

Лазаренко С. В.

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕРЕСАХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА

Рассмотрена возможность использования некоторых математических закономерностей при обработке радиолокационной информации, позволяющая сократить время идентификации опасных целей для предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера. Дан анализ процесса обработки радиолокационной информации. Показано, что интегральные преобразования Радона, лучевые и веерные, дифференциальные и двойственные операторы образуют сопряженные пары. Это позволяет создать математическую модель идентификации опасных целей путем одновременного сопоставления текущих радиолокационных образов с набором образов радиолокационных целей и набором образов радиолокационных помех.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, террористический акт, электромагнитные волны, радиолокационная цель, преобразование Фурье.

Lazarenko S. V. Use of some mathematical regularities in processing radar information in the interest of prevention of emergency situations of terrorist character. The possibility of using some mathematical regularities in the processing of radar information is considered in the work, in order to shorten the time of identification of dangerous targets in order to prevent emergencies of a terrorist nature. The analysis of radar information processing is given. It is shown that it consists of detection, measurement, resolution and recognition of each target for any finite volume of space for a limited period of time. The a priori knowledge of the characteristics of the radar targets expected on the approaches to the protected potentially dangerous object makes it possible to simplify and formalize this process. It is shown that the Radon integral transforms, ray and fan, differential and dual operators with the use of the mathematical apparatus of convolution and the Fourier transform form conjugate pairs. This allows us to create a mathematical model for identifying dangerous targets by simultaneously comparing current radar images with a set of images of radar targets and a set of images of radar interference.

Keywords: emergency situation, terrorist act, electromagnetic waves, radar target, Fourier transform.

1. Введение. Одной из самых актуальных тем современности является защита населения и территорий от террористического воздействия. Известно, что терроризм, как явление, сопровождает историю человечества в течение всего его существования как средство запугивания гражданского населения. Для обеспечения максимального устрашающего эффекта путем увеличения потерь среди мирного населения, а также с целью привести к экономическому кризису в отдельном регионе страны или даже государстве в целом, террористы стремятся вывести из строя, прежде всего, стратегически важные объекты. Поэтому защита потенциально-опасных объектов от несанкционированного вторжения является чрезвычайно важной и актуальной задачей [1, 2].

На территории современной Украины находится 15 атомных реакторов АЭС, десятки гидро- и сотни теплоэлектростанций, а также большое количество стратегически важных объектов различного назначения – потенциальных целей злоумышленников. Анализ существующих систем их физической защиты показал, что они, как правило, оснащаются средствами контроля периметра: оптоэлектронного, инфракрасного и радиолокационного наблюдения [3, 4]. Преимущество радиолокационных средств наблюдения определяется их сравнительно большими дальностями обнаружения опасных целей, большой скоростью обзора наземного и воздушного пространства независимо от условий визуальной видимости и гидрометеорологической обстановки [5-7]. Однако радиолокаторы в своем большинстве имеют аналоговые средства индикации, которые не всегда позволяют однозначно идентифицировать опасную цель в сжатые временные промежутки [8, 9].

2. Постановка цели и задач научного исследования. Цель данной работы – рассмотреть возможность использования некоторых математических закономерностей при обработке радиолокационной информации, поступающей в результате зондирования пространства электромагнитными волнами, чтобы сократить время идентификации опасных целей в интересах предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера.

Для достижения поставленной цели необходимо, во-первых, проанализировать процесс обработки радиолокационной информации, во-вторых, рассмотреть возможность использования некоторых математических зависимостей при обработке радиолокационной информации.

3. Анализ процесса обработки радиолокационной информации. Совокупность сведений о целях, получаемых в результате радиолокационного наблюдения, принято называть радиолокационной информацией. Средства получения радиолокационной информации – радиолокационные станции (РЛС), представляют собой подгруппу радиотехнических систем извлечения информации и относятся к обширной группе информационных радиосистем. Процесс получения и обработки радиолокационной информации состоит из следующих этапов: обнаружение цели, измерение ее координат и параметров движения, разрешение и распознавание цели.

Первый этап – обнаружение цели, состоит в принятии решения о ее наличии или отсутствии в указанный момент времени с минимально допустимой вероятностью ошибочного решения. При этом проводится первичная оценка цели или ее классификация с точки зрения количественной (цель одиночная или групповая, состоящая из двух или более одиночных целей), геометрической (цель точечная или протяженная по углу или по дистанции) и яркостной (оценки интенсивности отраженного сигнала – сильный, средний, слабый).

Второй этап – измерение, сводится к выработке оценок координат цели и параметров ее движения с минимально допустимыми погрешностями. Традиционно в РЛС кругового или секторного обзора используют сферическую систему координат, где обычно измеряют дальность до цели, ее азимут (на суше) или пеленг (на море) и угол места. В качестве параметров движения цели, как правило, используются направление и скорость движения. Могут вводиться производные координат либо другие параметры траектории движения, например, временное изменение расстояния (ВИР), временное изменение пеленга (ВИП) и другое.

Третий этап – разрешение, состоит в выполнении задач обнаружения и измерения параметров выбранной цели при наличии других целей, находящихся в зоне наблюдения, то есть выделение новой цели на фоне отражений от подстилающей поверхности, естественных препятствий, обусловленных местным рельефом, гидротехническими сооружениями, а также естественными и искусственными помехами. В соответствии с характером движения выделяют скоростные, движущиеся и неподвижные цели. Различают разрешение целей по дальности, угловым координатам и скорости. Разрешающую способность по координатам характеризуют элементарным объемом с размерами по дальности Δr , в азимутной плоскости l_a , угломестной l_m , который устанавливают так, что наличие цели в соседнем объеме не ухудшает показателей качества обнаружения и измерения параметров цели, которая расположена в центре выделенного объема. Выделенный элементарный объем принято называть разрешаемым объемом, при импульсном облучении цели – импульсным объемом.

Четвертый этап – распознавание, заключается в установлении принадлежности обнаруженной цели к определенному виду и, как правило, осуществляется с помощью запросно-ответных устройств, которые позволяют оценить ее как “свою” при правильном ответном сигнале, или как “чужую” при не правильном. Если аппаратура радиолокационного опознавания не дает желаемого результата, то необходимо дополнительно классифицировать обнаруженную цель.

В условиях явно враждебных действий в отношении охраняемого объекта решение об обнаружении малоразмерной быстро передвигающейся цели влечет за собой выполнение того или иного набора определенных действий, принципиально отличающихся друг от друга в зависимости от того, как классифицирована цель. В случае беспилотного летального аппарата реакция системы физической защиты происходит по одному алгоритму, в случае быстроходного катера – по другому, а в случае едущего автомобиля – по третьему. Внезапность, сложность и ответственность при решении каждой из задач накладывает свой отпечаток. Априорное знание характеристик радиолокационных целей, ожидаемых на подходах к охраняемому объекту, позволяет упростить и формализовать процесс получения и обработки радиолокационной информации для любого конечного объема пространства за ограниченный промежуток времени.

Таким образом, априорное знание характеристик радиолокационных целей, ожидаемых на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту, позволяет упростить и формализовать процесс получения и обработки радиолокационной информации, состоящий в обнаружении, измерении, разрешении и распознавании каждой цели для любого конечного объема пространства за ограниченный промежуток времени.

4. Некоторые математические закономерности и их использование при обработке радиолокационной информации. Введем ряд базовых определений, позволяющих описать математические закономерности, необходимые для обоснования их использования при обработке радиолокационной информации.

Гиперплоскость – это подпространство с размерностью на единицу меньше, чем объемлющее пространство.

Пространство Шварца $\Psi(\mathbf{R}^n)$ – пространство быстро убывающих функций, каждая из которых является бесконечно дифференцируемой вещественной функцией, стремящейся вместе со всеми своими производными к нулю быстрее, чем их аргумент стремится к бесконечности.

Преобразование Радона \mathbf{R} в общем виде n -мерное, отображает функцию, определенную в \mathbf{R}^n (n -мерном евклидовом пространстве), в множество её интегралов по гиперплоскостям в \mathbf{R}^n , при этом единичный вектор θ принадлежит единичной сфере в \mathbf{R}^n , то есть $\theta \in \mathbf{S}^{n-1}$, и расстояние $s \in \mathbf{R}^1$ принадлежит одномерному евклидовому пространству, то

$$\mathbf{R}f(\theta, s) = \int_{x \cdot \theta = s} f(x) dx = \int_{\theta^\perp} f(s\theta + y) dy \quad (1)$$

представляет собой интеграл функции f , принадлежащей пространству Шварца $\Psi(\mathbf{R}^n)$, по гиперплоскости, перпендикулярной вектору θ и расположенной на расстоянии s от начала координат.

$\mathbf{R}f$ – четная функция, определенная на единичном цилиндре \mathbf{Z} в пространстве \mathbf{R}^{n+1} , который задается проведением единичной сферы $\theta \in \mathbf{S}^{n-1}$ на одномерное евклидовое пространство, то есть справедливы равенства:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{S}^{n-1} \times \mathbf{R}^1, \quad (2)$$

$$\mathbf{R}f(-\theta, -s) = \mathbf{R}f(\theta, s), \quad (3)$$

$$\mathbf{R}_\theta f(s) = \mathbf{R}f(\theta, s), \quad (4)$$

Рассмотрим схему (рис. 1), в центре которой располагается импульсная радиолокационная станция. Зеркало её антенны формирует узкую характеристику направленности в горизонтальной плоскости по азимуту и относительно широкую характеристику направленности, как правило, косекансную – в вертикальной плоскости. За счет кругового вращения антенны РЛС характеристика направленности формирует радиолокационное поле, условные границы которого образуют овальное тело, полученное за счет кругового вращения косекансной характеристики направленности.

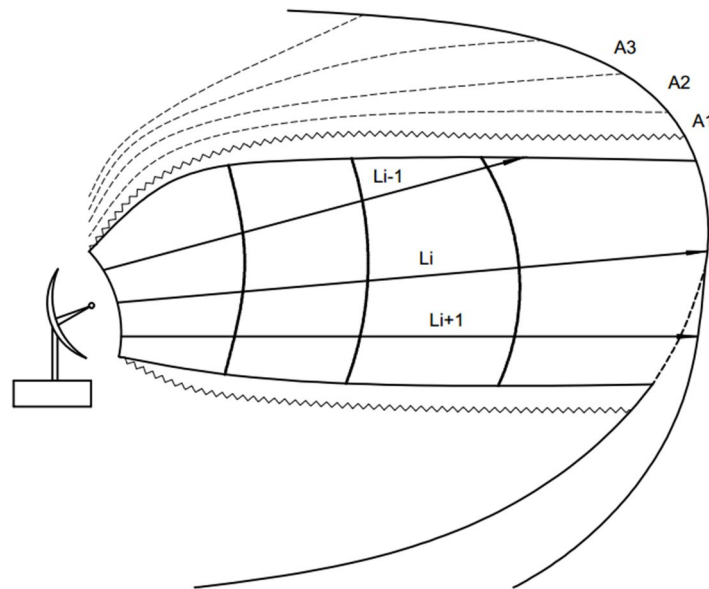


Рис. 1. Схема, поясняющая лучевое и веерное преобразование

Скорость вращения антенны 10-20 оборотов в минуту, то есть один оборот в 360° совершается за 3-6 с, а поворот на один градус – за 0,08-0,15 с. Поэтому при рассмотрении процессов распространения электромагнитных волн, которые исчисляются микро (10^{-6}) и мили (10^{-3}) секундами, можно считать антенну РЛС неподвижной.

Разрез, сделанный в овальном теле, позволяет увидеть косеканснообразную характеристику направленности, в пределах которой распространяются электромагнитные волны. Их фронты обозначены пунктирными линиями. Прямые L_i , ортогональные им, являются электромагнитными лучами.

Допуская, что характеристика направленности антенны РЛС в горизонтальной плоскости стремится к нулю, можно считать её поверхностью, на которой можно применить лучевое преобразование.

Лучевое преобразование \mathbf{P} отображает функцию, определенную в n -мерном евклидовом пространстве \mathbf{R}^n , во множество линейных интегралов. Другими словами, если единичный вектор θ принадлежит единичной сфере \mathbf{S}^{n-1} , то есть $\theta \in \mathbf{S}^{n-1}$, и x принадлежит евклидовому пространству \mathbf{R}^n , то есть $x \in \mathbf{R}^n$, то

$$\mathbf{P}f(\theta, x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x + t\theta) dt \quad (5)$$

представляет собой интеграл функции f , принадлежащей пространству Шварца $f \in \Psi(\mathbf{R}^n)$, по прямой, проходящий через точку x в направлении θ .

Величина $\mathbf{P}f(\theta, x)$ не изменяется при смещении точки x в направлении θ . Как правило x выбирается из ортогонального подпространства θ^\perp , поэтому $\mathbf{P}f$ задается на касательном расслоении сферы \mathcal{S}^{n-1} , а значит:

$$T = \{(\theta, x) : \theta \in \mathcal{S}^{n-1}, x \in \theta^\perp\}. \quad (6)$$

Введем обозначение:

$$\mathbf{P}_\theta f(x) = \mathbf{P}f(\theta, x), \quad (7)$$

где $\mathbf{P}f(\theta, x)$ проекция функции f на ортогональное подпространство θ^\perp . При $n=2$ (в двумерном евклидовом пространстве) оператор \mathbf{P} (лучевое преобразование) и \mathbf{R} (преобразование Радона) совпадают с точностью до обозначения аргументов, тогда $\mathbf{P}f(\omega, s)$ можно представить в виде интеграла от $\mathbf{P}f$ для любого единичного вектора $\theta \in \mathcal{S}^{n-1}$, принадлежащего единичной сфере и ортогонального ω ($\theta \perp \omega$), то есть

$$\mathbf{R}f(\omega, s) = \int_{x \in \theta^\perp, x \cdot \omega = s} \mathbf{P}f(\theta, x) dx. \quad (8)$$

Перемещая последовательно (рис. 1) вертикальную поверхность (сечение овального тела) из точки $A1$ в точку $A2$ и так далее по кругу или заданному сектору, получим веерное сканирование пространства в определенных пределах.

Математическое веерное преобразование представляет собой интеграл функции f по лучу с началом $a \in \mathbf{R}^n$ и направлением $\theta \in \mathcal{S}^{n-1}$, таким образом:

$$\mathbf{D}f(a, \theta) = \int_0^\infty f(a + \theta t) dt. \quad (9)$$

Введем обозначение:

$$\mathbf{D}_a f(a) = \mathbf{D}f(a, \theta). \quad (10)$$

Отметим, во-первых, что если функция f принадлежит пространству Шварца $f \in \Psi(\mathbf{R}^n)$, то функции $\mathbf{R}_\theta f$, $\mathbf{P}_\theta f$, $\mathbf{R}f$, $\mathbf{P}f$ точно принадлежит пространствам Шварца, заданным, соответственно, на \mathbf{R}^1 – одномерном евклидовом пространстве, θ^\perp – ортогональном подпространстве, \mathbf{Z} – единичном цилиндре в пространстве \mathbf{R}^{n+1} и \mathbf{T} – касательном расположении сферы \mathcal{S}^{n-1} . Пространства на \mathbf{Z} и \mathbf{T} задаются либо с помощью локальных координат, либо путем ограничения функций из пространства Шварца $\Psi(\mathbf{R}^{2n})$ на \mathbf{T} .

Приведенные выше интегральные преобразования Радона, лучевое и веерное, обладают рядом свойств, которые реализуются с использованием операции свертки и преобразования Фурье. Эти операции над функциями, определенными на \mathbf{Z} и \mathbf{T} , выполняются по второй переменной

Во-вторых, эти свойства реализуются также и с использованием других операторов. Применяв проекционную теорему, можно доказать, что

$$\mathbf{R}_a \mathbf{D}^a f = \theta^a \mathbf{D}^{|\mathbf{a}|} \mathbf{R}_a f, \quad (11)$$

где $\mathbf{D}^{|\mathbf{a}|}$ – дифференциальный оператор, который действует по второй переменной функции $\mathbf{R}f$.

В пространстве Шварца также используются двойственные операторы $\mathbf{R}_\theta^\#, \mathbf{R}^\#, \mathbf{P}_\theta^\#, \mathbf{P}^\#$, причем

$$\mathbf{R}_\theta^\# g(x) = g(x \cdot \theta), \quad (12)$$

$$\mathbf{R}^\# g(x) = \int_{\mathbf{S}^{n-1}} g(\theta, x \cdot \theta) d\theta, \quad (13)$$

$$\mathbf{P}_\theta^\# g(x) = g(\theta, \mathbf{E}_\theta \cdot x), \quad (14)$$

$$\mathbf{P}^\# g(x) = \int_{\mathbf{S}^{n-1}} g(\theta, \mathbf{E}_\theta \cdot x) d\theta, \quad (15)$$

где \mathbf{E}_θ – ортогональная проекция на θ^\perp .

Главное свойство сопряженных или двойных операторов состоит в том, что они образуют двойственную пару. В смысле интегральной геометрии это означает, что оператор \mathbf{R} задает интегрирование по всем точкам плоскости, а оператор $\mathbf{R}^\#$ задает интегрирование по всем плоскостям, проходящим через данную точку.

Таким образом, интегральные преобразования Радона, лучевые и веерные, дифференциальные и двойственные операторы с использованием математического аппарата свертки и преобразования Фурье позволяют создать математическую модель идентификации опасных целей путем одновременного сопоставления текущих радиолокационных образов с набором образов радиолокационных целей и набором образов радиолокационных помех.

5. Выводы. Априорное знание характеристик радиолокационных целей, ожидаемых на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту, позволяет упростить и формализовать процесс получения и обработки радиолокационной информации, состоящий в обнаружении, измерении, разрешении и распознавании каждой цели для любого конечного объема пространства за ограниченный промежуток времени.

1. Интегральные преобразования Радона, лучевые и веерные, дифференциальные и двойственные операторы с использованием математического аппарата свертки и преобразования Фурье позволяют создать математическую модель идентификации опасных целей путем одновременного сопоставления текущих радиолокационных образов с набором образов радиолокационных целей и набором образов радиолокационных помех.

Список использованной литературы

1. Кодекс Цивільного захисту України (КУЗУ). – 2016. – // www.urist-ua.net
2. Гончаренко Ю.Ю. Структура контура управления информационной безопасностью предприятия // Экономика и управление. – №5. – Симферополь: НАПКС, 2012. – С. 97-101.
3. Гончаренко Ю.Ю. Оценка эффективности управления чрезвычайной ситуацией / Ю.Ю. Гончаренко, Е.В. Азаренко, Ю.В. Браславский и др. // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП. – Вып. 2 (38). – Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. – С. 239 – 245.
4. Гончаренко Ю.Ю. Защита информации – как один из ключевых аспектов предотвращения чрезвычайных ситуаций / Ю.Ю. Гончаренко, Е.Е. Смычков, В.В. Рыбко // Сб. науч. праць СНУЯЕтаП. – Вип. 1 (41). – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2012. – С. 207 – 211.

5. Широков Ю.Ф. Основы теории радиолокационных систем. – Самара: ГАЭУ, 2012. – 128 с.
6. Бакулев П.А. Радиолокационные и радионавигационные системы / П.А. Бакулев, А.А. Сосновский // Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1994. – 296 с.
7. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации // Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
8. Информационные технологии в радиотехнических системах // Учеб. пособие, 2-е изд., перераб. и доп. / В.А. Васин, И.Б. Власов и др. ; под ред. И.Б. Федорова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 768 с.
9. Радиовидение. Радиолокационные станции зондирования Земли. Учебное пособие для вузов / Под. ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.

References

1. The Code of the Civic Zahiru of Ukraine (KTSZU). – 2016. – // www.urist-ua.net
2. Goncharenko Yu.Yu. Structure of the information security management contour of the enterprise / Yu.Yu. Goncharenko // "Economics and Management". - №5. - Simferopol: NAPCS, 2012. - P. 97 - 101.
3. Goncharenko Yu.Yu. Assessment of the effectiveness of emergency management / Yu.Yu. Goncharenko, E.V. Azarenko, Yu.V. Braslavsky and others // Sb. Sci. Tr. SNUEAiP. - Вып. 2 (38). - Sevastopol: SNUNEP, 2011. - P. 239 - 245.
4. Goncharenko Yu.Yu. Information security - as one of the key aspects of prevention of emergency situations / Yu.Yu. Goncharenko, E.E. Smychkov, V.V. Rybko // Zb. Sciences. The praise of SNYAETA. - Vip. 1 (41). - Sevastopol: SNUYNEP, 2012. - P. 207 - 211.
5. Shirokov Yu.F. Fundamentals of the theory of radar systems. - Samara: GAEU, 2012. - 128 p.
6. Bakulev PA Radar and radio navigation systems / P.A. Bakulev, A.A. Sosnovsky // Proc. Manual for universities. - M. : Radio and Communication, 1994. - 296 p.
7. Sosulin Yu.G. Theoretical foundations of radar and radio navigation. Manual for universities. - M. : Radio and Communication, 1992. - 304 p.
8. Information technology in radio engineering systems. Allowance, 2 nd ed., Pererab. And additional / VA. Vasin, I.B. Vlasov et al., Ed. I.B. Fedorov. – Moskva.: Publishing house of MSTU. N.E. Bauman, 2004. - 768 p.
9. Radio broadcasting. Radar stations for sounding the Earth. Textbook for high schools / Pod. Ed. G.S. Kondratenkov. - Moscow: Radio Engineering, 2005. - 368 p.

Автор статті

Лазаренко Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Систем технічного захисту інформаційних систем, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (67) 244 78 67. E-mail: stzi.dut@ukr.net.

Author of the article

Lazarenko Serhii Volodymyrovych – candidate of sciences (technical), associate professor, head of department of technical information security systems, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (67) 244 78 67. E-mail: stzi.dut@ukr.net.

Дата надходження
в редакцію: 22.03.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук В. С. Наконечний
Державний університет телекомунікацій, Київ