Государственное учреждение образования
«Гимназия №1 г.Волковыска»

Секция «Информатика»

Муравей Лэнгтона

Завалов Илья Владимирович,
8 класс

Руководитель работы:

Кулаков Валерий Владимирович, педагог дополнительного образования ГУО «Волковысский районный центр технического творчества детей и молодежи».

Волковыск, 2019

Содержание

[Введение 3](#_Toc536200660)

[1. Теоретическая часть Исследование и анализ темы 5](#_Toc536200661)

[2. Практическая часть. 7](#_Toc536200673)

[2.1 Реализация алгоритма движения Муравья Лэнгтона 7](#_Toc536200674)

[2.2 Реализация модели Муравья Лэнгтона с использованием принципов ООП 7](#_Toc536200679)

[2.3 Анализ и исследование движения Муравья Лэнгтона 8](#_Toc536200681)

[2.3 Исследование движения Муравья Лэнгтона в других вселенных 10](#_Toc536200682)

[2.4 Разработка обобщенного автомата на основе Муравья Лэнгтона 11](#_Toc536200683)

[Заключение 14](#_Toc536200688)

[Список использованных источников 15](#_Toc536200689)

[Приложения 16](#_Toc536200696)

[Приложение 1 Простейший алгоритм движения Муравья Лэнгтона 17](#_Toc536200697)

[Приложение 2 Алгоритм с использованием принципов ООП 18](#_Toc536200699)

[Приложение 3 Алгоритм обобщенного автомата 19](#_Toc536200701)

**Введение**

Предпосылкой к данному исследованию послужило чтение книги «Наука Плоского мира» математика Йена Стюарта и популяризатора науки Джека Коэна в соавторстве с известным литератором Терри Пратчеттом. Книга описывает множество теорий, взглядов и фактов из мира физики, математики и биологии. В одной из глав данной книги встречено описание абстрактного существа «Муравей Лэнгтона», на примере которого демонстрируются и поясняются многие научные принципы. Вселенная Муравья Лэнгтона имеет вид бесконечного клеточного поля. В начальный момент времени все клетки имеют белый цвет. Муравей двигается по своей вселенной, руководствуясь двумя простыми правилами:

1. если клетка белая, перекрасить ее в черный и повернуть направо;
2. если клетка черная, перекрасить ее в белый и повернуть налево. [6]

**Актуальность** темы заключается в следующих аспектах:

* одним из широких и важных направлений информатики является компьютерное и математическое моделирование, в том числе и программирование клеточных автоматов [3];
* таким образом, основы знаний и умений моделирования необходимы для успешного изучения программирования;
* данная тема интересна, так как поведение Муравья Лэнгтона непредсказуемо, но абсолютно детерминировано [6];
* тема объединяет в себе несколько наук (информатика, математика, физика, биология, философия), о чем пойдет речь далее [6];
* для изучения как моделирования в общем, так и поведения Муравья Лэнгтона необходимо реализовать собственный алгоритм, чтобы иметь возможность совершенствовать его, создавать обобщения, анализировать поведение, в том числе и при различных начальных условиях.

**Новизна** в исследовании выражена в создании алгоритма обобщенного муравья, а также исследовании его поведения при различных начальных условиях (в различных вселенных).

**Цель:** исследование формы движения клеточного автомата «Муравей Лэнгтона».

**Задачи исследования:**

1. Изучить основы методов компьютерного моделирования;
2. Реализовать алгоритм и код на языке программирования, реализующий движение Муравья Лэнгтона;
3. Проанализировать движение Муравья Лэнгтона;
4. Исследовать модели поведения Муравья во вселенных, отличных от пустой;
5. Изучить основы теории клеточных автоматов и других наук, связанных с темой исследования (математика, физика, философия);
6. Исследовать возможности применения клеточного автомата «Муравей Лэнгтона» в науке;
7. Изучить основы ООП с использованием типа данных RECORD в ЯП Pascal;
8. Обобщить алгоритм и создать обобщенный автомат с бесконечно возможным набором правил;
9. Проанализировать принципы движения обобщенного автомата.

**Объект исследования:** клеточные автоматы.

**Предмет исследования:** клеточный автомат «Муравей Лэнгтона».

**Гипотеза исследования:** при помощи ЯП “Pascal” можно имитировать движение Муравья Лэнгтона и изучить его поведение.

**Предполагаемые результаты:**

1. Реализация программы, демонстрирующей поведение Муравья Лэнгтона;
2. Анализ области применения абстракции «Муравей Лэнгтона»;
3. Реализация программы, демонстрирующей поведение обобщенного Муравья Лэнгтона.

Выбраны следующие **методы реализации** исследования:

* анализ данных;
* работа с литературой;
* программирование и алгоритмизация;
* компьютерное моделирование и опыты.

**Этапы реализации** исследования:

1. исследование и анализ темы;
2. работа с литературой иинтернет-источниками;
3. анализ и выбор среды программирования;
4. разработка простейшего алгоритма;
5. исследование поведения Муравья Лэнгтона;
6. разработка объектно-ориентированного алгоритма;
7. разработка алгоритма обобщенного автомата на основе Муравья Лэнгтона;
8. исследование поведения обобщенного автомата на основе муравья Лэнгтона.

Ресурсы исследовательской деятельности:

* **интеллектуальные:** умение анализировать и обрабатывать данные, логическое мышление, навыки программирования;
* **информационные:** книги, материалы из сети Internet по данной теме, программное обеспечение «PascalABC.NET»;
* **материальные (технические):** персональный компьютер.

1. Теоретическая часть
Исследование и анализ темы

Муравей Лэнгтона рассматривается в научной и научно-популярной литературе с различных позиций. Определение данной сущности обычно дают как двумерному клеточному автомату с простым набором правил, изобретенному Крисом Лэнгтоном[4]. Другое определение Муравья можно дать через двумерную машину Тьюринга с двумя символами и четырьмя состояниями[3]. Упрощенно можно сказать, что Муравей Лэнгтона – это абстрактное существо, живущее в бесконечной клеточной вселенной и следующее двум простым правилам:

1. если клетка белая, перекрасить ее в черный и повернуть направо;
2. если клетка черная, перекрасить ее в белый и повернуть налево.

Весь интерес и загадка данной абстракции состоит в том, что из данного простого набора правил не напрямую следует сложность поведения автомата (рис. 1.1). А именно, поведение Муравья можно разделить на три этапа (категории, модели):

1. почти правильный геометрический узор (примерно до 400 шага);
2. бессистемное хаотическое движение (примерно до 10 000 шага);
3. «магистраль» или «строительство дороги» (после 10 000 шага).

  

*Рисунок 1.1 – Модели поведения Муравья – правильный рисунок, хаотичное движение и магистраль.*

Рассмотрим несколько литературных источников, в которых идет речь о Муравье.

В труде Йена Стюарта «Величайшие математические задачи» Муравей Лэнгтона рассматривается с математической точки зрения как пример моделирования поведения сложной системы в рамках раздела математики «Сложные системы». Смысл рассуждения можно передать следующим образом. Муравей Лэнгтона обладает удивительным свойством: его поведение непредсказуемо (логически никак не следует из правил), но абсолютно детерминировано (муравей ведет себя всегда одинаково и по-другому вести себя не может). Таким образом, в общем виде провести математическое доказательство именно такой модели движения Муравья невозможно. Доказательство будет иметь вид последовательности из около 10 000 операций (именно на этом этапе Муравей приобретает магистральное поведение). И только после этого его поведение начнет повторяться, что уже несложно показать. [7]

Второй вопрос, который ставит автор – какое поведение приобретет Муравей в других вселенных, в которых изначально есть клетки черного цвета: «Мы можем выбрать для этого любые клетки: это может быть случайный набор, черный квадрат или Мона Лиза. Их может быть миллион, или миллиард, или еще больше, но не бесконечное количество. Что произойдет?[7]» Исследования показывают, что он всегда строит дорогу. Но пока это не доказано, и понятно почему (разъяснено выше). Единственное, что на данный момент доказано – это то, что муравей всегда расширяет свое жиненное пространство, т.е. не остается в ограниченной области вселенной.

Теперь рассмотрим известную книгу великого биолога современности Ричарда Докинза «Эгоистичный ген». В данном источнике Муравей рассматривается с точки зрения биологии, адаптации, моделирования поведения сложных систем. Сложная система – это совокупность более простых элементов, составляющих эту систему, и весь смысл состоит в том, что поведение системы не всегда является (а чаще не является вообще) суммой характеристик своих подсистем. Поведение популяций живых организмов, их цели, совершенно не соответствует поведению и целям отдельной особи; поведение живого организма и его цели не соответствуют поведению и истинным целям элементарных биологических «кирпичей» – генов. Примером и демонстрацией такого поведения является Муравей Лэнгтона. Исследование его поведения представляет интерес в качестве аналога поведения и адаптации биологических систем. Адаптация Муравья Лэнгтона – это его магистральное поведение, являющееся аттрактором Муравья. Стоит првести интересную цитату из данной книги: «*Если запрограммировать агенты так, чтобы они обладали памятью, они будут обладать информацией о той среде, в которой находятся. Они будут помнить, в каких местах находились и что там происходило … у агентов вырабатываются убеждения, и они действуют в соответствии со своими убеждениями … любопытно, что иногда некоторые агенты вырабатывают ложные убеждения. Либо вследствие конфликта мотиваций, либо по какой то другой причине они начинают действовать неадекватно … в программах, отражающих процесс эволюции, такие агенты уничтожаются.*» [2]

В другой литературе данный автомат рассматривается с позиций физики и философии как демонстрация приобретения сложными системами дополнительных свойств, не обнаруженных у составляющих их частей (разум у людей, или их альтруистическое поведение – один из самых ярких примеров). [3,4,5]

Таким образом, Муравей Лэнгтона рассматривается в литературе с различных позиций и в принадлежности к различным областям знаний (информатика, программирование, вычисления, моделирование, теория игр, биология, физика, философия), что вызывает интерес и чем можно обосновать актуальность исследования.

2. Практическая часть.

2.1 Реализация алгоритма движения Муравья Лэнгтона

Проанализировав необходимые условия движения Муравья, становится очевидным, что для создания простейшего алгоритма необходимо рассмотреть восемь условий:

* если цвет текущей клетки белый – то повернуть направо (правое направление относительно текущего положения Муравья, например, если Муравей повернут «лицом» вниз, то право у него будет в западной части вселенной относительно наблюдателя – таким образом получаем четыре условия);
* если цвет текущей клетки черный – то повернуть налево (аналогично еще четыре условия).

Также необходимо предусмотреть переменные для хранения текущей ориентации Муравья (назовем ее *face*), двух цветов и текущей позиции (*x*, *y*). Проверку текущего цвета реализуем через оператор if, а проверку ориентации в пространстве – через оператор *case* (для наглядности и лучшей читаемости программы). Для реализации программы выберем язык программирования Pascal с использованием графической библиотеки. В перспективе реализовать данный алгоритм на языке C# или java. Листинг программы на языке Pascal приведен в приложении 1.

2.2 Реализация модели Муравья Лэнгтона
с использованием принципов ООП

Интерес с точки зрения программирования представляет реализация Муравья с использованием принципов ООП. Принято решение об изучении основ ООП с типа данных «запись», так как в отличие от структур в C, запись в Pascal позволяет хранить кроме полей также функции и процедуры. Спроектируем объект «Ant» исходя из его определения, свойств и поведения. Построим упрощенную диаграмму UML данного объекта (рис. 2.1).

Поля ***vw*** и ***vh*** отвечают за знания Муравья об «обозримой» ширине и высоте своей вселенной (вселенная бесконечна, но процесс моделирования бесконечным быть не может).

Поле ***orientation*** имеет пользовательский перечисляемый тип данных: orient = (up,right,down,left).

Поля ***x*** и ***y*** отвечают за координаты Муравья.

Поле ***drawColor*** отвечает за цвет перекраски.

Конструктор принимает размеры вселенной, инициализирует поля и помещает Муравья в центр.

Методы turnRight( ) и turnLeft( ) совершают поворот автомата (меняют его ориентацию).

Метод step( ) производит движение вперед (направление «вперед» совпадает с ориентацией автомата), пока Муравей не выйдет за пределы окна.

Метод go( ) запускает бесконечное движение муравья: анализируя цвет, поворачивает его направо или налево.



*Рисунок 2.1 – упрощенная диаграмма UML для объекта Ant.*

Таким образом, программа приобрела элегантный вид: вместо анализа восьми ситуаций муравей (как и описано в задаче) поворачивает направо или налево в зависимости от цвета клетки и, повернув, двигается вперед (делает шаг). Реализация программы приведена в приложении 2.

2.3 Анализ и исследование движения **Муравья Лэнгтона**

Первый этап исследования – это анализ движения Муравья. Как и сказано в литературе, движение данного автомата действительно сложно (рис. 2.2).

На протяжении первых около 400 шагов муравей рисует почти правильный геометрический рисунок, затем двигается хаотично и бессистемно примерно до 10 000 шагов, после чего его поведение приобретает магистральный характер (рис.1.1). Применены методы замедления (процедура ***sleep(10)***) движения автомата, изменения его цвета в зависимости от модели поведения (рис. 2.3).

Сделано наблюдение о том, что Муравей Лэнгтона двигается довольно сложно, прежде чем перейти к магистральной модели поведения. Автомат множество раз проходит по одному и тому же месту, в результате «зарисовывая» первоначальный правильный геометрический рисунок, что видно на рисунке 2.3.



*Рисунок 2.2 – Движение муравья (15 000 шагов).*



*Рисунок 2.3 – Исследование движения Муравья Лэнгтона.*

Сделан вывод, что для Муравья Лэнгтона характерно «перестраивание», или модификация, адаптация своей вселенной для того, чтобы прийти к своему аттрактору – «строительству дороги». Начало данного этапа должно характеризоваться особым расположением закрашенных и не закрашенных клеток, благодаря которому у автомата «нет другого выбора», кроме магистрального поведения. Данное поведение, видимо, изначально заложено в правилах, но как было сказано в теоретическом этапе исследования, не очевидно.

2.3 Исследование движения **Муравья Лэнгтона в других вселенных**

Как было сказано в теоретической части, необходимо исследовать поведение данного автомата в других вселенных, в частности во вселенных «с препятствиями». Для этого перед тем, как поселить Муравья, нанесем в его вселенную различные геометрические фигуры. Наиболее интересные результаты исследования представлены на рисунке 2.4.



*Рисунок 2.4 – Исследование движения Муравья Лэнгтона в других вселенных*

Как видно из рисунка 2.4, Муравей преодолевает любые препятствия. Тем не менее, в зависимости от величины и формы препятствия, муравей справляется с ними по-разному. Если препятствия небольшие (тонкие линии) и при этом их направление каким-то образом соответствует направлению автомата, является благоприятным для него (3 и 6) изображения, Муравей преодолевает их почти без усилий. Если же препятствие велико и (или) не соответствует движению Муравья (не является благоприятным), он начинает адаптировать препятствие для достижения своего аттрактора. Любопытным также является движение Муравья «вдоль» препятствия в таких случаях.

Особый интерес представляет четвертое изображение. Как видно, Муравей хоть и перебрался на другую сторону окружности, но перейти в устойчивое состояние не смог. Он продолжил свое движение вдоль окружности, после чего в какой-то момент приобрел магистральное поведение прямо на ней, т.е. на черной вселенной, что говорит о возможности инвертировать его поведение. Данная гипотеза была проверена (рис.2.5) и подтвердилась: Муравей рисует белую дорогу в черной вселенной, но в сторону юго-востока.

Данный вывод очень важен для прогнозирования движения Муравья. Если данный автомат обладает симметричностью поведения, то становится почти несомненным, что в любой модифицированной вселенной он перейдет к своему аттрактору – магистральному поведению (в одной из его вариаций).



*Рисунок 2.5 –Муравей Лэнгтона в черной вселенной*

2.4 Р**азработка обобщенного автомата на основе Муравья Лэнгтона**

В процессе исследования возникает закономерный вопрос: как будет вести себя обобщение данного автомата? Будет ли оно также стремиться к некому аттрактору? Чтобы ответить на данный вопрос, спроектируем усовершенствованный объект CommonAnt, для которого можно задать не два правила, а сколь угодно много. Каждому правилу будет соответствовать определенный цвет. Цвет будем выбирать случайным образом. Правило будет иметь вид последовательности букв r и l, который означают поворот направо или налево на клетке соответствующего цвета (номер цвета соответствует номеру инструкции r или l). Построим упрощенную диаграмму UML для объекта (рис. 2.6).



*Рисунок 2.6 – упрощенная диаграмма UML для объекта Ant.*

Дополнительно разработаны поля rules (хранит строку с правилом – последовательностью букв r и l) и setOfColor (массив цветов). Массив в конструкторе необходимо заполнять так, чтобы цвета не повторялись.

В конструктор и метод go( ) необходимо внести некоторые изменения. Цвет теперь будет выбираться из массива цветов. Индекс цвета в массиве соответствует индексу правила в строке. Листинг алгоритма обобщенного автомата на основе Муравья Лэнгтона приведен в приложении 3. Теперь исследуем поведение данного автомата на различных наборах правил (рис. 2.7).

Как видно из рисунка, некоторые обобщенные правила заставляют муравья двигаться достаточно правильным образом и рисовать геометрические узоры. Тем не менее, множество правил, например *rlr*, на исследованном промежутке (в течении достаточно долгого промежутка времени) не приводит к появлению сколько-нибудь упорядоченного поведения.

На втором изображении рисунка 2.7 видно, что автомат также приобретает магистральное поведение, хотя и кардинальным образом отличающееся от поведения Муравья Лэнгтона.



*Рисунок 2.7 – Обобщенный автомат двигается по правилам (слева направо сверху вниз): LRRL; LLRRRLRLRLLR; LRRRRRLLR; RRLLLRLLLRRR.*

**Заключение**

Таким образом, на основе поставленных задач, положенная цель была достигнута – исследовано движение клеточного автомата «Муравей Лэнгтона».

В процессе исследования получены следующие результаты:

1. Изучены основы метода компьютерного моделирования;
2. Реализованы алгоритмы движения Муравья Лэнгтона и обобщенного автомата на его основе;
3. Проанализировано движение созданных автоматов;
4. Получены новые знания из литературных источников в части основ теории клеточных автоматов, моделирования, математики, физики, биологии, философии;
5. Исследованы возможности применения клеточного автомата «Муравей Лэнгтона» в науке;
6. Изучены основы ООП с использованием типа данных RECORD в ЯП Pascal.

Гипотеза исследования подтвердилась.

Перспективы развития проекта:

1. изучение ООП для реализации алгоритма на языке java или c#;
2. создание многопоточного приложения на языке программирования java или c# для исследования поведения нескольких автоматов в одной вселенной;
3. моделирование других клеточных автоматов;
4. моделирование поведения реальных сложных систем (биологических организмов и их популяций).

**Список использованных источников**

1. Величайшие математические задачи [электронный ресурс]. Режим доступа: http://ogrik2.ru/b/ien-styuart/velichajshie-matematicheskie-zadachi/26401/muravej-lengtona/27
2. Докинз, Р. Эгоистичный ген / Ричард Докинз. – Москва: Corpus, 2013
3. Клеточные автоматы [электронный ресурс]. Режим доступа: http://lightcone.ru/cellular-automaton
4. Муравей Лэнгтона – Википедия [электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Муравей\_Лэнгтона
5. Обусловленное поведение [электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.proza.ru/2013/05/10/1260
6. Пратчетт, Т. Наука Плоского мира / Терри Пратчетт, Йен Стюарт, Джек Коэн. – Москва: «Эксмо», 2016
7. Стюарт, Й. Величайшие математические задачи / Йен Стюарт. – Москва: «Альпина нон-фикшн», 2014

**Приложения**

**Приложение 1**Простейший алгоритм движения Муравья Лэнгтона

**uses** GraphABC;

**var**

c1, c2: color;

 face: byte;

 x, y, i: integer;

**begin**

setwindowsize(300,300);

x:=150;

y:=150;

face:=1;

**for** i:=1 **to** 15000 **do**

 **begin**

c1:=getpixel(x,y);//цвет клетки

 c2:=ARGB(255,0,0,0);//всегда черный

 **if** c1=c2 **then** //если цвет клетки черный

 **begin**

setpixel(x,y,clwhite);

 **case** face **of**

1:**begin**

x:=x-1;

 face:=4;

 **end**;

 2:**begin**

y:=y-1;

 face:=1;

 **end**;

 3:**begin**

x:=x+1;

 face:=2;

 **end**;

 4:**begin**

y:=y+1;

 face:=3;

 **end**;

 **end**;

 **end**

 **else**//если цвет белый

 **begin**

setpixel(x,y,c2);

 **case** face **of**

1:**begin**

x:=x+1;

 face:=2;

 **end**;

 2:**begin**

y:=y+1;

 face:=3;

 **end**;

 3:**begin**

x:=x-1;

 face:=4;

 **end**;

 4:**begin**

y:=y-1;

 face:=1;

 **end**;

 **end**;

 **end**;

 **end**;

**end**.

**Приложение 2**Алгоритм с использованием принципов ООП на основе типа данных «***record***»

|  |  |
| --- | --- |
| **uses** GraphABC;**const**def = ARGB(255,255,255,255); white = ARGB(255,255,255,255); black = ARGB(255,0,0,0); | **var** a:ant;**begin**a := **new** ant(300,300); **while** (true) **do** a.go;**end**. |

**type**

orient = (up,right,down,left);

 ant = **record**

vw,vh: integer;

 orientation: orient;

 x: integer;

 y: integer;

 drawColor: color;

 **constructor** create(w,h:integer);

 **begin**

vw:=w;

 vh:=h;

 setWindowSize(vw,vh);

 x:=round(vw/2);

 y:=round(vh/2);

 drawColor:=black;

 **end**;

 **procedure** turnRight;

 **begin**//up=0,right=1,down=2,left=3

 **if** (orientation<left) **then** inc(orientation)

 **else** orientation:=up;

 **end**;

 **procedure** turnLeft;

 **begin**//up=0,right=1,down=2,left=3

 **if** orientation>up **then** dec(orientation)

 **else** orientation:=left;

 **end**;

 **procedure** go();

 **begin**

 **if** getPixel(x,y)=white **then**

 **begin**

setPixel(x,y,black);

 turnRight;

 **end**

 **else**

 **begin**

setPixel(x,y,white);

 turnLeft;

 **end**;

 step;

 **end**;

 **procedure** step();

 **begin**

//если не вышли за пределы окна

 **if** (x<vw)**and**(x>0)**and**(y<vh)**and**(y>0) **then**

 **begin**

 **if** orientation=up **then** dec(y)

 **else if** orientation=right **then** inc(x)

 **else if** orientation=down **then** inc(y)

 **else if** orientation=left **then** dec(x)

 **end**

 **else** SaveWindow('ant.bmp');

 **end**;

 **end**;

**Приложение 3**Алгоритм обобщенного автомата на основе Муравья Лэнгтона

**program** commonAnt;

**uses** graphABC;

**type**

orient = (up,right,down,left); //ориентация муравья в пространстве

 ant = **record** //МУРАВЕЙ

 vw,vh: integer; //размер окна

 rules: string; //правила

 orientation: orient;

 x: integer; //текущая позиция муравья

 y: integer;

 setOfColor: **array of** color;//набор цветов

 **constructor** create(w,h:integer;rul:string);

 **var** setC: **set of** color;

 **begin**

//колчество цветов совпадает с количеством инструкций в правиле

 setOfColor:= **new** color[rul.Length];

 //устанавливаем цвета в наборе рандомно

 **for var** i := 0 **to** (rul.Length - 1) **do**

 **begin**

 **repeat** //проверка на отсутствие повторяющихся цветов

 setOfColor[i]:=clRandom;

 **until not** (setOfColor[i] **in** setC);

 setC:=setC+[setOfColor[i]];

 **end**;

 vw:=w;

 vh:=h;

 rules:=rul;

 setWindowSize(vw,vh);

 clearWindow(setOfColor[0]);

 x:=round(vw/2); //ставим муравья в центр

 y:=round(vh/2);

 **end**;

 **procedure** turnRight;

 **begin**//up=0,right=1,down=2,left=3

 **if** (orientation<left) **then** inc(orientation)

 **else** orientation:=up;

 **end**;

 **procedure** turnLeft;

 **begin**//up=0,right=1,down=2,left=3

 **if** orientation>up **then** dec(orientation)

 **else** orientation:=left;

 **end**;

 **procedure** go();//анализ ситуации и движение

 **var**

n: integer;

 **begin**

 **for var** i:=1 **to** rules.Length **do**

 **if** setOfColor[i-1]=getPixel(x,y) **then** n:=i;

 **if** (rules[n]='r') **or** (rules[n]='R') **then** turnRight

 **else** turnLeft;

 **if** n<rules.Length **then** inc(n)

 **else** n:=1;

 setPixel(x,y,setOfColor[n-1]);

 step;

 **end**;

 **procedure** step();//смещение

 **begin**

//если не вышли за пределы окна

 **if** (x<vw-1)**and**(x>1)**and**(y<vh-1)**and**(y>1) **then**

 **begin**

 **if** orientation=up **then** dec(y)

 **else if** orientation=right **then** inc(x)

 **else if** orientation=down **then** inc(y)

 **else if** orientation=left **then** dec(x)

 **end**

 **else** SaveWindow('ant.bmp');

 **end**;

 **end**;

**var**

a:ant;

 str: string;

 w,h: integer;

**begin**

writeln('Задайте правило для муравья: ');

 readln(str);

 **if** str.Length<2 **then** writeln('Правило не может быть короче двух инструкций!')

 **else**

 **begin**

writeln('Задайте ширину и высоту вселенной: ');

 readln(w,h);

 a := **new** ant(w,h,str);

 **while** (true) **do** a.go;

 **end**;

**end**.