

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ

В статье исследуется оценка времени обработки радиолокационной информации с помощью нейронной сверточной сети. Показан пример применения искусственного интеллекта в радиолокаторах и появление преимуществ после внедрения нейросети аппаратуры радиолокационных станций. После обработки радиолокационной информации были продемонстрированы результаты сверточной нейронной сети, где показано улучшение характеристики обнаружения радиолокатором целей.

Ключевые слова: радиолокатор, радиолокационная станция П-18М, искусственный интеллект, соотношение сигнал/шум, сверточная нейронная сеть, фреймворк, python, алгоритм, автоматическое обнаружение, радиолокационная информация

Введение

Обнаружение целей всегда было основной задачей радиолокации. Опытный оператор РЛС мог обнаруживать цели при соотношении сигнал/шум на индикаторе кругового обзора около 1 дБ [1]. В современных радиолокаторах задачи обнаружения цели (первичной обработки) выполняет компьютер. Над теорией автоматической обработки радиолокационной информации (РЛИ) работало множество ученых и радиоинженеров, среди которых можно выделить труды Ширмана Я.Д.[2], Сосулина Ю.Г.[3], Финкельштейна М.И.[4], Кузьмина С.З.[5] и Власова И.Б. [6].Применяемые в настоящее время автоматические обнаружители со стабилизации уровня ложных тревог на уровне 10^{-6} , которые, в частности, применяются в РЛС П-18М, обеспечивают вероятность обнаружения 0,8 при соотношении сигнал/шум 10 дБ.

Методология исследования

Достижения в области искусственного интеллекта позволили превзойти точность распознавания объектов на фотографиях человеком [7]. Этот факт даёт надежду на то, что применение нейронных сетей позволит обнаруживать цели компьютером при соотношении сигнал/шум не большим, чем мог опытный оператор РЛС. Это позволит радиолокатору обнаруживать цели в 10 раз меньшие по размеру или увеличить дальность обнаружения на 33%. При этом важно, чтобы нейронная сеть успевала обрабатывать РЛИ за время меньшее, чем один оборот радиолокатора. В настоящей работе исследуется производительность свёрточной нейронной сети при обработке РЛИ, получаемой РЛС П-18М.

Результаты и обсуждение

В Российской Федерации и в США проводились исследования по возможностям использования нейронной сети в радиолокации [8]. Анализ показывает, что теоретически возможно обеспечить увеличение вероятностей распознавания сложных классов целей приблизительно в 1,5 раза и в 2–3 раза уменьшить число ошибочных решений по сравнению с работой человека-оператора [9]. В течение 2 лет на предприятии «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Гранит» совместно с Военно-инженерным институтом радиоэлектроники и связи (ВИИРЭиС) проводились исследования свёрточной нейронной сети для обработки радиолокационной информации.

Компьютер, на котором работала нейронная сеть при экспериментах, имеет следующие характеристики:

1. Windows 10 Корпоративная 64 бита.
2. Процессор: Intel Core i7-10700 CPU @ 2.90GHz; ОЗУ: 32 Гб.

Исходные файлы для обработки были получены на РЛС П-18М и имеют формат: SO_дата_время.dat. В названии содержится информация о годе, месяце, дате, часе, минуте и секунде начала регистрации РЛИ. В файлах содержится информация об амплитудах эхо-сигнала за один оборот (15 секунд) – 1200 отсчётов по дальности и 2048 по азимуту. Обработка

файла начинается с конвертации файла первичных данных в формат *.jrg, для обработки которых имеются стандартные фреймворки.

При обработке файла оператор на индикаторе не обнаружил цель (рис. 1), а после обработки сверточной нейронной сетью этого же файла появилась цель (рис. 2).

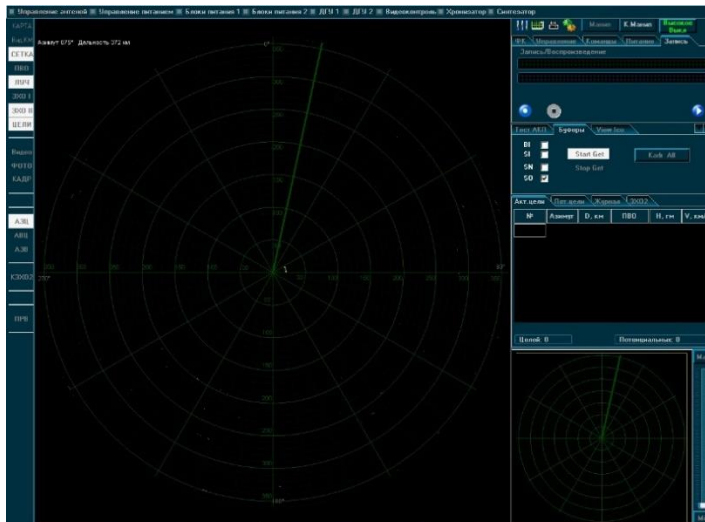


Рисунок 1 – Индикатор радиолокационной станции П-18М без цели

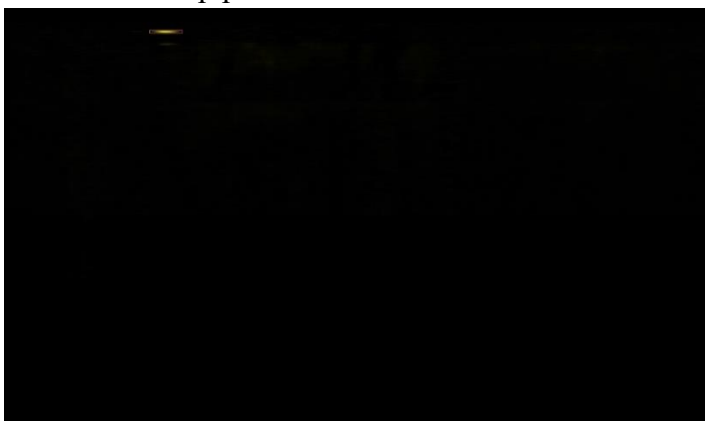


Рисунок 2 – Результат обработки сверточной нейронной сети с одной целью

Время обработки данного файла заняла 197 мс.

Следующий файл показал на индикаторе РЛС П-18М одну цель (рис. 3), а результат обработки сверточной нейронной сетью показал три цели (рис. 4).

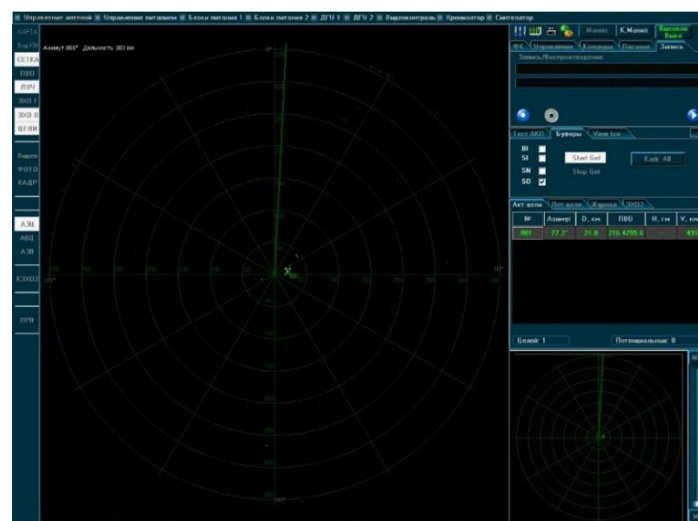


Рисунок 3 – Индикатор радиолокационной станции П-18М с одной целью

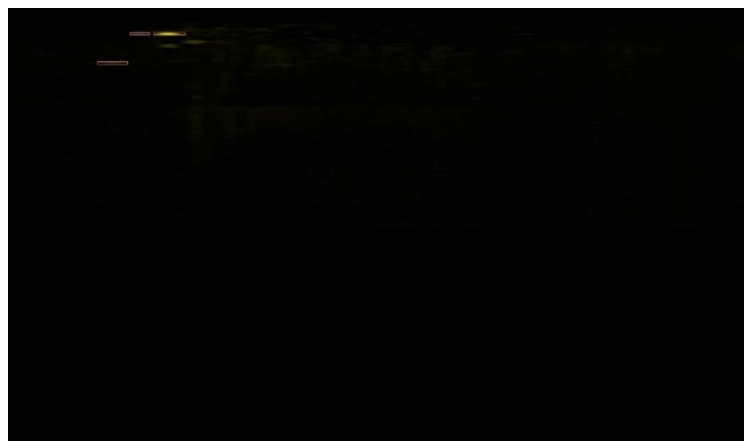


Рисунок 4 – Результат обработки сверточной нейронной сети с тремя целями

Последующие файлы показывают результаты ложной цели на индикаторе РЛС П-18М, так как видно на рисунке (рис. 5), две цели исчезают (цель 001 и цель 002), остается одна, первоначальная цель на индикаторе (цель 003), и появляется четвертая цель (цель 004).



Рисунок 5 – Индикатор радиолокационной станции П-18М с двумя целями

Нейронная сеть реализована на базе фреймворков Tensorflow, YOLOv, Pytorch. Фреймворк YOLOv был существенно изменен для снижения его зависимости от обновлений входящих в него компонентов. Для ускорения обработки был оптимизирован алгоритм преобразования файла в изображение, что позволило достичь обработки одного файла *.dat, получаемого за каждый оборот антенны менее чем за 0.5 секунды. Для конвертации использована градиентная цветовая модель из библиотеки «matplotlib» с диапазоном от 0 (чёрный) до 255 (жёлтый)[10].

После преобразования матрицы сигналов в изображение происходит запуск нейросети, которой передается изображение, где должен быть осуществлен поиск объектов. У нейросети имеется ряд параметров, которые влияют на конечный результат. Наиболее интересен параметр вероятности обнаружения. Если установленный в конфигурации параметр ниже заданного значения, то нейросеть отметит этот объект как ложный. Таким образом, меняя входные параметры можно влиять на количество распознанных объектов.

Перед использованием нейросети необходимо провести ее обучение. В данной работе для этого был использован набор данных в 3000 изображений. Обучающая сборка данных отличается от неизвестных лишь тем, что необходимые для поиска объекты заранее известны. При запуске обучения на каждой итерации определения весовых коэффициентов нейросети они изменяются таким образом, чтобы конечный результат по обучающей выборке максимально соответствовал ожидаемому результату.

По результатам обработки 151 файла РЛИ выявили следующие данные:

1. Максимальное время обработки – 212 мс.
2. Минимальное время обработки – 191 мс.
3. Среднее значение обработки – 198 мс.
4. Среднеквадратичное отклоненное времени обработки – 3,44 мс.

Краткое описание использованной модели нейросети: 157 слоев, 7015519 параметров, 0 градиентов, скорость обработки 15,8 гигафлопса.

Так как для свёрточной нейронной сети требуется 198 мс обработки РЛИ одного оборота, то такая нейронная сеть может применяться в РЛС со скоростью обзора пространства до 5 оборотов в секунду и, значит, в РЛС П-18М.

В таблице 1 приведены данные о времени обработки РЛИ свёрточной нейронной сетью и о количестве обнаруженных ей целей.

Таблица 1 - Результаты обработки оператора и сверточной нейронной сети

№ п/п	Нейронная сеть			Оператор
	Название	Количество цели	Время, мс	Количество цели
1	SO_230828_173707.jpg	(nodetections)	205	0
2	SO_230828_173723.jpg	(nodetections)	195	0
3	SO_230828_173739.jpg	(nodetections)	193	0
4	SO_230828_173754.jpg	(nodetections)	192	0
5	SO_230828_173809.jpg	1 target	197	0
6	SO_230828_173825.jpg	3 targets	192	1
7	SO_230828_173840.jpg	2 targets	197	3
8	SO_230828_173856.jpg	1 target	191	3
9	SO_230828_173911.jpg	2 targets	192	4
10	SO_230828_173927.jpg	1 target	193	4
11	SO_230828_173943.jpg	2 targets	194	4
12	SO_230828_173958.jpg	1 target	193	4
13	SO_230828_174014.jpg	(nodetections)	194	4
14	SO_230828_174029.jpg	2 targets	193	3
15	SO_230828_174045.jpg	1 target	193	3
16	SO_230828_174101.jpg	1 target	193	3
17	SO_230828_174116.jpg	2 targets	201	3
18	SO_230828_174132.jpg	4 targets	193	4
19	SO_230828_174147.jpg	1 target	196	4
20	SO_230828_174203.jpg	3 targets	192	3
21	SO_230828_174219.jpg	2 targets	194	3
22	SO_230828_174234.jpg	2 targets	191	4
23	SO_230828_174250.jpg	2 targets	192	4
24	SO_230828_174305.jpg	2 targets	197	3
25	SO_230828_174321.jpg	2 targets	195	2
26	SO_230828_174337.jpg	2 targets	193	3
27	SO_230828_174352.jpg	2 targets	196	4
28	SO_230828_174408.jpg	3 targets	193	4
29	SO_230828_174423.jpg	3 targets	195	4
30	SO_230828_174439.jpg	3 targets	195	4
31	SO_230828_174455.jpg	2 targets	196	3
32	SO_230828_174510.jpg	3 targets	197	4
33	SO_230828_174526.jpg	2 targets	198	5

34	SO_230828_174542.jpg	2 targets	199	3
35	SO_230828_174557.jpg	4 targets	192	3
36	SO_230828_174613.jpg	4 targets	195	4
37	SO_230828_174628.jpg	3 targets	196	4
38	SO_230828_174644.jpg	2 targets	197	3
39	SO_230828_174700.jpg	4 targets	194	3
40	SO_230828_174715.jpg	5 targets	193	4
41	SO_230828_174731.jpg	4 targets	194	4
42	SO_230828_174747.jpg	2 targets	193	4
43	SO_230828_174802.jpg	2 targets	196	3
44	SO_230828_174818.jpg	3 targets	199	4
45	SO_230828_174833.jpg	4 targets	200	3
46	SO_230828_174849.jpg	3 targets	195	3
47	SO_230828_174905.jpg	6 targets	194	3
48	SO_230828_174920.jpg	2 targets	199	3
49	SO_230828_174936.jpg	4 targets	200	3
50	SO_230828_174952.jpg	1 target	199	3
51	SO_230828_175007.jpg	1 target	201	3
52	SO_230828_175023.jpg	2 targets	200	3
53	SO_230828_175038.jpg	3 targets	193	3
54	SO_230828_175054.jpg	3 targets	193	3
55	SO_230828_175110.jpg	3 targets	198	3
56	SO_230828_175125.jpg	1 target	196	3
57	SO_230828_175141.jpg	1 target	196	3
58	SO_230828_175157.jpg	3 targets	194	3
59	SO_230828_175212.jpg	2 targets	195	3
60	SO_230828_175228.jpg	3 targets	199	3
61	SO_230828_175243.jpg	3 targets	200	3
62	SO_230828_175259.jpg	3 targets	200	3
63	SO_230828_175315.jpg	3 targets	198	3
64	SO_230828_175330.jpg	2 targets	196	3
65	SO_230828_175346.jpg	1 target	208	3
66	SO_230828_175402.jpg	2 targets	195	3
67	SO_230828_175417.jpg	3 targets	196	4
68	SO_230828_175433.jpg	3 targets	202	4
69	SO_230828_175449.jpg	4 targets	196	4
70	SO_230828_175504.jpg	1 target	194	4
71	SO_230828_175520.jpg	2 targets	201	4
72	SO_230828_175535.jpg	2 targets	200	4
73	SO_230828_175551.jpg	1 target	200	4
74	SO_230828_175607.jpg	1 target	197	4
75	SO_230828_175622.jpg	2 targets	202	3
76	SO_230828_175638.jpg	5 targets	197	3
77	SO_230828_175654.jpg	3 targets	201	2
78	SO_230828_175709.jpg	2 targets	196	2
79	SO_230828_175725.jpg	2 targets	200	3
80	SO_230828_175741.jpg	1 target	197	1
81	SO_230828_175756.jpg	2 targets	201	1

82	SO_230828_175812.jpg	1 target	204	2
83	SO_230828_175828.jpg	3 targets	199	2
84	SO_230828_175843.jpg	2 targets	205	2
85	SO_230828_175859.jpg	3 targets	206	2
86	SO_230828_175914.jpg	4 targets	206	3
87	SO_230828_175930.jpg	3 targets	202	3
88	SO_230828_175946.jpg	3 targets	207	3
89	SO_230828_180001.jpg	4 targets	204	2
90	SO_230828_180017.jpg	3 targets	199	2
91	SO_230828_180033.jpg	2 targets	202	3
92	SO_230828_180048.jpg	2 targets	200	3
93	SO_230828_180104.jpg	4 targets	199	3
94	SO_230828_180120.jpg	3 targets	206	1
95	SO_230828_180135.jpg	3 targets	207	3
96	SO_230828_180151.jpg	3 targets	204	4
97	SO_230828_180207.jpg	4 targets	200	3
98	SO_230828_180222.jpg	2 targets	197	2
99	SO_230828_180238.jpg	3 targets	199	2
100	SO_230828_180253.jpg	2 targets	198	3
101	SO_230828_180309.jpg	4 targets	197	3
102	SO_230828_180325.jpg	3 targets	199	4
103	SO_230828_180340.jpg	2 targets	212	2
104	SO_230828_180356.jpg	2 targets	196	3
105	SO_230828_180412.jpg	3 targets	197	2
106	SO_230828_180427.jpg	3 targets	197	3
107	SO_230828_180443.jpg	3 targets	203	2
108	SO_230828_180459.jpg	2 targets	205	2
109	SO_230828_180514.jpg	2 targets	206	3
110	SO_230828_180530.jpg	3 targets	195	3
111	SO_230828_180546.jpg	2 targets	199	3
112	SO_230828_180601.jpg	3 targets	201	3
113	SO_230828_180617.jpg	3 targets	200	3
114	SO_230828_180633.jpg	3 targets	201	2
115	SO_230828_180648.jpg	4 targets	198	3
116	SO_230828_180704.jpg	1 target	197	3
117	SO_230828_180719.jpg	1 target	197	2
118	SO_230828_180735.jpg	1 target	198	2
119	SO_230828_180751.jpg	2 targets	200	2
120	SO_230828_180806.jpg	2 targets	197	2
121	SO_230828_180822.jpg	3 targets	200	3
122	SO_230828_180838.jpg	2 targets	199	2
123	SO_230828_180853.jpg	2 targets	201	2
124	SO_230828_180909.jpg	3 targets	199	3
125	SO_230828_180925.jpg	2 targets	200	3
126	SO_230828_180940.jpg	2 targets	202	3
127	SO_230828_180956.jpg	2 targets	200	3
128	SO_230828_181012.jpg	3 targets	196	6
129	SO_230828_181027.jpg	3 targets	197	4

130	SO_230828_181043.jpg	1 target	197	3
131	SO_230828_181059.jpg	3 targets	201	3
132	SO_230828_181114.jpg	2 targets	203	3
133	SO_230828_181130.jpg	2 targets	198	3
134	SO_230828_181146.jpg	2 targets	198	4
135	SO_230828_181201.jpg	2 targets	200	5
136	SO_230828_181217.jpg	2 targets	200	4
137	SO_230828_181232.jpg	3 targets	202	5
138	SO_230828_181248.jpg	1 target	205	3
139	SO_230828_181304.jpg	2 targets	207	3
140	SO_230828_181319.jpg	1 target	199	2
141	SO_230828_181335.jpg	1 target	200	2
142	SO_230828_181351.jpg	3 targets	201	2
143	SO_230828_181406.jpg	(nodetections)	202	3
144	SO_230828_181422.jpg	2 targets	202	2
145	SO_230828_181438.jpg	2 targets	205	2
146	SO_230828_181453.jpg	1 target	202	3
147	SO_230828_181509.jpg	(nodetections)	207	3
148	SO_230828_181525.jpg	(nodetections)	207	2
149	SO_230828_181540.jpg	(nodetections)	200	2
150	SO_230828_181556.jpg	(nodetections)	204	2
151	SO_230828_181612.jpg	(nodetections)	206	2

Заключение

Результаты исследования показывают, что сверточная нейронная сеть больше вероятнее обнаруживает истинные цели, чем ложные. В таблице 1, кроме обнаруженных оператором целей, были помехи и шумы. Таким образом после обработки 151 файла можно сделать следующий вывод, что вероятность обнаружения истинной цели сверточной нейронной сетью больше, чем у оператора.

Список литературы

1. Подвижная радиолокационная станция обнаружения и целеуказания П-18Р. Формуляр. УЦ1.231.054 ФО // 1983. – 67 с.
2. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации./ Учебное пособие для ВУЗов. – М., изд-во «Советское радио», 1970. – С. 560.
3. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: Учеб. пособие для ВУЗов. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.: ил.
4. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации: Учебник для ВУЗов. – 2-е Ф59 изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1993. – 536 с., ил.
5. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: Изд-во КВЦ, 2000. – 428 с.: ил.
6. Власов И.Б. Глобальные навигационные спутниковые системы: Учеб. пособие. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 182 с.: ил.
7. Пандольфини, Брюс(1997).Каспаров и DeepBlue: исторический шахматный матч между человеком и машиной. Шахматная библиотека Fireside.ISBN9780684848525.
8. Поддубский В. Использование технологии нейронных сетей при обработке радиолокационной информации // МО РФ. 2021. URL: <https://army.ric.mil.ru/Stati/item/295854/> (дата обращения: 05.09.2023).

9. Журавлев А.В. Возможность применения искусственного интеллекта при ведении радиолокационной разведки // Всестороннее обеспечение войск (сил). Военная мысль. – № 5. – 2021. – С. 82– 87.
10. <https://matplotlib.org/> (дата обращения: 06.09.2023).