

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

# 计算智能——绪论

作者 柯良军

西安交通大学 电信学院

September 11, 2015

# 目录

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

## ① 教学内容

## ② 引言

## ③ 优化问题

## ④ 优化问题分类

## ⑤ 复杂度

## ⑥ 智能计算概述

## ⑦ 智能计算与局部搜索的关系

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

## 1. 教材及内容

张军. 计算智能. 清华大学出版社, 2009.

汪定伟. 智能优化方法. 高等教育出版社, 2007.

8个章节

## 2. 我的联系方式

<http://keljxjtu.gr.xjt.edu.cn>

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

## 1. 教材及内容

张军. 计算智能. 清华大学出版社, 2009.

汪定伟. 智能优化方法. 高等教育出版社, 2007.

8个章节

## 2. 我的联系方式

<http://keljxjtu.gr.xjt.edu.cn>

## 3. 作业

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

## 1. 教材及内容

张军. 计算智能. 清华大学出版社, 2009.

汪定伟. 智能优化方法. 高等教育出版社, 2007.

8个章节

## 2. 我的联系方式

<http://keljxjtu.gr.xjt.edu.cn>

## 3. 作业

## 4. 考试方式

75%笔试成绩 + 25% 平时成绩

## 5. 教学目的

# 引言-I

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 人离不开决策，而决策一般以“最优化”为准则
- “优化”就是指求解满足一定限制条件的最优化方案的过程
- 社会的迅猛发展又产生大量的大规模、非线性、强约束的复杂优化问题。问题的计算复杂性给优化方法带来新的挑战
- 数学规划法有哪些？够用吗？
- 蒙特卡罗(Monte Carlo)方法的启示
- 智能计算方法的出现及其作用

# 引言-I

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 人离不开决策，而决策一般以“最优化”为准则
- “优化”就是指求解满足一定限制条件的最优化方案的过程
- 社会的迅猛发展又产生大量的大规模、非线性、强约束的复杂优化问题。问题的计算复杂性给优化方法带来新的挑战
- 数学规划法有哪些？够用吗？
- 蒙特卡罗(Monte Carlo)方法的启示
- 智能计算方法的出现及其作用

# 引言—I

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 人离不开决策，而决策一般以“最优化”为准则
- “优化”就是指求解满足一定限制条件的最优化方案的过程
- 社会的迅猛发展又产生大量的大规模、非线性、强约束的复杂优化问题。问题的计算复杂性给优化方法带来新的挑战
- 数学规划法有哪些？够用吗？
- 蒙特卡罗(Monte Carlo)方法的启示
- 智能计算方法的出现及其作用

# 引言-I

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 人离不开决策，而决策一般以“最优化”为准则
- “优化”就是指求解满足一定限制条件的最优化方案的过程
- 社会的迅猛发展又产生大量的大规模、非线性、强约束的复杂优化问题。问题的计算复杂性给优化方法带来新的挑战
- 数学规划法有哪些？够用吗？
- 蒙特卡罗(Monte Carlo)方法的启示
- 智能计算方法的出现及其作用

# 引言-I

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 人离不开决策，而决策一般以“最优化”为准则
- “优化”就是指求解满足一定限制条件的最优化方案的过程
- 社会的迅猛发展又产生大量的大规模、非线性、强约束的复杂优化问题。问题的计算复杂性给优化方法带来新的挑战
- 数学规划法有哪些？够用吗？
- 蒙特卡罗(Monte Carlo)方法的启示
- 智能计算方法的出现及其作用

# 引言-I

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 人离不开决策，而决策一般以“最优化”为准则
- “优化”就是指求解满足一定限制条件的最优化方案的过程
- 社会的迅猛发展又产生大量的大规模、非线性、强约束的复杂优化问题。问题的计算复杂性给优化方法带来新的挑战
- 数学规划法有哪些？够用吗？
- 蒙特卡罗(Monte Carlo)方法的启示
- 智能计算方法的出现及其作用

# 引言-II

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

- 二十世纪七十年代以来，随着遗传算法的创立，人们通过模拟自然界中的自适应优化现象或智能行为，提出了许多新型智能计算方法
- 智能计算为解决复杂优化难题提供了新的有竞争力的方法

# 引言-II

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

- 二十世纪七十年代以来，随着遗传算法的创立，人们通过模拟自然界中的自适应优化现象或智能行为，提出了许多新型智能计算方法
- 智能计算为解决复杂优化难题提供了新的有竞争力的方法

# 优化问题的定义-I

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

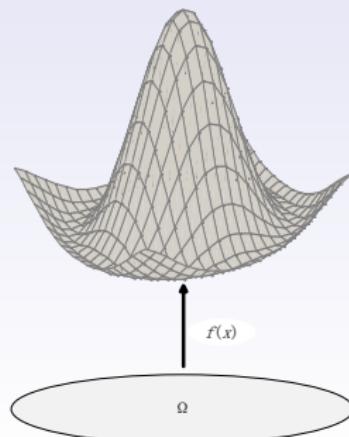
一般地，优化问题可表述如下：

$$\min f(x) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } g(x) \leq 0 \quad (2)$$

$$x \in \Omega \quad (3)$$

其中  $f$  是目标函数， $g$  是约束函数， $x$  是变量； $\Omega$  是解空间，它由一组约束来定义。



# 优化问题的定义-II

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

- 全局最优解 $x^*$ : 如果  $f(x^*) \leq f(x), \forall x \in \Omega$
- 子空间  $\Theta \in \Omega$  中局部最优解  $\bar{x}^*$ :  $f(\bar{x}^*) \leq f(x), \forall x \in \Theta$

# 优化问题的定义-II

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

- 全局最优解 $x^*$ : 如果  $f(x^*) \leq f(x), \forall x \in \Omega$
- 子空间 $\Theta \in \Omega$  中局部最优解 $\bar{x}^*$ :  $f(\bar{x}^*) \leq f(x), \forall x \in \Theta$

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

## ● 函数类型

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

## ● 函数类型

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

- 函数类型
- 函数表示

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

- 函数类型
- 函数表示

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

- 函数类型
- 函数表示
- 目标函数个数

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

- 函数类型
- 函数表示
- 目标函数个数

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

- 函数类型
- 函数表示
- 目标函数个数
- 函数系数类型

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

- 函数类型
- 函数表示
- 目标函数个数
- 函数系数类型

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

- 函数类型
- 函数表示
- 目标函数个数
- 函数系数类型
- 变量类型

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

- 函数类型
- 函数表示
- 目标函数个数
- 函数系数类型
- 变量类型

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

- 函数类型
- 函数表示
- 目标函数个数
- 函数系数类型
- 变量类型
- 变量个数

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

- 函数类型
- 函数表示
- 目标函数个数
- 函数系数类型
- 变量类型
- 变量个数

# 优化问题分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

许许多多的分类标准！

- 函数类型
- 函数表示
- 目标函数个数
- 函数系数类型
- 变量类型
- 变量个数
- ...

# 例子：连续优化

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

在这类问题中，目标函数和约束函数都是连续的，且变量也是连续的。

# 例子：连续优化

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

在这类问题中，目标函数和约束函数都是连续的，且变量也是连续的。

如果变量个数较少，可以采用数学规划中的直接搜索法求解；如果函数是可微的，则可以采用最速下降法、牛顿法等方法求解；

# 例子：连续优化

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

在这类问题中，目标函数和约束函数都是连续的，且变量也是连续的。

如果变量个数较少，可以采用数学规划中的直接搜索法求解；如果函数是可微的，则可以采用最速下降法、牛顿法等方法求解；

更进一步，如果函数是凸的，此时目标函数只有一个极值，则问题是单峰的，可以采用凸规划中的方法来求解。

# 例子：连续优化

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

在这类问题中，目标函数和约束函数都是连续的，且变量也是连续的。

如果变量个数较少，可以采用数学规划中的直接搜索法求解；如果函数是可微的，则可以采用最速下降法、牛顿法等方法求解；

更进一步，如果函数是凸的，此时目标函数只有一个极值，则问题是单峰的，可以采用凸规划中的方法来求解。

但是如果是变量数大的多峰问题，则一般难以用数学规划方法求解得到最优解。

# 例子：组合优化问题-I

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

# 例子：组合优化问题-I

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

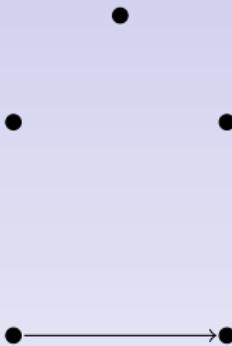
优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系



# 例子：组合优化问题-I

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

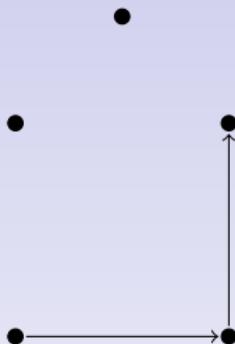
优化问题

优化问题分类

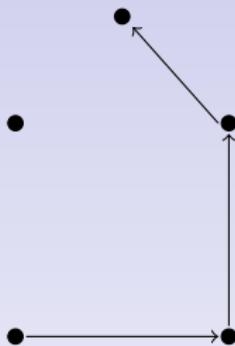
复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系



# 例子：组合优化问题-I



计算智能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

# 例子：组合优化问题-I

计算智能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

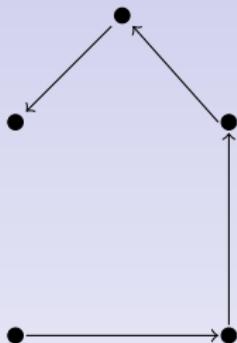
优化问题

优化问题分类

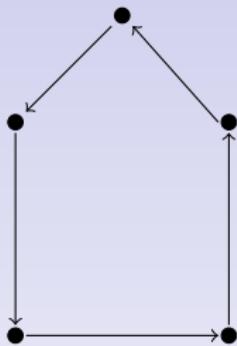
复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系



# 例子：组合优化问题-I



计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

# 例子：组合优化问题-I

计算智能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

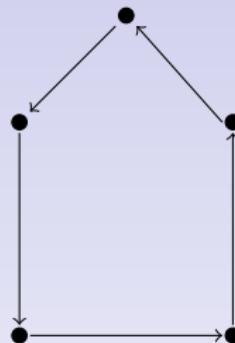
优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系



# 例子：组合优化问题-II

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

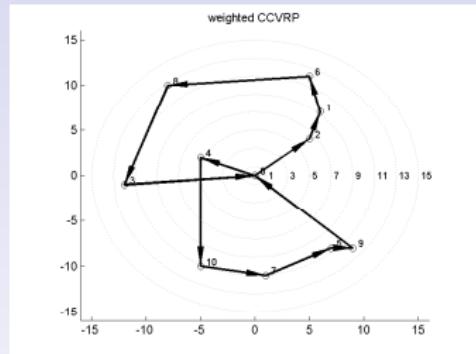
优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系



图：车辆路径问题。

# 例子：组合优化问题-III

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

多维背包问题：

$$\max \quad \sum_{j=1}^n p_j x_j \quad (4)$$

$$s. t. \quad \sum_{j=1}^n r_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (5)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, n. \quad (6)$$

其中  $p_j$  是物品  $j$  对应的利润； $x_j$  是一个二值变量，它标记物品  $j$  是否被选取，如果  $x_j$  等于 1，这意味着物品  $j$  被选取；如果  $x_j$  等于 0，就表示物品  $j$  没有被选取； $r_{ij}$  是选取物品  $j$  所花费的第  $i$  种资源； $b_i$  是第  $i$  个资源的总量。在这个问题中有  $m$  个资源约束，因此该问题又常常被称为  $m$  维背包问题。令  $I = \{1, \dots, m\}$ ,  $J = \{1, \dots, n\}$ 。对于任意  $i \in I$ , 有  $b_i \geq 0$ , 且对于任意  $i \in I$ ,  $j \in J$ , 有  $r_{ij} \geq 0$ 。一个定义明确的 (well-defined) 多维背包问题假设  $p_j > 0$ , 且  $r_{ij} \leq b_i < \sum_{j=1}^n r_{ij}$ 。

# 什么问题是“复杂”的呢？

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

- 1000个变量、1000个约束的线性规划问题。

# 什么问题是“复杂”的呢？

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 1000个变量、1000个约束的线性规划问题。Matlab在个人电脑很快地求解，那么线性规划问题复杂吗？

# 什么问题是“复杂”的呢？

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 1000个变量、1000个约束的线性规划问题。Matlab在个人电脑很快地求解，那么线性规划问题复杂吗？
- $n$ 个物品的背包问题的解空间元素数是 $2^n$ 。

# 什么问题是“复杂”的呢？

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 1000个变量、1000个约束的线性规划问题。Matlab在个人电脑很快地求解，那么线性规划问题复杂吗？
- $n$ 个物品的背包问题的解空间元素数是 $2^n$ 。如果用穷举法，即使是30个物品的背包问题都要大量的计算时间。

# 什么问题是“复杂”的呢？

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 1000个变量、1000个约束的线性规划问题。Matlab在个人电脑很快地求解，那么线性规划问题复杂吗？
- $n$ 个物品的背包问题的解空间元素数是 $2^n$ 。如果用穷举法，即使是30个物品的背包问题都要大量的计算时间。然而采用动态规划算法，即使是物品数大到1000的背包问题都能轻松解决。那么背包问题复杂吗？

# 什么问题是“复杂”的呢？

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 1000个变量、1000个约束的线性规划问题。Matlab在个人电脑很快地求解，那么线性规划问题复杂吗？
- $n$ 个物品的背包问题的解空间元素数是 $2^n$ 。如果用穷举法，即使是30个物品的背包问题都要大量的计算时间。然而采用动态规划算法，即使是物品数大到1000的背包问题都能轻松解决。那么背包问题复杂吗？
- 考虑1000个城市的旅行商问题。

# 什么问题是“复杂”的呢？

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 1000个变量、1000个约束的线性规划问题。Matlab在个人电脑很快地求解，那么线性规划问题复杂吗？
- $n$ 个物品的背包问题的解空间元素数是 $2^n$ 。如果用穷举法，即使是30个物品的背包问题都要大量的计算时间。然而采用动态规划算法，即使是物品数大到1000的背包问题都能轻松解决。那么背包问题复杂吗？
- 考虑1000个城市的旅行商问题。其解空间元素数是 $1000!$ ，这对于现有最快的计算机来说，都是一个天文数字。

# 什么问题是“复杂”的呢？

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 1000个变量、1000个约束的线性规划问题。Matlab在个人电脑很快地求解，那么线性规划问题复杂吗？
- $n$ 个物品的背包问题的解空间元素数是 $2^n$ 。如果用穷举法，即使是30个物品的背包问题都要大量的计算时间。然而采用动态规划算法，即使是物品数大到1000的背包问题都能轻松解决。那么背包问题复杂吗？
- 考虑1000个城市的旅行商问题。其解空间元素数是 $1000!$ ，这对于现有最快的计算机来说，都是一个天文数字。然而利用个人电脑，CONCORDE软件一般能在很短的时间内（如10分钟内）得到最优解。那么旅行商问题复杂吗？

# 什么问题是“复杂”的呢？

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

计算复杂性理论研究始于**Trahtenbrot**和**Rabin**的开创性成  
果，它探讨至少需要多少的资源来计算一类问题。

所谓资源通常是指时间和空间，即求解问题时所需的运算数  
和内存。

# 什么问题是“复杂”的呢？

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

计算复杂性理论研究始于**Trahtenbrot**和**Rabin**的开创性成  
果，它探讨至少需要多少的资源来计算一类问题。

所谓资源通常是指时间和空间，即求解问题时所需的运算数  
和内存。

复杂性分析包括时间和空间复杂性分析。

# 什么问题是“复杂”的呢？

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

计算复杂性理论研究始于**Trahtenbrot**和**Rabin**的开创性成果，它探讨至少需要多少的资源来计算一类问题。

所谓资源通常是指时间和空间，即求解问题时所需的运算数和内存。

复杂性分析包括时间和空间复杂性分析。

一个问题的复杂度不是指特定算法求解某个算例所需的资源，而是指求解该问题最优算法的复杂度。

# 算法的复杂度

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

在评价一个算法通常从时间复杂度和空间复杂度两个方面来考虑。分析算法时间复杂度时，并不是要得到算法运行所需要的时间，而是得到一个估计量。

另一方面，运算时间只能依靠实际实验得到，因此，运算时间依赖于计算环境，用运算时间衡量复杂度意义不大。

由于算法的运行时间与算法中语句的运算数成正比例。

如果运算数多，则运行时间就多。

算法中的语句运算数称为时间频度，记为 $T(n)$ ，其中 $n$ 是问题规模。

算法的时间复杂度是时间频度 $T(n)$ 的渐近估计量。

称一个算法的复杂度为 $O(\mathfrak{T}(n))$ ，如果存在正常数 $n_0$ 和 $c$ 使得任意 $n > n_0$ ，其复杂度都小于 $c\mathfrak{T}(n)$ 。也就是说，算法的复杂度的与 $\mathfrak{T}(n)$ 具有相同数量级，其中 $\mathfrak{T}(n)$ 为一个 $n$ 的函数。

# 算法的复杂度

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 多项式时间算法：称一个算法为多项式算法，如果其复杂度为 $O(p(n))$ ，其中 $p(n)$ 是 $n$ 的多项式。
- 指数级时间算法：称一个算法为指数级算法，如果其复杂度为 $O(c^n)$ ，其中常数 $c > 1$ 。

如果一个算法是指数级时间算法，则算法的复杂度随着问题规模呈指数级增长。

# 算法的复杂度

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 多项式时间算法：称一个算法为多项式算法，如果其复杂度为 $O(p(n))$ ，其中 $p(n)$ 是 $n$ 的多项式。
- 指数级时间算法：称一个算法为指数级算法，如果其复杂度为 $O(c^n)$ ，其中常数 $c > 1$ 。

如果一个算法是指数级时间算法，则算法的复杂度随着问题规模呈指数级增长。

例1：求解线性规划问题的内点法是多项式算法。

# 算法的复杂度

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 多项式时间算法：称一个算法为多项式算法，如果其复杂度为 $O(p(n))$ ，其中 $p(n)$ 是 $n$ 的多项式。
- 指数级时间算法：称一个算法为指数级算法，如果其复杂度为 $O(c^n)$ ，其中常数 $c > 1$ 。

如果一个算法是指数级时间算法，则算法的复杂度随着问题规模呈指数级增长。

例1：求解线性规划问题的内点法是多项式算法。

例2：求解背包问题的穷举算法是指数级时间算法。

# 算法的复杂度

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

- 多项式时间算法：称一个算法为多项式算法，如果其复杂度为 $O(p(n))$ ，其中 $p(n)$ 是 $n$ 的多项式。
- 指数级时间算法：称一个算法为指数级算法，如果其复杂度为 $O(c(n))$ ，其中常数 $c > 1$ 。

如果一个算法是指数级时间算法，则算法的复杂度随着问题规模呈指数级增长。

例1：求解线性规划问题的内点法是多项式算法。

例2：求解背包问题的穷举算法是指数级时间算法。

算法的空间复杂度是指算法在计算机内执行时所需存储空间。称算法的空间复杂度 $S(n)$ 为 $O(\mathfrak{S}(n))$ ，即算法的复杂度的与 $\mathfrak{S}(n)$ 具有相同数量级，其中 $\mathfrak{S}(n)$ 为一个 $n$ 的函数。

# 问题的复杂度-I

计算智能——绪论  
柯良军

目录  
教学内容  
引言  
优化问题  
优化问题分类  
复杂度  
智能计算概述  
智能计算与局部搜索的关系

**P-类问题：**称一个问题为P-类问题，如果存在一个多项式时间算法，或该问题能由一个确定型图灵机在多项式时间内解决。

**NP-类问题：**称一个问题为NP-类问题，如果至今没有找到多项式时间算法解的一类问题，或该问题能由一个非确定型图灵机在多项式时间内解决。

**NP-完全问题(NPC)** NP完全问题是这样一类NP问题，所有的NP问题都可以用多项式时间归约到某一个NP-完全问题。它是NP类中“最难”的问题，换言之，它们是最可能不属于P类的。

**NP-hard类问题：**称一个问题为NP-hard类问题，若NP中所有问题到该问题是图灵可归约的。对于这一类问题，一般认为不存在一个多项式时间的精确性算法来求得最优。

**例1：**线性规划问题是P类的。

**例2：**旅行商问题是NP-hard类的。

# 问题的复杂度-II

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

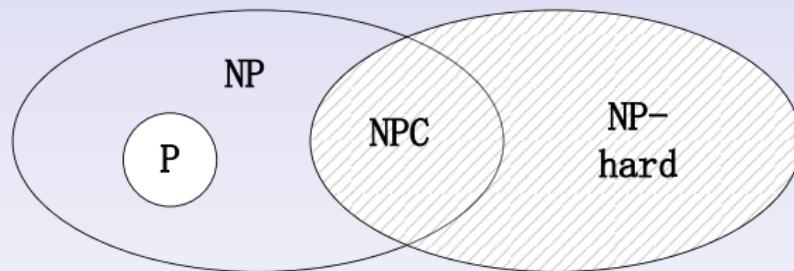
优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

迄今为止，人们还没有证实或证伪  $P \neq NP$ ? 图4给出了在  $P \neq NP$  条件下，P、NP、NPC、NP-hard 的关系。



图：P、NP、NPC和NP-hard的关系图.

# 智能计算的作用

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

面向形形色色的优化问题，人们已经提出了大量的优化算法。优化算法有精确性的和近似的。

- 精确算法：精确算法以找到问题最优解为目标。典型的精确算法包括动态规划、分支定界算法、割平面法等。
- 近似算法：近似算法不能保证得到最优解，通常以得到问题的满意解为目标。近似算法有逼近算法和启发式算法。

启发算法可分为专门的启发算法和智能计算方法。

专门的启发算法是针对某一个问题设计的启发式的算法。而智能计算方法能应用于几乎所有的优化问题。

新的复杂问题层出不穷

要求在较短的时间内得到一个复杂问题满意解

迫切需要通用型强且易于实现的算法。

# 智能计算的特点

计算智能——绪论  
柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

智能计算通过模拟或揭示某些自然现象或过程发展而来的，都是一种迭代算法。与传统优化方法相比，智能计算方法具有以下特点：

- 自适应性强。

对待求解的优化问题没有过多的要求，一般不要求满足可微性、凸性等条件，在迭代过程中，一般只用到目标函数值等信息，不必用到目标函数的导数等问题信息。这使得智能计算方法具有很强通用性。

- 优良的全局寻优能力：

它们在解空间进行全局搜索，按照一定的机制指导搜索，算法具有很好的鲁棒性，对初始条件不敏感，具有很强的容差能力。

- 易于实现：

智能计算方法原理简单，几乎没有数学推导。

# 智能计算分类

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

智能计算方法数量众多，常见的分类准则有：

- 记忆的作用
- 确定型vs 随机型
- 构造型算法
- 种群vs 单点

# 局部搜索

计算智能——绪论  
柯良军

目录  
教学内容  
引言  
优化问题  
优化问题分类  
复杂度  
智能计算概述  
智能计算与局部搜索的关系

局部搜索从一个初始解出发，在其邻域移动到一个新的解，如果满足一定条件，则用新解更新初始解，否则局部搜索终止。它有以下要素：

- 初始解 (initial solution)：即局部搜索的起始解。好的初始解有助于得到好的结果。
- 邻域结构 (neighborhood structure)：即定义解的邻域。
- 移动策略 (move mechanism)：即从一个解移动到另一个解的策略。
- 接受准则 (acceptance criterion)：即新解接受条件。通常有最优准则和首优准则。最优准则指接受的新解是当前解的邻域中最好的解；而首优准则接受的新解是当前邻域中第一个改进解
- 目标函数 (objective function)：即评价解质量的函数。一般定义为原问题的目标函数，也是不变的。但是，在有些局部搜索算法中，如引导式局部搜索 (Guided local search)，目标函数是变化的。
- 停止准则 (termination condition)：即局部搜索的停止条件。通常在得到局部最优时停止，也可以在满足一定条件时停止。

# 局部搜索的例子

计算智能  
——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局部搜索的关系

考虑6个物品的背包问题，设计如下局部搜索：

1. 初始解：随机产生
2. 邻域结构：1-1邻域定义

# 两者结合的好处

计算智  
能——绪论

柯良军

目录

教学内容

引言

优化问题

优化问题分类

复杂度

智能计算概述

智能计算与局  
部搜索的关系

局部搜索是一类重要的贪心算法。它在解的邻域进行搜索，是精搜索。

其不足之处是只能得到局部极小解。

智能计算提供了很好的跳出局部极小点的有效机制，具有很强的全局优化能力，但它是一种粗搜索方式。

在求解实际问题时，一般要结合两种方法的优势来设计算法。