

УДК 681.2.089

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-475

Кублицкий Станислав Евгеньевич,
магистрант

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ СТАБИЛЬНОСТИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕТЕВЫХ УСТРОЙСТВ

Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, stanleykub@mail.ru

Аннотация. В работе исследуется метод оценки стабильности средства измерения производительности сетевых устройств при измерении пропускной способности объекта тестирования по протоколу UDP. Показано, что значительную роль в измерениях показателя «скорость передачи данных пакетов/с» играет итерирование по размеру кадра и проценту загрузки канала связи. Приведена математическая постановка задачи измерения. Приведены результаты численных экспериментов и выполнен ретроспективный анализ результатов поверки образцового средства измерений.

Ключевые слова: измерение пропускной способности, сетевая задержка, генератор трафика, межпакетный интервал, стабильность средства измерения, поверка, ретроспективный анализ.

Stanislav E. Kublitsky,
Master's Student

ON THE ASSESSING THE STABILITY OF INSTRUMENTS FOR MEASURING THE NETWORK DEVICES PERFORMANCE

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,
stanleykub@mail.ru

Abstract. The paper studies a method for assessing the stability of instruments for measuring the network devices' performance using the UDP protocol. The article shows that

iteration over the frame size and the communication channel load plays a significant role in measuring the packet data transfer rate. We give a mathematical formulation of the measurement problem. The paper presents the results of numerical experiments and a retrospective analysis of the standard measuring instrument verification.

Keywords: throughput measurement, network delay, traffic generator, interpacket interval, stability of the measuring instrument, verification, retrospective analysis.

Введение

Ключевым требованием рынка для методов и средств измерений (СИ) является наличие воспроизводимости результатов измерений, т. е. близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений. Получение несопоставимых результатов на испытаниях по условиям торгов и в лабораторных условиях усложняет процесс продажи сетевого оборудования, а также лишает продукт доверия потенциальных заказчиков. Для выполнения вышеописанного требования необходимо в том числе обеспечить стабильность средства измерения.

Стабильностью средства измерений называют такую его качественную характеристику, которая отражает неизменность во времени его метрологических свойств [1]. В качестве основной количественной оценки обычно используют величину нестабильности средства измерений, под которой понимают изменение метрологических характеристик средства измерений за установленный интервал времени. Ее определяют на основании длительных исследований средства измерений – к примеру на годовом интервале.

Другими используемыми на практике характеристиками стабильности выступают «вариация показаний измерительного прибора» и «инструментальный дрейф». Инструментальный дрейф – это непрерывное или ступенчатое изменение показаний во времени, вызванное изменениями точностных характеристик средства измерений [1]. Вариация показаний средства измерений – это разность его показаний в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к ней со стороны меньших или больших значений измеряемой величины [1].

В метрологической литературе проблема внедрения мониторинга надежности СИ была обозначена уже в 2009 г. [2]. Отмечают, что существует и должна контролироваться также и временная нестабильность средств измерений [3]. При этом статистические методы экспериментального определения результатов нестабильности средств измерений, рассмотренные в работе [4], не учитывают специфику генерации и обработки сетевого трафика [5].

При тестировании сетевого оборудования можно выделить влияние изменчивости в утилизации аппаратных ресурсов объекта тестирования в

ходе повторных измерений. Динамичное развитие технологий в области телекоммуникаций требует быстрого отклика в соответствующем развитии метрологических технологий и средств метрологического сопровождения. Длительные исследования СИ создают дополнительные коммерческие риски для производителей сетевого оборудования. Для аппаратной части сетевого оборудования зачастую срок эксплуатации находится в интервале от 4 до 10 лет. В качестве срока службы средства измерения приемлемо время гарантийного обслуживания, которое составит примерно 5 лет или 43800 часов. Средство измерения работает не на протяжении всех 24 часов в сутки, поэтому следует учесть расход ресурса при проведении тестирования и через каждые 4380 часов работы выполнять поверку средства измерения за исключением случаев, когда явно проявляется сбой в работе в виде отказа в обслуживании. В среднем, на одно средство измерения производительности сетевых устройств будет приходиться порядка 10 поверок на срок его службы.

Постановка задачи

Для контроля за деградацией точности измерений необходимо ввести соответствующую измерительную сетку (пример на рис. 1), т. е. область, в каждом узле которой необходимо выполнить N измерений. Рисунок составлен для следующих размеров кадров, байт: 64, 128, 256, 512, 1024, 1518. Загрузка канала передачи данных, %, принималась следующей: 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100.

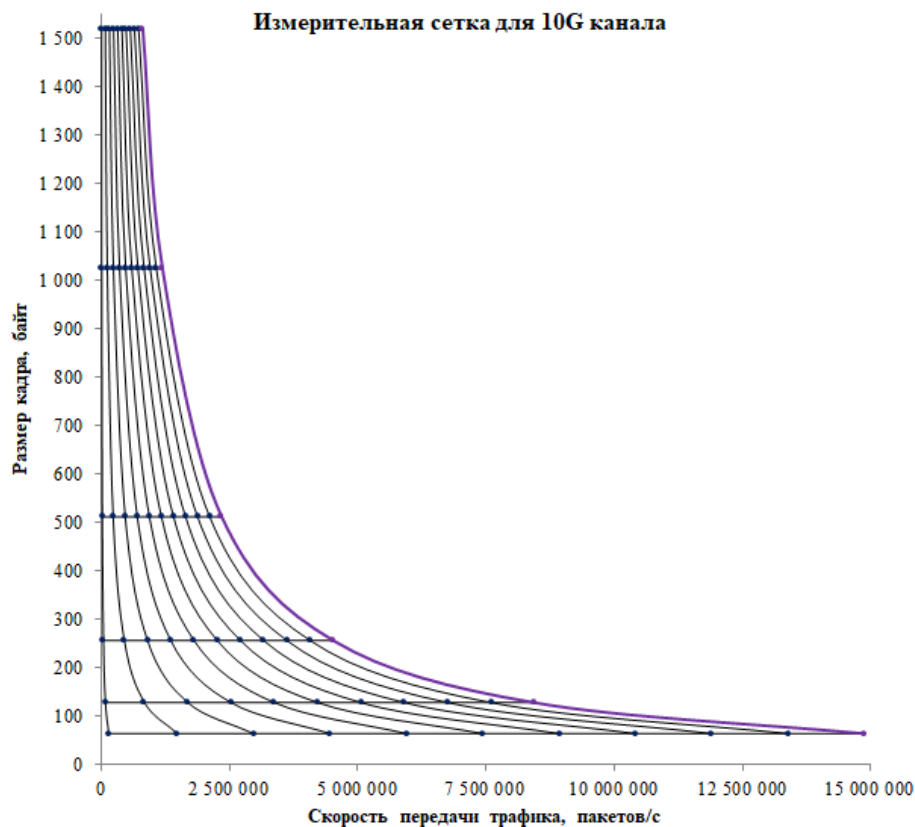


Рис. 1. Измерительная сетка для канала 10G

Для каждого узла измерительной сетки в рамках одного теста необходимо получить N результатов измерений для последующей оценки стабильности средства измерения. Для проверки стабильности средства измерений необходимо провести 126 тестов для каждого типа сетевых интерфейсов. Сокращение количества тестов возможно за счет тестирования граничных случаев: пусть выполняется тест для предельной скорости передачи данных и, если его результаты не показывают отклонений от предыдущих проверок, допускается не выполнять тестирование на меньших скоростях для данного размера кадра.

Для обеспечения достоверности принимаемого решения о соответствии технического параметра установленному для него пределу абсолютной погрешности Δ в условиях преимущественно случайной погрешности при количестве N выполненных повторных измерений необходимо выполнение следующего условия [6]:

$$\frac{s}{\sqrt{\chi_{1-Q}^2(N-1)}} \cdot \frac{\sqrt{N-1}}{\sqrt{N}} < \frac{\Delta}{N_{\frac{1+P}{2}}(0,1)}, \quad (1)$$

где $s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$ – оценка дисперсии, определенная по результатам выполненных повторных измерений $x_1, x_2, \dots, x_N$; $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ – выборочное среднее, определенное по результатам выполненных повторных измерений; $N_{\frac{1+P}{2}}(0,1) - \frac{1+P}{2} \cdot 100\%$ -ая квантиль стандартного нормального закона (с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией); $P = 0,95$ – уровень доверительной вероятности, для которого определен предел допускаемой погрешности Δ ; важно отметить, что вместо коэффициента $N_{\frac{1+P}{2}}(0,1)$ в представленном выше неравенстве может быть использован коэффициент охвата, если предел Δ представляет собой расширенную неопределенность результата; $\chi_{1-Q}^2(N-1) - (1-Q) \cdot 100\%$ -ая квантиль распределения «хи-квадрат» (Пирсона) с числом степеней свободы, равным $(N-1)$; $Q = 0,95$ – заданная доверительная вероятность для принимаемого решения об успешности прохождения поверки.

Если неравенство (1) выполняется, то это означает, что решение о соответствии технического параметра установленному для него пределу принято с вероятностью ошибки первого рода, меньшей, чем $(1-Q)$.

Результаты выполненных экспериментов

Были проведены численные расчеты. Для анализа были взяты 24 выборки по 10 результатов соответствующих измерений. Такое их количество связано с общими затратами на проведение поверки. В расчетах взята относительная погрешность, т. к. для каждого размера кадра значения абсолютной погрешности существенно различаются.

На рис. 2 представлены динамика изменения среднеквадратического отклонения (СКО) во времени и соответствующая ему доверительная область (закрашена темно-серым цветом). Красным цветом проведена стандартная регрессионная кривая (полином 3 степени). Видно, что степень ее колебательности ниже, чем разброс в результатах измерений. Т. к. через доверительную область можно провести горизонтальную прямую, то нет оснований считать, что СКО значительно изменялось от поверки к поверке [6]. Ретроспективный анализ показал, что за все 24 поверки при отсутствии существенных отклонений не наблюдается выбросов и растущего тренда в значениях СКО, однако видны флуктуации в диапазоне до 0,4 %.

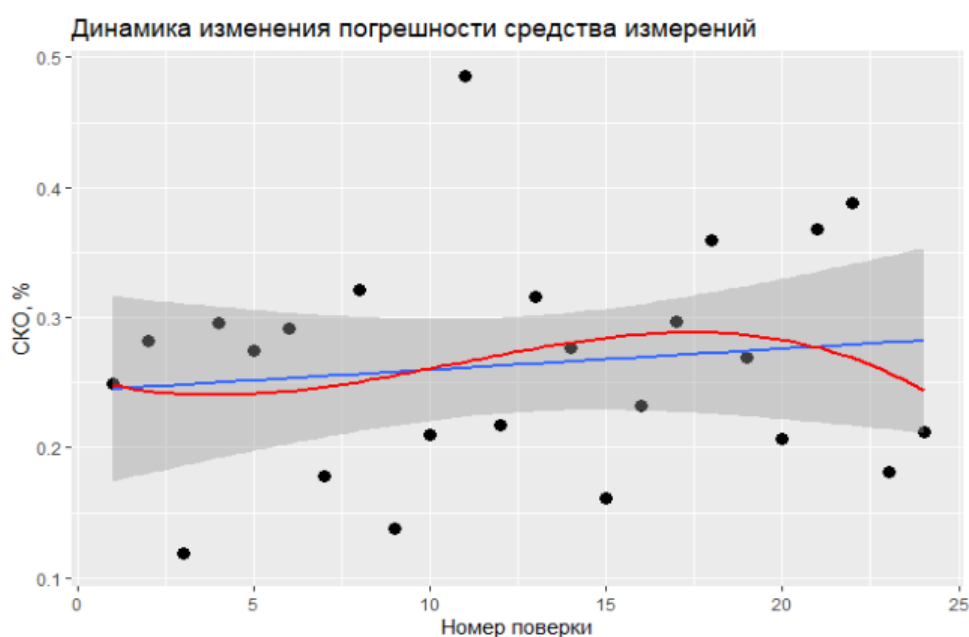


Рис. 2. Визуализация значений СКО результатов измерений при стабильно работающем средстве измерений производительности сетевых устройств

На рис. 3 представлены результаты расчетов для случая, когда на последней поверке было зарегистрировано аномальное значение СКО.

Видим, что стандартная регрессионная кривая выходит за границы доверительной области, но вместе с тем, внутри ее пределов всё ещё можно провести горизонтальную прямую. Это указывает, что по-прежнему оснований считать, что значение СКО растёт от поверки к поверке нет. Такой подход может выступать средством определения значимости статистических выбросов и соответствует идеологии решения данной задачи, предложенной Семеновым К. К. в работах [7, 8].

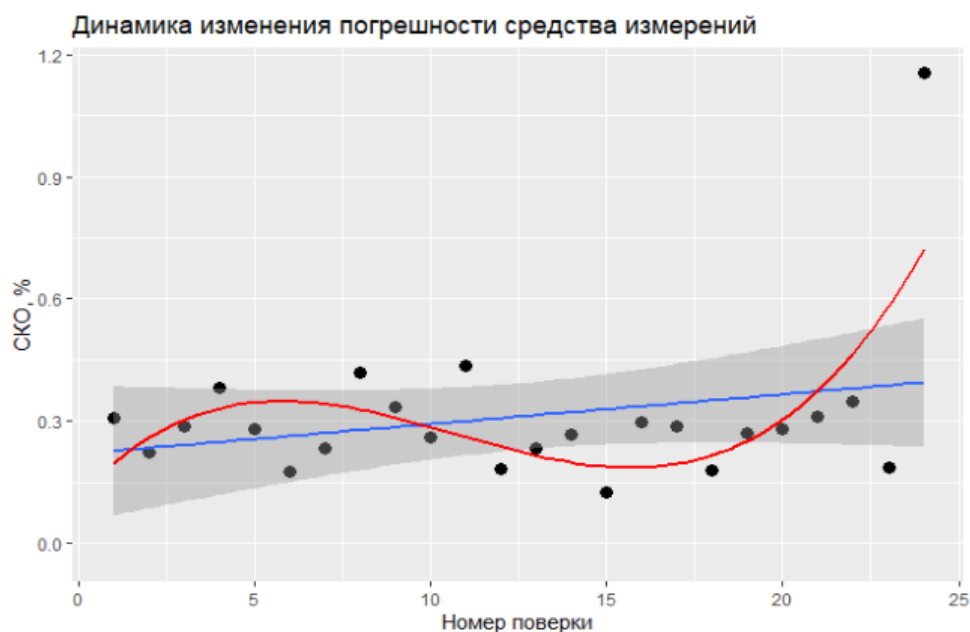


Рис. 3. Влияние однократного нестабильного результата на тренд изменений СКО, результатов поверки средства измерений производительности сетевых устройств

Была также смоделирована ситуация, когда на протяжении 5 периодических поверок была зарегистрирована деградация точностных характеристик. Полученный график представлен на рис. 4 и наглядно иллюстрирует динамику роста погрешности.

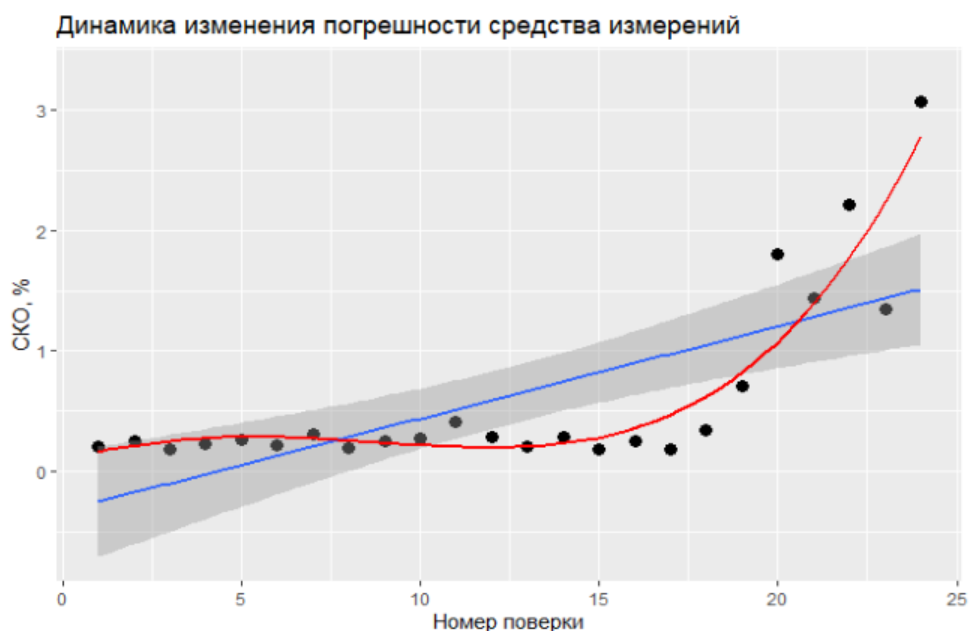


Рис. 4. Влияние серии нестабильных результатов на тренд СКО результатов поверки средства измерений производительности сетевых устройств

Видим, что в данном случае нет оснований полагать, что СКО результатов поверки средств измерения производительности сетевых устройств неизменно во времени.

Заключение

По итогам выполненных исследований метод оценки стабильности средства измерения складывается из следующих этапов:

- 1) выполнение не менее 10 измерений для каждого узла измерительной сетки из заданных размеров кадра и степени загрузки канала передачи сетевого трафика;
- 2) формирование диапазона измеряемой величины, где необходимо соблюдения требований к заданной погрешности;
- 3) оценка соответствия технического параметра установленному для него пределу абсолютной или относительной погрешности;
- 4) визуализация динамики метрологических характеристик средств измерений с использованием данных об его предыдущих поверках.

Благодарности

Автор благодарит Семенова Константина Константиновича, доцента Высшей школы компьютерных технологий и информационных систем Санкт-Петербургского политехнического университета за полезные обсуждения и ценные рекомендации при выполнении работы.

Список литературы

1. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения // Рекомендации по межгосударственной стандартизации № 29-2013. Дата введения 01.01.2015.
2. Бержинская М. В., Данилов А. А. Теоретические основы экспериментального определения погрешности от временной нестабильности средств измерений // Измерительная техника. – 2009. – № 3. – С. 11–12.
3. Спутнова Д. В. Об оценке значимости дрейфа систематической составляющей и целесообразности внесения поправки в показания средств измерений // Законодательная и прикладная метрология. – 2018. – № 6. – С. 32–34.
4. Бержинская М. В., Данилов А. А. Анализ статистических методов экспериментального определения нестабильности средств измерений // Законодательная и прикладная метрология. – 2008. – №4. – С. 2–5.
5. Molnar S., Megyesi P., Szabo G. How to validate traffic generators? // In: Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC). – 2013. – Pp. 1340–1344. – DOI:10.1109/ICCW.2013.6649445.
6. Семенов К. К. Лекции по обработке неточных данных. – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Институт компьютерных наук и технологий, 2023.
7. Semenova A. S., Semenov K. K., Storchevoy M. A. One, two, three: how many green patents start bringing financial benefits for small, medium and large firms? // *Economies*. – 2023. – Vol. 11(5). – Paper 137. – DOI:10.3390/economies11050137.
8. Semenova A. S., Semenov K. K., Storchevoy M. A. Green patents or growth? European and the USA firms' size dynamics and environmental innovations financial gains // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16(15). – Paper 6438. – DOI:10.3390/su16156438.