

Архитектурное проектирование подсистем мониторинга киберфизических систем

А. И. Водяхо¹, Н. А. Жукова², М. А. Червонцев³, С. А. Аббас⁴

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Санкт-Петербург, Россия

¹aivodyaho@mail.ru, ²nazhukova@mail.ru,

³chervontsev.mikhail@nicetu.spb.ru, ⁴saddamabbas077@gmail.com

Аннотация. В докладе рассматриваются вопросы проектирования систем мониторинга киберфизических систем. Основной проблемой мониторинга является динамичность структуры и бизнес процессов. Предлагается модельный подход к построения систем мониторинг. Для проектирования систем мониторинга предлагается использовать архитектурный подход, основанный на использовании тактик.

Ключевые слова: киберфизические системы; мониторинг; архитектурные тактики

I. ВВЕДЕНИЕ

Впечатляющие успехи в области микроэлектроники и телекоммуникаций позволили выйти на новый уровень сложности при построении не только информационных, но и антропогенных систем, состоящих из элементов различной физической природы. В качестве примера можно привести киберфизические системы (Cyber-Physical System, CPS), которые включают в себя как природные объекты, так и антропогенные элементы, в частности, информационные компоненты, которые описываются едиными моделями. В подавляющем большинстве CPS – это сложные многоуровневые системы.

К типовым задачам мониторинга состояния CPS можно отнести такие задачи как определение текущей структуры наблюдаемой CPS, реконфигурация структуры наблюдаемой CPS, выявление отклонений в поведении бизнес-процессов (БП), определение причин отклонения поведения БП, прогнозирование состояния и поведения CPS, реконфигурирование БП, оптимизация структуры и БП и др. Принимая во внимание сложность структуры и поведения задача управления структурой CPS является сложно задачей, поскольку структура системы является динамической, а поведение часто является адаптивным. Для решения задачи управления такой структурой CPS необходимо располагать актуальной информацией о текущем состоянии и желательно о будущем состоянии наблюдаемой CPS. Такая информация может быть получена посредством реализации процедуры мониторинга.

II. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

Для построения систем мониторинга (СМ) CPS может оказаться опыт, накопленный при построении встроенные системы различного назначения, в частности, систем реального времени, беспроводных сенсорные сети [1], распределенные вычислительные системы [2], корпоративные информационные системы [3]. Однако следует заметить, что современные CPS по сравнению с перечисленными системами являются намного более сложными, прежде всего по причине наличия высокой структурной динамики [4].

III. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МОДЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СМ

Ранее авторами был предложен модельный подход к построению СМ сложных технических систем [5], основная идея которого заключается построении и поддержании в актуальном состоянии моделей структурной динамики и модели динамического поведения наблюдаемой системы. В качестве информации о текущем состоянии наблюдаемой системы используются лог-файлы или просто логи.

Структурная динамика описывается посредством многоуровневых относительно-конечных автоматов, а для описания поведения наблюдаемой CPS предлагается использовать модифицированный поток работ. Основная проблема заключается в присутствии структурной динамики и в динамике поведения наблюдаемой системы. В работе [6] предложены алгоритмы синтеза многоуровневых автоматных моделей. Для автоматического построения моделей поведения в форме графа потока работ могут быть использованы алгоритмы Process Mining (PM) [7]. Как автоматы, так и графы потоков работ могут быть представлены в форме онтологии, что позволяет использовать процедуры логического вывода для построения автоматического построения БП.

СМ может быть построена как сервисно-ориентированная система. Сервисы разделяются на 3 группы: инфраструктурные сервисы, сервисы работы с динамическими БП и сервисы работы со структурной динамикой. Процесс мониторинга реализуется скриптами, которые представляют собой программы на доменно-ориентированном языке.

Большинство современных CPS являются распределенными системами, при построении которых могут использоваться разные топологии, причем очевидно, что топология СМ определяется топологией наблюдаемой CPS. Множество архитектурно-структурных решений (АСР) СМ CPS можно определить как $\{ACP\} = \{Типы\ обработки\} \times \{Размер\ наблюдаемой\ системы\} \times \{Типы\ топологии\} \times \{Типы\ узлов\} \times \{Типы\ каналов\ связи\}$. В свою очередь, возможны следующие типы обработки: отложенная обработка, on line обработка, обработка в реальном времени, обработка в жестком реальном времени. Размер наблюдаемой CPS может быть небольшим (до 100 датчиков), средним (до 1000 датчиков)

или большим (более 1000 датчиков). При построении CPS могут использоваться различные топологии, в частности, центральный сервер (для небольших систем и систем отложенной обработки), древовидные структуры, состоящая из однотипных или разнотипных контроллеров, контроллеров, а также разного рода сетевые структуры (преимущественно для мобильных систем). СМ CPS часто строятся таких технологий как, Интернет вещей (Internet of Things, IoT), Интернет сервисов, промышленный интернет, туманный и облачный компьютеринг (fog и cloud computing) [8]. Узлы (контроллеры), формирующие СМ могут быть «слабыми», т.е. иметь ограниченную вычислительную мощность или «сильными», имеющими достаточную вычислительную мощность. То же самое относится и к каналам связи, которые могут обладать достаточной или ограниченной пропускной способностью. Из выше сказанного становится понятным, что даже без учета возможности использования различных вариантов реализации самих сервисов, число вариантов размещения сервисов достаточно велико.

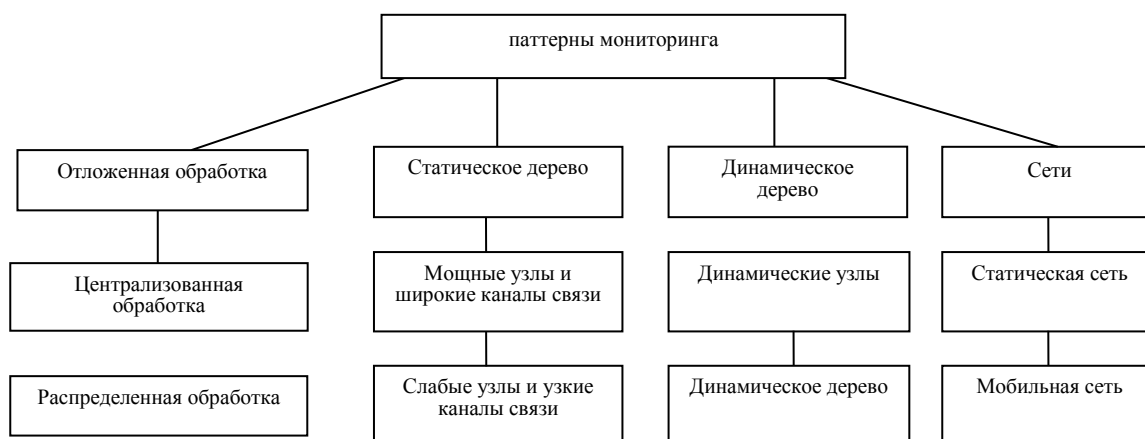


Рис. 1. Паттерны мониторинга

Задача выбора способа размещения сервисов – это задача архитектурного проектирования СМ, которая является предметом рассмотрения. Для решения данной задачи предлагается использовать подход, основанный на применении архитектурных паттернов [9] и архитектурных тактик [10]. Идея состоит в разработке набора паттернов мониторинга (НПМ), которые могут быть отнесены к паттернам распределенной обработки [9]. Из множества паттернов выбирается наиболее подходящий паттерн. Затем посредством использования архитектурных тактик и стандартного архитектурного процесса, например, АТАМ (Architecture Trade-off Analysis Method), основная идея которого состоит в определении процедуры нахождения компромисса между различными показателями качества [10]. В самом общем виде предлагаемый подход может быть описан в виде $\{НПМ\} \xrightarrow{\text{Выбор}} ПМ \xrightarrow{\text{Тактика}} АСР$. Под паттерном (архитектурным паттерном) понимается некоторая совокупность стратегий, направленных на решение некоторой проблемы, возникающей в процессе проектирования системы [9, 10]. В соответствии с

развиваемым подходом предлагается выделить 8 базовых паттернов мониторинга, которые разбиваются на 4 группы. Каждый паттерн описывается диаграммой размещения UML. Структура системы паттернов показана на рис. 1. В корне находится обобщенный паттерн мониторинга, производными от которого являются 4 группы паттернов: паттерны отложенной обработки, паттерны типа «Статическая сеть», паттерны типа «Динамическое дерево» и паттерны типа «Сеть».

Группа паттернов «Отложенная обработка» состоит из 2 паттернов: паттерна «Централизованная обработка» и паттерна «Распределенная обработка». Группа паттернов «Статическое дерево» соответствует древовидным структурам СМ, имеющим постоянную или редко изменяемую топологию, и включает несколько паттернов, основными из которых являются паттерны «Мощные узлы и широкие каналы связи» и «Слабые узлы и слабые каналы связи». Понятия мощные и слабые узлы относятся к контроллерам. Под сильными узлами понимаются контроллеры, которые не являются узким местом с точки

зрения производительности. Аналогичным образом определяются понятия широкие и узкие каналы связи. Группа паттернов «Динамическое дерево» соответствует древовидным структурам СМ, которые могут существенно изменяться в процессе функционирования. Данная группа включает 2 основных паттерна: паттерн «Динамические узлы» и «Динамическое дерево». Паттерн «Динамические узлы» предполагает, что структура самого дерева меняется мало, но может использоваться разнотипное оконечное оборудование. Паттерн «Динамическое дерево» предполагает, что может меняться структура всего дерева. Группа паттернов «Сети» также включает 2 паттерна: паттерн «Статическая сеть», когда структура сети стабильна и паттерн «Мобильная сеть», который соответствует ситуации, когда структура сети постоянно меняется.

Под архитектурной тактикой понимается некоторое множество архитектурных решений, направленных на получения требуемого значения определенного атрибута качества, при этом речь идет об одном конкретном атрибуте качества [10].

Применительно к СМ чаще всего встречаются 4 варианта постановки задачи проектирования: получения минимального времени отклика, минимизация пропускной способности каналов связи, минимизация стоимости и минимизация энергопотребления.

Задача минимизации времени отклика, по существу это задача повышения производительности. Задача минимизации пропускной способности тесно связана с задачами минимизации стоимости и уменьшения энергопотребления.

Для решения этих задач авторами разработаны архитектурные тактики построения СМ, которые являются доменно-ориентированным вариантом тактик, предложенных в [10]. Рассмотрим более подробно архитектурные тактики, ориентированные на повышение производительности в терминах Стимул-Реакция-Метрика (рис. 2).

На рис. 3 приведены тактики управления производительностью. Тактики управления производительностью можно разделить на тактики, направленные на ограничение потребности в ресурсах и тактики, направленные на повышение производительности ресурсов.

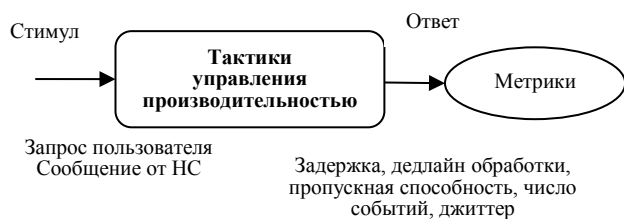


Рис. 2. Тактики управления производительностью в терминах Стимул-Реакция-Метрика

Уменьшение потребности в ресурсах может быть достигнуто за счет использования следующих тактик: ранжирования и фильтрации поступающих логов о событиях и ранжирования запросов, уменьшения точности моделей, а также за счет контентная и контекстная адаптация алгоритмов. К основным тактикам, направленным на управление ресурсами можно отнести следующие тактики: добавление ресурсов, распараллеливание обработки, перенесение обработки на более мощные узлы и использование более эффективных механизмов диспетчеризации.



Рис. 3. Тактики управления производительностью

В докладе рассматриваются также тактики, направленные на минимизацию пропускной способности каналов связи, минимизацию стоимости и минимизацию энергопотребления. Предлагаемый подход, основанный на использовании архитектурных тактик, был успешно использован при решении ряда практических задач, в частности, при построении систем управления сетями кабельного телевидения [5].

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый подход к проектированию CPS, основанный на использовании архитектурных тактик может рассматриваться механизм накопления архитектурного знания и может достаточно легко быть представлен в виде онтологии. В настоящее время авторами разрабатывается подобная онтология.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Handbook of multisensor data fusion: theory and practice / Ed. by M. Liggins, D. Hall, J. Llinas. 2nd ed. FL. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2009. P. 849.
- [2] Sanfelice R.G. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach // Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice / D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic. CRC Press, 2016. ISBN 978-1-4822-6333-6.
- [3] ITIL–IT Service Management. URL: <https://www.axelos.com/best-practice-solutions/itil>
- [4] Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М. Наука, 2006. 410 с. 10. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Intelligent technologies of status monitoring.
- [5] Osipov V., Vodyaho A., Zhukova N. About one approach to multilevel behavioral program synthesis for television devices // International journal of computers and communications. 2017. Volume 11, P. 17-25.
- [6] Distributed Technical Object Model Synthesis Based on Monitoring Data / V.Yu. Osipov, A.I. Vodyaho, N.A. Zhukova, M. Tianxing, S. Lebedev // International Journal of Knowledge and Systems Science (IJKSS). 2019. Vol. 10, Iss. 3. Art. 3. P. 27–43.
- [7] van der Aalst W. Process Mining Data Science in Action. Second Edition. Heidelberg. Springer, 2016. 468 p.
- [8] Huang Jun, Hua Kun (Eds.) Managing the Internet of Things: Architectures, Theories and Applications. The Institution of Engineering and Technology, 2016. 226 p.
- [9] Schmidt D., Stal M., Rohnert H., and Buschmann F. Pattern-Oriented Software. Architecture: Patterns for Concurrent and Networked Objects. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England. 2007, 602.p.
- [10] Bass L., Clements P., Kazman R. Software Architecture in Practice. Third Edition. Addison-Wesley, Upper Saddle River, NJ. 2012, 662.p.