ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОБРАЗА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА

Дементий Ю.А., ООО «Релематика», г. Чебоксары, Россия, dementiy.yu.a@gmail.com

Николаев К.П., ООО «Релематика», ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия, nikolaev.kirill.p@mail.ru

Аннотация: *предложен подход, основанный на решении оптимизационной задачи поиска максимума. Составлена гладкая оптимизируемая функция. Предлагаемый подход применён для решения задачи построения образа имитационной модели объекта и нахождения граничной линии образа. Проанализированы результаты работы алгоритма, приведены преимущества и недостатки.*

Ключевые слова: *детерминированный метод, образ имитационной модели объекта, оптимизационная задача.*

Введение

В работе описывается решение задачи разграничения (классификации) режимов работы объекта путем построения областей, соответствующих каждому из рассматриваемых типов режимов, с последующей проверкой попадания точки, определяемой наблюдаемым состоянием, в одну из областей. В данной работе предлагается осуществлять их построение с использованием имитационной модели объекта, при этом задача сводится к получению образа (области значений) имитационной модели.

Реализация метода

Для удобства описания подхода под имитационной моделью подразумевается преобразование F, объединяющее, собственно, функцию имитационной модели, отображающую объектное пространство в наблюдаемое и функцию замера, отображающую наблюдаемое пространство на плоскость замера. На вход имитационная модель принимает m-мерный вектор параметров модели $\boldsymbol{x}$: $\boldsymbol{x} \in G \subset C$, где G – заданная область определения параметров модели, C – пространство, образованное векторами параметров модели (объектное пространство). На выходе модели формируется двухмерный вектор замера $\boldsymbol{v} \in S \subset A$, где S – образ имитационной модели, A – пространство, образованное векторами замера (уставочное пространство). Таким образом $\boldsymbol{v} = F(\boldsymbol{x}), F: S \rightarrow G$ [1].

Область определения имитационной модели задаётся двумя векторами $\boldsymbol{x_{min}} = [x_{1\,min}, x_{2\,min}, \dots, x_{m\,min}]$ и $\boldsymbol{x_{max}} = [x_{1\,max}, x_{2\,max}, \dots, x_{m\,max}]$, где $\boldsymbol{x_{min}}$ – вектор, компонентами которого являются минимальные значения объектных параметров, $\boldsymbol{x_{max}}$ - вектор, компонентами которого являются максимальные значения объектных параметров. Таким образом, область определения представляет собой m-мерный гиперпрямоугольник.

Для проверки попадания точки $\boldsymbol{v}$ в область S достаточно иметь информацию о некотором количестве граничных замеров, образующих полигон в двухмерном пространстве, аппроксимирующий границу области S. Таким образом, для поставленной задачи достаточно описать границу области S в виде точек $\boldsymbol{v_1}, \boldsymbol{v_2}, \dots, \boldsymbol{v_k} = F(\boldsymbol{x_1}), F(\boldsymbol{x_2}), \dots, F(\boldsymbol{x_k})$, таких, что $\{\boldsymbol{v_1}, \boldsymbol{v_2}, \dots, \boldsymbol{v_k}\} \subset L, L = \delta S$, где δS – подмножество граничных точек множества S.

Из условия принадлежности к искомой области, включающей в себя отображения всей области определения (соответствующие всем возможным режимам), следует, что задачу построения образа можно сформулировать как оптимизационную задачу поиска точек в объектном пространстве, отображения которых определяют полигон максимально возможной площади с учетом ограничений в объектном пространстве:

$$\boldsymbol{x_1}, \boldsymbol{x_2}, \dots, \boldsymbol{x_k} = \underset{\boldsymbol{x_1}, \boldsymbol{x_2}, \dots, \boldsymbol{x_k} \in G}{\operatorname{argmax}} \operatorname{area}(F(\boldsymbol{x_1}), F(\boldsymbol{x_2}), \dots, F(\boldsymbol{x_k}))$$

Согласно оптимизационной задаче, оптимизируемая функция примет вид:

$$loss(\boldsymbol{x_1}, \boldsymbol{x_2}, \dots, \boldsymbol{x_k}) = -\operatorname{area}(F(\boldsymbol{x_1}), F(\boldsymbol{x_2}), \dots, F(\boldsymbol{x_k})), \quad (1)$$

Многие методы оптимизации требуют задания начального приближения искомых параметров, установка же случайных значений может привести к замедлению сходимости алгоритма или попаданию в локальный минимум. Опытным путём установлено, что точки прообраза граничной линии искомого образа в большинстве своем располагаются на поверхности области определения имитационной модели вблизи рёбер. [2] На основании данного факта целесообразен поиск границы вдоль рёбер посредством перебора пар вершин с последующим формированием линии между ними. Из множества точек, расположенных на этих линиях, интерес представляют лишь граничные. Они выделяются из всего множества посредством алгоритма alpha shape [3], а их прообразы принимаются за начальное приближение $\boldsymbol{x_1}, \boldsymbol{x_2}, \dots, \boldsymbol{x_k}$ в процедуре оптимизации.

Вычислительные эксперименты показали, что оптимизация функции (1) в общем случае может приводить к некорректному результату. Это связано с тем, что:

1) Общепринятый метод расчёта площади полигона (метод Гаусса [4]) имеет ограничения на упорядоченность точек полигона. В процессе работы оптимизатор может нарушить упорядоченность точек, что приведёт к некорректному вычислению площади полигона.

2) Интерполяция границы, полученной в процессе градиентного спуска, приводит к искажённому представлению о виде области, если точки, формирующие полигон, расположены на неодинаковом расстоянии друг от друга. Наибольшая информативность полученной области достигается при расположении точек на одинаковом расстоянии друг от друга.

Из вышесказанного возникают требования: располагать точки, формирующие границу, на одинаковом расстоянии друг от друга и сохранять порядок точек неизменным. Для выполнения данных требований в оптимизируемую функцию вводятся регуляризаторы.

Регуляризатор равного расстояния:

$$MAD(F(\boldsymbol{x_1}), F(\boldsymbol{x_2}), \dots, F(\boldsymbol{x_k})) = \frac{\sum_i^n (y_i - \bar{y})}{n},$$

где y_i - длина i-ого отрезка, определенного соседними точками полигона, $\bar{y}$ - среднее арифметическое длин отрезков, определенных соседними точками полигона, n - количество отрезков.

Данный регуляризатор накладывает штраф за различия длин сторон полигона и представляет собой их среднее абсолютное отклонение.

Регуляризатор порядка:

$$Ord(F(\boldsymbol{x_1}), F(\boldsymbol{x_2}), \dots, F(\boldsymbol{x_k}), m, \theta) = \sum_{i}^{n-m} f(angle_i),$$

где n - количество углов полигона, $angle_i$ – смежный угол i-го угла [градусы], f – функция из класса сигмоид, m – количество игнорируемых углов, θ – параметры сигмоиды.

Указанный регуляризатор направлен на предотвращение пересечений сторон полигона. Регуляризатор штрафует оптимизатор за появление острых углов в результирующем полигоне. Для предотвращения штрафа на острые углы, являющиеся частью формы искомого образа, в регуляризатор введен параметр m, позволяющий игнорировать некоторое количество углов при расчете штрафа.

Количество игнорируемых углов, коэффициенты перед регуляризаторами и параметры сигмоиды являются гиперпараметрами, а их настройка является неотъемлемым этапом построения области [5].

Итоговая оптимизируемая функция примет вид:

$$\begin{gathered} loss(\boldsymbol{x_1}, \boldsymbol{x_2}, \dots, \boldsymbol{x_k}, k, p, m, \theta) = -area(F(\boldsymbol{x_1}), \dots, F(\boldsymbol{x_k})) + \\ k \cdot MAD(F(\boldsymbol{x_1}), \dots, F(\boldsymbol{x_k})) + p \cdot Ord(F(\boldsymbol{x_1}), \dots, F(\boldsymbol{x_k}), m, \theta) \end{gathered}$$

где k – коэффициент перед первым регуляризатором, p – коэффициент перед вторым регуляризатором.

Заключение

Предложен универсальный подход к решению задачи построения образов имитационной модели объекта, основанный на постановке и решении оптимизационной задачи. Предложен способ получения начального приближения искомой области. Проанализированы стабильность работы оптимизатора и корректность получаемых результатов. Предложены аддитивные регуляризаторы, при использовании которых гарантируется корректность получаемых результатов.

Получаемые образы могут быть использованы в качестве основы классификатора режимов работы объекта. Процедура оптимизации в данном случае будет являться процедурой обучения классификатора.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. *Лямец Ю.Я., Кержаев Д.В., Нудельман Г.С., Романов Ю.В*. Граничные режимы в методике обучения релейной защиты. Часть 1. Граничные условия и обучающие процедуры - Известия вузов. Электромеханика – 2009. – С. 24 – 30.

[2]. *Мартынов М. В.* Исследование и разработка обучаемых модулей микропроцессорных защит линий электропередачи: дис. … канд. техн. наук. ЧГУ им. Ульянова, Чебоксары, 2014 – 226 с.

[3]. *Edelsbrunner, Herbert; Kirkpatrick, David G.; Seidel, Raimund*. On the shape of a set of points in the plane // IEEE Transactions on Information Theory, Vol.29, No.4– 1983. – p. 551–559.

[4]. *Meister, A. L. F.* Generalia de genesi figurarum planarum et inde pendentibus earum affectionibus, Vol.1 – 1769 – p. 144.

[5]. *Wolpert, D.H., Macready, W.G.* No Free Lunch Theorems for Optimization // IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.1, No.1, – 1997 – p. 67–82.

Авторы:

Дементий Юрий Анатольевич, *кандидат технических наук, руководитель группы ООО «Релематика». E-mail: dementiy.yu.a@gmail.com*

Николаев Кирилл Петрович, *студент кафедры ТОЭ И РЗА Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, техник-исследователь ООО «Релематика». E-mail: nikolaev.kirill.p@mail.ru*