

УДК 004.896

О.И. Федяев, Ю.В. Зудикова
Донецкий национальный технический университет
fedyaev@r5.dgtu.donetsk.ua

Иерархическая разработка многоагентной модели процесса производства промышленных смесей

В статье рассматривается вопрос перехода от моделей методологии агентно-ориентированного анализа Gaia к концептам инструментария Zeus при создании многоагентной системы моделирования процесса производства промышленных смесей.

Ключевые слова: агентно-ориентированный анализ Gaia, концепт, Zeus, многоагентная система, производство промышленных смесей

Введение

Современные объекты автоматизации часто представляют собой распределённые системы, компоненты которых взаимосвязаны, обладают элементами интеллектуальности и поведением высокой степени сложности. К классу таких объектов относятся крупные производственные и энергетические комплексы с автоматизированным управлением, социально-экономические системы, компьютерные сети, предназначенные для распределённой обработки информации и управления производством. Для описания и изучения динамики функционирования таких систем традиционные способы не всегда пригодны. Поэтому требуется поиск новых подходов к созданию адекватных моделей таких сложных объектов.

Теория многоагентных систем предлагает новый подход к разработке и моделированию сложных распределённых систем. Она позволяет строить качественно новые модели распределённых систем в виде интеллектуальных организаций, представленных автономными искусственными агентами. Преимуществом многоагентного моделирования является возможность естественного описания сложных систем в терминах поведения компонент и их взаимодействий. В настоящее время имеется достаточное количество примеров успешного применения многоагентного подхода к разработке компьютерных моделей (искусственных организаций), которые включают в себя необходимый набор искусственных агентов с определённым набором свойств для проведения симуляций различных трудно формализуемых процессов и явлений [2-4, 6].

Процесс разработки многоагентной системы является иерархическим и предполагает использование разнотипных моделей, получаемых на уровне агентно-ориентированного анализа

решаемой задачи и на уровне программирования агентов в какой-нибудь инструментальной среде. Целью агентно-ориентированного анализа является создание абстрактных моделей, концептуально описывающих все аспекты многоагентной системы. А на стадии программной реализации многоагентных систем используются различные инструментальные системы. Однако помимо средств программной реализации они также предоставляют свой набор абстракций для описания агентов и их поведения. Поэтому разработчик при использовании методологии и инструментария, оперирующих разными концептами, должен связать абстрактные и физические модели.

Постановка задачи

Методологические аспекты построения агентно-ориентированных моделей и их преимущества на сегодняшний день исследованы не достаточно полно. Одной из наиболее распространённых методологий агентно-ориентированного анализа является методология Gaia [7]. Из имеющегося ряда современных инструментальных систем можно выделить среду Zeus [5], которая оперирует схожими с Gaia спецификациями сообщества агентов. В данной работе делается акцент на установление семантических связей при переходе от абстрактных моделей методологии Gaia к концептам инструментальной среды Zeus.

Трансформация моделей методологии Gaia в концепты инструментария Zeus

В рамках организационно-ориентированной методологии Gaia многоагентная система проектируется в терминах поведений и структур человеческих сообществ или производственных организаций и описывается совокупностью взаимодействующих ролей. Модели методологии Gaia соответствуют уровню абстрактных моделей (см. рис.1). В

рамках методології Gaia повинні бути розроблені наступні моделі:

- модель ролей, яка абстрактно описує властивості і поведінку автономно функціонуючих сутностей предметної області; для кожної ролі визначаються пов'язані з нею обов'язки (функціональний аспект), повноваження (ресурсний аспект), протоколи і активності (взаємодія з іншими ролями);

- модель взаємодій на основі складених протоколів;

- модель агентів, яка передбачає об'єднання ролей в агентні типи і представлення їх в формі ієрархії;

- модель послуг, створювана шляхом аналізу активностей і обов'язків і специфікуюча функції ролей;

- модель зв'язів між агентами.

Інструментальна середовище Zeus оперує іншими базовими поняттями: онтологія, факт, агент, завдання, правило, координація і організація агентів (рівень концептів середовища Zeus показано на рис.1).

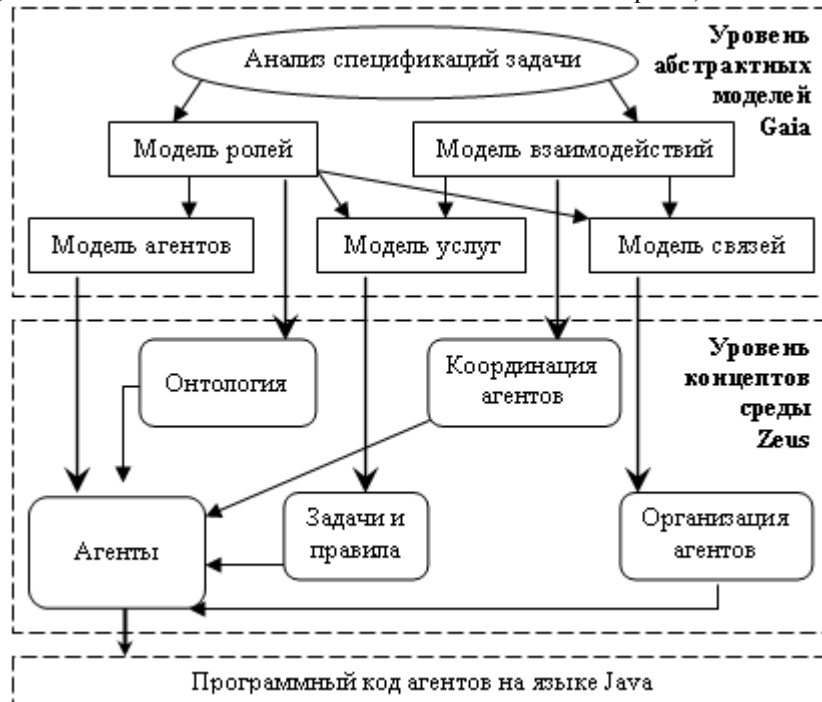


Рисунок 1 – Взаємозв'яз моделей методології Gaia і інструментарія Zeus

Онтологія в середовищі Zeus представляється декларативним набором знань, який відображає суттєві поняття предметної області і їх характеристики. Онтологія Ont задається множиною фактів f , представлених в формі ієрархічної структури:

$$Ont = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}.$$

Кожний факт f характеризує одне поняття предметної області і визначається в загальному випадку множиною атрибутів або четверок виду:

$$f = \{(AN, T, R, DV)_1, \dots, (AN, T, R, DV)_m\},$$

де AN – назва атрибута; T – тип атрибута; R – обмеження на значення атрибута; DV – значення атрибута за замовчуванням. Факти онтології отримуються з аналізу повноважень (або інформаційних ресурсів) моделі ролей Gaia.

Поняття агента A в Zeus являється ключовим і описується на трьох рівнях: визначення D , організації O і координації C :

$$A = (D, O, C), \quad D = (R, G, T),$$

$$O = (AD, R, NA), \quad C = (CP, IS).$$

На рівні визначення D (рис.2) агент

розглядається як автономна сутність, здатна до роздумів. Агент задається множиною ресурсів R , множиною цілей G і множиною завдань T .

В середовищі Zeus передбачено три види завдань: проста (неділяема) задача, група простих завдань, виконуваних в певній послідовності, і база правил. Проста задача t визначається наступним набором атрибутів:

$$t = (N, T, P, E, CP, CE, C, D),$$

де N – назва завдання; T – тип завдання; P – входні факти (умови); E – вихідні факти (ефекти); CP – обмеження на значення входних фактів; CE – обмеження на значення вихідних фактів; C – вартість завдання; D – тривалість виконання завдання. База правил складається з множини правил rl :

$$rl = (P, A),$$

де P – умови, залежні від входних фактів; A – дії, виконуваних при істинності умови. Завдання випливають з

услуг модели услуг Gaia, а правила строятся по протоколам модели взаимодействий Gaia.

На уровне организации O (рис.2) агент рассматривается в контексте его отношений с другими агентами. Для агента определяется множество «знакомых» агентов AD и множество отношений R, в которых он состоит с другими агентами. Множество фактов NA содержит факты, принадлежащие «знакомым» агентам, о которых осведомлен конфигурируемый агент. Множество «знакомых» агентов и множество известных фактов можно сформировать, анализируя модель связей Gaia.

На уровне координации C (рис.2) агент рассматривается как социальная сущность, взаимодействующая с другими агентами сообщества по протоколам координации CP и стратегиям взаимодействия IS. Атрибуты CP и IS могут быть получены путём анализа модели взаимодействий Gaia.

Уровень коммуникации (рис.2) определяет язык и протокол передачи сообщений агентами в рамках их взаимодействия. Нижний уровень API (рис.2) обеспечивает связь агента с внешними программами, предоставляющими ему ресурсы и/или реализующими его способности. С помощью сенсоров агент непосредственно воспринимает поступающую информацию из внешней среды, а посредством эффекторов – сам воздействует на среду.

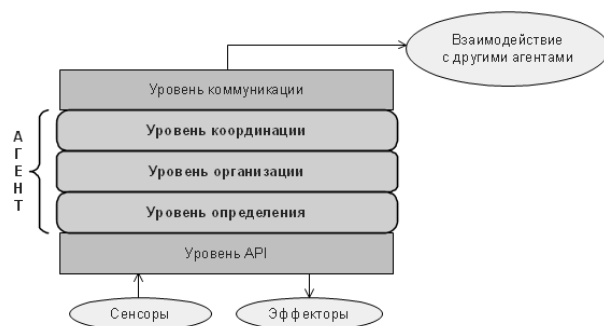


Рисунок 2 – Концептуальная структура агента Zeus

Установленная связь концептов среды Zeus и моделей методологии Gaia позволяет составлять в среде Zeus адекватные описания структуры и динамики поведения агентов и автоматически генерировать их программные аналоги.

Описанная связь моделей использовалась при разработке многоагентной системы моделирования процесса производства промышленных смесей [1]. Данный технологический процесс (рис.3) как объект анализа и управления является распределённой системой, в которой взаимодействуют отдельно работающие устройства и персонал.

Разрабатываемая модель, представленная в виде многоагентной системы, должна обеспечивать необходимую адекватность

реальному технологическому процессу производства. Участники процесса производства (устройства и персонал) моделируются автономными программными агентами соответствующей архитектуры. Каждый из агентов наделяется полномочиями того субъекта производственного процесса, которого он представляет, и обладает поведением, определяемым этими полномочиями.

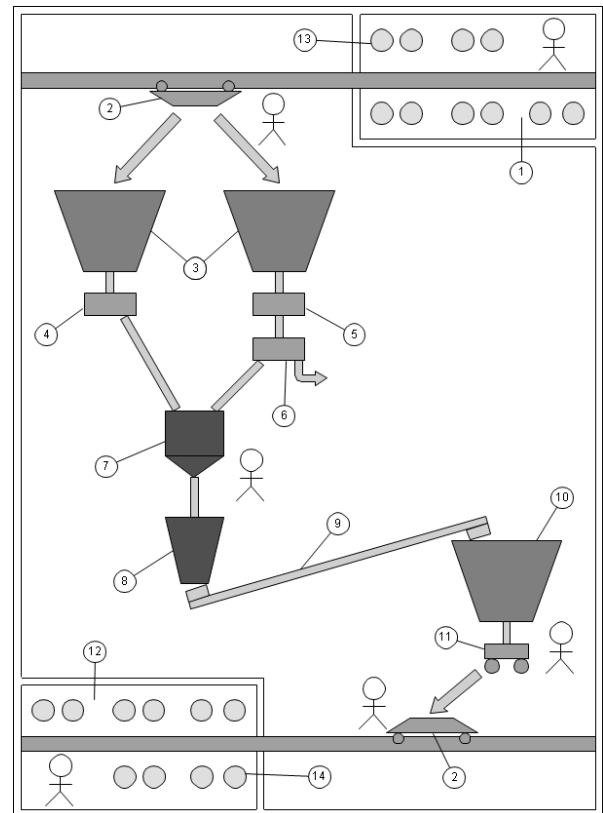


Рисунок 3 – Схема технологического процесса производства промышленных смесей: 1 – склад сырья; 2 – кран-балка; 3 – бункер; 4 – грохот; 5 – дробилка; 6 – сепаратор; 7 – дозатор; 8 – смеситель; 9 – винтовой конвейер; 10 – накопительная емкость; 11 – тележка; 12 – склад готовой продукции; 13 – сырьё; 14 – смеси

Переход от абстрактных моделей к физическим покажем на примере взаимодействия трёх агентов: агент Кладовщик выдаёт порцию сырья со склада, агент Кран-балка принимает и транспортирует сырьё к месту назначения – к агенту Бункеру (рис. 3). Примеры упрощённых в этом контексте фрагментов моделей Gaia представлены на рис.4, 5 и 6.

Агенту Кладовщик соответствует роль Кладовщик модели ролей Gaia (рис.4). Роль определяет полномочия (информационные ресурсы) и обязательства (функции) Кладовщика. Основной функцией роли Кладовщик является выдача сырья со склада.

Выдаваемое сырьё получает роль Кран-

балка. Схема выдачи сырья описывается протоколом выдачи сырья со склада (рис.6). Протокол отражает инициатора взаимодействия и ответчика, а также входные и выходные данные.

Схема роли Кладовщик
Описание роли: обслуживает склад сырья
Протоколы и Активность: Выдать порцию сырья <u>Изменить объем сырья с учетом выдачи</u> Сообщить об отсутствии сырья
Полномочия: reads вместительность склада changes типы сырья changes количество сырья каждого типа changes уровень наполненности склада
Обязательства: жизнеспособности: КЛАДОВЩИК = ВЫДАЧА СЫРЬЯ ВЫДАЧА СЫРЬЯ = (Выдать порцию сырья. <u>Изменить объем сырья с учетом выдачи</u>) Сообщить об отсутствии сырья условия безопасности: 0 <= уровень наполненности <= вместительность склада

Рисунок 4 – Фрагмент модели ролей Gaia: схема роли Кладовщик

На основе составленных моделей Gaia и установленных межмодельных связей упрощается спецификация структуры программных агентов в среде Zeus. Полномочия агента Кладовщик (рис.4) представляются в виде фактов онтологии предметной области в среде Zeus.

Например, знание Кладовщика об имеющемся на складе сырье (типе и количестве) можно представить в виде факта, название которого отражает тип сырья, а атрибут Count целого типа – количество (рис.7).

Спецификация агента Кладовщик включает определение ресурсов, задач и правил агента. Например, созданный ранее факт Sand становится ресурсом агента при задании конкретных значений его атрибутов, например, запасы песка на складе составляют 100 кг (рис.8).

Услуга	Входные данные	Выходные данные	Предусловия	Постусловия
Выдать сырьё	Порция требуемого сырья	Порция выданного сырья	Количество сырья > 0	Порция сырья выдана

Рисунок 5 – Фрагмент модели услуг Gaia: услуга для агента Кладовщик

Выдать порцию сырья		
Кладовщик	Кран-балка	
Выдать очередную порцию сырья со склада		Количество сырья по типам Сообщение о выдаче сырья Порция сырья
Получить сырье		
Кран-балка	Кладовщик	
Получить очередную порцию сырья со склада		Порция сырья Подтверждение получения порции сырья

Рисунок 6 – Фрагмент модели взаимодействий Gaia: протокол выдачи сырья со склада

Факт	Имя атрибута	Тип атрибута	Ограничение	Значение по умолчанию
Sand	Count	Integer		

Рисунок 7 – Фрагмент окна спецификации онтологии – факт Sand

Факт	Имя атрибута	Значение
Sand	Count	100

Рисунок 8 – Фрагмент окна спецификации агента Кладовщик – ресурс Sand

При описании задач и правил агента следует руководствоваться информацией из обязательств жизнеспособности схемы роли

Кладовщик, услуг и протоколов для Кладовщика из модели услуг и модели взаимодействий методологии Gaia.

Например, функцию Кладовщика выдачи сырья можно представить в виде простой задачи под названием GiveMaterial. В окне спецификации задачи (рис.9) необходимо задать входные и выходные факты. Как следует из рис.5 и 6 входным данным является порция требуемого сырья, а выходными – порция выданного сырья и сообщение о выдаче сырья.

Для этого в онтологию необходимо добавить два новых факта – знание о порции

сырья и сообщение о выполнении действия. Первый факт назван Portion и имеет атрибуты: Material – тип сырья; Count – количество порций; Sender – имя агента, запрашивающего сырье со склада. Атрибутами второго факта Done являются: Type – тип действия (в примере это выдача сырья); Flag – признак успеха выполнения действия; Sender – имя агента, выполнившего действие.

Предусловия (входные факты)		Постусловия (выходные факты)			
Факт Portion		Факт Done		Факт Portion	
Атрибут	Значение	Атрибут	Значение	Атрибут	Значение
Count	?cnt	Type	MaterialGive	Count	?cnt
Material	?matrl	Flag	Kladovshik	Material	?matrl
Sender	Kranbalka	Sender	true	Sender	Kladovshik

Рисунок 9 – Фрагмент окна спецификации задачи GiveMaterial

Правила обеспечивают реактивное поведение агента. Для этого построено правило под названием NewMaterialToGive (рис. 10). В условной части правила указан факт Portion,

посылаемый агентом Кран-балка. Во второй части правила для агента Кладовщик поставлена цель – выдать сырье, для достижения которой он активизирует задачу GiveMaterial.

Условие	?portn <- (Portion (Count ?cnt) (Sender Kranbalka) (Material ?matrl))
Действие	(achieve (fact (Done (Type MaterialGive) (Sender Kladovshik) (Flag ?val))) (end_time 4) (confirm_time 2))

Рисунок 10 – Правило NewMaterialToGive агента Кладовщик в синтаксисе среды Zeus

Общая спецификация агента Кладовщик в среде Zeus определяет поведение агента посредством базы правил KladovshikRulebase, агент также может выполнять задачу GiveMaterial и обладает ресурсами в виде двух фактов: факта Sand – запасы песка и факта Cement – запасы цемента.

По рассмотренной методике составляются спецификации агентов Кран-балка и Бункер в среде Zeus. Описанная связь моделей позволила систематизировать проектирование и автоматизировать генерацию программного каркаса многоагентной системы, представляющей технологический процесс производства промышленных смесей.

Анализ полученных результатов

Построенная многоагентная модель процесса производства промышленных смесей, схема которой показана на рис.11, позволяет решать следующие задачи:

- 1) моделирование процесса производства:
 - определение производительности цеха при изменении организационно-технических условий;

- анализ временных характеристик процесса приготовления смесей;
- обнаружение узких мест в технологии производства.

2) реинжиниринг производства: оценка влияния установки нового оборудования в существующую производственную линию;

3) управление процессом производства.

В частности была решена задача определения рациональной структуры производства. Пусть y_k – количество смеси k-го типа, которое должно быть приготовлено; $X_k = \{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{km}\}$ – сырьевой состав смеси k-го типа объемом y_k ; x_{ki} – количество сырья i-го типа, необходимого для приготовления заданного количества смеси k-го типа, $i=1, \dots, m$. Тогда зависимость объема y_k смеси k-го типа от времени приготовления t , сырья X_k и организационно-технических условий S можно представить как:

$$y_k = f(t, X_k, S).$$

Структура производства S функционально определяется количеством n и видами технологического оборудования, задействованного в процессе производства:

$$S = \varphi(d_1, d_2, \dots, d_n),$$

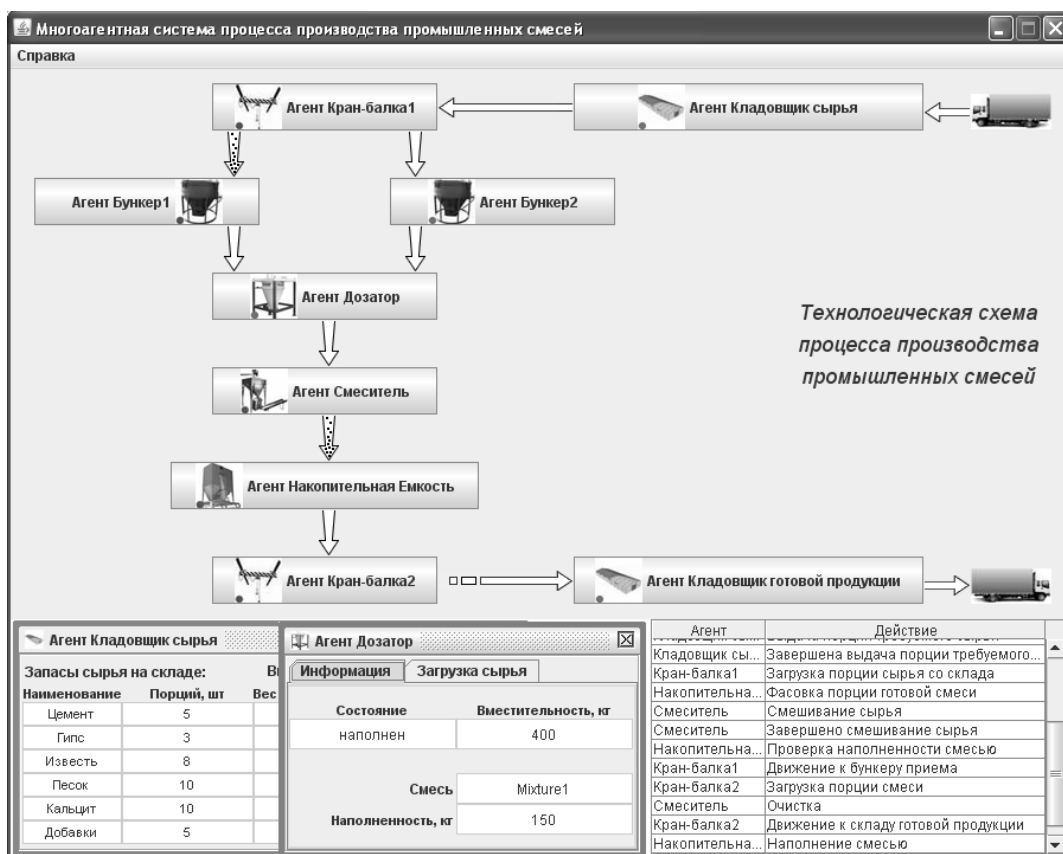


Рисунок 11 – Программная реализация многоагентной системы процесса производства промышленных смесей

где $d_i = (P, t_p, t_n)$ – технические характеристики и условия работы i -го оборудования.

Задача определения рациональной структуры производства S заключается в нахождении таких организационно-технических условий, при которых за меньшее количество времени можно получить большее количество смеси.

Рациональная структура производства определялась методом имитационного моделирования из расчёта приготовления смеси (смесей) основного вида. В условиях выбранной структуры производства рассчитывалось время приготовления смесей остальных видов.

Проведены эксперименты по определению времени приготовления порции смеси $y_1 = f(t, x_1, x_4, x_5, S)$ в условиях двух структур производства (варианты А и Б). Предполагается, что на складе имеется необходимое сырье. Порции сырья транспортируются кран-балкой к бункеру приёма. Время движения кран-балки в одну сторону составляет четыре минуты. В условиях структуры производства А задействовано два бункера, а в условиях структуры производства Б – один

бункер. Ёмкость бункера равна 800 кг, дозатора – 400 кг, смесителя – 400 кг, накопителя – 800 кг. Объём готовой смеси меньше 400 кг. Приготовленная порция готовой смеси фасуется в мешок достаточного объёма и транспортируется на склад.

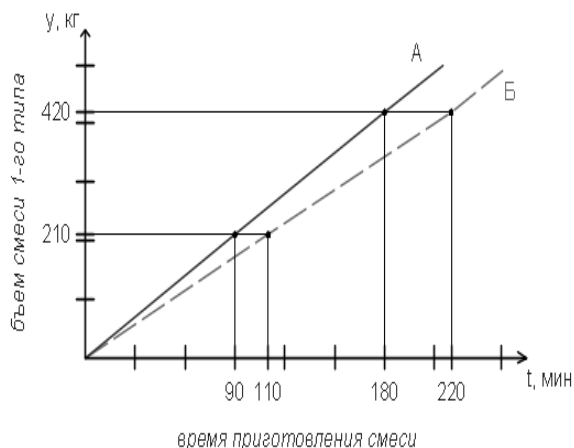


Рисунок 12 – Результаты экспериментов по определению рациональной структуры производства

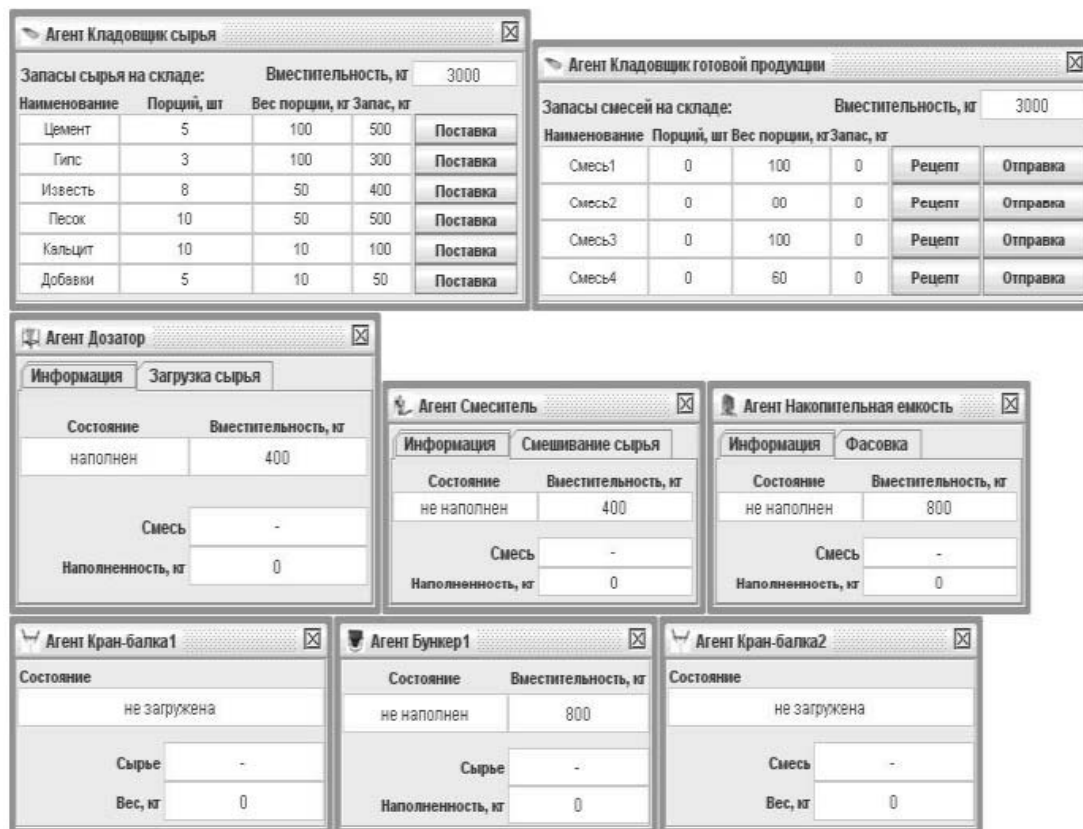


Рисунок 13 –Запасы сырья на складе и параметры технологического оборудования

В окнах на рис.13 показаны запасы сырья на складе и параметры технологического оборудования (вариант А).

Результаты экспериментов (рис.12) показали, что использование двух бункеров ускоряет процесс загрузки сырья, а, следовательно, и сокращает общее время приготовления порции смеси (для приготовления порции смеси 1-го типа объёмом 210 кг время сократилось приблизительно на 18%). Поэтому из двух предложенных рациональным вариантом структуры производства является вариант А.

Выводы

Выполнен агентно-ориентированный анализ технологического процесса производства промышленных смесей как объекта с распределенной структурой. Выделены основные роли и разработаны средствами методологии Gaia концептуальные модели процесса производства (модели ролей, взаимодействий, агентов, услуг и связей).

Установлена семантическая связь концептуальных моделей уровня методологии и физических моделей уровня инструментальной среды разработки многоагентной системы. Составленные концептуальные модели процесса производства промышленных смесей трансформированы в физические модели.

Разработана средствами инструментария Zeus многоагентная программная модель процесса производства промышленных смесей. Данная модель позволили моделировать протекание процесса производства и решить одну из задач - определение рациональной структуры производства.

Проведенные в работе исследования показали, что:

- с помощью искусственных агентов, наделённых интеллектом и сложным поведением и взаимодействующих для достижения поставленных целей и решения задач, можно строить модели сложных распределённых систем, динамику которых трудно описать традиционными способами;

- иерархичный и многомодельный подход к разработке многоагентной системы позволяет повысить адекватность описания сложной моделируемой системы с учётом её неоднородности и интеллектуальности её компонентов, а также упростить её программную реализацию;

- многоагентные системы обладают такими положительными качествами, как автономность и параллельность работы агентов, надёжность и устойчивость к сбоям, масштабируемость и гибкость, что повышает технологичность разработки программных моделей.

Таблица 1. Качественные преимущества искусственного агента над объектом объектно-ориентированного программирования

Характеристики объекта в ООП	Характеристики искусственного агента в АОП	Преимущество агента
Атрибуты. Методы.	Онтология знаний. Поведение, описываемое в виде продукционных правил.	Адекватное представление агентом знаний и сложного поведения моделируемой сущности.
–	Механизм формирования целей. Интеллектуальность.	Динамическая адаптация поведения агента в зависимости от изменений состояния внешней среды.
Обмен сообщениями.	Разные протоколы и стратегии взаимодействия.	Благодаря более сложному механизму взаимодействия агенты способны коллективно решать сложные задачи.
Необходимость перекомпиляции программного кода при внесении изменений в объекты.	Агентов легко конфигурировать, повторно использовать и добавлять в систему без перекомпиляции многоагентной системы.	Технологичность разработки агентно-ориентированного приложения.

Получены качественные оценки эффективности моделирования сложных систем на основе агентно-ориентированного подхода по сравнению с объектно-ориентированной парадигмой программирования (табл.1).

Таким образом, агентно-ориентированная концепция, основанная на использовании знаний в виде продукционных правил и различных протоколов взаимодействий автономных искусственных агентов, порождает новый подход к программированию распределённых неоднородных систем. Он даёт возможность программно реализовать динамику взаимодействия автономных компонентов сложной системы с учётом их

интеллектуальности. Если поведение компонентов в среде не поддаётся традиционному математическому описанию, то представление об их поведении можно выразить с помощью продукционных правил. В искусственном интеллекте продукционные правила как форма представления знаний широко используются для формализации интеллектуальной деятельности. В многоагентных системах продукционные правила вида «Если условие, то действие» позволяют описать в естественной форме сложное поведение искусственного агента в изменяющейся внешней среде. Они дают возможность агенту оценивать реальное состояние внешней среды и предпринимать адекватные действия.

Литература

1. Baumgärtel H. Multi-agent coordination of material flow in a car plant / H. Baumgärtel, S. Bussmann, M. Klosterberg [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.27.9777&rep=rep1&type=pdf>.
2. Bussmann S. On the identification of agents in the design of production control systems / S. Bussmann, N. Jennings, M. Wooldridge [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.15.5827&rep=rep1&type=pdf>.
3. Bussmann S. An agent-based approach to the control of flexible production systems / S. Bussmann, K. Schild [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.stefan-bussmann.de/downloads/ETFA2001.pdf>.
4. Parunak H.V.D. Applications of distributed artificial intelligence in industry / H.V.D. Parunak [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.34.1502&rep=rep1&type=pdf>.
5. Wooldridge M. The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design / M. Wooldridge, N. Jennings, D. Kinny [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.csc.liv.ac.uk/~mjw/pubs/jaamas2000b.pdf>
6. Nwana H.S. ZEUS: An advanced tool-kit for engineering distributed multi-agent systems / H.S. Nwana, D.T. Ndumu, L.C. Lee [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.agent.ai/doc/upload/200302/nwan98.pdf>.
7. Зудикова Ю.В. Разработка многоагентной модели процесса производства промышленных смесей / Ю.В. Зудикова, О.И. Федяев // Информатика та комп'ютерні технології. Матеріали V міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців - 24-26 листопада 2009 р. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С. 261-264.

Надійшла до редакції 10.03.2011