

Применение нейросетевого моделирования в управлении процессами ликвидации чрезвычайных ситуаций на территории учреждений уголовно-исполнительной системы

Е.Г. Царькова

Федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний», НИЦ-1, Москва

Аннотация: В работе рассматривается применение искусственной нейронной сети для моделирования системы управления тушением крупных пожаров в учреждениях уголовно-исполнительной системы, рассматриваемой в качестве системы массового обслуживания, для расчета параметров которой может быть использована обученная нейронная сеть, позволяющая оперативно оценивать эффективность системы в быстро меняющихся условиях.

Ключевые слова: ликвидация чрезвычайной ситуации, пожарная безопасность, система массового обслуживания, искусственная нейронная сеть.

Крупные пожары на территории учреждений уголовно-исполнительной системы (УИС) могут не только приводить к возникновению угроз жизни и здоровью людей, но и служить причиной нарушения нормального функционирования учреждения. Для создания эффективных систем пожарной безопасности все чаще прибегают к построению и использованию математических прогнозных моделей, в том числе с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС). Важнейшим преимуществом ИНС является возможность их применения для установления зависимостей между переменными при отсутствии какой-либо информации о форме данных зависимостей. При этом практически значимым направлением применения ИНС является возможность их использования в моделировании процессов, в том числе, в случае, когда функциональная зависимость установлена, например, когда процесс описывается с помощью дифференциальных уравнений. За счет выбора соответствующей архитектуры ИНС возможно получение решения соответствующих дифференциальных уравнений с точностью, сопоставимой с результатами их решения классическими методами, но со значительно большей скоростью вычислений.

Рассмотрим построение нейросетевой модели управления ликвидацией крупных пожаров на территории учреждений УИС. В работе [1] представлена схема управления подразделениями при тушении пожара в форме размеченного графа взаимодействия между узлами управления. Для управления силами при ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) необходима оперативная обработка большого потока информации (сообщений, донесений, распоряжений). В данном контексте рассматриваемая система управления тушением пожара является системой массового обслуживания. Управление подразделениями при ликвидации крупного пожара осуществляется с участием руководителя тушением пожара, начальника оперативного штаба (заместителя руководителя тушением пожара), начальника тыла, начальников боевых участков, начальника газодымозащитной службы, центра управления силами, представителя администрации объекта [2]. Рассмотрим случай, когда связь между участниками при ликвидации чрезвычайной ситуации обеспечивается посредством радиообмена в основном канале [3]. В рассмотренном в [1] случае процесс радиообмена представлен замкнутой системой массового обслуживания с сорока девятью состояниями, которая описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений вида (1).

$$\begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} = & -(\lambda_{12} + \lambda_{19} + \lambda_{116} + \lambda_{124} + \lambda_{130} + \lambda_{134} + \lambda_{138} + \lambda_{144})P_1 + \lambda_{91}P_9 + \lambda_{161}P_{16} + \lambda_{241}P_{24} + \\ & + \lambda_{301}P_{30} + \lambda_{341}P_{34} + \lambda_{381}P_{38} + \lambda_{441}P_{44}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_2}{dt} = & \lambda_{12}P_1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25} + \lambda_{26} + \lambda_{27} + \lambda_{28})P_2 + \lambda_{122}P_{12} + \lambda_{182}P_{18} + \lambda_{262}P_{26} + \\ & + \lambda_{322}P_{32} + \lambda_{402}P_{40} + \lambda_{462}P_{46}; \end{aligned}$$

$$\frac{dP_3}{dt} = \lambda_{23}P_2 - \lambda_{316}P_3; \quad \frac{dP_4}{dt} = \lambda_{24}P_2 - \lambda_{430}P_4; \quad \frac{dP_5}{dt} = \lambda_{25}P_2 - \lambda_{59}P_5;$$

$$\frac{dP_6}{dt} = \lambda_{26}P_2 - \lambda_{624}P_6; \quad \frac{dP_7}{dt} = \lambda_{27}P_2 - \lambda_{738}P_7; \quad \frac{dP_8}{dt} = \lambda_{28}P_2 - \lambda_{844}P_8;$$

$$\begin{aligned}\frac{dP_9}{dt} &= \lambda_{49}P_1 + \lambda_{59}P_5 - (\lambda_{91} + \lambda_{910} + \lambda_{911} + \lambda_{912} + \lambda_{913} + \lambda_{914} + \lambda_{915})P_9 + \lambda_{209}P_{20} + \\ &\quad + \lambda_{279}P_{27} + \lambda_{369}P_{36} + \lambda_{479}P_{47}; \\ \frac{dP_{10}}{dt} &= \lambda_{910}P_9 - \lambda_{1016}P_{10}; \quad \frac{dP_{11}}{dt} = \lambda_{911}P_9 - \lambda_{1134}P_{11}; \quad \frac{dP_{12}}{dt} = \lambda_{912}P_9 - \lambda_{122}P_{12} \\ \frac{dP_{13}}{dt} &= \lambda_{913}P_9 - \lambda_{1324}P_{13}; \quad \frac{dP_{14}}{dt} = \lambda_{914}P_9 - \lambda_{1438}P_{14}; \quad \frac{dP_{15}}{dt} = \lambda_{915}P_9 - \lambda_{1544}P_{15} \\ \frac{dP_{16}}{dt} &= \lambda_{116}P_1 + \lambda_{316}P_3 + \lambda_{1016}P_{10} - (\lambda_{161} + \lambda_{1617} + \lambda_{1618} + \lambda_{1619} + \lambda_{1620} + \lambda_{1621} + \lambda_{1622} + \lambda_{1623})P_{16} + \\ &\quad + \lambda_{2516}P_{25} + \lambda_{3116}P_{31} + \lambda_{3516}P_{35} + \lambda_{3916}P_{39} + \lambda_{4516}P_{45} \\ \frac{dP_{17}}{dt} &= \lambda_{1617}P_{16} - \lambda_{1730}P_{17}; \quad \frac{dP_{18}}{dt} = \lambda_{1618}P_{16} - \lambda_{182}P_{18}; \quad \frac{dP_{19}}{dt} = \lambda_{1619}P_{16} - \lambda_{1934}P_{19}; \\ \frac{dP_{20}}{dt} &= \lambda_{1620}P_{16} - \lambda_{209}P_{20}; \quad \frac{dP_{21}}{dt} = \lambda_{1621}P_{16} - \lambda_{2124}P_{21}; \quad \frac{dP_{22}}{dt} = \lambda_{1622}P_{16} - \lambda_{2238}P_{22}; \\ \frac{dP_{23}}{dt} &= \lambda_{1623}P_{16} - \lambda_{2344}P_{23}; \\ \frac{dP_{24}}{dt} &= \lambda_{124}P_1 + \lambda_{624}P_6 + \lambda_{1324}P_{13} + \lambda_{2124}P_{21} - (\lambda_{241} + \lambda_{2425} + \lambda_{2426} + \lambda_{2427} + \lambda_{2428} + \lambda_{2429})P_{24} + \\ &\quad + \lambda_{4224}P_{42} + \lambda_{4824}P_{48}; \\ \frac{dP_{25}}{dt} &= \lambda_{2425}P_{24} - \lambda_{2516}P_{25}; \quad \frac{dP_{26}}{dt} = \lambda_{2426}P_{24} - \lambda_{262}P_{26}; \quad \frac{dP_{27}}{dt} = \lambda_{2427}P_{24} - \lambda_{279}P_{27}; \\ \frac{dP_{28}}{dt} &= \lambda_{2428}P_{24} - \lambda_{2838}P_{28}; \quad \frac{dP_{29}}{dt} = \lambda_{2429}P_{24} - \lambda_{2944}P_{29}; \\ \frac{dP_{30}}{dt} &= \lambda_{130}P_1 + \lambda_{430}P_4 + \lambda_{1730}P_{17} - (\lambda_{301} + \lambda_{3031} + \lambda_{3032} + \lambda_{3033})P_{30} + \lambda_{3730}P_{37}; \\ \frac{dP_{31}}{dt} &= \lambda_{3031}P_{30} - \lambda_{3116}P_{31}; \quad \frac{dP_{32}}{dt} = \lambda_{3032}P_{30} - \lambda_{322}P_{32}; \quad \frac{dP_{33}}{dt} = \lambda_{3033}P_{30} - \lambda_{3334}P_{33}; \\ \frac{dP_{34}}{dt} &= \lambda_{134}P_1 + \lambda_{1134}P_{11} + \lambda_{1934}P_{19} + \lambda_{3334}P_{33} - (\lambda_{341} + \lambda_{3435} + \lambda_{3436} + \lambda_{3437})P_{34}; \\ \frac{dP_{35}}{dt} &= \lambda_{3435}P_{34} - \lambda_{3516}P_{35}; \quad \frac{dP_{36}}{dt} = \lambda_{3436}P_{34} - \lambda_{369}P_{36}; \quad \frac{dP_{37}}{dt} = \lambda_{3437}P_{34} - \lambda_{3730}P_{37}; \\ \frac{dP_{38}}{dt} &= \lambda_{138}P_1 + \lambda_{738}P_7 + \lambda_{1438}P_{14} + \lambda_{2238}P_{22} + \lambda_{2838}P_{28} -\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & -(\lambda_{381} + \lambda_{3829} + \lambda_{3840} + \lambda_{3841} + \lambda_{3842} + \lambda_{3843})P_{38} + \lambda_{4938}P_{449} \\ \frac{dP_{39}}{dt} &= \lambda_{3839}P_{38} - \lambda_{3916}P_{39}; \quad \frac{dP_{40}}{dt} = \lambda_{3840}P_{38} - \lambda_{402}P_{40}; \quad \frac{dP_{41}}{dt} = \lambda_{3841}P_{38} - \lambda_{419}P_{41}; \\ \frac{dP_{42}}{dt} &= \lambda_{3842}P_{38} - \lambda_{4224}P_{42}; \quad \frac{dP_{43}}{dt} = \lambda_{3843}P_{38} - \lambda_{4344}P_{43}; \\ \frac{dP_{44}}{dt} &= \lambda_{144}P_1 + \lambda_{844}P_8 + \lambda_{1544}P_{15} + \lambda_{2344}P_{23} + \lambda_{2944}P_{29} + \lambda_{4344}P_{43} - \\ & -(\lambda_{441} + \lambda_{4445} + \lambda_{4446} + \lambda_{4447} + \lambda_{4448} + \lambda_{4449})P_{44}; \\ \frac{dP_{45}}{dt} &= \lambda_{4445}P_{44} - \lambda_{4516}P_{45}; \quad \frac{dP_{46}}{dt} = \lambda_{4446}P_{44} - \lambda_{462}P_{46}; \quad \frac{dP_{47}}{dt} = \lambda_{4447}P_{44} - \lambda_{479}P_{47}; \\ \frac{dP_{49}}{dt} &= \lambda_{4449}P_{44} - \lambda_{4938}P_{49}; \quad \sum_{i=1}^{49} P_i = 1. \end{aligned}$$

Решение данной системы для неустановившихся режимов требует значительного количества вычислений [4]. В условиях быстро меняющейся оперативной обстановки на месте пожара, при рассмотрении процесса управления тушением пожара в качестве динамического процесса могут быть получены оценки вероятности нахождения узла управления «начальник штаба» в состояниях «свободен для получения сообщения по радиосигналу» (P_{nsh_free}) и «абонент занят» (P_{nsh_busy}). Варьирование параметров системы (1) позволяет сформировать набор данных для дальнейшего обучения нейронной сети и получения прогнозных значений P_{nsh_free} и P_{nsh_busy} при произвольных параметрах системы. Пусть входом является значение λ_{12} , выходами – вероятности нахождения начальника штаба в состояниях «занят» и «свободен». На основе сгенерированных данных осуществлено обучение ИНС с одним скрытым слоем [5, 6]. Согласно полученным результатам, обучение ИНС выполнено с высокой степенью точности [7]. Результаты вычисления величин P_{nsh_free} , P_{nsh_busy} с использованием ИНС приведены в таблице 1.

Таблица № 1

Результаты вычисления значений вероятностей с помощью нейронной сети

λ_{12}	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
P_{nsh_free}	0,185	0,179	0,174	0,169	0,163	0,157	0,151	0,146	0,141	0,139	0,138	0,138
P_{nsh_busy}	0,728	0,732	0,736	0,740	0,744	0,749	0,753	0,757	0,761	0,763	0,763	0,764

В таблице 2 приведены значения величин P_{nsh_free} , P_{nsh_busy} , полученные с использованием обученной ИНС.

Таблица № 2

Результаты вычисления значений вероятностей с помощью нейронной сети

λ_{12}	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
P_{nsh_free}	0,185	0,179	0,174	0,169	0,163	0,157	0,151	0,146	0,141	0,139	0,138	0,138
P_{nsh_busy}	0,728	0,732	0,736	0,740	0,744	0,749	0,753	0,757	0,761	0,763	0,763	0,764

Таким образом, ИНС является эффективным и точным инструментом исследования процессов управления ликвидацией чрезвычайных ситуаций. Предложенный подход позволяет определять состояние системы в целом, оценивать работу участников процесса ликвидации чрезвычайной ситуации для оперативной выработки предложений по оптимизации структуры и характеристик средств информационного обмена между субъектами управления [8-10]. Нейросетевое моделирование процессов ликвидации пожаров обеспечивает значительную гибкость при изменении структур оперативного реагирования, увеличении или уменьшении узлов управления и взаимосвязей между ними.

Литература

1. Гадышев В.А., Пелех М.Т. Моделирование процессов управления тушением крупного пожара с помощью теории массового обслуживания // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, 2009. №1. С.93-102.



2. Калач А.В., Вытовтов А.В., Брюхов Е.Н. Моделирование пожароопасных ситуаций в дошкольных учреждениях // Сибирский пожарно-спасательный вестник, 2021. № 4(23). С.41-48.

3. Анфилатов В.С., Авраменко В.С., Пантюхин О.И. Теоретические основы автоматизации управления войсками и связью: учебное пособие. СПб.: ВАС, 2015. 304 с.

4. Дали Ф.А. Методологические аспекты обследования объектов защиты на соответствие требованиям пожарной безопасности в проблемно-ориентированных системах управления // Инженерный вестник Дона, 2021. №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7114.

5. Саламатин А.А. Алгоритм поддержки принятия решений в задачах выбора элементов системы безопасности объектов недвижимости // Инженерный вестник Дона, 2021. №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6999.

6. Dubrovin A.S., Ogorodnikova O.V., Tsarkova E.G. Analysis and visualization in graph database management systems // Journal of Physics: Conference Series: Current Problems. Voronezh, 2021. P.012059. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1902/1/012059/pdf.

7. Болодурина И.П., Огурцова Т.А., Арапова О.С., Иванова Ю.П. Теория оптимального управления. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2016. 147 с.

8. Царькова Е.Г. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений как инструмент совершенствования инженерно-технического обеспечения деятельности уголовно-исполнительной системы // Пенитенциарное право: юридическая теория и правоприменительная практика, 2022, № 1(31). С.139-147.

9. Косоруков А.А. Технологии искусственного интеллекта в современном государственном управлении // Социодинамика, 2019, № 5. С. 43-58.

10. Tsarkova E. Technical Diagnostics of Equipment Using Data Mining Technologies // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 402 LNNS. pp. 1613-1622.

References

1. Gadyshhev V.A., Pelekh M.T. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii, 2009. №1.

2. Kalach A.V., Vytovtov A.V., Bryuhov E.N. Sibirskij pozharnospasatel'nyj vestnik, 2021. № 4(23).

3. Anfilatov V.S., Avramenko V.S., Pantyuhin O.I. Teoreticheskie osnovy avtomatizacii upravleniya vojskami i svyaz'yu: uchebnoe posobie [Theoretical foundations of automation of command and control of troops and communications: textbook]. SPb.: VAS, 2015. 304 p.

4. Dali F.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №7
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7114.

5. Salamatin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №5
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6999.

6. Dubrovin A.S., Ogorodnikova O.V. Tsarkova E.G. Journal of Physics: Conference Series: Current Problems. Voronezh, 2021. P.012059. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1902/1/012059/pdf.

7. Bolodurina I.P., Ogurcova T.A., Arapova O.S., Ivanova YU.P. Teoriya optimal'nogo upravleniya [Theory of optimal control]. Orenburg: Orenburgskij gosudarstvennyj universitet, 2016. 147 p.

8. Car'kova E.G. Penitenciarное право: yuridicheskaya teoriya i pravoprimeritel'naya praktika, 2022. № 1(31).

9. Kosorukov A.A. Sociodinamika, 2019. № 5. pp. 43-58.



10. Tsarkova E. Lecture Notes in Networks and Systems, 2022. Vol. 402 LNNS. pp. 1613-1622.