

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра информационных и автоматизированных
производственных систем

Составитель
А. В. Протодьяконов

**Исследование структуры
стандартного генетического алгоритма**

Методические указания по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Системы искусственного интеллекта и принятие
решений» для студентов направления подготовки 09.03.02
«Информационные системы и технологии», профиль
«Информационные системы и технологии»,
очной формы обучения

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
09.03.02 «Информационные системы и технологии»
в качестве электронного издания для использования
в учебном процессе

КЕМЕРОВО 2017

Рецензенты:

И. В. Чичерин – доцент, кандидат технических наук, председатель учебно-методической комиссии направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии»

А. Н. Трусов – доцент кафедры информационных и автоматизированных производственных систем

Протоdjяконов Андрей Владимирович

Исследование структуры стандартного генетического алгоритма: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «**Системы искусственного интеллекта и принятие решений**» [Электронный ресурс]: для студентов по направлению подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии», профиль «Информационные системы и технологии», очной формы обучения / сост. А. В. Протоdjяконов; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2017. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows 95; мышь. – Загл. с экрана

© КузГТУ, 2017

© Протоdjяконов А. В.,
составление, 2017

1. Цель работы

Цель – исследовать структуру стандартного генетического алгоритма; разработать структуру генетического алгоритма для решения задач оптимизации.

2. Теоретические сведения.

2.1. Введение в генетические алгоритмы

Генетические алгоритмы (ГА) – это стохастические, эвристические оптимизационные методы, впервые предложенные Холландом (1975). Они основываются на идее эволюции с помощью естественного отбора, выдвинутой Дарвином (1857).

ГА работают с совокупностью "особей" – популяцией, каждая из которых представляет возможное решение данной проблемы. Каждая особь оценивается мерой ее "приспособленности" согласно тому, насколько "хорошо" соответствующее ей решение задачи. В природе это эквивалентно оценке того, насколько эффективен организм при конкуренции за ресурсы. Наиболее приспособленные особи получают возможность "воспроизводить" потомство с помощью "перекрестного скрещивания" с другими особями популяции. Это приводит к появлению новых особей, которые сочетают в себе некоторые характеристики, наследуемые ими от родителей. Наименее приспособленные особи с меньшей вероятностью смогут воспроизвести потомков, так что те свойства, которыми они обладали, будут постепенно исчезать из популяции в процессе эволюции. Иногда происходят мутации, или спонтанные изменения в генах.

Таким образом, из поколения в поколение хорошие характеристики распространяются по всей популяции. Скрещивание наиболее приспособленных особей приводит к тому, что исследуются наиболее перспективные участки пространства поиска. В конечном итоге популяция будет сходиться к оптимальному решению задачи. Преимущество ГА состоит в том, что он находит близкие к оптимальным решения за относительно короткое время.

ГА состоит из следующих компонент:

Хромосома. Решение рассматриваемой проблемы. Состоит из генов и может быть представлена различными способами;

Начальная популяция хромосом – создаётся случайным образом;

Набор операторов (селекция, скрещивание, мутация) - для генерации новых решений из предыдущей популяции;

Целевая функция - для оценки приспособленности (fitness) решений.

В ГА используется следующая терминология:

Ген – управляемый параметр части хромосомы. Хромосома состоит из генов;

Аллель – значение гена;

Локус (позиция) – позиция, занимаемая геном в хромосоме;

Генотип – экземпляр хромосомы;

Генофонд – множество всех возможных генотипов;

Функция полезности (приспособленности) – целевая функция;

Фенотип – совокупность генотипа и соответствующего значения функции полезности.

Чтобы применять ГА к задаче, сначала выбирается метод кодирования решений в виде строки. Фиксированная длина (l -бит) двоичной кодировки означает, что любая из 2^l возможных бинарных строк представляет возможное решение задачи.

По существу такая кодировка соответствует разбиению пространства параметров на гиперкубы, которым соответствуют уникальные комбинации битов в строке – хромосоме. Для установления соответствия между гиперкубами разбиения области и бинарными строками, описывающими номера таких гиперкубов, кроме обычной двоичной кодировки используется и рефлексивный код Грея. Код Грея, называемый также рефлексным (отражённым) двоичным кодом, это – одна из наиболее известных непозиционных систем счисления, применяемых в вычислительной технике. Этот код строится из двоичных цифр таким образом, что соседние числа в нём отличаются всегда только в одном разряде. Кодов с такой же характеристикой много, но для

кода Грея имеется простой алгоритм перевода чисел в двоичный позиционный код и обратно.

Для примера рассмотрим таблицу первых восьми кодов Грея:

Двоичный код	Код Грея	N	Двоичный код	Код Грея
000	000	4	100	110
001	001	5	101	111
010	011	6	110	101
011	010	7	111	100

Младший разряд в последовательности чисел в коде Грея принимает значения 0 и 1, затем следующий старший разряд становится единичным, и младший разряд принимает свои значения уже в обратном порядке (1, 0). Этим и объясняется название кода – "отражённый". Соответственно, два младших разряда принимают значения 00, 01, 11, 10, а затем, при единичном следующем старшем разряде, те же значения в обратном порядке (10, 11, 01, 00).

Алгоритм перевода чисел в коде Грея в позиционный код прост: каждый разряд в позиционном коде равен сумме по модулю 2 этого и всех более старших разрядов в коде Грея. На языке C этот код выглядит следующим образом:

```
for (unsigned i = 1; i < 32; i <<= 1) v ^= (v >> i)
```

До выполнения этого кода переменная v содержала число в коде Грея, а после выполнения – в позиционном коде.

Перевод из позиционного кода в код Грея ещё проще: каждый разряд в коде Грея равен сумме по модулю 2 этого и следующего старшего разряда в позиционном коде. На языке C это реализуется следующим выражением:

```
v ^ (v >> 1)
```

Код Грея предпочтительнее обычного двоичного кода тем, что обладает свойством непрерывности бинарной комбинации: изменение кодируемого числа на единицу соответствует изменению кодовой комбинации только в одном разряде.

2.2 Операторы ГА

Для всех типов генетических алгоритмов используются стандартные операторы селекции, скрещивания и мутации.

2.2.1 Селекция

Оператор селекции (reproduction, selection) осуществляет отбор хромосом в соответствии со значениями их функции приспособленности. Существуют как минимум два популярных типа оператора селекции: рулетка и турнир.

Метод рулетки (roulette-wheel selection) – отбирает особей с помощью n "запусков" рулетки. Колесо рулетки содержит по одному сектору для каждого члена популяции. Размер i -го сектора пропорционален соответствующей величине $P_{sel}(i)$, вычисляемой по формуле:

$$P_{SEL}(i) = \frac{f(i)}{\sum_{i=1}^n f(i)}$$

При таком отборе члены популяции с более высокой приспособленностью будут выбираться с большей вероятностью, чем особи с низкой приспособленностью (рис. 1).

1	000110110	15%
2	111001101	25%
3	000110110	40%
4	111101111	20%

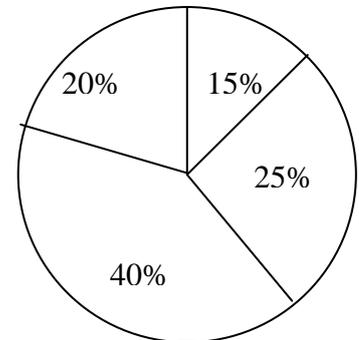


Рис. 1. Оператор селекции типа колеса рулетки с секторами, пропорциональными функциям приспособленности

Турнирный отбор (tournament selection) реализует n турниров, чтобы выбрать n особей. Каждый турнир построен на выборке k элементов из популяции и выборе лучшей особи среди них. Наиболее распространен турнирный отбор с $k=2$.

2.2.2. Скрещивание

Оператор скрещивания (crossover - кроссовер) осуществляет обмен частями хромосом между двумя (может быть и боль-

ше) хромосомами в популяции. Этот оператор может быть одно-точечным или многоточечным. Одноточечный кроссовер работает следующим образом. Сначала, случайным образом выбирается одна из $l-1$ точек разрыва. Точка разрыва – это участок между соседними битами в строке. Обе родительские структуры разрываются на два сегмента по этой точке. Затем соответствующие сегменты различных родителей склеиваются и получают-ся два генотипа потомков (рис. 2).

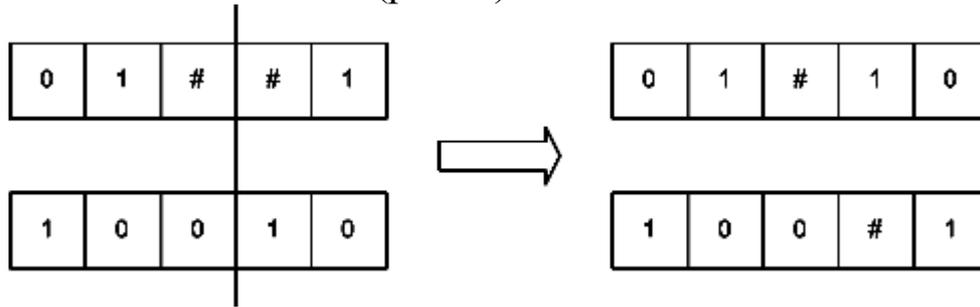


Рис. 2. Одноточечный оператор скрещивания (точка разрыва равна трем)

2.2.3. Мутация

Мутация (mutation) – стохастическое изменение части хромосом. При этом каждый ген строки, которая подвергается мутации, с вероятностью P_{mut} , обычно очень маленькой, меняется на другой ген (рис.3).

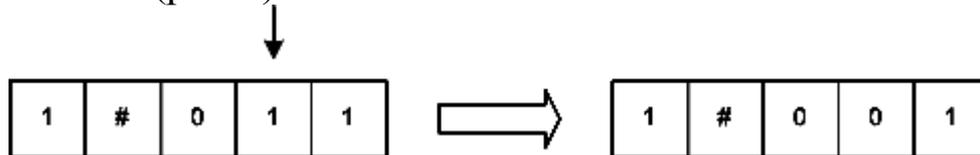


Рис. 3. Оператор мутации (четвертый ген мутировал)

2.3. Алгоритм работы ГА

Работа ГА представляет собой итерационный процесс, который продолжается до тех пор, пока не будут достигнуты заданное число поколений или какой-либо иной критерий остано-ва (рис. 4). На каждом поколении ГА осуществляет отбор мак-симальной величины функции приспособленности, производит скрещивание выбранных хромосом и их мутацию.

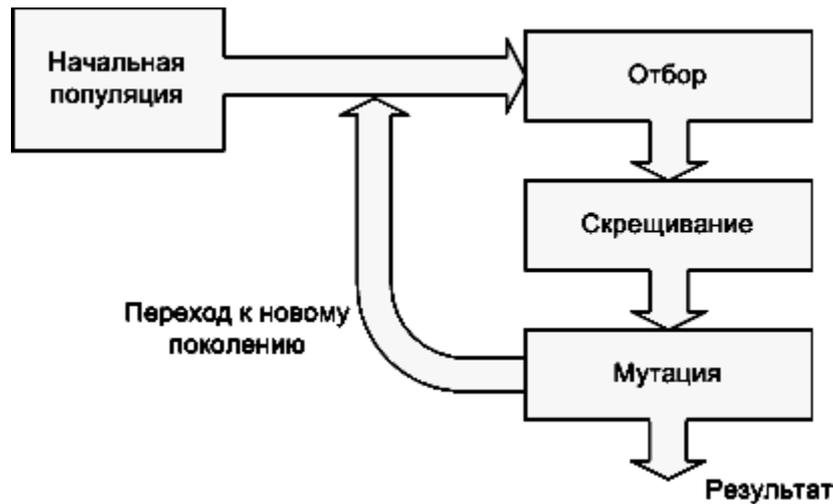


Рис. 4. Схема работы классического ГА

Алгоритм работы ГА выглядит следующим образом:
 НАЧАЛО /* классический генетический алгоритм */

Создать начальную популяцию

Оценить приспособленность каждой особи
 останов = FALSE

ПОКА НЕ останов ВЫПОЛНЯТЬ

НАЧАЛО /* создать популяцию нового поколения */

ПОВТОРИТЬ (размер_популяции/2) РАЗ

НАЧАЛО /* цикл воспроизводства */

Выбрать две особи из предыдущего поколения с более
 высокой степенью приспособленности

Скрестить выбранные особи и получить два потомка

Оценить приспособленность потомков

Поместить выбранных потомков в новое поколение

КОНЕЦ

ЕСЛИ популяция сошлась, ТО останов = TRUE

КОНЕЦ

КОНЕЦ

3. Порядок выполнения работы

Лабораторная работа состоит из двух частей:

1) исследование влияния параметров ГА на точность и скорость нахождения решения;

2) разработка структуры ГА для решения задачи оптимизации.

3.1 Исследование влияния параметров ГА на точность и скорость нахождения решения

1. Запустить программу Genetic Algorithms v0.9 (файл "GenAlg.exe");

2. Выбрать функцию, соответствующую варианту задания (вкладка Function, выбор функции двойным щелчком мыши);

3. Создать начальную популяцию (кнопка Generate Initial Population);

4. Создать таблицу вида:

Population Number	Total Fitness
0	131,00241
1	150,00230
2	430,23345
...	...

Для этого значения полей Population Number, Total Fitness, вносимых в таблицу, берётся из вкладки Population Analysis. Целесообразно для построения таблицы использовать Excel;

5. Создать следующую популяцию (кнопка Generate Next Population);

6. Повторить пункты 5 и 6 до тех пор, пока все хромосомы популяции не будут равны друг другу;

7. Установить значение поля Optimal X-value и внести в отчёт;

8. Исследовать влияние начальных параметров, заданных в варианте на скорость нахождения результата, определяемой конечной величиной номера популяции (поле Population Number);

9. Найти глобальный максимум функции аналитическим методом при помощи производной в интервале от l_x до r_x , где l_x имеет значение текстового поля Left X-Value, r_x значение текстового поля Right X-Value;

10. Найти процентное расхождение результата при решении задачи аналитическим методом и методом при помощи ГА;

11. Построить график зависимости TotalFitness от PopulationNumber. График оформить средствами Excel;
12. Сделать выводы.

3.2 Разработка структуры ГА для решения задачи оптимизации

1. Составить уравнение решения задачи (сформулировать функцию полезности), согласно заданному варианту;
2. Представить возможные решения в виде хромосом – записи следующего вида

X_1	X_2	X_3	X_4	\dots	X_m
-------	-------	-------	-------	---------	-------

где X_i может принимать значения 0 или 1;

3. Выбрать способа задания критерия остановки эволюции. Например:
 - количество поколений более 2000;
 - время работы ГА не больше 3-х минут.
4. Установить размер популяции;
5. Написать программу согласно классическому генетическому алгоритму.

Пример решения задачи рассмотрен в пункте 4.

4. Пример решения задачи

Представить число 24 в виде суммы двух неотрицательных слагаемых так, чтобы сумма квадратов этих чисел была наименьшей.

Решение задачи при помощи ГА:

1) Уравнение решения задачи.

Пусть a – первое неотрицательное слагаемое, b - второе неотрицательное слагаемое. Тогда: $a+b=24$; $a=24-b$; $a^2+b^2=y$; и функция полезности имеет вид $y(b)=2b^2-48b+576$.

Теперь задача сводится к тому, что бы найти минимум $y(b)$;

2) Представление решений в виде хромосом.

Чтобы применить ГА к задаче, выберем метод кодирования в виде бинарной строки. Примем длину бинарных строк $L = 16$ битам ($L = 16$). Таким образом, $2^L = 2^{16} = 65536$, что соответствует числу возможных решений b . При увеличении длины цепочек повышается точность решения задачи.

Ставим b в соответствие 2^L цепочки следующим образом:

цепочка 0000000000000000 представляет $b = 0$,

0000000000000001 — это $b = 1(24/2^L)$,

0000000000000010 — $2(24/2^L)$

и так далее вплоть до 1111111111111111, что соответствует максимальному значению области определения,

$b = (2^L - 1) * (24/2^L) = 24 - 24/2^L$.

3) Выбираем размер популяции равный 20. Начальную популяцию создаём случайным образом. Критерием останова выбираем превышение 100 поколений.

4) Используя классический алгоритм работы ГА (п. 2.3) пишем программу.

5. Варианты заданий

5.1. Варианты заданий для первой части лабораторной работы - *исследование влияния параметров ГА на точность и скорость нахождения решения.*

Решить задание при помощи ГА. Построить график зависимости общей приспособленности (total fitness) от текущей популяции от поколения.

1. Целевая функция: $\sin(1,7x) \cdot \cos(3,5x) + 1,5$. Исследовать влияние размера популяции (от 20 до 100) и вероятности кроссовера (от 0 до 1) на скорость нахождения результата.

2. Целевая функция:

$\frac{2}{2 + \cos(1,5x)} + 1,5(3 + \sin(x)) + \sqrt{1,5 + \sin(\frac{x}{2})} + \sin(\frac{x}{10}) - 3$. Исследовать влияние

вероятности мутации (от 0 до 1) и размера хромосомы (от 20 до 50) на скорость нахождения результата.

3. Целевая функция: $\sin(1,7x) \cdot \cos(3,5x) + 1,5$. Исследовать влияние вероятности мутации (от 0 до 1) и размера хромосомы (от 20 до 50) на скорость нахождения результата.

4. Целевая функция: $\frac{2}{2 + \cos(1,5x)} + 1,5(3 + \sin(x)) + \sqrt{1,5 + \sin(\frac{x}{2})} + \sin(\frac{x}{10}) - 3$. Исследовать влияние размера популяции (от 20 до 100) и вероятности кроссовера (от 0 до 1) на скорость нахождения результата.

5. Целевая функция: $-x^2 + 100$. Исследовать влияние вероятности мутации (от 0 до 1) и размера хромосомы (от 20 до 50) на скорость нахождения результата.

6. Целевая функция: $x^2 \cdot \sin^2(0,1x) + 60$. Исследовать влияние размера популяции (от 20 до 100) и вероятности кроссовера (от 0 до 1) на скорость нахождения результата.

7. Целевая функция: $x^2 - 25x \sin(x) + 160$. Исследовать влияние вероятности мутации (от 0 до 1) и размера хромосомы (от 20 до 50) на скорость нахождения результата.

8. Целевая функция: $\sin(\tan(\cos(x))) + \frac{x}{4}$. Исследовать влияние размера популяции (от 20 до 100) и вероятности кроссовера (от 0 до 1) на скорость нахождения результата.

9. Целевая функция: $(\cos(x) + 1,1 + \frac{x}{10}) \cdot \sin(\frac{x}{10}) + 13$. Исследовать влияние вероятности мутации (от 0 до 1) и размера хромосомы (от 20 до 50) на скорость нахождения результата.

10. Целевая функция: $7x^3 \cos(x) \frac{\sin(x)}{e^x} + 4,6$. Исследовать влияние размера популяции (от 20 до 100) и вероятности кроссовера (от 0 до 1) на скорость нахождения результата.

11. Целевая функция: $-x^2 + 100$. Исследовать влияние размера популяции (от 20 до 100) и вероятности кроссовера (от 0 до 1) на скорость нахождения результата.

12. Целевая функция: $x^2 \cdot \sin^2(0,1x) + 60$. Исследовать влияние вероятности мутации (от 0 до 1) и размера хромосомы (от 20 до 50) на скорость нахождения результата.

13. Целевая функция: $x^2 - 25x \sin(x) + 160$. Исследовать влияние размера популяции (от 20 до 100) и вероятности кроссовера (от 0 до 1) на скорость нахождения результата.

14. Целевая функция: $\sin(\tan(\cos(x))) + \frac{x}{4}$. Исследовать влияние вероятности мутации (от 0 до 1) и размера хромосомы (от 20 до 50) на скорость нахождения результата.

15. Целевая функция: $(\cos(x) + 1,1 + \frac{x}{10}) \cdot \sin(\frac{x}{10}) + 13$. Исследовать влияние размера популяции (от 20 до 100) и вероятности кроссовера (от 0 до 1) на скорость нахождения результата.

16. Целевая функция: $7x^3 \cos(x) \frac{\sin(x)}{e^x} + 4,6$. Исследовать влияние вероятности мутации (от 0 до 1) и размера хромосомы (от 20 до 50) на скорость нахождения результата.

17. Целевая функция: $\sin(1,7x) \cdot \cos(3,5x) + 1,5$. Исследовать влияние размера популяции (от 80 до 120) и вероятности кроссовера (от 0,5 до 1) на скорость нахождения результата.

18. Целевая функция: $\frac{2}{2 + \cos(1,5x)} + 1,5(3 + \sin(x)) + \sqrt{1,5 + \sin(\frac{x}{2})} + \sin(\frac{x}{10}) - 3$. Исследовать влияние вероятности мутации (от 0 до 0,5) и размера хромосомы (от 30 до 80) на скорость нахождения результата.

19. Целевая функция: $\sin(1,7x) \cdot \cos(3,5x) + 1,5$. Исследовать влияние вероятности мутации (от 0 до 0,5) и размера хромосомы (от 10 до 32) на скорость нахождения результата.

20. Целевая функция: $\frac{2}{2 + \cos(1,5x)} + 1,5(3 + \sin(x)) + \sqrt{1,5 + \sin(\frac{x}{2})} + \sin(\frac{x}{10}) - 3$. Исследовать влияние размера популяции (от 10 до 50) и вероятности кроссовера (от 0,5 до 1) на скорость нахождения результата.

5.2. Варианты заданий для выполнения второй части лабораторной работы – *разработка структуры ГА для решения задачи оптимизации.*

Решить задание при помощи ГА. Построить график зависимости средней приспособленности текущей популяции от поколения. Исследовать влияние размера популяции и вероятности кроссовера на скорость нахождения результата.

1. Найти число, сумма которого со своим квадратом принимает наименьшее значение.
2. Число 16 представьте в виде произведений двух положительных чисел
3. Площадь прямоугольника 64 см^2 . Какую длину должны иметь его стороны, чтобы периметр был наименьшим?
4. Открытый бак, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда с квадратным основанием, должен вмещать 13,5 литров жидкости. При каких размерах бака на его изготовление потребуется наименьшее количество металла?
5. Из круглого бревна вырезают балку с прямоугольным сечением наибольшей площади. Найти размеры сечения балки, если радиус сечения бревна равен 20 см.
6. Буровая вышка расположена в поле в 9 км от ближайшей точки шоссе. С буровой надо направить курьера в населённый пункт, расположенный по шоссе 15 км от упомянутой точки. Скорость курьера по полю 8 км/ч, а по шоссе 10 км/ч. К какой точке ему надо ехать, чтобы в кратчайшее время достичь населенного пункта.
7. В правильной прямоугольной призме сумма длин трёх рёбер, имеющих общую вершину равна 4. При какой длине высоты призмы площадь боковой поверхности призмы будет наибольшей.
8. В основании пирамиды $MAVC$ равнобедренный треугольник, у которого угол $VAC=90^\circ$, MA – высота пирамиды и $MA \in [0; 2\sqrt{2}]$, $MB=2\sqrt{2}$. Какова должна быть длина MA , чтобы площадь сечения плоскостью MAK , где K середина VC , была наибольшей.
9. В правильной треугольной призме сумма рёбер, выходящих из одной вершины равна 2, при какой величине угла, образованного диагональю боковой грани с основанием призмы, площадь боковой поверхности будет наибольшей.
10. В основании пирамиды $MACBDEF$ правильный шестиугольник. MA – высота пирамиды, $MA \in [1; 4]$, $MB=6\sqrt{2}$. Какова должна быть длина MA , чтобы площадь сечения плоскостью MAD была наименьшей.

11. В правильной призме $ABC_1A_1B_1C_1$, AA_1 – боковое ребро, $AA_1 \in [1;3]$, $A_1B = 4\sqrt{3}$, какова должна быть длина AA_1 , чтобы площадь сечения плоскостью AA_1K , была наибольшей, где K – середина AC .

12. Сумма длин катетов прямоугольного треугольника равна 20 см. Какой длины должны быть катеты, чтобы площадь треугольника была наибольшей?

13. По двум улицам к перекрестку движутся две машины с постоянными скоростями 40 км/ч и 50 км/ч. Считая, что улицы прямолинейные и пересекаются под прямым углом, а также зная, что через некоторое время автомашина находится от перекрёстка на расстоянии 2 км и 3 км соответственно, определите, через какое время расстояние между ними станет наименьшим.

14. Сумма длин диагоналей параллелограмма равна 12 см. Найдите наименьшее значение суммы квадратов всех его сторон.

15. Картина высотой 1,4 м повешена на стену так, что её нижний край на 1,8 м выше глаз наблюдателя. На каком расстоянии от стены должен встать наблюдатель, чтобы его положение было наиболее благоприятно для осмотра картины т.е. чтобы угол зрения по вертикали был наибольшим.

16. Статуя высотой 4 м стоит на колонне, высота которой 5,6 м. На каком расстоянии должен встать человек (до уровня глаз) ростом 1,6 м. Чтобы видеть статую под наибольшим углом?

17. Из всех цилиндров, имеющих объем 16π , найдите цилиндр с наименьшей площадью полной поверхности.

18. Найдите высоту цилиндра наибольшего объёма, который можно вписать в шар радиусом R . При $R = 20$.

19. В конус, радиус основания которого R и высота H ; требуется вписать цилиндр, имеющий наибольшую площадь полной поверхности. Найдите радиус цилиндра, если $H = 50$.

20. Из круглого бревна диаметром 40 см требуется вырезать балку прямоугольного сечения с основанием b и высотой h . Прочность балки пропорциональна bh^2 . При каких значениях b и h прочность будет наибольшей?

6. Содержание отчёта

6.1 Исследование влияния параметров ГА на точность и скорость нахождения решения (часть первая):

1. Цель работы;
2. Задание;
3. Таблица с колонками

Population Number	Total Fitness
----------------------	------------------
4. График зависимости TotalFitness от PopulationNumber;
5. Результат исследования влияния начальных параметров в виде графиков;
6. Результаты решения задачи аналитическим методом и при помощи ГА, а также их процентное отличие;
7. Выводы.

6.2. Разработка структуры ГА для решения задачи оптимизации (часть вторая):

1. Цель работы;
2. Задание;
3. Решение задания (листинг рабочей программы, описание структуры объектов и их взаимосвязь);
4. График зависимости средней приспособленности текущей популяции от поколения;
5. Результат исследования влияния начальных параметров на скорость и точность нахождения в виде графиков;
6. Результаты решения задачи аналитическим методом и при помощи ГА, а также их процентное отличие;
7. Выводы.

7. Контрольные вопросы

1. Как задаётся начальная популяция?
2. Что такое кроссовер (скрещивание)?
3. Как выбирается вероятность участия индивидуума в скрещивании?
4. Как осуществляется мутация?
5. Что означает отбор в генетическом алгоритме?
6. Что такое хромосома?
7. Какими могут быть критерии остановки эволюции?

8. Что такое генетический алгоритм?

Литература

1. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – М.: Физматлит, 2006. – 319 с.
2. Курейчик, В. В. Теория эволюционных вычислений / В. В. Курейчик, В. М. Курейчик, С. И. Родзин. – М.: Физматлит, 2013.
3. Скобцов, Ю. А. Основы эволюционных вычислений. Донецк: ДонНТУ, 2008. – 326 с.
4. Батищев, Д. И. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации / Д. И. Батищев, Е. А. Неймарк, Н. В. Старостин. – Нижний Новгород, 2007. – 88 с.