радиолографическая система дальнего действия, создаваемая на основе приложения сферической антенны (б). Диаграмма направленности антенны (в).

**Быстродействие.** Рассмотрим на эвристическом уровне зависимость производительности системы от обобщенных системных параметров локатора – пространственного разрешения и энергии зондирующего сигнала. В теории обнаружения сигналов и измерения их параметров известно выражение для среднеквадратической ошибки измерения времени прихода принятого сигнала:  $\sigma_\tau = \tau_u / \sqrt{(P_c / P_n)\pi}$ , где  $\tau_u$  - длительность импульса,  $P_c / P_n$  - отношение сигнал/помеха. Это выражение можно обобщить и применить также для эвристической оценки точности измерения пространственных координат  $(\xi, \eta)$  и доплеровской добавки ( $f_{доп}$ ). Тогда получим  $\sigma_\ell = \delta\ell / \sqrt{(P_c / P_n)\pi}$ ,  $\delta\ell = \{\delta\ell_\xi, \delta\ell_\eta, \tau_u, f_{доп}\}$ . Интуитивно ясно, что время выполнения радиолокационных операций ( $T_{опер,\ell}$ ), связанных с построением траектории объекта по пространственным координатам, дальности и доплеровской добавки пропорционально среднеквадратической ошибке измерения соответствующей координаты -  $T_{опер,\ell} \approx \sigma_\ell$ . Тогда выражение для производительности системы (плотности потока обслуженных объектов) при выполнении радиолокационной операции будет иметь вид  $\Lambda_{опер,\ell} = 1 / \sigma_\ell$ . Для координаты дальности она определяется выражением  $\Lambda_{опер,\tau_u} \approx L_{пр} L_{нд} \sqrt{\mathcal{E}_{зонд}} / \tau_u \lambda R^2$ , а для пространственной координаты -  $\Lambda_{опер,\xi} \approx L_{пр} L_{нд} \sqrt{\mathcal{E}_{зонд}} / \delta\ell_\xi \lambda R^2$ , где  $L_{пр} L_{нд}$  - размеры апертуры на прием и передачу,  $\mathcal{E}_{зонд}$  - энергия зондирующего сигнала.

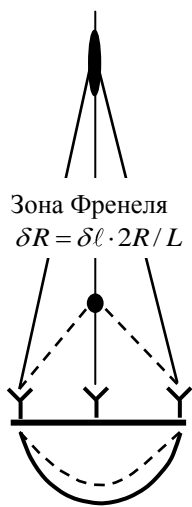


Рис. 10. Разрешение по угловым координатам и дальности в радиолографическом локаторе.

**Управляемость.** Покажем, что радиолографическая система обладает наибольшим числом управляемых параметров. К числу важных требований, которые предъявляются к перспективной информационной системе, относится её управляемость по всем системным параметрам. Это объясняется тем, что современные системы дальнего обнаружения и многофункциональные локаторы, а также рассматриваемые радиолографические локаторы являются сложными и дорогостоящими системами. Возможны следующие варианты количественного отношения ресурсов информационной системы  $R_{ИС}(t)$  и внешней среды  $R_{вн.сп}(t)$ . Если  $R_{ИС}(t) > R_{вн.сп}(t)$  для каждого текущего момента времени ( $t$ ), то все наблюдаемые объекты будут полностью обслужены (выполнены порядка 15 радиолокационных операций – обнаружение траекторий и др.). В последнее время хорошо развиты теории отдельных устройств, выполняющих отдельные радиолокационные операции. Поэтому можно построить систему любой сложности, не исследуя возможности построения системной теории радиолокации и не решая проблему управления состоянием системы. Однако, её создание будет невозможным по критерию отношения эффективность/стоимость. В теории игр одну из сторон, участвующую в конфликте и не управляющую своим состоянием, поскольку её ресурс является избыточным, называют стороной с неразумным поведением (неразумным противником). Если  $R_{ИС}(t) < R_{вн.сп}(t)$ , то не все объекты будут обслужены. Однако, управляемая система способна сконцентрировать свой ресурс во времени и в пространстве и обслужить большее число объектов, чем не

управляемая система. Если система согласована с внешней средой по её среднему ресурсу  $R_{ИС}(t) \approx \overline{R_{вн.сп}}(t)$ , то в отдельные моменты времени система будет перегружена, а в другие – простаивать. Таким образом, теория должна позволить для каждого момента времени согласовать текущий ресурс системы с изменяющимся ресурсом внешней среды, то есть должно выполняться равенство  $R_{ИС}(t) = R_{вн.сп}(t)$ . По этой причине проблема развития (согласования ресурса с внешней средой) и управления тесно связаны между собою и должны рассматриваться одновременно. Радиологические системы обладают наибольшим числом управляемых системных параметров по сравнению с существующими классами локаторов. Так, в голографическом локаторе управляемыми системными параметрами являются: размеры апертуры антенны на передачу и прием по углу места и азимуту; плотность потока мощности на передающей антенне; набор излучаемых частот; ширина спектров гладкого и сложного сигналов; вертикальная и горизонтальная составляющие вектора поляризации; набор частот опорных колебаний; дальность до наблюдаемого объекта; координаты антенных позиций; координаты наблюдаемого объекта и др.

### ВЫВОДЫ

1. В современной и перспективной радиолокации известны проблемные задачи, которые не решаются с помощью существующих локаторов и локаторов ближайшей перспективы. К ним относятся: наблюдение больших потоков объектов в условиях сильного противодействия; наблюдение одиночных объектов в условиях жесткого ограничения временного ресурса, что характерно для локаторов малой дальности; получение радиологического (РГ) изображения объектов и источников помех и др.
2. Основной задачей любого локатора является определение местоположения наблюдаемого объекта и его отражающих элементов («блестящих точек») во времени и в пространстве. Качество решения этой задачи определяют три обобщенных системных параметра: пространственное разрешение, энергия зондирующего сигнала и время выполнения радиолокационных операций. Третий обобщенный системный параметр – время выполнения радиолокационных операций в работе рассматривается впервые.
3. Обобщенные системные параметры определяют системную функцию неопределенности, пути развития радиолокации, технический облик системы и её системные показатели качества (текущие ТТХ).
4. Необходимость решения проблемных задач современной и перспективной радиолокации приводит к необходимости существенного повышения системных показателей качества – быстродействие, информативность, помехозащищенность, управляемость, живучесть и др.
5. Основными путями развития современной и перспективной радиолокации являются: существенное увеличение пространственного разрешения и построение динамической (адаптивной) системы. Это приводит к построению многопозиционной пространственно-когерентной системы и управлению её состоянием.
6. Радиологическая информационная система предусматривает существенное увеличение размеров апертуры на передачу и прием, а по соображениям стоимости она должна быть управляемой.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матюхин Н.И. Системная теория динамических радиологических информационных систем наблюдения потока объектов в ситуациях конфликта / Н.И. Матюхин. – Харьков: - ХНУ имени Каразина В.Н., 2007. – 417 с.
2. Сафронов Г.С. Введение в радиолографию / Г.С. Сафронов, А.П. Сафронова. - М.: Сов. радио, 1973. - 287 с.