

## Автономные системы радиолокационного зрения с элементами самообучения

*Л.В. Савкин*

ПАО «Радиофизика»

В докладе представлена общая концепция стационарных автономных систем радиолокационного зрения (АСРЗ) с элементами самообучения, которую предложено использовать для решения задач, связанных с необходимостью радиолокационного покрытия больших пространственно-территориальных областей. С позиций последних достижений в области построения интеллектуальных систем технического зрения [1, 2] обсуждается возможность перехода от гибридных моделей ИНС, построенных на узкофункциональных типах нейронных сетей [3-5], к многофункциональным моделям ИНС с практически однородной архитектурой. Рассмотрены вопросы пространственно-временной и других [6-8] видов обработки радиолокационной информации (РЛИ) с использованием многофункциональных негибридных моделей искусственных нейронных сетей (ИНС). Обсуждается принцип двухуровневой нейросетевой обработки РЛИ, который предложено использовать в рамках концепции АСРЗ. Особое внимание в работе уделено разработке эффективных способов самообучения стационарных АСРЗ с использованием активно развиваемых в настоящее время идей внутрисистемных адаптивных критиков [9].

**Цель работы** – разработка методов и средств единой нейросетевой обработке РЛИ, способствующих возможности практической реализации концепции АСРЗ для решения задач по радиолокационному покрытию больших пространственно-территориальных областей.

**Принцип двухуровневой нейросетевой обработки РЛИ.** Суть предлагаемой концепции АСРЗ заключается в реализации практически всех методов нейросетевой обработки РЛИ (включая управление диаграммоформированием РЛС) с помощью единой негибридной, но в тоже время пространственно распределенной модели ИНС (рис. 1).

Первый уровень ИНС составляют нейровычислители, входящие в каждую стационарную РЛС с цифровой АФАР, зоны обзора которых образуют требуемое объединенное (составное) покрытие пространственно-территориальной области. Рис. 1, в частности, иллюстрирует пример сотового покрытия пространственно-территориальной области.

Векторы внешнего обмена данными  $\bar{W}$  и  $\bar{R}$  условно поясняют тот факт, что в процесс функционирования комплекса АСРЗ может «вмешиваться» стратегическая система более высокого статуса, отдающая все базовые целеуказания (например, Система контроля космического пространства (СККП)).

Задача управления группой ИНС первого уровня возложена на ИНС второго (верхнего) уровня. В рамках данной работы рассматривался тот случай, когда функции управления, возложенные на ИНС второго уровня, являются более простыми по сравнению с ИНС, входящими в каждую отдельную РЛС с ЦАФАР. Основной задачей ИНС второго уровня реализовать так называемый *принцип максимально сосредоточенного внимания АСРЗ*, формализация которого выглядит как

$$\eta = \prod_{\chi=1}^{\nu} V_{РЛС\chi}, \quad \eta(t) \rightarrow \max,$$

где  $V_{РЛС\chi}$  – объем радиополусферы наблюдения (покрытия пространственно-территориальной области)  $\chi$ -ой РЛС, образующей комплекс АСРЗ.

Использование данного принципа является целесообразным в тех случаях, когда радиолокационная цель находится в области пересечения сразу нескольких радиополусфер наблюдения АСРЗ. Его практическая реализация служит одним из эффективных инструментов по повышению достоверности третичной обработки РЛИ.

**Некоторые полученные результаты.** Разработана однородная модель ИНС, включающая в себя одновременно функции сверточной ИНС и функции внутрисистемного адаптивного критика. В разработанной модели выходное состояние каждого  $k$ -го нейронного

слоя  $\mathbf{x}^{(k)}$ ,  $k = \overline{1,18}$ , содержащего  $n = 16 \times 16$  (кроме последнего аппроксимирующего) искусственных нейронов, описывается зависимостью

$$\mathbf{x}^{(k)} = f_a(\mathbf{x}^{(k-1)}, \alpha, \beta, t),$$

где  $f_a$  – функция активации  $k$ -го слоя, которая может перестраиваться по ответной реакции адаптивного критика;  $\mathbf{x}^{(k-1)}$  – вектор входных сигналов  $k$ -го слоя

$$\mathbf{x}^{(k-1)} = \sum_{n=1}^{n \times n} x^{(k-1)} (w^{(k)} + \tilde{w}^{(k)}),$$

который всегда равен вектору выходных сигналов  $(k-1)$ -го слоя;  $w^{(k)}$  – значения весовых коэффициентов синапсов;  $\tilde{w}_\gamma^{(k)}$  – поправка значений весовых коэффициентов сверточной ИНС, формируемая во внутрисистемном критике на основе оценки параметров выходного вектора  $\mathbf{x}^{(18)}$  аппроксимирующего слоя сверточной ИНС;  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры функции активации, также регулируемые внутрисистемным критиком.

На базе описанной модели ИНС решалась задача распознавания и классификации двух радиолокационных целей с переменным ракурсом. В результате имитационного моделирования было выяснено, что для качественного решения данной задачи достаточно использовать лишь два типа функций активации (сигмоидальную и экспоненциальную), параметры которых могут варьироваться по сигналам-поправкам от внутрисистемного критика.

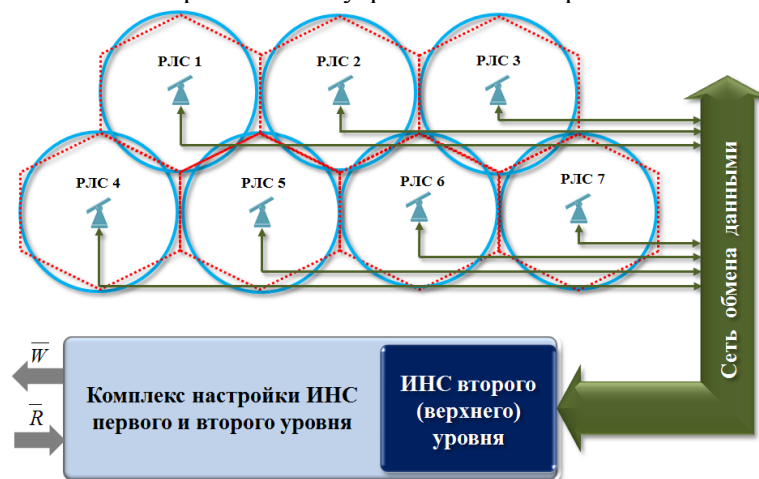


Рис. 1. Общий принцип структурной организации комплекса АСРЗ

### Литература

1. Роуз А. Зрение человека и электронное зрение. – Пер. с англ. А.А. Гуптуса. Под ред. и с предисл. В.С. Вавилова. – М.: Мир, 1977. 2016 с.
2. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. 928 с.
3. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 496 с.
4. Татузов А.Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн. 28. – М.: Радиотехника, 2009. 432 с.
5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. - М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. 1104 с.
6. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: уч. пособ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2007. 376 с.
7. Фарбер В.Е. Основы траекторной обработки радиолокационной информации в многоканальных РЛС: учеб. пособие. – М.: МФТИ, 2005. 160 с.
8. Цифровая обработка сигналов в многофункциональных радиолокаторах. Методы. Алгоритмы. Аппаратура. Коллективная монография / Под ред. Г.В. Зайцева. – М.: Радиотехника, 2015. 376 с.
9. Шумков Е.А. Обобщенная схема адаптивных критиков. Научные труды КубГУТУ, №11, 2015. – С. 1 – 9.