

## 主题

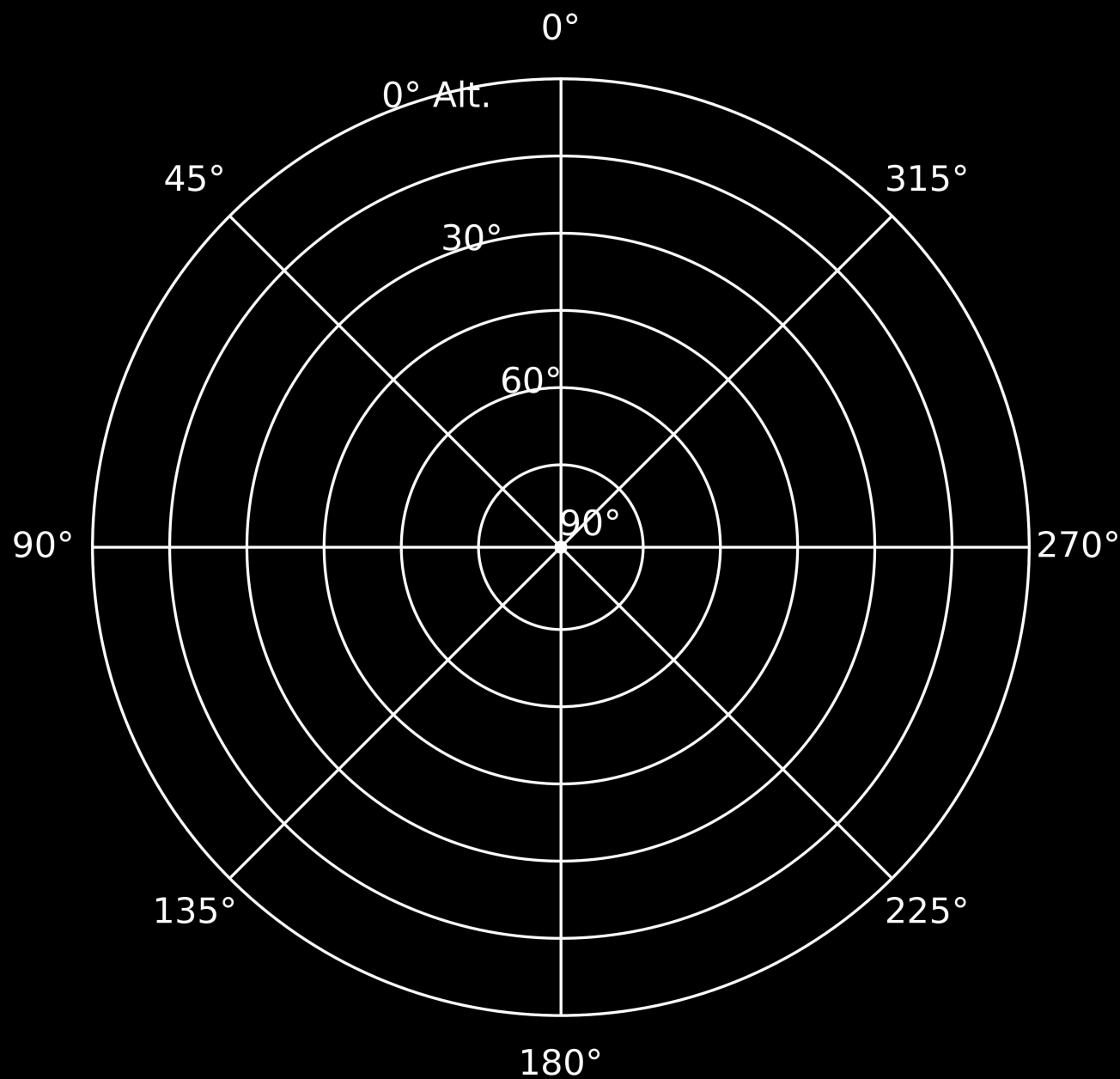
- AI for Astro & Astro for AI
- 程控望远镜与自主观测

# 望远镜观测调度 与 智能技术

报告人 谢海闻 博士研究生

导师 姜晓军 研究员

长春人造卫星观测站 | 国家天文台 光学观测技术团组

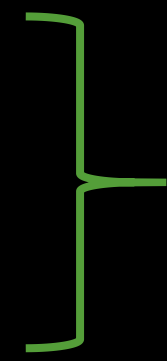


# 望远镜观测调度

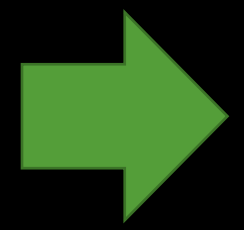
观测时间

观测指向

设备配置



观测块



吉林观测基地 1.2 米望远镜

# 观测调度方法

## 调度时间

事前调度  
(短期, 中期, 长期)

实时调度

## 调度拓扑

开环调度

闭环调度

## 自动化程度

人工调度

人机协同调度

全自动

# 望远镜观测调度数学模型

问题描述为约束优化

$$\begin{cases} \min & f(x) \\ \text{s. t.} & g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, n \\ & h_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

常见形式化为**整数规划** (Integer Linear Programming, ILP) 或  
**混合整数规划** (Mixed Integer Linear Programming, MILP)

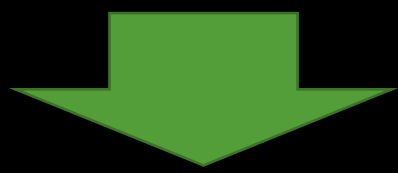
# 线性规划求解

成熟的数学软件

MATLAB

Gurobi

Mathematica



准确、快速

求解线性规划问题

MathWorks 帮助中心

GUROBI OPTIMIZATION

WOLFRAM Language & System Documentation Center

LinearProgramming

As of Version 13.0, LinearProgramming has been superseded by LinearOptimization.

LinearProgramming[ $c, m, b$ ]  
finds a vector  $x$  that minimizes the quantity  $c \cdot x$  subject to the constraints  $m \cdot x \leq b$  and  $x \geq 0$ .

LinearProgramming[ $c, m, \{ \{b_1, s_1\}, \{b_2, s_2\}, \dots \}$ ]  
finds a vector  $x$  that minimizes  $c \cdot x$  subject to  $x \geq 0$  and linear constraints specified by the matrix  $m$  and the pairs  $\{b_i, s_i\}$ . For each row  $m_i$  of  $m$ , the corresponding constraint is  $m_i \cdot x \geq b_i$  if  $s_i = 1$ , or  $m_i \cdot x = b_i$  if  $s_i = 0$ , or  $m_i \cdot x \leq b_i$  if  $s_i = -1$ .

LinearProgramming[ $c, m, b, l$ ]  
minimizes  $c \cdot x$  subject to the constraints specified by  $m$  and  $b$  and  $x \geq l$ .

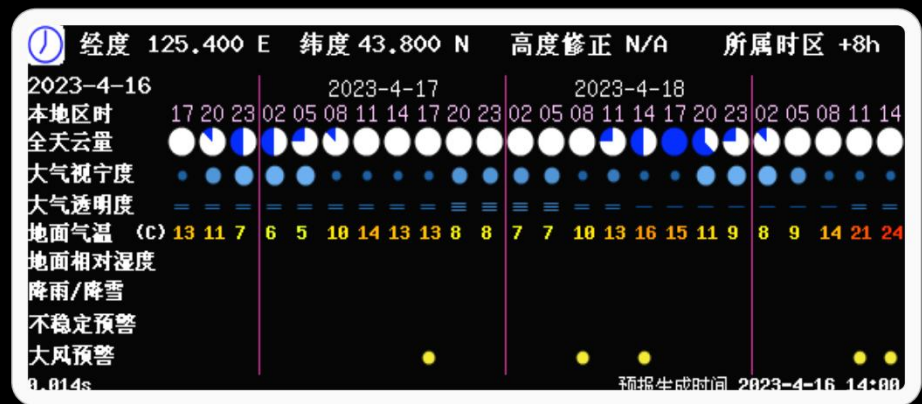
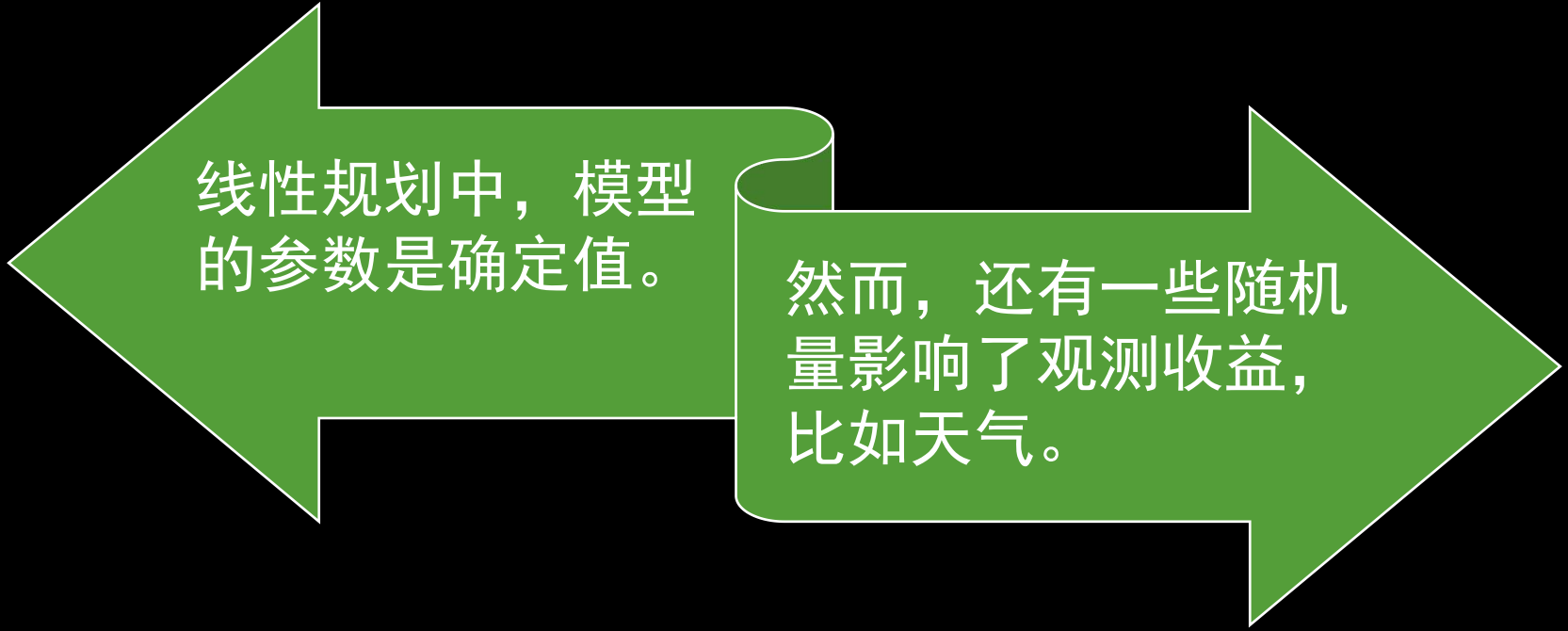
LinearProgramming[ $c, m, b, \{l_1, l_2, \dots\}$ ]  
minimizes  $c \cdot x$  subject to the constraints specified by  $m$  and  $b$  and  $x_i \geq l_i$ .

LinearProgramming[ $c, m, b, \{ \{l_1, u_1\}, \{l_2, u_2\}, \dots \}$ ]  
minimizes  $c \cdot x$  subject to the constraints specified by  $m$  and  $b$  and  $l_i \leq x_i \leq u_i$ .

LinearProgramming[ $c, m, b, lu, dom$ ]  
takes the elements of  $x$  to be in the domain  $dom$ , either `Reals` or `Integers`.

LinearProgramming[ $c, m, b, lu, \{dom_1, dom_2, \dots\}$ ]  
takes  $x_i$  to be in the domain  $dom_i$ .

# 望远镜观测调度数学模型



# 观测规划问题中的随机性

如何找到好的调度器？

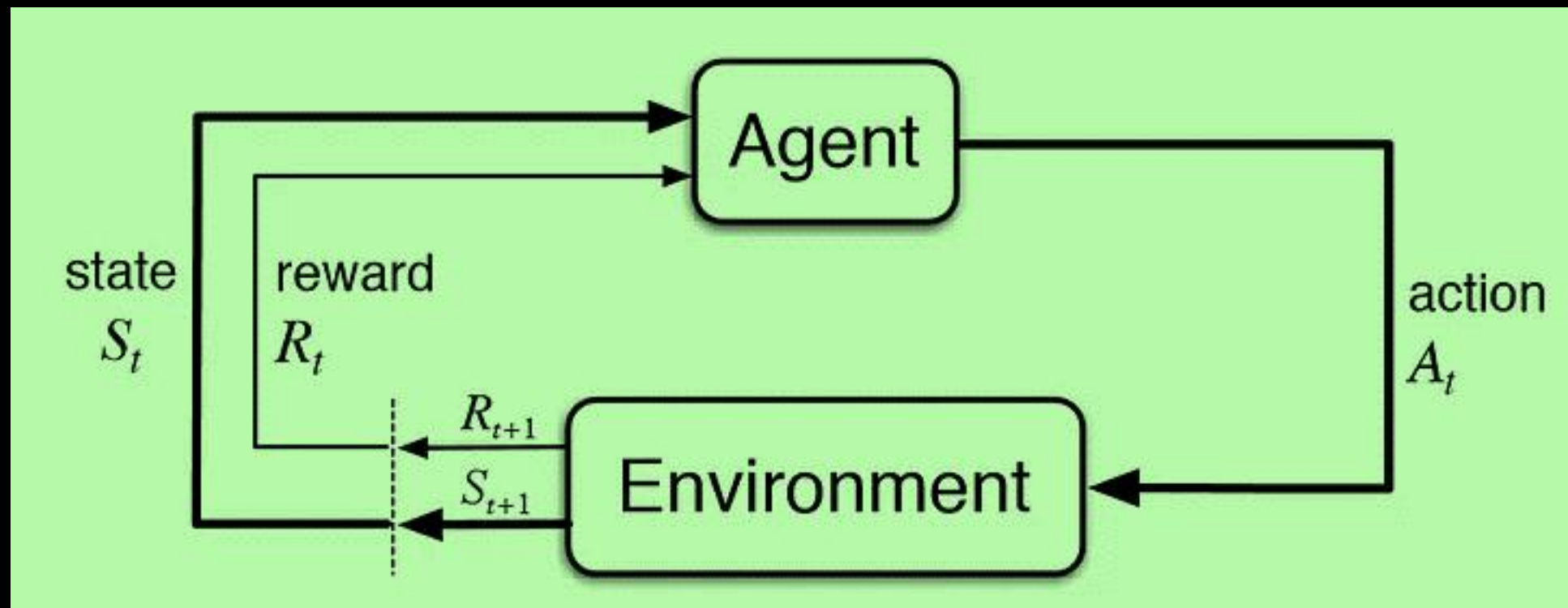
### 气象因素

- 云量 
- 温度 
- 湿度 
- 风速 
- .....

### 突发因素

- 设备状态 
- ToO观测请求 
- .....

# 让决策器 (Agent) 从环境中学习



cite: Sutton, R.S., Barto, A.G., 2018. Reinforcement learning: an introduction, Second edition. ed, Adaptive computation and machine learning series. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.



# 强化学习

人工智能  
Artificial Intelligence

有监督学习  
Supervised Learning

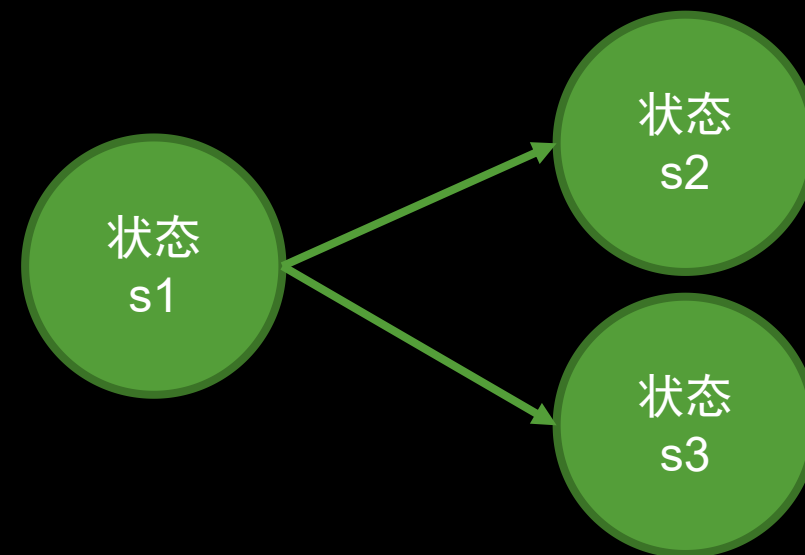
无监督学习  
Unsupervised Learning

强化学习  
Reinforcement Learning

# 强化学习的数学模型

- 随机的环境产生时变的随机变量，即随机过程（stochastic process）
- 假设，未来环境的状态仅与当前状态有关（马尔可夫性质），得到马尔可夫过程（Markov Process）

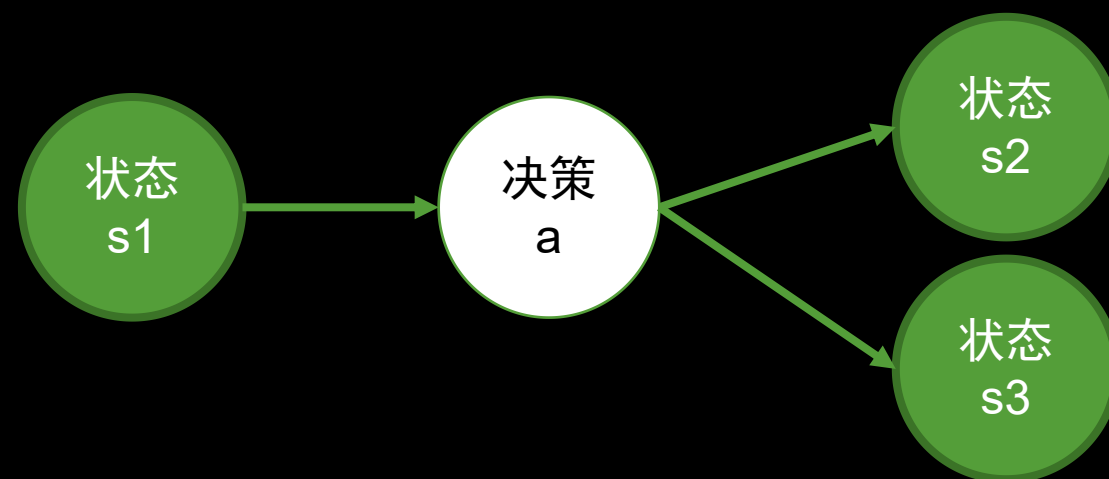
$$P(S_{t+1}|S_t) = P(S_{t+1}|S_1, S_2, \dots, S_t)$$



# 强化学习的数学模型

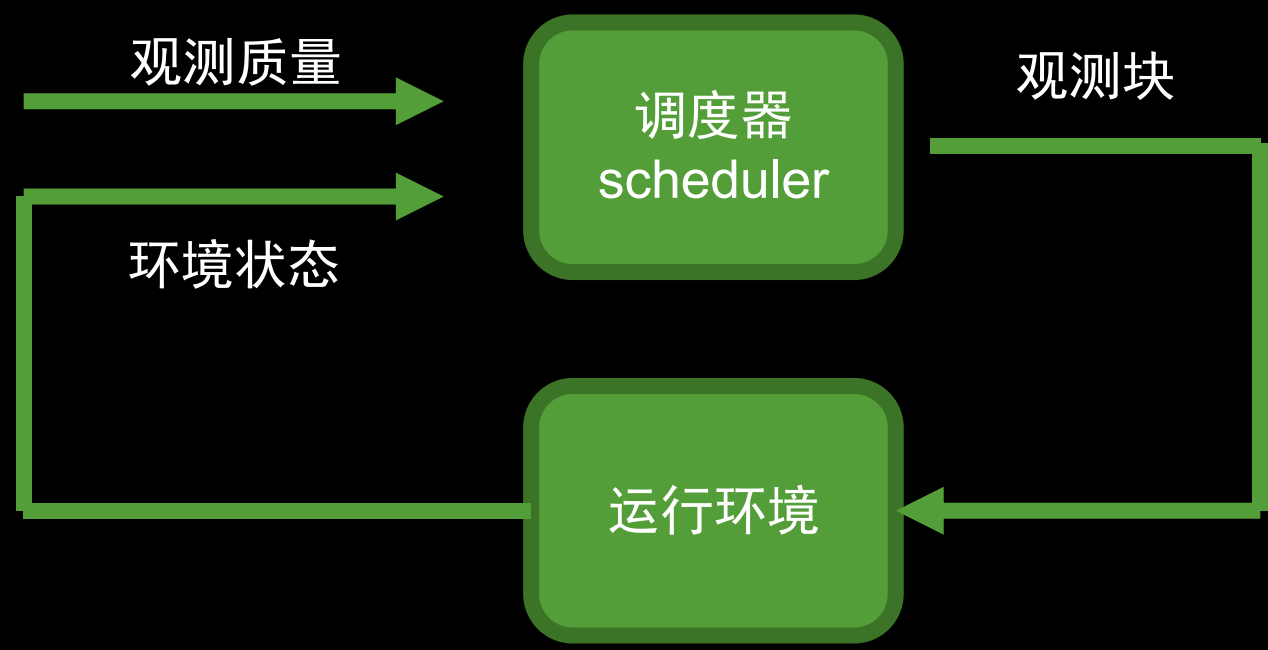
- 在马尔可夫过程中，加入决策（Action），得到马尔可夫决策过程（Markov Decision Process）

$$r(s, a) \doteq E[R_t | S_{t-1} = s, A_{t-1} = a]$$



# 基于强化学习的观测调度

- 观测调度器是Agent，根据当前状态和观测数据，得出观测块



# 调度器 (Agent) 求解方法

观测调度的环境中  
难以确定  
各个状态转移概率

无模型强化学习 (model-free reinforcement learning)

- 基于价值的方法
- 基于策略的方法
- 表演者-评价者方法

# 假设及其合理性

## 假设

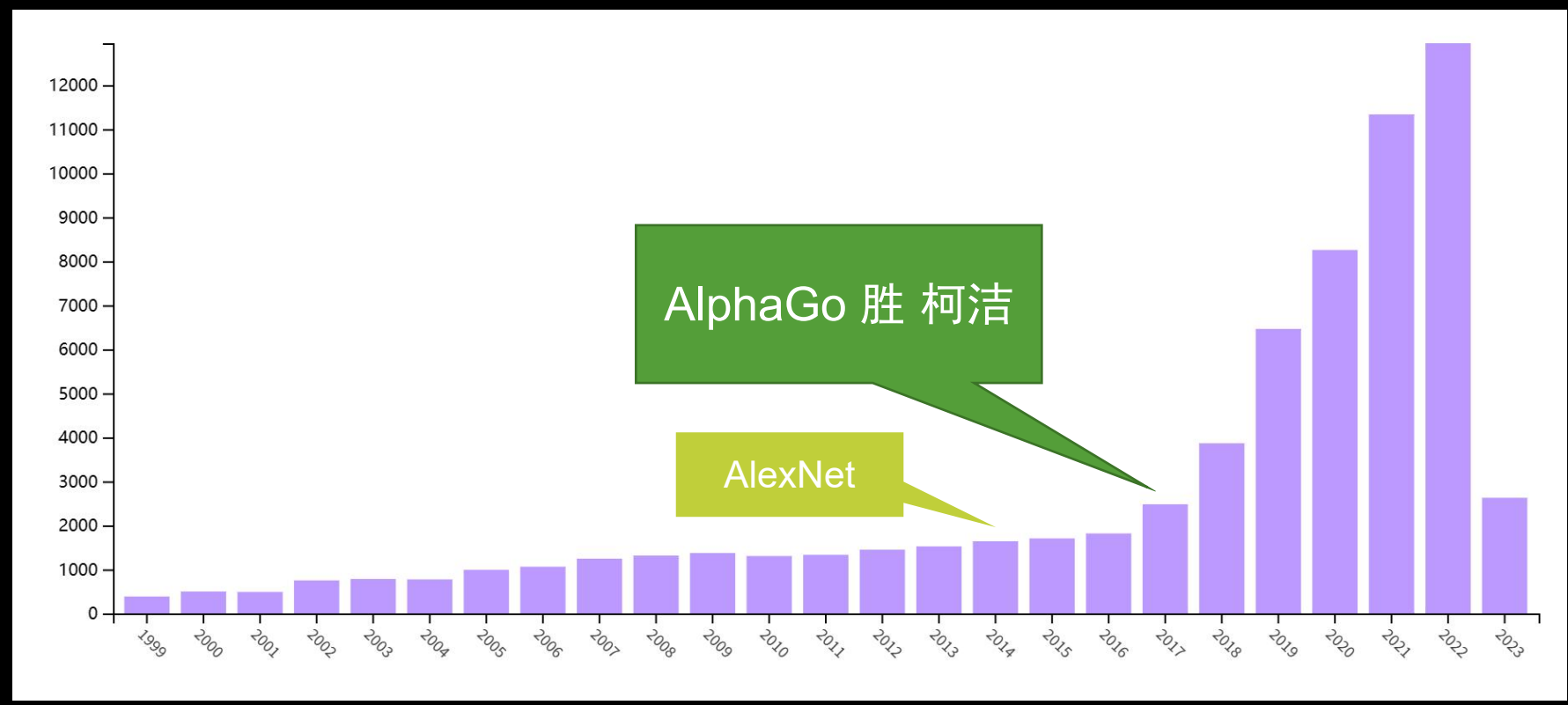
- 1. 随机过程满足马尔可夫性质
- 时间分配是离散的
- 望远镜的指向是离散的

## 合理性

- 1. 通常
- 计时精度是有限的
- 转台精度是有限的

# 强化学习是活跃的研究领域

检索结果数量



cite: [web of science](#)

# 观测规划方法仿真评估框架

*Observation Scheduler Simulation Assessment Framework, OSSAF*

正在进行

- 背景
  - 提高望远镜使用效率
  - 评估观测序列和观测规划方法
  - 在观测规划问题中使用强化学习方法



# 观测规划方法仿真评估框架

*Observation Scheduler Simulation Assessment Framework, OSSAF*

正在进行

- 目标

- 加速程控望远镜的研制流程
- 加速数学和计算机科学领域的技术，在程控望远镜的应用
- 加速研究者验证研究设想的效率

# 观测规划方法仿真评估框架

*Observation Scheduler Simulation Assessment Framework, OSSAF*

正在进行

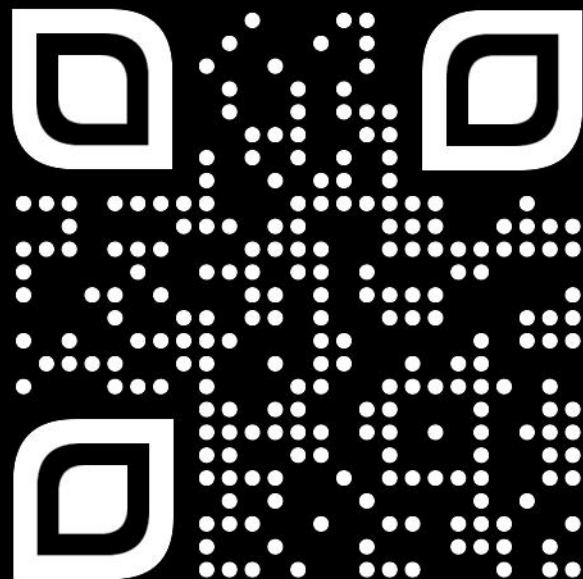
## • 特点

- **快速的算法验证。** 提供便利的软件接口 API，接入观测规划方法和强化学习方法，得出量化的评价指标。
- **引入随机过程的评估。** 支持气象、环境、设备状态等随机过程。
- **数据可视化。** 有利于研究者分析比较方法差异，启发研究。

# 结束与展望

# 欢迎交流

---



邮箱: [xiehw@cho.ac.cn](mailto:xiehw@cho.ac.cn)

