Российская Академия Наук
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
им. М.В. Келдыша

А.В. Ахтёров, А.И. Белоусов, Ф.Р. Джегутанов, А.А. Кирильченко

ГРУППОВОЙ ПОИСК В ЛАБИРИНТЕ (АТЛАС РАСЧЁТНЫХ СЛУЧАЕВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ИНФОРМАЦИОННОГО БЛОКИРОВАНИЯ)

Москва, 2002 г.

А.В. Ахтёров, А.И. Белоусов, Ф.Р. Джегутанов, А.А. Кирильченко

ГРУППОВОЙ ПОИСК В ЛАБИРИНТЕ (АТЛАС РАСЧЁТНЫХ СЛУЧАЕВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ИНФОРМАЦИОННОГО БЛОКИРОВАНИЯ)

A.V. Akhtyorov, A.I. Belousov, F.R. Dzhegutanov, A.A. Kiril'chenko

GROUP SEARCH IN A MAZE (THE ATLAS OF COMPUTATIONAL CASES FOR A PROBLEM OF INFORMATION BLOCKING)

АННОТАЦИЯ

Задача информационного блокирования для распределенной мобильной системы (РМС) заключается в том, что мобильные роботы (МР), входящие в состав РМС, осуществляют информационный обход некоторой ограниченной среды так, чтобы ни один объект (в том числе движущийся) не остался незамеченным. Приведены примеры решения этой задачи для семи типов сред. Исследована зависимость эффективности решения задачи от числа МР в составе РМС и структурных характеристик среды.

ABSTRACT

The problem of information blocking for a distributed mobile system (DMS) is encompass byed volume, that the mobile robots (MR), included in a structure DMS, execute information circumvention of some restricted environment so that any object (including driving) has not remained unnoticed. The examples of the solution of this problem for seven types of environments are adduced. The relation of efficiency of the solution of a problem to number MR in a structure DMS and structural characteristics of environment is investigated.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ
№№ 00-01-00403, 00-15-96135, 02-01-00750, 02-07-90425, 02-01-00671

СОДЕРЖАНИЕ

стр.
1. Введение …… 3
2. Условия согласования информационно-двигательной активностей элементов распределённой мобильной системы четвёртого рода ……. 4
3. Атлас расчётных случаев ……. 5
4. Зависимость путевой и информационной эффективности от числа элементов РМС …… 6
5. Заключение ..…….. 7
Литература…… 7
Рисунки ……... 9

1. ВВЕДЕНИЕ

Задача информационного блокирования для распределенной мобильной системы (РМС) заключается в том, что мобильные роботы (МР), входящие в состав РМС, осуществляют информационный обход некоторой ограниченной среды так, чтобы ни один объект (в том числе движущийся) не остался бы незамеченным. Приведены примеры решения этой задачи для семи типов сред. Эта задача в определенном смысле является аналогом задачи Парсонса на конечном графе, которая заключается в блокировании фишки “бандита” фишками-“полицейскими” [3]. Отличие нашей постановки заключается, во-первых, в том, что рассматривается движение МР в непрерывной среде с препятствиями, которая ниже везде называется террайном (от нем. Terrain - местность) [4], а, во-вторых, цель действия РМС заключается в обнаружении (фиксировании) информационными системами (ИС) МР как структуры среды, так и возможных подвижных объектов в ней (а не в механическом блокировании).

По определению [4], террайн есть метрическое толерантное пространство, в котором основным отношением толерантности является отношение видимости. В данной работе рассматривается так называемая абсолютная видимость, т.е. предполагается, что на радиус действия ИС не накладывается никаких ограничений (но, естественно, учитывается затенение одних препятствий другими).

Для исследования было выбрано семь типов террайнов. Первые пять представляют собой несколько модифицированные фрагменты знаменитого Кносского дворца [5](эти пять террайнов обозначаются КЛАБ1, …, КЛАБ5). Шестой террайн изображает половину плана Римского дома эпохи цезарей (обозначается РДЭЦ) [5]. Наконец, седьмой террайн изображает план второго этажа Государственного Музея Изобразительных Искусств им. А.С. Пушкина [6].

В процессе начального исследования поставленной проблемы информационного блокирования выяснилось, что основная сложность заключается в проведении эффективной синхронизации элементов РМС как на информационном, так и на информационно-двигательном уровнях. Так, в [2] показано, что отдельные маневры могут потребовать до 10 шагов (этапов) подобной синхронизации. Поэтому было принято решение на первом этапе построить атлас расчетных случаев задачи и получить эталонные пути и характеристики в режиме управления диспетчером. В настоящее время известно, что диспетчер может эффективно управлять не более пятью МР (как воздушными так и наземными). Задача системы моделирования заключается лишь в расчете получаемых характеристик движения РМС.

В работе описаны некоторые характеристики террайна и особенности моделирования. Приведен атлас решений для различного состава РМС. Исследована зависимость эффективности решения задачи от числа МР в составе РМС.

Предполагается, что при решении задачи элемент РМС (МР) проводит непрерывный сеанс осмотра (каждый момент времени наблюдает всю текущую

визуальную окрестность своего текущего положения). Если на пути, полученном для решения этой задачи выделить дискретные точки сеансов измерений элементов РМС, то получится классическое решение задачи информационного обхода (ИО). Всегда ли это возможно? Проведенные расчеты, показывают, что для приведенных примеров ответ положительный.

Можно выдвинуть гипотезу о том, что оптимальный совокупный путь элементов РМС для непрерывного решения задачи информационного блокирования (ИБ) является путем для решения задачи дискретного ИО той же среды той же РМС.

Наряду с этим возникает задача дискретного ИБ. В этом случае предполагается, что мгновенные полные сеансы измерений проводятся дискретно, т.е. только в определенных точках, при чём дальномерные измерения производятся с некоторой дискретностью по азимутальному углу. При этом возможна постановка отдельных элементов РМС "на дежурство" (например, около дверей).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность С.Б.Ткачёву и М.А.Колганову за поддержку исследований и плодотворные творческие дискуссии.

2. УСЛОВИЕ СОГЛАСОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕТВЁРТОГО РОДА

При движении РМС необходима организация согласованной деятельности её элементов, для решения функциональной задачи. Существуют три типа условий согласования (УС) информационно-двигательной активностей (ИДА) элементов РМС [7]:

1) УС в ближней зоне осмотра;
2) УС при осмотре дальнего плана;
3) УС при планировании навигационных измерений в соответствии со структурной особенностью среды;

Введём четвёртый тип УС:

Его общий вид выглядит следующим образом: $\underbrace{K_x x K_y y K_z z}_{\text{кванторная приставка}} \ \underbrace{P(x,y,z)}_{\text{предикат}}$, где $K_x, K_y, K_z \in \{\forall, \exists\}$. Пусть теперь V - носитель террайна, $V(M)$- видимая окрестность множества M, а dA - открытая граница множества A, т.е. те участки границы множества A, через которые МР может покинуть A. Пусть $x_i(t_k)$- положение i-го МР в момент времени t_k. Тогда такт работы системы управления РМС заключается в выборе подцелей движения для элементов РМС из множества: $dV\left(x_1(t_1), x_1(t_2), ..., x_1(t_n), ..., x_m(t_1), x_m(t_2), ..., x_m(t_n)\right)$ [2].

Пусть ставятся следующие задачи:

1. Достижимость целевой точки и аналог информационного обхода для конечного графа. Пусть Q - множества вершин графа возможных перемещений. Время дискретно, $\left\{x_k(t)\right\}_{\substack{k=1..n \\ t=0,1,2,...}}$ - положения РМС. $Q(t)=\left\{x_k(t)\big|_{\substack{k=1...n \\ t=0,1,2...}}\right\}$ - пройденные вершины графа возможных перемещений. Условие согласование выглядит следующим образом:

$$\forall t\ \exists T\ \exists k:\ x_k(t+T)\in Q\setminus Q(t) \text{ (кванторная приставка - } \forall\exists\exists). \qquad (1)$$

2. Информационный обход в общем случае. Пусть V - носитель террайна (графа с континуум рёбер вершин). В этом случае условие согласование выглядит следующим образом:

$$\forall y\in\partial V\ \exists t\ \exists k:\ x_k(t)\sim y \text{ (кванторная приставка - } \forall\exists\exists). \qquad (2)$$

Следует особо отметить, что для этой задачи возможна запись УС в следующем виде:

$$V\left(\left\{x_k(t)\right\}\Big|_{\substack{k=1...n \\ t=0...T}}\right)=V, \text{ где } T \text{ - время окончания ИО.}$$

3. Информационное блокирование – усиление УС информационного обхода

$$\forall t\ \forall y\in dV\left(\left\{x_k(t)\big|_{\substack{k=1...n \\ t=0,1,2...}}\right\}\right)\exists k:\ \left(x_k(t)\sim y\right) \text{ (кванторная приставка - } \forall\forall\exists). \qquad (3)$$

Это условие аналогично можно записать в виде:

$$dV\left(\left\{x_k(t)\right\}\Big|_{\substack{k=1...n \\ t=0...T}}\right)\subset V\left(\left\{x_k(T)\right\}\Big|_{k=1...n}\right)$$

Следует особо подчеркнуть, что приведённые выше УС являются инвариантами для любого допустимого алгоритма данной функциональной задачи.

Отметим, что в математике, в частности в математическом анализе наибольшей популярностью пользуется кванторная приставка $\forall\exists\forall(\forall)$. Она используется, например при определении предела, непрерывности функции в точке, а также в дискретной математике при формулировании леммы о разрастании для регулярных выражений.

3. АТЛАС РАСЧЁТНЫХ СЛУЧАЕВ

Все расчётные случаи представлены на рисунках в конце работы.

3.1. Особенности моделирования

Для процесса моделирование были сделаны следующие предположения и допущения:

1. Вся площадь террайна была разбита равномерной сеткой на клетки (блоки единичной длины).
2. Предполагалось, что МР является материальной точкой.
3. У каждого МР есть радиус безопасности (минимальное расстояние, на которое МР может приближаться к препятствиям), равный одной клетке.
4. Все МР обладают абсолютной видимостью (т.е. радиус действия измерителя не ограничен).
5. Предполагалось, что все МР движутся равномерно, со скоростью 1 клетка в единицу времени.

3.2. Результаты моделирования

В результате моделирования для каждого расчётного случая были получены следующие результаты:

1. Общее время – время, необходимое для осуществления информационного блокирования всеми МР.
2. Общая длина пути – суммарная длина пути, пройденного всеми МР при осуществлении информационного блокирования. Данная характеристика называется путевой эффективностью.
3. Общее число поставленных для РМС подцелей. Эта характеристика называется информационной эффективностью.
4. Удельная длина пути – величина равная отношению общей длины пути к количеству роботов.
5. Длина пути, пройденного каждым МР.
6. Время информационного обхода – время, за которое один МР осуществляет полный информационный обход террайна.
7. Отношение времени информационного блокирования выполняемого определенным количеством роботов ко времени информационного обхода (нормированная путевая эффективность).
8. Аналогичное отношение для информационной эффективности (нормированная информационная эффективность).

4. ЗАВИСИМОСТЬ ПУТЕВОЙ И ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ЧИСЛА РМС

Графики зависимости эффективности работы РМС от числа её элементов для задачи ИБ представлены в абсолютном виде и нормированные на соответствующее значение для задачи ИО. Как следует из рисунков, информационная эффективность может немонотонно зависеть от числа элементов РМС.

Следует пояснить значения информационной эффективности. Пусть она принимает значение N, а размерность РМС равна k. Тогда количество инфор-

мации I, которое необходимо передать от диспетчера каждому элементу РМС оценивается следующим образом:

$$I \le (N-k)\left(\left[\log_2 d_{\max}\right]+1\right),$$

где $d_{\max}$ – максимальная степень расхождения возможных маршрутов в текущей подцели движения.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным результатом данной работы является полученная зависимость путевой и информационной эффективностей от количества элементов РМС при решении задачи информационном блокировании для данных расчётных случаев.

При исследовании данных террайнов оказался интересным случай террайна 4, в котором минимальное количество МР в РМС оказалось оптимальным для информационного блокирования данного террайна. Так же следует обратить внимание на случай террайна 6, в котором исследование ограничилось пятью МР, количество которых не является оптимальным для этого террайна.

Если же рассматривать МР как тело конечных размеров, то начиная с некоторого количества МР в РМС данная зависимость изменила бы свой характер, а именно, время информационного блокирования начало бы возрастать, и объясняется это тем что МР начинают мешать друг другу.

Следует отметить, что расчёты производились для случая абсолютной видимости и непрерывного сеанса осмотра среды.

ЛИТЕРАТУРА

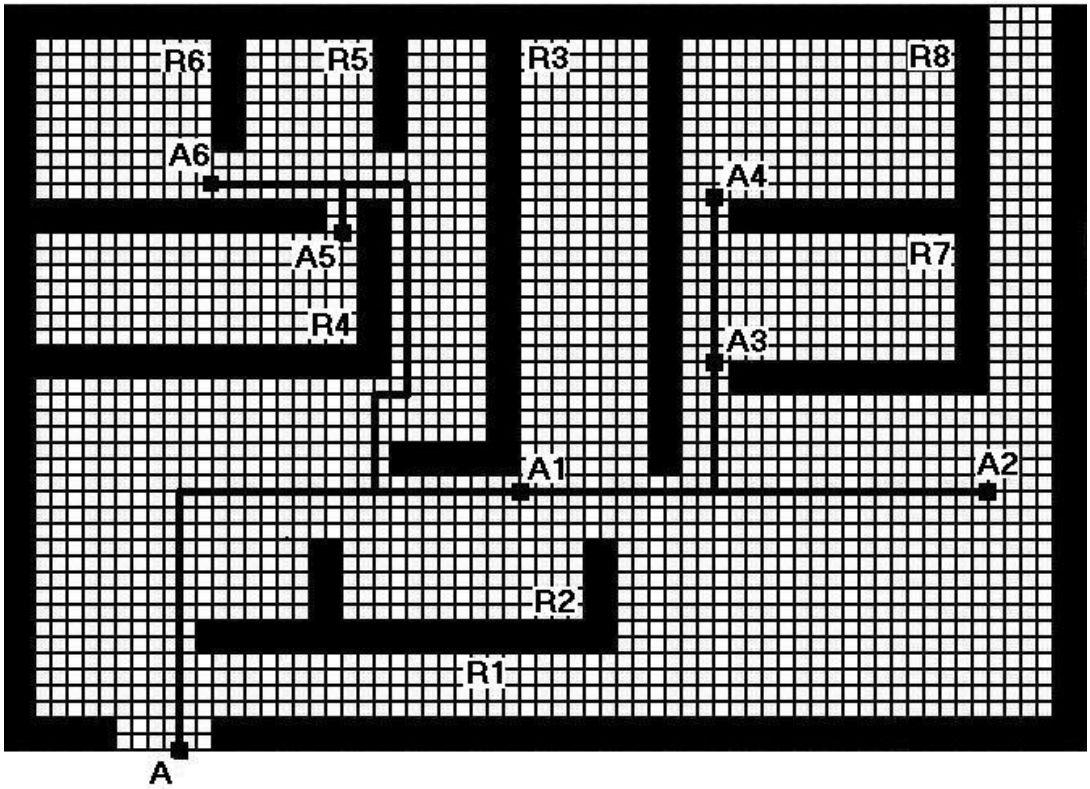
1. Белоусов А.И, Кирильченко А.А. Управление группой мобильных роботов в задаче информационного блокирования подвижного объекта. // V Международная начно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований», М.: ИО РАН, 1999 с.154-155
2. Бакиров А.К., Кирильченко А.А. Проблемы управления распределенными мобильными системами //М.: Препринт Ин-та прикл. матем. им. М.В.Келдыша РАН, 2000, №64, 23с.
3. Megiddo N., Hakin S.L. e.a. The complexity of searching a graph. //”J.Assoc. Comput. Mach.”, 1988, v.35, №1, pp. 18-44
4. Кирильченко А.А. О представлении информационно-двигательного взаимодействия мобильного робота со средой на основе отношения видимости //М.: Препринт Ин-та прикл. матем. им. М.В.Келдыша АН СССР, 1987, №235, 28с.

5. Zinsenling G. Abriss der griechischen und roemischen Kunst // Verlag Philipp Reclam jun. Leipzig, 1970, 608 s.
6. Тяжелов В.Н. Искусство средних веков. – М.: Изобраз. искусство, 1993. – с: 64 ил.
7. Ionova Ju.N., Kiril'chenko A.A., Pavlovsky V.E., Platonov A.K., Pryanichnikov V.E. Conditions for coordination the information and motion activities of mobile robot.// "3rd IFAC Symposium on intelligent autonomous vehicles, March 25-27, 1998", Madrid, Spain, 1998, v.1, pp.67-72.

РИСУНКИ

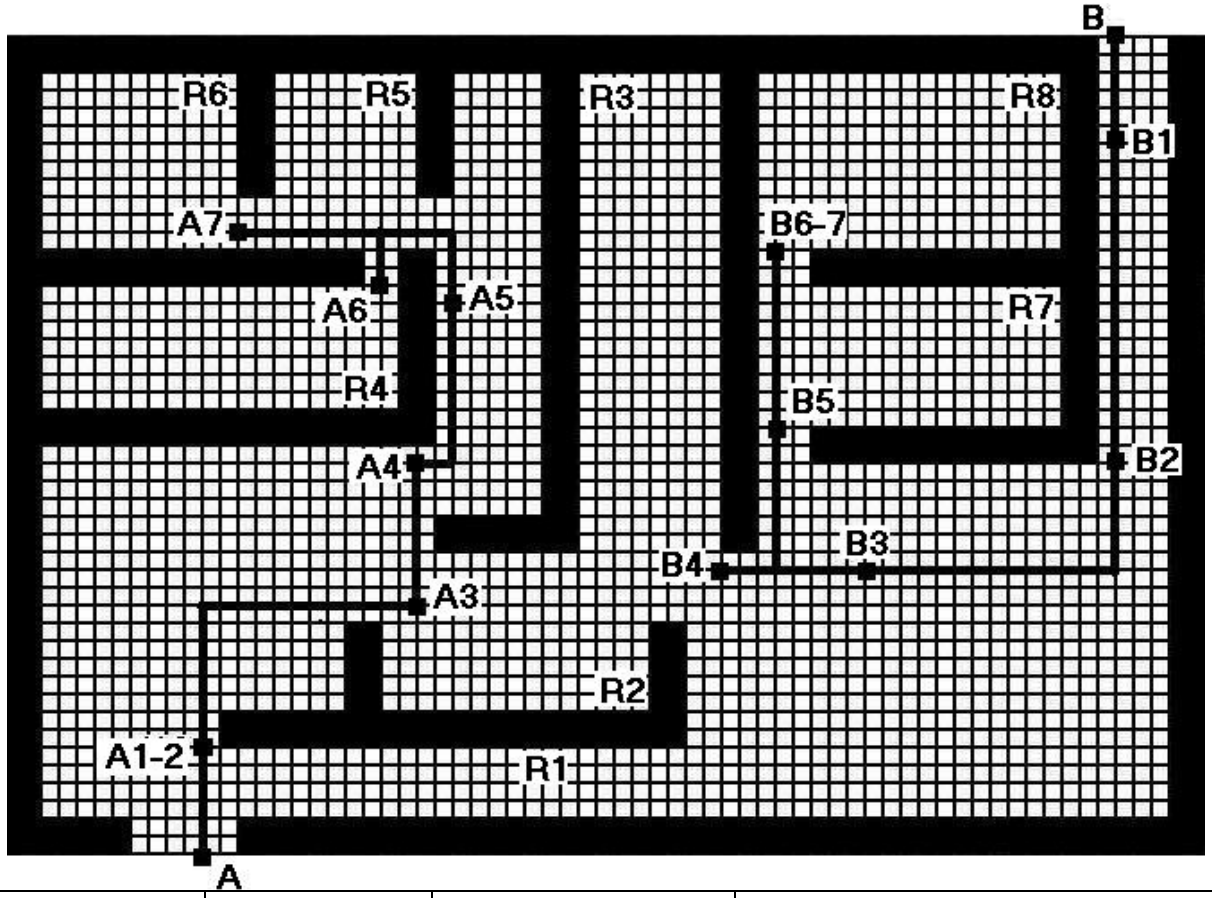
ТЕРРАЙН 1. КЛАБ1.

1. Информационный обход



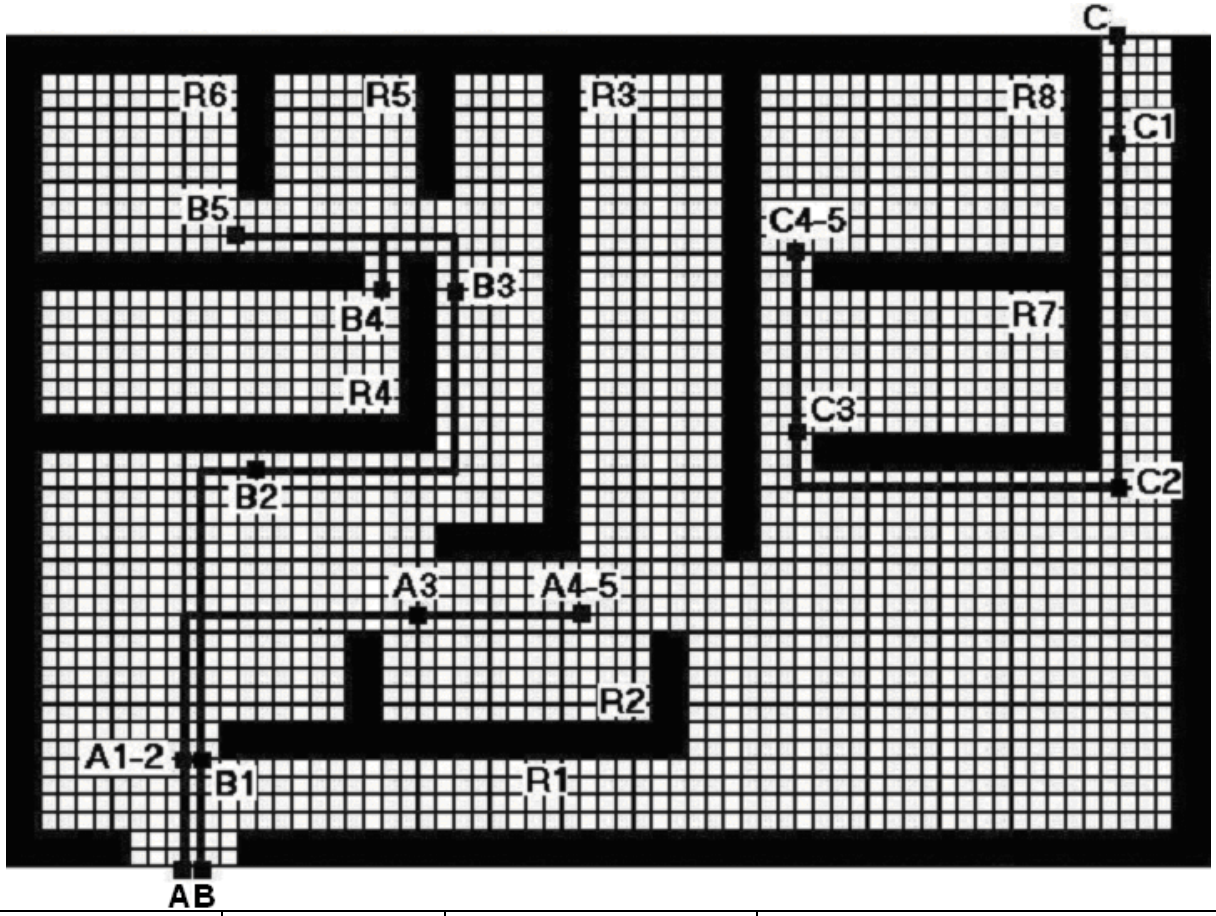
2. Информационное блокирование

2.1. Два робота



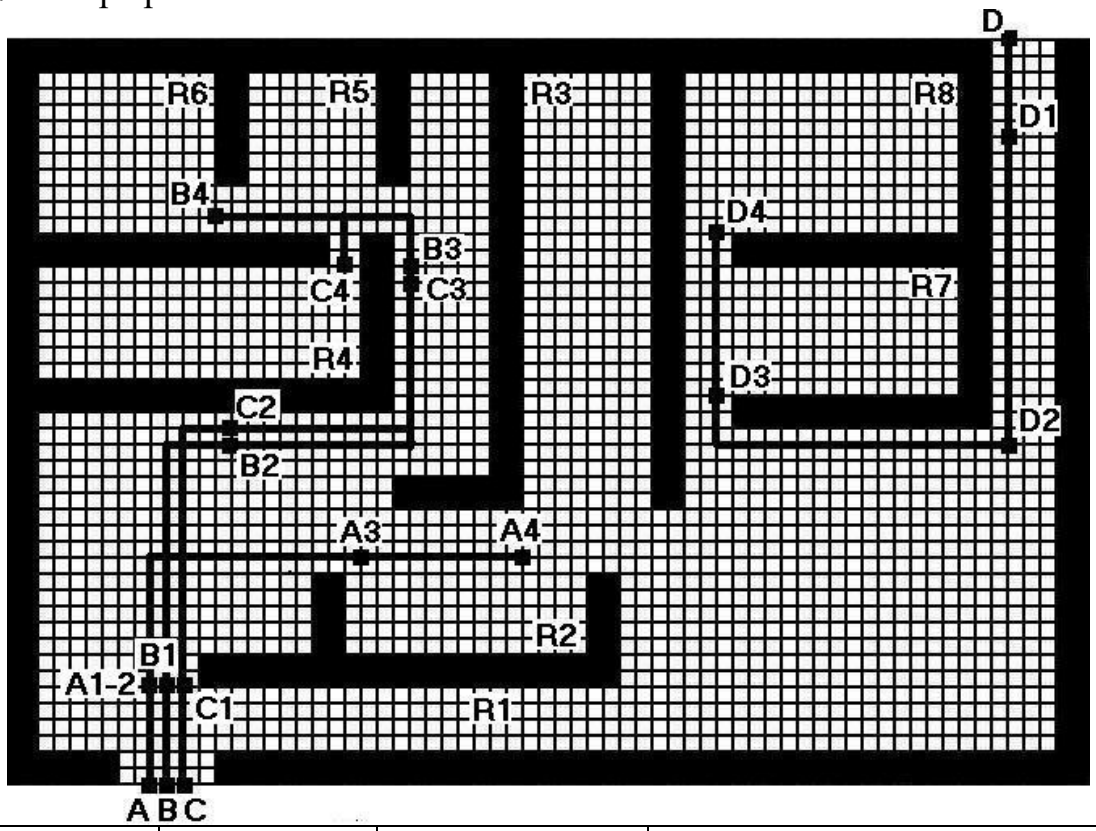
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам		Комментарии
		A	B	
1	6	6	6	A идёт в A1 контролировать R1;B идёт в B1
2	18	0	18	A ждёт; B идет в B2
3	20	20	20	A идёт в A3 проверить R2; B идёт в B3
4	8	8	8	A идет в A4; B идёт в B4 проверять R3
5	11	11	11	A идет в A5; B идет в B5 проверять R7
6	11	11	10	A двигается в A6 проверять R4; B идет в B6, проверяет R8 и останавливается
7	11	11	0	A идет в A7 ,проверяет R6 и R5 и останавливается;
	85	67	73	Суммарные показатели

2.2. Три робота



Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам			Комментарии
		A	B	C	
1	6	6	6	6	A идёт в A1 контролировать R1; B идёт в B1; C идёт в C1
2	19	0	19	19	A ждёт; B идет в B2; C идёт в C2
3	21	21	21	21	A идёт в A3 проверяя R2; B идёт в B3; C идёт в C3 проверять R7
4	10	9	10	10	A идет в A4 проверяет R3 и останавливается; B идёт в B4 проверять R4; C идёт в C4, проверяет R8 и останавливается
5	11	0	11	0	B идет в B5, проверяет R6 и останавливается
	67	36	67	56	Суммарные показатели

2.3. Четыре робота



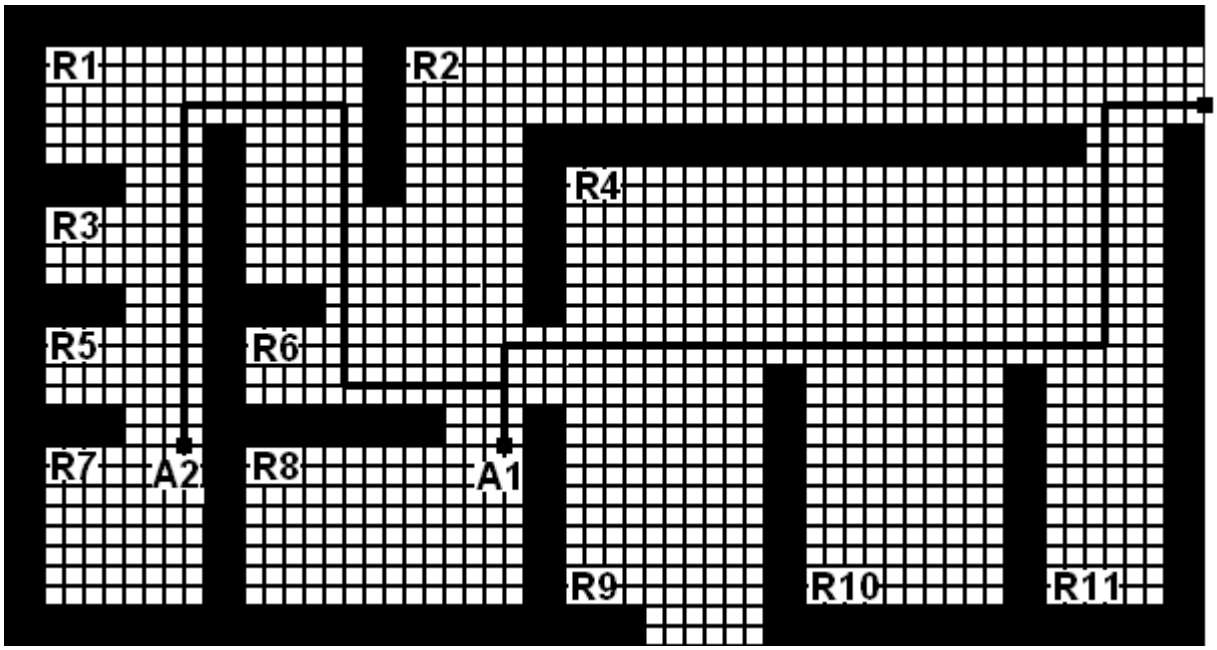
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам				Комментарии
		A	B	C	D	
1	6	6	6	6	6	A идёт в A1 контролировать R1; B идёт в B1; C идёт в C1; D идёт в D1
2	19	0	19	19	19	A ждёт; B идет в B2; C идёт в C2; D идёт в D2
3	21	21	21	21	21	A идёт в A3 проверяя R2; B идёт в B3; C идёт в C3; D идёт в D3 проверять R7
4	15	10	15	11	10	A идет в A4, проверяет R3 и останавливается; B идёт в B4, проверяет R6 и останавливается; C идёт в C4, проверяет R4 и останавливается; D идёт в D4, проверяет R8 и останавливается
	61	37	61	57	56	Суммарные показатели

3. Общие результаты эксперимента

Количество роботов	2	3	4
Время информационного блокирования	85	67	61
Общая длина пройденного всеми роботами пути	140	159	211
Удельная длина пути	70	53	52.8
Время информационного обхода	173		
Отношение времени информационного блокирования ко времени информационного обхода	0.49	0.39	0.35

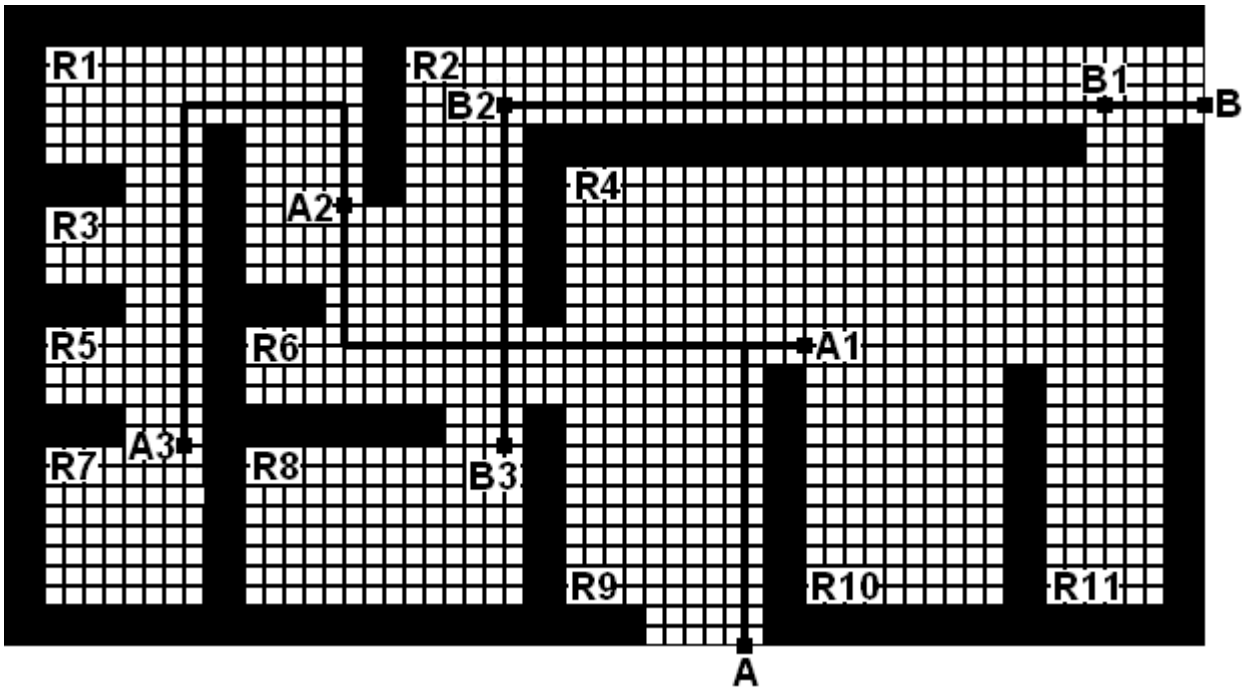
ТЕРРАЙН 2. КЛАБ2.

1. Информационный обход



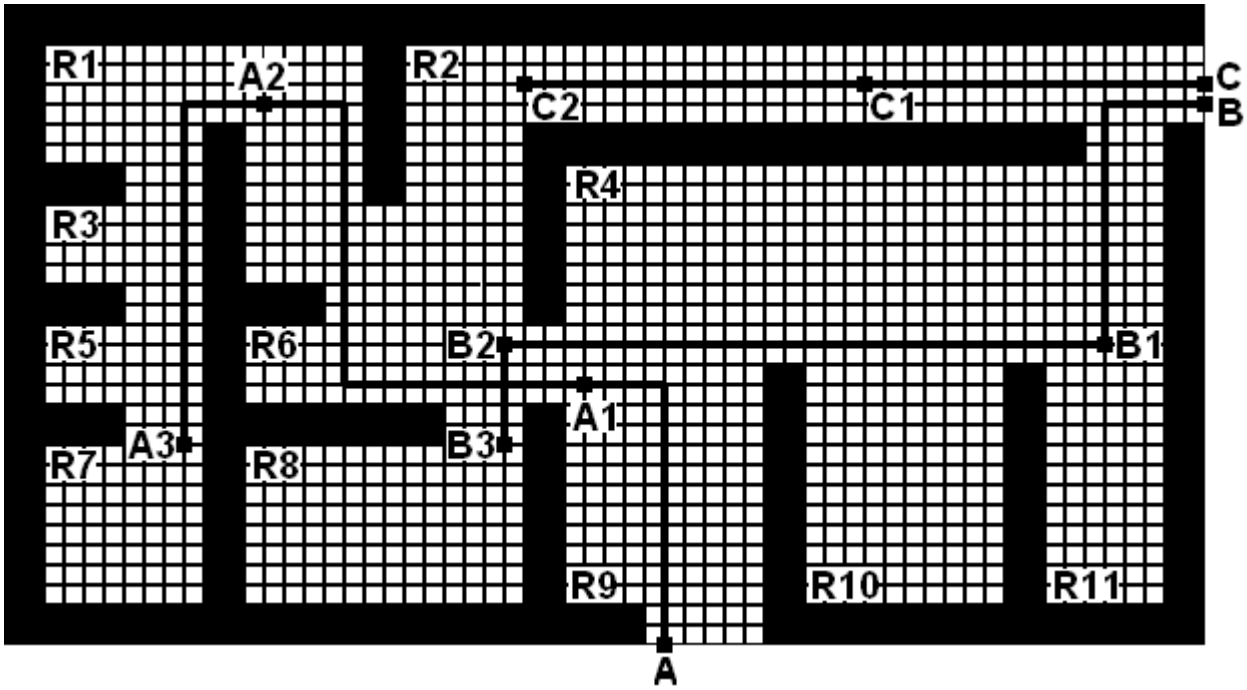
2. Информационное блокирование

2.1.Два робота



Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам		Комментарии
		A	B	
1	18	18	5	A обследует R9, R10, R4. B обследует R11.
2	30	30	30	A обследует R6 и движется в R1. B обследует R2.
3	30	30	17	A обследует R1, R3, R5, R7 (тупик). B обследует R8 (тупик).
	78	78	52	Суммарные показатели

2.2. Три робота



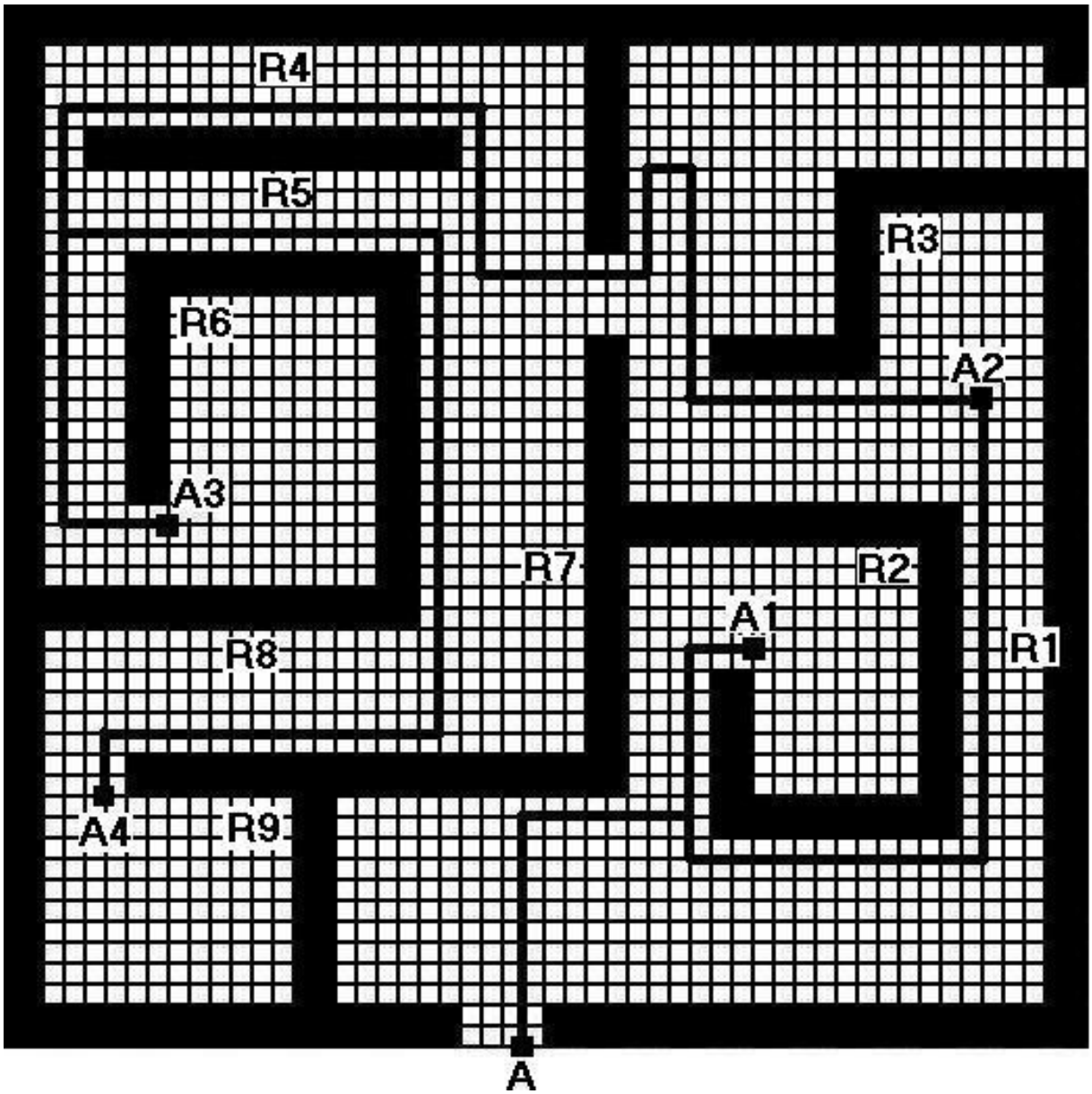
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам			Комментарии
		A	B	C	
1	17	17	17	17	A обследует R9. A и B обследуют R4.C движется в R2.
2	30	30	30	17	A обследует R6 и движется в R1. B обследует R11, R10 и движется в R8. C обследует R2 и фиксирует проход.
3	17	17	5	0	A обследует R1, R3, R5, R7 (тупик). B обследует R8 (тупик).
	64	64	52	34	Суммарные показатели

3. Общие результаты эксперимента

Количество роботов	2	3
Время информационного блокирования	78	64
Общая длина пройденного всеми роботами пути	130	150
Удельная длина пути	65	50
Время информационного обхода	132	
Отношение времени информационного блокирования ко времени информационного обхода	0.59	0.48

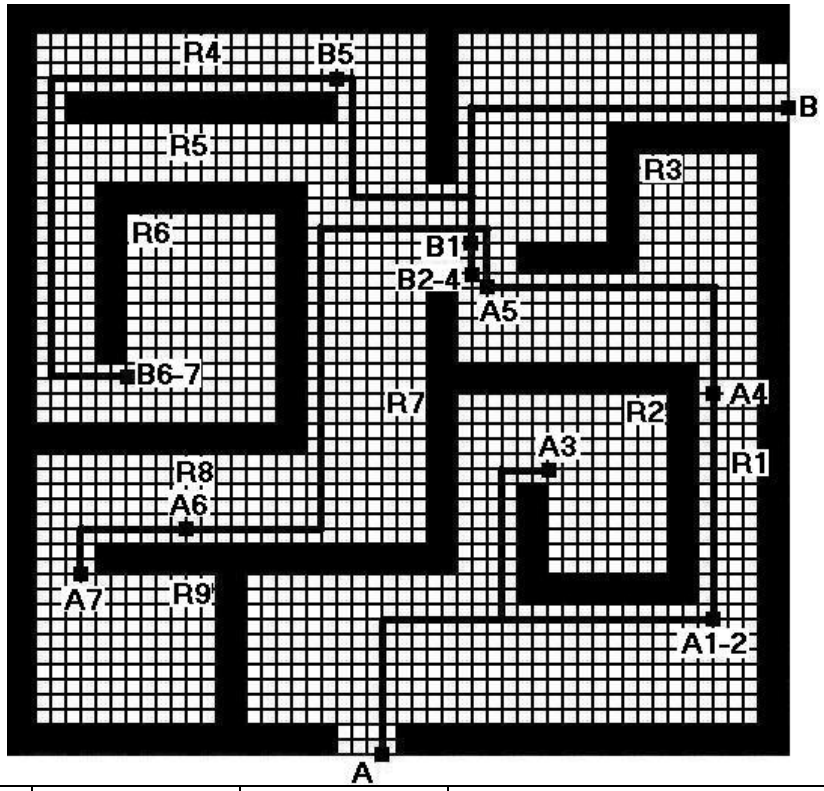
ТЕРРАЙН 3. КЛАБ3.

1. Информационный обход



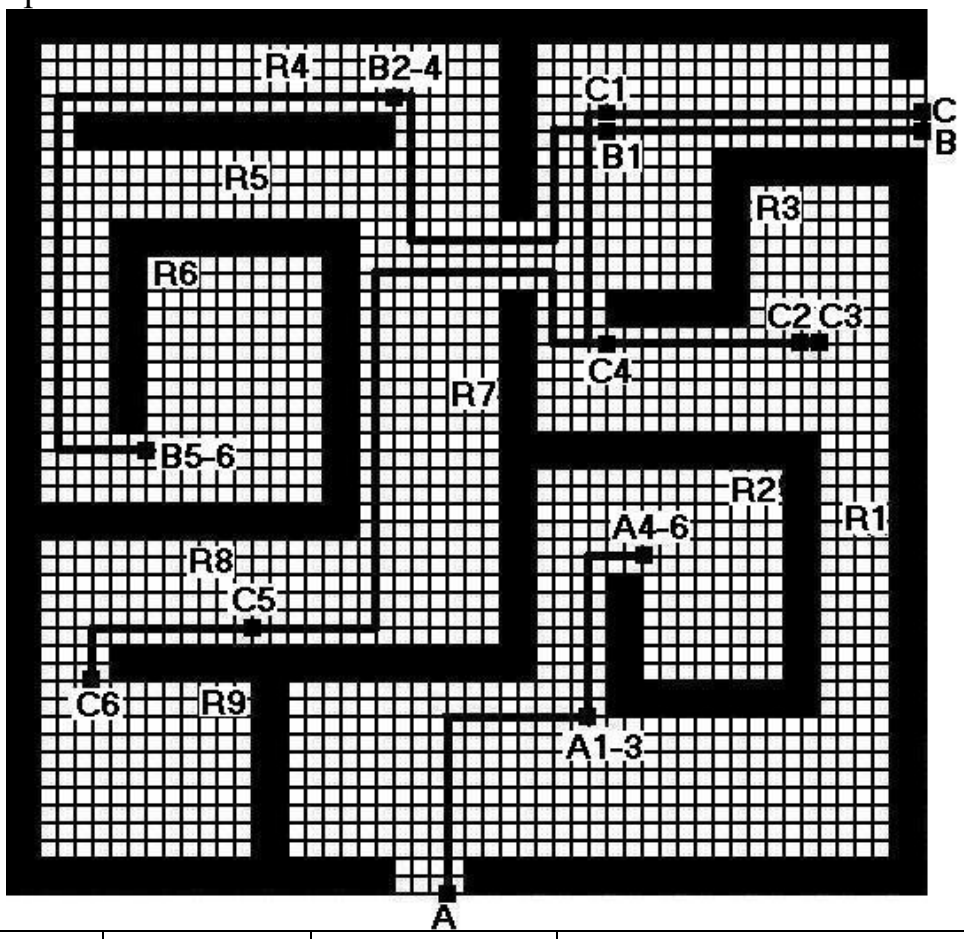
2. Информационное блокирование

2.1.Два робота



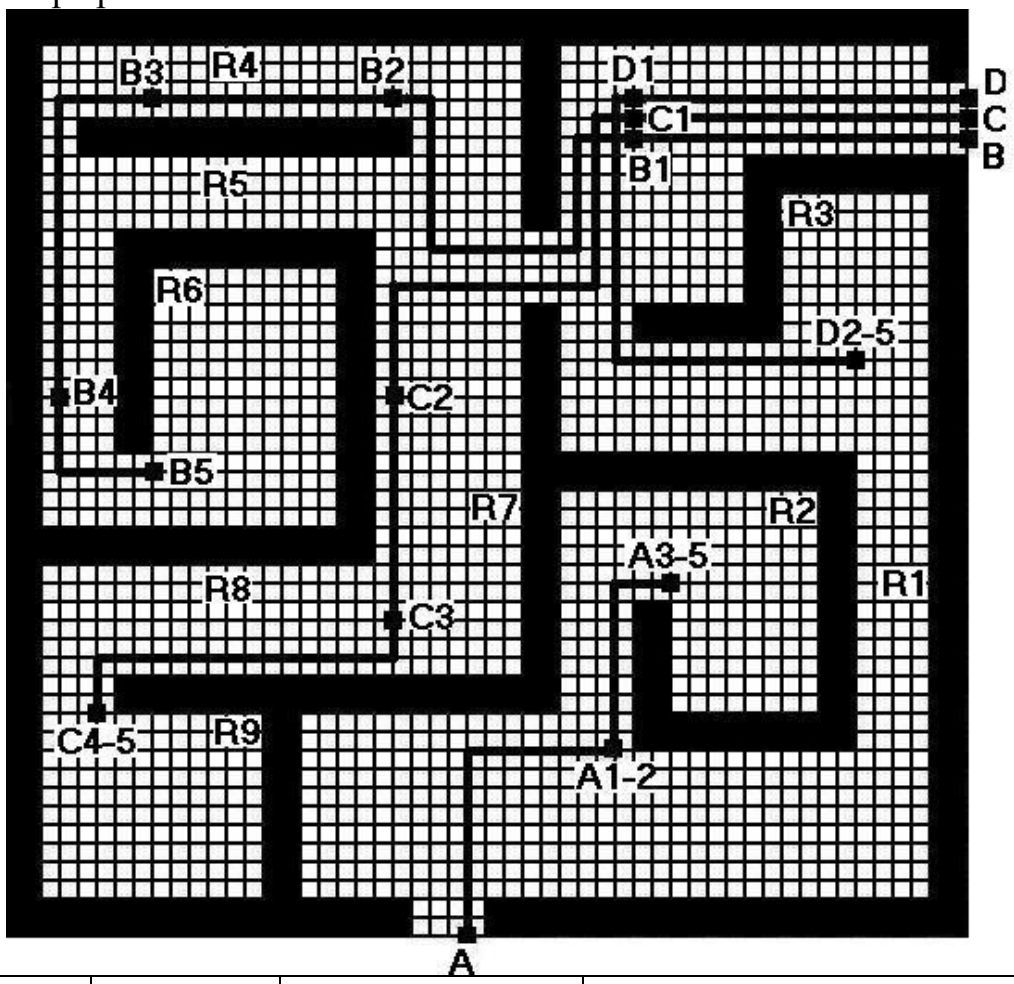
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам		Комментарии
		A	B	
1	31	31	31	A идёт в A1 контролировать коридор R1; B идёт в B1
2	2	0	2	A ждёт; B идет в B2
3	27	27	0	A идёт в A3 проверить комнату R2; B ждёт
4	42	42	0	A идет в A4 проверять R3; B ждёт
5	22	22	22	A идет в A5; B идет в B5 проверить коридор R4
6	44	44	44	A двигается в A6 проверяя коридор R7; B идет в B6, проверяет комнату R6 и останавливается
7	10	10	0	A идет в A7 ,проверяет комнату R9 и останавливается;
	178	176	99	Суммарные показатели

2.2. Три робота



Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам			Комментарии
		A	B	C	
1	18	18	18	18	A идёт в A1;B идёт в B1; C идет в C1
2	26	0	26	26	A ждёт; B идет в B2 контролировать коридор R4; C идет в C2
3	1	0	0	1	A ждёт; B ждёт; C идет в C3 контролировать R1 и R3;
4	12	12	0	12	A идет в A4, проверяет R2 и останавливается; B ждёт; C идет в C4
5	44	0	44	44	B идет в B5 проверяя R4, R5 и R6 и останавливается; C идет в C5 проверяя R7 и R8
6	12	0	0	12	C идет в C6, проверяет R9 и останавливается
	113	30	88	113	Суммарные показатели

2.3. Четыре робота



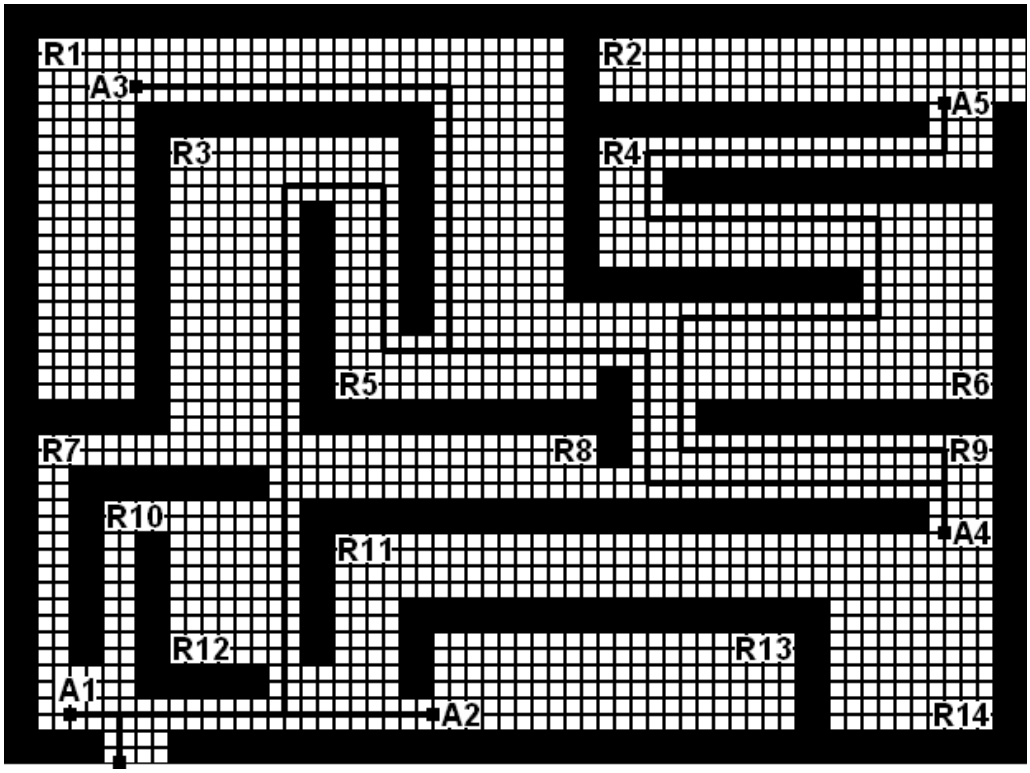
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам				Комментарии
		A	B	C	D	
1	18	18	18	18	18	A идёт в A1;B идёт в B1; C идет в C1; D идет в D1
2	28	0	28	28	28	A ждёт; B идет в B2 обследовать R4; C идет в C2, обследовать R7; D идет в D2, контролирует R1 и R3 и останавливается
3	12	12	12	12	0	A идет в A3, проверяет R2 и останавливается; B идет в B3; C идет в C3, проверяя R8;
4	21	0	21	21	0	B идет в B4; C идет в C4, проверяет R9 и останавливается
5	9	0	9	0	0	B идет в B5 проверяет R6 и останавливается
	88	30	88	79	46	Суммарные показатели

3. Общие результаты эксперимента

Количество роботов	2	3	4
Время информационного блокирования	178	113	88
Общая длина пройденного всеми роботами пути	275	231	243
Удельная длина пути	137.5	77	60.75
Время информационного обхода	248		
Отношение времени информационного блокирования ко времени информационного обхода	0.71	0.46	0.36

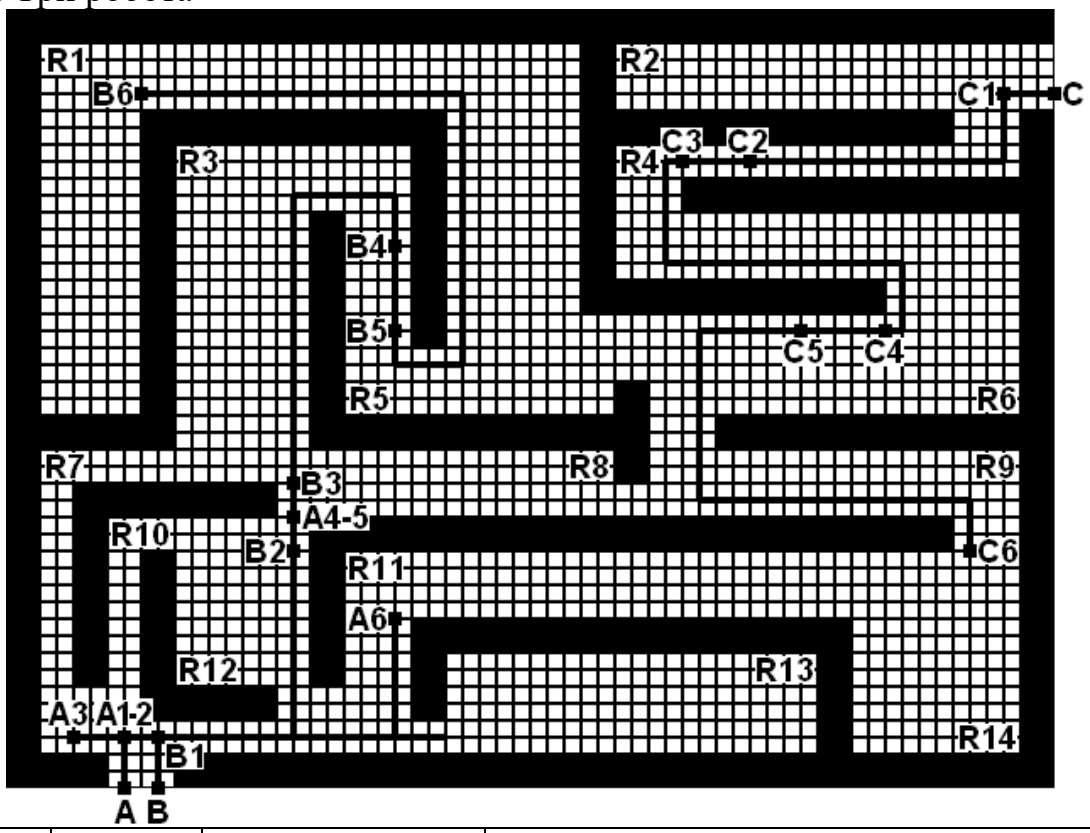
ТЕРРАЙН 4. КЛАБ4.

1. Информационный обход



2. Информационное блокирование

2.1. Три робота



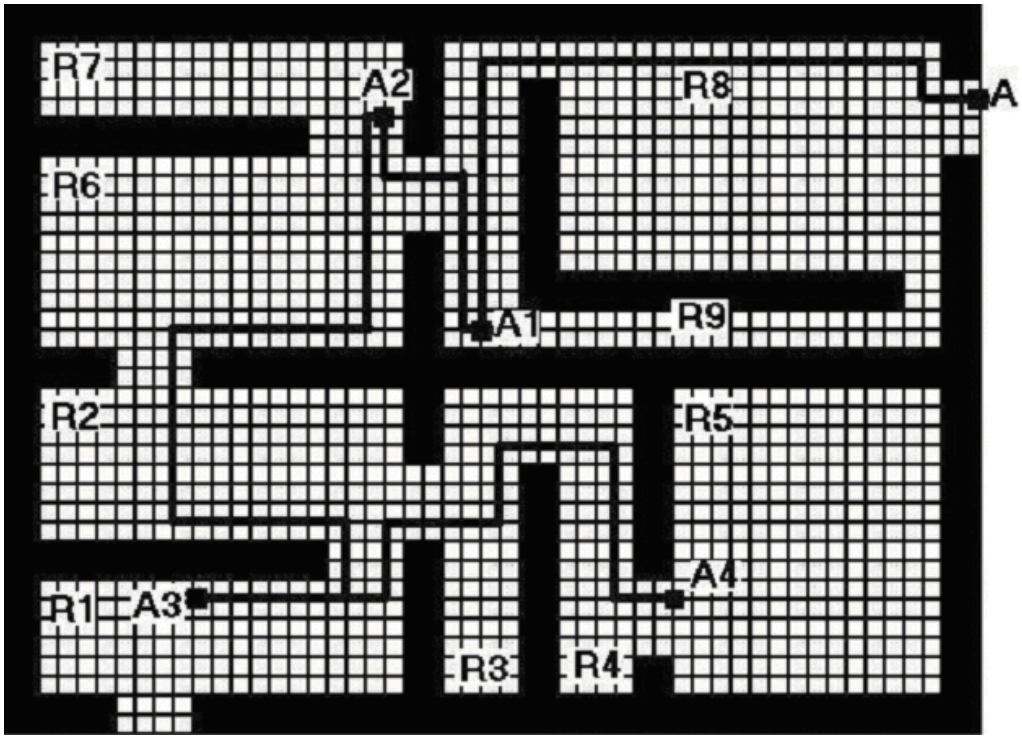
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам			Комментарии
		A	B	C	
1	3	3	3	3	Все роботы въезжают в лабиринт. С обследовал R2.
2	19	0	19	19	А фиксирует проход. В обследует R12. С движется в R4. А и В обследуют R10.
3	4	3	4	4	А и В обследуют R7. С движется по R4.
4	26	26	26	26	А движется в R8 и фиксирует проход. В обследует R3 и движется в R5. С обследует R4 и движется в R6.
5	5	0	5	5	В движется по R5.С движется по R6.
6	41	32	41	35	А возвращается, обследует R13 и движется в R11. В обследует R1 (тупик). С обследует R9. А и С обследуют R11. С обследует R14.
	98	64	98	92	Суммарные показатели

3. Общие результаты эксперимента

Количество роботов	3
Время информационного блокирования	98
Общая длина пройденного всеми роботами пути	254
Удельная длина пути	84.7
Время информационного обхода	286
Отношение времени информационного блокирования ко времени информационного обхода	0.34

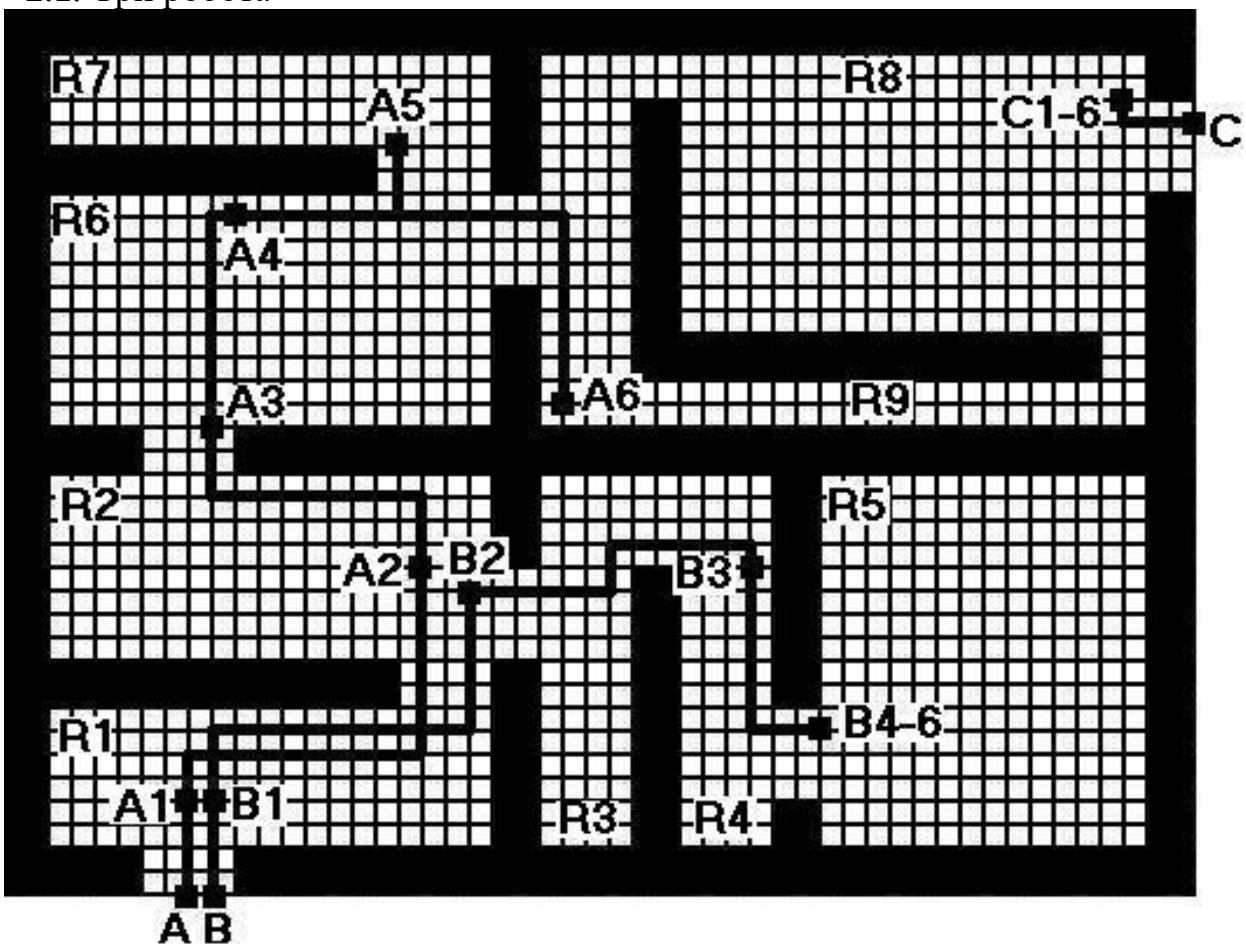
ТЕРРАЙН 5. КЛАБ5.

1. Информационный обход



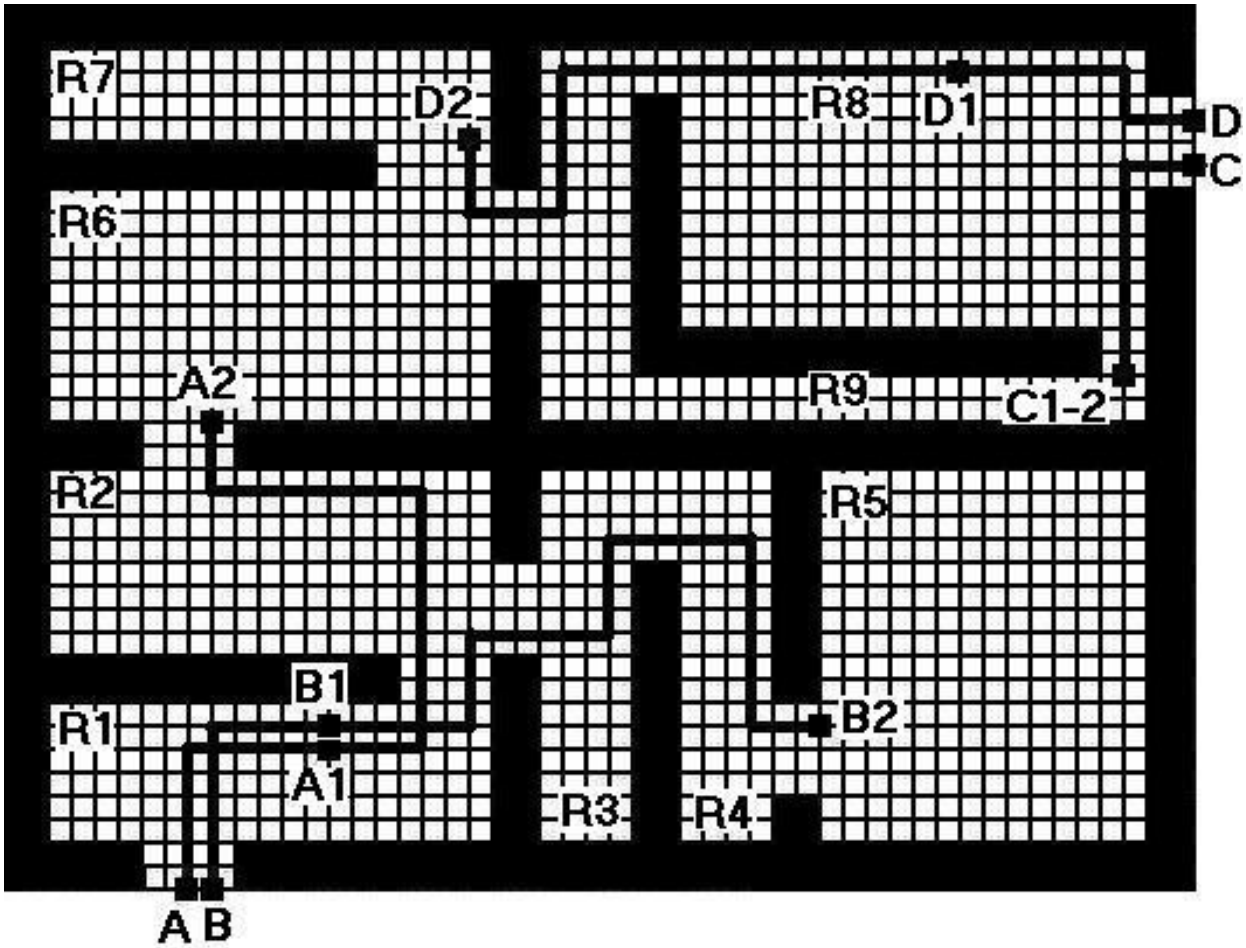
2. Информационное блокирование

2.1. Три робота



Событий-ное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам			Комментарии
		A	B	C	
1	4	4	4	4	A идёт в A1 и проверяет R1;B идёт в B1; C идет в C1, контролирует R8 и останавливается
2	24	24	24	0	A идет в A2 и проверяет R2; B идет в B2
3	15	15	15	0	A идет в A3 и проверяет R6; B идет в B3 проверяя R3 и R4;
4	10	10	10	0	A идет в A4; B идет в B4, проверяет R5 и останавливается;
5	10	0	10	0	A идет в A5, проверяет R7
6	17	0	17	0	A идет в A6, проверяет R9 и останавливается
	80	53	80	4	Суммарные показатели

2.2. Четыре робота



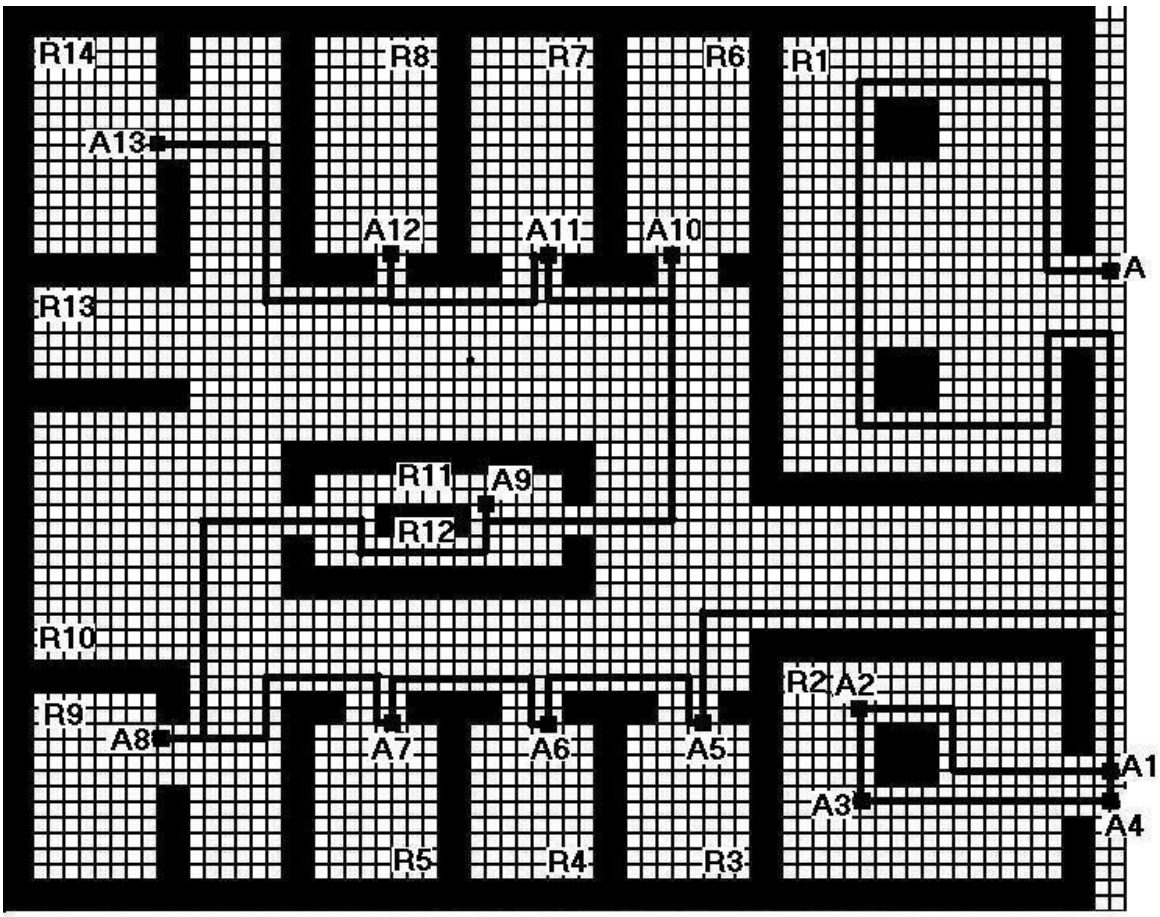
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам				Комментарии
		A	B	C	D	
1	12	12	12	12	12	A идёт в A1 и проверяет R1 ;B идёт в B1; C идет в C1, контролирует R9 и останавливается; D идет в D1 и проверяет R8
2	37	37	27	0	30	A идёт в A2, проверяет R2 и R6 и останавливается; B идет в B2 проверяя R3, R4 и R5 и останавливается; D идет в D2, проверяя R7
	49	49	39	12	42	Суммарные показатели

3. Общие результаты эксперимента

Количество роботов	3	4
Время информационного блокирования	80	49
Общая длина пройденного всеми роботами пути	137	142
Удельная длина пути	45.67	35.5
Время информационного обхода	152	
Отношение времени информационного блокирования ко времени информационного обхода	0.53	0.32

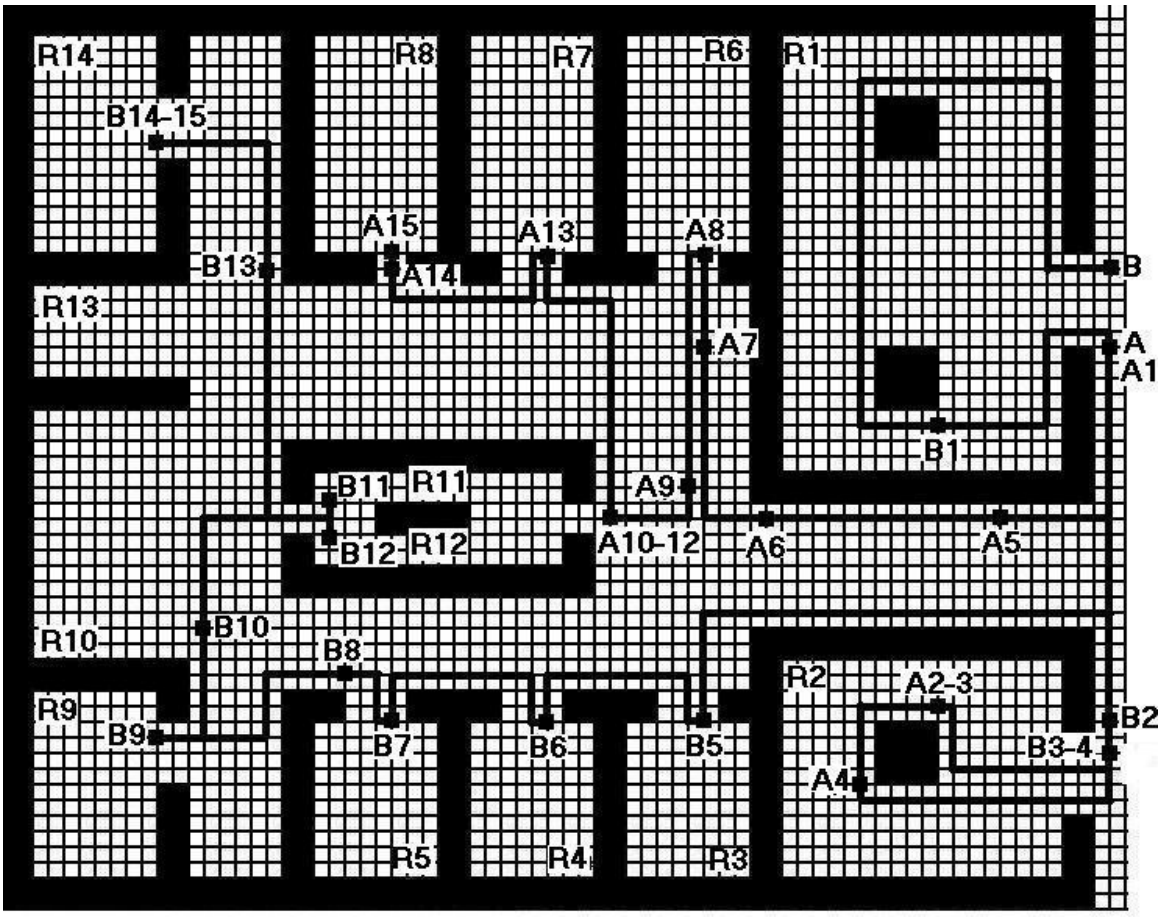
ТЕРРАЙН 6. РДЭЦ.

1. Информационный обход



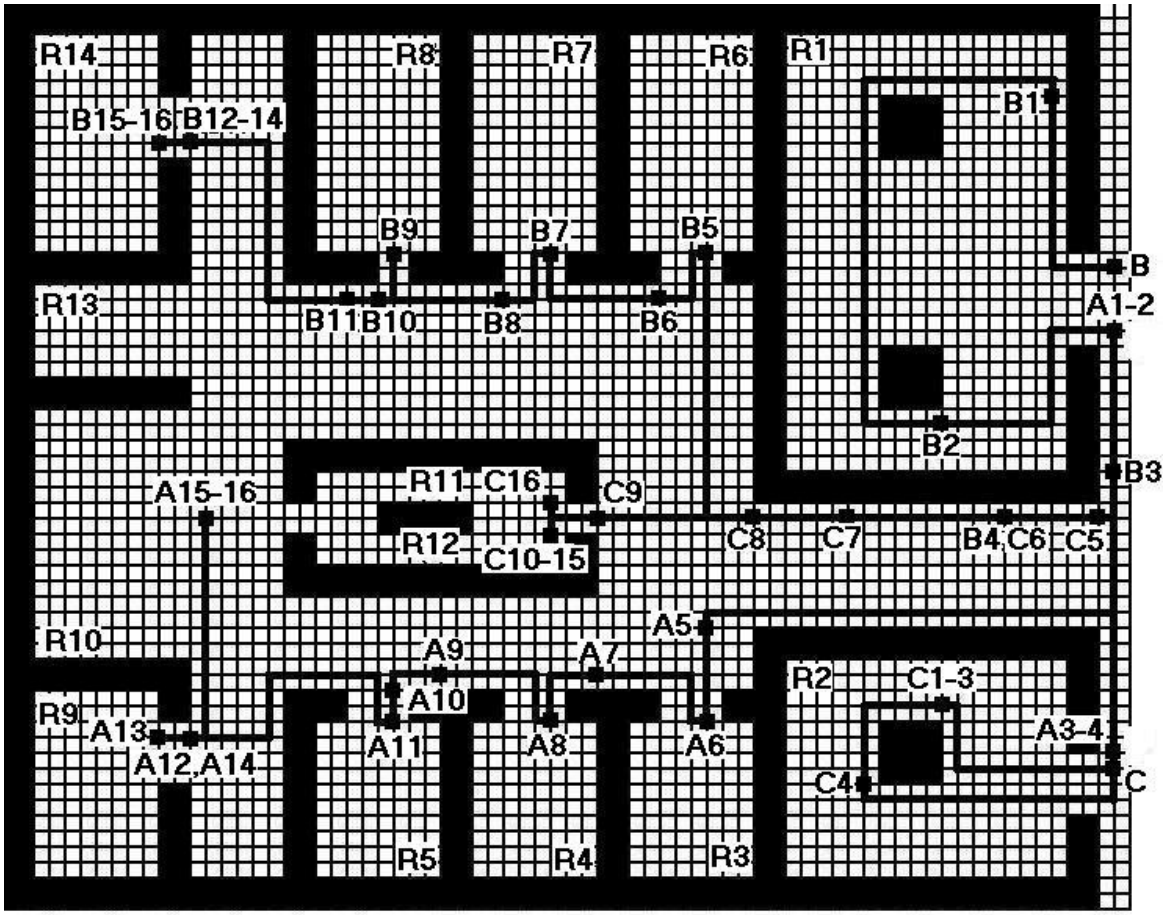
2. Информационное блокирование

2.1. Два робота



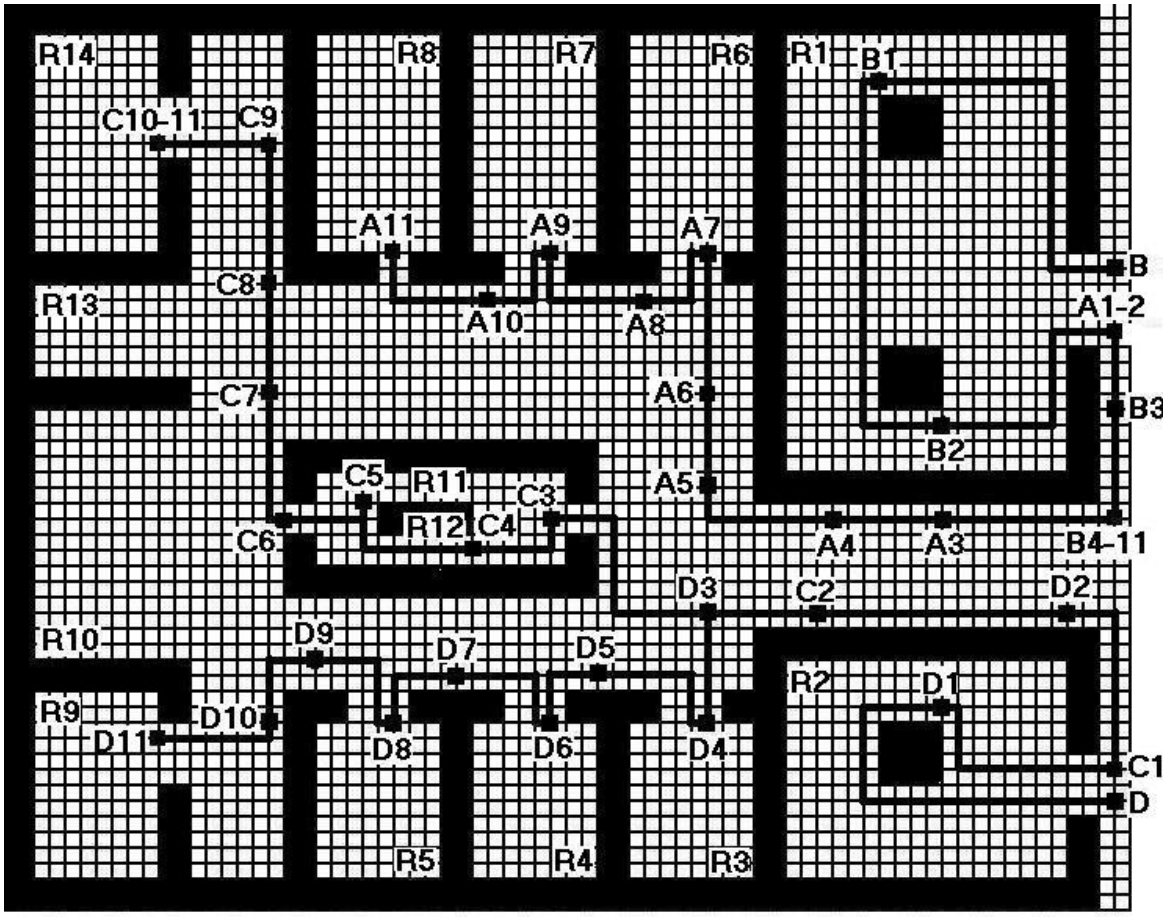
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам		Комментарии
		A	B	
1	55	0	55	A ждёт в A1, контролируя R1; B идёт в B1, осматривая R1
2	42	42	42	A идёт в A2; B идет в B2
3	2	0	2	A ждёт; B идёт в B3
4	10	10	0	A идет в A4, проверяя R2; B ждёт
5	42	42	42	A идет в A5; B идет в B5 проверять коридор R3
6	15	15	15	A идёт в A6; B идет в B6 проверять R4
7	15	15	15	A идет в A7; B идёт в B7 проверять R5
8	6	6	6	A идёт в A8 проверить R6; B идёт в B8
9	16	16	16	A идёт в A9; B идёт в B9 проверить R9
10	7	7	7	A идёт в A10; B идёт в B10
11	16	0	16	A ждёт; B идёт в B11 проверять R11
12	2	0	2	A ждёт; B идёт в B12 проверять R12
13	21	21	21	A идёт в A13 проверять R7; B идёт в B13, проверяя R13
14	15	15	15	A идет в A14; B идет в B14, проверяет R14 и останавливается
15	1	1	0	A идет в A15, проверяет R18;
	265	190	254	Суммарные показатели

2.2. Три робота



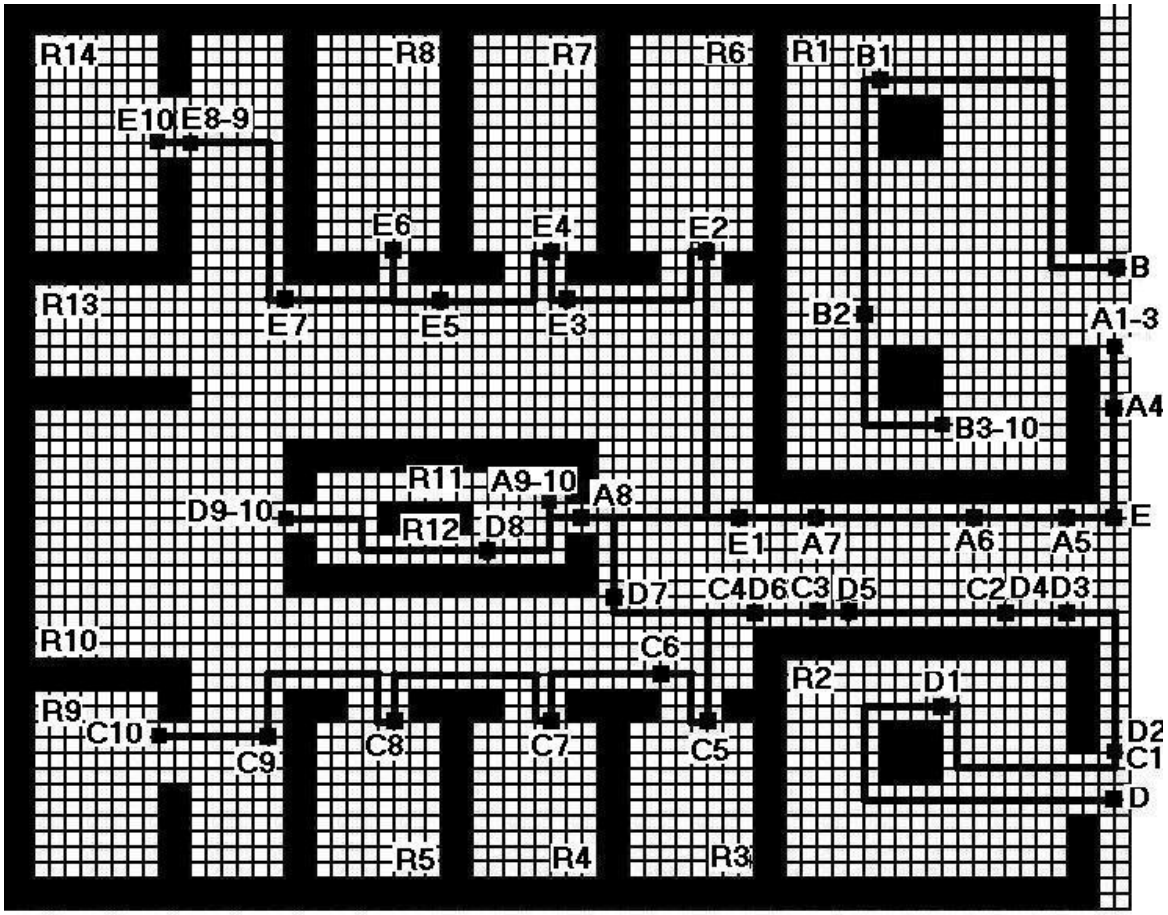
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам			Комментарии
		A	B	C	
1	15	0	15	15	A ждёт в A1, контролируя R1; B идёт в B1; C идет в C1
2	40	0	40	0	A ждёт в A2, контролируя R1; B идет в B2, осматривая R1; C ждёт
3	26	26	26	0	A идет в A3; B идет в B3; C ждёт
4	10	0	10	10	A ждёт; B идет в B4; C идёт в C4, осматривая R2
5	36	36	36	36	A идет в A5; B идёт в B5 проверять R6; C идёт в C5
6	6	6	6	6	A идет в A6, проверять R3; B идёт в B6; C идёт в C6
7	10	10	10	10	A идёт в A7; B идёт в B7 проверять R7; C идёт в C7
8	6	6	6	6	A идёт в A8 проверять R4; B идёт B8; C идёт в C8
9	10	10	10	10	A идёт в A9; B идёт в B9 проверять R8; C идёт в C9
10	4	4	4	4	A идёт в A10; B идёт в B10; C идёт в C10 осмотреть R12
11	2	2	2	0	A идёт в A11 проверять R5; B идёт в B11; C ждёт
12	20	20	20	0	A идёт в A12; B идёт в B12, осматривая R13; C ждёт
13	2	2	0	0	A идёт в A13 проверять R9; B ждёт; C ждёт
14	2	2	0	0	A идёт в R14; B ждёт; C ждёт
15	15	15	2	0	A идёт в A15 и останавливается; B идёт в B15, проверяет R14 и останавливается; C ждёт
16	2	0	0	2	C идёт в C16, проверяет R11 и останавливается
	206	137	189	99	Суммарные показатели

2.3.Четыре робота



Событий-ное время	Модель-ное время	Длина пути, прой-денного роботом по этапам				Комментарии
		A	B	C	D	
1	27	0	27	0	27	A ждёт в A1, контролируя R1; B идёт в B1; C ждёт в C1; D идет в D1, осматривая R2
2	28	0	28	28	28	A ждёт в A1, контролируя R1; B идет в B2 проверяя R1; C идёт в C2; D идет в D2
3	23	23	23	32	32	A идет в A3; B идет в B3; C идёт в C3; D идет в D3
4	7	7	7	7	7	A идёт в A4; B идет в B4 и останавливается; C идёт в C4 проверяя R12; D идет в D4 проверять R3
5	10	9	0	10	10	A идёт в A5; C идёт в C5, проверяет R11; D идет в D5
6	6	7	0	0	6	A идёт в A6; C идёт в C6; D идет в D6 проверять R4
7	9	9	0	0	9	A идёт в A7 проверять R6; C идёт в C7; D идет в D7
8	7	7	0	0	7	A идёт в A8; C идёт в C8; D идет в D8 проверять R5
9	9	9	0	0	9	A идёт в A9 проверять R7; C идёт в C9; D идет в D9
10	7	7	0	7	7	A идёт в A10; C идёт в C10, проверяет R14 и останав-ливается; D идет в D10, проверяя R10
11	9	9	0	0	8	A идёт в A11, проверяя R8 и R13, и останавливается; D идет в D11, проверяет R9 и останавливается
	142	87	85	106	141	Суммарные показатели

2.4. Пять роботов



C1 и D2, C2 и D4 одна точка

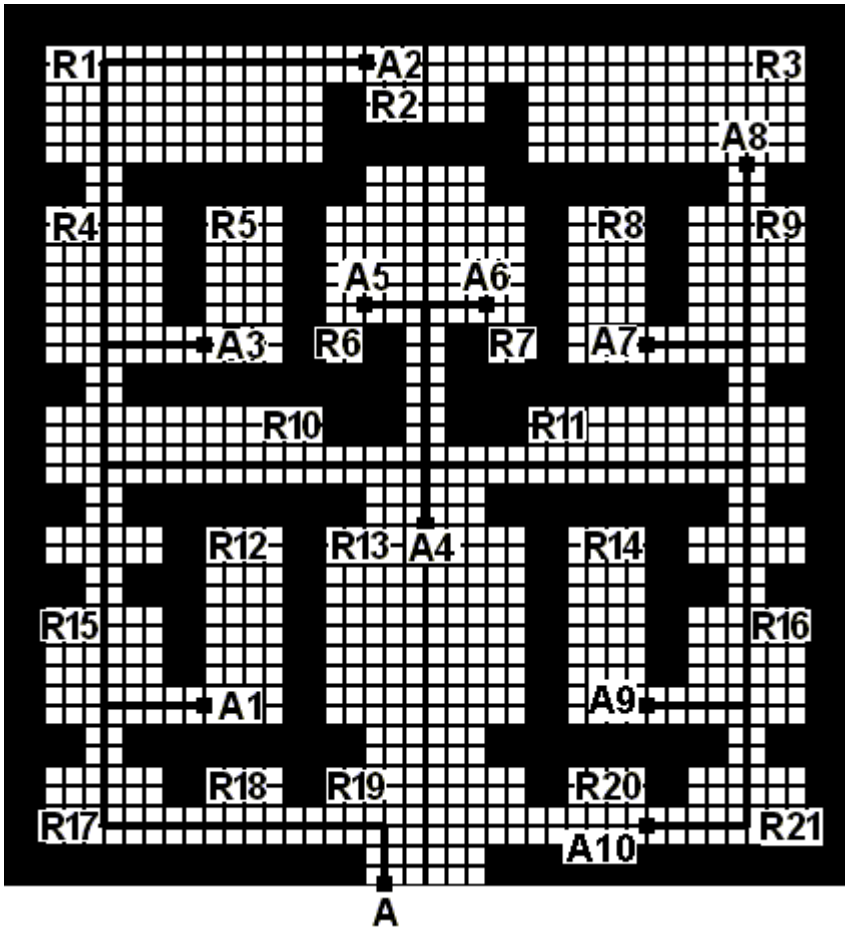
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам					Комментарии
		A	B	C	D	E	
1	27	0	27	0	27	27	A ждёт в A1, контролируя R1; B идёт в B1; C ждёт в C1; D идет в D1 и проверяет R2; E идёт в E1
2	16	0	16	16	16	16	A ждёт в A2, контролируя R1; B идет в B2 проверяя R1; D идет в D2; E идёт в E2 проверять R6
3	12	0	12	12	12	12	A ждёт в A3, контролируя R1; B идёт в B3 и останавливается; C идёт в C3; D идёт в D3; E идёт в E3
4	4	4	0	4	4	4	A идёт в A4; C идёт в C4; D идёт в D4; E идёт E3 проверять R4
5	10	10	0	10	10	10	A идёт в A5; C идёт в C5 проверять R3; D идёт в D5; E идёт E5
6	6	6	0	6	6	6	A идёт в A6; C идёт в C6; D идёт в D6; E идёт E6 проверять R8
7	10	10	0	10	10	10	A идёт в A7; C идёт в C7 проверять R4; D идёт в D7; E идёт E7, контролируя R13
8	15	15	0	15	15	15	A идёт в A8; C идёт в C8 проверять R5; D идёт в D8 проверяя R12; E идёт E8
9	15	4	0	15	15	0	A идёт в A9 контролировать R11 и останавливается; C идёт в C9; D идёт в D9 проверяя R10 и останавливается; E ждёт
10	7	0	0	7	0	3	C идёт в C10 проверять R9 и останавливается; E идёт E10 проверять R14 и останавливается
	122	49	55	95	115	103	Суммарные показатели

3. Общие результаты эксперимента

Количество роботов	2	3	4	5
Время информационного блокирования	265	206	142	122
Общая длина пройденного всеми роботами пути	444	425	409	417
Удельная длина пути	222	141.7	102.3	83.4
Время информационного обхода	369			
Отношение времени информационного блокирования ко времени информационного обхода	0.72	0.56	0.38	0.33

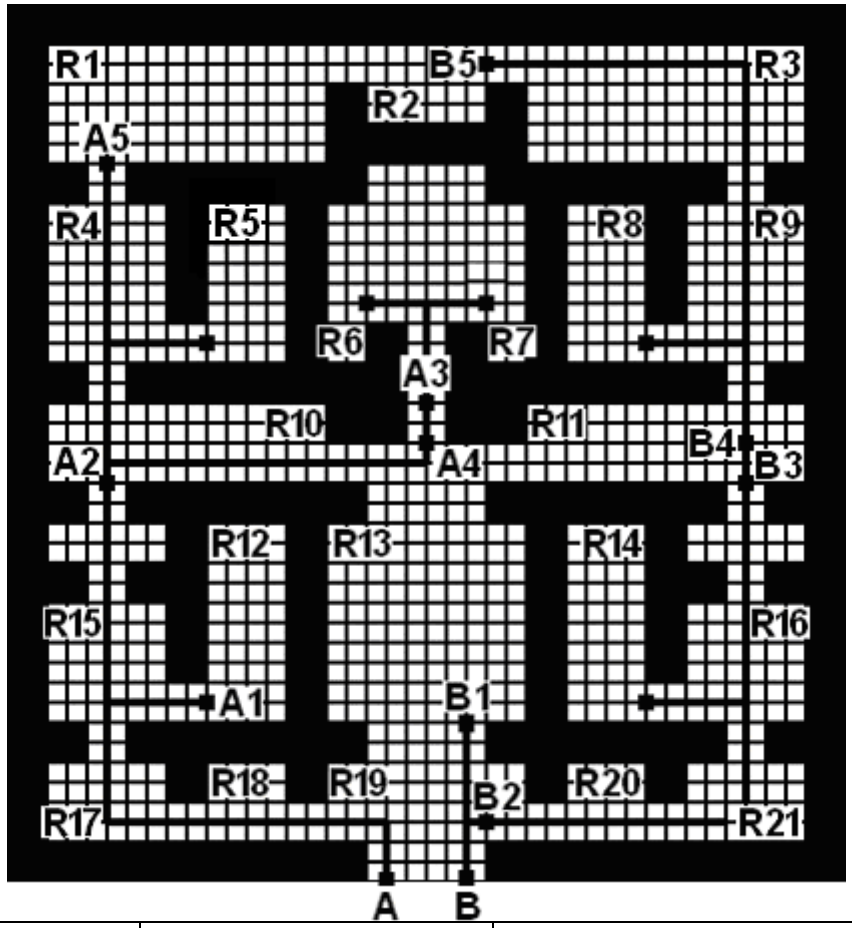
ТЕРРАЙН 7. ГМИИП

1. Информационный обход



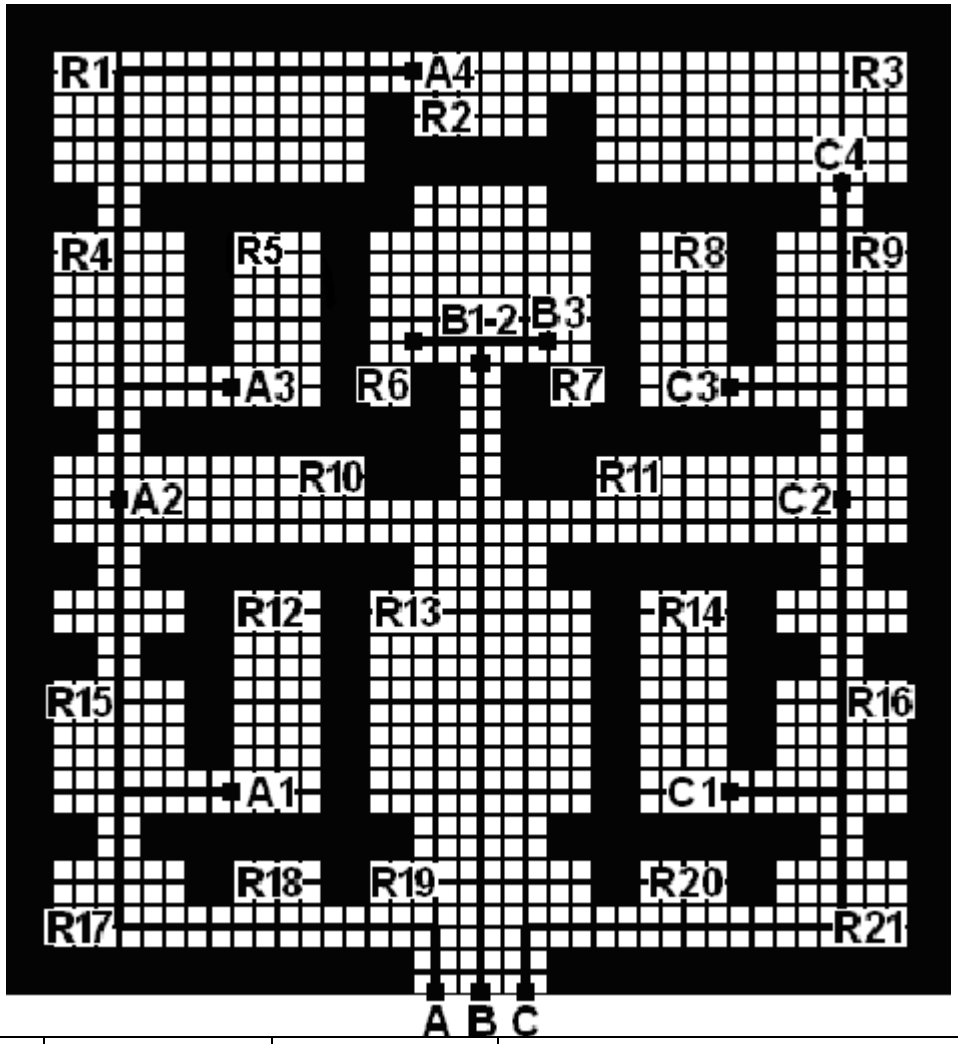
2. Информационное блокирование

2.1. Два робота



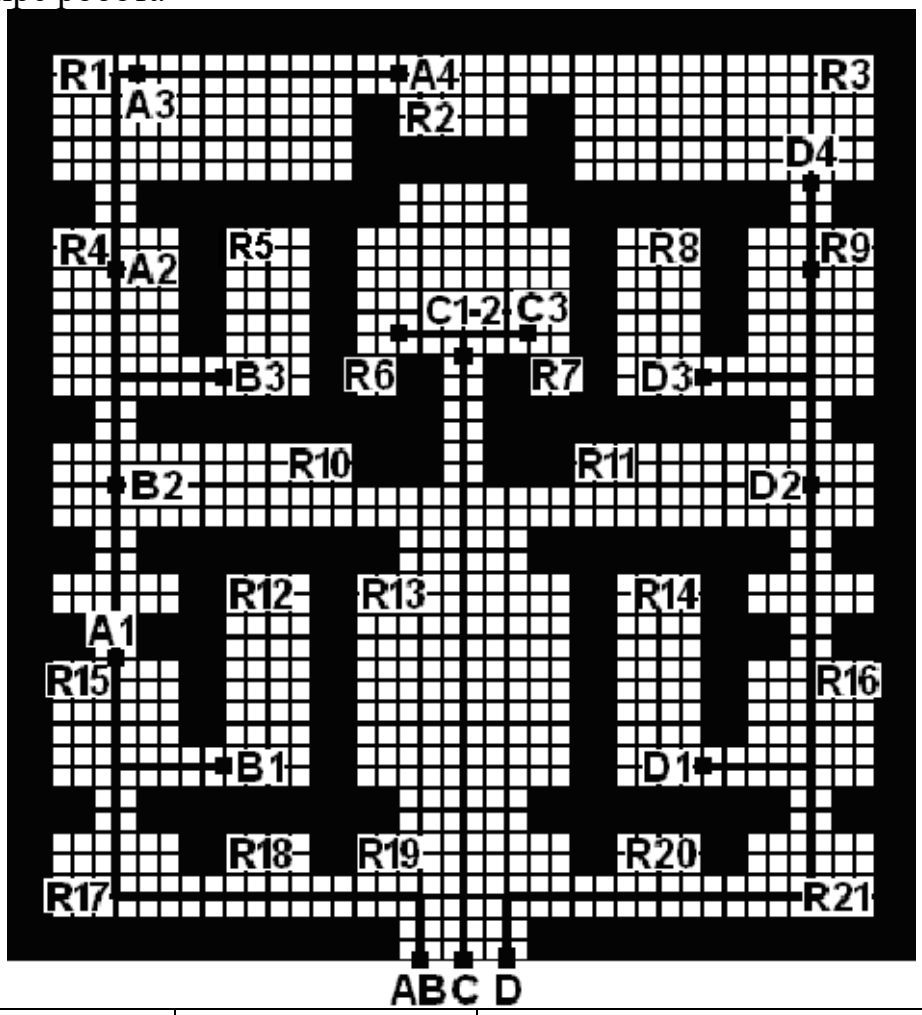
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам		Комментарии
		A	B	
1	28	28	8	Оба робота въезжают в R19. A обследуют R18, R17, R15 и R12. B обследует R13.
2	16	16	6	A обследует R10. B возвращается в R19.
3	40	20	40	A движется в R6 и фиксирует проход. B обследует R20, R21, R16, R14 и R11.
4	24	24	2	A обследует R6 и R7. B движется по R11.
5	42	42	42	A обследует R4, R5 и R1. B обследует R9, R8, R3 и R2.
	130	130	98	Суммарные показатели

2.2. Три робота



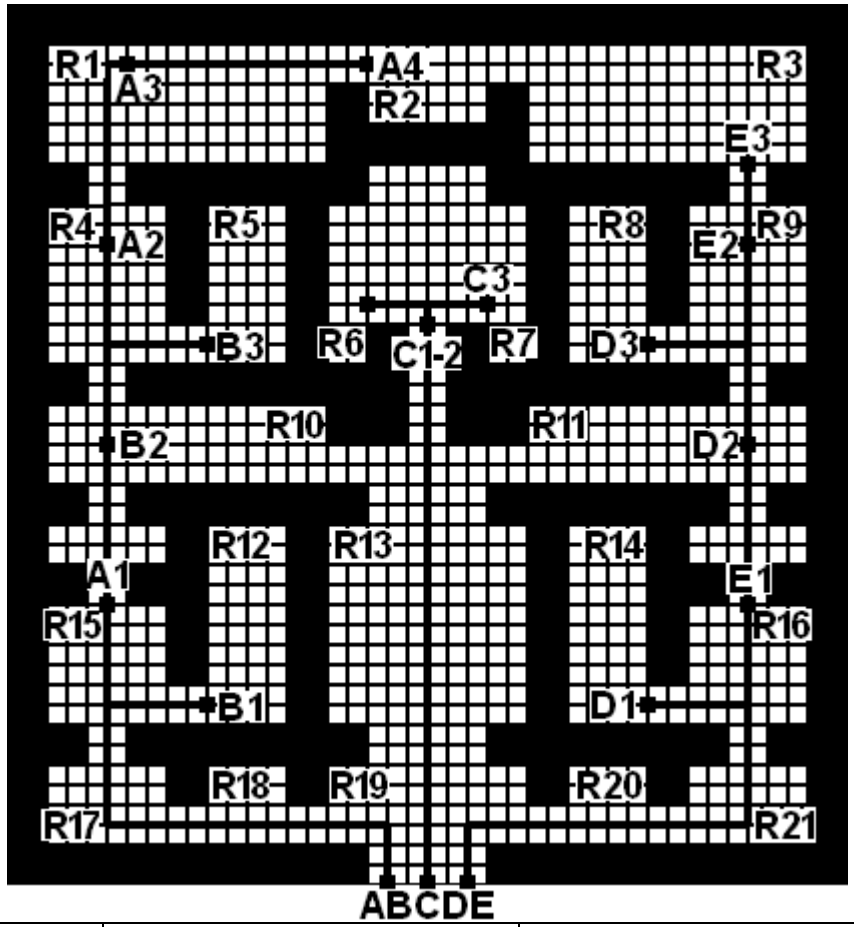
Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам			Комментарии
		A	B	C	
1	28	28	28	28	Все роботы въезжают в R19. A обследуют R18, R17, R15 и R12. B обследует R13 и движется в R6. C обследует R20 , R21, R16 и R14.
2	18	18	0	18	A обследует R10. B фиксирует проход. C обследует R11.
3	10	10	10	10	A обследует R4 и R5. B обследует R6 и R7. C обследует R9 и R8.
4	32	32	0	14	A обследуют R1 и R2. C обследует R3.
	88	88	38	70	Суммарные показатели

2.3. Четыре робота



Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам				Комментарии
		A	B	C	D	
1	28	28	28	28	28	Все роботы въезжают в R19. A и B обследуют R18, R17, R15. B обследует R12. C обследует R13 и движется в R6. D обследует R20 , R21, R16 и R14.
2	18	18	18	0	18	A обследует R10 и R4. B движется в R10. C фиксирует проход. D движется в R11.
3	10	10	10	10	10	A обследуют R1. B обследует R5. C обследует R6 и R7. D обследует R9 и R8.
4	14	12	0	0	14	A обследует R2. D обследует R3.
	70	68	56	38	70	Суммарные показатели

2.4. Пять роботов

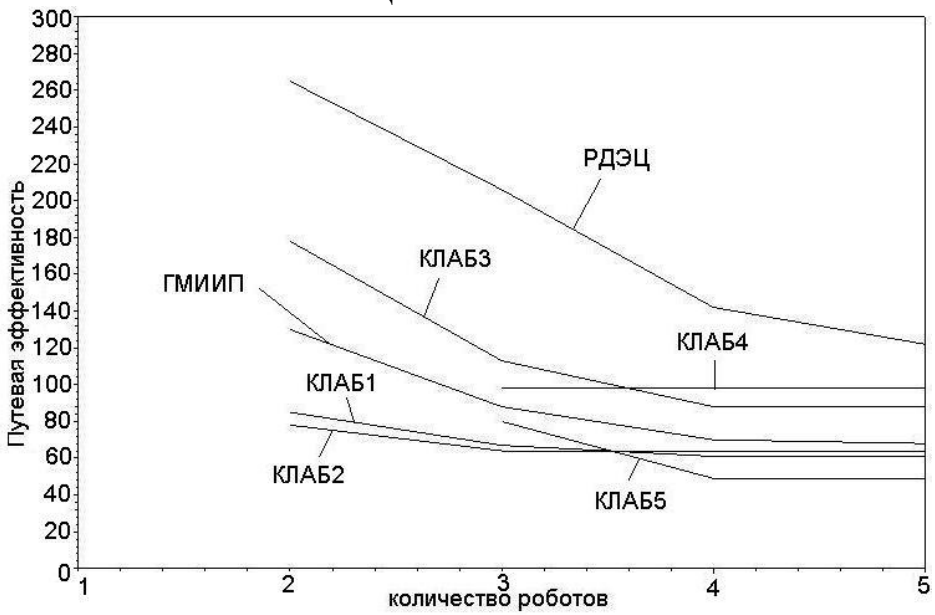


Событийное время	Модельное время	Длина пути, пройденного роботом по этапам					Комментарии
		A	B	C	D	E	
1	28	28	28	28	28	28	Все роботы въезжают в R19. A и B обследуют R18, R17, R15. B обследует R12. C обследует R13 и движется в R6. D и E обследуют R20 , R21, R16. D обследует R14.
2	18	18	18	0	18	18	A обследует R10 и R4. B движется в R10. C фиксирует проход. D движется в R11. E обследует R11 и R9.
3	10	10	10	10	10	4	A обследуют R1. B обследует R5. C обследует R6 и R7. D обследует R8. E обследует R3.
4	12	12	0	0	0	0	A обследует R2.
	68	68	56	38	56	50	Суммарные показатели

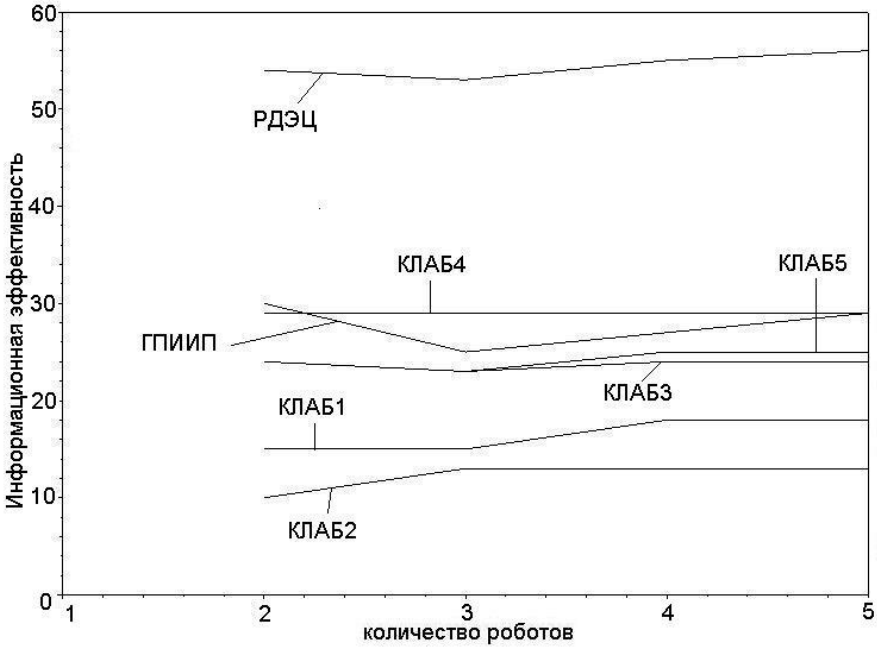
3. Общие результаты эксперимента

Количество роботов	2	3	4	5
Время информационного блокирования	130	88	70	68
Общая длина пройденного всеми роботами пути	228	196	232	268
Удельная длина пути	114	65.3	58	53.6
Время информационного обхода	260			
Отношение времени информационного блокирования ко времени информационного обхода	0.5	0.34	0.27	0.26

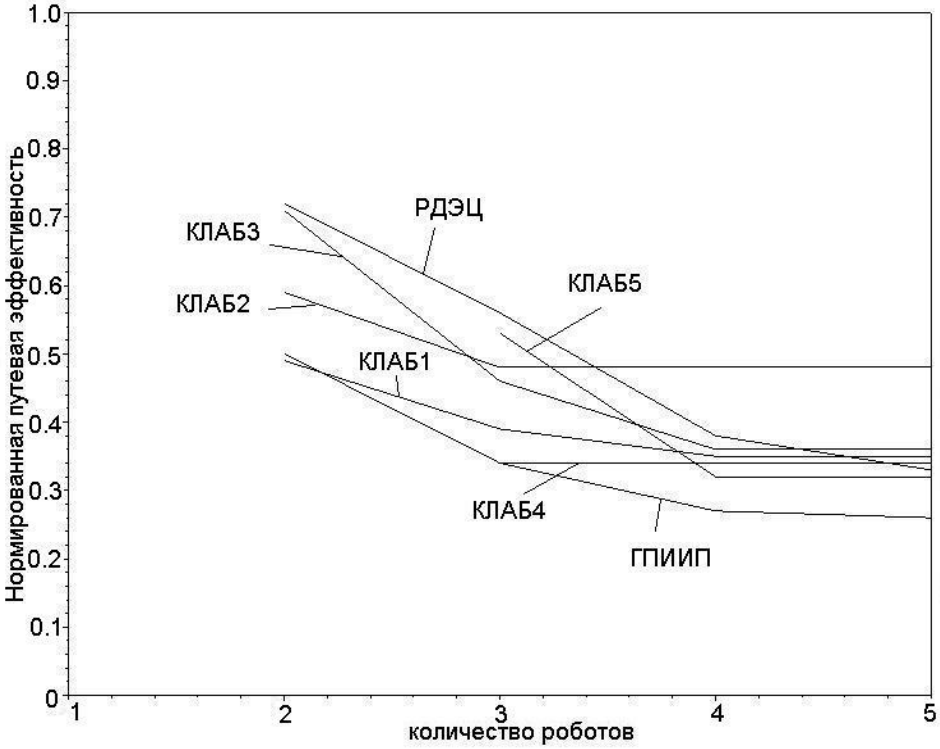
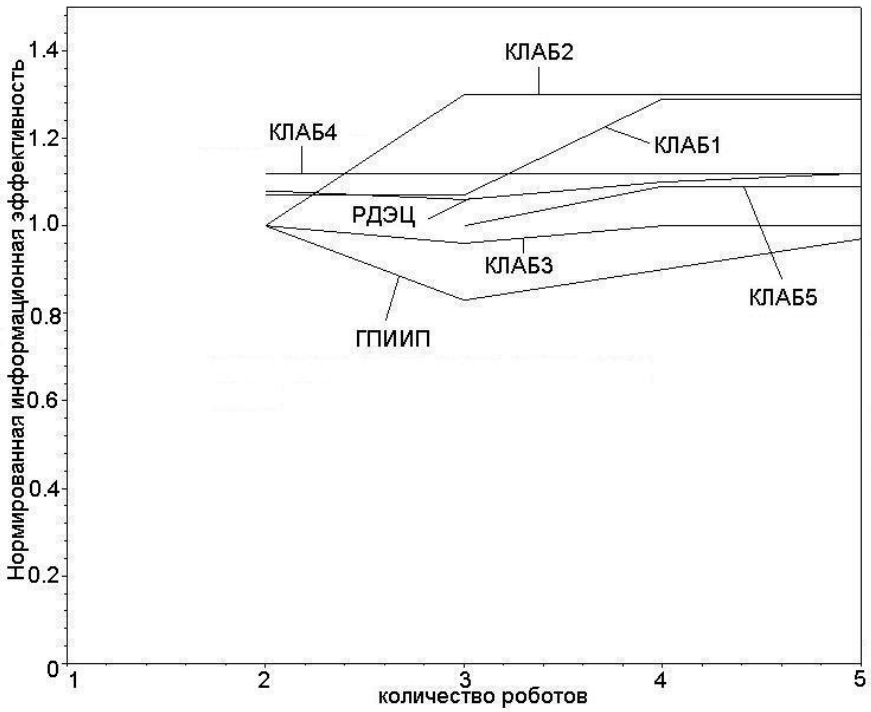
ОБЩИЙ ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ПУТЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА МР ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ БЛОКИРОВАНИИ



ОБЩИЙ ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА МР ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ БЛОКИРОВАНИИ



ОБЩИЙ ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ НОРМИРОВАННОЙ ПУТЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА МР ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ БЛОКИРОВАНИИ



ОБЩИЙ ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ НОРМИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА МР ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ БЛОКИРОВАНИИ