

РАДИОТЕХНИКА



А.В. Эсауленко,
*ФГКУ УВО ГУ МВД России
по Краснодарскому краю*



А.Н. Бабкин,
кандидат технических наук, доцент

СПОСОБ КОНТРОЛЯ РАДИОКАНАЛА

WAY OF CONTROL OF THE RADIO CHANNEL

Рассматривается способ контроля радиоканала в симплексных системах подвижной радиосвязи в реальных условиях эксплуатации. Определено время контроля, отвечающего требованиям по достоверности и своевременности передачи сообщений.

The way of control of a radio channel in simplex systems of a mobile radio communication in actual practice operation is considered. Time of the control which is meeting the requirements on reliability and timeliness of transmission of messages is defined.

В системах подвижной радиосвязи (СПР) надежность и качество связи между абонентами зависят от условий распространения радиоволн. Условия распространения радиоволн могут изменяться от однолучевого распространения между приемником и передатчиком в условиях прямой видимости до многолучевого распространения при многократных отражениях от препятствий (особенно в городских условиях) при отсутствии прямой видимости.

Для обеспечения надежной и качественной связи между абонентами в заданной зоне обслуживания необходимо проводить контроль радиоканала в реальных условиях эксплуатации. Контроль радиоканала в СПР специального назначения (например, органов внутренних дел) необходим и для обеспечения своевременности передачи сообщений. Под своевременностью понимается доведение сообщений от источника до получателя в сроки, обусловленные оперативной обстановкой (в пределах времени, пока содержащаяся в сообщении информация не потеряла ценности для получателя).

Для организации контроля в [1] вводится понятие функциональной живучести радиоканала. Под функциональной живучестью радиоканала понимается его способность обеспечить надежную и качественную связь между абонентами СПР в заданной

зоне обслуживания при воздействии помех. Количественной мерой функциональной живучести радиоканала может служить вероятность P_{yc} установления связи между абонентами системы на направлениях связи.

В радиосетях одночастотного симплекса направления связи имеют следующий вид: $AB_i \leftrightarrow AB_j$, где AB — абонент, i и j — номера абонентов с различными типами радиостанций; в радиосетях двухчастотного симплекса: $AB_i \leftrightarrow РТР \leftrightarrow AB_j$, где РТР — дуплексный ретранслятор.

При передаче дискретных данных мы имеем дело с простой системой событий: ошибка есть — ошибки нет. Поэтому в цифровых СПР за количественную меру определения P_{yc} можно принять вероятность правильного приема $P_{пр}$:

$P_{yc} = P_{пр} = 1 - P_{ош}$, где $P_{ош}$ — вероятность ошибочного приема данных; $P_{ош} = 10^{-S}$, здесь S , как правило, имеет значение от 3 и выше.

В качестве критерия функциональной живучести радиоканала в цифровых СПР, а, следовательно, обеспечения надежной и качественной связи абонентов можно принять следующее выражение:

$$P_{yc} \geq P_{yc}^{mp} \mid P_{ош} \geq P_{ош}^{mp}, \quad (1)$$

где P_{yc} и P_{yc}^{mp} — соответственно вероятность установления связи между абонентами и вероятность установления связи между абонентами требуемая; $P_{ош}$ и $P_{ош}^{mp}$ — вероятность ошибочного приема и вероятность ошибочного приема требуемая.

Можно определить связь между $P_{ош}$ и отношением сигнал/шум: $P_{ош}$ тем ниже, чем больше интенсивность помехи, то есть чем меньше отношение сигнал/шум. Однако отношение сигнал/шум не единственный фактор, влияющий на $P_{ош}$. Вероятность ошибочного приема может быть разной при одном и том же отношении сигнал/шум.

При нормальном законе распределения помехи и равновероятностном априорном распределении битовой информации 1 и 0 в [2] получены выражения $P_{ош}$ на выходе приемника от отношения $P_c/P_{ш}$ в канале связи соответственно при амплитудной, частотной и фазовой манипуляциях:

$$P_{ош} = 1 - \Phi(0,5\sqrt{q}), (AT),$$

$$P_{ош} = 1 - \Phi(\sqrt{0,5q}), (CT),$$

$$P_{ош} = 1 - \Phi(\sqrt{q}), (\Phi T),$$

где $q = P_c / P_{ш}$.

Интеграл вероятности:

$$\Phi(q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^q \exp(-0,5x^2) dx.$$

В таблице приведены значения $P_{ош}$ в зависимости от способа модуляции [2].

$P_{ош}$	Отношение мощностей сигнал/шум, дБ		
	АТ	СТ	ФТ
10^{-3}	10	13	16
10^{-4}	12	15	18
10^{-5}	13	16	19
10^{-6}	14	16,5	20
10^{-7}	14,5	17,5	21
10^{-8}	15	18	22

В [3] вводится понятие эффективности функционирования СПР ОВД, которая определяется коэффициентом готовности K_r элементов сети к выполнению своих функциональных задач:

$$K_r \geq 0,999. \quad (2)$$

Радиоканал является важнейшим элементом СПР, и с учетом (2) можно определить $P_{yc}^{mp} \geq 0,999$, а учитывая (1) и (2), а также данные таблицы для ЧТ и ФТ манипуляций, запишем:

$$P_{yc} = \begin{cases} 1, & \text{при } P_{ош} \leq 10^{-7}, \\ 0,999 & \text{при } 10^{-3} \geq P_{ош} \geq 10^{-6}. \end{cases} \quad (3)$$

Приведенные рассуждения позволяют рассмотреть способ контроля радиоканала в реальных условиях эксплуатации для цифровых сетей подвижной радиосвязи, построенных по принципу двухчастотного симплекса. На рис. 1 представлена структурная схема радиоканала, состоящего из абонентской радиостанции РС и дуплексного ретранслятора РТР.

На этом рисунке ГКС — генератор контрольного сигнала; М — модулятор; ПРД — передатчик; ПРМ — приемник; ДМ — демодулятор; РУ — решающее устройство; ФЗ — формирователь задержки; СУ — согласующее устройство; ДФ — дуплексный фильтр; f_1 и f_2 — частоты работы радиоканала.

Способ контроля радиоканала заключается в следующем.

Генератор контрольного сигнала абонентской радиостанции формирует пакет данных, состоящий из N бит, которые поступают на вход модулятора. Несущее колебание, модулированное контрольными битами, излучается передатчиком абонентской радиостанции на частоте f_1 в сторону ретранслятора.

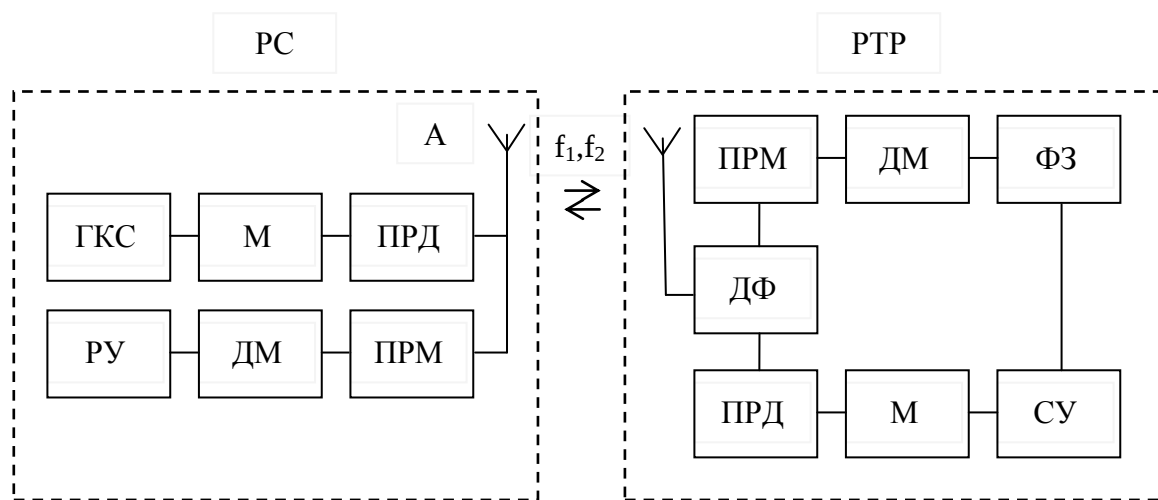


Рис. 1

Приемник ретранслятора принимает контрольный пакет данных, формирует задержку $t_{зд}$, равную времени переключения абонентской радиостанции из режима передачи в режим приема. После этого передатчик ретранслятора на частоте f_2 передает полученные данные абонентской радиостанции. Приемник абонентской радиостанции принимает данные и с помощью решающего устройства определяет вероятность установления связи на направлении $АБ_i \rightarrow РТР \rightarrow АБ_i$.

Если в результате контроля условия (2) и (3) не выполняются (вероятность установления связи на направлении $AB_i \rightarrow RTP \rightarrow AB_i$ ниже критерия), алгоритм контроля повторяется при повышенной мощности излучения передатчиком абонентской радиостанции контрольного сигнала (пакета).

Таким образом, контроль радиоканала может состоять из двух циклов: первый цикл осуществляется при пониженной мощности излучения контрольного сигнала абонентской радиостанцией, второй цикл — при повышенной.

Определим общее время контроля радиоканала одного цикла T_Σ :

$$T_\Sigma = T_{PC \rightarrow RTP} + T_{RTP \rightarrow PC}, \quad (4)$$

где $T_{PC \rightarrow RTP}$ — время контроля направления связи абонентская радиостанция — ретранслятор, $T_{RTP \rightarrow PC}$ — время контроля направления связи ретранслятор — абонентская радиостанция.

В свою очередь:

$$T_{PC \rightarrow RTP} = t_p + (t_{kc})_{RTP} + t_{zad}, \quad (5)$$

где t_p — время задержки распространения контрольного сигнала в среде передачи, $(t_{kc})_{RTP}$ — время записи контрольного сигнала приемником ретранслятора, t_{zad} — время задержки контрольного сигнала в ретрансляторе.

$$T_{RTP \rightarrow PC} = t_p + (t_{kc})_{PC} + t_{py}, \quad (6)$$

где $(t_{kc})_{PC}$ — время записи контрольного сигнала приемником абонентской радиостанции, t_{py} — время анализа и принятия решения решающим устройством абонентской радиостанции.

С учетом (4), (5) и (6) можно записать:

$$T_\Sigma = (t_{kc})_{PC} + (t_{kc})_{RTP} + 2t_p + t_{zad} + t_{py}. \quad (7)$$

Примем, что:

$$(t_{kc})_{PC} = (t_{kc})_{RTP} = N / R, \quad (8)$$

где N — количество бит в контрольном сигнале (пакете); R — скорость передачи информации в радиоканале, бит/с.

$$t_p = S / C,$$

где S — расстояние между абонентской радиостанцией и ретранслятором; C — скорость света.

С учетом (8) длительность контроля радиоканала при одном цикле составит:

$$T_\Sigma = \frac{2N}{R} + 2t_p + t_{zad} + t_{py}.$$

Таким образом, время контроля зависит от скорости передачи информации R контролируемого радиоканала, количества бит N в контрольном пакете, быстродействия синтезатора частот абонентской радиостанции t_{zad} и времени анализа и принятия решения решающим устройством абонентской станции t_{py} .

Временная диаграмма контроля радиоканала представлена на рис. 2.

Решение о выполнении (3) выносится абонентской радиостанцией по двум условиям:

1. $N = N_k = N_m$.
2. $N \oplus N_m = 0$.

При невыполнении хотя бы одного из условий выносится решение об отсутствии устойчивости направления связи для абонентской радиостанции и необходимости выбора другого местоположения.

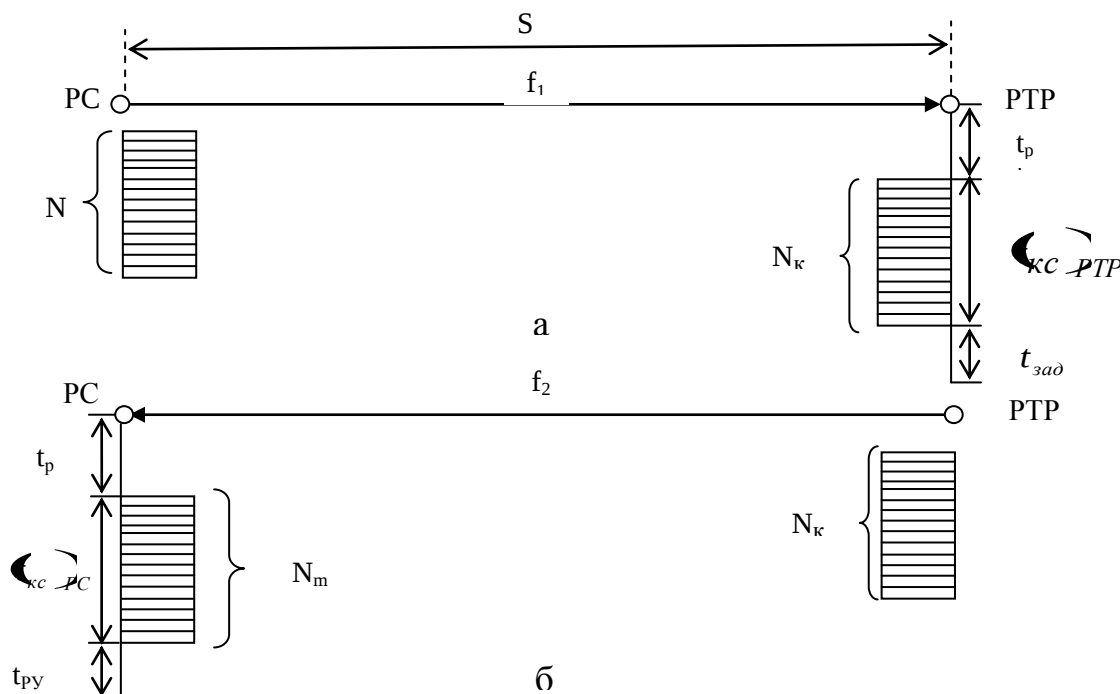


Рис. 2. Временная диаграмма контроля радиоканала: а — направление абонентская радиостанция — ретранслятор; б — направление ретранслятор — абонентская радиостанция

Можно оценить время контроля в существующих системах подвижной радиосвязи, построенных по принципу двухчастотного симплекса. Например, в системах подвижной радиосвязи стандарта APCO 25 [4], использующих четырехуровневую частотную манипуляцию C4FM, со скоростью передачи информации 9600 бит/с для $N=1000$ бит (что удовлетворяет (2) и (3)), $t_{зад} = t_{пу} = 100\text{мс}$ время одного цикла контроля (при пониженной выходной мощности абонентской радиостанции) составит не более 0,5 с, соответственно, время контроля, включающего 2 цикла, — не более 1 с.

Данное время удовлетворяет требованиям по достоверности и своевременности, предъявляемым к СПР специального назначения.

Таким образом, отличительными особенностями предложенного способа контроля радиоканала являются:

1. Возможность проведения контроля радиоканала в реальных условиях эксплуатации симплексных систем подвижной радиосвязи с соблюдением требований, предъявляемых к сетям специальной связи.

2. Принятие решения о вероятности установления связи абонентской радиостанцией с возможностью выбора по результатам контроля местоположения, обеспечивающего надежный и качественный прием сообщений.

3. Возможность формирования кодовой последовательности контрольного сигнала (пакета) генератором случайных чисел, что повышает достоверность контроля: при проведении циклов контроля кодовая последовательность выбирается случайным образом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабкин А.Н., Авсентьев О.С. Обеспечение функциональной живучести радиоканала // Вестник Воронежского института МВД России. — 2012. — №3. — С.116—121.
2. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. — 2-е изд. — М.: Радио и связь, 1982. — 624 с.
3. Защищенные системы связи ОВД: учебное пособие / Бабкин А.Н. [и др.]. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2009. — 91 с.
4. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь: учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 432 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Эсауленко Александр Владимирович. Начальник ФГКУ УВО ГУ МВД России по Краснодарскому краю.

Россия, 350002, г. Краснодар, ул. Новокузнецкая, 125. Тел. (861) 255-75-93.

Бабкин Александр Николаевич. Начальник кафедры информационной безопасности. Кандидат технических наук, доцент.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: alex_babk@mail.ru., babkian@mail.vimvd.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 262-33-76.

Esaulenko Alexander Vladimirovich. The head of FGKU UVO GU Ministry of Internal Affairs of Russia on Krasnodar region.

Work address: Russia, 350002, Krasnodar, Novokuznechnaya Str., 125. Tel. (861) 255-75-93.

Babkin Alexander Nicolayevich. The chief of Information Security chair. Candidate of technical sciences, assistant professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 262-33-76.

Ключевые слова: радиоканал; вероятность ошибочного приема; отношение сигнал/шум; абонентская радиостанция; ретранслятор.

Key words: radio channel; probability of wrong reception; relation signal/noise; subscriber radio station; repeater.

УДК 621.396.62



Р.В. Кузьменко,
доктор физико-
математических наук,
доцент, Воронежский
институт ФСИН России



А.Н. Лукин,
доктор физико-
математических наук,
профессор, Воронежский
институт ФСИН России



Е.Г. Спиридонов,
доктор технических наук,
доцент, Воронежский
институт ФСИН России

О ВЛИЯНИИ МЕТОДА РАЦИОНАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ И УРОВЕНЬ РИСКА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

EFFECT OF MANAGEMENT PRACTICES FILTER FOR SAFETY INFORMATION-CONTROL SYSTEMS CRITICAL AND LEVEL OF RISK EMERGENCIES

Дано обоснование метода повышения безопасности информационно-управляющих систем критического применения на основе рациональной фильтрации разнородных признаков несанкционированных воздействий на информационно-управляющие системы критического применения.

The feasibility of the method enhance the security of management information systems of critical applications on the basis of a rational filter dissimilar signs unauthorized influences on management information systems of critical applications is given.

Современная жизнь невозможна без электронных средств информатизации общества, частью которых являются информационно-управляющие системы критического применения (ИУС КП). Они представляют собой взаимосвязанные между собой информационные и телекоммуникационные средства сбора, обработки и передачи информации, предназначенные для обеспечения определенных технологических циклов по формированию баз данных и управлению различными технологическими процессами (например, автоматизированные системы управления атомными электростанциями, вредными производствами и т.д.). При этом нарушение последовательности операций технологических циклов, выход некоторых параметров за допустимые пределы на

установленном интервале времени приводит к нарушению функционирования ИУС КП, и, соответственно, нанесению им определенного ущерба, что повышает риск возникновения и развития чрезвычайных ситуаций.

Существующие меры защиты, как правило, используют большое количество средств обнаружения несанкционированных воздействий (НСВ) и реагирования на воздействия угроз. Но огромная часть информации о характеристиках воздействий и происходящих процессах зачастую дублируется или просто отсутствует, что не дает возможности определения этапа и характера воздействия и, как следствие, степени его опасности, а это, в свою очередь, приводит к неадекватному реагированию программной системы защиты информации (ПСЗИ). Кроме того, современные средства защиты, как правило, разрабатываются для сетей общего пользования и не учитывают особенностей работы ИУС КП, выполняющих определенные технологические циклы и не приемлющих в ряде случаев стандартных универсальных решений ПСЗИ.

Вышесказанное определило необходимость решения задачи рациональной фильтрации разнородных признаков НСВ в рамках оптимизации процесса выявления НСВ с учетом необходимости безусловного выполнения ИУС КП основных задач по целевому назначению. В ходе ее решения дано обоснование метода рациональной фильтрации разнородных признаков несанкционированных воздействий на ИУС КП, отличающегося от известных введением в пространство основных признаков НСВ дополнительных значимых признаков, специфичных для определенных ИУС КП, и дополнительных математических соотношений с целью оптимизации работы системы выявления НСВ в условиях ограничения временного ресурса и достижения требуемой своевременности реагирования на воздействия.

Формирование информационного пространства признаков НСВ на ИУС КП реализуется путем покрытия информационного пространства данных основных средств регистрации признаков воздействий информационным пространством дополнительных данных. Это связано с недостатком в пространстве основных данных мониторинга некоторых элементов, специфичных для отдельных типов воздействий, отсутствие которых может привести к низкой эффективности процесса выявления (неправильному определению вида НСВ, оценке степени его опасности и т.д.). С методической точки зрения данную процедуру можно рассматривать как процедуру дополнения одного информационного пространства другим [1], что позволяет сформулировать утверждение о ее формальном представлении.

Процесс формирования информационного пространства данных основных средств регистрации признаков НСВ информационным пространством дополнительных данных с точки зрения формальной логики можно рассматривать как процедуру дополнения одного множества информационных элементов другим.

Для формального представления положений утверждения введем следующие обозначения: I^o — общее информационное пространство данных признаков НСВ; I^m — информационное пространство данных основных средств регистрации признаков НСВ; I^{don} — информационное пространство дополнительных данных.

С учетом введенных обозначений формальное представление утверждения имеет следующий вид:

$$\text{при } I^o = I^m \cup I^{don} \text{ справедливо } I^m = \bar{I}^{don}.$$

Доказательство выглядит следующим образом. Рассмотрим детально механизм информационного покрытия. Для однозначного определения корреляции основных и дополнительных данных мониторинга информационного пространства осуществим

разбиение пространств I^M и $I^{\partial on}$ на M и N непересекающихся подпространств (фрагментов) соответственно. При этом в пространстве I^M формируется M фрагментов базовых информативных признаков, а в пространстве $I^{\partial on}$ — N фрагментов значимых информативных признаков, обеспечивающих соответствующие базовые признаки. Тогда можно записать следующее соотношение:

$$I^M = \langle i_1^M, i_2^M, \dots, i_M^M \rangle, \quad (1)$$

где i_m^M — m -й ($m=1, 2, \dots, M$) базовый информационный признак информационного пространства данных основных средств регистрации признаков НСВ;

$$I^{\partial on} = \langle i_1^{\partial on}, i_2^{\partial on}, \dots, i_N^{\partial on} \rangle, \quad (2)$$

где $i_n^{\partial on}$ — n -й ($n=1, 2, \dots, N$) значимый информационный признак информационного пространства данных дополнительных средств регистрации признаков НСВ.

Общее информационное пространство данных признаков НСВ на ИУС КП формируется на основе информационного пространства данных основных средств регистрации признаков НСВ I^M и информационного пространства дополнительных данных $I^{\partial on}$, то есть имеет место соотношение

$$I^o = \langle i_1^M \cup i_{11}^{\partial on} \cup i_{12}^{\partial on} \dots \cup i_{1K_1}^{\partial on}, \dots, i_M^M \cup i_{11}^{\partial on} \cup i_{12}^{\partial on} \dots \cup i_{MK_M}^{\partial on} \rangle, \quad (3)$$

где K_m — число значимых признаков пространства $I^{\partial on}$, дополняющих отсутствующую часть смыслового содержания базового признака i_m^M пространства $I^{\partial on}$.

Характеристику $\sum_{m=1}^M K_m = N$ процесса покрытия одного информационного пространства другим будем называть степенью или глубиной покрытия. При этом выражение (3) примет вид

$$I^o = \langle i_1^M \cup \bar{i}_1^M, \dots, i_M^M \cup \bar{i}_M^M \rangle, \quad (4)$$

где $\bar{i}^M = \langle i_2^M \dots \cup i_{K_M}^M \rangle$.

Тогда для $I^{\partial on} = \langle i_1^{\partial on}, i_2^{\partial on}, \dots, i_N^{\partial on} \rangle$ и $\bar{i}^M = \langle \bar{i}_1^M, \bar{i}_2^M, \dots, \bar{i}_M^M \rangle$ справедливо

$$I^{\partial on} = \bar{i}^M. \quad (5)$$

Утверждение доказано.

Процедура информационного покрытия при управлении процессом выявления признаков НСВ на ИУС КП позволяет рассматривать обеспечение информативных признаков информационного пространства данных основных средств регистрации признаков НСВ информационным пространством дополнительных данных как процесс резервирования общего информационного пространства данных признаков воздействий. Наиболее полной характеристикой процесса покрытия информационного пространства данных основных средств регистрации признаков атак информационным пространством дополнительных данных является вероятность обеспечения дополнительным содержанием базовых информативных признаков.

Следующий момент, который необходимо рассмотреть, это зависимость времени выявления НСВ на ИУС КП от глубины покрытия. Необходимо заметить, что корреляция в данном контексте отличается от общепринятого понимания [2] и носит смысловой характер. Она заключается в определении в дополнительных данных только значимых информативных признаков, которые соответствуют базовым признакам дан-

ных основных средств регистрации признаков НСВ. Таким образом, можно оптимизировать время выявления по критерию минимальное время/необходимое качество. Для достижения этой цели сформулируем следующее утверждение.

При покрытии информационного пространства данных основных средств регистрации признаков НСВ I^M информационным пространством дополнительных данных $I^{\partial on}$ существует локальный интервал малого изменения функции времени реализации процесса выявления НСВ $\tau^o \ll N$ от глубины покрытия N .

Введем следующие обозначения: $\tau^o \ll N$ — время реализации процесса выявления НСВ как функция глубины покрытия информационного пространства данных основных средств регистрации признаков НСВ дополнительными данными; P^{yu} — вероятность устранения информационной избыточности дополнительных данных, характеризующая степень корреляции данных мониторинга основных средств регистрации признаков НСВ и дополнительных данных за счет информационного покрытия.

Формальное представление утверждения имеет вид:

при $I^o = I^M \cup I^{\partial on}$ $\exists$ локальный интервал малого изменения $\tau^o \ll N$.

Докажем это утверждение. На рис. 1 изображена формализованная схема рассматриваемого процесса.

Формирование общего информационного пространства данных признаков НСВ (состояние S^o) осуществляется путем дополнения пространства базовых признаков данных основных средств регистрации признаков НСВ (состояние S^M) значимыми информационными признаками дополнительных данных (состояние $S^{\partial on}$) с соответствующими вероятностными характеристиками по устранению информационной избыточности P^{yu} и обеспечению дополнительным содержанием информационного пространства данных основных средств регистрации признаков НСВ P^{ob} .

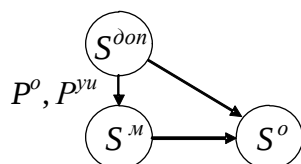


Рис. 1. Формализованная схема процесса выявления НСВ на ИУС КП

Пусть τ^M — временная характеристика состояния S^M , а $\tau^{\partial on}$ — временная характеристика состояния $S^{\partial on}$. Тогда, учитывая характеристики P^{ob} и P^{yu} , а также соотношение состояний $S^{\partial on}$ и S^M , временную характеристику состояния S^o , правомерно считать, что

$$\tau^o = \tau^M + (1 - P^{ob} \cdot P^{yu}) \tau^{\partial on}. \quad (6)$$

Уровень резерва общего информационного пространства данных признаков НСВ на ИС I^o запишем в виде

$$R^{\phi} = \frac{d^{\partial on}}{d^M} = \frac{\tau^{\partial on}}{\tau^M}. \quad (7)$$

Тогда выражение (6) можно представить, как

$$\tau^o = \tau^M \cdot \left(1 - \left(1 - P^{ob} \cdot P^{yu} \right)^N \right) \cdot R^{\phi} \quad (8)$$

Вероятность P^{yu} , характеризующую степень корреляции данных основных средств регистрации признаков НСВ и дополнительных данных за счет информационного покрытия, можно представить в виде

$$P^{yu} = 1 - \prod_{n=1}^N \left(1 - P_m^{yu} \right) \quad (9)$$

где $P_m^{yu} = \frac{\theta_{K_m}^{доп. зн}}{\theta_{K_m}^{доп. зн} + \theta_{K_m}^{доп. нзн}}$ — вероятность устранения информационной избыточности дополнительных данных одного базового информативного признака данных основных средств регистрации признаков НСВ; $\theta_{K_m}^{доп. зн}$, $\theta_{K_m}^{доп. нзн}$ — объемы полных подпространств $i_{mk}^{доп. зн}$, $i_{mk}^{доп. нзн}$, вычисляемых как [3]:

$$\theta = \sigma \cdot \log_2 V, \quad (10)$$

где σ — количество уникальных (неповторяющихся) сигнатур подпространств $i_{mk}^{доп. зн}$, $i_{mk}^{доп. нзн}$; V — общее число сигнатур подпространств $i_{mk}^{доп. зн}$, $i_{mk}^{доп. нзн}$.

Тогда при равномерном разбиении пространства $I^{доп}$ на фрагменты имеем

$$P^{yu} = 1 - \left(1 - P_m^{yu} \right)^N. \quad (11)$$

Учитывая изложенное, а также положение о поведении вероятности обеспечения дополнительным содержанием базовых информативных признаков пространства данных основных средств регистрации признаков НСВ P^{ob} , выражение (8) можно представить в виде зависимости времени τ^o от глубины покрытия N :

$$\begin{aligned} \tau^o &= \tau^M \cdot \left(1 - \left(1 - \left(1 - \left(1 - P_m^{ob} \right)^M \right) \cdot \left(1 - \left(1 - P_m^{yu} \right)^N \right) \right) \right) \cdot R^{\phi} = \\ &= \tau^M \cdot \left(1 - \left(1 - \left(1 - \left(1 - \frac{\theta_{K_m}^{доп}}{\theta_{K_m}^M + \theta_{K_m}^{доп}} \right)^M \right) \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{\theta_{K_m}^{доп. зн}}{\theta_{K_m}^{доп. зн} + \theta_{K_m}^{доп. нзн}} \right)^N \right) \right) \right) \cdot \frac{N \cdot \theta^{доп}}{M \cdot \theta^M}. \end{aligned} \quad (12)$$

После дифференцирования и проведения необходимых преобразований получается трансцендентное уравнение, решаемое известными численными методами [4, 5]. При этом, исходя из условий

$$0 < P^{ob} < 1 \quad \text{и} \quad 0 < P^{yu} < 1, \quad (13)$$

корень уравнения не может быть равным нулю или отрицательным.

Из этого следует, что локальный интервал малого изменения зависимости времени реализации процесса выявления НСВ как функции глубины покрытия информационного пространства данных основных средств регистрации признаков НСВ дополнительными данными существует (рис. 2), что свидетельствует о возможности оптимизации процесса выявления за счет учета только действительно значимых дополнительных данных.

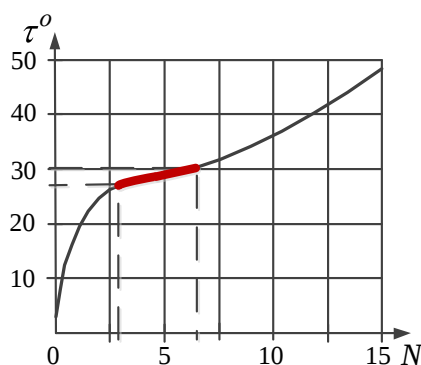


Рис. 2. Зависимость времени реализации процесса выявления НСВ τ^o от глубины покрытия N

В соответствии с принципами оптимизации управления процессом выявления НСВ на ИУС КП возникает необходимость оптимального распределения резерва дополнительных средств мониторинга информационного пространства. Целевую функцию в данной задаче определяют потребности в резервировании, а функцию ограничения — возможности по его внесению. Сформулируем и докажем соответствующее утверждение.

Необходимость использования в процессе распознавания наряду с данными основных средств регистрации признаков НСВ дополнительных данных зависит от частоты их использования.

Доказательство в этом случае следующее. Введем обозначения: $\bar{\tau}_m^o$ — среднее время реализации m -го процесса выявления ($m=1,2,\dots,M$); τ_m^{don} — время обработки дополнительных данных; a_m — число реализаций m -го процесса выявления на интервале $[t_n, t_k]$; t_n — время начала наблюдения; t_k — время окончания наблюдения.

Суммарное время реализации типового процесса выявления на рассматриваемом интервале $[t_n, t_k]$

$$\tau_k^{\Sigma o} = \sum_{[t_n, t_k]} \bar{\tau}_m^o = a_m \cdot \bar{\tau}_m^o. \quad (14)$$

Тогда суммарное время обработки дополнительных данных

$$\tau_k^{\Sigma don} = \sum_{[t_n, t_k]} \bar{\tau}_m^{don} = a_m \cdot \bar{\tau}_m^{don}. \quad (15)$$

При условии, что $t_k - t_n \gg \tau_k^{\Sigma o}$, предположим, что случайное распределение процессов выявления $\bar{\tau}_m^o$ на временном интервале $\tau_k^{\Sigma o}$ (рис. 3) удовлетворяет следующим условиям [1, 2]:

- вероятность реализации процесса выявления зависит только от длины временного интервала $\tau_k^{\Sigma o}$ и не зависит от его положения на временной оси, из чего следует, что процессы выявления проводятся с одинаковой средней плотностью $\bar{p}_k^{\Sigma o}$;

- отдельные процессы выявления признаков НСВ распределяются на временной оси независимо друг от друга.

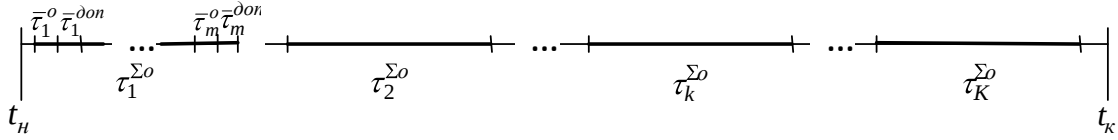


Рис. 3. Временные соотношения в типовом процессе выявления НСВ на ИС

Это позволяет вероятность того, что за время $\tau_k^{\Sigma o}$ m -й процесс выявления проявится в k временных интервалах $\tau_k^{\Sigma o}$, считать распределенным по закону Пуассона:

$$P_k^o = \frac{\bar{p}_k^{\Sigma o} \cdot \tau_m^{\Sigma o}}{k!} \cdot e^{-\bar{p}_k^{\Sigma o} \cdot \tau_m^{\Sigma o}}, \quad (16)$$

а вероятность проявления хотя бы в одном $\tau_k^{\Sigma o}$ — по экспоненциальному закону:

$$P_m^o = 1 - e^{-\bar{p}_k^{\Sigma o} \cdot \tau_m^{\Sigma o}}. \quad (17)$$

Тогда для любой пары значений $\tau_i^{\Sigma o}$ и $\tau_j^{\Sigma o}$ справедливо условие:

$$\text{если } \tau_i^{\Sigma o} > \tau_j^{\Sigma o}, \text{ то } P_i^o > P_j^o. \quad (18)$$

Из этого следует, что для i -го процесса выявления должна быть вероятность P_i^{ob} обеспечения дополнительными данными соответствующего базового информативного признака пространства I^M не ниже ее уровня P_j^{ob} , необходимого для обеспечения j -го процесса выявления, то есть

$$\text{для } P_i^o > P_j^o \text{ необходимо } P_i^{ob} > P_j^{ob}. \quad (19)$$

При этом вероятность P_m^{ob} обеспечения дополнительными данными базового информативного признака пространства I^M , соответствующего m -му процессу выявления, определяется согласно выражению

$$P_m^{ob} = \frac{\theta_{K_m}^{don}}{\theta_m^M + \theta_{K_m}^{don}}, \quad (20)$$

в котором θ_m^M — объем информационного пространства базового признака i_m^M ; $\theta_{K_m}^{don}$ — объем информационного пространства соответствующих значимых признаков $\bar{i}_m^M = i_1^{don} \cup i_2^{don} \dots \cup i_{K_m}^{don}$.

С учетом вышеизложенного, а также условий (18), (19) и выражения (20) справедливо соотношение: для $\tau_i^{\Sigma o} > \tau_j^{\Sigma o}$ необходимо обеспечить $K_i > K_j$, что и требовалось доказать. Кроме того, увеличению значения резерва дополнительных данных любого из M базовых информационных признаков данных основных средств регистрации признаков НСВ соответствует снижение значения своевременности реагирования на воздействия, свидетельствующее об ограниченности возможностей резервирования дополнительных данных [6].

Таким образом, в работе дано обоснование метода повышения безопасности ИУС КП на основе рациональной фильтрации разнородных признаков несанкционированных воздействий. Он основан на том положении, что при покрытии информационного

пространства данных основных средств регистрации признаков НСВ информационным пространством дополнительных данных существует локальный экстремум или интервал малого изменения функции времени реализации процесса выявления признаков НСВ от глубины покрытия. Это свидетельствует о возможности оптимизации процесса выявления за счет учета только действительно значимых дополнительных признаков НСВ. Использование данного метода позволяет оптимизировать работу системы выявления НСВ в условиях ограничения временного ресурса на решение задач защиты и дает возможность достижения требуемой своевременности реагирования на воздействия с учетом необходимости безусловного выполнения ИУС КП основных задач по целевому назначению и, соответственно, снижению риска возникновения и развития чрезвычайных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заряев А.В. О возможности формального представления процедуры интегрирования разнородных информационных процессов в интересах подготовки специалистов в области информационной безопасности // Информация и безопасность. — 2002. №1. — С. 48—49.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Наука, 1988. — 480 с.
3. Холстед М.Х. Начала науки о программах: пер. с англ. — М.: Финансы и статистика, 1981. — 128 с.
4. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учебное пособие для студентов вузов. — М.: Высшая школа, 2003. — 405 с.
5. Бахвалов И.В., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. — М.: Лаборатория базовых знаний, 2000. — 624 с.
6. Душкин А.В. О потребностях и возможностях функционального резервирования дополнительных средств мониторинга информационного пространства информационно-телекоммуникационной системы // Системы управления и информационные технологии. — 2006. — №4.1(26). — С. 144—145.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузьменко Роман Валентинович. Начальник кафедры математики и естественно-научных дисциплин. Доктор физико-математических наук, доцент.
Воронежский институт ФСИН России.
E-mail: a_dushkin@mail.ru
Россия, 394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, 1а. Тел. (473) 260-68-19.

Лукин Александр Николаевич. Заместитель начальника института по научной работе. Доктор физико-математических наук, профессор.
Воронежский институт ФСИН России.
E-mail: a_dushkin@mail.ru.
Россия, 394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, 1а. Тел. (473) 260-68-19.

Спиридонов Евгений Геннадьевич. Профессор кафедры основ радиотехники и электроники. Доктор технических наук, доцент.
Воронежский институт ФСИН России.
E-mail: a_dushkin@mail.ru
Россия, 394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, 1а. Тел. (473) 260-68-19.

Kuzmenko Roman Valentinovich. Chief of chair of mathematics and science education. Doctor of physical and mathematical sciences, assistant professor.

Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service.

Work address: Russia, 394072, Voronezh, Irkutskaya Str., 1a. Tel. (473) 260-68-19.

Lukin Alexander Nikolaevich. Deputy head of Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service for Research. Doctor of physical and mathematical sciences, professor.

Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service.

Work address: Russia, 394072, Voronezh, Irkutskaya Str., 1a. Tel. (473) 260-68-19.

Spiridonov Yevgeniy Gennadyevich. Professor of the chair of foundations radio and electronics. Doctor of technical sciences, assistant professor.

Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service.

Work address: Russia, 394072, Voronezh, Irkutskaya Str., 1a. Tel. (473) 260-68-19.

Ключевые слова: безопасность; информационно-управляющая система; информационное пространство; несанкционированное воздействие; признак.

Key words: security; information management system; information field; unapproved influence; sign.

УДК 004.9

ИЗДАНИЯ ВОРОНЕЖСКОГО ИНСТИТУТА МВД РОССИИ



Зарубин В.С.

Системы видеомониторинга стационарных объектов: учебное пособие / В.С. Зарубин, Д.В. Картавец, М.В. Таравков. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2012. — 67 с.

Пособие посвящено вопросам организации сложных систем видеомониторинга для стационарных распределенных объектов. Рассматриваются основные требования нормативных документов к построению таких систем, их технические характеристики и способы реализации. Уделено внимание примерам построения и типовым решениям.

Пособие предназначено для слушателей и курсантов Воронежского института МВД России, обучающихся по специальности 210302.65 «Радиотехника», а также технических специалистов подразделений вневедомственной охраны, ФГУП «Охрана».



В.П. Лихачев,
доктор технических наук,
Военный учебно-научный
центр (г. Воронеж)



Р.Р. Шатовкин,
кандидат технических наук,
Военный учебно-научный
центр (г. Воронеж)



М.Н. Губарь,
Военный учебно-научный
центр (г. Воронеж)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РЛС С ИНВЕРСНЫМ СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ СОПРОВОЖДЕНИИ МАНЕВРЕННОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА

THE MODELLING OF JOINT PROCESSING OF SIGNALS IN RADAR WITH INVERTED APERTURE SYNTHESIS OF MANOEUVRABLE AIRCRAFT AUTOMATIC TRACKING

Предложено математическое описание процесса совместной первичной и вторичной обработки отраженного от маневренного воздушного судна радиолокационного сигнала в РЛС с инверсным синтезированием апертуры для решения задачи автоматического сопровождения воздушного судна по дальности, скорости и курсу в целях повышения качества управления воздушным движением и безопасности полетов. В процессе имитационного моделирования получены результаты, подтверждающие целесообразность практического применения предложенных моделей.

It is proposed the mathematical description of the process of joint primary and secondary processing of reflected from the manoeuvring of the aircraft radar signal in radar with reverse speech aperture for the solution of the problems of automatic tracking of the aircraft in range, speed and course in order to improve the quality of air traffic control and safety. In the process of simulation results, confirming the practical application of the proposed models are obtained.

Низкая оперативность и точность обработки радиолокационной информации (РЛИ) в РЛС обуславливает проблему повышения качества управления воздушным движением (УВД) и безопасности полетов. Так, для решения задачи сопровождения воздушного судна (ВС) оценка начального кинематического положения (радиальной V_r и тангенциальной V_t составляющей вектора скорости ВС V) может быть получена

только по результатам двух и более последовательных обзоров пространства. Кроме того, при маневрировании ВС классические алгоритмы вторичной обработки — автоматического сопровождения в РЛС склонны к расходимости [1], что приводит к срыву слежения. Все это не удовлетворяет требованиям по оперативности и точности сопровождения ВС и, как следствие, существенно снижает качество УВД.

Требования к оперативности и точности оценивания вектора скорости движения ВС при его маневрировании можно удовлетворить, совместно используя в РЛС методы инверсного синтезирования апертуры (ИСА) [2—4] и калмановской фильтрации [5—7]. Однако в этом случае необходимо разработать новые модели процесса совместной первичной и вторичной обработки радиолокационных сигналов, отраженных маневренным ВС, что является целью настоящей статьи.

Процесс обработки радиолокационных сигналов когерентной РЛС методом ИСА с калмановской фильтрацией параметров движения ВС содержит три этапа [5]:

прием, регистрация квадратурных составляющих и вычисление комплексной формы сигналов;

первичная обработка — измерение дальности до ВС D , его скорости V и курсового угла полета φ (посредством совместного наблюдения составляющих V_r и V_τ), начиная с первого обзора пространства;

вторичная обработка — фильтрация параметров движения ВС D , V и φ , начиная со второго периода обзора пространства с экстраполяцией и стробированием полученных оценок.

Моделирование этапа приема радиолокационных сигналов

На данном этапе осуществляется прием $n = \overline{1, N}$ эхо-сигналов от ВС в процессе обзора пространства, регистрация квадратурных составляющих этих сигналов и вычисление их комплексной формы:

$$\dot{S}_p(t_n) = f_\beta(\beta - \beta(t_n)) \exp \left\{ -j \frac{4\pi V_r t_n}{\lambda} \right\} \sum_{i=1}^I U_i \exp \left\{ -j \frac{2\pi V_\tau^2 (t_n - t_i)^2}{\lambda D_p} - \Psi_i \right\} + \dot{\eta}_p(t_n), \quad (1)$$

где $t_n = nT_{im}$; $\beta(t_n) = 2\pi \left(1 - \frac{t_n}{T_{obs}} \right)$; $N = \text{int} \left\{ \frac{T_{obs}}{T_{im}} \right\}$; $D_p = p\Delta d$; $f_\beta(\beta - \beta(t_n))$ — текущее значение диаграммы направленности антенны (ДНА) в направлении на ВС в момент времени t_n ; n — номер зондирующего сигнала; T_{im} — период следования импульсов; D_p — дальность до ВС, находящегося в p -м ($p = \overline{1, P}$) элементе разрешения по дальности Δd ; N — число импульсов, принимаемых за один круговой обзор; $\text{int} \left\{ \cdot \right\}$ — символ вычисления целого значения числа в фигурных скобках $\cdot$; T_{obs} — период обзора пространства по азимуту; β — истинный азимут ВС, находящегося на дальности D_p ; $\beta(t_n)$ — текущее азимутальное положение максимума ДНА в момент времени t_n ; λ — длина волны излучения; I — число рассеивающих центров (РЦ) на поверхности ВС; i — номер РЦ ($i = \overline{1, I}$); $\dot{\eta}_p(t_n)$ — комплексное значение аддитивной суммы внешних шумов (помех), внутренних шумов приемника и шумов квантования принятого сигнала в момент времени t_n ; U_i — амплитуда отражения зондирующего сигнала от i -го РЦ; Ψ_i — фаза переотражения радиоимпульса от i -го РЦ в совокупности с начальной фазой излучения зондирующего сигнала; t_i — время, учитывающее частную задержку

сигнала при отражении от i -го РЦ поверхности ВС (учет разных наклонных дальностей до разных РЦ); p — индекс принадлежности параметра к p -му элементу разрешения по дальности Δd .

Моделирование этапа первичной обработки РЛИ

Этап первичной обработки РЛИ описывается следующими процедурами [2, 3, 6]:

1. Задание начальных размеров стробов по дальности $\Delta D(1)$, тангенциальной $\Delta V_\tau(1)$ и радиальной $\Delta V_r(1)$ составляющих скорости на 1-м периоде обзора РЛС:

$$\Delta D(1) = D_{\max}(1); \quad (2)$$

$$\Delta V_\tau(1) = V_{\tau \max}(1); \quad (3)$$

$$\Delta V_r(1) = 2V_{r \max}(1), \quad (4)$$

где $D_{\max}(1)$, $V_{\tau \max}(1)$ и $V_{r \max}(1)$ — максимальные значения дальности действия РЛС и составляющих скорости ВС на 1-м периоде обзора РЛС.

2. Первичная обработка эхо-сигналов на выходе приемника РЛС $S(t, k)$ методом ИСА на каждом k -м периоде обзора РЛС (включая 1-й период) представляет собой процедуру свертки

$$y_{p,l,m}(t, k) = \int_{-T_c/2}^{T_c/2} S(t, k) h_{p,l,m}(t - \tau, k) d\tau \quad (5)$$

с множеством опорных функций $\dot{h}_{p,l,m}(t, k)$ [2, 3]

$$h_{p,l,m}(t, k) = \exp\left\{j \frac{4\pi}{\lambda} V_{rm}(k) t\right\} \exp\left\{j \frac{2\pi V_{\tau l}^2(k)}{\lambda D_p(k)}\right\}, \quad (6)$$

составляющих матрицу опорных функций $\mathbf{H} \hat{\mathbf{C}}^{\sim}$ размерностью $P \times L \times M$ [2, 6], где T_c — время контакта диаграммы направленности РЛС с ВС; p, l, m — индексы элементов матрицы $\mathbf{H} \hat{\mathbf{C}}^{\sim}$ по дальности и составляющим скорости ВС; $D_{\max}(k)$, $V_{\tau \max}(k)$ и $V_{r \max}(k)$ — максимальные значения дальности действия РЛС и составляющих скорости ВС на k -м периоде обзора РЛС; $D_{\min}(k)$, $V_{\tau \min}(k)$ и $V_{r \min}(k)$ — минимальные значения дальности действия РЛС и составляющих скорости ВС на k -м периоде обзора РЛС; $\Delta d(k)$, $\Delta V_\tau(k)$, $\Delta V_r(k)$ — элементы разрешения (шаг изменения) по дальности и составляющим скорости ВС на k -м периоде обзора РЛС; $\check{D}(k)$, $\check{V}_\tau(k)$, $\check{V}_r(k)$ — значения центров стробов по дальности и составляющим скорости ВС на k -м периоде обзора РЛС; $\Delta V_\tau(k) = V_{\tau \max}(k) - V_{\tau \min}(k)$; $\Delta V_r(k) = V_{r \max}(k) - V_{r \min}(k)$;

$$D_p(k) = \check{D}(k) - \frac{\Delta D(k)}{2} + \Delta d(k); D_p(k) \in (D_{\min}(k), D_{\min}(k) + \Delta d(k), \dots, D_{\max}(k));$$

$$p \in P(k) = \left[1, \frac{\Delta D(k)}{\Delta d(k)}\right]; V_{\tau l}(k) = \check{V}_\tau(k) - \frac{\Delta V_\tau(k)}{2} + \Delta v_\tau(k);$$

$$V_{rm}(k) = \check{V}_r(k) - \frac{\Delta V_r(k)}{2} + \Delta v_r(k); \Delta D(k) = D_{\max}(k) - D_{\min}(k);$$

$$V_{rm}(k) \in (V_{r \min}(k), V_{r \min}(k) + \Delta v_r(k), \dots, V_{r \max}(k)), \quad m \in M(k) = \left[1, \frac{\Delta V_r(k)}{\Delta v_r(k)}\right];$$

$$V_{\tau l}(k) \in (V_{\tau \min}(k), V_{\tau \min}(k) + \Delta v_{\tau}(k), \dots, V_{\tau \max}(k)), \quad l \in L(k) = \left[1, \frac{\Delta V_{\tau}(k)}{\Delta v_{\tau}(k)} \right]. \quad (7)$$

В результате свертки формируется матрица откликов $Y_{p,l,m}(t,k)$ размерностью $P \times L \times M$ с элементами $y_{p,l,m}(t,k)$, определяемых выражением (7).

3. На каждом k -м периоде обзора РЛС первичные измерения значений дальности $\hat{D}(k)$, тангенциальной $\hat{V}_{\tau}(k)$ и радиальной $\hat{V}_r(k)$ скорости определяются по значениям индексов $p_{\max}, l_{\max}, m_{\max}$ максимального отклика $y_{p,l,m}(t,k)$ в матрице $Y_{p,l,m}(t,k)$:

$$\hat{D}(k) = D_p(k) \Big|_{p_{\max}} = \check{D}(k) - \frac{\Delta D(k)}{2} + \Delta d(k) \Big|_{p_{\max}}; \quad (8)$$

$$\hat{V}_{\tau}(k) = V_{\tau l}(k) \Big|_{l_{\max}} = \check{V}_{\tau}(k) - \frac{\Delta V_{\tau}(k)}{2} + \Delta v_{\tau}(k) \Big|_{l_{\max}}; \quad (9)$$

$$\hat{V}_r(k) = V_{rm}(k) \Big|_{r_{\max}} = \check{V}_r(k) - \frac{\Delta V_r(k)}{2} + \Delta v_r(k) \Big|_{r_{\max}}, \quad (10)$$

$$p_{\max}, l_{\max}, m_{\max} = \arg \max_{p,l,m} y_{p,l,m}(t,k). \quad (11)$$

4. На каждом k -м периоде обзора РЛС определяются первичные измерения скорости ВС $\hat{V}(k)$ и курсового угла его полета $\hat{\varphi}(k)$:

$$\hat{V}(k) = \sqrt{\hat{V}_{\tau}(k)^2 + \hat{V}_r(k)^2}; \quad \hat{\varphi}(k) = \arctg \left(\frac{\hat{V}_{\tau}(k)}{\hat{V}_r(k)} \right). \quad (12)$$

Таким образом, на этапе первичной обработки РЛИ на каждом k -м периоде обзора РЛС производятся измерения дальности до ВС $\hat{D}(k)$ (выражение (8)), скорости ВС $\hat{V}(k)$ и курсового угла его полета ВС $\hat{\varphi}(k)$ (выражения (9), (10), (12)).

Моделирование этапа вторичной обработки РЛИ

Этап вторичной обработки РЛИ описывается следующими процедурами [5, 7, 8]:

1. Экстраполяция дальности до маневренного ВС осуществляется в соответствии с моделью [8]:

$$\begin{cases} D(k+1) = D(k) + r(k)\omega \frac{1 - \exp\{-\frac{1}{2}\mu T\}}{\mu}, \\ r(k+1) = r(k)\exp\{-\frac{1}{2}\mu T\} \xi_r(k), \end{cases} \quad (13)$$

где ω — угловая скорость перемещения ВС относительно РЛС; $r(k)$ — радиус окружности, по дуге которой движется ВС относительно РЛС в рассматриваемый момент времени; $\xi_r(k)$ — дискретная последовательность белого гауссовского шума с дисперсией $2\mu\sigma_r^2$; σ_r — среднеквадратичное отклонение (СКО) радиуса окружности, по дуге которой движется ВС относительно РЛС; T — интервал дискретизации; $\mu = \frac{m_v}{2\pi m_r}$ — вели-

чина, обратная постоянной времени маневра; m_v и m_r — средние значения скорости ВС и радиуса дуги окружности, по которой движется ВС. На основе экспериментальных данных определено, что для маневрирующего ВС $m_v = 158$ м/с; $m_r = 269$ м; $\sigma_r = 197$ м.

2. Экстраполяция скорости маневренного ВС осуществляется в соответствии с моделью:

$$V(k+1) = V(k) \exp \left\{ -\frac{1}{2} \mu T \right\} \xi_V(k), \quad (14)$$

где $\xi_V(k)$ — дискретная последовательность белого гауссовского шума с дисперсией:

$$Q = \sigma_V^2 \left[1 - \exp \left\{ -\frac{1}{2} \mu T \right\} \right]. \quad (15)$$

3. Экстраполяция курсового угла полета ВС осуществляется в соответствии с моделью:

$$\begin{cases} \varphi(k+1) = \varphi(k) + V_h(k) \frac{1 - \exp \left\{ -\frac{1}{2} \mu_h T \right\}}{m_{Dh} \mu_\varphi}, \\ V_h(k+1) = V_h(k) \exp \left\{ -\frac{1}{2} \mu_h T \right\} \xi_h(k), \end{cases} \quad (16)$$

где $V_h(k)$ — проекция вектора скорости ВС на горизонтальную плоскость; m_{Dh} — фиксированное значение проекции дальности до ВС на горизонтальную плоскость; $\xi_h(k)$ — дискретная последовательность белого гауссовского шума с дисперсией $2\mu_h \sigma_{Vh}^2$; μ_h — величина, обратная постоянной времени маневра в горизонтальной плоскости:

$$\mu_h = \frac{m_{Vh}}{2\pi m_{Dh}}. \quad (17)$$

На основе экспериментальных данных определено, что $m_{Vh} = 174$ м/с; $\sigma_{Vh} = 20$ м/с. Основываясь на результатах анализа условий маневрирования ВС в районе аэродрома, принимаем, что $m_{Dh} = 6000$ м.

4. Оценивание дальности до ВС, скорости ВС и его курсового угла полета осуществляется калмановскими фильтрами в соответствующих каналах слежения.

В общем случае модель движения ВС записывается как [5, 7]

$$\mathbf{x}(k+1) = \Phi(T, \mu) \mathbf{x}(k) + \xi(k), \quad (18)$$

где $\mathbf{x}(k)$ — вектор фазовых координат с ковариационной матрицей $P(k)$; $\Phi(T, \mu)$ — переходная матрица состояний; $\xi(k)$ — дискретная последовательность белого шума с гауссовской плотностью распределения вероятностей $\xi(k) \sim N(\xi(k) | 0, Q)$.

Модель первичного измерителя в каналах слежения описывается выражением:

$$z(k) = Hx(k) + \eta(k), \quad (19)$$

где $z(k)$ — вектор наблюдений; $H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$ — матрица наблюдений; $\eta(k)$ — шум наблюдения с гауссовской плотностью распределения вероятностей $z(k) \sim N(z(k) | 0, R(k))$.

Вторичная обработка РЛИ основана на выражениях [5, 7]:

$$\hat{\mathbf{x}}(k) = \tilde{\mathbf{x}}(k) + K(k)v(k), \quad (20)$$

где

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \mathbf{C}(T, \mu) \tilde{\mathbf{x}}(k); \quad (21)$$

$$K(k) = \frac{\tilde{P}(k) H^T}{H \tilde{P}(k) H^T + R(k)}; \quad (22)$$

$$v(k) = z(k) - H \tilde{\mathbf{x}}(k); \quad (23)$$

$$\tilde{P}(k+1) = \mathbf{C}(T, \mu) \tilde{P}(k) \mathbf{C}^T(T, \mu) + Q; \quad (24)$$

$$\tilde{P}(k) = (I - K(k) H) \tilde{P}(k). \quad (25)$$

В выражениях (20)—(25): $\hat{x}(k)$ — оценка вектора фазовых координат; $\tilde{x}(k)$ — прогноз вектора фазовых координат; $K(k)$ — матрица коэффициентов усиления; $v(k)$ — вектор невязки; $\hat{P}(k)$ и $\tilde{P}(k)$ — ковариационные матрицы, соответственно, оценки и прогноза вектора фазовых координат.

Таким образом, на этапе вторичной обработки РЛИ на каждом k -м (начиная со второго, в отличие от классических алгоритмов) периоде обзора РЛС формируются оценки дальности до ВС $\hat{D}(k)$, скорости ВС $\hat{V}(k)$ и курсового угла его полета $\hat{\phi}(k)$ в соответствии с выражениями (20) — (25) на основе моделей (13), (14) и (16) для каналов слежения по дальности, скорости и курсовому углу полета ВС, соответственно.

Результаты моделирования совместной первичной и вторичной обработки сигналов

Осуществлялось имитационное моделирование процессов первичной обработки РЛИ в РЛС с ИСА и ее вторичной обработки на основе принципиально новых моделей движения ВС. Имитировалось наблюдение РЛС типа СТ-68УМ ($T_c = 80$ мс, $\lambda = 0,1$ м) ВС, осуществляющего маневр в районе аэродрома ($D_p = 25$ км, $V_r = 250$ м/с).

Результаты моделирования показали, что возможно осуществление сопровождения ВС РЛС с использованием алгоритмов ИСА и калмановской фильтрации с ошибками, не превышающими: 140 м — по дальности; 30 м/с — по скорости; 40' — по курсу. Это вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к обеспечению безопасности полетов и УВД.

Вывод. Проведено имитационное моделирование процесса совместной первичной и вторичной обработки РЛИ о маневрирующем ВС в РЛС с ИСА. Получены результаты, удовлетворяющие требованиям по оперативности и точности сопровождения ВС. Практическое использование предложенных моделей и полученных результатов способствует реализации бесрывного сопровождения ВС непосредственно в РЛС и, как следствие, повышению качества УВД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. — М.: Радио и связь, 1986. — 352 с.
2. Лихачев В.П., Мубарак Н.Х. Особенности применения алгоритма инверсного синтезирования апертуры в задаче когерентного накопления сигналов обзорными РЛС // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2007. — № 2. — Т.5. — С. 19—24.
3. Лихачев В.П., Мубарак Н.Х. Способ определения параметров траектории движения воздушных целей в обзорных РЛС. Пат. 2337378 С1 РФ, МПК⁷ G01S 13/42. Оpubл. 27.10.2008, Бюл. №30. 11 с.
4. Коновалов А.Ю., Купряшкин И.Ф., Лихачев В.П. Точность оценки вектора линейной скорости цели при инверсном синтезировании апертуры антенны в условиях обзора пространства // Антенны. — 2009. — №5. — С. 65—69.
5. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1993. — 320 с.
6. Теоретические основы радиолокации / Я.Д. Ширман [и др.]; под ред. Я.Д. Ширмана. — М.: Сов. радио, 1970. — 560 с.

7. Yaakov Bar-Shalom, X. Rong Li, Thiagalingam Kirubarajan. Estimation with Applications to Tracking and Navigation. — John Wiley & Sons, 2001. — 558 p.

8. Шатовкин Р.Р. Моделирование функционирования системы управления вооружением истребителя в режиме радиолокационного молчания: монография. — Воронеж: Издательство ВАИУ, 2010. — 328 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лихачев Владимир Павлович. Профессор кафедры боевого применения средств РЭБ (с воздушно-космическими системами управления и наводящимся оружием). Доктор технических наук.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж).

E-mail: lvp_home@mail.ru

Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 153. Тел. 8-908-142-75-63.

Шатовкин Роман Родионович. Старший преподаватель кафедры боевого маневрирования авиационных комплексов. Кандидат технических наук.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж).

E-mail: Shatovkin@yandex.ru

Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 153. Тел. 8-951-554-36-76.

Губарь Михаил Николаевич. Адъюнкт кафедры эксплуатации авиационного оборудования.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж).

E-mail: mgubar1982@mail.ru

Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 153.

Likhachev Vladimir Pavlovich. Professor of the chair of combat use of EW (with an air-space management systems and leading arms). Doctor of technical sciences.

Military Educational Scientific Center of Air Forces of the «Military-Air Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin» (Voronezh).

Work address: Russia, 394052, Voronezh, Krasnoznamennaya Str., 153. Tel. 8-908-142-75-63.

Shatovkin Roman Rodionovich. Senior lecturer of the chair of the battle of mass manoeuvring of aircraft complexes. Candidate of technical sciences.

Military Educational Scientific Center of Air Forces of the «Military-Air Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin» (Voronezh).

Work address: Russia, 394052, Voronezh, Krasnoznamennaya Str., 153. Tel. 8-951-554-36-76.

Gubar Michail Nikolaevich. Post-graduate cadet.

Military Educational Scientific Center of Air Forces of the «Military-Air Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin» (Voronezh).

Work address: Russia, 394052, Voronezh, Krasnoznamennaya Str., 153.

Ключевые слова: инверсное синтезирование апертуры; маневренное воздушное судно; автоматическое сопровождение.

Key words: inverse synthesis of the apertures; manoeuvrable aircraft; automatic tracking.

УДК 621.39.51



А.В. Душкин,
доктор технических наук,
доцент, Воронежский
институт ФСИИ России



И.Н. Ишук,
доктор технических наук,
доцент, Военный учебно-
научный центр (г. Воронеж)



А.В. Парфирьев,
Военный учебно-научный
центр (г. Воронеж)

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ

INFORMATION AND TECHNICAL SUPPORT ROBOTIZED FOR REMOTE MEASUREMENT THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF THE OBJECT

Рассмотрен метод обработки кубоида ИК-изображения на основе математической модели нестационарного теплообмена, содержащий постановку коэффициентной обратной задачи теплопроводности с использованием неявных разностных схем. Описана техническая реализация роботизированной установки и приведены результаты экспериментальных исследований.

A method of processing cuboid infrared image on the basis of a mathematical model of unsteady heat transfer, comprising, the formulation of the inverse heat conduction problem with implicit difference schemes is considered. The technical realization of the robotic installation and the results of experimental studies are described.

В последнее время множество работ посвящено методам решения некорректных задач, в частности коэффициентных обратных задач теплопроводности, которые применяются в подразделениях силовых ведомств для решения задач по составлению трехмерных карт скрытых в грунте объектов; в системе ЖКХ для контроля состояния теплотрасс, теплоизоляции и идентификации дефектов в них; в дорожно-строительной промышленности для теплового контроля структуры укладываемого асфальта, идентификации мест возможного разрушения дорожного покрытия.

Однако большинство известных способов и методов решения коэффициентных обратных задач теплопроводности имеют высокие погрешности измерения

теплофизических свойств (ТФС) за счет использования упрощенных реализаций физических процессов и отсутствия учета температурных параметров тепловизионных приемников при непосредственном измерении [1—4].

Для уменьшения методической погрешности измерения теплофизических свойств объектов необходимо применять более сложные алгоритмы решения коэффициентной обратной задачи теплопроводности путем обработки динамических ИК-изображений (кубоид ИК-изображений).

Таким образом, целью работы является уменьшение методической погрешности измерения теплофизических свойств и снижение вычислительных затрат на обработку кубоида ИК-изображений.

Для качественной обработки кубоида ИК-изображения необходимо принимать во внимание правильность выбора метода и способа обработки кубоида ИК-изображения на основе решения коэффициентных обратных задач теплопроводности, с учетом их методической погрешности и времени вычисления; точность определения краевых условий задачи; характеристики тепловизионного приемника, в частности разрешение матрицы, чувствительность цветового контраста, количество кадров в единицу времени, фокусировку и др.; оптимальность определения предельных значений измерений тепловизионного приемника; правильность определения наименьшей измеряемой точки; точность определения момента остывания, необходимого для правильного построения графика аппроксимирующей функции; оптимальность организации алгоритмов вычисления с целью рационального использования ресурсов процессора и оперативной памяти вычислительного комплекса; производительность вычислительного комплекса (процессор, оперативная память и т.п.).

Самый главный показатель эффективности метода или способа — это точность алгоритма. Здесь имеется в виду точность всего решения, т.е. вычислительная погрешность, сходимость алгоритмов и их устойчивость.

В работах А.А. Самарского, П.Н. Вабишевича, Г.И. Марчука, Л.А. Коздобы, О.М. Алифанова, Г.Н. Дульнева, О.Н. Будагина и др. приводится постановка и решение коэффициентных обратных задач теплопроводности за счет использования упрощенных реализаций физических процессов с применением разностных схем, в основном явных, что приводит к получению относительно низкой точности вычисления теплофизических свойств. Однако явная разностная схема Эйлера дает разумный результат и вполне может использоваться для решения уравнений в частных производных. Тем не менее, производить расчеты можно только при помощи устойчивых разностных схем, а явная разностная схема проявляет себя устойчиво только при значениях коэффициента Куранта, меньших 1 (рис. 1), и неустойчиво — при значениях коэффициента Куранта, больших 1 (рис. 2).

Предложенный способ обработки кубоида ИК-изображения на основе решения коэффициентной обратной задачи теплопроводности с использованием неявных разностных схем заключается в решении на каждом временном слое системы уравнений (линейных, если исходное уравнение в частных производных линейно, и нелинейных, если оно нелинейно). Точность измерения предложенным способом на порядок больше, чем у выше изложенного способа. Отметим, что неявная схема является безусловно-устойчивой, так как не зависит от значений коэффициента Куранта, а следовательно, не зависит от шага дискретизации по времени. Однако ценой устойчивости является необходимость решения на каждом шаге по времени системы алгебраических уравнений. На рис. 3 показаны профили сеточной функции для нескольких временных слоев.

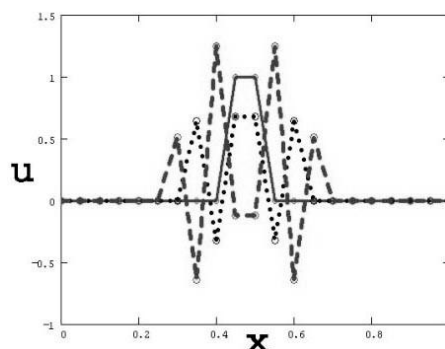


Рис. 1. Устойчивое решение (явная схема, число Куранта $C < 1$)

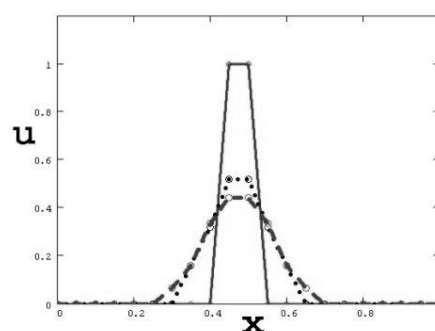


Рис. 2. Неустойчивое решение (явная схема, число Куранта $C > 1$)

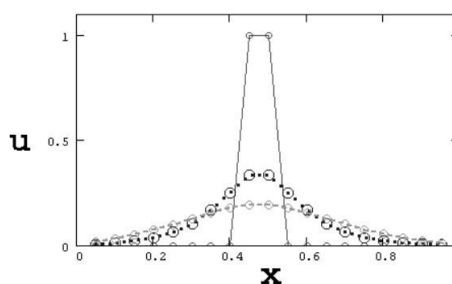


Рис. 3. Решение при помощи неявной схемы (число Куранта $C = 4$)

Видно, что, несмотря на большое значение числа Куранта ($C = 4$), схема сохраняет устойчивость и выдает правильное решение.

Практическая реализация способа представлена на основании следующих рассуждений. Поверхность материала нагревают в течение заданного времени тепловым потоком от инфракрасного источника нагрева. С помощью средств инфракрасной термографии измеряют избыточные температуры на поверхности материала в заданном интервале времени. Данный физический процесс в одномерном пространстве можно описать следующей краевой задачей:

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right), \quad (1)$$

$$T(x,0) = 0, \quad T(\pm\infty, \tau) \rightarrow 0, \quad (2)$$

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} - \alpha T_n = -q(\tau)h(\tau), \quad (3)$$

где T_n — температура поверхности исследуемого материала, $h(\tau)$ — ступенчатая функция. Нелинейную задачу теплопроводности (1) при граничных условиях (3) решают методом конечных разностей. Система уравнений, аппроксимирующая неоднородное дифференциальное уравнение (1) и граничные условия (3), на основе использования неявных разностных схем будет иметь вид (5).

Для построения численного решения задачи (1)–(3) граничные условия аппроксимируют на основании выражения:

$$-\lambda \cdot \frac{T_1^k - T_2^k}{h} - \alpha T_1^k = -q^k + \frac{\lambda}{2a} \cdot \frac{T_1^{k+1} - T_1^k}{\Delta \tau}, \quad (4)$$

полученного с помощью метода теплового баланса. При этом E и α отнесены к единице площади поперечного сечения пространственной сетки и выражены в Вт/м² и Дж/(м²·К).

Разностная модель прямой задачи теплопроводности с использованием неявного алгоритма Эйлера имеет следующий вид:

$$\begin{cases} T_0^k = \frac{T_1^{k+1} \lambda (\Delta x_1^2 + 2a) + 2 \cdot E \cdot a \cdot \Delta x_1 \cdot \Delta \tau}{\lambda \cdot \Delta x_1^2} - \frac{2 \cdot T_0^{k+1} \cdot a \cdot \Delta \tau (\lambda + \alpha)}{\lambda \cdot \Delta x_1^2}; \\ T_1^k = \frac{2 \cdot a \cdot \Delta \tau}{\Delta x_1 + \Delta x} \cdot T_0^{k+1} - \left(\frac{2 \cdot a \cdot \Delta \tau}{\Delta x_1 \cdot \Delta x} + 1 \right) \cdot T_1^{k+1} + \frac{2 \cdot a \cdot \Delta \tau}{\Delta x_1 + \Delta x} \cdot T_2^{k+1}; \\ T_2^k = \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} \cdot T_1^{k+1} - \left(\frac{2 \cdot a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} + 1 \right) \cdot T_2^{k+1} + \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} \cdot T_3^{k+1}; \\ T_{M-3}^k = \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} \cdot T_{M-2}^{k+1} - \left(\frac{2 \cdot a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} + 1 \right) \cdot T_{M-1}^{k+1} + \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} \cdot T_M^{k+1}. \end{cases} \quad (5)$$

Здесь T_m^k — значение избыточной температуры; m, k — номера отсчетов по пространству и по времени, где $m \in [0, M]$, $k \in [0, K]$; $\Delta \tau, \Delta x, \Delta x_1$ — шаги дискретизации по времени и пространству (используется неравномерная разностная сетка); λ — теплопроводность поверхности; a — температуропроводность поверхности; α — коэффициент теплоотдачи; E — плотность теплового потока от инфракрасного источника нагрева.

На основании численного решения системы уравнений (5) получают дискретную функцию зависимости температуры на поверхности материала от времени $T_0^k \equiv T_{i,j}[\Delta \tau \cdot k]$, где i, j — номера отсчетов пространственной сетки зондируемой поверхности материала; $i \in [0, I]$, $j \in [0, J]$, $I \times J$ — растр изображения, полученного при помощи тепловизионного приемника.

Для уменьшения методической погрешности решают коэффициентную обратную задачу теплопроводности по невязке сначала для эталонного материала во всех его точках пространственной сетки зондируемой поверхности, откуда находят численные оценки E и α .

$$\left\{ J[k:E,\alpha] = \sum_{k=0}^K \left(T[\mathbf{I}_3, \lambda_3, \Delta\tau, \Delta x, \varepsilon, k, m:E, \alpha] - \overline{\tilde{T}^3}[\Delta\tau \cdot k] \right)^2 \right\} \rightarrow \min_{E,\alpha}, \quad (6)$$

где $\overline{\tilde{T}^3}$ — усредненное значение избыточной температуры эталонного материала, измеренное тепловизионным приемником во всех его точках пространственной сетки зондируемой поверхности; ε — коэффициент излучения.

Далее решают коэффициентную обратную задачу теплопроводности по невязке для исследуемой поверхности материала в каждой точке пространственного разрешения в соответствии с растром изображения.

$$\left\{ J[k:a,\lambda] = \sum_{k=0}^K \left(\mathbf{I}_{i,j}[\mathbf{I}, \alpha, \Delta\tau, \Delta x, \varepsilon, k, m:a,\lambda] - \tilde{T}_{i,j}[\Delta\tau \cdot k] \right)^2 \right\} \rightarrow \min_{a,\lambda}, \quad (7)$$

где $\tilde{T}_{i,j}$ — значение избыточной температуры исследуемой поверхности, измеренное тепловизионным приемником в каждой точке пространства разрешения в соответствии с растром изображения.

В результате минимизации невязки получают пространственное распределение оцененных значений теплофизических свойств испытуемой поверхности:

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_{i,j} & \cdots & a_{i,J} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{I,j} & \cdots & a_{I,J} \end{bmatrix}, \quad \lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{i,j} & \cdots & \lambda_{i,J} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{I,j} & \cdots & \lambda_{I,J} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Для проведения измерений теплофизических свойств была создана роботизированная установка на подвижной платформе (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид роботизированной установки

Техническая реализация установки для дистанционного измерения теплофизических свойств опирается на использование принципа активной тепловой локализации малозаметных объектов [5, 6] и включает следующие компоненты:

платформу;

колесную базу;

блок управления, осуществляющий управление инфракрасным излучателем, тепловизионным приемником, шаговыми двигателями, производящий предварительную обработку данных измерений температурных полей, а также программную реали-

зацию нелинейного преобразования динамических термограмм в пространственное распределение теплофизических параметров;

инфракрасный источник нагрева, осуществляющий радиационный нагрев исследуемой поверхности в соответствии с заданными пространственно-энергетическими и временными характеристиками воздействия;

тепловизионный приемник, осуществляющий мониторинг пространственного распределения абсолютных значений температур на исследуемой поверхности в течение заданного интервала времени.

Измерение теплофизических свойств осуществляется за счет нагрева инфракрасным излучателем исследуемой поверхности и мониторинга процесса нагрева и остывания при помощи тепловизионного приемника. Программное обеспечение, являющееся составной частью блока управления, производит анализ и обработку кубоида ИК-изображения, поступающего с тепловизионного приемника, на основе решения коэффицентной обратной задачи теплопроводности с использованием неявных разностных схем. После этого за счет полученных значений избыточных температур в каждой точке пространства разрешения на каждом временном интервале, решения коэффицентной обратной задачи теплопроводности с использованием неявных разностных схем (1) и решения оптимизационной параметрической задачи (5) получают пространственное распределение теплофизических свойств (рис. 5).

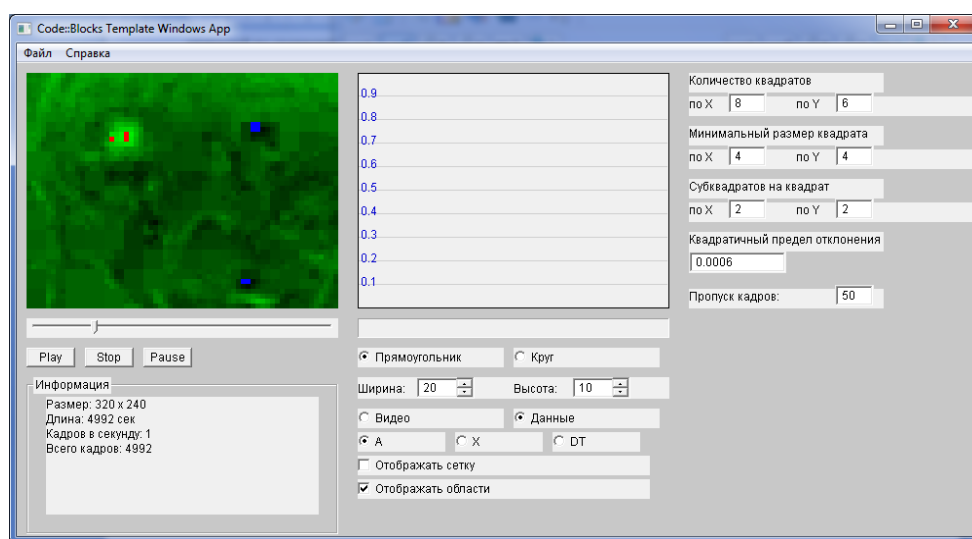


Рис. 5. Результат обработки кубоида ИК-изображения

Из представленных графических данных и математических расчетов можно сделать следующие выводы:

погрешность измерения теплофизических свойств разработанным способом меньше, так как точность их вычисления на порядок выше;

применение эталонного материала позволяет оценить значения неизвестных параметров математической модели и соответственно увеличить точность вычисления искомых значений теплофизических свойств;

неявные схемы требуют для решения неоднородных дифференциальных уравнений на один порядок меньше шагов вычисления по времени и соответственно вычислительных операций по сравнению с явными схемами.

Таким образом, созданная роботизированная установка для исследования процесса поиска малозаметных объектов позволяет более точно реализовать метод дистанционного измерения оптико-теплофизических свойств малозаметных объектов, а в совокупности с современной вычислительной аппаратурой — производить мгновенные вычислительные операции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: пер. с фр. — М.: Мир, 1988. — 416 с.
2. Красс М.С., Мерзликин В.Г. Радиационная теплофизика снега и льда. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 262 с.
3. Павлов Н.И., Эльц В.К. Дистанционное обнаружение температурных аномалий, обусловленных заглубленными в грунт инородными объектами // Оптический журнал. — 2006. — №10. — С. 83—88.
4. Оптико-электронные системы авиационного вооружения / А.М. Краснов [и др.]. — М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. 2007. — 1272 с.
5. Ищук И.Н., Фесенко А.И., Громов Ю.Ю. Идентификация свойств скрытых подповерхностных объектов в инфракрасном диапазоне волн. — М.: Машиностроение, 2008. — 184 с.
6. Душкин А.В. Оптимизация структуры системы радиотехнической разведки сложных сигналов // Интеллектуализация управления в социальных и экономических системах: материалы Всероссийской научно-технической конференции. — Воронеж: ВГТУ, 2006. — С. 59—63.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Душкин Александр Викторович. Начальник кафедры управления и информационно-технического обеспечения. Доктор технических наук, доцент.

Воронежский институт ФСИН России.

E-mail: a_dushkin@mail.ru

Россия, 394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, 1а. Тел. (473) 260-68-19.

Ищук Игорь Николаевич. Начальник кафедры технических средств гидрометеослужбы. Доктор технических наук, доцент.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж).

E-mail: boerby@rambler.ru

Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а. Тел. (473) 260-68-19.

Парфиров Андрей Владимирович. Адъюнкт.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж).

E-mail: keperate@mail.ru

Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а. Тел. (473) 260-68-19.

Dushkin Alexander Viktorovich. Chief of chair of management and information technology support. Doctor of technical sciences, assistant professor.

Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service.

Work address: Russia, 394072, Voronezh, Irkutskaya Str., 1a. Tel. (473) 260-68-19.

Ishchuk Igor Nikolaevich. Chief of chair of technical means hydrometeoservice. Doctor of technical sciences, assistant professor.

Military Educational Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin" (Voronezh).

Work address: Russia, 394064, Voronezh, Old Bolsheviks Str., 54a. Tel. (473) 260-68-19.

Parfiryev Andrey Vladimirovich. Post-graduate cadet.

Military Educational Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin" (Voronezh).

Work address: Russia, 394064, Voronezh, Old Bolsheviks Str., 54a. Tel. (473) 260-68-19.

Ключевые слова: обработка; неявная схема; теплообмен; кубоид; погрешность.

Key words: treatment; implicit scheme; heat transfer; cuboid; error.

УДК 536.072:620.181.4



Жилин Б.И.

Цифровые устройства и микропроцессоры: учебное пособие / Б.И. Жилин. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2012. — 75 с.

Пособие посвящено изучению последовательностных и комбинационных цифровых узлов, используемых в системах охраны и защиты информации.

Предназначено для курсантов радиотехнического факультета, обучающихся по специальностям

090106.65 – Информационная безопасность телекоммуникационных систем и 210302.65 – Радиотехника, а также для слушателей факультета повышения квалификации.