

Обоснование необходимости составления расписания работы измерительной системы мониторинга железнодорожного полотна

Н. В. Баракова¹, А. А. Ломаченко², С. В. Романцов³, Н. В. Романцова⁴

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)

¹barakova.natalia@mail.ru, ²mskontesa@yandex.ru, ³romantsov89@gmail.com, ⁴nvromantsova@mail.ru

Аннотация. Доклад посвящен анализу погрешностей датирования, возникающих при опросе датчиков измерительной системы мониторинга железнодорожного полотна, и необходимости уменьшения погрешности датирования при помощи составления расписания опроса измерительных каналов.

Ключевые слова: погрешность датирования; время сдвига; система мониторинга железнодорожного полотна; расписание работы измерительной системы

I. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Интеллектуальная информационно-измерительная система комплексной безопасности участка обращения локомотива содержит измерительную систему мониторинга железнодорожного полотна (ИСЖД). ИСЖД предназначена для определения неровностей рельсовых нитей таких, как скол, стык, стрелка, просадка (коридорная и купейная), волнообразный износ, смятие и т.д. [1, 2].

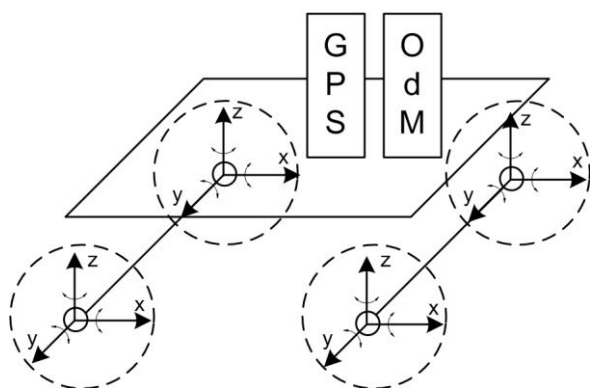


Рис. 1. Расположение датчиков измерительной системы мониторинга железнодорожного полотна

На основе измерений дефектов выбирается скоростной режим движения железнодорожных составов, осуществляется прогнозирование и предотвращение аварийных ситуаций, оценивается качество проведенных ремонтных работ. ИСЖД располагается на

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации НШ-4165.2018.8.

путеизмерительной тележке (рис. 1) или на регулярно курсирующем вагоне.

Для определения дефектов путеизмерительной тележки на буксы устанавливают датчики, обеспечивающие измерение линейного ускорения и угла поворота по трем осям (x, y, z), также устанавливают магнитометр. ИСЖД содержит одометр и устройство GPS для позиционирования измерительной системы и дополнительного контроля географического положения.

Современные датчики измерения линейного ускорения по трем осям выполняются в одном корпусе, обращения к измеренным данным выполняется в одну команду, результатом которой является массив из трех чисел. Датчики измерения угла поворота на основе гироскопа, также выдают массив из трех чисел для осей x, y, z. Таким образом, на каждой буксе путеизмерительной тележки располагается трехканальный измерительный модуль, одометр обозначают одноканальным измерительным модулем. В случае использования ИСЖД расположенной на регулярно курсирующем вагоне, измерительная система будет включать в себя восемь трехканальных измерительных модулей и одометр с устройством GPS.

II. РАСПИСАНИЕ РАБОТА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Определение протяженного дефекта (просадка, волнообразный износ и т.д.) требует выполнения косвенных измерений. Измерительная система всегда имеет требования по метрологическим характеристикам. Величина погрешности результатов косвенных измерений зависит от моментов времени проведения прямых измерений изменяющихся величин (рис. 2). Результаты косвенных измерений содержат погрешности, накопленные на всех этапах получения и обработки прямых измерений:

$$\Delta\varphi = \varphi^*(f_1(t_0 + dt_l), f_2(t_0 + dt_m), f_3(t_0 + dt_k)) - \varphi(f_1(t_0), f_2(t_0), f_3(t_0)),$$

где $\varphi^*(f_1(t_0 + dt_l), f_2(t_0 + dt_m), f_3(t_0 + dt_k))$ – оценка значения величины $\varphi(f_1(t_0), f_2(t_0), f_3(t_0))$, полученная

при помощи измерительной системы, $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f_3(t)$ – изменяющиеся величины, dt – время сдвига начала измерения относительно начала кадра, l , k , m – очередность запуска измерительного канала, $\Delta t_{\text{и}}$ – время кадра измерительного эксперимента.

Уменьшить погрешность датирования, возможно назначая задания измерительного эксперимента, предназначенные для получения одного результата косвенного измерения, на один номер такта запуска опроса измерительного канала. В противном случае интервалы времени между измерениями, выполненными для расчета одной величины, могут оказаться равными периоду опроса каналов.

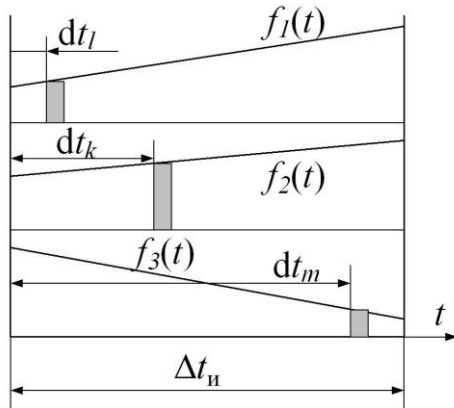


Рис. 2. Влияние очередности опроса каналов на результат косвенных измерений в многоканальных измерительных системах

Наличие косвенных измерений и требования к метрологическим характеристикам измерительной системы приводят к необходимости составления расписания работы. Задача составления расписания, в общем случае, является NP-полной задачей [3], которая решается оптимальным образом по выбранному критерию с помощью полного перебора всех возможных вариантов. Квазиоптимальные алгоритмы сокращают время решения задачи, но не гарантируют нахождение оптимального решения по выбранному критерию. Для того что задача составления расписания имела решение число тактов измерительного эксперимента должно быть кратно степени двойки [4].

Входными данными для формирования расписания работы измерительной системы является задание на измерительный эксперимент состоящее из множества $S\{US_j, UF_j, Dj, \delta_j, t_j, R_j, \dots, \tau_j, f_j, \dots, \Delta_j, \dots, Kos_j\}$, где вид представления – физический носитель US_j , измеряемый параметр UF_j , условия измерения (время измерения t_j , диапазон измерения Dj , погрешности δ_j, Δ_j , сопротивление нагрузки R_j , параметр синхронизации τ_j , частота опроса f_j , Kos_j – признак косвенных измерений и др.). При минимизации погрешности датирования возможно выбрать критерием эффективности функцию штрафов. Критерии эффективности и алгоритмы составления расписания работы многоканальной измерительной системы были описаны в работах [5–7], на их основе в среде разработки LabVIEW создана программа.

Подпрограмма «штраф» (рис. 3) вычисляет функцию штрафов для каждого вновь назначенного сигнала, учитывающую нарастание погрешности датирования при запуске на одном такте более двух измерительных каналов:

$$P = \frac{\sum_{l=1}^L \sum_{j=2}^J (p_{j-1,l} + p_{j,l})}{l_{\max} \sum_{j=1}^J (j-1)}$$

Блок диаграмма подпрограммы приведена на рис. 3.

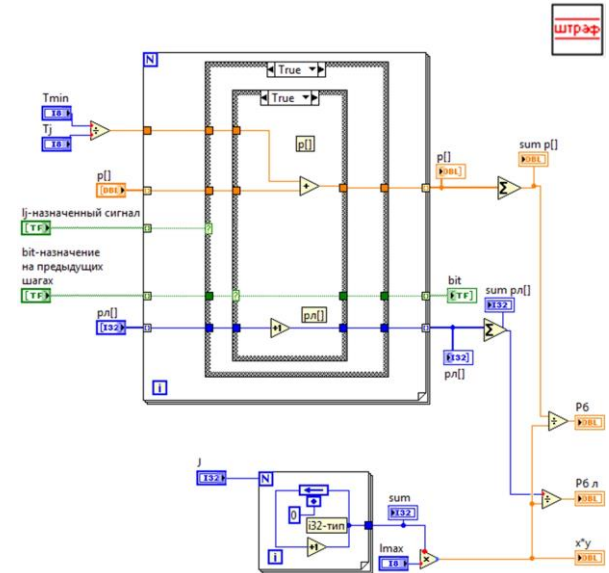


Рис. 3. Блок диаграмма подпрограммы вычисляющей функцию штрафов

Наличие в множестве S сигналов с $\tau \neq 0$, приводит к отклонению решения от оптимального. Оценка сверху этого отклонения вычисляется по формуле:

$$P = \frac{\sum_{j=1}^J \left(n_j^{-1} \times p_j \times \frac{f_j}{f_{\max}} \right)}{l_{\max} \sum_{j=1}^J (j-1)}, \quad p_j = \begin{cases} 1, & \tau_j \neq 0 \\ 0, & \tau_j = 0 \end{cases}$$

III. АППАРАТНОЕ УМЕНЬШЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ДАТИРОВАНИЯ

Существенно упрощает процесс составления расписания установка датчиков измерения линейного ускорения и угла поворота по трем осям (x, y, z), а также магнитометра реализованного в одном корпусе. Таким образом, каждый измерительный модуль содержит только один канал и по запросу вычислительного устройства передает по шине данных массив из семи значений. В этом случае время сдвига для измерений одного измерительного модуля много меньше, чем период обращения к измерительному модулю. Погрешность датирования,

вызванная запаздыванием запуска j -го измерительного модуля dt_j , будет определяться:

- временем формирования команды запуска измерения t_{fc} ,
- временем передачи команды запуска измерения t_{zc} ,
- временем необходимым для измерения t_{mes} ,
- временем формирования команды чтения t_{fr} ,
- временем передачи команды считывания результата измерения t_{zr} ,
- временем считывания результата измерения t_r .

Время сдвига измерения измерительного модуля запущенного на измерения в очередь j вычисляется по формуле:

$$dt_j = (t_{fc} + t_{zc} + t_{mes} + t_{fr} + t_{zr} + t_r) \times j.$$

Величины t_r и t_{zc} определяются интерфейсом измерительной системы, время t_{zc} и t_r зависит от среды разработки программного обеспечения и искусства программиста, t_{mes} определяется техническими характеристиками датчика.

Составление расписания при числе одноканальных измерительных модулей в измерительной системе равном 10 возможно как методом перебора, так и с помощью алгоритмов на основе функций штрафа.

IV. Вывод

Измерение протяженных дефектов полотна рельсовых нитей с учетом требования по точности приводит к необходимости уменьшения погрешности датирования. Погрешность датирования возможно уменьшить, решив задачу составления расписания. Данная задача в зависимости от состава ИСЖД решается способом полного перебора или на основе квазиоптимального алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Боронахин А.М., Бохман Е.Д., Ларионов Д.Ю., Подгорная Л.Н., Шалымов Р.В. Мобильная инерциальная система мониторинга рельсового пути // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ". 2011. № 10, С. 84-91.
- [2] Боронахин А.М., Подгорная Л.Н., Бохман Е.Д., Филиппеня Н.С., Филатов Ю.В., Шалымов Р.В., Ларионов Д.Ю. Использование микромеханических чувствительных элементов в задачах диагностики рельсового пути // Гирскопия и навигация. 2012. №1 (75), С. 57-66.
- [3] Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. Москва: Мир, 1982. 466 с.
- [4] Алексеев В.В. [и др.]. Основы структурного проектирования измерительно-вычислительных систем. Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1999. 110 с.
- [5] Романцова Н.В. Составление расписания работы многоканальной измерительной системы с минимизацией погрешности датирования: Автореф. дис. канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2015. 18 с.
- [6] Романцова Н.В., Царёва А.В. Составление расписания работы измерительной системы методом направленного поиска. // Известия СПбГЭТУ. 2013. №10. С. 65-68.
- [7] Королев П.Г., Романцова Н.В., Царева А.В. Составление расписаний работы информационно-измерительных и управляющих систем // Приборы. 2015. № 10. С.22-28.