

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУР ИНТЕГРИРОВАННЫХ КОНТРОЛЛЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Рассматривается иерархическая структура интегрированных контроллерных систем управления. На теоретико-множественном уровне описаны типовые элементы функциональных уровней управления – управляющие автоматы и операционные автоматы данных и знаний. Предложены теоретико-множественные модели уровня управления и интегрированной контроллерной системы управления.

Введение

Под интегрированной контроллерной системой управления (ИКСУ) будем понимать систему, содержащую, по крайней мере, один программируемый логический контроллер (ПЛК) [1], в которой одновременно функционируют, взаимодействуя между собой и внешней средой, более одной системы управления различного назначения. Это могут быть системы управления объектом, параметрической, структурной адаптацией и организацией управляющего устройства системы и другие [2]. Типовая ИКСУ содержит также персональный компьютер (ПК) в программной среде которого формируются базы данных и знаний управления и исполняются приложения управления, в том числе приложение визуализации или человеко-машинного интерфейса (НМИ – Human Machine Interface) [3]. Наличие в составе ИКСУ узлов с мощными вычислительными ресурсами, такими как ПК и ПЛК, позволяет реализовать сложные алгоритмы управления и повысить уровень системы – перейти от технической системы к кибернетической [4].

Для моделирования систем управления разработаны теоретико-множественные модели (ТММ), в том числе, такие как модель агрегативной системы Н.П. Бусленко [5], непрерывно-дискретной системы В.М. Глушкова [6, 9], гибридной системы Д. Харела, А. Пнуэли [7, 8]. Вместе с тем, в известной литературе не

рассматривается теория структурирования ИКСУ, отсутствуют ТММ типовых функциональных элементов и структур ИКСУ, что усложняет процесс их проектирования. Таким образом, моделирование элементов и структур ИКСУ представляет собой актуальную нерешенную научно-техническую проблему. Задачами настоящей работы являются разработка ТММ типовых функциональных элементов и структур ИКСУ.

Содержание исследований

Предлагаемая структура ИКСУ опирается на состав системы, разделение управляющего устройства (УУ) на уровни, выделение типовых элементов, связей и структур уровня ИКСУ, и их описание на теоретико-множественном уровне.

Полагаем, что ИКСУ состоит из объекта управления (ОУ) и управляющего устройства, которые взаимодействуют с внешней средой (ВС) [6]. Причем УУ разделен на уровни (подсистемы), каждый из которых решает локальную задачу, определяемую целями управления. ОУ в самом нижнем уровне совпадает с ОУ системы в целом, а ОУ на вышележащих уровнях являются элементы УУ нижележащих уровней. Элементный состав уровня УУ включает блоки операционных (ОА) и управляющих (УА) автоматов. Связи между элементами внутри уровня и внешние связи уровня используются для передачи данных и знаний. В состав УУ входит также хранилище данных и знаний (ХДЗ), организованное как массивы, таблицы, базы данных или знаний на машинном носителе. Хранилище ХДЗ в ИКСУ может быть централизованным или распределенным, как по уровням, так и по узлам УУ, имеющим вычислительный ресурс и память.

Данные это значения параметров ОУ, УУ или ВС, "привязанные" к набору атрибутов (наименование, тип, единица измерения, диапазон допустимых значений, погрешности определения, частота обновления и другие). В ряде публикаций такую комбинацию называют тегом данных. Значения атрибутов тега – это знания системы о данном параметре, определяющие параметры процесса использования данных в системе управления.

Классифицируем данные по следующим признакам: источнику (данные ВС, ОУ, УУ), времени относительно текущего момента работы системы (текущие, исторические и прогнозируемые), способу

получения (измеренные, смоделированные), отношению к источнику (первичные, производные), форме представления (аналоговая, цифровая), типу (логические, цифровые, строковые), приоритету обработки и степени важности.

Типовые операции с данными: получение, фильтрация, преобразование формы представления, единиц измерения, формата, операции с базой данных, проверка на наличие тревог, функциональное преобразование входных данных в выходные, регулирование выходных данных и моделирование (генерация) ненаблюдаемых данных. Операции с базой данных включают сохранение в базе текущих данных, удаление из этой базы, сохранение в архиве на машинном носителе с метками времени определения/регистрации значения (регистрация), поиск, сортировку данных. В ходе функционального преобразования входных данных в выходные используются арифметические, тригонометрические, логические, статистические и другие операции.

Элементы системы, реализующие операции с данными, будем называть операционными автоматами данных (ОАД). Эти автоматы могут быть описаны на теоретико-множественном уровне как кортеж

$$\text{ОАД} = \langle S_{\text{ОАД}}, s_{0\text{ОАД}}, D_I, A_{DI}, C_{\text{ОАД}}, D_{\text{COAD}}, D_O, A_{DO}, E_{DO}, \lambda_{\text{ОАД}}, \delta_{\text{ОАД}}, \eta_{\text{ОАД}}, \mu_{\text{ОАД}} \rangle, (1)$$

где: $S_{\text{ОАД}}$ – множество состояний ОАД; $s_{0\text{ОАД}}$ – начальное состояние ОАД; D_I – множество значений исходных данных; A_{DI} – множество значений атрибутов исходных данных; $C_{\text{ОАД}}$ – множество команд (управлений) ОАД; D_{COAD} – множество значений изменяемых параметров ОАД; D_O – множество значений выходных данных; A_{DO} – множество значений атрибутов выходных данных; E_{DO} – множество событий данных; $\delta_{\text{ОАД}}$ – функция переходов ОАД; $\lambda_{\text{ОАД}}$ – функция выходов данных; $\eta_{\text{ОАД}}$ – функция выходов атрибутов выходных данных; $\mu_{\text{ОАД}}$ – функция событий данных. Входящие в (1) функции определим как

$$\begin{aligned} \delta_{\text{ОАД}}: S_{\text{ОАД}} \times D_I \times A_{DI} \times C_{\text{ОАД}} \times D_{\text{COAD}} &\rightarrow S_{\text{ОАД}}; \\ \lambda_{\text{ОАД}}: S_{\text{ОАД}} \times D_I \times A_{DI} \times C_{\text{ОАД}} \times D_{\text{COAD}} &\rightarrow D_O; \\ \eta_{\text{ОАД}}: S_{\text{ОАД}} \times D_I \times A_{DI} \times C_{\text{ОАД}} \times D_{\text{COAD}} &\rightarrow A_{DO}; \\ \mu_{\text{ОАД}}: S_{\text{ОАД}} \times D_I \times A_{DI} \times C_{\text{ОАД}} \times D_{\text{COAD}} &\rightarrow E_{DO}. \end{aligned}$$

Знания – это модели описывающие свойства объектов реального мира и отношений между ними. Будем различать: тезаурус - знания системы об окружающем мире и о себе (свойства ОУ, ВС, УУ); цели функционирования системы – знания о желаемых результатах ее работы; знания об опасностях – знания о нежелательных данных и (или) результатах работы СУ; методы управления - знания о путях достижения желаемых и (или) минимизации нежелательных результатов работы СУ. Знания поступают в систему извне на всех этапах ее жизненного цикла или вырабатываются системой на основе поступающих в нее данных. Так, на этапе проектирования системы, знания имплантируются в структуру и параметры элементов УУ или хранятся в базе знаний. В последнем случае системы обладают большей гибкостью.

Атрибутами знаний являются: содержание (теги исходных знаний и отношения между ними, образующие новое знание); тип (декларативные, процедурные); объект (ОУ, ВС, УУ); степень уверенности в истинности (количественная оценка, например, в интервале от 0 до 1); источник (внесенные, синтезированные); категория (тезаурус, цели, опасности, методы); база формирования (исходные данные, исходные знания); степень открытости (открытые, защищенные, закрытые для других классов системы); метка времени получения; степень важности и опасности. Совокупность атрибутов относящихся к одному знанию образует тег знания.

Типовые операции со знаниями это получение, сохранение в базе текущих знаний, удаление из этой базы, сохранение в архиве на машинном носителе с метками времени определения/регистрации (регистрация), поиск, сортировка, фильтрация, применение и другие. Элементы системы, реализующие операции со знаниями, будем называть операционными автоматами знаний (ОАЗ). Теоретико-множественное описание ОАЗ представляет собой кортеж

$$ОАЗ = \langle S_{ОАЗ}, s_{0ОАЗ}, K_I, A_{KI}, D_I, A_{DI}, C_{ОАЗ}, D_{COАЗ}, K_O, A_{KO}, E_{KO}, \lambda_{ОАЗ}, \delta_{ОАЗ}, \eta_{ОАЗ}, \mu_{ОАЗ} \rangle, (2)$$

где $S_{ОАЗ}$ – множество состояний ОАЗ; $s_{0ОАЗ}$ – начальное состояние; K_I – исходные знания; A_{KI} – множество атрибутов исходных знаний; $C_{ОАЗ}$ – команды ОАЗ; $D_{COАЗ}$ – множество значений изменяемых параметров ОАЗ; K_O – множество выходных знаний; A_{KO} – множество атрибутов выходных знаний; E_{KO} – множество событий

знаний; δ_{OAK} – функция переходов ОАЗ; λ_{OAK} – функция выходов знаний; η_{OAK} – функция выходов атрибутов выходных знаний; μ_{OAK} – функция событий данных. Входящие в (2) функции определим как

$$\begin{aligned}\delta_{OAK} &: S_{OAK} \times K_I \times A_{KI} \times D_I \times A_{DI} \times C_{OAK} \times D_{COAK} \rightarrow S_{OAK}; \\ \lambda_{OAK} &: S_{OAK} \times K_I \times A_{KI} \times D_I \times A_{DI} \times C_{OAK} \times D_{COAK} \rightarrow K_O; \\ \eta_{OAK} &: S_{OAK} \times K_I \times A_{KI} \times D_I \times A_{DI} \times C_{OAK} \times D_{COAK} \rightarrow A_{KO}; \\ \mu_{OAK} &: S_{OAK} \times K_I \times A_{KI} \times D_I \times A_{DI} \times C_{OAK} \times D_{COAK} \rightarrow E_{DO}.\end{aligned}$$

Для активизации в определенной последовательности и (или) при определенных условиях операций над данными и знаниями, выполняемых ОАД и ОАЗ, применяются управляющие автоматы (УА). Автомат УА формально описывается в виде некоторого конечного автомата

$$UA = \langle S_{YA}, s_0, X, Y, C_{YA}, D_{YA}, \delta, \lambda \rangle,$$

где S_{YA} – множество состояний; s_0 – начальное состояние; X – множество входных сигналов; Y – множество выходных сигналов; C_{YA} – команды (управления) УА; D_{YA} – параметры УА; $\delta : S_{YA} \times X \rightarrow S_{YA}$ – функция переходов; λ – функция выходов. В общем случае, множество сигналов X не связано непосредственно с выходами ОУ, а является продуктом переработки собственно сигналов ОУ входными операционными автоматами (ВхОА). Аналогично, множество Y не связано непосредственно с входами ОУ, а перерабатывается выходными операционными автоматами (ВыхОА). УА могут образовывать сложные иерархические структуры [10]. Конкретный УА, находящийся на определенном уровне ИКСУ, может выступать как объект управления со стороны элементов вышестоящих уровней. В ходе такого управления могут изменяться множества, задающие автомат или автомат может быть заменен альтернативным. Мощность множества УА в уровне ИКСУ определяется количеством параллельных ветвей и альтернативных вариантов процесса управления.

Опираясь на описанные выше модели ОА и УА определим i -й уровень ИКСУ, в общем случае, как кортеж вида

$$UP_i = \langle M_{OAdi}, M_{OAZi}, M_{YAi}, M_{XDZi}, L_{i,i}, L_{i+1,i}, L_{i-1,i}, L_{BC,i} \rangle, \quad (3)$$

где M_{OAdi} , M_{OAZi} , M_{YAi} , M_{XDZi} – множества ОАД, ОАЗ, УА, ХДЗ i -го уровня, соответственно; $L_{i,i}$, $L_{i+1,i}$, $L_{i-1,i}$, $L_{BC,i}$ – множество связей

элементов ОАД, ОАЗ, УА, ХДЗ i -го уровня (ОАД, ОАЗ, УА, ХДЗ) между собой, с элементами $i+1$ -го уровня, с элементами $i-1$ -го уровня и с внешней средой, соответственно. В конкретных случаях отдельные множества, входящие в (3) могут отсутствовать или быть неизвестными. Так, нулевой уровень $УР_0$ ИКСУ, который представляет собой ОУ ИКСУ, может задаваться только множествами $L_{1,0}$, $L_{BC,0}$. Каждый последующий уровень ИКСУ ($i > 0$) представляет собой УУ системы управления i -го уровня, то есть $УУ_i = УР_i$. В нормализованной ленточной ИКСУ (НЛИКСУ) [2] систему управления i -го уровня определим как кортеж вида

$$СУ_i = \langle УУ_i, УР_{i-1} \rangle \quad (4)$$

НЛИКСУ в свою очередь задается как множество $M_{СУ}$ систем вида (4)

$$ИКСУ = M_{СУ_i}. \quad (5)$$

В такой системе для каждого $i > 0$ имеет место $L_{i-1,i}^i = L_{i+1,i}^{i-1}$, где верхние индексы задают номер уровня системы. В не ленточных ИКСУ, хотя бы для одного $i > 0$, мощность множества $L_{i-1,i}^i$ больше мощности множества $L_{i+1,i}^{i-1}$, что отражает тот факт, что объекты управления системы $СУ_i$ расположены на нескольких нижележащих уровнях системы.

Заключение

Таким образом, ИКСУ может быть описана как множество взаимодействующих систем управления, которые образуют многоуровневую структуру. При этом, вышележащие системы рассматривают системы, расположенные на нижних уровнях, как ОУ. Как правило, уровни управления наращиваются в процессе эксплуатации ИКСУ. Поэтому, важно обеспечить взаимодействие новых систем на этапе проектирования путем задания структурной избыточности элементов существующих систем, программной реализацией алгоритмов управления ОУ, процессов изменения структуры и параметров элементов УУ, расширения баз данных и знаний, которые, используются в процессе управления. Предложенные ТММ элементов и структур обеспечивают системность процесса расширения функциональных возможностей ИКСУ.

Предполагается, что примеры использования ТММ ИКСУ будут приведены в дальнейшем.

Уровни управления ИКСУ могут быть предметом стандартизации по аналогии со стандартами ISO в области взаимодействия открытых систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Parr E.A. Programmable Controllers. An engineer's guide. Third edition. Oxford: Newness, 2003, 429 p.
2. Поляков М.А. Теоретико-множественная модель интегрированной контроллерной системы управления. // Системні технології.- 2009, №4, с.131-137.
3. Поляков М.А. Логическое управление объектами электрических систем в среде приложения человеко-машинного интерфейса. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2009. – № 9(158). – с.197-201с.
4. Поляков М.А., Ларионова Т.Ю. Модели систем и системные характеристики сложных электрических аппаратов. // Електротехніка і електромеханіка, 2010, №3. с. 28-31.
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем.- М.: «Наука», 1978.
6. Программное обеспечение моделирования непрерывно-дискретных систем./Под ред. В.М. Глушкова. М.: «Наука», 1975.
7. Harel D. Statecharts: a Visual Formalism for Complex Systems. Sci. Comput. prog.8, p.231-274, 1987.
8. Парийская Е.Ю. Сравнительный анализ математических моделей и подходов к моделированию и анализу непрерывно-дискретных систем Дифференциальные уравнения и процессы управления №1, 1997. Электронный журнал. <http://www.neva.ru>, с.92-120.
9. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. М., Физматиздат, 1962. – 476с.
10. Гома Х. UML проектирование систем реального времени, распределенных и параллельных приложений.- М.:ДМК, 2002, 704 с.