

# 基于先验驱动的无线网络时序建模与因果预测

锐捷网络股份有限公司 卢增通

主办单位：中国计算机学会（CCF）

承办单位：中国计算机学会互联网专委会、中国科学院计算机网络信息中心、中国移动研究院、清华大学

协办单位：华为2012实验室、阿里云、中兴通讯、中国移动九天团队、南开大学、西安电子科技大学、清华大学计算机科学与技术系、神州灵云

# 第一节 团队介绍

# 团队介绍

AIOPS | 2025 CCF国际AIOps挑战  
赛 25 CCF International AIOps Challenge

好像也没啥技术

队长：卢增通

组员：王志成、郭威、翟周、李招培

锐捷网络 中小企业网络事业群 数据智能组

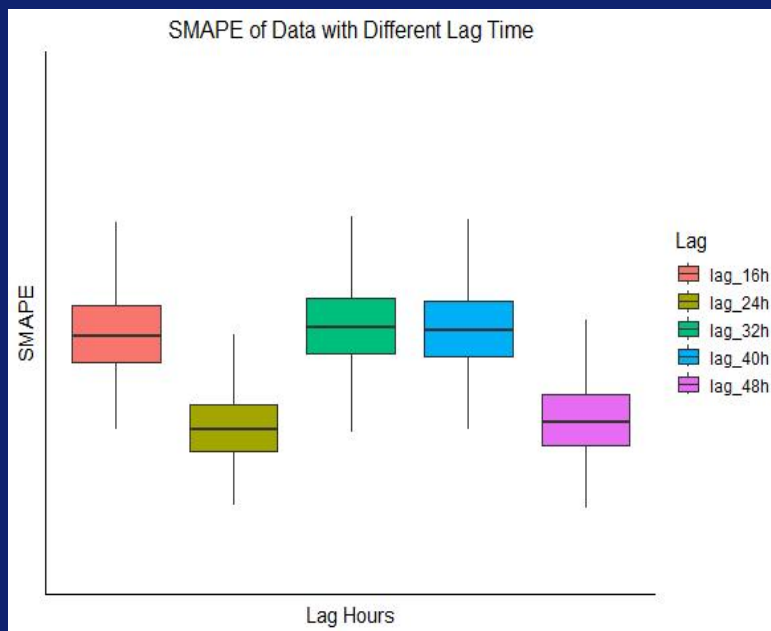
锐捷网络，成立于2003年，行业领先的ICT基础设施及解决方案提供商。SBG数据智能组是面向中小企业网络售前地勘，售中配置，售后运维的全链路AI算法研发团队。以工程商价值场景为导向，提供贯穿网络全生命周期的智能化能力，致力于打造新一代自智网络，探索以智能体驱动的自主运维模式，加速从人工管控走向智能自治，让网络真正做到好用易用。



团队合照

## 第二章 方案介绍

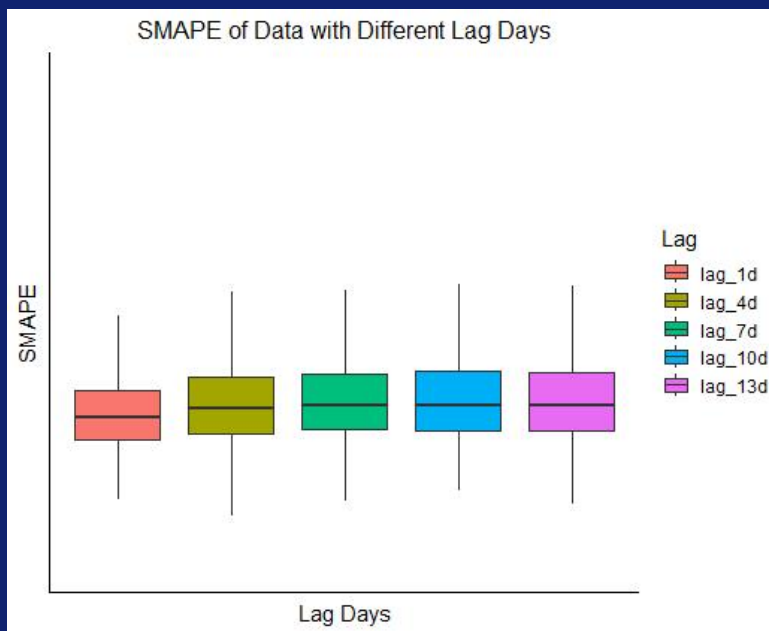
# 试题1. 先验知识+数据挖掘



数据具有一定的**周期性**(~24h)



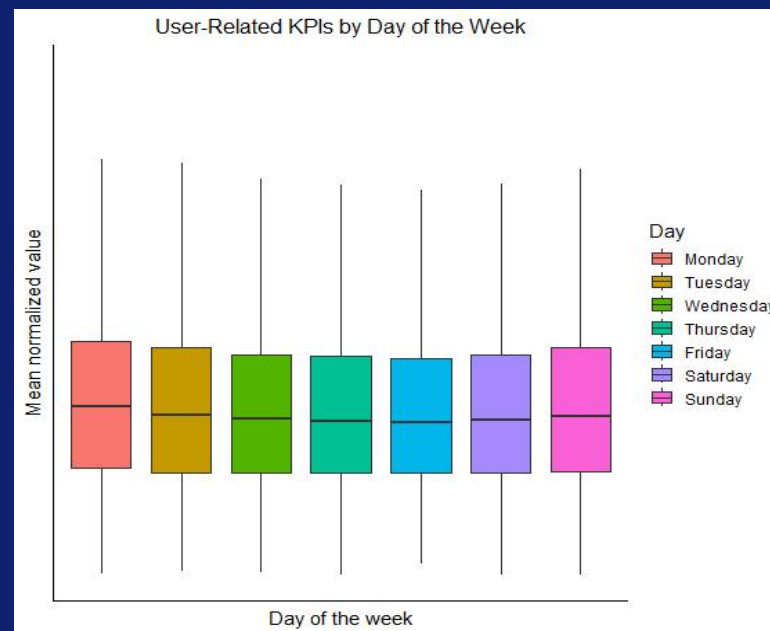
依据周期性构建**历史参考数据**进行后续预测



随着**时间间隔**的增加，数据相近程度减弱



数据集**标签只包含**待预测数据的前一天 (2018/04/23, **周一**)



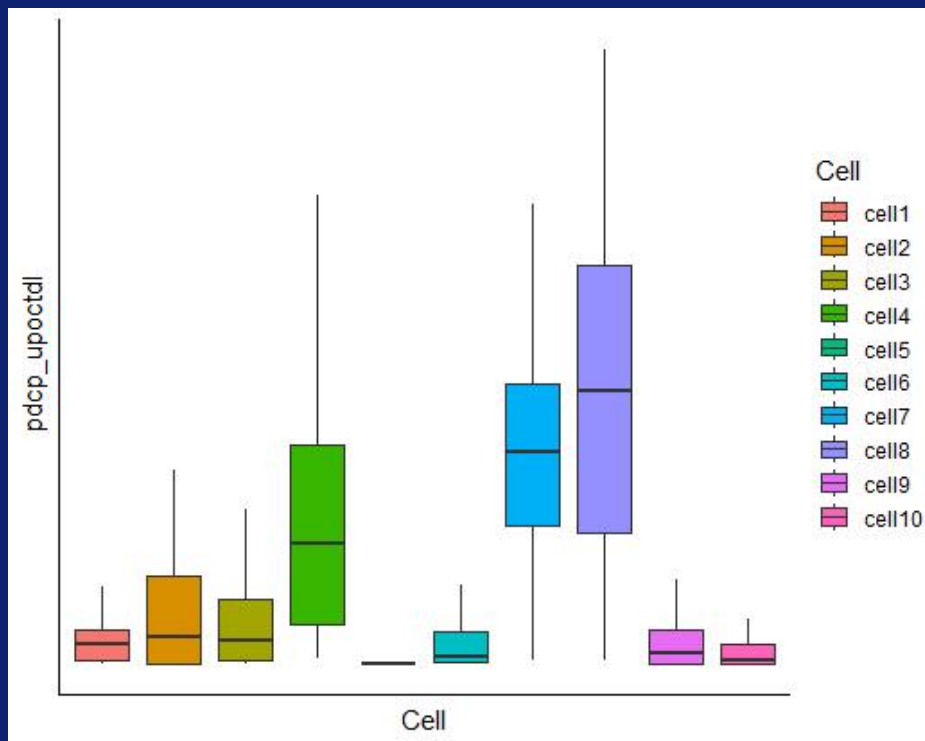
用户**活跃度**相关KPI在**周一**呈现更高的数值



后处理阶段需要**修正**这个系统性偏差



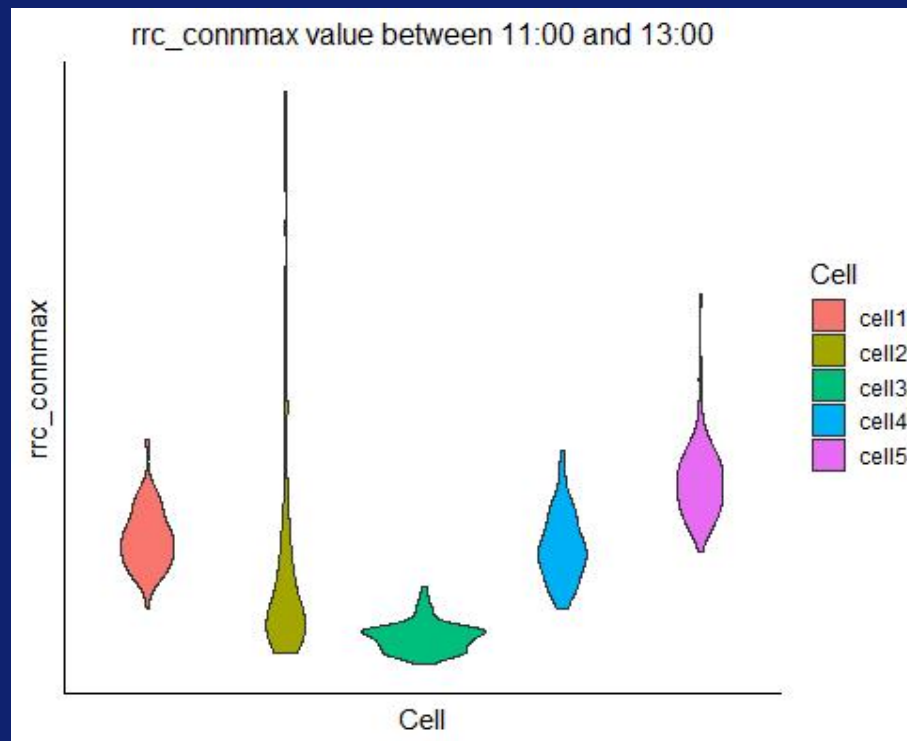
# 试题1. 先验知识+数据挖掘



对于许多KPI，不同小区的KPI分布、  
周期变化趋势具有高度**异质性**



数据清洗阶段**仅保留**待预测基站，  
针对**不同基站**选取**不同预测策略**



对于许多KPI，历史数据中存在  
**Outlier**，会干扰预测算法



预测算法需要对**Outlier**不敏感

# 试题1. 先验知识+数据挖掘启发的整体方案设计

## 01 数据清洗

$$H = \{x_k^c(t) | c \in C, t \in T, k \in K\}$$

仅保留待预测基站的历史数据

## 02 数据集构建

$$D = \{(h_k^c(t), x_k^c(t)) | Day(t) = 2018/04/23\}$$
$$h_k^c(t) = \{x_k^c(t - a \times 24h \pm b \times 15m) | 1 \leq a, b \leq 5\}$$

标签：只聚焦待预测日期前一天的数据

数据：依据周期性，选定历史参考数据

## 03 预测视角1

$$\tilde{p}_k^c(t) = w_k^c \times med(h_k^c(t))$$

预测基于历史参考数据的中位数，每个小区用KPI系数进行调整（基于数据集优化得到）

## 04 预测视角2

$$\tilde{q}_k^c(t) = R_{c,k}^*(h_k^c(t))$$

每个小区利用特定的历史参考数据的Rank（基于数据集优化得到）对不同KPI进行预测

## 05 预测视角3

$$\tilde{u}_k^c(t) = v \times R_1(h_k^c(t)) + (1 - v) \times R_2(h_k^c(t))$$

基于两个特定Rank，进行插值（权重基于数据集优化得到）

## 06 算法集成

$$\tilde{x}_k^c(t) = \min(\tilde{p}, \tilde{q}, \tilde{u}) I(k \in K_1) + \text{avg}(\tilde{p}, \tilde{q}, \tilde{u}) I(k \in K_2)$$

依据数据挖掘的结论，对部分用户相关KPI基于最小值（而不是均值）进行集成

# 试题1. 方案优势与创新点

01

高准确率

领先第二名方案~1.5%，决赛入围方案~11.5%，三个单独的视角（不需要集成），均超过第二名方案

02

低参数量

每个基站只需要学习/优化 ~175个参数

03

极低的资源消耗

仅使用少量CPU、内存资源即可完成训练、预测

04

简化的数据工程

只需要基站邻近日期的历史数据，无需额外收集海量基站数据

05

可解释

将先验知识注入到整体的算法框架中，所有步骤均可解释

06

高稳定性

多视角集成的方案为算法提供了稳定性

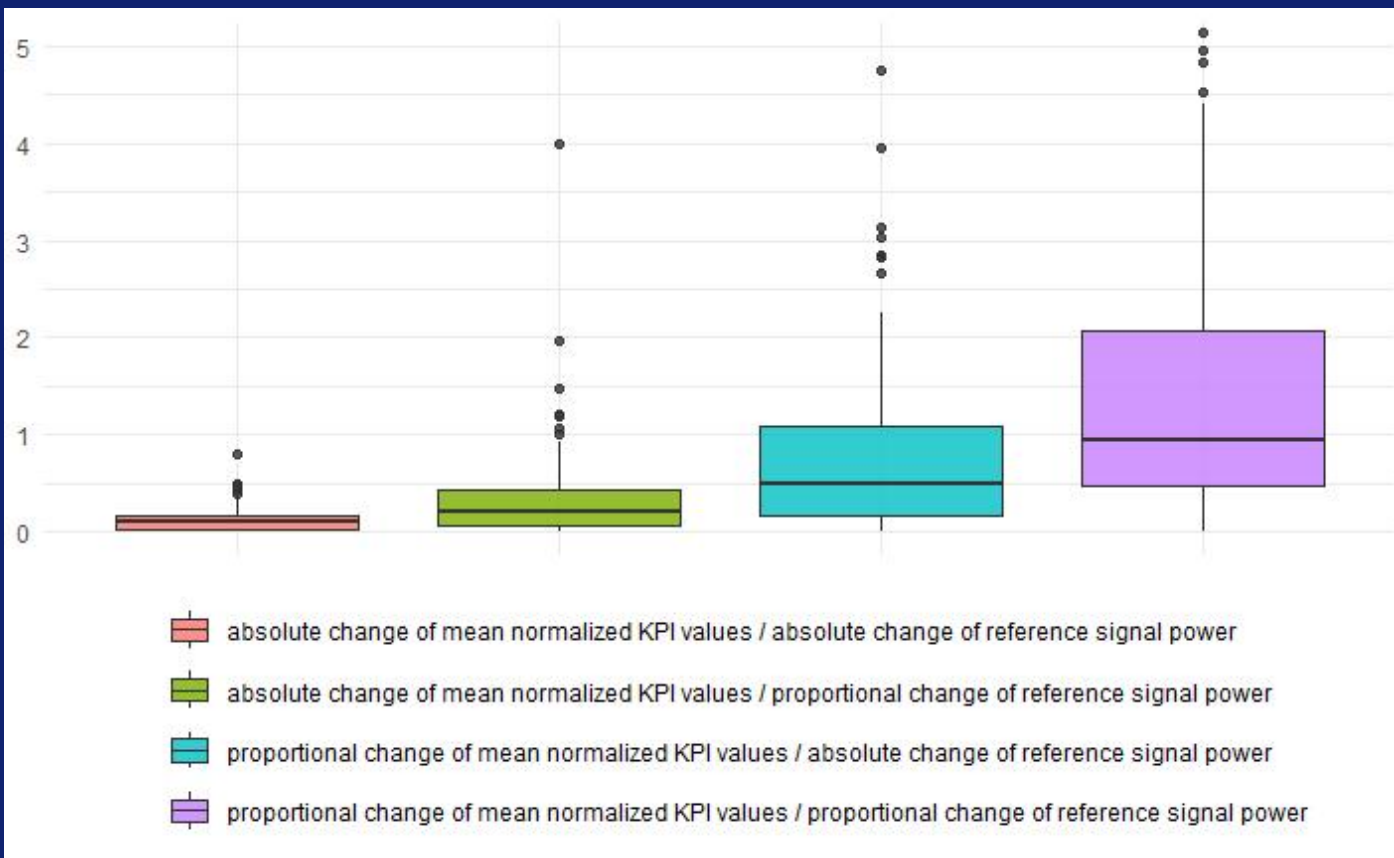


## 试题2. 先验知识+数据挖掘

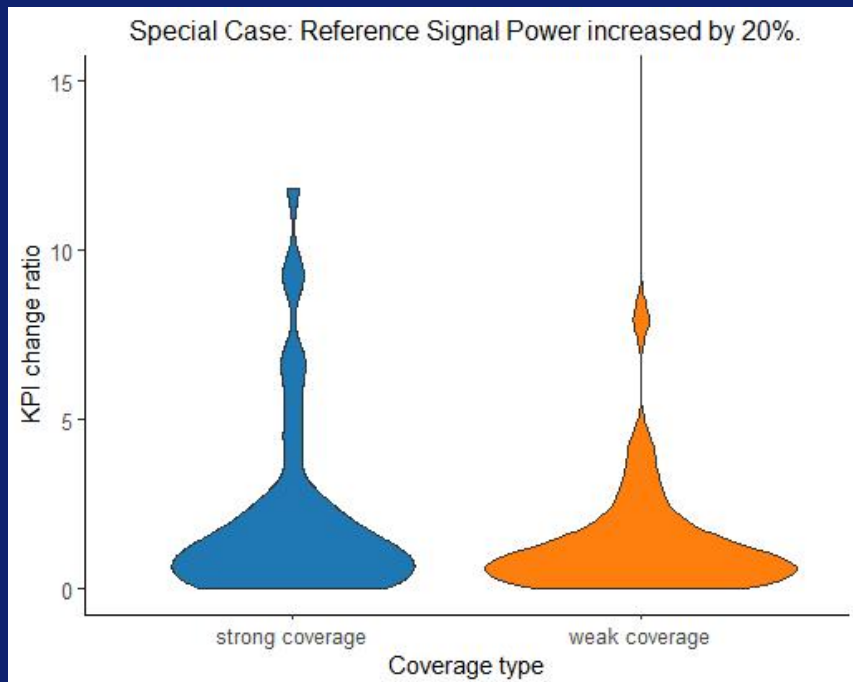
总体而言，KPI的**比例变化**和功率的**比例变化**的比值具有中位数~1，但不同基站存在差异



使用功率变化的比例作为**变化因子**来预测KPI变化的比例具有较好的**可解释性**，但需要考虑到基站的异质性



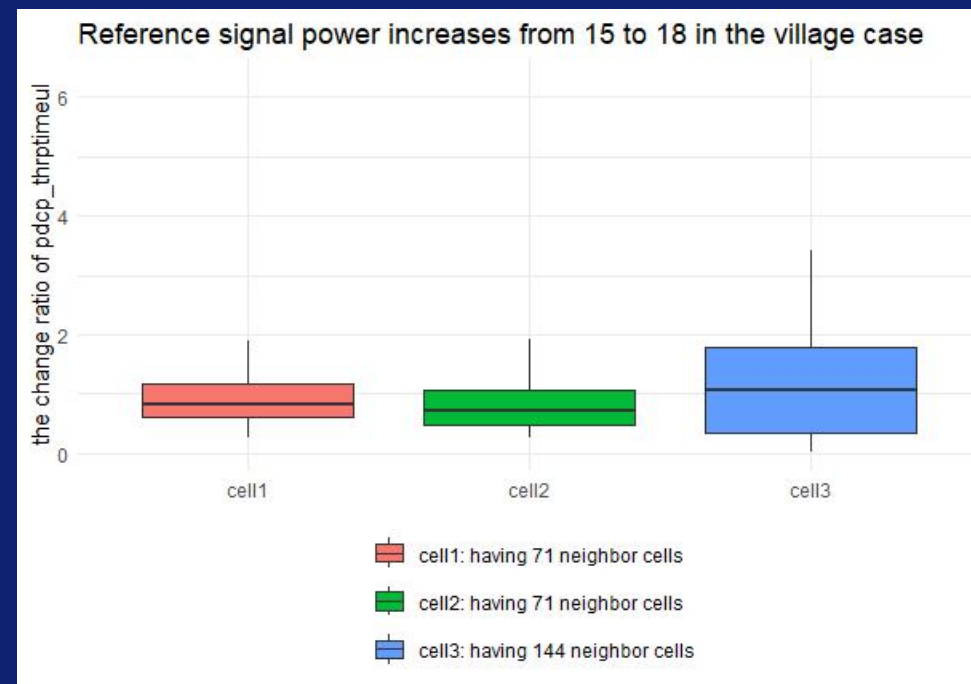
## 试题2. 先验知识+数据挖掘



弱覆盖场景（如乡村）下，KPI对于功率变化的响应可能要弱于强覆盖场景



针对弱覆盖场景，采用保守预估策略  
可体现环境对性能的抑制效应



邻居基站密度可能会影响某些与用户行为高度相关的KPI



构建邻区统计指标修正因子  
能够更加准确反应网络环境影响

# 试题2. 先验知识+数据挖掘启发的整体方案设计

## 01 数据集构建

$$D = \{(h_t, x_k^c(t)) \mid \text{Day}(t) \text{ 为功率变化的当天}\}$$
$$h_t = \{x_k^c(t - a \times 24\text{h} \pm b \times 15\text{m}) \mid 1 \leq a, b \leq 5\}$$

标签：发生功率变化后的数据

数据：依据周期性，选定历史参考数据

## 02 预测框架

$$\tilde{x}_k^c(t) = f_k(s_1, s_2) \times R(h_t)$$

我们认为KPI值的变化由两大因素主导：

**功率变化因素**、时序因素

## 03 时序因素

$$R(h_t) = \frac{1}{2} \times |h_t| + g(s_2 - s_1)$$

基于试题1的解法，结合**功率变化因素微调**，得到KPI的基准预测方案（基于Rank）

## 04 功率因素

$$\hat{f}_k(s_1, s_2) = \left| \frac{s_2}{s_1} \right| + \left| \frac{s_2}{s_1} \right| \cdot \theta_k \cdot \tanh(\lambda_k(s_1 - s_2))$$

针对每个KPI，设计**非线性因子系数**（超参数基于数据集优化）

## 05 特殊场景修正

$$\varphi = (1 + \mu_k) \min(1, 0.01\rho) I(\text{弱覆盖}) + I(\text{强覆盖})$$
$$f_k(s_1, s_2) = \varphi \hat{f}_k(s_1, s_2)$$

针对**弱覆盖场景**，对用户相关KPI，引入和**邻居基站有关的修正系数**（超参数基于数据集优化）

## 试题2. 方案优势与创新点

01

高准确率

单题准确率排名第二，超出决赛入围线~8.73%

02

场景感知力强

有效利用基站场景、邻区数量等信息，针对不同场景采用不同策略

03

极低资源消耗

少量CPU、内存即可快速推理

04

可解释

将KPI的变化建模成时序与功率变化共同作用的结果，所有因子均可解释

05

精细化控制

针对不同KPI优化不同的功率变化因子，解决不同KPI对于功率变化的响应模式不同的问题

# 试题3. 强相关 KPI 赋能功率变动值精准测算方案

01

## 筛选核心KPI

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

将 KPI 的多维度序列转化为单维度特征，计算和功率变化值的相关性，筛选出相关性高的核心KPI

02

## 显著性检验

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

T检验判断KPI特征与功率变动值的相关性，判断相关性是否统计显著

03

## 构建关联模型

$$P = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \cdots + a_nX_n + \epsilon$$

采用“最小二乘法”求解回归系数，确定核心KPI与功率变动值之间的线性关系

## 第三章节

# 总结展望



本方案针由无线网络中的先验知识进行驱动，利用先验知识与数据挖掘的结论构建时序预测与因果预测的解决方案，具有可解释性强、准确性高等优势与创新性。



OpenAIOps AIOPS | 2025 CCF国际AIOps挑战赛  
2025 CCF International AIOps Challenge

# THANKS

主办单位：中国计算机学会（CCF）

承办单位：中国计算机学会互联网专委会、中国科学院计算机网络信息中心、中国移动研究院、清华大学

协办单位：华为2012实验室、阿里云、中兴通讯、中国移动九天团队、南开大学、西安电子科技大学、清华大学计算机科学与技术系、神州灵云