

УДК 621.396.96

МЕЖОБЗОРНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ДИСКРЕТНЫХ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ С ФОРМИРОВАНИЕМ КАРТЫ ПОМЕХ И НАКОПЛЕНИЕМ РЕШЕНИЙ

А.С. СОЛОНАР, С.А. ГОРШКОВ, П.А. ХМАРСКИЙ, А.М. ВАШКЕВИЧ

*Военная академия Республики Беларусь
Независимости, 220, Минск, 220057, Беларусь*

Поступила в редакцию 25 ноября 2014

Рассмотрен метод межобзорной селекции движущихся целей на фоне дискретных мешающих отражений с формированием карты помех и накоплением решений. Проведен сопоставительный анализ коэффициентов подавления одной карты помех с накоплением решений с двумя совмещенными картами помех для различных условий наблюдения.

Ключевые слова: дискретные мешающие отражения, селекция движущихся целей, компенсация, карта помех.

Введение и постановка задачи

Важной проблемой, возникающей при автоматизации процесса радиолокационного наблюдения в РЛС кругового обзора, является сложность выделения (селекции) радиолокационных отметок истинных целей на фоне ложных, называемых дискретными мешающими отражениями [1–3]. Дискретные мешающие отражения относятся к классу имитирующих помех. Они являются остатками компенсации мешающих отражений от объемно или поверхностно распределенных отражателей, сосредоточенных местных предметов или локальных неоднородностей атмосферы. Эти остатки наблюдаются на индикаторах кругового обзора в виде целеподобных отметок.

Дискретные мешающие отражения существенно затрудняют автоматизацию процесса межобзорного сопровождения целей в РЛС кругового обзора [2, 4–9]. Для борьбы с дискретными мешающими отражениями используют различные алгоритмы межобзорной селекции движущихся целей (МСДЦ) на фоне дискретных мешающих отражений, в основе которых лежат либо карты помех, либо алгоритмы селекции с одновременным сопровождением дискретных мешающих отражений и целей на этапе вторичной обработки.

Алгоритмы МСДЦ, в основе которых лежат карты помех, отличаются относительной простотой реализации, однако основным недостатком таких алгоритмов является невозможность использования предыстории перемещения дискретных мешающих отражений в пространстве. Алгоритмы, использующие селекцию с одновременным сопровождением дискретных мешающих отражений и целей, напротив, лишены основного недостатка карт помех, но при этом требуют больших вычислительных ресурсов и сложны в своей реализации.

Сочетание обоих алгоритмов позволяет повысить качество межобзорной селекции, при этом алгоритмы на основе карт помех используются для предварительной селекции. На рис. 1 представлена обобщенная структура устройства МСДЦ на фоне дискретных мешающих отражений. Для предварительной селекции дискретных мешающих отражений применяется карта помех, в задачу которой входит принятие решения о классе отметки (истинная или ложная). Класс выставляется каждой отметке в блоке установки класса отметки по схеме «или», после чего она выдается на устройство межобзорной селекции с одновременным сопровождением дискретных мешающих отражений и целей. По дискретным мешающим

отражениям не создаются новые траектории, хотя все отметки и траектории поступают к потребителю радиолокационной информации.

Для импульсных РЛС обзора методы МСДЦ с формированием карты помех бывают с накоплением решений и с усреднением по мощности. В основе формирования карт помех лежит принцип разбиения на ячейки всей зоны обзора РЛС в координатах азимут–дальность.

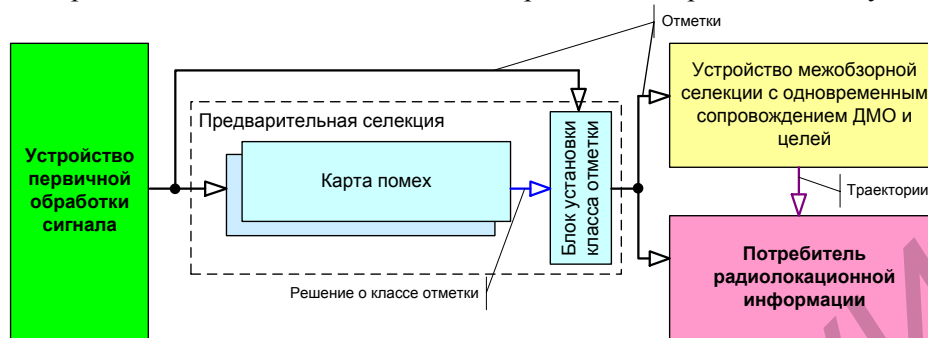


Рис. 1. Обобщенная структура устройства МСДЦ на фоне дискретных мешающих отражений

В картах помех с усреднением по мощности каждой ячейкой происходит некогерентное межобзорное накопление квадрата амплитуды принятого сигнала, попавшего в ячейку, с последующим вычислением среднего значения \bar{Z}_{cp} (средней мощности). Принятие решения о классе отметки, попавшей в ячейку, осуществляется путем сравнения квадрата модуля отраженного сигнала отметки $Z_{от}$ с порогом \bar{Z}_{cp} . Если $\bar{Z}_{cp} < Z_{от}$, принимается решение, что отметка истинная. Если объект от обзора к обзору перемещается с относительно малыми скоростями, то это приведет к увеличению порога \bar{Z}_{cp} и к принятию решения о том, что отметка ложная.

Для карт помех с накоплением решения в каждой ячейке происходит подсчет числа отметок, попавших в нее за несколько обзоров. Если это число превышает пороговое, то считается, что в данной ячейке находится помеха (эта ячейка помечается бланком запрета автоматического обнаружения траекторий на этапе вторичной обработки, т.е. ячейка бланкирована). Отметки, попавшие в такую ячейку, считаются ложными. С точки зрения практической реализации, карты помех с накоплением решений проще по сравнению с картами помех с усреднением по мощности.

Пространственная избирательность карт помех определяется размерами ячейки, которые выбираются равными нескольким размерам элемента разрешения РЛС. При этом цели, находящиеся вблизи элемента разрешения, содержащего дискретные мешающие отражения, будут также бланкированы. Если цель попадает в область пространства с большим числом дискретных мешающих отражений, то вероятность ее обнаружения существенно снижается, т.к. значительная часть пространства радиолокационного наблюдения оказывается покрытой бланками. Кроме того, возникает эффект кромки при компенсации движущихся дискретных мешающих отражений, появляющийся вследствие задержки времени принятия решения критерийным обнаружителем при переходе дискретных мешающих отражений из одной пространственной ячейки в другую.

Авторами статьи предлагается использовать не одну, а две совмещенные карты помех с взаимно перекрывающимися ячейками для уменьшения числа отметок от остатков компенсации перемещающихся мешающих отражений (для уменьшения времени переходных процессов в карте помех) [6].

Цель статьи – сравнение эффективности одной карты помех с накоплением решений с двумя совмещенными картами.

Постановка задачи. Рассмотрим зону обнаружения двухкоординатной РЛС кругового обзора, которая имеет следующие характеристики: максимальная дальность обнаружения $r_{max} = 45000$ м; $\Delta\beta = 2^\circ$, $\Delta r = 120$ м – разрешающая способность по азимуту и дальности, соответственно; интервал обновления данных T равен 8 с.

Задача – провести сравнение эффективности одной карты помех с накоплением решений с двумя совмещенными картами методом математического моделирования для различных условий наблюдения.

Принципы формирования карты помех с накоплением решений

Классическая карта помех (см. рис. 2 – вторая карта помех) представляет собой зону обнаружения, разбитую на ячейки (элементы разрешения) по азимуту и дальности. В классической карте помех используется только одна карта (вторая карта помех на рис.2) с размерами ячеек:

$$B = (2 \div 10) \Delta\beta, R = (2 \div 10) \Delta r,$$

где B – размер ячейки по азимуту в градусах; R – размер ячейки по дальности в метрах; $\Delta\beta$ – разрешающая способность по азимуту в градусах; Δr – разрешающая способность по дальности в метрах.

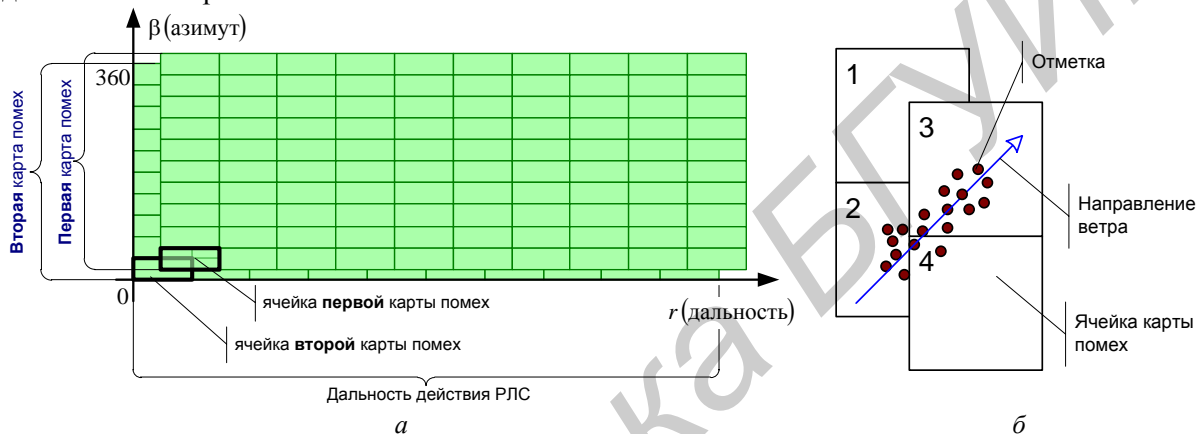


Рис. 2. Принцип разделения зоны обнаружения РЛС при построении карты помех (а) и пояснение необходимости перекрытия ячеек карты помех (б)

В каждой ячейке карты помех с накоплением решений на $(k+1)$ -ом обзоре РЛС осуществляется:

1) подсчет числа S_{k+1} единичных решений $\varphi_i (i = k - M + 1, \dots, k + 1)$ обнаружения попадания отметки (отметок) в ячейку за M идущих подряд обзоров:

$$S_{k+1} = \sum_{i=k-M+1}^{k+1} \varphi_i, \text{ где } \varphi_{k+1} = \begin{cases} \text{если отметка попала в ячейку в } i\text{-ом обзоре;} \\ 0, \text{ наоборот;} \end{cases}$$

2) принятие решения об обнаружении помехи в ячейке критерийным обнаружителем K из M :

$$\chi = \begin{cases} 1, \text{ если } S_{k+1}^{\zeta} = \sum_{i=k-M+1}^{k+1} \varphi_i \geq K; \\ 0, \text{ во всех других случаях.} \end{cases} \quad (1)$$

В ячейке должен быть реализован критерийный обнаружитель на базе сдвигающего влево буфера (см. рис. 3). Размер буфера равен M .

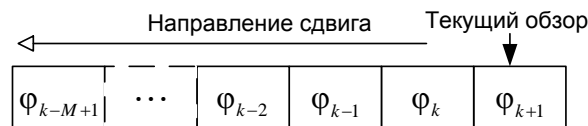


Рис. 3. Буфер критерийного обнаружителя

Обнаружение помехи в ячейке эквивалентно формированию бланка запрета автоматического обнаружения траектории на этапе вторичной обработки в пределах занимаемого этой ячейкой пространства. Отметки, пришедшие на $(k+1)$ -м обзоре, проверяются на предмет попадания в бланки запрета автоматического обнаружения. Если отметка попадает

в бланк, то ей ставится признак – «ложная отметка». По ложным отметкам на этапе вторичной обработки не происходит обнаружение траекторий.

Перемещение помехи из ячейки в соседнюю приведет к обнаружению помехи в соседней ячейке только через M обзоров, в соответствии с (1). В течение M обзоров отметки будут считаться истинными, что приведет к появлению ложных траекторий. Поэтому можно говорить, что число M определяет длительность переходных процессов в карте помех. Уменьшение M приводит к снижению качества селекции, увеличение – к увеличению длительности переходных процессов.

При проведении научных исследований авторами статьи было предложено использовать для предварительной селекции две карты помех вместо одной. При этом карты должны быть сдвинуты на величину $\Delta\beta/2$ по азимуту и $\Delta r/2$ по дальности (рис. 2, а). Признак «ложная отметка» выставляется, если отметка попадает в бланк хотя бы одной карты помех [6].

Сдвиг ячеек карт помех позволяет быстрее отреагировать на перемещение помехи в пространстве (перемещение помехи из ячейки в ячейку) по сравнению с одной картой помех. Идея заключается в том, что если для двух смежных ячеек одной карты помех будет наблюдаться переход помехи из ячейки в ячейку, то для ячеек другой карты помех этого перехода нет (рис. 2, б).

Результаты математического моделирования

Для проверки эффективности работы одной карты помех с накоплением решений с двумя совмещенными картами был разработан комплекс математического моделирования. Комплекс моделирования состоит из устройства формирования задающего воздействия (модель летательного аппарата и модель полета летательного аппарата); устройства формирования входного воздействия (модель РЛС); карты помех (устройство компенсации дискретных мешающих отражений); блока оценки показателей качества. *Задающее* воздействие представлено детерминированной полиномиальной моделью 1-го порядка и моделью случайного ускорения в виде некоррелированного гауссовского шума с нулевым математическим ожиданием и СКО случайного маневра равным $0,001 \text{ м/с}^2$. *Возмущающее* воздействие соответствовало ошибкам первичных измерений в двухкоординатной РЛС кругового обзора со среднеквадратическим отклонением по азимуту $0,45^\circ$ и по дальности 50 м.

Показатели качества. Качество работы РЛС с устройством межобзорной компенсацией дискретных мешающих отражений оценивают по степени различимости сигналов движущихся целей на фоне пассивных помех. Одним из основных показателей качества работы устройства компенсации мешающих отражений является коэффициент подавления помехи [2,6,10]: $K_{\text{п}} = 10 \cdot \lg \frac{P_{\text{пвх}}}{P_{\text{пвых}}}$, где $P_{\text{пвх}}$ – мощность некомпенсированного остатка пассивной помехи; $P_{\text{пвых}}$ – мощность пассивной помехи на входе системы подавления.

Для устройств межобзорной компенсации в качестве критерия вводится коэффициент подавления дискретных мешающих отражений $K_{\text{р}}$ [2,6,10], показывающий во сколько раз уменьшается число $n_{\text{вых ДМО}}$ ложных отметок (дискретных мешающих отражений) на выходе устройства предварительной селекции по сравнению с числом отметок $n_{\text{вх ДМО}}$ на его входе:

$$K_{\text{р}} = \frac{n_{\text{вых ДМО}}}{n_{\text{вх ДМО}}}.$$

Отметка, сформированная по остаткам компенсации мешающих отражений, считается подавленной (скомпенсированной), если ей установлен признак – «ложная отметка» (дискретное мешающее отражение).

При моделировании считалось, что на вход устройства предварительной селекции поступают отметки от $N_{\text{ц}}$ объектов, движущихся с одинаковой скоростью в одном направлении, начальные координаты траекторий объектов задавались случайным образом по всей зоне обзора РЛС перед началом моделирования. Считалось, что пропусков в обнаружении

объектов не происходит, за исключением случаев выхода их из зоны обнаружения РЛС. Было проведено два модельных эксперимента. В первом эксперименте для постоянной скорости объектов было проведено сопоставление коэффициентов подавления карты помех с накоплением решений с двумя совмещенными картами помех. Во втором модельном эксперименте исследовалось влияние скорости движения дискретных мешающих отражений и размеров ячейки карты помех на коэффициенты подавления карт помех.

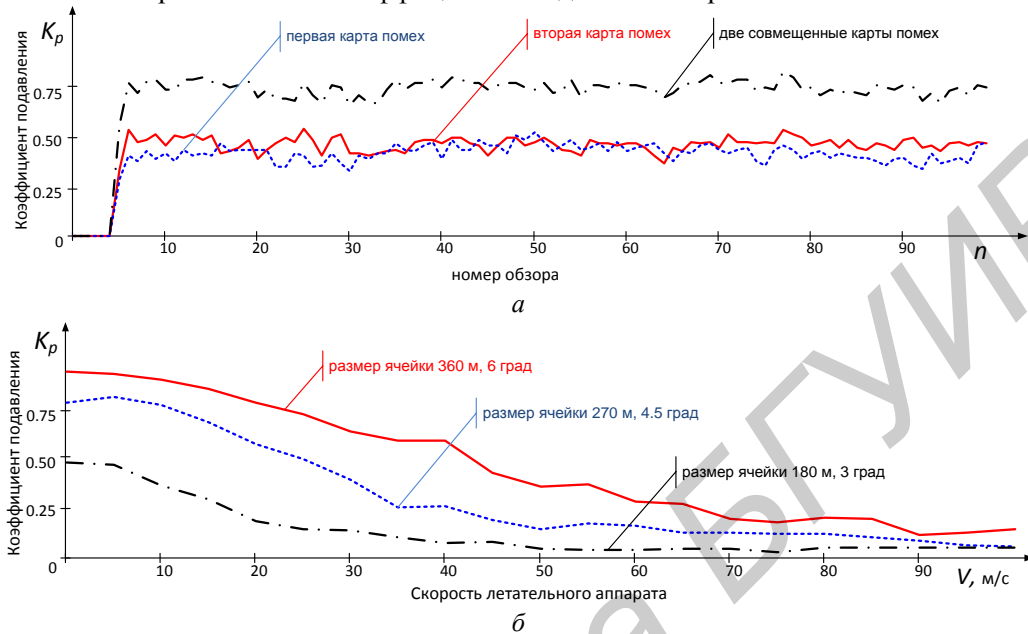


Рис. 4. Зависимость коэффициента подавления от: а – номера обзора (для первой, второй и двух совмещенных карт помех); б – скорости летательного аппарата и размеров ячейки (для двух совмещенных карт помех)

Модельный эксперимент 1. На рис. 4, а представлены коэффициенты подавления дискретных мешающих отражений карт помех при фиксированной скорости движения дискретных мешающих отражений. Скорость движения составляла 5 м/с, угол курса 300°. Видно, что в течение первых пяти обзоров пространства наблюдается переходной процесс (отсутствие подавления). Это явление, в первую очередь, связано с необходимостью выполнения критерия (пять из семи) об обнаружении помехи, заложенного в карту помех. Использование двух смещенных карт помех позволяет существенно увеличить коэффициент подавления (до 25 %) по сравнению с устройством, использующим только одну карту помех.

Модельный эксперимент 2. На рис. 4, б представлены показатели качества устройства межобзорной селекции движущихся целей для различных скоростей движения дискретных мешающих отражений и параметров карты помех. Видно, что коэффициент подавления уменьшается с уменьшением размера ячейки карты помех, что связано с невыполнением критерия об обнаружении (1) в пределах одной ячейки. При размерах ячейки карты помех равных 360 м по дальности и 6° по азимуту, цели, летящие со скоростью менее 45 м/с, с вероятностью 50 % могут быть определены как ложная отметка. При таких размерах ячеек карты помех велика вероятность бланкирования отметок целей. При размерах ячейки 270 м на 4,5° коэффициент подавления уменьшается приблизительно на 20 %, также уменьшается минимальная скорость цели (25 м/с). При дальнейшем уменьшении размеров ячеек карты помех (до 180 м на 3°) коэффициент подавления резко уменьшается и не превышает 0,5.

Для принятых характеристик РЛС, наилучшим будет размер ячейки 270 м на 4,5°, при котором устройство обработки обеспечивает подавление пассивных помех, радиальная скорость которых может составлять до 25 м/с.

Заключение

Дискретные мешающие отражения существенно затрудняют автоматизацию процесса межобзорного сопровождения целей в РЛС кругового обзора. Для компенсации дискретных

мешающих отражений используют различные алгоритмы межобзорной селекции движущихся целей на фоне дискретных мешающих отражений, в основе которых лежат либо карты помех, либо алгоритмы селекции с одновременным сопровождением дискретных мешающих отражений и целей на этапе вторичной обработки.

Рассмотрены особенности построения устройства межобзорной селекции движущихся целей на фоне дискретных мешающих отражений с формированием карты помех и с накоплением решений. Особенностью этого устройства является критерийное обнаружение факта наличия дискретных мешающих отражений в пределах ячейки карты помех. Отметки, попавшие в ячейку, в которой произошло обнаружение дискретных мешающих отражений, бланкируются.

Для снижения времени обнаружения дискретных мешающих отражений при переходе помехи из одной ячейки карты помех в соседнюю, предлагается использовать не одну, а две карты помех, смещенных друг относительно друга на половину размера одной ячейки. Результаты математического моделирования подтверждают необходимость использования двух смещенных карт помех – коэффициент подавления дискретных мешающих отражений увеличивается максимум на 25 %. Для принятых характеристик РЛС, наилучшим будет размер ячейки 270 м на 4,5°, при котором, устройство обработки обеспечивает подавление пассивных помех, радиальная скорость которых может составлять до 25 м/с.

MULTI-SCAN MOVING TARGET INDICATION WITH CLUTTER MAP AND STORAGE SOLUTIONS

A.S. SOLONAR, S.A. GORSHKOV, P.A. KHMARSKI, A.M. VASHKEVICH

Abstract

The multi-scan moving target indication with clutter map and storage solutions approach is considered. The estimation performance of compensation devices is compared.

Список литературы

1. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Под ред. Я.Д. Ширмана. М., 2007.
2. Плекин В.Я. Цифровые устройства селекции движущихся целей. М., 2003.
3. Охрименко А. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Ч.1. Основы радиолокации. М., 1983.
4. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. М., 1974.
5. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей. М., 1993.
6. Солонар А.С., Горшков С.А. // Сб. научн. тр. МРФ «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». Харьков, 22–24 октября 2008 г. С. 100–102.
7. Литвинов В.В., Жирнов В.В., Филюшкин И.П. // Судостроительная промышленность. Сер. РЛ. 1991. Вып. 29. С. 83–88.
8. Дохов А.И., Жирнов В.В. // Сборник научных трудов МРФ «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития», Харьков, 11–14 октября 2002 г. С. 54–57.
9. Горшков С.А., Солонар А.С., Седышев С.Ю. // Тез. докл. Международной НТК «Теория и техника передачи и обработки информации», Харьков, 7–10 октября 2003 г. С. 193–194.
10. Справочник по радиолокации / Под ред. М.И.Скольника. Пер. с англ. М., 2014.