

ИНФОРМАТИКА, ТЕХНИКА И ХИСОББАРОР ВА ИДОРАКУНӢ - ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ - INFORMATICS, COMPUTER TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

УДК 621.39

DOI: 10.65599/III4735

МОНИТОРИНГ И ОПТИМИЗАЦИЯ УРОВНЯ RTWP КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Б.Б. Саидов, Д.А. Анварзода, Ф.Р. Азизуллоев, В.Т. Бехбудов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В работе исследуется влияние уровня широкополосной принимаемой мощности RTWP (Received Total Wideband Power) на характеристики функционирования восходящего канала сетей мобильной связи. Особое внимание уделено взаимосвязи между RTWP, отношением сигнал/шум и интерференции (SINR), а также показателями пропускной способности и устойчивости радиоканала. В статье представлен глубокий анализ радиоинтерфейса, основанный на наблюдении за параметрами базовой станции и динамикой суммарной широкополосной мощности принимаемого сигнала (RTWP). Исследование, опирающееся на экспериментальные данные, выявляет воздействие помех на критически важные сетевые метрики и оценивает действенность мер по их нейтрализации. Автор выдвигает гибридную стратегию мониторинга, которая объединяет автоматизированный анализ ключевых показателей эффективности сети (KPI) с инструментальным радиомониторингом. Таким образом, экспериментальное исследование показывает, что мониторинг RTWP служит наиболее показательным методом для своевременной диагностики качества обслуживания в актуальных беспроводных сетях.

Ключевые слова: RTWP, интерференция, мобильная связь, SINR, пропускная способность, IRC, радиомониторинг, помехоустойчивость.

МОНИТОРИНГ ВА ОПТИМИЗАЦИЯИ САТӢИ RTWP ӢАМЧУН УСУЛИ БАЛАНД БАРДОШТАНИ УСТУВОРӢ БА ХАЛАЛ ВА ҚОБИЛИЯТИ ГУЗАРИШИ ШАБАКАӢИ АЛОҚАИ МОБИЛӢ

Б.Б. Саидов, Д.А. Анварзода, Ф.Р. Азизуллоев, В.Т. Бехбудов

Дар кори мазкур таъсири сатӢи қувваи умумии қабулшудаи фароҳмаҷро RTWP (Received Total Wideband Power) ба хусусиятҳои фаъолияти канали болоравандаи шабакаҳои алоқаи мобилӣ таҳқиқ карда мешавад. Диққати асосӣ ба робитаи байни нишондиҳандаи RTWP, таносуби сигнал ба садо ва интерференсия, инчунин ба нишондиҳандаҳои қобилияти гузарониши канал ва устувории радиоканал равона гардидааст. Дар мақола таҳлили муфассали радиоинтерфейс пешниҳод шудааст, ки ба мушоҳидаи параметрҳои истоҳи базавӣ ва динамикаи қувваи умумии сигнали фароҳмаҷроӣ қабулшуда асос ёфтааст. Таҷриба, ки ба маълумоти таҷрибавӣ тақрибан мекунад, таъсири интерференсияро ба нишондиҳандаҳои муҳими шабака муайян намуда, самаранокии ҷораҳои қоҳиш додани таъсири онҳоро арзёбӣ мекунад. Муаллиф стратегияи гибридии мониторингро пешниҳод менамояд, ки таҳлили автоматиконидашудаи нишондиҳандаҳои асосии самаранокии шабакаро бо радиомониторинги инструменталӣ муттаҳид месозад. Ҳамин тавр, натиҷаҳои таҷрибаҳои таҷрибавӣ нишон медиҳанд, ки назорати нишондиҳандаи RTWP метавонад ҳамчун яке аз усулҳои нишондиҳандаи муҳим барои таҳлили саривақтии сифати хизматрасонӣ дар шабакаҳои муосири бесим истифода шавад.

Калидвожаҳо: RTWP, интерференсия, алоқаи мобилӣ, SINR, қобилияти гузарии, радиомониторинг, устуворӣ ба ҳалал.

MONITORING AND OPTIMIZATION OF THE RTWP LEVEL AS A METHOD FOR IMPROVING INTERFERENCE IMMUNITY AND CAPACITY OF MOBILE COMMUNICATION NETWORKS

B.B. Saidov, D.A. Anvarzoda, F.R. Azizulloev, V.T. Bekhbudov

This study investigates the influence of the Received Total Wideband Power (RTWP) level on the performance characteristics of the uplink channel in mobile communication networks. Particular attention is given to the relationship between RTWP, the signal-to-interference-plus-noise ratio, and the indicators of channel capacity and radio link stability. The paper presents a detailed analysis of the radio interface based on the observation of base station parameters and the temporal dynamics of the received total wideband power (RTWP). The study, relying on experimental data, identifies the impact of interference on critical network performance metrics and evaluates the effectiveness of mitigation measures. The author proposes a hybrid monitoring strategy that integrates automated analysis of key network performance indicators with instrumental radio monitoring. The experimental results demonstrate that RTWP monitoring can serve as one of the most informative methods for timely diagnostics of service quality in modern wireless communication networks.

Keywords: RTWP, interference, mobile communication, SINR, throughput capacity, IRC, radio monitoring, interference immunity.

Введение

Развитие сетей мобильной связи третьего и четвертого поколений сопровождается устойчивым ростом объема передаваемых данных и плотности абонентских устройств. В условиях

ограниченного радиочастотного ресурса даже незначительные отклонения параметров радиоэффира способны существенно повлиять на качество предоставляемых услуг [1-5]. Одним из ключевых индикаторов состояния восходящего канала является показатель Received Total Wideband Power (RTWP), отражающий суммарную мощность сигналов и шумов, принимаемых базовой станцией в рабочей полосе частот.

RTWP представляет собой интегральную характеристику, включающую полезные сигналы абонентских терминалов, тепловой шум оборудования, индустриальные помехи, а также излучения сторонних или некорректно функционирующих радиоэлектронных устройств [6-10]. Изменение данного параметра напрямую связано с энергетическим балансом восходящей линии связи и оказывает влияние на устойчивость радиоканала.

Повышение уровня RTWP приводит к уменьшению отношения сигнал/интерференция+шум (SINR), что, в свою очередь, снижает эффективность использования радиоресурса. В практическом аспекте это выражается в переходе системы на более устойчивые, но менее производительные схемы модуляции и кодирования, увеличении вероятности ошибок передачи и падении пропускной способности. Кроме того, рост шумового фона вызывает так называемый эффект «дыхания соты», при котором радиус обслуживания уменьшается вследствие ограничения бюджета мощности восходящего канала.

Современные базовые станции оснащаются алгоритмами пространственной и цифровой обработки сигналов, в том числе механизмом Interference Rejection Combining (IRC), предназначенным для подавления направленных помех [10-12]. Однако их возможности ограничены динамическим диапазоном приемного тракта и физическими характеристиками антенной системы [13-17]. При существенном превышении допустимого уровня шума программные методы оказываются недостаточными, что требует проведения инструментального радиомониторинга и устранения источника интерференции на физическом уровне.

На практике диагностика ухудшения качества сети часто начинается с анализа вторичных показателей — скорости передачи данных, уровня ошибок или доступности сервиса. Тем не менее первопричиной деградации нередко является именно рост широкополосной мощности в восходящем канале. В этой связи систематический контроль RTWP может рассматриваться как эффективный инструмент раннего выявления неблагоприятных изменений радиочастотной обстановки.

Актуальность данного исследования определяется необходимостью разработки комплексного подхода к мониторингу и оптимизации RTWP с целью обеспечения стабильной работы сетей мобильной связи. Особое внимание уделяется оценке пороговых значений, при которых влияние интерференции становится критическим для пропускной способности и покрытия соты.

Таким образом, анализ взаимосвязи между уровнем RTWP, показателями качества канала и фактической производительностью сети представляет как научный интерес, так и практическую значимость для повышения надежности и эффективности функционирования мобильных систем связи.

Теоретические основы влияния RTWP на пропускную способность сети

В системах мобильной связи эффективность передачи данных в восходящем канале определяется энергетическим соотношением между полезным сигналом абонента и суммарным уровнем шума и интерференции на входе приемника базовой станции [16]. Показатель RTWP (Received Total Wideband Power) отражает совокупную широкополосную мощность, принимаемую в рабочем диапазоне частот, и тем самым характеризует общий шумовой фон восходящего канала. Связь RTWP и отношения SINR. Качество радиоканала традиционно описывается через отношение сигнал/интерференция+шум:

$$SINR = \frac{P_s}{P_i + P_n} \quad (1)$$

где

P_s — мощность полезного сигнала,

P_i — мощность интерференции,

P_n — тепловой шум приемного тракта.

RTWP, по сути, представляет сумму $P_s + P_i + P_n$, измеряемую на входе приемника. При увеличении доли P_i общий уровень RTWP возрастает, однако полезная составляющая при этом не увеличивается пропорционально. В результате снижается SINR, что напрямую влияет на эффективность модуляции и кодирования.

Следует подчеркнуть, что влияние RTWP носит нелинейный характер. Даже увеличение шумовой мощности на 3 дБ означает удвоение энергетической составляющей помех, что приводит к заметному снижению запаса устойчивости канала.

Пропускная способность и зависимость от SINR. Теоретический предел скорости передачи данных определяется формулой Шеннона:

$$C = B \cdot \log_2(1 + SINR) \quad (2)$$

где

C — пропускная способность,

B — ширина полосы частот.

Из данного выражения следует, что уменьшение SINR приводит к логарифмическому снижению скорости передачи. Однако в реальных сетях влияние оказывается ещё более выраженным из-за дискретного характера адаптивной модуляции и кодирования (AMC).

В LTE при высоком SINR используются схемы 64QAM или 16QAM с высоким кодовым коэффициентом. При ухудшении условий система переходит к QPSK с более сильным кодированием. Такой переход уменьшает спектральную эффективность в несколько раз. Следовательно, рост RTWP опосредованно снижает максимально достижимый индекс MCS, что приводит к падению фактической пропускной способности.

Влияние RTWP на управление мощностью. Восходящий канал LTE и UMTS использует механизм замкнутого регулирования мощности. Абонентское устройство увеличивает передаваемую мощность для компенсации потерь в канале и поддержания требуемого уровня сигнала на стороне базовой станции.

При повышенном RTWP базовая станция воспринимает полезный сигнал как менее различимый на фоне шума. В ответ система управления мощностью увеличивает передаваемую мощность UE. Это приводит к росту энергопотребления терминала; ускоренному разряду аккумулятора; дополнительной нагрузке на усилители; увеличению внутрисотовой интерференции. Таким образом, формируется отрицательная обратная связь: рост RTWP вызывает увеличение мощности передачи абонентов, что дополнительно повышает общий уровень шума в соте.

Энергетический бюджет восходящего канала. Энергетический баланс (Uplink Budget) можно представить в упрощённом виде:

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{path} + G_{ant} - L_{misc} \quad (3)$$

где

P_{RX} — принимаемая мощность,

P_{TX} — передаваемая мощность UE,

L_{path} — потери распространения,

G_{ant} — усиление антенны,

L_{misc} — дополнительные потери.

При фиксированной максимальной мощности UE увеличение RTWP уменьшает допустимый запас по уровню сигнала. В результате абоненты, находящиеся на границе соты, теряют возможность поддерживать устойчивое соединение. Это проявляется в уменьшении радиуса покрытия — так называемом «дыхании соты».

Если RTWP возрастает на 20 дБ, эквивалентный запас по дальности связи сокращается в несколько раз, поскольку потери распространения увеличиваются логарифмически с расстоянием. Ограничения приемного тракта и динамический диапазон. При значительном повышении RTWP может происходить частичное насыщение малошумящего усилителя (LNA) и последующих каскадов

приемника. В этом случае ухудшается линейность тракта; возрастает интермодуляционная составляющая; снижается эффективность цифровой обработки сигнала.

Даже при наличии алгоритмов пространственной фильтрации (например, IRC) перегруженный входной тракт не позволяет корректно выделить полезную составляющую. Это определяет практический предел компенсационных методов.

Критические пороговые значения. Эксплуатационная практика показывает, что для макросотовых конфигураций номинальный уровень RTWP находится в диапазоне $-105...-100$ дБм. Повышение до -90 дБм уже сопровождается заметным ухудшением KPI. При достижении уровней порядка -85 дБм и выше наблюдается: существенное снижение индекса MCS; рост BLER; резкое падение скорости восходящей передачи.

При дальнейшем увеличении до -75 дБм система фактически переходит в режим деградации, при котором программные методы компенсации оказываются недостаточными.

Таким образом, RTWP является фундаментальным параметром, определяющим энергетический баланс восходящего канала; уровень SINR; выбор схемы модуляции и кодирования; радиус покрытия соты; фактическую пропускную способность сети.

Контроль и оптимизация RTWP позволяют воздействовать не только на локальные показатели качества, но и на общую емкость радиосети. Теоретический анализ подтверждает, что даже относительно небольшое увеличение широкополосного уровня шума приводит к каскадному ухудшению характеристик канала, что обосновывает необходимость его постоянного мониторинга и своевременного реагирования.

Методика экспериментального исследования

Экспериментальное исследование было направлено на выявление количественной зависимости между уровнем RTWP и деградацией ключевых показателей радиосети. Для этого применялся комплексный подход, включающий анализ статистики базовой станции, активные измерения на стороне абонентского оборудования и инструментальный радиомониторинг.

Исследование проводилось в два этапа: период повышенного уровня интерференции; период после устранения источника помехи.

Такое разделение позволило сопоставить параметры сети в условиях ухудшенного и нормализованного радиоэфира при неизменной конфигурации оборудования.

На рисунке 1 представлена временная зависимость среднего значения показателя RTWP, характеризующего суммарную мощность принимаемого широкополосного сигнала в восходящем канале базовой станции. Данный параметр является важным индикатором уровня интерференции и загрузки радиоканала в системах мобильной связи. График демонстрирует изменения показателя Mean RTWP для нескольких секторных ячеек базовой станции в течение наблюдаемого интервала времени. Различные цветные кривые отражают значения параметра для отдельных секторов, что позволяет провести сравнительный анализ их радиочастотной обстановки. По оси абсцисс отложено время измерений, а по оси ординат – уровень принимаемой мощности сигнала, выраженный в децибелах относительно милливатта (dBm). Анализ графика показывает периодические колебания значения RTWP, что может быть связано с изменением количества активных пользовательских устройств, динамикой сетевой нагрузки и воздействием межсотовой интерференции. Повышение уровня RTWP обычно свидетельствует об увеличении суммарной мощности принимаемых сигналов, что может быть вызвано ростом трафика или появлением дополнительных источников помех. Снижение данного показателя, напротив, указывает на уменьшение активности абонентов или улучшение радиочастотных условий.

Полученные данные могут использоваться для оценки эффективности работы базовой станции, выявления перегрузок радиointерфейса и оптимизации параметров сети. Мониторинг показателя RTWP является важным элементом управления качеством обслуживания в современных системах мобильной связи, включая сети третьего и последующих поколений.

Долгосрочный мониторинг состояния сектора. Для анализа устойчивых изменений радиоэфира проводился многодневный мониторинг двух секторов базовой станции.

Временная динамика показателя Mean RTWP, отражающего суммарную мощность принимаемого широкополосного сигнала в восходящем канале базовой станции мобильной сети. Данный параметр широко используется для оценки уровня радиочастотного шума, интерференции и общей загрузки радиointерфейса.

Результаты сравнительного анализа и обсуждение результатов

Сравнительный анализ проводился на основе данных, полученных в два различных периода функционирования сети: при наличии устойчивой интерференции и после её устранения. Для обеспечения корректности выводов использовались средние значения параметров за сопоставимые временные интервалы при сходной нагрузке абонентов.

Исследование показало, что изменение уровня RTWP оказывает комплексное влияние не только на энергетические параметры канала, но и на поведение системы адаптации модуляции, управление мощностью и фактическую ёмкость соты.

Изменение энергетических параметров. В таблице 1 представлены усреднённые значения основных радиопараметров до и после устранения источника помехи.

Таблица 1 — Энергетические показатели восходящего канала

Параметр	Состояние при интерференции	Состояние после устранения	Изменение
Средний RTWP	-82...-75 дБм	-105...-98 дБм	Снижение на 20–25 дБ
Средний SINR	0...3 дБ	12...18 дБ	Рост более чем в 4 раза
Передаваемая мощность UE	Близка к максимальной	Адаптивная	Снижение нагрузки
Запас по Uplink Budget	Минимальный	Нормативный	Восстановление

Снижение RTWP более чем на 20 дБ привело к значительному росту SINR. В логарифмической шкале подобное изменение означает многократное улучшение энергетического соотношения сигнал/шум.

Влияние на модуляцию и пропускную способность. Изменение энергетического баланса отразилось на выборе схем модуляции и кодирования.

Таблица 2 — Параметры пользовательской передачи данных

Показатель	Интерференция	Чистый эфир	Относительное изменение
Схема модуляции	QPSK	16QAM/ 64QAM	Повышение спектральной эффективности
Индекс MCS	Низкий	Средний/ Высокий	Увеличение
Скорость UL	0.1–0.2 Мбит/с	3–5 Мбит/с	Рост в 15–30 раз
BLER	15–20 %	< 1 %	Существенное снижение
Задержка передачи	Повышенная	Стабильная	Нормализация

При повышенном RTWP система переходила к наиболее устойчивой, но низкоэффективной модуляции QPSK. После устранения интерференции стало возможным использование 16QAM и 64QAM, что обеспечило кратный рост пропускной способности.

Особенно показательным является снижение BLER: уменьшение ошибок передачи свидетельствует о восстановлении стабильности радиоканала.

Изменение зоны покрытия. Рост RTWP в период интерференции сопровождался ограничением радиуса обслуживания. Абоненты на границе соты вынуждены были работать на максимальной мощности, что не всегда обеспечивало устойчивое соединение.

Таблица 3 — Влияние на радиус покрытия

Параметр	При повышенном RTWP	После нормализации
Радиус уверенного UL	Существенно сокращён	Восстановлен
Доля абонентов на границе	Высокая вероятность обрыва	Стабильная связь
Повторные передачи (HARQ)	Частые	Редкие

Расчётный анализ энергетического бюджета показал, что снижение шумового уровня на 20 дБ эквивалентно значительному увеличению допустимых потерь распространения, что практически означает расширение зоны покрытия в 2–3 раза по площади.

Системный эффект для соты. Помимо индивидуальных пользовательских параметров были проанализированы показатели на уровне сектора.

Таблица 4 — KPI сектора

KPI	До устранения	После устранения	Тенденция
Средний UL Throughput сектора	Низкий	Увеличился в несколько раз	Положительная
Доступность сервиса	Снижена	Нормализована	Восстановление
Уровень повторных подключений	Повышенный	Стабильный	Снижение
Нагрузка на усилители	Максимальная	Номинальная	Снижение

Комплексный анализ показал, что интерференция влияет не только на скорость передачи данных, но и на устойчивость соединений и общую ёмкость сектора.

Дополнительное исследование динамики. Для подтверждения результатов были сопоставлены временные изменения RTWP с динамикой SINR и Throughput. Установлена выраженная обратная зависимость: при росте RTWP наблюдается линейное снижение SINR и нелинейное падение пропускной способности.

Корреляционный анализ показал высокую степень взаимосвязи между RTWP и скоростью восходящей передачи, что подтверждает фундаментальную роль широкополосного шумового уровня в формировании ёмкости сети.

Проведённое исследование позволяет сделать следующие обобщения:

1. Повышение RTWP более чем на 15–20 дБ приводит к системной деградации параметров сети.
2. Основной негативный эффект проявляется в снижении SINR и переходе к низкоэффективным схемам модуляции.
3. Алгоритмические методы частично компенсируют помеху, однако при высоком уровне шума их возможности ограничены.
4. Физическое устранение источника интерференции обеспечивает восстановление пропускной способности, радиуса покрытия и стабильности соединений.

Таким образом, результаты сравнительного анализа подтверждают прямую зависимость между уровнем RTWP и фактической производительностью сетей мобильной связи, что подчёркивает необходимость постоянного мониторинга данного параметра и оперативного реагирования при его аномальном росте.

Алгоритм IRC и предел его эффективности

Алгоритм Interference Rejection Combining (IRC) применяется в приёмных трактах базовых станций мобильной связи для повышения устойчивости восходящего канала в условиях интерференции. Его основная задача заключается в пространственно-временной фильтрации входного сигнала с использованием информации о канале и статистике шума. В отличие от простого суммирования сигналов с антенн IRC выполняет взвешенную обработку, направленную на подавление помеховых составляющих.

Принцип работы IRC. В многоантенной системе входной сигнал можно представить в виде векторной модели:

$$y = hs + i + n \quad (4)$$

где
 h — вектор канала,
 s — полезный сигнал,
 i — интерференция,
 n — шум.

Алгоритм формирует весовой вектор:

$$w_{IRC} = R_{i+n}^{-1} h \quad (5)$$

где R_{i+n} — ковариационная матрица шума и помех.

Полученный вектор используется для линейной комбинации сигналов с антенн таким образом, чтобы усилить полезную компоненту и минимизировать вклад интерференции. Фактически система формирует «нулевые направления» в сторону источников шума, снижая их влияние на принимаемый сигнал.

Практическая эффективность алгоритма. В условиях умеренной интерференции IRC демонстрирует значительный выигрыш по SINR (обычно 2–6 дБ в зависимости от конфигурации MIMO). Это позволяет: удерживать более высокий индекс MCS; снижать BLER; поддерживать стабильную скорость передачи.

Однако эффективность метода зависит от нескольких факторов: Корректность оценки ковариационной матрицы. При быстроменяющихся условиях точность оценки снижается. Количество антенн. Чем больше приёмных элементов, тем выше потенциал пространственного подавления. Характер помехи. Направленные или узкополосные сигналы подавляются эффективнее, чем широкополосные.

Пределы применимости IRC. Несмотря на высокую математическую эффективность, алгоритм имеет физические ограничения. 1. Динамический диапазон приёмника. При значительном росте RTWP (например, до –75 дБм) входные каскады могут приближаться к режиму насыщения. В этом случае цифровая обработка уже не способна компенсировать искажения. 2. Широкополосная интерференция. Если источник излучает сигнал по всей полосе частот, ковариационная матрица становится близкой к диагональной, и формирование пространственных «нулей» теряет эффективность. 3. Высокая корреляция помех. При совпадении спектральных и временных характеристик помехи с полезным сигналом алгоритм теряет селективность. 4. Ограниченность вычислительных ресурсов. Инверсия ковариационной матрицы требует вычислительных затрат, что может ограничивать частоту обновления параметров.

Экспериментальные данные показали, что при превышении RTWP порога порядка –85 дБм выигрыш от IRC становится недостаточным для сохранения высокой пропускной способности. При дальнейшем росте шума алгоритм продолжает работать, но его вклад в улучшение SINR становится несущественным по сравнению с общим уровнем перегрузки тракта.

Таблица 5 — Сравнительный эффект при разных уровнях RTWP

Уровень RTWP	Состояние канала	Эффект IRC
–105...–95 дБм	Номинальный	Повышение устойчивости
–95...–85 дБм	Умеренная помеха	Частичная компенсация
–85...–75 дБм	Критическая зона	Ограниченный выигрыш
Выше –75 дБм	Перегрузка тракта	Практически неэффективен

Таким образом, IRC следует рассматривать как инструмент оптимизации в пределах допустимого шумового диапазона, а не как универсальное средство устранения сильной интерференции.

Блок-схема работы алгоритма IRC. Ниже приведена концептуальная блок-схема обработки сигнала с применением IRC.

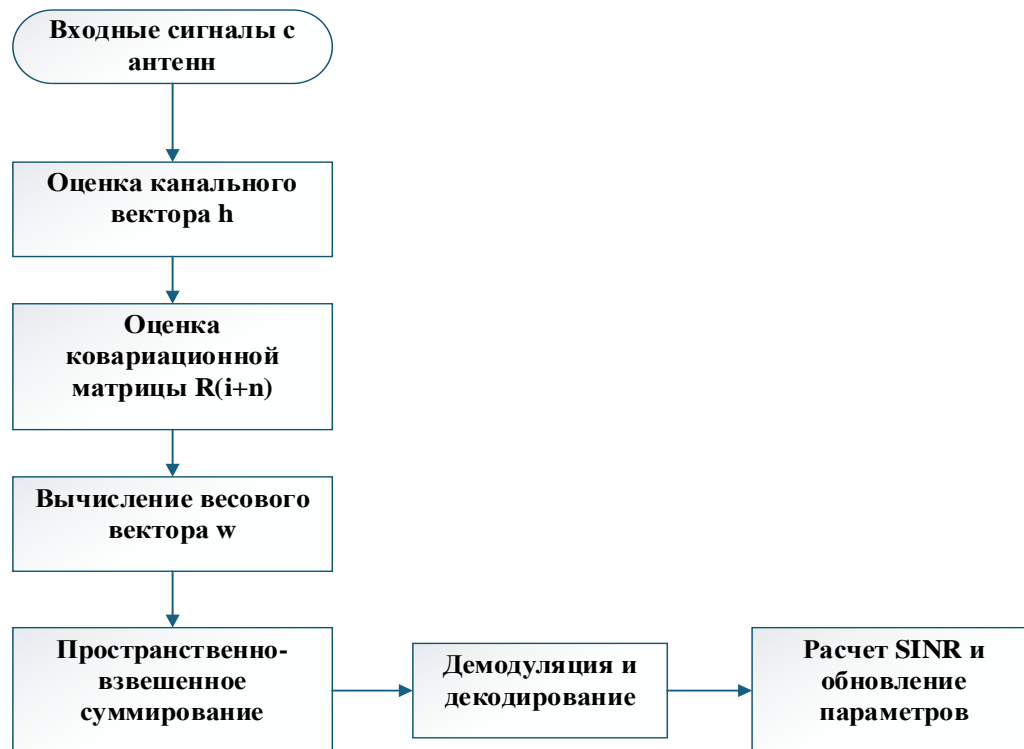


Рисунок 3 – Концептуальная блок-схема обработки сигнала с применением IRC

Анализ показал, что IRC является эффективным инструментом повышения помехоустойчивости при умеренном уровне интерференции. Однако при существенном превышении пороговых значений RTWP его возможности ограничиваются физическими характеристиками приемного тракта.

Следовательно, в условиях устойчиво повышенного широкополосного шума требуется переход от исключительно алгоритмических методов к физическому поиску и устранению источника интерференции. Комплексный подход обеспечивает более стабильную и предсказуемую работу сети по сравнению с попытками компенсировать мощную помеху исключительно средствами цифровой обработки сигнала.

Заключение

Настоящая работа посвящена изучению влияния уровня принимаемой общей широкополосной мощности на производительность восходящего канала связи, в частности на его стабильность и пропускную способность. Исследование выявило корреляцию между уровнем широкополосного шума и качеством радиосвязи. В качестве решения для минимизации рисков снижения качества обслуживания при возникновении помех на ранних стадиях, автор обосновывает внедрение гибридной системы мониторинга. Автор выдвигает гибридную стратегию мониторинга, которая объединяет автоматизированный анализ ключевых показателей эффективности сети с инструментальным радиомониторингом. Таким образом, экспериментальные исследования показывают, что мониторинг RTWP служит наиболее показательным методом для своевременной диагностики качества обслуживания в актуальных беспроводных сетях.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности применения предложенных подходов при эксплуатации и оптимизации радиосетей, что способствует повышению их надёжности, эффективности использования спектра и качества обслуживания абонентов.

Рецензент: Хасанов Дж.Р. – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и цифровой экономики ИЦПТУСИ, МУПТЭПИ.

Литература

1. Петровых В.В. Исследование влияния структуры нейронной сети на параметры прогноза ограниченного по полосе радиотехнического сигнала // ЮУрГУ. - 2016. - С. 73.
2. Саидов Б.Б. Разработка модели мультидиаэлектрической осевой антенны для передачи и приема информации / Б.Б. Саидов, И. Саъдулло, Д.А. Абдурасулов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 3(67). – С. 42-48.
3. Dmitri M., Eduard S., Vyacheslav B., Andrey S., Yevgeni K., and Konstantin S. A Tutorial on Mathematical Modeling of 5G/6G Millimeter Wave and Terahertz Cellular Systems / M. Dmitri, S. Eduard, B. Vyacheslav, S. Andrey, K. Yevgeni, and S. Konstantin // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – P. 1-46.
4. Saidov, B.B. Opto-ultrasonic communication channels / B.B. Saidov, V.F. Telezhkin. // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics. – 2020. – Vol. 20. – no.4. – pp. 55-62.
5. Telezhkin, V. Recognition and Elimination of Anomalies in Information Leakage Channels in Opto-Ultrasonic Communication Channels in Data Streams of Industrial Automated Systems / V. Telezhkin, B. Saidov, A. Ragozin // Proceedings – 2021 International Russian Automation Conference. – 2021. – P. 201-206.
6. Saidov, B.B. Development of Equipment for Experimental Study of Digital Algorithms in Nonstationary Signal Processing Problems / B.B. Saidov, V.F. Telezhkin, N.N. Gudaev [et al.] // Ural Radio Engineering Journal. – 2022. – Vol. 6. – no. 2. – P. 186-204.
7. Sakib, S. A Deep Learning Method for Predictive Channel Assignment in Beyond 5G Networks. / S. Sakib, T. Tazrin, M.M. Fouda, Z.M. Fadlullah and N. Nasser // in *IEEE Network*, – vol. 35. – no. 1. – pp. 266-272.
8. Arfaoui, A. Context-Aware Adaptive Remote Access for IoT Applications / A. Arfaoui, // *IEEE Internet of Things J.*, vol. 7, no. 1, Jan. 2020, pp. 786–99.
9. Fabio D.L. 5G cascaded channel estimation using convolutional neural networks / D.L. Fabio, S. Hugerles, S.R. Oliveira // *Digital Signal Processing Vol. - 126.* – 2022- P. 103483
10. Ning, L. An efficient combined deep neural network based malware detection framework in 5G environment / L. Ning, L. Dan, Sh. Wenbo, V. Pandi, P. Francesco, C. Victor // *Computer Networks. Vol. 189.* - 2021, P. 107932.
11. Telezhkin, V. Recognition and Elimination of Anomalies in Information Leakage Channels in Opto-Ultrasonic Communication Channels in Data Streams of Industrial Automated Systems / V. Telezhkin, B. Saidov A. Ragozin // Proceedings – 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., – 2021. – P. 201-206.
12. Saidov, B. Simulation of ultrasonic sensor at lower ultrasonic range in data transmission / B. Saidov, V. Telezhkin // Proceedings - 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021. – 2021. – P. 703-707.
13. Saidov, B. Transformation of the Amplitude-Modulated Spectrum of a Signal on a Nonlinear Element / B. Saidov V. Telezhkin // Proceedings – 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020. – 2020. – P. 757-761.
14. Саидов, Б. Б. Методы и результаты экспериментально-теоретического исследования систем связи 5G / Б. Б. Саидов, И. Саъдулло, Н. Б. Хусейнзода // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 23-27. – DOI 10.65599/QFAC8409. – EDN MWRMSY.
15. Саидов, Б. Б. Применение нейросетевых методов прогнозирования радиосигналов в интеллектуальных системах связи 5G / Б. Б. Саидов, И. Саъдулло, Н. Б. Хусейнзода // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 28-38. – DOI 10.65599/BCWW3084. – EDN IGVLAE.
16. Telezhkin V. Prediction of signals in control systems based on fuzzy time series / V. Telezhkin, A. Ragozin, B. Saidov // Proceedings – 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021. – 2021. – P. 950–954.

17. Каюмов, М. М. О цифровом портрете текстовой информации, основанном на частотности знаков пунктуации / М. М. Каюмов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 1(45). – С. 20-23. – EDN KZFCVH.

18. Саидов, Б. Б. Разработка модели мультидиэлектрической осевой антенны для передачи и приема информации / Б. Б. Саидов, И. Саъдулло, Д. А. Абдурасулов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 3(67). – С. 42-48. – EDN ZRZMVE.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Саидов Бехруз Бадридинович	Саидов Бехруз Бадридинович	Saidov Behruz Badridinovich
н.и.т.	к.т.н	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: matem.1994@mail.ru		
ORCID: 0000-0002-1200-7096		
TJ	RU	EN
Анварзода Далер Анвар	Анварзода Далер Анвар	Daler Anvarzoda Anvar
н.и.т.	к.т.н	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: daler@ttu.tj		
ORCID: 0000-0003-1102-8140		
TJ	RU	EN
Азизуллоев Фозил Раҳимуллоевич	Азизуллоев Фозил Раҳимуллоевич	Azizulloev Fozil Rahimulloevich
Магистрант	Магистрант	
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: Fozil-8989@mail.ru		
ORCID: 0000-0002-2100-0419		
TJ	RU	EN
Бехбудов Вафочон Тағоймуродович	Бехбудов Вафочон Тағоймуродович	Behbudov Vafojon Tagoymurodovich
Магистрант	Магистрант	Master student
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: Behbudovvafo@yandex.ru		
ORCID: 0000-0003-0506-3396		