

УДК 681.2.083

Моделирование распределения джиттера тайм-кодов

Трещеткин Александр Юрьевич^{1(*)}

alexander.treschetkin@yandex.ru

Балиж Кирилл Сергеевич¹

balizh@gmail.com

Мариненко Никита Александрович¹

sysjfic@yandex.ru

Шевяков Василий Иванович²

shev@dtd.miee.ru

¹ АО «НИИ «Субмикрон», Зеленоград, Россия² Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Зеленоград, Россия

Аннотация. Представлено исследование распределения вероятностей передачи синхронизирующих пакетов в сетях SpaceWire, приведены результаты моделирования распределения вероятностей синхронизирующих пакетов. Полученные плотности вероятностей: на выходе блока формирователя тайм-кодов — равномерное распределение, после прохождения первого коммутатора — треугольное распределение, после прохождения второго коммутатора — нормальное распределение. Полученные результаты могут быть полезными для инженеров и разработчиков сетей с интерфейсом SpaceWire.

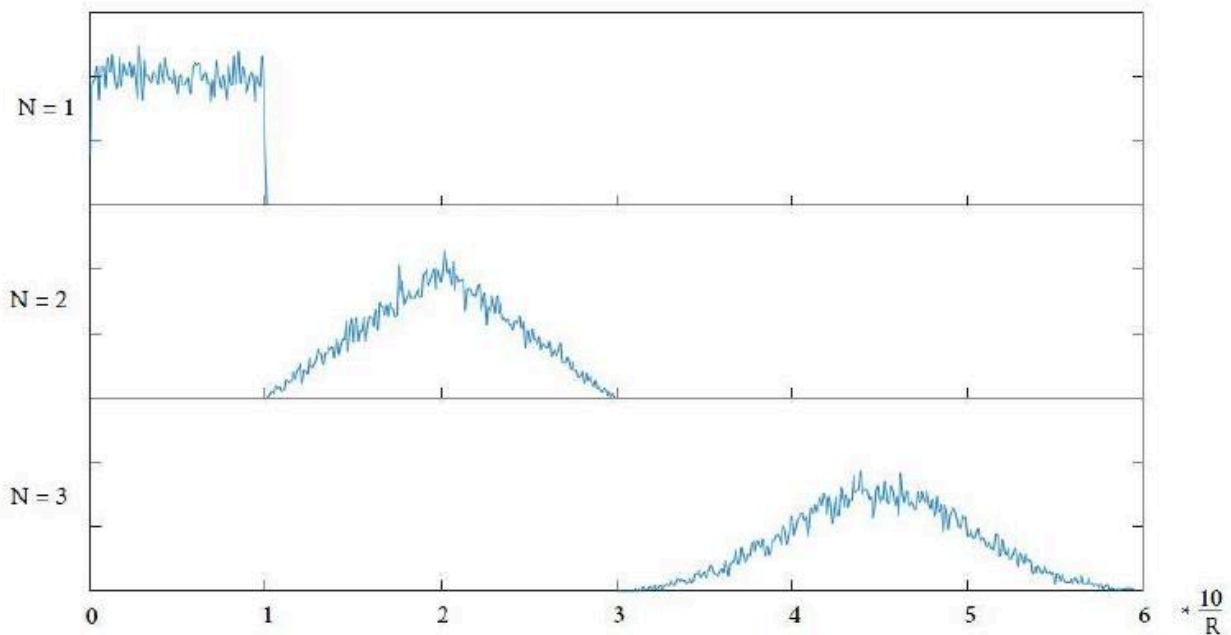
Ключевые слова: тайм-коды, синхронизация по сети, распределение вероятностей, интерфейс SpaceWire, джиттер

Введение. В настоящее время активно используется интерфейс ГОСТ Р 70020–2022 SpaceWire-RUS, специально разработанный для применения в бортовой аппаратуре космических аппаратов. Синхронизация системного времени в SpaceWire осуществляется передачей синхронизирующих тайм-кодов, однако величина рассогласования системного времени после прохождения коммутаторов зависит от количества каналов распространения и от скорости работы каждого канала. Исследования, посвященные передаче информации и методам тестирования в сети SpaceWire [1–3] не освещают особенности синхронизации по сети.

Материалы и методы; результаты. Основные факторы, влияющими на точность синхронизации, являются задержка передачи тайм-кода и джиттер тайм-кода, описанные в ГОСТ. Задержка передачи тайм-кода имеет фиксированное значение, и может быть учтена в программном обеспечении. Джиттер тайм-кодов это хаотическое изменение времени получения синхронизирующего тайм-кода, возникающий вследствие различий во времени передачи текущего символа или управляющего кода перед передачей тайм-кода. В ГОСТ приведена формула расчета джиттера тайм-кода, однако наибольший интерес представляет плотность вероятности джиттера тайм-кодов, позволяющая на программно-аппаратном уровне получить более высокую точность синхронизации системного времени.

Время выдачи тайм-кода зависит от количества битов текущего символа или управляющего кода, находящихся в очереди на отправку перед тайм-

кодом. Поэтому плотность вероятности равномерная. После прохождения первого коммутатора к случайной величине времени выдачи тайм-кода прибавляется случайная величина времени прохождения сигналом коммутатора. Две сложенные случайные величины подчиняются закону Симпсона. Полученные результаты моделирования джиттера тайм-кодов представлены на рисунке.



Распределение вероятностей тайм-кодов

Несложно заметить, что после прохождения второго коммутатора тайм-кодом ($N = 3$) плотность вероятности схожа с нормальным распределением. Данная гипотеза была проверена с помощью критерия согласия Пирсона (χ -квадрат) для уровня значимости $\alpha 0,05$. Стоит отметить, что при увеличении количества выдач оцениваемых тайм-кодов вычисленное наблюдаемое значение критерия χ -квадрат снижается.

Заключение. Распределение вероятностей тайм-кодов при передаче по сети SpaceWire могут быть вычислены формулам равномерного распределения вероятностей, треугольного распределения, нормального распределения. Анализ и прогнозирование возможных отклонений времени получения синхронизирующих пакетов позволяют оптимизировать работу устройств БА КА. Увеличение точности синхронизации в сетях SpaceWire требует дальнейших исследований.

Список источников

- [1] Максютин А.С., Мурыгин А.В., Ивленков Д.В., Дымов Д.В. Разработка рабочего места и алгоритмов тестирования бортового оборудования SpaceWire. *Сибирский аэрокосмический журнал*, 2021, т. 22, № 4, с. 613–623.
<https://doi.org/10.31772/2712-8970-2021-22-4-613-623>
- [2] Солдатов А.И., Ким О.Х., Солдатов А.А., Костина М.А., Нариманова Г.Н. Бесконфликтный, отказоустойчивый и компактный программируемый коммутатор. *Электроника, радиотехника и связь*, 2021, т. 24, № 3, с. 12–17.
<https://doi.org/10.21293/1818-0442-2021-24-3-12-17>
- [3] Максютин А.С., Мурыгин А.В. Анализ информационного взаимодействия в каналах сети SpaceWire. *Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника*, 2023, № 75, с. 16–25.
<https://doi.org/10.15593/2224-9982/2023.75.02>