

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

*ООО «НЕКСТ инжиниринг», г. Казань,
zr@nexteng.ru*

Введение

В настоящее время автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) крупных промышленных предприятий строятся, как правило, на базе программно-технических комплексов (ПТК) [1]. Компоненты таких ПТК серийно выпускаются промышленностью, поэтому функциональные возможности и характеристики получаемых систем управления во многом определяются их структурой.

Описание исследования

Для постановки задачи поиска оптимальной структуры АСУТП представим ее структуру (рис. 1) в виде дерева (ациклического графа) $G = (V, E)$, где $v \in V$ – устройства (вершины графа), E – ребра графа (каналы связи между устройствами). Количество уровней S в иерархии задается проектировщиком и может варьироваться. Методы оптимизации иерархических структур подробно рассмотрены в [2].

Зададим множество типов устройств $U = \{u_1, \dots, u_U\}$. Примем, что каждый узел структуры (устройство) любого типа выполняет однотипные действия, состоящие из трех фаз цикла работы внутренней программы устройства:

- сбор (чтение) информации от объекта управления, либо от узлов предыдущего уровня иерархии;
- обработка информации (реализация алгоритмов управления);
- выдача информации (запись) на нижестоящий уровень, либо воздействие на объект управления.

Данная версия является авторской версией статьи, опубликованной в сборнике материалов конференции УРСС-2025. Официальная версия доступна по ссылке:

<https://tulsu.ru/storage/app/media/events/393/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%A3%D0%A0%D0%A1%D0%A1.pdf>

Каждый тип $u_i \in \mathcal{U}$ узла структуры характеризуется следующими параметрами: стоимость устройства, количество подключаемых физических каналов, максимальный объем памяти, вероятность отказа устройства, производительность (время выполнения одной программной инструкции), режим работы, максимальное количество дочерних устройств, задержка передачи.

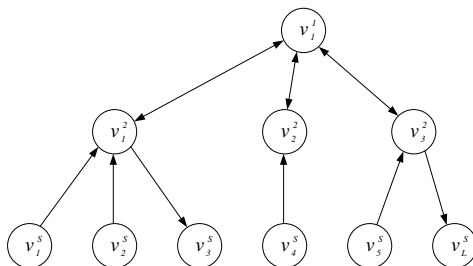


Рис. 1. Иерархическая структура РСУ.

Зададим множество контуров управления $\mathcal{A} = \{a_1, \dots, a_A\}$, состоящее из A контуров. Каждый контур $a_j \in \mathcal{A}$ характеризуется следующими параметрами: количество физических сигналов в контуре, количество памяти, требуемое для хранения всех инструкций и переменных контура, количество инструкций в программе обработки сигналов данного контура.

Устройство, которое обладает функцией обработки информации, будем называть *обработчиком*. Устройство, которое способно только передавать информацию, будем называть *ретранслятором*.

Принимаем, что только устройства уровня S (листья) непосредственно соединены с полевым оборудованием технологической установки. Также принимаем, что все устройства однотипны, различаются только величинами указанных выше параметров, горизонтальные связи между устройствами отсутствуют.

Ранее [3] были определены ключевые критерии оптимизации иерархической структуры АСУТП.

При синтезе важно учесть динамические свойства системы. На практике это является довольно сложной задачей [4]. В качестве показателя, характеризующего качество системы управления, примем максимальное время обработки одного контура T_{cont} .

Вероятность отказа системы P_{sys} не должна превышать заданной величины $P_{max} \in [0,1]$.

Также вводится ряд дополнительных ограничений.

Оптимальная иерархическая структура G_O должна минимизировать стоимость системы при заданных ограничениях. Таким образом, искомая структура может быть определена в результате решения задачи оптимизации:

$$C_O = \min_G \sum_{v \in V} C_v, \quad (1)$$

где C_O – оптимальная суммарная величина затрат на создание системы, C_v – стоимость устройства v .

Для решения данной NP-трудной задачи выбран алгоритм муравьиных колоний [5], так как он достаточно хорошо кодирует задачу, представленную в виде графа. Произведена реализация алгоритма на языке Python.

Для минимизации эффекта застревания на локальных оптимумах алгоритм был модифицирован дополнительным локальным поиском вблизи предполагаемого оптимума.

Проверка качества полученной системы управления может быть выполнена путем имитационного моделирования системы с конкретным объектом управления, например, технологической установкой химического предприятия.

Заключение

Задача поиска оптимальной структуры АСУТП, построенной на базе серийно выпускаемых компонентов, является чрезвычайно актуальной. В настоящее время синтез структуры таких систем выполняется в основном эмпирическим путем на основании опыта проектировщика и не всегда является оптимальным. Реализованный алгоритм может быть использован инженерами АСУТП при проектировании крупномасштабных систем управления технологическими процессами.

1. **Федоров, Ю. Н.** Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 928 стр., 12 ил.
2. **Новиков, Д. А.** Методы оптимизации структуры иерархических систем / Д. А. Новиков, М. В. Губко // Управление развитием крупномасштабных систем: Современные проблемы / Под редакцией А. Д. Цвиркуна. Том Выпуск 2. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью Издательская фирма «Физико-математическая литература», 2015. – С. 359-377.
3. **Закирзянов, Р. М.** Критерии выбора оптимальной структуры распределенной системы управления технологическими процессами крупных промышленных предприятий / Р. М. Закирзянов // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. – № 10. – С. 17-23.
4. **Цвиркун, А. Д.** Основы синтеза структуры сложных систем / А. Д. Цвиркун // М.: Наука, 1982. – 200 с.
5. **Штовба, С. Д.** Муравьиные алгоритмы: теория и применение / С. Д. Штовба // Программирование. – 2005. – Т. 31, № 4. – С. 3-18.