

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕШАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ В ЗАДАЧЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Е.М. Тарасов¹, С.В. Копейкин¹, В.Л. Герус²

¹ Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС), Самара, Россия,

² Приволжская железная дорога - филиал ОАО «РЖД», Саратов, Россия

В статье рассматривается определение координаты отцепов – динамических объектов, свободно скатывающихся с горки в сортировочном парке, где происходит расформирование и формирование составов. В статье разработаны принципы формирования решающих функций непрерывного определения координат объектов посредством решения системы несовместных условных уравнений, в качестве которых приняты полиномы Колмогорова-Габора. Аргументами уравнений являются измеряемые первичные признаки: модули и фазы напряжений и токов на входе четырехполюсника рельсовой линии. Приведен пример реализации методики определения коэффициентов решающей функции с тремя аргументами- признаками.

Ключевые слова: решающая функция, полином, система уравнений, первичные информативные признаки, проводимость изоляции, скорость динамического объекта, координата, относительная погрешность.

Введение

Процесс расформирования составов на магистральных железных дорогах является весьма сложным в плане реализации алгоритмов функционирования, протекающим при непрерывно изменяющихся внешних факторах, высокой динамике процесса и временных ограничениях. Основным технологическим звеном в процессе расформирования и формирования составов, являются сортировочные горки, которые должны обеспечивать распределение свободно скатывающихся вагонов (отцепов) по путям подгорочного парка и регулирование скоростей их по траектории движения. [1-3]. Недостаточная математическая формализованность, нестационарность процесса движения, многомерность задач управления, высокая степень помеховой обстановки, формулируют задачу разработки интеллектуальной системы определения скорости вагонов как динамических объектов, способной в процессе эксплуатации обеспечить инвариантность к воздействию возмущающих факторов и корректировать сложность функции вычислителя скорости при изменении внешних условий.

В настоящее время наиболее эффективным для решения подобного рода задач являются методы теории распознавания образов, обладающие высоким уровнем формализации, что позволяет рассматривать процедуры распознавания координат динамических объектов, в виде алгоритмов и программ. Задача определения координаты подвижного объекта на сортировочных горках идентична задаче распознавания непрерывно изменяемых входных параметров динамического объекта. Непрерывно изменяемым параметром при движении является его координата, а, следовательно, и скорость. Поэтому необходимо на первом этапе определения скорости вычислить изменяемую координату, а затем, зная пройденный путь (за дискретный промежуток времени) легко вычислить его скорость.

1. Постановка задачи

Основной методологии определения координаты динамического объекта принципами распознавания образов является отыскание решений о принадлежности - или

соответствии измеренного набора признаков (образов) к некоторому заранее определенному классу координат. Решать поставленную задачу удобно с использованием решающих функций [4, 5].

Задача математически формулируется так. Необходимо найти зависимость функции координаты от некоторых изменяемых параметров X :

$$S_i(X) = f(x_{ij}), \forall i = 1, 2 \dots n, j = 1, 2 \dots m, \quad (1)$$

где $S_i(X)$ – выходная, решающая функция координат, x_{ij} – значения измеряемых входных признаков, являющихся аргументами решающей функции и зависящих от координаты отцепка; и по динамике ее изменения во времени, определять координату объекта на любой ординате траектории движения. Если известен путь, пройденный объектом за время, то скорость отцепка определяется по формуле

$$V_i(t) = \frac{S_i(X) - S_{(i-1)}(X)}{\Delta t} = \frac{\Delta S_i}{\Delta t}, \quad (2)$$

где $V_i(t)$ – скорость в i – бый момент времени, $S_i(X)$ – текущая координата отцепка, вычисленная по формуле (1), Δt – временной интервал, в течение которого координата изменилась с $S_{(i-1)}(X)$ до S_i , т.е. ΔS_i .

Очевидно, чем меньше промежуток времени дискретизации Δt при определении координаты объекта, тем точнее определяется скорость, т.е. может быть решена задача непрерывного определения скорости по всей траектории движения.

Графическая иллюстрация сформулированных требований представлена на рис 1.

Согласно рисунку 1 в промежутке времени $((t-1)-t)$ осуществляется измерение пройденного отцепом расстояния $(S_{(i-1)} - S_i)$, а в промежутке $[(t-1)-t]$ – осуществляется измерение пройденного отцепом расстояния $[S_{(i-1)} - S_i]$, и т.д., т.е. временная ось дискретизируется, и соответственно ей измеряется дискретно расстояние, пройденное отцепом. На рисунке 1 представлена в качестве примера линейная зависимость $S=f(t)$, но совершенно очевидно, эта зависимость может быть и нелинейной.

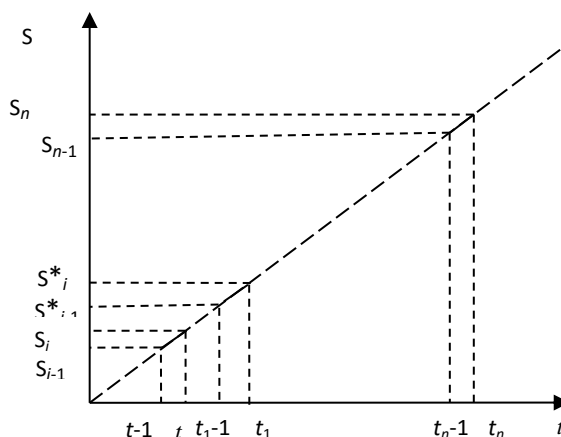


Рис. 1. Графическая иллюстрация определения координаты отцепка: $S_{(i-1)}$ – координата отцепка в момент времени $(t-1)$ (начало измерения); S_{i1} – координата в конце участка измерения, т.е. в момент времени t

2. Определение вида решающей функции вычислителя координат динамического объекта

Если обозначить напряжение на входе определенного участка рельсовой линии (РЛ), представленной как четырехполюсник, через $u_1(t)$, а выходную величину через $u_2(t)$, тогда общим выражением, связывающим вход и выход, является ряд Вольтерра [6]:

$$u_2(t) = k_0 + \int_0^t k_1(\tau) u_1(t-\tau) d\tau + \iint k_2(\tau_1\tau_2) \times \\ \times u_1(t-\tau_1) u_1(t-\tau_2) d\tau_1 d\tau_2 + \iiint \dots d\tau_3 d\tau_4 d\tau_5 \dots + \dots, \text{ где } k_1(\tau)$$

- импульсная функция линейной части; $k_2(\tau_1\tau_2)$ - импульсная функция нелинейной части.

Для линейных четырехполюсников члены с двойными и тройными интегралами равны нулю:

$$\iint k_2(\tau_1\tau_2) u_1(t-\tau_1) u_1(t-\tau_2) d\tau_1 d\tau_2 + \\ + \iiint \dots d\tau_3 d\tau_4 d\tau_5 \dots = 0, \quad (3)$$

и остаются только первые два числа (постоянный член и интеграл свертки).

При переходе к дискретному отсчету значений переменных ряд превращается в обобщенный степенной полином [6,7], который в задачах распознавания является полиномом Колмогорова-Габор.

$$S(X) = \omega_0 + \sum_{i=1}^n \omega_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} x_i x_j + \\ + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \omega_{ijk} x_i x_j x_k \dots, \quad (4)$$

где, x_i, x_j, x_k – информативные признаки, характеризующие состояния рельсовой линии – аргументы РФ; $\omega_i, \omega_{ij}, \omega_{ijk}$ – искомые коэффициенты.

Для удобства записи, в (4) введены коэффициенты с нулевым индексом ω_0 , что позволит записать РФ в более компактной форме:

$$S(X) = WX_k, \quad (5)$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_n, 1)^T$ и $W = (\omega_0, \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n+1})^T$.

пополненные векторы образов и коэффициентов соответственно.

В случае использования в качестве решающей функции полином вида (4), а в качестве информативных признаков модули и аргументы напряжений и токов на входе рельсовой линии $m = \{U_1, \varphi_1, I_1, \psi_1\}$, полная решающая функция без учета степенных составляющих, имеет вид:

решается относительно коэффициентов ω известными способами.

Учет изменения проводимости изоляции РЛ при определении коэффициентов полинома РФ позволяет обеспечить нечувствительность к воздействию возмущающего фактора – проводимости изоляции в соответствии с принципами третьей формы инвариантности [8].

Погрешность определения координат динамического объекта решающей функцией, в качестве аргументов в которые входят первичные информативные признаки (напряжение и токи, а также их фазовые соотношения на входе РЛ) в различных сочетаниях, оценивается формулой:

$$\delta S_{om} = |\max[(S''_{omi} - S'_{omi}) / S'_{omi}]|, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где, S'_{omi} - реальные, фактические значения координаты отцепов i^{oi} координаты, S''_{omi} - значение координаты, вычисленной по решающей функции.

При длине рельсовой линии 25 м, изменении проводимости изоляции в диапазоне $50 > g > 0,02$ См/км минимальная погрешность 0,864% или 0,216 м, обеспечивается решающей функцией вида:

$$\begin{aligned} S(x) = & 0,021 + 0,071U_1 + 2,501 \cdot 10^4 \phi_1 - 0,015\Psi_1 + \\ & + 8,191 \cdot 10^{-3} \cdot U_1 \phi_1 + 0,012U_1\Psi_1 + 6,212 \cdot 10^{-6} \cdot \phi_1\Psi_1 - \\ & - 7,399 \cdot 10^{-5} U_1 \phi_1 \Psi_1 \end{aligned}$$

4. Выводы

При определении координат отцепов с использованием решающей функции - полинома Колмогорова – Габора с информативными признаками в виде модулей и фаз напряжения и тока на входе рельсовой линии контрольного участка, позволил обеспечить минимальную относительную погрешность, благодаря комплексному использованию множества признаков при распознавании координаты отцепа. Разработанная методика определения решающей функции с множеством информативных признаков путем решения системы условных несовместных уравнений, где каждому уравнению соответствует определенная координата отцепа, проводимость изоляции и сопротивление шунтирования колесной парой, позволил обеспечить инвариантность в широком диапазоне изменения возмущающего воздействия - проводимости изоляции. Исследования относительной погрешности определения координат отцепов решающими функциями с использованием разработанной методики определения коэффициентов на основе составленных алгоритмов показали, что при определении координаты отцепа трехмерными образами, минимальная относительная погрешность не превышает 0,864% или 0,216 м.

Литература

1. Астров, В.А. Особенности непрерывного определения координаты отцепов на путях подгорочного парка решающими функциями / В.А. Астров, Д.В. Железнов, Е.М. Тарасов // Вестник транспорта Поволжья. - 2015. - №5(53). - С.66-69.
2. Горбунов, А.Е. Информационная система для управления технологическим процессом формирования составов / А.Е. Горбунов, А.Г. Исайчева, Е.М. Тарасов // Вестник транспорта Поволжья. - 2015. - №2(50). - С.101-104.
3. Tarasov, E.M. Technique of measurement of ultra-low resistance of current conductive junction of rail lines as the problem of states object identification / E.M. Tarasov, A.G. Isaicheva // International Conference «Information Technology and Nanotechnology (ITNT-2015) », June 2015, Samara, Russia Samara State Aerospace University. - Vol-1490. - P 397-401.
4. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес / Пер. с англ. И.Б. Гуревича; под ред. Ю.И. Журавлева. – М.: Мир, 1978 г. – 412 с.
5. Тарасов, Е.М. Способ контроля состояния рельсовой линии / Е.М. Тарасов, А.С. Белоногов // Патент РФ на изобретение № 2173276 от 10.09.2001. Бюл. №25.
6. Самообучающиеся системы распознавания и автоматического управления / Ивахненко А.Г. Киев.: Техніка, 1969. – 392 с.
7. Haber, R. Structure identification of nonlinear dynamic system survey on input / output approaches / R. Haber, H. Unbehauen. // Autocratic, 1990. Vol. 26. - P. 651-677.
8. Принципы распознавания в классификаторах состояний рельсовых линий / Тарасов Е.М. – М.: «Маршрут», 2003.-156с.