

УДК 629.78

doi 10.54708/19926502_2024_2831053

Система определения степени зависимости сетевых характеристик каналов SpaceWire от параметров информационного взаимодействия

А.С. Максютин^а, А.В. Мурыгин^б

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, Россия

Аннотация. Испытания технологии SpaceWire только на соответствие требованиям стандарта не являются достаточными для определения возможности применения технологии как средства обеспечения информационной связи бортовых систем космического аппарата. Должны также соблюдаться требования, предъявляемые к сетевым характеристикам каналов передачи данных. Для решения такой задачи могут применяться специализированные стенды, подобные представленному в статье стенду комплексных испытаний бортовых сетей SpaceWire. Средства данной разработки позволяют вычислять сетевые характеристики каналов передачи данных, однако в случае их несоответствия требуемым уровням необходимо определить возможности их улучшения. Данная задача может решаться различными способами, но наиболее предпочтительным из них является оптимизация режимов работы элементов сети. Для этого может быть применена предложенная в статье система определения степени зависимости сетевых характеристик каналов SpaceWire от параметров информационного взаимодействия. Система, построенная на основе обработки информации, полученной в ходе аппаратно-программного моделирования работы бортовой информационной сети, средствами математической статистики, позволяет определить, насколько сильным является влияние различных параметров информационного взаимодействия на ту или иную сетевую характеристику канала SpaceWire с целью выявления возможности корректировки данных параметров для улучшения характеристик. В рамках статьи приведено полное описание алгоритма работы системы, начинающееся с формирования выборки для проведения моделирования и заканчивающееся вычислением выборочного аналога генерального корреляционного отношения на основе полученных данных. Приведен пример типового применения системы. В заключении представлены планы по дальнейшему развитию разработки.

Ключевые слова: SpaceWire, моделирование, сетевые характеристики, программное обеспечение, математическая статистика, корреляционный анализ, дисперсионный анализ.

^аandreymaksyutin@yandex.ru, ^бavm514@mail.ru

Сетевые характеристики каналов SpaceWire

Для организации информационного взаимодействия на борту космического аппарата применяются различные сетевые технологии, среди которых одной из наиболее широко распространенных в мировой практике является технология SpaceWire [1], применяющаяся совместно со специально разработанными для нее транспортными протоколами, такими как RMAP [2] и СТП-ИСС [3]. При разработке сети SpaceWire определяются требования к сетевым характеристикам каналов передачи данных [4]. Среди данных характеристик выделяются:

1. Задержки передачи данных. Для одного пакета данная характеристика определяется как разность значений времени приема символа конца пакета узлом приемником ($T_{\text{при}}$) и времени передачи первого байта пакета узлом передатчиком ($T_{\text{пер}}$):

$$T_{\text{при}} - T_{\text{пер}}$$

2. Скорость передачи данных. Для одного пакета данная характеристика определяется делением значения длины передаваемого пакета (L) на задержку передачи данных:

$$\frac{L}{T_{\text{при}} - T_{\text{пер}}}$$

Для канала передачи данных характеристики задержки передачи данных и скорости передачи данных определяются путем нахождения их среднеарифметических значений.

3. Вероятность доставки данных:

3.1. Фактическая. Данная характеристика определяется делением значения количества пакетов, которые были отправлены и доставлены ($\Pi_{\text{од}}$), на количество пакетов, которые были только отправлены (Π_0):

$$\frac{\Pi_{\text{од}}}{\Pi_0}$$

3.2. Без искажений. Данная характеристика определяется делением значения количества пакетов, которые были отправлены, доставлены и не исказились ($\Pi_{\text{одн}}$) в ходе передачи, на количество пакетов, которые были только отправлены:

$$\frac{\Pi_{\text{одн}}}{\Pi_0}$$

Средства для определения сетевых характеристик каналов SpaceWire

Существует большое количество программных продуктов, испытательного оборудования, рабочих мест и стендов для проведения испытаний различных аспектов технологии SpaceWire, в том числе позволяющих определять сетевые характеристики каналов. Как правило, данные разработки представляют собой системы моделирования, реализованные в программном или аппаратном виде. Примерами таких систем являются:

1. SpaceWire Modeling of SpaceWire Traffic (MOST) – программный симулятор, основным назначением которого является поддержка проектирования и тестирования бортовых информационных сетей, построенных на основе технологии SpaceWire и SpaceFibre. Проектирование сети в MOST организуется с помощью специального графического редактора, позволяющего размещать 2 типа сетевых элементов – оконечных узлов и маршрутизирующих коммутаторов. Каждый из элементов может быть сконфигурирован по ряду параметров. После сборки сети и задания конфигураций для ее элементов может быть запущен процесс моделирования, в результате которого будут предоставлены сведения о сетевых характеристиках каналов SpaceWire [5].

2. iSAFT Protocol Testing and Validation System (iSAFT-PVS) – аппаратная платформа, предназначенная для моделирования, тестирования и мониторинга бортовых информационных сетей космического аппарата (КА). Особенностью платформы является то, что в зависимости от моделируемой сети она может быть реконфигурирована путем установки различных интерфейсных плат: SpaceWire, MIL-STD-1553B и CAN-bus. iSAFT-PVS предоставляет возможность моделирования работы до 20 оконечных узлов SpaceWire (для построения сети средства iSAFT-PVS дополняются маршрутизирующими коммутаторами). Аналогично MOST после моделирования iSAFT-PVS проводит вычисление сетевых характеристиках каналов SpaceWire [6].

3. SpaceWire Automated NetWork Design and Simulation (SANDS) – система автоматизированного проектирования (САПР) и моделирования сетей SpaceWire. SANDS предоставляет возможность применения 4 обособленных компонентов, каждый из которых направлен на решение конкретной задачи:

- компонент 1, реализующий проектирование отказоустойчивой топологии сети;
- компонент 2, реализующий прокладку маршрутов следования данных в сети;
- компонент 3, реализующий генерацию таблицы расписания транспортного протокола СТП-ИСС для планирования передачи данных;
- компонент 4, реализующий моделирование работы сети с последующим подсчетом сетевых характеристик каналов SpaceWire [7].

4. SpaceWire Sniffer SpaceART – анализатор каналов SpaceWire со специально разработанным языком описания пакетов SpW PDL. Данный инструмент позволяет разработчику осуществлять формирование собственных структур данных, на основании которых впоследствии анализируются пакеты, проходящие по каналу, в котором установлен анализатор. В сочетании со средствами моделирования SpaceWire Sniffer SpaceART позволяет проводить анализ каналов SpaceWire с определением сетевых характеристик для любых структур данных [8].

Каждая из представленных разработок в том или ином виде позволяет получать сведения о сетевых характеристиках каналов SpaceWire для дальнейшего установления их соответствия или несоответствия требуемым уровням. Однако, помимо данной задачи, также часто проводятся исследовательские задачи, направленные на анализ зависимости данных характеристик от различных факторов. Проведение таких работ с помощью рассмотренных средств является сложным и затяжным процессом, заключающимся в запуске оператором нескольких итераций моделирования с различными значениями факторов, неавтоматизированном сборе и анализе полученной информации. В рамках данной статьи к рассмотрению предлагается система, реализующая более эффективный способ решения данной задачи.

Стенд комплексных испытаний бортовых сетей SpaceWire

Аналогом рассмотренных разработок является стенд комплексных испытаний бортовых сетей SpaceWire, функциональные характеристики которого позволяют решать 2 основные задачи:

1. Автономные испытания бортовой аппаратуры на соответствие требованиям стандарта SpaceWire и стандартов / спецификаций транспортных протоколов, таких как RMAP и СТП-ИСС.
2. Испытания бортовой информационной сети, построенной на основе технологии SpaceWire на соответствие требуемым уровням сетевых характеристик.

В основу решения 2 задачи легла концепция, состоящая в применении инструментов аппаратно-программного моделирования для реализации имитации бортовой информационной сети и передачи данных в ней [9]. Пример такой построенной модели сети представлен на Рис. 1.

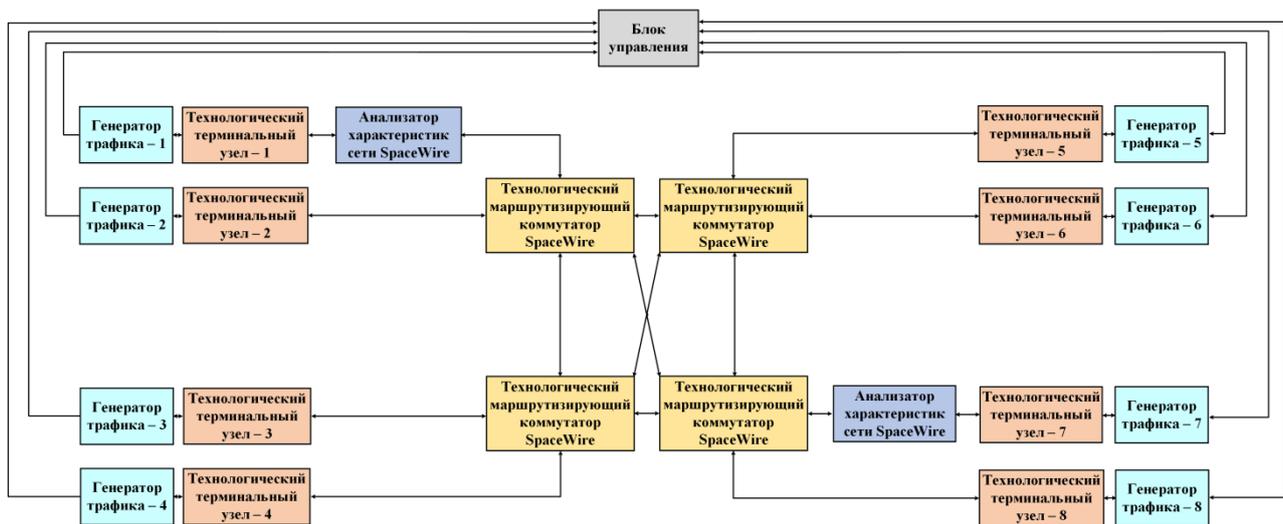


Рисунок 1. Пример построенной при помощи стенда модели бортовой информационной сети.

Данная схема состоит из нескольких типов модулей, за каждым из которых закреплен свой функционал:

1. Блок управления – компьютер, с реализованным на нем специальным программным обеспечением. Блок позволяет осуществлять конфигурацию остальных блоков стенда, управлять процессом испытаний и формировать отчеты по их результатам. С данным блоком непосредственно взаимодействует оператор испытаний.

2. Генераторы трафика – компьютеры с реализованным на них программным обеспечением (в случае малого количества генераторов – программные модули, реализованные в блоке управления). Генераторы предназначены для осуществления приема и отправки информации по SpaceWire через технологические терминальные узлы в соответствии с конфигурациями, полученными от блока управления.

3. Технологические терминальные узлы – интерфейсные мосты. Данные устройства предназначены для обеспечения связи интерфейсов со стороны генераторов трафика и интерфейсов SpaceWire.

4. Технологические маршрутизирующие коммутаторы SpaceWire – коммутационные устройства. Данные устройства предназначены для формирования модели топологии бортовой информационной сети.

5. Анализаторы характеристик сети SpaceWire – сетевые анализаторы. Данные устройства предназначены для установки в разрыв соединения 2 устройств с целью осуществления записи всей проходящей по данному соединению информации.

При работе со стендом его блоки могут быть гибко сконфигурированы. Генераторы трафика настраиваются отдельно по ряду параметров информационного взаимодействия:

1. Используемый транспортный протокол.
2. Используемые механизмы QoS.
3. Объем передаваемых данных.
4. Период отправки данных.
5. Скорость отправки данных.

Технологические маршрутизирующие коммутаторы также имеют ряд настроек, главным образом связанных с таблицей маршрутизации:

1. Обработка пакета в соответствии с признаком удаления байта адреса.
2. Обработка пакета в соответствии с уровнем приоритета байта адреса.
3. Обработка пакета в соответствии с признаком группового вещания байта адреса.
4. Обработка пакета в соответствии с признаком групповой адаптивной маршрутизации байта адреса.

Следующей за реализацией модели бортовой информационной сети является задача вычисления сетевых характеристик, определяемых для каждого отдельного канала (с применением аппарата математической статистики). Решение данной задачи возможно посредством обработки записанных анализаторами данных при помощи средств программного обеспечения, которые были ранее описаны в работе «Разработка программного обеспечения для сетевого анализатора каналов SpaceWire» [10].

По результатам вычислений обозначенные характеристики могут не удовлетворять заданным требованиям, и в этом случае возникает задача по их улучшению.

Система определения степени зависимости сетевых характеристик каналов SpaceWire от параметров информационного взаимодействия

Сетевые характеристики каналов SpaceWire могут быть улучшены различными способами:

1. Увеличение уровня избыточности системы.
2. Оптимизация работы имеющейся системы.

Первый способ малоприменим к бортовым информационным сетям космических аппаратов ввиду того, что он приводит к значительному увеличению стоимости разработки, поскольку, помимо необходимости закупки дополнительного оборудования, само его размещение на космическом аппарате ведет к увеличению массогабаритных характеристик, что также конвертируется в высокие финансовые затраты.

Второй способ, напротив, применяется как основной, поскольку не требует дополнительных вложений средств. Основными параметрами, подлежащими оптимизации для обеспечения улучшения сетевых характеристик канала SpaceWire являются ранее рассмотренные параметры информационного взаимодействия генераторов трафика, расположенных за технологическими терминальными узлами, являющимися границами исследуемого канала. При этом актуальной задачей является определение степени зависимости того или иного параметра на характеристики, поскольку таким образом можно выяснить, какой из них оказывает наибольшее влияние и с какого из них следует начинать проводить оптимизацию.

Для решения этой задачи была разработана система определения степени зависимости сетевых характеристик каналов SpaceWire от параметров информационного взаимодействия (далее – система).

В основе своей работы система обращается к средствам статистической обработки данных, главными из которых являются дисперсионный и корреляционный анализ. Для системы результативными признаками и факторами являются ранее определенные сетевые характеристики канала передачи данных и параметры информационного взаимодействия генераторов трафика и технологических маршрутизирующих коммутаторов соответственно.

Алгоритм работы системы

Алгоритм работы системы является полностью автоматизированным и реализуется при помощи средств программного обеспечения, реализованного на языке программирования Python [11]. От оператора требуется только выдать исходные данные:

1. Выбранный результативный признак.
2. Выбранный фактор.
3. Дискретный вариационный ряд значений выбранного фактора.

В ходе прохождения алгоритма реализуются следующие этапы:

1. Определение объема выборки.

В соответствии с принципами математической статистики информация о генеральной совокупности значений какого-либо результативного признака не может быть получена. Необходимо производить выборку из этих значений, объем которой в общем случае определяется по формуле:

$$n = \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta^2},$$

где Δ – доверительный интервал (предельная ошибка); t – критерий Стьюдента; σ^2 – дисперсия генеральной совокупности.

Доверительный интервал, а также критерий Стьюдента задаются исходя из требуемой вероятности нахождения значения параметра генеральной совокупности в доверительном интервале. Учитывая специфику исследования, критерий Стьюдента выбирался равным 3, что соответствует вероятности, равной 0,997 (правило 3 сигм).

Значение дисперсии генеральной совокупности определяется при помощи метода, заключающегося в проведении пробного исследования с выборкой небольшого объема. Данная дисперсия вычисляется согласно формуле:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \overline{x_{\text{проб}}})^2}{n_{\text{проб}} - 1},$$

где $\overline{x_{\text{проб}}}$ – среднее арифметическое по результатам пробного исследования; $n_{\text{проб}}$ – объем выборки пробного исследования.

Проводится ряд экспериментов, для которых задаются фиксированные объемы выборок из заранее определенного ряда, на основании которых рассчитываются значения дисперсий, среди которых для последующих расчетов выбирается наибольшее [12].

2. Составление вариационных рядов.

Для дальнейшей реализации алгоритма необходима обработка полученных значений результативных признаков с помощью составления интервального вариационного ряда – таблицы, в которой интервалам значений соответствуют частоты их попаданий в этот интервал. Задача по определению числа интервалов и их длин решается применением формулы Стерджеса, которая позволяет определять число интервалов:

$$k = 1 + 3,322 \log n,$$

где n – объем выборки.

Длина интервала вычисляется как частное размаха варьирования и количества интервалов:

$$h = \frac{x_{\text{наиб}} - x_{\text{наим}}}{k},$$

где $x_{\text{наиб}}$ – наибольшее значение величины; $x_{\text{наим}}$ – наименьшее значение величины [13].

3. Заполнение корреляционной таблицы.

После построения вариационных рядов появляется возможность заполнения корреляционной таблицы, которая в дальнейшем позволит выявить наличие или отсутствие зависимости результативного признака и фактора. Корреляционная таблица, заполненная на основе значений полученных вариационных рядов, принимает вид, представленный в Табл. 1 [14].

Таблица 1. Вид корреляционной таблицы.

Фактор X / результативный признак Y	x_1	x_2	x_i	x_v
y_1	m_{11}	m_{12}	m_{1i}	m_{1v}
y_2	m_{21}	m_{22}	m_{2i}	m_{2v}
y_j	m_{j1}	m_{j2}	m_{ji}	m_{jv}
y_q	m_{q1}	m_{q2}	m_{qi}	m_{qv}
Σ	n_1	n_2	n_i	n_v
Групповое среднее	$\bar{Y}^{(1)}$	$\bar{Y}^{(2)}$	$\bar{Y}^{(i)}$	$\bar{Y}^{(v)}$

где y_j – значения результативного признака Y из интервального вариационного ряда; x_i – значения фактора X из дискретного вариационного ряда; q – число групп интервального вариационного ряда результативного признака Y; v – число групп дискретного вариационного ряда фактора X; m_{ji} – частоты попаданий элементов выборки в определенные интервалы результативного признака и фактора; $\bar{Y}^{(i)}$ – групповое среднее, рассчитываемое по формуле:

$$\bar{Y}^{(i)} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} Y_j^{(i)},$$

где $Y_j^{(i)}$ – j -ое значение результативного признака при фиксированном i -ом значении фактора.

Все значения n_i в рамках разработки одинаковы и равны рассчитанному значению объема выборки.

4. Проверка независимости результативного признака от фактора.

Следующим этапом работы системы является проверка независимости результативного признака от фактора. В сущности, данная задача решается путем проверки гипотезы о равенстве генерального корреляционного отношения 0:

$$H_0 : \rho_{y/x} = 0.$$

Проверка данной гипотезы сводится к доказательству равенства условных математических ожиданий величины Y (исходя из свойств генерального корреляционного отношения).

Проверка такой гипотезы может быть произведена при помощи инструмента дисперсионного анализа.

Перед непосредственным проведением дисперсионного анализа должны быть выполнены проверки соблюдения следующих условий:

1. При каждом значении величины фактора наблюдения за значениями величины результативного признака являются независимыми.

2. При каждом значении величины фактора значения величины результативного признака имеют нормальный закон распределения с постоянной генеральной дисперсией.

Выполнение первого пункта обеспечивается путем организации проведения работы. Выполнение второго пункта проверяется с помощью критерия Кохрена, т.к. работа проводится с выборками одинаковых объемов.

В случае выполнения обозначенных условий осуществляется переход к следующему этапу, заключающемуся в расчете ряда параметров, обуславливающих разброс значений результативного признака.

Вариация значений результативного признака может вызываться изменениями значений фактора, а также остаточными факторами. Показателем вариации является выборочная дисперсия $\hat{\sigma}_y^2$, которая является суммой составляющих:

– показатель вариации (выборочная дисперсия) фактора – $\hat{\sigma}_\phi^2$, которая может быть вычислена по формуле:

$$\hat{\sigma}_\phi^2 = \frac{S_\phi^2}{n},$$

где n – общее значение объемов выборок по всем величинам значений факторов; S_ϕ^2 вычисляется по формуле:

$$S_\phi^2 = \sum_{i=1}^v \left(Y_j^{(i)} - \bar{Y}^{(i)} \right)^2 n_i$$

– показатель вариации (выборочная дисперсия) остаточных факторов – $\hat{\sigma}_o^2$, которая может быть вычислена по формуле:

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{S_o^2}{n},$$

где n – общее значение объемов выборок по всем величинам значений факторов; S_o^2 вычисляется по формуле:

$$S_o^2 = \sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^{n_i} \left(Y_j^{(i)} - \bar{Y}^{(i)} \right)^2$$

Итоговая таблица однофакторного дисперсионного анализа принимает вид, представленный в Табл. 2.

Таблица 2. Вид таблицы однофакторного дисперсионного анализа.

Источник вариации результативного признака Y	Показатель вариации	Число степеней свободы	Несмещенная оценка дисперсии
Фактор X	$\hat{\sigma}_\phi^2$	$v - 1$	$S_\phi^2 = \frac{S_\phi^2}{v - n}$
Остаточные факторы	$\hat{\sigma}_o^2$	$n - v$	$S_o^2 = \frac{S_o^2}{n - v}$
Общая вариация	$\hat{\sigma}_y^2 = \hat{\sigma}_\phi^2 + \hat{\sigma}_o^2$	$n - 1$	$S_y^2 = \frac{S_y^2}{n - 1}$

Дальнейшая проверка заключается в применении F-критерия, который может дать оценку однородности дисперсий в двух нормально распределенных выборках:

$$F = \frac{S_{\phi}^2}{S_o^2}.$$

Исходя из найденного числа степеней свободы $\nu - 1$ для величины X и $n - \nu$ для остаточных факторов, а также в соответствии с заданным уровнем значимости α может быть найдена правосторонняя критическая точка $\chi_{\text{пр},\alpha}^{\text{кр}}$ по табличным значениям [15].

Если числовое значение F находится в интервале $(\chi_{\text{пр},\alpha}^{\text{кр}}; +\infty)$, гипотеза о равенстве условных математических ожиданий величины Y отвергается, т.е. в таком случае фактор X влияет на результирующий признак Y – наблюдается корреляционная и стохастическая зависимость.

5. Расчет выборочного аналога генерального корреляционного отношения.

В случае если гипотеза отвергается, подсчитывается значение выборочного аналога генерального корреляционного отношения:

$$\hat{\rho}_{y/x} = \sqrt{\frac{\sigma_{\phi}^2}{\sigma_o^2}}$$

Таким образом, после прохождения всех этапов алгоритма оператору испытаний будет выдана информация о том, влияет ли фактор на результирующий признак или нет, а также в случае наличия влияния будет определена его степень. Далее может быть проведена серия испытаний с другими выбранными факторами и определены степени их влияния на результирующий признак.

Применение системы

Для демонстрации работы системы была собрана модель бортовой информационной сети, состоящей из блока управления, 4 генераторов трафика (программные модули, реализованные в блоке управления), 4 технологических терминальных узлов, 1 технологического маршрутизирующего коммутатора, 2 анализаторов характеристик сети SpaceWire. Схема модели бортовой информационной сети представлена на Рис. 2.



Рисунок 2. Пример построенной при помощи стенда модели бортовой информационной сети для отработки системы.

В качестве основной задачи ставилось определение степени влияния установленного уровня приоритета в таблице маршрутизации технологического маршрутизирующего коммутатора для пакетов, передаваемых по выделенному каналу, на задержки передачи данных. Уровень приоритета задавался меньшим, равным и большим по отношению ко всем остальным передаваемым пакетам. Все прочие параметры информационного взаимодействия задавались постоянными.

Конфигурации генераторов трафика 1–4:

1. Используемый транспортный протокол – СТП-ИСС.
2. Используемые механизмы QoS – негарантированная доставка пакетов.
3. Объем передаваемых данных – 500 байт.
4. Период отправки данных – 25 мс.

5. Скорость отправки данных – 50 Мбит/с.

Конфигурации технологического маршрутизирующего коммутатора:

1. Обработка пакета в соответствии с признаком удаления байта адреса – без удаления.
2. Обработка пакета в соответствии с признаком группового вещания байта адреса – без группового вещания.
3. Обработка пакета в соответствии с признаком групповой адаптивной маршрутизации байта адреса – без групповой адаптивной маршрутизации.

После завершения моделирования работы бортовой информационной сети система в автоматизированном режиме прошла все обозначенные в статье этапы и выявила, как и ожидалось, наличие корреляционной и стохастической зависимости задержки передачи данных от установленного уровня приоритета для пакетов. Значение выборочного аналога генерального корреляционного отношения составило 0,794.

В мировой практике существует множество примеров работ, в которых проводились исследования зависимости сетевых характеристик каналов SpaceWire от различных факторов. Среди таких работ можно выделить следующие:

1. «Model Checking Message Delivery Times in SpaceWire Networks» – в данной работе представлено моделирование работы сети SpaceWire с целью выявления зависимости параметра задержки передачи данных от ряда факторов, таких как количество информационных потоков в сети, размеры пакетов и отправка пакетов подтверждения [16].

2. «Analysis of requirements for modern spacecraft onboard network protocols» – в данной работе проводились исследования зависимости сетевых характеристик каналов SpaceWire от размеров передаваемых пакетов и различных параметров применяемого транспортного протокола СТП-ИСС, таких как тип сообщения (определяет уровень приоритета передачи пакета), требование гарантированной доставки данных [17].

3. «QoS in SpaceFibre and SpaceWire/GigaSpaceWire Protocols» – в данной работе проводились исследования зависимости характеристик задержки передачи пакетов от их размеров и количества маршрутизирующих коммутаторов в сети в условиях применения различных технологий (SpaceWire, GigaSpaceWire, SpaceFibre) [18].

Следует отметить, что в данных работах зависимости определялись путем последовательного запуска нескольких итераций процесса моделирования и фиксирования результатов. Данный алгоритм обладает более низкой степенью автоматизации и требует больших затрат временных ресурсов по сравнению с предложенным в данной статье.

Выводы

Таким образом, разработанная система позволяет оценить степень влияния параметров информационного взаимодействия на ту или иную сетевую характеристику выделенного для анализа канала SpaceWire.

В дальнейших планах по развитию разработки стоит использование инструмента регрессионного анализа для повышения автоматизации работы системы. Такой анализ позволит не только выявить наличие и степень влияния различных факторов на результативные признаки, но и дать информацию об их функциональной зависимости. Наиболее простым примером в данном случае является построение линейной функции регрессии при помощи метода наименьших квадратов [19].

Литература:

1. Шейнин Ю.Е., Солохина Т.В., Петричкович Я.Я. Технология SpaceWire для параллельных систем и бортовых распределительных комплексов // Электроника: наука, технология, бизнес. – Москва, 2007. – № 1. С. 38-49 [J. Sheynin, T. Solokhina, J. Petrichkovitch, SpaceWire technology for parallel systems and on-board distributed systems (in Russian). Electronics: Science, Technology, Business. Moscow, 2007, no. 1, pp. 38-49].

2. Parkes S. SpaceWire RMAP IP core / S. Parkes // International SpaceWire Conference. Saint Petersburg, 2010. pp. 101-108.
3. Дымов Д.В., Оленев В.Л., Лавровская И.Я., Коробков И.Л. Транспортный протокол СТП-ИСС для бортовых сетей спутников дальнего автономного функционирования // Научная сессия ГУАП. – Санкт-Петербург, 2014. – Т. 1, С. 34-39 [D.V. Dymov, V.L. Olenev, I.Ya. Lavrovskaya, I.L. Korobkov, STP-ISS transport protocol for on-board networks of long-range autonomous satellites, (in Russian). Scientific Session of the State University of Aerospace Instrumentation. Saint Petersburg, 2014, Vol. 1, pp. 34-39].
4. Олифер В.Г. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – Санкт-Петербург: Питер, 2010 – 164 с. [V.G. Olifer Computer Networks: Principles, Technologies, Protocols: textbook for universities, (in Russian). Saint Petersburg, “Piter” Publishing House, 2010, 164 p.].
5. Dellandrea B., Jameux D. MOST: Modeling of SpaceWire traffic / B. Dellandrea // International SpaceWire Conference. Gothenburg, 2013. pp. 281-285.
6. Tavoularis A., Vlagkoulis V., Pogkas N., Kollias V., Marinis K. iSAFT-PVS: Recording, Simulation & Traffic Generation at Full Network Load / A. Tavoularis // International SpaceWire Conference. Athens, 2014. pp. 73-79.
7. Olenev V.L., Korobkov I.L., Chumakova N.Y., Sinyov N.I. SANDS tool for design and simulation of onboard networks / V.L. Olenev // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). Saint-Petersburg, 2021. pp. 1-8.
8. Ciardi R., Vagaggini S., Marino A., Davalle D., Benelli G., Fanucci L. Definition, Implementation and Testing of an XML-based Packet Description Language for Traffic Analysis in a SpaceWire Communication / R. Ciardi // International SpaceWire and SpaceFibre Conference. Pisa, 2022. pp. 67-74.
9. Рева И.Л., Иванов А.В., Медведев М.А., Огнев И.А. Сравнительный анализ современных трендов в области моделей трафика сетей передачи данных // Системы анализа и обработки данных. – Новосибирск, 2022. № 2. С. 55-68 [I.L. Reva, A.V. Ivanov, M.A. Medvedev, I.A. Ognev, Comparative analysis of modern trends in the field of traffic models of data transmission networks, (in Russian). Analysis and Data Processing Systems. Novosibirsk, 2022, no. 2, pp. 55-68].
10. А.С. Максютин, Д.С. Казайкин, Д.В. Дымов. Разработка программного обеспечения для сетевого анализатора каналов SpaceWire // Электронные средства и системы управления. – Томск, 2023. – Т. 1. С. 14-17. [A.S. Maksyutin, D.S. Kazajkin, D.V. Dymov. Software development for the SpaceWire network channel analyzer, (in Russian). Electronic Devices and Control Systems. Tomsk, 2023, Vol. 1, pp. 14-17.]
11. Васильев А.Н. Программирование на Python в примерах и задачах / А.Н. Васильев. – Москва: Издательство «Бомбора», 2021. – 127 с. [A.N. Vasil'ev, Python Programming in Examples and Tasks, (in Russian). Moscow, “Bombora” Publishing House, 2021, 127 p.].
12. Половян А.В., Сеницын К.И. Подходы к определению объема выборки при проведении исследований на макроуровне // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. – Донецк, 2022 – Т. 5, С. 142-144 [A.V. Polovyan, K.I. Sinitsyn, Approaches to determining the sample size when conducting research at the macro level, (in Russian). Donetsk Readings 2022: Education, Science, Innovation, Culture and Current Challenges. Donetsk, 2022, Vol. 5, pp. 142-144].
13. Громько Г.Л. Теория статистики / Г.Л. Громько, А.Н. Воробьев, Ю.Н. Иванов. – Москва: Издательство «ИНФРА-М», 2024. – 79 с. [G.L. Gromyko, A.N. Vorobyov, Yu.N. Ivanov, Theory of Statistics, (in Russian). Moscow, “INFRA-M” Publishing House, 2024, 79 p.].
14. Ковалев В.В. Корреляционный и регрессионный анализ / В.В. Ковалев. – Москва: Издательство «Юрайт», 2024. – 15 с. [V.V. Kovalev, Correlation and Regression Analysis, (in Russian). Moscow, “Yurajt” Publishing House, 2024, 15 p.].

15. Лемешко Б.Ю. Критерии проверки отклонения распределения от нормального закона / Б.Ю. Лемешко. – Москва: Издательство «ИНФРА-М», 2023. – 24 с. [B.Yu. Lemeshko, Criteria for Checking the Deviation of the Distribution from the Normal Law, (in Russian). Moscow, “INFRA-M” Publishing House, 2023, 24 p.].
16. Kovalov A., Patil G., Bansal V., Gerndt A. Model Checking Message Delivery Times in SpaceWire Networks / A. Kovalov // MODELS '22: ACM/IEEE 25th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems. Montreal, 2022. pp. 267-275.
17. Olenev V.L. Analysis of requirements for modern spacecraft onboard network protocols / V.L. Olenev // Information and Control Systems. Saint Petersburg, 2021. pp. 8-16.
18. Matveeva N., Sheynin Y., Suvorova E. QoS in SpaceFibre and SpaceWire/GigaSpaceWire Protocols / N. Matveeva // International SpaceWire Conference. Athens, 2014. pp. 145-152.
19. Лоусон Ч. Численное решение задач метода наименьших квадратов / Ч. Лоусон, Р. Хенсон. – Москва: Издательство «Наука», 1986. – 103 с. [C. Lawson, R. Hanson, Solving Least Squares Problems, (in Russian). Moscow, “Nauka” Publishing House, 1986, 103 p.].

Об авторах:

МАКСЮТИН Андрей Сергеевич, аспирант кафедры информационно-управляющих систем СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева; andreymaksyutin@yandex.ru.

МУРЫГИН Александр Владимирович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационно-управляющих систем СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева; avm514@mail.ru.

Metadata:

Title: A system for determining the degree of dependence of the network characteristics of SpaceWire channels on the parameters of information interaction.

Author 1: Andrey Sergeevich Maksyutin, postgraduate student at the Department of Information Management Systems, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology.

Author 2: Aleksandr Vladimirovich Murygin, Dr.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Information Management Systems of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology.

Abstract: Tests of the SpaceWire technology only for compliance with the requirements of the standard are not sufficient to determine the possibility of using the technology as a means of ensuring information communication of onboard spacecraft systems. The requirements for the network characteristics of data transmission channels must also be met. To solve this problem, specialized stands similar to the SpaceWire integrated testing stand presented in the paper can be used. The tools of this development make it possible to calculate the network characteristics of data transmission channels, however, if they do not meet the required levels, it is necessary to determine the possibilities for their improvement. This task can be solved in various ways, but the most preferable of them is to optimize the modes of operation of network elements. To do this, the system proposed in the paper can be used to determine the degree of dependence of the network characteristics of SpaceWire channels on the parameters of information interaction. The system built on the basis of processing information obtained during hardware and software modeling of the on-board information network with mathematical statistics tools allows one to determine how strong the influence of various parameters of information interaction is on a particular network characteristic of the SpaceWire channel in order to identify the possibility of adjusting these parameters to improve performance. The paper provides a complete description of the algorithm of the system starting from the formation of a sample for modeling and ending with the calculation of a sample analogue of the general correlation ratio based on the obtained data. An example of a typical application of the system is given. In conclusion, plans for further improvement of the development are presented.

Keywords: SpaceWire, modeling, network characteristics, software, mathematical statistics, correlation analysis, analysis of variance.