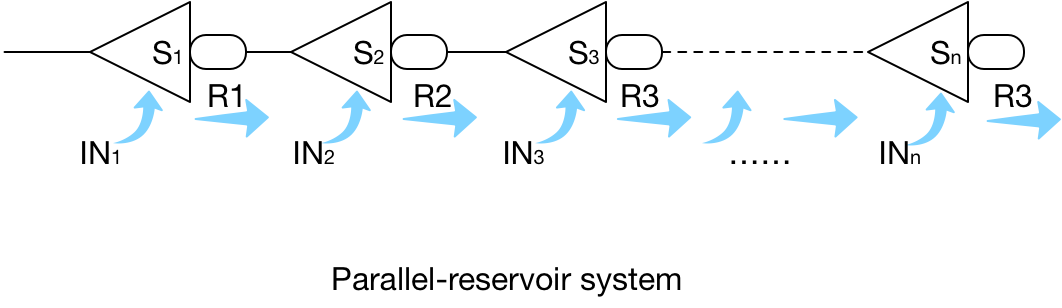
# 3. Model B

当给定了一个相互串并联的水坝系统, 其上各水坝的地址与相应的库容、装机容量、当地降水量等信息都已经可以定量出来. 那么在此信息基础上, 我们会去关注水坝系统间水资源的调度方案, 以应对紧急情况（如洪水和最小水流量）来保障系统的整体安全性，并且能够尽可能的保护水资源和从中得到的收益可以预料到，在不同的情况下（水周期中的不同时段，水库的不同蓄水情况等），调度方案将是不同的。为了合理的应对不同情况，需要建立一个生成水资源调度方案的模型。\\

## 3.1 模型建立

#### 3.1.1 Determination of the constraints

由于在zambezi river上建造的水坝无需考虑并联情况, 将水坝系统简化为Fig xxx所示的系统.



首先，单位时间后水库中的水量等于原水量，水库自然增量(包括降水量等)，上游水库排水（包括发电用水和泄洪水量）之和减去其他用途用水，发电用水量, 泄洪水量之和. 因此, 对此串联大坝系统, 我们有以下差分方程

where n为系统串联大坝数目

为在调控水量前的第个大坝的蓄水量；

为在调控水量后的第个大坝的蓄水量；

为第个大坝流向第个大坝的水流总量；

为第个大坝上游是否存在除上游大坝来水外显著的水流来源；

为在第个大坝到第个大坝之间除去第i-1个大坝流出后的入流 总增量(考虑降雨,蒸发等多种因素)；

在串联大坝系统中, 各大坝的安全因素和建造成本不尽相同, 需要对他们各自行为对系统总的影响等级进行评判. 显而易见的是，在大坝蓄水正常的情况下，水面高度和大坝的高度之间是成比例系数，在大水面高度与大坝高度的比例有如下危险系数（警戒状态）：



对于取值不同，有四个不同的状态，即在缺水时的缺水状态，在一定范围内的正常状态，在稍微超过正常水位的戒备状态以及在快溢出时的紧急状态。对于第一问，假设我们在正常状态下。对于每一个水坝的水量的变化可以用紧急状态参数表示，根据论文，以及中长江三峡大坝的枯水期水位和库容，正常时期水位以及库容，，一般洪水后水位和库容，特大洪水后水位和库容，我们使用以下关系[文献].

#### 3.1.2 Determination of the objective function

目前，广泛采用的防洪优化调度规则有两种一是水库防洪效益最大或费用最

小；二是水库下泄洪峰流量最小。大型水库在汛期防洪调度目标可分为3类：水

利枢纽自身防洪安全（目标1）、上游及库区防洪要求（目标2）和下游保护区防洪安全（目标3）。其中，目标1,2和希望水库尽量贴近正常水位，以保证水库自身、上游防护区及库区防洪安全，通常采用水库调度期最高水位最低等目标函数实现；反之，目标3期望上游水利枢纽充分利用其防洪库容，最大化削减洪峰流量，尽量多的栏蓄洪水，以保障下游防洪保护区讯期安全，一般采用水库最大下泄流量最小等目标函数实现。

结合上述防洪调度规则，综合考虑水库自身防洪安全和承担防护区防洪安全，以调度期水库现前最高水位和汛末水位最低作为目标和对应的优化目标函数，以调度期水库最大下泄流量最小作为对应目标的优化目标函数，建立水库多目标防洪优化调度模型。**.** 首先假设我们要进行优化的时间长度为

（1）**水库自身及上游防洪安全目标**

作为流域大型防洪控制性水库，讯期水库应保持低水位运行，故以水库坝前最高水位最低为主要优化目标，降低水库最高现前水位，减轻上游及库区淹没损失，降低对大现和流域防洪安全的威胁。其具体表述如下所示：

**(2)水库群中下游防护区防洪目标**

以水库最大下泄流量最小作为保护下游防洪保护区安全的优化目标,尽可能削减上游来洪的峰值流量，以保证下游防洪保护区的讯期防洪安全，该目标函数的描述如下：

Now, we use the following model:

## 3.2 Simulation and ana lysis

将以上模型应用到我们在之前求得的16组建坝地址数据中, 在不同情况下系统的, 数据不尽相同. 我们根据的特性对河流可能出现的状况进行了分类 and we can obtain the following two kind of environments to which we will do the optimization according.

* 正常水流时局部区域突然有恶劣情况时
* 发生洪涝或者长时间干旱时

3.2.1: When there is a sudden bad situation in normal flow.

正常水流时局部区域突然有恶劣情况时, 我们需要考虑因蒸发或者降水带来的各个大坝水量影响, 但同时应该注意的是, 该降水或者蒸发等因素带来的影响可能分布在大坝系统流域的任何地方. Thus, we assume that the influence spreads all over the river , we have:

Now, the constraints become.

And the objective function is also the same.

3.2.2 flooding or prolonged drought

We need to consider the effects of evaporation or precipitation on the water content of each dam in the event of flooding or prolonged drought, thus we assume that the influence spreads all over the river , and the character of the influence is the same. We have:

Now, the constraints is defined as follows

And the objective function is the same.

3.2.3: Algorithm: Progressive Optimality Algorithm

由式(xx)—式(xx)定义的水库群优化调度模型是复杂的多目标非线性优化模型,其复杂程度与水库数目, 迭代时长成指数关系[1], 。为克服维数灾问题, 利用逐步优化算法将复杂的多阶段决策问题转化为一系列两阶段问题进行求解, 每次只对多阶段决策中的两个阶段的决策进行优化调整 ,并将前一次优化结果作为当前优化的初始条件,然后再进行寻优 ,如此逐时段反复循环直至达到收敛要求。

[1]: HallWA,ButcherWS,EsogbueA.Optimizationofoperationofamultiple-purposereservoirbydynamicpro⁃ gramming[J]. Water Resource Research,1968,4(3):471-477 .

The flow chart of Algorithm is listed as follow. we will use the method described above to give the optimal flow control strategy.

算法流程图

3.2.4: Model Test

We use the data of our 16 sites model to test our model, which is in table xx. In addition, We make the number of steps to 5, so that the computational complexity can be controlled. Finally, we picked relative data from [ <http://www.zaraho.org.zm/hydrology/river-flows> ], transforming it into a data reflecting the changes to meet the requirements of calculation.

* Test1: flooding or prolonged drought

Table xx [引用Application of the Harmony Search optimization algorithm for the solution of the multiple dam system scheduling]includes the initial data we use to test our model.

需要的数据：

降雨量，干旱情况（之间引进参考文献）

暴雨情况下，整个流域可分为上游降雨（只改变进入第一个大坝的降雨量IN0），下游降雨。对于下游在我们建造的大坝的范围内降雨，可分为局部以及整体降雨。

对于整个降雨量，我们根据整个The Zambezi River上的所有降雨量以及整个长度，我们可以得到在沿着河流流向的单位长度的降雨量的数值，由于我们大坝间的距离已知，于是我们可以近似的得到在每个大坝间的降雨量的数值。我们对于我们计算出的整个在Lake Kariba两端围成的水的总量V（180km3）为60单位，相对的，我们近似得到了在每一个大坝间的初始库存容量，降水量以及干旱时期相对的所需的水量。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| si | 干旱 | 特大洪水 |
| 0.8 | 0.2 | 4.2 |
| 0.8 | 0.2 | 3.5 |
| 3.4 | 1.1 | 13.7 |
| 0.3 | 0.1 | 1.1 |
| 0.5 | 0.2 | 1.8 |
| 2.5 | 1.1 | 10.9 |
| 1.0 | 0.6 | 4.3 |
| 1.4 | 0.5 | 3.2 |
| 1.8 | 0.6 | 6.6 |
| 1.9 | 0.6 | 3.8 |
| 3.4 | 1.4 | 14.8 |
| 60.0 | 15.5 | 258.0 |
| 13.3 | 3.4 | 42.5 |
| 36.1 | 8.4 | 111.5 |
| 4.7 | 1.4 | 13.5 |
| 14.4 | 2.8 | 44.4 |

We assume that when flooding occurs, and .

Then, we could find the optimal value of the decision variables and optimal objective value when flooding occurs, which is:

Table result in index

We assume that when drought occurs, and .

Also, we could find the optimal value of the decision variables and optimal objective value when prolonged drought occurs, which is:

Table result in index

* Test2: When there is a sudden bad situation in normal flow.

Using the same initial data above, and we set the as follows:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 0 | 0 | -1 | 1 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 1 | 1 | -1 | 0 | 1 |

Then, set , we could find the optimal value of the decision variables, which is:

Table result in index test2

3.2.6 Sensitivity analysis

在上面的讨论中, 目标函数中为度量每一个水坝的水量的变化而引入的紧急状态参数的定义只是一个关于变化的简单的分段函数, 那么对于位于边界的或者接近边界的, 仅仅一个微小的变化与扰动都可能会造成发生剧烈变化, 从而使得最优解突然发生较大的变化. 我们可以采取更加平缓的函数. 同时, 针对不同流域, 地形, 气候, 土壤等地理特性的不同, 的总体函数值可以有所变化.

## Weakness(写在缺点里吧)

* 在的定义上, 我们简化了其函数形式, 采取了分段函数来进行计算. 事实上, 这会使得优化求解时受到其扰动.

# 4. Further discussion

In this part, we will focus on the process of using AHP for analysis. Then we discuss about the real-life application of our model.

## Index

Drought result

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 13.12033748 | 0.276802749 | 0.193189191 | 9.220603418 | 0.269621616 |
|  | 0.382539382 | 0.079943512 | 0.034448123 | 0.046413787 | 0.028256337 |
|  | 0.602069512 | 0.512410262 | 0.927739312 | 13.12033748 | 0.306764119 |
|  | 0.266757564 | 0.007083305 | 0.125772103 | 0.328470104 | 0.193189191 |
|  | 0.145861059 | 0.044553487 | 0.166774579 | 0.021828975 | 2.640661703 |
|  | 0.648595426 | 6.432380788 | 4.328837885 | 0.293758467 | 1.243197316 |
|  | 0.130584237 | 2.547788453 | 0.306010876 | 0.075161773 | 0.513336111 |
|  | 0.295248019 | 2.547788453 | 0.464097928 | 0.121215103 | 0.139109684 |
|  | 0.034448123 | 3.099231217 | 11.74321953 | 0.360492681 | 2.069550046 |
|  | 0.193189191 | 0.079943512 | 0.134453321 | 0.535923013 | 1.062608469 |
|  | 0.296078109 | 0.362726801 | 0.911404799 | 0.757652103 | 0.007083305 |
|  | 2.939172552 | 0.075161773 | 10.95066769 | 13.28456557 | 6.470555217 |
|  | 0.044082767 | 0.142425858 | 2.640661703 | 4.054621837 | 2.640661703 |
|  | 0.757652103 | 0.513336111 | 0.696506072 | 0.276802749 | 3.099231217 |
|  | 2.069550046 | 0.661643 | 6.432380788 | 0.480884087 | 1.821186588 |
|  | 5.071810425 | 3.513257984 | 1.2437606 | 2.547788453 | 0.513336111 |

Flooding result

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 0.253678477 | 0.16774206 | 0.06628372 | 0.145165313 | 1.12488271 |
|  | 0.44292699 | 0.19489555 | 4.197230052 | 0.124070231 | 0.323057865 |
|  | 0.046187849 | 1.317896652 | 0.16774206 | 1.317896652 | 13.6238597 |
|  | 0.318878531 | 0.41689654 | 0.09493284 | 0.06131007 | 0.046187849 |
|  | 0.001841148 | 0.157300224 | 0.049073518 | 0.165614765 | 1.839694351 |
|  | 0.715616058 | 0.715616058 | 0.127201549 | 0.41689654 | 12.68529731 |
|  | 0.323973488 | 0.331875627 | 0.413178606 | 0.279307176 | 0.088676434 |
|  | 0.323057865 | 0.282383936 | 0.293695646 | 0.013317372 | 0.238635619 |
|  | 0.164243295 | 0.165614765 | 0.31924777 | 0.645222596 | 6.699141543 |
|  | 0.157300224 | 0.157300224 | 0.165614765 | 0.526949019 | 0.243713414 |
|  | 1.227360567 | 6.699141543 | 1.12488271 | 9.48219388 | 12.68529731 |
|  | 0.473476577 | 4.758025537 | 0.44292699 | 27.18049259 | 0.715616058 |
|  | 1.855351628 | 2.226401979 | 1.523666441 | 2.260582192 | 25.93673744 |
|  | 9.48219388 | 6.699141543 | 0.243713414 | 0.013317372 | 0.318878531 |
|  | 1.622497078 | 2.140284265 | 1.523666441 | 0.318878531 | 12.63908024 |
|  | 0.243713414 | 6.699141543 | 2.231884291 | 0.145165313 | 25.93673744 |

Test2 there is a sudden bad situation in partial zone.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 0.116920915 | 0.15995116 | 0.35277439 | 0.131327992 | 0.330144017 |
|  | 0.298847095 | 0.307917551 | 0.315758121 | 0.299525158 | 0.366954154 |
|  | 1.16599404 | 0.664536191 | 0.35277439 | 1.372773814 | 0.182028704 |
|  | 0.807606505 | 0.141815114 | 0.074222289 | 0.008917713 | 0.090889236 |
|  | 2.016697135 | 0.147185073 | 0.021672812 | 0.141815114 | 0.315758121 |
|  | 0.807606505 | 4.366785362 | 0.110200195 | 0.45926698 | 0.315758121 |
|  | 0.233611012 | 0.630806677 | 0.135958669 | 0.213806949 | 0.807606505 |
|  | 0.299525158 | 0.592252706 | 1.555711896 | 0.400187298 | 1.555711896 |
|  | 0.552407387 | 1.084771115 | 0.861514681 | 0.597298739 | 0.928082602 |
|  | 0.53349906 | 0.50266714 | 0.404530475 | 1.705303991 | 0.528265476 |
|  | 0.075979019 | 0.928082602 | 0.807606505 | 0.283497441 | 0.910360701 |
|  | 0.942990885 | 20.27121816 | 9.170861969 | 4.341083414 | 3.034551566 |
|  | 4.490557282 | 2.944287094 | 4.366785362 | 2.392773013 | 4.904043179 |
|  | 4.410903663 | 1.555711896 | 14.92403336 | 5.992120119 | 0.456788404 |
|  | 0.008917713 | 0.669014792 | 2.016697135 | 2.041949093 | 0.557959198 |
|  | 5.454342267 | 5.969630002 | 3.034551566 | 2.077018101 | 2.243818229 |