

Stirling数

总论

Stirling数是组合数学中两类很重要的数，分为第一类Stirling数和第二类Stirling数。

我先声明一下苏联式记法和美国式记法。对于组合数，苏联式记法是 C_m^n ，美国式记法是小括号里面上m下n，上下关系恰好与苏联式记法相反。虽然英美与西欧等大多通用美国式记法，但是俄罗斯以及东欧国家流行苏联式记法，并且我国的高中课本与高考也通用组合数的苏联式记法。

那么同样的，虽然Stirling数在西方有着类似的中括号与大括号的记法，我还是综合了国内的一些参考书，给了以下定义：

第一类Stirling数，记作小写字母 s_1 加下角标1。即：

$\$s_1(n,k)\$$

第二类Stirling数，记作大写字母 S_2 加下角标2。即：

$\$S_2(n,k)\$$

这样无论是常见的大小写，还是下角标形式记录的Stirling数，全都没有歧义。

一些书上认为第一类Stirling数是全正的，但是绝大多数书上认为第一类Stirling数有正有负。为了方便使用，我们这里的第一类Stirling数是有正有负的。如果对于极少数书上全正的定义，在这里视作第一类Stirling数的绝对值，即 $|s_1|$

第一类Stirling数

第一类Stirling数 $s_1(n,k)$ 和置换相关。

置换：1到n的一个排列。例如：6 4 5 2 3 1是长度为6的一个置换。

显然全体长为n的轮换有 $n!$ 个。全体长为n的置换构成n元对称群。

置换的图：如果第i个位置上的数是j，就从顶点i到j画有向边。

最终置换的图由若干个圈组成，不动点是由顶点指向自身的边构成长为1的圈。

长为k的轮换：对于单位置换1 2 n，将其中的k位接连打乱顺序，对应图论中一个长为k的圈。

置换可以看成不相交轮换的乘积。不动点也看作一个轮换。

一个置换恰含k个轮换：恰好可以写成k个不相交轮换的乘积，即图中恰好有k个连通分支。

给出绝对值的定义 $|s_1(n,k)|$ 是全体置换中，恰含k个轮换的置换个数。

符号的定义如下：

$\$s_1(n,k) = \{(-1)\}^{\{n-k\}} |s_1(n,k)| \$$

即当n与k的奇偶性相同为正，不同为负。

显然 $\sum n!$ 是带绝对值的第n行第一类Stirling数的和。有一个定理是说，如果不带绝对值，有正有负，那么除了第一行第一类Stirling数的和是1以外，其余的行第一类Stirling数的和全是0。

第二类Stirling数

第二类Stirling数与集合的划分有关。

给出定义 $S_2(n, k)$ 是把集合1.....n分成k个非空子集的划分个数。

Bell数

Bell数与第二类Stirling数相关。第n个Bell数记作 B_n

Bell数和Bernoli数没什么关系，极少同时出现。我的习惯是将Bell数记作大写，将Bernoli数记作小写，或者提前声明是哪一种数。

本文中的 B_n 全部都是Bell数，与Bernoli数无关。

给出定义 B_n 是把集合1.....n分成非空子集的划分个数。

因此 B_n 是第n行第二类Stirling数的和。

自0开始的Bell数：

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8
B_n	1	1	2	5	15	52	203	877	4140

数表

研究组合数学，必须要有数表。

第一类Stirling数的数表如下：

下n右k	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	-6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2	7	-3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	-1	1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	2	-3	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	-6	11	-6	1	0	0	0	0

5	0	0	0	0	0	24	-50	35	-10	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	-120	274	-225	85	-15	1	0	0
7	0	0	0	0	0	720	-1764	1624	-735	175	-21	1	0
8	0	0	0	0	0	-5040	13068	-13132	6769	-1960	322	-28	1

第二类Stirling数的数表如下：

下n右k	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
-4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2	11	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	6	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	1	7	6	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	15	25	10	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	31	90	65	15	1	0	0
7	0	0	0	0	0	1	63	301	350	140	21	1	0
8	0	0	0	0	0	1	127	966	1701	1050	266	28	1

一些数感较好的人往往可以从数表中找到许多灵感。我们可以看到，第一类Stirling数的绝对值，增长速度比第二类Stirling数要快。

定义式

普通定义

首先限定下面几个式子的n的全体从n_1到n_k为正整数，并且：

$$n_1 + n_2 + \dots + n_k = n$$

以下的和式中的求和号，指对满足条件的n_1到n_k全体求和。那么，根据上文的定义，直接写出：

$$S_1(n, k) = \sum_{n_1, n_2, \dots, n_k} \frac{1}{n_1! n_2! \dots n_k!} (-1)^{n - \sum n_i}$$

$$S_2(n, k) = \sum_{n_1, n_2, \dots, n_k} \frac{1}{n_1! n_2! \dots n_k!} n_1 n_2 \dots n_k$$

我们根据定义式就能清楚看出，第一类Stirling数的绝对值增长速度，比第二类Stirling数增长速度快。因为相同求和条件下相似的式子，第二类分母中是阶乘，而第一类是简单的数本身。

对于第二类Stirling数，自然可以配成多项式定理中的系数，可以联系多项式定理，最后可以解出这个较为简单的式子：

$$S_2(n, k) = \sum_{j=0}^k C_k^j j! (-1)^{k-j}$$

对于第一类Stirling数，没有解决办法。例如特例第二列，它恰好是调和级数部分和的分子（约分前）。记Hn是第n个调和级数部分和：

$\$H_n = \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}$

就有：

$\$s_1(n, 2) = \{(-1)\}^n (n-1)! H_{n-1}$

负下标

如果利用下文的递推式，强行推广至负下标，会得到这样的结论：

$\$s_1(n, k) = \{(-1)\}^{n+k} S_2(-k, -n)$

递推式

和组合数一样，在数表中Stirling数也由左上角的数和正上方的数求和得到。

但是Stirling数都是“右倾”的，即从正上方继承的数前方都带有一个系数，而左上方没有。具体的写就是：

第一类Stirling数继承了上方数的行数，带绝对值的时候是简单的求和，不带时要加负号：

$\$s_1(n, k) = s_1(n-1, k-1) - (n-1)s_1(n-1, k)$

第二类Stirling数继承了列数

$\$S_2(n, k) = S_2(n-1, k-1) + kS_2(n-1, k)$

这两个递推式是最重要的公式。

虽然每一列的通项难以解出，但是斜线方向的通项总是多项式量级的，利用数学归纳法就可以解出来。最边上的斜线全是1，内侧的斜线是简单的自然数和（第二类为正，第一类为负）。用组合恒等式可以递推地算出再往内侧的斜线：

$\$s_1(n, n-2) = 3C_n^4 + 2C_n^3$

$\$S_2(n, n-2) = 3C_n^4 + C_n^3$

$\$s_1(n, n-3) = -15C_n^6 - 20C_n^5 - 6C_n^4$

$\$S_2(n, n-3) = 15C_n^6 + 10C_n^5 + C_n^4$

$\$s_1(n, n-4) = 105C_n^8 + 210C_n^7 + 130C_n^6 + 24C_n^5$

$\$S_2(n, n-4) = 105C_n^8 + 105C_n^7 + 25C_n^6 + C_n^5$

可见，第t条斜线一定构成t-2次多项式，并且两类Stirling数的首项系数相同或相反（都是奇数的双阶乘）。

生成函数

指类型生成函数

因为上面列出的数表都是下三角形矩阵，所以对于每一行，长度都是有限的，而对于每一列，长度都是无限的。如果配上两个变元x与y就能写出二元的生成函数。

先看Bell数，Bell数是同行（固定n对全体k求和）第二类Stirling数的和。对于Bell数，有指类型生成函数。指类型生成函数就是每项下面要配一个阶乘，就像指数的展开式一样：

$$\$B(x)=\sum_{n=0}^{\infty} \frac{B_n}{n!} x^n = e^{e^x-1}$$

展开成第二类Stirling数，就有以下两个式子：

$$\$ \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{S_2(n,k)}{n!} x^n y^k = e^{y(e^x-1)}$$

$$\$ \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{S_2(n,k)}{n!} x^n = \frac{1}{k!} (e^x-1)^k$$

对于第一类Stirling数，也有类似的指类型生成函数：

$$\$ \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{s_1(n,k)}{n!} x^n y^k = (1+x)^y$$

$$\$ \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{s_1(n,k)}{n!} x^n = \frac{1}{k!} (\ln(1+x))^k$$

为了方便，引入一个记号“阶乘的比”表示一种自变量为x的一元多项式：

$$\$ \frac{x!}{(x-n)!} = x(x-1)\dots(x-n+1)$$

它是多项式，阶乘比只是一种形式上的记号，这里提前说明。

普通生成函数

对于第一类Stirling数，有按行的普通生成函数，直接配上系数，没有阶乘做分母：

$$\$ \sum_{k=0}^n s_1(n,k) x^k = \frac{x!}{(x-n)!}$$

通过同样手法就知道，它的绝对值的生成函数有：

$$\$ \sum_{k=0}^n |s_1(n,k)| x^k = \frac{(x+n-1)!}{(x-1)!}$$

因为都包含了模p的全体零点，无论带不带绝对值都有：

$$\$ \sum_{k=0}^p s_1(p,k) x^k = \frac{x!}{(x-p)!} \equiv \sum_{k=0}^p |s_1(p,k)| x^k = \frac{(x+p-1)!}{(x-1)!} \equiv x^p \pmod{p}$$

也就是说，除了两端的第一类Stirling数，第p行中间的第一类Stirling数都被p整除。

第二类没有按行的结论，但有按列的结论：

$$\$ \sum_{n=0}^{\infty} S_2(n,k) x^n = \frac{x^k}{(1-x)(1-2x)\dots(1-kx)}$$

也有同余式：

\$\$\sum_{n=0}^{\infty} S_2(n,p)x^n = \frac{x^p}{(1-x)(1-2x)\dots(1-px)} \equiv \frac{x^p}{(1-x^{p-1})} \pmod{p}\$\$

矩阵的观点

接下来的阐述采用了矩阵“批量处理”的观点，来解释上一节的内容。

我们给出记法，数表构成的两个n阶方阵：

$\{(s_1)\}_n$

$\{(S_2)\}_n$

如果没有下角标，就默认为无穷阶阵。

上面这两个方阵是互逆的，乘在一起得到单位阵：

$\{(s_1)\}_n \{(S_2)\}_n = I_n$

因此下面的公式显然是成立的。

$\sum_{k=1}^n S_2(n,k) \frac{x^k}{(x-1)\dots(x-n+1)} = x^n$

$\sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^n \frac{S_2(n,k)}{n!} x^n \frac{x^k}{(x-1)\dots(x-n+1)} = e^{x-1}$

$\sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^n S_2(n,k) x^n \frac{x^k}{(x-1)\dots(x-n+1)} = \frac{1}{1-x}$

最后一个式子就是无穷大单位阵。

为什么互逆呢？这就要从矩阵的作用谈起。对于一元多项式F和G，如果它们之间存在着这样的关系：

$G(x) = F(e^{x-1})$

$F(x) = G(\ln(1+x))$

那么，对于它们第n项的系数 f_n 和 g_n 之间就应该满足这样的关系：

$g_n = \sum_{k=0}^{\infty} S_2(n,k) f_k$

$f_n = \sum_{k=0}^{\infty} s_1(n,k) g_k$

即原来的多项式也可以直接写出：

$G(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^n S_2(n,k) f_k x^n$

$F(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^n s_1(n,k) g_k x^n$

我们把多项式的系数看作列向量 f 和 g ，上面的等式就是熟知的矩阵左乘列向量。

$g = (S_2)f$

$f = (s_1)g$

无限大矩阵 s_1 和 S_2 的作用就很明显了。左乘一个 s_1 代表将变元替换成为对数；左乘一个 S_2 代表将变元替换成为指数。这就是上面绝大多数公式的统一。例如上文的指型生成函数，以及下面的式子：

$$\sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k!}{n!} s_1(n, k) x^k y^k = \frac{1}{1 - y \ln(1+x)}$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k!}{n!} S_2(n, k) x^k y^k = \frac{1}{1 - y(e^x - 1)}$$

运用这个结论，几乎是显然的。我们还可以借此构造更多的实例，在此就不写了。

Lucas定理

生成函数

考虑 Lucas 定理的证明，见 [素数幂次与 p 进数问题](#) 第七节。

$$\sum_{m_1, m_2} C_{m_1 p + m_2} \equiv C_{m_1}^{n_1} C_{m_2}^{n_2} \pmod{p}$$

只用到了：

$$(x+1)^p \equiv x^{p+1} \pmod{p}$$

上文说，无论带不带绝对值都有：

$$\sum_{k=0}^p s_1(p, k) x^k \equiv x^{p+1} \pmod{p}$$

除了两端的第一类 Stirling 数，第 p 行中间的第一类 Stirling 数都被 p 整除。

所以完全同样的可以写出第一类 Stirling 数与绝对值的 Lucas 定理：

$$\begin{aligned} & \sum_{k=0}^{n_1 p + n_2} s_1(n_1 p + n_2, k) x^k \equiv \\ & x^{n_1} (x^{p-1} - 1)^{n_1} \sum_{k=0}^{n_2} \\ & s_1(n_2, k) x^k = x^{n_1} \sum_{t=0}^{n_1} (-1)^{n_1-t} C_{n_1}^t x^{(p-1)t} \sum_{k=0}^{n_2} \\ & s_1(n_2, k) x^k \pmod{p} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{k=0}^{n_1 p + n_2} |s_1(n_1 p + n_2, k)| x^k \equiv \\ & x^{n_1} (x^{p-1} - 1)^{n_1} \sum_{k=0}^{n_2} \\ & |s_1(n_2, k)| x^k = x^{n_1} \sum_{t=0}^{n_1} (-1)^{n_1-t} C_{n_1}^t x^{(p-1)t} \sum_{k=0}^{n_2} \\ & |s_1(n_2, k)| x^k \pmod{p} \end{aligned}$$

也有第二类 Stirling 数按列的 Lucas 定理。

$$\begin{aligned} & \sum_{n=k_1 p + k_2}^{\infty} S_2(n, k_1 p + k_2) x^n \equiv \\ & \frac{x^{pk_1}}{(1-x^{p-1})^{k_1}} \sum_{n=k_2}^{\infty} S_2(n, k_2) x^n = x^{pk_1} \sum_{t=0}^{\infty} \\ & C_{k_1-1+t}^{k_1-1} x^{(p-1)t} \sum_{n=k_2}^{\infty} S_2(n, k_2) x^n \pmod{p} \end{aligned}$$

对于第二类 Stirling 数，这个式子可以直接展开。记带余除法：

$$n - (k_1 p + k_2) = n_1(p-1) + n_2$$

其中 n_2 取值为 0 到 $p-2$ 则有：

$$\sum_{t=0}^{n_1} C_{k_1+n_1-t-1} S_2(k_2+n_2+(p-1)t, k_2)$$

奇偶性

显然带不带绝对值奇偶性都是一样的，乘不乘-1奇偶性也是一样的。令n 2为0或者是1：

$$\sum_{k=0}^{2n-1} s_1(2n-1, k) x^k \equiv x^{n-1} \left(\sum_{k=0}^{n-1} s_1(0, k) x^k \right) \pmod{2}$$

```
$$\sum_{k=0}^{2n_1+1} s_1(2n_1+1, k)x^k \equiv x^{n_1} \{ (x-1)^{n_1} \} \sum_{k=0}^1 s_1(1, k)x^k = x^{n_1+1} \sum_{t=0}^{n_1} C_{n_1}^t x^t \pmod{2}$$
```

也就是说，每一行前面一半全是偶数，后面一半与它一半的那一行组合数奇偶性相同。

奇素数

接下来必须假设 p 不是 2，即 p 是奇素数。

二项式展开：

```
$$\sum_{k=0}^{n_1p+n_2} s_1(n_1p+n_2, k) x^k \equiv
x^{n_1} (x^{p-1} - 1)^{n_1} \sum_{k=0}^{n_2} s_1(n_2, k) x^k = x^{n_1} \sum_{t=0}^{n_1} (-1)^{n_1-t} C_{n_1}^{n_1-t} x^{(p-1)t} \sum_{k=0}^{n_2} s_1(n_2, k) x^k \pmod{p}$$
```

```
 $$\sum_{k=0}^{n_1p+n_2} |s_1(n_1p+n_2,k)|x^k \equiv
x^{n_1} \{ (x^{p-1}-1) \}^{n_1} \sum_{k=0}^{n_2} |
s_1(n_2,k)|x^k = x^{n_1} \sum_{t=0}^{n_1} \{ (-1)^t C_{n_1}^t x^{(p-1)t} \} \sum_{k=0}^{n_2} |s_1(n_2,k)|x^k \pmod{p} $$
```

我们知道 n^2 不超过 p 即化归后到了前 $p-1$ 行。原来一行的前 $n-1$ 个数 (0 到 $n-1$) 都被 p 整除。

观察式中组合数部分。组合数部分每两项之间距离是 $p-1$ 但是后面 k 跑遍的部分是0到 $p-1$ 有 p 个数，会不会造成重叠？

不会。因为第一类Stirling数数表的形状：前 $p-1$ 行中，只有第0行在第0列有数1，其余行在第0列都没有数（为0）；但是第0行，也只有在第0列有数1，在其余列都没有数。这就保证它们可以按照 $p-1$ 的周期重复而不重叠。

为了方便讨论，将以上区分为第0行和1到 $p-1$ 行两种情况，即整除与不整除两种情况。

当n=2时：

$$\sum_{k=0}^{n-1} s_1(n-1, k)x^k \equiv \sum_{k=0}^{n-1} |s_1(n-1, k)|x^k \equiv x^{n-1} \sum_{t=0}^{n-1} (-1)^{n-1-t} C_{n-1}^{n-1-t} x^{(p-1)t} \pmod{p}$$

即p的n-1倍数行，前n-1个数（0到n-1）被p整除，从第n-1个数开始后面每p-1个数中p-1是偶数，因此奇偶性相同）才有一个不被p整除，并且与第n-1行对应的组合数（配上-1的系数）同余。即仅当k-n-1是p-1倍数时不被p整除：

$\$k_n_1=k_1(p-1)\$$

则有：

$\$s_1(n_1p, n_1+k_1(p-1))\equiv \{(-1)\}^{n_1-k_1} C_{n_1}^{k_1} \pmod{p}\$$

当 n_2 不等于 0 时，前 n_1 个数（0 到 n_1-1 ）仍旧被 p 整除。于是这里认为 k 至少为 n_1 将 $k-n_1$ 原来 k 属于靠右的 $n-n_1$ 列）做带余除法，只是除数换成 $p-1$ 有：

$\$k_n_1=k_1(p-1)+k_2\$$

这里规定 k_2 的取值范围是 1 到 $p-1$ 与通常的带余除法略有不同。由于 k 不超过 n 而 n 有这个式子：

$\$n-n_1=n_1(p-1)+n_2\$$

这里 n_2 的范围是 0 到 $p-1$ 因此 k_1 不超过 n_1 则有：

$\$s_1(n_1p+n_2, n_1+k_1(p-1)+k_2)\equiv \{(-1)\}^{n_1-k_1} C_{n_1}^{k_1} s_1(n_2, k_2) \pmod{p}\$$

$\$|s_1(n_1p+n_2, n_1+k_1(p-1)+k_2)|\equiv \{(-1)\}^{n_1-k_1} C_{n_1}^{k_1} |s_1(n_2, k_2)| \pmod{p}\$$

即从 n_1 开始，第 k_1 个连续 $p-1$ 化归到了第一类 Stirling 数第 n_2 行的 1 到 $p-1$ 位置，以及组合数的第 n_1 行的 k_1 位置。这样就完成了递归。绝对值可以去掉是因为保证了同样的奇偶性。

例题

第一类 Stirling 数绝对值同行部分和余数问题。求第一类斯特林数的绝对值 n 行 l 到 r 项和 $\%p$ 。

圆神现在正在解决一个有趣的任务，它给出四个整数 n 、 l 、 r 和 p 并询问：

$\$|\sum_{k=l}^r |s_1(n, k)| \pmod{p}\$$

其中 p 是质数。似乎圆神在一分钟内就想出了主旨。你能快点吗？

输入唯一一行包含四个整数 n 、 l 、 r 和 p ($1 \leq n \leq 10^4$, $0 \leq l \leq r \leq n$, $2 \leq p \leq 10^6$, p 是质数)。

输出一个表示答案的整数。

题解

显然可以拆成两个从 0 开始的同行部分和的差。不妨记前 m 项为：

$\$|\sum_{k=0}^m |s_1(n_1p+n_2, k)|\$$

这一行给定了，仍旧可以设 n 比 p 大，于是可以化归到比 p 小的部分：

$\$n=n_1p+n_2\$$

这里 n_1 和 n_2 都相当于给定了。根据上文第一类 Stirling 数的 Lucas 定理，前 n_1 个数全都模 p 余 0，即当 m 小于 n_1 的时候部分和全部为 0，事实上只需要观察后半部分的部分和。

首先，右边两部分可以分开求和。类似于上文的 k_1 设 m 也有相关的式子：

$\sum_{m=0}^{n_1} m! \sum_{k_1=0}^{m-1} (-1)^{m-1-k_1} C_{n_1}^{k_1} \sum_{k_2=1}^{p-1} s_1(n_1p+k_2) \equiv \sum_{k_1=0}^{m-1} (-1)^{m-1-k_1} C_{n_1}^{k_1} \sum_{k_2=1}^{p-1} s_1(n_1p+n_2, n_1+k_1(p-1)+k_2) \pmod{p}$

当 n_2 为0的时候，对 $m-n_1$ 是简单的带余除法：

$\sum_{m=0}^{n_1} m! \sum_{k_1=0}^{m-1} (-1)^{m-1-k_1} C_{n_1}^{k_1} \sum_{k_2=1}^{p-1} s_1(n_1p+n_2, n_1+k_1(p-1)+k_2) \pmod{p}$

当 n_2 不为0的时候，对 $m-n_1$ 是特殊的带余除法，余数 m_2 取值1到 $p-1$ ：

$\sum_{m=0}^{n_1} m! \sum_{k_1=0}^{m-1} (-1)^{m-1-k_1} C_{n_1}^{k_1} \sum_{k_2=1}^{p-1} s_1(n_1p+n_2, n_1+k_1(p-1)+k_2) + \sum_{k_2=1}^{m_2} s_1(n_1p+n_2, n_1+m_1(p-1)+k_2) \pmod{p}$

$\sum_{m=0}^{n_1} m! \sum_{k_1=0}^{m-1} (-1)^{m-1-k_1} C_{n_1}^{k_1} \sum_{k_2=1}^{p-1} s_1(n_2, k_2) + (-1)^{n_1-m_1} C_{n_1}^{m_1} \sum_{k_2=1}^{m_2} s_1(n_2, k_2) \pmod{p}$

同一行第一类Stirling数绝对值部分和，恰好是行数的阶乘。即：

$\sum_{m=0}^{n_1} m! \sum_{k_1=0}^{m-1} (-1)^{m-1-k_1} C_{n_1}^{k_1} + (-1)^{n_1-m_1} C_{n_1}^{m_1} \sum_{k_2=1}^{m_2} s_1(n_2, k_2) \pmod{p}$

这里 n_2 总比 p 要小，因此阶乘不会被消掉。最后问题的关键在组合数的部分。

对 k_2 和 n_2 进行枚举，范围仍旧都是0到 $p-1$ 。因此关键在左边 n_1 和 k_1 的部分。

$\sum_{k_1=0}^{m_1-1} C_{n_1}^{k_1} (-1)^{k_1} \sum_{k_2=1}^{m_2} s_1(n_2, k_2) \pmod{p}$

最后化归为简单的Lucas定理的问题，给定 n_1 、 m_1 、 x ，计算多项式取模意义下的值：

$\sum_{k_1=0}^{m_1-1} C_{n_1}^{k_1} x^{k_1} \pmod{p}$

即二项式展开的部分和问题，见[素数幂次与p进数问题](#)第七节。

代码

```
#include<stdio.h>

int MOD;

long long powmod(long long x,int k)
{
    long long ans=1;
    while(k)
    {
        if(k&1)
        {
            ans=ans*x%MOD;
            k--;
        }
        else
        {
            x=x*x%MOD;
            k/=2;
        }
    }
    return ans;
}
```

```
        ans=ans*x%MOD;
    }
    x=x*x%MOD;
    k>>=1;
}
return ans;
}

int getfact(int x,int *p)
{
    int t=x,sz=0;
    int i;
    for(i=2;i*i<=t;i++)
    {
        if(x%i==0)
        {
            p[++sz]=i;
            while(x%i==0)
            {
                x/=i;
            }
        }
    }
    if(x>1)
    {
        p[++sz]=x;
    }
    return sz;
}

long long facd[1000005],facv[1000005];
long long G,mi[1000005],inv[1000005];

void pre()
{
    facd[0]=1;
    int i;
    for(i=1;i<MOD;i++)
    {
        facd[i]=facd[i-1]*i%MOD;
    }
    facv[MOD-1]=facd[MOD-1];
    for(i=MOD-2;i>=0;i--)
    {
        facv[i]=facv[i+1]*(i+1)%MOD;
    }
    int prime[10];
    int sz=getfact(MOD-1,prime);
    for(G=1;;G++)
    {
        bool ok=1;
```

```
for(i=1;i<=sz;i++)
{
    if(powmod(G,(MOD-1)/prime[i])==1)
    {
        ok=0;
        break;
    }
}
if(ok)
{
    break;
}
}
mi[0]=1;
for(i=1;i<MOD-1;i++)
{
    mi[i]=mi[i-1]*G%MOD;
}
inv[1]=1;
for(i=2;i<MOD;i++)
{
    inv[i]=(MOD-MOD/i)*inv[MOD%i]%MOD;
}
}

long long C(long long n,long long m)
{
    return (n<m)?0:facd[n]*facv[m]%MOD*facv[n-m]%MOD;
}

long long calc(long long n,long long m)
{
    if(!m)
    {
        return 1;
    }
    if(n<m)
    {
        return 0;
    }
    return C(n%MOD,m%MOD)*calc(n/MOD,m/MOD)%MOD;
}

long long query(long long n,long long m)
{
    m=(n<m)?n:m;
    long long s=0;
    int i;
    for(i=0;i<MOD-1;i++)
```

```

{
    int x=mi[i];
    if(x+n>MOD)
    {
        continue;
    }
    if(!i)
    {
        s=(s+(m+1)*facd[x+n-1]%MOD*facv[x-1])%MOD;
    }
    else
    {
        s=(s+(mi[(MOD-1-i*(m+1)%(MOD-1))%(MOD-1)]-1LL)*inv[mi[MOD-1-i]-1LL]%MOD*facd[x+n-1]%MOD*facv[x-1])%MOD;
    }
}
s=(MOD-s)%MOD;
if(n==MOD-1)
{
    s=(s-1LL+MOD)%MOD;
}
return s;
}

long long solve(long long n,long long m)
{
    long long u1=n/MOD,v1=n%MOD;
    if(m<u1)
    {
        return 0;
    }
    m-=u1;
    long long u2=m/(MOD-1),v2=m%(MOD-1);
    long long s=0;
    if(u2)
    {
        s=(s+((u2-1)&1)?MOD-1:1)*calc(u1-1,u2-1)%MOD*query(v1,MOD-2)%MOD;
    }
    s=(s+((u2&1)?MOD-1:1)*calc(u1,u2)%MOD*query(v1,v2))%MOD;
    if(v1==MOD-1&&u2)
    {
        s=(s+((u2-1)&1)?MOD-1:1)*calc(u1-1,u2-1)%MOD;
    }
    return s*((u1&1)?MOD-1:1)%MOD;
}

int main()
{
    long long n,l,r;
    scanf("%lld%lld%lld%d",&n,&l,&r,&MOD);
    pre();
}

```

```
long long s1=solve(n,r);
long long s2=solve(n,l-1);
printf ("%lld\n", (s1-s2+MOD)%MOD);
return 0;
}
```

From: <https://wiki.cvbbacm.com/> - CVBB ACM Team

Permanent link: <https://wiki.cvbbacm.com/doku.php?id=2020-2021:teams:namespace:stirling%E6%95%B0&rev=1596635660>

Last update: 2020/08/05 21:54

