

IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)

Показатели вариаций задержки пакетов для IPPM

Статус документа

В этом документе содержится спецификация стандарта для протокола, предложенного сообществу Internet. Документ служит приглашением к дискуссии в целях развития и совершенствования протокола. Текущее состояние стандартизации протокола вы можете узнать из документа Internet Official Protocol Standards (STD 1). Документ может распространяться без ограничений.

Авторские права

Copyright (C) The IETF Society (2002). Все права защищены.

Аннотация

Документ относится к показателю вариации задержки пакетов на путях через Internet. Метрика основана на разнице односторонней задержки (One-Way-Delay) выбранных пакетов. Разницу в задержке называют вариацией задержки пакетов IP (IP Packet Delay Variation или ipdv).

Это показатель подходит для измерений между парой хостов, независимо от синхронизации их часов. В документе рассмотрены случаи наличия и отсутствия такой синхронизации.

Оглавление

1. Введение.....	2
1.1. Терминология.....	2
1.2. Определение.....	2
1.3. Мотивация.....	2
1.4. Вопросы, связанные со временем.....	2
2. Определение одиночного показателя One-way-ipdv.....	3
2.1. Имя показателя.....	3
2.2. Параметры показателя.....	3
2.3. Единица измерения.....	3
2.4. Определение.....	3
2.5. Обсуждение.....	3
2.6. Методика.....	4
2.7. Ошибки и погрешности.....	5
2.7.1. Ошибки и погрешности, связанные с часами.....	5
2.7.2. Время в линии и время хоста - ошибки и погрешности.....	5
3. Определения для выборки One-way-ipdv.....	5
3.1. Имя показателя.....	5
3.2. Параметры показателя.....	5
3.3. Единицы измерения.....	5
3.4. Определение.....	6
3.5. Обсуждение.....	6
3.6. Методика.....	6
3.7. Ошибки и погрешности.....	6
4. Статистика для One-way-ipdv.....	6
4.1. Потеря пакетов и статистика ipdv.....	6
4.2. Определение значений One-way-ipdv.....	6
4.3. Type-P-One-way-ipdv-percentile.....	7
4.4. Type-P-One-way-ipdv-inverse-percentile.....	7
4.5. Type-P-One-way-ipdv-jitter.....	7
4.6. Type-P-One-way-peak-to-peak-ipdv.....	7
5. Обсуждение синхронизации часов.....	7
5.1. Влияние ошибок синхронизации.....	7
5.2. Оценка перекоса несинхронизированных часов.....	7
6. Вопросы безопасности.....	8
6.1. Отказ в обслуживании.....	8
6.2. Приватность и конфиденциальность.....	8
6.3. Целостность.....	8
7. Благодарности.....	8
8. Литература.....	8
8.1. Нормативные документы.....	8
8.2. Дополнительная литература.....	8
9. Адреса авторов.....	8
10. Полное заявление авторских прав.....	8

1. Введение

Документ определяет показатель вариаций задержки для пакетов, проходящих от одного хоста к другому по пути IP. Показатель основан на «A One-Way-Delay metric for IPPM», RFC 2679 [2] и часть текста этого документа напрямую заимствована оттуда. Предполагается знакомство читателя с упомянутым документом.

Ключевые слова **необходимо** (MUST), **недопустимо** (MUST NOT), **требуется** (REQUIRED), **нужно** (SHALL), **не нужно** (SHALL NOT), **следует** (SHOULD), **не следует** (SHOULD NOT), **рекомендуется** (RECOMMENDED), **возможно** (MAY), **необязательно** (OPTIONAL) в данном документе должны интерпретироваться в соответствии с BCP 14, RFC 2119 [3]. Хотя BCP 14, RFC 2119 был написан для протоколов, ключевые слова в этом документе используются так же. Они служат для обеспечения сопоставимости результатов измерений двух разных реализаций и выявления случаев, когда реализация может нарушать работу сети.

Ниже описана структура этого документа.

- Определён показатель Type-P-One-way-ipdv для одиночного (singleton) измерения ipdv.
- На основе Type-P-One-way-ipdv определена выборка (sample) Type-P-one-way-ipdv-Poisson-stream для обеспечения возможности сбора и расчёта статистики измерений ipdv.
- На основе выборки определены и рассмотрены несколько параметров статистики.

1.1. Терминология

Вариации задержки пакетов иногда называют «дрожью» (jitter), однако это может вызывать путаницу, поскольку данный термин имеет несколько значений. В одном из значений термин jitter применяют для вариаций сигнала относительно синхронизирующего сигнала, когда ожидается, что сигнал прибывает одновременно с сигналом синхронизации. Это значение применяется к синхронным сигналам и может служить, например, для измерения качества эмуляции устройства. В этом контексте также применяется термин wander - блуждание.

Второе значение связано с изменением показателя (например, задержки) относительно некоего эталона (например, средней или минимальной задержки). Это значение часто (но не всегда) применяют ученые-компьютерщики для обозначения вариаций задержки.

В этом документе по возможности термин jitter не применяется и вместо него говорится о вариациях задержки.

1.2. Определение

Определение вариаций задержки пакетов (IP Packet Delay Variation или ipdv) можно дать для пакетов из потока.

Значение ipdv для пары пакетов из потока определяется для выбранной пары в потоке из точки измерений MP1 в точку измерений MP2.

Значением ipdv является разность между задержками в одном направлении для выбранных пакетов.

1.3. Мотивация

Одним из важных применений вариаций задержки является определение размера буферов для приложений, которым нужна регулярная доставка пакетов (например, воспроизведение голоса или видео). В таких случаях обычно важно знать максимальную вариацию задержки, которая определяет размер буфера воспроизведения в таких приложениях [7]. Другим применением вариаций задержки является, например, определение динамики очередей в сети (или маршрутизаторе), где изменение вариаций может быть связано с изменениями размера очереди на данном канале или комбинации каналов.

Кроме того, этот тип показателя особенно устойчив к различиям и вариациям часов на паре хостов. Это позволяет использовать метрику даже при отсутствии синхронизации хостов, служащих точками измерения. В последнем случае значения взаимного перекоса часов можно вывести из измерений и внести соответствующие коррективы. Получаемая в результате точность зачастую сравнима с точностью измерений при синхронизированных часах, имеющих тот же порядок значений ошибок синхронизации. Это будет подробно рассмотрено ниже.

Целью этого документа является обеспечения способа измерения ipdv для пути. Нужно определить показатель, который можно параметризовать для использования с разными целями. Любой отчёт о показателе должен включать все параметры, связанные с метрикой, чтобы можно было точно определить условия и значение показателя. Поскольку показатель не является оценочным суждением (хорошо, плохо), здесь осознанно не указываются конкретные значения, которым должны соответствовать сети IP.

Гибкость показателя можно считать недостатком, но есть аргументы в пользу такой гибкости. Во-первых, хотя некоторые применения ipdv указаны выше, использование ipdv ещё является темой исследований и нужно сохранить пространство для манёвра. Во-вторых, в сообществе есть разные взгляды на то, каким следует быть определению (например, [8], [9], [10]). Идея здесь состоит в том, чтобы параметризовать определение, а не создавать отдельный документ для каждого предлагаемого определения. Поскольку все параметры указываются в отчёте, это позволяет понять, как конкретно применялись измерения ipdv. Все замечания в документе остаются в силе, независимо от выбора параметров.

1.4. Вопросы, связанные со временем

Содержимое параграфа 2.2 в [2] применимо и в данном случае.

В итоге, как и в [1] «перекося» (skew) определяется как первая производная сдвига часов относительно «истинного времени» (true time), а дрейф часов (drift) - как вторая производная сдвига относительно «истинного времени».

На основе этого можно определить «относительный перекося» (relative skew) и относительный дрейф» (relative drift) для пары часов C1 и C2. Ниже представлены естественные расширения определений базовой модели.

- Относительный сдвиг - разница во времени по двум часам.

- Относительный перекоз - первая производная относительного сдвига.
- Относительный дрейф - вторая производная относительного сдвига.

Примечание. Дрейф часов, как определено выше, в течение длительного интервала времени должен иметь среднее значение, стремящееся к 0, поскольку частота генератора в часах имеет конечный (и небольшой) диапазон. Чтобы подчеркнуть порядок величины этого эффекта, отметим, что максимальный дрейф коммерческих кристаллов для часов составляет около $50 \cdot 10^{-6}$ (part per million или ppm). Поскольку вариации связаны в основном с колебаниями температуры (от 0 до 70 градусов Цельсия), предполагается что с процессе работы температура хоста меняется незначительно, а вариации температуры, даже если они быстрые, не превышают 1 градуса в секунду и не выходят за пределы нескольких градусов. Общий диапазон дрейфа часом обычно связывают с температурным диапазоном от 0 до 70° C. Это важно для оценки точности измерения `ipdv`, как будет показано ниже.

2. Определение одиночного показателя One-way-ipdv

Одиночный показатель (singleton) предназначен для однократного измерения `ipdv`. Отметим, что он может быть статистически значимым лишь в комбинации с другими экземплярами. Он не предназначен быть одиночным результатом в том смысле, что на его основании не следует делать выводов.

Это определение использует соответствующее определение показателя `type-P-One-Way-Delay` [2]. В этом разделе используются те части `One-Way-Delay Draft`, которые напрямую применимы к показателю `One-Way-ipdv` или ссылаются на `Draft`.

2.1. Имя показателя

Type-P-One-way-ipdv

2.2. Параметры показателя

Src - IP-адрес хоста

Dst - IP-адрес хоста

T1 - время

T2 - время

L - размер пакета в битах. Пакеты потока Type P, для которых выполняются одиночные измерения `ipdv`, **должны** иметь одинаковый размер

F - функция выбора, однозначно определяющая в потоке 2 пакета для определения показателя

I1, I2 - время, указывающее начало и конец интервала, в котором происходит поток пакетов, где выполняется одиночное измерение.

P - спецификация типа пакета помимо адресов отправителя и получателя.

2.3. Единица измерения

Значение `Type-P-One-way-ipdv` является действительным числом секунд (положительным, 0 или отрицательным) или неопределённое число.

2.4. Определение

Дан поток пакетов Type P, а также I1 и I2 так, что первому пакету Type P, проходящему точку измерения MP1 после I1 присваивается индекс 0, а последнему пакету Type P, проходящему MP1 до I2 присваивается наибольший индекс.

`Type-P-One-way-ipdv` определяется для двух пакетов от Src к Dst, выбранных функцией F, как разность между значением `type-P-One-way-delay` от Src к Dst в момент T2 и значением `type-P-One-Way-Delay` от Src к Dst в момент T1. T1 - это время в линии, когда Src передал первый бит пакета, а T2 - время в линии, когда Src передал первый бит второго пакета. Этот показатель выведен из показателя `One-Way-Delay`.

Следовательно, для действительного числа `ddT` «`type-P-one-way-ipdv` от Src к Dst в моменты T1, T2 = `ddT`» означает, что Src передал два пакета - первый в момент (в линии) T1 (первый бит), второй - в момент (в линии) T2 (первый бит) и эти пакеты были получены Dst в моменты (в линии) `dT1+T1` (последний бит первого пакета) и `dT2+T2` (последний бит второго пакета), а `dT2-dT1=ddT`. Фраза «`type-P-one-way-ipdv` от Src к Dst в моменты T1, T2 не определено» означает, что Src передал первый бит пакета в момент T1 и первый бит второго пакета в момент T2, а Dst не получил один или оба пакета.

Рисунок 1 иллюстрирует это определение. Предположим, что выбраны пакеты P(i) и P(k).

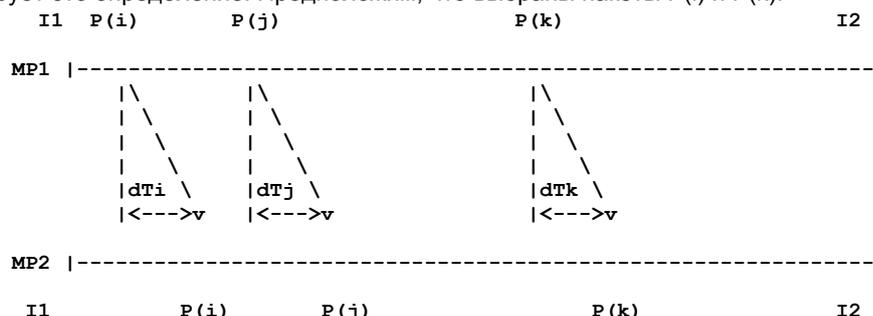


Рисунок 1. Иллюстрация к определению.

Тогда $ddT = dTk - dTi$, как определено выше.

2.5. Обсуждение

Определение этого показателя зависит от потока пакетов `Type-P-One-Way-Delay`, для которого выполняются измерения. В общем случае это может быть поток из двух и более пакетов в интервале между точками I1 и I2. Для

выполнения одиночного измерения поток должен включать хотя бы 2 пакета. Цель функции выбора состоит в точном указании двух пакетов из потока, используемых для однократного измерения. Отметим, что функция выбора может включать наблюдение односторонней задержки всех пакетов Type P из потока в заданном интервале. Примеры функции выбора приведены ниже.

- Последовательные пакеты Type-P в заданном интервале.
- Пакеты Type-P с указанными индексами в заданном интервале.
- Пакеты Type-P с минимальной и максимальной задержкой в заданном интервале.
- Пакеты Type-P с указанными индексами из набора всех определённых (т. е. конечных) задержек пакетов Type-P в заданном интервале.

Ниже рассматривается ряд практических вопросов.

- Будучи дифференциальным измерением, этот параметр не так чувствителен к проблемам синхронизации часов. Этот вопрос более подробно рассматривается в разделе 5. Отмечено, что при изменении со временем относительного хода часов точность измерения будет зависеть от временного интервала I2-I1, а величина возможных ошибок рассматривается ниже.
- В методику должен включаться способ, позволяющий отличить бесконечную задержку от очень большой (пакет ещё не прибыл в Dst). Как отметили Mahdavi и Paxson, можно использовать простую верхнюю границу (такую, как теоретический предел в 255 секунд для срока существования пакетов IP [Postel: RFC 791]), но на практике лучше применять решение, учитывающее реальные сроки существования пакетов. Отметим, что для многих применений этих показателей вред от обработки очень большой задержки как бесконечной может быть невелик или просто отсутствовать. Например, пакет данных TCP, поступающий по истечении нескольких интервалов RTT, эквивалентен потере пакета.
- Как и для других показателей type-P, значение метрики зависит от таких свойств пакета, как протокол, номер порта (UDP или TCP), размер и специальная обработка (такая, как предпочтения IP или RSVP).
- Значение ddT рассчитывается от начала первого бита из пакета, переданного Src до получения последнего бита, принятого Dst. Задержка коррелирует с размером пакета, поэтому размер пакетов является параметром измерений и должен включаться в отчёт.
- Если пакет дублируется на пути (путях) и к получателю приходит несколько неповреждённых копий, пакет учитывается как полученный и прибывшая первой копия определяет значение One-Way-Delay.
- Если пакет фрагментирован и по какой-либо причине сборки не произошло, пакет считается потерянным.

В этом документе предполагается, что поток пакетов Type-P генерируется в соответствии с методикой выборки Пуассона, описанной в [1]. Причина использования выборки Пуассона состоит в том, что она обеспечивает беспристрастную и однородно распределённую выборку времени между I1 и I2. Однако возможны и другие методики выборки. Например, возможна непрерывная выборка в потоке с постоянной битовой скоростью (периодическая передача пакетов). Однако в этом случае требуется избегать эффектов «псевдонимов», которые могут познать при периодической выборке.

2.6. Методика

Как и для других показателей Type-P*, методология зависит от Type-P (например, номера протокола, номера порта UDP/TCP, размера, предпочтений). Описанная здесь методика предполагает измерение и определение ipdv в реальном масштабе времени как часть активных измерений. Отметим, что это можно сделать и по завершении односторонних измерений.

Методика для общего случая Type-P описана ниже. Отметим, что она предполагает синхронизацию часов. Вопросы синхронизации часов Src и Dst рассмотрены ниже.

- Старт после времени I1. На хосте Src выбираются IP-адреса Src и Dst IP и формируются тестовые пакеты Type-P с этими адресами для данного метода (например, для выборки Пуассона). Какое-либо дополнение в тестовых пакетах применяется лишь для установки заданного размера пакетов и для него следует применять случайные биты, чтобы избежать ситуаций, когда измеренная задержка будет снижаться в результате использования сжатия пакетов на пути.
- На хосте Dst организуется приём пакетов.
- На хосте Src в пакет Type-P помещается временная метка и пакет отправляется в направлении Dst.
- Если пакет прибывает в течение разумного интервала, из него как можно скорее извлекается временная метка и берётся метка времени прибытия пакета. Разность меток позволяет рассчитать One-Way-Delay.
- Если пакет соответствует критерию функции отбора для первого пакета, значение первой задержки записывается. В ином случае продолжается генерация потока пакетов Type-P, пока не будет выполнен критерий или достигнуто время I2 (что раньше).
- На хосте Src продолжается генерация пакетов по этой методике. Src помещает временную метку в пакет Type-P и передаёт его в направлении Dst.
- Если пакет прибывает в течение разумного интервала, из него как можно скорее извлекается временная метка и берётся метка времени прибытия пакета. Разность меток позволяет рассчитать One-Way-Delay.
- Если пакет соответствует критерию функции отбора для второго пакета, первое значение One-Way-Delay вычитается из второго, давая значение ipdv для пары пакетов. В ином случае продолжается генерация потока пакетов Type-P, пока не будет выполнен критерий или достигнуто время I2 (что раньше).
- Если один или оба пакета не приходят к получателю в разумное время, ipdv считается неопределённым.

2.7. Ошибки и погрешности

При одиночных измерениях ipdv факторы, влияющие на измерение совпадают с факторами влияния на измерение One-Way-Delay, хотя само влияние может отличаться.

В модели [1] даны общие рекомендации на сей счёт, а здесь отмечены аспекты, связанные с показателями задержки.

- Ошибки и погрешности, связанные с погрешностями часов хостов Src и Dst.
- Ошибки и погрешности, связанные с разницей времени в линии (wire time) и на хосте (host time).

Эти ошибки более подробно рассматриваются в последующих параграфах.

2.7.1. Ошибки и погрешности, связанные с часами

Если в первом приближении ошибка, влияющая на первое измерение One-Way-Delay совпадает с ошибкой при втором измерении, они компенсируют друг друга при расчёте ipdv. Остаточной ошибкой, связанной с часами, будет разница ошибки в момент T1 (первое измерение) и T2 (второе измерение). Синхронизация, перекося, точность и шаг (разрешение) часов рассмотрены ниже.

- Ошибки синхронизации источника и получателя вносят вклад в ошибку обоих измерений для расчёта ipdv.
- Влияние дрейфа и перекося при измерении ipdv можно оценить следующим образом. Предположим, что функции перекося и дрейфа известны, а также предположим, что перекося линейно изменяется со временем. Тогда смещение часов также будет функцией времени и ошибку можно оценить как $e(t) = K*t + O$, где K - константа, а O - смещение в момент 0. В этом случае ошибка при определении разности двух временных меток ($t2 > t1$) составит $e(t2) - e(t1) = K*(t2 - t1)$ и будет вноситься в разность $(t2 - t1)$. Если дрейф нельзя игнорировать, но предполагается, что он линеен во времени, перекося задаётся значением $s(t) = M*(t^2) + N*t + S0$, где M и N - константы, а S0 - перекося в момент 0. Ошибка, добавляемая меняющимся перекосям и дрейфом, в этом случае составит $e(t) = O + s(t)$, а ошибка в разности временных меток - $e(t2) - e(t1) = N*(t2 - t1) + M*\{(t2 - t1)^2\}$.

Здесь утверждается (см. примечание в параграфе 1.4¹), что влияние перекося мало в масштабе времени измерения, поскольку изменение температуры в системе происходит достаточно медленно по сравнению со временем измерения и дрейф не будет большим.

- В части точности и дискретности часов замечания документа для односторонней задержки [2] (параграф 3.7.1) применимы и здесь с дополнительным учётом дискретности часов, которая в данном случае вносит удвоенную погрешность по сравнению с одиночным измерением. Ошибки, вносимые этим эффектом, зачастую превышают ошибки, связанные с дрейфом.

2.7.2. Время в линии и время хоста - ошибки и погрешности

Содержимое параграфа 3.7.2 [2] применимо и в этом случае с учётом указанного ниже. Разность между временем хоста (Host-time) и линии (Wire-time) в общем случае можно разделить на две части, одна из которых является постоянной, другая - переменной. Ошибки измерения будут вносить лишь переменная часть, а постоянную можно исключить при расчёте ipdv. Однако в большинстве случаев эти части не известны точно.

3. Определения для выборки One-way-ipdv

Целью определения выборки является обеспечение возможности рассчитать статистику последовательных измерений ipdv. Определение одиночного измерения (singleton) применяется к потоку тестовых пакетов, сгенерированных в соответствии со стандартным псевдослучайным процессом Пуассона со средней скоростью поступления λ . При необходимости интервал генерации потока можно поделить на субинтервалы, где может применяться определение одиночного измерения ipdv. Результатом этого является последовательность измерений ipdv, которую можно анализировать с помощью различных статистических процедур.

На основе определения одиночного показателя one-way-ipdv, определяется выборка таких одиночных измерений. Далее два пакета, требуемые для одиночного измерения называются парой.

3.1. Имя показателя

Type-P-One-way-ipdv-Poisson-stream

3.2. Параметры показателя

Src - IP- адрес хоста

Dst - IP- адрес хоста

T0 - время начала теста

Tf - время завершения теста

L - размер пакета в битах. Пакеты потока Type P, из которых берётся выборка показателя ipdv, **должны** иметь одинаковый размер.

F - функция выбора, однозначно определяющая в потоке пакеты для выборки.

I(i), I(i+1), i >= 0 - пары значений времени, указывающих начало и завершения интервалов для потока пакетов, где выполняется измерение. I(0) >= T0 и предполагается, что при наибольшем индексе n выполняется I(n) <= Tf.

P - спецификация типа пакетов, помимо адресов отправителя и получателя.

3.3. Единицы измерения

Последовательность триплетов:

- T1, T2 - время;
- dT - действительное число или неопределённое число секунд.

¹В оригинале ошибочно указан параграф 1.3. См. <https://www.rfc-editor.org/errata/eid6981>. Прим. перев.

3.4. Определение

Псевдослучайный процесс Пуассона определён так, что он начинается не позже T_0 , имеет среднюю скорость прибытия λ и завершается не раньше T_f . Значения $T(i)$ не меньше T_0 и не больше T_f выбираются для генерации пакетов.

Каждый пакет, попадающий в один из субинтервалов $I(i)$, $I(i+1)$ тестируется для проверки соответствия критериям функции выбора F в качестве первого или второго пакета для расчёта $ipdv$. Субинтервалы можно определить так, чтобы можно было получить достаточное число одиночных измерений для достоверных статистических оценок.

Определённые выше триплеты времени передачи первого и второго пакета в каждом одиночном измерении, включённом в выборку, и $ipdv$ указываются в секундах.

3.5. Обсуждение

Отметим сначала, что использование псевдослучайной последовательности не задаёт полностью значения времени и, следовательно, значений выборки. Для получения желаемого качества измерений нужен качественный генератор псевдослучайных чисел.

Выборка определяется в терминах процесса Пуассона, чтобы избежать эффектов самосинхронизации и получать выборки с максимальной статической беспристрастностью (минимальным смещением). Разумеется, никто не утверждает, что трафик Internet прибывает в соответствии с процессом Пуассона.

Показатели выборки лучше всего разъяснять на примерах. В качестве первого примера предположим, что функция отбора задаёт конечные значения для минимальной и максимальной задержки в одном направлении для каждого субинтервала. Можно определить непрерывные субинтервалы указанной фиксированной длительности и создать последовательность, каждый элемент которой описывается триплетом $\langle \text{время передачи пакета с максимальной и минимальной задержкой}, D(\max)-D(\min) \rangle$, определяемым для каждого субинтервала. Во втором примере функция отбора задаёт пакеты с индексами (порядковыми номерами), которые ниже заданной границы. В этом случае субинтервалы определяются временем передачи созданных пакетов, а последовательностью будет просто $\langle T(i), T(i+1), D(i+1)-D(i) \rangle$, где $D(i)$ указывает одностороннюю задержку i -го пакета в потоке.

Это определение выборки показателей охватывает определения, предложенные в [9] и [10].

3.6. Методика

Поскольку пакеты могут теряться или дублироваться, а также прибывать с нарушением исходного порядка, пары тестовых пакетов следует указывать порядковыми номерами. Для дубликатов следует учитывать лишь первую копию.

В остальном методика совпадает с методикой одиночных измерений с учётом того, что измерения повторяются.

3.7. Ошибки и погрешности

Применимы те же соображения, которые указаны для одиночных измерений. Псевдослучайный процесс Пуассона может вносить дополнительные ошибки, как отмечено в [2]. Это рассматривается в разделе 5.

4. Статистика для One-way-ipdv

Предлагается некоторая статистика, которая может давать полезные сведения при анализе пакетов, следующих от Src к Dst. Предполагается, что статистика рассчитывается для выборки $ipdv$ разумного размера.

Цель состоит в определении возможных вариантов статистики для $ipdv$ не для всех возможных вариантов, а лишь для предложенных или применяемых.

4.1. Потеря пакетов и статистика $ipdv$

Трактовка потерянных пакетов как имеющих бесконечную или неопределённую задержку осложняет вывод статистики для $ipdv$. В частности, при потере пакетов измерительной последовательности, простую статистику, такую как среднее значение для выборки, применить невозможно. Одним из возможных подходов к решению этой задачи является сокращение пространства учитываемых событий. Т. е. рассматривается условная статистика, а именно, оценка среднего значения $ipdv$ (или иной производной статистики) в зависимости от прибытия выбранной пары пакетов к получателю (в заданном интервале). Хотя это само по себе может быть связано с проблемами (что произойдёт, например, при потере каждого второго пакета), обеспечивается способ сделать некие (корректные) выводы об $ipdv$, избегая событий с неопределёнными результатами.

На практике это означает отбрасывание выборок, в которых один или оба выбранных пакета имеют неопределённую задержку. Пространство выборки сокращается (условия) и можно рассчитать обычную статистику, понимая, что формально она является условной.

4.2. Определение значений One-way-ipdv

Значения one-way-ipdv ограничены наличием минимального и максимального значения one-way-delay. В частности, односторонняя задержка ограничена сверху выбранным значением, по достижении которого пакет считается потерянными. Нижняя граница обусловлена распространением, передачей и задержками в транзитных узлах при условии отсутствия на пути очередей и меняющихся задержек на узлах. Обозначим верхнюю границу односторонней задержки U , а нижнюю - L , тогда значения one-way-ipdv могут быть лишь в (открытом) интервале $(L, U, U-L)$.

В любом конечном интервале значение one-way-delay может меняться монотонно (не уменьшаясь или не увеличиваясь) или в обоих направлениях в пределах полуоткрытого интервала $[L, U)$. Соответственно, в пределах этого интервала значения one-way-ipdv могут быть положительными, отрицательными или смешанными (включая 0).

Поскольку диапазон значений ограничен, one-way-ipdv не может расти или снижаться бесконечно. Предположим, например, что $ipdv$ имеет положительный «прогон» (длинная последовательность положительных значений). В какой-то момент положительные значения должны приблизиться к 0, если односторонняя задержка остаётся конечной, поскольку иначе будет нарушена граница one-way-delay. Если такой прогон происходит неограниченно долго, среднее

значение выборки (при отсутствии потерь) будет приближаться к 0 (поскольку значения one-way-ipdv должны приближаться к 0). Отметим однако, что это ничего не говорит о форме распределения или его симметрии. Кроме того, отметим, что на значительных интервалах среднее значение выборки one-way-ipdv может быть положительным, отрицательным или 0 в зависимости от ширины интервала [L,U).

Имеется два основных способа представить распределение значений выборки ipdv: эмпирический pdf и эмпирический cdf. Первый случай чаще всего использует гистограмму, где диапазон значений выборки ipdv разделен на интервалы заданного размера, с каждым из которых связана доля значений, попадающих между границами интервала (иногда вместо доли используют число значений, попадающих в интервал). Во втором варианте (cdf) просто указывается доля значений выборки ipdv, которые меньше заданного, для последовательности значений из диапазона ipdv.

4.3. Type-P-One-way-ipdv-percentile

Для данной выборки Type-P One-Way-ipdv и данного значения X от 0% до 100% X-й перцентиль показывает долю значений в выборке ipdv, которые не меньше X. Следовательно, 50-й перцентиль является медианой.

4.4. Type-P-One-way-ipdv-inverse-percentile

Для данной выборки Type-P-One-way-ipdv и значения Y - процент значений в выборке ipdv, которые не больше Y.

4.5. Type-P-One-way-ipdv-jitter

Хотя использование термина «дрожь» (jitter) не рекомендуется, он сохранился в имени показателя, следуя авторам [8]. В этом документе функция отбора указывает, что последовательные пакеты потока Type-P должны выбираться в качестве пар для расчёта ipdv. Затем берётся абсолютная величина значений ipdv в выборке. Авторы [8] используют полученную выборку, чтобы сравнить поведение двух разных алгоритмов планирования.

Альтернативный, но близкий способ расчёта вариаций дан в RFC 1889 [11]. Функция отбора здесь неявно представляет пары последовательных пакетов и вариация рассчитывается путём взятия абсолютных величин последовательности ipdv (как определено в этом документе) и применения экспоненциального фильтра с параметром 1/16 для генерации оценки (т. е. $j_new = 15/16 * j_old + 1/16 * j_new$).

4.6. Type-P-One-way-peak-to-peak-ipdv

В этом случае функция отбора для выборки Type-P-One-Way-ipdv указывает, что первым пакетом каждой пары должен быть пакет с максимальной задержкой Type-P-One-Way-Delay в каждом субинтервале, а вторым - пакет с минимальной задержкой Type-P-One-Way-Delay в каждом субинтервале. Результирующая последовательность значений представляет собой пиковую вариацию задержки в каждом субинтервале измерительного интервала.

5. Обсуждение синхронизации часов

В этом разделе приведены некоторые соображения по вопросу синхронизации часов источника и получателя, хотя и при отсутствии синхронизации данные измерений также можно применять для корректировки ошибок. Соображения приведены в качестве основы для обсуждения и требуют дальнейших исследований.

5.1. Влияние ошибок синхронизации

Ошибки часов могут быть вызваны относительным дрейфом и относительным перекосом между парой часов. Следует отметить, что дрейф ограничен физически, а общий относительный перекося для пары часов может меняться в интервале от нижней до верхней границы.

Предположим, что измерение проводится между двумя системами и часы источника и получателя в момент 0 имеют относительный перекося $s(0)$, а по завершении интервала измерений T - $s(T)$. Предположим также, что часы имеют начальное смещение O (не 0).

Пусть пакеты передаются от источника к получателю за одинаковое время, тогда ipdv = 0 и разность временных меток от двух часов в действительности показывает лишь относительное смещение часов. Предположим, что в начале интервала измерения рассчитано значение ipdv для пары пакетов, а в конце интервала измерения - другое значение ipdv для иной пары пакетов. Пусть первое измерение охватывает интервал t_1 , а второе - t_2 . Тогда

$$\begin{aligned} ipdv1 &= s(0) * t1 + t1 * (s(T) - s(0)) / T \\ ipdv2 &= s(T) * t2 + t2 * (s(T) - s(0)) / T \end{aligned}$$

в предположении линейности перекося часов во времени. В большинстве практических случаев можно утверждать, что дрейф близок к 0 и в этом случае второй (корректировочный) член выражения исчезает.

Отметим, что в приведённом выше обсуждении прочие ошибки, включая различия между временем хоста и линии, а также вызванные извне разрывы отсчёта времени (например, корректировка часов), не принимались во внимание. В этом случае максимальная ошибка часов будет определяться максимальным относительным перекося при самом продолжительном интервале между пакетами.

5.2. Оценка перекося несинхронизированных часов

Если перекося линеен (т. е. $s(t) = S * t$ при постоянном S), ошибка в значениях ipdv будет зависеть от используемого для расчётов интервала между пакетами. Если t_i - интервал между парой пакетов, а T_i - средний для выборки интервал между пакетами, то $s(T_i) = S * T_i$. В случае постоянной задержки параметр перекося S можно оценить на основе интервала между пакетами T_i и среднего для выборки значения ipdv. При таких допущениях значения ipdv можно скорректировать вычитанием из них значения $S * t_i$.

Отмечено, что сдвиг (displacement) в результате перекося не меняет формы распределения и, например, стандартное отклонение (Standard Deviation) не меняется. На искажение влияет дрейф даже в случаях, когда среднее значение дрейфа в конце измерений равно 0. Размер этого искажения ограничен влиянием суммарной вариации перекося в течение интервала генерации пакетов (emission).

6. Вопросы безопасности

Показатель one-way-ipdv имеет такие же свойства безопасности, как one-way-delay [2] и наследует от указанного документа все соображения безопасности. Читателю следует обратиться к [2] для более подробного рассмотрения вопросов безопасности. Тем не менее, следует обратить внимание на отмеченные ниже вопросы.

6.1. Отказ в обслуживании

Возможны попытки организации атак с целью отказа в обслуживании (DoS) путём отправки в сеть большого числа измерительных пакетов. В общем случае легитимные измерения должны иметь тщательно подобранные параметры, чтобы избежать помех обычному сетевому трафику.

6.2. Приватность и конфиденциальность

Пакеты не включают пользовательских данных, поэтому проблем конфиденциальности не возникает.

6.3. Целостность

Могут быть также попытки нарушить измерения путём перенаправления или повреждения пакетов. Для сохранения действительности и неизменности пакетов в процессе передачи можно применять проверку подлинности и целостности пакетов.

7. Благодарности

Спасибо Merike Kaeo, Al Morton и Henk Uiterwaal за найденные ошибки и уточнение формулировок итогового документа.

Предыдущий крупный пересмотр этого документа стал результатом обсуждений по электронной почте с Mike Pierce, Ruediger Geib, Glenn Grotefeld, Al Morton. Для предыдущих редакций документа очень полезны были дискуссии с Ruediger Geib, Matt Zekauskas и Andy Scherer.

8. Литература

8.1 Нормативные документы

- [1] Paxson, V., Almes, G., Mahdavi, J. and M. Mathis, "Framework for IP Performance Metrics", [RFC 2330](#), February 1998.
- [2] Almes, G. and S. Kalidindisu, "A One-Way-Delay Metric for IPPM", [RFC 2679](#), September 1999.
- [3] Bradner, S., "Key words for use in RFCs to indicate requirement levels", BCP 14, [RFC 2119](#), March 1997.

8.2 Дополнительная литература

- [4] ITU-T Recommendation Y.1540 (formerly numbered I.380) "Internet Protocol Data Communication Service - IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters", February 1999.
- [5] Demichelis, Carlo - "Packet Delay Variation Comparison between ITU-T and IETF Draft Definitions" November 2000 (in the IPPM mail archives).
- [6] ITU-T Recommendation I.356 "B-ISDN ATM Layer Cell Transfer Performance".
- [7] S. Keshav - "An Engineering Approach to Computer Networking", Addison-Wesley 1997, ISBN 0-201-63442-2.
- [8] Jacobson, V., Nichols, K. and Poduri, K. "An Expedited Forwarding PHB", [RFC 2598](#), June 1999.
- [9] ITU-T Draft Recommendation Y.1541 - "Internet Protocol Communication Service - IP Performance and Availability Objectives and Allocations", April 2000.
- [10] Demichelis, Carlo - "Improvement of the Instantaneous Packet Delay Variation (IPDV) Concept and Applications", World Telecommunications Congress 2000, 7-12 May 2000.
- [11] Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R. and V. Jacobson, "RTP: A transport protocol for real-time applications", RFC 1889, January 1996.

9. Адреса авторов

Carlo Demichelis

Telecomitalia Lab S.p.A
Via G. Reiss Romoli 274
10148 - TORINO
Italy
Phone: +39 11 228 5057
Fax: +39 11 228 5069
EMail: carlo.demichelis@tilab.com

Philip Chimento

Ericsson IPI
7301 Calhoun Place
Rockville, Maryland 20855
USA
Phone: +1-240-314-3597
EMail: chimento@torrentnet.com

Перевод на русский язык

Николай Малых

nmalykh@protokols.ru

10. Полное заявление авторских прав

Copyright (C) The Internet Society (2002). Все права защищены.

Этот документ и его переводы могут копироваться и предоставляться другим лицам, а производные работы, комментирующие или иначе разъясняющие документ или помогающие в его реализации, могут подготавливаться, копироваться, публиковаться и распространяться целиком или частично без каких-либо ограничений при условии сохранения указанного выше уведомления об авторских правах и этого параграфа в копии или производной работе. Однако сам документ не может быть изменён каким-либо способом, таким как удаление уведомления об авторских правах или ссылок на Internet Society или иные организации Internet, за исключением случаев, когда это необходимо для разработки стандартов Internet (в этом случае нужно следовать процедурам для авторских прав, заданных процессом Internet Standards), а также при переводе документа на другие языки.

Предоставленные выше ограниченные права являются бессрочными и не могут быть отозваны Internet Society или правопреемниками.

Этот документ и содержащаяся в нем информация представлены "как есть" и автор, организация, которую он/она представляет или которая выступает спонсором (если таковой имеется), Internet Society и IETF отказываются от каких-либо гарантий (явных или подразумеваемых), включая (но не ограничиваясь) любые гарантии того, что использование представленной здесь информации не будет нарушать чьих-либо прав, и любые предполагаемые гарантии коммерческого использования или применимости для тех или иных задач.

Подтверждение

Финансирование функций RFC Editor обеспечено Internet Society.

Перевод на русский язык

Николай Малых

nmalykh@protokols.ru