

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)



Разработка облачной платформы для выполнения цифровых двойников

К.В. Бородулин, А.А. Подкорытов, Г.И. Радченко



Актуальность: Индустрия 4.0





• Задача реализации передового производства на базе беспроводных сенсорных сетей с использованием интеллектуального анализа данных является важнейшим трендом развития промышленности сегодня



Концепции Индустрии 4.0



- Цифровая фабрика
 - Ориентирована на проектирование и производство продукции на основе создания цифровых двойников и опытного образца или мелкой серии.
- Умная фабрика
 - ориентирована на производство продукции от заготовки до готового изделия по цене серийного производства текущего индустриального уклада.
- Виртуальная Фабрика
 - объединение Цифровых и (или) «Умных» Фабрик в единую сеть либо как части глобальных цепочек поставок (поставки => производство => дистрибьюция и логистика => сбыт и сервисное обслуживание)



Задачи цифровой фабрики

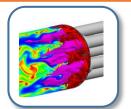


- 1 Прогнозирование и предотвращение аварийных ситуаций
 - 2 Поддержка модернизации технологических процессов
 - 3 Автоматизация управления производством
 - 4 Обучение управлению технологическими процессами
- 5 Экономическая оптимизация и финансовая устойчивость



1. Прогнозирование и предотвращение аварийных ситуаций





Моделирование физических последствий изменения технологических процессов



- Изменения технологических процессов могут привести к катастрофическим последствиям
- Источники возможных изменений:
 - Оператор: установка некорректных параметров тех. процесса, не верное решение в аварийной ситуации;
 - Сбой оборудования: постепенная (либо резкая) деградация параметров тех. процесса (коррозия)

• Решение:

- Предварительное моделирование изменений тех. процесса в модели виртуального завода для оценки риска аварийной ситуации
- Синхронизация виртуальной модели тех. процессов с информацией, поступающей из сенсорной сети для прогнозирования критических ситуаций



2. Поддержка модернизации технологических процессов

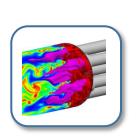




Сбор информации о технологических процессах и готовой продукции в реальном времени посредством интеллектуальных сенсорных сетей



Хранение и интеллектуальный анализ данных о технологических процессах и характеристиках готовой продукции



Реализация многовариантных расчётов технологических процессов и готовой продукции для оптимизации технологических процессов



3. Автоматизация управления производством

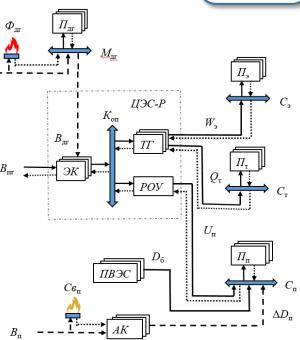




Интегрированное планирование и управление ресурсами предприятий



- Разработка системы интегрированного планирования и управления энергетическими ресурсами промышленных предприятий, с использованием интеллектуального анализа данных (data mining)
- Проведение анализа больших массивов данных об энергетических процессах на уровне крупных предприятий и муниципальных образований в целом для решения задач интегрированного планирования и управления энергетическими ресурсами
- Разработка моделей, представляющих взаимосвязи энерго-технологических процессов в реальном времени для решения задач оперативного контроля и управления их эффективностью



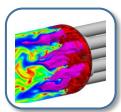


4. Обучение управлению технологическими процессами





Разработка и актуализация виртуальных моделей промышленных предприятий, включая модели отдельных производственных циклов



Интеграция комплекса физических моделей производственных процессов в виртуальную модель предприятия



Имитационное моделирование бизнес-процессов предприятия для оценки решений обучаемого



Разработка виртуальных сред для анализа реакции обучаемого на стрессовые ситуации, связанные с производством, обучение действиям в критических ситуациях



5. Экономическая оптимизация и финансовая устойчивость предприятия





Сбор, хранение и интеллектуальный анализ данных по бизнес-процессам и экономическим характеристикам производства



Многовариантное имитационное моделирование бизнес-процессов предприятия для поиска оптимальных параметров бизнес-процессов и экономических параметров



Цель и задачи



• Цель — создание федеративной облачной платформы, позволяющей реализовывать концепцию Цифровой фабрики для промышленных предприятий

• Задачи:

- Создать модель цифрового двойника
- Реализовать методы выполнения цифровых двойников в виде потоков работ
- Спроектировать архитектуру облачной платформы, позволяющую представить и выполнять цифровые двойники
- Реализовать и протестировать прототип облачной платформы



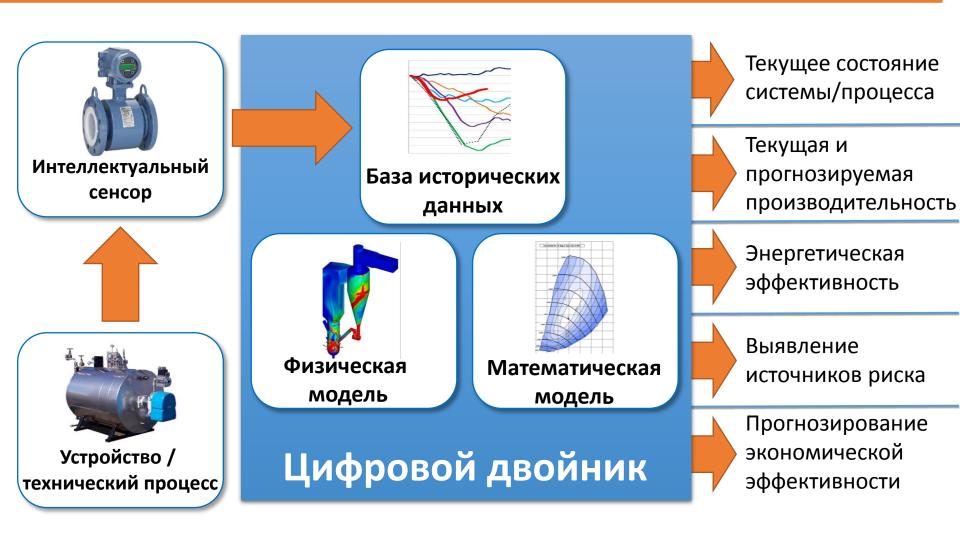


Цифровой двойник



Цифровой двойник







Цифровой двойник



- Цифровой двойник это комплексный подход,
 обеспечивающий синхронизацию реального состояния
 производственного цикла на промышленном
 предприятии с его цифровой моделью, включая:
 - разрабатываемую и выпускаемую продукцию путем синхронизации проектов продукции, результатов численного моделирования и показателей, полученных в результате натурных испытаний;
 - состояние промышленных узлов, систем, оборудования, путем сопоставления математических моделей данного оборудования с данными, полученными с использованием интеллектуальных сенсорных сетей



технологических

плассификация моделей



- ПРОЦЕССОВ Модели типа «если-то» возможно исполнение на маломощных вычислителях (внутри датчика), облако используется для организации оповещения
- **Термодинамические первопринципные модели** формируются на основе базовых термодинамических, физических и химических моделей, лежащих в основе работы конкретного оборудования. Возможно моделирование на базе простого вычислителя (отдельный компьютер)
- **Конечно-элементные вычислительные модели** используют фундаментальные знания о физических и химических особенностях протекающих процессов для моделирования – в зависимости от сложности, может требоваться сервер - средней либо высокой мощности
- **Data Mining** в случае, если происходит стохастический процесс, для которого нет детерминированной первопринципоной модели



Модели «если-то»



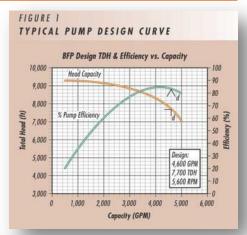
- Используются для оперативного информирования при выходе параметров выполнения технологического процесса за установленные границы
- В таких оповещениях важна фильтрация данных ложные срабатывания, не существенные сообщения об ошибках приводят к тому, что многие пользователи отключают этот канал и не получают важные сообщения:
 - одно из 1000 может быть действительно важным.
- Необходимы «спам-фильтры», которые доставляют конкретным потребителям конкретные типы релевантных сообщений

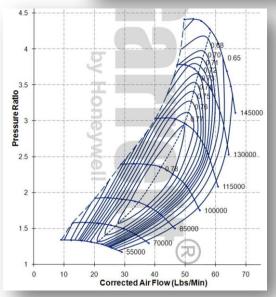


Термодинамические первопринципные модели



- Кривые характеристик формируются для класса приборов одного типа:
 - турбины, насосы, бойлеры, теплообменники,...
- Производится постоянная подстройка коэффициентов модели для синхронизации «цифрового двойника» с конкретным экземпляром оборудования
- Позволяет сделать прогноз деградации характеристик с учетом текущей динамики, чтобы, например, спрогнозировать дату и время следующего ТО оборудования с учетом его выдаваемой эффективности







Конечно-элементные вычислительные модели



• Обеспечивают моделирование сложных многофакторных процессов посредством решения систем дифференциальных уравнений с заданными

граничными условиями

- Используются при:
 - проектировании новой продукции;
 - моделировании новых технологических циклов;
 - моделировании аварийных ситуаций;
- Являются вычислительно-сложными задачами, требующими специального вычислительного оборудования (в наличии, либо арендованного)



Data Mining



• Применяется для решения задач, для которых не применим ни один из вышеперечисленных методов в силу сложности, многофакторности либо стохастической природы протекающих процессов

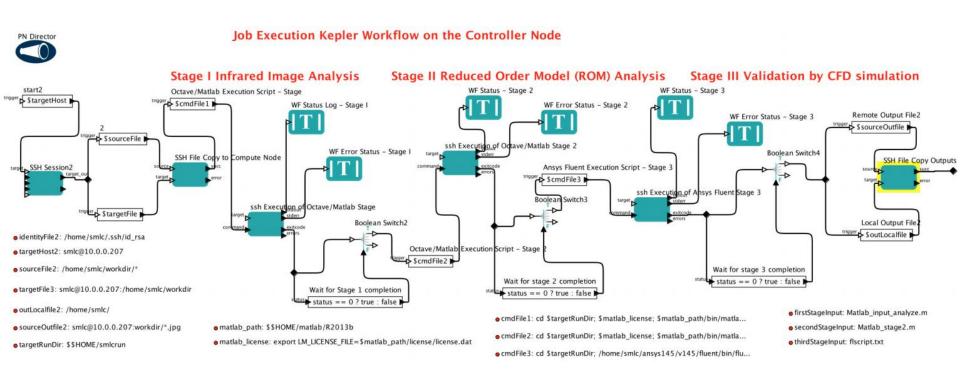
• Требуют:

- большого объема данных
- данных различной природы (графики дежурств сотрудников, температура окружающей среды, дата заказа и доставки товара, номер партии, день недели и др.)
- данных хорошего качества (предварительно очищенных)
- данных за длительный временной период
- Методы интеллектуального анализа данных могут выявить скрытые закономерности в процессах
 - пример задачи появление факела на нефтеперерабатывающим заводе



Модель процесса – это не один сервис





Deploying Kepler Workflows as Services on a Cloud Infrastructure for Smart Manufacturing // Procedia Computer Science Volume 29, 2014, Pages 2254-2259. 2014 International Conference on Computational Science



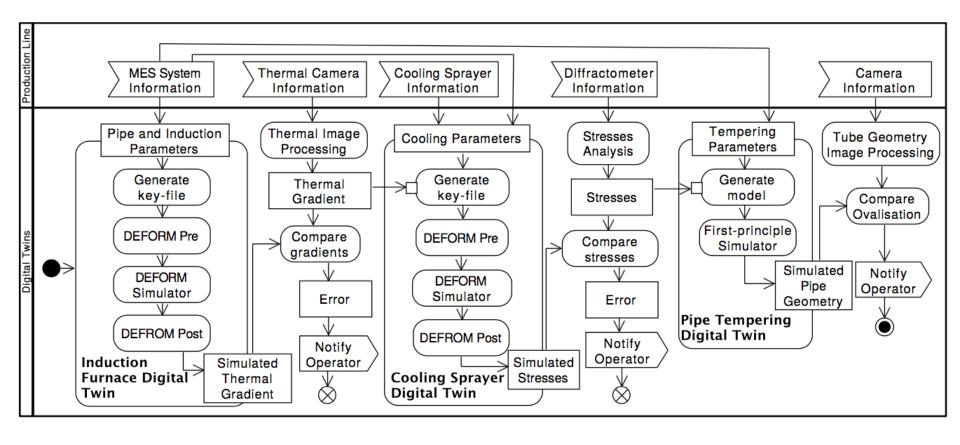


Выполнение цифровых двойников



Пример потока работ в цифровом двойнике



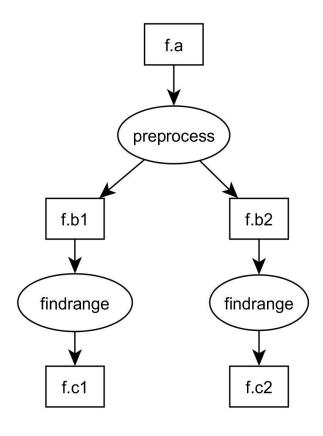




Pegasus



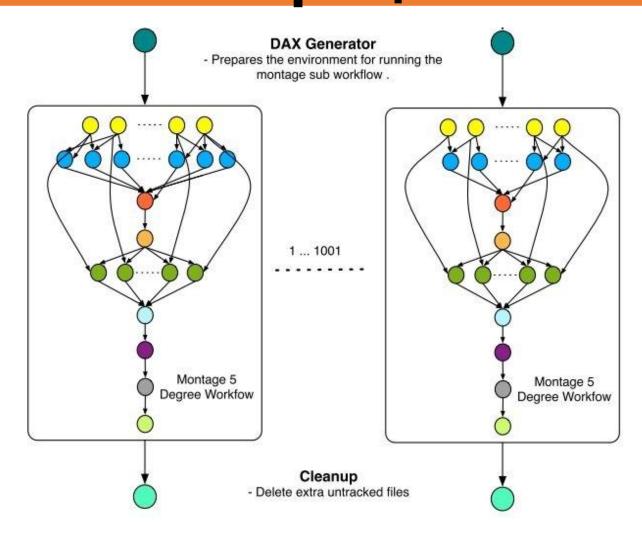
```
preprocess = Job(e preprocess)
preprocess.metadata("time", "60")
b1 = File("f.b1")
b2 = File("f.b2")
preprocess.addArguments("-a preprocess","-T60","-i",a,"-o",b1,b2)
preprocess.uses(a, link=Link.INPUT)
preprocess.uses(b1, link=Link.OUTPUT, transfer=True)
preprocess.uses(b2, link=Link.OUTPUT, transfer=True)
diamond.addJob(preprocess)
# Add left Findrange job
frl = Job(e findrange)
frl.metadata("time", "60")
c1 = File("f.c1")
frl.addArguments("-a findrange","-T60","-i",b1,"-o",c1)
frl.uses(b1, link=Link.INPUT)
frl.uses(c1, link=Link.OUTPUT, transfer=True)
diamond.addJob(frl)
# Add right Findrange job
frr = Job(e findrange)
frr.metadata("time", "60")
c2 = File("f.c2")
frr.addArguments("-a findrange", "-T60", "-i", b2, "-o", c2)
frr.uses(b2, link=Link.INPUT)
frr.uses(c2, link=Link.OUTPUT, transfer=True)
diamond.addJob(frr)
```





Динамическая генерация

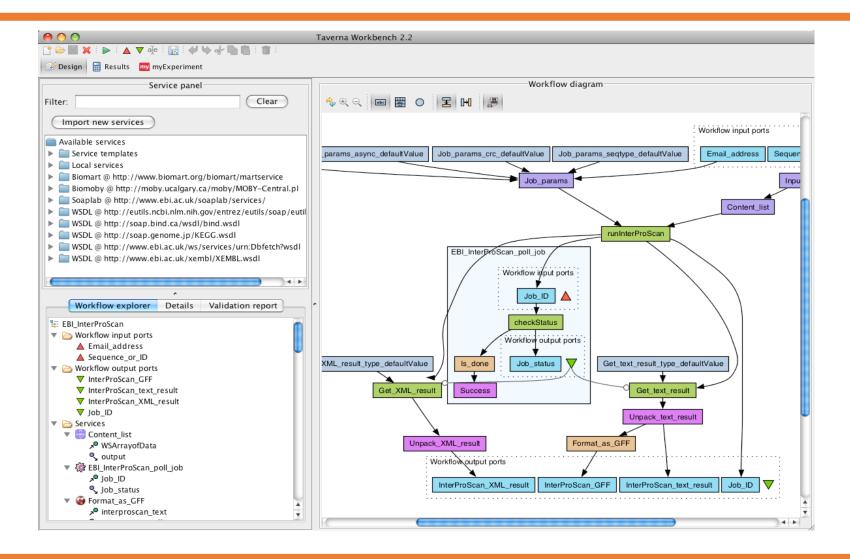






Apache Taverna

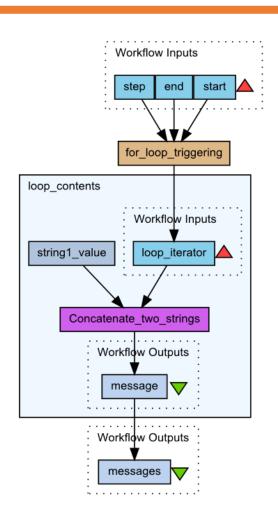


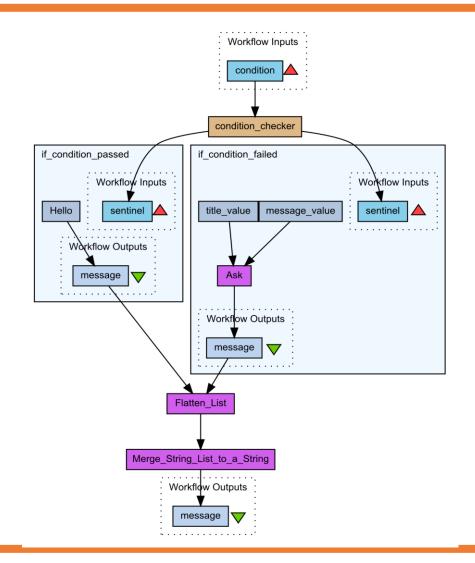




Условия и циклы



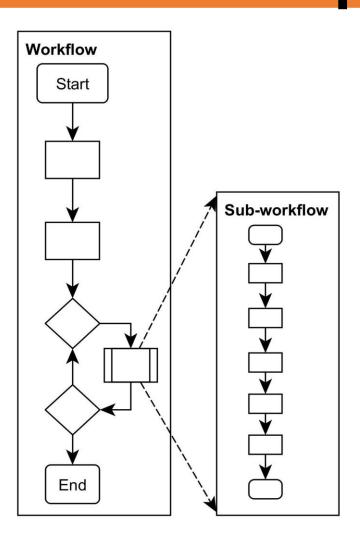






Абстрактный поток работ





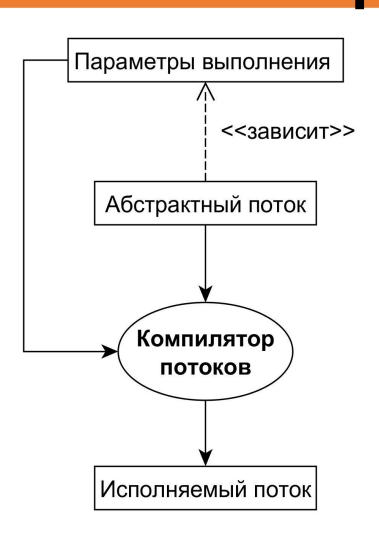
Абстрактные потоки работ могут включать:

- Подпотоки
- Узлы операций
 - ветвления
 - итерации
 - параллельного выполнения
 - ◆ СЛИЯНИЯ



Компилятор потоков работ





Абстрактный поток содержит операции, зависящие от набора параметров выполнения.

Исполняемый поток не зависит от параметров и пригоден для выполнения современными SWMS.



Алгоритм



для каждого узла операции

если узел использует подпоток

Выполнить компиляцию подпотока

Заменить узел на DAG подпотока

иначе

Заменить узел обращением к

используемому сервису

Определить число шагов операции

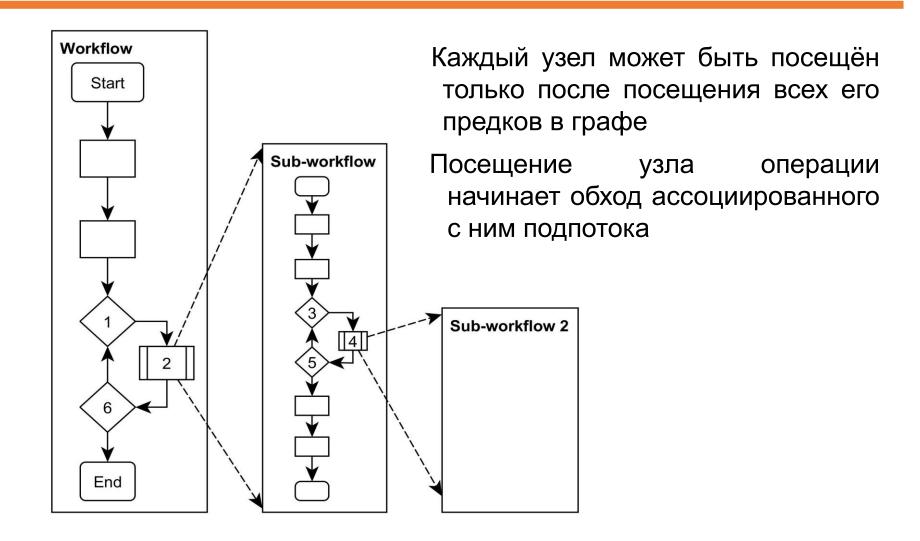
Копировать добавленные узлы и связи

требуемое число раз



Поиск узлов операций



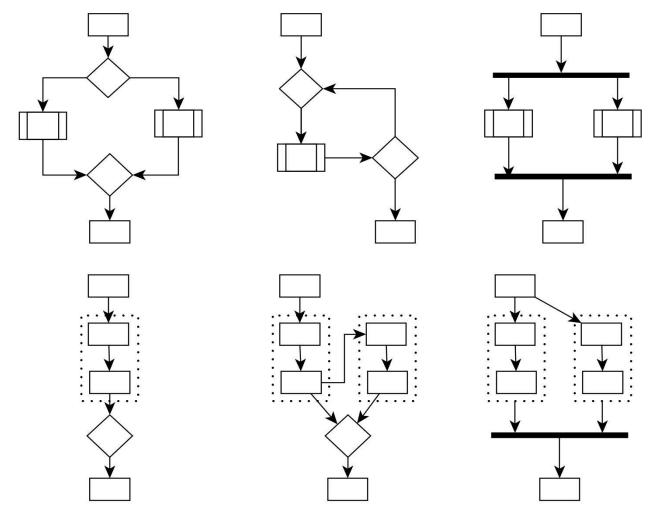




Исключение узлов



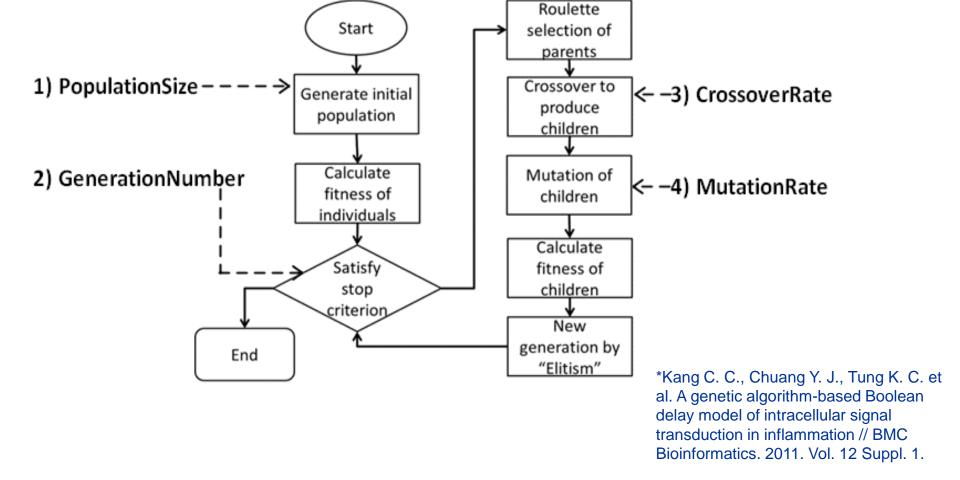
операний





Блок-схема генетического алгоритма*

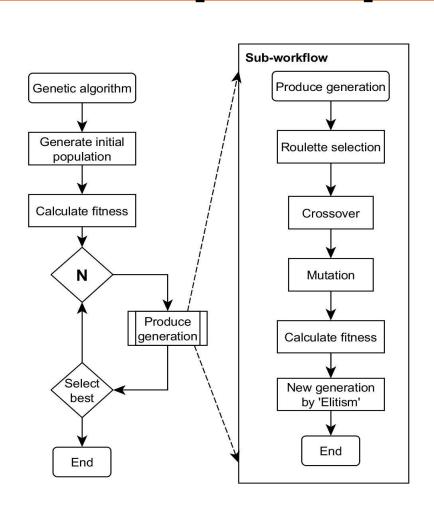


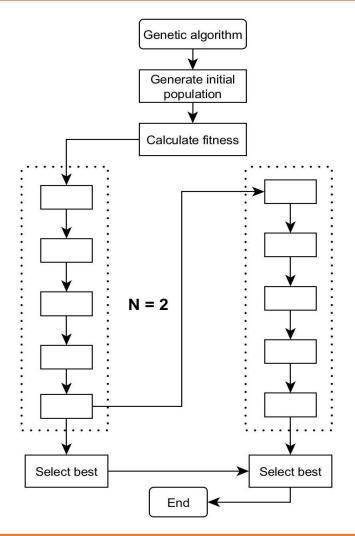




Пример трансформации









Подходы к реализации



- · Стандарт Common Workflow Language
- Реализация компилятора потоков как микросервиса
- Использование методов прогностического планирования, предложенных в рамках проекта ASKALON.





Облачная платформа поддержки цифровых двойников



Облачная индустриальная платформа







Применение



- Производители оборудования предоставляют
 безопасный доступ к цифровым двойникам
 оборудования; обеспечивается мониторинг состояния
 оборудования
- Промышленные предприятия создают цифровые двойники производственных процессов и систем для анализа текущего состояния и дальнейшего принятия решений
- Исследовательские центры получают возможность для разработки и распространения их вычислительных и аналитических моделей



Основные субъекты облачной платформы

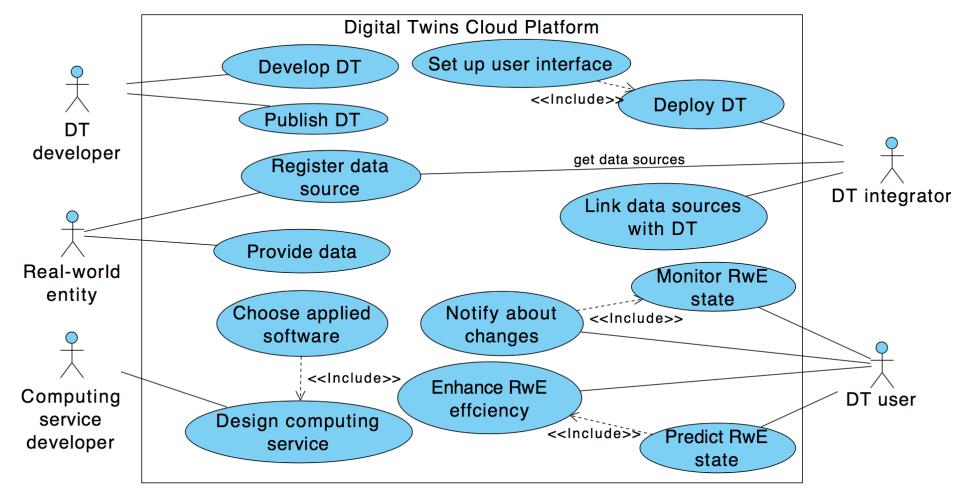


- Объект реального мира оборудование или производственный процесс, оснащенный сенсорами, собирающими данные о состоянии
- Облачная платформа программная система, предоставляющая фреймворк для разработки, запуска и управления цифровыми двойниками
- Вычислительный сервис микросервис, доступный в облачной платформе, и использующий стандартизованные сетевые протоколы для обеспечения обработки данных для поддержки моделирования цифровых близнецов.
- **Цифровой двойник** виртуальное представление объекта реального мира, доступный для конечного пользователя как облачный сервис (DTaaS)



Диаграмма вариантов использования







Уровни облачной платформы

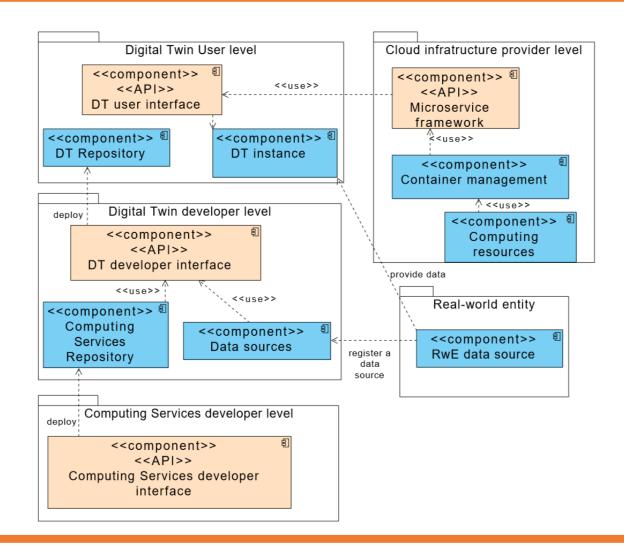


- Уровень пользователя цифрового двойника
- Уровень разработчика цифровых двойников
- Уровень разработчика вычислительных сервисов
- Уровень провайдера облачной инфраструктуры



Архитектура облачной платформы







Основные результаты



- Разработан подход к представлению цифровых двойников в виде микросервисов
- Разработана архитектура облачной платформы, позволяющей управлять цифровыми двойниками
- Разработан алгоритм компиляции потоков работ, представляющих цифровых двойников, для выполнения системой управления потоками работ



Алгоритм компиляции потока работ



ПРОЦЕДУРА: ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОТОКА РАБОТ

ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ: ПотокРабот, значения

параметров предметной области

ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ: ПотокРабот

ПАРАН

СписокУзловОпераций <- Получить Список Узлов Операций (ПотокРабот)

для каждого узла операции из списка

Преобразовать граф потока в зависимости от типа узла операции

Исключить узел операции и связи с ним из потока работ

КОНЕЦ



Алгоритм компиляции потока работ (1)



если тип операции узла = операция слияния

Создать требуемое число узлов для шагов операции слияния

Определить тип предыдущей операции в исходном графе, используя СписокУзловОпераций

если тип предыдущей операции = операция итерации Последовательно соединить узлы

Добавить узлам последовательности по 1 входящей связи

Добавить последнему узлу исходящие связи узла операции

иначе

Соединить узлы шагов операции в бинарное дерево Добавить по 2 входящие связи листьям дерева Добавить корню дерева исходящие связи узла операции



Алгоритм компиляции потока работ (2)



иначе если тип операции узла = операция ветвления

Выбрать подпоток, к которому выполняется обращение

НаборСвязей <- входящие и исходящие связи узла

Поместить в Граф (подпоток, граф потока, НаборСвязей)

СписокУзлов <- Получить Список Узлов Операций (тело подпотока)

Добавить СписокУзлов в СписокУзловОпераций после текущего узла



Алгоритм компиляции потока работ (3)



• иначе

- Создать требуемое число копий подпотока
- НаборСвязей <- входящие и исходящие связи узла
- для каждой копии подпотока
- Поместить в Граф (копия, граф потока, НаборСвязей)
- СписокКопии <- Получить Список Узлов Операций (тело копии)
- Добавить СписокКопии в СписокУзловОпераций после текущего узла
- если тип операции узла = операция итерации
- и текущая копия не является первой
- Добавить связи между конечными узлами предыдущей копии и начальными узлами текущей