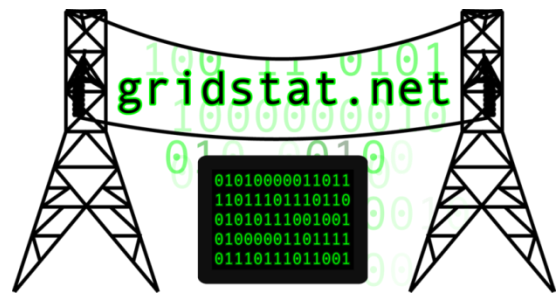


大容量智能电网通信互操作性的 挑战和障碍

Dave Bakken教授

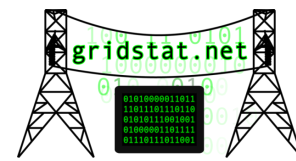
华盛顿州立大学电气工程和计算机科学学院
美国 华盛顿州 普尔曼

智能电网国际论坛
中国 北京
2011年9月29日



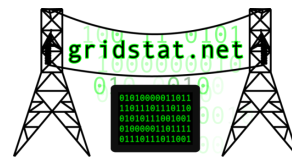
概述

- 本人背景：计算机科学，而非电力专业
- 大容量智能电网的通信
- 通信的互操作性问题
- 更好电网通信的障碍
- 结论
- 补充幻灯片（不做介绍）



背景：应用计算机科学工作者

- 从事网络层以上的“分布式计算”工作
 - 非电力工程师！
- 与Anjan Bose教授（美国国家工程院院士）密切合作13年。
- 20世纪90年代，在BBN研究实验室为美国国防高级研究计划局（DARPA）从事广域数据传输研究工作
- 曾在波音公司工作，担任亚马逊公司顾问等。



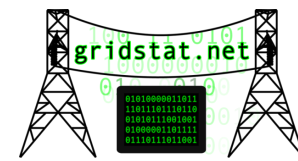
需要更好的通信

- 电网所承载的压力与日俱增

“除2003年8月14日[北美]停电事故是由于最初电力设备问题造成的，其他接连不断的故障几乎都是由未能在正确的时间内向正确的地方提供正确的信息而造成的。”

引自Francis Cleveland, 2007

- 通信不足是造成近期重大停电事故的主要因素
- 实现大容量智能电网的其他挑战包括：
 - 发电量和负荷的增长远高于输电容量的增长（北美）
 - 整合可再生能源
 - 分布式控制
 - 退役运营商（北美）
- 更好的通信可以降低一切挑战
 - 国家电网公司新项目“信息应用支持系统”

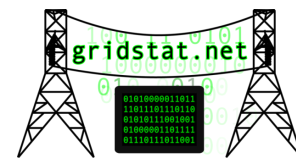


通信与应用互操作性

- 互操作性（“通用连通性”）是关键

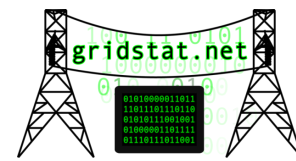
为了创建这一新的输电系统，所需要的是一个全国性的电力通信超级高速公路……。在二十一世纪创建输电系统的终极挑战则在于建设具有通用连通性的通信基础设施。

引自Clark Gellings, US EPRI, 2003 (下划线是我本人所加)



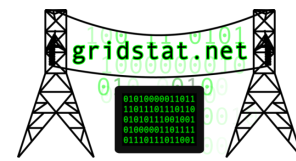
通信与应用互操作性（续）

- “通用连通性”：并非只是网络的可达性，还包括不同硬件和软件资源之间的互操作性
 - 网络技术
 - 计算机体系结构
 - 操作系统
 - 编程语言
 - 不同供应商公用一种标准
- 为程序员提供高级的“构件块”
 - 使他们避免广域网的许多困难和详细信息
 - 让比现在更容易添加新的传感器和应用程序
 - “中间件”软件已在其他行业作为“最佳范例”实施了15~20年
- 支持上述事宜至关重要，但并不容易！



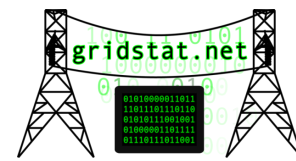
谨慎使用其他行业的软件

- 重要！ 无需白费力气做重复工作： 每一项目都是从零开始
- 其他行业有类似的广域通信程序和传感器
- 美国军方（DARPA） 对于使用商业软件（COTS） 有“风险管理”
- 经验教训适用于大容量智能电网



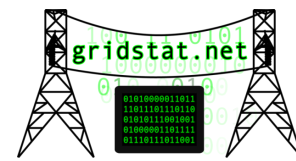
提供“十分关键”的数据传输

- 新兴的电力应用要求极速数据传输（非“人在回路”）
 - 距离超过500~1000km的传输延迟为10~25毫秒
 - 可用率高达99.999%或更高（根据美国电力科学研究院（US EPRI）的资料，有些可用率可达99.9999%）
 - 非常强大的网络安全
 - 非常高的效率
- 比军事、电子商务、B2B等有更高的要求
- 没有这种数据传输，则不可能有新的控制和保护策略！
- 对未来的应用程序和传感器仍需有非常高的灵活性
- 华盛顿州立大学的GridStat项目已在这方面做了大量工作
 - 对北美新兴的“北美同步相量计划网”（NASPI net）的启动具有重大影响
 - 与欧盟委员会项目合作



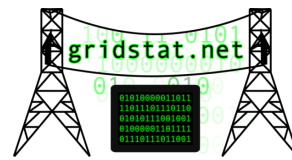
正确标准化

- 标准化非常重要
- 不良标准可造成巨大损害
- 电网通信标准化中的挑战
 1. 对未来电网进行标准化，不只是以往的电网
 2. 只标准化有过实际部署经验的通信技术
 3. 避免不完整的标准化
- 以上三个方面请参阅补充幻灯片



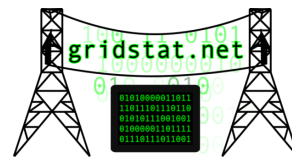
一本即将出版且非常有用的书

- S. Goel, D. Bakken和S. Bush 编辑《*智能电网通信的愿景：2015年，2020年和2030年*》（暂定名）。IEEE通信学会，2011年底。
 - 第一部分：简介和背景
 - 第二部分：用于通信的基础使能技术
 - 第三部分：网络层的通信技术
 - 第四部分：智能电网数据层的通信技术
 - 第五部分：安全、标准和规范
- 更多信息请参考补充幻灯片。



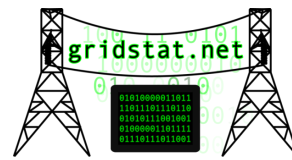
结论

- 智能电网需要更好的广域通信
- 多种互操作性是关键
- 极速数据传输要求使其具有挑战性
- 如果在正确的时间以正确的方法使用标准，标准则是有益的
- 更多信息请参考：
 - D. Bakken, A. Bose, C. Hauser, D. Whitehead, and G. Zweigle. 《智能发电和输电及相干实时数据》（[Smart Generation and Transmission with Coherent, Real-Time Data](#)）. *IEEE会刊*（智能电网专题），2011年6月第99（6）期第928-951页。
 - D. Bakken, R. Schantz, and R. Tucker. 《智能电网通信：QoS烟囱或QoS互操作性》（Smart Grid Communications: QoS Stovepipes or QoS Interoperability），网络互操作性2009（最佳“连通性”论文奖），2009年11月18日，丹佛。网络下载：<http://gridstat.net/publications/TR-GS-013.pdf>



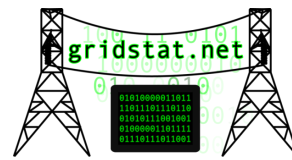
补充幻灯片

1. 有关通信愿景书的更多细节
2. 大容量智能电网通信的其他挑战
3. 其他有用的相关技术资料



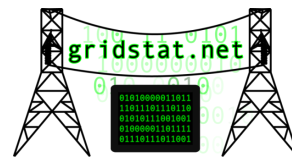
第一部分：简介和背景

- 第1章 未来的智能电网：2030年的愿景 —— Sanjay Goel（纽约州立大学奥尔巴尼分校）和 Dave Bakken（华盛顿州立大学）
- 第2章 当前电网的运行状况——Jeff Dagle（太平洋西北国家实验室）
- 第3章 智能电网中更好通信的机遇——Anna Scaglione和Zhifang Wang（加州大学戴维斯分校）



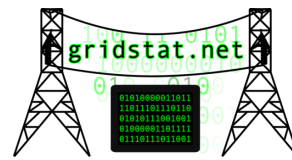
第二部分：用于通信的基础使能技术

- 第4章 通信媒介（1-2层）——Lorenzo Vangelist（帕多瓦大学），Lutz Lampe（英属哥伦比亚大学）和Andrea Tonello（乌迪内大学），Javed I. Khan（肯特州立大学）和Edmond Jonckheere（南加州大学）
- 第5章 信息和图论——Stephen Bush（通用电气公司）
- 第6章 信号处理和控制——Tim Johnson（通用电气公司）和Sekhar Tatikonda（耶鲁大学）



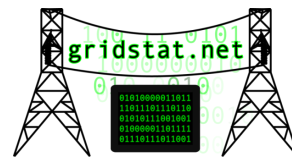
第三部分：网络层的通信技术

- 第7章 **2-4层使能技术**——Michele, Nicola Bua和 Michele Zorzi（帕多瓦大学）
- 第8章 **服务质量机制和通信量特性**——Ajay Mohindra（IBM）



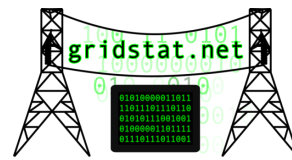
第四部分：智能电网数据层的通信技术

- 第9章 硬实时层叠网络——Chris Develder（根特大学）
- 第10章 系统边缘的点对点技术——Neeraj Suri, Daniel Germanus和Khelil Abdelmajid（德国达姆施塔特技术大学）



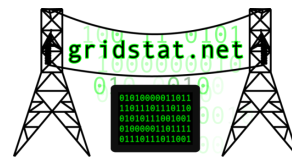
第五部分：安全、标准和规例

- 第11章 安全性和弹性——Sanjay Goel（纽约州立大学奥尔巴尼分校）， Stephen Bush（通用电气公司）和Jeff Dagle（太平洋西北国家实验室）
- 第12章 智能电网的标准——John Boot（通用电气公司）
- 第13章 政策和法规对通信的影响——John Boot（通用电气公司）， John Malkin（通用电气公司）和Sanjay Goel（纽约州立大学奥尔巴尼分校）
- 第14章 新兴技术与应用（颠覆性技术）——编辑



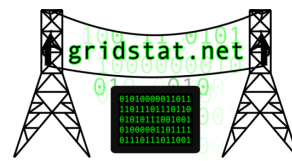
支持幻灯片

1. 有关通信愿景书的更多细节
- 2. 大容量智能电网通信的其他挑战**
3. 其他有用的相关技术资料



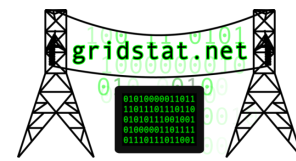
进行优化，使电力公司间的通信量更小且更可控

- 某些方面的条件更有利
 - 否则，前面的要求则不可能满足或费用上难以满足！
- 电力公司间的“骨干”网络比公共或军事网络更可控
- 规模更小（ 10^{3-4} 而非 10^{7-9} 路由器或“转发引擎”）
- 几乎所有的通信量都可以提前知道
- 华盛顿州立大学的GridStat项目系统的研究了上述数据传输技术



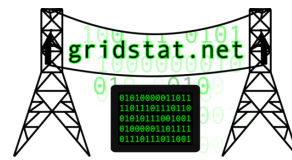
行动缓慢的电力公司（北美）

- 电力公司（和输电运营商等）通常不愿意（除非强制）部署任何更多的技术，特别是信息和通信技术(ICT)
 - 难以使管理层信服
 - 难以使批准该技术的“电价委员会”信服
 - 尤其是对电力公司间的问题则更糟，包括数据共享
- 对北美的电力公司进行了明智的观察：
 - 如美国国家能源实验室的一位工程师所言：“宁做第二勿争第一。”
 - 一位匿名人士曾说：“很乐于使用最新的技术，只要其他所有电力公司已经使用了该技术30年。”
- 诉讼是一个大问题（在增加输电容量过程中）



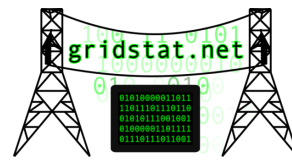
电力行业，而非信息和通信技术行业

- 每人只能专注于几个领域。
- 工程师是有信心解决问题的能手！
 - 一些计算机网络和编程方面的知识
 - “一知半解，自欺欺人。”——托马斯·赫胥黎
 - 其管理人员和研究经费拨付人员也都是电力专业而非信息和通信技术专业
- 其结果往往是
 - 不得不为每一电力公司的每一新的电力应用程序重新实施非常不灵活的硬编码解决方案
 - 不能利用其他行业的实践经验
 - 不能处理前面几页提到的互操作性和构件块
- 信息和通信技术人员配备
 - 信息和通信技术部门人员配备不足
 - 在这样一个非信息和通信技术行业中很难吸引和留住优秀的程序员



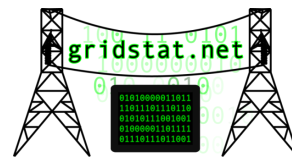
对以往的而非未来的电网进行标准化

- 国家电网公司技术标准规划非常重要
- 许多电网标准大有裨益
- 未来电网与现今电网完全不同
- 不良标准具有很大危害
- 不要假设（暗示或明示）现今的标准（或者甚至在形式或架构方面）能满足未来智能电网的要求！
- 例如：加利福尼亚州一家大型电力公司的首席控制工程师曾说：
 - 2009：无论如何我都不能在任何**我所管辖**的变电站之外使用**[此处省去该标准名字]**，因为它是仅仅为这一变电站内部使用而制定的标准（**暗示该标准不适用于更广泛的网络**）
 - 2011：**我被迫**在变电站**之外**使用**[此处省去该标准名字]**，因为它是“标准”
 - 但标准是为了做什么呢？



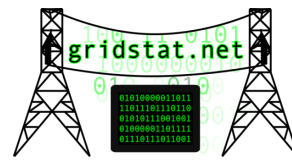
未成熟的标准化

- 一些标准（如IEC 6xxxx）往往在其部署之前、或者在某一实验室实现之前就已制定
- 经验的智慧
 - “任何时候你让没有被实践检验的东西成为规范，你就有麻烦了”
- BBN公司首席科学家Richard Schantz博士，20世纪70年代以来的“中间件之父”
- 极有可能导致持久、极度不可逆转的损害
- 也可能会阻碍甚至扼杀真正具有帮助的伟大想法



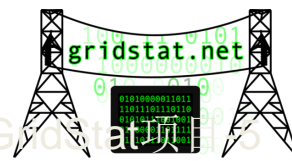
不完整的标准化

- 例如：“多播”（一对多）数据传输协议非常复杂
 - 使其实时更为困难
 - 提供高可用率也更为困难
 - 提供网络安全（而不损害实时性能或可用率）甚至更为困难
 - 冗余数据传输使其更为困难
- IEC 61850-90-5（2010年12月草案）
 - 有关冗余数据传输的内容不足一页（尽管它很重要）
 - 没有提供细节：实施细则和权衡则取决于（某一电力行业的）开发商
 - 不正确地引用RFC 2991标准
 - 然而，已经被美国的一些电力公司采用！



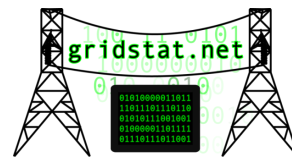
IEC 61850-90-5

- 美国通信冗余至关重要（第8.8节）
- 概述（不足一页），三种不同的网络配置
- 前两种：冗余设计机制“超出范围”
- 第三种：“网状网络提供了并行多路径数据包传输”
 - 据说按照RFC 2991标准确定路径
 - 遗憾的是，RFC 2991标准只是表面上相似，并未讨论、更没解决并行多路径传输
 - 仅仅讨论非并行多路径转发决策
 - 只能各自解决各种实施方案（很难的问题）！



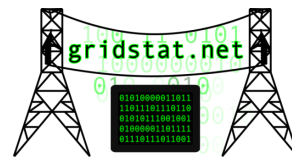
支持幻灯片

1. 有关通信愿景书的更多细节
2. 大容量智能电网通信的其他挑战
- 3. 其他有用的相关技术资料**

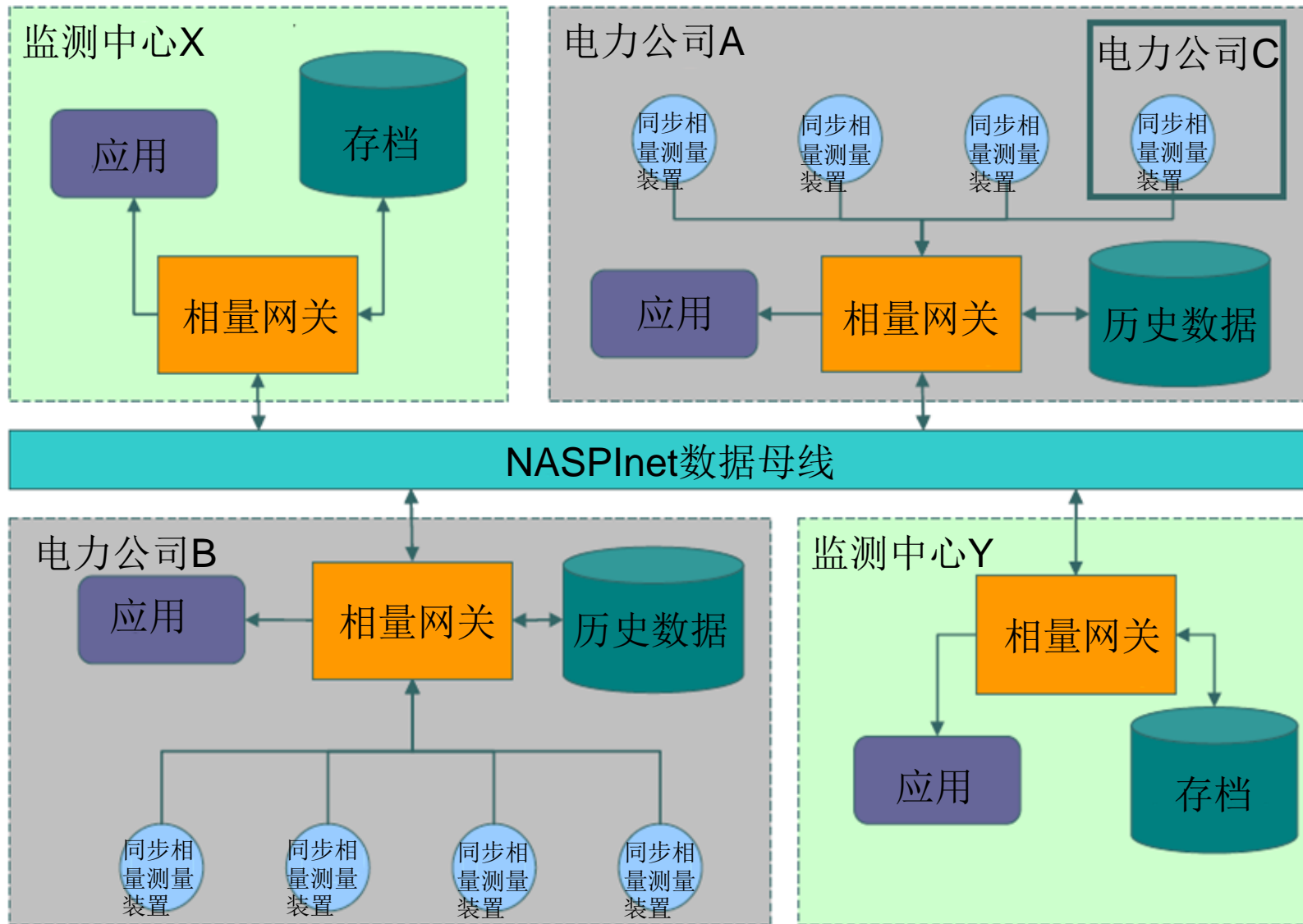


北美同步相量启动计划（NASPI）

- 愿景：“北美同步相量启动计划（NASPI）的愿景是通过广域测量、监测和控制改善电力系统的可靠性。”
 - 同步相量：具有一个非常精确的**GPS**时钟的传感器等
 - 在美国、欧洲等地区的部署越来越多
- 非常需要更好的数据传输服务
 - 不能“以最高速率将任何人可能想要的所有数据发送到控制中心”
- 与“NASPInet”服务规范密切相关
 - 许多要求来自于**GridStat**项目研究（引用）

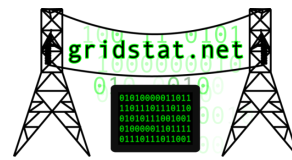


NASPInet概念架构



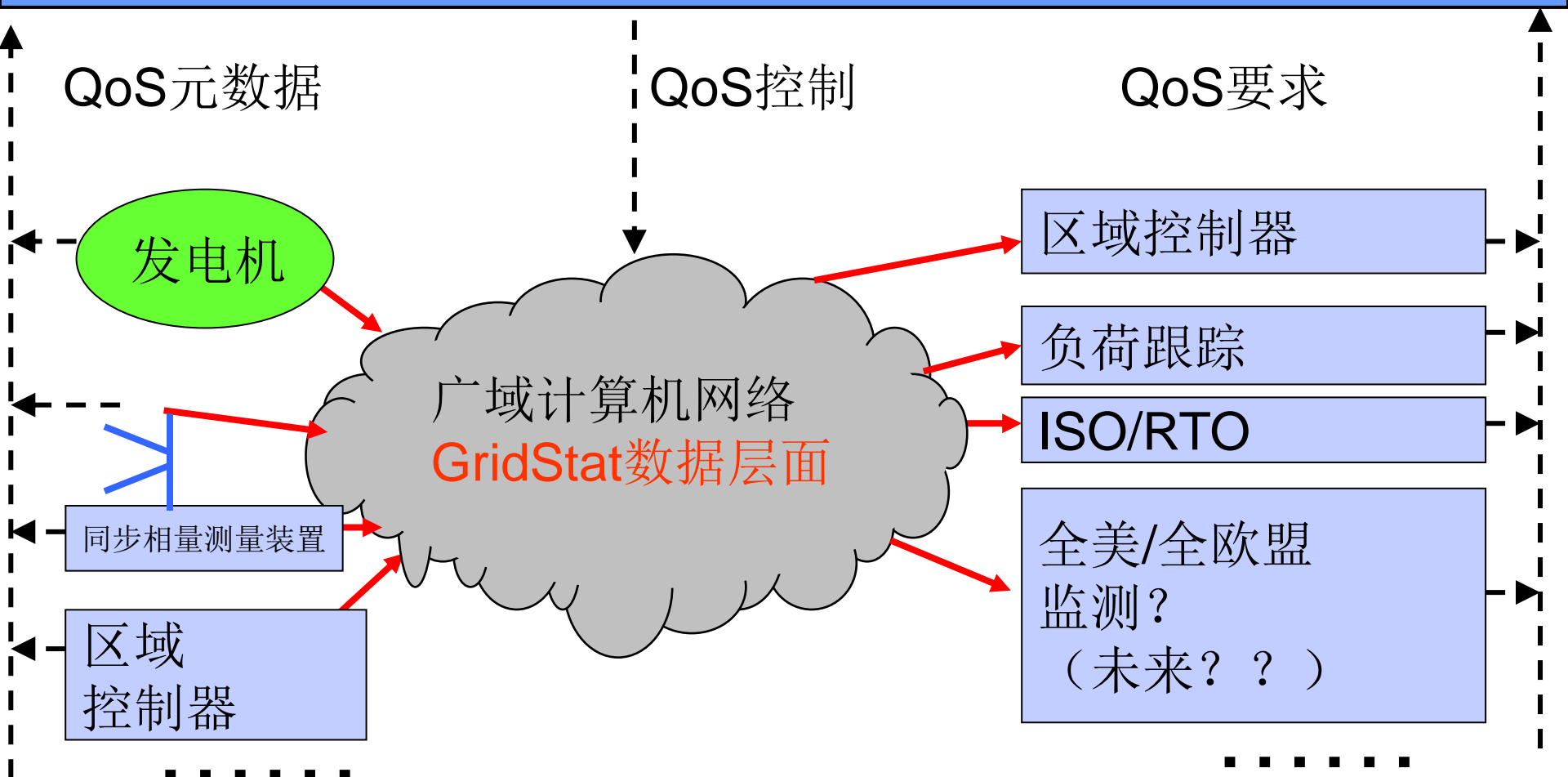
GridStat项目是什么？

- 对所需电网实时数据传输监测服务的方法和原因进行的自下向上的再思考
- 自2001年以来在编码方面最具综合性、最有前途的数据传输软件套件
 - 基于速率的发布/订阅，同一个变量的不同订阅者可以得到不同的QoS+{速率、延迟、路径数}
- 少有的EE（电力）和CompSci（分布式计算、网络等）研究人员的合作
- 影响NASPI新兴数据传输的要求和架构



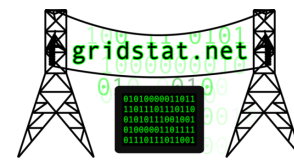
GridStat (GS) 项目的功用

GridStat管理层面

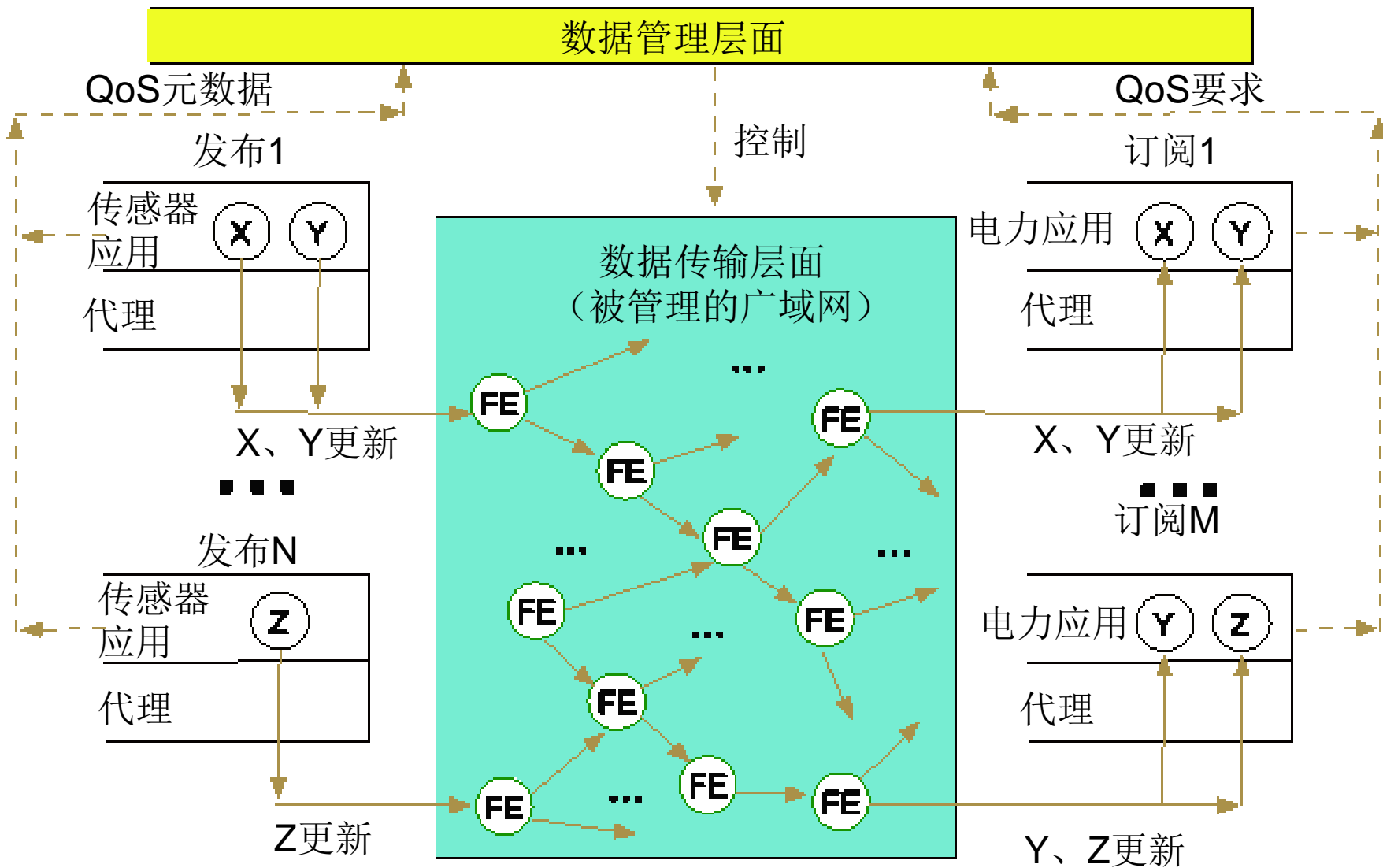


发布者

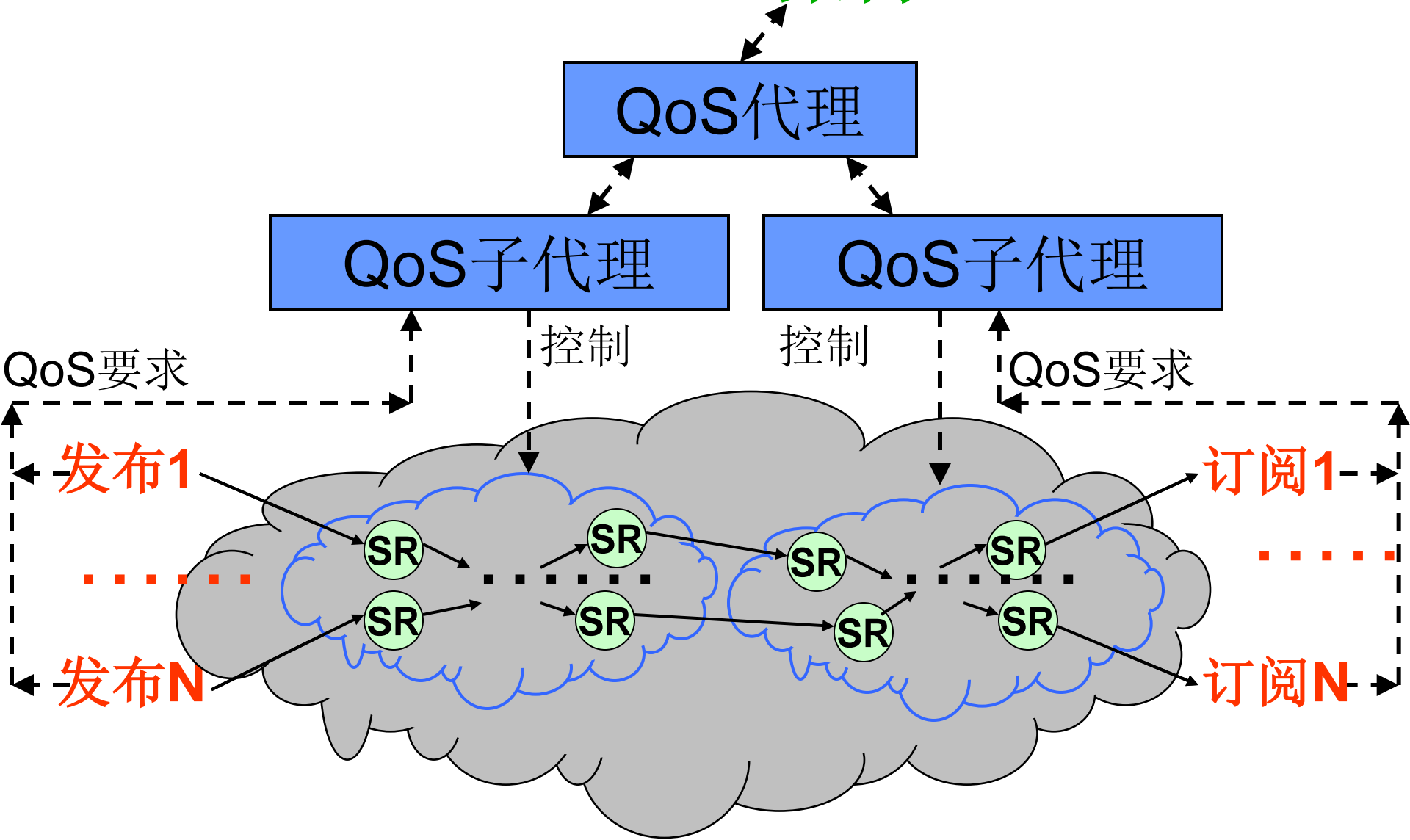
订阅者



GridStat架构

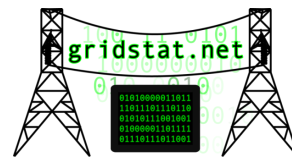


GridStat架构



GridStat模式

- 观察
 - 路径分配算法复杂，对于 10^3+ 危机不适用
 - 但电网计划方式提前
- GridStat支持运行模式
 - 可以快速切换转发表
 - 在危机中可避免超载订阅服务
- 分层
 - 可以定义j级别，强制级别 $\geq j$
 - 意味着在一个给定的转发引擎（FE）中同时可有多种模式生效
 - 粗糙的资源提供方式
- 两种转换算法：泛洪和多级确认



多级别应急计划和适配

- 电力举例：对协同的应用研发

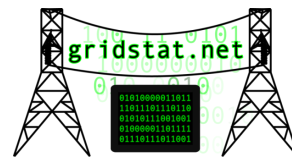
1. 电力动态应急计划
2. 获得新应急数据的切换模式
3. 针对应急的新的可视化

涉及下列应急事件

- A. 电力异常
- B. 信息技术故障
- C. 网络攻击

- 最新技术发展水平和实践：仅1和A，离线

- 很可能： $\{1、2、3\} \times \{A、B、C\}$ ，且在线



甩数据负荷

- 电力公司在危机中可以甩负荷（我称之为甩电力负荷）（但会伤害/惹恼用户）
- GridStat使用数据负荷成为可能
 - 订阅者所期望的与可接受的最坏QoS（速率、延迟、冗余）已经捕获，可以轻松扩展添加优先级
 - 在某一危机中，可以甩数据负荷：从其所期望的QoS甩至其可容忍的最坏情况（基于优先性，最终可能会造成干扰）
 - 使用GridStat的操作模式工作得非常好
 - 注：这可以防止数据全失，也不会激怒用户
- 所需的范例研究：为了防止突发事件和扰动时数据全失，对甩数据负荷的可能性进行系统研究，包括不同电力应用可能/应该具有的优先性.....
- 使关键的基础设施与数据通信的基础设施相适配，减少信息技术故障、网络攻击、电力异常等。

