

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

В.И. Клепиков (Концерн "КЭМЗ")

Показано, что повышение отказоустойчивости РСУ может быть обеспечено путем планирования расписания процессов, объединяемых в функциональные сегменты, внутри которых обеспечивается работа механизмов повторного и параллельного выполнения процессов на основе контрольных точек. Предложен методический подход к оценке степени отказоустойчивости распределенных систем управления (РСУ), основанный на вероятностном моделировании систем, имеющих синхронно-временную архитектуру (СВА). Получены числовые соотношения, позволяющие качественно и количественно оценивать отказоустойчивость вариантов построения РСУ на этапе проектирования.

Ключевые слова: распределенная система управления, контрольные точки, планирование расписания, вероятностное моделирование, отказоустойчивость.

Введение

Сетевая распределенная система управления (РСУ) состоит из нескольких контроллеров (сетевых узлов), объединенных в единую систему высокоскоростным последовательным каналом информационного обмена. Реализация прикладных функций в РСУ обеспечивается выполнением вычислительных и управляющих процессов на одном или нескольких узлах сети, обменивающихся между собой по последовательному каналу результатами промежуточных вычислений.

При размещении процессов по узлам сети требуется соблюдать некоторые требования, часто вступающие во взаимное противоречие. Процессы необходимо размещать на узлах, имеющих непосредственную связь с источниками и потребителями информации (датчиками и исполнительными устройствами), но у узла при этом может оказаться недостаточно вычислительных ресурсов для выполнения помещенных на него процессов. Для повышения отказоустойчивости системы ее функции должны быть резервированы (дублированы или троированы), следовательно процессы, участвующие в реализации некоторой функции должны быть размещены на 2...3 независимых узлах (пространственное резервирование) либо должны повторно исполняться на одном узле (временное резервирование). При этом необходимо обеспечить гарантированную и своевременную доставку сообщений от одних процессов к другим, но учитывать при этом последовательный разделяемый характер доступа к коммуникационному каналу и его ограниченную пропускную способность.

В процессе проектирования и отработки РСУ отдельные процессы могут многократно перемещаться разработчиками из одного узла в другой, при этом расписание обмена по коммуникационному каналу может существенно меняться. Это приводит к изменению временных соотношений между моментами ввода данных на одних узлах и моментами вывода данных на других, что в свою очередь может сказываться на качестве работы прикладных алгоритмов управления и регулирования и может приводить к отказным ситуациям. Сходная проблема возникает и при отказе одного из узлов и переключении его процессов на работу в других узлах. Следовательно, дополнительная задача, возникающая при планировании расписания, заклю-

чается в том, чтобы при переходе работы процессов с одних узлов системы на другие сохранялись бы заданные временные соотношения между моментами ввода, обработки и вывода данных.

Другая задача, связанная с размещением процессов по узлам РСУ, заключается в оценке и сравнении различных вариантов размещения заданий по узлам с точки зрения их отказоустойчивости. Традиционные модели надежности, которые составляются на основе функциональных схем для последовательного, параллельного и комбинированного соединения узлов в РСУ, дают достаточно грубые оценки. Это связано с тем, что каждая конкретная функция реализуется несколькими процессами, последовательно во времени работающими на одних и тех же или на различных узлах системы, при составлении логических схем надежности могут одновременно иметь место чередующиеся во времени схемы соединения узлов и коммуникационного канала. Традиционные модели надежности при анализе отказоустойчивости отдельных функций РСУ не позволяют учесть влияния целого ряда факторов, таких как: различие интенсивностей перемежающихся отказов, длительность использования узлов различными процессами, различие времен перезагрузки узлов при восстановлении после отказов и др.

Далее в статье рассматриваются РСУ с синхронно-временной архитектурой (СВА), основанные на применении протокола с доступом по расписанию (TTP – Time Triggered Protocol) [1]. Для таких систем предложен подход к проектированию расписания на основе временных функциональных сегментов. Предложен также подход к оценке отказоустойчивости функций РСУ, основанный на вероятностном моделировании. Получены числовые соотношения, позволяющие качественно и количественно оценивать отказоустойчивость вариантов построения РСУ на этапе проектирования с учетом пространственного и временного резервирования.

Построение расписания РСУ на основе функциональных сегментов

Будем рассматривать ПО сетевой РСУ как направленный процессный граф $G(V, E, M)$, где V – множество вершин графа P_i , соответствующее множеству процессов в системе $P_i \subseteq V$, E – множество дуг графа $e_{ij} \subseteq E$, обозначающее, что выход процесса P_i является

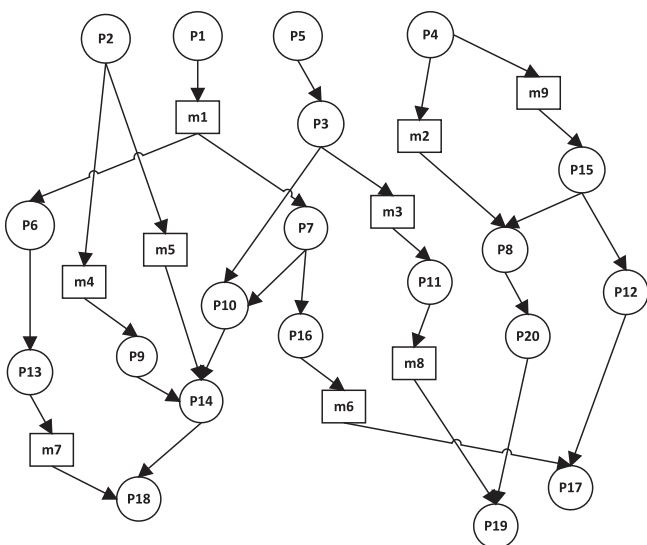


Рис. 1. Процессный граф

входом процесса P_j , M – множество вершин графа $m_{ij} \subseteq M$, соответствующее множеству сообщений, которыми обмениваются процессы. Процессный граф имеет начальные и конечные вершины и не является циклическим (рис. 1). Процессы на графе обозначены кружками, сообщения, передаваемые между процессами, – прямоугольниками. Сообщения пронумерованы для наглядности в порядке возрастания, таким образом, что, например, m_1 соответствует сообщению m_{17} от узла P_1 к узлу P_7 , m_2 соответствует сообщению m_{48} от узла P_4 к узлу P_8 и т.д.

При распределении процессов по узлам сети (рис. 2) будем полагать, что в каждый момент времени на одном узле может выполняться только один процесс. Процессы на различных узлах могут выполняться параллельно во времени. В каждый момент времени только одно сообщение может передаваться по шине. Каждый процесс с целью резервирования может быть статически назначен для выполнения на нескольких узлах сети.

Расписание обмена сообщениями между процессами является детерминированным и определяется статически. Объем передаваемых данных (то есть длина и время передачи сообщения) между всеми взаимодействующими процессами также детерминирован и определен статически. Время обмена данными между процессами, выполняющимися на одном узле, будем считать равным нулю. Задача состоит в том, чтобы из всех возможных альтернатив распределения процессов по узлам сети с учетом их взаимодействия по шине найти оптимальный вариант, обеспечивающий в зависимости от постановки задачи минимизацию того или иного критерия, например, наименьшее время выполнения всех процессов и наименьшую загрузку шины. Проблеме оптимизации расписания централизованных и распределенных систем посвящены, например работы [2, 4].

Общим недостатком рассмотренных подходов к построению расписания работы распределенной сис-

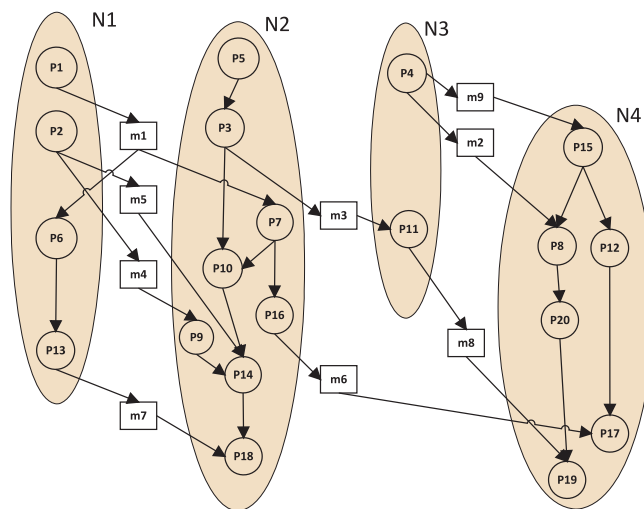


Рис. 2. Размещение процессов по узлам распределенной системы

темы жесткого РВ является отсутствие учета функционального назначения того или иного процесса и игнорирование необходимости общей функциональной синхронизации работы узлов системы. В предложенных подходах планируемые процессы и обмен сообщениями рассматриваются только с точки зрения их приоритетов, периодов и продолжительности выполнения или передачи, а целью реализации расписаний является удовлетворение тех или иных критериев оптимизации. Как правило, критерием оптимизации выступает коэффициент загрузки процессоров и коммуникационных каналов. При подобных подходах внесение изменения в структуру того или иного процесса или изменения в характере обмена сообщениями между теми или иными процессами может приводить к существенным изменениям в расписании работы всей системы, включая перераспределение процессов по узлам. Это в свою очередь будет приводить к изменению временных соотношений общесистемных процессов, включающих параметры аппаратных средств ввода/вывода, функции синхронизации работы измерительных и исполнительных каналов, функции обмена с внешними системами, использующими те же коммуникационные каналы, что и проектируемая система, функции записи и восстановления данных из системного репозитория. Генерация новых расписаний в процессе проектирования и разработки САУ выполняется десятки и сотни раз по мере ее отработки и добавления новой функциональности, поэтому важным аспектом является сохранение в процессе разработки тех положительных моментов, которые уже достигнуты, без необходимости каждый раз верифицировать ранее полученные результаты.

Рассмотренную проблему предлагается решать на основе учета функционального назначения процессов и функциональной синхронизации узлов системы. На примере системы автоматического управления (САУ) газотурбинного двигателя (ГТД) выделим

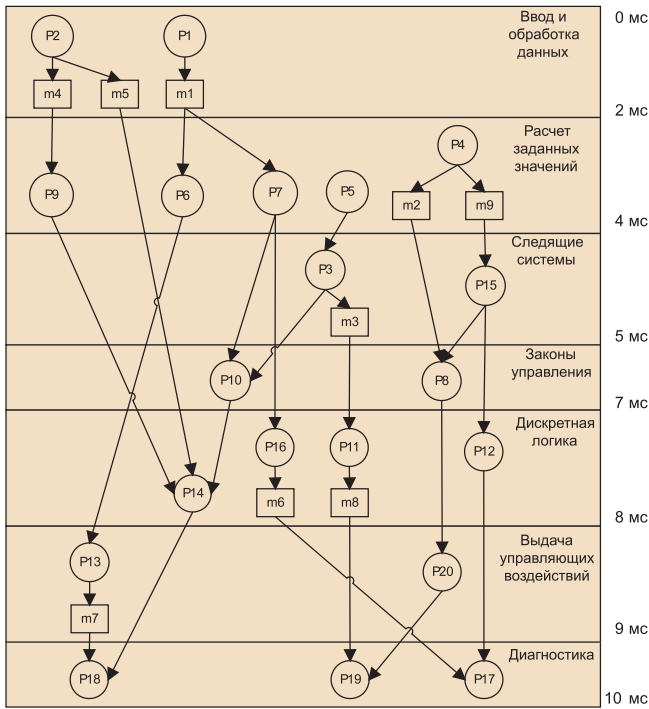


Рис. 3. Разделение цикла управления на функциональные сегменты

основные функции, по которым могут быть сгруппированы процессы.

- Процессы ввода, обработки и вывода данных. Как правило, эти процессы должны выполняться в жесткой привязке к временной сетке и расписанию работы смежных систем, причем желательно выполнить все данные процессы как можно быстрее после начала соответствующего временного интервала. Это необходимо для уменьшения времени задержки измерения, времени дрожания фазы (джиттера) между последовательными замерами, временного разброса между измерениями различных параметров, временного разброса между выводом управляющих сигналов на исполнительные механизмы. Типовой период ввода и обработки составляет 0,2...1 мс.

- Процессы реализации быстрых следящих систем: дозирование топлива, управление механизацией компрессора, управление вектором тяги, управление клином воздухозаборника и т.д. Данные процессы должны выполняться как можно быстрее после ввода данных и с минимальным дрожанием фазы. Типовой период выполнения алгоритмов следящих систем составляет 2...5 мс.

- Процессы расчета законов управления: заданные значения по частотам вращения, ограничения по температурам и давлениям и т.д. Данная группа процессов предъявляет относительно невысокие требования как к длительности периода (10...40 мс), так и к дрожанию фазы выполнения, но являются относительно длительными по времени выполнения.

- Процессы управления дискретной автоматикой системы являются нетребовательными к периоду счета (20...80 мс), не сильно нагружают процессор и мо-

гут запускаться после выполнения всех других функций.

- Процессы диагностики системы управления и объекта являются наиболее трудоемкими, но могут работать с относительно большими периодами счета (40...200 мс).

- Технологические алгоритмы, такие как обмен с наземными средствами контроля, загрузка и настройка параметров системы могут рассматриваться как непериодические процессы, и, как правило, могут работать на фоне основных алгоритмов управления в оставшееся у процессора время. Однако в расписании должен быть предусмотрен определенный временной интервал, гарантирующий получение технологическими алгоритмами процессорного времени.

В соответствии с функциональным назначением процессов разобьем весь цикл работы системы на временные интервалы, в течение которых все узлы выполняют функционально однородные задачи. Такие интервалы будем называть функциональными сегментами. В зависимости от конкретной прикладной системы набор функциональных сегментов может меняться. Пример разбиения цикла управления длительностью 10 мс на функциональные сегменты для процессного графа (рис. 1) представлен на рис. 3.

Концепция функциональных сегментов при планировании расписания может быть совмещена с концепцией вытеснения (или прерывания процессов). Каждый функциональный сегмент имеет собственный фиксированный период исполнения, и функциональный сегмент с меньшим периодом исполнения, но большим приоритетом может вытеснить (прервать) выполнение сегмента с большим периодом исполнения. Если периоды исполнения функциональных сегментов являются кратными, то планирование расписания каждого сегмента с большим периодом исполнения выполняется с учетом того, что в начале сегмента должны быть выполнены все задачи сегментов с меньшими периодами исполнения.

Пространственное и временное резервирование РСУ

Распределенные сетевые системы жесткого РВ (как и их предшественники — централизованные системы) должны сохранять требования к времени выполнения процессов и времени выдачи решений даже в присутствии отказов сетевых узлов. Отказы могут быть постоянными, связанными с выходом из строя микроконтроллера или коммуникационной системы, или перемежающимися — возникающими и пропадающими периодически. По мере роста степени интеграции и надежности микроэлементной базы, перемежающиеся отказы в распределенных системах становятся преобладающими в силу удаленности друг от друга сетевых узлов и влияния на коммуникационные каналы электромагнитных возмущений. Отказы распределенных систем часто имеют характер множественных отказов, то есть вследствие одной причины, например, сбоя коммуникационного интерфей-

са, в состоянии отказа на какое-то время могут перейти два и более процесса системы.

Наряду с аппаратными средствами резервирования узлов и коммуникационных систем, эффективным средством обеспечения отказоустойчивости являются механизмы восстановления системы после отказов. К таким механизмам в первую очередь относятся [2]:

- повторное выполнение процессов на том же узле;
- параллельное выполнение процессов на нескольких узлах;
- контрольные точки.

Контрольные точки могут обеспечивать временное и пространственное резервирование. При временном резервировании повторное вычисление процесса выполняется с места сохранения предыдущей контрольной точки, при пространственном резервировании контрольная точка сохраняется от параллельно работающих процессов. Механизм контрольных точек позволяет использовать его при проектировании графа выполнения процессов с учетом параллельного и повторного выполнения процессов. При повторном выполнении реализуется временная избыточность системы, при параллельном выполнении — ее аппаратная избыточность.

Для распределенных систем справедлива [4] модель множественных отказов (рис. 4), в которой при выполнении модуля может произойти k последовательных отказов в одном узле или k параллельных отказов на разных узлах. Продолжительность отказа f обозначает временной интервал с момента появления отказа до момента возврата модуля в режим нормального функционирования.

В рассматриваемом примере процесс P1 может быть реализован на одном (рис. 4, а), трех (рис. 4, б), или двух (рис. 4, в) узлах. Отказ при выполнении процесса в каждом случае происходит дважды ($k=2$). Примем, что время успешного выполнения процесса равно 8 мс, а время восстановления модуля после отказа — 3 мс. Пусть отказы происходят на 5-й и 7-й миллисекундах после начала выполнения процесса. Тогда в первом случае для получения результата работы модуля потребуется 26 мс, во втором — 8 мс, в третьем — 16 мс.

Отметим, что механизм повторного выполнения в системе жесткого РВ часто реализуется косвенным образом путем увеличения частоты (уменьшения периода) выполнения периодически повторяющегося процесса. При этом сбой вычислений процесса на одном или нескольких последовательных циклах счета, пропуск единичного входного значения или пропуск выдачи управляющего воздействия не являются критичными для системы в силу ее структурной и функциональной робастности, поэтому оптимальной системной реакцией на отказы в таких случаях является простое игнорирование отказа на данных циклах счета.

Такой подход, однако, не приемлем для алгоритмов, требующих накопления данных (счетчики вре-

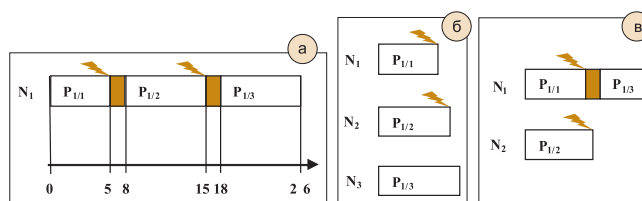


Рис. 4. Повторное (а), параллельное (б) и повторно-параллельное (в) выполнение модулей, $k=2$

мени, счетчики событий, интеграторы данных и т.п.) и выработки решений по результатам накопления (компараторы значений, временные задержки и т.д.).

Проектирование РСУ должно выполняться с учетом работы механизмов восстановления системы после отказов и учета взаимодействия узлов с резервированной БД контрольных точек. Здесь возникает вопрос оценки степени отказоустойчивости различных вариантов распределения процессов по узлам и построения расписания работы РСУ.

Вероятностное моделирование и оценка отказоустойчивости РСУ

Для расчета надежности функции, реализованной в РСУ применимы традиционные модели надежности, которые составляется на основе функциональных схем для последовательного, параллельного и комбинированного соединения узлов. Однако при составлении логических схем надежности для каждой функции системы могут одновременно иметь место чередующиеся во времени схемы и последовательного, и параллельного соединения входящих в нее узлов и элементов (рис. 5).

Соотношения статических схем надежности для различных вариантов соединения узлов распределенной системы позволяют получить лишь общую оценку надежности системы. Данные соотношения при анализе отказоустойчивости отдельных функций не позволяют учесть влияния целого ряда факторов, свойственных распределенному характеру реализации функций в РСУ, таких как:

- различие интенсивностей перемежающихся отказов различных узлов системы в условиях повышенного воздействия внешних факторов;
- длительность использования узлов различными процессами, участвующими в реализации конкретной функции;

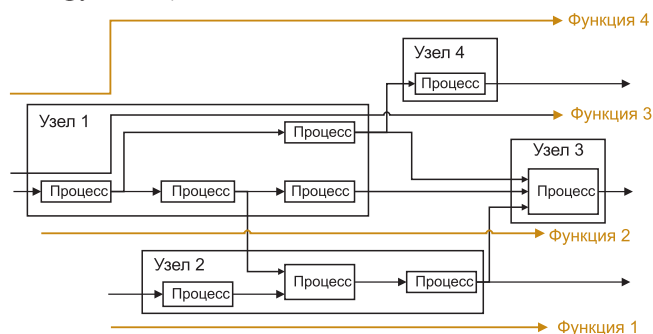


Рис. 5. Пример реализации функций системы на различных узлах распределенной САУ

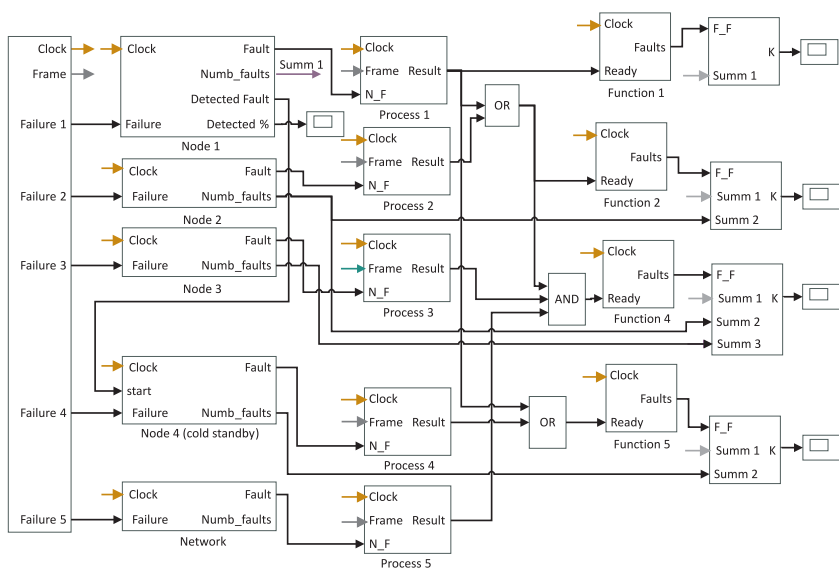


Рис. 6. Схема статистического моделирования надежности распределенной САУ

- надежность информационного взаимодействия процессов по каналам обмена;
- различие времени перезагрузки узлов при восстановлении после перемежающегося отказа;
- различие допустимого времени отсутствия результатов функций при признании их отказавшими;
- возможность применения различных схем горячего и холодного резервирования с учетом времени старта и рестарта узлов.

Для учета реальных потоков событий, возникающих по причинам отказов и восстановлений элементов систем, используются модели на основе цепей Маркова, стохастических сетей Петри [4], вероятностные информационные модели, деревья отказов, сетевые методы с использованием теории графов, статистическое моделирование, логико-вероятностные и др. [5].

Статистическое моделирование позволяет оперативно на этапе проектирования системы провести сравнительный анализ структурных решений САУ, выполнить обоснование выбора оптимальных вариантов по критерию отказоустойчивости с учетом реальных характеристик работы отдельных узлов, коммуникационных каналов и системы в целом.

Рассмотрим подход к исследованию отказоустойчивости распределенных систем, основанный на их статистическом моделировании в среде Matlab/Simulink/Stateflow. В рассматриваемом подходе используются (рис. 6) модели четырех типов: узлов, коммуникационных каналов, процессов и функций.

В приведенном примере функция 1 реализуется одним процессом (Process) 1, который выполняется на одном узле (Node) 1. Функция 2 реализуется параллельно двумя одинаковыми процессами 1 и 2, исполняемыми на двух разных узлах (Node 1, Node 2), результат считается положительным, если выполняется хотя бы один из процессов, то есть их выходы

объединены логическим ИЛИ, что соответствует, например, параллельной работе процессов на дублированные обмотки исполнительных устройств.

Функция 4 также реализуется процессами 1 и 2, исполняемыми на узлах 1 и 2, но выбор одного из двух решений производится процессом 3, исполняемом на узле 3. Обмен данными между узлами 1, 2 и 3 выполняется процессом 5, который реализуется на модели сети Network.

Функция 5 реализуется процессами 1 или 4, исполняемыми соответственно на узлах 1 и 4, однако узел 4 и, соответственно, процесс 4 находятся в холодном резерве и включаются в работу только при обнаружении отказа в узле 1 (сигнал Detected_Fault).

Модель узла имеет два логических состояния – нормальной работы и перезагрузки. Модель узла через временной интервал Clock анализирует состояние сигнала Failure, и при его наличии переходит в состояние перезагрузки на время, определяемое индивидуальной для узла константой. При этом вырабатывается сигнал отказа узла Fault и подсчитывается общее число отказов Numb_faults за время моделирования.

Модель сигнала задается случайным процессом с постоянной интенсивностью отказов.

Модель процесса содержит три состояния: ожидания временного окна, в котором процесс должен быть запущен, ожидания времени начала своей работы внутри окна в соответствии с расписанием работы узла и выполнения. Если отказ узла происходит до момента старта процесса или во время выполнения процесса, то сигнал успешного завершения процесса (Result) не вырабатывается.

В модели функции определяется требуемый период ее выполнения. Если в течение заданного периода времени от модели процесса не поступает сигнал его готовности (Ready), то модель функции фиксирует свой отказ и увеличивает счетчик отказов (Faults).

В качестве одной из результирующих оценок работы статистической модели введем коэффициент робастности (или отказоустойчивости) функции:

$$K_{rob} = 1 - \frac{N_{ff}}{N_{\Sigma}}$$

где N_{ff} – число отказов узлов данной функции за время моделирования; N_{Σ} – общее число отказов узлов, на которых выполнялись процессы, реализующие данную функцию.

Для каждой конкретной системы рассмотрим величину коэффициента робастности функции в зависимости от следующих основных параметров системы:

- t_f – длительность фрейма (такта квантования) системы;

- t_p – длительность процесса, реализующего функцию;
- t_{ff} – задержка в выполнении функции, приводящая к признанию ее отказавшей;
- t_r – длительность рестарта узла после отказа.

Введем относительные параметры, характеризующие соотношения между приведенными основными параметрами:

- $K_{proc} = \frac{t_p}{t_f}$ – коэффициент длительности процесса по отношению к длительности фрейма, в котором он выполняется;
- $K_{rf} = \frac{t_r}{t_{ff}}$ – коэффициент длительности рестарта узла по отношению к длительности критической задержки (задержке выполнении функции, приводящей к признанию ее отказавшей);
- $K_{ff} = \frac{t_{ff}}{t_f}$ – коэффициент временной устойчивости функции, равный отношению длительности критической задержки к длительности фрейма.

Результаты численных экспериментов для различных соотношений основных параметров t_p , t_r , t_{ff} и t_f показывают, что наибольшее влияние на коэффициент робастности функции оказывает коэффициент временной устойчивости K_{ff} , то есть отказоустойчивость функции тем выше, чем большее число тактов управления она может быть не реализована без последствий для объекта управления. Или, другими словами, чем выше период выполнения функции, тем она надежнее. При четырехкратном превышении частоты счета функции по сравнению с ее критическим для отказа временем, коэффициент робастности практически не зависит от других системных параметров.

Влияние коэффициентов длительности рестарта узла K_{rf} и длительности процесса K_{proc} приблизительно одинаково, при их значениях $< 0,5$ наблюдает-

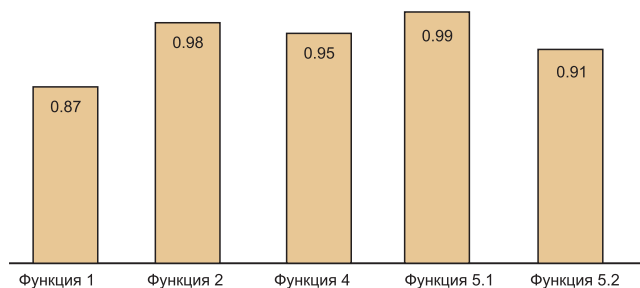


Рис. 7. Значения показателей отказоустойчивости для различных схем резервирования

ся резкое снижение отказоустойчивости функций при любых значениях других системных параметров.

Таким образом, результаты статистического моделирования показывают, что для обеспечения отказоустойчивости распределенных САУ при проектировании системы необходимо обеспечить следующие значения относительных параметров системы:

$$K_{ff} > 3, K_{proc} < 0,5, K_{rf} < 0,5.$$

Предлагаемая методика статистического моделирования позволяет оценить и провести сравнительный анализ различных схем резервирования узлов РСУ. В рассматриваемой модели (рис. 6) узел 1 содержит вероятностную модель обнаружения собственных отказов. Кроме выхода Fault модель, соответствующая фактическому состоянию отказа, содержит выход Detected Fault, значение которого с заданной вероятностью соответствует сигналу Fault. Такая модель правомерна, когда отказ узла проявляется в выходе параметров датчиков или исполнительных устройств за допустимые пределы, что приводит к некорректному выполнению функций управления, и в то же время не обнаруживается встроенными средствами самоконтроля.

Узел 4 работает в холодном резерве, то есть он включается в работу (в режим рестарта) только при поступле-

Оборудование Schneider Electric применено

в микропроцессорных системах автоматизации нефтеперекачивающих станций проекта ВСТО-2

Компания Schneider Electric – один из мировых лидеров в области управления электроэнергией – выполняет поставку оборудования для применения на объектах ОАО "АК "Транснефть" в рамках реализации проекта строительства трубопроводной системы "Восточная Сибирь – Тихий океан" (ВСТО-2). В рамках проекта предусмотрена поставка оборудования для автоматизации восьми нефтеперекачивающих станций (НПС) ВСТО-2. По состоянию на сентябрь 2011 г. успешно завершены заводские приемосдаточные испытания пяти из восьми микропроцессорных систем автоматизации НПС, оборудование отгружено на объект строительства.

Согласование на поставку оборудования Schneider Electric для ВСТО-2 было получено от ОАО "АК "Транснефть" в декабре 2010 г. Все микропроцессорные системы автоматизации (МПСА) НПС ВСТО-2 построены на базе ПЛК Schneider Electric. МПСА НПС представляет собой распределенную структуру с центральным резервированным процессором, обеспечивающим централизованный сбор данных от распределенных устройств связи с объектом (УСО), а также обработку и централизованное выполнение алгоритмов контроля и управ-

ления всем оборудованием НПС. МПСА обеспечивает контроль и управление ТП, основным и вспомогательным оборудованием как непосредственно из операторной НПС, так и дистанционно, из диспетчерских пунктов "Белогорск", "Дальнереченск" и "Хабаровск". Центральный контроллер и все УСО объединены в резервированную оптоволоконную сеть Ethernet. Кроме того, МПСА НПС обеспечивает дистанционный контроль и управление (в аварийных ситуациях) оборудованием систем телемеханики линейной части ВСТО-2, находящимся в зоне ответственности НПС. МПСА НПС предназначены для обеспечения бесперебойной работы оборудования НПС с точки зрения как автоматизации, так и надежного электрообеспечения.

Поставку готовой АСУТП НПС, укомплектованной оборудованием Schneider Electric, на НПС ВСТО-2 осуществляет партнер компании Schneider Electric – системный интегратор ООО "Синтек" (г. Нижний Новгород, www.sintek-nn.ru). Все изготовленные МПСА НПС проходят обязательные приемосдаточные испытания с участием представителей ОАО "АК "Транснефть".

[Http://www.schneider-electric.ru](http://www.schneider-electric.ru)

нии на него сигнала start, который в свою очередь формируется схемой обнаружения отказов узла 1.

Для моделируемых функций получены (рис. 7) следующие результаты отказоустойчивости:

- функция 1 – один узел, один процесс – 0,87;
- функция 2 – два узла, два одинаковых процесса, работающих по логической схеме ИЛИ – 0,98;
- функция 4 – два узла с выбором решения на третьем узле – 0,95;
- функция 5 – два узла, один в холодном резерве: при 100% обнаружении отказов – 0,99; при 57% обнаружении отказов – 0,91.

Вероятностное моделирование показывает, что по сравнению с базовым вариантом (одна функция, один процесс, один узел, отказоустойчивость – 0,87) дублирование узлов (с функцией выбора решения на одном из дублируемых узлов, функция 2) обеспечивает существенное, до 12% повышение отказоустойчивости (0,98).

При реализации функции выбора решения на третьем узле (функция 4) отказоустойчивость по сравнению с базовым вариантом также повышается на 9%, однако оказывается ниже (0,95), чем при дублировании узлов.

Существенное повышение отказоустойчивости обеспечивается при применении холодного резервирования. При 100% достоверности обнаружения отказа узла 1 отказоустойчивость (функция 5.1) повышается до 99%, даже при относительно низкой (57%)

вероятности обнаружения отказа узла, отказоустойчивость (функция 5.2) также повышается по сравнению с базовым вариантом (91%).

Таким образом, наилучшие показатели повышения отказоустойчивости обеспечивает горячее резервирование узлов и холодное резервирование узлов при условии высокой вероятности обнаружения отказов.

Список литературы

1. *Kopetz H.*, Real-Time Systems-Design Principles for Distributed Embedded Applications, Kluwer Academic Publishers, 1997.
2. *Таненбаум Э., Стеен М.В.* Распределенные системы, принципы и парадигмы. СПб.: Питер. 2003.
3. *Клепиков В.И., Калинин С.В., Захаров Н.А., Подхватилин Д.С.* Алгоритмическое обеспечение отказоустойчивости распределенных систем управления // Радиоэлектронные и компьютерные системы №7, 2008, стр. 43-48, Харьков, ХАИ. // Труды Международной научно-технической конференции "DeSSerT – 2008", 23-26 апреля 2008, Кировоград (Украина).
4. *Izosimov V., Pop P., Eles P., Peng Z.* Design Optimization of Time- and Cost-Constrained Fault-Tolerant Distributed Embedded Systems // Proceedings of the Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition (DATE'05), 2005.
5. *Калашиников А.В., Костенко В.А.* Параллельный алгоритм имитации отжига для построения многопроцессорных расписаний // Известия РАН. Теория и системы управления. 2008. №3.

Клепиков Владимир Иванович – главный конструктор НПП "Дозор" ОАО "Концерн КЭМЗ".

Контактный телефон (495) 640-09-47. E-mail: viklepikov@mail.ru

Саранск будет энергогородом

В г. Саранске реализуется беспрецедентный по своим масштабам проект "ЭнергоГород". В общей сложности около 2 тыс. многоквартирных домов будут подключены к автоматизированной системе коммерческого учета потребления энергоресурсов. Такая система способна автоматически в режиме РВ собирать данные со всех приборов учета как поквартирных, так и общедомовых. Кроме того, автоматика отслеживает и хранит в архиве показатели качества предоставляемых услуг и зафиксированные аварийные ситуации.

Многие российские города заинтересованы в таком контроле за потреблением воды, газа, тепла и электроэнергии, но не в одном даже самом крупном региональном центре пока в подобном проекте не участвует так много квартир, как в г. Саранске. Инициатором внедрения автоматизированной системы выступило руководство столицы Мордовии. В настоящий момент ведется монтаж системы, в то же время уже сейчас в тестовом режиме можно отследить показания общедомовых приборов учета десятков многоэтажек. Полностью АСКУПЭ внедрена пока в доме №19 по ул. Веселовского, и его жильцы уже ощутили на себе происходящие перемены.

В подвальном помещении дома установлен узел учета, он подключен к единому серверу, на который через GSM - адаптер стекается вся информация о полученных жильцами услугах. По системе можно отследить любые параметры, например, подачи тепла, обратки, расход ресурсов. Но чтобы система работала в полную силу, необходимо все квартиры осна-

стить индивидуальными приборами учета газа, воды, электроэнергии и тепла.

В г. Саранске создана центральная диспетчерская "ЭнергоГорода". Это современный центр, оснащенный по последнему слову техники, основными функциями которого на сегодняшний день является мониторинг аварийных ситуаций, качество поставки ресурсов, а также в будущем передача данных в Саранский расчетный центр для начисления платы за коммунальные услуги. При такой системе исключается человеческий фактор – становится меньше ошибок в расчетах и начислениях.

АСКУПЭ усложнит жизнь и нечистых на руку жильцов, система отслеживает сигналы каждого прибора и выдает информацию о том, что счетчик отключен или в квартире установлен "жучок". В этом случае "умелого" хозяина можно привлечь к ответственности.

В каждой управляющей компании установят специальную систему, с помощью которой можно будет получать информацию с единого сервера по каждому дому, который она обслуживает. Доступ к данным по конкретной услуге будут иметь и поставщики в своих диспетчерских пунктах. Подобный обмен информацией в режиме РВ позволит значительно ускорить выезд аварийных бригад на место ЧП и устранить неисправность.

Монтаж системы в г. Саранске планируется завершить в 2012 г. А в будущем, когда система заработает в полную силу, собственники смогут выдвигать свои требования поставщикам, причем это можно будет подтвердить документально.

[Http://113rus.ru/news/29696](http://113rus.ru/news/29696)