

**Л.Р. Камалетдинова***Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, Российская Федерация***А.А. Романов***Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, Российская Федерация*

Моделирование управляющей системы

Аннотация. В современном мире существует ряд задач, связанных с контролем и управлением жизненным циклом изделий на производстве, которые решаются с использованием комплексов PLM. Комплекс представляет собой несколько систем или модулей, связанных единой шиной данных ESB. ESB позволяет обеспечить взаимодействие между модулями, включая обмен данными. Однако, на предприятии может быть реализован бизнес-процесс с использованием собственной информационной системой, и необходимо решить задачу плавного внедрения комплекса PLM и использование комплекса вместе с собственной разработкой организации. В данной работе рассматривается подход, использующий механизм адаптера, который содержит не только интерфейс взаимодействия с информационной системой, но и реализует логику управления, на основе которой в качестве выходных данных выступают паттерны поведения системы, полученные с использования подхода управления на основе данных. Цель работы состоит в моделировании управляющей системы для интеграции с комплексом PLM. Рассматриваются общие положения проблемы, методы, используемые для построения адаптера, место адаптера в комплексе PLM, описывается предлагаемый подход и дальнейшее направление исследования.

Ключевые слова. PLM-системы, управление на основе данных, методы управления на основе данных, управляющая система, моделирование.

Информация о статье. Дата поступления: 12 мая 2023 г.; дата принятия к публикации: 12 марта 2024 г.; дата онлайн-размещения: 30 марта 2024 г.

Original article

L.R. Kamaletdinova*Ulyanovsk State Technical University,
Ulyanovsk, Russian Federation***A.A. Romanov***Ulyanovsk State Technical University,
Ulyanovsk, Russian Federation*

Control System Design

Abstract. There are a number of tasks in the modern world related to the control and management of the product life cycle in industries, that are solved using PLM systems. The PLM systems consist of several systems or modules connected by a enterprise service bus. The ESB allows interaction between modules, including data exchange. However, the enterprise could implement a business process using its own

information system, and it is necessary to solve the problem of smooth implementation of the PLM system and its use with the organization's one. This paper considers an approach based on using an adapter mechanism that contains not only an interface for interacting with an information system, but also implements control logic, that generates the patterns of system behavior as output data obtained using the data-driven control approach. The purpose of the article is to model the control system for integration with the PLM system. The general visions of the challenges, the methods are used to build the adapter, the adapter's space in the PLM are considered, the proposed approach and the further research notes are described.

Keywords. PLM system, data-driven control, data-driven control methods, control system, design.

Article info. Received 12 May, 2023; Accepted 12 March, 2024; Available online 30 March, 2024.

Введение

В современном мире с ростом предприятий, производящих конечную продукцию для потребителей, возрастает и объем данных, как связанных напрямую с производством, так и охватывающих смежные области, например, кадровый учет. Данные включают в себя разного рода информацию: чертежи, учетные данные на складах, штат сотрудников, работающих в различных департаментах, бухгалтерский учет и прочую информацию, связанную с той или иной областью деятельности предприятия. Остро встают вопросы организации и способов хранения данных. Вместе с тем, при реализации продукции задействованы несколько узкоспециализированных информационных систем, каждая из которых выполняют свою конкретную роль. Появляется проблема реализации взаимодействия этих систем между собой и предоставления доступа к данным из разных источников (систем). Существует решение, подходящее для многих предприятий — комплекс систем управления жизненным циклом предприятия. Система управления жизненным циклом предприятия — это технологическое решение, включающее интеграцию инструментов и техник управления потоком информации через все стадии жизненного цикла изделия: начиная с проектирования и производства продукта, на протяжении всего этапа выпуска, эксплуатации и поддержки, и заканчивая утилизацией продукции [1]. В состав комплекса входит информационные системы — модули, каждый из которых выполняют свою задачу в процессе проектирования и выпуска продукции, а также дальнейшей реализации и утилизации. Российские PLM-системы включают такой состав модулей: CAD-системы конструкторского проектирования, проектирование техпроцессов и расчетов, управление производством, управление качеством, управление нормативно-справочной информацией, управление бизнес-процессами, управление данными и изменениями, управление структурой и конфигурацией изделия, управление требованиями, коммуника-

ции, календарное планирование и управление проектами¹. Организацию взаимного обмена и управления данными выполняет интеграционная шина данных². Одним из ключевых назначений технического решения является разработка стандартов обмена данными и унификация методик интеграции, которые позволяют применять модуль как универсальное решение в процессе слияния систем. Данное техническое решение в каждом конкретном случае интеграции систем на предприятии позволяет сконфигурировать модель обмена данными и выбрать подходящую методику синхронизации³. Однако, при подключении к комплексу сторонней системы конфигурацию модуля обмена данными производит технический специалист, который изначально должен обладать данными об интегрируемой в комплекс системе. Возможное решение проблемы интеграции представлено в статье [2]. Авторы предлагают использовать фреймворк информационного моделирования NIST, который включает этап моделирования основного продукта или бизнес-процесса, играющего ключевую роль в системе, и связанных с ними артефактов. Однако остается открытым вопрос наличия изначальных знаний о сторонней информационной системе техническим специалистом, который будет моделировать бизнес-процессы сам или с использованием программных инструментов. Задача организации взаимодействия системы и комплекса без участия человека остается открытой. Существует классический подход получения информации об основных процессах, происходящих в информационной системе, основанный на моделировании информационной системы [3]. Рассмотренный подход имеет ряд недостатков. При построении модели необходимо учитывать, что она должна представлять собой приближение информационной системы, отображать основные связи между входными и выходными данными (каким образом вводимые входные параметры приводят к тому или иному результату). Допускается формировать некоторые предположения о функционировании системы и принимать их за истину. Но, в случае, если модель или приближения окажутся неверными, будет получена недостоверная информация о системе и тогда процесс интеграции будет выполняться некорректным образом. Предлагается использовать подход анализа информационной системе на основе данных, рассмотренный далее. В статье «Искусственный интеллект в управлении жизненным циклом изделий» [4] рассматривается применение подхода анализа на основе данных и указывается ряд существующих проблем касемо

¹ ЛОЦМАН:PLM. URL: <https://ascon.ru/products/locman-plm>.

² Описание функциональных возможностей. ЛОЦМАН:PLM. Интеграционная шина предприятия. URL: https://ascon.ru/source/pdf/loodsman/2018-Loodsman_PLM-integracionnaya-shina-predpriyatiya.pdf.

³ Там же.

интеграции данных о продукте. Автор указывает о необходимости создания такого инструмента, который бы позволял на основе существующих PLM комплексов реализовать их взаимодействие с сторонней информационной системой, существующей в организации. Для решения задачи предлагается использовать механизм адаптера, который содержит не только интерфейс взаимодействия с информационной системой, но и реализует логику управления, на основе которой интеграционная шина будет использовать данные системы и организовывать обмен этими данными с остальными модулями комплекса PLM.

PLM-системы. В качестве основного инструмента обеспечения взаимодействия между отдельными модулями используется технология ESB [5] — шина данных, представляющая собой программный продукт, позволяющий синхронизировать работу между отдельными независимыми модулями за счет использования расписания и правил. ESB сконструирована из нескольких составляющих компонентов:

- брокера сообщений (управляющий последовательностью передачи и связывающий приложения, которые выполняют функции приемника и источника);
- инструментов мониторинга и контроля (защищающие процесс передачи от возможных сбоев и неполадок);
- комплекта адаптеров (отвечающих за преобразование интерфейсов и связь шины с приложениями, в зависимости от увеличения количества адаптеров в структуре — функционал интеграционной шины становится более расширенным).

Однако использование одной только шины данных не решит ряд проблем с организацией комплексного хранения данных на предприятии, а реализация доступа из разных источников становится трудоемкой и затратной процедурой. Был разработан программный комплекс, позволяющий решить поставленные задачи.

PLM-система — система, предоставляющая возможность управления всем жизненным циклом производства, в который входят как связанные с производством продукции процессы, так и смежные, напрямую не связанные с продукцией [6]. Жизненный цикл изделия схематично изображен на рисунке 1.

PLM-система представляет собой пакет программного обеспечения, состоящий из нескольких отдельных программных продуктов, каждый из которых выполняют свою узкоспециализированную роль. Управлением между отдельными продуктами занимается ESB. В качестве модулей могут выступать не только поставляемые с системой программные продукты, но и собственные разработки организации. В большинстве существующих на российском рынке PLM-систем организация взаимодействия происходит за счет наличия у модулей API и спецификации базы дан-



Рис. 1. Жизненный цикл изделия на предприятии

ных в виде метаданных в формате XML. Таким образом, информационная система организации или предприятия должна перед внедрением комплексного пакета иметь единый стандартизированный интерфейс взаимодействия и спецификацию в формате XML. Возникает проблема при создании стандартизированного интерфейса взаимодействия, так как зачастую сторонний разработчик сталкивается с тем, что структурные особенности информационной системы, функциональные возможности, существующие связи между входными и выходными данными системами — ему неизвестны. Для решения этой проблемы предлагается использовать подход управления информационной системой — управление на основе данных.

Управление на основе данных

Управление на основе данных — это подход управления информационной системой, включающий методы и теоретические аспекты управления, в которых управляющий механизм разрабатывается только на основе существующих данных управляемой системы и знаний, полученных в процессе обработки этих данных [7]. При этом отсутствует какая-либо явная или неявная информация о недетерминированной модели управляемых процессов [8].

Отличие подхода управления системой на основе данных от других заключается в том, при каких условиях был построен сам управляющий механизм. При подходе управления на основе модели первостепенной задачей является построение модели информационной системы, модель должна представлять собой приближение информационной системы, учитывать все ключевые функциональные возможности, отображать основные связи между входными

ми и выходными данными (каким образом вводимые входные параметры приводят к тому или иному результату). И только потом выполняется задача формирования механизма управления уже на основе известной модели [9]. При подходе управления на основе данных, процесс разработки управляющего механизма опирается лишь на наличие данных и, за счет установленных с использованием методов, шаблонов поведения системы.

Стоит рассмотреть процесс управления на основе данных в виде абстрактной модели. На рис. 2 представлен схематично процесс управления на основе данных.



Рис. 2. Схема процесса управления на основе данных

Существует «контроллер», который на основе существующих данных системы и знаниях, полученных в процессе обработки данных, осуществляет процесс управления. Контроллер — это программный инструмент, занимающий основное место в процессе управления на основе данных [6]. Управление включает в себя инициацию процесса обмена информацией, процессов движения и взаимодействия данных между собой. В виду невозможности сформировать на основе данных алгоритмическую составляющую функционирования информационной системы, контроллер осуществляет управление только данными системы, а в качестве модели системы рассматривается концептуальная модель, состоящая из нескольких аспектов.

Методы управления на основе данных

Различают методы управления на основе данных нескольких типов [3]:

- методы, основанные на использовании только изменяющихся данных, которые появляются при работе системы (входные-выходные данные рабочей системы);
- методы, основанные на данных хранящихся в хранилище системы;

– гибридные методы, использующие как входные-выходные данные системы, так и данные из хранилища.

Существующие методы первого типа, применяющиеся в данной работе:

1. SPSA (метод, основанный на стохастической аппроксимации одновременных возмущений) [10]. Преимуществом данного метода является отсутствие необходимости построения математической модели системы. Метод предполагает построение контроллера на основе SPSA. Выбираются случайные значения входных данных для целевой функции оптимизации процесса, сама функция является неизвестной. В качестве входных данных могут быть использованы любые доступные для взаимодействия параметры системы, данные из хранилища, которым назначаются веса приоритета. Им назначаются значения в пределах допустимых и проверяют поведение системы и получаемый результат. Метод состоит в поиске оптимальных значений входных данных, которые играют ключевую роль в процессе функционирования системы. Измерение происходит 2 раза за сеанс: первый раз фиксируется начальное состояние информационной системы, и второй раз — фиксируется реакция на переданные данные. За n итераций и изменений входных параметров наблюдаются результаты работы системы. Управляющая система представляет собой нейронную сеть, на каждой итерации которой происходит подбор случайных значений входных параметров и устанавливаются ожидаемые результаты. Метод SPSA состоит из нескольких шагов:

- случайного поиска значимых параметров из потока входных данных системы и значений этих параметров,
- назначения приоритетов (весов) каждого параметра,
- корректировка с учетом полученных результатов первых двух пунктов на каждой итерации работы метода.

Стоит отметить, что наряду с входными параметрами и весами в качестве входа для следующей итерации используется полученный результат предыдущей итерации.

2. MFAC (безмодельное адаптивное управление) [11]. Суть метода состоит в поиске максимальных и минимальных значений входных параметров, сумма которых приведет к желаемому результату в качестве выходных данных системы. В источниках [3; 11] рекомендуется использовать этот метод вместе с машинным обучением с подкреплением (поиск оптимального алгоритма действий на основе экспериментальных проб и ошибок⁴). В методе MFAC используется информация обратной связи в каче-

⁴ URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%9E%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81_%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%BC.

стве входных данных для метода с целью настройки оптимального алгоритма.

3. UCM (метод управления на основе данных с использованием прошедших проверку кандидатов в паттерны поведения системы) [12]. С помощью использования метода прошедших проверку кандидатов формируются гипотезы относительно поведения системы и осуществляется проверка полученных гипотез на реальных данных в режиме реального времени на тестовой копии системы. Если гипотеза рушится или приводит к нежелательным результатам, то она отвергается и генерируется новая. Цикл проверок длится до тех пор, пока не будет достигнут оптимальный вариант и соответствующая ему оптимальная гипотеза.

Существующие методы, основанные на данных хранящихся в хранилище системы, используемые в работе:

1. SSA (подпространственный подход) [13]. В методе используются исторически изменяемые данные системы. Создается тренировочное множество пар {входных данных, выходных данных} или {входных данных, выходных данных, состояние системы в момент времени при конкретных входных/выходных данных}. В первую очередь происходит поиск пар, в которых входные данные соответствуют определенному состоянию системы и приводят к выходным данным в сравнении с существующими данными в хранилище. Следующим шагом проводится поиск состояний, при которых выходные данные будут соответствовать оптимальному решению, и управляющая система в будущем будет использовать входные данные из этих пар в качестве опорных значений для улучшения производительности системы.

На ряду с методами, которые используют только данные в динамике или только статичные данные, существуют гибридные методы, позволяющие использовать как входные-выходные данные системы, так и данные из хранилища. Достоинством данных методов выделяют возможность глубокого анализа всех доступных данных системы и построение на основе проведенных анализов оптимальной системы управления. Наиболее часто используемые гибридные методы:

1. Управление на основе итеративного обучения [14]. Данный метод использует тестирование с использованием выборки тестовых данных на основе данных с историей изменений. Выбираются некоторые данные, у которых есть история изменений, и используются в качестве входных данных для моделирования управляющей системы. При использовании данного метода создается временная память управляющей системы, с целью сравнения результатов, получаемых в процессе тестирования с реальными результатами, полученными в определенный момент времени, которые хранятся в базе данных системы. Таким образом, управляю-

щая система «учится управлению» с использованием конкретных значений настраиваемых параметров для дальнейшего улучшения производительности системы с учетом того, каким образом тот или иной шаблон поведения системы влияет на конечный результат. Метод используется, если в системе есть повторяющиеся задачи и на их основе можно построить шаблон поведения операции.

2. *Lazy learning* (Мягкое обучение) [15]. Подобно первому методу, данный метод ориентирован на использовании тестовой выборки входных-выходных данных системы с целью формирования взаимосвязи между ними. Алгоритм действует следующим образом:

- на тестовой выборке строится модель поведения системы, устанавливается взаимосвязь между значениями входных параметров и результатом работы системы;

- сравнивается полученный при тестовом прогоне результат с имеющейся в базе данных историей;

- при необходимости входные параметры настраиваются для достижения лучшего, более близкого к требуемому, результата.

На основе существующих методов будет разработан механизм, позволяющий выбирать требуемый метод исходя из знаний о системе. Знания о системе содержат информацию как о данных, хранящихся в базе данных системы, так и о входных/выходных данных, получаемых в процессе работы системы. Обозначим механизм, используемый для выбора метода исходя из имеющихся данных системы: переключающийся механизм. Переключающийся механизм позволяет спроектировать управляющую систему таким образом, чтобы она выдавала не только шаблоны поведения (модели) системы при тех или иных значениях входных параметров, но и стратегии управления для достижения лучшей производительности. В данном случае, наряду с концептуальной моделью системы, определение которой указано в предыдущей главе, будут сформированы стратегии управления системой. Переключающийся механизм не учитывает поведения управляемой системы, но сможет построить шаблон на основе имеющихся данных.

Управляющая система, назначение и место в комплексе PLM

Существует ряд сложностей в предварительной настройке сервисной шины (или процессора, в зависимости от комплекса PLM) для обеспечения взаимодействия со сторонней информационной системой. Предлагаемый подход подразумевает наличие управляющей системы, которая содержит наряду с интерфейсом взаимодействия с информационной системой логику управления и контроля, выдающую в качестве выходных данных паттерны поведения системы, позволяющие упростить процесс интеграции системы в комплексы и создания на их основе расписаний обмена

данными. Логика управления и контроля позволяет сформировать стратегии дальнейшей работы информационной системы с целью улучшения качества выпускаемой продукции и производительности того аспекта предприятия, за который отвечает информационная система. В данном случае управляющая система выступает как адаптер, обеспечивающий взаимодействие сторонней системы с комплексом PLM. Преимущество использования подхода в отличие от ручной настройки шины данных состоит в том, что время, потраченное на изучение сторонней системы аналитиком, внедряющим комплекс PLM на предприятии, сокращается, так же, как и денежные затраты предприятия на оплату разработки интерфейса взаимодействия с системой. Общая схема организации взаимодействия с использованием управляющей системы-адаптера представлена на рис. 3.

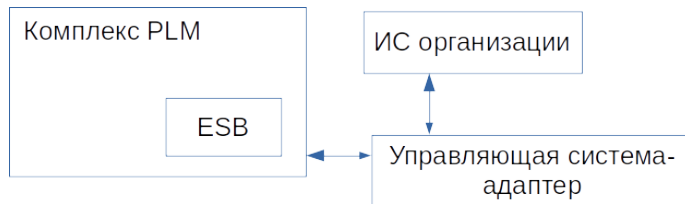


Рис. 3. Схема организации взаимодействия комплекса PLM и информационной системы организации

Основные задачи, реализуемые адаптером:

1. Создание Web API взаимодействия с данными (данные хранилища и входные — выходные данные системы) информационной системой;
2. Формирование спецификации в формате XML (на основе физической модели хранилища информационной системы);
3. Создание правил взаимодействия данных (как между собой, так и с внешними системами).

Моделирование управляющей системы

Для построения управляющей системы в качестве входных данных для анализа будут использованы данные хранилища системы.

Предполагается, что система разработана таким образом, что существует источник данных, с которым она взаимодействует. Однако доступ к источнику может быть осуществлен напрямую, либо с использованием API взаимодействия. Так как управляющая система предполагает универсальность использования, необходимо ограничить используемые для анализа данные и привести их в единый шаблон, с которым будет взаимодействовать управляющая система, и на основе которого будут строиться правила поведения анализируемой системы.

Управляющая система использует анализ структур данных для выявления зависимостей между ними и определения правил поведения анализируемой информационной системы, основанных на взаимосвязи данных между собой.

В данной работе рассматриваются два варианта анализируемых входных данных: данные хранилища без использования API взаимодействия и данные, получаемые только с использованием существующего API и его спецификации.

Таким образом источниками сведений о структуре и содержании данных являются:

Первый тип состава источников сведений: доступная база данных либо файл резервной копии хранилища, журнал событий системы управления базами данных.

Второй тип состава источников сведений: спецификация REST, доступ API анализируемой информационной системы для получения данных.

Третий тип состава источников сведений: журнал событий самой информационной системы.

При рассмотрении первого варианта данных обязательным условием является наличие доступа к базе данных или к файлу резервной копии хранилища, сформированного в соответствии с использованным языком SQL (ссылка). Также могут быть использованы файлы журнала событий системы управления базами данных для более точного определения ключевых процессов системы, но данный пункт не является обязательным. При рассмотрении второго варианта наличия доступа к данным только через API обязательным условием является наличие спецификации REST (ссылка), которая представляет собой стандарты в виде описания API REST, и доступность API анализируемой информационной системы. При составлении множества объектов входных данных стоит так же рассмотреть третий вариант — файл журнала событий самой информационной системы, если журнал активно ведется.

Пусть B — множество баз данных, определенных языком построения запросов SQL, тогда D_B — множество файлов резервной копии базы данных, а L_B — множество журналов событий системы управления базами данных. Таким образом, определим кортеж входных данных первого типа, как

$$\langle b, d_B, l_B \rangle \vee b \in B \wedge d_B \in D_B \wedge l_B \in L_B. \quad (1)$$

Обозначим использование источника данных, доступных через API взаимодействие, как R , тогда S_R — множество спецификаций REST, а D_R — множество данных, получаемых посредством использования API. Так, кортеж входных данных второго типа будет определен, как

$$\langle s_R, d_R \rangle \vee s_R \in S_R \wedge d_R \in D_R. \quad (2)$$

Отдельно необходимо выделить журнал событий самой информационной системы. Пусть I — множество информационных систем, тогда L_I — множество журналов событий информационной системы. Определим кортеж входных данных, состоящий из журнала событий информационной системы, как $l_I \in L_I$.

Таким образом, входные данные для построения структурной модели метаданных информационной системы, будут иметь теоретико-множественное представление, отображенное в формуле 3, где InD — символьное обозначение данного представления.

$$InD = \langle b, d_B, l_B \rangle \vee b \in B \wedge d_B \in D_B \wedge l_B \in L_B, \\ \langle s_R, d_R \rangle \vee s_R \in S_R \wedge d_R \in D_R, l_I \in L_I. \quad (3)$$

Используя анализ источников сведений о структурах данных, формируется структурная модель метаданных.

Процесс формирования структурной модели метаданных является первым этапом работы управляющей системы и участвует в дальнейших процессах ее работы, отображенных в пункте Построение управляющей системы-адаптера. Обозначим φ как процесс формирования структурной модели метаданных, тогда теоретико-множественное представление процесса будет иметь вид:

$$\varphi(InD). \quad (4)$$

Модель метаданных информационной системы должна содержать множество сущностей предметной области информационной системы, представленные в виде объектов с характеристиками параметров сущности, множество значений параметров сущностей и множество взаимосвязей между ними.

Пусть E — множество сущностей предметной области информационной системы, а $e \in E$ — экземпляр множества сущностей предметной области информационной системы, тогда имеет место представление, где A_E — множество атрибутов сущностей, а — не пустой элемент множества атрибутов сущностей, а n — натуральное число, такое что $n \in N$ (N — множество натуральных чисел). Для каждого атрибута сущности характерно определение типа данных атрибута и значение атрибута. Обозначим T как множество типов атрибутов, а V — множество значений атрибутов, тогда $T = \{t_1, \dots, t_n\}$, $V = \{v_1, \dots, v_n\}$, где t — не пустой элемент множества типов атрибутов, v — не пустой элемент множества значений атрибутов, а n — натуральное число, такое что $n \in N$ (N — множество натуральных чисел).

Определим тип атрибута по отношению к атрибуту сущности предметной области, как $\{\langle a_1, t_1 \rangle, \dots, \langle a_n, t_n \rangle\}$, а значение атри-

бута по отношению к атрибуту сущности предметной области, как $\{\langle a_1, v_1 \rangle, \dots, \langle a_n, v_n \rangle\}$.

Обозначим F_E как множество взаимосвязей между сущностями такое, что $F_E = \{f_{E1}, \dots, f_{En}\}$, где $f_E = \langle e_1, \dots, e_n \rangle \mid n \in N$ (N — множество натуральных чисел).

Тогда теоретико-множественное представление структурной модели метаданных изображена в формуле 5.

$$M : (E, A_E \{\langle a_1, t_1 \rangle, \dots, \langle a_n, t_n \rangle\}, \{\langle a_1, v_1 \rangle, \dots, \langle a_n, v_n \rangle\}, F_E = \varphi(InD). \quad (5)$$

При отсутствии входных данных управляющая система допускает возможность использования уже существующей структурной модели метаданных, хранящихся в системе. Однако в данном случае возникает необходимость пользовательского вмешательства человеком для выбора правил поведения системы, так как суть подхода управления на основе данных заключается в наличии данных. Минимальным ограничивающим критерием к входным данным является наличие структуры хранилища данных анализируемой системы.

При проведении дополнительных анализов, используя существующие методы, описанные в Методы управления на основе данных, формируется свод правил поведения информационной системы. Обозначим P как множество правил поведения информационной системы, p — правило поведения, а ω — процесс формирования свода правил, тогда конечное теоретико-множественное представление управляющей системы будет иметь вид:

$$M : \{p_1, \dots, p_n\} = \omega(M). \quad (6)$$

Алгоритм действия управляющей системы

Рассмотренные ранее методы будут применяться в переключающемся механизме для поиска шаблона взаимодействия данных в системе. Каждый метод используется в зависимости от возможностей с конкретной целью. Использование метода зависит так же и от существования данных, используемых в системе. Краткое резюме использования методов приведено ниже:

- SPSA используется для выбора значимых входных данных системы, которые бы привели к значительным улучшениям производства в качестве выходных данных;

- MFAC используется для поиска оптимального значения входных данных, в рамках которых будет строиться паттерн поведения системы;

- UCM применяется в качестве генератора возможных шаблонов связи — кандидатов между входными и выходными данными;

- SSA необходим для сравнения сгенерированных кандидатов с существующими в хранилище изменяемыми данными и выборки оптимальных кандидатов.

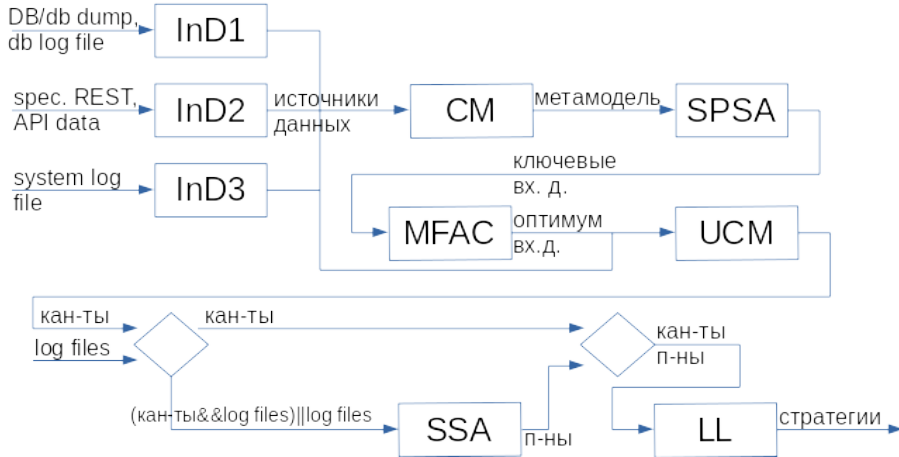


Рис. 4. Схема переключающегося механизма, где DB/db dump — доступная база данных либо файл резервной копии хранилища, db log file — журнал событий системы управления базами данных, spec.REST — спецификация REST, API data — данные анализируемой информационной системы, получаемые посредством REST API, system log file — журнал событий самой информационной системы, InD1, InD2, InD3 — процесс сбора источников данных, CM — процесс формирования структурной метамодели информационной системы, ключевые вх.д. — полученные значимые входные данные системы, оптимум вх.д. — оптимальные значения полученных ключевых входных данных системы, кан-ты — кандидаты-шаблоны взаимосвязей между входными и выходными данными системы, log files — изменяемые данные системы (журналы событий), п-ны — полученные паттерны поведения системы, стратегии — будущие стратегии поведения системы

Существующий метод LL включает все функциональные возможности приведенных выше методов, однако имеет ряд недостатков [15]:

- требуется большое пространство для хранения всего набора обучающих данных;
- процесс поиска оптимального значения входных данных требует больших вычислительных и временных затрат при увеличении объема данных системы;
- из-за отсутствия разделения на подзадачи, при изменении значений входных данных требуется больше времени на поиски оптимальных паттернов поведения системы.

Таким образом, метод LL будет использоваться для формирования стратегий на основе уже полученных паттернов, которые были сгенерированы переключающимся механизмом, что умень-

шит в разы тестовую выборку и временные затраты на работу алгоритма. Стратегии поведения системы, полученные в процессе работы метода LL, теоретически приведут к увеличению прибыли и производительности предприятия, которые наравне с спецификацией и интерфейсом передаются в управляющую шину данных PLM системы. Общая схема переключающегося механизма представлена на рис. 4.

Теоретические результаты моделирования управляющей системы

Реализация поставленных задач в управляющей системе-адаптере отображена на рис. 5.

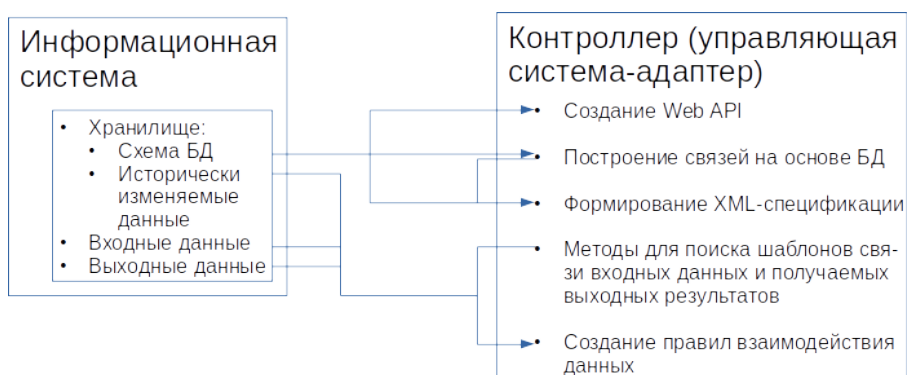


Рис. 5. Схема процесса реализации задач адаптера с использованием подхода управления на основе данных

На рис. 5 представлена схема процесса реализации задач адаптера в сравнении с реализацией процесса управления на основе данных, представленным на рис. 2. В качестве выходных данных адаптера выступают: готовый web-интерфейс, xml-спецификация и паттерны поведения системы на основе анализа существующих данных. При создании правил взаимодействия в качестве входных данных используются:

- исторически изменяемые данные системы (журналы событий, представленные ранее),
- входные данные и выходные данные (источники сведений о структуре и содержании данных),
- методы для поиска шаблонов связи, описанные в Методы управления на основе данных.

Создание правил подразумевает процесс, который, используя методы UC, MFAC, SSA, LL для поиска шаблонов связи входных данных и выходных получаемых результатов на основе анализа состояний хранилища в определенный момент времени при

заданных входных данных, сформирует устойчивые оптимальные паттерны поведения системы.

Анализ полученных результатов

Благодаря моделируемой управляющей системе исключается человеческий фактор из процесса интеграции информационной системы предприятия в комплекс систем PLM, а в дальнейшем и из процесса организации взаимного обмена данными и управления информационной системой. В отличие от подходов, предлагаемых в работах [2; 3], моделируемая система не требует производить структурный и качественный анализ информационной системы перед началом интеграции, что сокращает время работы и не приведет к потере прибыли и производительности предприятия из-за временных задержек. Паттерны поведения позволяют осуществлять управление информационной системой автоматически за счет наличия базы правил, что сократит нагрузку на сотрудников из-за необходимости осуществлять двойную работу при поддержании актуальности данных в нескольких системах. Недостатки моделей информационных систем, рассматриваемые в работе [3], отсекаются ввиду того, что точность метамодели информационной системы зависит от качества и актуальности данных самой системы, а не от аналитических навыков технического специалиста. Однако ключевым фактором в данной работе является надежность самих данных и удовлетворение требованиям к входным данным, описанным в пункте Моделирование управляющей системы адаптера.

Заключение

В работе [4] были определены ключевые недостатки при организации управления на основе данных. Предполагается, что моделируемая система-адаптер покрывает часть из них, а именно:

1. Сбор данных, обмен и интеграция данных в комплекс PLM за счет анализа источников сведений о структуре и содержании данных.
2. Влияние внешних факторов за счет исключения человека из цепочки построения интеграции информационной системы.
3. Адаптивность алгоритмов, основанных на подходе управления на основе данных, за счет построения метамодели на основе только данных интегрируемой информационной системы.
4. Универсальность алгоритмов, основанных на подходе управления на основе данных, за счет использования базы правил поведения интегрируемой информационной системы.

В работе рассмотрен подход к моделированию интеграции информационной системы в комплекс PLM системы с использованием управляющей системы-адаптера. При моделировании управляющей системы были использованы методы управления на

основе данных, спроектирована структурная метамодель информационной системы и обозначено место управляющей системы в работе комплекса PLM. На следующем этапе исследования необходимо реализовать процесс формирования правил взаимодействия информационной системы с универсальной шиной данных на основе предлагаемого подхода и конкретизировать их под конкретную PLM систему. Управляющая система является актуальной для России в виду того, что существуют узкоспециализированные производства, цели которых не могут покрыть комплексы управления PLM, и существует необходимость поддержания актуальности данных в сторонних разработках, а также управления ими с наименьшими трудозатратами и рисками, что и предлагается при использовании моделируемой системы-адаптера.

References

1. Terzi S., Bouras A., Dutta D., Garetti M., Kiritsis D. Product Lifecycle Management — from its History to its New Role. *International Journal Product Lifecycle Management*, 2010, vol. 4, no. 4, pp. 360–389.
2. Sudarsan R., Fenves S.J., Sriram R.D., Wang F. A Product Information Modeling Framework for Product Lifecycle Management. *Computer-Aided Design*, 2005, vol. 37, pp. 1399–1411.
3. Hou Z.S., Wang Z. From Model-based Control to Data-driven Control: Survey, Classification and Perspective. *Information Sciences*, 2013, vol. 235, pp. 3–35.
4. Wang L., Liu Z., Liu A., Tao F. Artificial Intelligence in Product Lifecycle Management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2021, vol. 114, pp. 771–796.
5. Menge F. Enterprise Service Bus. *Free and Open Source Software Conference*, 2007. Available at: https://programm.froscon.org/2007/attachments/15-falko_menge_-_enterprise_service_bus.pdf.
6. Ameri F., Dutta D. Product Lifecycle Management: Closing the Knowledge Loops. *Computer-Aided Design and Applications*, 2013, vol. 2, no. 5, pp. 577–590. DOI: 10.1080/16864360.2005.10738322.
7. Hou Z.S., Xu J.X. On Data-driven Control Theory: the State of the Art and Perspective. *Acta Automatica Sinica*, 2009, vol. 35, no. 6, pp. 650–667.
8. Helvoort J. van. *Unfalsified Control: Data-Driven Control Design for Performance Improvement. Doct. Diss.* Eindhoven, Netherlands, 2007. Available at: <https://pure.tue.nl/ws/files/3339884/200712266.pdf>.
9. Rohrs C.E., Valavani L., Athans M., Stein G. Robustness of Continuous-time Adaptive Control Algorithms in the Presence of Unmodeled Dynamics. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1985, vol. 30, no. 9, pp. 881–889.
10. Na Dong, Xue-Shuo Han, Zhong-Ke Gao, Zeng-Qiang Chen, Ai-Guo Wu. SPSA-based Data-driven Control Strategy for Load Frequency Control of Power Systems. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2018, vol. 12, iss. 2, pp. 414–422.
11. Takialddin Al Smadi, Osman Al-Agha, Khalid Adnan Alsmadi. Overview of Model Free Adaptive (MFA) Control Technology. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 2018, vol. 7, no. 4, pp. 165–169.
12. Safonov M.G. Data-Driven Robust Control Design: Unfalsified Control. In *Achieving Successful Robust Integrated Control System Designs for 21st Century Military Applications*, 2006, pt. II, pp. 4-1–4-18. Available at: <http://www.rto.nato.int/abstracts.asp>.

13. Huang B., Kadali R., *Dynamic Modeling, Predictive Control and Performance Monitoring: A Data-Driven Subspace Approach*. London, Springer, 2008. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318323693>.

14. Xu J.-X., Tan Y. *Linear and Nonlinear Iterative Learning Control*. Berlin, Springer Verlag, 2003. 175 p.

15. Bontempi G., Birattari M. From Linearization to Lazy Learning: a Survey of Divide-and-conquer Techniques for Nonlinear Control. *International Journal of Computational Cognition*, 2005, vol. 3, no. 1, pp. 56–73.

Информация об авторах

Камалетдинова Лилия Рашидовна — аспирант направления 2.3.7 Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования, ассистент кафедры «Информационные системы», Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Российская Федерация, e-mail: li-lek95@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2929-9757>.

Романов Антон Алексеевич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы», Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Российская Федерация, e-mail: romanov73@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5275-7628>, SPIN-код: 4990-5739, AuthorID РИНЦ: 684949.

Information about the Authors

Lilia R. Kamaletdinova — PhD Student, Assistant, Department of the Information Systems, Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russian Federation, e-mail: li-lek95@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2929-9757>.

Anton A. Romanov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of the Information Systems, Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russian Federation, e-mail: romanov73@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5275-7628>, SPIN-Code: 4990-5739, AuthorID RSCI: 684949.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Для цитирования

Камалетдинова Л.Р. Моделирование управляющей системы / Л.Р. Камалетдинова А.А. Романов. — DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(1).60-77. — EDN UYCUWC // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2024. — Т. 6, № 1. — С. 60–77.

For Citation

Kamaletdinova L.R., Romanov A.A. Control System Design. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2024, vol. 6, no. 1, pp. 60–77. (In Russian). EDN: UYCUWC. DOI: 10.17150/2713-1734.2024.6(1).60-77.