

Dr. Bob Davidov

Синтез САУ рассредоточенного
многосигнального объекта. Часть II.
Отбор компактных групп.

СОДЕРЖАНИЕ

1	ВВЕДЕНИЕ	3
2	ОТБОР КОМПАКТНЫХ ГРУПП.....	3
2.1	Начальные стадии алгоритма	3
2.2	Проблема наложения сигналов разных групп	8
2.3	Разделение сигнальных точек на группы без наложений.....	10
2.4	Варианты разделения сигналов на группы	11
2.4.1	Разделение на группы максимального размера и группы из остатка сигналов	11
2.4.2	Разделение на средние группы	12
2.4.3	Разделение на группы равной стоимости	13
3	ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИГНАЛОВ МЕЖДУ ГРУППАМИ И СВОБОДНЫМИ ПОРТАМИ СТАНЦИЙ	16
4	УСТРАНЕНИЕ РАЗРЫВОВ ГРУПП.....	17
5	УЧЕТ СТОИМОСТИ ПРИСОЕДИНЕНИЯ СИГНАЛА К ГРУППЕ	20
6	ОБЪЕДИНЕНИЕ МОДУЛЕЙ В СТАНЦИИ	22
6.1	Наложение ограничений на объединение модулей.....	22
7	РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ	34
7.1	Тест генератора сигнального пространства объекта	34
7.2	Тест распределения одиночных сигналов.....	36
8	ВЫВОДЫ.....	43
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	43

1 ВВЕДЕНИЕ

В разработанном методе синтеза САУ рассредоточенного многосигнального объекта [1] предложено несколько алгоритмов разделения распределенных в пространстве объектов на группы с минимальными расстояниями от объектов до узловых точек групп. Каждый алгоритм отличается производительностью, требуемыми вычислительными ресурсами и отклонением от идеального решения.

Проблемы объединения множества рассредоточенных объектов для их подключения к общим (узловым) устройствам могут возникать, например, при размещении оборудования связи групп абонентов или при прокладке сетевого кабеля.

Исходными данными такого класса задач являются

- координаты и типы объектов;
- ограничения на формируемые группы (размер, расположение узлов групп)
- типы и характеристики узлов к которым подключаются объекты (модули, станции)
- ограничения на связи между объектами с узлами (предельная длина, стоимость, тип прокладки, и др.)

В этой работе рассматривается разработанный алгоритм "Группирование распределенных объектов методом отбора наиболее компактных групп" который применяется при объединение одиночных сигналов рассредоточенного объекта для подключения к модулям САУ и объединении модулей в станции САУ.

2 ОТБОР КОМПАКТНЫХ ГРУПП

2.1 Начальные стадии алгоритма

Рассмотрим вариант разбиения множества однотипных одиночных сигналов (Рис. 1) на модульные группы. Размер каждой группы (например, сигналов 4 типа), подключаемой к одному интерфейсному модулю САУ не должен превышать количество портов однотипного модуля.

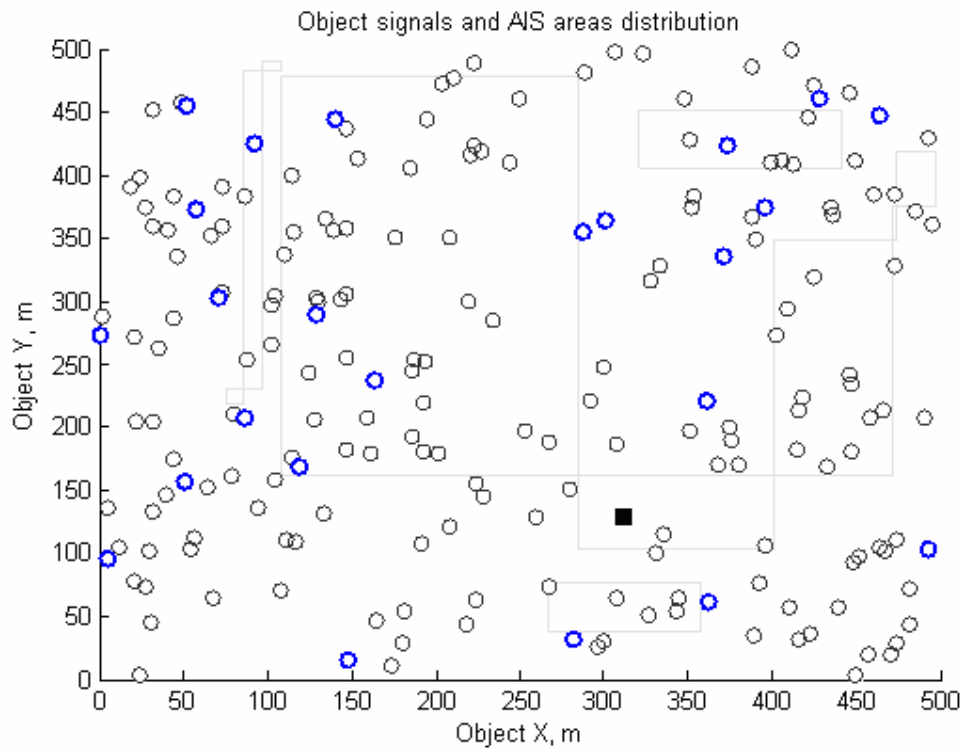


Рис. 1. Пример распределения проекций 24 сигнальных точек 4-ой группы (синие круги).

Построим таблицу расстояний между всеми сигнальными точками группы (Рис. 1), находящимися в трехмерном пространстве (X, Y, Z) , и их проекциями на горизонтальную плоскость (X, Y) .

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.1000	67.6000	436.3000	305.1000	167.2000	230.2000	340	442.8000	290.5000
2	75.6000	8.1000	474.4000	380.6000	181.3000	268.3000	378.1000	480.9000	231.0000
3	440.5000	470.6000	4.3000	730.3000	297.4000	241.6000	547.6000	422.8000	258.5000
4	307	374.5000	728	2	474.1000	490.7000	184.7000	309.5000	597.4000
5	176.5000	182.6000	302.5000	481.5000	9.4000	96.4000	298.8000	309	132.7000
6	234.2000	264.3000	241.4000	492.8000	91.1000	4.1000	310.1000	216.7000	110.8000
7	344.6000	374.7000	548	187.4000	294.1000	310.7000	4.7000	129.5000	417.4000
8	448.8000	478.9000	424.6000	313.6000	305.7000	218.7000	130.9000	6.1000	294
9	292.5000	225.0000	256.3000	597.5000	125.4000	108.8000	414.8000	290	2.1000
10	320.5000	253.0000	414.9000	625.5000	153.4000	208.8000	442.8000	421.4000	160.7000
11	563.2000	593.3000	160.8000	584.6000	420.1000	333.1000	401.9000	277.1000	381.2000
12	260.4000	290.5000	641	100.4000	387.1000	403.7000	97.7000	222.5000	510.4000
13	301.8000	288.1000	187.2000	606.8000	134.7000	118.1000	424.1000	299.3000	76.0000
14	103.1000	73.0000	539.3000	387.9000	246.2000	333.2000	443	545.8000	285.1000
15	156	88.5000	448.2000	461	155.1000	242.1000	351.9000	454.7000	194.0000
16	612.5000	642.6000	267.3000	473.7000	469.4000	382.4000	291.0000	169.8000	430.5000
17	695.2000	725.3000	436	424.4000	552.1000	465.1000	355.3000	252.5000	513.2000
18	245.3000	275.4000	488.9000	256.9000	235	251.6000	114.4000	217.2000	358.3000

Рис. 2. Таблица длин (стоимости) ортогональных соединений между каждой точкой группы и проекцией точки на горизонтальную плоскость сигналов одного типа.

Размер таблицы (Рис. 2) 24x24 значений. В диагональных ячейках (i,i) таблицы находятся z координаты сигнальных точек. Значение ячеек (i,j) отличается от содержимого ячеек (j,i) на величину z_i.

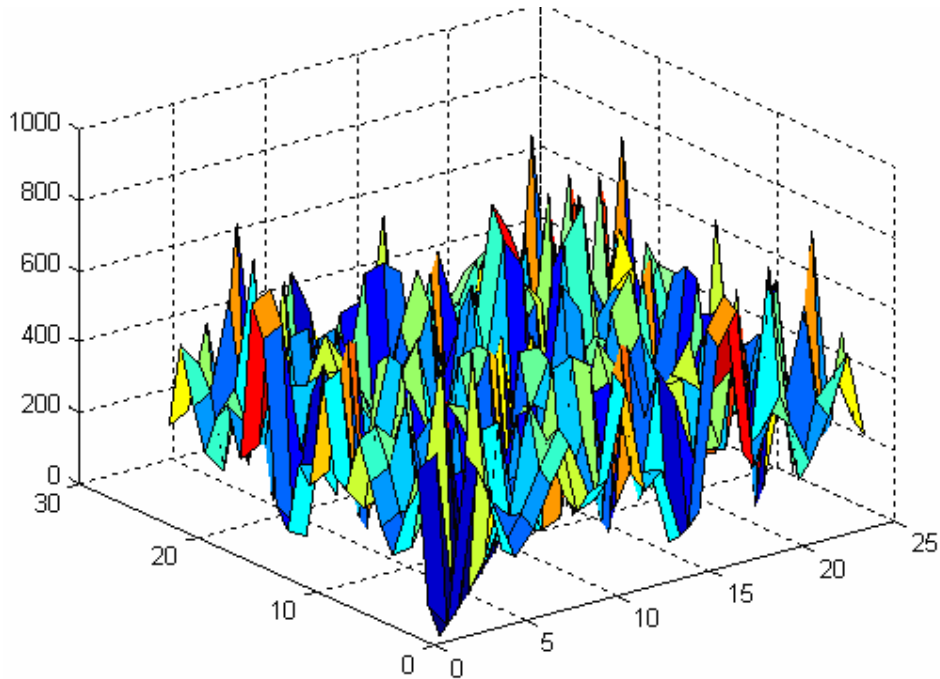


Рис. 3. Данные стоимости связей сигнальных точек таблицы (Рис. 2) в 3 мерном виде.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.1000	8.1000	4.3000	2	9.4000	4.1000	4.7000	6.1000	2.1000
2	75.6000	67.6000	160.8000	53.2000	72.9000	96.4000	71.7000	129.5000	76.0000
3	103.1000	73.0000	187.2000	100.4000	91.1000	108.8000	97.7000	169.8000	87.3000
4	156	88.5000	227.9000	129	125.4000	118.1000	102.7000	196.5000	110.8000
5	176.5000	146.1000	239.3000	187.4000	134.7000	159.9000	114.4000	205.5000	111.8000
6	213.6000	182.6000	241.4000	227.2000	153.4000	194	130.9000	216.7000	132.7000
7	234.2000	225.0000	256.3000	256.9000	155.1000	208.8000	184.7000	217.2000	160.7000
8	243.8000	253.0000	267.3000	305.1000	167.2000	218.7000	206.3000	222.5000	194.0000
9	245.3000	264.3000	302.5000	313.6000	181.3000	230.2000	291.0000	252.5000	196.3000
10	260.4000	273.9000	366	380.6000	210.6000	241.6000	298.8000	277.1000	231.0000
11	292.5000	275.4000	414.9000	387.9000	235	242.1000	310.1000	290	258.5000
12	301.8000	288.1000	424.6000	424.4000	246.2000	251.6000	335.9000	299.3000	285.1000
13	307	290.5000	436	461	251.5000	268.1000	340	309	290.5000
14	320.5000	310.2000	436.3000	473.7000	294.1000	268.3000	351.9000	309.5000	294
15	328.6000	363.9000	448.2000	481.5000	297.4000	303	355.3000	331.1000	358.3000
16	333.8000	374.5000	474.4000	492.8000	305.7000	310.7000	378.1000	372.5000	374.8000
17	344.6000	374.7000	488.9000	518.6000	319.6000	333.1000	401.9000	375.2000	381.2000
18	377.7000	396.1000	505.4000	584.6000	361.1000	333.2000	414.8000	421.4000	417.4000

Рис. 4. Таблица отсортированных значений стоимости соединений (Рис. 2) в порядке возрастания (увеличения длины связей).

Рассортируем данные таблицы Рис. 2 в порядке увеличения стоимости (длины) связей для подключения к проекциям сигнальных точек (Рис. 4) и составим таблицу номеров подключаемых точек в порядке их удаления от проекций (Рис. 5).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	2	1	11	20	21	5	22	7	13
3	14	14	13	12	6	9	12	16	19
4	15	15	23	22	9	13	24	22	6
5	5	21	19	7	13	21	18	24	21
6	21	5	6	24	10	19	8	6	5
7	6	9	9	18	15	10	4	18	10
8	24	10	16	1	1	8	20	12	15
9	18	6	5	8	2	1	16	17	23
10	12	24	21	2	19	3	5	11	2
11	9	18	10	14	18	15	6	9	3
12	13	13	8	17	14	18	21	13	14
13	4	12	17	15	24	24	1	5	1
14	10	19	1	16	7	2	15	4	8
15	20	22	15	5	3	23	17	20	18
16	22	4	2	6	8	7	2	21	24
17	7	7	18	21	23	11	11	19	11
18	19	20	24	11	22	14	9	10	7

Рис. 5. Фрагмент таблицы распределения номеров подключенных точек (Рис. 2) в порядке их удаления от проекций.

Можно заметить, например, что к проекции 2 точки (Рис. 4) ближе всего располагается 2 точка, затем 1, 14, 15, и т.д. Точки находятся от проекции на расстоянии 8,1; 67,6; 73,0; 88,5 (см. 2 колонки таблиц (Рис. 4 и Рис. 5)).

Проинтегрируем данные таблицы Рис. 4 по столбцам. Интеграл в 3-d пространстве показан на (Рис. 6). Такая табличная функция позволяет найти самую дешевую (с кратчайшими связями) и самую дорогую группу размером от одного до 24 сигналов.

Построим зависимость значений интеграла для восьми сигнальных точек. Эти значения показывают суммарную стоимость (длину связей) подключения к одной проекции (где может находиться 8 портовый модуль САУ) восьми сигналов. Результат интегрирования (суммирования) показан на Рис. 7.

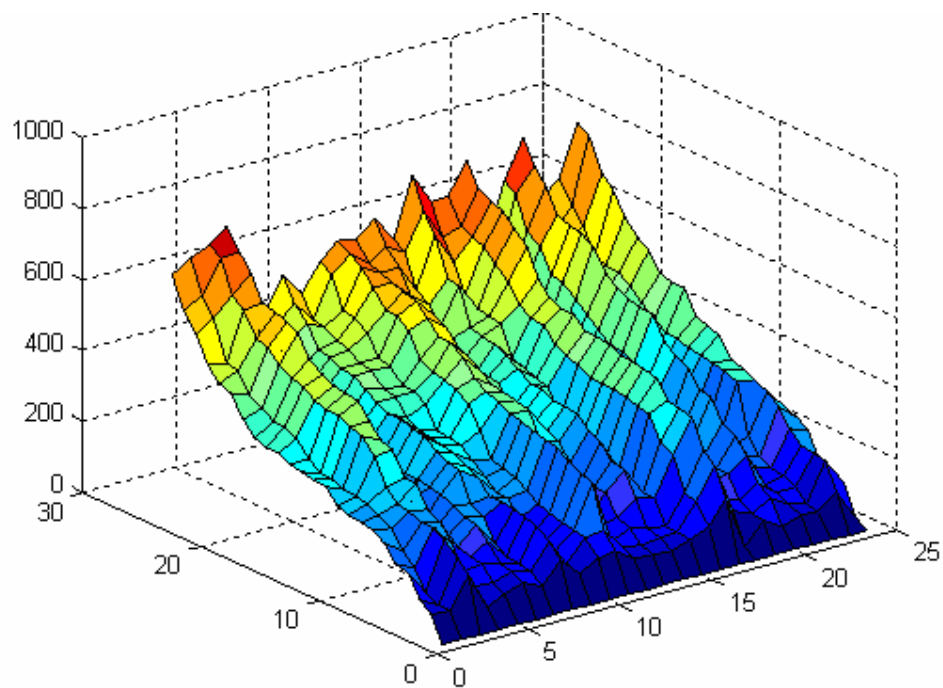


Рис. 6. Отсортированные данные стоимости таблицы (Рис. 4) в 3 мерном виде.

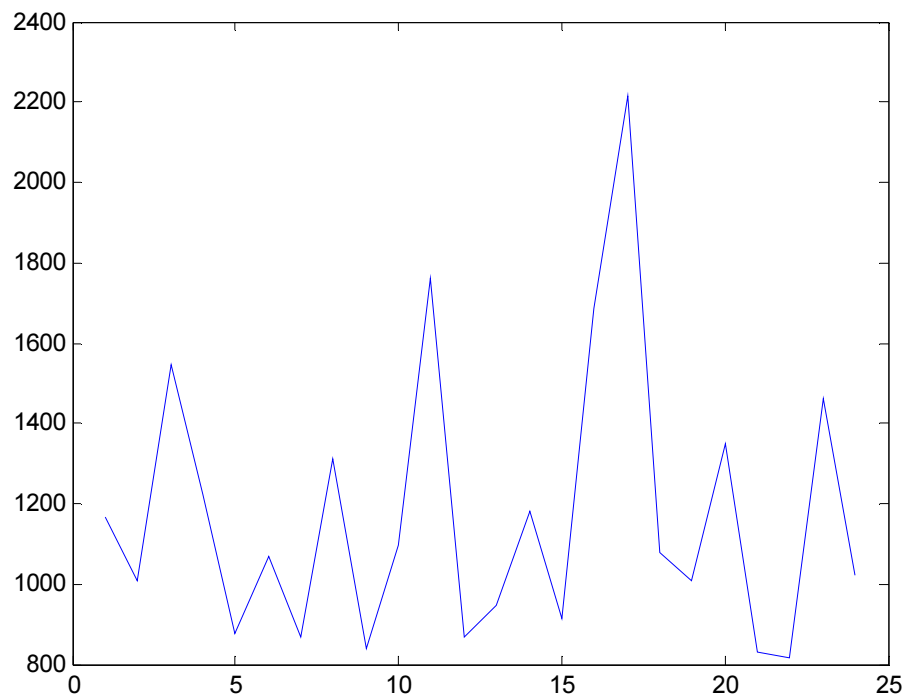


Рис. 7. Относительная стоимость подключения восьми ближайших сигналов к проекционным точкам (24 варианта - по числу сигналов 4-ой группы).

Минимальные значения графика (Рис. 7) принадлежат группам минимальной стоимости. Подключение восьми ближайших сигналов к проекционным точкам 22, 21 и 9, дает

минимальный результат по стоимости или сумме расстояний между точками группы и точками проекций.

Первая, наиболее компактная группа, рассматриваемого распределения выделена красным цветом на Рис. 8. Группа из 8 сигналов на плоскости X-Y имеет одну выделенную точку – это узловая точка (точка проекции) к которой выгодно подключать сигналы группы. Суммарная длина подключений к этой точке меньше чем длина подключений к другим точкам группы.

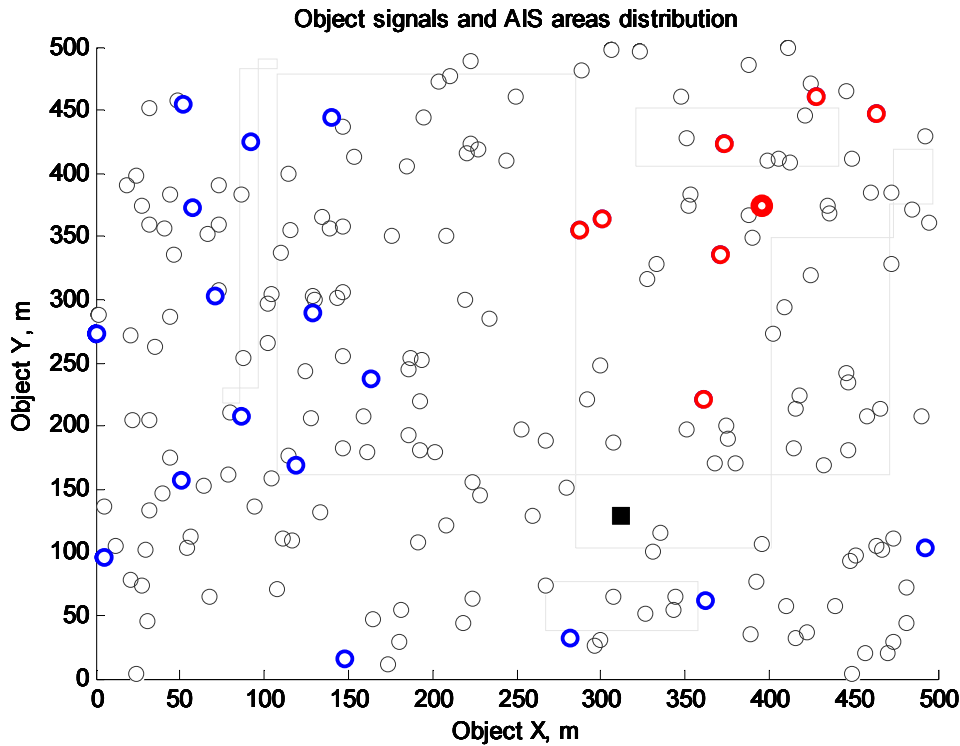


Рис. 8. Результат выделения первой наиболее компактной группы из 8 сигналов. Сигналы группы выделены красным цветом. Утолщенный красный круг показывает точку подключения сигналов группы - центр группы (узловая точка), который совпадает с проекцией 22 сигнальной точки на XY плоскость. Стоимость (длина) связей красной группы минимальна, по отношению к любым другим возможным группам из 8 сигналов 4 типа.

2.2 Проблема наложения сигналов разных групп

Вторая группа из восьми точек (Рис. 9) с центром в проекции 21 точки тоже имеет компактное распределение, хотя суммарная длина связей этой группы уступает длине связей первой группы (см. Рис. 7). После образования второй группы образовалось “облако” остаточных сигналов, которое должно принадлежать третьей группе (синие точки). Эта группа разорвана 2 группой на два фрагмента.

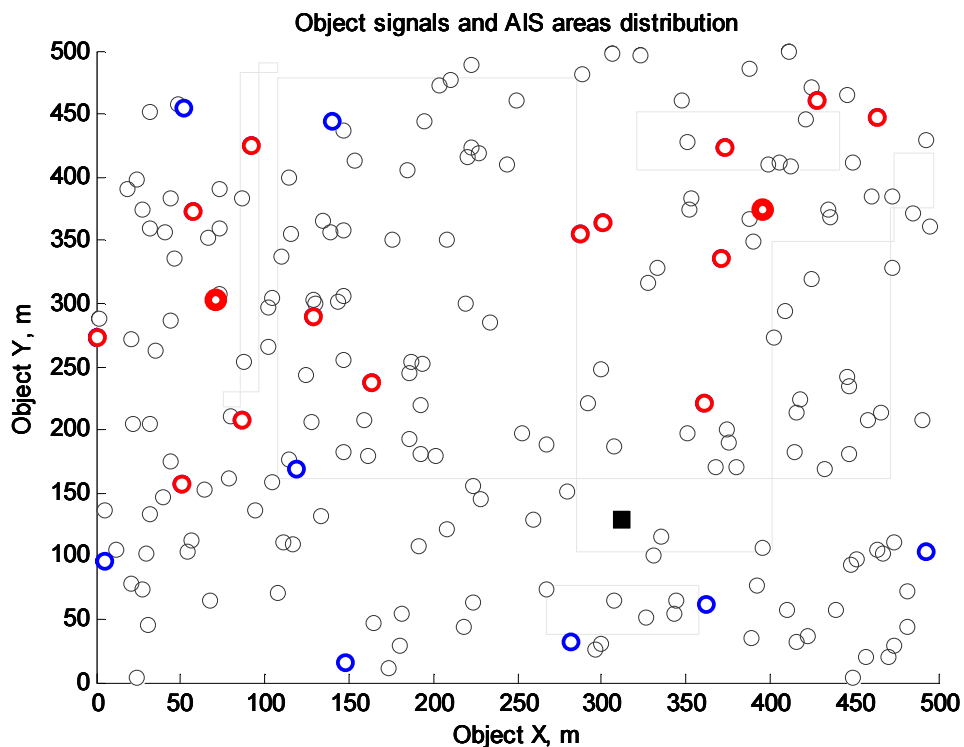


Рис. 9. Результат выделения первой и второй компактных групп по 8 сигналам. Оставшиеся синие сигналы должны принадлежать третьей группе. Два верхних синих сигнала отделены от основной группы синих сигналов красными сигналами второй группы.

Применение алгоритма выделения 1 и 2 групп для построения третьей группы вокруг 9 проекционной точки (Рис. 10) даёт наложение части точек третьей группы на точки второй группы (т.е. несколько сигнальных точек стали принадлежать разным группам). Этого не должно быть при группировании сигналов объекта.

Особенности выполненной доработки алгоритма с целью исключения наложения групп и минимизации стоимости соединений путем устранения разрывов групп показаны в следующих разделах.

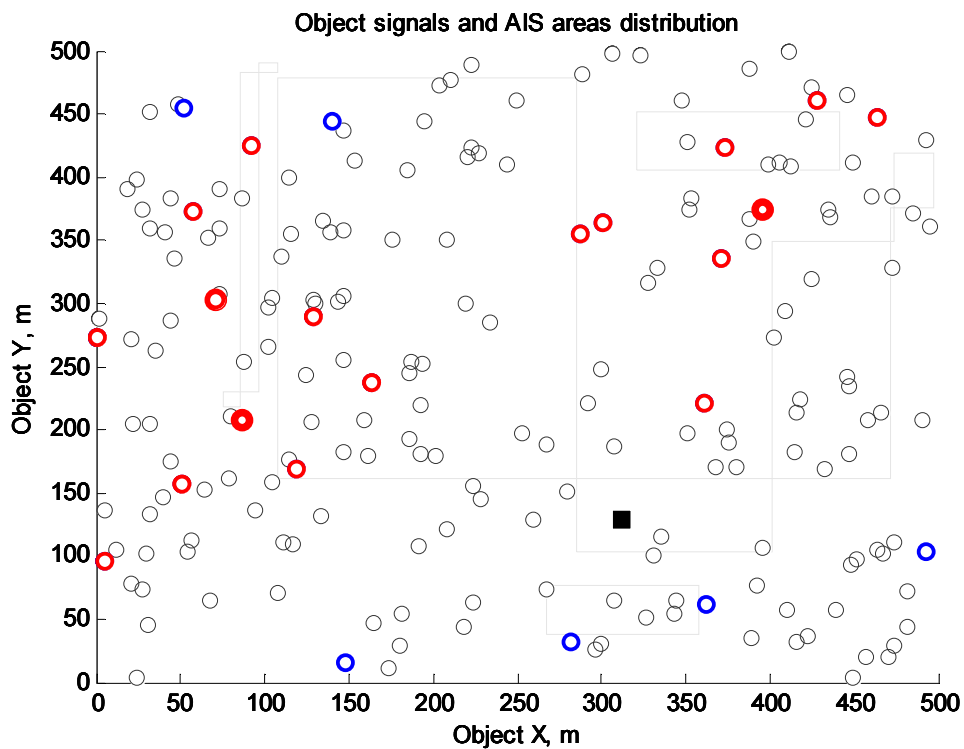


Рис. 10. Результат выделения трех групп. Видно, что третья группа накладывается на вторую с разницей в 2 сигнала (у них в сумме 10 точек). Несгруппированные точки отмечены синим цветом.

2.3 Разделение сигнальных точек на группы без наложений

Для исключения наложений групп предложено исключать точки каждой выделенной группы из исходной таблицы связей (Рис. 2) и повторять этапы сортировки (Рис. 4 и Рис. 5) и интегрирования (Рис. 6 и Рис. 7) для оставшихся точек.

Длины соединений I и II групп: 3596.6 у.м и 469.2 у.м соответственно. Общая длина соединений: 4065.8 у.м

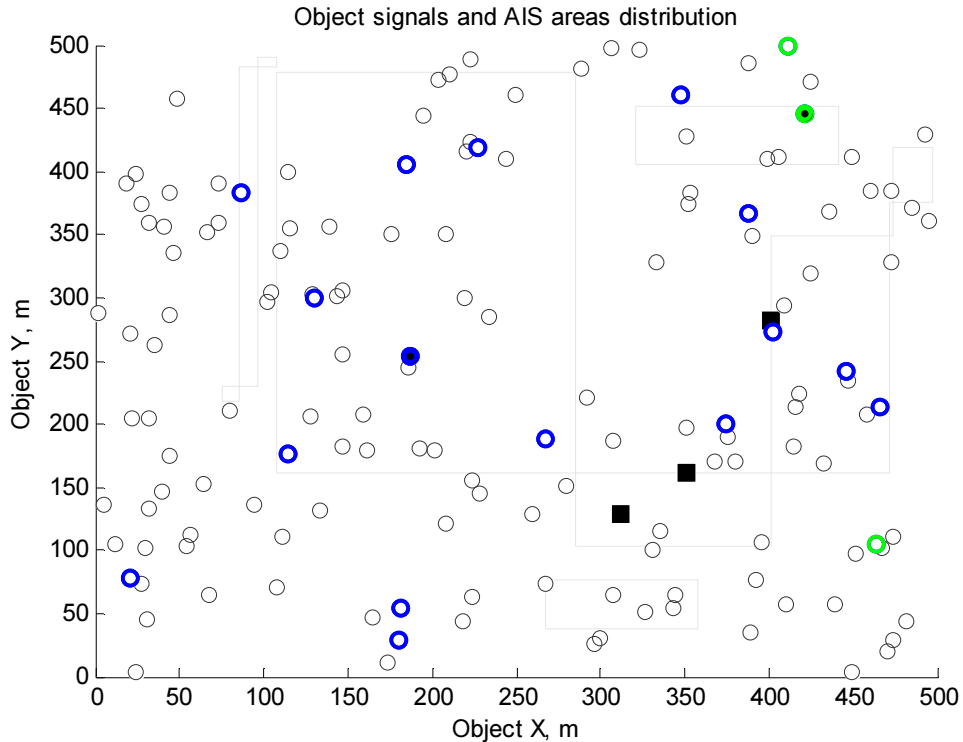


Рис. 12. Пример разбиения сигналов на первую группу максимального размера (синие точки) из 16 сигналов и остатка из 3 сигналов образующего вторую (зеленую) группу.

2.4.2 Разделение на средние группы

Разделить сигналы на группы с минимальным отклонением от среднего размера подключаемые к минимально необходимому количеству модулей можно с использованием следующей формулы.

$$\text{size_ave} = \text{ceil}(\text{size_ssn}/\text{ceil}(\text{size_ssn}/\text{m_port})),$$

где size_ssn – количество сигналов; m_port – максимальное количество портов модуля; ceil – операция округления дроби до большего целого.

Группы размером size_ave последовательно исключаются из исходной таблицы связей (Рис. 2). Размер групп size_ave необходимо пересчитывать после каждого исключения.

Например, для подключения 28 сигналов к 12 портовым модулям сигналы нужно разделить на три группы по 10, 9 и 9 сигналов.

Пример разбиения 19 сигналов на группы для подключения к 16 портовым модулям показан на Рис. 13. Образованы две группы из 10 и 9 сигналов.

I группа: 16 5 9 14 10 13 2 8 1 7 0 0 0 0 0

II группа: 17 6 4 15 19 3 12 11 18 0 0 0 0 0 0

Длины соединений I и II групп: 1562.1 у.м и 2032.2 у.м соответственно. Общая длина соединений двух групп: 3594.3 у.м.

Для рассматриваемого распределения сигналов вариант равномерного заполнения групп потребовал 3594.3 у.м кабеля на подключение сигналов, тогда как варианту полного разделения на группы максимального размера потребовалось 4065.8 у.м кабеля, больше на 471.5 у.м или на 13%.

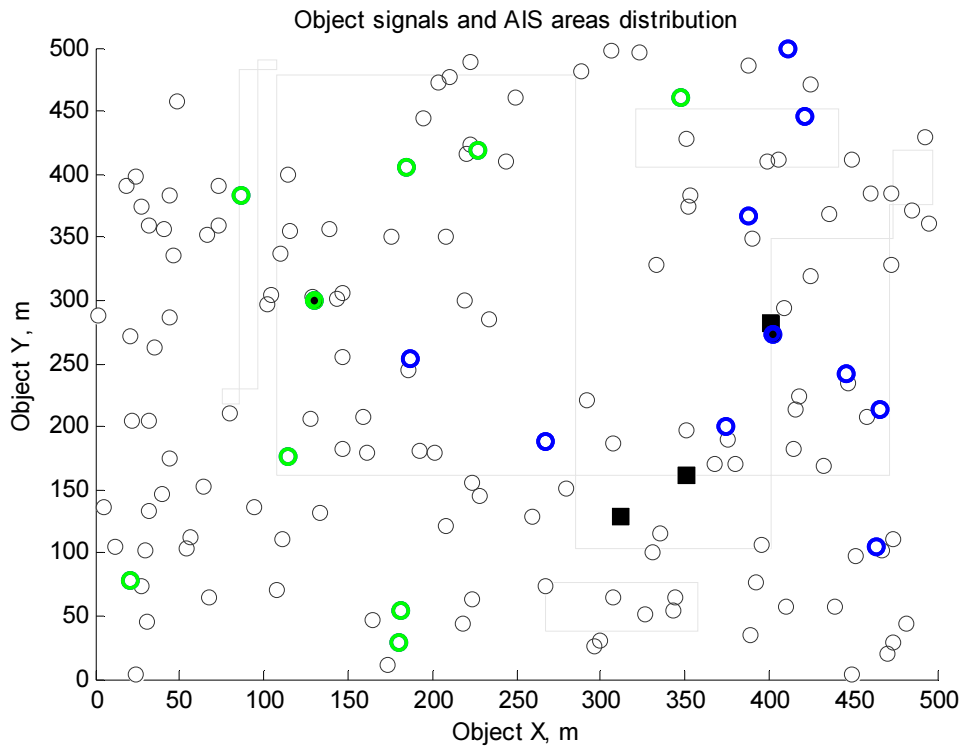


Рис. 13. Пример разделения на группы равного размера.

2.4.3 Разделение на группы равной стоимости

Для разбиения сигналов на группы равной стоимости необходимо после процедуры разделения сигналов на группы равного размера и нахождения координат полюсов (узлов) групп составить вектора подключений всех сигналов к каждому найденному полюсу (столбцы таблицы). Затем рассортировать значения векторов по длине подключений, в векторах найти точки с одинаковыми номерами, сравнить их расстояние до полюсов и, удаляя наиболее удаленные точки, оставить во всех векторах по одной точке каждого номера. Далее, подсчитывая суммарную стоимость соединений каждого вектора, сформировать группы с минимальным отклонением по стоимости, размеры которых не превышают максимальное количество портов модуля.

Результат разделения на группы равной стоимости исходных векторов (Таблица 1) приведен в Таблица 2.

Таблица 1. Расстояния до узлов 1 и 2

Длины соединений		Номера точек	
Узел 1	Узел 2	Узел 1	Узел 2
3.6	4.5	16	17
74.4	105.6	5	8
103.4	133.8	9	6
116.3	148	14	4
123.5	169.2	10	15
196.6	224	13	19
226.2	254.1	2	2
237.3	300.6	8	3
239.2	302.9	1	16
241.6	325	7	12
252.6	333.6	18	14
303.8	338	17	11
328.5	345.5	19	9
359.1	373.7	15	5
395.1	389.1	4	18
433.1	422.8	6	10
444.3	443.7	3	13
469.9	488.7	12	7
585.1	538.5	11	1

Таблица 2. Ближайшие расстояния до узлов 1 и 2

Длины соединений		Номера точек	
Узел 1	Узел 2	Узел 1	Узел 2
3.6	4.5	16	17
74.4	105.6	5	8
103.4	133.8	9	6
116.3	148	14	4
123.5	169.2	10	15
196.6	224	13	19
226.2		2	
	300.6		3
239.2		1	
241.6	325	7	12
252.6		18	
	338		11

Сумма:1577.4 Сумма:1748.7

После удаления более длинных связей из Таблица 1 образовались две группы 10 и 9 точек примерно равных стоимостей. Подключение групп к узлам составило 1577.4 у.м и 1748.7 у.м, что в сумме равно 3.3261 у.м. Такое разделение сигналов по стоимости подключений меньше полученного ранее минимального результата 3594.3 у.м.

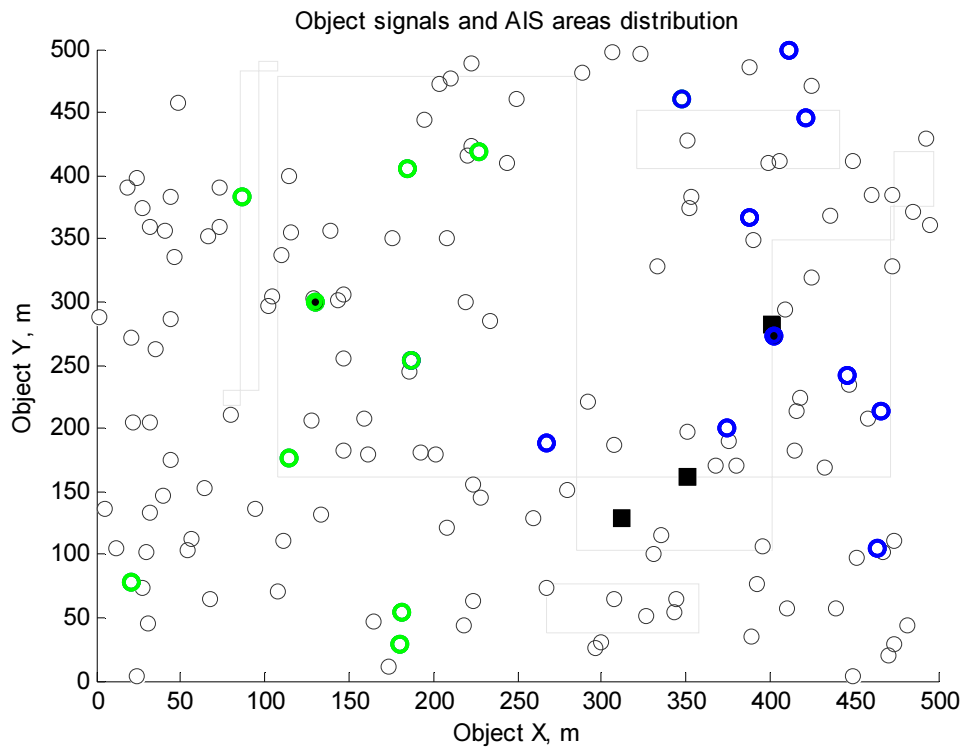


Рис. 14. Распределение точек Таблица 2 полученное по алгоритму “Разделение на группы равной стоимости”. Это разделение, в сравнении с разбиением Рис. 13, имеет суммарную длину связей на 268.2 у.м меньше варианта разбиения на средние группы.

Пример МатЛАБ кода “Разделения на группы равной стоимости”:

```

slct = price_base(:,n_mdl(:,1))
% remove expensive length
for i = 1:size(n_mdl,1)
    grs(i,:) = (slct(:,i)').*(slct(:,i)'==min(slct'));
end
n_mdl_1 = n_mdl;
n_mdl_1(:, :) = 0;
[srt_price,srt_price_cells] = sort(grs');
for i_n = 1:size(n_mdl_1,1)
    line_cells = find(srt_price(:,i_n))
    n_mdl_1(i_n,1:length(line_cells)) = srt_price_cells(line_cells,i_n);
    plot(gr_sgn_x(srt_price_cells(line_cells,i_n)),gr_sgn_y(srt_price_cells(line_cells,i_n)), 'wo', 'MarkerEdgeColor',scolor(i_n,size_ssn), 'LineWidth',2)
    % node point
    plot(gr_sgn_x(srt_price_cells(line_cells(1),i_n)),gr_sgn_y(srt_price_cells(line_cells(1),i_n)), 'wo', 'MarkerFaceColor','k', 'MarkerEdgeColor',scolor(i_n,size_ssn), 'LineWidth',2, 'MarkerSize',5)
end

```

3 ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИГНАЛОВ МЕЖДУ ГРУППАМИ И СВОБОДНЫМИ ПОРТАМИ СТАНЦИЙ

Для минимизации стоимости соединений необходимо после группирования одиночных сигналов перераспределить сигналы между узловыми точками групп и свободными портами станций САУ, которые были сформированы для подключения сигнальных групп объекта. Для каждого сигнала определяются расстояния до полюсов групп (круги с черными точками на Рис. 15) и станций (черные квадраты) со свободными портами. Сигнальная точка переключается к свободному порту станции если расстояние до станции ближе, чем до полюса собственной группы.

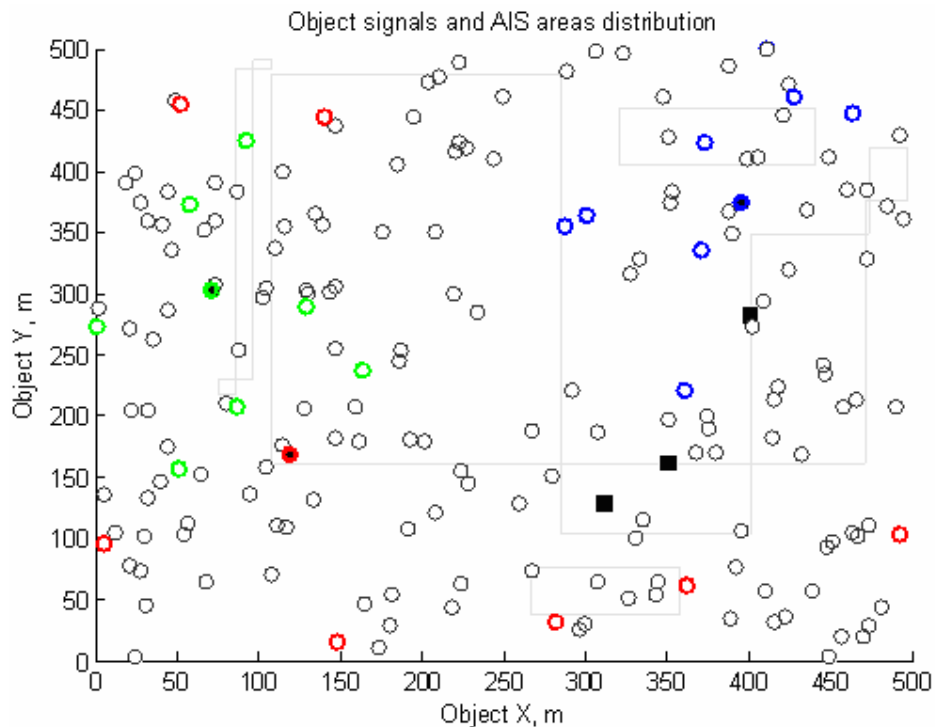


Рис. 15. Исходное состояние перед переключением сигналов (круги с белым фоном). Сигнал принадлежащий группе (одноцветные круги), переключается к станции (черные квадраты) если расстояние до неё ближе, чем до узла собственной группы, обозначенного кругом того же цвета с черной точкой.

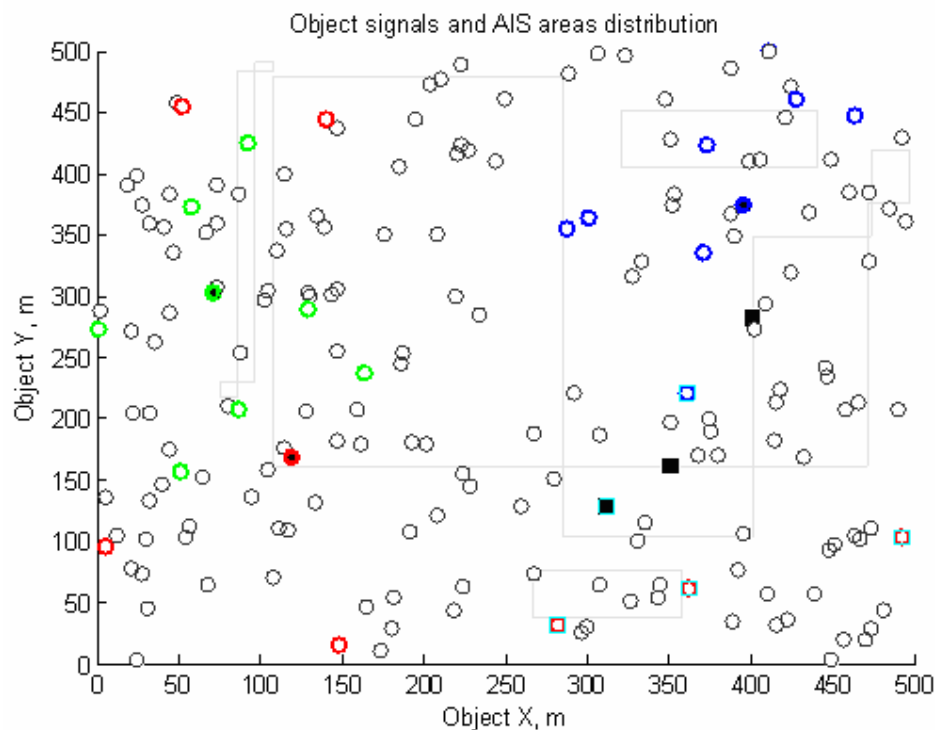


Рис. 16. Результат переподключения групповых точек (Рис. 15) к свободным портам станций (пример). Подключенные к станции сигналы и сами станции выделяются квадратами одного цвета. Маркировка показывает, что к свободным портам нижней станции подключены три сигнала красной группы и один сигнал синей группы.

В случаях, когда после переподключения точек наблюдается избыточное количество модулей (сигнальных групп), целесообразно перезапустить процедуру “Разделения сигнальных точек на группы” (2.3) с новым уменьшенным набором сигналов.

4 УСТРАНЕНИЕ РАЗРЫВОВ ГРУПП

На Рис. 9 и Рис. 15 показаны примеры разрывов групп сигналов. Разрывы групп увеличивают стоимость подключений сигналов. Вариант уменьшения стоимости соединений за счет устранения разрыва показан на Рис. 17.

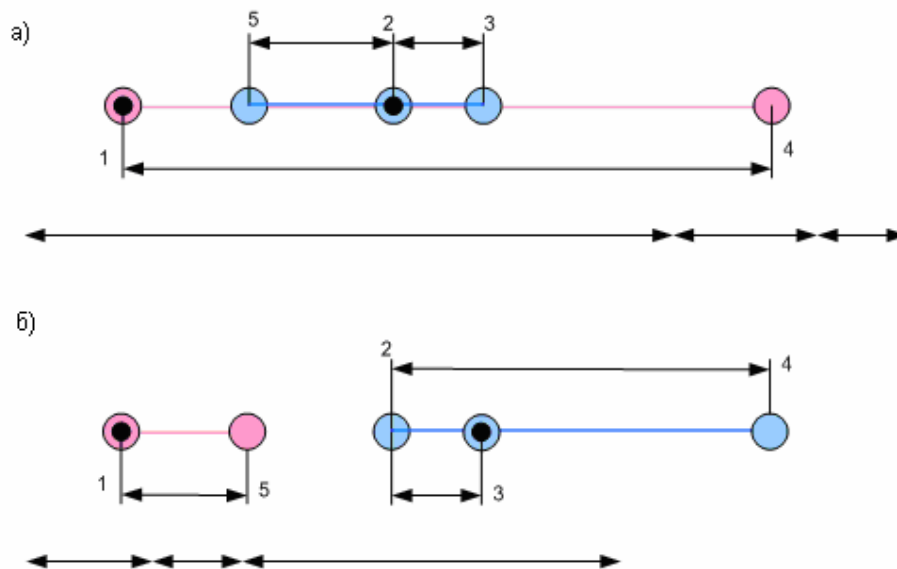


Рис. 17. Вариант перераспределения пяти точек двух групп и сравнение длин подключений к узловым точкам. В исходном состоянии 5 и 3 сигналы синей группы подключены к 2 узлу, а сигнал 4 разорванной красной группы подключен к 1 узлу, фрагмент а). Для устранения разрыва группы обменялись точками: 5 точка синей группы передана красной группе, а 4 точка красной группы передана синей, фрагмент б). Общая длина связей уменьшилась.

Алгоритм устранения разрывов групп должен проверять наличие разрывов во всех направлениях. Алгоритм включает следующие шаги.

1. Поиск точек, которые ближе к чужому узлу чем к собственному.
2. Найденные точки и узлы заносятся в список данных для перестыковки.
3. Программа перестыковки по списку обменивает точки двух групп. Сначала вычисленные точки присоединяются к новой группе. Затем, избыточные точки увеличенной группы возвращается группе устраняемого разрыва (группа содержит избыточные точки если ее размер больше количества портов модуля). Если избыточных точек нет, то из увеличенной группы возвращаются только те точки, которые ближе к узлу группы устраняемого разрыва, чем к собственному узлу.

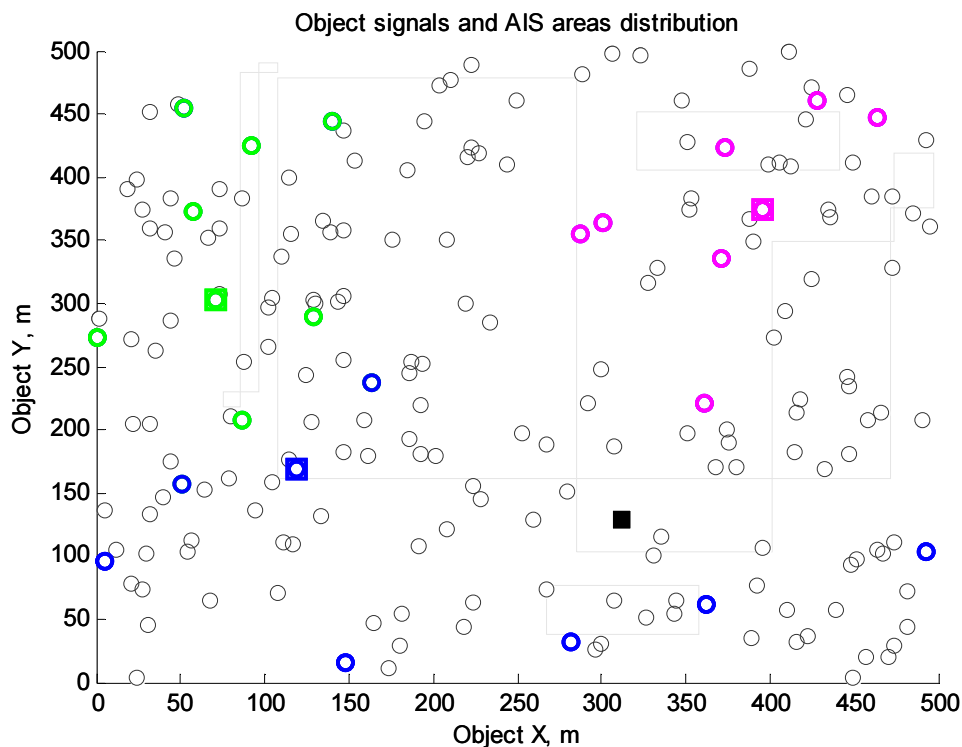


Рис. 18. Устранение разрыва группы (Рис. 9).

Результат работы алгоритма с переносом точек “разорванной” группы (Рис. 9) показан на Рис. 18. Зеленая и синяя группа обменялись точками. Две точки синей группы (в левом верхнем углу (Рис. 9) вошли в состав зеленой группы и две избыточные точки (нижние точки) зеленой группы отданы синей группе.

Исходные номера точек 3 групп:

22	7	12	24	4	18	20	8
21	5	15	10	9	2	6	19
13	3	23	1	11	16	14	17

Исходные X координаты 3 групп:

395.3000	371.5000	372.9000	301.2000	428.3000	287.1000	464.1000	360.5000
70.6000	128.4000	57.6000	0.4000	86.2000	91.6000	163.6000	50.4000
118.5000	148.0000	4.9000	140.4000	282.2000	362.3000	51.8000	492.5000

Исходные Y координаты 3 групп:

374.3000	335.4000	424.0000	364.5000	461.3000	355.5000	446.5000	221.6000
302.3000	289.1000	372.2000	273.3000	208.0000	425.5000	237.3000	156.9000
168.8000	15.6000	96.7000	444.2000	32.5000	61.1000	454.3000	104.1000

Результат перестановки точек:

22	7	12	24	4	18	20	8
21	5	15	10	9	2	1	14
13	3	23	6	11	16	19	17

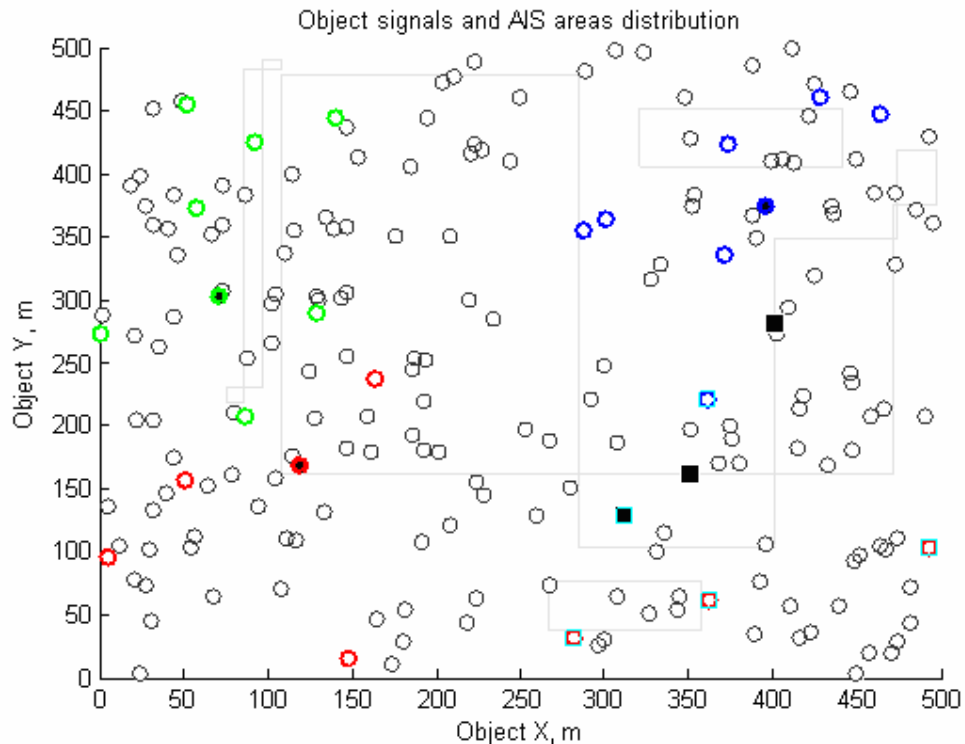


Рис. 19. Результат алгоритма перераспределения точек между узлами модульных групп и свободными портами станций после выполнения устранения разрыва групп.

Результат перераспределения сигнальных точек компактных групп (Рис. 18) между узлами групп и свободными портами станций показан на Рис. 19. Нижняя станция (черный квадрат в сиреновом обрамлении), имеющая четыре свободных порта, захватила три точки красной группы (красные круги в сиреновых квадратах) и одну точку синей группы (синий круг в сиреновом квадрате)

5 УЧЕТ СТОИМОСТИ ПРИСОЕДИНЕНИЯ СИГНАЛА К ГРУППЕ

При формировании групп сигналов необходимо учитывать стоимость присоединения сигналов к группе. Если стоимость кабеля удаленного сигнала превышает стоимость станции с контроллером, то для такого сигнала дешевле поставить собственную станцию, чем подключать сигнал к свободному порту модуля установленной станции.

На Рис. 20 показаны линии равного уровня интеграла Рис. 6 – роста стоимости подключений от количества числа подключений ближайших сигналов. По расположению линий можно увидеть размеры групп одинаковой стоимости подключения к узловым точкам.

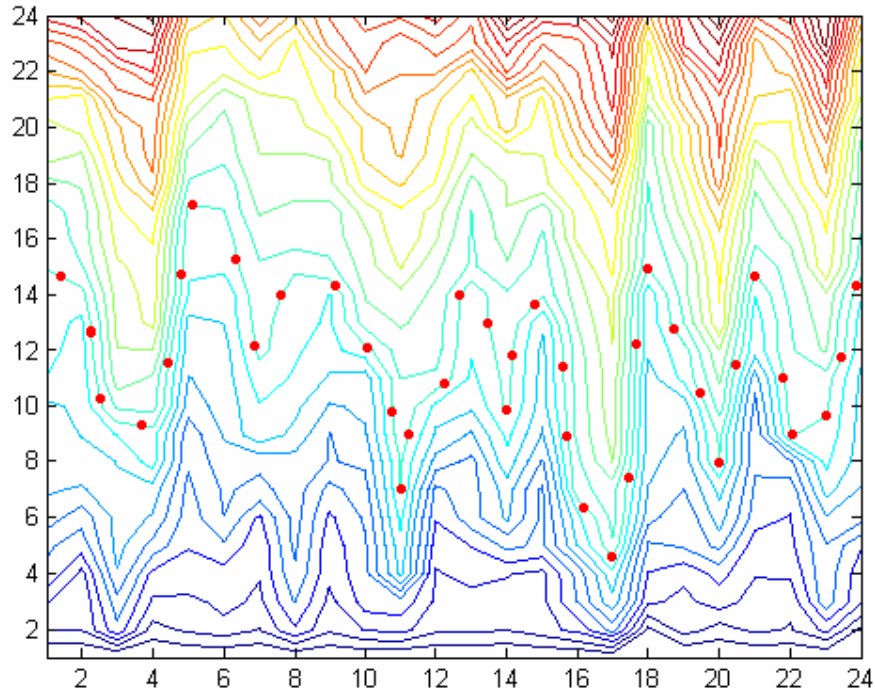


Рис. 20. Линии равного уровня суммарных стоимостей подключения ближайших сигналов для всех возможных 24 узловых точек.

Предположим, что 10 контур (выделен красными точками) соответствует предельной стоимости (длине) подключения сигналов к одному восьмипортовому модулю. Тогда, к модулям групп N11, N16 и N17 можно подключить не более 7, 7 и 5 сигналов соответственно. Остальные группы могут заполнять все 8 портов модулей.

Результат работы алгоритма разбиения сигналов на группы с учетом стоимости присоединения показан на Рис. 21. В этом примере группы образуют сигналы удаленные от узла не более, чем на 100 у.м.

Без учета ограничения на длину связей исходные сигналы были разбиты на три следующие группы по 8 сигналов.

```

22  7  12  24  4  18  20  8
21  5  15  10  9  2  6  19
13  3  23  1  11  16  14  17

```

При ограничении на длину связей 100 у.м, исходная группа из 24 сигналов разделилась на 15 следующих подгрупп.

```

n_mdl =
22  7  12  0  0  0  0  0
21  5  15  0  0  0  0  0
9  13  19  0  0  0  0  0
24  18  0  0  0  0  0  0
6  0  0  0  0  0  0  0
1  2  0  0  0  0  0  0
16  0  0  0  0  0  0  0
8  0  0  0  0  0  0  0
11  0  0  0  0  0  0  0
10  0  0  0  0  0  0  0
4  20  0  0  0  0  0  0
23  0  0  0  0  0  0  0
3  0  0  0  0  0  0  0

```

14	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0

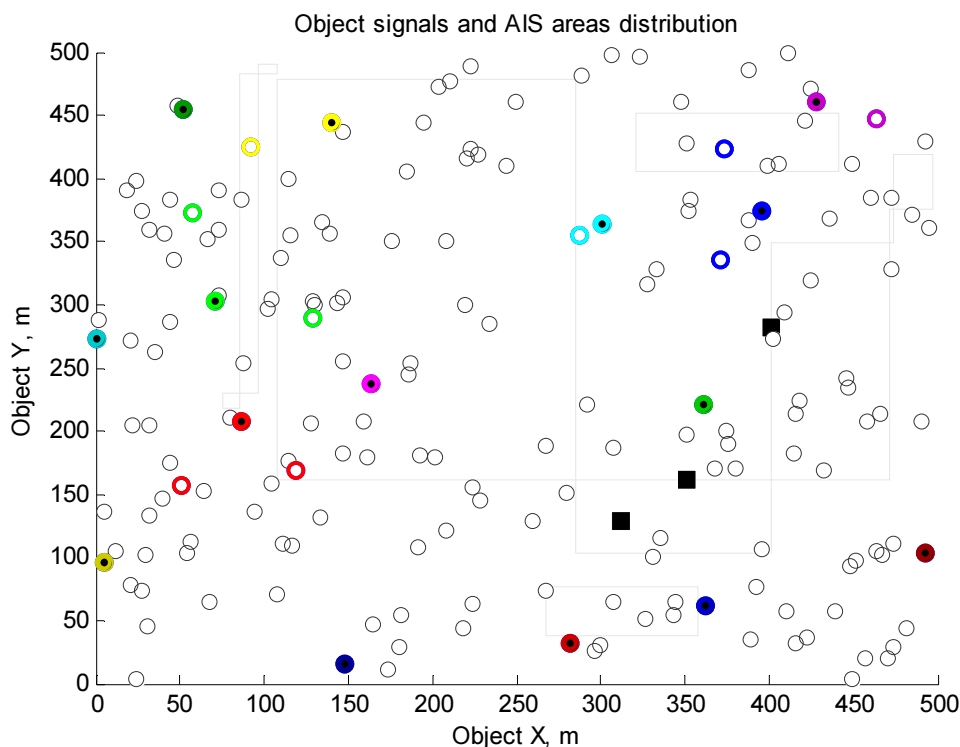


Рис. 21. Разбиение сигналов на группы с учетом стоимости присоединения сигналов. Группы создают сигналы удаленные от узла не более, чем на 100 у.м.

6 ОБЪЕДИНЕНИЕ МОДУЛЕЙ В СТАНЦИИ

После разбиения сигналов на группы подключения к модулям САУ и нахождения оптимальных координат модулей (узловых точек групп) необходимо полученные модули разбить на группы с учетом ёмкости станций. Для группирования модулей в контроллеры станций могут использоваться алгоритмы группирования сигналов.

Как и при группировании сигналов на первом этапе объединения модулей в станции составляется матрица стоимости – расстояний между всеми модулями. Стоимость объединения учитывает стоимость сигнального кабеля на перемещение модулей в станции и на возможное перемещение станций до ближайших зон размещения.

6.1 Наложение ограничений на объединение модулей

Ниже в табличном и графическом виде показана последовательность расчета связей между модулями с учетом следующих ограничений.

- стоимости кабеля,
- количества сигнальных жил кабеля,
- расстояния от оптимального положения станции до ближайшей разрешенной зоны,

- стоимости модулей,
- максимального количества сигнальных модулей в контроллере
- ширины модулей и станций,
- стоимости и ширины процессорных модулей,
- стоимости станции без контроллера

Пример оптимального распределения 22 сигнальных модулей для их последующей сборки в станции САУ показан на Рис. 22. Цветом обозначены модули разного типа. Прямоугольные зоны – места размещения станций.

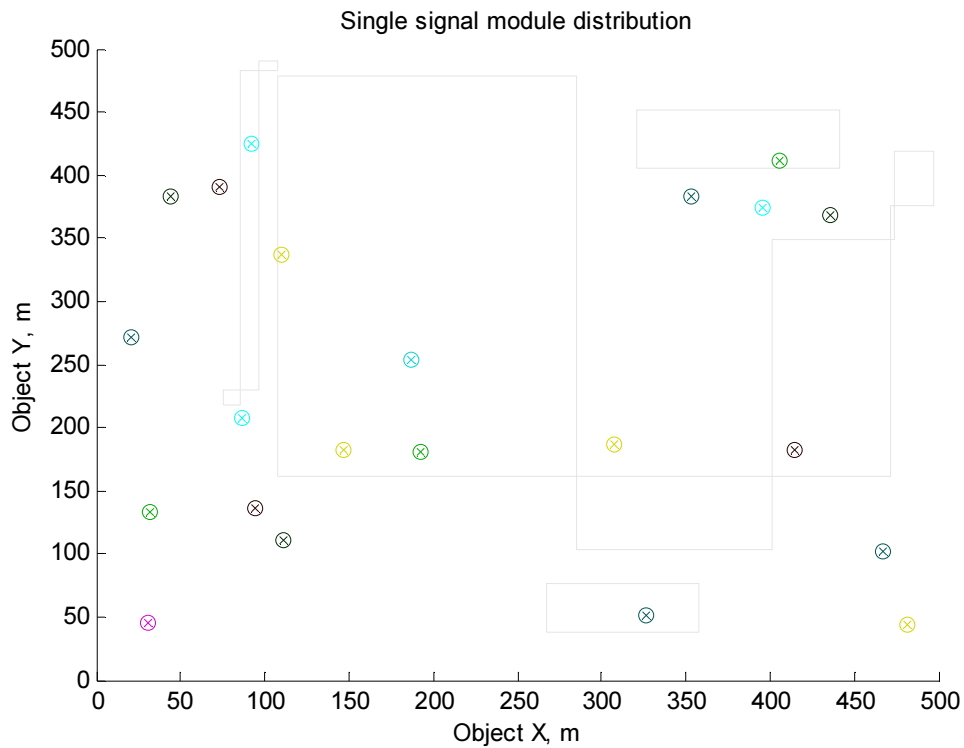


Рис. 22. Начальное распределение 22 модулей для проверки алгоритма сборки модулей в станции. Номера модулей можно найти на Рис. 23.

Длины связей между всеми модулями занесены в таблицу 22 x 22 фрагмент которой показан в Таблица 3. Номер строки соответствует номеру модуля, который подключается, номер столбца обозначает номер модуля где находится станция к которой подключаются модули.

Таблица 3. Расстояния между модулями.

0	475.4	354.9	328.3	693.9
475.4	0	222.9	147.1	218.5
354.9	222.9	0	267.2	441.4
328.3	147.1	267.2	0	365.6
693.9	218.5	441.4	365.6	0
416.5	559.3	771.4	504.2	452.6
322.9	152.5	107.2	160	371
439.5	85.9	298	111.2	254.4
274.9	242.5	454.6	187.4	419
396.1	133.1	345.2	78	297.8

47.2	522.6	328.5	375.5	741.1
604.6	129.2	352.1	276.3	89.3
391.1	396.9	609	341.8	302.8
51.2	441.4	303.7	294.3	659.9
343.3	486.1	698.2	431	493.4
478.1	129.1	225.6	184.2	235.8
46.9	509.1	401.8	362	727.6
547.6	121.8	333.9	219.3	146.3
360.3	217.5	89	272.6	352.4
339.2	196.4	52.9	251.5	388.5
210.4	353.2	565.3	298.1	521.3
538.2	79.8	291.9	209.9	155.7

Следующий вектор содержит расстояния от станций в точках расположения модулей до ближайших зон расположения станций рассматриваемого примера. Нулевые расстояния принадлежат станциям расположенным внутри разрешенных зон.

extr_price =

Columns 1 through 6	30.4	9.9	0	0	193.8	123.5
Columns 7 through 12	0	0	22.4	0	0	104.5
Columns 13 through 18	0	22.5	59.4	65.3	18.3	50.8
Columns 19 through 22	41.2	12.6				

Графическое отображение данных вектора показано на Рис. 23. Точки с нулевыми значениями находятся внутри зон размещения станций: всего 7 точек: [3 4 7 8 10 11 13]. В зависимости от относительного расположения пары точек, смещение точки до ближайшей зоны может, как увеличить, так и уменьшить расстояние между точками и, соответственно, стоимость подключения.

Данные Таблица 3 с учетом смещения модулей в станциях до ближайших зон размещения станций показаны в Таблица 4. В диагонали таблицы находятся значения смещений. Для модулей расположенных вне зон размещения станций смещение больше нуля, для точек внутри зон размещения станций смещение равно нулю (Рис. 23).

Таблица 4. Расстояния между модулями с учетом расстояний до зон размещения станций.

30.4	466.7	354.9	328.3	500.1
456	9.9	222.9	147.1	67.7
385.3	214.2	0	267.2	279.8
308.9	138.4	267.2	0	171.8
674.5	227.2	441.4	365.6	193.8
386.1	569.2	771.4	504.2	491.6
303.5	143.8	107.2	160	177.2
420.1	95.8	298	111.2	60.6
255.5	252.4	454.6	187.4	225.2
376.7	143	345.2	78	104
66.6	513.9	328.5	375.5	547.3
585.2	137.9	352.1	276.3	104.5

371.7	406.8	609	341.8	329.2
81.6	432.7	303.7	294.3	466.1
312.9	496	698.2	431	418.4
458.7	119.2	225.6	184.2	196.8
53.1	500.4	401.8	362	533.8
528.2	131.7	333.9	219.3	54.1
390.7	207.6	89	272.6	285.2
369.6	186.5	52.9	251.5	264.1
180	363.1	565.3	298.1	327.5
518.8	89.7	291.9	209.9	38.1

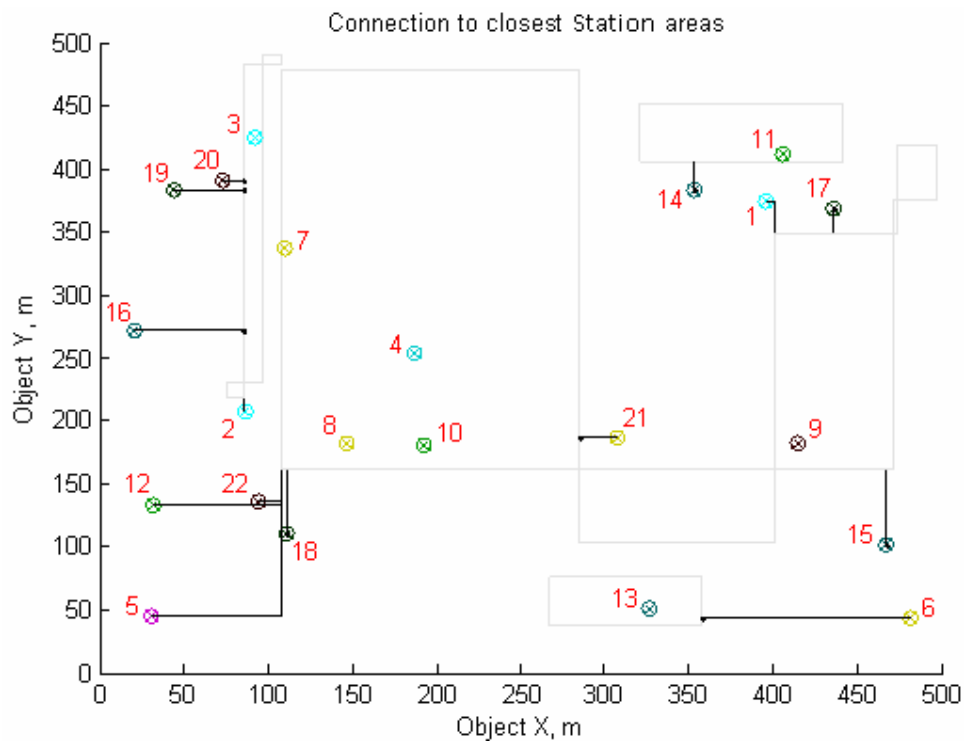


Рис. 23. Номера точек и ближайшие расстояния от модулей до зон размещения станций.

Для учета стоимости кабеля составляется табличная функция зависимости стоимости кабеля от типа сигнала. Пример 6 ценовых категорий кабеля для 33 стандартных сигналов модулей серии S7 1200 компании Siemens приведен ниже.

`cable_price_array(1:33): =`

Columns 1 through 6	1.0000	1.7000	1.7000	1.0000	1.0000	2.0000
Columns 7 through 12	1.2000	2.0000	2.0000	1.8000	1.8000	2.5000
Columns 13 through 18	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000
Columns 19 through 24	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000
Columns 25 through 30	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000
Columns 31 through 33	2.5000	2.0000	2.0000			

Данные распределения ценовых категорий кабеля с учетом типов подключаемых модулей приведены в Таблица 5.

Таблица 5. Цена сигнального кабеля используемого для перемещения модулей в станции (фрагмент)

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2

Стоимость кабеля модуля зависит не только от стоимости сигнального кабеля, но и от количества сигнальных жил.

Количество сигналов подключенных к 22 модулям рассматриваемого примера следующее.

mdl_sgnls =

Columns 1 through 10	7	8	5	11	6	4	4	4	3	8
Columns 11 through 20	7	6	4	4	3	3	8	7	5	8
Columns 21 through 22	7	3								

Фрагмент распределения количества жил кабеля с учетом типов подключаемых модулей приведено в Таблица 6.

Таблица 6. Количество жил кабеля – сигналов, подключенных к модулям (фрагмент).

7	7	7	7	7
8	8	8	8	8
5	5	5	5	5
11	11	11	11	11
6	6	6	6	6
4	4	4	4	4

4	4	4	4	4
4	4	4	4	4
3	3	3	3	3
8	8	8	8	8
7	7	7	7	7
6	6	6	6	6
4	4	4	4	4
4	4	4	4	4
3	3	3	3	3
3	3	3	3	3
8	8	8	8	8
7	7	7	7	7
5	5	5	5	5
8	8	8	8	8
7	7	7	7	7
3	3	3	3	3

Поэлементное производство длины связи (данные Таблица 4) на цену жилы кабеля (Таблица 5) и на количество жил кабеля (Таблица 6) дает стоимость связей модулей. Например, кабель для установки 5 модуля в станцию, расположенную зоне 2 модуля, стоит $227.2 \text{ у.м} * 6 \text{ (жил)} * 1.8 \text{ у.е /м} = 2453.76 \text{ у.е}$, тогда как установка 2 модуля в станцию на месте 5 модуля стоит $67.7 \text{ м} * 8 \text{ (жил)} * 1 \text{ у.е /м} = 541.6 \text{ у.е}$. Результат вычисления стоимости связей модулей показан в Таблица 7.

Таблица 7. Стоимость подключений модулей с учетом числа жил кабеля, стоимости кабеля, расстояния между модулями и смещения точек подключений до ближайших зон станций (фрагмент).

212.8	3266.9	2484.3	2298.1	3500.7
3648	79.2	1783.2	1176.8	541.6
1926.5	1071	0	1336	1399
6116.22	2740.32	5290.56	0	3401.64
7284.6	2453.76	4767.12	3948.48	2093.04
3861	5692	7714	5042	4916
3035	1438	1072	1600	1772
4201	958	2980	1112	606
1916.25	1893	3409.5	1405.5	1689
7534	2860	6904	1560	2080
1165.5	8993.25	5748.75	6571.25	9577.75
8778	2068.5	5281.5	4144.5	1567.5
3717	4068	6090	3418	3292
816	4327	3037	2943	4661
2346.75	3720	5236.5	3232.5	3138
3440.25	894	1692	1381.5	1476

849.6	8006.4	6428.8	5792	8540.8
7394.8	1843.8	4674.6	3070.2	757.4
3907	2076	890	2726	2852
5913.6	2984	846.4	4024	4225.6
2520	5083.4	7914.2	4173.4	4585
3112.8	538.2	1751.4	1259.4	228.6

Следующий вектор содержит минимальные ширины 22 модулей (в мм) имеющих требуемое количество портов. Эти модули выбраны с учетом минимальной стоимости среди однотипных модулей семейства S7 1200 компании Siemens.

mdl_width =

Columns 1 through 10	45	45	45	45	70	45	45	45	45	45
Columns 11 through 20	45	45	45	45	45	45	70	70	70	45
Columns 21 through 22	45	45								

Отсортированные стоимости перемещений модулей в станции (длины сигнальных кабелей) и соответствующие номера модулей показаны в Таблица 8 и

Таблица 9. Суммируя n верхних ячеек колонок Таблица 8 можно вычислить стоимость включения в станцию ближайших n модулей и найти номера этих модулей в соответствующих ячейках

Таблица 9.

Таблица 8. Отсортированные значения длин подключений (фрагмент)

212.8	79.2	0	0	228.6
816	538.2	846.4	1112	541.6
849.6	894	890	1176.8	606
1165.5	958	1072	1259.4	757.4
1916.25	1071	1692	1336	1399
1926.5	1438	1751.4	1381.5	1476
2346.75	1843.8	1783.2	1405.5	1567.5
2520	1893	2484.3	1560	1689
3035	2068.5	2980	1600	1772
3112.8	2076	3037	2298.1	2080
3440.25	2453.76	3409.5	2726	2093.04
3648	2740.32	4674.6	2943	2852
3717	2860	4767.12	3070.2	3138
3861	2984	5236.5	3232.5	3292
3907	3266.9	5281.5	3418	3401.64
4201	3720	5290.56	3948.48	3500.7
5913.6	4068	5748.75	4024	4225.6
6116.22	4327	6090	4144.5	4585
7284.6	5083.4	6428.8	4173.4	4661
7394.8	5692	6904	5042	4916
7534	8006.4	7714	5792	8540.8

8778 8993.25 7914.2 6571.25 9577.75

Таблица 9. Отсортированные номера модулей (фрагмент)

1	2	3	4	22
14	22	20	8	2
17	16	19	2	8
11	8	7	22	18
9	3	16	3	3
3	7	22	16	16
15	18	2	9	12
21	9	1	10	9
7	12	8	7	7
22	19	14	1	10
16	5	9	19	5
2	4	18	14	19
13	10	5	18	15
6	20	15	15	13
19	1	12	13	4
8	15	4	5	1
20	13	11	20	20
4	14	13	12	21
5	21	17	21	14
18	6	10	6	6
10	17	6	17	17
12	11	21	11	11

Поскольку к одному процессору S7 1200 серии можно подключить не более восьми сигнальных модулей, для определения максимальной ширины сигнальных модулей контроллеров необходимо просуммировать первые восемь строк таблицы.

Ширина отсортированных модулей и максимальная ширина модулей контроллера (фрагмент матрицы 8 модулей x 22 станции):

Таблица 10. Ширины модулей и ширина системных модулей станций (фрагмент). Получены с использованием таблицы номеров модулей (

Таблица 9) и вектора mdl_width.

45	45	45	45	45
45	45	45	45	45
70	45	70	45	45
45	45	45	45	70
45	45	45	45	45
45	45	45	45	45

45	70	45	45	45
45	45	45	45	45
385	385	385	360	385

Ширина процессорного модуля серии S7 1200 минимальной стоимости для подключения 8 сигнальных модулей равна 100 мм. Ширина контроллера, включающего процессорный модуль и от 1 до 8 сигнальных модулей (см. ширину модулей в Таблица 10) показана построчно в Таблица 11.

Таблица 11. Зависимость ширины 5 контроллеров от количества подключаемых модулей (фрагмент)

145	145	145	145	145
190	190	190	190	190
260	235	260	235	235
305	280	305	280	305
350	325	350	325	350
395	370	395	370	395
440	440	440	415	440
485	485	485	460	485

По табличной функциональной зависимости ширины контроллера от количества модулей (Таблица 11) можно установить сколько модулей можно включить в состав контроллера чтобы не превысить его максимальный размер. Например, если максимальный размер контроллера не должен превышать 380 мм, то контроллеры пяти станций (Таблица 11) должны иметь не более:

5 6 5 6 5

сигнальных модулей.

Зависимость количества сигнальных модулей контроллеров и общей стоимости подключений от номера станций рассматриваемого примера показана на Рис. 24. Количество модулей ограничено максимальной стоимостью одного подключения (1500 у.е.) и предельной шириной контроллеров 380 мм. Стоимость подключений показана в Таблица 8, предельная ширина контроллеров – в Таблица 11. Так, контроллер первой станции имеет четыре сигнальных модуля, общая стоимость подключений к ним равна 3043.9 у.е., контроллер четвертой станции имеет шесть сигнальных модулей и стоимость подключений к этим модулям составляет 6265.7 у.е.

Средняя стоимость подключений к станциям показана на Рис. 25. Сигнальные подключения к 6 станции самые дорогие, самые дешевые подключения – к станции N11.

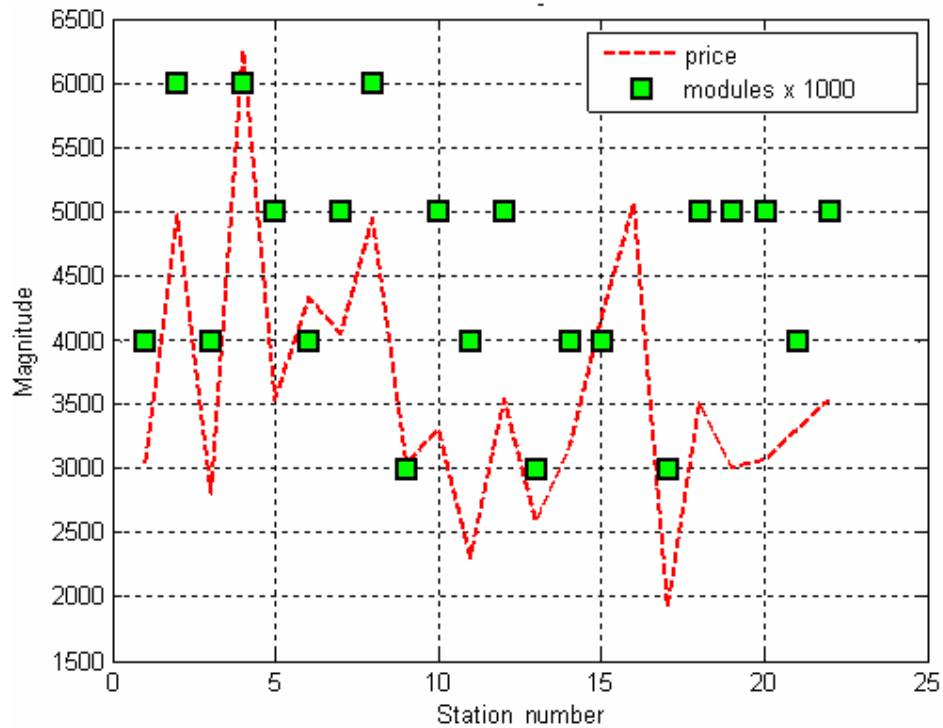


Рис. 24. Суммарная стоимость подключения ограниченных групп модулей для случая когда стоимость подключения одного модуля к группе не превышает 1500 у.е. и общая ширина CPU и модулей группы не более 380 мм.

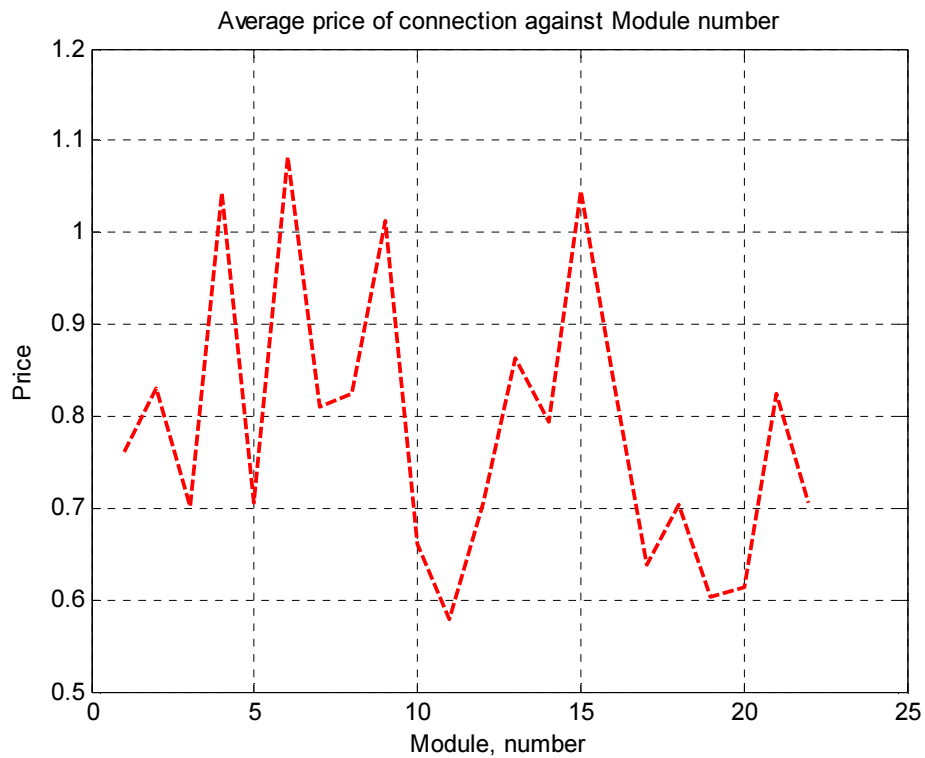


Рис. 25. Средняя стоимость подключения к сигнальному модулю станции - отношение. Наилучшее отношение имеет группа из 4 модулей контроллера 11 станции.

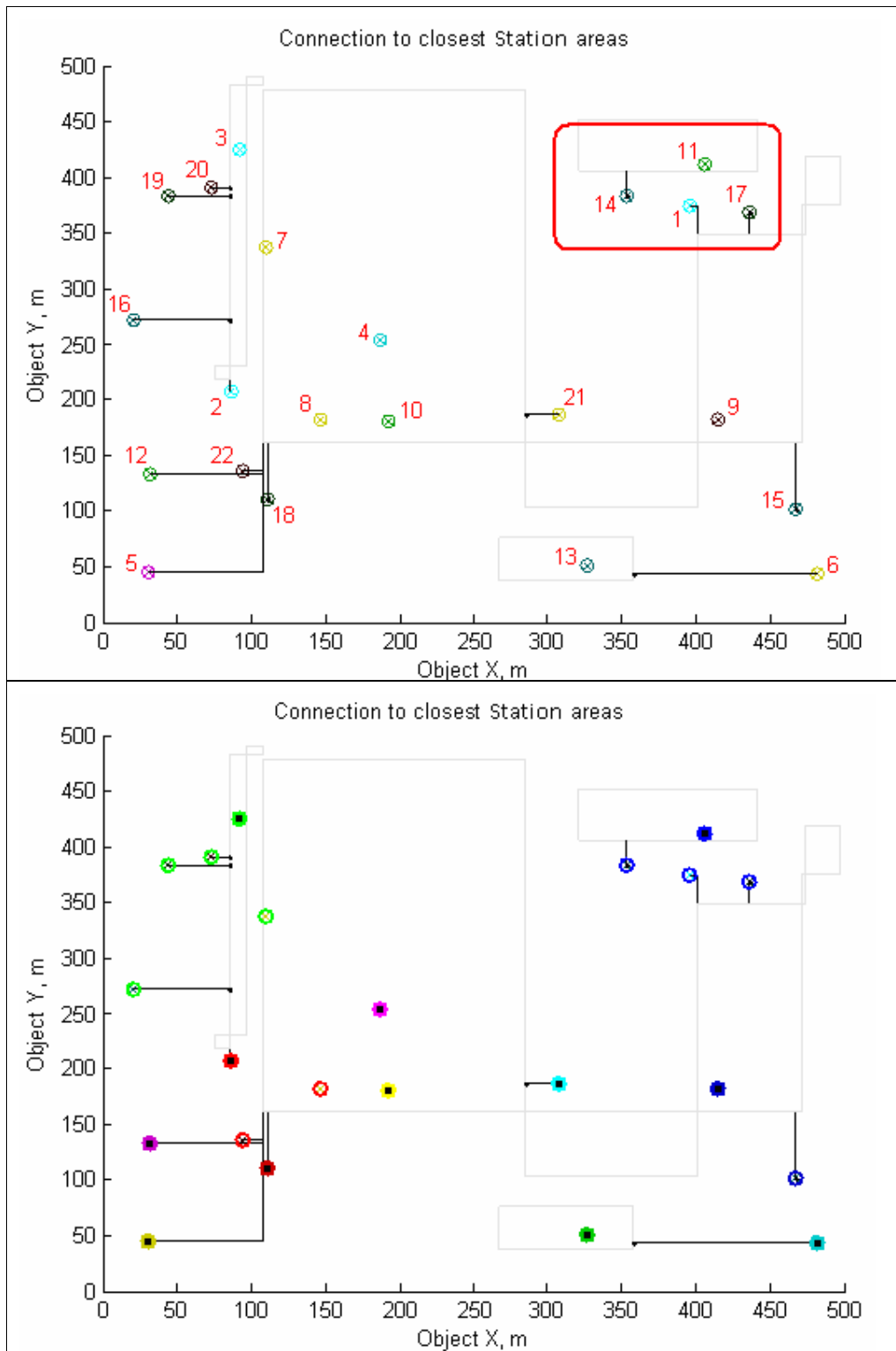


Рис. 26. Результат последовательного объединения модулей с ограничением по ширине станции и предельной стоимости подключения модуля.

Результат последовательного объединения модулей с ограничением по ширине станции и предельной стоимости подключения модуля рассматриваемого примера показан на Рис. 26. Каждая группа модулей станции обозначена своим цветом. Станция группы выделена черной точкой. Смещение модулей и станций в разрешенную зону показано линиями. Выделена группа N11 из четырех модулей [11 1 14 17] с наилучшей удельной ценой объединения модулей: Станция группы располагается в разрешенной зоне вблизи модуля N11.

Каждая строка Таблица 12 содержит номера модулей станции. Координаты станции совпадают с координатами модуля первого столбца.

Таблица 12. Распределение модулей по станциям с учетом ограничений по ширине и стоимости подключения.

11	1	14	17	0
3	20	19	7	16
2	22	8	0	0
9	0	0	0	0
4	0	0	0	0
10	0	0	0	0
21	15	0	0	0
13	0	0	0	0
18	0	0	0	0
6	0	0	0	0
12	0	0	0	0
5	0	0	0	0

В Таблица 12 выделена группа модулей [2, 22, 8] в которой модуль N2 является узловым, однако, Рис. 26 показывает, что модуль N8 находится в лучшей позиции для размещения станции. Для решения подобных противоречий необходимо после выборки группы с наилучшим отношением стоимости подключения выполнить поиск оптимального узла внутри группы.

Следующие таблицы отсортированных подключений группы [2, 22, 8] модулей в порядке возрастания

79.2	228.6	0
538.2	541.6	592.2
958	606	687.2

sum: 1575.4 1376.2 **1279.4**

и соответствующих распределений номеров модулей

2	22	8
22	2	22
8	8	2

показывают, что наименьшую длину связей (1279.4) имеет комбинация модулей [8, 22, 2] которые подключены к станции расположенной вблизи модуля N8.

Доработка алгоритма исправила обнаруженную ошибку. В результате доработки вместо группы модулей [2, 22, 8] выбрана группа [8, 22, 2] (см. Рис. 27).

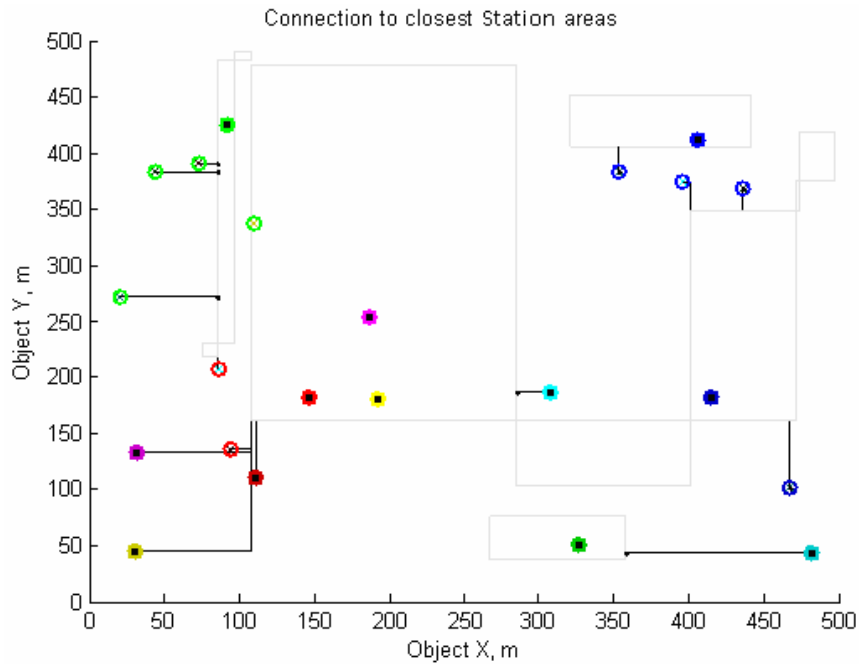


Рис. 27. Результат доработки алгоритма.

7 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

7.1 Тест генератора сигнального пространства объекта

Рис. 28 и Рис. 29 показывают примеры параметров объекта созданных генератором случайных чисел включая зоны разрешенного размещения станций и множества сигналов разного типа с радиальными и ортогональными связями с ближайшими зонами станций.

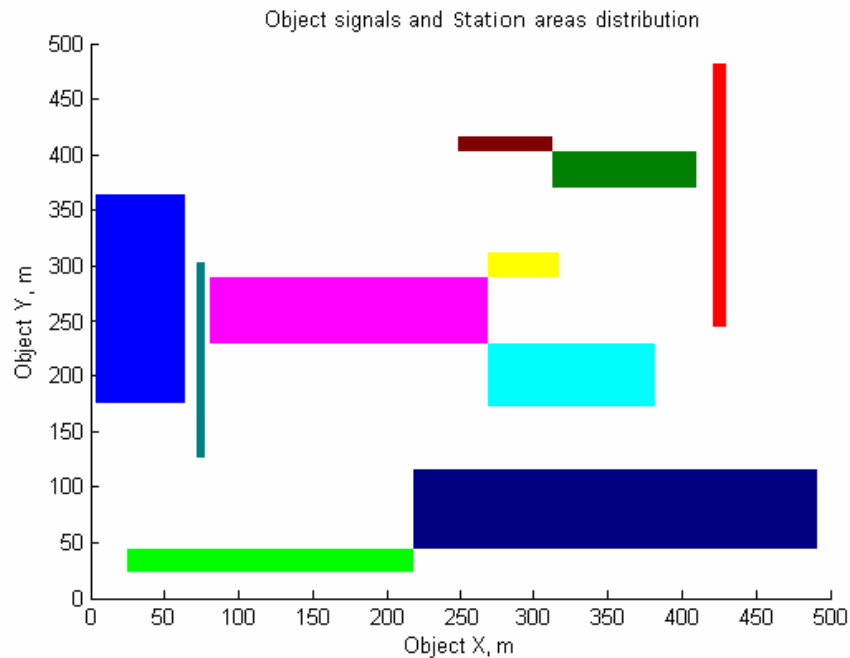


Рис. 28. Проверка работы генератора зон размещения станций.

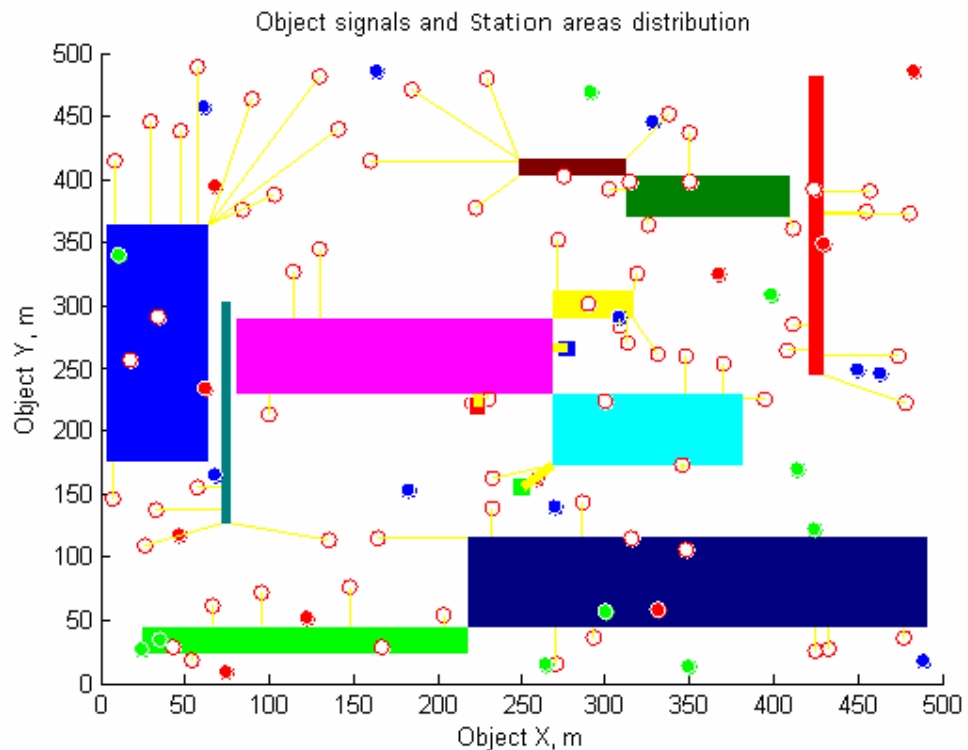
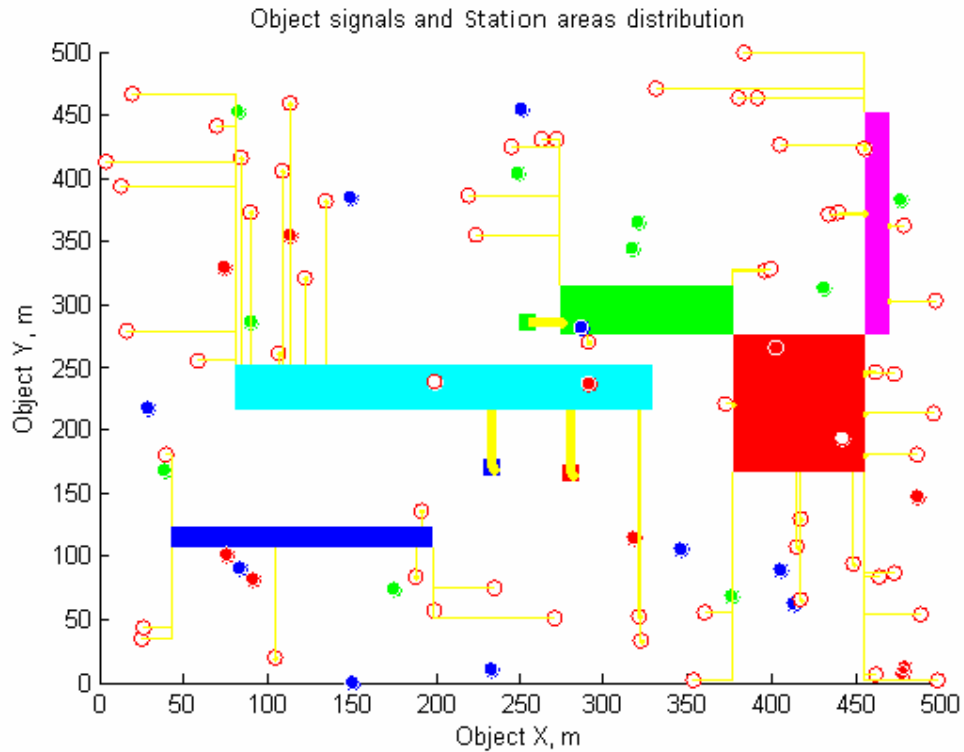


Рис. 29. Примеры отображения результата ортогональной (верхний рисунок) и радиальной (нижний рисунок) прокладки связей между сигнальными точками объекта и ближайшими зонами расположения станций.

Генератор сигнального пространства объекта случайным образом создает группы типовых сигналов объекта из всего многообразия стандартных и нестандартных сигналов

контроллеров серии S7 1200, присваивает сигналам геометрические и электрические параметры; формирует зону объекта и зоны возможного расположения станций; отображает сигналы и зоны станций в XY плоскости и сохраняет сигнальные и геометрические параметры объекта в электронных таблицах.

7.2 Тест распределения одиночных сигналов

Группирование распределенных одиночных сигналов объектов методом отбора наиболее компактных групп включает поиск “сгустков” сигналов с минимальными расстояниями для каждого типа сигналов. Количество сигналов в каждой группе не превышает максимальное количеству портов однотипного сигнального модуля. Программа также рассчитывает положение центров (узлов) групп, передает часть сигналов ближайшим станциям со свободными портами и устраняет разрывы групп.

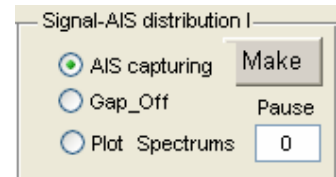
Начальные условия теста.

В зоне объекта 500 x 500 кв. м находятся 200 одиночных сигналов и три станции со свободными портами (Таблица 13). Данные (Рис. 30) сгенерированы случайным образом.

Таблица 13. Количество свободных портов 33 типов трех станций.

	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
8	0	0	4	0	0	5	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	10	0	0	7	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

Режимы тестирования и запуск теста устанавливаются через панель графического интерфейса метода синтеза САУ, в которой кнопки “AIS capturing” и “Gap_off” дополнительно к распределению одиночных сигналов включают режимы “передачи сигналов свободным портам станций” и “устранение разрывов групп” соответственно. Тестирование в установленном режиме запускается нажатием на кнопку Make. Взведенная кнопка “Plot Spectrum” включает графическое отображение спектра входных сигналов и свободных портов станций. “Pause” задает задержку (в секундах) между выводами графиков промежуточных и окончательного результатов.



Используемые УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- Черные круги с белым фоном – не подключенные сигналы (исходные данные).
- Синие круги с белым фоном – однотипные сигналы
- Цветные круги с белым фоном – однотипные сгруппированные сигналы подключаемые к одному модулю
- Цветные круги с черным фоном – узловое сигналы – центры групп в которых размещаются модули.
- Черные квадраты - станции
- Черные квадраты с цветной окантовкой – станция к которой подключены сигналы с квадратной окантовкой одноименного цвета.

Для наглядности, перед группированием сигналов следующего типа из общей совокупности сигналов исключаются сгруппированные сигналы подключенные к модулям.

Ниже показаны исходные состояния и результаты группирования сигналов 7, 14, 28 и 32 типов.

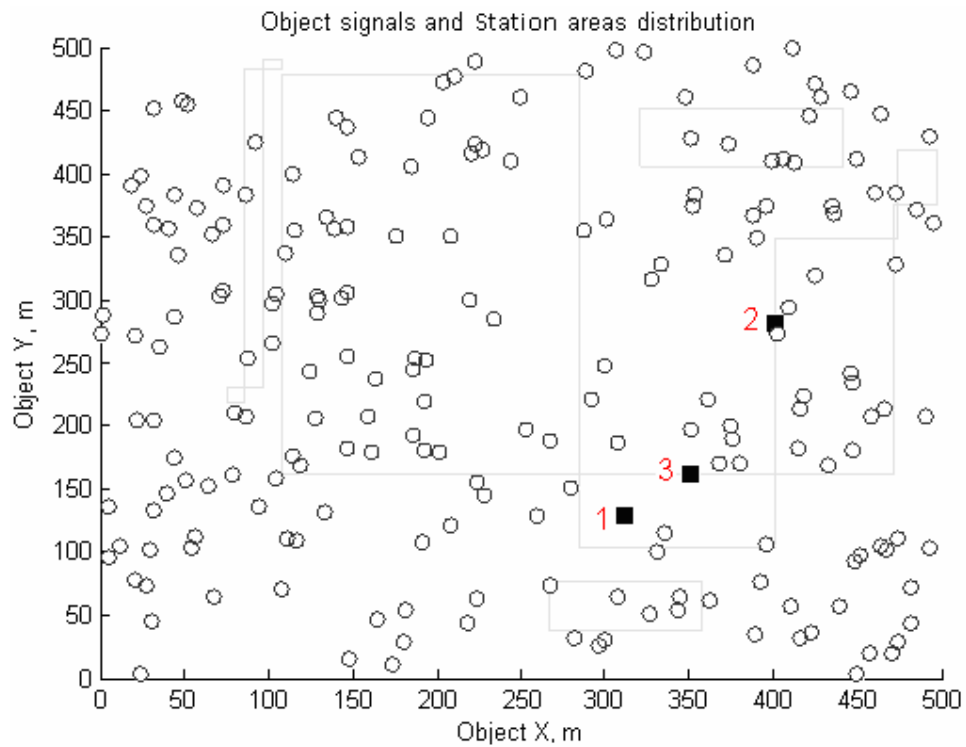


Рис. 30. Распределение сигналов в зоне объекта и положения трех станций для сигнальных групп. Исходное состояние получено генератором случайных чисел.

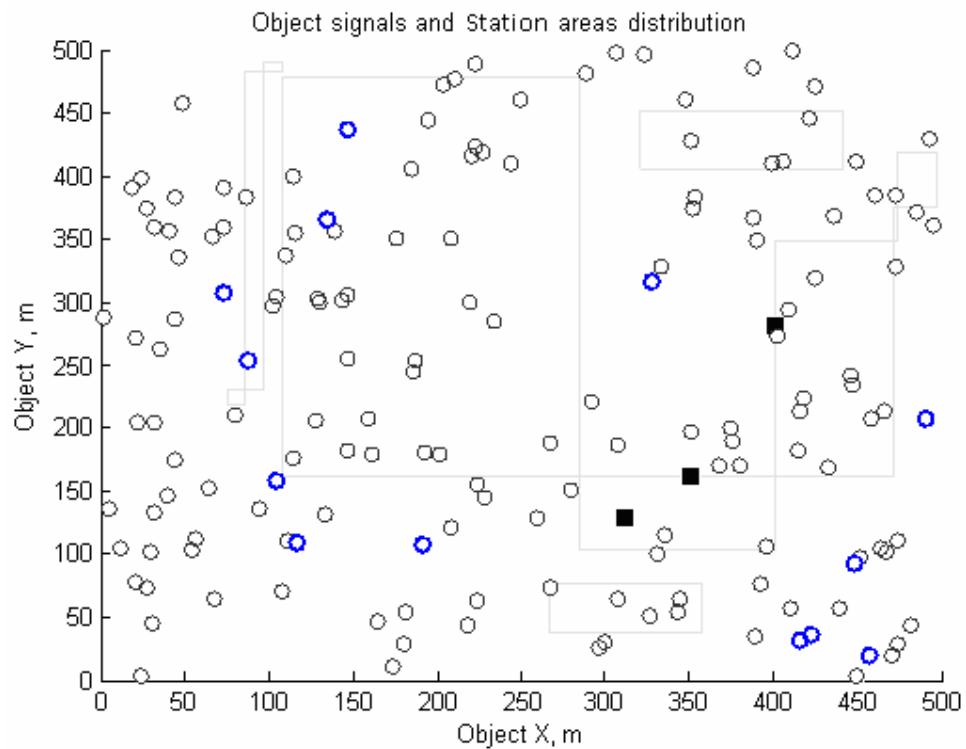


Рис. 31. Выделенные синим сигналы 7 типа.

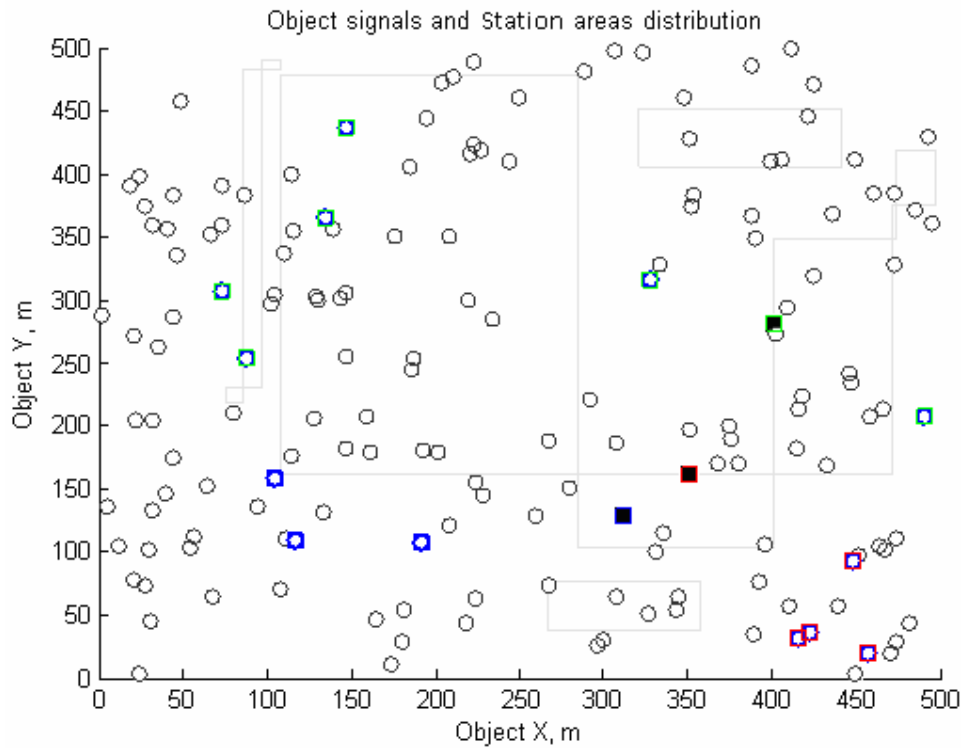


Рис. 32. Сгруппированные и перераспределенные сигналы 7 типа (цветные объекты). Свободные порты станции до подключения: [5 10 10]. Оставшиеся свободные порты после подключения: [2 4 6]. Все 13 сигналов 7 типа подключены к трём станциям.

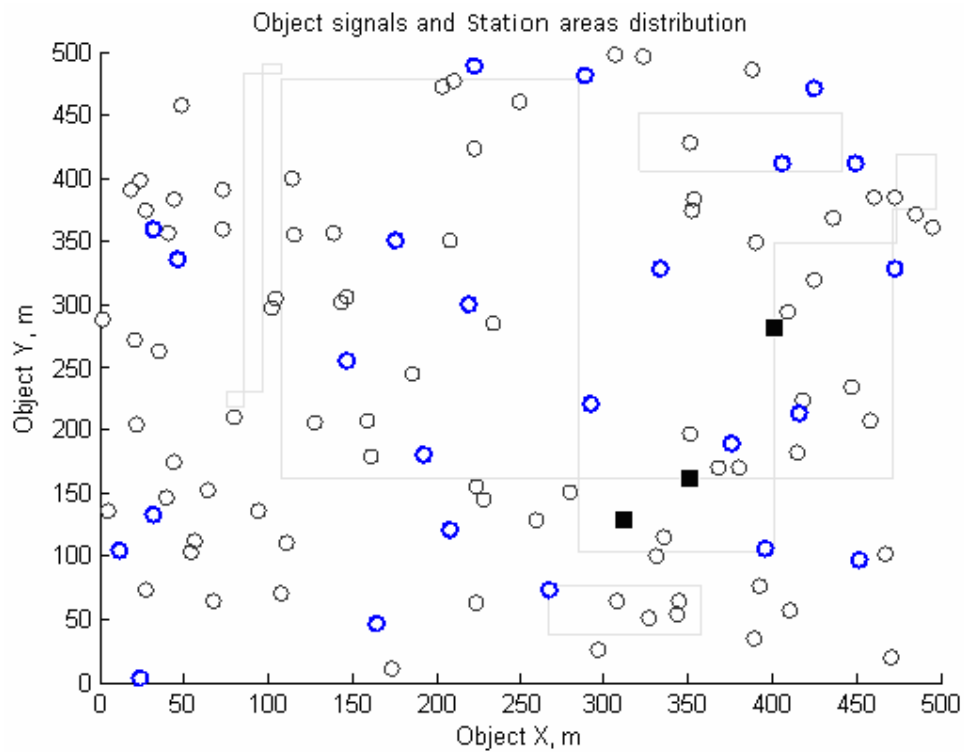
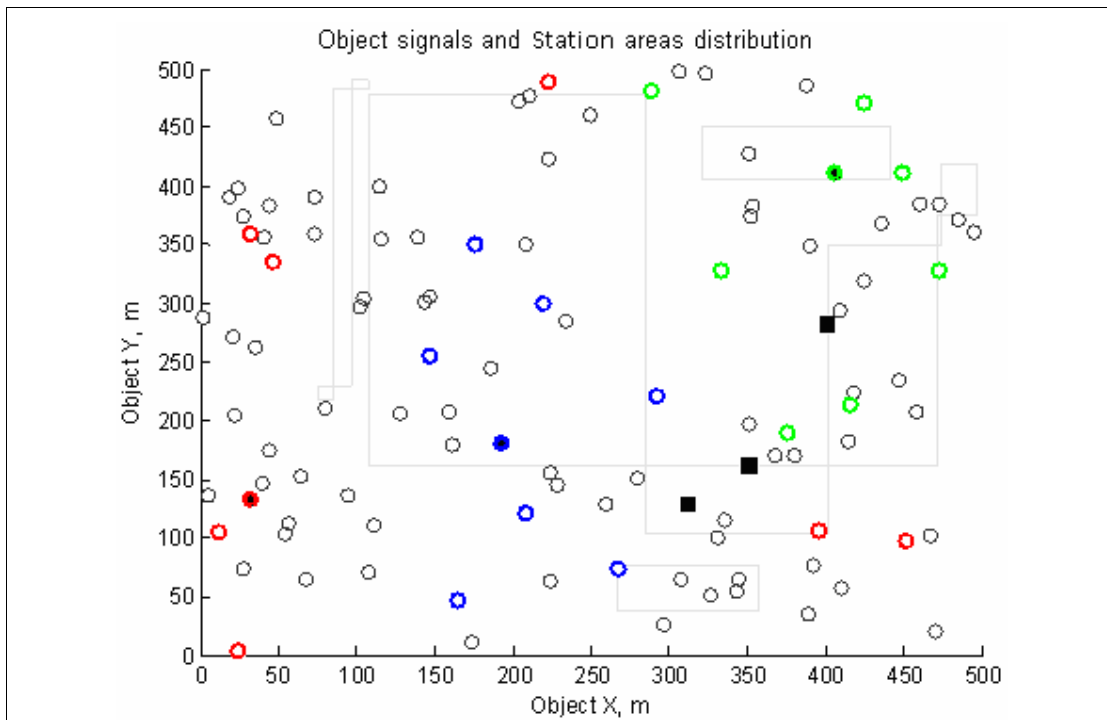
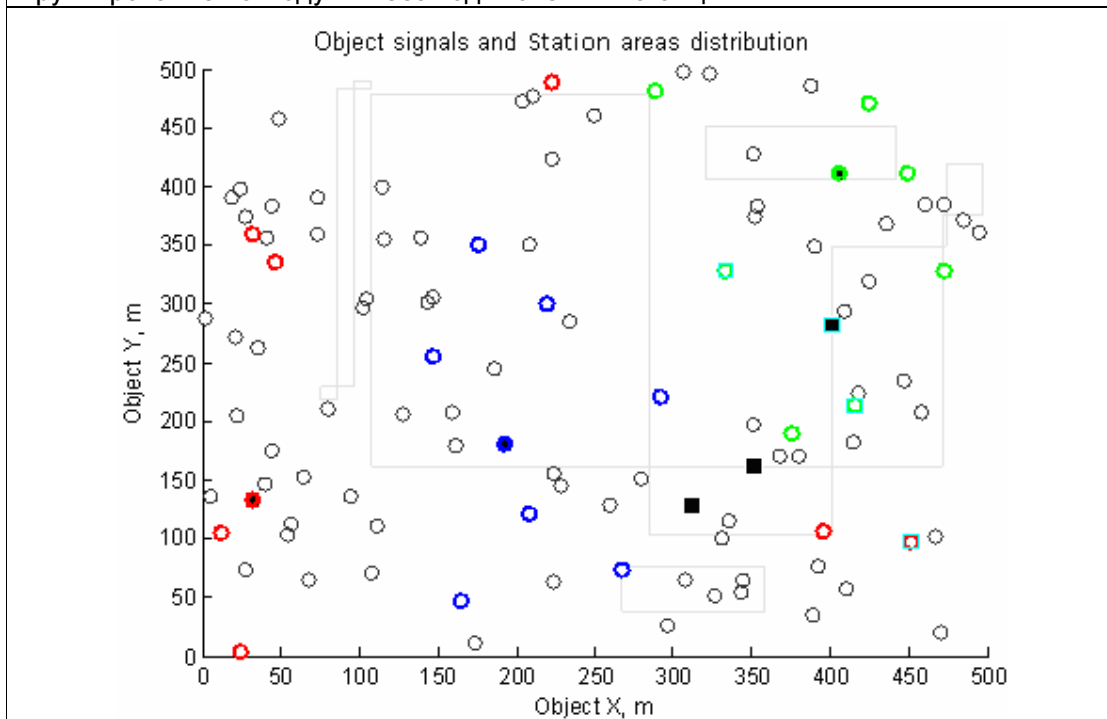


Рис. 33. Выделенные сигналы 14 типа.



Группирование по модулям без подключения к станциям



Результат перераспределения между узлами групп и свободными портами станций.

Рис. 34. Сигналы 14 типа (цветные фигуры). Свободные порты станций до подключения [0 3 0]. После перераспределения сигналов свободных портов не осталось. 21 сигнал подключен к трём модулям, 3 сигнала подключены ко второй станции.

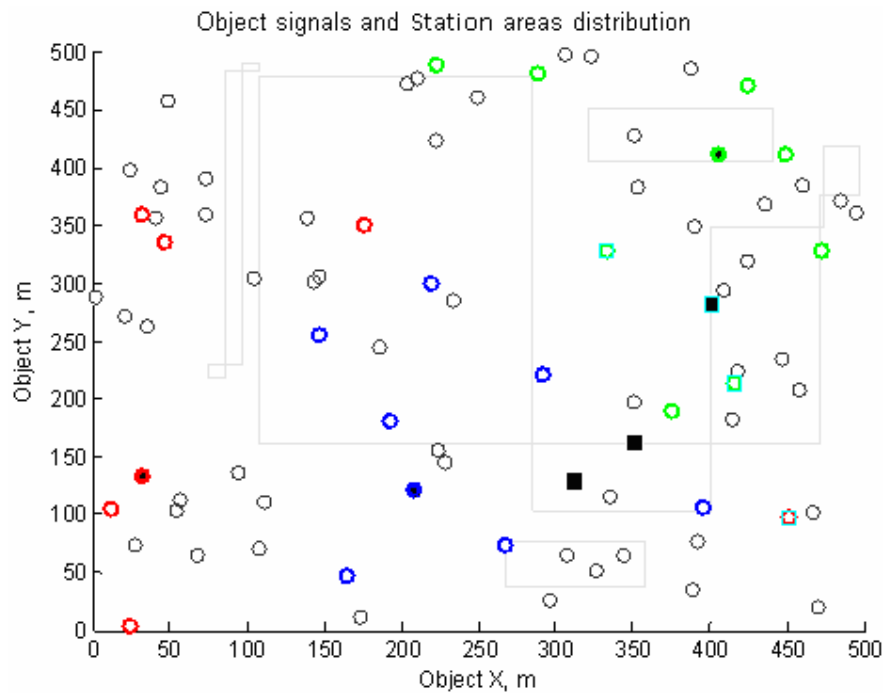


Рис. 35. Сигналы N14 типа (цветные фигуры) после устранения разрыва красной группы.

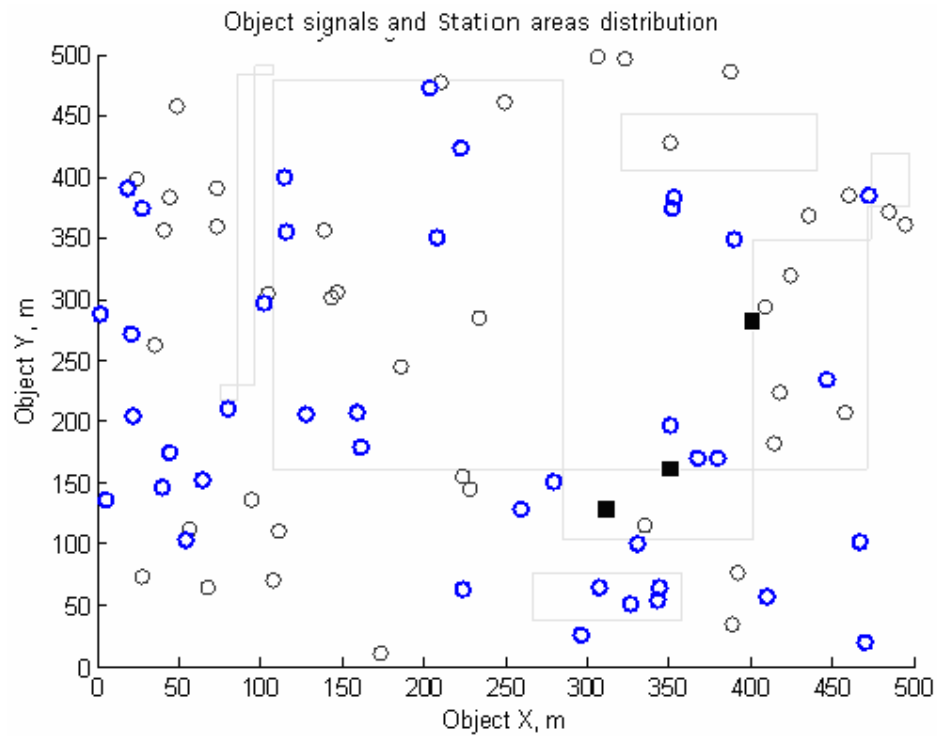
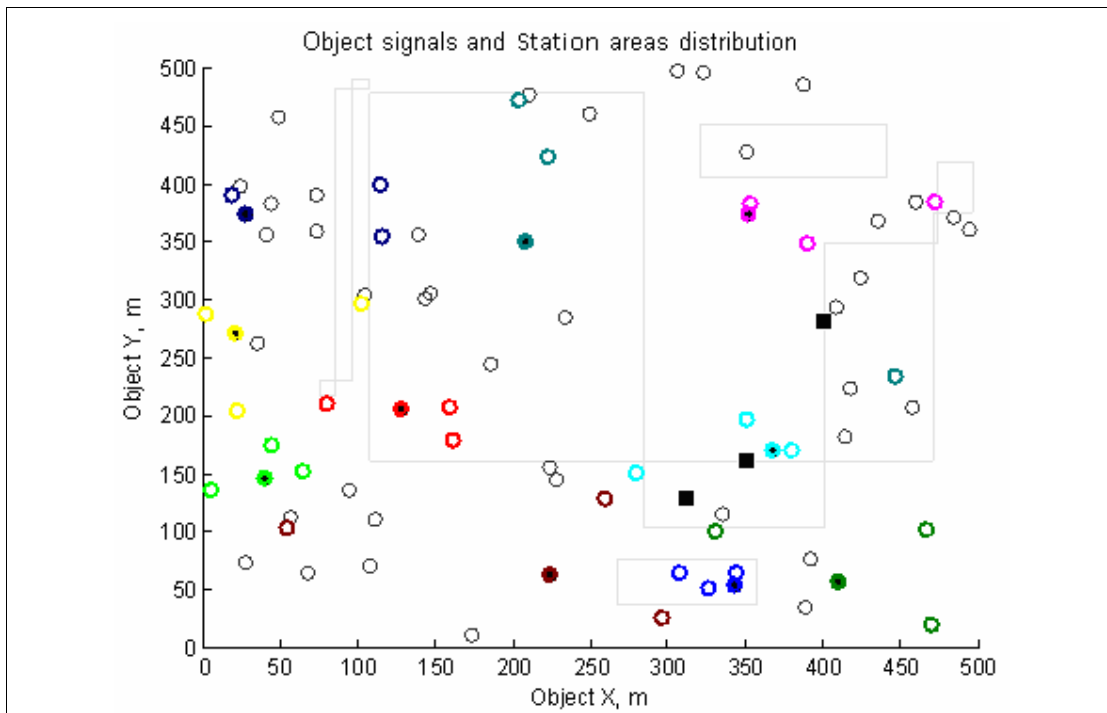
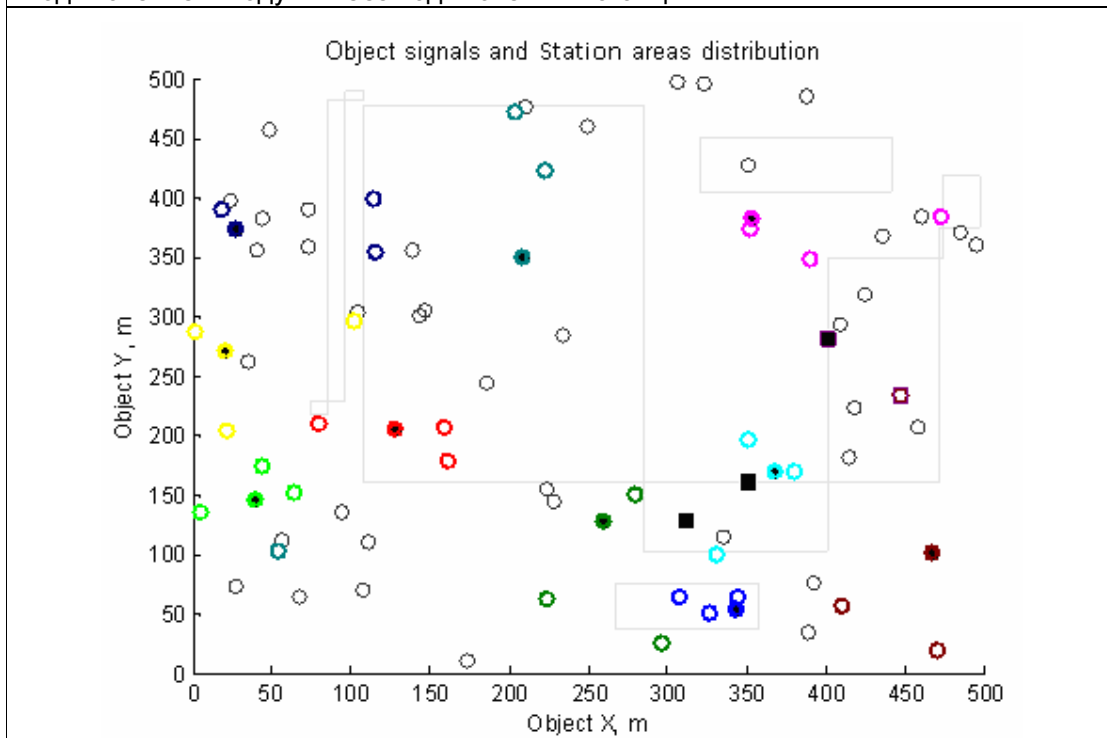


Рис. 36. Исходное состояние перед подключением сигналов 28 типа: “Аналоговый вывод 14 бит”.



Подключение к модулям без подключения к станциям



Подключение к модулям и станциям

Рис. 37. Группирование и подключение сигналов 28 типа (цветные объекты).

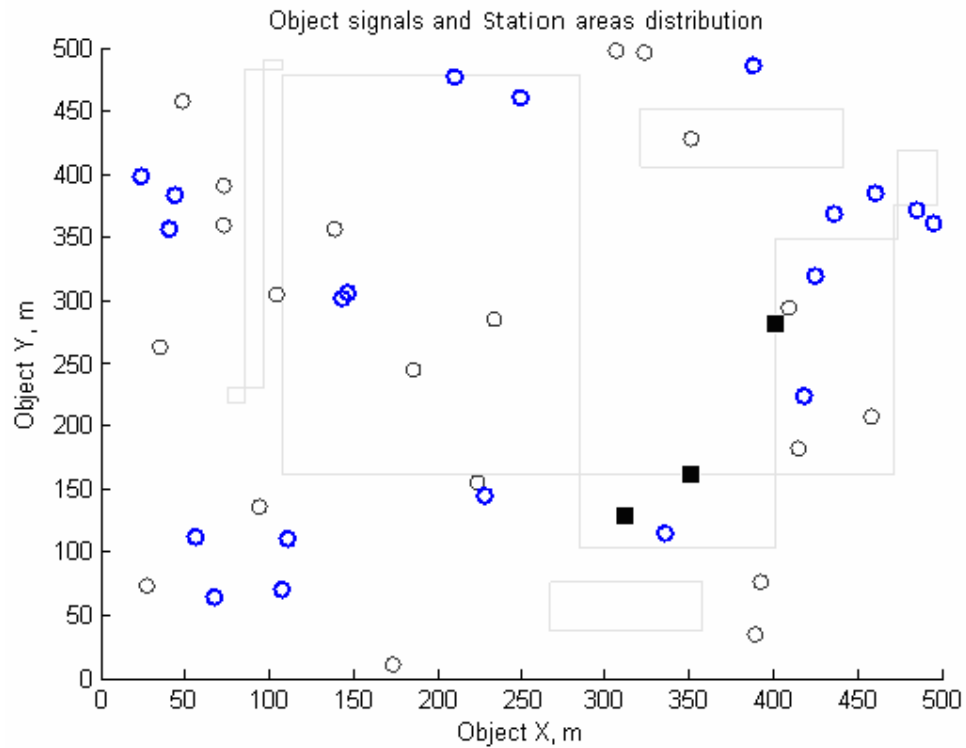


Рис. 38. Исходное состояние перед подключением сигналов 32 типа: “Температурный датчик RTD типа”.

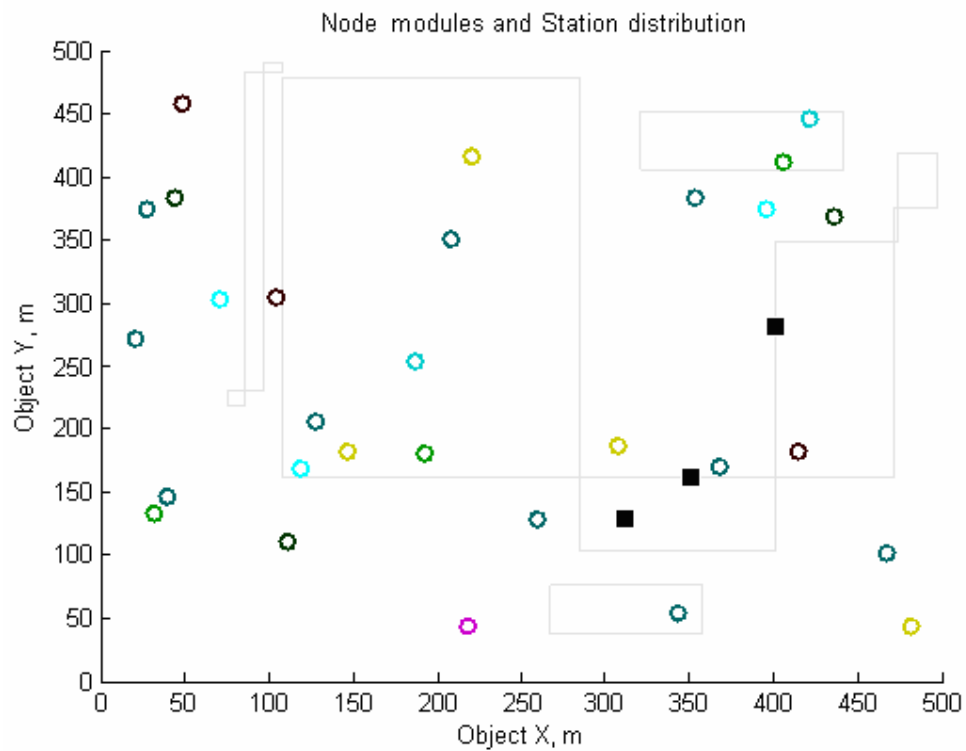


Рис. 39. Окончательный вид распределение модулей (цветные круги) и станций (черные квадраты) САУ для подключения 200 однотипных сигналов.

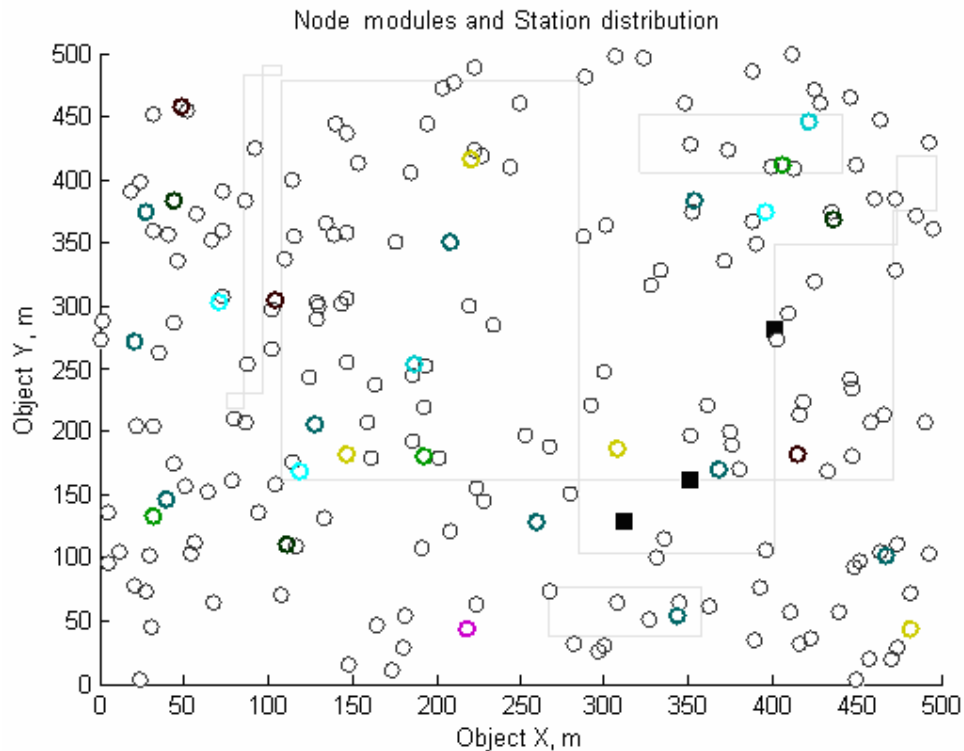


Рис. 40. Распределение разнотипных модулей САУ (цветные круги) на фоне 200 однотипных сигналов (черные круги) подключенных к модулям и станциям.

8 ВЫВОДЫ

Разработанный алгоритм “Группирование распределенных объектов методом отбора наиболее компактных групп” может использоваться для группирования одиночных сигналов рассредоточенного объекта при его подключении к САУ. Алгоритм обеспечивает высокое быстродействие при малых вычислительных ресурсах. К недостаткам алгоритма можно отнести возможное появление разрывов групп, для устранения которых требуются дополнительные вычисления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dr. Bob Davidov. Синтез САУ рассредоточенного многосигнального объекта. Часть I
2. 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» №ГР 1140723 70020, Инв№ 214112670012, 2014, 300 стр.
3. Раздел Help интегрированной среды МатЛАБ
4. ProSoft. Программируемые контроллеры SIMATIC S7-1200
<http://www.prosoft.ru/products/brands/siemens/simatic-s7-1200/418610.html>
5. Dr. Bob Davidov. Компьютерные технологии управления в технических системах
<http://portalnp.ru/author/bobdavidov>