

УДК 621.391; 519.21

Ляшенко Александр Леонидович,
кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

Новиков Алексей Евгеньевич,
старший преподаватель,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

Петров Павел Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

Сердюк Ксения Владимировна,
старший преподаватель
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

**ОЦЕНКА СЕТЕВОГО ШУМА
И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПЕРЕДАЧУ СИГНАЛОВ
ASSESSMENT OF NETWORK NOISE
AND ITS IMPACT ON SIGNAL TRANSMISSION**

Аннотация: рассматриваются вопросы анализа сетевого шума в цифровых коммуникационных системах и его влияние на передачу сигналов. В работе используется математическая модель шумов различных типов (белый шум, аддитивный шум и импульсные помехи), а также методы оценки их воздействия на параметры сигнала.

Ключевые слова: сетевой шум, аддитивный шум, импульсные помехи, передача сигналов, цифровые коммуникационные системы.

Современные системы передачи данных играют ключевую роль в обеспечении связи, управления и обработки информации. Однако качество передачи сигналов в таких системах может существенно снижаться под воздействием сетевого шума, который возникает из-за различных источников, включая технические ограничения оборудования, электромагнитные помехи и внешние факторы окружающей среды [1-2].

Сетевой шум оказывает значительное влияние на основные параметры передачи данных, такие как пропускная способность, задержка сигналов, вероятность потери пакетов и уровень ошибок. Это, в свою очередь, приводит к снижению надежности и эффективности систем связи, особенно в условиях высокой плотности передачи информации [3-4].

Целью данной статьи является оценка сетевого шума и его влияния на передачу сигналов в цифровых системах. В рамках исследования анализируются основные виды сетевых шумов, разрабатываются математические модели их влияния, а также проводятся эксперименты по оценке параметров качества передачи сигналов. Особое внимание уделяется определению зависимости ключевых характеристик систем связи от уровня шума и разработке рекомендаций по минимизации его воздействия [5]. Работа направлена на углубление понимания механизмов влияния сетевого шума и поиск решений, способствующих



улучшению качества передачи данных в современных телекоммуникационных системах [6].

Сетевой шум значительно влияет на передачу сигналов и остается важной темой исследований в цифровой связи. Основные типы шумов: белый шум (равномерная плотность спектра), аддитивный шум (сумма независимых источников) и импульсные помехи (наиболее разрушительные).

Оценка шума проводится с помощью статистического и спектрального анализа, а также компьютерного моделирования. Современные подходы включают адаптивные алгоритмы фильтрации и методы минимизации помех на уровне оборудования. Для повышения надежности сетей требуется дальнейшее изучение взаимодействия шумов с сигналами, особенно при высоких скоростях передачи данных [7-10].

Для оценки сетевого шума и его влияния на передачу сигналов в данной работе применяются математические модели, описывающие различные типы шумов, а также методы анализа их воздействия на параметры передачи данных. Ниже приведено описание ключевых методов и моделей, использованных в исследовании. Гауссовский шум (AWGN, Additive White Gaussian Noise) представляет собой аддитивный, белый, гауссовский шум, который часто используется для моделирования флуктуаций сигнала в канале, применяется для оценки базового уровня помех в каналах связи.

Математическое описание:

$$n(t) \sim N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

Импульсный шум характеризуется редкими, но сильными выбросами, которые искажают сигнал, математическое описание:

$$n(t) = \sum_{i=1}^N A_i \delta(t - t_i) \quad (2)$$

A_i – амплитуда импульса, $\delta(t - t_i)$ – дельта функция, t_i – момент появления импульса

Шум, обусловленный потерей пакетов (Packet Loss Noise): возникает при потере данных в процессе передачи. Модель: пропущенные пакеты заменяются нулями или предыдущими значениями.

Шум дрожания (Jitter): характеризуется случайными колебаниями задержки пакетов в сети. Математическое описание:

$$t_{delay} = t_{avg} + \Delta t \quad (3)$$

t_{avg} – среднее значение задержки, Δt – случайное отклонение, описываемое гауссовским распределением.

Метода анализа влияния шума. Коэффициент ошибок (Bit Error Rate, BER): используется для оценки числа ошибочных битов относительно общего числа переданных битов:

$$BER = \frac{N_{error}}{N_{total}} \quad (4)$$

N_{error} – количество ошибочных битов, N_{total} – общее число переданных битов

Пропускная способность канала (Channel Capacity): характеризует максимально возможное количество информации, которое может быть передано через канал связи с учетом шума, описывается формулой Шеннона:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right) \quad (5)$$

C – пропускная способность, B – ширина полосы пропускания, P_s – мощность сигнала, P_n – мощность шума.



Методы снижения влияния шума. Фильтрация шума: использование фильтров низких частот, адаптивных фильтров и методов на основе вейвлет-преобразования для подавления шума. Коррекция ошибок: применение кодов с обнаружением и исправлением ошибок, таких как коды Хэмминга или циклические коды. Оптимизация сетевых протоколов: использование механизмов контроля перегрузки (например, TCP Congestion Control) для снижения потерь пакетов и задержек. Эти методы и модели обеспечивают комплексный подход к анализу влияния сетевого шума на передачу сигналов, позволяя не только оценить его воздействие, но и предложить пути минимизации негативных эффектов.

Для анализа влияния сетевого шума на передачу сигналов были проведены серии экспериментов, направленных на изучение различных типов шумов и их воздействия на основные параметры передачи данных. Эксперименты включали моделирование шума, передачу сигналов через зашумленные каналы и оценку качества связи.

Моделирование проводилось в среде MATLAB и симуляторе сетей NS3. Использовались тестовые сигналы с заданными характеристиками (синусоидальные, модулированные и случайные последовательности). Параметры эксперимента:

Типы шума:

1. Гауссовский шум (AWGN) с различными уровнями мощности.
2. Импульсный шум с плотностью импульсов 10–20%.
3. Потери пакетов с вероятностью 5–15%.
4. Дрожание (jitter) с амплитудой отклонений до 50 мс.

Тестовые сигналы передавались через модель канала с заданными характеристиками пропускной способности и ширины полосы.

Оцениваемые параметры:

1. Отношение сигнал/шум (SNR).
2. Коэффициент ошибок на бит (BER).
3. Пропускная способность канала (Channel Capacity).
4. Задержка передачи пакетов.

Процедура проведения эксперимента. моделирование шума: генерация шума каждого типа с заданными параметрами. Смешивание шума с тестовым сигналом для имитации условий реальной передачи. Передача сигналов через зашумленный канал: использование модели канала связи для передачи сигналов. Изменение уровня мощности шума (Signal-to-Noise Ratio, SNR) в диапазоне от 10 до 50 дБ. Запись переданных и полученных сигналов для последующего анализа. Вычисление параметров BER, SNR и пропускной способности.

Результаты экспериментов. Влияние гауссовского шума: по мере увеличения уровня шума (снижения SNR) коэффициент ошибок на бит (BER) возрастал экспоненциально. При SNR менее 20 дБ качество связи резко ухудшалось (см. таблицу 1).

Таблица 1

Результаты эксперимента влияния гауссовского шума

SNR (дБ)	BER	Пропускная способность (Мбит/с)
50	0.0001	9.8
30	0.001	8.6
10	0.01	4.3

Влияние импульсного шума: Импульсный шум существенно влиял на пропускную способность, создавая пиковые ошибки. Использование медианной фильтрации частично устраняло влияние импульсов.



Влияние потери пакетов: потеря пакетов приводила к существенному снижению пропускной способности и увеличению задержек. Механизмы восстановления данных (например, повторная передача) снижали влияние, но увеличивали задержки.

Влияние дрожания: дрожание приводило к случайным изменениям задержки, что вызывало неравномерное воспроизведение сигналов. При увеличении амплитуды дрожания выше 30 мс наблюдалась деградация качества передачи.

Выводы по результатам исследований:

1. Гауссовский шум оказывает предсказуемое влияние на качество передачи, что позволяет использовать классические методы, такие как фильтрация и кодирование, для его снижения.

2. Импульсный шум и потери пакетов требуют использования более сложных алгоритмов, таких как коррекция ошибок или адаптивные протоколы передачи данных.

3. Дрожание наиболее критично для приложений реального времени (например, VoIP), где важна стабильность задержек.

Полученные результаты имеют значительное практическое значение для проектирования систем передачи данных: для стационарных систем с известными характеристиками шума можно использовать стандартные методы фильтрации. Для мобильных и динамических систем требуется внедрение адаптивных алгоритмов, способных подстраиваться под изменяющиеся условия канала.

Разработка методов прогнозирования шума на основе машинного обучения, что позволит заранее адаптировать параметры передачи, а исследование гибридных подходов, объединяющих фильтрацию, коррекцию ошибок и адаптивное управление каналом.

Обсуждение подтверждает, что выбор методов борьбы с шумами должен основываться на типе системы передачи и характере сетевого шума. Это требует комплексного подхода к анализу и разработке решений.

В данной статье проведено исследование влияния различных типов сетевого шума на передачу сигналов. Основные выводы можно сформулировать следующим образом:

1. Гауссовский шум оказывает предсказуемое влияние на параметры передачи, такие как коэффициент ошибок (BER) и пропускная способность. Использование фильтров и методов кодирования позволяет эффективно минимизировать его влияние.

2. Импульсный шум наиболее разрушителен для передачи данных из-за своей случайной природы. Медианная фильтрация показала себя эффективным способом борьбы с этим типом шума, однако она имеет ограничения при обработке сигналов с высокой детализацией.

3. Потеря пакетов критически влияет на приложения, требующие высокой надёжности передачи. Применение методов восстановления данных, таких как ARQ и FEC, позволяет сократить потери, но увеличивает задержки.

4. Дрожание (jitter) наиболее критично для приложений реального времени, таких как голосовые вызовы и видеоконференции. Алгоритмы синхронизации и буферизация данных помогают минимизировать его влияние.

5. Влияние шума усиливается при совокупности его типов. Для таких условий перспективным направлением является разработка гибридных методов, объединяющих фильтрацию, коррекцию ошибок и адаптивное управление передачей.

Полученные результаты подтверждают необходимость применения комплексных решений для борьбы с шумами в современных системах связи. Практическая значимость работы заключается в возможности использования предложенных методов для проектирования систем передачи данных, устойчивых к воздействию сетевого шума.



Список литературы:

1. Прокис Дж. Цифровая обработка сигналов: принципы, алгоритмы и приложения. – М.: Вильямс, 2014. – 992 с.
2. Оппенгейм А.В., Шафер Р.У. Цифровая обработка сигналов. – М.: Техносфера, 2006. – 864 с.
3. Миттельман А.Д. Методы и алгоритмы обработки цифровых сигналов. – М.: Радио и связь, 1992. – 192 с.
4. Куимов В.К., Исаев Д.Б. Сети передачи данных: Учебное пособие. – М.: Горячая линия – Телеком, 2020. – 400 с.
5. Шеннон К. Математическая теория связи // Известия АН СССР. Серия "Техническая кибернетика". – 1948. – Т. 27. – № 3. – С. 379–423.
6. Хайкин С. Системы связи. – СПб.: Питер, 2001. – 784 с.
7. Мешков А.С., Куликов А.С. Теория передачи сигналов: основы и приложения. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. – 568 с.
8. Паламарчук А.М. Методы фильтрации шума в системах связи. – М.: Техносфера, 2012. – 310 с.
9. Козырев И.Н., Золотухин В.А. Основы теории информационных систем. – СПб.: Лань, 2017. – 460 с.
10. Поляков В.П. Введение в цифровую обработку сигналов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 240 с.

