

**ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

Факультет компьютерных наук
Департамент программной инженерии

**Отчет
по курсовой работе**

на тему «Исследование самосопряженных запусков муравья Лэнгтона»

по направлению подготовки бакалавров 09.03.04 «Программная инженерия»

Выполнил
студент группы БПИ142-2
образовательной программы
09.03.04 «Программная
инженерия»

Е.Д. Урнышев
И.О. Фамилия

Подпись, Дата

Руководитель
профессор департамента
программной инженерии, д.т.н.
Должность, ученая степень

М.В. Ульянов
И.О. Фамилия

Оценка

Подпись, Дата

Москва 2016

РЕФЕРАТ

Отчет 20 с., 6 рис., 2 табл., 5 приложения, 4 источников

Ключевые слова: *Муравей Лэнгтона, самосопряженный запуск, длина предпериода, проверка гипотезы.*

В настоящей работе объектом исследования является Муравей Лэнгтона – двумерный клеточный автомат, изобретенный Крисом Лэнгтоном. Муравей движется по полю, состояние клеток которого обозначаются цветом, в соответствии со своими простейшими правилами.

Основные цели работы:

- Проверка гипотезы о том, что самосопряженные запуски Муравья порождает большую длину предпериода, чем запуски Муравья на полях с равномерным случайным разбросом белых и черных клеток.
- Сравнение длин предпериода Муравья при запуске на полях с различной частотой разброса черных клеток.

В качестве основного логико-теоретического метода проведения исследования использовалось моделирование: разрабатывалась программа, наделенная исключительно той функциональностью, которая необходима для решения задач настоящей НИР.

С точки зрения практического применения, разработанный инструмент может дополняться функциональностью и использоваться для решения более широких задач, выходящих за рамки данной курсовой работы.

По итогам выполнения исследования все поставленные цели были достигнуты.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	2
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	7
1. Обзор и анализ источников	7
2. Теоретическая часть	8
3. Описание эксперимента, анализ и оценка полученных результатов.	8
3.1 Проверка гипотезы о равенстве средней длины предпериода.	8
3.2 Зависимость средней длины предпериода от частоты разброса.	13
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	14
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	15
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Алгоритм поиска длины предпериода.	16
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Примеры выходных файлов программы.	17
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Распределение длин предпериода самосопряженных запусков.	18
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Зависимости средней и максимальной длины предпериода от конфигурации поля.	19
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Код программы.	20

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Запуск Муравья – размещение Муравья на двумерном клеточном поле и выполнение им такого количества шагов, пока он не начнет строить «магистраль».

Самосопряженный запуск – запуск Муравья на поле, конфигурация которого является результатом его первого запуска на поле, состоящем только из белых клеток.

Шаг Муравья – операция, включающая перекраску клетки в противоположный цвет и перемещение Муравья на соседнюю клетку.

Строить «магистраль» – циклично повторять шаги, тем самым вырисовывая на поле по диагонали «дорожку» из черных клеток.

Длина предпериода – количество шагов, которое необходимо выполнить муравью, прежде чем он начнет строить «магистраль».

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность НИР заключается в рассмотрении самосопряженных запусков Муравья Лэнгтона как начальном условии, которое увеличивает (или, наоборот, уменьшает) его длину предпериода. В широком смысле, с точки зрения актуальности и практического применения разработанный инструмент может пополняться дополнительной функциональностью и использоваться для дальнейших, более глобальных исследований в данной области.

Основные цели работы:

- Проверка гипотезы о том, что самосопряженные запуски Муравья порождает большую длину предпериода, чем запуски Муравья на полях с равномерным случайным разбросом белых и черных клеток.
- Сравнение длин предпериода Муравья при запуске на полях с различной частотой разброса черных клеток.

Задачи курсовой работы:

- Разработать программу, наделенную функциональностью, достаточной для проведения исследования.
- Провести несколько запусков муравья на различных полях с равномерным случайным разбросом черных клеток с сохранением их частоты относительно самосопряженного поля и проверить гипотезу о средней длине предпериода самосопряженного запуска Муравья.
- Сравнить зависимость средней длины предпериода муравья с частотой разброса черных клеток на поле.

В настоящей НИР объектом исследования является Муравей Лэнгтона – двумерный клеточный автомат, изобретенный Крисом Лэнгтоном. Муравей движется по полю, клетки которого раскрашены каким-то образом в черный и белый цвет, в соответствии со следующими простейшими правилами:

- Если Муравей расположен на черной клетке, то поворачивает налево на 90° , перекрашивает ее в белый цвет и перемещается вперед на соседнюю клетку;

– Если Муравей расположен на белой клетке, то поворачивает направо на 90° , перекрашивает ее в черный цвет и перемещается вперед на соседнюю клетку.

В качестве основного логико-теоретического метода проведения исследования использовалось моделирование: разрабатывалась программа, наделенная исключительно той функциональностью, которая необходима для решения задач настоящей НИР.

Новизна исследования и достоверность исследования определяется следующим:

Идея запуска Муравья Лэнгтона на поле, сгенерированном им же, не нашла отражения в обнаруженных источниках, поэтому в силу малого количества исследований в данной области есть основания утверждать, что подобное исследование проводится впервые.

Во время проведения экспериментов теоретически ошибка может возникнуть только при подсчете длины предпериода. Такая ситуация может случиться только при причине маленького размера поля, которого Муравью будет недостаточно для строительства магистрали. Приняв во внимание, что во время эксперимента размер поля динамически увеличивается, результаты исследования считаются достоверными.

Теоретическая значимость работы обусловлена тем, что Муравей Лэнгтона относится к открытым математическим проблемам: до сих пор не доказано, что при любой изначальной конфигурации поля муравей в конечном счете зацикливается и строит магистраль, а также не найдена такая конфигурация поля, при которой бы муравей бесконечно двигался хаотично. Таким образом, исследование в данной области позволит приблизиться к решению проблемы.

Практическая ценность работы заключается в дальнейшем возможном использовании разработанной программы как инструмента для исследования поведения Муравья и анализа его длины предпериода.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Обзор и анализ источников

Для проведения исследования использовался логико-теоретический метод моделирование: была разработана программа (см. *Рис. 1*), в которой представлено графическое изображение двумерного поля, на котором все поведение Муравья симулируется, а также все изменения в конфигурации поля отображаются динамически.

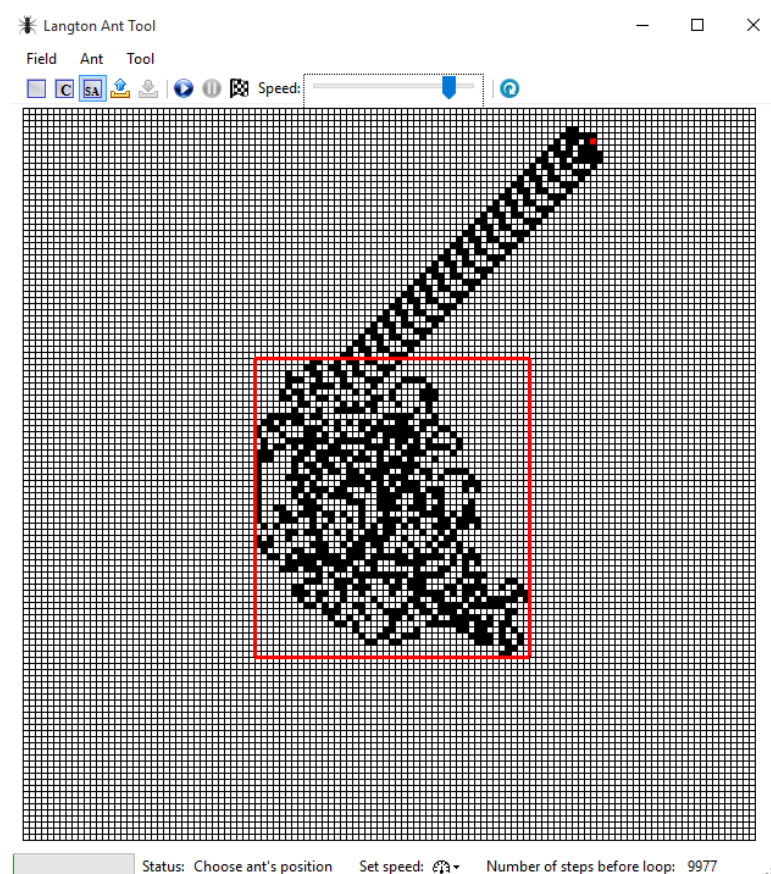


Рис. 1 – скриншот программы

Проанализировав найденные источники по данной области, можно сделать вывод, что почти все программы разработаны исключительно для ознакомления пользователя с поведением Муравья и, по сути, не несут исследовательский характер. Таким образом, для решения задачи появилась необходимость в

разработке собственного алгоритма поиска длины предпериода, не опираясь на ранее придуманные алгоритмы.

2. Теоретическая часть

При разработке инструмента для проведения исследования одной из основных задач являлась создание эффективного по времени алгоритма поиска длины предпериода Муравья. В результате был разработан алгоритм с вычислительной сложностью $O(n)$, где n – количество выполненных Муравьем шагов на момент вызова алгоритма. Эффективность такого алгоритма обоснована тем, что для подсчета длины предпериода необходимо, как минимум, сделать один проход по всем шагам Муравья (которые бинарно закодированы, так как он может только повернуть налево или направо, прежде чем сделать шаг вперед), который как раз-таки и имеет вычислительную сложность $O(n)$. Описание алгоритма смотреть в *Приложении 1* настоящего отчета.

3. Описание эксперимента, анализ и оценка полученных результатов.

3.1 Проверка гипотезы о равенстве средней длины предпериода.

Прежде чем начать эксперимент, Муравей Лэнгтона запускается на поле, состоящем только из белых клеток, и выполняет количество ходов, равное его длине предпериода (другими словами, перемещается по полю до тех пор, пока не начнет строить «магистраль»). Затем текущая конфигурация поля сохраняется и обрамляется прямоугольником с минимальной площадью так, чтобы все черные клетки на поле располагались внутри этого прямоугольника.

Суть эксперимента заключается в запуске Муравья с каждой клетки, расположенной внутри прямоугольника для последующего анализа их длин предпериода.

Для проведения исследования в программе предусмотрена возможность запуска нескольких экспериментов (см. *Рис.2*) с регулируемыми параметрами:

- Изначальная конфигурация поля: самосопряженная или со случайным разбросом черных клеток (см. *Рис.3*);
- Если выбрано поле со случайным разбросом, то задается частота встречаемых черных клеток (от 0 до 1);
- Количество экспериментов (количество генерируемых полей)
- Количество потоков (1 или 2);
- Необходимо ли отображение клеток на поле, с которых Муравей уже был запущен, а длина предпериода подсчитана;
- Необходимо ли уведомление пользователя о завершении эксперимента с подсчетом затраченного времени;
- Директория, куда будут сохраняться результаты экспериментов и сводная таблица.

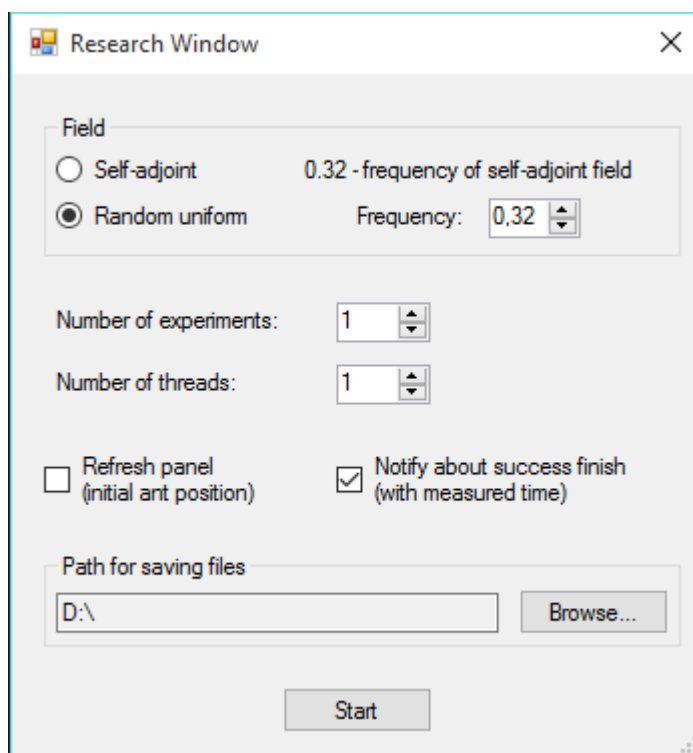


Рис 2 – окно параметров исследования

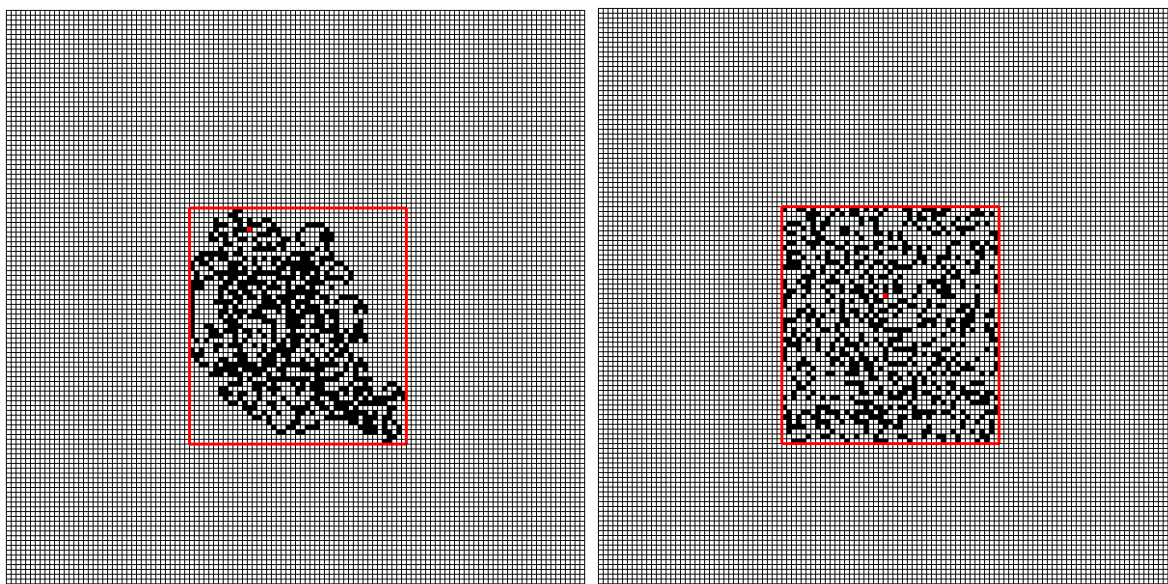


Рис.3 – сравнение раскрасок полей. Слева – самосопряженное поле, справа – поле со случайной конфигурацией.

По окончании выполнения исследования в выбранной пользователем директории будут расположены выходные файлы (примеры см. в *Приложении 2*) формата .csv: таблица с длинами предпериода для каждого эксперимента + сводная таблица с общей информацией по всем экспериментам (их средняя и максимальная длина предпериода).

С помощью программы было проведен 1 эксперимент по самосопряженному запуску Муравья и 30 экспериментов с запуском на поле со случайным разбросом черных клеток, притом число черных клеток на всех полях (в том числе и на самосопряженном) приблизительно совпадает. Результаты экспериментов приведены в *Таблице 1*:

Таблица 1 – сравнение длин предпериода в зависимости от типа запуска.

Поле	Средняя длина	Максимальная длина
Самосопряженное	8442	66486
Случайное №1	13311	148436
Случайное №2	14383	97574
Случайное №3	15403	106244
Случайное №4	10301	96003
Случайное №5	13015	94609

Продолжение Таблицы 1

Тип поля	Средняя длина	Максимальная длина
Случайное №6	16132	135296
Случайное №7	10145	123574
Случайное №8	14196	119329
Случайное №9	16040	160727
Случайное №10	15997	140361
Случайное №11	17005	126403
Случайное №12	11796	121191
Случайное №13	12778	148746
Случайное №14	12794	127377
Случайное №15	9974	128357
Случайное №16	13815	105196
Случайное №17	12774	117521
Случайное №18	18093	103381
Случайное №19	13551	279123
Случайное №20	11964	121990
Случайное №21	15348	102686
Случайное №22	11593	161870
Случайное №23	7696	103272
Случайное №24	10867	116353
Случайное №25	15469	133952
Случайное №26	9275	120137
Случайное №27	14604	119352
Случайное №28	9936	87874
Случайное №29	15364	127863
Случайное №30	13956	111017

Используя полученные данные, была выдвинута и проверена двухсторонняя гипотеза о равенстве математического ожидания.

Дана выборка из 30 случайных величин. В силу их количества будем полагать, что они имеют нормальное распределение $N(\mu, \sigma^2)$ с математическим ожиданием μ и дисперсией σ^2 . Сформулирована основная и альтернативная гипотезы:

H_0 : Распределение имеет такое же математическое ожидание, что и распределение длин предпериода при самосопряженных запусках ($\mu = \mu_0 = 8442$).

H_A : Математическое ожидание длины предпериода больше или меньше, чем на самосопряженном запуске ($\mu \neq \mu_0 = 8442$).

Проверка гипотезы была совершена на уровне значимости 0,01. Поскольку дисперсия генеральной совокупности не известна, использовалась t – статистика:

$$t_{n-1} = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}} \stackrel{H_0}{\sim} t \quad (1)$$

Проведены все необходимые расчёты:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = 13252,5; \quad \hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - n \times (\bar{X}^2) \right)} = 2520;$$

$$t_{n-1} = \frac{13252,5 - 8442}{\frac{2520}{5,48}} \approx 10,456$$

$t_{29, 0.005} \approx 2,76 < 10,456$, основная гипотеза отвергается в пользу альтернативной: в среднем, длина предпериода **больше** при запусках на полях со случайным разбросом черных клеток, чем при самосопряженных запусках.

Впрочем, для такого вывода не обязательно знать математическую статистику – данные в *Таблице 1* говорят сами за себя: из 30 экспериментов только в одном средняя длина предпериода вышла меньше, чем на самосопряженном поле, и максимальная длина предпериода на любом эксперименте внушительно больше.

С точки зрения оценки полученный результат говорит о том, что запуск Муравья на поле, разукрашенном им же ранее, порождает меньшую длину предпериода, и он быстрее начинает строить магистраль. На основании этого можно предположить, что распределение белых и черных клеток на самосопряженном поле не случайно, а содержит некоторую закономерность, которая и придает Муравью зацикленное поведение.

3.2 Зависимость средней длины предпериода от частоты разброса.

Регулируя параметр «Frequency» (частота разброса черных клеток) с шагом 0,1, было проведено по 10 экспериментов (кроме частоты 1, где поле состоит только из черных клеток) и для каждой подсчитаны общая средняя и максимальная длина предпериода. В общей сложности, каждый эксперимент подразумевает по 2205 запусков Муравья с каждой клетки внутри обрамляющего прямоугольника. Результат представлен в *Таблице 2*, а графики зависимости см. в *Приложении 4*.

Таблица 2 – Зависимость средней и максимальной длины предпериода от частоты разброса.

Частота разброса	Средняя длина	Максимальная длина
0,1	12519	134414
0,2	12522	140423
0,3	13252	179123
0,4	14204	139718
0,5	15640	189488
0,6	15496	181012
0,7	16847	167689
0,8	16769	154435
0,9	17207	209925
1	15286	167659

Проанализировав данные, можно заметить, что максимальная длина предпериода варьируется в достаточно большом диапазоне, притом зависимость от частоты разброса мала. Однако средняя длина предпериода коррелирует с частотой разброса и при подсчете коэффициента Пирсона по следующей формуле:

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \times \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})}} \quad (2)$$

получился результат 0,862, число близкое к 1, что говорит о тесной, прямопропорциональной, почти линейной связи между значениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По окончании исследования было получено два теоретически значимых результата:

- в среднем, длина предпериода больше при запусках на полях со случайным разбросом черных клеток, чем при самосопряженных запусках;
- частота разброса черных клеток на поле прямо пропорционально коррелирует со средней длиной предпериода.

Во время проведения исследования была разработана не имеющая аналогов в свободном доступе программа, являющаяся незаменимым инструментом для проведения экспериментов настоящей НИР. С помощью нее были достигнуты все поставленные цели исследования, а также повысился навык программирования у исполнителя.

При дальнейшем исследовании в данной области необходимо определить условия, при которых Муравей Лэнгтона приобретает зацикленный характер и начинает строить «магистраль», а также доказать, что при любой изначальной конфигурации поля он способен динамически создать себе эти условия или все-таки найти такую раскраску, когда Муравей после запуска будет бесконечно двигаться хаотичным образом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стюарт И. Величайшие математические задачи. — М.: Альпина нон-фикшн, 2016. — 460 с. ISBN 978-5-91671-507-1.
2. ГОСТ 7.32-2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. — М: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. — 21 с.
3. Муравей Лэнгтона [Электронный ресурс]
//URL: <http://ru.knowledgr.com/00070850/МуравейЛэнгтона>
4. MSDN [Электронный ресурс] //URL: <http://msdn.microsoft.com/>

Алгоритм поиска длины предпериода.

В силу того, что при строительстве магистрали Муравьем, цикл повторяется каждые 104 шага, а также при проведении экспериментов, где Муравей запускается более 2000 раз, имеет смысл запускать алгоритм поиска длины предпериода не после каждого шага Муравья, а через некоторый интервал (во время проведения экспериментов поиск длины предпериода Муравья производится каждые 2000 ходов, а при динамической отрисовке на поле – каждые 500).

Алгоритм поиска длины предпериода сводится к поиску индекса такого символа в строке, после которого циклично до конца повторяется некоторая подстрока.

```
// Алгоритм возвращает индекс последнего шага, не входящего в цикл
//Или -1, если в конце строки нет циклично повторяющейся подстроки
public int beginOfLoop()
{
    // Иверсия строки way, в которой бинарно закодированы шаги
    string reversed = new string(way.Reverse().ToArray());

    // Получение блока строк.
    // Блок строк - b[i] = j означает, что начиная с i буквы,
    //подстрока из j элементов совпадает с первыми j буквами.
    // str( 0 : j ) == str( i : i + j - 1)
    int[] bl = blocks_arr(reversed);

    // В переменной position индекс ближайшего к концу символа,
    // не входящего в цикл.
    // В переменной len – длина найденного цикла
    int position = 0, len = 0;

    for (int i = 1; i < size; i++)
    {
        // Первое условие - повторяющаяся подстрока по длине
        // должна доходить от начала до индекса i (иначе цикл
        // прерывающийся).
        // Второе условие - перезаписывать position имеет
        // смысл, когда оно сдвигается дальше от конца
        if (bl[i] >= i && i + bl[i] - 1 > position)
        {
            position = i + bl[i];
            len = i;
        }
    }
    // Проверка на минимально требуемую длину подстроки (цикла)
    if (len < MIN_CYCLE_LEN)
        return -1;
    return way.Count - position; // Возвращаемый результат
}
```


ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

Примеры выходных файлов программы.

Рисунок 4 – пример файла «Freq 0,7 exp5.csv»

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	57229	11695	16145	6263	1416	10548	1400	12769	1388	10520	1376	16686	1364	26979	1352	11678	1356	21775	28958	14179	15
2	22435	1278	53650	16107	44957	1442	13062	40554	8070	26183	18092	15711	9392	15707	9472	15859	27437	15963	30378	4698	16
3	1456	11830	1460	13004	1492	29524	39909	40460	1968	38978	28362	9010	42369	24358	15641	9490	1280	20081	15985	18092	2
4	24205	1270	6439	2102	24487	20847	10040	3050	7700	31048	27185	2774	20126	8706	17606	15699	17918	1538	27876	3538	8
5	16931	13238	16297	2762	1432	24489	1928	18298	19657	15449	28956	40320	11291	7558	1152	10898	10931	8666	61718	26001	1
6	2830	1414	14946	16215	24515	5056	24491	2314	21239	32565	21938	13994	37050	23279	18554	18583	8980	12584	8740	1186	17
7	1452	18233	16161	9930	1428	24517	1904	2519	2296	9382	28558	11478	1956	21817	1924	9678	16021	21126	1756	9070	16
8	11478	1522	10924	1442	2130	1906	12433	3726	38583	27738	9412	30880	9370	13158	12002	1174	12046	1186	9182	1750	5
9	1800	15378	1440	2010	1282	23579	18884	14112	2004	27751	1320	9046	2096	17270	2096	24175	2092	15230	1188	7090	22
10	28943	1442	9192	1966	2012	1878	13182	1886	14841	1898	30262	2658	11231	2102	26895	2090	40729	1290	10648	1258	18
11	1460	3891	2136	15475	2372	14796	25732	11037	1896	22535	2064	9498	1808	9398	1592	7462	1200	18492	1252	3477	33
12	9016	17807	14253	2078	30141	1514	16652	2230	11039	883	17136	1898	5970	2098	7468	1214	24210	1218	10522	47517	21
13	1424	12175	17364	32188	2768	14270	18026	17638	41235	11041	1640	25173	1452	10294	2176	31347	1264	17734	43351	7293	1
14	11805	1866	12169	17935	73045	55988	22990	21220	8949	867	39113	3378	10480	1598	34530	1210	8548	1326	5396	31612	21
15	1852	16830	8996	16834	2148	6225	11307	16923	849	8678	5296	13374	1564	19493	1252	8270	1244	29873	2908	16871	5
16	6316	4634	16824	18227	30135	16258	15038	1790	28051	1758	17764	1866	12717	29078	8588	1230	19389	1234	22875	9706	18
17	65545	16818	8676	7316	1784	30055	1912	32271	6736	8211	21468	25934	1608	33059	1608	7748	30626	41730	125307	20938	5
18	9056	623	7195	1530	13087	1798	8700	1914	9100	2054	23503	815	71523	17246	12309	1630	35268	12858	18483	20156	7
19	3981	8444	3628	17212	2080	17737	2072	9259	657	9702	1688	7778	1364	34668	1668	4678	12848	22653	33461	16977	5
20	7798	5310	11144	635	12134	643	8708	651	22720	1678	19391	1670	4660	1634	4672	1662	4692	1658	5630	45520	12
21	17358	7860	26754	8096	1728	33336	1740	10531	661	24022	2072	5682	1656	11885	1912	30376	19157	7672	1660	18310	18
22	12109	5846	14507	2563	7834	1722	16479	1674	8241	691	34019	763	29858	1786	23088	1810	11166	34944	14494	1662	56
23	2324	16741	1816	23127	2032	22943	1720	7980	1708	7416	1672	5876	21860	7535	2176	12543	1972	21676	1676	39987	12
24	6323	1836	6324	1333	23493	1736	13086	2085	23436	2374	26433	2058	7326	2366	13246	13837	14766	32545	23363	1666	25

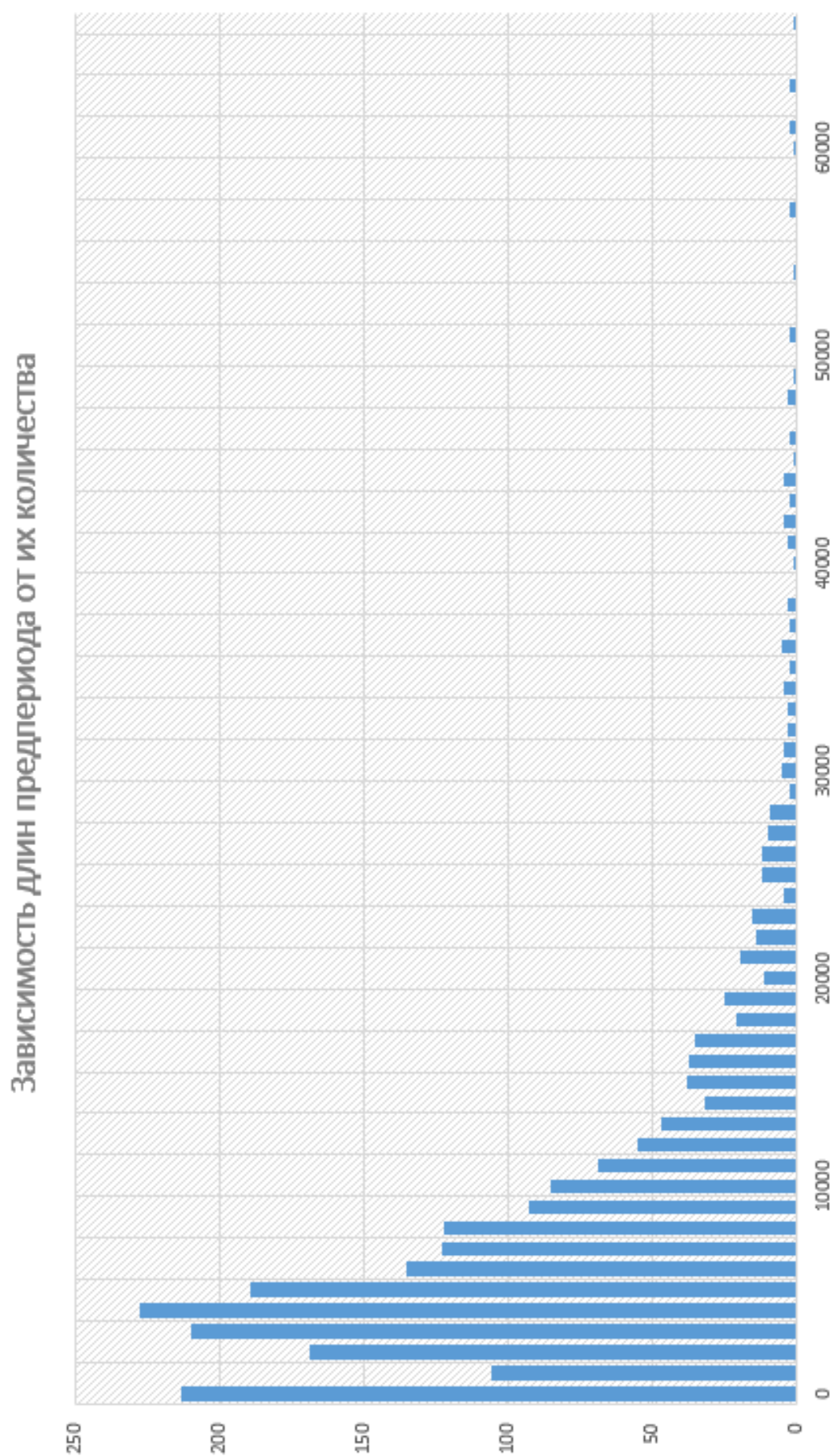
Рисунок 5 – пример файла «General Info.csv» для 10 экспериментов

	A	B	C	D	E	I
1	Experiment 1	Mean:	18876	Max:	130398	
2	Experiment 2	Mean:	16745	Max:	147693	
3	Experiment 3	Mean:	13928	Max:	102151	
4	Experiment 4	Mean:	13489	Max:	146382	
5	Experiment 5	Mean:	16372	Max:	189488	
6	Experiment 6	Mean:	19127	Max:	102108	
7	Experiment 7	Mean:	12919	Max:	100952	
8	Experiment 8	Mean:	15655	Max:	103195	
9	Experiment 9	Mean:	12023	Max:	171287	
10	Experiment 10	Mean:	17262	Max:	144478	
11						
12						

Рисунок 6 – файл «Self-Adj.csv» (самосопряженный запуск)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	5196	278	7652	781	8387	673	18441	621	3837	733	3837	733	15530	857	10125	8223	10177	4787	7954	609	7
2	368	7014	172	4916	132	8832	663	3967	2097	12452	72	20467	1303	5779	583	8203	4729	12359	599	9488	4
3	8639	166	7804	669	7648	645	16277	645	742	629	633	605	7690	4583	7586	581	6894	545	13633	10321	8
4	757	2637	156	8904	128	6000	643	15372	3025	6060	611	9896	9257	11548	591	12787	543	2698	4637	1474	11
5	5716	590	46014	10270	12284	1470	4558	661	4746	2063	22239	138	5361	4571	30378	541	4774	9263	9423	9021	23
6	6454	8540	140	8221	3757	7688	659	15356	8	23014	632	3195	479	10002	6996	10679	4621	4872	4625	4875	4
7	17191	12666	6122	74	12761	3187	4534	14	7167	18	10838	9781	8095	23	9375	525	11529	4547	12997	13525	5
8	368	4340	5045	3111	7998	8530	16931	6112	11647	20306	4589	10576	3229	7043	116	6674	4561	12987	571	10949	11
9	19731	290	8646	230	4962	10975	12355	2911	4426	4471	5790	8167	9623	19797	6518	118	5402	6743	8987	17279	12
10	9745	7451	1543	15683	9805	8916	475	6156	1997	15389	1451	11741	8216	10995	451	9997	503	8055	4537	16852	5
11	18266	4067	6766	12131	7361	5615	14878	16295	3914	8287	10558	4959	23643	12057	17444	134	9910	3469	8950	5657	3
12	11037	3464	2123	16310	7729	7945	6278	7652	3218	6660	6203	10349	15269	13978	443	15187	8665	2451	6377	11754	1
13	17593	1601	3490	288	7042	1045	49741	1704	5554	13611	5254	12583	2210	441	11006	481	13050	3539	9190	2223	23
14	10782	17595	3127	25157	11233	19117	1059	6549	423	4964	435	4107	439	8970	152	5668	7982	12501	10701	7320	2
15	3429	4491	3829	7888	5398	1696	3954	417	10522	8783	38099	437	10716	2999	9631	461	5990	10003	35694	2730	13
16	388	3832	371	5439	219	42460	415	14840	5069	9672	435	6269	447	22231	459	10379	3329	8319	3305	2567	3
17	7684	398	22269	377	17201	413	4571	4805	6158	429	20005	513	3466	11925	11261	28427	7821	8144	8529	8799	6
18	379	16213	379	19473	1353	7897	10958	6966	427	6073	9507	8612	487	6193	5535	14257	18242	16776	3618	8308	3
19	4405	20641	28061	6211	5620	26707	18874	4426	12527	461	14055	509	7862	8251	14882	513	3374	1955	7462	3608	7
20	16257	3968	1560	12692	1588	15775	7570	44099	2628	15912	3616	9840	4741	5443	6193	5679	7725	15421	2293	15427	1
21	4258	1757	16380	1383	7464	2470	5882	3475	4358	3494	17655	19231	17162	4808	10970	5611	12173	1802	23152	3644	17
22	1504	3980	1944	22091	1860	6456	1692	5599	12721	11152	10700	15404	4806	42878	4864	11532	3774	6597	5791	7905	4
23	27767	1853	12250	2042	5695	621	5993	3307	12810	7103	43313	661	9257	3783	14202	8515	17957	3616	29511	11555	17
24	14333	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	18141	25

Распределение длин предпериода самосопряженных запусков.



Зависимости средней и максимальной длины предпериода
от конфигурации поля.



Код программы.

1. MainWindow.cs
Будет добавлен
2. LangtonAnt.cs
3. LangtonFrame.cs
4. CustomField.cs
5. ResearchWindow.cs