

угольной решетками перфорации. То есть по величине λ определяется коэффициент φ , а затем рассчитывается коэффициент φ_1 .

Из имеющихся решений [2] можно аналитически определить динамический прогиб для целой пластины w , а затем и для перфорированной:

$$w^* = \frac{1}{\varphi_1} w.$$

Таким образом, мы видим, что перфорация при динамическом нагружении оказывает значительно меньшее влияние на прогиб по сравнению со статической задачей. Данные исследования относятся к жестким пластинам без распора. Если пластина гибкая с распором, то в результатах могут быть существенные коррективы.

Список литературы

- 1 **Вайнберг, Д. В.** Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин / Д. В. Вайнберг. – Киев : Будивельник, 1973. – 448 с.
- 2 **Ершов, Н. Ф.** Прочность судовых конструкций при локальных динамических нагружениях / Н. Ф. Ершов, А. Н. Попов. – Л. : Судостроение, 1989. – 195 с.
- 3 **Горохова, М. В.** Динамическая жесткость пластин с вырезами / М. В. Горохова // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2004. – № 10. – С. 11–14.

УДК 369.2

СИМБИОТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА РЛС И ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Е. А. ДЕХТЯРЕНКО, Я. А. ДЕМИДЕНКОВА

Белорусская государственная академия авиации, г. Минск

Современный мир переживает четвертую индустриальную революцию, флагманом которой являются искусственный интеллект (ИИ). Основным инструментом реализации ИИ, без сомнения, являются нейронные сети, с помощью которых можно решать сложные технические задачи. Нейронные сети успешно применяются в различных промышленных областях, в сфере медицины и экономики, а также инженерии. Не стала исключением и радиолокация.

Радиолокация – это самостоятельная научная и инженерная дисциплина, где накоплен огромный опыт и решены фундаментальные задачи как в оборонно-промышленном комплексе, так и в сфере гражданского и медицинского применения. Однако современные вызовы и технологическое развитие ставят перед областью новые задачи, где нейронные сети и цифровые двойники могут выступить в качестве эффективного инструмента для их решения.

Одна из таких задач – это обнаружение и распознавание групповых целей на фоне активных и пассивных помех. Классические алгоритмы обработки превосходно работают, когда одиночная цель (или групповая при достаточном удалении друг от друга) движется прямолинейно, а помеховый фон описывается нормальным распределением.

Однако в реальных условиях это далеко не так, цели постоянно меняют расстояния между собой, а также совершают разнообразные маневры.

Это осложняется тем, что помеховая обстановка нестационарная со множеством противодействующих факторов. Другая проблема – нехватка данных, так как натурный эксперимент зачастую экономически дорог и трудозатратен.

Для решения вышеизложенной задачи необходимо совместное использование концепции цифрового двойника РЛС и технологии нейронных сетей.

В докладе приводятся результаты моделирования первого шага в реализации совместного использования цифрового двойника РЛС и нейронных сетей.

Излагаются принципы построения нейронных сетей, позволяющих распознавать групповые цели.

В качестве целей применяются геометрические объекты разнообразной формы (цилиндр, сфера и конус), имитирующие ЭПР цели и движущиеся по разнообразным траекториям. Уделяется вни-

мание модели РЛС, которая формирует базу данных для обучения нейронной сети. Дается заключение об эффективности применения нейронных сетей.

Для успешного применения нейросетевой технологии в процессах обработки радиолокационной информации должны быть тщательно проанализированы условия использования, этапы преобразования входных данных, обоснованы принципы оценки качества обработки, определены наиболее перспективные места применения.

Предварительный анализ показывает, что возможно создание унифицированных нейросетевых средств (или, по крайней мере, методов и способов) обработки информации, применение которых в перспективных средствах обработки информации позволит достичь высокой эффективности и гибкости, адаптивности к изменениям внешних условий и решаемых задач.

Для понимания того, насколько может быть полезна реализация рассмотренного подхода к обработке радиолокационной информации, проведем краткую характеристику основных этапов обработки РЛИ и укажем на некоторые серьезные недостатки классических подходов к обработке радиолокационной информации.

Анализ основных этапов обработки РЛИ.

Обработка радиолокационной информации предназначена для подготовки к выдаче в требуемом виде полной, достоверной и своевременной информации для потребителя о состоянии воздушной или ракетно-космической обстановки, появлении и местоположении воздушных или космических объектов, параметрах их движения, возможных вариантах развития динамики изменения помеховой обстановки в зоне обзора РЛС.

Обработка РЛИ может быть разделена на первичный, вторичный и третичный этапы. Выделяют задачи распознавания целей, анализа обстановки и адаптации и т. д. Рассмотрим некоторые из этих этапов и процедур.

Этап первичной обработки радиолокационной информации.

Обнаружение радиолокационных целей обычно включает в себя обнаружение импульсов, отраженных от целей и их последующее накопление. Наиболее широко применяющийся метод автоматического обнаружения радиолокационных целей – использование адаптивного порога обнаружения.

В реальных условиях с учетом возможности воздействия нестационарных помех, а также (хотя и стационарных, но негауссовых) помех уровень ложных тревог может возрасти на 2–3 порядка, что недопустимо. Кроме того, при обнаружении групповых целей энергетические потери могут составлять 10–15 дБ и более.

Однако они имеют антагонистический характер, и устранение одного из них катастрофически обостряет остальные. Обнаружителям, использующим фазовые соотношения в многобазовых сигналах (знаковые корреляторы), присущи те же недостатки, что и адаптивному порогу.

Ранговые же методы, хотя и обеспечивают практически полную стабилизацию уровня ложных тревог, но при малой пачке (обнаружитель «реагирует» на нестационарность, вносимую в шум сигналом) имеют очень высокие потери даже при обнаружении одиночных целей, а при обнаружении групп целей потери катастрофически возрастают.

Таким образом, в настоящее время неизвестны методы, способные обеспечивать эффективное автоматическое обнаружение целей в сложных нестационарных внешних условиях.

Этап вторичной обработки радиолокационной информации.

Это отнесение отметок разных обзоров (сканов) при просмотре зоны обзора РЛС к единой траектории (объединение отметок в траектории) и фильтрацию (сглаживание) отметок.

Распознавание целей выполняется для лучшего определения потребителем предпочтительных вариантов типовых воздействий и порядка их применения. С этой точки зрения потребитель предъявляет требования к системе распознавания РЛС. Помимо общих классов целей (самолет, вертолет, крылатая ракета, ДПЛА и др.) может быть поставлена задача распознать конкретный тип цели внутри каждого класса.

Анализ обстановки и адаптация.

Выбор конкретного режима для конкретных внешних условий обычно предоставляется человеку, командиру или оператору. Проведение анализа обстановки также обычно поручается человеку, так как формализованных правил такого анализа не существует, обычно они могут быть сформулированы только в вербальной форме, что существенно затрудняет их алгоритмизацию.

Информация, на основе которой проводится адаптация РЛС, должна включать в себя не только обнаруженные цели и их координаты, результаты распознавания классов целей, но и результаты более глубокой, интеллектуальной обработки получаемой информации. Эти результаты должны реализовываться в распознавании тактических ситуаций и различных вариантов внешних условий.

Список литературы

- 1 Татузов, А. Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн. 28 / А. Л. Татузов. – М. : Радиотехника, 2024. – 432 с.
- 2 Радиолокационные системы : учеб. для вузов. – М. : Радиотехника, 2023. – 440 с.
- 3 Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. – М. : Радиотехника, 2007. – 512 с.

УДК 666.762+539.422.5

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ УГЛЕРОД-КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ К ОКИСЛЕНИЮ И АБЛЯЦИИ

А. А. ДИДЕНКО, А. Н. АСТАПОВ, И. В. СУКМАНОВ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Поиск новых сверхвысокотемпературных конструкционных материалов обусловлен постоянной необходимостью улучшения тактико-технических характеристик скоростных изделий ракетной и аэрокосмической техники. Армированные углеродными волокнами композиты с керамической матрицей на основе SiC являются перспективными материалами для высокотемпературных применений, работающими в условиях аэрогазодинамического потока [1]. Их функционирование в кислородсодержащих средах обеспечивается защитой углеродных волокон от окисления вплоть до 1700 °С за счет формирования матрицей газонепроницаемого оксидного слоя, препятствующего диффузии кислорода вглубь материала. Повышение температуры приводит к выделению газообразной монооксида кремния и потере сплошности оксидного слоя. В результате защитная способность таких композитов по отношению к углеродным волокнам снижается из-за перехода пассивного окисления в активное, наблюдаемого для SiC при этих температурах [2]. Поэтому значительный интерес представляют исследования, которые направлены на создание жаропрочных углеродсодержащих композитов, способных обеспечить работоспособность изделий из них при температурах выше 1700 °С.

Эффективным методом модификации композитов, армированных углеродными волокнами, представляется введение в матрицу тугоплавких компонентов, в качестве которых применяют ультравысокотемпературную керамику (УВТК). Zr и Hf являются наиболее широко изученными добавками для углерод-керамических композиционных материалов благодаря высоким температурам плавления их карбидов, боридов и, что более важно, оксидов. К сожалению, процесс окисления приводит к образованию пористых структур ZrO₂ и HfO₂, которые могут служить диффузионными каналами для проникновения кислорода внутрь композитов [3]. Для повышения стойкости к абляции при сверхвысоких температурах возможным подходом может стать создание многофазных матриц из УВТК, о чем свидетельствует значительное количество исследований влияния состава матриц на свойства получаемых композитов [4, 5].

При разработке эффективной системы защиты необходимо учитывать не только температуру плавления формирующихся оксидов, но и особенности морфологии оксидной пленки, поэтому оптимизация состава и микроструктуры оксидного слоя имеет большое значение. Грамотно организованная защитная пленка должна одновременно препятствовать интенсивному массопереносу реагентов, ослаблять действие теплового потока, а также снижать механическую эрозию и денудацию. В то же время для формирования пленки, способной улучшить стойкость композита к окислению и абляции, необходимо достаточное количество керамической составляющей, которая обеспечивает образование большого количества продуктов окисления. Равномерно распределенные частицы керамики способны создать гетерогенный оксидный слой, который предотвращает диффузию окислителей (за счет высокой газоплотности, вызванной наличием фаз в вязко-текучем состоянии) и противостоит механическому оголению (за счет каркасности структуры, обеспеченной частичным спеканием зерен тугоплавких фаз). Кроме