



# 线性动态规划入门与背包问题

wrpwrp

# 课前提示

---

- 上课的时候专心听讲解，**不要跟着老师抄代码**，下课后独立完成。
- 不使用 AI 做题，AI 会做不等于自己会。
- 不抄袭题解（含对照题解抄一遍），抄对不等于会做。  
看完题解后，关闭题解独立练习。  
练习中途遇到问题，应当分析题目及自己的思路，而非回忆题解或再次参考题解。
- 做过的题在课后需要重新独立完成，不参考老师的课件、代码，不参考自己以前的代码。

# 前言

---

今天的主要内容：复习序列上的 dp 和背包问题。

# 动态规划的核心要素

---

## 状态定义

用一个变量/数组记录子问题的最优解

## 状态转移方程

子问题之间的关系（如何由小问题推到大问题）

## 初始条件（边界）

最简单的子问题的答案

# 线性 DP

# 线性 DP

---

## 特点:

状态的计算只依赖于前面若干个状态，像一条线一样推进

换句话说，状态总是定义成类似“ $f[i]$  表示考虑序列的前  $i$  个数的答案”。

# P10250 [GESP样题 六级] 下楼梯

## 题目描述

[复制](#) [Markdown](#) [展开](#) [进入 IDE 模式](#)

顽皮的小明发现，下楼梯时每步可以走 1 个台阶、2 个台阶或 3 个台阶。现在一共有  $N$  个台阶，你能帮小明算算有多少种方案吗？

## 输入格式

输入一行，包含一个整数  $N$ 。

## 输出格式

输出一行一个整数表示答案。

## 输入输出样例

输入 #1

[复制](#)

4

输出 #1

[复制](#)

7

输入 #2

[复制](#)

10

输出 #2

[复制](#)

274

## 说明/提示

对全部的测试点，保证  $1 \leq N \leq 60$ 。

## P10250 [GESP样题 六级] 下楼梯

---

可以发现，我们把楼梯看成序列，我们其实就是在序列上走。每次可以走一步或者两步或者三步，求不同的走法个数。

考虑线性 DP，把“到第  $i$  级的走法数”记作  $f[i]$ 。

如何转移？



## P10250 [GESP样题 六级] 下楼梯

---

我们知道，DP 是一个“状态转移”的过程，我们考虑哪些状态会转移到当前状态。

在这题中，也就是哪些位置走一步会走到当前我们的位置  $i$ ，于是我们可以考虑最后一步走了多远。

# P10250 [GESp样题 六级] 下楼梯

要到第  $i$  级，最后一步可能是：

从  $i-1$  走 1 级过来（有  $f[i-1]$  种）

从  $i-2$  走 2 级过来（有  $f[i-2]$  种）

从  $i-3$  走 3 级过来（有  $f[i-3]$  种）

状态转移方程：

$$f[i] = f[i-1] + f[i-2] + f[i-3]$$

初值：

$f[0] = 1$ ：站在地面不动算一种“空走法”，是递推的基石。

$f[1] = 1$ ：只有  $[1]$ 。

$f[2] = 2$ ： $[1+1]$ 、 $[2]$ 。

# B3637 最长上升子序列

## 题目描述

[复制](#) [Markdown](#) [展开](#) [进入 IDE 模式](#)

这是一个简单的动规板子题。

给出一个由  $n$  ( $n \leq 5000$ ) 个不超过  $10^6$  的正整数组成的序列。请输出这个序列的最长上升子序列的长度。

最长上升子序列是指，从原序列中按顺序取出一些数字排在一起，这些数字是逐渐增大的。

## 输入格式

第一行，一个整数  $n$ ，表示序列长度。

第二行有  $n$  个整数，表示这个序列。

## 输出格式

一个整数表示答案。

## 输入输出样例

输入 #1

[复制](#)

输出 #1

[复制](#)

```
6
1 2 4 1 3 4
```

```
4
```

## 说明/提示

分别取出 1、2、3、4 即可。

## B3637 最长上升子序列

设DP 数组  $f[i]$  = 以第  $i$  个数结尾的 LIS 长度

转移:

$$f[i] = 1 + \max_{j < i \text{ and } a[j] < a[i]} \{f[j]\}$$

于是直接转移可以得到平方复杂度的算法。

# P13015 [GESP202506 六级] 学习小组

班主任计划将班级里的  $n$  名同学划分为若干个学习小组，每名同学都需要分入某一个学习小组中。观察发现，如果一个学习小组中恰好包含  $k$  名同学，则该学习小组的讨论积极度为  $a_k$ 。

给定讨论积极度  $a_1, a_2, \dots, a_n$ ，请你计算将这  $n$  名同学划分为学习小组的所有可能方案中，讨论积极度之和的最大值。

## 输入格式

第一行，一个正整数  $n$ ，表示班级人数。

第二行， $n$  个非负整数  $a_1, a_2, \dots, a_n$ ，表示不同人数学习小组的讨论积极度。

## 输出格式

输出共一行，一个整数，表示所有划分方案中，学习小组讨论积极度之和的最大值。

对于 40% 的测试点，保证  $1 \leq n \leq 10$ 。

对于所有测试点，保证  $1 \leq n \leq 1000$ ， $0 \leq a_i \leq 10^4$ 。

## P13015 [GESP202506 六级] 学习小组

---

根据线性 dp 的想法，考虑设  $f[i]$  表示考虑前  $i$  个同学，讨论积极性之和最大值是多少。

$$f[i] = \max\{f[i], f[j] + a[i - j]\}$$

枚举  $j$  转移即可。

# P10721 [GESP202406 六级] 计算得分

小杨想要计算由  $m$  个小写字母组成的字符串的得分。

小杨设置了一个包含  $n$  个正整数的计分序列  $A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ ，如果字符串的一个子串由  $k (1 \leq k \leq n)$  个 **abc** 首尾相接组成，那么能够得到分数  $a_k$ ，并且字符串包含的字符不能够重复计算得分，整个字符串的得分是计分子串的总和。

例如，假设，字符串 **dabcabcabcabzabc** 的所有可能计分方式如下：

- **d+abc+abcabc+abz+abc** 或者 **d+abcabc+abc+abz+abc**，其中 **d** 和 **abz** 不计算得分，总得分为  $a_1 + a_2 + a_1$ 。
- **d+abc+abc+abc+abz+abc**，总得分为  $a_1 + a_1 + a_1 + a_1$ 。
- **d+abcabcabc+abz+abc**，总得分为  $a_3 + a_1$ 。

小杨想知道对于给定的字符串，最大总得分是多少。

对于全部数据，保证有  $1 \leq n \leq 20$ ， $1 \leq m \leq 10^5$ ， $1 \leq a_i \leq 1000$ 。

## P10721 [GESP202406 六级] 计算得分

---

可以发现，这同样是一个在序列上的问题，我们同样可以根据线性 dp 的想法，设  $f[i]$  表示考虑了前  $i$  个位置可以获得的最大得分。

根据题意，分数和连续 abc 的个数有关，我们考虑枚举从  $i$  开始往前切分的这一段有多少个 abc。



## P10721 [GESP202406 六级] 计算得分

---

假如最后一段有  $j$  个 abc, 那么可以得到转移:

$$f[i] = \max \{f[i], f[i - 3j] + a[j]\}$$

由于  $j \leq n$ , 总复杂度是  $O(mn)$  的。

# 背包问题

# 背包问题

---

背包问题是一类常见的 DP 问题， 其具备若干变式， 比如 01 背包， 完全背包等。我们将在接下来的例题中具体介绍。

# P1048 [NOIP 2005 普及组] 采药

辰辰是个天资聪颖的孩子，他的梦想是成为世界上最伟大的医师。为此，他想拜附近最有威望的医师为师。医师为了判断他的资质，给他出了一个难题。医师把他带到一个到处都是草药的山洞里对他说：“孩子，这个山洞里有一些不同的草药，采每一株都需要一些时间，每一株也有它自身的价值。我会给你一段时间，在这段时间里，你可以采到一些草药。如果你是一个聪明的孩子，你应该可以让采到的草药的总价值最大。”

如果你是辰辰，你能完成这个任务吗？

## 输入格式

第一行有 2 个整数  $T$  ( $1 \leq T \leq 1000$ ) 和  $M$  ( $1 \leq M \leq 100$ )，用一个空格隔开， $T$  代表总共能够用来采药的时间， $M$  代表山洞里的草药的数目。

接下来的  $M$  行每行包括两个在 1 到 100 之间（包括 1 和 100）的整数，分别表示采摘某株草药的时间和这株草药的价值。

## 输出格式

输出在规定的时间内可以采到的草药的最大总价值。

## P1048 [NOIP 2005 普及组] 采药

---

这是一个最典型的背包问题，被称为 01 背包。

稍加转化描述题意：你有一个时间背包，容量是  $T$ 。面前三类选择：取某株草药/不取某株草药。最终希望把时间装满（或不超过）且价值尽量大。

## P1048 [NOIP 2005 普及组] 采药

设  $dp[i][t]$ : 只考虑前  $i$  株草药、总时间为  $t$  能得到的最大价值。

转移:

不取第  $i$  株:  $dp[i][t] = dp[i-1][t]$

取第  $i$  株 (前提  $t \geq w[i]$ ):

$$dp[i][t] = \max(dp[i][t], dp[i-1][t - w[i]] + v[i])$$

答案:  $dp[M][T]$ 。

时间/空间:  $O(M * T) / O(M * T)$ 。

## P1048 [NOIP 2005 普及组] 采药

重新回顾一下我们的问题，我们的问题可以简单描述为：

“有若干物品，每个物品要么选要么不选，每个物品有选择的代价和价值，我们希望在总代价不超过某个值的条件下最大化选择的价值”。

而我们的做法就是设计 dp 状态  $dp[\text{处理了前多少个}][\text{总代价}]$ ，然后枚举最后一个处理到的物品选还是不选来转移。

这就是 01 背包的普遍套路。

为什么叫 01 背包呢？这是因为选/不选对应 1/0。

## P1048 [NOIP 2005 普及组] 采药

---

写 dp 的时候，有一个叫滚动数组的技巧。因为 dp 数组空间占用其实很大，所以实际应用的时候，一般会把第一个维度滚动掉来优化空间。

对于 01 背包，我们的处理方法就是直接删去第一维，然后转移的时候注意把第二个维度倒序循环。



# P1049 [NOIP 2001 普及组] 装箱问题

有一个箱子容量为  $V$ ，同时有  $n$  个物品，每个物品有一个体积。

现在从  $n$  个物品中，任取若干个装入箱内（也可以不取），使箱子的剩余空间最小。输出这个最小值。

## 输入格式

第一行共一个整数  $V$ ，表示箱子容量。

第二行共一个整数  $n$ ，表示物品总数。

接下来  $n$  行，每行有一个正整数，表示第  $i$  个物品的体积。

## 输出格式

- 共一行一个整数，表示箱子最小剩余空间。

## 输入输出样例

输入 #1

复制

输出 #1

复制

```
24
6
8
3
12
7
9
7
```

```
0
```

## 说明/提示

对于 100% 数据，满足  $0 < n \leq 30$ ， $1 \leq V \leq 20000$ 。

## P1049 [NOIP 2001 普及组] 装箱问题

---

总体问题和上一题差不多，问题在于要求的最大价值变成最小化剩余空间。

更改 dp 值的定义，让  $dp[i][j]$  表示考虑前  $i$  个物品，能否选出若干个占用箱子空间为  $j$  即可。

## P8742 [蓝桥杯 2021 省 AB] 砝码称重

你有一架天平和  $N$  个砝码, 这  $N$  个砝码重量依次是  $W_1, W_2, \dots, W_N$ 。请你计算一共可以称出多少种不同的重量?

注意砝码可以放在天平两边。

### 输入格式

输入的第一行包含一个整数  $N$ 。

第二行包含  $N$  个整数:  $W_1, W_2, W_3, \dots, W_N$ 。

### 输出格式

输出一个整数代表答案。

对于 50% 的评测用例,  $1 \leq N \leq 15$ 。

对于所有评测用例,  $1 \leq N \leq 100$ ,  $N$  个砝码总重不超过  $10^5$ 。

## P8742 [蓝桥杯 2021 省 AB] 砝码称重

---

其实还是 01 背包问题，只是砝码可以选择其重量是正数还是负数。

在转移的时候两者都考虑一下即可。

## P1616 疯狂的采药

有  $m$  种草药，一共可以用来采药的时间是  $t$ 。采摘一份第  $i$  种草药需要花费时间  $a_i$ ，同时可以获得价值  $b_i$ 。每种草药都有无数份。

请问你最多可以采价值为多少的草药？

$$1 \leq m \leq 10^4, 1 \leq t \leq 10^7, m \times t \leq 10^7, 1 \leq a_i, b_i \leq 10^4$$

## P1616 疯狂的采药

---

考虑认为时间就是背包容量，可以发现这和 01 背包问题很相似，唯一的区别是，这里每个物品有**无数个**。而在 01 背包中，每个物品只有一个。

# 完全背包

我们还是设  $f[i][j]$  表示只能选前  $i$  个物品的时候可以得到的最大值。

一个简单的想法如下：

$$f_{i,j} = \max_{k=0}^{+\infty} (f_{i-1,j-k \times w_i} + v_i \times k)$$

但是这样复杂度很高。

# 完全背包

但是其实有简单的方法：

$$f_{i,j} = \max(f_{i-1,j}, f_{i,j-w_i} + v_i)$$

理由是当我们这样转移时， $f_{i,j-w_i}$  已经由  $f_{i,j-2 \times w_i}$  更新过，那么  $f_{i,j-w_i}$  就是充分考虑了第  $i$  件物品所选次数后得到的最优结果。换言之，我们通过局部最优子结构的性质重复使用了之前的枚举过程，优化了枚举的复杂度。

这样的话复杂度和 01 背包一致了。



# 完全背包

---

完全背包也可以滚动数组优化。和 01 背包唯一的不同在于我们在转移的时候是顺序循环的。

# P11246 [GESP202409 六级] 小杨和整数拆分

小杨有一个正整数  $n$ ，小杨想将它拆分成若干完全平方数的和，同时小杨希望拆分数量越少越好。

编程计算总和为  $n$  的完全平方数的最小数量。

## 输入格式

输入只有一行一个正整数  $n$ 。

## 输出格式

输出一行一个整数表示答案。

## 输入输出样例

输入 #1

复制

18

输出 #1

复制

2

## 说明/提示

## 数据规模与约定

对全部的测试数据，保证  $1 \leq n \leq 10^5$ 。

## P11246 [GESP202409 六级] 小杨和整数拆分

---

背包容量为  $n$ ，第  $i$  个物品重量  $i^2$ ，每个物品有无数个，标准的完全背包问题。

需要枚举  $\sqrt{n}$  个数，每个数 dp 的复杂度是  $n$ ，总复杂度  $O(n\sqrt{n})$

# 总结

# 总结

---

我们今天主要复习了简单的线性 dp、01 背包和完全背包。

这三者是动态规划中最基础的部分，关键点在于抓到问题的关键特点、关键条件，然后向标准模型进行转化，从而得出解法。

这里的背包问题尤为重要，希望大家可以牢记背包问题的解法与特点。

Thanks!