

Исследование систем генерации программ мониторинга

А.И. Водяхо¹, Е.Л. Евневич², Н.А. Жукова², Н.В. Климов³, М.А. Червонцев¹

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация: Исследуются системы, позволяющие генерировать программы мониторинга состояния технических объектов. Генерация программ предусматривает построение моделей объектов по поступающим от них данным и построение процессов сбора данных. Анализируются зависимости сложности генерации моделей объектов мониторинга от размерности входного потока, размерности векторов характеристик, описывающих состояния элементов объектов мониторинга, а также зависимостей сложности генерации процессов сбора данных от числа структурных уровней объектов, количества информационных элементов на каждом из уровней, вероятностей генерации процессов на каждом из уровней. На основе полученных результатов формулируются рекомендации по применению систем генерации программ мониторинга при решении практических задач.

Ключевые слова: сложный технический объект, мониторинг, генерация программ.

Введение

В связи с высокой актуальностью задач автоматизации мониторинга в прикладных предметных областях, таких, как медицина [1], экология и природопользование [2], социальная сфера [3], сфера энергопотребления [4], производство [5], городское хозяйство [6], сельское хозяйство [7], рыболовство [8], умный дом [9, 10, 11], проведен ряд исследований и разработок результатом которых стало создание новых систем, позволяющих генерировать программы мониторинга для наблюдения за различными техническими объектами, применяемыми в предметных областях [12-14]. Разработанные системы позволяют проводить мониторинг в условиях, когда наблюдаемые объекты являются сложными объектами, имеющими многоуровневую структуру, которая изменяется во времени под действием различных внешних факторов. Изменяться могут как элементы, входящие в состав объектов, так и взаимосвязи между ними. В новых системах решение

задач мониторинга в рассмотренных условиях обеспечивается за счет новых возможностей автоматической генерации программ мониторинга по поступающим от объектов данным.

Основу систем генерации программ мониторинга (СГПМ) составляют формальные модели, методы и алгоритмы, позволяющие автоматизировать мониторинг за счет автоматической генерации моделей объектов мониторинга по поступающим от них данным, а также необходимых для этого процессов сбора данных. Формируемые модели объектов являются многоуровневыми. Верхние уровни характеризуют состояния объектов в целом, более низкие – состояния крупных систем и подсистем, входящих в их состав. Нижние уровни моделей описывают состояния объектов через параметры, измеряемые отдельными датчиками. В таких моделях число элементов на верхних уровнях во много раз меньше числа элементов нижних уровней. Данные, поступающие от объектов, могут относиться к различным уровням. Состав собираемых данных определяется имеющимися моделями и решаемыми задачами мониторинга, исходя из которых задаются требования к моделям. Для получения данных формируются процессы мониторинга. Они представляют собой последовательности операций, предусматривающих получение одного или нескольких элементов данных о наблюдаемых объектах. На основе процессов мониторинга генерируются программы мониторинга. При этом операции переопределяются в машинные команды, воспринимаемые техническими средствами.

Сложность генерации моделей объектов и процессов сбора данных зависит от размерности входных потоков, размерности векторов характеристик, описывающих состояния элементов наблюдаемых объектов. Сложность генерации процессов сбора данных определяется параметрами моделей, в частности, числом структурных уровней, количеством

информационных элементов на каждом из уровней, возможностями генерации процессов сбора данных на каждом из уровней, начиная с верхних.

Возможность своевременной генерации программ мониторинга зависит от выбранных параметров генерации моделей объектов и процессов сбора необходимых для этого данных. Таким образом, актуальным является исследование сложности генерации моделей объектов мониторинга и процессов сбора данных о наблюдаемых объектах, формулировка рекомендаций по определению параметров генерации программ мониторинга при решении практических задач.

Условия исследования сложности генерации программ мониторинга

Для исследования сложности генерации программ мониторинга в СГПМ был разработан конфигурируемый эмулятор потока данных, позволяющий формировать многомерные векторы результатов измерений параметров объектов с заданной периодичностью. При генерации потоков эмулятор позволяет задавать следующие параметры:

1. размерность входного потока, определяющую число измеряемых параметров;
2. размерность векторов, характеризующих состояния элементов объектов;
3. количество структурных уровней наблюдаемых объектов;
4. соотношение числа элементов на различных структурных уровнях объектов.

В ходе эксперимента оценивалась сложность задач генерации моделей объектов мониторинга и процессов сбора данных при различных значениях параметров входных потоков и параметров формируемых моделей объектов.

Исследования проводились с использованием разработанного прототипа СГПМ [15]. С использованием платформы были получены количественные оценки временных затрат, необходимых для генерации программ мониторинга.

Исследование сложности генерации моделей наблюдаемых объектов

Генерация моделей наблюдаемых объектов включала два шага:

- генерацию локальных моделей объектов по заданным фрагментам входных потоков, полученным на некоторый момент времени;
- генерацию глобальных моделей объектов на основе нескольких локальных моделей для заданного временного промежутка за счет их связывания между собой.

В ходе эксперимента формировались выборки со значениями результатов измерений параметров наблюдаемых объектов. Изменяемым параметром являлась размерность входного потока. При генерации моделей объектов выполнялось горизонтальное и вертикальное связывание элементов данных из исходных выборок. Полученные экспериментальные оценки сложности горизонтального и вертикального связывания и общие оценки сложности приведены в таблице 1. Графики зависимостей полученных оценок сложности от размерности входного потока показаны на рис. 1.

Таблица №1

Время построения моделей в зависимости от размерности входного потока

Размерность входного потока, М	Время горизонтального связывания, мс	Время вертикального связывания, мс	Общее время, мс
4	0.175	0.2549	0.43
10	0.275	0.049	0.325

20	0.479995	0.09	0.57
30	1.71	0.154	1.864
40	1.994	0.285	2.28
50	5.71	0.4349	6.1449
60	4.7	0.2649	4.965
70	7.1349	0.409	7.544
80	15.675	0.189	15.865
90	15.2249	0.4449	15.669
99	20.63	0.1499	20.78

График на рис.1 показывает, что при увеличении размерности входного потока сложность горизонтального связывания элементов (Scan) значительно превышает сложность вертикального связывания (Clusterize). Из этого следует, что даже при большом количестве элементов генерация моделей с многоуровневой структурой может производиться достаточно часто, поскольку требует относительно небольших ресурсов. Существенные затраты приходятся на генерацию одноуровневых моделей. Зависимость между числом элементов и необходимыми затратами близка к квадратичной.

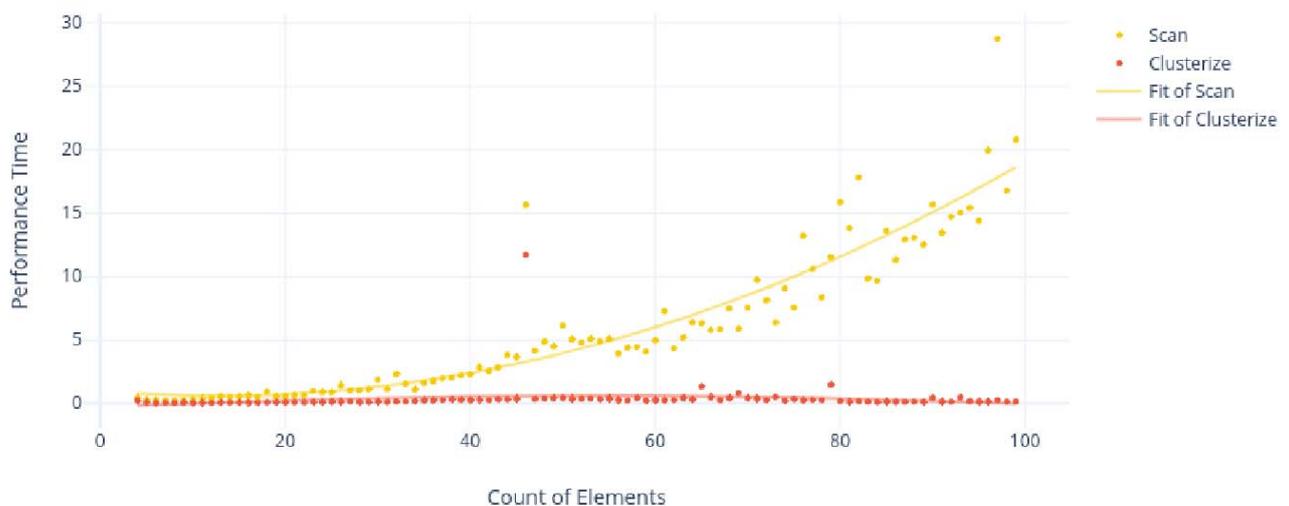


Рисунок 1. – Зависимость сложности генерации моделей объектов мониторинга от размерности входного потока

Исходя из полученных результатов, рекомендуется определять частоту генерации моделей объектов мониторинга, исходя из числа элементов, для которых выполняется горизонтальное связывание. При построении одноуровневых моделей таким числом является общее число элементов, а при построении многоуровневых моделей оно определяется числом элементов на уровнях. Частоту генерации следует уменьшать пропорционально квадратному корню из количества элементов, требующих горизонтального связывания.

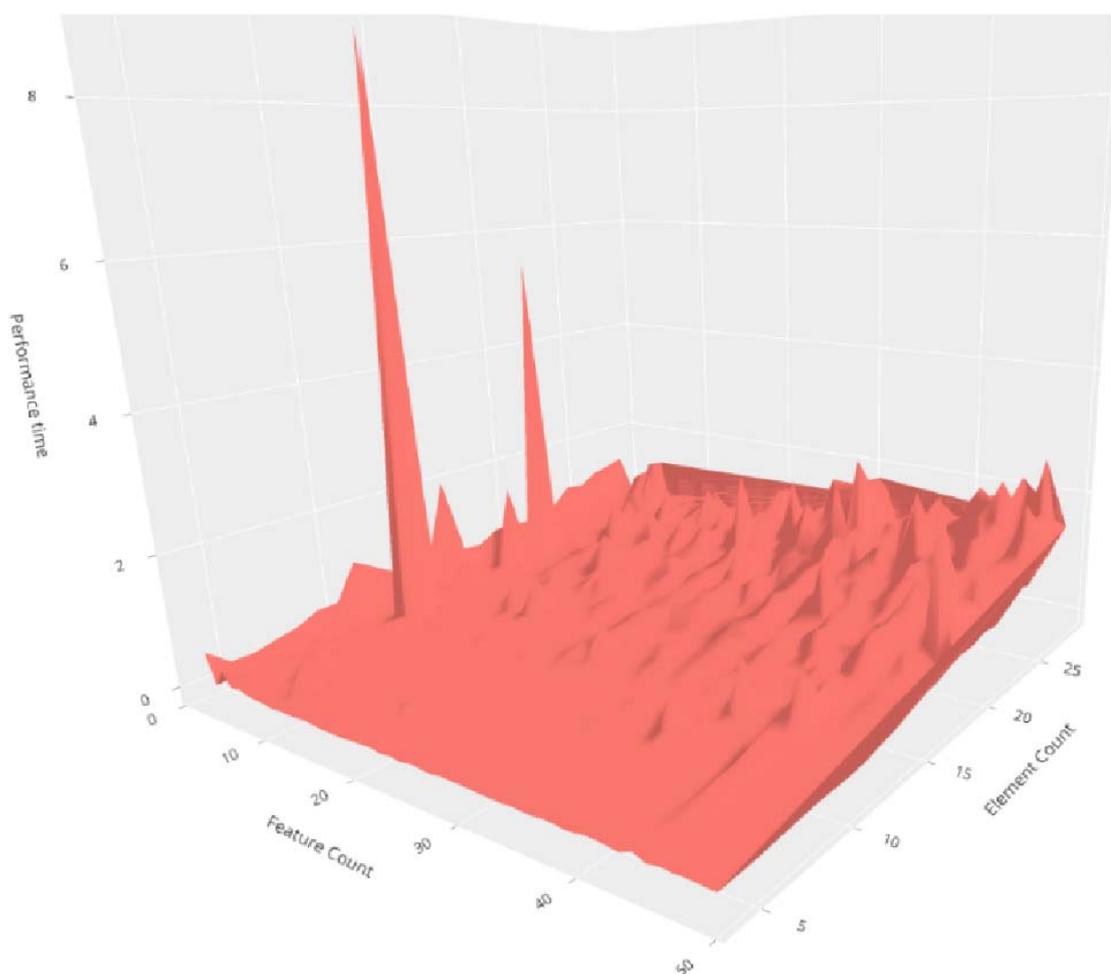


Рисунок 2. – Зависимость сложности генерации моделей объектов от размерности потока входных данных и размерности векторов характеристик элементов объектов.

На рисунке 2 приведена зависимость сложности генерации моделей от размерности потока данных (Element Count) и размерности векторов, характеризующих состояния элементов объектов (Feature Count). График показывает, что размерность векторов характеристик оказывает достаточно слабое влияние на сложность генерации моделей. Это позволяет сформулировать следующие рекомендации: предпочтительно, по возможности, уменьшать размерность входного потока данных, возможная потеря информации может быть частично компенсирована за счет увеличения размерности векторов характеристик состояний элементов объектов. Рекомендации по количественным значениям параметров могут быть даны, исходя из построенных графиков зависимостей.

Исследование сложности генерации процессов сбора данных

Сгенерированные модели наблюдаемых объектов определяют пространство возможных состояний наблюдаемых объектов. На их основе генерируются процессы сбора данных. При этом выполняется поиск возможных путей перехода наблюдаемого объекта из текущего состояния в целевое состояние, которое определяется решаемыми задачами мониторинга; в качестве целевого состояния может рассматриваться состояние исправного объекта или объекта с известными неисправностями. Генерации процессов сбора данных об объектах, которые описываются моделями с многоуровневой структурой, выполняется, начиная с верхних уровней моделей, где число элементов меньше, чем на других, более низких уровнях. Переходы на более низкие уровни осуществляются, только если необходимый путь на более высоких уровнях не найден.

Сложности генерации процессов сбора данных оценивалась, исходя из количества операций, затрачиваемых на поиск переходов от текущих моделей к целевым.

В ходе эксперимента использовался генератор моделей объектов. С его помощью было сгенерировано 1880 моделей объектов мониторинга, отличающихся по следующим параметрам:

- количество уровней моделей объектов; число уровней варьировалось от 1 до 9;
- количество элементов на каждом из уровней моделей; их число варьировалось от 1 до 20;
- общее количество элементов, входящих в состав моделей; число элементов изменялось от 10 до 90;
- вероятности генерации процессов на каждом из уровней моделей, которые определяли необходимость перехода на более низкие уровни моделей при поиске путей от текущих моделей к целевым.

На рисунках 3, 4, 5 показаны зависимости сложности генерации процессов сбора данных от количества уровней моделей объектов, количества элементов на каждом уровне, а также от вероятности переходов на более низкие уровни моделей.

Наиболее значимой является зависимость сложности генерации процессов сбора данных от числа элементов на каждом из уровней моделей.

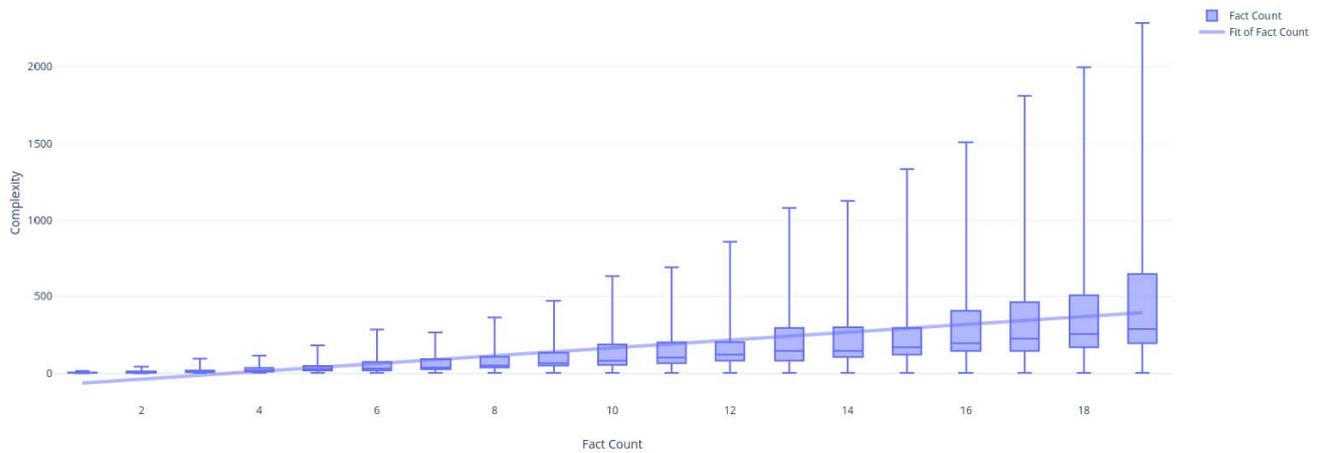


Рисунок 3. – Зависимость сложности генерации процессов сбора данных от количества элементов на каждом из уровней моделей объектов

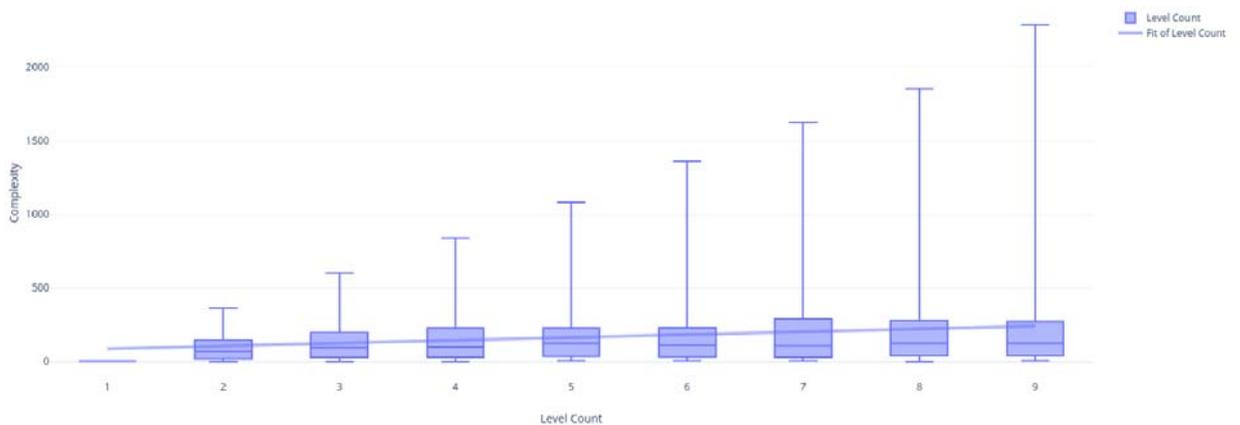


Рисунок 4. – Зависимость сложности генерации процессов сбора данных от количества уровней моделей объектов

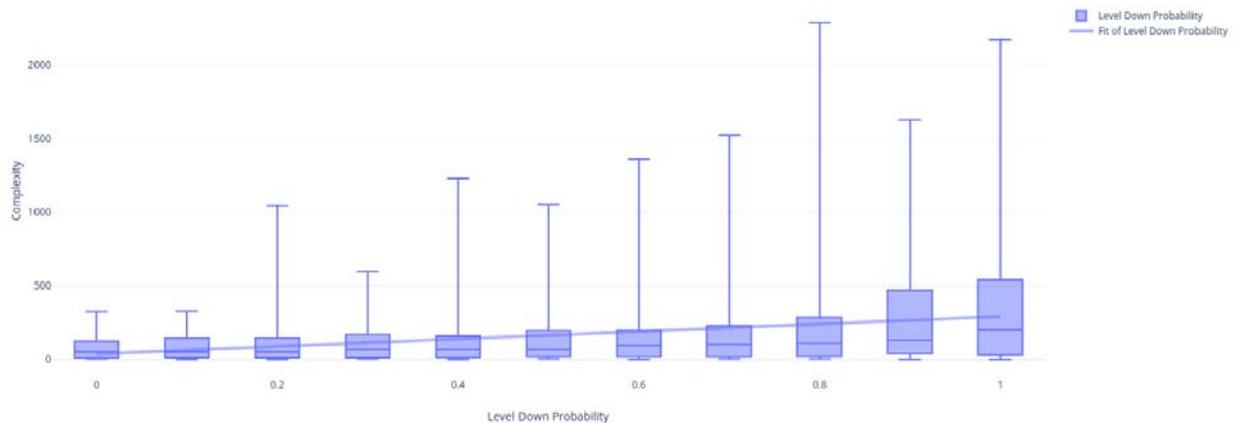


Рисунок 5. – Зависимость сложности генерации процессов сбора данных от вероятности перехода на более низкие уровни моделей.

Графики зависимостей сложности генерации процессов сбора данных от количества уровней моделей и вероятностей перехода на более низкие уровни показаны на рисунке 6. Зависимости сложности генерации процессов сбора данных от количества элементов на уровнях моделей и вероятностей перехода на более низкие уровни моделей приведены на рис.7.

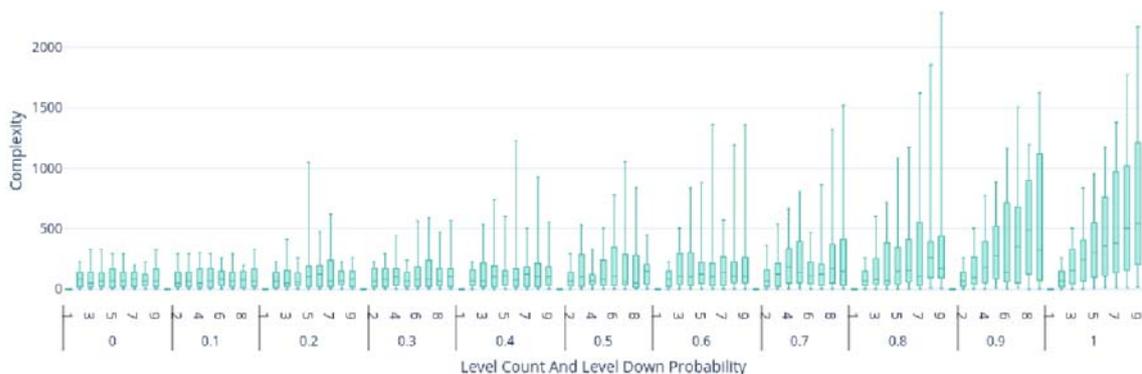


Рисунок 6. – Зависимость сложности генерации процессов сбора данных от количества уровней моделей и вероятностей перехода на более низкие уровни моделей.

В соответствии с графиками на рис. 6, сложность генерации процессов сбора данных по одноуровневым моделям резко возрастает при увеличении

числа элементов моделей. При генерации процессов по многоуровневым моделям сложность возрастает значительно медленнее. При малых вероятностях перехода на более низкие уровни сложность остается невысокой даже при относительно большом числе элементов. Зависимости, представленные на рис. 7, показывают, что увеличение числа элементов на уровнях приводит к увеличению сложности генерации процессов.

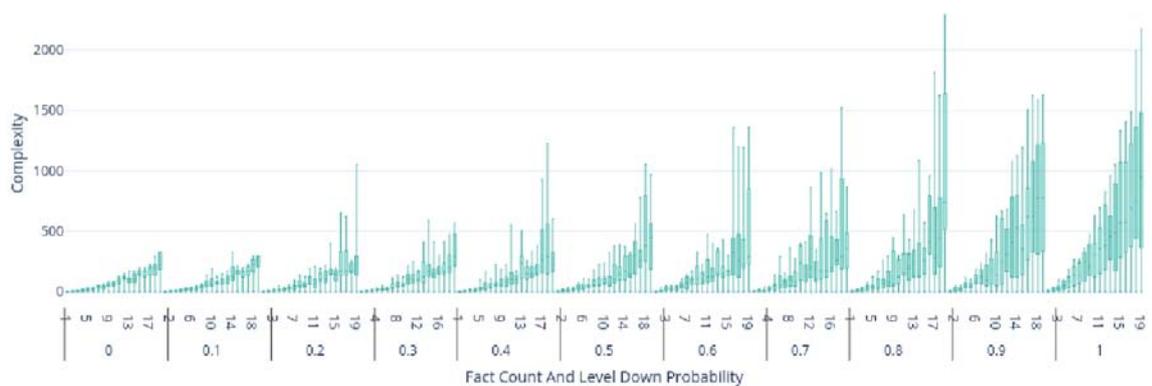


Рисунок 7. – Зависимость сложности генерации процессов сбора данных от количества элементов на уровнях моделей и вероятностей перехода на более низкие уровни моделей

Зависимости, представленные на рисунках 6 и 7, позволяют рекомендовать генерировать процессы сбора данных по моделям, имеющим многоуровневую структуру, в которой число элементов на верхних уровнях существенно меньше числа элементов на более низких уровнях, а вероятности переходов на более низкие уровни невелики. Количественные значения параметров могут быть получены из построенных графиков зависимостей.

Заключение

Проведены экспериментальные исследования систем генерации программ мониторинга, которые позволили получить качественные и

количественные оценки сложности их генерации при различных параметрах. Полученные результаты показали, что сложность в значительной степени зависит от размера входного потока данных, а также от числа уровней моделей объектов и возможностей генерировать процессы мониторинга, рассматривая только верхние уровни моделей. Размерности векторов характеристик описания состояний элементов и число элементов на различных уровнях оказывает существенно меньшее влияние на сложность генерации программ.

На основе полученных результатов сформулированы рекомендации по генерации программ мониторинга. Этими рекомендациями следует руководствоваться при мониторинге сложных технических объектов в предметных областях с применением новых систем генерации программ мониторинга.

Литература

1. Sohn, H., Farrar, C. R., Hemez, F. M., Shunk, D. D., Stinemates, D. W., Nadler, B. R., & Czarnecki, J. J. (2004). A review of structural health monitoring literature: 1996–2001, Los Alamos National Laboratory (p. 311). LA-13976-MS.
2. Gaikwad, N. Review on Environment Monitoring System and Energy Efficiency // International Journal of Engineering Research and Applications. — Т. 5. — pp. 90—92.
3. Chakravarthi, M. K., Tiwari, R. K., Handa, S. Accelerometer based static gesture recognition and mobile monitoring system using neural networks // Procedia Computer Science. — 2015. — Т. 70. — pp. 683—687.
4. Eissa, M. M., Elmesalawy, M. M., Hadhoud, M. M. Wide area monitoring system based on the third generation universal mobile telecommunication system (UMTS) for event identification // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. — 2015. — Т. 69. — pp. 34—47.

5. Singh, R., Gernaey, K. V., Gani, R. An ontological knowledge-based system for the selection of process monitoring and analysis tools // Computers & chemical engineering. — 2010. — Т. 34, No 7. — pp. 1137—1154.

6. Bello, J.P., Silva, C., Nov, O., DuBois, R.L., Arora, A., Salamon, J., Mydlarz, C. and Doraiswamy, H., 2018. SONYC: A system for the monitoring, analysis and mitigation of urban noise pollution. arXiv preprint arXiv:1805.00889.

7. Suma, N., Samson, S.R., Saranya, S., Shanmugapriya, G. and Subhashri, R., 2017. IOT based smart agriculture monitoring system. International Journal on Recent and Innovation Trends in computing and communication, 5(2), pp.177-181.

8. Raju, K. R. S., Varma G. H. K Knowledge based real time monitoring system for aquaculture using IoT. // IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC). — 2017. — Jan. — pp. 318—321.

9. Ge, Z., Song, Z., Gao, F. Review of recent research on data-based process monitoring // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2013. — Т. 52, No 10. — pp. 3543—3562.

10. Петров К.С., Лебедь К.Г., Тарасенко Д.М., Скориченко В.А. Использование интеллектуальных технологий в современном доме // Инженерный вестник Дона, 2019, №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2019/6087.

11. Соколова Э.С., Багиров М.Б, Женарстанов А.М., Бородина Т.Л., Дмитриев Д.В. Система управления сетью “Интернета Вещей” для удалённой идентификации радиометок // Инженерный вестник Дона, 2019, №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6014.

12. Водяхо А.И., Жукова Н.А., Климов Н.В., Луковенкова О.О., Осипов В.Ю., Тристанов А.Б. Вычислительные модели когнитивных систем мониторинга // Морские интеллектуальные технологии - 2018. - Т. 3. - No 4. - С. 147-153.

13. Zhukova, N., Andrianova N., Klimov N. Program System for Object Models Deductive Synthesis. Proceedings of the 24th Conference of Open Innovations Association FRUCT. — FRUCT Oy. 2019. — pp. 116.
14. Vodyaho A.I., Postnikov E., Osipov V., Zhukova N., Chervontsev M., Klimov N. Computational and technological models of cognitive monitoring systems // Advances in Science, Technology and Engineering Systems - 2019, Vol. 4, No. 2, pp. 197-202.
15. Водяхо А. И., Евневич Е. Л., Жукова Н. А., Климов Н. В., Червонцев М.А. Системы автоматической генерации программ мониторинга // Инженерный вестник Дона, 2019, №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6143

References

1. Sohn, H., Farrar, C. R., Hemez, F. M., Shunk, D. D., Stinemates, D. W., Nadler, B. R., & Czarnecki, J. J. (2004). A review of structural health monitoring literature: 1996–2001, Los Alamos National Laboratory (p. 311). LA-13976-MS.
2. Gaikwad, N. International Journal of Engineering Research and Applications. T. 5. pp. 90—92.
3. Chakravarthi, M. K., Tiwari, R. K., Handa, S. Procedia Computer Science. 2015. T. 70. pp. 683—687.
4. Eissa, M. M., Elmesalawy, M. M., Hadhoud, M. M. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2015. T. 69. pp. 34—47.
5. Singh, R., Gernaey, K. V., Gani, R. Computers & chemical engineering. 2010. T. 34, № 7. pp. 1137—1154.
6. Bello, J.P., Silva, C., Nov, O., DuBois, R.L., Arora, A., Salamon, J., Mydlarz, C. and Doraiswamy, H., 2018. SONYC: A system for the monitoring, analysis and mitigation of urban noise pollution. arXiv preprint arXiv:1805.00889.

7. Suma, N., Samson, S.R., Saranya, S., Shanmugapriya, G. and Subhashri, R., 2017. International Journal on Recent and Innovation Trends in computing and communication, 5(2), pp.177-181.
8. Raju, K. R. S. R., Varma G. H. K. IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC). 2017. Jan. pp. 318—321.
9. Ge, Z., Song, Z., Gao, F. Review of recent research on data-based process monitoring. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2013. T. 52, № 10. pp. 3543—3562.
10. Petrov K.S., Lebed` K.G., Tarasenko D.M., Skorichenko V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2019/6087.
11. Sokolova E`.S., Bagirov M.B, Zhenarstanov A.M., Borodina T.L., Dmitriev D.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6014.
12. Vodyaxo A.I., Zhukova N.A., Klimov N.V., Lukovenkova O.O., Osipov V.Yu., Tristanov A.B. Morskie intellektual`ny`e texnologii, 2018. T. 3. № 4. pp. 147-153
13. Zhukova, N., Andrianova N., Klimov N. Program System for Object Models Deductive Synthesis. Proceedings of the 24th Conference of Open Innovations Association FRUCT. FRUCT Oy. 2019. pp. 116.
14. Vodyaho A.I., Postnikov E., Osipov V., Zhukova N., Chervontsev M., Klimov N. Advances in Science, Technology and Engineering Systems, 2019, Vol. 4, № 2, pp. 197-202.
15. Vodyaxo A. I., Evnevich E. L., Zhukova N. A., Klimov N. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6143