

3 ЦНИИ МО

Рассмотрены варианты использования нейросетевых методов для решения задач обработки радиолокационной информации, что позволяет повысить качество обработки в сложных условиях, когда классические методы оказываются недостаточно эффективны. Проведенный анализ позволил выделить ряд критических задач, для которых, с одной стороны, снижение эффективности в сложных условиях наиболее существенно и, с другой, использование нейросетевой технологии позволяет реализовать гибкие алгоритмы, способные обеспечить повышение качества обработки радиолокационной информации практически для всех этапов работы РЛС.

Для перспективных радиолокационных станций (РЛС) одним из главных требований становится автоматизация работы, включая обработку радиолокационной информации (РЛИ). К сожалению, в настоящее время ощущается недостаток эффективных методов автоматической обработки РЛИ. Это связано с низкой производительностью вычислительных систем, а также с недостаточной гибкостью известных алгоритмов обработки РЛИ. При разработке таких алгоритмов одной из наиболее серьезных трудностей является исключительно большой объем информации и необходимость его обработки в реальном масштабе времени - за несколько миллисекунд, а в некоторых случаях и микросекунд. Помимо этого непредсказуемость внешней обстановки и высокая динамика ее изменения создают значительные трудности формализации алгоритмов и обеспечения высокого качества их работы. Появляются и новые задачи, такие как распознавание ситуаций, анализ и прогнозирование обстановки, адаптация режимов работы. Возникает необходимость использования априорной информации о характере действия противника, зачастую выраженной в нечеткой форме. Классических методов их решения нет.

Повысить эффективность обработки РЛИ можно за счет использования новой информационной технологии — технологии нейронных сетей. Нейронные сети позволяют, с одной стороны, если алгоритмы известны и не хватает вычислительных мощностей, после представления алгоритма в нейросетевом базисе, использовать мощные аппаратные средства с массовым параллелизмом. Там же где алгоритмов нет или они недостаточно эффективны, предложить многообещающий подход к созданию алгоритмов, обладающих столь привлекательными чертами как гибкость, способность адаптироваться к изменениям внешних условий, сохраняя устойчиво высокое качество работы.

Все множество задач обработки РЛИ можно разделить на ряд этапов, в рамках каждого из которых решаемые задачи объединены общей идеологией и достигаемыми целями. К основным этапам обработки РЛИ можно отнести следующие:

- формирование диаграммы направленности антенны для фазированных антенных решеток (ФАР),
- первичная (спектральная) обработка,
- обнаружение отметок от целей,
- вторичная (траекторная) обработка,
- распознавание целей и ситуаций,
- анализ и прогнозирование обстановки.

Для каждого из указанных этапов уже известны и применяются методы автоматической обработки, позволяющие решать поставленные задачи. Однако большинство этих методов основано на жестких алгоритмах, что приводит к неспособности гибко адаптироваться к изменениям внешних условий. Результатом этого является резкое снижение качества работы в сложных внешних условиях.

Доработка этих методов с целью обеспечения устойчиво высокой эффективности работы в сложных быстро изменяющихся внешних условиях представляет собой комплекс очень сложных научно-технических проблем. Традиционный подход требует подробного рассмотрения предметной области для каждого этапа обработки РЛИ, составления корректных и подробных теоретических моделей, описывающих все многообразие влияющих на них факторов разных типов. Затем необходимо математически строго решить задачу синтеза рациональных методов обработки и реализовать их на вычислительных средствах.

Провести такие исследования с достаточной степенью подробности обычно не удается, что приводит к использованию приближений на каждом из этапов синтеза алгоритмов обработки информации. Так используемые модели предметной области являются неточными по своей природе, для достаточно сложных моделей найти оптимальное решение не удастся, а накладываемые аппаратной частью ограничения приводят к дополнительному отклонению получаемых методов обработки от оптимальных. Многократное использование приближений ведет к низкой эффективности применяемых методов и алгоритмов обработки РЛИ в сложных условиях.

Возможной альтернативой традиционному подходу является применение самообучаемых систем на базе нейросетевой технологии, что позволит повысить качество обработки РЛИ в самых критичных областях, там, где традиционные методы не справляются с поставленными задачами.

Для каждого из указанных этапов обработки РЛИ можно указать ряд критичных задач, для которых, снижение эффективности в сложных условиях наиболее существенно. Предлагается для этих задач использовать нейросетевые методы, основанные как на известных парадигмах, так и на их модификациях для достижения требуемого высокого качества обработки.

В таблице 1 приведены варианты таких критичных задач для различных этапов обработки РЛИ, а также оценки необходимого для их применения быстродействия вычислительных средств.

Проведенный анализ возможных направлений повышения качества обработки РЛИ не может претендовать на полный охват всей многоплановой области подобных исследований. В основном рассмотрены лишь наиболее универсальные и широко распространенные нейросетевые парадигмы и проанализирована лишь часть возможных областей их применения.

Однако предложенные варианты показывают, что использование нейросетевых технологий в критических задачах позволит реально повысить эффективность обработки РЛИ для сложных быстро изменяющихся внешних условий. Причем, использование нейросетевых методов позволит достичь этого достаточно быстро без длительных и трудоемких теоретических исследований, проведение которых является необходимой частью традиционного подхода.

Проведенный предварительный анализ и приблизительные оценки потребной производительности вычислительных средств позволяют выделить основные нейросетевые парадигмы, применение которых даст ощутимый прирост эффективности обработки РЛИ. К ним можно отнести многослойный персептрон, ассоциативную память Хопфилда и самоорганизующуюся сеть Кохонена.

Кроме того, можно примерно проранжировать предложенные методы в соответствии с требуемой производительностью.

Часть из этих методов весьма нетребовательна к вычислительным мощностям и может быть реализована на существующих или перспективных вычислительных средствах при программной реализации нейросетевых парадигм. Для других вычислительной мощности традиционных последовательных вычислительных средств недостаточно и должны быть использованы специализированные нейросетевые аппаратные средства. Причем, большая часть предложенных вариантов, по всей видимости, может быть реализована на специализированных аппаратных средствах, при разработке которых могут быть учтены преимущества нейронных сетей по параллелизации вычислений и которые смогут обеспечить уровень быстродействия на 1...2 порядка более высокий, чем у существующих вычислительных средств.

В качестве наиболее перспективной архитектуры для нейросетевых аппаратных средств можно указать многослойный персептрон с методом обучения типа backpropagation (или его модификациями). Эта нейросетевая парадигма может использоваться практически на всех этапах обработки РЛИ для повышения адаптационных возможностей и устойчивости в сложных условиях. И именно ориентированные на эту парадигму аппаратные средства поддержки нейросетевых вычислений следует разрабатывать в первую очередь. Архитектура вычислителя для многих задач остается единой. Отличительные особенности решаемых задач определяются входными и выходными сигналами, которые в каждом приложении свои. Единая структура выполняемых операций позволит использовать практически единое аппаратное решение для всех рассмотренных методов.

Следующими по приоритету для создания специализированных аппаратных средств поддержки нейросетевых вычислений являются ассоциативная память Хопфилда и самоорганизующаяся сеть Кохонена.

Необходимо отметить, что разработанные аппаратные средства, а также применяемые в них методы могут успешно использоваться в других образцах техники, так как многие методы обработки информации в оптических, тепловизионных и других системах используют сходные принципы. Более того, полученные результаты могут найти применение в смежных областях, таких как гражданская авиация, метеоразведка, нефтегазразведка, локация морского дна и многих других.

Выводы

Существующие методы автоматической обработки радиолокационной информации способны эффективно функционировать лишь в простейших стабильных внешних условиях. В сложных условиях качество их работы резко снижается. Одним из перспективных направлений повышения эффективности обработки радиолокационной информации является использование нейросетевой технологии.

Проведенный анализ позволил выделить ряд критичных задач, которые могут быть успешно решены с использованием нейросетевой технологии и решение которых позволит добиться ощутимого прироста эффективности РЛС. С их помощью может быть достигнуто увеличение дальности на 20-300%, снижение временных затрат в 2-3 раза, снижение числа ложных целей на 1-2 порядка, повышение точности выдаваемых координат целей в 1,5-2 раза, приближение к качеству работы человека в неформализуемых задачах в 2 раза.

В качестве нейросетевых парадигм, применение которых наиболее перспективно, следует указать многослойный перцептрон, ассоциативную память Хопфилда и самоорганизующуюся сеть Кохонена. Их применение возможно в широком спектре задач обработки радиолокационной информации.

Таблица 1 Критичные задачи обработки РЛИ

Этапы обработки РЛИ	Критичные задачи обработки РЛИ	Нейросетевые парадигмы	Требуемое быстродействие млн оп./сек
I. форма и уровень ДНА для ФАР	использование специальных функций взвешивания элементов ФАР для достижения требуемых уровней боковых лепестков, динамического изменения ширины луча и др.	линейный перцептрон	10-100
	реконфигурация системы объединения приемных и передающих каналов при выходе из строя части элементов ФАР	линейный перцептрон	100-1000
	динамическая адаптация векторов взвешивания приемных каналов ФАР в ходе работы при изменении обстановки	линейный перцептрон	1000-100000
	адаптация к помеховой обстановке – формирование нулей диаграммы в направлении на помехопостановщик	нейросетевые методы обращения матриц	100-10000
II. первичная (спектральная) обработка	оптимизация функции взвешивания по временным дискретам для обеспечения минимума боковых лепестков	линейный перцептрон	от 1-10 до 100-1000
	динамическое изменение функции взвешивания для обеспечения минимума боковых лепестков в динамике работы РЛС	линейный перцептрон	от $10^2 \dots 10^4$ до $10^4 \dots 10^6$
	адаптация межсигнальной логической обработки к внешним условиям в ходе работы	многослойный перцептрон	от $10^2 \dots 10^4$ до $10^4 \dots 10^6$
	использование генетических алгоритмов оптимизации для синтеза сложных многобазовых сигналов	генетические алгоритмы	10-100
	генетический синтез сложных многобазовых сигналов лепестков в ходе работы при изменении внешних условий	генетические алгоритмы	$10^3 \dots 10^4$
III. обнаружение целей	ранжирование сигнальных векторов опорной и исследуемой выборок	сеть Кохонена	100
	обнаружение импульсов на фоне помех различных типов и интенсивности при стабильно низком уровне ложной тревоги	многослойный перцептрон сеть Кохонена	100-1000
	адаптация алгоритма обнаружения в ходе работы при изменении внешних условий	многослойный перцептрон сеть Кохонена	1000-10000
	пакетирование импульсов, отраженных от одной цели при перекрывающихся положениях луча ДНА	сеть Хопфилда сеть Кохонена	10-100
	робастное объединение решений, принятых по отдельным импульсам	многослойный перцептрон	10-100
	комплексное нейросетевое обнаружение целей на фоне помех различных типов при стабильно низком уровне ложной тревоги	многослойный перцептрон сеть Кохонена	$10^3 \dots 10^5$
	адаптация и переобучение комплексного нейросетевого алгоритма обнаружения в ходе работы при изменении внешних условий	многослойный перцептрон сеть Кохонена	$10^4 \dots 10^8$
а	кластеризация – группирование и выбор радиолокационных отметок для последующей совместной обработки	сеть Хопфилда сеть Кохонена	10-100

477
478

4-я Международная Конференция DSPA-2002

Этапы обработки и РЛИ	Критичные задачи обработки РЛИ	Нейросетевые парадигмы	Требуемое быстродействие млн оп./сек
	отождествление целей на последовательных периодах обзора с использованием нейросетевого решения задачи о назначениях	сеть Хопфилда	10-100
	отождествление целей на последовательных периодах обзора, в том числе и при их построении в плотных групповых порядках с использованием информации о структурах групп	сеть Хопфилда многослойный персептрон	100-1000 10-100 редуцированный вариант
	уточнение и сглаживание координат целей, в том числе и при пропадании части отметок и наличии косвенной информации	обобщенный фильтр Калмана многослойный персептрон	10-100
V. распознавание целей и ситуаций	распознавание целей по сигнальным портретам с привлечением дополнительной информации	многослойный персептрон	10-100
	распознавание целей по траекторным признакам с использованием информации о сигнальном распознавании	многослойный персептрон	0,1-10
	распознавание тактических ситуаций	многослойный персептрон сеть Кохонена	100-1000
	совместное распознавание-сопровождение целей в многопараметрическом факторном пространстве	многослойный персептрон сеть Кохонена	$10^3 \dots 10^4$
VI. анализ обстановки	формирование информативного представления внешней обстановки, позволяющего описывать ее развитие небольшим числом параметров	сеть Кохонена	$10^3 \dots 10^4$
	управление режимами обзора, выбор наиболее информативных направлений для излучения радиолокационных сигналов	многослойный персептрон	10-100
	расстановка приоритетов для уточнения информации и выдачи ее потребителю	многослойный персептрон	10-1000