

Dr. Bob Davidov

Синтез САУ рассредоточенного
многосигнального объекта
Часть I

СОДЕРЖАНИЕ

1	ВВЕДЕНИЕ	4
2	КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА ОБЪЕКТА.....	5
2.1	Типы сигналов объекта	5
2.2	Сигнальные группы и одиночные сигналы	7
2.3	Списки стандартных сигналов.....	7
2.4	Преобразование нестандартных сигналов объекта.....	9
2.5	Распределение стандартных сигналов.....	11
3	ВЫБОР АППАРАТНОЙ ЧАСТИ САУ ПО СИГНАЛЬНОМУ СПЕКТРУ ОБЪЕКТА	13
4	ПОДГОТОВКА ВХОДНЫХ ДАННЫХ	17
5	ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ОБЪЕКТА	19
5.1	Нахождение координат объектов.....	19
5.1.1	Точки и прямые линии на плоскости.....	19
5.1.2	Принадлежность точки многоугольнику.....	19
5.1.3	Координаты пересечения ломаной линии с границами прямоугольника	20
5.1.4	Построение выпуклой оболочки множества точек.....	20
5.1.5	Нахождение точек принадлежащих многоугольнику	21
5.1.6	Триангуляция Делоне.....	22
5.1.7	Диаграмма Вороного	22
5.1.8	Пересечение многоугольников (полигонов).....	23
5.2	Определение зон влияния станций с использованием диаграммы Вороного.....	24
5.3	Разграничение пространства между зонами размещения станций.....	26
5.4	Разграничение сигнальных точек	29
5.5	Координаты сигнальной группы.....	32
5.6	Влияние сигнального кабеля на структуру САУ	33
5.6.1	Оптимальное положение станций	34
5.6.2	Правила подключения дополнительных групп сигналов к станциям	36
6	ПОДКЛЮЧЕНИЕ СИГНАЛЬНЫХ ГРУПП.....	37
6.1	Особенности структур контроллеров САУ	37
6.2	Построение и оптимизация структур контроллеров САУ для сигнальных групп...38	
6.2.1	Алгоритм формирования структур контроллеров.....	38

6.2.2 Пример формирования структуры контроллера для присоединения 4 сигнальных групп 41

7 ЭТАПЫ СИНТЕЗА САУ	45
8 ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС СИНТЕЗА САУ.....	46
8.1 Генератор сигнального пространства объекта. Заполнение электронной таблицы генератором случайных чисел	47
8.2 Функциональная часть интерфейса.....	52
9 ВЫВОДЫ.....	54
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	54

1 ВВЕДЕНИЕ

При построении систем автоматического управления (САУ) рассредоточенным многосигнальным объектом возникает задача нахождения структуры аппаратной части САУ оптимальной по стоимости и быстродействию. Решение задачи зависит от параметров объекта, выбора аппаратной базы, варианта подключения объекта и многочисленных ограничений. Упрощенный вариант подключения объекта к САУ показан на Рис. 1.

Исходными данными такого класса задач являются

- координаты и типы сигналов объекта;
- зоны разрешенного размещения интерфейсных модулей (станций) САУ;
- типы и количество портов модулей;
- правила подключения сигналов объекта к портам модулей;
- правила объединения модулей в контроллеры;
- относительная стоимость сигнальных линий, модулей и модульных станций .

Решение задачи включает

- список модулей и распределение портов между сигналами объекта;
- координаты модульных станций;
- списки подключений и длина сигнальных линий.

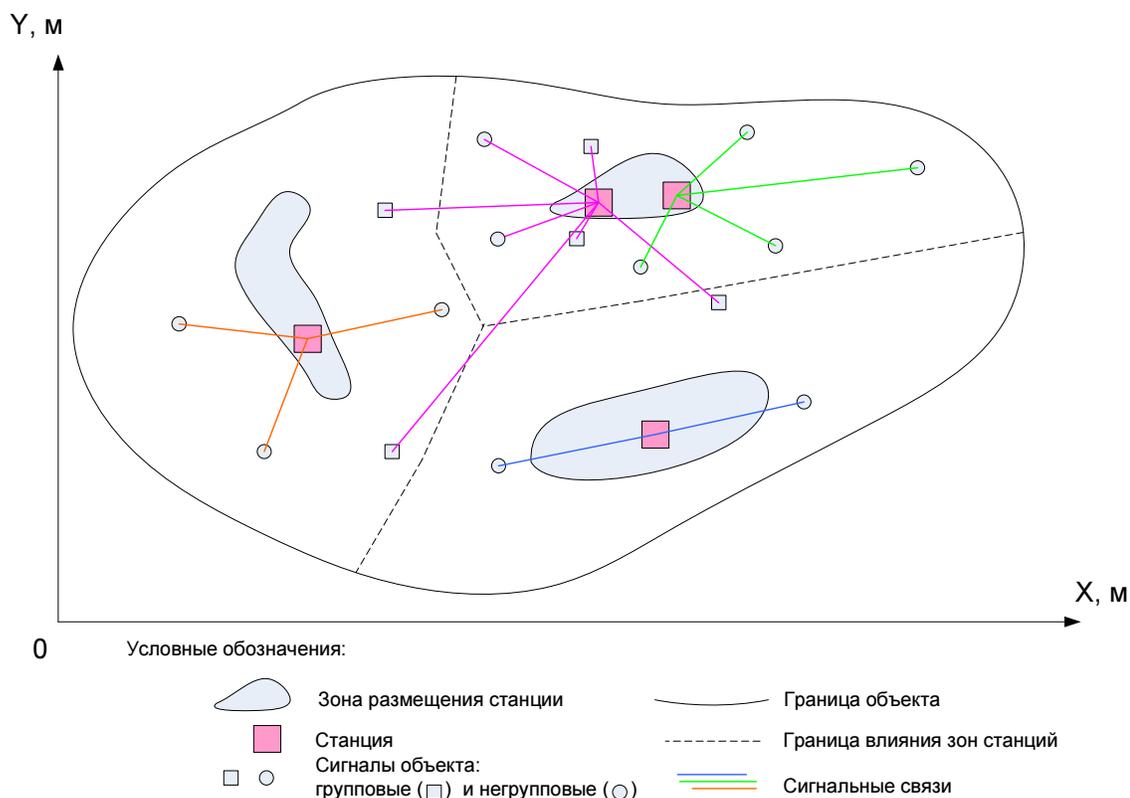


Рис. 1. Пример пространственного распределения сигналов объекта, модульных станций САУ и связей между ними. Множество сигналов объекта (сотни, тысячи сигналов) для наглядности значительно сокращено. Станции располагаются в разрешенных зонах. Ближайшие к зонам пространства разделены границами. Сигналы, между которыми необходимо установить относительно быструю функциональную связь (сигнальные группы), могут располагаться в любых точках зоны объекта. Остальные (одиночные) сигналы подключаются к ближайшим станциям. Положение станции в разрешенной зоне определяется минимальным суммарным расстоянием до подключаемых к станции - сигнальных точек объекта.

При решении задачи синтеза САУ учитываются следующие ограничения

- Количество типов стандартных сигналов;
- Максимальное количество сигнальных портов модулей;
- Максимальное количество сигнальных модулей контроллеров;
- Емкость станций и размеры модулей;
- Вычислительная мощность контроллеров;
- Время запроса данных;
- Баланс мощностей модулей;
- Ограничения длины сигнальных линий;
- Положение и размер зон размещения станций;
- Стоимость модулей, станций, кабеля.

В этой работе рассматриваются следующие вопросы

- Классификация сигнального пространства объекта.
- Выбор аппаратной части САУ по сигнальному спектру объекта.
- Подготовка входных данных.
- Геометрические задачи подключения объекта.
- Подключение сигнальных групп.
- Этапы синтеза САУ.

2 КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА ОБЪЕКТА

Сигнальное пространство объекта предлагается разделять по признакам портов интерфейсных модулей САУ и требованиям к подсистемам САУ по быстродействию.

2.1 Типы сигналов объекта

Множество A сигналов объекта разделено на следующие основные группы.

$B1$ – стандартные;

$B2$ – нестандартные;

$C1$ – сигнальные группы;

$C2$ – одиночные сигналы;

$D1$ – преобразуемые;

$D2$ – не преобразуемые;

Множества имеют следующие отношения.

$A := B1 \cup B2$;

$A := C1 \cup C2$;

$C1 := C1 \cup B1 \cap C1 \cup B2$;

$C2 := C2 \cup B1 \cap C2 \cup B2$;

$B2 := D1 \cup D2$;

$D1 = F(B2)$;

$D2 = B2 - D1$;

где F – функция перевода нестандартных сигналов в стандартные.

Все сигналы объекта подключаются к САУ (Рис. 2). Среди сигналов объекта выделены стандартные, которые можно подключить к портам семейства интерфейсных модулей САУ напрямую, без каких-либо преобразований (множество **B1**). Остальные сигналы объекта по типу подключения к САУ названы нестандартными (множество **B2**).

Все сигнальное пространство объекта также делится на подмножества сигнальных групп **C1** и одиночных сигналов **C2**. В этой работе сигнальные группы образуют сигналы, которым требуется относительно высокоскоростное функциональное взаимодействие, например, для решения задач регулирования. Остальным, одиночным сигналам высокоскоростное взаимодействие не требуется.

Нестандартные сигналы объекта, которые можно преобразовать с целью подключения к "стандартным" портам семейства интерфейсных модулей САУ (подмножество **B2**) названы преобразуемыми сигналами (множество **D1**).

Преобразование к стандартному сигналу выполняется на аппаратном и/или программном уровне. Примером преобразуемого сигнала объекта на аппаратном уровне может быть дискретный сигнал, имеющий два состояния, например, в виде разных частот, который через преобразователь можно подключить к стандартному модулю дискретного ввода. Для определения состояния дискретного сигнала подключенного к АЦП используются программно-аппаратные средства.

Нестандартные сигналы, которые подключаются к САУ в обход стандартных портов интерфейсных модулей, названы непреобразуемыми (множество **D2**). Они подключаются к САУ через специальные интерфейсы.

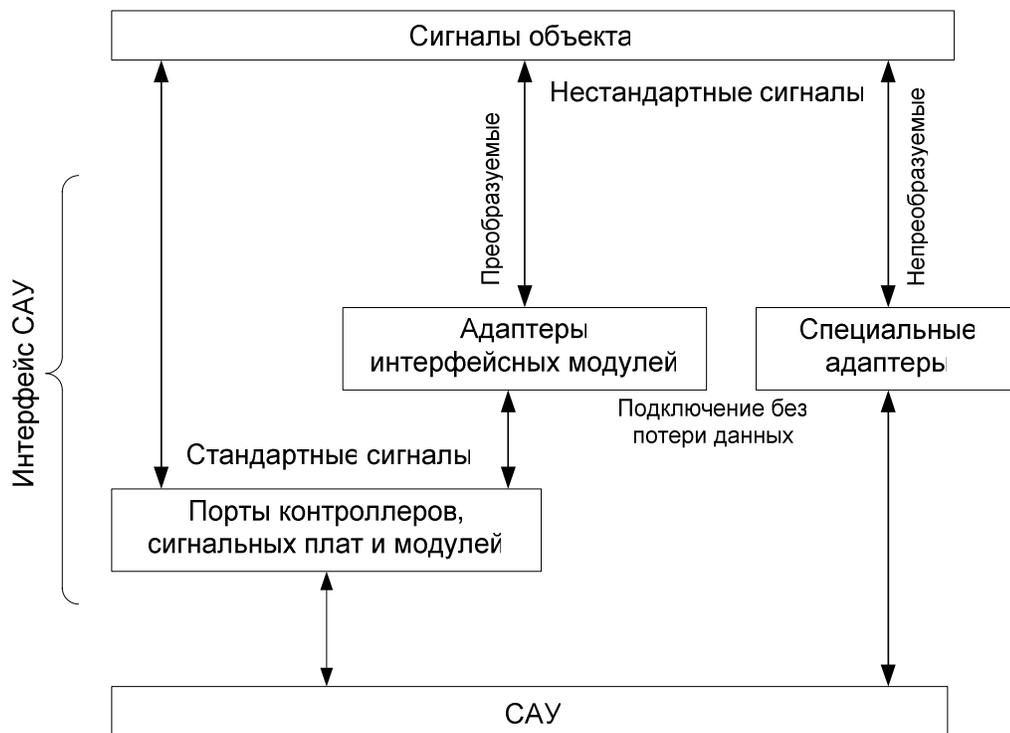


Рис. 2. Интерфейс Объект – САУ. Все сигналы объекта подключаются к САУ. Список стандартных сигналов определяется множеством сигнальных портов базовых средств САУ: контроллеров, сигнальных процессоров, плат и модулей. Нестандартные сигналы образуют две группы, одна из которых подключается к стандартным интерфейсным модулям через преобразователи, а другая - через специальные адаптеры.

2.2 Сигнальные группы и одиночные сигналы

Как правило, модули, принадлежащие одной станции САУ, обмениваются данными через общую (параллельную) шину, тогда как обмен между станциями осуществляется через последовательные каналы передачи данных. Обмен через общую шину обеспечивается с меньшими задержками и поэтому сигналы, которым необходима относительно быстрая функциональная связь должны подключаться к модулям связанным общей шиной. Такие сигнальные группы принадлежат, например, локальным системам автоматического управления устойчивость и качество управления которых в значительной степени зависят от задержек в контуре.

Остальные сигналы объекта, которым не требуется относительно высокая частота связи, могут подключаться к свободным портам модулей, объединенных как параллельными (общие шины), так и последовательными каналами передачи данных.

Максимальная частота отклика каналов последовательной передачи данных межмодульных соединений составляет 50..100 Гц и это при том, что тактовая частота этих же каналов достигает десятки и сотни мегагерц. Отклик на запрос данных, например, по протоколу TCP и UDP, включающий установку связи, передачу запроса, получение данных и разрыв связи, происходит за время более 20 мс [3,4]. Ответ на запрос по протоколу modbus осуществляется с еще большими задержками.

В этой работе частота 50..100 Гц выбрана для выделения сигналов, которым требуется быстрая функциональная связь через общие шины, и сигналов, которым достаточно взаимодействие через каналы последовательной передачи данных.

2.3 Списки стандартных сигналов

Для составления списка параметров стандартных сигналов необходимо из спецификаций семейства модулей САУ выделить минимальный набор параметров достаточный для сортировки сигналов объекта и выделения сигналов для прямого подключения к интерфейсным модулям САУ. Пример выделения стандартных сигналов контроллеров серии S7 1200 компании Siemens показан на Рис. 3. Полученный список из 33 стандартных сигналов серии S7 1200 показан на Рис. 4.

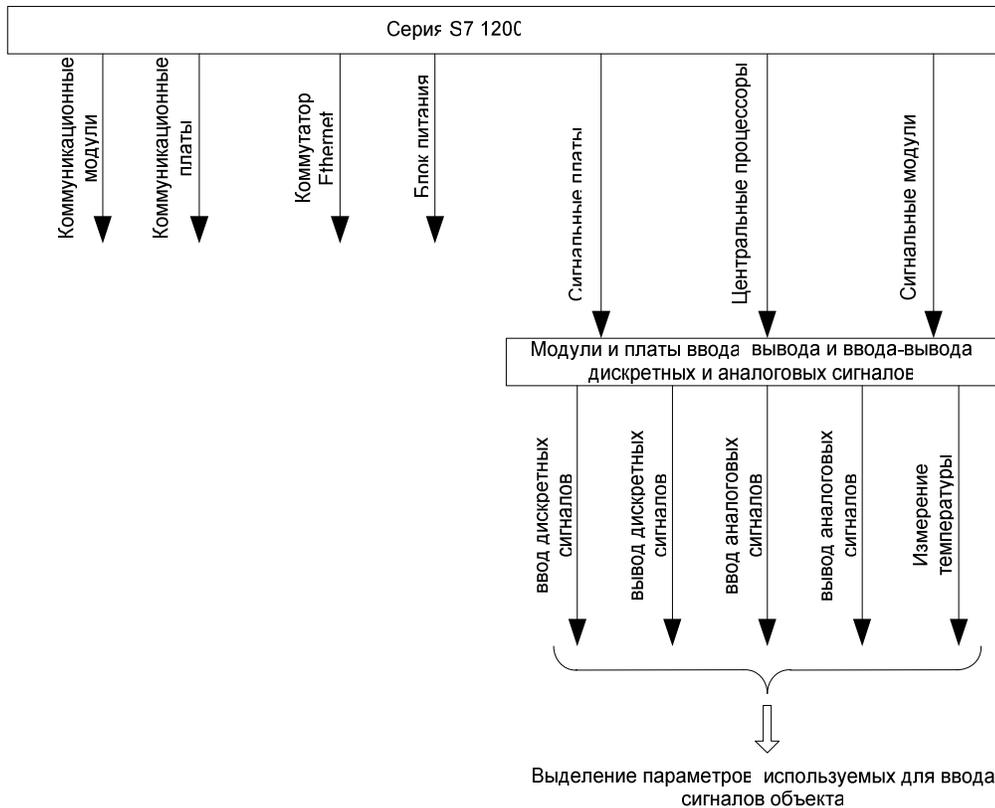


Рис. 3. Пример выделения стандартных сигналов модулей семейства S7 1200.

DigitalInput		DigitalOutput		AnalogInput										AnalogOutput		TemperatureMeter																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
DirectCurrent_24V	HighSpeedCounting	TransistorSwitch	Relay	Voltage	Voltage_2_5V	Voltage_5V	Voltage_10V	Current_0_20mA	Current_4_20mA	Voltage	Current_0_20mA	Capacity_12bit	Capacity_13bit	Capacity_16bit	Capacity_12bit	Capacity_13bit	Capacity_16bit	Capacity_11bit	Capacity_12bit	Capacity_15bit	Capacity_12bit	Capacity_15bit	Voltage_10V_14bit	Voltage_10V_10bit	Capacity_13bit	Capacity_10bit	RTD	TC					
Digital	Frequency_30kHz	Frequency_100kHz	AlternatingCurrent_120V_230V	DirectCurrent_5V	DirectCurrent_24V_0_1A_200kHz	Digital	Frequency_100kHz	DirectCurrent_5V_0_1A_200kHz	LockingRelayContacts	SwitchingRelay	Voltage_1_25V_16bit	Capacity_12bit	Capacity_13bit	Capacity_16bit	Capacity_12bit	Capacity_13bit	Capacity_16bit	Voltage_0_10V_10bit	Capacity_11bit	Capacity_12bit	Capacity_15bit	Capacity_12bit	Capacity_15bit	Voltage_10V_14bit	Voltage_10V_10bit	Capacity_13bit	Capacity_10bit	RTD	TC				
TS	Термометры сопротивления Cu10, Cu50, Cu100, Ni100, Ni 120, Ni200, Ni500, Ni1000, Pt10, Pt50, Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000, LG-Ni1000																																
RS	Датчики сопротивления 150 Ом, 300 Ом, 600 Ом																																
TC	Термопары типов J, K, T, E, R, S, N, C, ТХК/ХК(L)																																
VS	Датчики напряжения ±80 мВ																																

Рис. 4. Пример списка стандартных сигнальных портов семейства модулей S7 1200 компании Siemens. Порты 33 типов используются для подключения стандартных сигналов дискретных (11 типов), аналоговых (20 типов) и сигналов датчиков температуры (2 типа).

Каждое семейство модулей ориентировано на работу со своими объектами. Модули разных серий имеют свое распределение сигнальных портов. Это можно увидеть сравнивая серии S7 1200 и S7 1500 компании Сименс.

В состав программируемых контроллеров SIMATIC S7-1500 могут входить следующие периферийные модули:

- 16- и 32- канальные модули ввода дискретных сигналов =24 В или ~230 В с высоким или низким уровнем активного входного сигнала.
- 8-, 16- или 32-канальные модули вывода дискретных сигналов =24 В или ~230 В с номинальными токами нагрузки на один канал 0.5 А, 2 А или 5 А.
- 8-канальные модули ввода аналоговых сигналов для измерения сигналов силы тока, напряжения или сопротивления, а также для измерения температуры с помощью термпар или термометров сопротивления.
- 4- или 8-канальные модули вывода аналоговых сигналов силы тока или напряжения: включая скоростные (HS) модули с временем преобразования 125 мкс на 8 каналов.
- Технологические модули для решения задач позиционирования и скоростного счета.
- Коммуникационные модули для обмена данными через непосредственные (point-to-point - точка к точке) соединения.
- Модули для построения систем противоаварийной защиты и обеспечения безопасности.

В отличие от семейства S7-1200 в серии S7-1500 нет сигнальных плат, процессорные модули не имеют сигнальных портов, нет ограничений на количество подключаемых сигнальных модулей в зависимости от типа процессорного модуля.

2.4 Преобразование нестандартных сигналов объекта

Если параметры нестандартных сигналов удовлетворяют критериям, которые приведены в Таблица 1 (для серии S7 1200), то при помощи несложных правил и устройств такие сигналы могут быть преобразованы для подключения к стандартным портам интерфейсных модулей CAU.

Примером преобразуемых нестандартных сигналов являются сигналы, у которых амплитуда напряжения или тока превышает предельное значение стандартных портов, а разрядность и быстродействие остаются в рабочих диапазонах.

Таблица 1. Критерии преобразования нестандартных сигналов.

Тип сигнала	Условие подключения через преобразователь
Дискретный ввод	Частота сигнала, не более, 200 кГц
Дискретный вывод	Частота сигнала, не более, 200 кГц
Аналоговый ввод	Разрядность, не более, 16 бит; Время цикла, не менее, 1 мс
Аналоговый вывод	Разрядность, не более, 14 бит; Время установки при активной нагрузке, не менее, 300 мкс

Преобразование нестандартных сигналов не превышающих значения Таблица 1 выполняются по правилам Таблица 2. Например, если дискретный входной сигнал объекта имеет напряжение 1000 В и частоту счета 1000 Гц, то для него выделяется стандартный входной порт 24 В / 30 кГц; для аналогового входа напряжением 100 В и разрядностью 8 бит выделяется ближайший по напряжению и разрядности стандартный аналоговый вход 10В / 10 бит.

При согласовании нескольких параметров нестандартных сигналов с соответствующими значениями стандартных портов используются следующие правила.

- Для дискретного ввода (DI) сначала подбирается частота, а затем напряжение
- Для дискретного вывода (DO) сначала подбирается частота и выходной ток, а затем устанавливается тип выхода (транзистор / реле)
- Для аналогового ввода (AI) сначала проверяется время цикла и разрядность, а затем устанавливается диапазон напряжения / тока
- Для аналогового вывода (AO) сначала проверяется время установки и разрядность, а устанавливается диапазон напряжения / тока

Таблица 2. Правила преобразования нестандартных сигналов.

Тип сигнала	Условие 1	Условие 2	Сигналы, соответствующие условиям	Выбор	
Дискретный ввод (DI)	<=20Гц		AC_120/230V LF		
			DC_24V LF	+++	
	<=200Гц		DC_5V LF		
			DC_24V 'HSC_30кГц'	+++	
	<= 30 кГц	DC_24V 'HSC_100кГц'	+++		
	<= 100 кГц				
Дискретный вывод (DO)	<= 1 Гц	<= 100 мА	Transistor_24V_0_1A LF	+++	
			Transistor_5V_0_1A LF		
			Relay_2A LF		
			Relay_Changeover_Contact_2A LF		
		<= 500 мА	Transistor_24V_0_5A LF	+++	
			Relay_2A LF		
			Relay_Changeover_Contact_2A LF		
			Relay_2A LF	+++	
		<= 2000 мА	Relay_Changeover_Contact_2A LF		
			Relay_2A LF	+++	
			Relay_Changeover_Contact_2A LF		
			Relay_Changeover_Contact_2A LF		
		> 2000 мА	Transistor_24V_0_5A LF	+++	
	<= 200 Гц		<= 100 мА	Transistor_5V_0_1A LF	
				Transistor_24V_0_1A LF	+++
				Transistor_24V_0_5A LF	+++
		Transistor_24V_0_5A LF		+++	
		> 500 мА	Transistor_24V_0_5A LF	+++	
	<= 100 кГц		<= 100 мА	Transistor_24V_0_1A Pulse_200кГц	+++
				Transistor_5V_0_1A Pulse_200кГц	
Transistor_24V_0_5A Pulse_100кГц				+++	
Transistor_24V_0_1A Pulse_200кГц		+++			
	> 100 мА	Transistor_24V_0_1A Pulse_200кГц	+++		
<= 200 кГц		<= 100 мА	Transistor_24V_0_1A Pulse_200кГц	+++	
			Transistor_5V_0_1A Pulse_200кГц		
			Transistor_24V_0_1A Pulse_200кГц	+++	
	Transistor_5V_0_1A Pulse_200кГц				
	> 100 мА	Transistor_24V_0_1A Pulse_200кГц	+++		
Аналоговый ввод (AI)		Время цикла >= 1000 мкс	<=10 bit	Voltage 10V	+++
			<=11 bit	Current 20_mA	+++
			12 бит	Voltage +-2_5V	
	Voltage +-5V				
	Voltage +-10V				
	Current 20_mA				
				Current 4..20_mA	+++
			13 бит	Voltage +-2_5V	

			Voltage +-5V	
			Voltage +-10V	+++
		<=15 бит	Current 20_mA	
			Current 4..20_mA	+++
		16 бит	Voltage +-1_25V	
			Voltage +-2_5V	
			Voltage +-5V	
			Voltage +-10V	+++
Аналоговый вывод (АО)	Время преобразования >= 300 мкс	<=10 бит	Voltage 10V	
			Current 20_mA	+++
		<=13 бит	Voltage 10V	
			Current 20_mA	+++
		=14 бит	Voltage +/-10V	+++

Примечание: Подключение сигналов одного типа к избыточным портам САУ другого типа может быть использовано для уменьшения стоимости САУ.

2.5 Распределение стандартных сигналов

Интерфейсные модули разного типа (процессорные модули, сигнальные платы и модули) могут иметь уникальные и однотипные сигнальные порты. Один и тот же модуль может иметь порты разного типа. Это необходимо учитывать при подключении сигналов объекта к САУ.

Так, например, дискретный сигнал входа 24V (сигнал N1, Рис. 4) можно подключить к портам процессорного модуля (CPU), сигнальных плат (SB) или сигнальных модулей (SM) семейства S7 1200 компании Siemens (Рис. 5, Рис. 6 и Рис. 7), тогда как дискретный вход 5V (сигнал N5, Рис. 4) можно подключить только к соответствующему порту сигнальных плат (SB) того же семейства. Ни процессорные ни сигнальные модули не имеют портов для подключения дискретного входа 5V.

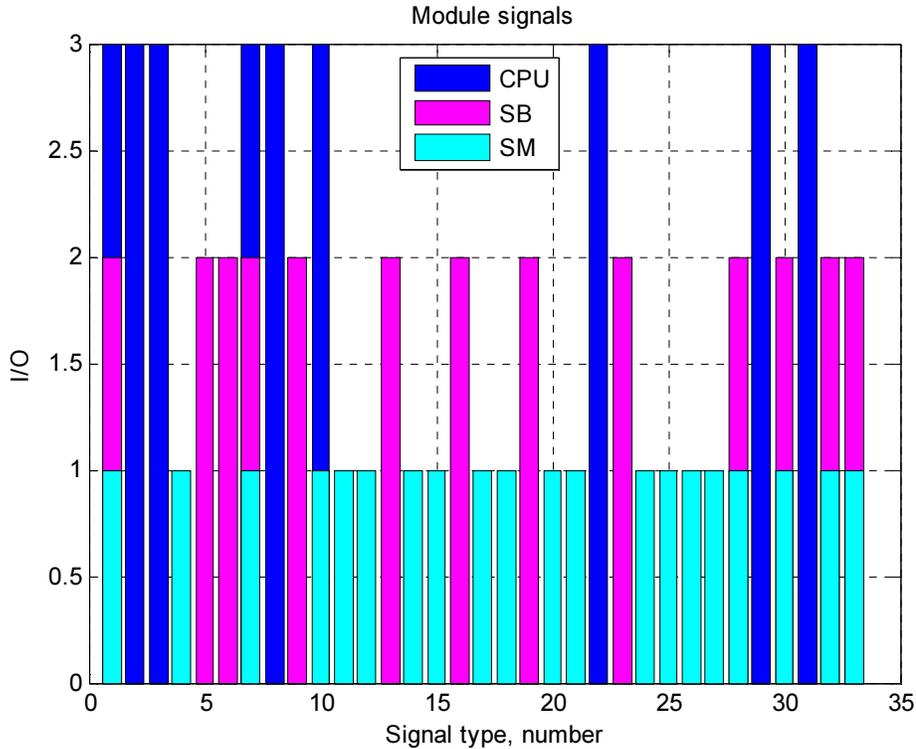


Рис. 5. Распределение стандартных портов семейства модулей S7 1200 компании Siemens между типами модулей. Семейство имеет 34 CPU, 11 SB и 44 SM. Сигналы 2,3,8,22,29 и 31 подключаются только к CPU; сигналы 5,6,9,13,16,19 и 23 подключаются только к SB; сигналы 4,11,12,14,15,17,18,20,21,24,25,26,27 подключаются только к SM;

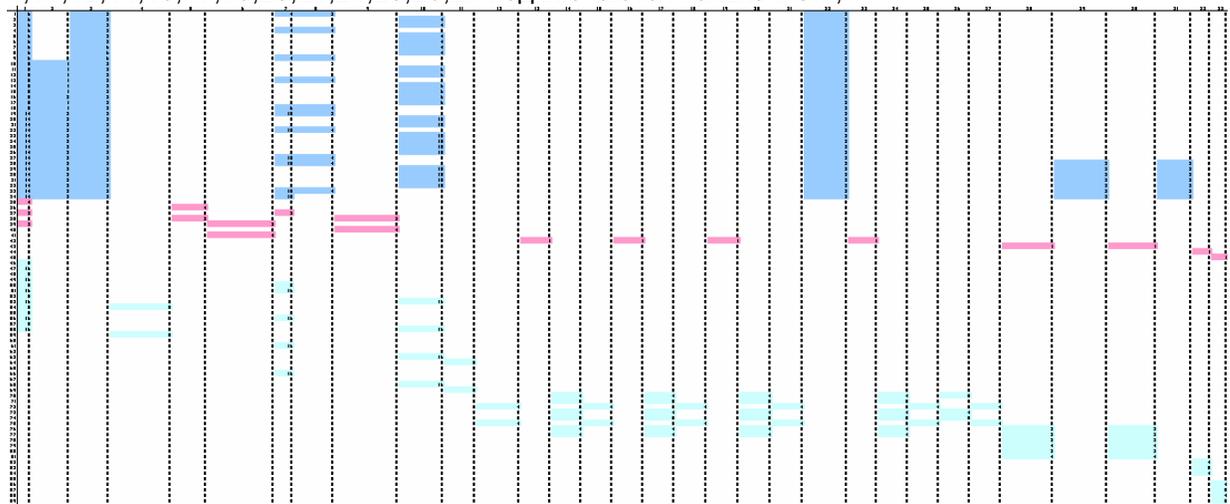


Рис. 6. Распределение портов между 89 модулями S7 1200 компании Siemens. Голубые ячейки, показывающие типы портов, содержат количество портов процессорных модулей, малиновые – сигнальных плат, сиреневые – сигнальных модулей.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
CPU	14	3	6	0	0	0	10	4	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0
SB	4	0	0	0	4	4	2	0	4	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
SM	16	0	0	8	0	0	16	0	0	16	8	4	0	8	4	0	8	4	0	8	4	0	0	8	4	8	4	4	0	4	0	8	8

Рис. 7. Максимальное количество портов модулей разного типа (CPU, SB, SM).

3 ВЫБОР АППАРАТНОЙ ЧАСТИ САУ ПО СИГНАЛЬНОМУ СПЕКТРУ ОБЪЕКТА

Построение аппаратной части САУ зависит от конфигурации контроллеров. Контроллеры серии S7 1200 могут состоять из модулей центральных процессоров (CPU), сигнальных плат (SB), присоединяемых к CPU через специальные разъемы, и сигнальных модулей (SM), подключаемых к процессорам через общие шины.

В серии S7-1200 используется 5 моделей центральных процессоров, отличающихся производительностью, объемами встроенной памяти, количеством и типов сигнальных входов и выходов и другими показателями.

Процессоры серии S7 1200 имеют ограничения по типам и количеству подключаемых коммуникационных модулей, сигнальных плат и сигнальных модулей. Это ограничение определяет размер максимального сигнального пространства формируемого контроллером.

К каждому центральному процессору можно подключить до трех коммуникационных модулей и одну сигнальную плату ввода-вывода. Количество подключаемых сигнальных модулей зависит от типа CPU. Так, например, к процессору CPU 1211C нельзя подключить ни одной сигнальной платы, тогда как к CPU 1215C можно подключить до восьми сигнальных модулей.

Из 34 CPU, 11 SB и 44 SM с учетом ограничений на подключение сигнальных плат и модулей можно построить 77496 контроллеров. Распределение цен этого набора контроллеров показано на Рис. 8.

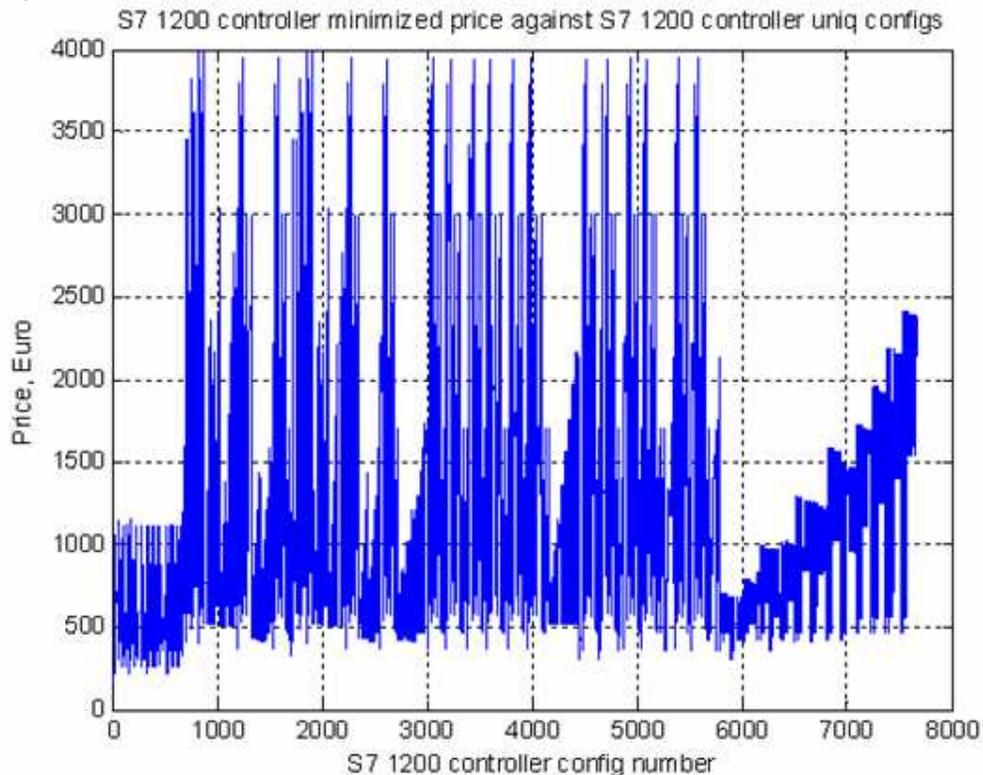


Рис. 8. Стоимость контроллеров S7 1200 различных конфигураций. Цены лежат в диапазоне от €157 до €4000.

Структура оптимального контроллера зависит от спектра входных сигналов. Функция преобразования спектра входных сигналов в структуру контроллера включает

- выбор наиболее дешевого порта – сначала из CPU, затем из SB и, наконец, из SM;
- настройку многосигнальных портов на конкретный тип сигнала (например, из 8 портов DI 24В процессора, только три могут работать в режиме скоростного счета HSC с частотой 100 кГц);
- подключение к модулю ввода (вывода) или ввода-вывода в зависимости от соотношения сигналов и цен модулей;
- подключение к свободным портам другого типа без потери данных (например, когда необходимые +/-5В/12р порты заняты, но имеются +/-10В/13р порты);

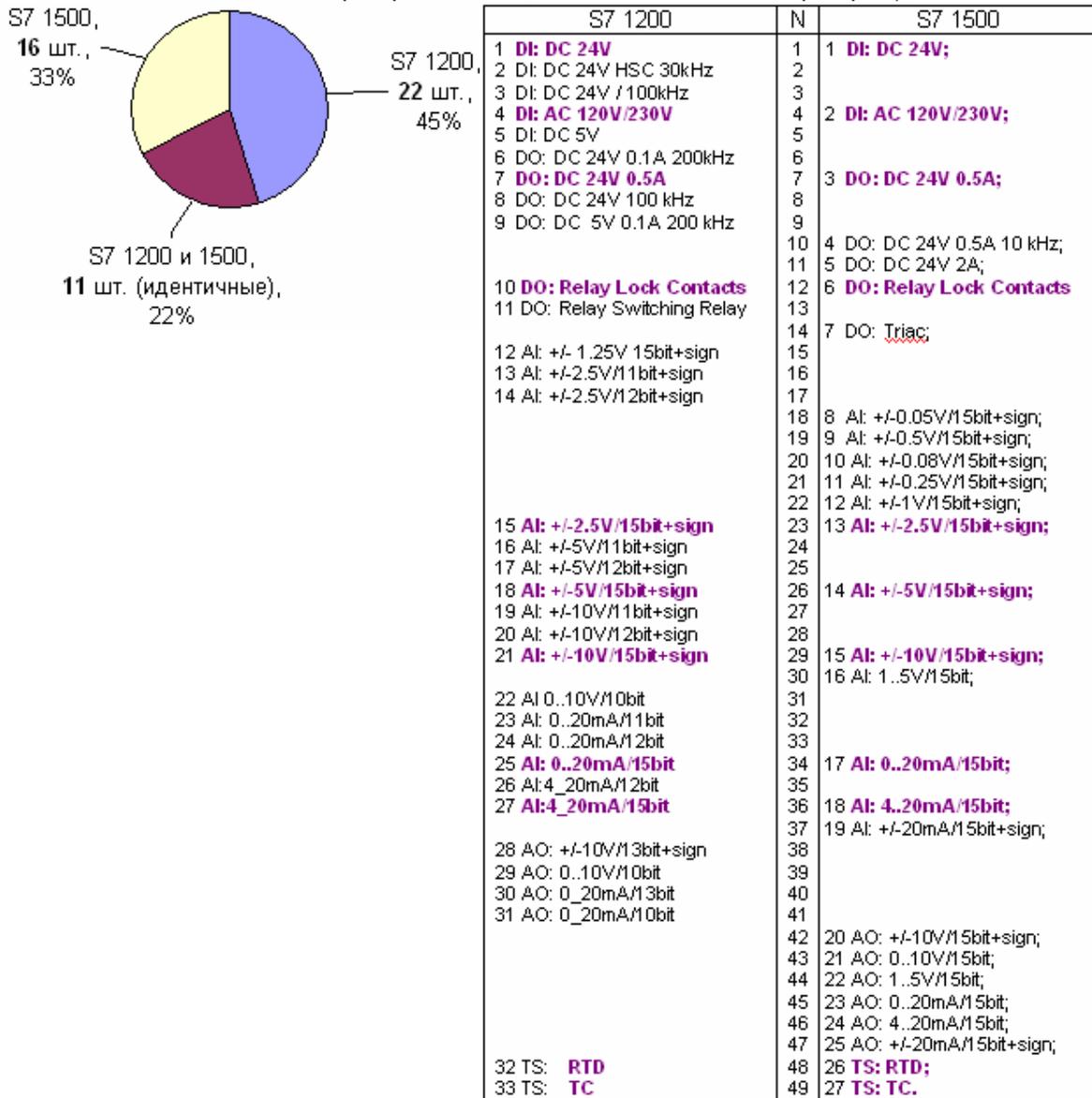


Рис. 9. Перекрывание спектров сигнальных портов серии S7 1200 (33 порта) и S7 1500 (27 портов) компании Siemens. Серии имеют 11 идентичных портов (22%). Остальные порты уникальны для каждой серии.

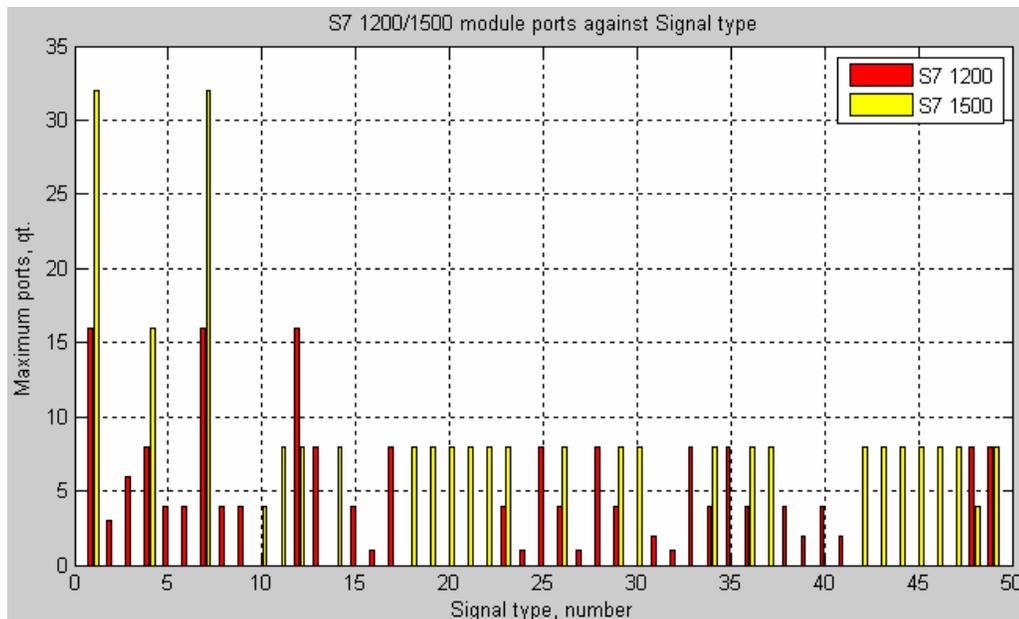


Рис. 10. Зависимость максимального количества портов модуля от типа стандартных сигнальных портов контроллеров CAU семейств S7-1200 и S7-1500 компании Siemens. Порты отличаются по наличию и количеству.

Отношение стоимости модуля к количеству его портов позволяет оценить относительную стоимость порта CAU для подключения сигналов объекта.

Примечание: Оценку стоимости сигнального порта процессорного модуля целесообразно проводить относительно стоимости наиболее дешевого процессорного модуля обеспечивающего работу требуемой конфигурации контроллера.

Стоимость однотипного порта в разных конфигурациях контроллеров может отличаться. Так минимальная стоимость дискретного ввода 24В в конфигурации CPU и SB составляет €13.9 (как $(€210 + €54)/(15+4)$), в конфигурации CPU и восемь SM она составляет €10.5 (как $(€319 + 8*€146)/(14+8*16)$).

Разные типы сигнальных портов внутри одной серии отличаются по стоимости (Рис. 11). Для семейства S7-1200 отношение составляет 26 раз: самые дорогие порты у CPU N29: AI / 0..10V / 10bit и CPU N31: AO / 0..20mA / 10bit, стоимость €481/2 порта. Самые дешевые порты N1: DI / DC / 24V; N7: DO / DC / 24V / 0.5A; и N10: Relay 2A, стоимость €146/16 портов.

Сравнение однотипных портов разных серий S7-1200 и S7-1500 (Рис. 12) показывает, что в каждом семействе есть как более дешевые, так и более дорогие порты. Например, порт N2 (DI: AC 120V/230V) семейства S7 1500 почти в 2 раза дешевле того же порта семейства S7 1200, тогда, как порт N10 (TS: RTD) модулей S7 1500 более чем в 2 раза дороже.

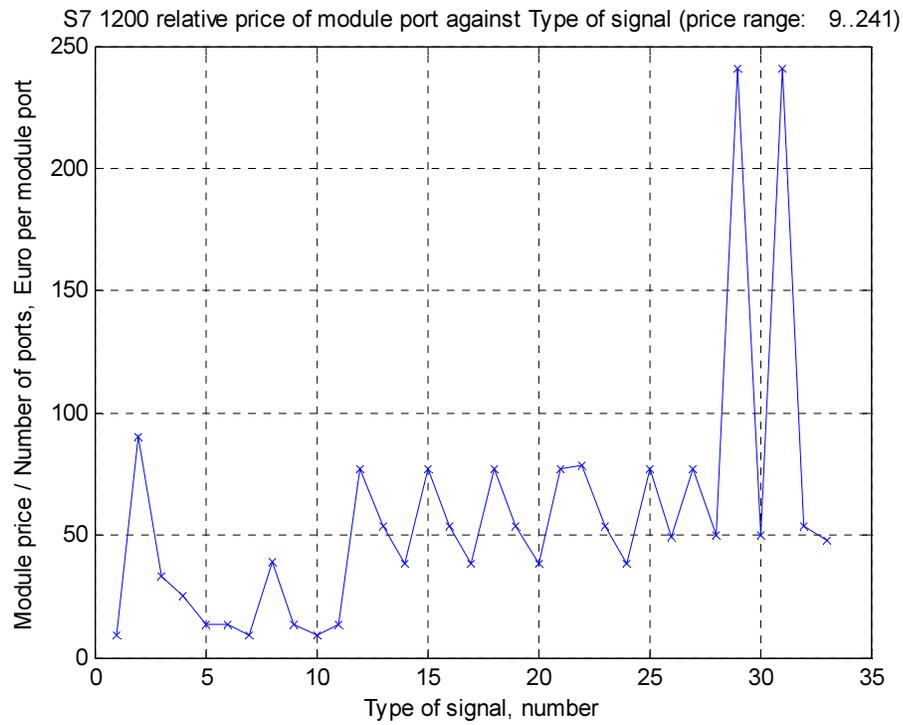


Рис. 11. Относительная стоимость сигнальных портов семейства S7-1200.

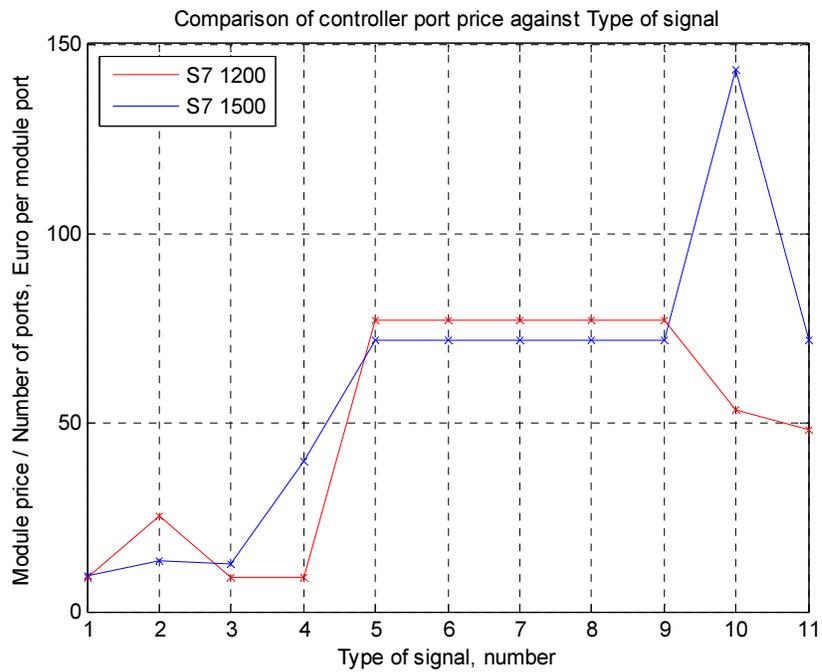


Рис. 12. Относительная стоимость однотипных сигнальных портов семейств S7 1200 и S7 1500 (названия портов приведены в таблице Рис. 9).

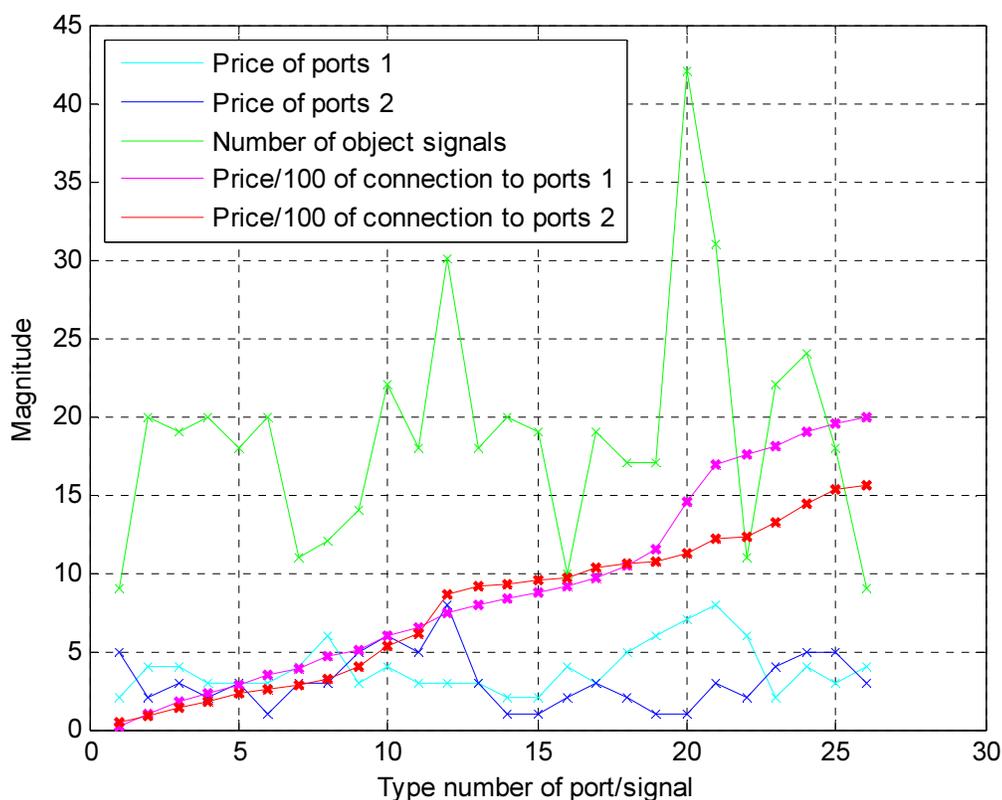


Рис. 13. Расчет стоимости подключения объекта к модулям серий N1 и N2. Голубой и синий графики - стоимости портов; зеленый график - распределение сигналов объекта; малиновый и красный графики стоимости подключения объекта к модулям серий N1 и N2.

Зная стоимость сигнальных портов семейств модулей САУ и сигнальный состав объекта можно вычислить стоимость модулей необходимых для подключения объекта и выбрать серию модулей оптимальную по стоимости. На (Рис. 13) показан пример стоимости подключения объекта к модулям условных серий N1 и N2 (малиновый и красный графики). Графики стоимости подключения рассчитываются как сумма произведений стоимости порта на количество сигналов объекта для всех типов сигналов. Из построений видно, что подключение сигналов объекта к портам серии N1 почти на 25% дороже чем к модулям серии N2.

При выборе серии модулей САУ кроме стоимости модулей необходимо учитывать и другие параметры, такие как, стоимость кабеля, затраты перехода на другой тип модулей: обучение персонала, разработка ПО, документации, и др.

4 ПОДГОТОВКА ВХОДНЫХ ДАННЫХ

Массив сигнальных параметров объекта должен быть представлен в формате входных данных метода синтеза САУ. Преобразование форматов может быть выполнено автоматически (специальными конверторами) или вручную - при помощи интерфейсов пользователя, которые настроены не только на ввод параметров объекта и их распределение по соответствующим группам, но также на контроль и редактирование вводимых параметров.

Пример страницы интерфейса пользователя для ввода дискретных сигналов объекта показан на (Рис. 14). Пример сигнальных данных объекта в формате входных данных метода САУ показан в Таблица 3 и Таблица 4.

Дискретный вход ☒

Имя сигнала	<input type="text" value="DI1"/>
Координата X, м	<input type="text" value="2"/>
Координата Y, м	<input type="text" value="10"/>
Координата Z, м	<input type="text" value="2"/>
Входное напряжение (номинальное значение)	<input type="text" value="= 24 V"/>
Вход	<input type="text" value="Обычный"/>
Имя сигнальной группы	<input type="text" value="0"/>
Количество введённых сигналов	10

Справочная информация

Выходное напряжение/ ток:

- сигнала низкого уровня, не более =5 В/ 1 мА
- сигнала высокого уровня, не менее =15 В/ 2.5 мА

Длительное допустимое входное напряжение, не более =30 В

Импульсное входное напряжение, не более =35 В в течение 0.5 с

Рис. 14. Пример интерфейса для ввода сигнала объекта и их преобразования в формат электронных таблиц – входных данных.

Таблица 3. Пример входных данных (аналоговые входы)

Имя сигнала	Координата X, м	Координата Y, м	Тип сигнала	Диапазон	Разрешение	Имя сигнальной группы
AI_V1	12.1	5.3	Voltage	+ -10V	14_bit	Driver 2a
AI_V2	12.2	5.1	Voltage	10V	10_bit	
AI_I1	5.2	100.4	Current	20_мА	13_bit	Driver 2a
AI_I5	48.7	13.2	Current	20_мА	10_bit	

Таблица 4. Пример входных данных (дискретные выходы)

Имя сигнала	Координата X, м	Координата Y, м	Тип сигнала	Частота	Имя сигнальной группы
DO_T1	7.3	192.4	Transistor_24V_0_1A	200kHz	Thermo_12
DO_T5	5.2	995.2	Transistor_24V_0_5A	10Hz	
DO_T3	15.2	1.2	Transistor_24V_0_5A	100kHz	Driver_2a
DO_R1	1.3	43.0	Relay_2A	1Hz	
DO_R5	33.0	1.1	Relay_Changeover_Contact_2A	1Hz	

5 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ОБЪЕКТА

Для нахождения соотношения между сигнальными координатами объекта и распределения модулей станций САУ необходимо решить следующие геометрические задачи.

1. Нахождение точек разделения зон размещения станций. Каждая точка границы должна находиться на одинаковом расстоянии до ближайших зон размещения.
2. Нахождение зон, образованных границами разделения.
3. Нахождение сигнальных точек объекта в каждой зоне.
4. Распределение станций сигнальных групп обеспечивающее минимальную длину связей.
5. Группирование одиночных сигналов по типу и числу соответствующих портов интерфейсных модулей.
6. Распределение модулей обеспечивающее минимальную длину связей.
7. Перераспределение сигналов между модулями и свободными портами станций сигнальных групп.
8. Группирование модулей в станции.
9. Поиск координат оптимального расположения станций в зонах размещения.

Рассмотрим некоторые из существующих геометрических методов, которые могут пригодиться для решения перечисленных задач.

5.1 Нахождение координат объектов

5.1.1 Точки и прямые линии на плоскости

Прямая линия на плоскости описывается уравнением $ax + by + 1 = 0$

Линия, проходящая через две точки (x_1, y_1) и (x_2, y_2) должна удовлетворять двум уравнениям

$$ax_1 + by_1 + 1 = 0$$

$$ax_2 + by_2 + 1 = 0$$

Эту систему уравнений можно решить относительно неизвестных значений a и b

$$a = \frac{y_1 - y_2}{x_1 y_2 - x_2 y_1}, \quad b = \frac{x_1 - x_2}{x_1 y_2 - x_2 y_1}$$

Точка пересечения двух линий

$$a_1 x + b_1 y + 1 = 0$$

$$a_2 x + b_2 y + 1 = 0$$

вычисляется с использованием следующих отношений

$$x = \frac{b_1 - b_2}{a_1 b_2 - a_2 b_1}, \quad y = \frac{a_1 - a_2}{a_1 b_2 - a_2 b_1}$$

5.1.2 Принадлежность точки многоугольнику

Один из стандартных методов определения принадлежности точки произвольному простому многоугольнику заключается в подсчете пересечений ребер многоугольника лучом

выпущенного из данной точки в произвольном направлении. Если число пересечений нечётно, то объявляется, что точка лежит внутри многоугольника, если чётно - то снаружи.

5.1.3 Координаты пересечения ломаной линии с границами прямоугольника

Ниже дан пример МатЛАБ программы [5] для нахождения координат пересечения линии с границами прямоугольника и графического отображения результата:

```
% MatLAB: polyxpoly
% Use the polyxpoly function to find the intersection points between a
rectangle and a two-part polyline.
% Define and fill a rectangular area in the plane
xlimit = [3 13];
ylimit = [2 8];
xbox = xlimit([1 1 2 2 1]);
ybox = ylimit([1 2 2 1 1]);
mapshow(xbox,ybox,'DisplayType','polygon','LineStyle','none')
% Define and display a two-part polyline
x = [0 6 4 8 8 10 14 10 14 NaN 4 4 6 9 15];
y = [4 6 10 11 7 6 10 10 6 NaN 0 3 4 3 6];
mapshow(x,y,'Marker','+')
% Intersect the polyline with the rectangle
[xi, yi] = polyxpoly(x, y, xbox, ybox);
mapshow(xi,yi,'DisplayType','point','Marker','o')
```

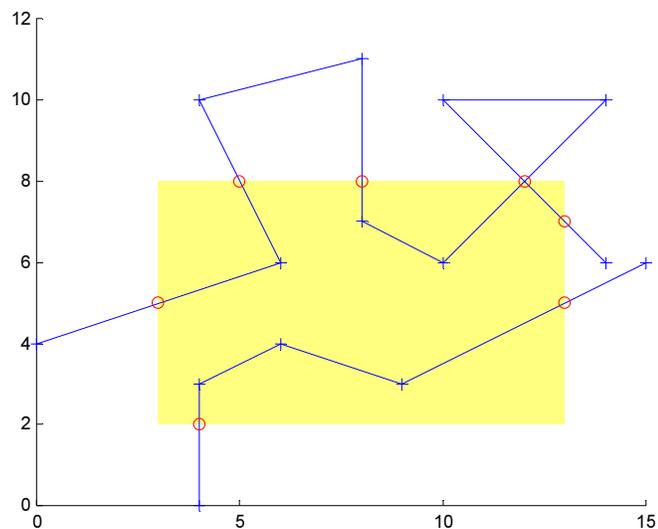
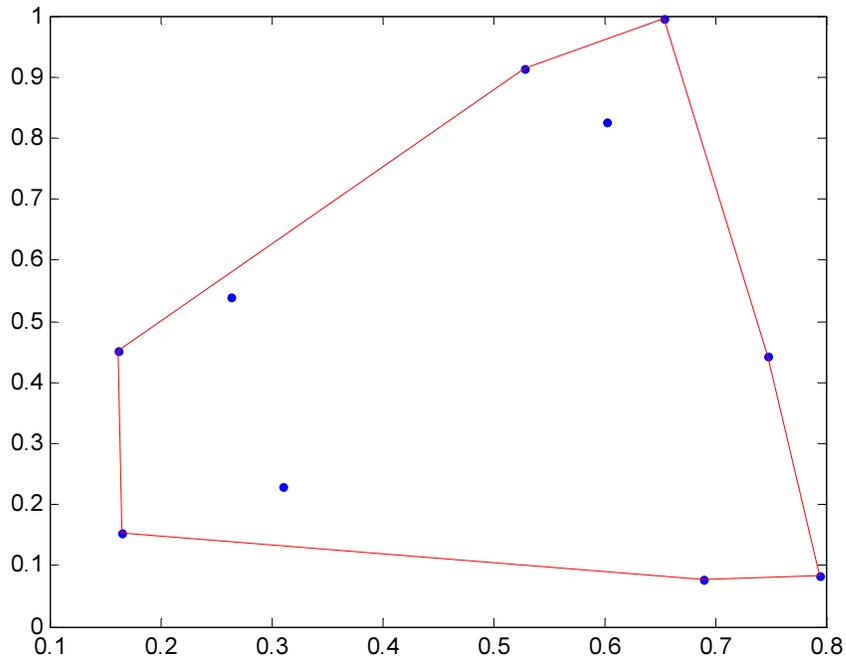


Рис. 15. Пример отображения найденных точек пересечения ломанной линии с границами прямоугольника.

5.1.4 Построение выпуклой оболочки множества точек

Для построения выпуклой оболочки в MATLAB служит функция `convhull`. Ее входными аргументами являются вектора с координатами абсцисс и ординат точек, а выходными аргументами являются номера точек, образующих вершины выпуклой оболочки.

Все точки множества находятся либо внутри выпуклой оболочки, либо на ее границе.



5.1.5 Нахождение точек принадлежащих многоугольнику

Код программы МатЛАБ нахождения точек принадлежащих многоугольнику [5]:

```
L = linspace(0,2.*pi,6); xv = cos(L)';yv = sin(L)';
xv = [xv ; xv(1)]; yv = [yv ; yv(1)];
x = randn(250,1); y = randn(250,1);
in = inpolygon(x,y,xv,yv);
plot(xv,yv,x(in),y(in),'r+',x(~in),y(~in),'bo')
```

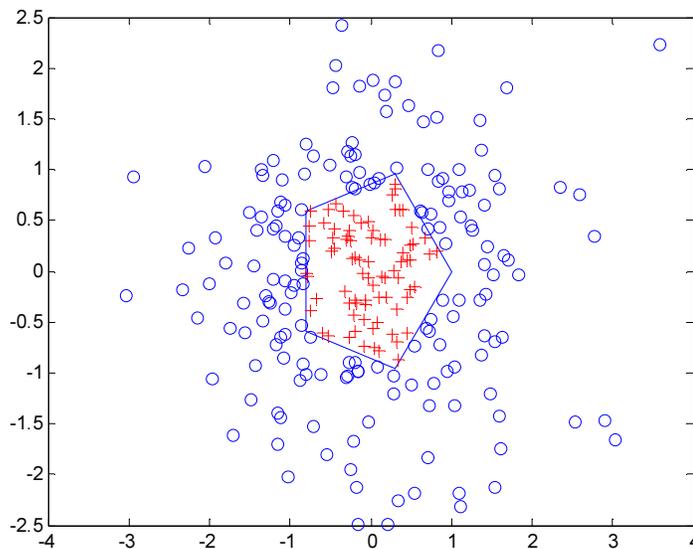


Рис. 16. Нахождение точек лежащих внутри многоугольника. Алгоритм использует $N \log N$ вычислений.

5.1.6 Триангуляция Делоне

Если задан набор точек на плоскости, то задача триангуляции такого набора состоит в соединении всех точек непересекающимися отрезками так, чтобы новых отрезков уже нельзя было добавить без пересечения с имеющимися, например

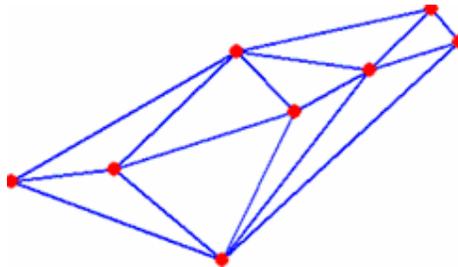


Рис. 17. Результат соединения точек методом Триангуляции Делоне

5.1.7 Диаграмма Вороного

Диаграмма Вороного конечного множества точек S на плоскости представляет такое разбиение плоскости, при котором каждая область этого разбиения образует множество точек, более близких к одному из элементов множества S , чем к любому другому элементу множества [2].

Можно рассматривать точки как ретрансляционные вышки, а многоугольники как соты, которые обслуживаются своими вышками. Если человек едет на машине и разговаривает по мобильному телефону, то при перемещении от одной соте к другой используется соответствующая ретрансляционная вышка.

Код программы МатЛАБ [5]:

```
clear all
% Example 2
% This code uses the voronoi function to plot the Voronoi diagram
% for 10 randomly generated points.
x = gallery('uniformdata',[1 10],0);
y = gallery('uniformdata',[1 10],1);
voronoi(x,y)
```

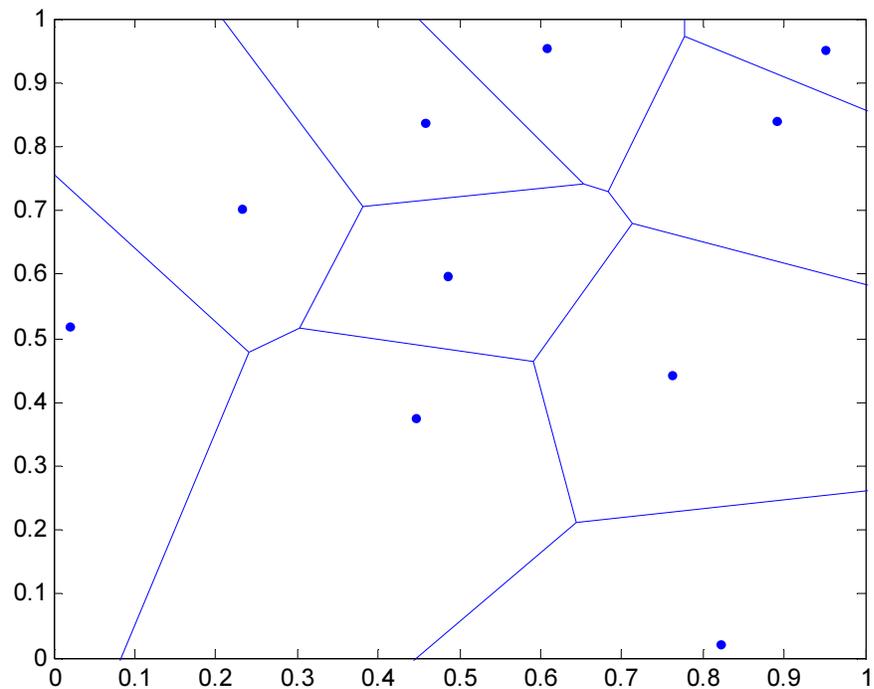


Рис. 18. Пример разбиения площади на зоны, где границы определяют зону ближайшего расстояния до точки зоны. Алгоритм использует $N \log N$ вычислений.

5.1.8 Пересечение многоугольников (полигонов)

Код программы МатЛАБ [5]:

```
% The following exercise demonstrates how you can use polybool:
% Construct a twelve-sided polygon:
theta = -(0:pi/6:2*pi)';
lat1 = sin(theta);
lon1 = cos(theta);

% Construct a triangle that overlaps it:
lat2 = [0 1 -1 0]';
lon2 = [0 2 2 0]';

% Plot the two shapes together with blue and red lines:
axesm miller
plotm(lat1,lon1,'b')
plotm(lat2,lon2,'r')

% Compute the intersection polygon and plot it as a green patch:
[loni,lati] = polybool('intersection',lon1,lat1,lon2,lat2);
[lati loni]
geoshow(lati,loni,'DisplayType','polygon','FaceColor','g')

% Compute the union polygon and plot it as a magenta patch:
[lonu,latu] = polybool('union',lon1,lat1,lon2,lat2);
[latu lonu]
geoshow(latu,lonu,'DisplayType','polygon','FaceColor','m')
```

```

%Compute the exclusive OR polygon and plot it as a yellow patch:
[lonx,latx] = polybool('xor',lon1,lat1,lon2,lat2);
[latx lonx]
geoshow(latx,lonx,'DisplayType','polygon','FaceColor','y')

% Subtract the triangle from the 12-sided polygon and plot the resulting
concave polygon as a white patch:
[lonm,latm] = polybool('minus',lon1,lat1,lon2,lat2);
[latm lonm]
geoshow(latm,lonm,'DisplayType','polygon','FaceColor','w')

% The final set of colored shapes is shown below.

```

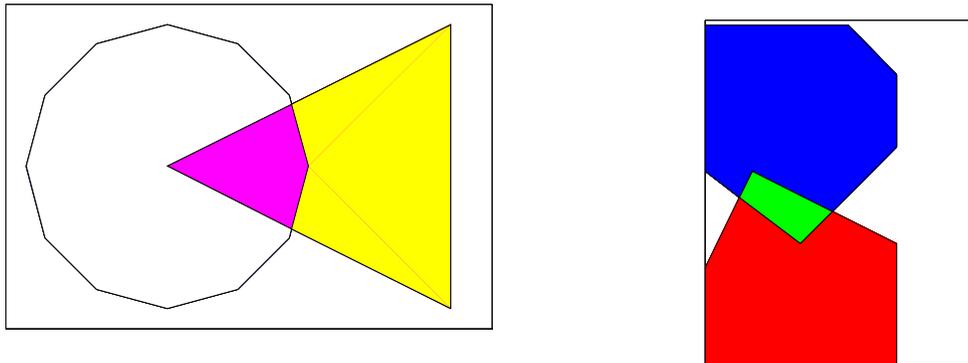


Рис. 19. Варианты пересечения многоугольников выполненные в среде МатЛАБ.

5.2 Определение зон влияния станций с использованием диаграммы Вороного

В этом разделе рассматривается разбиение зоны объекта на участки путем построения диаграммы Вороного. Каждый участок должен содержать одну зону возможного размещения станций. Границы участков должны отстоять от ближайших зон размещения на одинаковом расстоянии. Координаты двух прямоугольных зон размещения станций представлены вершинами прямоугольников и точками, равномерно распределенными по периметру прямоугольников:

```

x1 = [2 2 2 3 4 5 6 6 6 5 4 3];
y1 = [2 3 4 4 4 4 4 3 2 2 2 2];

x2 = [10 10 10 10 11 12 12 12 12 11];
y2 = [ 3  4  5  6  6  6  5  4  3  3];

axesm miller
plotm(x1,y1,'b')
plotm(x2,y2,'r')
figure
voronoi([x1 x2],[y1 y2])

```

Построенная по приведенному алгоритму граница выделена на Рис. 20 зеленым цветом. Продолжение границы показано на Рис. 21.

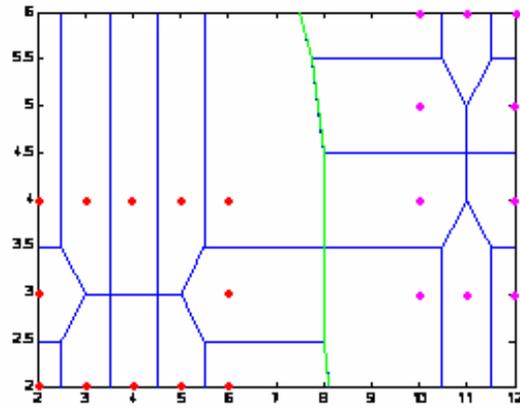


Рис. 20. Пример диаграммы Вороного для двух прямоугольных зон размещения станций. Координаты зон размещения представлены вершинами прямоугольников и точками, равномерно распределенными по периметру прямоугольников.

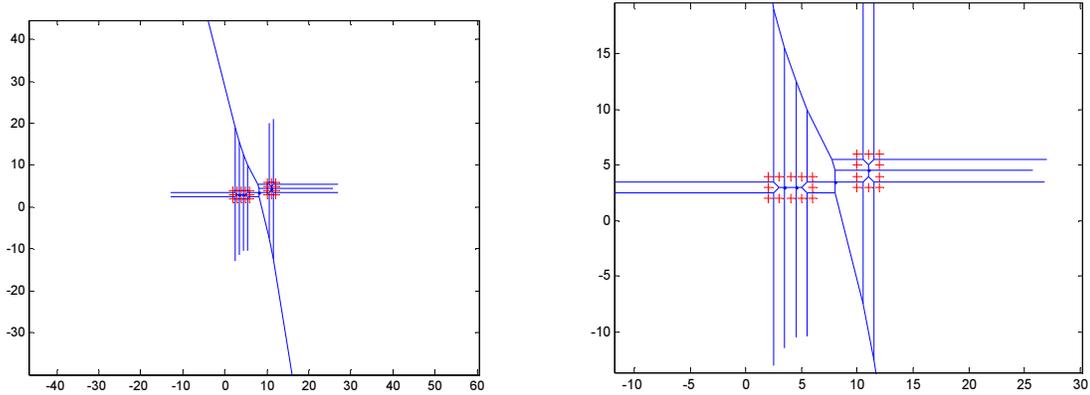


Рис. 21. Пример границы разделения двух зон, полученной методом Вороного. Периметр каждой зоны задается вершинами прямоугольника и множеством точек, ближайшие из которых отстоят друг от друга на равном расстоянии.

Уменьшение точек периметра зон размещения станций увеличивает ошибку построения границы. Искажение границы для случая, когда периметр задан четырьмя вершинами, показан на Рис. 22. Увеличение точек периметра приводит к увеличению объема вычислений границы.

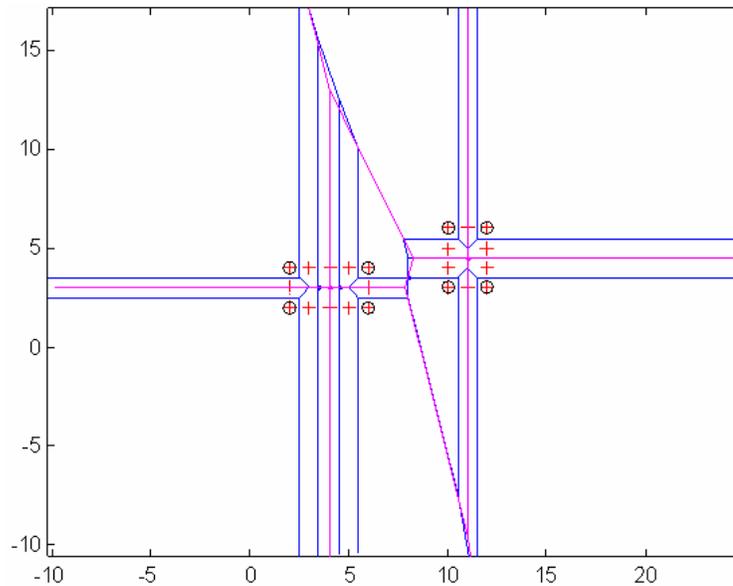


Рис. 22. Сравнение двух вариантов построения границ. Голубая граница разделения зон получена методом Вороного при множестве точек периметров отстоящих друг от друга на равном расстоянии. Как и на

Рис. 21 точки периметров выделены красными перекрестиями. Розовая граница рассчитана тем же методом при меньшем количестве точек периметров. Эти точки выделены кругами и расположены в вершинах прямоугольников. Расчет розовой границы, состоящей из меньшего количества точек, выполняется быстрее, однако розовая граница имеет заметные искажения в сравнении с голубой – более точной границей.

Вывод. Метод Вороного эффективно разбивает плоскость объекта на зоны, границы которых равноудалены от точек внутри зон (каждая зона содержит одну точку). Применение этого метода для разбиения плоскости на зоны внутри которых находятся не точки а прямоугольники (обозначенные множеством точек) дает искаженные границы (см. Рис. 22) и требует значительных вычислений сначала для построения границ разделения зон отдельных точек, а затем, для построения границы разделения зон содержащих прямоугольники (см. Рис. 20).

5.3 Разграничение пространства между зонами размещения станций

Для разбиения плоскости на зоны, внутри которых находятся не точки а прямоугольники, был разработан специальный алгоритм. Разграничение проходит на равном удалении до ближайших точек периметров прямоугольников - зон размещения станций. Геометрические построения этого варианта нахождения границ показаны на Рис. 23 и Рис. 24.

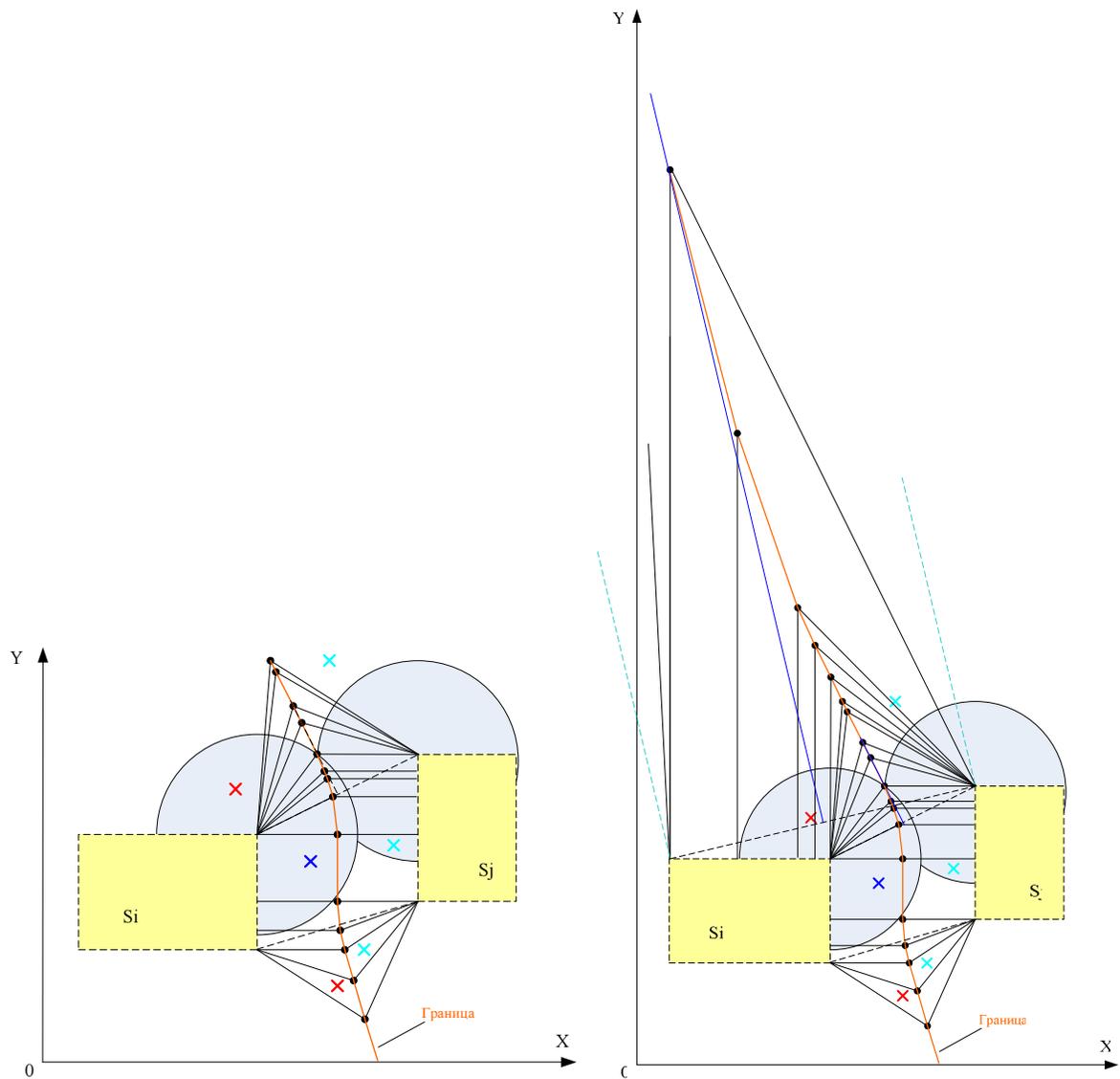


Рис. 23. Графические построения разграничения пространства между зонами размещения станций. Красные и синие точки располагаются ближе к зоне S_i , бирюзовые точки лежат ближе к зоне S_j .

Следующий упрощенный вариант построения границы (Рис. 24) включает нахождение её точек $p_0 \dots p_5$:

- Участок p_0 - p_1 находится между ближайшими частями зон S_1 и S_2 ;
- g - p_4 – перпендикуляр к отрезку ad в его середине;
- e - p_5 – перпендикуляр к отрезку cd в его середине;
- p_5 – пересечение перпендикуляра e - p_4 с границей тех. зоны;
- p_4 – пересечение перпендикуляров g - p_4 и e - p_5 ;
- p_3 – пересечение g - p_4 с продолжением соответствующей границы зоны S_2 ;
- f – точка пересечения ad и p_1 - p_3 ;
- p_2 – середина отрезка fg .

Построение непоказанной части границы ниже зон S_1 - S_2 выполняется по этому же алгоритму.

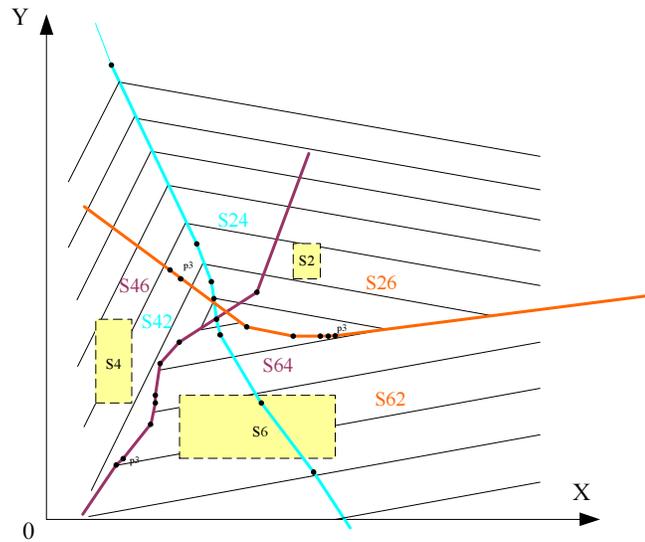


Рис. 25. Выявление спорных зон. Выделенные пространства S24 и S26 принадлежат зоне S2; пространства S42 и S46 принадлежат зоне S4; пространства S62 и S64 принадлежат зоне S6.

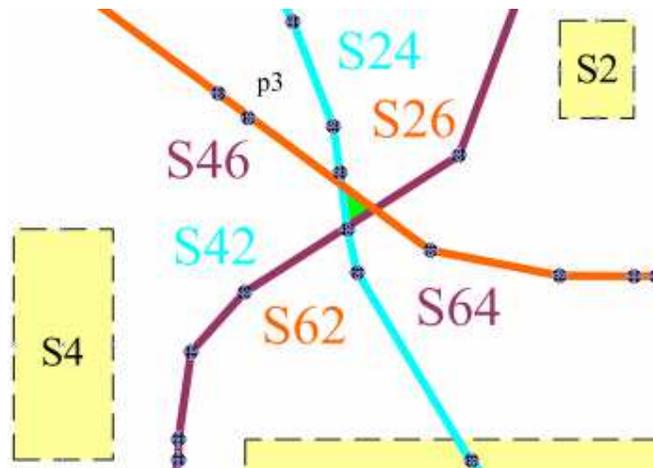


Рис. 26. Пример существования спорной зоны S24 - S46- S62 (фрагмент Рис. 26). Зона выделена зелёным цветом. Не известно, какая зона расположения станций (S2, S4 или S6) находится ближе других к спорной зоне.

5.4 Разграничение сигнальных точек

Алгоритм нахождения границ между прямоугольными зонами был разработан для разделения сигнального пространства объекта между зонами размещения станций. Однако, сигнальное пространство можно разделить и без вычисления границ. Такой подход позволяет существенно уменьшить объём вычислений и, тем самым, повысить быстродействие. Для этого каждая прямоугольная зона размещения станций обозначается угловыми точками (Рис. 27). Далее проверяется нахождение сигнальной точки относительно зоны размещения станции. Если данная точка лежит снаружи зоны, то дополнительные

точки для определения расстояния до ближайшей зоны станций находятся в вершинах прямоугольников зон размещения станций и на пересечениях перпендикуляров из исходной точки к сторонам прямоугольников. Кратчайшее расстояние между данной точкой и дополнительными точками указывает на ближайшую к сигнальной точке зону (см. Рис. 27).

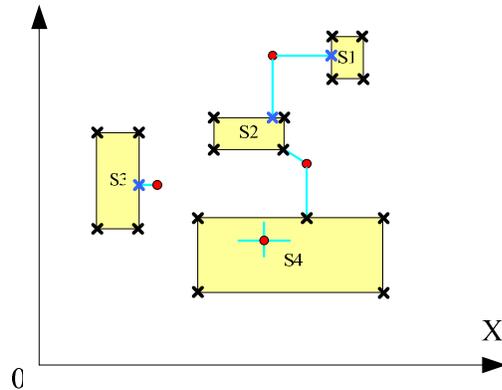


Рис. 27. Поиск расстояния от сигнальной точки до ближайшей зоны размещения станции.

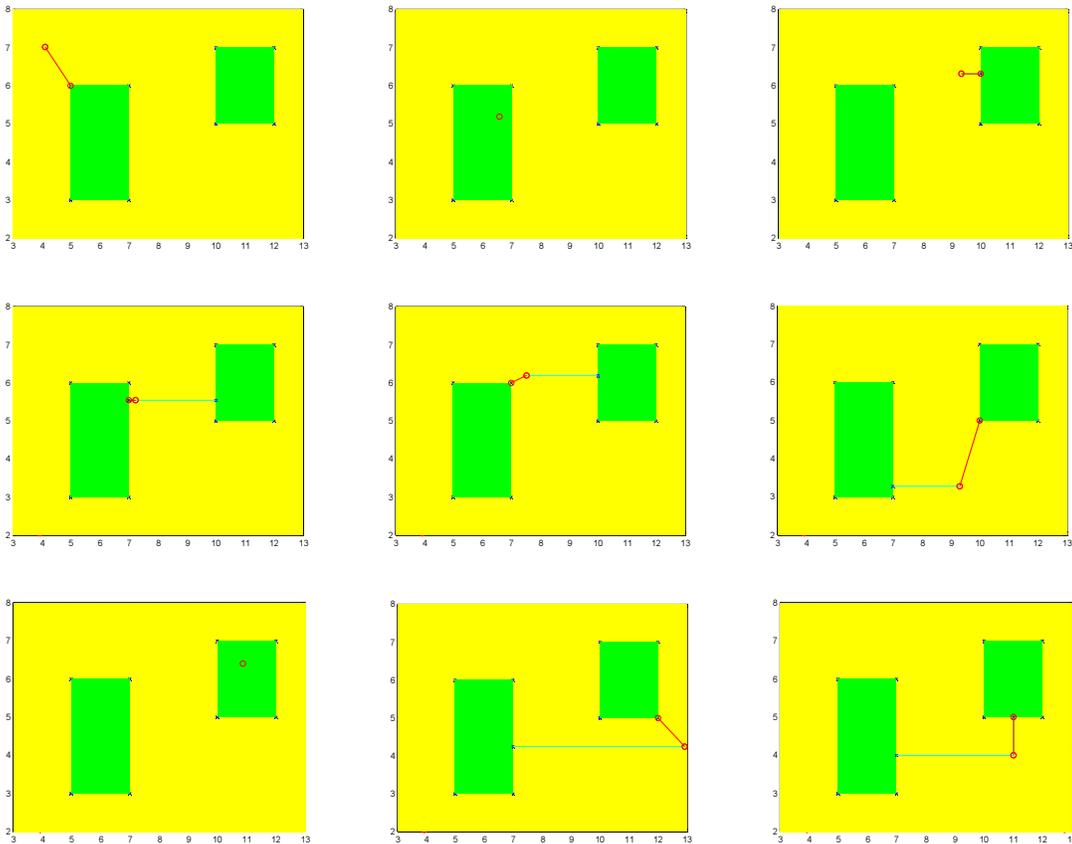


Рис. 28. Варианты определения кратчайшего расстояния от точки до зоны.

Для наглядности результата разбиения сигнального пространства объекта между зонами размещения станций, ближайшие к станции точки оконтуриваются. Для обозначения зон влияния используется метод “Построение выпуклой оболочки множества точек” (см. 5.1.4). Результат распределения сигнальных точек между зонами размещения станций зависит и от типа соединений: радиальный (Рис. 29) или горизонтальный (Рис. 30).

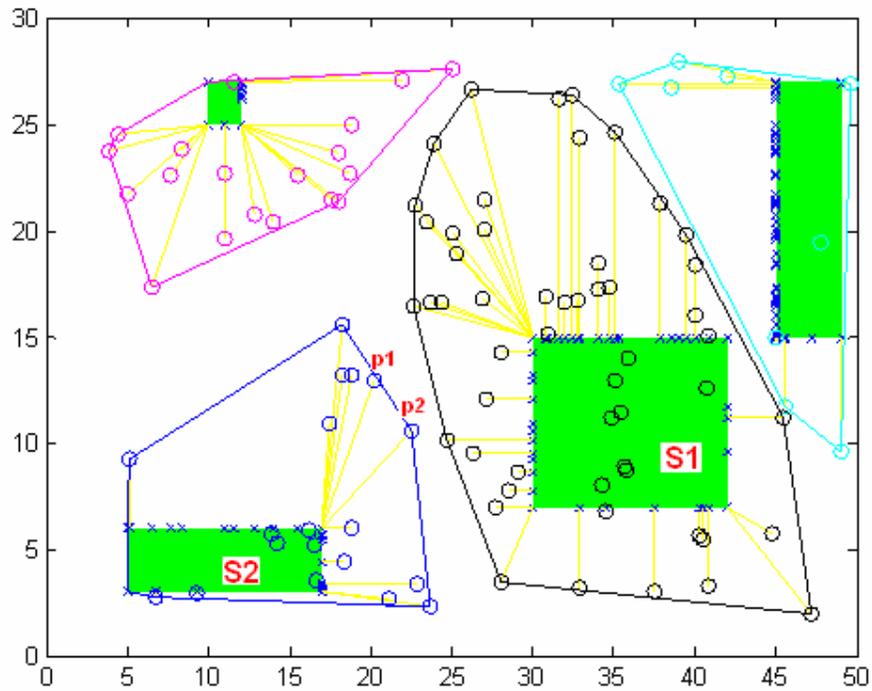


Рис. 29. Выделение зон при радиальной трассировке. Точки p1 и p2 принадлежат зоне S2. Для обозначения сигналов разграниченных зон используется метод “построение выпуклой оболочки множества точек” (см. 5.1.4)

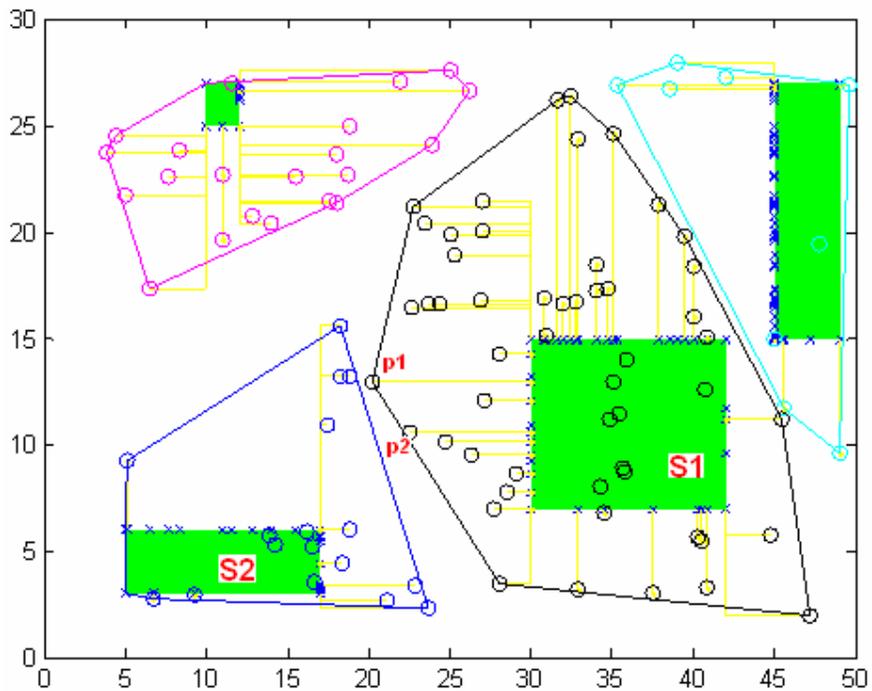


Рис. 30. Выделение зон при прямоугольной трассировке. Точки p1 и p2 принадлежат зоне S1.

Среди известных и разработанных алгоритмов разбиения пространства объекта на зоны, ближайшие к участкам размещения станций, наилучшим оказался вариант “Разграничение сигнальных точек”, который решает задачи наиболее эффективно и без ошибок.

5.5 Координаты сигнальной группы

Координаты сигналов, принадлежащие единой (“скоростной”) функциональной группе, могут быть заданы координатами центральной (узловой) точки этой группы. Которая рассчитывается как

$$X_c = \frac{\sum X_S}{m}, Y_c = \frac{\sum Y_S}{m},$$

где X_c и Y_c - координаты центральной точки; X_S и Y_S - координаты сигнальных точек группы; m - количество сигналов в группе.

Поделив условно сигналы внутри группы на высокочастотные (которые должны проходить по коротким линиям связи) и низкочастотные (которые могут проходить и по более длинным линиям) можно сместить координаты центральной точки группы к высокочастотным сигнальным точкам используя следующие выражения.

$$X_c = \frac{\sum_k X_{LF_i} + n \sum_m X_{HF_j}}{k + nm}, Y_c = \frac{\sum_k Y_{LF_i} + n \sum_m Y_{HF_j}}{k + nm},$$

где X_{LF} и Y_{LF} - координаты низкочастотных сигналов; X_{HF} и Y_{HF} - координаты высокочастотных сигналов; k и m - количество низкочастотных и высокочастотных сигналов соответственно; $n = \{1, 2, 3, \dots\}$ - коэффициент “притяжения” центральной точки к точкам расположения высокочастотных сигналов.

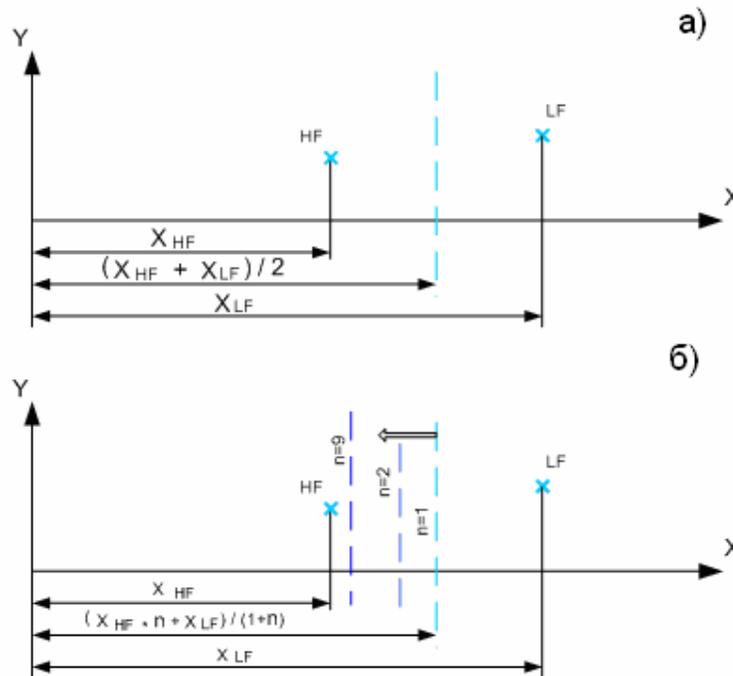


Рис. 31. Смещение штриховой линии расположения центральной точки группы в зависимости от коэффициента притяжения.

Смещение узловой точки группы в зависимости от коэффициента “притяжения” показано на Рис. 31. Когда коэффициент равен 1, линия расположения центральной точки располагается между сигнальными точками посередине (Рис. 31, а) При увеличении коэффициента n – линия приближается к высокочастотной сигнальной точке (Рис. 31, б), $n = 1$, $n = 2$, $n = 9$).

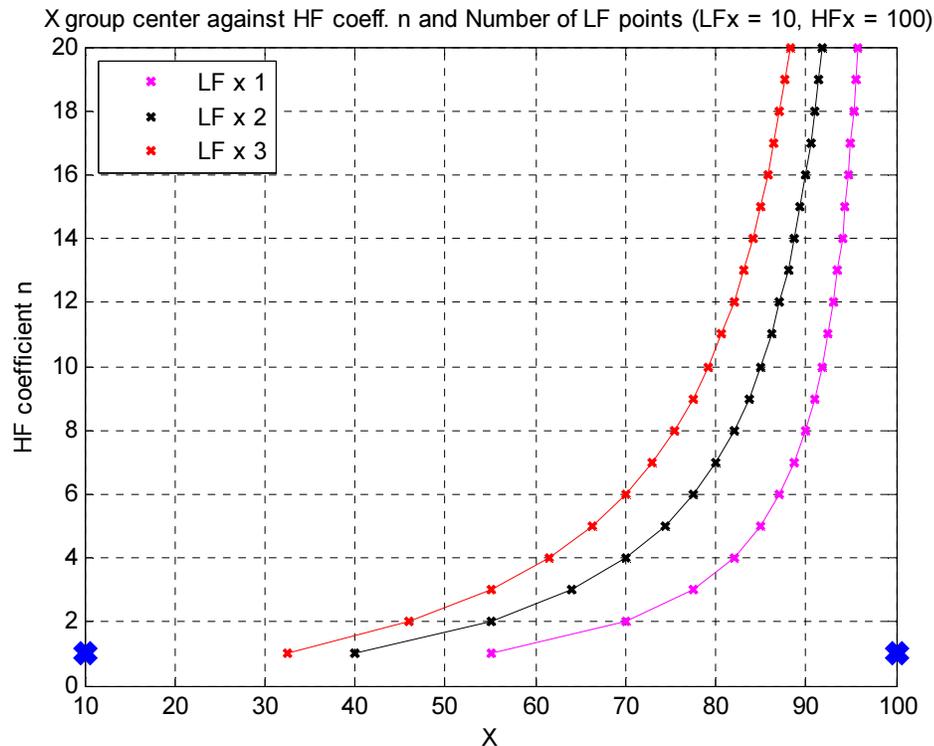


Рис. 32. Графики смещения центральной точки группы в зависимости от коэффициента притяжения n и количества низкочастотных точек (1, 2 или 3).

Зависимость положения узловой точки от количества низкочастотных точек (1, 2 или 3) группы (находящихся в точке $X, Y = [10, 1]$) и коэффициента притяжения (HF coefficient n) к высокочастотной точке (находящейся в точке $X, Y = [100, 1]$) показана на Рис. 32.

5.6 Влияние сигнального кабеля на структуру САУ

Параметры контроллеров накладывают ограничение на длину сигнального кабеля. При подключение сигналов объекта к модулям находящихся на больших расстояниях следует использовать специальные адаптеры.

Сигнальный кабель и кабели данных [7] могут отличаться по многим параметрам, среди них:

- Импеданс: 50 .. 150 Ом
- Частота: до 1 МГц
- Тип проводника: медный, покрытый серебром, ...
- Сопротивление проводника: 24.. 138 Ом/км
- Номинальное напряжение: 30..600 VAC/DC
- Поперечное сечение: 0.055 .. 1 мм
- Емкость: 27.9 .. 310 pF/m
- Диаметр кабеля: ...
- Тестовое напряжение: 250 .. 3000 V
- Оболочка: FEP, FRNC, PETP-polyster, ...

- Защита: Aluminium/polyster foil, “Бронированный”
- Цена: ...

Кабель для модулей S7 1200 делится на следующие категории (данные спецификаций)

- обычный (DI,DO: <= 500 м)
- экранированный (AI,AO,TS: <= 100 м)
- экранированный (DI 30, 100 кГц: <= 50 м)
- экранированный (DO 200 кГц: <= 50 м)
- экранированная витая пара (DI 5B: <= 50 м)

Для вычисления оптимального местоположения станций с учетом стоимости кабеля все сигнальные кабели CAU модулей S7 1200 разбиты на 5 категорий для следующих типов сигналов:

- Низкочастотный цифровой (до 100 Гц)
- Высокочастотный цифровой (до 200 кГц)
- Сильноточный (>= 2А)
- Аналоговые сигналы (вход-выход).
- Сигналы температурных датчиков

При больших расстояниях между сигналами объекта и модулями CAU стоимость кабеля может оказаться существенной величиной, наряду со стоимостью модулей и станций. В ряде случаев для минимизации стоимости CAU выгоднее ввести дополнительные станции располагаемые ближе к сигналам объекта, чем прокладывать сигнальный кабель до свободных портов удаленных станций. При этом экономия кабеля должна перекрывать затраты на дополнительные станции. Затраты на кабель необходимо учитывать и при размещении станций.

5.6.1 Оптимальное положение станций

Стоимость кабеля пропорциональна его длине. Длина зависит от взаимного расположения модулей или станций CAU и сигналов объекта. Пример такой зависимости для одной станции и 4-х сигналов показан на Рис. 33. Для простоты, сигналы и станция располагаются одной линии. Координаты сигналов: [3 8 10 14]. Координаты станции с малым шагом изменяется от 2 до 16. Для каждого положения станции вычисляется стоимость кабеля необходимого для подключения стационарных сигнальных точек. Рассматривается несколько вариантов распределения цен сигнального кабеля:

[1 1 1 1] – цены всех кабелей совпадают

[1 2 1 1] – цена кабеля для подключения 2-го сигнала в 2 раза выше цен остальных кабелей

...

[1 1 1 2] – цена кабеля 4-го сигнала в 2 раза выше цен остальных кабелей

Суммарная стоимость кабеля для j точки станции вычисляется по формуле

$$P_j = \sum P_cable_i |X_j - X_signal_i|, \text{ где}$$

P_cable_i - цена единицы длины i кабеля, $X_j - X_signal_i$ - длина кабеля между станцией и i сигналом.

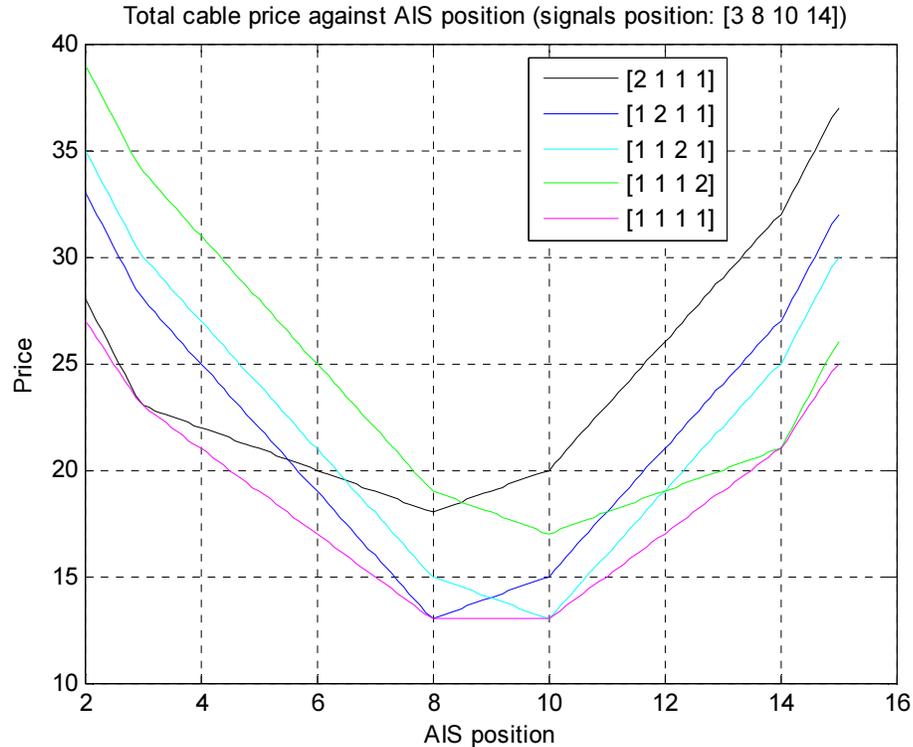


Рис. 33. Пример зависимости суммарной стоимости четырех кабелей от положения станции в диапазоне 2 .. 16. Координаты четырех стационарных сигналов: [3 8 10 14]. Распределения цен сигнальных кабелей: [1 1 1 1], [2 1 1 1], [1 2 1 1], [1 1 2 1] и [1 1 1 2].

Поскольку стоимость кабеля минимальна в точках, где координаты станций и сигналов совпадают (см. Рис. 33), то поиск оптимального положения станций можно выполнять только в точках расположения сигналов объекта. Такой подход без потери точности позволяет существенно сократить объём вычислений (см. Рис. 34).

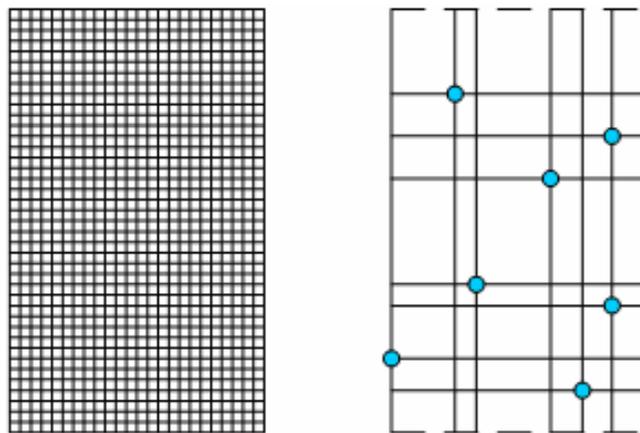


Рис. 34. Сравнение координатных сеток для поиска оптимального положения модулей и станций. Левый рисунок - сетка с требуемым шагом во всей зоне объекта. Правый рисунок – сетка с узлами в точках расположения сигналов объекта.

5.6.2 Правила подключения дополнительных групп сигналов к станциям

Новая группа сигналов подключается к имеющейся станции, если у неё достаточно портов для её подключения и затраты на подключение к имеющейся станции не превышают затраты на подключение к новой станции (с учетом стоимости корпуса, модулей контроллера, кабеля и т.д.).

Пример подключения дополнительной сигнальной группы показан на Рис. 35 и Рис. 36. Станция Ст.1 входит в состав САУ. К станции подключена группа красных сигналов. Ст.2 – оптимальное положение станции для синих сигналов.

Обозначим

- стоимость станции без модулей: $p_{Ст}$.
- стоимость модулей для подключения синих сигналов к Ст.2, расположенной в разрешенной зоне оптимально относительно синей группы: $p_{контроллер_Ст2}$
- стоимость кабеля для подключения синей группы сигналов к Ст2: $p_{кабель_Ст2}$
- стоимость кабеля для подключения синей группы сигналов к Ст1, которая находится в оптимальном положении по отношению к сигналам синей и красной групп: $p_{кабель_Ст1}$
- изменение стоимости кабеля красной группы сигналов при смещении Ст1 в разрешенной зоне в оптимальное положение по отношению к сигналам синей и красной групп: $p_{кабель_доп_Ст1}$
- стоимость дополнительных модулей (если они необходимы) для подключения синей группы к Ст: $p_{модули_Ст1}$

Тогда условие подключения синей группы сигналов к Ст1:

$$p_{Ст} + p_{контроллер_Ст2} + p_{кабель_Ст2} > p_{кабель_Ст1} + p_{кабель_доп_Ст1} + p_{модули_Ст1}.$$

Если условие не выполняется, тогда необходимо в структуру САУ включить новую станцию с контроллером и подключить к нему синюю группу сигналов (см. Рис. 35 и Рис. 36).

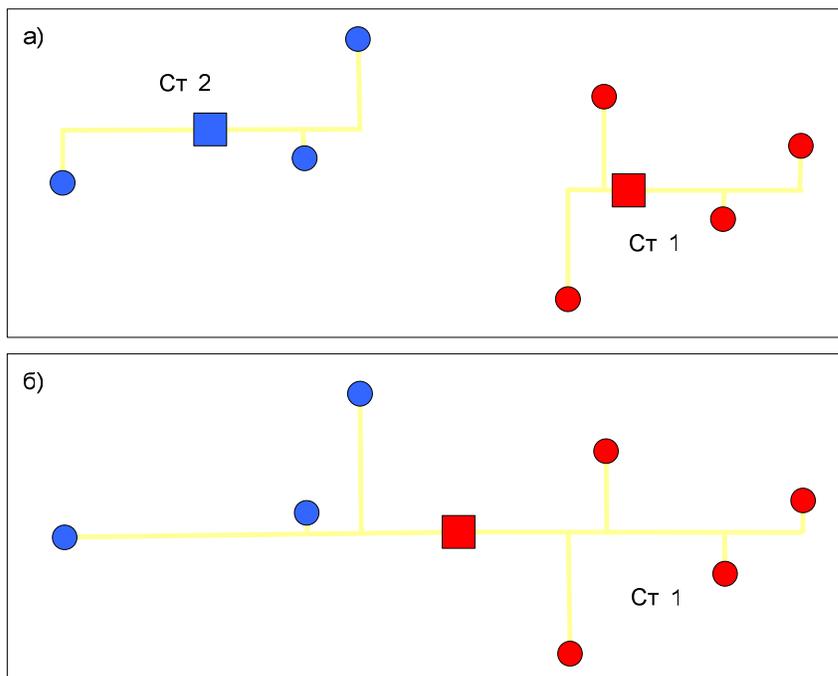


Рис. 35. Варианты подключения новой (синей) группы сигналов к дополнительной станции Ст.2 (рисунок а) и к существующей станции Ст.1 (рисунок б) при прямоугольной прокладке

кабеля. При присоединении новой группы сигналов оптимальное положение станции Ст.2 изменилось.

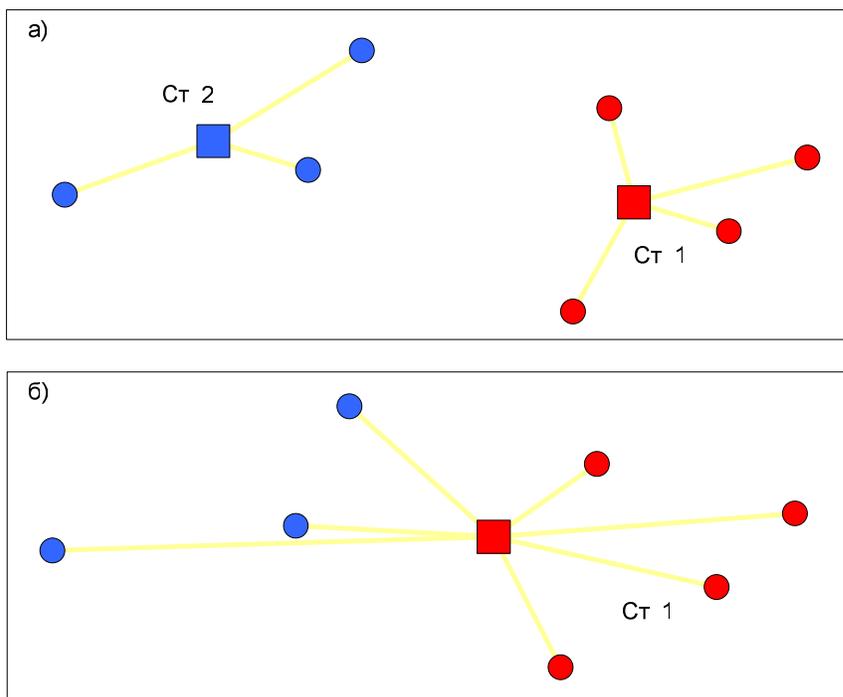


Рис. 36. Подключение сигналов к станции с радиальной прокладкой кабеля. а) и б) - подключение сигналов синей группы к дополнительной станции Ст.2 и к существующей Ст.1 соответственно.

6 Подключение сигнальных групп

6.1 Особенности структур контроллеров САУ

Структура оптимального контроллера зависит от спектра сигналов объекта. Функция преобразования спектра входных сигналов в структуру контроллера САУ включает

- выбор наиболее дешевого порта – сначала из CPU, затем из SB и, наконец, из SM
- настройку многосигнальных портов на конкретный тип сигнала (например, из 8 портов DI 24В процессора серии S7 1200, только три могут работать в режиме скоростного счета HSC с частотой 100 кГц)
- подключение к модулю ввода(вывода) или ввода-вывода зависящее от соотношения сигналов и цен модулей
- подключение к свободным портам другого типа без потери данных (Например, необходимые +/-5В/12р порты заняты, имеются +/-10В/13р порты)

При выборе процессорного модуля необходимо учитывать требования не только к структуре контроллера и минимизации стоимости, но и к вычислительной мощности процессора. Требование к мощности зависит от задачи. Центральные процессоры CPU 1211C, CPU 1212C, CPU 1214C поддерживают до 16 контуров ПИД регулирования [6].

При выборе процессора необходимо учитывать и минимально необходимый размер его памяти. Известно условие при котором размер памяти процессора (в байтах) должен не менее чем в n раз превышать суммарное количество портов контроллера (в байтах), где n – коэффициент запаса, не менее 5.

Максимальное количество модулей контроллера зависит не только от емкости станции, но и от длины и нагрузочной способности внутренней шины станции к которой подключаются модули.

Вычисление структуры контроллера необходимо выполнять с учетом баланса мощностей. Так, например,

- Если потребности в питании 5 В пост.тока превышают мощность, которую CPU серии S7 1200 может обеспечить, необходимо удалять сигнальные модули до соблюдения баланса мощностей.
- Если потребности сигнальных модулей в питании 24 В пост.тока превышают мощность, которую может обеспечить CPU, можно добавить внешний источник.

На построение интерфейса объект - САУ влияют следующие ограничения.

- Количество типов стандартных сигналов.
- Максимальное количество сигнальных портов модулей.
- Максимальное количество модулей контроллеров.
- Емкость станций и размеры модулей.
- Вычислительная мощность контроллеров.
- Время запроса данных.
- Баланс мощностей.
- Зоны расположения станций.
- Длина сигнальных линий.
- Стоимость модулей, станций, кабеля

6.2 Построение и оптимизация структур контроллеров САУ для сигнальных групп

Функциональная связь между модулями САУ и стандартными сигналами объекта может быть представлена в табличном виде. По таблицам можно определить какой состав модулей наиболее целесообразно использовать для ввода / вывода стандартных сигналов.

6.2.1 Алгоритм формирования структур контроллеров

Контроллер серии S7 1200 имеет более 77 тысяч комбинаций структур. Количество комбинаций структур контроллера (с учетом всех вариантов подключения сигнальных модулей) составляет более 66 миллиардов:

$$N_{str} = N_{CPU} N_{CB} \frac{N_{SM}!}{N_{max}!(N_{SM} - N_{max})!},$$

где $N_{str} = 66.285e+9$, количество комбинаций всех структур контроллера; $N_{CPU} = 34$, количество CPU; $N_{CB} = 11$, количество сигнальных плат; $N_{SM} = 44$, количество сигнальных модулей; N_{max} - максимальное количество сигнальных модулей в структуре контроллера.

Построение массивов более 6600000000x33 элементов и многократный поиск в них необходимых структур требует значительных вычислительных ресурсов и затрат. Поэтому, для минимизации ресурсов и увеличения быстродействия, разработан алгоритм,

выделяющий из всех возможных структур контроллера только те структуры, которые могут быть использованы в подключении конкретного спектра сигналов объекта.

Нахождение оптимальной структуры контроллера серии S7 1200 относительно спектра входных сигналов включает следующие этапы.

1. Сокращение списка стандартных сигналов. Сокращение достигается путем замены нескольких сигналов каждого многофункционального порта сигналом одного типа. Например, следующим типам сигналов,

- Config.AnalogInput.Voltage.Voltage_2_5V.Capacity_12bit
- Config.AnalogInput.Voltage.Voltage_5V.Capacity_12bit
- Config.AnalogInput.Voltage.Voltage_10V.Capacity_12bit

которые подключаются к многофункциональному порту модуля ввода аналоговых сигналов, присваивается один и тот же тип. Такая замена типов сигналов не приводит к ошибке выбора модулей по типу сигналов, она позволяет уменьшить количество возможных комбинаций структур контроллера и, соответственно, время поиска оптимальной структуры.

2. Построение зависимости наличия портов модулей групп CPU, SB и SM для подключения сигналов объекта.

3. Выделение в каждой группе (CPU, SB и SM) модулей с уникальными портами, сигналы которых не могут быть подключены к модулям другого типа.

4. Выделение групп однотипных сигналов превышающих максимальное количество однотипных портов модуля CAУ. Такие группы разделяются на подгруппы размер которых равен максимальному количеству однотипных портов модуля, и подгруппу из остатка сигналов для которой находится свой оптимальный по стоимости модуль.

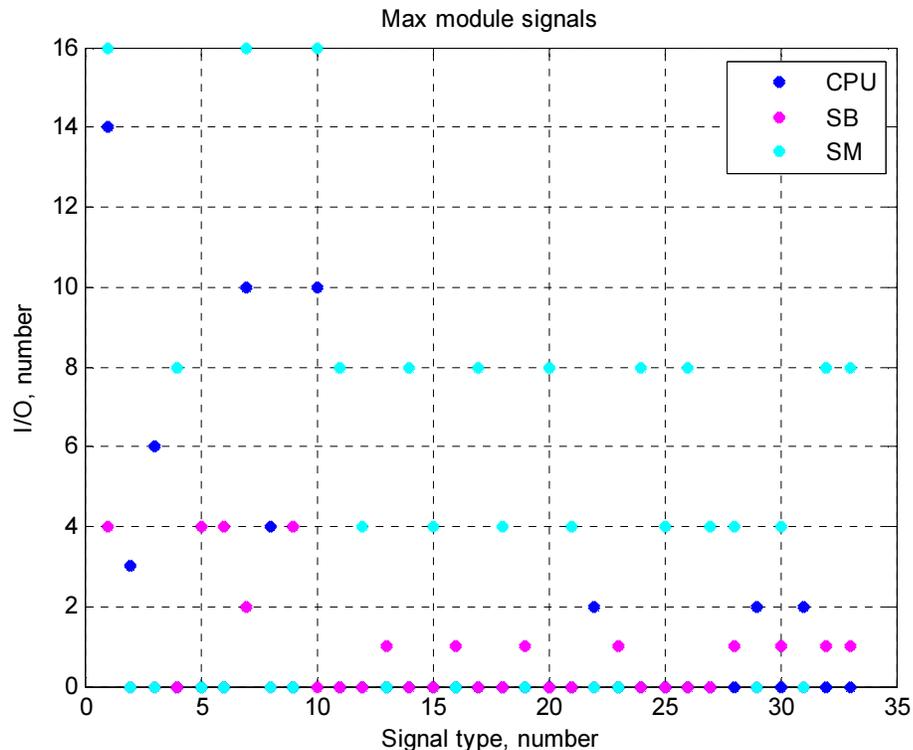


Рис. 37. Зависимость максимального количества портов от типа портов (1..33) и модулей: процессорных (CPU), сигнальных плат (SB), сигнальных модулей (SM) серии S7 1200.

5. Распределение сигналов многофункциональных портов в пределах модуля. Модули с многофункциональными портами могут иметь уникальные распределения функций между портами. Это необходимо учитывать при выборе структуры контроллера САУ оптимальной для сигналов объекта. Так, например, процессорные модули CPU 1211С имеют шесть дискретных входов 24В, три из которых могут работать в режиме 100 КГц счетчиков; модули CPU 1212С имеют другое распределение функций: восемь дискретных входов 24В, один из которых может считать в режиме 30 КГц и три других - в режиме 100 КГц счетчиков; модули CPU 1214С имеют собственное распределение функций среди 14 дискретных входов 24В: три из 14 портов могут работать в режиме счета 30 КГц и три порта - в режиме счета 100 КГц.
6. Выделение сигналов объекта, которым необходимы модули CPU с уникальными портами.
7. Нахождение модуля CPU, который имеет необходимое количество уникальных портов. При недостаточном количестве портов модуля CPU сигналы входного спектра САУ передаются группам сигналов подключаемых к SB и SM. Если сигналы, которым не хватает портов CPU, не соответствуют сигналам групп SB и SM, то такие сигналы передаются группе специальных сигналов, подключаемых к контроллеру через специальные преобразователи.
8. Выделение сигналов объекта, которым необходимы сигнальные платы с уникальными портами. Поскольку в серии S7 1200 не существует сигнальных плат, которые имеют порты для одновременного подключения всех типов уникальных сигналов, то выбирается такая сигнальная плата, которая обеспечивает подключение сигналов более высокого приоритета из следующего перечня.

• Цифровой вывод 24В 0.1А 200 кГц	(N6)	max. 4
• Цифровой вывод 5В 0.1А 100 кГц	(N8)	max. 4
• Цифровой ввод 5В	(N5)	max. 4
• Аналоговый ввод, напряжение 11 бит + знак, ток 0..20 мА	(N23,19,16,13)	max. 1

Примечание: Цифровой вывод 24В 0.1А 200 кГц имеет максимальный приоритет. Сигналы, которым не хватает портов сигнальной платы (SB) передаются группам сигналов для подключения к портам сигнальных модулей (SM). Сигналы, которые не соответствуют портам сигнальных модулей передаются в группу специальных сигналов, подключаемых к контроллеру через специальные преобразователи.
9. Выделение сигналов объекта, которым необходимы сигнальные модули SM с уникальными портами. Вычисление необходимого количества модулей для подключения сигналов.
10. Поиск сигнальных модулей для подключения оставшихся сигналов с учетом свободных портов такого же типа у процессоров и сигнальных плат.
11. Вычисление общего количества сигнальных модулей. Если к выбранному модулю CPU нельзя подключить расчетное количество сигнальных модулей, то последовательность повторяется с 4 пункта, в котором модуль CPU выбирается не из всего списка CPU, а из ограниченного списка модулей, к которым по спецификации разрешается подключить требуемое количество сигнальных модулей SM.
12. Оставшиеся свободные порты контроллера можно использовать для подключения одиночных сигналов объекта соответствующего типа.

6.2.2 Пример формирования структуры контроллера для присоединения 4 сигнальных групп

В рассматриваемом примере (Рис. 38) совокупность стандартных сигналов объекта образуют следующие группы.

- Одиночные сигналы 40
- Сигнальная группа N1 5
- Сигнальная группа N2 10
- Сигнальная группа N3 20
- Сигнальная группа N4 40

Всего:

115 сигналов.

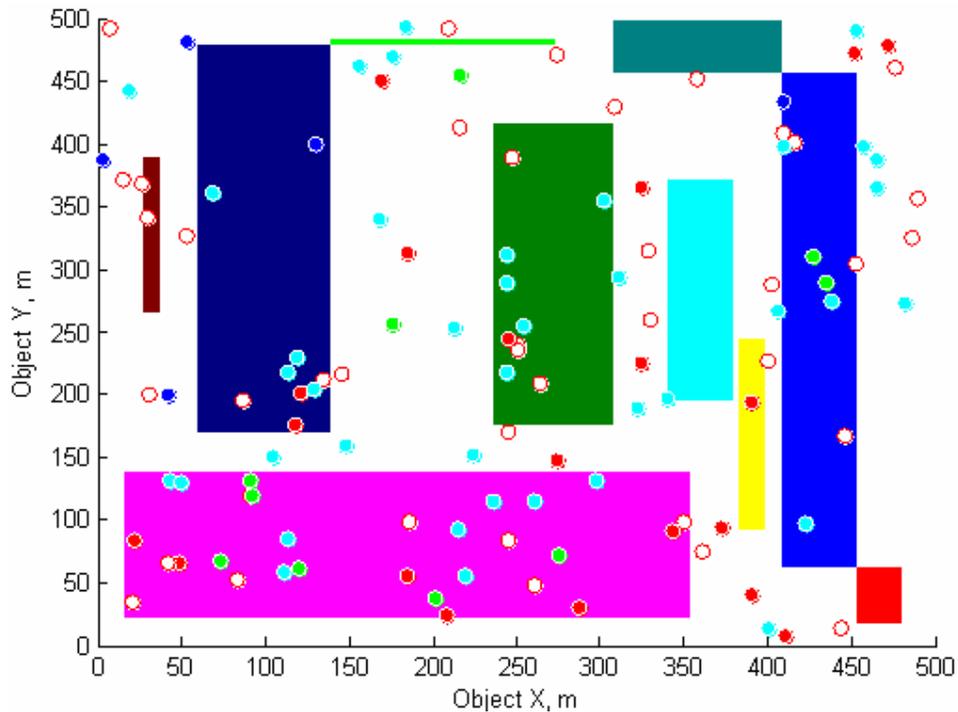


Рис. 38. Случайное распределение сигналов в зоне 500 х 500 м. Цветными прямоугольниками выделены зоны разрешенного размещения станций.

По разработанным правилам сначала к САУ подключаются сигнальные группы, затем одиночные сигналы. Сигнальные группы подключаются в порядке убывания их размеров: сначала группа N4, затем N3, N2 и N1.

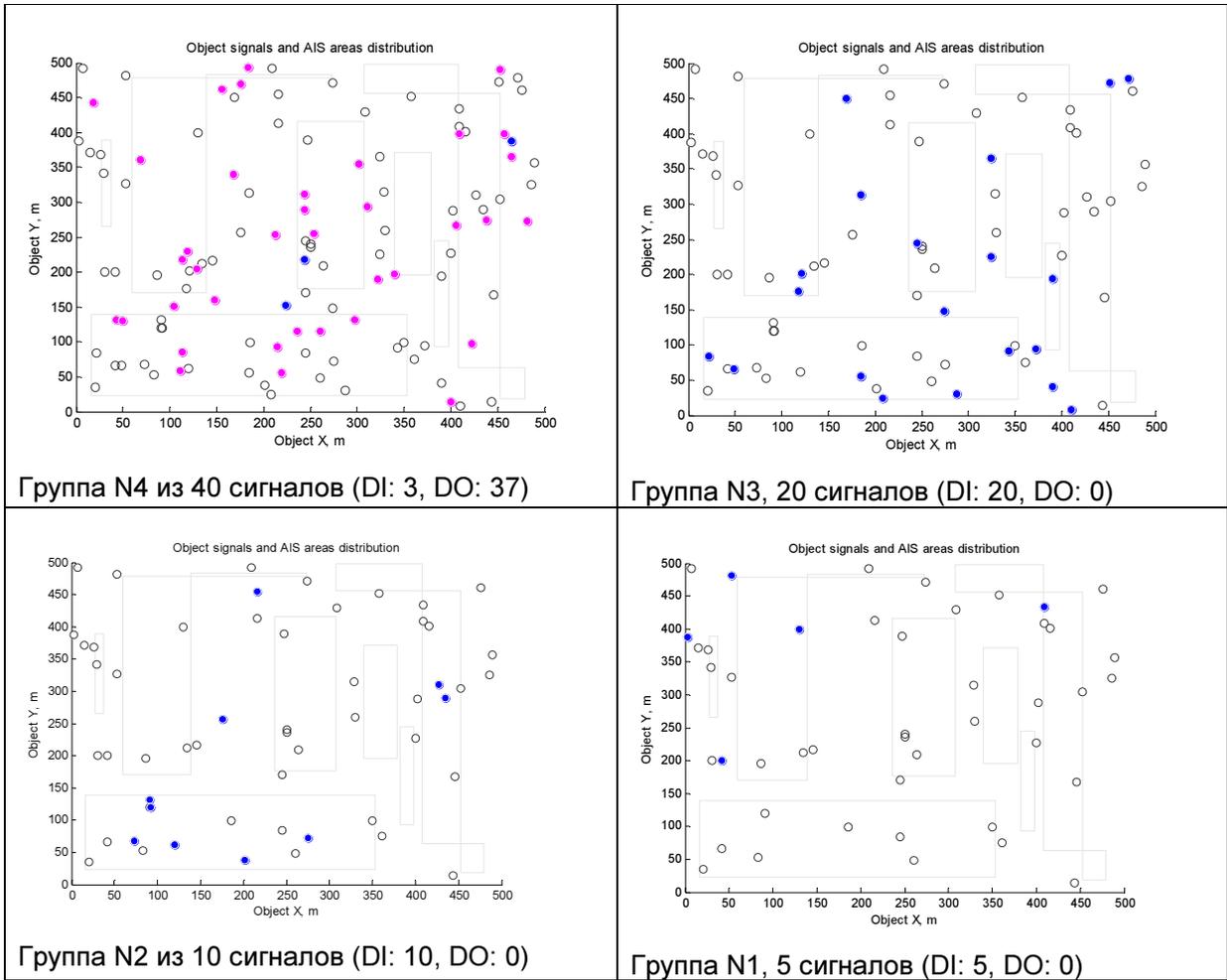
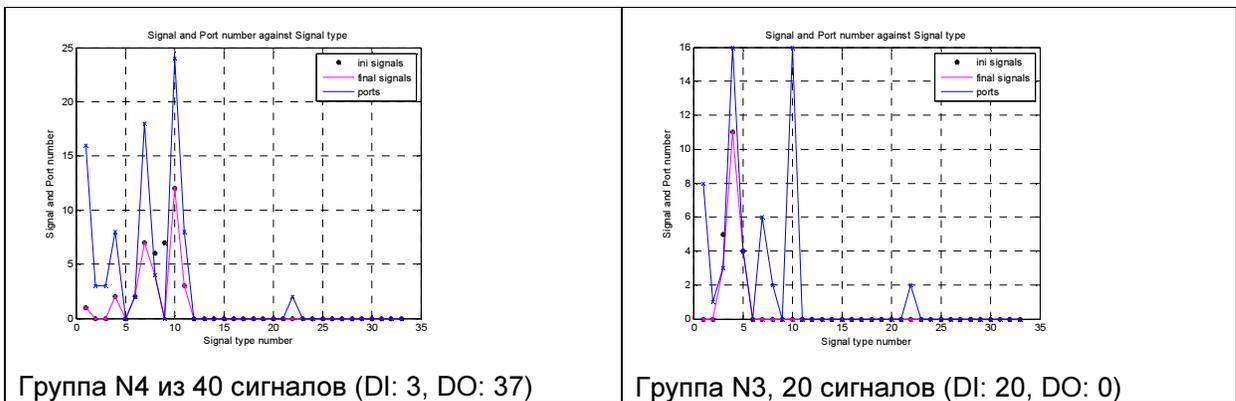


Рис. 39. Распределение сигналов 4 сигнальных групп.



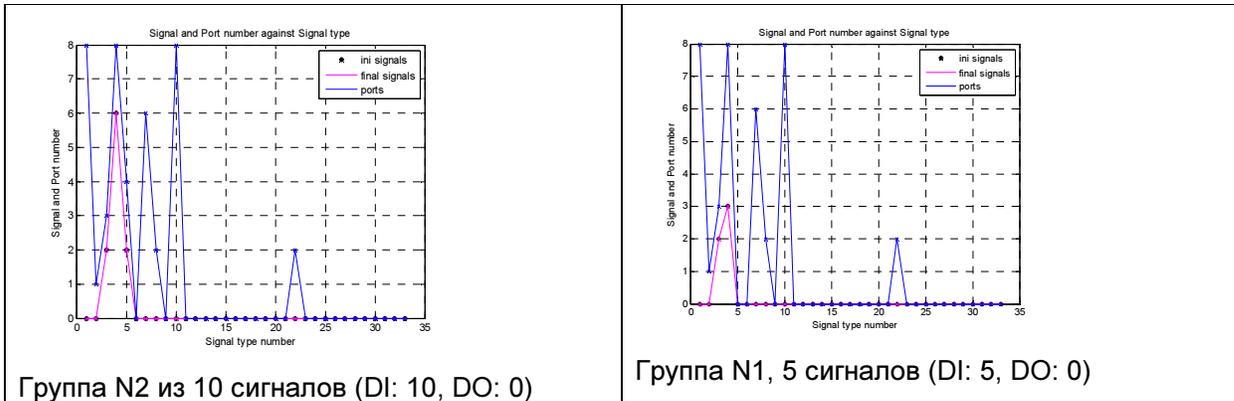


Рис. 40. Распределение портов контроллеров для подключения отдельных сигнальных групп.

Таблица 5. Параметры 4 контроллеров для 4 сигнальных групп.

Номер модуля в config	Наименование	Тип модуля	Макс. кол-во SM	Цена модуля, €	Ширина, мм	Кол-во модулей	Цена модулей, €
22	'6ES7 214-1AG31-0XB0'	CPU	8	319.06	110	1	319.06
39	'6ES7 223-3BD30-0XB0'	SB	0	54.06	38	1	54.06
54	'6ES7 223-1QH30-0XB0'	SM	0	200.34	45	1	200.34
64	'6ES7 222-1XF30-0XB0'	SM	0	108.12	70	1	108.12
60	'6ES7 222-1BF30-0XB0'	SM	0	92.22	45	1	92.22
63	'6ES7 222-1HH30-0XB0'	SM	0	146.28	45	1	146.28
Итого:							920.08
10	'6ES7 212-1AD30-0XB0'	CPU	2	210.94	90	1	210.94
36	'6ES7 221-3AD30-0XB0'	SB	0	54.06	38	1	54.06
54	'6ES7 223-1QH30-0XB0'	SM	0	200.34	45	2	400.68
Итого:							665.68
10	'6ES7 212-1AD30-0XB0'	CPU	2	210.94	90	1	210.94
36	'6ES7 221-3AD30-0XB0'	SB	0	54.06	38	1	54.06
54	'6ES7 223-1QH30-0XB0'	SM	0	200.34	45	1	200.34
Итого:							465.34
10	'6ES7 212-1AD30-0XB0'	CPU	2	210.94	90	1	210.94
54	'6ES7 223-1QH30-0XB0'	SM	0	200.34	45	1	200.34
Итого:							411.28
Общий итог:							2462.38

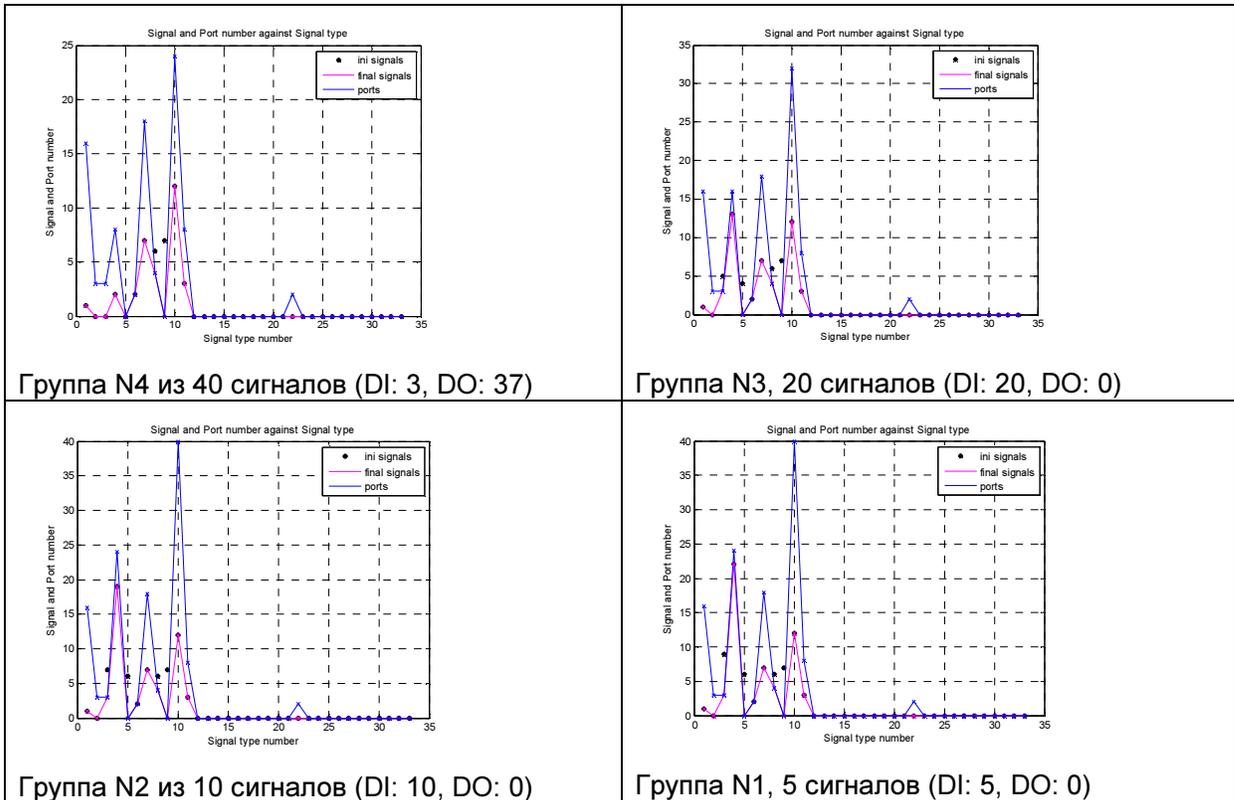


Рис. 41. Распределение портов одного контроллера с последовательным подключением четырех сигнальных групп.

Таблица 6. Четыре состояния наращиваемой структуры одного контроллера при последовательном подключении четырех сигнальных групп: N4; N4 + N3; N4 + N3 + N2 ; N4 + N3 + N2 + N1.

Номер модуля в config	Наименование	Тип модуля	Макс.кол-во SM	Цена модуля, €	Ширина, мм	Кол-во модулей	Цена модулей, €
22	'6ES7 214-1AG31-0XB0'	CPU	8	319.06	110	1	319.06
39	'6ES7 223-3BD30-0XB0'	SB	0	54.06	38	1	54.06
54	'6ES7 223-1QH30-0XB0'	SM	0	200.34	45	1	200.34
64	'6ES7 222-1XF30-0XB0'	SM	0	108.12	70	1	108.12
60	'6ES7 222-1BF30-0XB0'	SM	0	92.22	45	1	92.22
63	'6ES7 222-1HH30-0XB0'	SM	0	146.28	45	1	146.28
Итого:							920.08
22	'6ES7 214-1AG31-0XB0'	CPU	8	319.06	110	1	319.06
39	'6ES7 223-3BD30-0XB0'	SB	0	54.06	38	1	54.06
54	'6ES7 223-1QH30-0XB0'	SM	0	200.34	45	2	400.68
64	'6ES7 222-	SM	0	108.12	70	1	108.12

Номер модуля в config	Наименование	Тип модуля	Макс. кол-во SM	Цена модуля, €	Ширина, мм	Кол-во модулей	Цена модулей, €
60	1XF30-0XB0' '6ES7 222-1BF30-0XB0'	SM	0	92.22	45	1	92.22
63	'6ES7 222-1HH30-0XB0'	SM	0	146.28	45	1	146.28
Итого:							1120.42
22	'6ES7 214-1AG31-0XB0'	CPU	8	319.06	110	1	319.06
39	'6ES7 223-3BD30-0XB0'	SB	0	54.06	38	1	54.06
54	'6ES7 223-1QH30-0XB0'	SM	0	200.34	45	3	601.02
64	'6ES7 222-1XF30-0XB0'	SM	0	108.12	70	1	108.12
60	'6ES7 222-1BF30-0XB0'	SM	0	92.22	45	1	92.22
63	'6ES7 222-1HH30-0XB0'	SM	0	146.28	45	1	146.28
Итого:							1320.76
22	'6ES7 214-1AG31-0XB0'	CPU	8	319.06	110	1	319.06
39	'6ES7 223-3BD30-0XB0'	SB	0	54.06	38	1	54.06
54	'6ES7 223-1QH30-0XB0'	SM	0	200.34	45	3	601.02
64	'6ES7 222-1XF30-0XB0'	SM	0	108.12	70	1	108.12
60	'6ES7 222-1BF30-0XB0'	SM	0	92.22	45	1	92.22
63	'6ES7 222-1HH30-0XB0'	SM	0	146.28	45	1	146.28
Итого:							1320.76

Вывод: В рассматриваемом примере отдельное подключение каждой сигнальной группы к своему контроллеру требует 4 процессора CPU, 3 сигнальные платы SB и 8 сигнальных модулей SM, которые стоят €2462.38. Тогда как совместное подключение сигнальных групп к одному контроллеру требует 1 процессор CPU, 1 сигнальную плату SB и 6 сигнальных модулей SM, общая стоимость которых составляет €1320.76. Стоимость контроллера для подключения 4 сигнальных групп ниже стоимости модулей для отдельного подключения групп примерно на 46 %.

7 ЭТАПЫ СИНТЕЗА САУ

Синтез аппаратной части САУ рассредоточенного многосигнального объекта включает следующие основные этапы.

1. Перевод сигнальных данных объекта в формат входных данных.
2. Нахождение оптимальных модульных структур станций для сигнальных групп. Вычисление оптимального положения станций для сигнальных групп с известными координатами.

3. Объединение в модульные группы одиночных сигналов*. Одиночные сигналы каждого типа делятся на компактные группы по числу портов соответствующих модулей САУ.
4. Перераспределение одиночных сигналов между модулями одиночных сигналов и свободными портами станций для сигнальных групп.
5. Объединение модулей одиночных сигналов в станции **. Оптимальное положение станций зависит от объединения одиночных сигналов в модульные группы.
6. Оптимизация станций по составу модулей. Перераспределение сигналов. Минимизация избыточности сигнальных портов.

*Разработанные алгоритмы группирования и подключения одиночных сигналов будут раскрыты в следующих частях статьи.

**Разработанные алгоритмы объединения модулей одиночных сигналов в станции будут раскрыты в следующих частях статьи.

8 ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС СИНТЕЗА САУ

Графический интерфейс (Рис. 42) разработанного метода синтеза САУ построен в среде МатЛАБ. Он позволяет загрузить параметры объекта или сформировать тестовые параметры объекта генератором случайных чисел и применить к этим данным различные алгоритмы построения структур аппаратной части САУ на базе модулей серии S7 1200 и вывести результаты синтеза в электронные таблицы Excel.

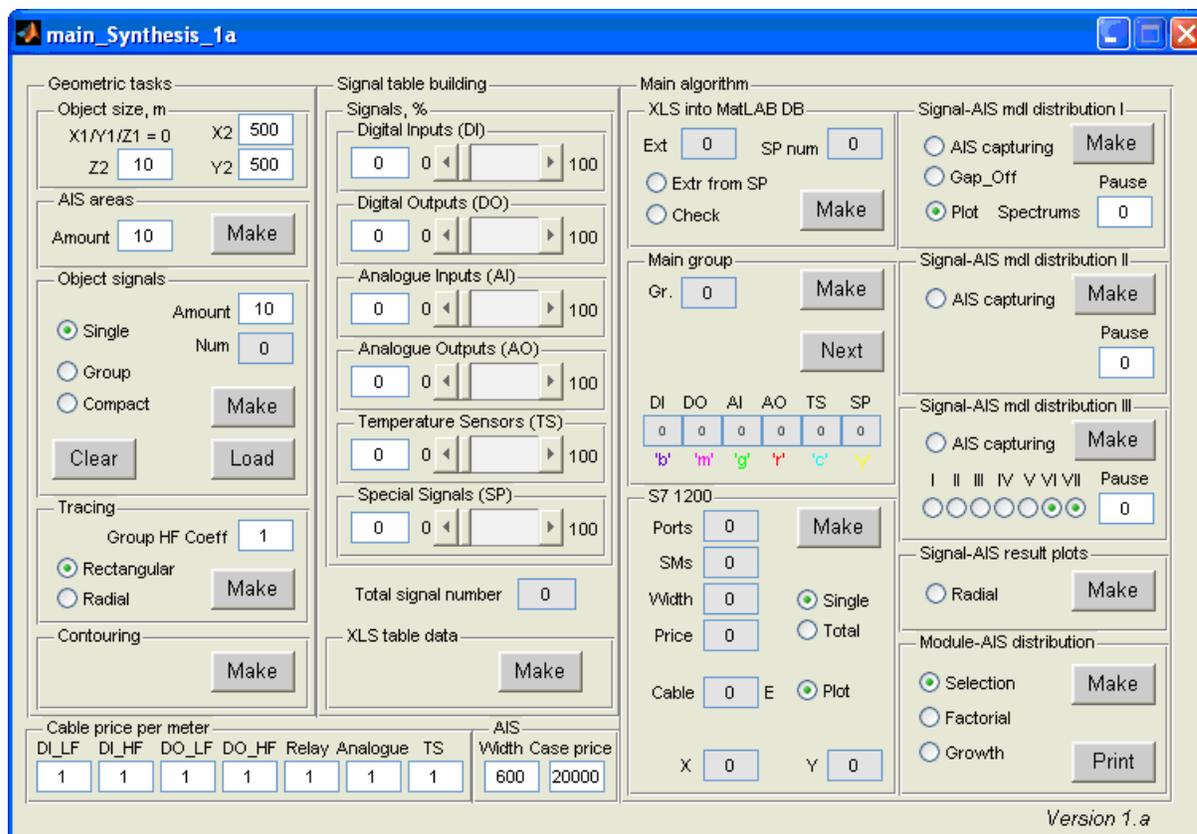


Рис. 42. Графический интерфейс синтеза САУ

Для запуска интерфейса необходимо запустить пакет MatLAB. Настроить его на текущий каталог MatLAB_GUI и запустить главную программу интерфейса main_Synthesis_1a.m.

8.1 Генератор сигнального пространства объекта. Заполнение электронной таблицы генератором случайных чисел

Для освоения интерфейса и проверки эффективности алгоритмов синтеза САУ сигнальные параметры виртуального объекта можно оперативно синтезировать генератором случайных чисел. Формат создаваемых генератором таблиц для разных типов сигналов показан на Рис. 43.

The figure displays four screenshots of an Excel spreadsheet titled 'Object_Signals_DB_140810.xls', showing different sections of signal parameters. Each screenshot includes a table with columns for signal name, coordinates (X, Y, Z), signal type, frequency, range, and other parameters. A legend table is also present in each screenshot.

Скриншот 1: Дискретные входы

Имя сигнала	Координата X, м	Координата Y, м	Координата Z, м	Тип сигнала	Частота	Имя сигнальной группы	Примечание
1	466.4	195.3	8.6	AC_120/230V	LSI		0
2	136.6	76	2	DC_5V	HSC_200kHz		0
3	198.6	187.4	4.8	AC_120/230V	LSI		0
4	65.6	217.5	8	DC_24V	HSC_30kHz		0
5	45.8	307.3	3.5	AC_120/230V	LSI		0

Скриншот 2: Дискретные входы

Имя сигнала	Координата X, м	Координата Y, м	Координата Z, м	Тип сигнала	Частота	Имя сигнальной группы	Примечание
183	186.5	33.5	9	Transistor_5V_0_1A	Pulse_200kHz		0
120	386.7	32	2.8	Relay_2A	LSO		0
121	164	401.5	9.1	Relay_Changeover_Cc	LSO		0
122	493.7	490.5	6.9	Transistor_24V_0_5A	Pulse_100kHz		0
123	63.5	116.1	1.9	Transistor_5V_0_1A	LSO		0

Скриншот 3: Аналоговые входы

Имя сигнала	Координата X, м	Координата Y, м	Координата Z, м	Тип сигнала	Диапазон	Разрешение	Имя сигнальной группы	Примечание
137	77.9	409.5	2.3	Current	20 mA	12_bit		0
138	312.5	369.3	9.2	Voltage	+1_25V	16_bit		0
139	402.6	33.6	9.2	Current	4_20mA	15_bit		0
140	475.4	248.8	3	Voltage	+1_25V	16_bit		0

Скриншот 4: Аналоговые входы измерителей температуры

Имя сигнала	Координата X, м	Координата Y, м	Координата Z, м	Тип датчика	Имя сигнальной группы	Примечание
173	109.6	162.9	0.3	RS		0
174	48	373.8	9	VS		0
175	374.3	271.6	1.2	RT		0
176	169.1	416.2	7.1	VS		0
177	276.3	478.8	0.3	VS		0
178	446.4	178.3	9.6	RT		0
179	273.2	173.3	6.4	RT		0
180	311.4	398.3	2.2	VS		0
181	372.9	62.8	7.2	RT		0
182	411.2	12.6	5.8	RT		0

Условные обозначения

TS	Термометры сопротивления Cu10, Cu50, Cu100, Ni100, Ni120, Ni200, Ni500, Ni1000, Pt10, Pt50, Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000, LG-Ni1000
RS	Датчики сопротивления 150 Ом, 300 Ом, 600 Ом
TC	Термопары типов J, K, T, E, R, S, N, C, TXJXX(L)
VS	Датчики напряжения ±80 мВ

Object_Signals_DB

Имя сигнала	Координата X, м	Координата Y, м	Координата Z, м	Тип сигнала	Частота переключения, не более	Выходной ток, не более	Разрешение	Время установки, не более	Время цикла, не более	Имя сигнальной группы	Примечание
32	372.3	94.5	6.8	DI	5_Hz	-	-	-	-	-	0
33	343.4	91.8	1.1	DI	5_Hz	-	-	-	-	-	0
34	184.2	312.8	3.3	AI	-	-	16_bit	-	1000_us	-	0
35	390.1	40.6	7.4	DO	5_Hz	3000_mA	-	-	-	-	0
36	464.7	387.9	8.7	DI	100000_Hz	-	-	-	-	-	0
37	243.4	217.9	3.7	AI	-	-	16_bit	-	1000_us	-	0
38	223.4	153.2	3.7	DO	600000_Hz	700_mA	-	-	-	-	0
39	254.3	255.4	2.1	DO	10000_Hz	200_mA	-	-	-	-	0
40	408.8	397.4	6.4	DO	100000_Hz	700_mA	-	-	-	-	0
41	322.2	189.3	1	DO	100000_Hz	500_mA	-	-	-	-	0
42	405.8	266.4	0.9	DO	600000_Hz	50_mA	-	-	-	-	0
43	175.4	469.5	7.8	DO	10000_Hz	3000_mA	-	-	-	-	0
44	438	275.1	4.3	AI	-	-	16_bit	-	500_us	-	0

Object_Signals_DB

Номер зоны	Координаты зон АИС					
	Xmin, m	Xmax, m	Ymin, m	Ymax, m	Zmin, m	Zmax, m
1	0	500	0	500	0	10
2	139.2	273.4	478.8	482.4	4.2	9.2
3	452.9	479.7	17.9	63.5	7.5	9.3
4	339.4	378.9	196.1	371.6	1.7	6.6
5	15.9	353	23.1	138.5	2.8	4.4
6	362.8	397.6	93.4	244.9	1.6	6.6
7	89.5	139.2	170.2	478.8	1	2.5
8	236.6	308	175.8	415.4	3.8	5.7
9	27	37.9	265.4	389.6	2.3	9.1
10	308	407.4	456.7	498.1	0.8	4.4

Рис. 43. Таблицы сигнальных параметров объекта – входные данные синтеза САУ.

Генератор сигналов имеет собственные поля в графическом интерфейсе САУ (Рис. 44).

Geometric tasks

Object size, m
 X1/Y1/Z1 = 0 X2: 500
 Z2: 10 Y2: 500

AIS areas

Amount: 10 Make

Object signals

Amount: 10
 Single Num: 0
 Group
 Compact Make
 Clear Load

Tracing

Group HF Coeff: 1
 Rectangular
 Radial Make

Contouring

Make

Figure 1

Close

Signal table building

Signals, %

Digital Inputs (DI): 0 0 < > 100

Digital Outputs (DO): 0 0 < > 100

Analogue Inputs (AI): 0 0 < > 100

Analogue Outputs (AO): 0 0 < > 100

Temperature Sensors (TS): 0 0 < > 100

Special Signals (SpS): 0 0 < > 100

Total signal number: 0

XLS table data: Make

Version 1.0b

Рис. 44. Поля генератора сигнального пространства объекта, часть графического интерфейса разработанного метода синтеза САУ (Рис. 42).

Интерфейс генератора (Рис. 44) поддерживает следующие режимы.

- Создание 3d пространства объекта по заданным координатам и отображение зоны объекта на XY плоскости.
- Создание заданного количества XY зон разрешенного размещения станций и их отображение в зоне объекта. Размеры и положение зон станций генерируются автоматически случайным образом.

Object size, m

X1/Y1/Z1 = 0	X2	500
Z2	Y2	500

AIS areas

Amount

Примечание. Если количество заданных зон равно нулю - то вся зона объекта является зоной разрешенного размещения станций.

- Создание и отображение позиций заданного количества сигналов (Amount) во всей зоне объекта или в его четырех подзонах (Compact). Координаты сигналов задаются автоматически случайным образом. Пользователь может задать тип сигналов вводимой группы: "одиночные сигналы" (Single) или "сигнальные группы" (Group).
- Удаление сигналов и зон станций из поля объекта
- Загрузка и отображение зон станций и сигналов из XLS таблиц объекта
- Соединение сигнальных точек с ближайшими зонами станций с применением радиальной (Radial) или ортогональной (Rectangular) прокладки связей.
- Нахождение и отображение центров сигнальных групп. Центр смещается к "короткокабельным" сигналам группы пропорционально коэффициенту Group HF Coeff когда его значение больше единицы.
- Выделение и отображение одиночных сигналов, ближайших к зонам расположения станций.
- Удаление рисунка с геометрическими параметрами объекта.

Object signals

Amount Num

Single
 Group
 Compact

Tracing

Group HF Coeff

Rectangular
 Radial

Contouring

Figure 1

- Разделение заданным образом сгенерированные сигнальные точки объекта на группы по типам сигналов (дискретный ввод, дискретный вывод, аналоговый ввод, аналоговый вывод, ввод измерителя температуры, ввод-вывод специального сигнала).

Signals, %

Digital Inputs: 0 100

Digital Outputs: 0 100

Analogue Inputs: 0 100

Analogue Outputs: 0 100

Temperature Sensors: 0 100

Special Signals: 0 100

- Формирование автоматически случайным образом сигнальных параметров объекта для каждой группы сигналов. Сохранение параметров объекта в электронных (XLS) таблицах.



- Отображение общего количества сгенерированных сигналов.



Цветовые обозначения GUI:

- Элементы GUI с белым фоном используются как для ввода так и для отображения параметров, например, .
- Окна с серым фоном (например, ) используются только для вывода параметров.
- Изменение фона клавиши ( >>> ) означает, что операция, запущенная нажатием клавиши, выполняется. По окончании операции клавиша принимает первоначальный цвет.

Вводимые через окна числовые параметры автоматически сравниваются с допустимыми минимальными и максимальными значениями и при выходе за границы допустимых значений принимают граничные значения. Ошибочно введенные данные в нецифровом формате заменяются значениями “по умолчанию” (default).

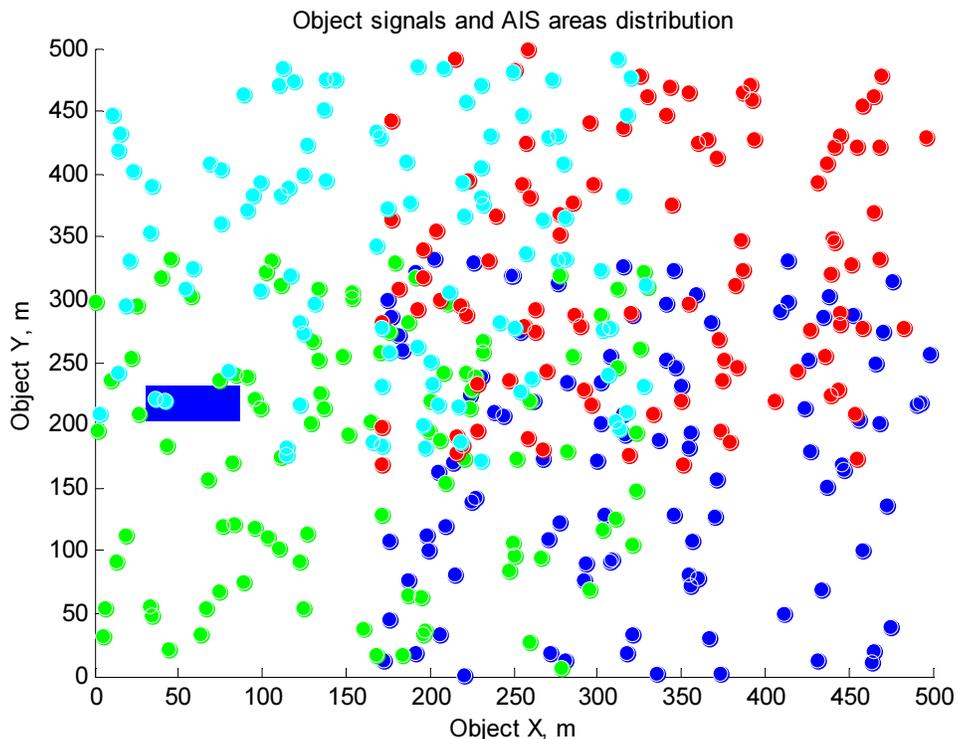


Рис. 45. Пример формирования сигнальных групп в подзонах объекта. Размер подзоны равен 2/3 зоны объекта. Режим использования подзон задается кнопками  Group  Compact GUI.

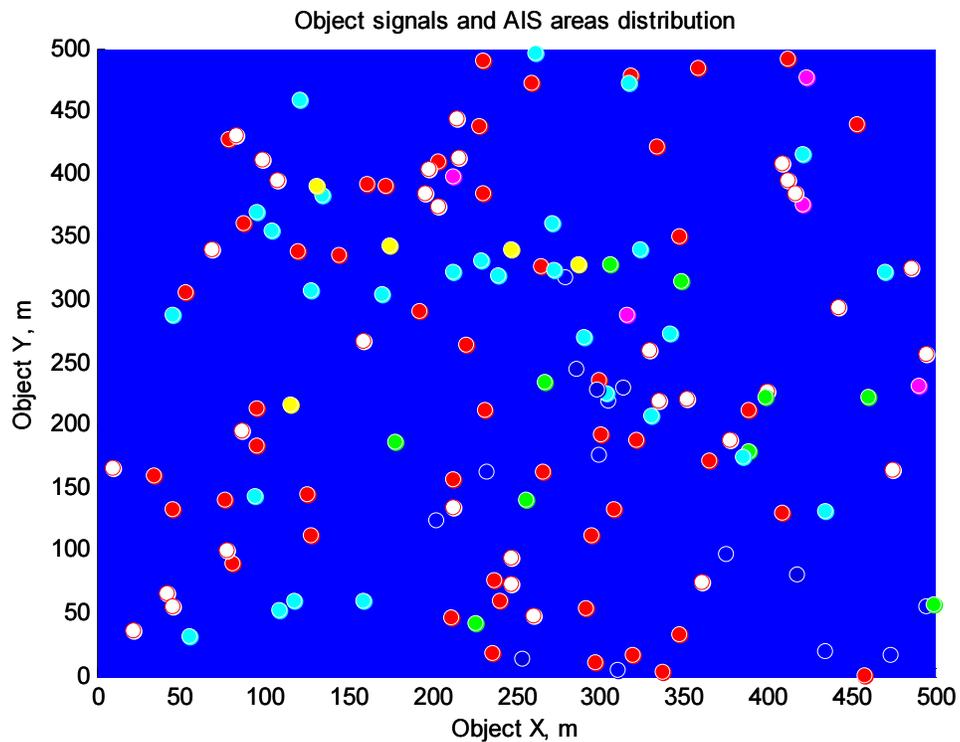
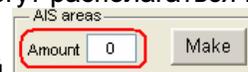


Рис. 46. Пример отображения одиночных (незакрашенные круги) и групповых (круги с цветным фоном) сигнальных точек в зоне объекта 500х500м. Цветом разделяются типы сигналов. Синий фон всей зоны объекта указывает на то, что станции могут располагаться в

любой его точке. Такой режим размещения станций задается установкой GUI.



8.2 Функциональная часть интерфейса

Блок функциональной части интерфейса показан на Рис. 47.

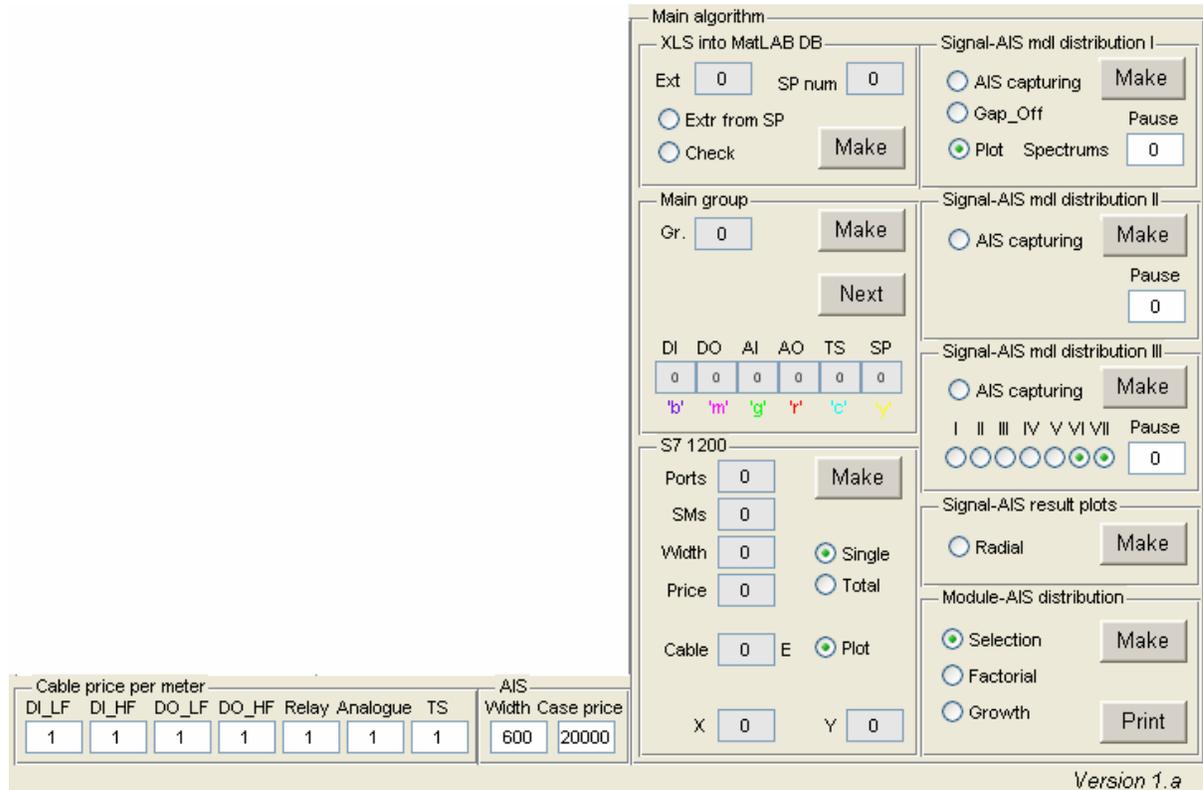


Рис. 47. Функциональный блок графического интерфейса синтеза САУ (Рис. 42).

Функциональный блок интерфейса устанавливает и поддерживает следующие режимы работы.

- Ввод относительной стоимости кабеля. Погонная стоимость сигнального кабеля устанавливается для следующих групп сигналов. Дискретных сигналов ввода низкой (DI_{LF}) и высокой (DI_{HF}) частоты, дискретных сигналов вывода низкой (DO_{LF}) и высокой (DO_{HF}) частоты, сильноточных сигналов (*Relay*), аналоговых (*Analogue*) и сигналов температурных датчиков (*TS*).
- Ввод вместимости и относительной стоимости станций. Вместимость станции (*Width*) задается размером пространства для установки контроллера по ширине его модулей. Относительная стоимость станции без контроллера вводится через поле *Case price*.
- Считывание геометрических и сигнальных параметров объекта из файла *Object_Signals_DB.xls* (клавиша *Make*). Кнопка *Extr from SP* включает алгоритм перевода нестандартных сигналов в стандартные. Кнопка *Check* включает запись результата преобразования сигналов в проверочный файл *transmitted_signals.xls*.

- Выделение сигнальных групп максимального размера считанные из файла Object_Signals_DB.xls с отображением группы в зоне объекта, номера группы (Gr.) и количества сигналов группы по типам: дискретный ввод (DI), дискретный вывод (DO), аналоговый ввод (AI), аналоговый вывод (AO), температурные (TS) и специальные (SP) сигналы.

- Вычисление модульной структуры станций сигнальных групп в режимах “каждой группе своя станция” (Single) и “станция для нескольких групп” (Total). Блок отображает положение станции на плане распределения одиночных сигналов и результат вычисления с указанием общего количества задействованных сигнальных портов (Ports), количества сигнальных модулей (SMs), общей ширины модулей (Width), цены модулей (Price), цены сигнального кабеля (Cable), координаты станции (X, Y). При включенной кнопке Plot строится распределение входных сигналов и сигнальных портов станции.

- Группирование одиночных сигналов по алгоритму последовательного отбора групп с переключением групповых сигналов к ближайшим свободным портам станций сигнальных групп, с устранением разрыва групп и построением спектра одиночных сигналов и спектра свободных сигнальных портов всех станций сигнальных групп. Установка паузы позволяет проследить процесс группирования.

- Группирование одиночных сигналов по алгоритму полного перебора комбинаций с переключением групповых сигналов к ближайшим свободным портам станций групповых сигналов и последующей перегруппировки одиночных сигналов. Установка паузы позволяет проследить процесс группирования.

- Группирование одиночных сигналов по алгоритму последовательного наращивания групп с переключением групповых сигналов к ближайшим свободным портам станций групповых сигналов и последующей перегруппировки одиночных сигналов. Кнопки от I до VII включают варианты роста групп (см. раздел 6) (для группирования хотя бы одна кнопка должна быть взведена). Установка паузы позволяет проследить процесс группирования.

- Отображение радиальных (Radial) или прямоугольных связей сигналов объекта и модулей.

- Объединение модулей одиночных сигналов с отображением начального распределения модулей, процесса размещения модулей в станциях и окончательного расположения станций. Объединение выполняется по алгоритму последовательного отбора групп (Selection), полного перебора комбинаций (Factorial) или последовательного

наращивания групп (**Growth**). Нажатие на кнопку **Print** запускает вывод результатов синтеза САУ в электронные таблицы **out_doc.xls**.

Примечание: Белые поля интерфейса используются для ввода соответствующих параметров. На серые поля выводятся результаты расчетов.

9 ВЫВОДЫ

Разработанный метод и его алгоритмы могут использоваться как основное средство синтеза оптимальных структур САУ так и в виде приложения - генератора сравнительных вариантов построения структур САУ, что может оказаться полезным для предварительной оценки стоимости САУ или для контроля качества разрабатываемых структур.

Преимуществом метода является его полная автоматизация – от формирования и загрузки данных объекта, до получения результатов в виде электронных таблиц Excel. Разработанный графический интерфейс обеспечивает оперативную настройку метода под задачи пользователя.

Алгоритмы метода синтеза САУ проверены на синтезе структур САУ состоящих из контроллеров серии SIMATIC S7 1200 компании Сименс, которые отличаются более сложными правилами построения структур в сравнении, например, с контроллерами серии S7 1500.

Средства моделирования и алгоритмы метода синтеза САУ могут использоваться для адаптации метода на работу с другими сериями аппаратных средств САУ.

Пользователями метода могут быть разработчики САУ, менеджеры по контролю качества, потенциальные заказчики оборудования САУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.Н. Давыдов, А.А.Кучина, И.И. Муравьева, А.Ю. Филиппов. Отчет о НИР по теме : «Разработка метода синтеза САУ на базе агрегатных интеллектуальных станций (АИС) территориально распределенного объекта» №ГП 1140723 70020, 2014, 300 стр.
2. Википедия. Диаграмма Вороного
http://ru.wikipedia.org/wiki/%C4%E8%E0%E3%F0%E0%EC%EC%E0_%C2%EE%F0%EE%ED%EE%E3%EE
3. Dr.Bob Davidov. TCP/IP обмен данными. <http://portalnp.ru/2013/09/943>
4. Dr.Bob Davidov. UDP обмен данными. <http://portalnp.ru/2013/10/1203>
5. Раздел Help интегрированной среды МатЛАБ
6. ProSoft. Программируемые контроллеры SIMATIC S7-1200
<http://www.prosoft.ru/products/brands/siemens/simatic-s7-1200/418610.html>
7. Сигнальный кабель и кабели данных. <http://www.west-l.ru/catalog/?id=00001x0001x0007x0004x0002x0007>
8. Dr. Bob Davidov. Компьютерные технологии управления в технических системах
<http://portalnp.ru/author/bobdavidov>