

УДК 004.414:004.89

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ

С.К. Андриюшкевич, С.П. Ковалёв

Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: ask@academ.org; kovalyov@nsc.ru

Работа посвящена вопросам построения интеллектуальных систем мониторинга крупномасштабных распределенных технологических объектов. Отличительной особенностью таких систем от систем класса АСУ ТП является необходимость определения фактического глобального состояния системы, предполагающегося неизменным на период горизонта планирования. Знание фактического глобального состояния системы может быть использовано для решения различных комплексных оптимизационных задач. Его представление в системе названо информационной моделью состояния. Информационная модель системы конструируется динамически из информационной модели объекта и временных рядов значений параметров и событий. В качестве примера рассмотрена задача оптимизации маршрутных карт технологического транспорта нефтегазодобывающего предприятия. Предложен подход к реализации функций формирования информационных моделей состояний на базе аспектно-ориентированной парадигмы.

### Ключевые слова:

Мониторинг, информационная модель состояния, аспектно-ориентированная парадигма.

### Key words:

Monitoring, information model of state, aspect-oriented paradigm.

### 1. Введение

Крупномасштабные распределенные технологические объекты состоят из элементов технологического оборудования, объединенных в технологические комплексы. Принципом формирования комплексов оборудования является задача обслуживания потоков распространения технологических ресурсов. Примером распределенного технологического объекта является инфраструктура современного нефтегазодобывающего предприятия, которая функционирует на обширной территории месторождения, имеет в своем составе десятки тысяч единиц оборудования и комплексов, обслуживающих процессы добычи, транспортировки скважинной жидкости, нефти, газа и технологической воды.

Сбой одной единицы оборудования может повлечь разрушение регламента целого процесса и перехода множества связанных единиц оборудования в аварийные режимы. Эту проблему может решить сквозной мониторинг, учитывающий всю структуру комплекса и взаимозависимости процессов. Отсутствие системы, включающей сквозной интеллектуальный мониторинг, увеличивает экономические риски компании, а также риски нарушения безопасности, в том числе экологической и энергетической.

Классическая реализация мониторинга сводится к сбору, хранению и обработке временных рядов измерений параметров и событий состояния объекта управления. Задача в таких рамках успешно решается в системах класса АСУ ТП, но для распределенных объектов этого не достаточно.

Интеллектуальный мониторинг распределенных объектов должен учитывать следующие особенности объекта автоматизации:

- Управляющее воздействие носит нелокальный характер, ввиду обслуживания нескольких

взаимозависимых технологических процессов всего объекта.

- Реакция на управляющее воздействие не гарантируется ввиду вовлеченности людей в процесс принятия и исполнения решения, а также влияния неконтролируемых внешних факторов.
- Время реакции объекта на события (день, неделя, месяц) заведомо превышает время выработки решения.

Системы класса АСУ ТП из-за своей локальности, автономности и ориентации на быстро протекающие процессы не подходят для решения поставленной задачи. Такие системы, наряду с системами учета, могут быть поставщиками исходной информации для системы интеллектуального мониторинга, где происходит консолидация данных и определение фактического глобального состояния объекта. Это состояние предполагается неизменным в течение определенного периода времени и может быть многократно использовано для решения различных оптимизационных задач [1].

В рамках принятой классификации промышленных систем автоматизации система интеллектуального мониторинга относится к классу Collaborative Manufacturing Execution System (с-MES) [2, 3]. Она должна быть построена как информационно-аналитическая надстройка над системами класса АСУ ТП, системами учета, диспетчерскими системами. Вопросы построения такой системы рассматриваются в настоящей работе.

### 2. Задачи многокритериальной оптимизации

Интеллектуальный мониторинг распределенного объекта должен решать широкий спектр задач, в том числе:

1. Сбор и длительное хранение результатов измерений, событий от источников данных и упра-

- вляющих команд от систем управления.
2. Выявление и анализ тенденций изменения ключевых показателей состояний и функционирования комплексов оборудования.
  3. Анализ взаимовлияния функционирования различных комплексов, обеспечивающих один технологический процесс.
  4. Многокритериальная оптимизация элементов технологического процесса.
  5. Оптимизация ремонтов и технического обслуживания оборудования.

Для решения задач оптимизации применяется математический аппарат, в частности, методы исследования операций [4]. Некоторые из перечисленных задач могут быть сформулированы в терминах целочисленного линейного программирования (ЦЛП) [5, 6]. Для выработки управляющих воздействий могут применяться методы на базе производственных моделей [7, 8]. Во всех этих методах на входы схем решения задач поступают данные, значения которых точно определены и предполагаются зафиксированными на определенный период времени. Результатом решений этих задач является расписание управляющих воздействий в течение заданного периода времени, например, период ремонта, цикл сбора скважинной жидкости и т. д.

Для крупной системы, характеризующейся сильной изменчивостью, эти предположения о стационарности нарушаются. Для того чтобы рекомендации были состоятельными необходимо подбирать период моделирования. Так же необходимо вычислять такие значения параметров, которые можно считать условно-постоянными в течение периода моделирования. В то время как, глобальное состояние объекта может измениться из-за аварии, выведения в ремонт оборудования, передвижения объектов, изменения конфигурации сети дорог из-за смены погодных условий или сезона и так далее. Поэтому мониторинг значений параметров должен производиться постоянно. Если регистрируется резкое изменение параметров, значения которых были использованы в качестве входных для задач оптимизации, то система принудительно выполняет оптимизационный цикл заново с учетом измененных входных параметров и уведомляет об этом оператора для принятия им новых рекомендаций к анализу и исполнению.

### 3. Информационная модель состояния системы

Для решения задачи формирования значений параметров, которые используются алгоритмами оптимизации, предлагается ввести понятие информационной модели состояния объекта. Задача такой модели – по требованию рассчитывать текущее условно-постоянное состояние всей системы и быть поставщиком входных параметров для различных алгоритмов оптимизации.

Информационная модель состояния строится по информационной модели объекта и динамическим данным.

Информационная модель объекта состоит из следующих элементов [9]:

- Организационная структура.
- Технологические ресурсы и взаимодействие между ними.
- Точки локализации управляющих воздействий.
- Словари и справочники.
- Технологический документооборот.

Динамические данные системы представлены результатами измерения (прямыми, косвенными), результатами вычислений, а так же различными событиями.

При построении модели состояния решается несколько задач, в том числе:

- Определение состояний единиц оборудования.
- Определение относительного и абсолютного местоположения объектов.
- Определение конфигурации и режима функционирования.
- Преобразование результатов измерений и событий в параметры алгоритмов.

Построенная модель состояния должна быть проверена на корректность. Корректность модели состояния, зависит от корректности её составляющих. Корректность информационной модели достигается постоянным обеспечением соответствия нормативно-справочных данных модели фактическим параметрам и конфигурации оборудования. Корректность динамических данных обеспечивается достоверностью средств измерения нижнего уровня и скоростью поступления данных.

Сформированная информационная модель состояния должна быть корректной, единственной и многоцелевой, чтобы при расширении спектра решаемых системой задач новым алгоритмам не приходилось обращаться к статическим или динамическим данным в обход этой модели.

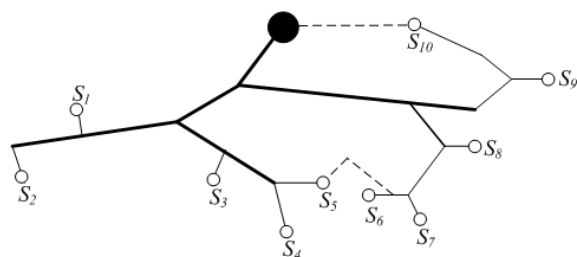
Информационная модель состояния предоставляет набор входных параметров для решения оптимизационных задач. Результаты работы алгоритмов представляются в модели управляющих воздействий, которая так же состоит из статической и динамической части. Модель управляющих воздействий помещается в общую базу знаний системы и является набором входных параметров основного цикла системы мониторинга.

Контроль управляющих воздействий на объект выполняется автоматически по мере поступления данных измерений и событий. Входная информация для контроля формируется в ходе штатного цикла сбора данных. Так как рекомендуемые управляющие воздействия на объект могут быть не оказаны или оказаны частично, в задачи мониторинга входит выявление расхождения плановых и фактических управляющих воздействий.

### 4. Задача оптимизации маршрутной транспортной карты

В качестве основного примера построения информационной модели состояния рассмотрим задачу построения маршрутной транспортной карты

для объектов нефтегазодобычи. Имеются объекты добычи: скважины, на которых добывается ресурс, скважинная жидкость. Объекты добычи соединены сетью автомобильных дорог, которая представляется в виде графа. Дороги могут быть постоянными или временными. Имеется центр сбора ресурсов, располагающийся в выделенной вершине графа (рис. 1). Необходимо составить маршрутную карту объезда объектов, оптимальную по двум критериям: минимизация затрат на топливо и минимизация времени объезда.



**Рис. 1.** Схематичное представление карты дорог.  $S_i$  — объект добычи,  $i=1...n$ . Сплошные линии — постоянные дороги. Пунктирные линии — временные дороги, например, «зимники».

Задача может быть формализована в терминах целочисленного линейного программирования. Для того, чтобы их задействовать необходимо построить информационную модель состояния объекта, включающую следующие параметры:

- $n$  — число действующих объектов добычи, с которых необходимо вывозить ресурс. Для каждого объекта добычи производится определение его состояния, а также подсчет объема накопленного ресурса на предмет включения его в план объезда.
- $K$  — число свободных автомобилей для перевозки ресурса. Из списка всех автомобилей производится отбор подходящих для перевозки ресурса. Отбор производится по статусу, местоположению и грузоподъемности.
- $D_i, i=1...n$  — объем ресурса для вывоза с объекта добычи. Плановые значения объема ресурса корректируются на величину фактической добычи и затем помещаются в информационную модель состояния.
- $G_k, k=1...K$  — грузоподъемность автомобилей, выбранных для перевозки ресурсов.
- $C_{ij}, i=1...n, j=1...n$  — минимальное текущее расстояние по имеющейся сети дорог между объектами добычи.
- $V_k, k=1...K$  — средняя технологическая скорость автомобиля. Фактическая средняя скорость вычисляется по показаниям системы позиционирования за время выполнения аналогичной работы в аналогичных условиях.
- $r_k, k=1...K$  — фактический расход топлива автомобиля. Фактический расход топлива вычисляется по фактическим показаниям системы учета топлива.
- $L$  — максимальное количество рейсов. Технический параметр алгоритма, извлекаемый из информационной модели объекта в качестве экспортного параметра.

Схема подготовки параметров информационной модели состояния объекта представлена на диаграмме потоков данных (рис. 2).

Маршрутная карта описывается в виде значений многомерного массива переменной  $x_{ijkl}, i=1...n, j=1...n, k=1...K, l=1...L$ , где

$$x_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{если автомобиль } k \text{ в рейсе } l \text{ от объекта } \\ & i \text{ немедленно едет к объекту } j; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Построенная модель состояния может быть применена для многокритериального оптимизационного анализа, например:

- для оптимизации расхода топлива минимизируется следующая целевая функция:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} \left( \sum_{k=1}^K r_k x_{ijkl} \right) \Rightarrow \min;$$

- для оптимизации времени объезда минимизируется другая целевая функция:

$$\max_{k=1...K} \left( \sum_{l=1}^L \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \frac{C_{ij} x_{ijkl}}{V_k} \right) \Rightarrow \min.$$

Минимизация выполняется с учетом объективных ограничений, вытекающих из структуры входных параметров.

## 5. Подходы к реализации модели состояния

Рассмотрим вопросы программной реализации функций формирования параметров информационной модели состояния объекта при разработке системы интеллектуального мониторинга.

В состав интеллектуальной системы мониторинга входят следующие подсистемы:

- Подсистема сбора данных с различных систем, функционирующих на объекте.
- База данных, включающая информационную модель объекта автоматизации и динамические данные.
- Подсистема мониторинга состояния и функционирования объекта.
- Расчетно-аналитическая подсистема.
- Подсистема технологического документооборота.
- Подсистема защиты информации.
- Подсистема пользовательских интерфейсов.

Подробно остановимся на функциях формирования информационной модели состояния объекта. Они относятся к расчетно-аналитической подсистеме. Как видно из примеров, параметры модели состояния делятся на группы, подготовка которых выполняется независимыми механизмами. Вместе с тем, библиотеки оптимизационных алгоритмов, использующие эти параметры, представляют собой целостные модули, в рамках которых параметры взаимозависимы. Для того чтобы осу-



Рис. 2. Динамическая информационная модель системы для определения оптимальной маршрутной карты в виде диаграммы потоков данных. Эволюция данных от источников «сырых» данных к входным параметрам задачи ЦЛП с указанием необходимых шагов преобразований

шестить декомпозицию задач подготовки модели состояния в условиях такой взаимозависимости предложено применить новую парадигму программирования – аспектно-ориентированный подход [10]. В соответствии с этим подходом группы параметров следует рассматривать как аспекты, которые посредством механизма «сшивки» собираются в целевые исполняемые модули подготовки информационной модели состояния.

Такое разбиение способствует разделению процессов формирования информационной модели состояния и разработки оптимизационных задач, что упрощает общий процесс разработки системы. При этом оптимизационные модули вызывают параметры модели состояния только в требуемых местах за счет автоматизации процесса сборки и исполнения программного кода по аспектно-ориентированному принципу. Имеется возможность реализовать предлагаемый подход при программировании модулей системы путем привлечения специальных языков таких, как AspectJ [11].

#### Заключение

В работе рассмотрены вопросы построения систем интеллектуального мониторинга распре-

ленных технологических объектов. Такие системы относятся к категории систем автоматизации производства.

В настоящее время задачи автоматизации крупномасштабного производства решаются в основном зарубежными системами, такими как OSISoft, Oracle Utilities, однако в России их внедрение затрудняется ввиду высокой изменчивости объекта и отличий в подходах к организации производства. Встроенные в эти системы функции интеллектуального мониторинга и оптимизации не дают удовлетворительных результатов. В этих системах имеются мощные средства оптимизации, но они фактически недоступны. Они часто ориентированы на определенные правила представления входных параметров, которые не поддерживаются системами АСУ ТП. Поэтому необходимо оформить входные параметры в виде информационной модели состояния. Для эффективной программной реализации таких модулей формирования модели требуется применение принципов аспектно-ориентированного подхода, поскольку различные части этой модели тесно связаны между собой. В работе был представлен пример такой информационной модели состояния системы для задач нефтегазодобычи.

В используемых ныне отечественных системах мониторинга концепция информационной модели состояния реализована не полностью. Для примера рассмотрим системы КОМПАКС и РОС-Мониторинг. КОМПАКС – распределенная система управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией и ремонтом оборудования. КОМПАКС использует различные методы определения и прогнозирования состояния оборудования. Она также обладает встроенной экспертной системой позволяющей прогнозировать выход из строя единицы оборудования на основе статистики и эмпирических правил. Система РОС-Мониторинг выполняет непрерывный контроль и оценку технического состояния динамического оборудования по технологическим параметрам, определение дефектов оборудования и прогнозирование сроков вывода оборудования в ремонт.

Такие прогнозы могут быть использованы при решении комплексной задачи ремонта всего парка

технологического оборудования. Эти системы можно использовать в качестве поставщиков исходных и прогнозных данных, интегрированных в систему интеллектуального мониторинга. Примером подобной интеграции является система мониторинга Rosneft-WellView [12], внедренная в нефтяной компании ОАО «НК «Роснефть» для работы с оборудованием скважин. Ключевой информацией здесь являются показания по обеспечению плановых значений добычи, при этом аспекты оптимизации транспорта, обеспечение экологической безопасности и энергетической эффективности этой системой не рассматриваются.

В настоящее время аспектно-ориентированный подход применяется преимущественно для решения задач системного программирования. Его применение к задачам проектирования и реализации информационных моделей видится перспективным направлением дальнейшего изучения авторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байков И.Р., Смородов Е.А., Ахмадуллин К.Р. Методы анализа надежности и эффективности систем добычи и транспорта углеводородного сырья. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 275 с.
2. Kletti J. Manufacturing Execution Systems – MES. – Berlin: Springer, 2007. – 275 p.
3. Chai Y., Zhou Y., Wang Y. A Collaborative Strategy for Manufacturing Execution Systems // Computer Supported Cooperative Work in Design: Proc. of 11<sup>th</sup> Intern. Conf. – Melbourne, 2007. – P. 904–907.
4. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. – М.: Наука, 1978. – 351 с.
5. Береснев В.Л. Дискретные задачи размещения и полиномы от булевых переменных. Новосибирск: Институт математики СО РАН. – 2005. – 408 с.
6. Кочетов Ю.А., Пашенко М.Г. Динамические задачи выбора оптимального состава системы технических средств // Дискретный анализ и исследование операций. Новосибирск: Институт математики СО РАН. – 1995. – Т. 2. – № 1. – С. 36–49.
7. Яхно Т.М. Системы продукции: структура, технология, применение. – Новосибирск: Вычислительный центр СО АН СССР, 1990. – 127 с.
8. Narin'yani A.S., Zagorulko Y.A. A Simple Control in Large Production Systems // Computers and Artificial Intelligence. – 1987. – V. 6. – № 6. – P. 499–503.
9. Андришкевич С.К., Ковалёв С.П. Опыт адаптации стандартных информационных моделей для распределенных объектов технологического управления // Высокие технологии, фундаментальные исследования, образование: Труды VII Междунар. научно-практ. конф. – СПб.: Политехн. ун-т, 2009. – С. 56–57.
10. Filman R.E., Elrad T., Clarke S., Aksit M. Aspect-Oriented Software Development. – Boston: Addison Wesley, 2004. – 800 p.
11. Laddad R., Johnson R. AspectJ in Action: Practical Aspect-Oriented Programming. – Greenwich: Manning Publications, 2003. – 512 p.
12. Zdolnik S., Pashali A., Markelov D., Volkov M. Real Time Optimization Approach for 15,000 EPS Wells // OnePetro online library. 2008. URL: <http://www.onepetro.org/mslib/servlet/onepetroprevi-ewid=SPE-112238-MS&soc=SPE> (дата обращения: 29.06.2010).

*Поступила 29.06.2010 г.*