

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНОГО ФРАГМЕНТАРНОГО УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

А.И. Посягин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29
E-mail: posyagin.anton@gmail.com

А.А. Наборщиков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29
E-mail: anton.naborshikov@gmail.com

Ключевые слова: система автоматического управления, местное фрагментарное устройство управления, функция применимости.

Аннотация: Настоящее исследование посвящено анализу возможности применения местного фрагментарного устройства управления при проектировании различных систем автоматического управления. В ходе работы была получена функция, позволяющая численно оценить такую возможность для проектируемой системы, учитывая такие параметры системы, как взаимозаменяемость функциональных блоков, время управления, расстояние между блоками, коэффициент шумов и защищенность канала передачи данных. С помощью предложенной функции был произведен анализ двух систем, в которых на сегодняшний день уже ведется внедрение местного фрагментарного устройства управления. Проведенный анализ подтвердил возможность использования местного фрагментарного устройства управления для разработки подобных систем. В дальнейшем планируется расширить спектр исследуемых систем и выработать критерии не только для оценки возможности применения местного фрагментарного устройства управления, но и для оценки эффективности такого подхода.

1. Введение

Современные системы автоматического управления (САУ) приобрели огромную популярность среди множества различных отраслей промышленности и науки и все больше проникают в повседневную жизнь человека. Это ведет к увеличению зависимости результата управления от надежности используемых САУ и снижению роли человека в процессе управления к ярким представителям которых следует отнести системы с применением искусственного интеллекта [1], различные самоорганизующиеся системы, характерной особенностью которых является отсутствие у конечного пользователя знаний о принципах внутреннего устройства и алгоритмах работы таких САУ [2]. В тоже время постоянно наблюдается рост сложности САУ, обусловленный усложнением объектов управления, для которых они разрабатываются, а также их использованием для управления в критически важных областях, таких как управление летательными аппаратами [3], опасными

производствами [4], объектами энергетики [5] и другими. Еще одним важным направлением развития современных САУ является использование адаптивных САУ, которые способны изменять свои свойства или структуру в зависимости от изменений в объекте управления или свойств окружающей среды [6].

Качество управления САУ определяется, в том числе, надежностью работы ее блоков, основным из которых является блок управления, отвечающий непосредственно за принятие решений и генерацию управляющих воздействий для остальных блоков САУ. Для организации управления существуют два самых распространенных подхода: центральное устройство управления (УУ) и распределенное (или местное) УУ (рис. 1а и 1б) [7]. Центральное УУ имеет преимущества по: скорости принятия решения, аппаратным затратам и простоте реализации, но уступает в надежности, так как возникновение отказа или сбоя в УУ может привести к неправильной работе и отказу всей САУ целиком, несмотря на то, что остальные блоки исправны. Местное УУ отличается от центрального в первую очередь ростом аппаратных затрат на реализацию САУ, потому что распределяется между всеми блоками и зачастую функции УУ одного блока дублируются другим, но в тоже время это положительно влияет на надежность всей системы, так как отказ или сбой в одном из блоков не разрушает САУ, а приводит к некоторым ограничениям ее работоспособности [6,7].

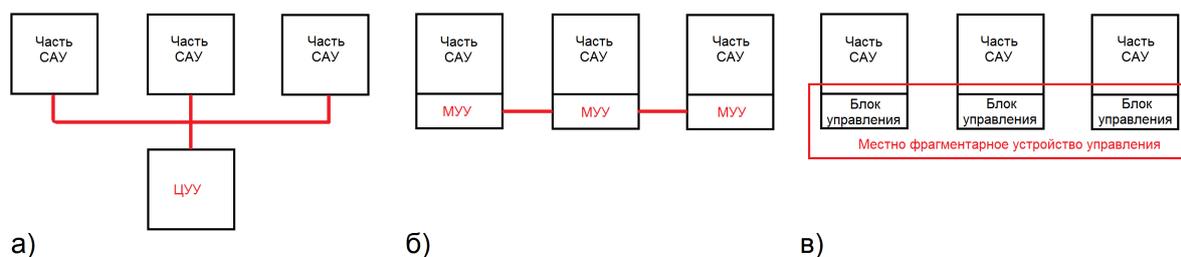


Рис. 1. Типы систем управления: а – центральное устройство управления; б – местное (распределенное) устройство управления; в – местное фрагментарное устройство управления.

Перечисленные выше особенности УУ являются одним из основных факторов выбора того или иного подхода при разработке САУ, когда заказчик предъявляет определенные требования по надежности, стоимости и скорости работы разрабатываемой системы, также учитываются факторы массогабаритных ограничений, потребляемой мощности и прочие. Важным противоречием в этом случае, с которым постоянно приходится сталкиваться проектировщику САУ, становится выбор в пользу простоты и дешевизны либо в пользу надежности и удорожания САУ. Для того чтобы сгладить это противоречие нами предлагается рассмотреть третий подход к реализации УУ, а именно местное фрагментарное устройство управления (МФУУ). Суть предлагаемого подхода состоит в том, что функции УУ не распределяются между блоками САУ, а разбиваются на части, каждая из которых размещается в различных блоках, и только, соединив несколько блоков вместе, в САУ возникает полноценная система управления – МФУУ (рис. 1в). Такой подход нашел свое отражение при разработке самонастраивающегося аналого-цифрового преобразователя на основе нейронной сети (САЦП НС) [8], применяется в текущих проектах по разработке системы самодиагностики САЦП НС [9] и подвижных агентов для построения карты пересеченной местности [10]. В данной работе будут изложены основные положения применения предложенного подхода, а также выявленные в ходе исследований

преимущества и проблемы, возникающие при использовании МФУУ для разработки различных САУ.

2. Предлагаемый подход к проектированию устройства управления

Для использования местного фрагментарного устройства управления необходимо в первую очередь выработать критерии, определяющие возможность применения МФУУ и позволяющие оценить эффективность такого подхода в каждом конкретном случае. Перед разработкой МФУУ важно исследовать саму САУ с точки зрения разделения ее на функциональные блоки, а также взаимозаменяемость этих блоков, кроме того, существенную роль может сыграть физическая реализация блоков и их распределение в пространстве. Например, размещение одного блока на большом удалении от других приведет к тому, что задержки, возникающие при передаче информации между частями МФУУ, которые размещены в каждом из этих блоков, будут критично сказываться на быстродействии всей системы управления. Также при разделении МФУУ между блоками САУ необходимо учитывать, что помимо временных задержек в системе управления при передаче информации могут возникать искажения этой информации, а также в некоторых случаях потребуются обеспечить защищенность канала передачи данных. Таким образом, была определена функция применимости МФУУ при проектировании САУ $F_{\text{ПР}}$, позволяющая оценить возможность применения МФУУ в зависимости от перечисленных параметров:

$$(1) \quad F_{\text{ПР}} = K_1 M_{\text{ЗАМ}} + K_2 \Delta t_{\text{упр}} + K_3 \Delta L + K_4 / F + K_5 P_{\text{защ}},$$

где коэффициенты K – коэффициенты значимости для соответствующего параметра; $M_{\text{ЗАМ}}$ – параметр, определяющий возможность взаимозаменяемости функциональных блоков исследуемой САУ; $\Delta t_{\text{упр}}$ – параметр, показывающий отношение времени, затрачиваемого на управление к общему времени работы САУ; ΔL – параметр, зависящий от среднего расстояния между отдельными функциональными блоками САУ по отношению к самой длинной линии связи; F – коэффициент шума, возникающий при передаче данных между блоками САУ; $P_{\text{защ}}$ – параметр, учитывающий вероятность злоумышленника повлиять на канал передачи данных, что приведет к ошибкам или отказам в системе управления САУ.

Для определения коэффициентов значимости будем использовать экспертную оценку, которая должна определить для конкретной САУ наиболее важные параметры среди представленных выше, поэтому эти коэффициенты будем нормировать (подбирать таким образом, чтобы сумма их равнялась единице). Обратим внимание, что рассчитанная по формуле (1) функция $F_{\text{ПР}}$ будет лежать в пределах (0; 1), это позволяет сделать вывод о том, что функция определяет возможность применения МФУУ при стремлении ее значения к единице.

Для расчета предложенной функции рассмотрим порядок определения каждого из параметров. Наибольший интерес в данном случае представляет параметр взаимозаменяемости функциональных блоков САУ, так как именно от этого параметра зависит отказоустойчивость системы, когда один из блоков может быть заменен другим с сохранением или незначительным снижением других параметров САУ, определяющих эффективность ее применения. Для количественной оценки этого параметра предлагается рассматривать отношение числа функциональных блоков в САУ, которые могут заменить друг друга в случае неисправности к общему количеству блоков САУ, при этом в случае, когда есть несколько групп блоков, обладающих такой возможностью, то требуется рассмотреть совокупность всех блоков по группам:

$$M_{\text{ЗАМ}} = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N},$$

где n_i – количество взаимозаменяемых функциональных блоков в каждой группе; N – общее количество блоков в САУ; m – количество групп функциональных блоков, в которых возможно заменить один блок другим в случае неисправности.

Параметр $\Delta t_{\text{упр}}$ определяется как отношение времени управления $t_{\text{упр}}$, которое требуется во время выполнения рабочего цикла САУ, ко времени всего цикла $t_{\text{цикл}}$, при этом отметим, что в формуле (1) используется обратная функция от этого соотношения, так как применение МФУУ в любом случае приводит к росту времени $t_{\text{упр}}$, что в свою очередь будет критично сказываться в системах, где рабочий цикл САУ содержит множество операций настройки, калибровки и тому подобных этапов:

$$\Delta t_{\text{упр}} = 1 - \frac{t_{\text{упр}}}{t_{\text{цикл}}}.$$

Расчет параметра ΔL связан с оценкой средней длины линии либо расстояния между функциональными блоками исследуемой САУ $L_{\text{ср}}$, для управления которыми планируется использовать МФУУ, и максимальной длины линии между этими блоками L_{max} , при этом оценку необходимо проводить по той группе блоков, в которой эти величины наибольшие и не учитывать расстояния между группами блоков, даже если оно существенно превышает L_{max} внутри группы, так как применение МФУУ не влияет на относительное расположение групп функциональных блоков разного назначения:

$$\Delta L = \frac{L_{\text{ср}}}{L_{\text{max}}}.$$

Коэффициент шума в линиях передачи рассчитывается на базе известного соотношения между параметрами сигнал/шум на входе и выходе функционального блока САУ [2]. При использовании различных сред передачи или технологий передачи данных между разными группами блоков предлагается использовать среднее взвешенное значение для коэффициента шума:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \text{SNR}_{in}}{N \text{SNR}_{out}},$$

где SNR_{in} – сигнал/шум на входе блока; SNR_{out} – сигнал/шум на выходе блока.

Вероятность $P_{\text{защ}}$ зависит от конкретной САУ и определяется на основе комплексного анализа защиты системы управления от воздействий извне. В рамках представленной работы точное вычисление данного параметра не производилось, а был лишь определен диапазон допустимых значений: (0;1), где 0 – это нулевая степень защиты, когда любая попытка повлиять на систему, позволит перехватить управление, а 1 – соответственно максимальная степень защиты, при которой нет ни одной возможности получить контроль над системой управления [7].

Для примера приведем таблицу с экспертными значениями коэффициентов значимости и величинами параметров для САЦП НС и подвижных агентов, упомянутых во введении. САЦП НС представляет собой аппаратно реализованную искусственную нейронную сеть, в которой в качестве нейрона выступает измерительное звено матрицы R-2R, за счет чего система имеет возможность обеспечить переменную разрядность измерения для каждого входного сигнала, а также повысить отказоустойчивость, благодаря исключению отказавших нейронов из сети [8].

Таблица 1. Расчет функции применимости МФУУ на примере САЦП НС и подвижных агентов.

Параметр функции X_i и его коэффициент значимости K_i	САЦП НС		Подвижные агенты	
	X_i	K_i	X_i	K_i

Взаимозаменяемость блоков	0,98	0,4	0,82	0,2
Время управления	0,91	0,4	0,65	0,1
Оценка расстояния между блоками	0,6	0,1	0,95	0,4
Коэффициент шума	1,2	0,05	1,5	0,2
Степень защищенности	1	0,05	0,8	0,1
Значение функции по формуле (1)	0,809		0,822	

3. Заключение

В заключении отметим, что на текущий момент из-за ограниченной выборки данных нет возможности четко провести границу при каких значениях функции $F_{\text{ПР}}$ может быть применено МФУУ при проектировании САУ. На сегодняшний день выдвинута гипотеза о том, что это значение должно быть не менее 0,7-0,8, в дальнейшем планируется проверить данную гипотезу, рассматривая различные САУ и проводя анализ согласно предложенных параметров, в том числе и для систем, в которых изначально применение МФУУ неуместно. Также важным направлением исследований является получение критериев для оценки эффективности использования МФУУ после внедрения в САУ по таким параметрам как аппаратные затраты, энергоэффективность, сложность и надежность системы и другим.

Список литературы

1. Ху В.Ц., Мищенко С.В., Беляев П.С. и др. Системы управления с элементами искусственного интеллекта // Датчики и системы. 2021. № 6(259). С. 3-11.
2. Трубецков Д.И., Мчедлова Е.С., Красичков Л.В. Введение в теорию самоорганизации открытых систем. М.: Физматлит (ФМ), 2005. 211 с.
3. Milyakov D., Verba V., Merkulov V., Plyashechik A. Two approaches to simulating a group flight of unmanned aerial vehicles as system with lumped and distributed parameters // Proceedings of ITNT 2020 6th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology: 6. Virtual, Samara, 26-29 мая 2020 г. 2020. P. 9253212.
4. Hu V.C., Bainazarova I.K., Jangir N.B., Tagai G.K. Formalization of the method of situational decomposition for a flexible technology process control system // Industrial Technologies and Engineering (ICITE-2017). Shymkent, Kazakhstan, 26-27 октября 2017 г. 2017. P. 204-208.
5. Сытов Е.С., Эпштейн Г.Л. Математическое моделирование ветроэлектростанции с переменной во времени и пространстве нагрузки // Мир транспорта. 2016. Т. 14, № 2. С. 64-68.
6. Жмудь В.А. Адаптивные системы автоматического управления с единственным основным контуром // Автоматика и программная инженерия. 2014. № 2 (8). С. 106-122.
7. Andrew S. Tanenbaum, Maarten van Steen. Distributed systems. Principles and paradigms / 2nd edition. Pearson Education. 2016. 686 p..
8. Макагонов Н.Г., Посягин А.И., Южаков А.А. Принципы самомаршрутизации сигналов в аналого-цифровом преобразователе на основе однослойной нейронной сети // Электротехника. 2016. № 11. С. 3-6.
9. Naborshchikov A.A., Posyagin A.I., Yuzhakov A.A. Possible Approaches to Organizing Self-Test of a Self-Routing Analog-To-Digital Converter Based on a Neural Network // Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, 25-28 января 2022 г. 2022. P. 391-394.