

УПРАВЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЕЙ МАЛООБСЛУЖИВАЕМОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Захаров Н.А., Клепиков В.И., Подхватилин Д.С.

НПП «Дозор» ОАО «Концерн КЭМЗ», Россия, г. Москва, ул. 4-я Магистральная д.13
nazakharov@npp-dozor.ru, dspodkhvatilin@npp-dozor.ru, viklepikov@mail.ru

Предложен подход к управлению конфигурацией распределенной системы управления, имеющей в своем составе избыточные компоненты. Подход основан на формализованном векторно-матричном представлении наборов компонентов системы, возможных системных конфигураций и функциональных связей между ними.

Ключевые слова: распределенная система управления, синхронно-временной протокол, управление конфигурацией, оценка достоверности.

Концепция построения распределенных систем управления (PCY) на основе необслуживаемой модульной электроники подразумевает наличие в системе следующих компонентов:

- коммуникационной сети;
- компонентной избыточности оборудования;
- развитой системы сбора и обобщения информации о функционировании оборудования;
- высокопроизводительных алгоритмов обнаружения и локализации наблюдаемых и ненаблюдаемых сбоев и отказов;
- алгоритмов глубокой реконфигурации системы на основе компонентной избыточности функциональных систем и коммуникационной сети.

Для парирования отказов в PCY наиболее эффективным способом является применение избыточности ресурсов системы. Для построения коммуникационной сети перспективным решением является применение синхронно-временного протокола (СВП) [2]. Сетевая распределенная архитектура системы управления на основе СВП обеспечивает высокий уровень аппаратной, программной, временной, коммуникационной и информационной избыточности, которую можно использовать не только для повышения надежности и отказоустойчивости системы управления, но также для повышения точности и качества регулирования и управления.

Для управления избыточностью PCY предлагается модифицированный метод супервизоров конфигурации (СК). В исходном методе [3] под СК понимаются программные и аппаратные модули, используемые для мониторинга работоспособности своей конфигурации, участия в межуниверсальном арбитраже для активизации своей конфигурации либо при победе в арбитраже, либо для параллельной работы вместе с другими конфигурациями на общий исполнительный элемент. В предложенном модифицированном методе СК определение достоверности конфигурации на основе информации об исправности входящих в нее компонент дополняется оценками достоверности работы конфигураций, формируемыми на основе анализа выходных данных конфигураций. Полученные оценки достоверности работы конфигураций используются в качестве обратной связи для получения оценок исправности образующих конфигурации компонентов.

Рассмотрим PCY, построенную на основе СВП. PCY располагает избыточным количеством m аппаратных, программных, коммуникационных и программных компонент (ресурсов). К ресурсам в общем случае относятся:

- датчики и устройства ввода информации;
- исполнительные устройства и устройства вывода сигналов;
- вычислительные узлы (контроллеры);
- линии связи между узлами и со смежными системами;
- встроенные математические модели.

В данной системе может быть построено n вариантов коммуникационного объединения имеющихся m компонент для выполнения заданных системных функций. Каждый такой вариант объединения будем называть конфигурацией.

Различные конфигурации могут реализовывать либо разные, либо одни и те же системные функции, конфигурации могут иметь полностью не пересекающиеся наборы компонент, или могут использовать какие-то общие для них ресурсы. Разработан подход к управлению избыточностью распределенной системы, обеспечивающий:

- формализованное представление в векторно-матричном виде всех компонент, используемых конфигураций и наборов компонент, задействованных в каждой конфигурации;
- формализованную процедуру прямого вычисления вектора работоспособных конфигураций u на основе исходного вектора исправности компонент x ;

- вычисление по результатам работы конфигураций вектора оценок \hat{y} работоспособных конфигураций;
- формализованную процедуру обратного вычисления вектора оценок исправности компонент на основе вектора оценок \hat{y} работоспособных конфигураций;
- замену действующих неработоспособных конфигураций на новые, либо замену в действующих конфигурациях отказавших компонент на аналогичные исправные.

В распределенных системах управления сложными объектами могут присутствовать сотни компонент, которые в зависимости от их текущего состояния могут объединяться в десятки различных конфигураций для выполнения тех или иных функциональных задач.

Назовем конфигурацией совокупность компонент системы $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$, обеспечивающих выполнение определенной функции. Конфигурация может обеспечивать как выполнение функции управления объектом, т.е. заканчиваться расчетом выходного значения системы, так и выполнять промежуточные расчеты, определяющие значения параметров, необходимых для других конфигураций, например, рассчитывать наиболее достоверные значения входных параметров РСУ на основе показаний нескольких датчиков. Одна и та же функция в системе управления может реализовываться различными конфигурациями в зависимости от того, какие компоненты в данный момент времени являются исправными.

Работу системы управления можно описать набором функций f_i , каждой из которых соответствует конкретное выходное значение, сформированное некоторой конфигурацией. Значение функции f_i , сформированное в некоторой j -й конфигурации C_{ij} , будем обозначать как z_{ij} .

Распределение компонентов РСУ c_k по конфигурациям может быть записано в виде матрицы K размерности $(n \times m)$, где n – количество всех рассматриваемых в системе конфигураций, m – количество всех компонент системы, участвующих в формировании конфигураций. Элемент k_{ij} матрицы K равен 1, если в i -й конфигурации используется компонент РСУ c_j .

Определим вектор x , характеризующий текущее состояние всех компонент РСУ. Если все компоненты РСУ исправны, компоненты вектора x представляются в виде:

$$(1) \quad x_s = 1, s = 1 \dots m.$$

При наличии в системе неисправных компонент соответствующие им компоненты вектора x равны нулю. Значение данного вектора формируется в реальном времени по результатам функционирования программных и технических средств самоконтроля РСУ.

Далее определим вектор готовности конфигураций y , характеризующий готовность к работе всех рассматриваемых конфигураций. $y_i = 1$, если i -я конфигурация работоспособна, в противном случае $y_i = 0$, $i = 1 \dots n$. Готовность конфигураций является функцией от задействованных в конфигурациях компонентов и их исправности.

$$(2) \quad y = F_1(K, x),$$

где функция F_1 определяется выражением:

$$(3) \quad F_1 = \bigcap_{s=1}^m (k_{j,s} \supset x_s),$$

символом \bigcap обозначена функция логического «И», символом \supset обозначена функция импликации.

Смысл выражения (3) состоит в том, что каждый j -й элемент вектора y будет равен 1, т.е. j -я конфигурация будет работоспособна, если в данной конфигурации будут использованы только исправные компоненты.

Если при исполнении в одной РСУ нескольких конфигураций получены различающиеся между собой значения одного и того же выходного параметра, требуется решить две задачи: 1) отбраковать некорректные результаты и отметить сформировавшие их конфигурации как неработоспособные; 2) на основе результатов, полученных от признанных работоспособными конфигураций сформировать окончательное согласованное выходное значение.

Эффективным способом диагностики исправности компонентов РСУ является включение в ее состав встроеной модели объекта управления, работающей в реальном времени [4]. Это позволяет расширить возможности по повышению качества и надежности управления, улучшению эксплуатационных характеристик системы. Ряд способов отбраковки некорректных значений рассмотрен в работах [5, 6]. Далее рассмотрим анализ работы конфигураций на основе допускового контроля.

Запишем полученный по результатам работы всех n конфигураций вектор выходных значений

$$(4) \quad \mathbf{z} = [z_1, \dots, z_j, \dots, z_n]^T$$

(верхние индексы для наглядности опущены) и исходный вектор готовности конфигураций

$$(5) \quad \mathbf{y} = [y_1, \dots, y_j, \dots, y_n]^T.$$

Посредством векторов \mathbf{z}^{\min} и \mathbf{z}^{\max} зададим соответственно минимально и максимально допустимые выходные значения для каждой из конфигураций

Определим функцию допускового контроля как

$$(6) \quad F_2(\mathbf{y}, \mathbf{z}, \mathbf{z}^{\min}, \mathbf{z}^{\max}) = 1, \quad \text{е с л и } (y_j=1) \& (z_j^{\min} \leq z_j \leq z_j^{\max});$$

иначе 0.

Оценка вектора готовности конфигураций $\hat{\mathbf{y}}$ определяется функцией F_2 :

$$(7) \quad \hat{\mathbf{y}} = F_2(\mathbf{y}, \mathbf{z}, \mathbf{z}^{\min}, \mathbf{z}^{\max}),$$

Нулевое значение какой-либо компоненты вектора готовности конфигураций свидетельствует о том, что в соответствующей конфигурации имеется один или несколько отказавших компонентов РСУ.

Далее определим функцию F_3 как

$$(8) \quad F_3 = \bigcup_{j=1}^n (k_{j,s} \supset \hat{y}_j),$$

где символом \bigcup обозначена функция логического ИЛИ; символом \supset обозначена функция импликации. Для вектора $\hat{\mathbf{x}}$, характеризующего оценку исправности компонентов РСУ, можно записать:

$$(9) \quad \hat{\mathbf{x}} = F_3(K, \hat{\mathbf{y}}).$$

Смысл выражения (9) состоит в том, что для каждого s -го элемента вектора состояния проверяется работоспособность всех $j=1\dots n$ конфигураций, в которых он задействован. Если работоспособной признана хотя бы одна конфигурация, в которой задействован данный компонент, т.е. условие $c_{j,s} \leq \hat{y}_j$ выполняется хотя бы для одного $j=1\dots n$, то s -й компонент идентифицируется как исправный. Если все конфигурации, в которых данный компонент задействован, признаны неработоспособными, то компонент идентифицируется как отказавший.

Следует отметить, что как набор конфигураций, так и их компонентный состав могут быть оптимизированы по различным критериям, таким, как загрузка вычислительных и коммуникационных ресурсов РСУ, однозначность трактовки получаемых результатов. В частности, очевидно, что если каждый из компонентов системы будет задействован только в одной конкретной конфигурации и отсутствовать во всех остальных, то его неисправность однозначно выявляется при признании данной конфигурации отказавшей. Если два или более компонента присутствуют только в одной конфигурации (или группе конфигураций) и при этом отсутствуют во всех остальных, то различить их отказы по факту неработоспособности данной конфигурации не представляется возможным.

Литература

1. Захаров Н.А., Клепиков В.И., Подхватилин Д.С. Управление избыточностью сетевых распределенных систем необслуживаемой авионики // Авиакосмическое приборостроение, 2018 № 3. – С. 3-12.
2. Захаров Н.А., Клепиков В.И., Подхватилин Д.С. Синхронно-временной протокол для распределенных систем управления // Автоматизация в промышленности – 2013. - № 2. – С. 37-39.
3. Агеев А.М., Бронников А.М., Буков В.Н., Гамаюнов И.Ф. Супервизорный метод управления технических систем с избыточностью // Известия РАН. Теория и системы управления. 2017. № 3. – С. 72-82.
4. Захаров Н.А., Калинин С.В., Клепиков В.И., Подхватилин Д.С. Алгоритмическое обеспечение отказоустойчивости распределенных систем управления // Радиоэлектронные и компьютерные системы. 2008. - № 7. – С.43-48.
5. Klepikov, V.I., Podkhvatilin, D.S., Dudorov, Y.N. Sharapov G.V., Zakharov N.A. Information-measuring diagnostics complex for technical maintenance Autom Remote Control (2011) 72: 1089. <https://doi.org/10.1134/S0005117911050171>
6. Клепиков В.И. Отказоустойчивость распределенных систем управления. М. «Золотое сечение», 2014 - 392с.