В ряде ситуаций диагностике подлежит сложная система, для которой нет возможности составить математическую модель, описывающую ее поведение и состояние. При анализе состояния сложных объектов и систем используют сигналы измерительной информации, поступающие от средств измерений, размещенных на изучаемом объекте. Данная информация в каждый момент времени отражает текущее состояние объекта и позволяет сделать вывод о том, соответствует ли это состояние желаемому или нет. Накопление достаточного объема данных от средств измерений и их математическая обработка позволяют со временем создать приемлемое математическое описание объекта и впоследствии использовать его для целей диагностики. Но до тех пор, пока такого описания нет, единственной возможностью принять решение о состоянии объекта является сравнение его текущего состояния с информацией об его известном состоянии в прошлом путем сопоставления соответствующих измерительных сигналов.

В данной работе необходимо было выполнить диагностику текущего состояния объекта с помощью алгоритма DTW (Dynamic Time Warping) на основе имеющейся информации о его функционировании в прошлом. Объект исследования представляет собой гидравлическую установку (стенд), которая позволяет производить обратимое изменение состояния и положения ее различных компонентов.

Алгоритм диагностики:

1. *Децимация данных и формирование наборов сигналов:*

Временные ряды с 17 различных датчиков, расположенных на объекте, необходимо было привести к одной сетке времени, так как частота дискретизации датчиков различалась. Данная задача была решена прореживанием данных, полученных от датчиков с большей частотой дискретизации.

После приведения загруженных данных к одному виду надо было сформировать исходные наборы сигналов (ансамбли). Исходные наборы формировались по следующему принципу: временные ряды от всех датчиков, соответствующие одному состоянию объекта, объединялись в одну матрицу (набор), в которой каждая строка – это временной ряд от определенного датчика. Порядок, в котором следуют строки, един для всех наборов.

Затем происходило вычисление длин оптимальных путей трансформации сформированных наборов сигналов при сравнении их друг с другом (каждый набор сигналов сравнивается с каждым) с использованием алгоритма DTW.

1. *Алгоритм DTW:*

На вход данной функции поступают два набора сигналов и параметр, который определяет формулу расстояния, с помощью которой будет производиться вычисление матрицы деформаций.

С помощью алгоритма DTW осуществляется нелинейное выравнивание времени между двумя ансамблями с использованием выбранного расстояния между сигналами. В результате получается пара наборов выровненных сигналов – всем точкам каждого из сигналов одного набора (возможно, с повторениями точек) сопоставляются точки другого набора сигналов (возможно, тоже с повторениями). Расхождение между наборами оценивается с помощью длины оптимального пути трансформации. Помимо длины оптимального пути также было вычислено значение коэффициента нормирования – количество элементов в оптимальном пути.

1. *Кластеризация:*

Каждый набор сигналов сравнивался с каждым, и в результате была получена матрица нормированных длин оптимальных путей трансформаций. После получения матрицы длин путей был произведена кластеризация данных значений, вычисление центров кластеров, расстояний от кластеризуемых элементов до соответствующих им центров кластеров, и суммы этих расстояния.

1. *Алгоритм диагностики состояния исследуемого объекта на основе сигналов измерительной информации об его параметрах:*

После получения структуры кластеров возникает возможность диагностировать текущее состояние объекта. Для этого формируется набор сигналов состояния, которое необходимо диагностировать, по такому же принципу, что и исходные наборы сигналов. С помощью алгоритма DTW сформированный набор сравнивается со всеми исходными наборами и получается массив длин оптимальных путей трансформаций исследуемого набора в каждый из исходных. Данный массив является координатами анализируемого набора текущих временных рядов в пространстве кластеров, соответствующих разным диагностируемым состояниям. Вычисляются расстояния от точки, определяемой полученными координатами, до центров всех ранее выделенных кластеров. Диагностированное состояние системы определяется тем кластером, расстояние до центра которого оказалось наименьшим.

1. *Алгоритм выбора оптимального расстояния, используемого для расчета матрицы деформации в алгоритме DTW:*

В итоге каждой рассматриваемой мере соответствует значение суммы расстояний от кластеризуемых элементов до соответствующих им кластеров. Затем все значения сумм сравниваются друг с другом, и из них находится наименьшее. Данное значение соответствует оптимальной мере.

Данные функции и алгоритмы были реализованы на языке программирования Python и в системе математического моделирования Matlab.

Получившиеся результаты:

Диагностика состояния 1 исследуемого объекта

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Расстояние, используемое в алгоритме DTW | | | | | |
|  | Евклидово расстояние | Взвешенное Евклидово расстояние | Расстояние Минковского с параметром р = 3 | Расстояние Минковского с параметром р = 4 | Расстояние Минковского с параметром р = ∞ (расстояние Чебышева) |
| d1 | 30,07 | 26,84 | 33,45 | 64,76 | 54,36 |
| d2 | 117,49 | 65,89 | 110,46 | 21,08 | 98,89 |
| d3 | 76,34 | 92,87 | 78,83 | 109,48 | 15,84 |
|  | 0,26 | 0,29 | 0,30 | 0,19 | 0,16 |
| Вердикт | Кластер 1 (работо-способен) | Кластер 1 (работоспо-собен) | Кластер 1 (работоспособен) | Кластер 2 (работоспособен) | Кластер 3 (не работоспособен) |

Диагностика состояния 2 исследуемого объекта

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Расстояние, используемое в алгоритме DTW | | | | | |
|  | Евклидово расстояние | Взвешенное Евклидово расстояние | Расстояние Минковского с параметром р = 3 | Расстояние Минковского с параметром р = 4 | Расстояние Минковского с параметром р = ∞ (расстояние Чебышева) |
| d1 | 123,77 | 88,05 | 73,42 | 75,93 | 45,38 |
| d2 | 51,41 | 33,62 | 103,70 | 41,26 | 102,78 |
| d3 | 94,99 | 62,74 | 38,49 | 102,93 | 82,54 |
|  | 0,42 | 0,38 | 0,37 | 0,40 | 0,44 |
| Вердикт | Кластер 2 (не работоспо-собен) | Кластер 2 (работоспо-собен) | Кластер 3 (работоспособен) | Кластер 2 (работоспособен) | Кластер 1 (работоспосо-бен) |

Диагностика состояния 3 исследуемого объекта

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Расстояние, используемое в алгоритме DTW | | | | | |
|  | Евклидово расстояние | Взвешенное Евклидово расстояние | Расстояние Минковского с параметром р = 3 | Расстояние Минковского с параметром р = 4 | Расстояние Минковского с параметром р = ∞ (расстояние Чебышева) |
| d1 | 53,53 | 59,89 | 85,52 | 46,79 | 48,24 |
| d2 | 108,53 | 84,99 | 103,40 | 97,56 | 100,33 |
| d3 | 86,42 | 36,80 | 55,32 | 76,75 | 79,51 |
|  | 0,49 | 0,43 | 0,53 | 0,48 | 0,48 |
| Вердикт | Кластер 1 (не работоспо-собен) | Кластер 3 (работоспо-собен) | Кластер 3 (не работоспособен) | Кластер 1 (работоспособен) | Кластер 1 (работоспосо-бен) |

Определение оптимального расстояния

