

УДК 004.75,004.896

С.А. Шептунов, Ю.М. Соломенцев, И.С. Кабак, Н.В. Суханова

ТЕХНОЛОГИЯ МОДУС-НС В РАЗРАБОТКЕ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ И ЖИВУЧИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ¹

Рассмотрен способ построения высоконадежных и живучих систем, в том числе систем управления сложными техническими объектами, в условиях, когда ремонт и замена их компонентов принципиально невозможны. Разработан новый способ создания сложных систем с искусственным интеллектом, основанный на технологии МОДУС-НС. Выведены расчетные формулы, позволяющие определить уровень надежности и живучести систем управления, а также оценить общую наработку на отказ системы в целом в зависимости от ее состава.

Ключевые слова: надежность, живучесть, наработка на отказ, интенсивность отказов, системы управления, МОДУС-НС.

Понятие надежности технической системы определяется как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [1].

Государственный стандарт отдельно оговаривает необходимость обеспечения режимов эксплуатации, которые заданы в техническом задании на систему.

Очень часто соблюсти условия заданных режимов эксплуатации просто невозможно. Поэтому наряду с понятием надежности используется понятие живучести как способности технического устройства, сооружения, средства или системы выполнять основные свои функции, несмотря на полученные повреждения или нарушенные условия эксплуатации, обслуживания, хранения и транспортировки.

Вопросы живучести изделий авиационной техники впервые начали рассматриваться еще в конце тридцатых годов в работах Н.И.Шаурова, тогда начальника отдела НИИ ВВС КА. В самостоятельное научное направление живучесть выделилась только в начале 60-х годов.

Отметим принципиальное различие рассматриваемых понятий. Говоря о надежности, мы предполагаем, что надо обеспечить выполнение всех функций объекта или системы. Говоря о живучести, выполняемые объектом или системой функции разделяют на несколько категорий по степени их важности. Обязательное выполнение наиболее важных функций определяет живучесть системы или объекта.

Рассмотрим вычислительную систему, построенную по технологии МОДУС-НС [15]. Такая система состоит из трех типов элементов. Ресурсы системы, необходимые для ее живучести, называют критическими ресурсами. Каждый модуль системы содержит функциональный блок и сетевой процессор. Функциональный блок определяет, какой тип операций будет выполнять данный модуль. Сетевой процессор обеспечивает связь всех модулей между собой по внутренней сети с гиперкубической архитектурой. Особенности построения системы МОДУС-НС приведены в работах [2-15]. Схема модуля приведена на рисунке.

¹ Публикуемые в статье результаты получены при выполнении плановой работы Института конструкторско-технологической информатики РАН «Исследование трафика информации в больших искусственных нейронных сетях».

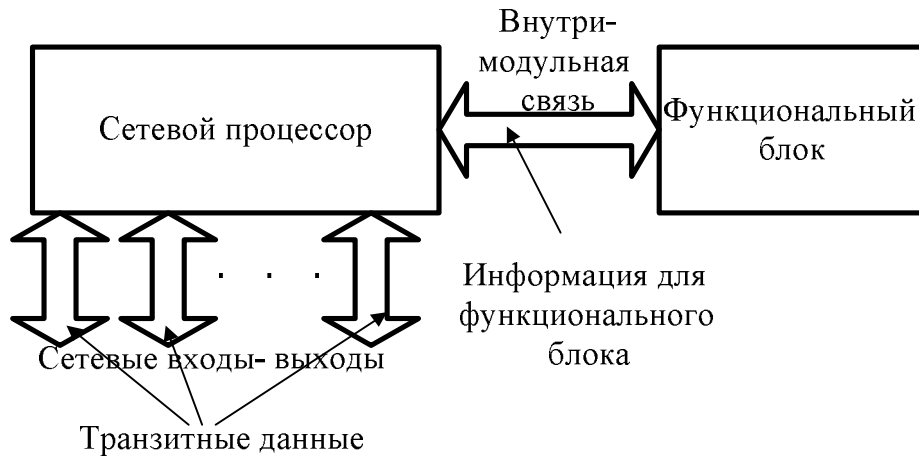


Рис. Схема модуля в системе МОДУС-НС

В системе модули разделяются на периферийные и базовые.

Периферийные модули выполняют операции поддержки внутрисистемной сети, хранение информации, инициализацию систем, синхронизацию работы всех модулей системы и ряд других функций, обеспечивающих как нормальное (штатное) функционирование системы, так и выход из аварийных (нештатных) ситуаций. Безопасность и живучесть системы в целом обеспечиваются функционированием этого типа модулей. Отметим, что обмен информацией с внешней средой, включая прием информации от датчиков, формирование управляющих воздействий на рабочие органы устройств, связь с оператором, работу внешних по отношению к системе сетевых или телекоммуникационных устройств и т.п., выполняют периферийные модули.

Базовые алгоритмические модули - это одночипные компьютеры с упрощенной архитектурой, предназначенные для выполнения обыкновенных компьютерных программ. Программы и данные для их работы загружаются по внутренней сети. Работа программ обеспечивается упрощенной внутренней операционной системой (ядром) небольшого объема с существенно ограниченными функциями. В частности, в реализованной версии было создано ядро операционной системы на базе отдельных модулей LINUX, объем которой не превышал 100 кбайт.

Базовые интеллектуальные модули являются фрагментами большой обученной искусственной нейронной сети. Разбиение такой сети на фрагменты является отдельной задачей [3].

С точки зрения оценки надежности и живучести системы на основе технологии МОДУС-НС имеется система с последовательным соединением групп модулей трех типов.

Вероятность выполнения функций такой системы $R_0(t)$ может быть оценена как произведение вероятностей выполнения функций всеми тремя группами:

$$R_0(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times R_3(t) \quad (1)$$

Аналогично может определяться живучесть системы $V_0(t)$:

$$V_0(t) = V_1(t) \times V_2(t) \times V_3(t) \quad (2)$$

При построении управляющей системы по технологии МОДУС-НС предусматривается наличие основных и резервных избыточных модулей каждого типа. При отказе основного модуля система выполняет реконфигурацию – подключение резервного модуля

вместо отказавшего. Затем система выполняет перестройку работы транспортной сети для соответствующего изменения маршрутов передачи информации между модулями. При наличии резервных модулей такая реконфигурация требует незначительного времени и не влияет на качество функционирования системы в целом.

Когда резервных модулей уже нет, система может отбросить ряд наименее важных функций, оставив только наиболее значимые. Этот набор функций будем считать критическим, и он соответствует ранее принятому определению живучести (система живуча, пока могут быть выполнены все критические функции).

С точки зрения теории надежности имеется структура из n элементов, когда для работоспособности достаточно работоспособности k модулей, - структура « k из n ».

Известно [17], что для подобных структур значение надежности системы R в условиях, когда все модули имеют равную надежность p , можно вычислить следующим образом:

$$R(p, k, n) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} = \frac{n!}{(k-1)!(n-k)!} \int_0^p x^{k-1} (1-x)^{n-k} dx \quad (3)$$

Отметим, что выражение (3) может использоваться как для определения надежности группы модулей, так и для определения живучести. В первом случае, при оценке надежности, количество необходимых работоспособных модулей k должно быть равно количеству основных модулей. В случае оценки живучести значение k определяет количество необходимых для работы критических ресурсов.

Рассмотренная система состоит из большого количества модулей. Предполагается, что время безотказной работы системы достаточно большое и количество модулей каждого типа в системе достаточно велико. Тогда при некоторых общих предположениях распределение времени между отказами системы в целом приближается к экспоненциальному.

Определим среднее время безотказной работы системы в целом, считая распределение времени между отказами экспоненциальным.

Учитывая, что интенсивность потока отказов для экспоненциального распределения надежности $\lambda = -\frac{\ln R(t)}{t}$ и среднее время наработки на отказ $T_0 = -\frac{1}{\lambda}$, получим:

$$T_0 = -\frac{t}{\ln R(t)}.$$

С точки зрения надежности для отказа системы достаточно отказа всех модулей одной группы. Система представляет собой последовательное соединение трех групп модулей, т. е. средняя наработка на отказ системы в целом

$$T_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i} = -\frac{t}{\sum_{i=1}^3 \ln R_i(t)}, \quad (4)$$

причем значения $R_i(t)$ определяются по формуле (3) и различаются не только значениями вероятностей p_i , где i – номер группы (типа) модулей, но и значениями k и n , определяющими количество избыточных элементов данной группы в системе.

Количественная оценка живучести и надежности системы может быть также определена по формулам (3) и (4). При оценке живучести системы в качестве k задают набор модулей, реализующих критические ресурсы. При оценке надежности в качестве k задают все основные модули данного типа.

Выводы:

1. Надежность и живучесть систем управления, построенных по технологии МОДУС-НС, могут быть оценены по формулам (1 - 4).

2. По требуемым показателям надежности и живучести можно решить обратную задачу – определить, сколько модулей каждого типа обеспечат заданный уровень надежности или живучести.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 27.002—89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
2. Кабак, И. С. Технология реализации автоматизированных систем управления на базе больших искусственных нейронных сетей МОДУС-НС / И.С. Кабак, Н.В. Суханова // Межотраслевая информационная служба.- 2012.-№ 4.- С. 43-47.
3. Степанов, С. Ю. Алгоритм фрагментации больших нейронных сетей и исследование его сходимости / С. Ю. Степанов, И. С. Кабак // Информационные технологии. -2012.- №7.- С. 73 – 78.
4. Кабак, И.С. Моделирование надежности программного обеспечения систем управления автоматизированными технологическими комплексами на базе искусственного интеллекта / И.С. Кабак, Н.В. Суханова //Вестн. МГТУ «Станкин».- 2012.- № 1 (19).- С. 95-99.
5. Кабак, И.С. Создание больших аппаратно-программных нейронных сетей для систем управления / И.С. Кабак //Авиационная промышленность.- 2012.-№4.- С. 57-61.
6. Соломенцев, Ю. М. Повышение быстродействия суперкомпьютера за счет оптимизации информационного межпроцессорного трафика / Ю. М. Соломенцев, С.А. Шептунов, И.С. Кабак, Н.В. Суханова //Изв. Кабардино-Балкар. гос. ун-та. -2012.-Т.2. - № 4.- С. 71-73.
7. Кабак, И.С. О моделировании и оценке надежности сложных программных комплексов / И.С. Кабак, Н.В. Суханова // Изв. Кабардино-Балкар. гос. ун-та. -2012.-Т.2. - № 4.- С. 74-76.
8. Кабак, И.С. Применение нейронных сетей при диагностике состояния режущего инструмента / И.С. Кабак, Н.В.Суханова, А.М. Гаделев // Изв. Кабардино-Балкар. гос. ун-та. - 2012. - Т.2. - № 4. - С.77-79.
9. Кабак, И.С. Методика применения аппарата нейронных сетей для решения задач диагностики процесса резания / И.С. Кабак, Н.В.Суханова, А.М. Гаделев // Вестн. МГТУ «Станкин». - 2012. - № 4 (22). – С. 130-133.
10. Кабак, И. С. Система диагностики технологического процесса резания с использованием аппарата нейронных сетей / И.С. Кабак, А.М. Гаделев // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2012. - №10. - С. 25 – 29.
11. Кабак, И.С. Математическая модель для прогнозирования и оценки надежности программного обеспечения / И.С. Кабак // Вестн. МГТУ «Станкин». -2014.-№ 1 (28). – С. 123-126.
12. Кабак, И.С. Нейросетевая модель для прогнозирования и оценки надежности программного обеспечения / И.С. Кабак // Вестн. МГТУ «Станкин». - 2014. - № 1 (28). – С. 107-111.
13. Нейронная сеть: пат. на полез. модель № 66831 / Кабак И.С., Суханова Н.В. – Бюл. изобрет. и полез. моделей; приоритет 02.04.07. – 3 с.
14. Доменная нейронная сеть: пат. на полез. модель № 72084 / Кабак И.С., Суханова Н.В. – Бюл. изобрет. и полез. моделей; приоритет 03.12.07. – 3 с.
15. Модульная вычислительная система: пат. на полез. модель № 75247 / Кабак И.С., Суханова Н.В. – Бюл. изобрет. и полез. моделей; приоритет 26.12.08. – 5 с.
16. Барлоу, Р. Математическая теория надежности / Р. Барлоу, Ф. Прошан; пер. с англ. под ред. Б. В. Гнеденко. - М.: Сов. радио, 1969. - 488 с.

Материал поступил в редколлегию 18.07.14.