|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | |
| Федеральное государственное бюджетное  образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» | | |
|  | | |
| Кафедра прикладной математики | | |
| Практическое задание № 2 | | |
| по дисциплине «Цифровые модели и оценивание параметров» | | |
| **Нелинейные обратные задачи** | | |
|  | | |
|  |  |  |
| Группа ПМ-05 |  |
| Вариант 3 |  |
|  | болдырев сергей |
|  | грушев андрей |
|  | пучков дмитрий |
| Преподаватели | Вагин Денис Владимирович |
|  |  |
| Новосибирск, 2023 | | |

1. **Задание**

Положение приёмников: M1(200,0,0), N1(300,0,0); M2(500,0,0), N2(600,0,0); M3(1000,0,0), N3(1100,0,0). Положение источников: A1(0,–500,0), B1(100,–500,0); A2(0,0,0), B2(100,0,0); A3(0,500,0), B3(100,500,0).

Однородное полупространство. Приёмники 1–3. Источник 2. Определить значение  полупространства. Добавить шум, равный 10 % от значения измерения.

1. **Решение**

Формула связи электрического тока в источнике (AB) и напряжения в приёмнике (MN):

Для решения нашей задачи необходимо собрать СЛАУ следующего вида:

В качестве **ε** мы рассматриваем сумму напряжений в каждом из приёмников от всех источников (в нашем случае от одного источника), – вектор токов.

Производные будут посчитаны аналитически. Формула:

Продолжение итерационного процесса даст истинное значение искомой силы тока.

1. **Результаты работы программы**

Точность решения: 1e-10.

Максимум итераций: 1000.

Тест 1 – Без зашумления

|  |  |
| --- | --- |
| **Итерация** |  |
| 1 | 1,900000E-002 |
| 2 | 3,439000E-002 |
| 3 | 5,695328E-002 |
| 4 | 8,146980E-002 |
| 5 | 9,656632E-002 |
| 6 | 9,988210E-002 |
| 7 | 9,999986E-002 |
| 8 | 1,000000E-001 |

Тест 2 - Зашумление по всем 3 приёмникам на плюс 10 процентов.

|  |  |
| --- | --- |
| **Итерация** |  |
| 1 | 1,890000E-002 |
| 2 | 3,387069E-002 |
| 3 | 5,512192E-002 |
| 4 | 7,682115E-002 |
| 5 | 8,872592E-002 |
| 6 | 9,085666E-002 |
| 7 | 9,090906E-002 |
| 8 | 9,090909E-002 |

Тест 3 - Зашумление по всем 3 приёмникам на минус 10 процентов.

|  |  |
| --- | --- |
| **Итерация** |  |
| 1 | 1,910000E-002 |
| 2 | 3,491671E-002 |
| 3 | 5,886083E-002 |
| 4 | 8,654028E-002 |
| 5 | 1,056776E-001 |
| 6 | 1,108454E-001 |
| 7 | 1,111105E-001 |
| 8 | 1,111111E-001 |

Тест 4 - Зашумление лишь одного приёмника на 1 процент.

|  |  |
| --- | --- |
| **Итерация** |  |
| 1 | 1,899671E-002 |
| 2 | 3,437280E-002 |
| 3 | 5,689185E-002 |
| 4 | 8,131041E-002 |
| 5 | 9,628953E-002 |
| 6 | 9,955735E-002 |
| 7 | 9,967202E-002 |
| 8 | 9,967215E-002 |
| 9 | 9,967215E-002 |
| … | … |
| 999 | 9,967215E-002 |
| 1000 | 9,967215E-002 |

1. **Вывод**

При одинаковом по силе и знаку зашумлении на всех приёмниках полученный результат отличается от истинного обратно пропорционально зашумлению. П

При зашумлении на плюс 10% полученное значение удельной теплоёмкости будет равно истинному поделённому на 1,1.

При разном по силе и/или знаку зашумлении хотя бы на двух приёмниках наш алгоритм не выходит по невязке, а выходит только по количеству итераций. Однако он продолжает давать близкие к истинным значениям результаты и при этом довольно быстро начинает стагнировать.

**Код программы**

|  |
| --- |
| **Program.cs** |
| using ConsoleApp1;  //Console.WriteLine("Hello, World!");  public class Program  {  static void Main(string[] args)  {  Tests.CheckFirstTestFromTrainingManualBreaker();  }  } |

|  |
| --- |
| **Data.cs** |
| using System;  using System.Collections.Generic;  using System.Linq;  using System.Text;  using System.Threading.Tasks;  using System.Numerics;  using dVector = System.Collections.Generic.List<double>;  using iVector = System.Collections.Generic.List<int>;  namespace ConsoleApp1  {  internal class Data  {  public static (Forward, dVector) FirstTestFromTrainingManual()  {  // Источники  (dVector, dVector)[] sourcesCoor = new (dVector, dVector)[1];  dVector A = new dVector { 0, 0, 0 };  dVector B = new dVector { 100, 0, 0 };  sourcesCoor[0] = (A, B);  // Приёмники  (dVector, dVector)[] receiversCoor = new (dVector, dVector)[3];  dVector M1 = new dVector{ 200, 0, 0 };  dVector N1 = new dVector { 300, 0, 0 };  dVector M2 = new dVector { 500, 0, 0 };  dVector N2 = new dVector { 600, 0, 0 };  dVector M3 = new dVector { 1000, 0, 0 };  dVector N3 = new dVector { 1100, 0, 0 };  receiversCoor[0] = (N1, M1);  receiversCoor[1] = (N2, M2);  receiversCoor[2] = (N3, M3);  dVector I = new dVector { 1 }; // Сила тока  double sigma = 0.1;  Forward syntheticDataGenerator = new(sourcesCoor, receiversCoor, I, sigma, 3);  return (syntheticDataGenerator, syntheticDataGenerator.SolveForwardProblem());  }  }  } |

|  |
| --- |
| **Algebra.cs** |
| using System;  using System.Collections.Generic;  using System.Linq;  using System.Text;  using System.Threading.Tasks;  using System.Numerics;  using System.Windows;  using dVector = System.Collections.Generic.List<double>;  using iVector = System.Collections.Generic.List<int>;  namespace ConsoleApp1  {  public static class Algebra  {  public static dVector Add(dVector x, dVector y)  {  if (x.Count != y.Count)  {  throw new Exception("При сложении векторов было обнаружено, что векторы разной размерности");  }  dVector result = new dVector(new double[x.Count]);  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  result[i] = x[i] + y[i];  }  return result;  }  public static iVector Add(iVector x, iVector y)  {  if (x.Count != y.Count)  {  throw new Exception("При сложении векторов было обнаружено, что векторы разной размерности");  }  iVector result = new iVector(new int[x.Count]);  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  result[i] = x[i] + y[i];  }  return result;  }  public static double Norm(iVector x)  {  double sum = 0;  foreach (var el in x)  {  sum += el \* el;  }  return Math.Sqrt(sum);  }  public static double Norm(dVector x)  {  double sum = 0;  foreach (var el in x)  {  sum += el \* el;  }  return Math.Sqrt(sum);  }  public static void AddToLeft(dVector x, dVector y)  {  if (x.Count != y.Count)  {  throw new Exception("При сложении векторов было обнаружено, что векторы разной размерности");  }  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  x[i] += y[i];  }  }  public static void AddToLeft(iVector x, iVector y)  {  if (x.Count != y.Count)  {  throw new Exception("При сложении векторов было обнаружено, что векторы разной размерности");  }  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  x[i] += y[i];  }  }  public static void AddToRight(dVector x, dVector y)  {  if (x.Count != y.Count)  {  throw new Exception("При сложении векторов было обнаружено, что векторы разной размерности");  }  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  y[i] += x[i];  }  }  public static void AddToRight(iVector x, iVector y)  {  if (x.Count != y.Count)  {  throw new Exception("При сложении векторов было обнаружено, что векторы разной размерности");  }  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  y[i] += x[i];  }  }  public static void Scale(dVector x, double k)  {  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  x[i] \*= k;  }  }  public static void Scale(iVector x, int k)  {  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  x[i] \*= k;  }  }  public static dVector CreateAndScale(dVector x, double k)  {  dVector result = new dVector(x.Count);  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  result[i] = x[i] \* k;  }  return result;  }  public static iVector CreateAndScale(iVector x, int k)  {  iVector result = new iVector(new int[x.Count]);  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  result[i] = x[i] \* k;  }  return result;  }  public static void SubtrFromLeft(dVector x, dVector y)  {  if (x.Count != y.Count)  {  throw new Exception("При вычитании векторов было обнаружено, что векторы разной размерности");  }  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  x[i] -= y[i];  }  }  public static void SubtrFromLeft(iVector x, iVector y)  {  if (x.Count != y.Count)  {  throw new Exception("При вычитании векторов было обнаружено, что векторы разной размерности");  }  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  x[i] -= y[i];  }  }  public static void SubtrFromRight(dVector x, dVector y)  {  if (x.Count != y.Count)  {  throw new Exception("При вычитании векторов было обнаружено, что векторы разной размерности");  }  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  y[i] -= x[i];  }  }  public static void SubtrFromRight(iVector x, iVector y)  {  if (x.Count != y.Count)  {  throw new Exception("При вычитании векторов было обнаружено, что векторы разной размерности");  }  for (int i = 0; i < x.Count; i++)  {  y[i] -= x[i];  }  }  public static void Swap(dVector x, dVector y)  {  var tmp = x;  x = y;  y = tmp;  }  public static void Swap(iVector x, iVector y)  {  var tmp = x;  x = y;  y = tmp;  }  }  } |

|  |
| --- |
| **Forward.cs** |
| using System;  using System.Collections.Generic;  using System.Linq;  using System.Text;  using System.Threading.Tasks;  using System.Numerics;  using dVector = System.Collections.Generic.List<double>;  using iVector = System.Collections.Generic.List<int>;  namespace ConsoleApp1  {  public class Forward  {  public int ProblemDimension;  public (dVector, dVector)[] ReceiversСoor;  public (dVector, dVector)[] SourcesСoor;  public double Sigma;  public dVector SourcesCurrentStrength;  public Forward((dVector, dVector)[] sourcesСoor, (dVector, dVector)[] receiversСoor,  dVector sourcesCurrentStrength, double sigma, int problemDimension = 3)  {  ProblemDimension = problemDimension;  Sigma = sigma;  SourcesСoor = sourcesСoor;  ReceiversСoor = receiversСoor;  SourcesCurrentStrength = sourcesCurrentStrength;  }  public dVector SolveForwardProblem()  {  dVector receiversPotentialDifference = new dVector(new double[ReceiversСoor.Length]);  for (int i = 0; i < ProblemDimension; i++)  {  receiversPotentialDifference[i] = EP(ReceiversСoor[i]);  }  return receiversPotentialDifference;  }  public double R(dVector a, dVector b)  {  double sum = 0;  for (int i = 0; i < ProblemDimension; i++)  {  sum += Math.Pow(Math.Abs(a[i] - b[i]), 2);  }  return Math.Sqrt(sum);  }  public double OneToOneEP((dVector, dVector) sourceCoor, (dVector, dVector) receiverCoor, double currentStrength)  {  double forPotential1 = 1 / R(sourceCoor.Item1, receiverCoor.Item1) - 1 / R(sourceCoor.Item2, receiverCoor.Item1);  double forPotential2 = 1 / R(sourceCoor.Item1, receiverCoor.Item2) - 1 / R(sourceCoor.Item2, receiverCoor.Item2);  return (forPotential1 - forPotential2) \* currentStrength / (2 \* Math.PI \* Sigma);  }  public double EP((dVector, dVector) receiverCoor)  {  double sum = 0;  for (int i = 0; i < SourcesСoor.Length; i++)  {  sum += OneToOneEP(SourcesСoor[i], receiverCoor, SourcesCurrentStrength[i]);  }  return sum;  }  }  } |

|  |
| --- |
| **Inverse.cs** |
| using System;  using System.Collections.Generic;  using System.Linq;  using System.Text;  using System.Threading.Tasks;  using System.Numerics;  using dVector = System.Collections.Generic.List<double>;  using iVector = System.Collections.Generic.List<int>;  namespace ConsoleApp1  {  public class Inverse : Forward  {  //private dVector \_actualReceiversPotentialDiff;  public dVector ActualReceiversPotentialDiff;  public Inverse((dVector, dVector)[] sourcesСoor, (dVector, dVector)[] receiversСoor, dVector sourcesCurrentStrength,  dVector receiversPotentialDiff, double sigma, int problemDimension = 3) :  base(sourcesСoor, receiversСoor, sourcesCurrentStrength, sigma, problemDimension)  {  ActualReceiversPotentialDiff = receiversPotentialDiff;  }  public Inverse(Forward forwardProblem, double sigma, dVector receiversPotentialDiff) :  base(forwardProblem.SourcesСoor, forwardProblem.ReceiversСoor,  forwardProblem.SourcesCurrentStrength, sigma, forwardProblem.ProblemDimension)  {  ActualReceiversPotentialDiff = receiversPotentialDiff;  }  public double DeltaEP(int i)  {  var hypotheticalValues = EP(ReceiversСoor[i]);  var realValues = ActualReceiversPotentialDiff[i];  return hypotheticalValues - realValues;  }  public double DEP(int q, int k)  {  double forPotential1 = 1 / R(SourcesСoor[q].Item1, ReceiversСoor[k].Item1) - 1 / R(SourcesСoor[q].Item2, ReceiversСoor[k].Item1);  double forPotential2 = 1 / R(SourcesСoor[q].Item1, ReceiversСoor[k].Item2) - 1 / R(SourcesСoor[q].Item2, ReceiversСoor[k].Item2);  return -SourcesCurrentStrength[q] \* (forPotential1 - forPotential2) / (2 \* Math.PI \* Sigma \* Sigma);  }  public double W(int k)  {  return 1 / ActualReceiversPotentialDiff[k];  }  public double AQS(int q, int s)  {  double sum = 0;  for (int i = 0; i < ActualReceiversPotentialDiff.Count; i++)  {  sum += W(i) \* W(i) \* DEP(q, i) \* DEP(s, i);  }  return sum;  }  public double BQ(int q)  {  double sum = 0;  for (int i = 0; i < ActualReceiversPotentialDiff.Count; i++)  {  sum -= W(i) \* W(i) \* DeltaEP(i) \* DEP(q, i);  }  return sum;  }  public dVector Iter(SLAU SLAE)  {  for (int i = 0; i < 1; i++)  {  for (int j = 0; j < 1; j++)  {  SLAE.A[i][j] = AQS(i, j);  }  }  for (int i = 0; i < 1; i++)  {  SLAE.B[i] = BQ(i);  }  return SLAE.SolveSLAEGauss();  }  public double SolveInverseProblem(double acc, int maxIter)  {  //dVector a\_ = new dVector(1);  dVector[] A = new dVector[100];  A[1] = new dVector(new double[1]);  for (int i = 0; i < 1; i++)  {  A[i] = new dVector(new double[1]);  }  dVector B = new dVector(new double[1]);  SLAU SLAE = new(A, B, 1);  dVector errorVector = CalcErrorVector();  for (int i = 0; i < maxIter && Algebra.Norm(errorVector) > acc; i++)  {  Sigma += Iter(SLAE)[0];  errorVector = CalcErrorVector();  }  return Sigma;  }  public dVector CalcErrorVector()  {  dVector errorVector = new dVector(new double[ActualReceiversPotentialDiff.Count]);  for (int i = 0; i < ActualReceiversPotentialDiff.Count; i++)  {  errorVector[i] = EP(ReceiversСoor[i]);  }  Algebra.SubtrFromLeft(errorVector, ActualReceiversPotentialDiff);  return errorVector;  }  public double SolveInverseProblemWithLog(double acc, int maxIter)  {  dVector[] A = new dVector[100];  A[1] = new dVector(new double[1]);  for (int i = 0; i < 1; i++)  {  A[i] = new dVector(new double[1]);  }  dVector B = new dVector(new double[1]);  SLAU SLAE = new(A, B, 1);  dVector errorVector = CalcErrorVector();  Console.Write("Изначальный: ");  WriteLineSigma();  for (int i = 0; i < maxIter && Algebra.Norm(errorVector) > acc; i++)  {  Sigma += Iter(SLAE)[0];  Console.Write($"{i + 1} итерация: ");  WriteLineSigma();  errorVector = CalcErrorVector();  }  Console.WriteLine();  Console.Write("Вывод: ");  WriteLineSigma();  return Sigma;  }  public void WriteLineSigma()  {  Console.WriteLine($"{Sigma.ToString("E")} ");  }  }  } |

|  |
| --- |
| **SLAU.cs** |
| using System;  using System.Collections.Generic;  using System.Linq;  using System.Text;  using System.Threading.Tasks;  using System.Numerics;  using dVector = System.Collections.Generic.List<double>;  using iVector = System.Collections.Generic.List<int>;  namespace ConsoleApp1  {  public class SLAU    {  public dVector[] A;  public dVector B;  public int MatrixDimension;  public double NearZero = 1e-14;  public SLAU(dVector[] a, dVector b, int matrixDimension)  {  MatrixDimension = matrixDimension;  A = a;  B = b;  }  private bool IsNearZero(double x)  {  if (x < NearZero && x > -NearZero)  {  return true;  }  return false;  }  public dVector SolveSLAEGauss()  {  for (int i = 0; i < MatrixDimension; i++)  {  if (IsNearZero(A[i][i]))  {  bool foundStringForSwap = false;  for (int j = i + 1; j < MatrixDimension; j++)  {  if (IsNearZero(A[j][i]))  {  continue;  }  Algebra.Swap(A[j], A[i]);  foundStringForSwap = true;  break;  }  if (foundStringForSwap == false)  {  throw new UnsolvableMatrixException("СЛАУ не решается");  }  }  for (int j = i + 1; j < MatrixDimension; j++)  {  double coef = A[j][i] / A[i][i];  Algebra.SubtrFromLeft(A[j], Algebra.CreateAndScale(A[i], coef));  B[j] -= B[i] \* coef;  }  }  dVector result = new dVector(new double[MatrixDimension]);  for (int i = MatrixDimension - 1; i >= 0; i--)  {  double sum = 0;  for (int j = i + 1; j < MatrixDimension; j++)  {  sum += result[j] \* A[i][j];  }  result[i] = (B[i] - sum) / A[i][i];  }  return result;  }  }  } |

|  |
| --- |
| **DimensionGuarantor.cs** |
| using System;  using System.Collections.Generic;  using System.Linq;  using System.Text;  using System.Threading.Tasks;  using System.Numerics;  using dVector = System.Collections.Generic.List<double>;  using iVector = System.Collections.Generic.List<int>;  namespace ConsoleApp1  {  internal class DimensionGuarantor  {  public static bool IsDimensionsCoincideArrOfPairCoorsInside((dVector, dVector)[] coordinates, int dimension)  {  foreach (var vectorPair in coordinates)  {  if (vectorPair.Item1.Count != dimension || vectorPair.Item2.Count != dimension)  {  return false;  }  }  return true;  }  public static bool IsDimensionsCoincideArrOfPairCoorsOutside((dVector, dVector)[] coordinates, dVector vector)  {  if (coordinates.Length != vector.Count)  {  return false;  }  return true;  }  public static bool IsDimensionsCoincide(dVector vector, int dimension)  {  if (vector.Count != dimension)  {  return false;  }  return true;  }  public static bool IsDimensionsCoincide(iVector vector, int dimension)  {  if (vector.Count != dimension)  {  return false;  }  return true;  }  public static bool IsDimensionsCoincideMatrixFull(dVector[] matrix, int dimension)  {  if (matrix.Length != dimension)  {  return false;  }  foreach (var str in matrix)  {  if (str.Count != dimension)  {  return false;  }  }  return true;  }  }  } |

|  |
| --- |
| **UnsolvableMatrixException.cs** |
| using System;  using System.Collections.Generic;  using System.Linq;  using System.Text;  using System.Threading.Tasks;  using System.Numerics;  using dVector = System.Collections.Generic.List<double>;  using iVector = System.Collections.Generic.List<int>;  namespace ConsoleApp1  {  internal class DimensionGuarantor  {  public static bool IsDimensionsCoincideArrOfPairCoorsInside((dVector, dVector)[] coordinates, int dimension)  {  foreach (var vectorPair in coordinates)  {  if (vectorPair.Item1.Count != dimension || vectorPair.Item2.Count != dimension)  {  return false;  }  }  return true;  }  public static bool IsDimensionsCoincideArrOfPairCoorsOutside((dVector, dVector)[] coordinates, dVector vector)  {  if (coordinates.Length != vector.Count)  {  return false;  }  return true;  }  public static bool IsDimensionsCoincide(dVector vector, int dimension)  {  if (vector.Count != dimension)  {  return false;  }  return true;  }  public static bool IsDimensionsCoincide(iVector vector, int dimension)  {  if (vector.Count != dimension)  {  return false;  }  return true;  }  public static bool IsDimensionsCoincideMatrixFull(dVector[] matrix, int dimension)  {  if (matrix.Length != dimension)  {  return false;  }  foreach (var str in matrix)  {  if (str.Count != dimension)  {  return false;  }  }  return true;  }  }  } |

|  |
| --- |
| **Tests.cs** |
| using System;  using System.Collections.Generic;  using System.Linq;  using System.Text;  using System.Threading.Tasks;  using System.Numerics;  using dVector = System.Collections.Generic.List<double>;  using iVector = System.Collections.Generic.List<int>;  namespace ConsoleApp1  {  internal class Tests  {  /// <summary>  /// 1 источник,  /// 3 приёмник, sigma = 0.1,  /// начальная апроксимация = 0.01,  /// точность = 1e-10,  /// максимальное кол-во итераций = 1000  /// </summary>  public static void CheckFirstTestFromTrainingManual()  {  (Forward problemFromTrainingManual, dVector ReceiversPotentialDiff) =  Data.FirstTestFromTrainingManual();  double new\_sigma = 0.01;  Inverse inverseProblem = new(problemFromTrainingManual, new\_sigma, ReceiversPotentialDiff);  inverseProblem.SolveInverseProblemWithLog(1e-10, 1000);  }  public static void CheckFirstTestFromTrainingManualPlus10Percent()  {  (Forward problemFromTrainingManual, dVector ReceiversPotentialDiff) =  Data.FirstTestFromTrainingManual();  double new\_sigma = 0.01;  for (int i = 0; i < ReceiversPotentialDiff.Count; i++)  {  ReceiversPotentialDiff[i] \*= 1.1;  }  Inverse inverseProblem = new(problemFromTrainingManual, new\_sigma, ReceiversPotentialDiff);  inverseProblem.SolveInverseProblemWithLog(1e-10, 1000);  }  public static void CheckFirstTestFromTrainingManualMinus10Percent()  {  (Forward problemFromTrainingManual, dVector ReceiversPotentialDiff) =  Data.FirstTestFromTrainingManual();  double new\_sigma = 0.01;  for (int i = 0; i < ReceiversPotentialDiff.Count; i++)  {  ReceiversPotentialDiff[i] \*= 0.9;  }  Inverse inverseProblem = new(problemFromTrainingManual, new\_sigma, ReceiversPotentialDiff);  inverseProblem.SolveInverseProblemWithLog(1e-10, 1000);  }  public static void CheckFirstTestFromTrainingManualBreaker()  {  (Forward problemFromTrainingManual, dVector ReceiversPotentialDiff) =  Data.FirstTestFromTrainingManual();  double new\_sigma = 0.01;  ReceiversPotentialDiff[0] \*= 1.01;  ReceiversPotentialDiff[1] \*= 1;  ReceiversPotentialDiff[2] \*= 1;  Inverse inverseProblem = new(problemFromTrainingManual, new\_sigma, ReceiversPotentialDiff);  inverseProblem.SolveInverseProblemWithLog(1e-10, 1000);  }  }  } |