

硕士论文框架

潘宝祥

October 30, 2014

- 研究问题阐述
- 研究内容与步骤
- 已取得及预期的研究成果

- 研究背景与现状
- 研究意义
- 需要解决的问题

- 水文数据量及计算机能力的提升促使水文模型朝时空尺度更细的方向发展，而对尺度协调问题研究不足.
- 模拟流域宏观水文形态的水热耦合方程已有形式证明的不合理性，可应用时间尺度的不确定性.
- 应用ARMA模拟长时间尺度流域水文形态的理论可靠性及其参数意义.
- 不同时间尺度下流域水文要素，模型结构对流域水文模拟的影响在信息理论中表达的优势与不足.信息论框架下水文模拟研究.

There is only one constant preoccupation: I have throughout been anxious to discover how much we can be said to know and with what degree of certainty of doubtfulness.

—— Bertrand Russell, My Philosophical Development

If degree of plausibility are represented by real numbers, then there is a uniquely determined set of quantitative rules for conducting inference.

—— E.T. Jaynes , Probability Theory, The Logic of Science

需要解决的问题

- 对 $\{Input, Output, StateVariable, Parameter, Structure\}$ 状态空间的数学描述, 对各分量作用的量化. (描述性表示)
- 对 $\{Input, Output, StateVariable, Parameter, Structure\}$ 状态空间的程序范式描述. (过程性表示)
- 流域“宏观量化指标”的确立及其对流域宏观水文形态的影响分析
- 概念性水量平衡模型中本构方程物理意义及其适用时间尺度

- 建立基本随机方程与水文变量随机过程描述（已完成）
- 水文模型泛函编码范式描述（部分完成）
- 水文模型中各要素信息量贡献分析（部分完成）
- 基于基本随机方程的流域水文时间升尺度分析
 - 平稳状态下升尺度（部分完成）
 - 季节性波动状态下升尺度（傅立叶分析）
 - 升尺度方程与概念性水量平衡模型,ARMA模型比较分析（部分完成）
 - 各时间尺度水文模型要素信息量贡献实例探究（部分完成）
- 基于基本随机方程的流域水文空间升尺度分析
 - 土壤蓄水量为指数分布的流域随机土壤水模型（部分完成）
 - 以地形指数为基础的流域随机土壤水模型

$$\frac{\partial f(s, t)}{\partial t} = \frac{\partial [\rho(s)f(s, t)]}{\partial s} - \lambda(t)f(s, t) + \lambda(t) \int_0^s f(z, t)p_{i|z}(s-z)dz \quad (1)$$

$$\rho(r, t) = \lambda(t) \int_0^1 f(z, t)f_{r_depth}(r+1-z)dz \quad (2)$$

- 函数式编程——lambda演算
- 延时求值——流技术

```
(define (initial  
  (list state input output parameters)))  
(define simulation  
  (cons-stream initial  
    (stream-map structure simulation)))
```

```
(define initial
  (list structure input output
        parameters init evaluation))
(define calibration
  (cons-stream initial
    (stream-map evolve initial)))
```

```
(define (SCE-UA object_function range)
  (define (mainline i lis)
    (cond ((eq? i 1)
           (mainline (+ i 1)
                     (divide (generate_strings))))
          ((< i MAXN)
           (mainline (+ i 1) (shuffle (evolve lis)))
           (else (car (reverse (car (reverse lis))))))
    (mainline 1 '()))
```

$$\begin{aligned} \text{Aleatory Uncertainty} : & H(\text{Observation}) - I(\text{Input}; \text{Observation}) \\ & = H(\text{Observation}|\text{Input}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{Epistemic Uncertainty} : I(\text{Input}; \text{Observation}) - I(\text{Simulation}; \text{Observation}) \quad (4)$$

对于i.i.d., 可将离散时间采得或计算得到的数据作为样本估算总体信息熵.

由于季节性和气候下垫面变化, 长时序水文变量通常不能通过i.i.d.检验.但是由于该构架本身衡量模拟时期内"模型"的总体效果, 该效果由数据的聚类性质评判, 而非数据的相对大小, 因此对非i.i.d.水文数据暂不作处理.

- 将迭代变量作为输入
- 以前 n 次输入表示迭代变量对模拟结果的影响

Best Achievable Performance (BAP): $I(\text{Input}; \text{Observation})$
Normalization

$$\begin{aligned} AU_n &: \frac{H(\text{Observation}) - I(\text{Input}; \text{Observation})}{H(\text{Observation})} \\ &= \frac{H(\text{Observation} | \text{Input})}{H(\text{Observation})} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} EU_n &: \frac{I(\text{Input}; \text{Observation}) - I(\text{Simulation}; \text{Observation})}{I(\text{Input}; \text{Observation})} \\ &= 1 - \frac{I(\text{Simulation}; \text{Observation})}{I(\text{Input}; \text{Observation})} \end{aligned} \quad (6)$$

基于基本随机方程的流域水文时间升尺度分析

- 平稳状态下升尺度

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{|\sum_{i=1}^n E_i - n\mu| < \epsilon\} = 1 \quad (7)$$

- 季节性波动状态下升尺度

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial f(s, t)}{\partial t} e^{-i\omega t} dt &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial [\rho(s)f(s, t)]}{\partial s} e^{-i\omega t} dt \\ &\quad - \int_{-\infty}^{\infty} \lambda(t)f(s, t)e^{-i\omega t} dt \\ &\quad + \int_{-\infty}^{\infty} \lambda(t) \int_0^s f(z, t)p_{i|z}(s-z)dz e^{-i\omega t} dt \end{aligned} \quad (8)$$

升尺度方程与水量平衡模型本构方程，ARMA模型对比研究

- 分析
- 变动时间尺度下水量平衡模型，ARMA模型信息流分析

- 土壤蓄水量为指数分布的流域随机土壤水模型

$$\begin{aligned}\frac{\partial f(s, t)}{\partial t} = & \frac{\partial[\rho(s)f(s, t)]}{\partial s} - \lambda(t)f(s, t) \\ & + \lambda(t) \int_0^s g(z, t) p_{rain_depth} \{ (1+b)[(1-z)^{\frac{1}{1+b}} - (1-s)^{\frac{1}{1+b}}] \} dz \\ & + \lambda(t) p_0(0) e^{-\lambda(t)t} p_{rain_depth} \{ (1+b)[1 - (1-s)^{\frac{1}{1+b}}] \}\end{aligned}\quad (9)$$

- 以地形指数为基础的流域随机土壤水模型

- 对 $\{Input, Output, StateVariable, Parameter, Structure\}$ 状态空间的数学描述, 对各分量作用的量化. (描述性表示)
- 对 $\{Input, Output, StateVariable, Parameter, Structure\}$ 状态空间的程序范式描述. (过程性表示)
- 流域“宏观量化指标”的确立及其对流域宏观水文形态的影响分析
- 概念性水量平衡模型中本构方程物理意义及其适用时间尺度
- ARMA模型的物理基础及其参数意义

End