

## 40讲初识动态规划：如何巧妙解决“双十一”购物时的凑单问题



淘宝的“双十一”购物节有各种促销活动，比如“满200元减50元”。假设你女朋友的购物车中有 $n$ 个（ $n > 100$ ）想买的商品，她希望从里面选几个，在凑够满减条件的前提下，让选出来的商品价格总和最大程度地接近满减条件（200元），这样就可以极大地“薅羊毛”。作为程序员的你，能不能编个代码来帮她搞定呢？

要想高效地解决这个问题，就要用到我们今天讲的动态规划（Dynamic Programming）。

### 动态规划学习路线

动态规划比较适合用来求解最优问题，比如求最大值、最小值等等。它可以非常显著地降低时间复杂度，提高代码的执行效率。不过，它也是出了名的难学。它的主要学习难点跟递归类似，那就是，求解问题的过程不太符合人类常规的思维方式。对于新手来说，要想入门确实不容易。不过，等你掌握了之后，你会发现，实际上并没有想象中那么难。

为了让你更容易理解动态规划，我分了三节给你讲解。这三节分别是，初识动态规划、动态规划理论、动态规划实战。

第一节，我会通过两个非常经典的动态规划问题模型，向你展示我们为什么需要动态规划，以及动态规划解题方法是如何演化出来的。实际上，你只要掌握了这两个例子的解决思路，对于其他很多动态规划问题，你都可以套用类似的思路来解决。

第二节，我会总结动态规划适合解决的问题的特征，以及动态规划解题思路。除此之外，我还会将贪心、分治、回溯、动态规划这四种算法思想放在一起，对比分析它们各自的特点以及适用的场景。

第三节，我会教你应用第二节讲的动态规划理论知识，实战解决三个非常经典的动态规划问题，加深你对理论的理解。弄懂了这三节中的例子，对于动态规划这个知识点，你就算是入门了。

### 0-1背包问题

我在讲贪心算法、回溯算法的时候，多次讲到背包问题。今天，我们依旧拿这个问题来举例。

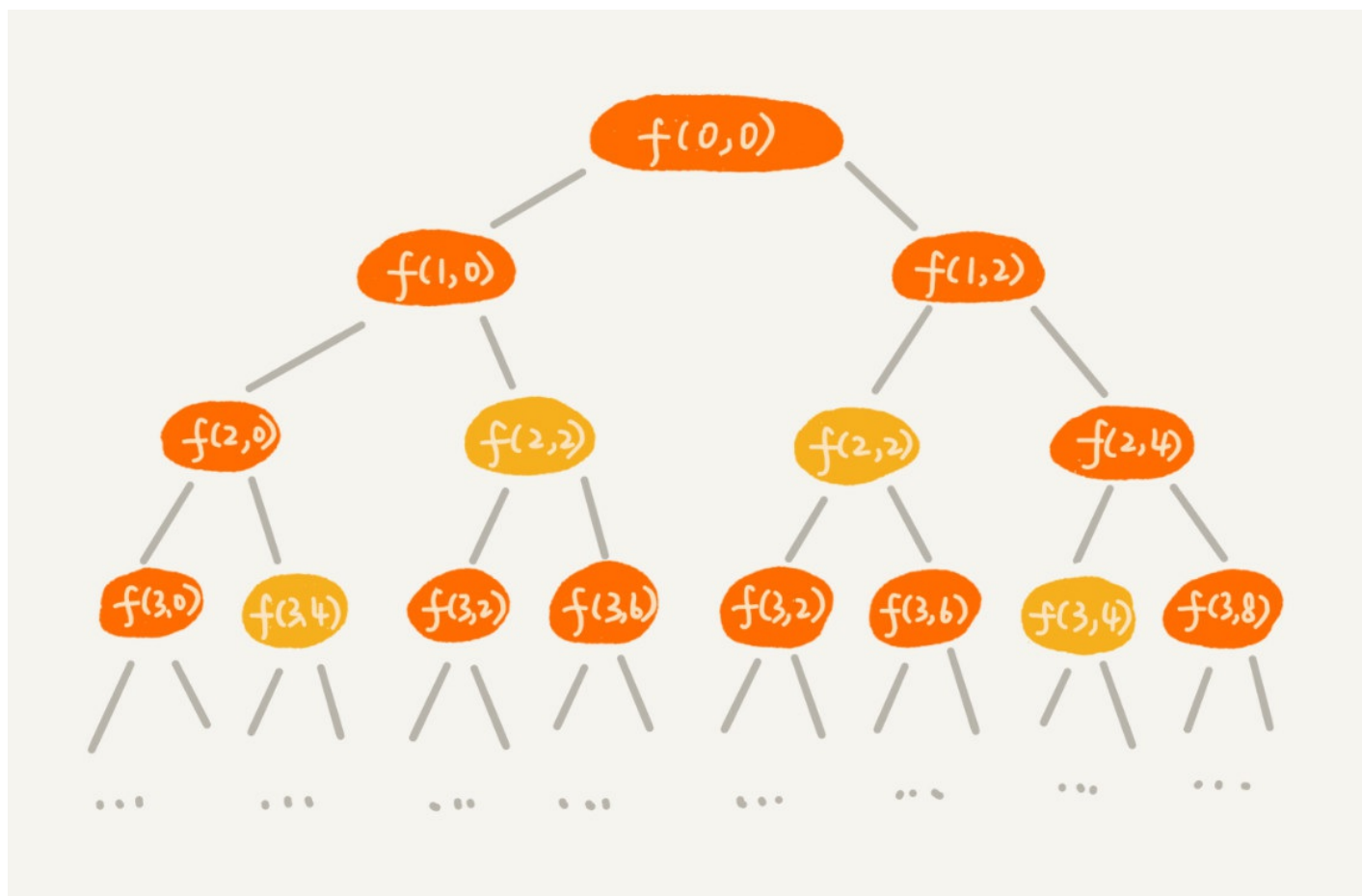
对于一组不同重量、不可分割的物品，我们需要选择一些装入背包，在满足背包最大重量限制的前提下，背包中物品总重量的

最大值是多少呢？

关于这个问题，我们上一节讲了回溯的解决方法，也就是穷举搜索所有可能的装法，然后找出满足条件的最大值。不过，回溯算法的复杂度比较高，是指数级别的。那有没有什么规律，可以有效降低时间复杂度呢？我们一起来看看。

```
// 回溯算法实现。注意：我把输入的变量都定义成了成员变量。
private int maxW = Integer.MIN_VALUE; // 结果放到maxW中
private int[] weight = {2, 2, 4, 6, 3}; // 物品重量
private int n = 5; // 物品个数
private int w = 9; // 背包承受的最大重量
public void f(int i, int cw) { // 调用f(0, 0)
    if (cw == w || i == n) { // cw==w表示装满了，i==n表示物品都考察完了
        if (cw > maxW) maxW = cw;
        return;
    }
    f(i+1, cw); // 选择不装第i个物品
    if (cw + weight[i] <= w) {
        f(i+1, cw + weight[i]); // 选择装第i个物品
    }
}
```

规律是不是不好找？那我们就举个例子、画个图看看。我们假设背包的最大承载重量是9。我们有5个不同的物品，每个物品的重量分别是2, 2, 4, 6, 3。如果我们把这个例子的回溯求解过程，用递归树画出来，就是下面这个样子：



递归树中的每个节点表示一种状态，我们用  $(i, cw)$  来表示。其中， $i$  表示将要决策第几个物品是否装入背包， $cw$  表示当前背包中物品的总重量。比如， $(2, 2)$  表示我们将要决策第2个物品是否装入背包，在决策前，背包中物品的总重量是2。

从递归树中，你应该能会发现，有些子问题的求解是重复的，比如图中  $f(2, 2)$  和  $f(3, 4)$  都被重复计算了两次。我们可以借助[递归](#)那一节讲的“备忘录”的解决方式，记录已经计算好的  $f(i, cw)$ ，当再次计算到重复的  $f(i, cw)$  的时候，可以直接从备忘录中取出来用，就不用再递归计算了，这样就可以避免冗余计算。

```

private int maxW = Integer.MIN_VALUE; // 结果放到maxW中
private int[] weight = {2, 2, 4, 6, 3}; // 物品重量
private int n = 5; // 物品个数
private int w = 9; // 背包承受的最大重量
private boolean[][] mem = new boolean[5][10]; // 备忘录，默认值false
public void f(int i, int cw) { // 调用f(0, 0)
    if (cw == w || i == n) { // cw==w表示装满了，i==n表示物品都考察完了
        if (cw > maxW) maxW = cw;
        return;
    }
    if (mem[i][cw]) return; // 重复状态
    mem[i][cw] = true; // 记录(i, cw)这个状态
    f(i+1, cw); // 选择不装第i个物品
    if (cw + weight[i] <= w) {
        f(i+1, cw + weight[i]); // 选择装第i个物品
    }
}
}

```

这种解决方法非常好。实际上，它已经跟动态规划的执行效率基本上没有差别。但是，多一种方法就多一种解决思路，我们现在来看看动态规划是怎么做的。

我们把整个求解过程分为 $n$ 个阶段，每个阶段会决策一个物品是否放到背包中。每个物品决策（放入或者不放入背包）完之后，背包中的物品的重量会有多种情况，也就是说，会达到多种不同的状态，对应到递归树中，就是有很多不同的节点。

我们把每一层重复的状态（节点）合并，只记录不同的状态，然后基于上一层的状态集合，来推导下一层的状态集合。我们可以通过合并每一层重复的状态，这样就保证每一层不同状态的个数都不会超过 $w$ 个（ $w$ 表示背包的承载重量），也就是例子中的9。于是，我们就成功避免了每层状态个数的指数级增长。

我们用一个二维数组 $states[n][w+1]$ ，来记录每层可以达到的不同状态。

第0个（下标从0开始编号）物品的重量是2，要么装入背包，要么不装入背包，决策完之后，会对应背包的两种状态，背包中物品的总重量是0或者2。我们用 $states[0][0]=true$ 和 $states[0][2]=true$ 来表示这两种状态。

第1个物品的重量也是2，基于之前的背包状态，在这个物品决策完之后，不同的状态有3个，背包中物品总重量分别是0(0+0)，2(0+2 or 2+0)，4(2+2)。我们用 $states[1][0]=true$ ， $states[1][2]=true$ ， $states[1][4]=true$ 来表示这三种状态。

以此类推，直到考察完所有的物品后，整个 $states$ 状态数组就都计算好了。我把整个计算的过程画了出来，你可以看看。图中0表示false，1表示true。我们只需要在最后一层，找一个值为true的最接近 $w$ （这里是9）的值，就是背包中物品总重量的最大值。

初始状态

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
W=2 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W=2 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W=4 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W=6 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W=3 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

第0个物品决策完之后

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

第1个物品决策完之后

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

第2个物品决策完之后

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

第3个物品决策完之后

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

第4个物品决策完之后

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
4	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1

最大物品重量和

文字描述可能还不够清楚。我把上面的过程，翻译成代码，你可以结合着一块看下。

```

weight:物品重量, n:物品个数, w:背包可承载重量
public int knapsack(int[] weight, int n, int w) {
    boolean[][] states = new boolean[n][w+1]; // 默认值false
    states[0][0] = true; // 第一行的数据要特殊处理, 可以利用哨兵优化
    states[0][weight[0]] = true;
    for (int i = 1; i < n; ++i) { // 动态规划状态转移
        for (int j = 0; j <= w; ++j) { // 不把第i个物品放入背包
            if (states[i-1][j] == true) states[i][j] = states[i-1][j];
        }
        for (int j = 0; j <= w-weight[i]; ++j) { // 把第i个物品放入背包
            if (states[i-1][j] == true) states[i][j+weight[i]] = true;
        }
    }
    for (int i = w; i >= 0; --i) { // 输出结果
        if (states[n-1][i] == true) return i;
    }
    return 0;
}

```

实际上, 这就是一种用动态规划解决问题的思路。我们把问题分解为多个阶段, 每个阶段对应一个决策。我们记录每一个阶段可达的状态集合(去掉重复的), 然后通过当前阶段的状态集合, 来推导下一个阶段的状态集合, 动态地往前推进。这也是动态规划这个名字的由来, 你可以自己体会一下, 是不是还挺形象的?

前面我们讲到, 用回溯算法解决这个问题时间复杂度 $O(2^n)$ , 是指数级的。那动态规划解决方案的时间复杂度是多少呢? 我来分析一下。

这个代码的时间复杂度非常好分析, 耗时最多的部分就是代码中的两层for循环, 所以时间复杂度是 $O(n*w)$ 。 $n$ 表示物品个数,  $w$ 表示背包可以承载的总重量。

从理论上讲, 指数级的时间复杂度肯定要比 $O(n*w)$ 高很多, 但是为了让你有更加深刻的感受, 我来举一个例子给你比较一下。

我们假设有10000个物品, 重量分布在1到15000之间, 背包可以承载的总重量是30000。如果我们用回溯算法解决, 用具体的数值表示出时间复杂度, 就是 $2^{10000}$ , 这是一个相当大的一个数字。如果我们用动态规划解决, 用具体的数值表示出时间复杂度, 就是 $10000*30000$ 。虽然看起来也很大, 但是和 $2^{10000}$ 比起来, 要小太多了。

尽管动态规划的执行效率比较高, 但是就刚刚的代码实现来说, 我们需要额外申请一个 $n$ 乘以 $w+1$ 的二维数组, 对空间的消耗比较多。所以, 有时候, 我们会说, 动态规划是一种空间换时间的解决思路。你可能要问了, 有什么办法可以降低空间消耗吗?

实际上, 我们只需要一个大小为 $w+1$ 的一维数组就可以解决这个问题。动态规划状态转移的过程, 都可以基于这个一维数组来操作。具体的代码实现我贴在这里, 你可以仔细看下。

```

public static int knapsack2(int[] items, int n, int w) {
    boolean[] states = new boolean[w+1]; // 默认值false
    states[0] = true; // 第一行的数据要特殊处理, 可以利用哨兵优化
    states[items[0]] = true;
    for (int i = 1; i < n; ++i) { // 动态规划
        for (int j = w-items[i]; j >= 0; --j) { //把第i个物品放入背包
            if (states[j]==true) states[j+items[i]] = true;
        }
    }
    for (int i = w; i >= 0; --i) { // 输出结果
        if (states[i] == true) return i;
    }
    return 0;
}

```

这里我特别强调一下代码中的第6行, j需要从大到小来处理。如果我们按照j从小到大处理的话, 会出现for循环重复计算的问题。你可以自己想一想, 这里我就不详细说了。

## 0-1背包问题升级版

我们继续升级难度。我改造了一下刚刚的背包问题。你看这个问题又该如何用动态规划解决?

我们刚刚讲的背包问题, 只涉及背包重量和物品重量。我们现在引入物品价值这一变量。对于一组不同重量、不同价值、不可分割的物品, 我们选择将某些物品装入背包, 在满足背包最大重量限制的前提下, 背包中可装入物品的总价值最大是多少呢?

这个问题依旧可以用回溯算法来解决。这个问题并不复杂, 所以具体的实现思路, 我就不需要文字描述了, 直接给你看代码。

```

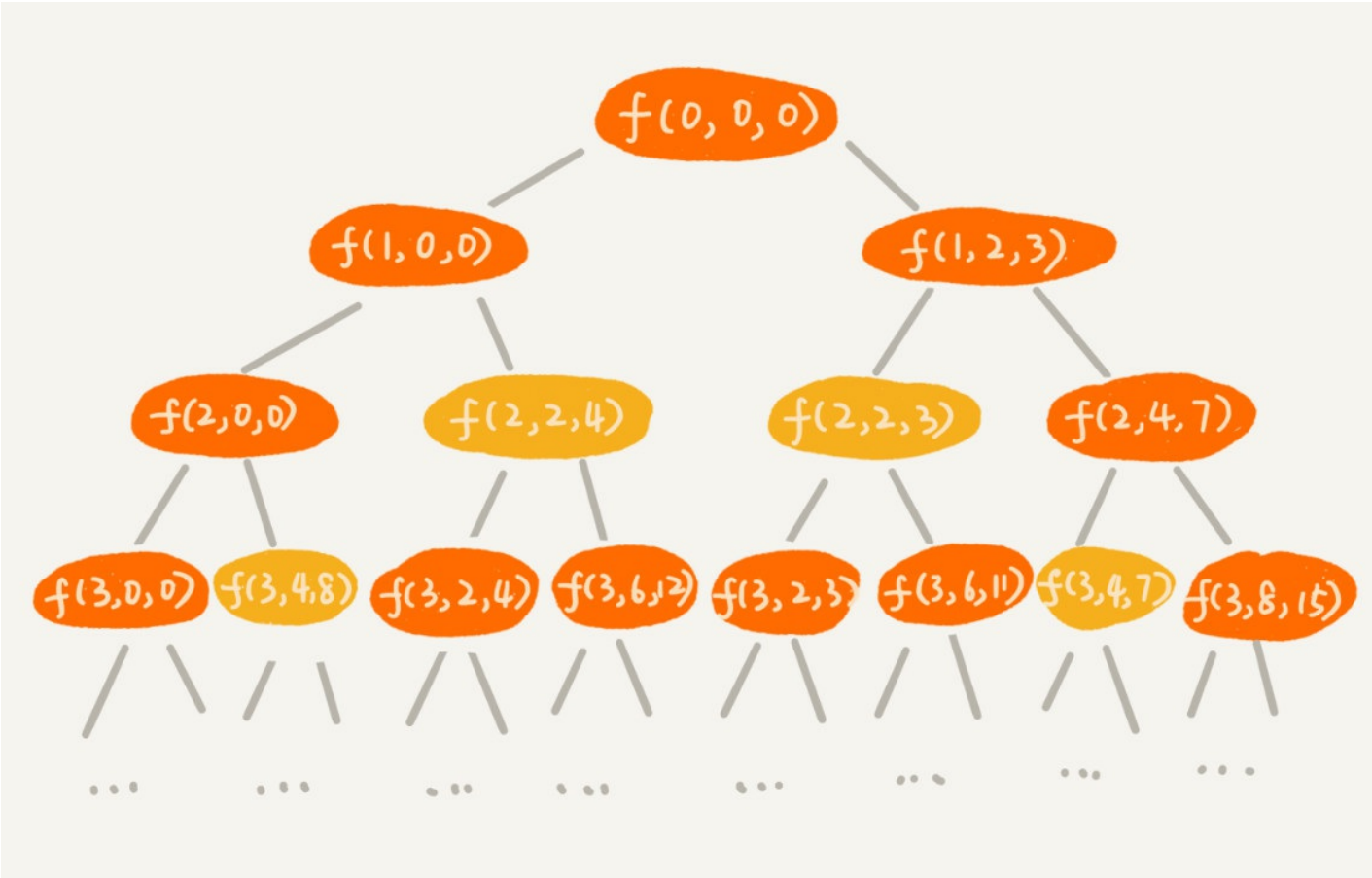
private int maxV = Integer.MIN_VALUE; // 结果放到maxV中
private int[] items = {2, 2, 4, 6, 3}; // 物品的重量
private int[] value = {3, 4, 8, 9, 6}; // 物品的价值
private int n = 5; // 物品个数
private int w = 9; // 背包承受的最大重量
public void f(int i, int cw, int cv) { // 调用f(0, 0, 0)
    if (cw == w || i == n) { // cw==w表示装满了, i==n表示物品都考察完了
        if (cv > maxV) maxV = cv;
        return;
    }
    f(i+1, cw, cv); // 选择不装第i个物品
    if (cw + weight[i] <= w) {
        f(i+1, cw+weight[i], cv+value[i]); // 选择装第i个物品
    }
}

```

针对上面的代码, 我们还是照例画出递归树。在递归树中, 每个节点表示一个状态。现在我们需要3个变量 (i, cw, cv) 来表示



一个状态。其中， $i$ 表示即将要决策第 $i$ 个物品是否装入背包， $cw$ 表示当前背包中物品的总重量， $cv$ 表示当前背包中物品的总价值。



我们发现，在递归树中，有几个节点的 $i$ 和 $cw$ 是完全相同的，比如 $f(2,2,4)$ 和 $f(2,2,3)$ 。在背包中物品总重量一样的情况下， $f(2,2,4)$ 这种状态对应的物品总价值更大，我们可以舍弃 $f(2,2,3)$ 这种状态，只需要沿着 $f(2,2,4)$ 这条决策路线继续往下决策就可以。

也就是说，对于 $(i, cw)$ 相同的不同状态，那我们只需要保留 $cv$ 值最大的那个，继续递归处理，其他状态不予考虑。

思路说完了，但是代码如何实现呢？如果用回溯算法，这个问题就没法再用“备忘录”解决了。所以，我们就需要换一种思路，看看动态规划是不是更容易解决这个问题？

我们还是把整个求解过程分为 $n$ 个阶段，每个阶段会决策一个物品是否放到背包中。每个阶段决策完之后，背包中的物品的总重量以及总价值，会有多种情况，也就是会达到多种不同的状态。

我们用一个二维数组 $states[n][w+1]$ ，来记录每层可以达到的不同状态。不过这里数组存储的值不再是boolean类型的了，而是当前状态对应的最大总价值。我们把每一层中 $(i, cw)$ 重复的状态（节点）合并，只记录 $cv$ 值最大的那个状态，然后基于这些状态来推导下一层的状态。

我们把这个动态规划的过程翻译成代码，就是下面这个样子：



```

public static int knapsack3(int[] weight, int[] value, int n, int w) {
    int[][] states = new int[n][w+1];
    for (int i = 0; i < n; ++i) { // 初始化states
        for (int j = 0; j < w+1; ++j) {
            states[i][j] = -1;
        }
    }
    states[0][0] = 0;
    states[0][weight[0]] = value[0];
    for (int i = 1; i < n; ++i) { //动态规划, 状态转移
        for (int j = 0; j <= w; ++j) { // 不选择第i个物品
            if (states[i-1][j] >= 0) states[i][j] = states[i-1][j];
        }
        for (int j = 0; j <= w-weight[i]; ++j) { // 选择第i个物品
            if (states[i-1][j] >= 0) {
                int v = states[i-1][j] + value[i];
                if (v > states[i][j+weight[i]]) {
                    states[i][j+weight[i]] = v;
                }
            }
        }
    }
    // 找出最大值
    int maxvalue = -1;
    for (int j = 0; j <= w; ++j) {
        if (states[n-1][j] > maxvalue) maxvalue = states[n-1][j];
    }
    return maxvalue;
}

```

关于这个问题的时间、空间复杂度的分析，跟上一个例子大同小异，所以我不赘述了。我直接给出答案，时间复杂度是  $O(n*w)$ ，空间复杂度也是  $O(n*w)$ 。跟上一个例子类似，空间复杂度也是可以优化的，你可以自己写一下。

## 解答开篇

掌握了今天讲的两个问题之后，你是不是觉得，开篇的问题很简单？

对于这个问题，你当然可以利用回溯算法，穷举所有的排列组合，看大于等于200并且最接近200的组合是哪一个？但是，这样效率太低了点，时间复杂度非常高，是指数级的。当n很大的时候，可能“双十一”已经结束了，你的代码还没有运行出结果，这显然会让你在女朋友心中的形象大大减分。

实际上，它跟第一个例子中讲的0-1背包问题很像，只不过是把“重量”换成了“价格”而已。购物车中有n个商品。我们针对每个商品都决策是否购买。每次决策之后，对应不同的状态集合。我们还是用一个二维数组states[n][x]，来记录每次决策之后所有可达的状态。不过，这里的x值是多少呢？

0-1背包问题中，我们找的是小于等于w的最大值，x就是背包的最大承载重量w+1。对于这个问题来说，我们要找的是大于等于200（满减条件）的值中最小的，所以就不能设置为200加1了。就这个实际的问题而言，如果要购买的物品的总价格超过200太多，比如1000，那这个羊毛“薅”得就没有太大意义了。所以，我们可以限定x值为1001。

不过，这个问题不仅要求大于等于200的总价格中的最小的，我们还要找出这个最小总价格对应都要购买哪些商品。实际上，我们可以利用states数组，倒推出这个被选择的商品序列。我先把代码写出来，待会再照着代码给你解释。

```
// items商品价格，n商品个数，w表示满减条件，比如200
public static void double11advance(int[] items, int n, int w) {
    boolean[][] states = new boolean[n][3*w+1]; // 超过3倍就没有薅羊毛的价值了
    states[0][0] = true; // 第一行的数据要特殊处理
    states[0][items[0]] = true;
    for (int i = 1; i < n; ++i) { // 动态规划
        for (int j = 0; j <= 3*w; ++j) { // 不购买第i个商品
            if (states[i-1][j] == true) states[i][j] = states[i-1][j];
        }
        for (int j = 0; j <= 3*w-items[i]; ++j) { // 购买第i个商品
            if (states[i-1][j]==true) states[i][j+items[i]] = true;
        }
    }

    int j;
    for (j = w; j < 3*w+1; ++j) {
        if (states[n-1][j] == true) break; // 输出结果大于等于w的最小值
    }

    if (j == -1) return; // 没有可行解
    for (int i = n-1; i >= 1; --i) { // i表示二维数组中的行，j表示列
        if (j-items[i] >= 0 && states[i-1][j-items[i]] == true) {
            System.out.print(items[i] + " "); // 购买这个商品
            j = j - items[i];
        } // else 没有购买这个商品，j不变。
    }
    if (j != 0) System.out.print(items[0]);
}
```

代码的前半部分跟0-1背包问题没有什么不同，我们着重看后半部分，看它是如何打印出选择购买哪些商品的。

状态(i, j)只有可能从(i-1, j)或者(i-1, j-value[i])两个状态推导过来。所以，我们就检查这两个状态是否是可达的，也就是states[i-1][j]或者states[i-1][j-value[i]]是否是true。

如果states[i-1][j]可达，就说明我们没有选择购买第i个商品，如果states[i-1][j-value[i]]可达，那就说明我们选择了购买第i个商品。我们从中选择一个可达的状态（如果两个都可达，就随意选择一个），然后，继续迭代地考察其他商品是否有选择购买。

## 内容小结

动态规划的第一节到此就讲完了。内容比较多，你可能需要多一点时间来消化。为了帮助你有的放矢地学习，我来强调一下，

今天你应该掌握的重点内容。

今天的内容不涉及动态规划的理论，我通过两个例子，给你展示了动态规划是如何解决问题的，并且一点一点详细给你讲解了动态规划解决问题的思路。这两个例子都是非常经典的动态规划问题，只要你真正搞懂这两个问题，基本上动态规划已经入门一半了。所以，你要多花点时间，真正弄懂这两个问题。

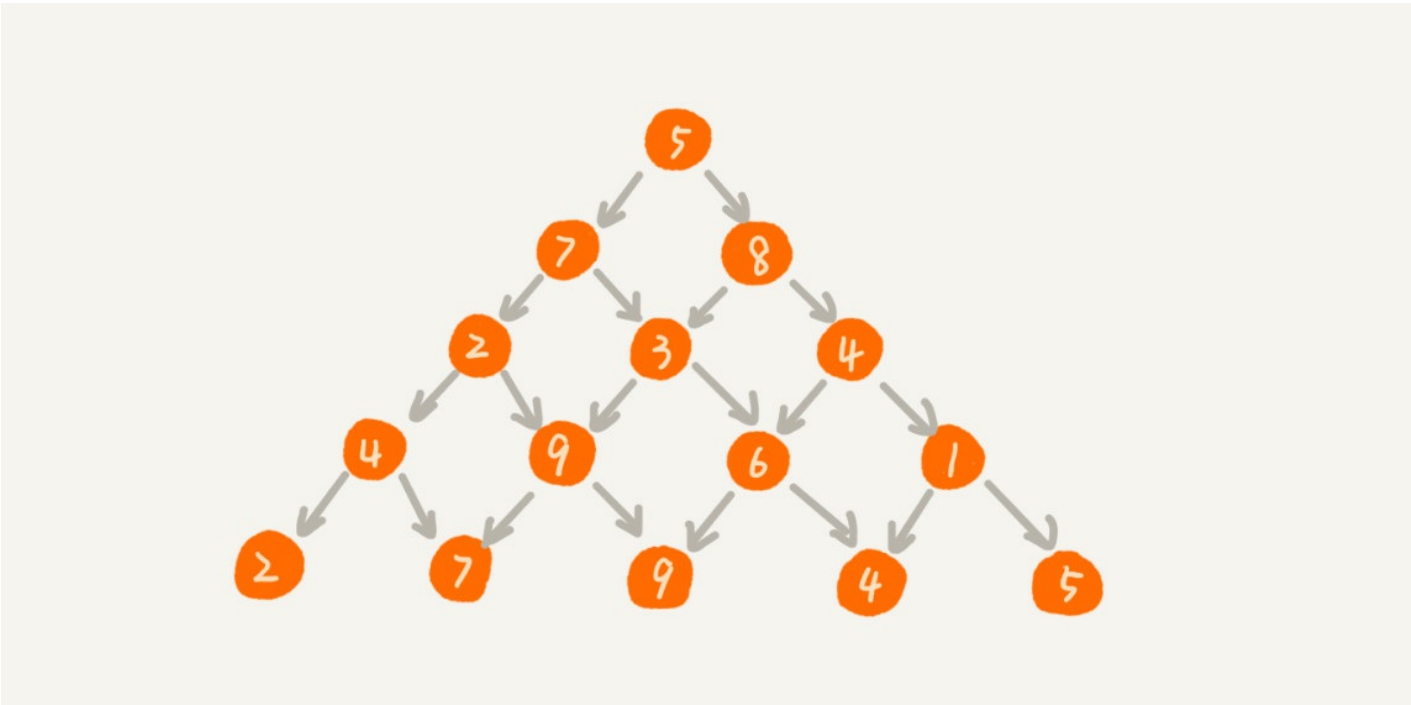
从例子中，你应该能发现，大部分动态规划能解决的问题，都可以通过回溯算法来解决，只不过回溯算法解决起来效率比较低，时间复杂度是指数级的。动态规划算法，在执行效率方面，要高很多。尽管执行效率提高了，但是动态规划的空间复杂度也提高了，所以，很多时候，我们会说，动态规划是一种空间换时间的算法思想。

我前面也说了，今天的内容并不涉及理论的知识。这两个例子的分析过程，我并没有涉及任何高深的理论方面的东西。而且，我个人觉得，贪心、分治、回溯、动态规划，这四个算法思想有关的理论知识，大部分都是“后验性”的，也就是说，在解决问题的过程中，我们往往是先想到如何用某个算法思想解决问题，然后才用算法理论知识，去验证这个算法思想解决问题的正确性。所以，你大可不必过于急于寻求动态规划的理论知识。

课后思考

“杨辉三角”不知道你听说过吗？我们现在对它进行一些改造。每个位置的数字可以随意填写，经过某个数字只能到达下面一层相邻的两个数字。

假设你站在第一层，往下移动，我们把移动到底层所经过的所有数字之和，定义为路径的长度。请你编程求出从最高层移动到最底层的最短路径长度。



欢迎留言和我分享，也欢迎点击“[请朋友读](#)”，把今天的内容分享给你的好友，和他一起讨论、学习。

# 数据结构与算法之美

为工程师量身打造的数据结构与算法私教课

王争

前 Google 工程师



新版升级：点击「 请朋友读」，10位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

## 精选留言



zixuan

贪心：一条路走到黑，就一次机会，只能哪边看着顺眼走哪边

回溯：一条路走到黑，无数次重来的机会，还怕我走不出来 (Snapshot View)

动态规划：拥有上帝视角，手握无数平行宇宙的历史存档，同时发展出无数个未来 (Versioned Archive View)

2018-12-30 17:57



茴香根

我理解的动态规划，就是从全遍历的递归树为出发点，广度优先遍历，在遍历完每一层之后对每层结果进行合并（结果相同的）或舍弃（已经超出限制条件的），确保下一层遍历的数量不会超过限定条件数 $W$ ，通过这个操作达到大大减少不必要遍历的目的。

在空间复杂度优化上，通过在计算中只保留最优结果的目的重复利用内存空间。

2018-12-26 08:44



hfy

首先得有个女朋友

2018-12-26 08:36



feifei

这个动态规划学习了三天了，把老师的代码都手练了一遍，感觉对动态规划有点感觉了！然后在写这个课后题，我也练了一遍，我练了这么多，但我觉得动态规则这个最重要的是每层可达的状态这个怎么计算的，这是重点，我开始的时候，用纸和笔，把老师的第一例子，中的状态都画了出来，然后再来看代码，感觉很有帮助！

杨晖三角的代码我也贴出来，希望对其他童鞋有帮助，老师，也麻烦你帮忙看下，看我的实现是否存在问题，谢谢！

由于这个限制，限制长度，没有贴出来倒推出路径，可查看我的git

<https://github.com/kkzfl22/datastruct/blob/master/src/main/java/com/liujun/datastruct/algorithm/dynamicProgramming/triangle/Triangle.java>

```
int[][] status = new int[triangles.length][triangles[triangles.length - 1].length];
```

```

int startPoint = triangles.length - 1;
int maxpoint = triangles[triangles.length - 1].length;

// 初始化相关的数据
for (int i = 0; i <= startPoint; i++) {
    for (int j = 0; j < maxpoint; j++) {
        status[i][j] = -1;
    }
}

// 初始化杨辉三解的第一个顶点
status[0][startPoint] = triangles[0][startPoint];

// 开始求解第二个三角形顶点
// 按层级遍历
for (int i = 1; i <= startPoint; i++) {
    // 加入当前的位置节点
    int currIndex = 0;
    while (currIndex < maxpoint) {
        if (status[i - 1][currIndex] > 0) {
            // 计算左节点
            int leftValue = status[i - 1][currIndex] + triangles[i][currIndex - 1];

            // 1,检查当前左节点是否已经设置, 如果没有, 则直接设置
            if (status[i][currIndex - 1] == -1) {
                status[i][currIndex - 1] = leftValue;
            } else {
                if (leftValue < status[i][currIndex - 1]) {
                    status[i][currIndex - 1] = leftValue;
                }
            }
            // 计算右节点
            int rightValue = status[i - 1][currIndex] + triangles[i][currIndex + 1];

            if (status[i][currIndex + 1] == -1) {
                status[i][currIndex + 1] = rightValue;
            }
            currIndex++;
        }
        currIndex++;
    }

    int minValue = Integer.MAX_VALUE;
    for (int i = 0; i < maxpoint; i++) {
        if (minValue > status[startPoint][i] && status[startPoint][i] != -1) {
            minValue = status[startPoint][i];
        }
    }

    System.out.println("最短路径结果为:" + minValue);
}

```

2018-12-28 16:29



Monday

1、这里我特别强调一下代码中的第 6 行, j 需要从大到小来处理。  
这里自己写代码调试完才恍然大悟, 第i轮循环中新设置的值会干扰到后面的设置。

2、特别感谢争哥今天让其他的课程的老师来客串了一节课, 让我有了更多的时间学习本节。

2018-12-28 20:25

作者回复

不着急你慢慢学就是了 不用非得跟的那么紧

2019-01-02 16:37



Andylee

老师, 倒数第二段的代码(背包升级版)的12行的if条件判断是不是写错了

2018-12-26 13:18

作者回复

是的 我改下

2018-12-26 20:05



P@trick

老师你这个只能精确到元, 女朋友羊毛精说要求精确到0.01元, 时间空间复杂度增大100倍

2018-12-26 09:12

作者回复

说的没错

2018-12-26 20:05



郭霖

王争老师动态规划讲得确实精彩, 就是课后练习没有答案, 有时候解不出来会很难受。我是看了下一篇文章的讲解然后明白了这篇文章的课后习题解法, 这里分享一下吧, 希望对大家有帮助。

```
int[][] matrix = {{5},{7,8},{2,3,4},{4,9,6,1},{2,7,9,4,5}};
```

```
public int yanghuiTriangle(int[][] matrix) {
    int[][] state = new int[matrix.length][matrix.length];
    state[0][0] = matrix[0][0];
    for (int i = 1; i < matrix.length; i++) {
        for (int j = 0; j < matrix[i].length; j++) {
            if (j == 0) state[i][j] = state[i - 1][j] + matrix[i][j];
            else if (j == matrix[i].length - 1) state[i][j] = state[i - 1][j - 1] + matrix[i][j];
            else {
                int top1 = state[i - 1][j - 1];
                int top2 = state[i - 1][j];
                state[i][j] = Math.min(top1, top2) + matrix[i][j];
            }
        }
    }
    int minDis = Integer.MAX_VALUE;
    for (int i = 0; i < matrix[matrix.length - 1].length; i++) {
        int distance = state[matrix.length - 1][i];
        if (distance < minDis) minDis = distance;
    }
    return minDis;
}
```

2019-01-02 17:14



煦暖

老师你好，您在专栏里提到好几次哨兵，啥时候给我们讲解一下呢？

2018-12-28 23:33



失火的夏天

杨辉三角的动态规划转移方程是： $S[i][j] = \min(S[i-1][j], S[i-1][j-1]) + a[i][j]$ 。

其中a表示到这个点的value值，S表示到a[i][j]这个点的最短路径值。

这里没有做边界条件限制，只是列出一个方程通式。边界条件需要在代码里具体处理。个人感觉动态规划的思想关键在于如何列出动态规划方程，有了方程，代码基本就是水到渠成了。

2018-12-27 14:28



Monday

思考题，杨辉三角，思路（Java版）：

记入参的数据结构是List<List<Integer>> list

状态转移方程为 $f(i,j)=list.get(i).get(j)+\min(list.get(i-1).get(j-1), list.get(i-1).get(j))$

注意：需要注意数组越界问题。

2019-01-09 22:19



任悦

思考题这个杨辉三角有点巧了，最短路径就是最左边一列

2018-12-28 17:49



© TM

哪位老铁用python实现一下？

2018-12-27 18:52



像玉一样的石头

老师，请教个问题，想了好久不知道该如何求解

关于汇率方面的，比如手里有100人民币，设计一个汇率转换的环，比如人民币-》美元-》日元-》韩元-》人民币，兑换一圈后，手里的钱一直在增加，这个问题该如何求解呢

2018-12-27 16:38



@

第三部分的代码，第11行是不是有问题？根据代码推不出states[4][3]=true???

2018-12-26 17:58



blacknhole

有个疑问：

解答开篇的示例代码中，for (int j = 0; j <= w; ++j) {...} 和 for (int j = 0; j <= w-items[i]; ++j) {...} 的循环条件是不是有问题啊，应分别为  $j \leq 3 * w$  和  $j \leq 3 * w - items[i]$  吧？

2018-12-26 14:40

作者回复

是的 我改下 感谢

2018-12-26 20:04



家

是不是可以从下往上递推，每个节点都选择下一层能到的两个节点中最小的一个和本身相加，加到根节点应该就是最小值。

2018-12-26 09:05



Alexis何春光

到算法阶段感觉就变难了。。。。

2019-01-13 03:31



馒头

三角问题：

结构我当成一个链表俩来看，只能去下面，我看成左或者右。

决策就是 next 的左右选择，最后返回总路程，然后跟minvalue做对比，留下小的。

不知道对不对。

2019-01-09 17:38



郝大全

照着老师的图跟着又默画了一遍，代码又默敲了一遍，发现一个小问题：



老师的代码是不是没有考虑边界问题？

例如背包问题最后一段代码，

如果items := [3,2,1,6] n=4, w=1,会报错的。

动态规划三篇文章快学了一周了，还是有点小迷糊....

2019-01-09 10:50