

Алгоритмическое обеспечение измерения величин дефектов железнодорожного пути

В. В. Алексеев¹, П. Г. Королев², Н. В. Орлова³

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹vvaekseev@etu.ru, ²pgkorolev@etu.ru, ³nvorlova@etu.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности организации базы данных контрольных измерений мобильной ИС, обеспечивающей контроль распределенного транспортного объекта. Предложенные алгоритмы анализа данных обеспечивают разделение отклонений результатов измерений на причины их возникновения: изменение метрологических характеристик средств измерений и изменение характеристик дефектов, изменение которых определяет состояние транспортной системы, ее безопасности.

Ключевые слова: распределенные мобильные системы, анализ метрологических характеристик, опорная модель, искусственный интеллект

I. ВВЕДЕНИЕ

Мобильные (бортовые – размещенные на борту средств передвижения, таких как, автомобиль, катер, вертолет, локомотив и др.) измерительные системы (МИС) обладают рядом преимуществ. В первую очередь, это возможность применения дорогостоящих и высокоточных средств измерений (СИ) для контроля важных параметров во многих точках распределенного в пространстве объекта. Они нашли применение в экологических измерениях для контроля природных и техногенных экосистем, технологических для контроля состояния коммуникаций в транспортных системах разного типа, системах безопасности и др.

МИС являются основным элементом системы контроля, который определяет структуру распределенной измерительной системы (РИС), ее информационного обеспечения, дает возможность проводить оперативный контроль, оценку состояния, анализ и принятие решений в реальном времени. [1]

МИС производят измерения информативных параметров объекта (физических величин) в заданных точках, находящихся на заданном маршруте, в заданное время. Результаты измерений передаются в реальном времени для анализа и обработки в стационарные ИИС и центральную информационную систему (ЦИС). В зависимости от структуры объекта и решаемых задач определяется структура РИС, ее программного обеспечения. [1, 2]

Рассмотрим вопросы реализации РИС, ее программного и метрологического обеспечения на

примере системы контроля железнодорожного полотна на линейных участках железной дороги региона.

II. СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Структура РИС определяется структурой контролируемого объекта и включает ЦИС (сервер диспетчера – управления), множество стационарных – стационарных ИИС и передвижных (мобильных) ИИС (МИС) размещенных на борту локомотивов, работающих на маршрутах в данном регионе.

В ЦИС накапливается множество результатов измерений (база данных измерений), поступающих от стационарных и мобильных ИИС.

Допустим, что в системе работают $m=1, M$ МИС, каждая из которых размещена на M локомотивах. МИС производят контрольные измерения величины дефектов (заданной физической величины) $h(m, l, d, t)$ на каждом линейном участке $l=1, L$ маршрута движения, находящихся в определенных точках дистанции $d=1, D$ линейного участка в заданное время t . Место нахождения дефектов и их величина определено опорной моделью линейного участка, если дефект был обнаружен раньше или регистрируется МИС как результат измерения дистанции от начала линейного участка. Таким образом, в базе данных ЦИС накапливаются результаты контрольных измерений всех МИС во всех точках маршрута движения локомотива, в которых обнаружены дефекты. [3]

Для создания системы анализа необходимо определить структуру формируемых БД.

В качестве базового выделим период времени, за который все МИС пройдут свой маршрут и проведут измерения во всех точках как $TD_i = T_i - T_{i-1}$, где T_{i-1} – начало i -ого периода измерений, T_i – его окончание (начало $i+1$ -ого периода измерений). Работа системы анализа начинается с первого периода – $TD_1 = T_1 - T_0$ (где T_0 – момент времени установления нового значения опорной величины контролируемого параметра) и может осуществляться до текущего – TD_T .

В результате работы РИС формируется база данных контрольных измерения (БДКИ) $H = \{h(m, l, d, t)\}$, которая хранит результаты всех измерений всех МИС для каждого периода TD_i . Для анализа выделим; подмножества

результатов измерений m -ой МСИ – HmD ; подмножества результатов измерений значения дефекта в заданной точке дистанции всеми МИС – $HldDTi$; подмножество результатов измерений значения дефекта в заданной точке d , m -ой МИС за время анализа от $TD1$ до TDT – $HmldT$ [4]

В процессе работы системы изменяются не только характеристики контролируемого объекта (величины дефектов железнодорожного полотна), а так же метрологические характеристики (МХ) каналов МИС. Результаты контрольных измерений содержат значения обеих составляющих этих изменений. Задачей анализа является, используя статистические методы обработки результатов контрольных измерений и логику организации БД выделить эти составляющие с целью коррекции МХ средств измерений МИС, повышения достоверности обнаружения и точности измерения величины дефектов.

Каждый дефект характеризуется информативным параметром, контролируемой физической величиной. Следовательно, БД контрольных измерений содержит базу результатов измерений физических величин, характеризующих состояние распределенного объекта. [5]

III. ОПОРНАЯ МОДЕЛЬ

С целью решения задачи разделения изменения МХ СИ и значений величины дефектов введем понятие опорной модели объекта (ОМО). Опорная модель представляет собой базу данных, содержащую значения контролируемых информативных физических величин, отражающих состояние объекта. На начальном этапе работы системы ОМО содержит известную на этот момент информацию – начальные значения значений физических величин (ФВ) – $Ho = \{ho(l, d)\}$. Эти значения являются опорными (образцовыми) при анализе результатов измерений. Они определяются на основе априорной информации или в результате измерений высокоточными методами и средствами [6].

Анализу подвергаются значения отклонения результатов измерения $h(m, l, d, t)$ относительно опорного значения $ho(l, d)$ для разных подмножеств результатов контрольных измерений

$$\theta = h(m, l, d, t) - ho(l, d). \quad (1)$$

Результат измерения отклонения значения ФВ от опорного содержит значение изменения как самой ФВ, так и МХ СИ. С целью разделения этих величин представим множество результатов всех измерений в виде ряда подмножеств, приведенных (описанных) выше и отражающих специфику измерений.

Полная база данных – $H = \{h(m, l, d, t)\}$, где $m = \text{var}$ ($m=1, M$), $l = \text{var}$ ($l=1, L$), $d = \text{var}$ ($d=1, D$), $t = \text{var}$ ($t=TD1, TDT$).

Подмножество результатов контрольных измерений m -ой МИС во всех точках d , на l -ом участке, за весь период времени контрольных измерений $TD1$ до TDT – $Hm = \{h(m, l, d, t)\}$, где $m = \text{const}$, $l = \text{const}$, $d = \text{var}$, $t = \text{var}$.

Подмножество результатов контрольных измерений m -ой МИС во всех точках $d=1, D$, на l -ом участке, за время $TDi - HmD = \{h(m, l, d, t)\}$, где $m = \text{const}$, $l = \text{const}$, $d = \text{var}$, $t = \text{const}$.

Подмножество результатов контрольных измерений в заданной точке d , на l -ом участке, m -ой МИС за весь период времени контрольных измерений $TD1$ до TDT – $HmldT = \{h(m, l, d, t)\}$, где $m = \text{const}$, $l = \text{const}$, $d = \text{const}$, $t = \text{var}$.

Подмножество результатов контрольных измерений в заданной точке d , на l -ом участке, всеми МИС за период времени $TDi - HldDTi = \{h(m, l, d, t)\}$, где $m = \text{var}$, $l = \text{const}$, $d = \text{const}$, $t = \text{var}$.

Таким образом, из полной БД можно выделить множества, обеспечивающие определение тех или иных статистических характеристик распределенного объекта, их изменение или характеристики СИ.

Указанная организация БД контрольных измерений позволяет вычислить значение отклонения (1) для любой информативной точки распределенного объекта, любой МИС в любой момент времени. Значение отклонения результата измерения от его опорной величины носит случайный характер. Появление систематической составляющей (тренд) говорит об изменении значения контролируемого дефекта (ЗКД) или об изменении МХ МИС. [7]

IV. АНАЛИЗИРУЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Алгоритм идентификации АИ1: Анализ всех отклонений результатов измерений на линейном участке МИС за один проезд (на множестве HmD):

Начальные условия.

Определение СКО СИ – $\sigma_{СИ}$ как требование технического задания к реализации МИС.

Вычисление МО – $M\theta_{ml} (HmD)$.

Вычисление СКО $\sigma\theta_{ml} = D\theta_{ml}/2(HmD)$.

Анализ презентабельности выборки.

Если $\sigma\theta_{ml} < \sigma_{СИ}$ выборка презентабельная, может быть использована для анализа характеристик результатов измерений; если нет, необходимо увеличить выборку (добавить еще один проезд) или провести дополнительный анализ с выявлением «промахов».

Алгоритм анализа:

- если МО отклонений $M\theta_{ml}$ больше порога $k\sigma_{СИ}$ ($M\theta_{ml} > k\sigma_{СИ}$), возможны две причины: смещение всех результатов измерений (изменение МХ СИ); изменение одного или нескольких результатов измерений значений ФВ (увеличение дефекта). Для разделения причины проведем проверку на «промах» - большее отклонение:
- если значение ФВ $hd > M\theta_{ml} + k\sigma_{СИ}$, значение отклонения ФВ от опорного большое ($h(m, l, d, t) > ho(l, d)$) – вероятно увеличение дефекта (запомнить для дальнейшего анализа), результат P1-1;

- если $hd < M\theta ml + k\sigma CI$ – дефект не изменил своих характеристик; возможно изменение $MX CI$, результат P1-2;
- если $M\theta ml < k\sigma CI$ – существенных отклонений от опорной модели нет.

АИ2: Анализ отклонений результатов измерений заданного дефекта на линейном участке всеми МИС за один проезд (на множестве $HldTDi$) проверка и подтверждение результата P1-1:

Определение значения неопределенности результатов измерений как требование технического задания – бРИ.

Вычисление $MO M\theta ld (HldTDi)$.

Вычисление СКО в соответствии с алгоритмом A2 $D\theta ld - \sigma\theta ld = D\theta ld1/2(HldTDi)$.

Анализ презентабельности выборки.

Если $\sigma\theta ld < \sigma RI$ выборка презентабельная, может быть использована для анализа характеристик результатов измерений; если нет, необходимо увеличить выборку (добавить еще один проезд) или провести дополнительный анализ с выявлением «промахов».

Алгоритм анализа:

- если $MO M\theta ld$ больше порога $k\sigma RI$ ($M\theta ld > k\sigma RI$), возможны две причины: смещение всех результатов измерений (всех МИС в заданной точке) связано с увеличением дефекта (изменением результатов измерений значений ФВ $h(l,d,t) > h_0(l,d)$) или с изменением $MX CI$. Второе утверждение маловероятно т.к. предполагает изменение MX многих или всех CI МИС. Первое наиболее вероятно т.к. подтверждает факт регистрации всеми или большинством МИС изменения значения контролируемого дефекта (физической величины) – подтверждается результат P1-1 алгоритма АИ1.

Если $MO M\theta ld$ меньше порога $k\sigma RI$ ($M\theta ld < k\sigma RI$), результаты измерений всеми МИС не подтверждают изменение дефекта. Результат выявления изменений дефекта P1-1 алгоритма АИ1 не подтверждается.

АИ3: Анализ отклонений результатов измерений заданного дефекта на линейном участке заданной МИС за все проезды (на множестве $HmldT$) проверка и подтверждение результата P1-2:

Начальные условия.

Определение СКО $CI - \sigma CI$ как требование технического задания к реализации МИС.

Вычисление $MO M\theta mld (HmldT)$.

Вычисление СКО $\sigma\theta mld = D\theta mld1/2(HmldT)$.

Анализ репрезентативности выборки.

Если $\sigma\theta mld < \sigma CI$ выборка репрезентативная, может быть использована для анализа характеристик результатов измерений; если нет, необходимо увеличить выборку

(добавить еще один проезд) или провести дополнительный анализ с выявлением «промахов».

Алгоритм анализа:

- если $MO M\theta mld$ больше порога $k\sigma CI$ ($M\theta mld > k\sigma CI$), подтверждается гипотеза об отклонении $MX CI$ P1-2 алгоритма АИ1, т.к. другими МИС факт изменения дефекта не подтвержден – необходимо провести работы по улучшению $MX CI$;
- если $MO M\theta mld$ меньше порога $k\sigma CI$ ($M\theta mld < k\sigma CI$), анализируемый результат является незначительным и из дальнейшего рассмотрения исключается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассмотренная структура БД контрольных измерений, применение опорной модели объекта (линейного участка железнодорожного полотна), обеспечивающей возможность вычисления приращений результатов измерений в реальном времени, позволили разработать алгоритмы анализа, обеспечивающие разделение источников отклонения и увеличивающие вероятность обнаружения дефектов, а также выявить необходимость метрологической поверки CI МИС с целью обеспечения требуемой точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Алексеев В.В., Королев П.Г., Куракина Н.И., Орлова Н.В. Информационно-измерительные и управляющие системы мониторинга состояния распределенных технических и природных объектов // Приборы. 2009. №10. С. 28-42.
- [2] Алексеев В.В., Боронахин А.М., Калякин И.В., Коновалова В.С., Подгорная Л.Н. Измерение характеристик железнодорожного полотна с помощью измерительной системы, построенной на базе микро механических акселерометров // Приборы, вып. №12 (138), 2011. С. 22–29.
- [3] Концепция построения системы динамического мониторинга рельсового пути. /В.В.Алексеев, П.Г. Королев, Л.Д. Ларионов Д.Ю., М.Н. Шилов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2014. №10, с. 45-49.
- [4] Оценка состояния железнодорожного пути с применением геоинформационной технологии / В.В. Алексеев, П.Г. Королев, Н.В. Орлова, А.А. Минина и [др.] СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. 160 с.
- [5] Алексеев В.В. Бортовая информационно-измерительная система оценки состояния железнодорожного пути. Метрологическое сопровождение / В.В. Алексеев, А.М. Боронахин, П.Г. Королев, Н.В. Орлова // XXII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2019). Санкт-Петербург. 23–25 мая 2019, СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 21-24. DOI: 10.1109/SCM.2019.8903884
- [6] Опорная модель линейного участка железнодорожного полотна / В.В. Алексеев, Н.В. Орлова, Е.Н. Седунова // Тез. докл. XIX Между. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2018), Том 2, СПб., май 2018 / СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб, 2018. С. 256–259. DOI:10.1109/SCM.2017.7970657
- [7] Алексеев В.В. Анализ метрологических характеристик средств измерения распределенной мобильной измерительной системы на основе опорной модели объекта / В.В. Алексеев, П.Г. Королев, Н.В. Орлова и [др.] // XXIII Межд. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2020). Санкт-Петербург. 27–29 мая 2020 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 79-82 DOI: 10.1109 / SCM50615.2020.9198766