

УДК 62-52

Шеремет А. И., Денисов Н. С.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Техническая диагностика – область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов. Техническое диагностирование – определение технического состояния объектов [1].

Техническая диагностика является составной частью технического обслуживания. Основной задачей технического диагностирования является обеспечение безопасности, функциональной надёжности и эффективности работы технического объекта, а также сокращение затрат на его техническое обслуживание и уменьшение потерь от простоев в результате отказов и преждевременных выводов в ремонт [2].

Диагностирование технических объектов зачастую включает в себя следующие функции:

- оценка технического состояния объекта;
- обнаружение и определение места локализации неисправностей;
- прогнозирование остаточного ресурса объекта;
- мониторинг технического состояния объекта.

Под диагностическими параметрами понимают репрезентативные параметры, по которым можно судить о состоянии объекта [3]. Различают прямые и косвенные диагностические параметры. Первые непосредственно характеризуют состояние объекта, а вторые связаны с прямыми параметрами функциональной зависимостью.

Целью работы является выполнение анализа и классификации современных средств диагностирования электроприводов, а также рассмотрение основных особенностей применения метода опорных векторов для решения задач классификации и категоризации.

Одно из направлений совершенствования электроприводов связано с диагностированием их состояния, что повышает надёжность функционирования электроприводов и обслуживаемого ими технологического оборудования. Диагностирование имеет своей целью выявление соответствия свойств, характеристик и параметров электропривода технической документации на него. Результатом диагностирования является информация о техническом состоянии электропривода с указанием (при наличии несоответствия) вида, места и причин дефекта.

Диагностирование осуществляется путем измерения и контроля количественных и качественных значений параметров электропривода, анализом и обработкой их результатов. Разнообразие электроприводов определило большое число методов и средств диагностирования, отличающихся способами реализации, конструктивным исполнением и расположением относительно электропривода, степенью автоматизации и универсальности, принципами воздействия на электропривод, формой обработки и представления информации о состоянии объекта, режимами работы и рядом других признаков.

Классификация средств диагностирования электроприводов:

– по способу технической реализации:

- 1) аппаратные;
- 2) программные;
- 3) программно-аппаратные;
- 4) внешние;

– по расположению относительно электропривода:

- 1) встроенные;
- 2) специализированный;
- 3) универсальные;

– по степени автоматизации:

- 1) ручные;
- 2) автоматизированные;
- 3) автоматические;

– по форме обработки и представления информации:

- 1) аналоговые;
- 2) цифровые;
- 3) аналогово-цифровые.

К аппаратурным средствам диагностирования относятся приборы, пульты, стенды и специальные вычислительные устройства. Аппаратурные средства, объединенные с электроприводом конструктивно, называются встроенными. К ним относятся приборы для измерения тока, напряжения, частоты, мощности, устройства индикации, реле, светоизлучающие диоды, устройства контроля изоляции и др.

Внешние аппаратурные средства выполнены отдельно от электропривода и подключаются к нему лишь в процессе диагностирования. Такими средствами являются комбинированные приборы для измерения в цепях постоянного и переменного тока, тестеры логического состояния, электронно-лучевые и цифровые осциллографы, переносные измерительные комплекты и т.п.

Средства диагностирования называются специализированными, если они предназначены только для однотипных электроприводов, и универсальными, если они предназначены для различных по конструктивному решению и функциональному назначению электроприводов. Последние технически более сложны и включают в себя, как правило, вычислительные машины с гибкими устройствами управления и программирования.

Программные средства диагностирования представляют собой программы, записанные в устройства памяти программируемых контроллеров, микропроцессорных систем управления электроприводами, управляемых вычислительных машин. Программы могут обеспечивать диагностирование электропривода в процессе использования его по прямому назначению (рабочие программы) либо при кратковременном прерывании функционирования электропривода (специальные испытательные программы). Программные средства в сочетании с аппаратурными образуют программно-аппаратурные средства диагностирования, позволяющие решать задачи самодиагностирования электропривода.

По степени автоматизации средства могут быть ручными, требующими участия человека-оператора, автоматизированными (сигнатурные, логические анализаторы), требующими участия оператора лишь в подключении их к электроприводам и выборе режимов его диагностирования. Автоматические средства решают задачи диагностирования без участия оператора.

В зависимости от форм обработки и представления информации средства диагностирования могут быть аналоговыми, цифровыми, аналого-цифровыми.

Средства диагностирования могут быть активными (при воздействии тестового сигнала на электропривод и оценки реакции на этот сигнал) и пассивными (выполняют лишь измерения, обработку и оценку сигналов, характеризующих техническое состояние электропривода).

Совокупность средств и объекта диагностирования, осуществляющая диагностирование по правилам, установленным соответствующей нормативно-технической документацией, представляет собой систему диагностирования.

В системах тестового диагностирования специальные воздействия на электропривод поступают со стороны средств его диагностирования (СД). Состав и последовательность этих воздействий определяются алгоритмами диагностирования электропривода (ЭП). Тестовые воздействия могут поступать на объект, как перед началом, так и во время его рабочего

функционирования. В последнем случае они не должны мешать работоспособности электропривода. Наиболее распространенными тестовыми воздействиями являются единичные импульсы, скачки и гармонические сигналы.

В системах функционального диагностирования воздействия, поступающие на электропривод, заданы его рабочим алгоритмом функционирования или возможными внешними возмущениями и потому не могут выбираться из условий наиболее эффективной организации диагностирования электропривода. Достоинство систем функционального диагностирования состоит в отсутствии внешнего целенаправленного вмешательства в работу электропривода. Однако техническая реализация средств диагностирования в подобных системах более сложна, поскольку приходится обрабатывать и анализировать, как правило, случайные сигналы в схеме электропривода.

Основные дефекты применительно к силовым цепям электропривода, которые могут возникать при работе электроприводов:

- отсутствие фазы сетевого напряжения питания электропривода;
- недопустимая асимметрия напряжений питания электропривода;
- превышение по отношению к допустимому сетевого напряжения питания электропривода;
- недопустимо низкий уровень сопротивления изоляции силовых цепей электропривода относительно земли;
- превышение максимально допустимого тока в сети питания электропривода; разрыв плавких вставок предохранителей в силовых цепях электропривода;
- пробой силового полупроводникового элемента преобразователя;
- превышение максимально допустимого тока в цепях нагрузки полупроводникового преобразователя;
- превышение максимально допустимого напряжения на силовом полупроводниковом элементе преобразователя;
- превышение допустимой температуры перехода силового полупроводникового элемента (тиристора, транзистора) преобразователя;
- превышение допустимой температуры электродвигателя; превышение времени стоянки двигателя под током;
- превышение допустимой частоты вращения электродвигателя;
- несоответствие между заданным и действительным значениями частоты вращения электродвигателя.

В системах управления электроприводами к дефектам могут относиться:

- отклонение от допустимых напряжений питания элементов управления;
- обрыв входных цепей управления;
- дефект соединений в разъемах между блоками управления;
- ошибки при определении действительного значения контролируемых переменных электропривода и ряд других дефектов.

Обобщенная схема системы функционального диагностирования включает в свой состав устройство функционального диагностирования (УФД), а также соответствующий анализатор (рис. 1).



Рис. 1. Схема системы функционального диагностирования

В настоящее время задачи диагностирования электроприводов начинают решать нетрадиционными методами, предполагающими наличие интеллектуальных обучаемых алгоритмов классификации, категоризации и регрессионного анализа технических данных об объекте управления. Одним из наиболее перспективных с этой позиции является метод опорных векторов.

Метод опорных векторов, более известный в англоязычной литературе как support vector machine (SVM), – это набор схожих алгоритмов обучения с учителем, использующихся для задач классификации и регрессионного анализа. Принадлежит к семейству линейных классификаторов, может также рассматриваться как специальный случай регуляризации по Тихонову. Особым свойством метода опорных векторов является непрерывное уменьшение эмпирической ошибки классификации и увеличение зазора, поэтому метод также известен как метод классификатора с максимальным зазором.

Задача классификации – задача, в которой имеется множество объектов (ситуаций), разделённых некоторым образом на классы. Задано конечное множество объектов, для которых известно, к каким классам они относятся. Это множество называется выборкой. Классовая принадлежность остальных объектов неизвестна. Требуется построить алгоритм, способный классифицировать произвольный объект из исходного множества.

Регрессионный анализ – статистический метод исследования влияния одной или нескольких независимых переменных x_1, x_2, \dots, x_p на зависимую переменную y . Независимые переменные иначе называют регрессорами или предикторами, а зависимые переменные – критериальными. Терминология зависимых и независимых переменных отражает лишь математическую зависимость переменных, а не причинно-следственные отношения.

Основная идея метода – перевод исходных векторов в пространство более высокой размерности и поиск разделяющей гиперплоскости с максимальным зазором в этом пространстве. Две параллельных гиперплоскости строятся по обеим сторонам гиперплоскости, разделяющей наши классы. Разделяющей гиперплоскостью будет гиперплоскость, максимизирующая расстояние до двух параллельных гиперплоскостей. Алгоритм работает в предположении, что чем больше разница или расстояние между этими параллельными гиперплоскостями, тем меньше будет средняя ошибка классификатора.

Часто в алгоритмах машинного обучения возникает необходимость классифицировать данные. Каждый объект данных представлен как вектор (точка) в p -мерном пространстве (последовательность p чисел). Каждая из этих точек принадлежит только одному из двух классов. Нас интересует, можем ли мы разделить точки гиперплоскостью размерности $(p-1)$. Это типичный случай линейной делимости.

Два множества точек в двумерном пространстве называются линейно делимыми, если они могут быть полностью отделены единственной прямой. Для n -мерного пространства два набора точек линейно делимы, если они могут быть отделены $(n-1)$ -мерной гиперплоскостью.

Таких гиперплоскостей может быть много. Поэтому вполне естественно полагать, что максимизация зазора между классами способствует более уверенной классификации. То есть, можем ли мы найти такую гиперплоскость, чтобы расстояние от неё до ближайшей точки было максимальным. Это бы означало, что расстояние между двумя ближайшими точками, лежащими по разные стороны гиперплоскости, максимально. Если такая гиперплоскость существует, то она нас будет интересовать больше всего; она называется оптимальной разделяющей гиперплоскостью, а соответствующий ей линейный классификатор называется оптимально разделяющим классификатором.

На рис. 2 изображено несколько классифицирующих разделяющих прямых (работоспособные состояния объекта диагностирования обозначены в виде окружностей, а аварийные – в виде квадратов), но только с помощью одной из них достигается оптимальное разделение классов.

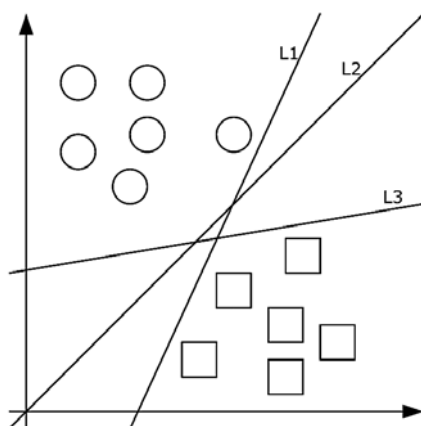


Рис. 2. Пример разделяющих гиперплоскостей для двух классов

С помощью программного пакета Scikit-Learn [4] можно реализовать метод опорных векторов для решения задач классификации, регрессии, а также диагностирования. Для классификации SVM бывает следующих классов: SVC, NuSVC и LinearSVC. Для регрессии также имеются различные классы SVM, а именно: SVR, NuSVR и LinearSVR. Далее рассмотрим особенности программной реализации некоторых ключевых классов SVM.

Support Vector Classification (SVC) – это один из классов SVM, который применяется для решения задач классификации. Данный класс способен выполнять многоклассовую классификацию на основе набора данных, используя схему «one-vs-one» («один-против-одного»).

Класс SVC из программного пакета Scikit-Learn имеет следующие параметры:

- C (тип данных float, по умолчанию равен 1) – штрафной параметр ошибки;
- kernel (тип данных string, по умолчанию – ‘rbf’) – указывает тип ядра для использования в алгоритме; оно может быть одним из следующих: ‘linear’, ‘poly’, ‘rbf’, ‘sigmoid’, ‘precomputed’;
- degree (тип данных int, по умолчанию равна 3) – степень функции полиномиального ядра (‘poly’), игнорируется всеми другими ядрами;
- gamma (тип данных float, по умолчанию – ‘auto’) – коэффициент ядра для ‘rbf’, ‘poly’ и ‘sigmoid’, если gamma установлен в ‘auto’, то значение $1/n_features$ будет использоваться вместо него;
- coef0 (тип данных float, по умолчанию равен 0) – независимый член в функции ядра; это имеет значение только для ядер ‘poly’ и ‘sigmoid’;
- probability (тип данных boolean, по умолчанию – False) – включает оценку вероятности;
- shrinking (тип данных boolean, по умолчанию – True) – включает использование эвристических методов сжатия;
- tol (тип данных float, по умолчанию равен 10^{-3}) – допуск для остановки критерия;
- cache_size (тип данных float) – указывает размер кэша ядра (в мегабайтах).

Linear Support Vector Classification (LinearSVC) – это еще один класс SVM из состава программного пакета Scikit-Learn, который применяется для решения задач классификации и диагностирования. Данный класс способен выполнять многоклассовую классификацию на основе набора данных, используя схему «one-vs-rest» («один-против-всех»). LinearSVC – это еще одна реализация SVM классификации для случая линейного ядра.

Класс LinearSVC имеет следующие параметры:

- C (тип данных float, по умолчанию равен 1) – штрафной параметр ошибки;
- loss (тип данных string, возможные значения: ‘hinge’ или ‘squared_hinge’, по умолчанию – ‘squared_hinge’) – определяет функцию потерь; ‘hinge’ является стандартной функцией потерь в SVM (используется, например, классов SVC), в то время как ‘squared_hinge’ – это квадрат потери ‘hinge’;

– *penalty* (тип данных *string*, может принимать значение ‘L1’ или ‘L2’, по умолчанию – ‘L2’) – определяет норму, используемую для начисления штрафных баллов. ‘L2’ – стандартный штраф, используемый в *SVC*;

– *dual* (тип данных *boolean*, по умолчанию – *True*) – выбирает алгоритм для решения двойственной или прямой задачи оптимизации, как правило, предпочтительнее двойственная;

– *tol* (тип данных *float*, по умолчанию 10^{-4}) – допуск для остановки критерия;

– *multi_class* (*string*, ‘ovr’ или ‘crammer_singer’, по умолчанию – ‘ovr’) – определяет стратегию мульти-класса, выходная координата нуждается в количестве классов более двух;

– *fit_intercept* (тип данных *boolean*, по умолчанию – *True*) – необходимо ли вычислить пересечение для этой модели; если установлено *False*, то пересечение не будет использовано в расчетах.

Используя продемонстрированные выше настройки для классов *SVC* и *LinearSVC* из программного пакета *Scikit-Learn*, можно построить гибкую систему диагностирования электропривода, учитывающую особенности технологического оборудования [5–8].

ВЫВОДЫ

Из всего многообразия средств диагностирования наиболее перспективны и по мере внедрения в электроприводе микропроцессорных устройств находят основное применение автоматические программно-аппаратные цифровые средства. В последнее десятилетие наиболее перспективными являются интеллектуальные средства диагностики и прогнозирования надежности электроприводов.

Одним из наиболее перспективных современных методов для выполнения классификации и диагностирования электроприводов является метод опорных векторов, имеющий следующие преимущества:

- эффективность в многомерных пространствах;
- эффективность в случае наличия малого количества данных в обучающей выборке;
- универсальность – различные функции ядра могут быть заданы для принятия итогового решения, возможно формирование собственной функции ядра, необходимой для решения конкретной задачи диагностирования или классификации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Справочник по автоматизированному электроприводе / Под ред. В. А. Елисеева и А. В. Шинянского. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 616 с.*
2. *Правила устройства электроустановок. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.*
3. *Шавьолкін О. О. Перетворювальна техніка : навчальний посібник / О. О. Шавьолкін , О. М. Наливайко ; під заг. ред. О. О. Шавьолкіна. – Донецьк-Краматорськ : ДДМА, 2003. – 330 с.*
4. *Scikit-learn. Machine Learning in Python [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://scikit-learn.org>.*
5. *Вьюгин В. В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования / В. В. Вьюгин. – М. : МЦНМО, 2013. – 387 с.*
6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.edrivemotor.ru/electricdrive/design>.
7. *Vapnik V. Bounds on error expectation for support vector machines / V. Vapnik, O. Chapelle // Neural Computation. – 2000. – Vol. 12. – No. 9. – P. 2013–2036.*
8. *Multiphase support vector regression for function approximation with break-points / J. I. Park, N. Kim, M. K. Jeong, K. S. Shin // Journal of the operational research society. – 2013. – Vol. 64. – P. 775–785.*