

УДК 519.86:681.51

М.А. Поляков

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕГРИРОВАННОЙ КОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Рассматриваются особенности программируемых контроллеров как элементов интегрированных систем управления. Описаны множества типовых элементов контроллера на уровнях сопряжения с объектом управления, управления аппаратными средствами, системными, типовыми операциями, операциями пользователя, управления состояниями и адаптацией. Предложена теоретико-множественная модель интегрированной контроллерной системы управления.

Введение

Под программируемым контроллером будем понимать вычислительное устройство, ориентированное на управление оборудованием или (и) процессом, а под контроллерной системой управления (КСУ) – систему, в которой, по крайней мере, часть элементов, исполняющих алгоритм управления, являются программируемыми контроллерами [1]. Широкие функциональные возможности программируемых контроллеров позволяют реализовывать в одном таком элементе несколько функций одной или нескольких систем управления. Например, функции управления, как объектом, так и управляющим устройством (подсистемой) системы управления. Такие КСУ будем называть интегрированными.

Проектирование КСУ - сложный процесс, в котором используются различные формальные модели объекта управления (ОУ), управляющей подсистемы и, даже, самого процесса проектирования [2-9], в том числе теоретико-множественные модели, такие как модель агрегативной системы Н.П. Бусленко [2], непрерывно-дискретной системы В.М. Глушкова [3,9], гибридной системы Д. Харела, А. Пнуэли [4,5]. Вместе с тем, известные модели не в полной мере учитывают функциональные возможности и особенности программируемого контроллера, как элемента интегрированной системы управления. В результате чего снижается качество спроектированной КСУ в части обеспечения таких

© Поляков М.А., 2009

характеристик как адаптивность, возможность модернизации алгоритмов управления, универсальность компонентов программного обеспечения и др.

В настоящей статье сделана попытка описания на теоретико-множественном уровне поведения КСУ, как системы взаимодействующих автоматов.

Уровни управления программируемого контроллера

В программируемом контроллере, как элементе КСУ, в процессе решения задачи пользователя по управлению объектом используется комплекс программных и аппаратных средств, множество моделей, которые целесообразно разбить на функциональные уровни, как показано в таблице.

Таблица 1

Уровни управления контроллера

Уровень	Элементы	Информационные массивы	Местоположение
Управление адаптацией	Производственная система	База знаний приложения, целевая функция	Память пользователя
Управление состояниями	Управляющие автоматы (УА)	Таблицы выходов и переходов УА	
Управление комплексными операциями	Входные, выходные, операционные автоматы (ОА)	Файлы (структуры) данных, файлы форсировки, файлы параметров ОА	
Управление типовыми операциями	Инструкции языка программирования	Структуры управления инструкций	
Управление системными операциями	Операционная система (ОС) контроллера	Файл статуса (системных переменных) контроллера	
		Системные переменные ОС	Системная память контроллера
Управление аппаратными средствами	Процессор, входные, выходные, сетевые модули, блок питания, операторский интерфейс	Системные регистры устройств (регистры данных, состояния, конфигурации)	Элементы электронной схемы
Сопряжение с объектом управления	Датчики, исполнительные механизмы	Электрические сигналы	Объект заказчика
Объект управления	Агрегат, физический, технический процесс	Параметры	

Уровни сопряжения с ОУ и управления аппаратными средствами описаны в [1]. Важным уровнем управления является управление системными операциями контроллера. Это управление осуществляется ОС контроллера со свойствами ОС реального времени и реализацией отдельных команд в виде программных автоматов. ОС выполняет: загрузку, удаление, управление режимами программных автоматов приложения пользователя; сохранение/восстановление состояния приложения пользователя при сбое/включении электропитания контроллера; управление программным сканом, включая обмен информацией между аппаратными средствами и памятью пользователя, управление многозадачностью и прерываниями, обмен по сетям и диагностику работоспособности аппаратных средств контроллера. Вышестоящие уровни управления наблюдают (модифицируют) состояние ОС и аппаратных средств контроллера путем чтения (записи) системных переменных ОС и переменных состояния аппаратных средств из (в) статусного файла контроллера. Остальные элементы ОС не доступны для пользователя, хотя некоторые контроллеры позволяют обновлять ОС.

Большинство инструкций языков программирования контроллеров имеют довольно сложный алгоритм выполнения, с внутренними состояниями, которые отображаются через элементы структур управления. С этой точки зрения их можно рассматривать как автоматы типовых операций пользователя и объединить в отдельный уровень управления. Множество автоматов типовых операций используется при построении ОА и УА вышестоящих уровней управления.

На уровне управления комплексными операциями выделим множество входных и выходных ОА. Входные ОА выполняют операции над входными переменными различных типов, которые поступают с выходов входных модулей, выходов других ОА или из памяти процессора. Типовые задачи, решаемые входными ОА, это вычисление логических функций; вычисление предикатов; подсчет событий; вычисление функций с использованием арифметических операций, тригонометрических и других функций; обработка базы данных (поиск, фильтрация, сортировка); распаковка, преобразование кодов и величин, контроль, распознавание, статистическая обработка данных, определение приоритетов и др. Результаты работы ОА в виде

условий перехода поступают на входы управляющего автомата и (или) в виде данных поступают на входы других ОА.

Выходные ОА формируют значения выходных переменных контроллера. Будем различать управляемые и неуправляемые выходные ОА. Управляемые выходные ОА активизируются выходным сигналом управляющего автомата УА, а неуправляемые – выходными сигналами входных ОА. В частном случае, если требуется постоянная активность ОА, то они могут вообще не иметь входов.

Типовые выходные ОА это: генераторы и формирователи стимулирующих воздействий на ОУ; квалификаторы шагов УА; регуляторы параметров ОУ; синтезаторы структур и массивов данных.

Уровень управления состояниями системы управления представлен в структуре управления множеством УА. Каждый УА, как правило, управляет состояниями отдельной задачи, программы, процедуры, то есть автоматы используются параллельно. При изменении вектора входов X , поступающего от ОА, УА переходит в новое состояние. При этом на выходах УА формируется вектор выходов Y , который управляет активностью выходных ОА.

УА может быть построен как автомат Мили или как автомат Мура. Автомат Мура связывает отдельное состояние с вектором выходов, т.е. в конечном итоге с действиями, которые выполняют выходные ОА, активизированные в этом состоянии УА. Состояние автомата Мили задает правило выбора вектора выхода и новое состояние автомата для каждого из возможных в данном состоянии автомата Мили векторов входов.

Алгоритмы обработки данных и управления состояниями могут быть изменены во время эксплуатации КСУ путем перепрограммирования или адаптации. В ходе адаптации в КСУ накапливаются и оцениваются результаты управления, формируется прогноз изменения контролируемых и неконтролируемых параметров ОУ. На основании этих данных изменяются информационные массивы, представляющие структуру УА и параметры ОА, системные переменные контроллера, коммутируются информационные потоки на входах и выходах этих автоматов, то есть изменяется структура устройства управления объектом.

Управление адаптацией можно выделить в отдельный уровень управления, который использует инструментарий систем искусственного интеллекта. Эти инструменты требуют значительных ресурсов процессора, и поэтому уровень адаптации может быть реализован во внешнем по отношению к контроллеру приложении, например, в виде модели в среде приложения MATLAB, которая обменивается данными с контроллером через функции DDE.

Можно предположить, что по мере совершенствования аппаратного и программного обеспечения программируемых контроллеров, появятся новые уровни, например уровень самоорганизации и др. Известны системы управления роботами с подсистемами инстинктов и чувств.

В распределенных КСУ задачи управления выполняются параллельно в некотором множестве вычислительных устройств (контроллеры, интеллектуальные информационно-управляющие устройства, персональные компьютеры) и (или) программных приложений пользователя в среде таких программных пакетов как ОС контроллера, электронные таблицы, СУБД, пакетов для математических вычислений, моделирования, визуализации и др. В модели элемента распределенной КСУ выделяется множества параметров, событий, состояний и знаний, которые влияют на поведение других элементов КСУ. Эта информация в виде множества сообщений передается по каналам связи элементов в системе управления [7]. Кроме, определенных выше для каждого уровня управления множеств элементов, в состав теоретико-множественной модели программируемого контроллера входят отображения этих множеств. Например, отображения множества выходов ОУ на множество каналов входных модулей, множества состояний и входов УА на множество его выходов и др. Предполагается рассмотреть свойства и характеристики этих отображений в последующих работах.

Интегрированные иерархические системы управления

Для описания интегрированности и иерархичности КСУ используем, введенное Глушковым В. М. представление системы управления (СУ) как совокупности ОУ и управляющего устройства (УУ), причем УУ подразделялся на УА и ОА [9]. Предположим, что на каждом уровне иерархической системы содержится по одной СУ.

Тогда для СУ i -го уровня ($i \geq 2$) ($СУ_i$) $ОУ_i$ будет $УУ(i-1)$. Для СУ первого уровня $ОУ$ будет реальный объект (агрегат, процесс), а не $УУ$. В свою очередь, $УУ_i$ будет являться $ОУ(i+1)$ для $СУ(i+1)$. Объект управления $ОУ$ i -го уровня может иметь входы и выходы ($ВС_i$), через которые он взаимодействует с внешней средой. Такую СУ назовем нормализованной ленточной интегрированной (НЛИ) СУ. Взаимосвязи уровней в НЛИ СУ приведены на рис.1.

То есть, НЛИ СУ имеет по одной СУ на каждом иерархическом уровне и связи по управлению только с соседними уровнями в иерархической структуре управления, ненормализованная СУ – связи по управлению с другими (не соседними) уровнями. Не ленточную (пирамидальную, клеточную) СУ определим как систему, содержащую более одной СУ хотя бы на одной из уровней.

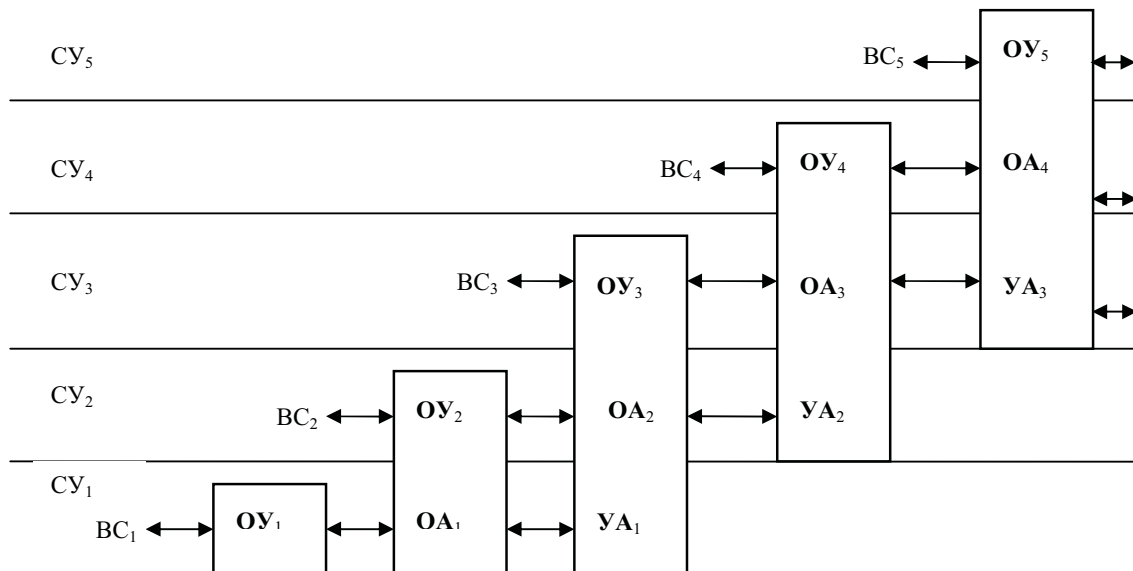


Рисунок 1 - Взаимосвязи уровней управления в нормализованной ленточной интегрированной СУ

На рис.2 приведен пример трехуровневой НЛИ СУ, которая включает СУ объектом ($СУО$), структурой ($СУС$) и функциями ($СУФ$) управления. Основные элементы систем этих систем это $ОУ$, устройство управления объектом ($УУО$), устройство управления структурой ($УУС$) и устройство управления функциями ($УУФ$). $ОУ$ и $УУО$ обмениваются значениями переменных объекта и управляющих воздействий. $УУО$ и $УУС$ - значениями переменных структуры и параметров управления. $УУС$ и $УУФ$ - значениями переменных функций управления.

Влияние внешней среды учитывается в модели КСУ возмущающими факторами ОУ (ВФО), УУО (ВФУ) и УУС (ВФС). Примерами ВФО являются параметры окружающей среды, нагрузки объекта, ВФУ - отказы электропитания, ВФС - отказы устройств и каналов связи. Внешняя среда может также формировать цели функционирования КСУ и являться источником знаний о себе и КСУ.

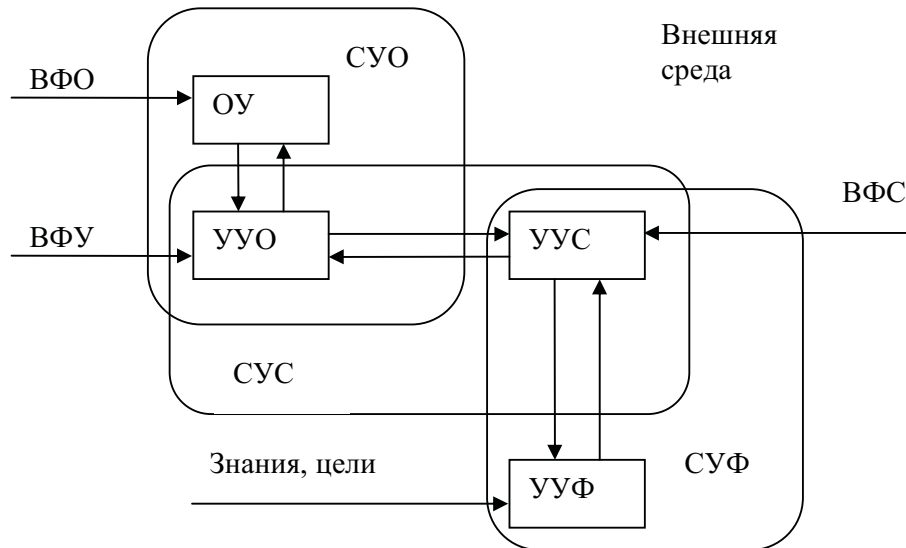


Рисунок 2 - Структура трехуровневой интегрированной КСУ

Заключение

Таким образом, программируемый контроллер, как элемент КСУ может быть представлен множествами элементов уровней сопряжения с ОУ, управления аппаратными средствами, системными, типовыми и пользовательскими операциями, управления состояниями и адаптацией. Взаимосвязи и поведение этих элементов описывается множеством отображений. Преобладающая часть элементов уровней управления контроллера реализованы как программные автоматы. В дальнейшем предполагается рассмотреть паттерны программирования типовых элементов уровней управления контроллера на языках программирования по стандарту IEC 61131-3. Уровни управления контроллера и структура интегрированной КСУ 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. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: «Наука», 1978.
3. Программное обеспечение моделирования непрерывно-дискретных систем./Под ред. В.М. Глушкова. М.: «Наука», 1975.
4. Harel D. Statecharts: a Visual Formalism for Complex Systems. Sci. Comput. prog.8, p.231-274, 1987.
5. 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.
6. Шалыто А.А. Методы аппаратной и программной реализацией алгоритмов. – СПб.: Наука, 2000. – 780с.
7. Гома Х. UML проектирование систем реального времени, распределенных и параллельных приложений. – М.: ДМК, 2002 – 704с
8. Карпов Ю.Г. Теория автоматов. СПб.: Питер, 2002.-224 с.: ил.
9. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. М., Физматиздат, 1962. 476с.