

Моделирование надежности программного обеспечения систем управления автоматизированными технологическими комплексами на базе искусственного интеллекта

Software reliability simulation of control systems for technological complexes on the basis of artificial intelligence

Статья посвящена вопросам математического моделирования и искусственных нейронных сетей для прогнозирования надежности сложных программных комплексов. Показано, что для моделирования надежности можно использовать новый, особый класс нейронных сетей - вертикальные слоистые сети. В качестве математической модели рассмотрена прогнозирующая модель надежности, описанная ранее автором.

Article is devoted questions of mathematical modeling and artificial neural networks for forecasting of reliability of difficult program complexes. It is shown that for reliability modeling it is possible to use a new, special class of neural networks - vertical layered networks. As mathematical model the predicting model of reliability described earlier by the author is considered.

Ключевые слова: надежность программного обеспечения, искусственные нейронные сети.

Key words: reliability of the software, artificial neuron networks.

Требования повышения качества продукции во всех областях, в том числе и машиностроении, а также снижение издержек на производство ставят вопрос автоматизации не только массового и крупносерийного, но и мелкосерийного и индивидуального производства. Для автоматизации всех видов производства в настоящее время обычно используют автоматизированные системы управления на базе компьютерной техники, базе промышленных или персональных компьютеров, программируемых логических контроллеров или специализированных компьютерных систем, таких как системы числового программного управления. Вся эта компьютерная техника для своей работы требует наличие комплекса программ, программного обеспечения.

Отказы системы управления приводят к простоям, браку и другим экономическим потерям. Чтобы уменьшить эти потери необходимо оценивать характеристики надежности всех компонентов системы управления, в том числе и программного обеспечения. Вопросы оценки надежности оборудования и аппаратной составляющей системы управления достаточно полно исследованы в ряде работ, например, [1-4]. Хотя в области надежности программного обеспечения также имеются работы, вопрос с моделированием надежности программного обеспечения [5-9], особенно программного обеспечения систем управления автоматизированными технологическими

комплексами, изучен не в столь основательно и нуждается в дополнительном исследовании.

В работе [10] рассмотрена прогнозирующая модель надежности программного обеспечения. Основная формула математически выведенной модели связывает интенсивность потока отказов программной системы – одного из основных показателей надежности с временем отладки этой системы, причем можно показать, что метод построения программной системы не имеет значения (как процедурный, так и объектно-ориентированный).

Основная формула модели имеет вид

$$H(t_1, t_2, \dots, t_N) = \sum_{i=1}^N v_i \cdot \beta_i \cdot \exp(-\gamma_i \cdot t_i) \quad (1)$$

1. Преобразование формулы моделирования интенсивности отказов программного обеспечения в другому виду

Моделирование и прогнозирование надежности сложного программного обеспечения в предыдущих главах проводилось на базе математического вывода аналитической модели надежности.

Для высокой точности прогнозирования надежности требуется решение системы большого количества нелинейных уравнений, каждое из которых содержит экспоненциальную функцию.

Известные методы решения таких систем уравнений (методы Ньютона, простых итераций или спуска) не только достаточно сложны, но и требуют подбора начального приближения вблизи корней уравнений. Обычно их используют для систем их двух уравнений с двумя неизвестными. Для трех и более неизвестных, удовлетворительных способов подбора начального приближения нет [11-13].

Приведем полученную модель надежности по формуле (1) к виду, удобному для моделирования и прогнозирования.

Отметим, что значения времен t_1, t_2, \dots, t_N могут быть получены из общего времени отладки $t: t_i = v_i t$ и соответственно, учитывая, что $\sum v_i = 1$, получим,

$$t = \sum t_i$$

Преобразуем формулу (1) в формулу (2)

$$H(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot \exp(-b_i \cdot t) \quad (2)$$

где N – количество различных с точки зрения надежности операторов или классов.

Знак минус внутри экспоненты мог бы войти в параметр b , однако его присутствие в формуле (2) подчеркивает монотонное убывание интенсивности потока отказов во времени.

Для большинства программных систем значение N достаточно сложно точно оценить. При проведении отладочных действий при разработке программ собирается и накапливается информации о текущей надежности программного продукта. При статистической обработке выборки для каждого значения времени t и соответствующей интенсивности отказов H по формуле (2) может быть получена система уравнений относительно переменных a_i и b_i .

Решив систему уравнений и определив коэффициенты a_i и b_i , можно прогнозировать изменение надежности и описать зависимость интенсивности отказов программной системы от времени ее отладки.

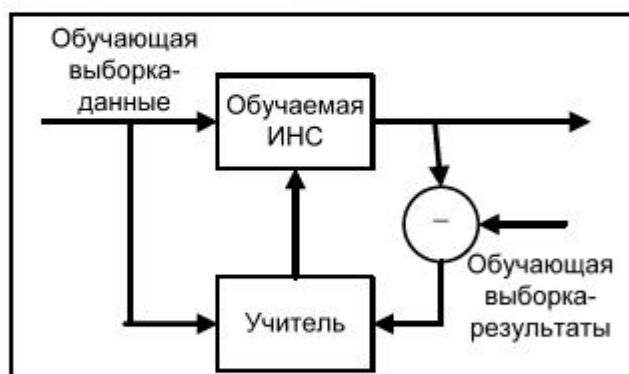


Рис. 1. Схема обучения ИНС

Полученный результат имеет теоретическую ценность, однако, его практическое применение в значительной степени ограничено:

1. Анализ полученной системы уравнений показывает, что известны способы их решения. Однако при количестве уравнений более двух, способ решения существенно усложняется. Для задачи точного прогнозирования надежности количество уравнений должно быть существенно большим, делая задачу решения системы уравнений малоперспективной.

2. Трудно определить для реальной программной системы даже приблизительное значение N , а, следовательно, количество уравнений в системе, которое равно $2N$.

Легко показать, что формула (3) может быть преобразована к виду (4)

$$H(t) = \sum_{i=1}^N \exp(-b_i \cdot t + \hat{a}_i) \quad (3)$$

Из полученной формулы можно сделать вывод, что надежность сложной программной системы представляет собой сумму экспонент.

2. Использование искусственных нейронных сетей (ИНС)

Прогнозирование временных рядов - это предсказание будущего поведения системы по имеющейся последовательности ее предыдущего поведения [12,13].

Во многих работах, например, [14-17], рассматриваются вопросы прогнозирования в различных областях, таких как, экология, контроль окружающей среды, финансовые рынки, экономика, диагностика и прогнозирование отказов.

Отметим, что в рамках ранее поставленной задачи, прогнозирование осуществляется по временному параметру, когда рассматривается поведение надежности программной системе во времени, точнее, во время ее отладки. Согласно принятой в настоящее время терминологии, эта задача относится к классу прогнозирования временных рядов, когда осуществляется прогноз (предсказание) будущего поведения системы (вычисления будущих значений надежности) по имеющейся последовательности ее предыдущих состояний.

Сегодня вопросы, связанные с прогнозированием на основе уже имеющейся информации временных рядов особо актуальны для использования в различных системах: экономических, экологических, социальных, технических и др.

Существуют различные методы решения задачи прогнозирования, причем одним из самых перспек-

тивных является использование искусственных нейронных сетей (ИНС).

В настоящее время имеются результаты, показывающие достаточную состоятельность применения ИНС для решения проблемы прогнозирования временных рядов, например, [13-18]. Моделирование надежности сложных программных систем также относится к задачам, решаемых прогнозированием временных рядов.

Используем для моделирования надежности программного обеспечения ИНС. Будем считать, что во время отладки фиксируются времена отказов программной системы. Эти времена являются исходной информацией для программного обеспечения прогнозирования.

Для моделирования и прогнозирования надежности сложных программных систем с использованием ИНС, необходимо решить несколько ключевых задач:

1. Определить особенности структуры ИНС, используемой для прогнозирования надежности.
2. Определиться с методом реализации ИНС особой структуры.
3. Определиться с механизмом обучения ИНС особого типа, который будет использоваться при моделировании и прогнозировании надежности сложных программных систем.

Перед использованием ИНС необходимо обучить. Для обучения ИНС используется информация о зафиксированных ранее временах отказов программного обучения. Общая схема обучения ИНС представлена на рис. 1.

Схема обучения ИНС состоит в том, что на вход нейронной сети и одновременно на специальный блок УЧИТЕЛЬ подаются данные из входной выборки. Искусственная нейронная сеть обрабатывает полученные входные данные и формирует выходное значение. Это выходное значение сравнивается с эталонным выходным значением. Полученная разница значений является информацией для корректировки собственно ИНС, ее обучения. Корректировка ИНС связана с изменением коэффициентов передачи информации между нейронами ИНС и осуществляется программой Учитель. Процесс обучения ИНС и предложенные его особенности для обучения моделированию и прогнозированию надежности сложного программного обеспечения будут рассмотрены далее.

Суть моделирования и прогнозирования надежности с использованием ИНС заключается в следующем.

1. На вход обученной ИНС подаются время отладки сложного программного обеспечения.
2. В результате работы ИНС на ее выходе появляется значение интенсивности потока отказов для этой программной системы. В результате обучения ИНС



Рис. 2. Моделирование надежности программной системы с использованием искусственных нейронных сетей

приобретает свойства модели надежности конкретной программной системы. Общая структура моделирования надежности представлена на рис. 2.

3. Интеллектуальные сети

Нейронная сеть может моделировать работу любого алгоритмического устройства, только стоимость такого моделирования достаточно высокая.

В моделировании работы алгоритмических процессов задействовано достаточно большое количество нейронов. При реализации ИНС программным методом это приведет к существенным временным задержкам при моделировании работы ИНС. При реализации аппаратным или программно-аппаратным способами, приведет к существенному усложнению аппаратного решения.

Чтобы избежать потерь для ИНС, где достаточно большое количество операций экспоненцирования, было принято другое решение: использовать в интеллектуальной сети, занятой моделированием и прогнозированием надежности сложных программных систем использовать особый, новый вид такой сети. Эта сеть включает наряду с интеллектуальными элементами (аналогичными подсетям ИНС), алгоритмические элементы, выполняющие некоторые предопределенные алгоритмом действия, в данном, достаточно простом случае, операцию экспоненцирования.

Таким образом, предполагается, что сложные вычислительные процедуры выполняют алгоритмические модули, а принятие решений, распознавание, прогнозирование и другие задачи, соответствующие искусственному интеллекту, выполняются интеллектуальными модулями-фрагментами нейронной сети.

Особенности реализации и преимущества такого типа подхода будут описаны позже.

4. Структура интеллектуальной сети

Как ранее было показано, формула, описывающая интенсивность потока отказов программной системы имеет вид суммы экспонент линейных функций.

Если предположить, что каждое из слагаемых реализуется отдельным фрагментом нейронной сети, то ИНС всей системы в целом представляет собой набор таких фрагментов.

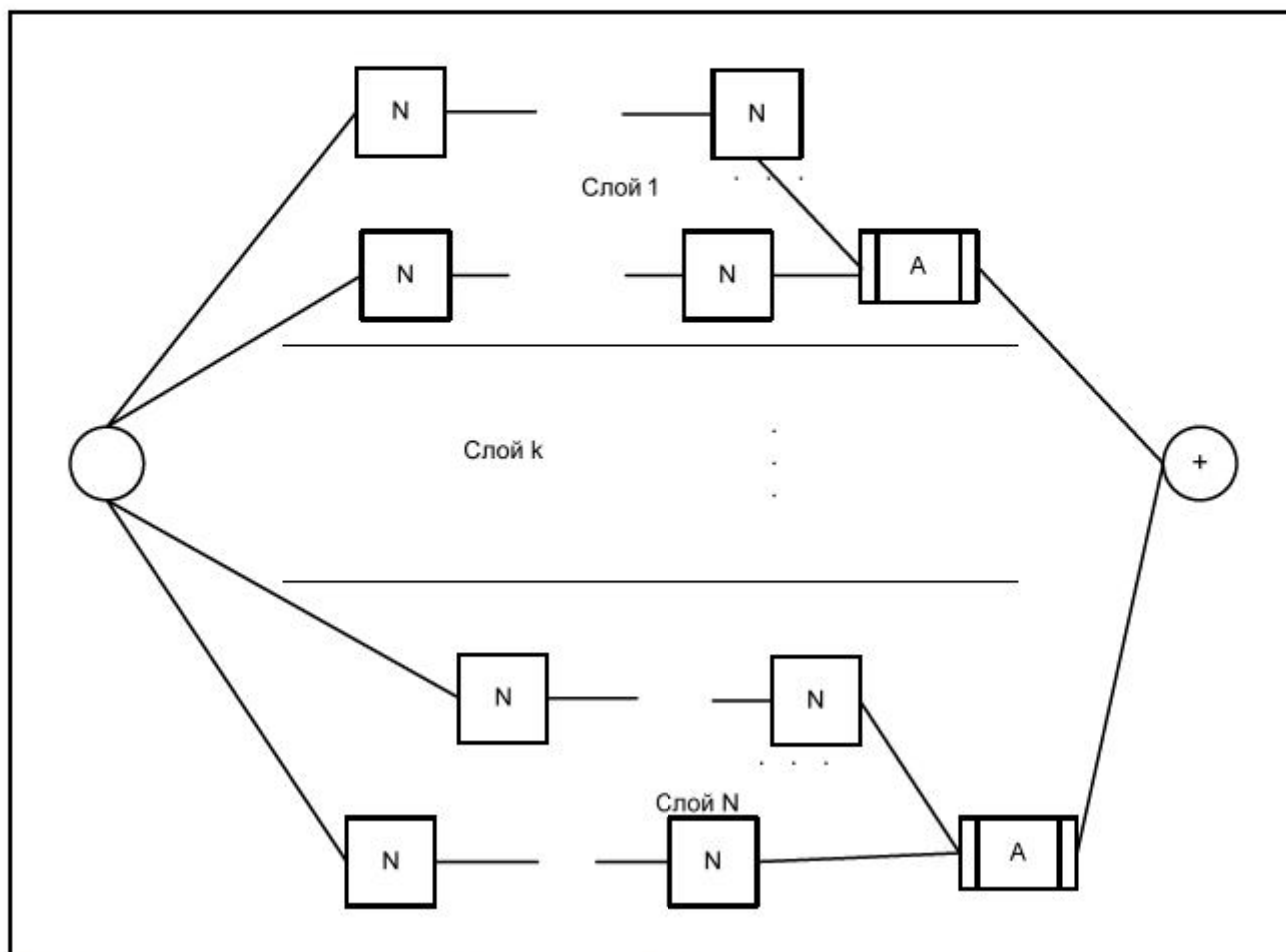


Рис. 3. Структура вертикально-слоистой интеллектуальной сети

Отметим, что ИНС, применяющаяся для моделирования надежности программного обеспечения, имеет особый вид. Фактически, такая ИНС представляет собой группу однотипных элементарных унифицированных сетей-атомов. Каждый их атомов моделирует отдельное слагаемое- экспоненту от линейной функции.

Атомы образуют в своей совокупности единую сеть, которая будет слоистой по вертикали структура (в отличие от традиционно принятой слоистой по горизонтали сети).

На рис. 3 изображены горизонтальные слои такой ИНС. Каждый слой включает один фрагмент ИНС, причем последним элементом такой сети будет алгоритмический модуль, выполняющий экспоненцирование.

Входные данные поступают одновременно на все слои, параллельно обрабатываются каждым слоем и поступают на сумматор - выход ИНС.

Отметим, что вертикально-слоистая сеть является особым видом сети, который практически не описан в литературе, но может иметь существенное практическое применение для решения нескольких классов

задач, таких как, задачи нелинейной аппроксимации сложных эмпирически полученных функций или математической статистики.

Слоистые по вертикали ИНС характерны для моделирования математических или статистических процессов, которые можно описать формулой:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sum_{i=1}^k f_i(x_i) \quad (4)$$

Отметим, что особая структура интеллектуальной сети является предпосылкой для более простого механизма ее обучения.

Выводы

1. Показано, что моделирование надежности программного обеспечения можно осуществить как по математической формуле выражение, так и с использованием нейронных сетей.
2. Применение математической формулы связано с достаточно сложным решением системы уравнений.
3. Применение нейронных сетей позволяет существенно сократить трудоемкость решения задачи.

Библиографический список

1. Надежность технических систем: Справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.; Под ред. И. А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985.— 608
2. Райкин А.Л. Элементы теории надежности технических систем/Под ред. И. А. Ушакова. — М.: Сов. радио, 1978.
3. Райншке К. Модели надежности и чувствительности систем: Пер. с немецкого/Под ред. Б. А. Козлова.- М.: Мир, 1979.
4. Лонгботтом Р. Надежность вычислительных систем пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1985 - 284 с.
5. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем М: «МИР», 1983 г. 322 стр.
6. Липаев В.В. Надежность программного обеспечения АСУ. - М.: Энергоиздат, 1981. -241с
7. Майерс Г. Надёжность программного обеспечения М.: Мир 1980
8. Гейер Т., Липов М., Нельсон Э. Надёжность программного обеспечения. : М. Мир 1981
9. Musa J/D. "A Theory of Software Reliability and Its Application" IEEE Trans. On Software Eng. 1975 vol. 1 pp.312-327
10. Кабак И.С., Рапопорт Г.Н. Оценка надежности программного обеспечения по его математической модели// Проблемы создания гибких автоматизированных производств под ред. Макарова И.М. и Белянина П.Н. М: Наука, 1987 г.стр.236-245.
11. Волков Е.А. Численные методы — М.: Физматлит, 2003
12. Губарь Ю.В. Введение в математическое моделирование. Лекция10. [http://www.intuit.ru/department/calculate/intromathmodel/10/Численное решение систем нелинейных уравнений](http://www.intuit.ru/department/calculate/intromathmodel/10/Численное_решение_систем_нелинейных_уравнений)
13. http://solidbase.karelia.ru/edu/meth_calc/files/11.shtm
14. Царегородцев В.Г., Погребная Н.А. Нейросетевые методы обработки информации в задачах прогноза климатических характеристик и лесорастительных свойств ландшафтных зон сб. "Методы нейронинформатики. Сборник научных трудов. Под редакцией д.ф.-м.н. А.Н.Горбана – Красноярск: Издательство КГТУ, 1998."
15. Гундырев К.В. Применение аппарата нейронных сетей для диагностирования и прогнозирования отказов элементов и устройств СЦБ. http://milksa.ru/content_files/research207.pdf
16. Колмыков В.В. Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования. Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. <http://www.jurnal.org/articles/2010/inf14.html>
17. Крючин О.В., Кондраков О.В. Прогнозирование временных рядов с использованием нейронных сетей типа Вольтерри и сравнение показателей с многослойным перцептроном. Электронный научный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ» 2010 г. <http://zhurnal.ape.relam.ru/articles/2010/082.pdf>
18. Прабху Н. Методы теории массового обслуживания и управления запасами: Пер. с англ./ Под ред. И. Н. 19. Коваленко. - М.: Машиностроение, 1969.
20. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. пер. с англ. М.: Сов. Радио, 1969. - 488 с.

Кабак Илья Самуилович – канд. техн. наук, профессор кафедры «Компьютерные системы управления» МГТУ «СТАНКИН»

Тел.: 8 (499) 972-94-40

Суханова Наталья Вячеславовна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Компьютерные системы управления» МГТУ «СТАНКИН»

Тел.: 8(499) 972-94-40

Kabak Ilya Samuilovich – Candidate of Engineering Sciences, Professor of subdepartment "Computer Architecture Control Systems" of MSTU "STANKIN"

Tel.: +7 (499) 972-94-40

Sukhanova Natalia Vyacheslavovna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of subdepartment "Computer Architecture Control Systems" of MSTU "STANKIN"

Tel.: +7 (499) 972-94-40

