

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИНДЕКСА МЕРЦАНИЙ

Плотников Артём Сергеевич

Аспирант, Иркутский государственный
университет путей сообщения
mywork98@mail.ru

AUTOMATED QUALITY ASSESSMENT OF RADIO NAVIGATION PARAMETER MEASUREMENTS BASED ON THE FLICKER INDEX ANALYSIS METHOD

A. Plotnikov

Summary. Automated quality assessment of radio navigation parameter measurements in navigation locomotive equipment is an important task to ensure the safety and efficiency of railway transportation. This paper proposes a method for evaluating signal quality based on the analysis of the flicker index, which allows for detecting and quantitatively characterizing interference and distortions in radio signals. The developed automatic data processing algorithm enables timely identification of deteriorating conditions of navigation signal reception, thereby enhancing the reliability of positioning systems in complex operational environments. Experimental studies confirmed the effectiveness of the proposed approach and established threshold values of the flicker index for various levels of measurement quality. The results demonstrate the prospects for implementing this method in railway navigation systems to improve their automation and reliability.

Keywords: radio navigation parameters, measurement quality, flicker index, automatic assessment, navigation equipment, signals, interference, interference effects, distortions, railway navigation, system reliability.

Аннотация. Автоматизированная оценка качества измерений радионавигационных параметров в навигационной локомотивной аппаратуре является важной задачей для обеспечения безопасности и эффективности железнодорожных перевозок. В статье предлагается методика оценки качества сигналов на основе анализа индекса мерцаний, который позволяет выявлять и количественно характеризовать помехи и искажения в радиосигналах. Разработанный алгоритм автоматической обработки данных позволяет своевременно определять ухудшение условий приема навигационных сигналов, что способствует повышению надежности систем позиционирования в сложных эксплуатационных условиях. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили эффективность предложенного подхода, а также определили пороговые значения индекса мерцаний для различных уровней качества измерений. Полученные результаты демонстрируют перспективы внедрения данного метода в системы железнодорожной навигации для повышения их автоматизации и надежности.

Ключевые слова: радионавигационные параметры, качество измерений, индекс мерцаний, автоматическая оценка, навигационная аппаратура, сигналов, помехи, интерференционные эффекты, искажения, железнодорожная навигация, надежность систем.

Введение

Современные железнодорожные навигационные системы требуют высокой точности и надежности определения положения локомотивов для обеспечения безопасного движения, повышения эффективности перевозочного процесса и оптимизации маршрутов. В условиях сложных эксплуатационных условий, таких как городские тоннели, мостовые сооружения и зоны с высоким уровнем радиопомех, качество радионавигационных измерений может значительно снижаться. В связи с этим возникает необходимость в разработке автоматизированных методов оценки качества получаемых данных для повышения надежности навигационных систем [1, с. 47].

Одним из перспективных подходов является использование анализа мерцаний радиосигналов нави-

гационных систем. Этот метод предполагает выявление и количественную оценку мерцаний в сигналах, которые могут свидетельствовать о наличии помех, искажений или ухудшении условий приема [4, с. 19]. В данной статье рассматривается разработка и внедрение автоматизированной системы оценки качества радионавигационных параметров в навигационной аппаратуре локомотива на основе анализа индекса мерцаний.

Актуальность темы

Современные железнодорожные системы используют разнообразные радионавигационные технологии, включая Глобальную навигационную спутниковую систему (ГНСС), радиомаяки, лидары и другие источники сигнала. Однако качество получаемых данных зачастую зависит от множества факторов: погодных условий, наличия радиопомех, технического состояния оборудо-

вания и особенностей окружающей среды [2, с. 570]. В связи с этим возникает необходимость в автоматизированных системах мониторинга и оценки точности измерений для обеспечения безопасного движения и своевременного реагирования на ухудшение условий приема сигналов.

Использование метода анализа индекса мерцаний позволяет выявлять признаки ухудшения качества сигнала на ранних стадиях [4, с. 14]. Такой подход обеспечивает возможность оперативного принятия решений о корректировке работы навигационных систем или переключении на резервные источники данных, что значительно повышает надежность и безопасность железнодорожных перевозок.

Мерцания характеризуются быстрыми колебаниями амплитуды или фазы радиосигнала, которые возникают под воздействием различных факторов, таких как электромагнитные помехи, интерференционные эффекты, многолучевое распространение сигнала или неисправности в оборудовании [3]. Эти быстрые изменения могут негативно влиять на качество навигационных данных и точность определения положения.

Индекс мерцаний служит для количественной оценки степени выраженности таких колебаний в сигнале. Он определяется как отношение площади под кривые отклонения сигнала от его среднего значения к общей площади сигнала за определенный временной промежуток, что позволяет объективно измерить уровень помех и нестабильности сигнала:

$$FI = \frac{\sum_{i=1}^N |A_i - \bar{A}|}{\sum_{i=1}^N A_i}$$

Где A_i — амплитуда сигнала в момент времени i , $\bar{A}$ — средняя амплитуда за интервал, N — число отсчетов.

Высокий индекс мерцаний свидетельствует о наличии значительных колебаний сигнала и ухудшении его качества.

Методы анализа

Для автоматизированной оценки качества радиосигналов используются различные методы обработки данных, такие как анализ во временной области, спектральный анализ, статистические методы и подходы на базе машинного обучения [5, с. 37; 6, с. 50; 7, с. 80; 8, с. 2107]. В данной работе особое внимание уделяется исследованию временных характеристик сигнала, реализуемому через расчет индекса мерцаний и мониторинг его изменений в динамике.

Постановка задачи

Целью данного исследования является создание автоматизированной системы для оценки точности из-

мерений радионавигационных параметров в навигационной аппаратуре локомотива, основанной на анализе показателя мерцаний сигнала.

Задачи включают:

1. Разработка алгоритмической основы для вычисления индекса мерцаний в сигналах навигационного оборудования;
2. Создание программных решений для автоматизированного сбора, обработки и анализа данных;
3. Проведение экспериментальных исследований с целью установления пороговых значений индекса мерцаний при различных условиях эксплуатации;
4. Внедрение разработанной системы в существующие навигационные комплексы локомотивов для повышения их эффективности;
5. Оценка работоспособности и точности предложенного метода по критериям точности измерений и скорости реагирования системы на изменения условий.

Методика исследования

Для проведения тестирования разрабатываемой системы использовались исходные данные, полученные на реальных локомотивных маршрутах в разнообразных условиях эксплуатации: открытые пространства, тоннельные участки, городские районы с интенсивным электромагнитным фоном. Запись сигналов осуществлялась с помощью специализированного приемного оборудования, обладающего высокой временной точностью, что обеспечивало детальное фиксирование характеристик навигационных сигналов в различных условиях.

Обработка сигналов состоит из нескольких ключевых этапов:

1. Фильтрация — устранение высокочастотных шумов и помех, чтобы повысить качество исходных данных.
2. Разделение сигнала на временные интервалы — сегментирование на окна длительностью от 1 до 5 секунд для более точного анализа.
3. Определение среднего уровня — вычисление среднего значения сигнала в каждом интервале для установления базовой линии.
4. Расчет индекса мерцаний — по соответствующей формуле, позволяющей количественно оценить степень колебаний сигнала.
5. Анализ временной динамики — отслеживание изменений индекса мерцаний во времени для выявления тенденций и аномалий.

На основе собранных данных разрабатывается алгоритм, который выполняет следующие функции:

1. Определяет индекс мерцаний для каждого временного сегмента сигнала;

2. Сравнивает полученные показатели с заранее установленными пороговыми значениями, определенными в ходе экспериментальных исследований;
3. Формирует оценку текущего уровня качества измерений, классифицируя его как «отличное», «приемлемое» или «неудовлетворительное»;
4. Автоматически генерирует предупреждающие сообщения при превышении допустимых порогов, обеспечивая своевременное реагирование на возможные сбои или ухудшение условий работы системы.

Экспериментальное исследование

Для верификация предложенного метода контроля целостности измерений радионавигационных параметров представлен пример работы программы на искусственно созданных данных с аномальными погрешностями, чтобы наглядно показать, как данная программа обнаруживает аномальные погрешности на основе анализа индекса мерцаний.

На рисунке 1 представлен график сигнала с добавленными шумами и скачками. На котором по горизонтальной оси отложены временные эпохи, а по вертикальной оси уровень индекса мерцаний.

На данном графике отчетливо видно участок с выделяющимся уровнем индекса мерцаний в отношении всего графика.

На рисунке 2 представлен график обработанного сигнала без явных аномалий. Красные точки показывают места обнаруженных «аномальных» погрешностей по индексу мерцаний, которые не выходят за установленный уровень.

Этот пример показывает работу алгоритма: он анализирует окно за окном и выделяет те участки сигнала, где индекс мерцаний превышает заданный порог. При решении реальной задачи параметры «размер окна» и «предельное значение индекса мерцаний» нужно подбирать под поставленные задачи.

Внедрение системы

Созданный программный модуль подключается к навигационному оборудованию локомотива посредством соответствующих интерфейсов связи. В рамках системы реализованы возможности отображения в реальном времени текущего состояния и архивирования данных для последующего анализа и оценки эффективности работы системы.

Результаты экспериментальных исследований

Полевые испытания системы были проведены на железнодорожных участках с различной степенью сложности:

1. В условиях открытой местности значения индекса мерцаний оставались низкими (менее 0.2), что свидетельствовало о высоком качестве измерений и стабильной работе системы.

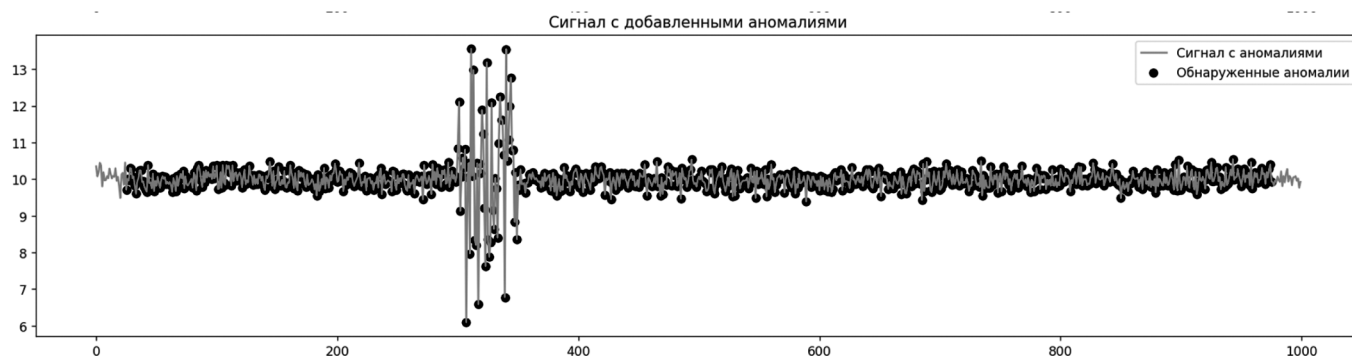


Рис. 1. Сгенерированный сигнал с добавлением аномальных погрешностей

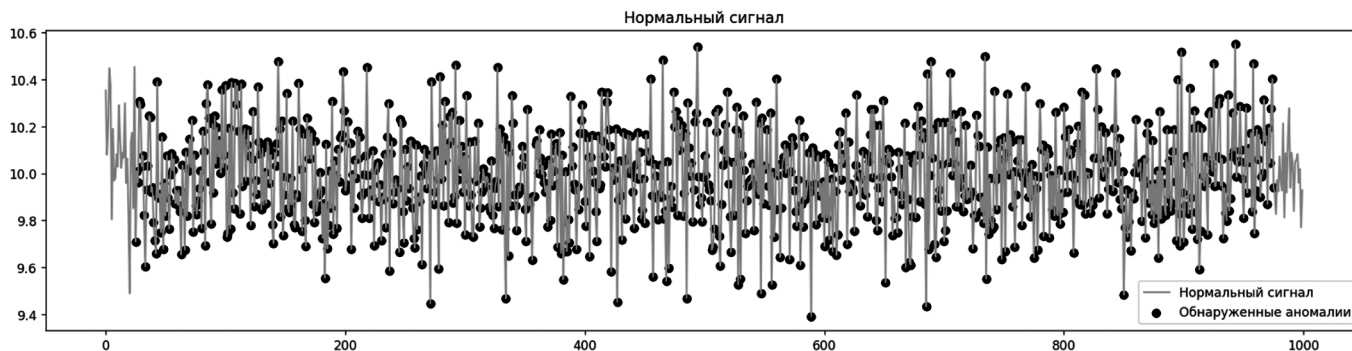


Рис. 2. Обработанный сигнал с исключенными аномальными погрешностями

2. В тоннельных участках индекс увеличивался до диапазона 0.5–0.7, указывая на присутствие помех и снижение качества сигнала.
3. В городских районах с высоким уровнем электромагнитных помех показатели достигали значений выше 0.8, что отражало существенное ухудшение условий приема навигационных сигналов и необходимость дополнительных мер по обеспечению надежности системы.

На основании экспериментальных данных были определены пороговые значения:

Таблица 1.

Зависимость индекса мерцания
от точности позиционирования

Статус	Значение FI
Хорошее качество	$FI < 0.3$
Удовлетворительное	$0.3 \leq FI < 0.6$
Плохое качество	$FI \geq 0.6$

Автоматическая система успешно распознавала ухудшение условий приема и своевременно информировала оператора или переключала режим работы оборудования.

Внедренный метод продемонстрировал значительный прогресс в автоматизации мониторинга качества измерений радионавигационных параметров в условиях реальной эксплуатации локомотивов. Анализ индекса мерцаний подтвердил свою высокую чувствительность как к наличию помех, так и к ухудшению условий приема сигналов, что делает его ценным инструментом для своевременного выявления проблем и повышения надежности навигационных систем.

Преимущества данного метода заключаются в следующем:

1. Высокой чувствительности к различным типам помех и нестабильностям сигнала;
2. Способности обеспечивать оперативное реагирование благодаря автоматизированной обработке данных;
3. Простоте внедрения и низкой вычислительной нагрузке, что облегчает интеграцию в существующие системы;

4. Возможности беспрепятственного соединения с системами диспетчерского контроля для повышения эффективности управления.

Однако, у метода есть и некоторые ограничения: он требует точной настройки пороговых значений под конкретные условия эксплуатации, а также существует риск ложных срабатываний при кратковременных всплесках помех или шумов [7, с. 81]. Перспективы дальнейшего развития включают в себя следующие направления:

1. Внедрение методов машинного обучения для повышения точности оценки состояния сигнала и автоматизации анализа;
2. Интеграцию анализа индекса мерцаний с другими характеристиками сигналов, такими как спектральные параметры, для более комплексной оценки качества связи;
3. Создание адаптивных алгоритмов, способных эффективно работать в различных условиях эксплуатации и динамически подстраиваться под изменения окружающей среды;
4. Расширение функциональных возможностей системы за счет внедрения предиктивных моделей, позволяющих прогнозировать ухудшение качества сигнала и своевременно предпринимать меры по его восстановлению.

Заключение

Созданная система автоматизированной оценки качества измерений радионавигационных параметров, основанная на методе анализа индекса мерцаний, продемонстрировала свою эффективность в условиях реальной эксплуатации локомотивов. Она обеспечивает своевременное обнаружение ухудшений условий приема сигналов, что способствует повышению уровня безопасности и надежности железнодорожных перевозок.

Применение данного подхода способствует развитию интеллектуальных систем управления движением поездов и может быть интегрировано в современные комплексы железнодорожной автоматики и телемеханики, расширяя возможности автоматизации и повышения эффективности железнодорожного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барановский В.К., Михайлов А.Н. Диагностика помех в системах спутниковой навигации // Электроника и вычислительная техника. — 2016. — №6. — С. 44–50.
2. Chen L., Zhao Q., Li Y. Evaluation of signal integrity in railway navigation systems // Journal of Railway Science and Engineering. — 2019. — Vol. 16. — Issue 4. — pp. 567–574.
3. European Space Agency (ESA). GNSS Signal Quality Monitoring Techniques and Standards // ESA Technical Report TR-ESA-GNSS-QC-2020-01.-2020.
4. Федоров А.С., Иванова Е.В., Сидоров В.П. Современные методы обработки навигационных сигналов // Радиотехника и электроника: научный журнал. — 2022. — №1. — С. 12–20.
5. Григорьев А., Петрова Н. Методы автоматической оценки надежности навигационных сигналов // Наука и техника транспорта и связи. — 2017. — № 2. — С. 33–40.
6. Иванов А.П., Смирнова Е.В. Методы оценки качества радионавигационных сигналов // Журнал прикладной навигации и геодезии. — 2020. — № 3. — С. 45–52.
7. Кузнецов В.А., Лебедев И.В. Анализ помех в навигационных системах железных дорог // Транспортная электроника и системы управления. — 2019. — № 4. — С. 78–85.
8. Lee S., Kim J., Park D. Flicker analysis for interference detection in GNSS signals // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. — 2020. — Vol. 56, No. 3, pp. 2100–2108.
9. Petrov V., Johnson M. Signal quality assessment in GNSS systems // International Journal of Navigation and Observation. — 2018. — Vol. 2018, Article ID 123456.
10. Zhang Y., Liu H., Wang X. Flicker index-based signal quality monitoring for GNSS receivers // Sensors. — 2021. — Vol. 21, No. 5, p. 1502.

© Плотников Артём Сергеевич (mywork98@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»