Default Project Name

1.0

Generated by Doxygen 1.12.0

Chapter 1

Class Index

1.1 Class List

Here are the classes, structs, unions and interfaces with brief descriptions:

Chapter 2

File Index

2.1 File List

Here is a list of all files with brief descriptions:

Chapter 3

Class Documentation

3.1 DefaultParameters Struct Reference

`#include <structs.h>`

Public Attributes

- double x0 = 0.0
- double y0 = 0.0
- double alpha_sd = 0.0050
- double tol_sd = 1e-8
- int maxIter_sd = 100000
- double tol_cg = 1e-8
- int maxIter_cg = 100000
- double T0_sa = 2000.0
- double Tmin_sa = 1e-8
- double alpha_sa = 0.99
- int maxIter_sa = 200000
- int populationSize_ga = 100
- int generations_ga = 5000
- double mutationRate_ga = 0.02
- double crossoverRate_ga = 0.8

3.1.1 Member Data Documentation

3.1.1.1 alpha_sa

```
double DefaultParameters::alpha_sa = 0.99
```

3.1.1.2 alpha_sd

```
double DefaultParameters::alpha_sd = 0.0050
```

3.1.1.3 crossoverRate_ga

```
double DefaultParameters::crossoverRate_ga = 0.8
```

3.1.1.4 generations_ga

```
int DefaultParameters::generations_ga = 5000
```

3.1.1.5 maxIter_cg

```
int DefaultParameters::maxIter_cg = 100000
```

3.1.1.6 maxIter_sa

```
int DefaultParameters::maxIter_sa = 200000
```

3.1.1.7 maxIter_sd

```
int DefaultParameters::maxIter_sd = 100000
```

3.1.1.8 mutationRate_ga

```
double DefaultParameters::mutationRate_ga = 0.02
```

3.1.1.9 populationSize_ga

```
int DefaultParameters::populationSize_ga = 100
```

3.1.1.10 T0_sa

```
double DefaultParameters::T0_sa = 2000.0
```

3.1.1.11 Tmin_sa

```
double DefaultParameters::Tmin_sa = 1e-8
```

3.1.1.12 tol_cg

```
double DefaultParameters::tol_cg = 1e-8
```

3.1.1.13 tol_sd

```
double DefaultParameters::tol_sd = 1e-8
```

3.1.1.14 x0

```
double DefaultParameters::x0 = 0.0
```

3.1.1.15 y0

```
double DefaultParameters::y0 = 0.0
```

The documentation for this struct was generated from the following file:

- structs.h

3.2 Individual Struct Reference

```
#include <structs.h>
```

Public Member Functions

- Individual (double x_val=0, double y_val=0)

Public Attributes

- double x
- double y
- double fitness

3.2.1 Constructor & Destructor Documentation

3.2.1.1 Individual()

```
Individual::Individual (
            double x_val = 0,
            double y_val = 0)  [inline]
00025 : x(x_val), y(y_val), fitness(0) {}
```

3.2.2 Member Data Documentation

3.2.2.1 fitness

```
double Individual::fitness
```

3.2.2.2 x

```
double Individual::x
```

3.2.2.3 y

```
double Individual::y
```

The documentation for this struct was generated from the following file:

- structs.h

3.3 Result Struct Reference

```
#include <structs.h>
```

Public Attributes

- double x
- double y
- double f
- int iterations
- double duration

3.3.1 Member Data Documentation

3.3.1.1 duration

```
double Result::duration
```

3.3.1.2 f

```
double Result::f
```

3.3.1.3 iterations

```
int Result::iterations
```

3.3.1.4 x

```
double Result::x
```

3.3.1.5 y

```
double Result::y
```

The documentation for this struct was generated from the following file:

- structs.h

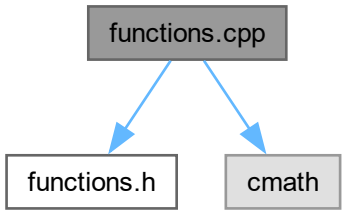
Chapter 4

File Documentation

4.1 functions.cpp File Reference

```
#include "functions.h"
#include <cmath>
```

Include dependency graph for functions.cpp:



Functions

- double functionToMinimize (double x, double y)
- void computeGradient (double x, double y, double &dx, double &dy)
- double lineSearchBacktracking (double x, double y, double d_x, double d_y, double alpha_init, double rho, double c)

4.1.1 Function Documentation

4.1.1.1 computeGradient()

```
void computeGradient (
              double x,
              double y,
              double & dx,
              double & dy)
00020 {
00021     dx = cos(x + y) - sin(x + 2 * y);
00022     dy = cos(x + y) - 2 * sin(x + 2 * y);
00023 }
```

4.1.1.2 functionToMinimize()

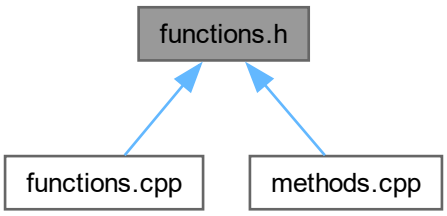
```
double functionToMinimize (
             double x,
             double y)
00014 {
00015     return sin(x + y) + cos(x + 2 * y);
00016 }
```

4.1.1.3 lineSearchBacktracking()

```
double lineSearchBacktracking (
             double x,
             double y,
             double d_x,
             double d_y,
             double alpha_init,
             double rho,
             double c)
00027 {
00028     double alpha = alpha_init;
00029     double f0 = functionToMinimize(x, y);
00030     double grad_dot_dir = d_x * d_x + d_y * d_y; // Since d is -grad
00031     while (functionToMinimize(x + alpha * d_x, y + alpha * d_y) > f0 + c * alpha * grad_dot_dir)
00032     {
00033         alpha *= rho;
00034         if (alpha < 1e-8)
00035             break;
00036     }
00037     return alpha;
00038 }
```

4.2 functions.h File Reference

This graph shows which files directly or indirectly include this file:



Functions

- double functionToMinimize (double x, double y)
- void computeGradient (double x, double y, double &dx, double &dy)
- double lineSearchBacktracking (double x, double y, double dx, double dy, double alpha_init=1.0, double rho=0.5, double c=1e-4)

4.2.1 Function Documentation

4.2.1.1 computeGradient()

```
void computeGradient (
              double x,
              double y,
              double & dx,
              double & dy)
00020 {
00021     dx = cos(x + y) - sin(x + 2 * y);
00022     dy = cos(x + y) - 2 * sin(x + 2 * y);
00023 }
```

4.2.1.2 functionToMinimize()

```
double functionToMinimize (
              double x,
              double y)
00014 {
00015     return sin(x + y) + cos(x + 2 * y);
00016 }
```

4.2.1.3 lineSearchBacktracking()

```
double lineSearchBacktracking (
              double x,
              double y,
              double dx,
              double dy,
              double alpha_init = 1.0,
              double rho = 0.5,
              double c = 1e-4)
00027 {
00028     double alpha = alpha_init;
00029     double f0 = functionToMinimize(x, y);
00030     double grad_dot_dir = d_x * d_x + d_y * d_y; // Since d is -grad
00031     while (functionToMinimize(x + alpha * d_x, y + alpha * d_y) > f0 + c * alpha * grad_dot_dir)
00032     {
00033         alpha *= rho;
00034         if (alpha < 1e-8)
00035             break;
00036     }
00037     return alpha;
00038 }
```

4.3 functions.h

Go to the documentation of this file.

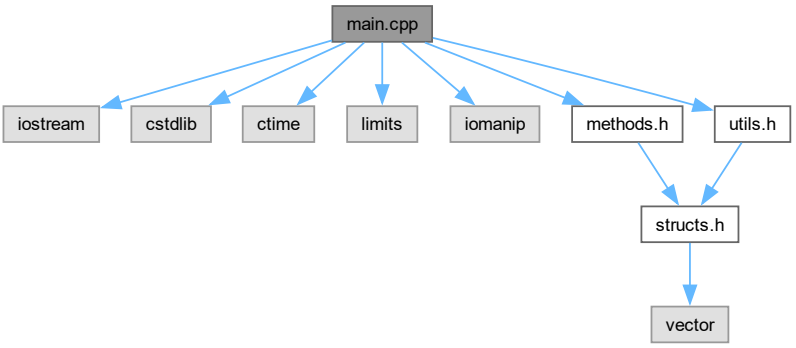
```
00001 /*
00002 @Author: Gilbert Young
00003 @Time: 2024/09/19 08:56
00004 @File_name: functions.h
00005 @Description:
00006 Header file containing function declarations for the mathematical functions used in the optimization
      algorithms:
00007 1. functionToMinimize: the function to be minimized.
00008 2. computeGradient: computes the gradient of the function.
00009 3. lineSearchBacktracking: performs a backtracking line search for the Conjugate Gradient method.
00010 */
00011
00012 #ifndef FUNCTIONS_H
```

```
00013 #define FUNCTIONS_H
00014
00015 double functionToMinimize(double x, double y);
00016 void computeGradient(double x, double y, double &dx, double &dy);
00017 double lineSearchBacktracking(double x, double y, double dx, double dy, double alpha_init = 1.0,
      double rho = 0.5, double c = 1e-4);
00018
00019 #endif // FUNCTIONS_H
```

4.4 main.cpp File Reference

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <ctime>
#include <limits>
#include <iomanip>
#include "methods.h"
#include "utils.h"
```

Include dependency graph for main.cpp:



Functions

- int main ()

4.4.1 Function Documentation

4.4.1.1 main()

```
int main ()
00026 {
00027     srand(static_cast<unsigned int>(time(0)));
00028     char choice;
00029     DefaultParameters params;
00030
00031     do
00032     {
00033         std::cout « "\nOptimization Algorithms Menu:\n";
00034         std::cout « "1. Steepest Descent Method\n";
00035         std::cout « "2. Conjugate Gradient Method\n";
00036         std::cout « "3. Simulated Annealing\n";
00037         std::cout « "4. Genetic Algorithm\n";
00038         std::cout « "5. Compare All Methods\n";
```

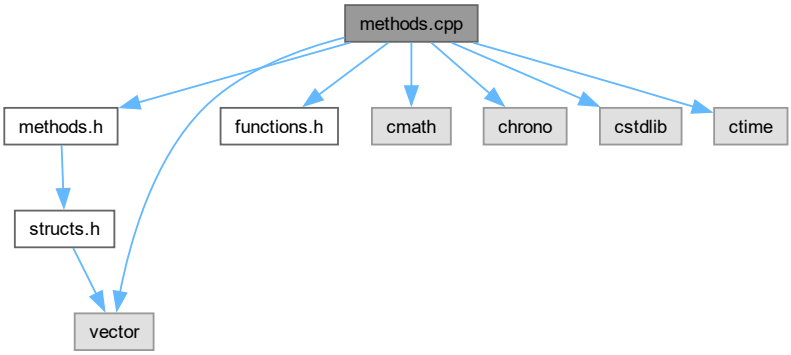
```
00039         std::cout « "Enter your choice (1-5): ";
00040         int option;
00041         std::cin » option;
00042 
00043         if (option >= 1 && option <= 4)
00044         {
00045             displayDefaultParameters(params, option);
00046             std::cout « "\n1. Use default parameters\n";
00047             std::cout « "2. Customize parameters\n";
00048             std::cout « "Enter your choice (1-2): ";
00049             int subOption;
00050             std::cin » subOption;
00051 
00052             Result res;
00053             if (subOption == 1)
00054             {
00055                 // Run method with default parameters
00056                 if (option == 1)
00057                     res = steepestDescent(params.x0, params.y0, params.alpha_sd, params.maxIter_sd,
      params.tol_sd);
00058                 else if (option == 2)
00059                     res = conjugateGradient(params.x0, params.y0, params.maxIter_cg, params.tol_cg);
00060                 else if (option == 3)
00061                     res = simulatedAnnealing(params.x0, params.y0, params.T0_sa, params.Tmin_sa,
      params.alpha_sa, params.maxIter_sa);
00062                 else if (option == 4)
00063                     res = geneticAlgorithm(params.populationSize_ga, params.generations_ga,
      params.mutationRate_ga, params.crossoverRate_ga);
00064 
00065                 // Display results
00066                 std::cout « "\nResults:\n";
00067                 std::cout « "Minimum at (" « std::fixed « std::setprecision(4) « res.x « ", " « res.y
      « ")\n";
00068                 std::cout « "Minimum value: " « std::fixed « std::setprecision(4) « res.f « "\n";
00069                 std::cout « "Total iterations: " « res.iterations « "\n";
00070                 std::cout « "Execution Time: " « std::scientific « std::setprecision(3) « res.duration
      « " seconds\n";
00071             }
00072             else if (subOption == 2)
00073             {
00074                 // Customize parameters
00075                 std::cout « "Enter initial x (default " « std::fixed « std::setprecision(4) «
      params.x0 « "): ";
00076                 std::cin » params.x0;
00077                 std::cout « "Enter initial y (default " « std::fixed « std::setprecision(4) «
      params.y0 « "): ";
00078                 std::cin » params.y0;
00079 
00080                 if (option == 1)
00081                 {
00082                     std::cout « "Enter learning rate alpha (default " « std::fixed «
      std::setprecision(4) « params.alpha_sd « "): ";
00083                     std::cin » params.alpha_sd;
00084                     std::cout « "Enter maximum iterations (default " « params.maxIter_sd « "): ";
00085                     std::cin » params.maxIter_sd;
00086                     std::cout « "Enter tolerance (default " « std::scientific « std::setprecision(3) «
      params.tol_sd « "): ";
00087                     std::cin » params.tol_sd;
00088                     res = steepestDescent(params.x0, params.y0, params.alpha_sd, params.maxIter_sd,
      params.tol_sd);
00089                 }
00090                 else if (option == 2)
00091                 {
00092                     std::cout « "Enter maximum iterations (default " « params.maxIter_cg « "): ";
00093                     std::cin » params.maxIter_cg;
00094                     std::cout « "Enter tolerance (default " « std::scientific « std::setprecision(3) «
      params.tol_cg « "): ";
00095                     std::cin » params.tol_cg;
00096                     res = conjugateGradient(params.x0, params.y0, params.maxIter_cg, params.tol_cg);
00097                 }
00098                 else if (option == 3)
00099                 {
00100                     std::cout « "Enter initial temperature T0 (default " « std::fixed «
      std::setprecision(4) « params.T0_sa « "): ";
00101                     std::cin » params.T0_sa;
00102                     std::cout « "Enter minimum temperature Tmin (default " « std::scientific «
      std::setprecision(6) « params.Tmin_sa « "): ";
00103                     std::cin » params.Tmin_sa;
00104                     std::cout « "Enter cooling rate alpha (default " « std::fixed «
      std::setprecision(4) « params.alpha_sa « "): ";
00105                     std::cin » params.alpha_sa;
00106                     std::cout « "Enter maximum iterations (default " « params.maxIter_sa « "): ";
00107                     std::cin » params.maxIter_sa;
00108                     res = simulatedAnnealing(params.x0, params.y0, params.T0_sa, params.Tmin_sa,
      params.alpha_sa, params.maxIter_sa);
00109                 }
00110                 else if (option == 4)
```

```
00111                 {
00112                     std::cout « "Enter population size (default " « params.populationSize_ga « "): ";
00113                     std::cin » params.populationSize_ga;
00114                     std::cout « "Enter number of generations (default " « params.generations_ga « "):
    ";
00115                     std::cin » params.generations_ga;
00116                     std::cout « "Enter mutation rate (default " « std::fixed « std::setprecision(4) «
    params.mutationRate_ga « "): ";
00117                     std::cin » params.mutationRate_ga;
00118                     std::cout « "Enter crossover rate (default " « std::fixed « std::setprecision(4) «
    params.crossoverRate_ga « "): ";
00119                     std::cin » params.crossoverRate_ga;
00120                     res = geneticAlgorithm(params.populationSize_ga, params.generations_ga,
    params.mutationRate_ga, params.crossoverRate_ga);
00121                 }
00122
00123                 // Display results
00124                 std::cout « "\nResults:\n";
00125                 std::cout « "Minimum at (" « std::fixed « std::setprecision(4) « res.x « ", " « res.y
    « ")\n";
00126                 std::cout « "Minimum value: " « std::fixed « std::setprecision(4) « res.f « "\n";
00127                 std::cout « "Total iterations: " « res.iterations « "\n";
00128                 std::cout « "Execution Time: " « std::scientific « std::setprecision(3) « res.duration
    « " seconds\n";
00129             }
00130             else
00131             {
00132                 std::cout « "Invalid sub-option. Please select 1 or 2.\n";
00133             }
00134         }
00135         else if (option == 5)
00136         {
00137             // Compare all methods with default parameters
00138             compareMethods(params);
00139         }
00140         else
00141         {
00142             std::cout « "Invalid option. Please select 1-5.\n";
00143         }
00144
00145         // Ask user if they want to run again
00146         std::cout « "\nDo you want to run the program again? (y/n): ";
00147         std::cin » choice;
00148     } while (choice == 'y' || choice == 'Y');
00149
00150     // Wait for user input before exiting
00151     std::cout « "\nPress Enter to exit...";
00152     std::cin.ignore(std::numeric_limits<std::streamsize>::max(), '\n'); // Clear input buffer
00153     std::cin.get();                                                     // Wait for Enter key
00154     return 0;
00155 }
```

4.5 methods.cpp File Reference

```
#include "methods.h"
#include "functions.h"
#include <cmath>
#include <chrono>
#include <cstdlib>
#include <ctime>
#include <vector>
```

Include dependency graph for methods.cpp:



Functions

- Result steepestDescent (double x0, double y0, double alpha, int maxIter, double tol)
- Result conjugateGradient (double x0, double y0, int maxIter, double tol)
- Result simulatedAnnealing (double x0, double y0, double T0, double Tmin, double alpha, int maxIter)
- Result geneticAlgorithm (int populationSize, int generations, double mutationRate, double crossoverRate)

4.5.1 Function Documentation

4.5.1.1 conjugateGradient()

```
Result conjugateGradient (
            double x0,
            double y0,
            int maxIter,
            double tol)
00054 {
00055     Result res;
00056     auto start = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00057     double x = x0, y = y0, dx, dy;
00058     computeGradient(x, y, dx, dy);
00059     double g0 = dx * dx + dy * dy;
00060     double d_x = -dx;
00061     double d_y = -dy;
00062     res.iterations = 0;
00063 
00064     for (int i = 0; i < maxIter; ++i)
00065     {
00066         // Line search to find optimal alpha
00067         double alpha = lineSearchBacktracking(x, y, d_x, d_y);
00068         // Update positions
00069         x += alpha * d_x;
00070         y += alpha * d_y;
00071         // Compute new gradient
00072         double new_dx, new_dy;
00073         computeGradient(x, y, new_dx, new_dy);
00074         double gk_new = new_dx * new_dx + new_dy * new_dy;
00075         // Check for convergence
00076         if (sqrt(gk_new) < tol)
00077         {
00078             res.iterations = i + 1;
00079             break;
00080         }
00081         // Compute beta (Fletcher-Reeves)
00082         double beta = gk_new / g0;
```

```
00083         // Update directions
00084         d_x = -new_dx + beta * d_x;
00085         d_y = -new_dy + beta * d_y;
00086         // Update gradient magnitude
00087         g0 = gk_new;
00088         res.iterations = i + 1;
00089     }
00090
00091     auto end = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00092     res.duration = std::chrono::duration<double>(end - start).count();
00093     res.x = x;
00094     res.y = y;
00095     res.f = functionToMinimize(x, y);
00096     return res;
00097 }
```

4.5.1.2 geneticAlgorithm()

```
Result geneticAlgorithm (
            int populationSize,
            int generations,
            double mutationRate,
            double crossoverRate)
00139 {
00140     Result res;
00141     auto start = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00142     std::vector<Individual> population(populationSize);
00143     double xMin = -10.0, xMax = 10.0;
00144     double yMin = -10.0, yMax = 10.0;
00145
00146     // Initialize population
00147     for (auto &ind : population)
00148     {
00149         ind.x = xMin + (xMax - xMin) * ((double)rand() / RAND_MAX);
00150         ind.y = yMin + (yMax - yMin) * ((double)rand() / RAND_MAX);
00151         ind.fitness = functionToMinimize(ind.x, ind.y);
00152     }
00153
00154     res.iterations = generations * populationSize;
00155
00156     for (int gen = 0; gen < generations; ++gen)
00157     {
00158         // Selection (Tournament Selection)
00159         std::vector<Individual> newPopulation;
00160         for (int i = 0; i < populationSize; ++i)
00161         {
00162             int a = rand() % populationSize;
00163             int b = rand() % populationSize;
00164             Individual parent = population[a].fitness < population[b].fitness ? population[a] :
      population[b];
00165             newPopulation.push_back(parent);
00166         }
00167
00168         // Crossover (Single-point)
00169         for (int i = 0; i < populationSize - 1; i += 2)
00170         {
00171             if (((double)rand() / RAND_MAX) < crossoverRate)
00172             {
00173                 double alpha = (double)rand() / RAND_MAX;
00174                 double temp_x1 = alpha * newPopulation[i].x + (1 - alpha) * newPopulation[i + 1].x;
00175                 double temp_y1 = alpha * newPopulation[i].y + (1 - alpha) * newPopulation[i + 1].y;
00176                 double temp_x2 = alpha * newPopulation[i + 1].x + (1 - alpha) * newPopulation[i].x;
00177                 double temp_y2 = alpha * newPopulation[i + 1].y + (1 - alpha) * newPopulation[i].y;
00178                 newPopulation[i].x = temp_x1;
00179                 newPopulation[i].y = temp_y1;
00180                 newPopulation[i + 1].x = temp_x2;
00181                 newPopulation[i + 1].y = temp_y2;
00182             }
00183         }
00184
00185         // Mutation
00186         for (auto &ind : newPopulation)
00187         {
00188             if (((double)rand() / RAND_MAX) < mutationRate)
00189             {
00190                 ind.x += ((double)rand() / RAND_MAX - 0.5);
00191                 ind.y += ((double)rand() / RAND_MAX - 0.5);
00192                 // Clamp to search space
00193                 if (ind.x < xMin)
00194                     ind.x = xMin;
00195                 if (ind.x > xMax)
```

```
00196                     ind.x = xMax;
00197                 if (ind.y < yMin)
00198                     ind.y = yMin;
00199                 if (ind.y > yMax)
00200                     ind.y = yMax;
00201             }
00202             ind.fitness = functionToMinimize(ind.x, ind.y);
00203         }
00204
00205         population = newPopulation;
00206     }
00207
00208     // Find best individual
00209     Individual best = population[0];
00210     for (const auto &ind : population)
00211     {
00212         if (ind.fitness < best.fitness)
00213             best = ind;
00214     }
00215
00216     auto end = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00217     res.duration = std::chrono::duration<double>(end - start).count();
00218     res.x = best.x;
00219     res.y = best.y;
00220     res.f = best.fitness;
00221     return res;
00222 }
```

4.5.1.3 simulatedAnnealing()

```
Result simulatedAnnealing (
              double x0,
              double y0,
              double T0,
              double Tmin,
              double alpha,
              int maxIter)
00101 {
00102     Result res;
00103     auto start = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00104     double x = x0, y = y0, f_current = functionToMinimize(x, y);
00105     double T = T0;
00106     res.iterations = 0;
00107
00108     for (int i = 0; i < maxIter && T > Tmin; ++i)
00109     {
00110         // Generate new candidate solution
00111         double x_new = x + ((double)rand() / RAND_MAX - 0.5);
00112         double y_new = y + ((double)rand() / RAND_MAX - 0.5);
00113         double f_new = functionToMinimize(x_new, y_new);
00114         double delta = f_new - f_current;
00115
00116         // Accept new solution if better, or with a probability
00117         if (delta < 0 || exp(-delta / T) > ((double)rand() / RAND_MAX))
00118         {
00119             x = x_new;
00120             y = y_new;
00121             f_current = f_new;
00122         }
00123
00124         // Cool down
00125         T *= alpha;
00126         res.iterations = i + 1;
00127     }
00128
00129     auto end = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00130     res.duration = std::chrono::duration<double>(end - start).count();
00131     res.x = x;
00132     res.y = y;
00133     res.f = f_current;
00134     return res;
00135 }
```

4.5.1.4 steepestDescent()

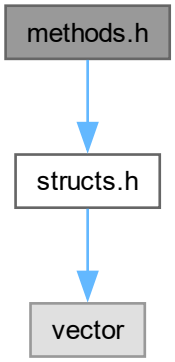
```
Result steepestDescent (
              double x0,
```

```
            double y0,
            double alpha,
            int maxIter,
            double tol)
00023 {
00024     Result res;
00025     auto start = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00026     double x = x0, y = y0, dx, dy;
00027     res.iterations = 0;
00028 
00029     for (int i = 0; i < maxIter; ++i)
00030     {
00031         computeGradient(x, y, dx, dy);
00032         double norm = sqrt(dx * dx + dy * dy);
00033         if (norm < tol)
00034         {
00035             res.iterations = i;
00036             break;
00037         }
00038         // Update positions
00039         x -= alpha * dx;
00040         y -= alpha * dy;
00041         res.iterations = i + 1;
00042     }
00043 
00044     auto end = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00045     res.duration = std::chrono::duration<double>(end - start).count();
00046     res.x = x;
00047     res.y = y;
00048     res.f = functionToMinimize(x, y);
00049     return res;
00050 }
```

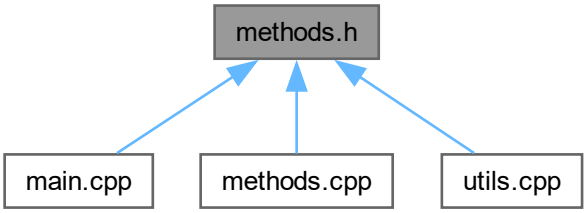
4.6 methods.h File Reference

```
#include "structs.h"
```

Include dependency graph for methods.h:



This graph shows which files directly or indirectly include this file:



Functions

- Result steepestDescent (double x0, double y0, double alpha, int maxIter, double tol)
- Result conjugateGradient (double x0, double y0, int maxIter, double tol)
- Result simulatedAnnealing (double x0, double y0, double T0, double Tmin, double alpha, int maxIter)
- Result geneticAlgorithm (int populationSize, int generations, double mutationRate, double crossoverRate)

4.6.1 Function Documentation

4.6.1.1 conjugateGradient()

```
Result conjugateGradient (
            double x0,
            double y0,
            int maxIter,
            double tol)
```

```
00054 {
00055     Result res;
00056     auto start = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00057     double x = x0, y = y0, dx, dy;
00058     computeGradient(x, y, dx, dy);
00059     double g0 = dx * dx + dy * dy;
00060     double d_x = -dx;
00061     double d_y = -dy;
00062     res.iterations = 0;
00063 
00064     for (int i = 0; i < maxIter; ++i)
00065     {
00066         // Line search to find optimal alpha
00067         double alpha = lineSearchBacktracking(x, y, d_x, d_y);
00068         // Update positions
00069         x += alpha * d_x;
00070         y += alpha * d_y;
00071         // Compute new gradient
00072         double new_dx, new_dy;
00073         computeGradient(x, y, new_dx, new_dy);
00074         double gk_new = new_dx * new_dx + new_dy * new_dy;
00075         // Check for convergence
00076         if (sqrt(gk_new) < tol)
00077         {
00078             res.iterations = i + 1;
00079             break;
00080         }
00081         // Compute beta (Fletcher-Reeves)
00082         double beta = gk_new / g0;
00083         // Update directions
00084         d_x = -new_dx + beta * d_x;
00085         d_y = -new_dy + beta * d_y;
```

```
00086         // Update gradient magnitude
00087         g0 = gk_new;
00088         res.iterations = i + 1;
00089     }
00090
00091     auto end = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00092     res.duration = std::chrono::duration<double>(end - start).count();
00093     res.x = x;
00094     res.y = y;
00095     res.f = functionToMinimize(x, y);
00096     return res;
00097 }
```

4.6.1.2 geneticAlgorithm()

```
Result geneticAlgorithm (
            int populationSize,
            int generations,
            double mutationRate,
            double crossoverRate)
00139 {
00140     Result res;
00141     auto start = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00142     std::vector<Individual> population(populationSize);
00143     double xMin = -10.0, xMax = 10.0;
00144     double yMin = -10.0, yMax = 10.0;
00145
00146     // Initialize population
00147     for (auto &ind : population)
00148     {
00149         ind.x = xMin + (xMax - xMin) * ((double)rand() / RAND_MAX);
00150         ind.y = yMin + (yMax - yMin) * ((double)rand() / RAND_MAX);
00151         ind.fitness = functionToMinimize(ind.x, ind.y);
00152     }
00153
00154     res.iterations = generations * populationSize;
00155
00156     for (int gen = 0; gen < generations; ++gen)
00157     {
00158         // Selection (Tournament Selection)
00159         std::vector<Individual> newPopulation;
00160         for (int i = 0; i < populationSize; ++i)
00161         {
00162             int a = rand() % populationSize;
00163             int b = rand() % populationSize;
00164             Individual parent = population[a].fitness < population[b].fitness ? population[a] :
      population[b];
00165             newPopulation.push_back(parent);
00166         }
00167
00168         // Crossover (Single-point)
00169         for (int i = 0; i < populationSize - 1; i += 2)
00170         {
00171             if (((double)rand() / RAND_MAX) < crossoverRate)
00172             {
00173                 double alpha = (double)rand() / RAND_MAX;
00174                 double temp_x1 = alpha * newPopulation[i].x + (1 - alpha) * newPopulation[i + 1].x;
00175                 double temp_y1 = alpha * newPopulation[i].y + (1 - alpha) * newPopulation[i + 1].y;
00176                 double temp_x2 = alpha * newPopulation[i + 1].x + (1 - alpha) * newPopulation[i].x;
00177                 double temp_y2 = alpha * newPopulation[i + 1].y + (1 - alpha) * newPopulation[i].y;
00178                 newPopulation[i].x = temp_x1;
00179                 newPopulation[i].y = temp_y1;
00180                 newPopulation[i + 1].x = temp_x2;
00181                 newPopulation[i + 1].y = temp_y2;
00182             }
00183         }
00184
00185         // Mutation
00186         for (auto &ind : newPopulation)
00187         {
00188             if (((double)rand() / RAND_MAX) < mutationRate)
00189             {
00190                 ind.x += ((double)rand() / RAND_MAX - 0.5);
00191                 ind.y += ((double)rand() / RAND_MAX - 0.5);
00192                 // Clamp to search space
00193                 if (ind.x < xMin)
00194                     ind.x = xMin;
00195                 if (ind.x > xMax)
00196                     ind.x = xMax;
00197                 if (ind.y < yMin)
00198                     ind.y = yMin;
```

```
00199                 if (ind.y > yMax)
00200                     ind.y = yMax;
00201             }
00202             ind.fitness = functionToMinimize(ind.x, ind.y);
00203         }
00204
00205         population = newPopulation;
00206     }
00207
00208     // Find best individual
00209     Individual best = population[0];
00210     for (const auto &ind : population)
00211     {
00212         if (ind.fitness < best.fitness)
00213             best = ind;
00214     }
00215
00216     auto end = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00217     res.duration = std::chrono::duration<double>(end - start).count();
00218     res.x = best.x;
00219     res.y = best.y;
00220     res.f = best.fitness;
00221     return res;
00222 }
```

4.6.1.3 simulatedAnnealing()

```
Result simulatedAnnealing (
              double x0,
              double y0,
              double T0,
              double Tmin,
              double alpha,
              int maxIter)
00101 {
00102     Result res;
00103     auto start = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00104     double x = x0, y = y0, f_current = functionToMinimize(x, y);
00105     double T = T0;
00106     res.iterations = 0;
00107
00108     for (int i = 0; i < maxIter && T > Tmin; ++i)
00109     {
00110         // Generate new candidate solution
00111         double x_new = x + ((double)rand() / RAND_MAX - 0.5);
00112         double y_new = y + ((double)rand() / RAND_MAX - 0.5);
00113         double f_new = functionToMinimize(x_new, y_new);
00114         double delta = f_new - f_current;
00115
00116         // Accept new solution if better, or with a probability
00117         if (delta < 0 || exp(-delta / T) > ((double)rand() / RAND_MAX))
00118         {
00119             x = x_new;
00120             y = y_new;
00121             f_current = f_new;
00122         }
00123
00124         // Cool down
00125         T *= alpha;
00126         res.iterations = i + 1;
00127     }
00128
00129     auto end = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00130     res.duration = std::chrono::duration<double>(end - start).count();
00131     res.x = x;
00132     res.y = y;
00133     res.f = f_current;
00134     return res;
00135 }
```

4.6.1.4 steepestDescent()

```
Result steepestDescent (
              double x0,
```

```
            double y0,
            double alpha,
            int maxIter,
            double tol)
00023 {
00024     Result res;
00025     auto start = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00026     double x = x0, y = y0, dx, dy;
00027     res.iterations = 0;
00028 
00029     for (int i = 0; i < maxIter; ++i)
00030     {
00031         computeGradient(x, y, dx, dy);
00032         double norm = sqrt(dx * dx + dy * dy);
00033         if (norm < tol)
00034         {
00035             res.iterations = i;
00036             break;
00037         }
00038         // Update positions
00039         x -= alpha * dx;
00040         y -= alpha * dy;
00041         res.iterations = i + 1;
00042     }
00043 
00044     auto end = std::chrono::high_resolution_clock::now();
00045     res.duration = std::chrono::duration<double>(end - start).count();
00046     res.x = x;
00047     res.y = y;
00048     res.f = functionToMinimize(x, y);
00049     return res;
00050 }
```

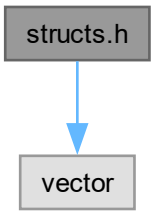
4.7 methods.h

Go to the documentation of this file.

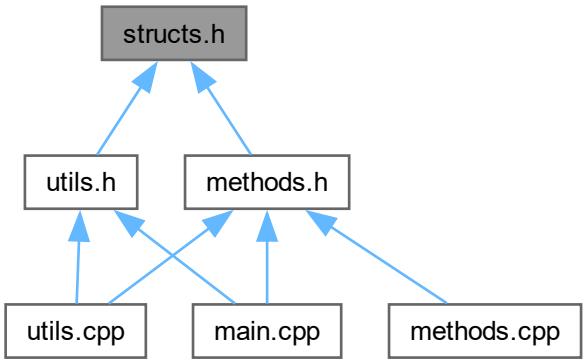
```
00001 /*
00002 @Author: Gilbert Young
00003 @Time: 2024/09/19 08:56
00004 @File_name: methods.h
00005 @Description:
00006 Header file containing declarations of the optimization methods:
00007 1. steepestDescent
00008 2. conjugateGradient
00009 3. simulatedAnnealing
00010 4. geneticAlgorithm
00011 */
00012 
00013 #ifndef METHODS_H
00014 #define METHODS_H
00015 
00016 #include "structs.h"
00017 
00018 // Function prototypes for optimization methods
00019 Result steepestDescent(double x0, double y0, double alpha, int maxIter, double tol);
00020 Result conjugateGradient(double x0, double y0, int maxIter, double tol);
00021 Result simulatedAnnealing(double x0, double y0, double T0, double Tmin, double alpha, int maxIter);
00022 Result geneticAlgorithm(int populationSize, int generations, double mutationRate, double
      crossoverRate);
00023 
00024 #endif // METHODS_H
```

4.8 structs.h File Reference

`#include <vector>`
Include dependency graph for structs.h:



This graph shows which files directly or indirectly include this file:



Classes

- struct Individual
- struct DefaultParameters
- struct Result

4.9 structs.h

Go to the documentation of this file.

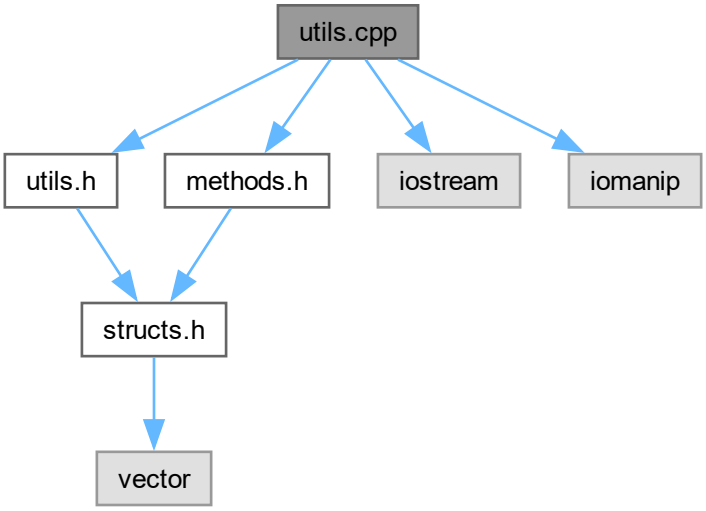
```
00001 /*
00002 @Author: Gilbert Young
00003 @Time: 2024/09/19 08:56
```

```
00004 @File_name: structs.h
00005 @Description:
00006 Header file containing the definitions of data structures used in the optimization algorithms:
00007 1. Individual: structure to store coordinates and fitness for the Genetic Algorithm.
00008 2. DefaultParameters: structure for default parameters for all algorithms.
00009 3. Result: structure to store the optimization results.
00010 */
00011
00012 #ifndef STRUCTS_H
00013 #define STRUCTS_H
00014
00015 #include <vector>
00016
00017 // Structure to store coordinates and fitness for Genetic Algorithm
00018 struct Individual
00019 {
00020     double x;
00021     double y;
00022     double fitness;
00023
00024     // Constructor for easier initialization
00025     Individual(double x_val = 0, double y_val = 0) : x(x_val), y(y_val), fitness(0) {}
00026 };
00027
00028 // Structure for default parameters
00029 struct DefaultParameters
00030 {
00031     // Initial points
00032     double x0 = 0.0;
00033     double y0 = 0.0;
00034
00035     // Steepest Descent parameters
00036     double alpha_sd = 0.0050;
00037     double tol_sd = 1e-8;
00038     int maxIter_sd = 100000;
00039
00040     // Conjugate Gradient parameters
00041     double tol_cg = 1e-8;
00042     int maxIter_cg = 100000;
00043
00044     // Simulated Annealing parameters
00045     double T0_sa = 2000.0;
00046     double Tmin_sa = 1e-8;
00047     double alpha_sa = 0.99;
00048     int maxIter_sa = 200000;
00049
00050     // Genetic Algorithm parameters
00051     int populationSize_ga = 100;
00052     int generations_ga = 5000;
00053     double mutationRate_ga = 0.02;
00054     double crossoverRate_ga = 0.8;
00055 };
00056
00057 // Structure to store optimization results
00058 struct Result
00059 {
00060     double x;
00061     double y;
00062     double f;
00063     int iterations;
00064     double duration; // in seconds
00065 };
00066
00067 #endif // STRUCTS_H
```

4.10 utils.cpp File Reference

```
#include "utils.h"
#include "methods.h"
#include <iostream>
#include <iomanip>
```

Include dependency graph for utils.cpp:



Functions

- void displayDefaultParameters (const DefaultParameters &params, int option)
- void compareMethods (const DefaultParameters &params)

4.10.1 Function Documentation

4.10.1.1 compareMethods()

```
void compareMethods (
            const DefaultParameters & params)
00057 {
00058     std::cout « "\nComparing All Methods with Default Parameters...\n";
00059
00060     // Display default parameters
00061     std::cout « "\nDefault Parameters:\n";
00062     std::cout « "Initial x: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.x0
00063               « ", Initial y: " « params.y0 « "\n";
00064     std::cout « "Steepest Descent alpha: " « params.alpha_sd
00065               « ", maxIter: " « params.maxIter_sd
00066               « ", tol: " « std::scientific « std::setprecision(3) « params.tol_sd « std::fixed «
      "\n";
00067     std::cout « "Conjugate Gradient maxIter: " « params.maxIter_cg
00068               « ", tol: " « std::scientific « std::setprecision(3) « params.tol_cg « std::fixed «
      "\n";
00069     std::cout « "Simulated Annealing T0: " « params.T0_sa
00070               « ", Tmin: " « std::scientific « std::setprecision(3) « params.Tmin_sa
00071               « std::fixed « ", alpha: " « params.alpha_sa
00072               « ", maxIter: " « params.maxIter_sa « "\n";
00073     std::cout « "Genetic Algorithm populationSize: " « params.populationSize_ga
00074               « ", generations: " « params.generations_ga
00075               « ", mutationRate: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.mutationRate_ga
00076               « ", crossoverRate: " « params.crossoverRate_ga « "\n";
00077
00078     // Run all methods
00079     Result res_sd = steepestDescent(params.x0, params.y0, params.alpha_sd, params.maxIter_sd,
      params.tol_sd);
```

```
00080     Result res_cg = conjugateGradient(params.x0, params.y0, params.maxIter_cg, params.tol_cg);
00081     Result res_sa = simulatedAnnealing(params.x0, params.y0, params.T0_sa, params.Tmin_sa,
      params.alpha_sa, params.maxIter_sa);
00082     Result res_ga = geneticAlgorithm(params.populationSize_ga, params.generations_ga,
      params.mutationRate_ga, params.crossoverRate_ga);
00083
00084     // Display results
00085     std::cout « "\nResults:\n";
00086
00087     // Steepest Descent
00088     std::cout « "Steepest Descent Method:\n";
00089     std::cout « "Minimum at (" « std::fixed « std::setprecision(5) « res_sd.x « ", " « res_sd.y «
      ")\n";
00090     std::cout « "Minimum value: " « std::fixed « std::setprecision(5) « res_sd.f « "\n";
00091     std::cout « "Total iterations: " « res_sd.iterations « "\n";
00092     std::cout « "Execution Time: " « std::scientific « std::setprecision(3) « res_sd.duration « "
      seconds\n\n";
00093
00094     // Conjugate Gradient
00095     std::cout « "Conjugate Gradient Method:\n";
00096     std::cout « "Minimum at (" « std::fixed « std::setprecision(5) « res_cg.x « ", " « res_cg.y «
      ")\n";
00097     std::cout « "Minimum value: " « std::fixed « std::setprecision(5) « res_cg.f « "\n";
00098     std::cout « "Total iterations: " « res_cg.iterations « "\n";
00099     std::cout « "Execution Time: " « std::scientific « std::setprecision(3) « res_cg.duration « "
      seconds\n\n";
00100
00101     // Simulated Annealing
00102     std::cout « "Simulated Annealing:\n";
00103     std::cout « "Minimum at (" « std::fixed « std::setprecision(5) « res_sa.x « ", " « res_sa.y «
      ")\n";
00104     std::cout « "Minimum value: " « std::fixed « std::setprecision(5) « res_sa.f « "\n";
00105     std::cout « "Total iterations: " « res_sa.iterations « "\n";
00106     std::cout « "Execution Time: " « std::scientific « std::setprecision(3) « res_sa.duration « "
      seconds\n\n";
00107
00108     // Genetic Algorithm
00109     std::cout « "Genetic Algorithm:\n";
00110     std::cout « "Minimum at (" « std::fixed « std::setprecision(5) « res_ga.x « ", " « res_ga.y «
      ")\n";
00111     std::cout « "Minimum value: " « std::fixed « std::setprecision(5) « res_ga.f « "\n";
00112     std::cout « "Total iterations: " « res_ga.iterations « "\n";
00113     std::cout « "Execution Time: " « std::scientific « std::setprecision(3) « res_ga.duration « "
      seconds\n";
00114 }
```

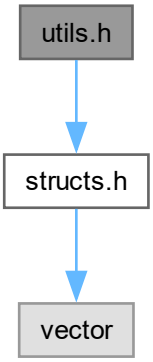
4.10.1.2 displayDefaultParameters()

```
void displayDefaultParameters (
            const DefaultParameters & params,
            int option)
00017 {
00018     if (option == 1)
00019     {
00020         std::cout « "\nCurrent Default Parameters for Steepest Descent:\n";
00021         std::cout « "Initial x: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.x0
00022                   « ", Initial y: " « params.y0 « "\n";
00023         std::cout « "Learning rate alpha: " « params.alpha_sd
00024                   « "\nMaximum iterations: " « params.maxIter_sd
00025                   « "\nTolerance: " « std::scientific « std::setprecision(3) « params.tol_sd «
      std::fixed « "\n";
00026     }
00027     else if (option == 2)
00028     {
00029         std::cout « "\nCurrent Default Parameters for Conjugate Gradient:\n";
00030         std::cout « "Initial x: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.x0
00031                   « ", Initial y: " « params.y0 « "\n";
00032         std::cout « "Maximum iterations: " « params.maxIter_cg
00033                   « "\nTolerance: " « std::scientific « std::setprecision(3) « params.tol_cg «
      std::fixed « "\n";
00034     }
00035     else if (option == 3)
00036     {
00037         std::cout « "\nCurrent Default Parameters for Simulated Annealing:\n";
00038         std::cout « "Initial x: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.x0
00039                   « ", Initial y: " « params.y0 « "\n";
00040         std::cout « "Initial temperature T0: " « params.T0_sa
00041                   « "\nMinimum temperature Tmin: " « std::scientific « std::setprecision(3) «
      params.Tmin_sa « std::fixed
00042                   « "\nCooling rate alpha: " « params.alpha_sa
00043                   « "\nMaximum iterations: " « params.maxIter_sa « "\n";
00044     }
```

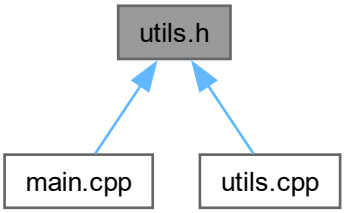
```
00045     else if (option == 4)
00046     {
00047         std::cout « "\nCurrent Default Parameters for Genetic Algorithm:\n";
00048         std::cout « "Population size: " « params.populationSize_ga
00049                   « "\nGenerations: " « params.generations_ga
00050                   « "\nMutation rate: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.mutationRate_ga
00051                   « "\nCrossover rate: " « params.crossoverRate_ga « "\n";
00052     }
00053 }
```

4.11 utils.h File Reference

`#include "structs.h"`
Include dependency graph for utils.h:



This graph shows which files directly or indirectly include this file:



Functions

- void displayDefaultParameters (const DefaultParameters &params, int option)
- void compareMethods (const DefaultParameters &params)

4.11.1 Function Documentation

4.11.1.1 compareMethods()

```
void compareMethods (
            const DefaultParameters & params)
```

```
00057 {
00058     std::cout « "\nComparing All Methods with Default Parameters...\n";
00059
00060     // Display default parameters
00061     std::cout « "\nDefault Parameters:\n";
00062     std::cout « "Initial x: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.x0
00063               « ", Initial y: " « params.y0 « "\n";
00064     std::cout « "Steepest Descent alpha: " « params.alpha_sd
00065               « ", maxIter: " « params.maxIter_sd
00066               « ", tol: " « std::scientific « std::setprecision(3) « params.tol_sd « std::fixed «
      "\n";
00067     std::cout « "Conjugate Gradient maxIter: " « params.maxIter_cg
00068               « ", tol: " « std::scientific « std::setprecision(3) « params.tol_cg « std::fixed «
      "\n";
00069     std::cout « "Simulated Annealing T0: " « params.T0_sa
00070               « ", Tmin: " « std::scientific « std::setprecision(3) « params.Tmin_sa
00071               « std::fixed « ", alpha: " « params.alpha_sa
00072               « ", maxIter: " « params.maxIter_sa « "\n";
00073     std::cout « "Genetic Algorithm populationSize: " « params.populationSize_ga
00074               « ", generations: " « params.generations_ga
00075               « ", mutationRate: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.mutationRate_ga
00076               « ", crossoverRate: " « params.crossoverRate_ga « "\n";
00077
00078     // Run all methods
00079     Result res_sd = steepestDescent(params.x0, params.y0, params.alpha_sd, params.maxIter_sd,
      params.tol_sd);
00080     Result res_cg = conjugateGradient(params.x0, params.y0, params.maxIter_cg, params.tol_cg);
00081     Result res_sa = simulatedAnnealing(params.x0, params.y0, params.T0_sa, params.Tmin_sa,
      params.alpha_sa, params.maxIter_sa);
00082     Result res_ga = geneticAlgorithm(params.populationSize_ga, params.generations_ga,
      params.mutationRate_ga, params.crossoverRate_ga);
00083
00084     // Display results
00085     std::cout « "\nResults:\n";
00086
00087     // Steepest Descent
00088     std::cout « "Steepest Descent Method:\n";
00089     std::cout « "Minimum at (" « std::fixed « std::setprecision(5) « res_sd.x « ", " « res_sd.y «
      ")\n";
00090     std::cout « "Minimum value: " « std::fixed « std::setprecision(5) « res_sd.f « "\n";
00091     std::cout « "Total iterations: " « res_sd.iterations « "\n";
00092     std::cout « "Execution Time: " « std::scientific « std::setprecision(3) « res_sd.duration « "
      seconds\n\n";
00093
00094     // Conjugate Gradient
00095     std::cout « "Conjugate Gradient Method:\n";
00096     std::cout « "Minimum at (" « std::fixed « std::setprecision(5) « res_cg.x « ", " « res_cg.y «
      ")\n";
00097     std::cout « "Minimum value: " « std::fixed « std::setprecision(5) « res_cg.f « "\n";
00098     std::cout « "Total iterations: " « res_cg.iterations « "\n";
00099     std::cout « "Execution Time: " « std::scientific « std::setprecision(3) « res_cg.duration « "
      seconds\n\n";
00100
00101     // Simulated Annealing
00102     std::cout « "Simulated Annealing:\n";
00103     std::cout « "Minimum at (" « std::fixed « std::setprecision(5) « res_sa.x « ", " « res_sa.y «
      ")\n";
00104     std::cout « "Minimum value: " « std::fixed « std::setprecision(5) « res_sa.f « "\n";
00105     std::cout « "Total iterations: " « res_sa.iterations « "\n";
00106     std::cout « "Execution Time: " « std::scientific « std::setprecision(3) « res_sa.duration « "
      seconds\n\n";
00107
00108     // Genetic Algorithm
00109     std::cout « "Genetic Algorithm:\n";
00110     std::cout « "Minimum at (" « std::fixed « std::setprecision(5) « res_ga.x « ", " « res_ga.y «
      ")\n";
00111     std::cout « "Minimum value: " « std::fixed « std::setprecision(5) « res_ga.f « "\n";
00112     std::cout « "Total iterations: " « res_ga.iterations « "\n";
00113     std::cout « "Execution Time: " « std::scientific « std::setprecision(3) « res_ga.duration « "
      seconds\n";
00114 }
```

4.11.1.2 displayDefaultParameters()

```
void displayDefaultParameters (
```

```
            const DefaultParameters & params,
            int option)
00017 {
00018     if (option == 1)
00019     {
00020         std::cout « "\nCurrent Default Parameters for Steepest Descent:\n";
00021         std::cout « "Initial x: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.x0
00022                   « ", Initial y: " « params.y0 « "\n";
00023         std::cout « "Learning rate alpha: " « params.alpha_sd
00024                   « "\nMaximum iterations: " « params.maxIter_sd
00025                   « "\nTolerance: " « std::scientific « std::setprecision(3) « params.tol_sd «
    std::fixed « "\n";
00026     }
00027     else if (option == 2)
00028     {
00029         std::cout « "\nCurrent Default Parameters for Conjugate Gradient:\n";
00030         std::cout « "Initial x: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.x0
00031                   « ", Initial y: " « params.y0 « "\n";
00032         std::cout « "Maximum iterations: " « params.maxIter_cg
00033                   « "\nTolerance: " « std::scientific « std::setprecision(3) « params.tol_cg «
    std::fixed « "\n";
00034     }
00035     else if (option == 3)
00036     {
00037         std::cout « "\nCurrent Default Parameters for Simulated Annealing:\n";
00038         std::cout « "Initial x: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.x0
00039                   « ", Initial y: " « params.y0 « "\n";
00040         std::cout « "Initial temperature T0: " « params.T0_sa
00041                   « "\nMinimum temperature Tmin: " « std::scientific « std::setprecision(3) «
    params.Tmin_sa « std::fixed
00042                   « "\nCooling rate alpha: " « params.alpha_sa
00043                   « "\nMaximum iterations: " « params.maxIter_sa « "\n";
00044     }
00045     else if (option == 4)
00046     {
00047         std::cout « "\nCurrent Default Parameters for Genetic Algorithm:\n";
00048         std::cout « "Population size: " « params.populationSize_ga
00049                   « "\nGenerations: " « params.generations_ga
00050                   « "\nMutation rate: " « std::fixed « std::setprecision(4) « params.mutationRate_ga
00051                   « "\nCrossover rate: " « params.crossoverRate_ga « "\n";
00052     }
00053 }
```

4.12 utils.h

Go to the documentation of this file.

```
00001 /*
00002 @Author: Gilbert Young
00003 @Time: 2024/09/19 08:56
00004 @File_name: utils.h
00005 @Description:
00006 Header file containing utility functions:
00007 1. displayDefaultParameters: displays the default parameters for the selected algorithm.
00008 2. compareMethods: compares all optimization methods using default parameters.
00009 */
00010
00011 #ifndef UTILS_H
00012 #define UTILS_H
00013
00014 #include "structs.h"
00015
00016 void displayDefaultParameters(const DefaultParameters &params, int option);
00017 void compareMethods(const DefaultParameters &params);
00018
00019 #endif // UTILS_H
```

Index