分布共享数据服务理论与技术研究

魏恒峰
导师: 吕建　黄宇

南京大学软件所

May 25, 2016

分布共享数据服务理论与技术研究

分布式应用

开放互联的网络环境下, 网络应用 (web applications) 分布部署.
TODO: 图: 分布式应用 (Weibo social network 举例)

分布式应用

应用三层架构: 表示层, 业务层, 数据层

TODO: 图: 三层架构

数据层中间件:

- 屏蔽底层数据具体形态
- 简化业务层开发

数据层中间件$\mathbf{H^3L}$特性:

- high availability
- high fault-tolerance
- high scalability
- low latency

分布式应用

应用三层架构: 表示层, 业务层, 数据层

TODO: 图: 三层架构

数据层中间件:

- 屏蔽底层数据具体形态
- 简化业务层开发

数据层中间件$\mathbf{H^3L}$特性:

- high availability
- high fault-tolerance
- high scalability
- low latency

数据形态: 共享数据 (shared data) vs. 分布数据 (distributed data)

数据层: 共享数据

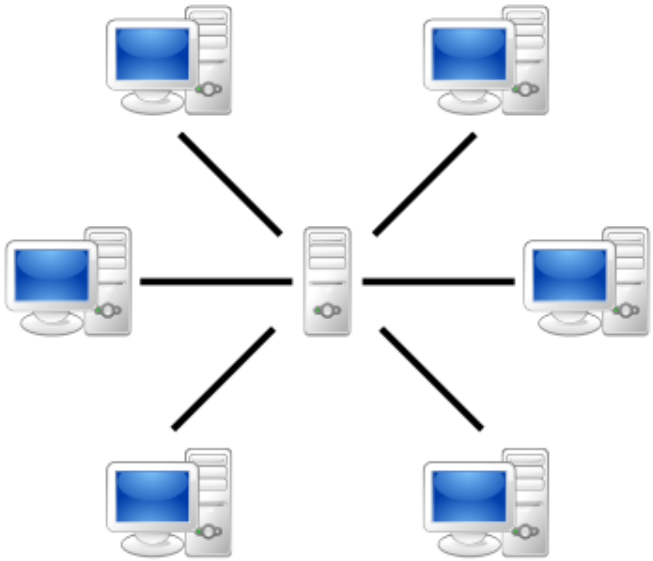


图: (集中式) 共享数据系统 **TODO: 重绘**.

- 单点故障 $\not\Rightarrow$ high availability
- 性能瓶颈 $\not\Rightarrow$ low latency
- 超荷负载 $\not\Rightarrow$ high scalability

数据层: 分布数据

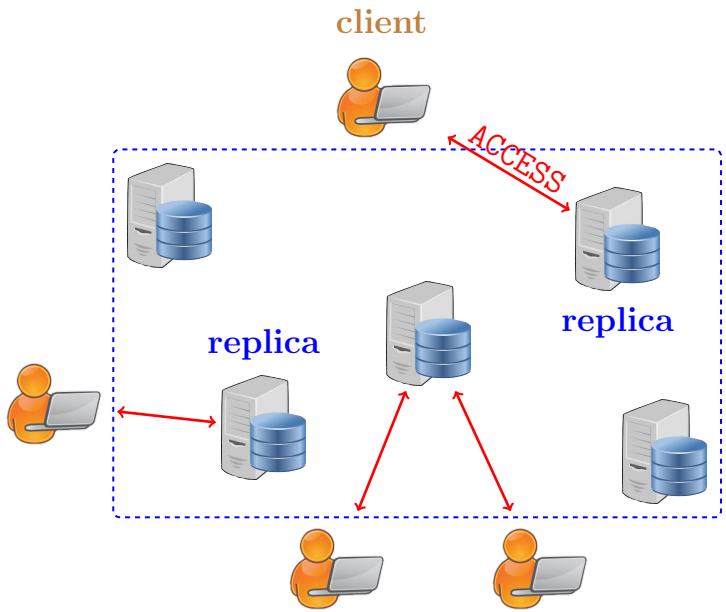


图: 分布数据系统 **TODO:** 动画: partition+replication.

distributed data : partition + replication

分布数据应用举例 (I)

图: 分布式存储系统 (开源 [左] & 商用 [右]).

应用需求 [Facebook@OSDI'10] vs. "分布数据":

低延迟: 就近访问副本数据

高可用性, 高容错性: 备份容灾

分布数据应用举例 (II)

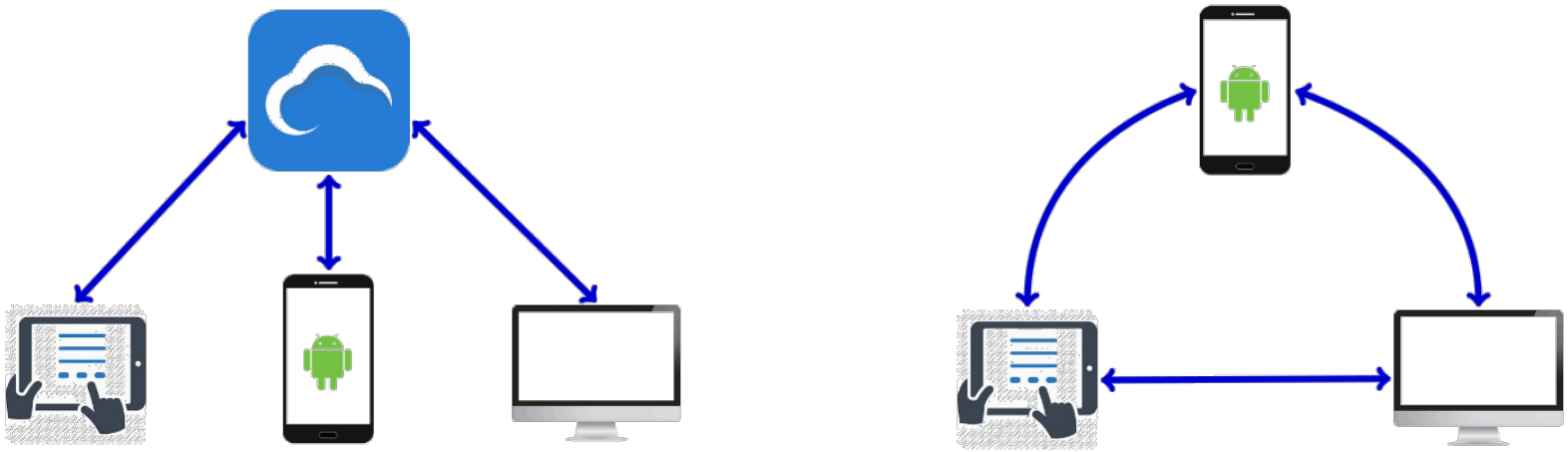


图: 个人多设备文件共享 ([基于云] C/S 结构 [左] & P2P 结构 [右]).

应用需求与特点 [Strauss@MIT Thesis'10] vs. "分布数据":

- 功能需求: 文件副本
- 网络断连: 备份容灾; 离线可用

分布共享数据服务理论与技术研究

面向共享数据的编程模型

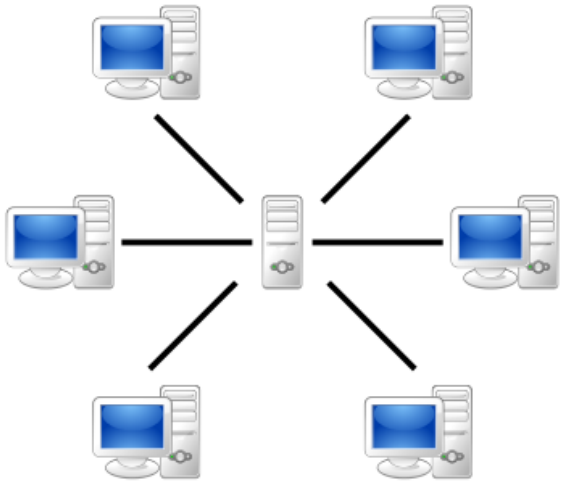


图: (集中式) 共享数据系统 **TODO:** 重绘.

共享变量编程模型 (**TODO:** happy programmer):

- 数据层: 数据建模为变量
- 业务层: 读—计算—写
- 变量全局唯一 (one-copy)
- 隐含假设: 变量随时可访问
- 读操作返回最新值

面向分布数据的编程模型 (I)

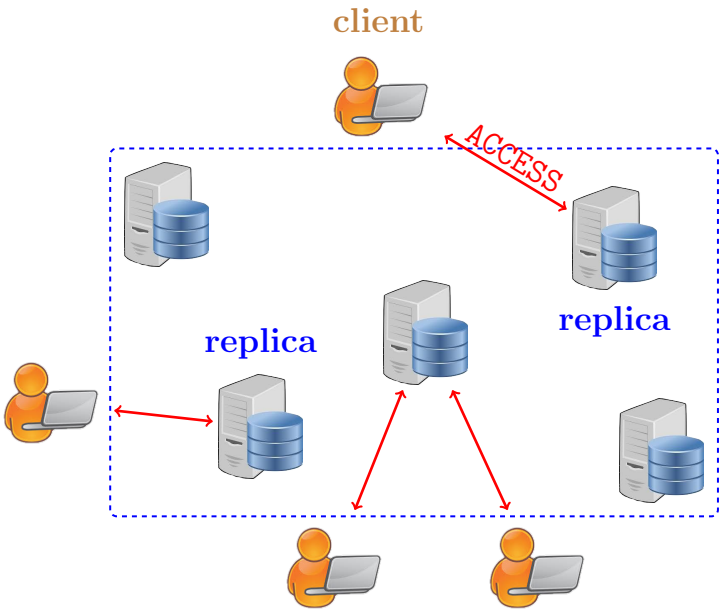


图: 分布数据系统.

共享变量编程模型与分布数据不匹配:

- 数据副本 (replication)
- 没有全局唯一变量的概念
- 节点/通讯故障
- 读操作语义无定义

面向分布数据的编程模型 (II)

消息传递编程模型:

- 读/写 + 通信 (communication)
- 从哪里读
- 写哪里去
- 如何理解返回值
- 如何处理失败

面向分布数据的编程模型 (II)

消息传递编程模型:

- 读/写 + 通信 (communication)
- 从哪里读
- 写哪里去
- 如何理解返回值
- 如何处理失败

消息传递编程模型的缺点: (**TODO:** unhappy programmer)

- 数据层: 暴露分布数据细节
- 业务层: 难于编程
- 数据层: 数据语义不明确
- 业务层: 难于保证程序正确性

面向分布数据的编程模型 (III)

共享变量编程模型与分布数据不匹配的根本原因:
分布数据一致性问题

定义 (数据一致性问题 (非形式化定义))

读操作语义问题: 在分布数据环境下, 读操作允许返回什么值?

面向分布数据的编程模型 (III)

共享变量编程模型与分布数据不匹配的根本原因:
分布数据一致性问题

定义 (数据一致性问题 (非形式化定义))

读操作语义问题: 在分布数据环境下, 读操作允许返回什么值?

如何理解数据一致性问题:

1. 数据层数据一致与否是相对于业务层逻辑而言的
2. 可通过业务层出现的异常行为 (anomalies) 来衡量数据是否一致

数据一致性问题举例 (I)

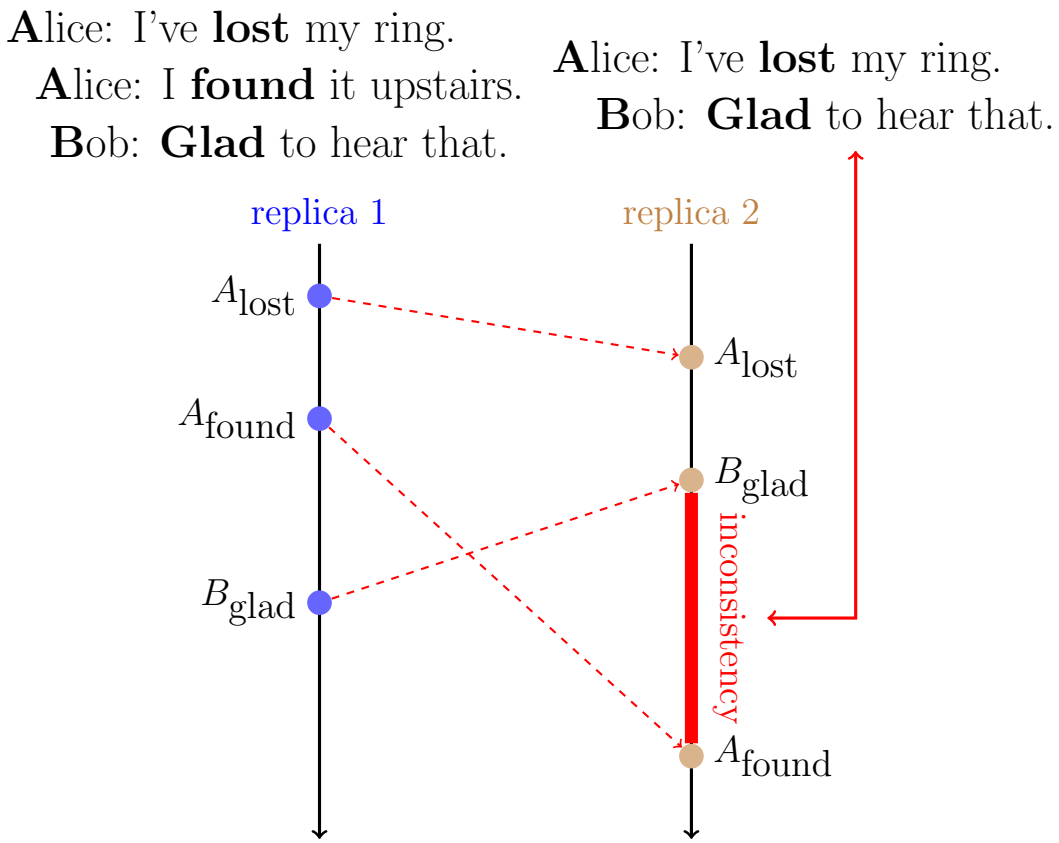


图: 社交网络中, 消息-评论乱序 [Lloyd@CACM'14].

数据一致性问题举例 (II)

图: 多设备文件共享时, 更新丢失 $(\#N = 3, \#W = 2, \#R = 1)$.

数据一致性问题举例 (II)

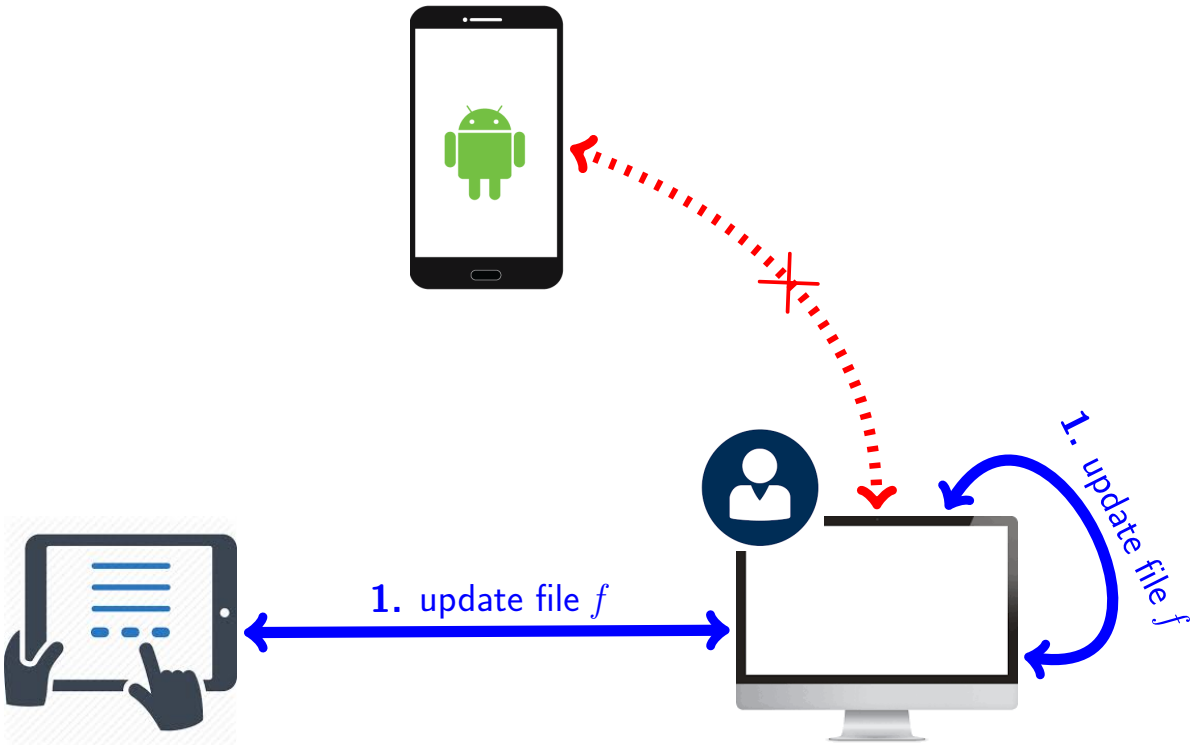


图: 多设备文件共享时, 更新丢失 $(\#N = 3, \#W = 2, \#R = 1)$.

数据一致性问题举例 (II)

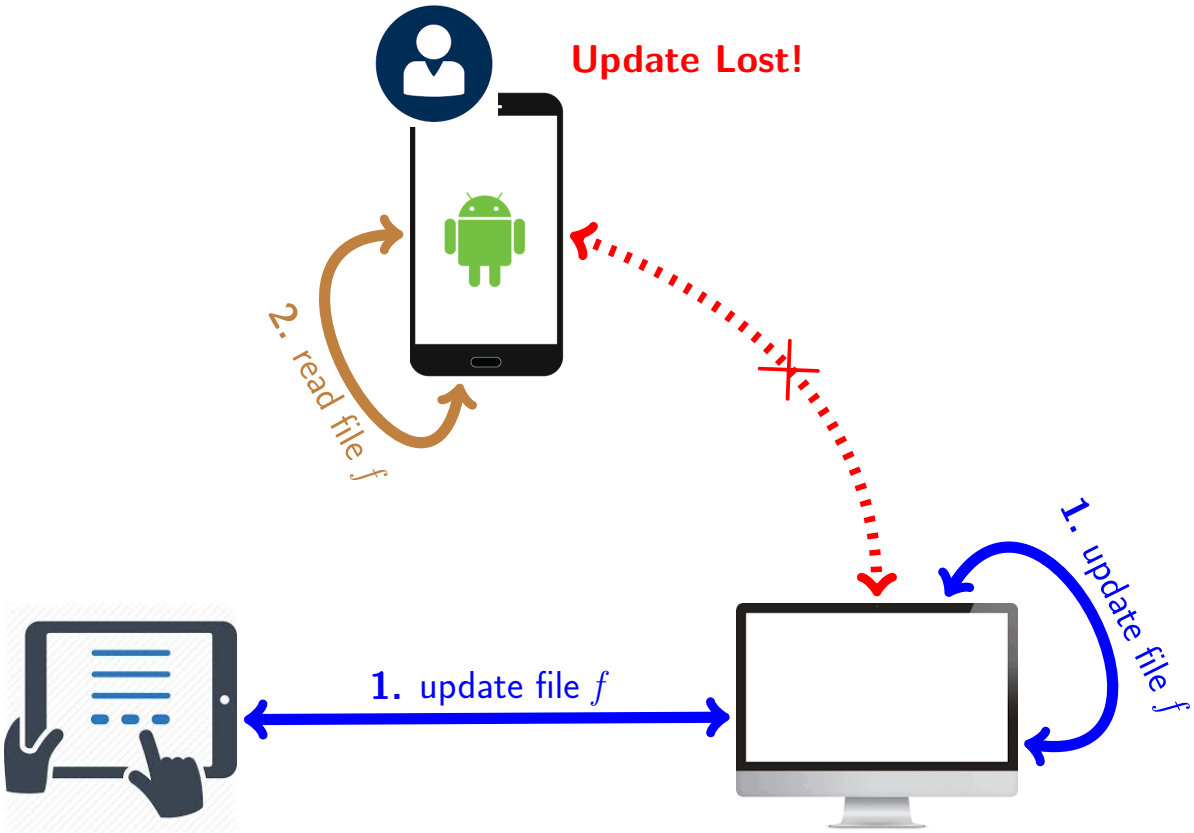


图: 多设备文件共享时, 更新丢失 $(\#N = 3, \#W = 2, \#R = 1)$.

面向分布数据的编程模型 (IV)

共享变量编程模型与分布数据不匹配：数据一致性问题

消息传递编程模型：业务层显式处理数据一致性问题

- 理论难度大，实现繁琐
- 处理不当：异常

面向分布数据的编程模型 (V)

问题:

如何解决共享变量编程模型与分布数据不匹配的问题？

分布共享数据服务：在分布数据之上提供共享数据的假象

面向分布数据的编程模型 (V)

问题:

如何解决共享变量编程模型与分布数据不匹配的问题?

分布共享数据服务: 在分布数据之上提供共享数据的假象

业务层: 采用 "自然的" 共享变量编程模型

数据层: 分布数据

面向分布数据的编程模型 (V)

问题:

如何解决共享变量编程模型与分布数据不匹配的问题?

分布共享数据服务: 在分布数据之上提供共享数据的假象

业务层: 采用 "自然的" 共享变量编程模型

分布共享数据服务: 专注分布数据一致性问题, 实现分布数据透明性

- 屏蔽消息传递编程模型的通信细节
- 形式化定义读操作语义

数据层: 分布数据

分布共享数据服务应用举例 (I)

```
// Alice's post
put(key = lost_msg, val = "lost")
put_after(key = found_msg, val = "found", dep = lost_msg)

// Bob's reply
get(key = found_msg)  // get "found"
put(key = glad_msg, val = "glad", dep = found_msg)

// Eve's view
read(key = glad_msg)  // get "glad"
read(key = found_msg) // get "found" instead of "NULL"
```

Listing 1: 在社交网络应用中使用满足 “因果一致性” 的共享变量.

分布共享数据服务应用举例 (II)

Another example: coordination???

分布共享数据服务理论与技术研究

1. 研究背景
2. 研究问题
3. 研究方法
   - 理论模型: 分布共享数据
   - 技术途径: 三维框架

分布共享数据服务理论与技术研究

1. 研究背景
2. 研究问题
3. 研究方法
   - 理论模型: 分布共享数据
   - 技术途径: 三维框架

分布共享数据 (I)

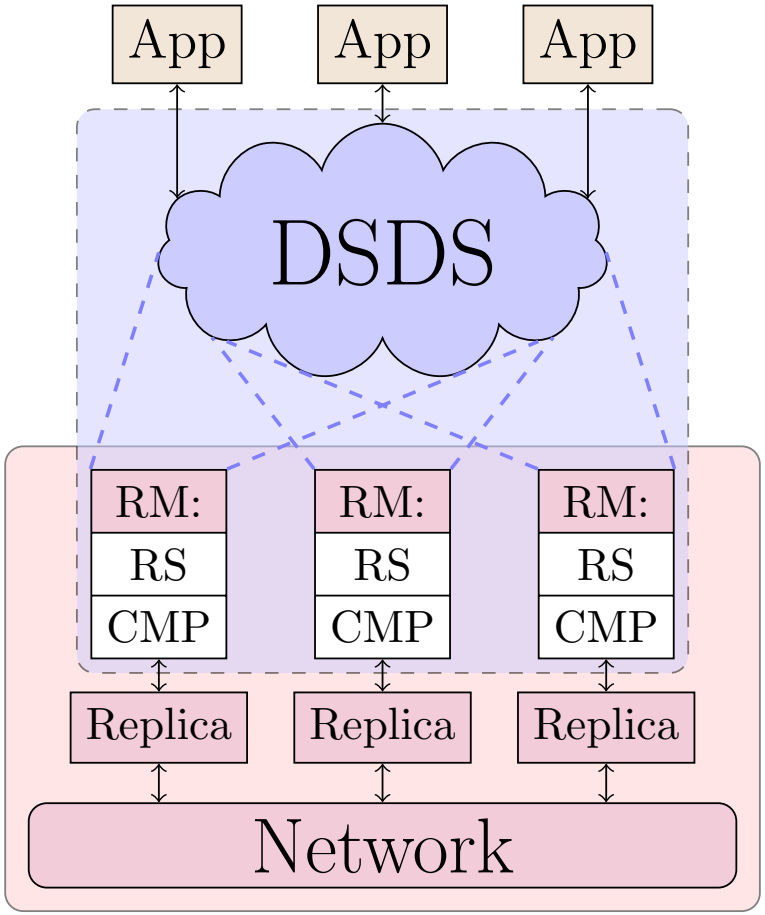
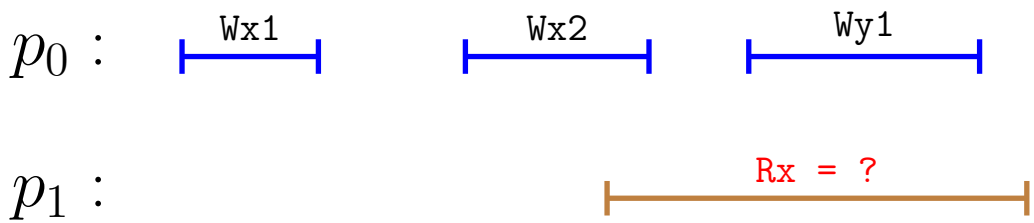


图: 分布数据共享服务.

分布共享数据 (II)

x, y : 共享变量　　p_0, p_1 : 客户进程

多进程并发提交 (读/写) 操作:



问题: 读操作允许返回什么值?

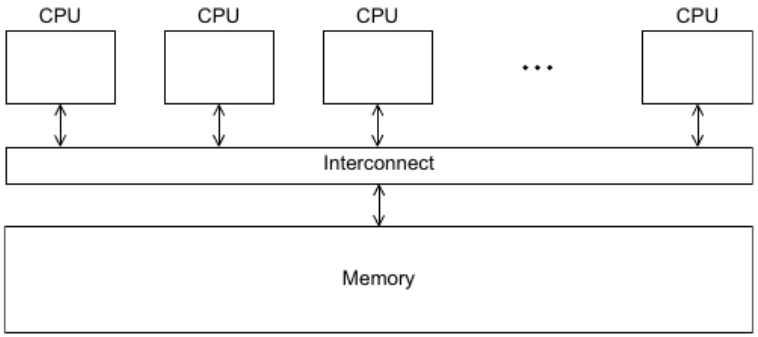
不同一致性 $\underset{\text{定义}}{\overset{\text{规定}}{\rightleftharpoons}}$ **不同合法返回值**

分布共享数据 (III)

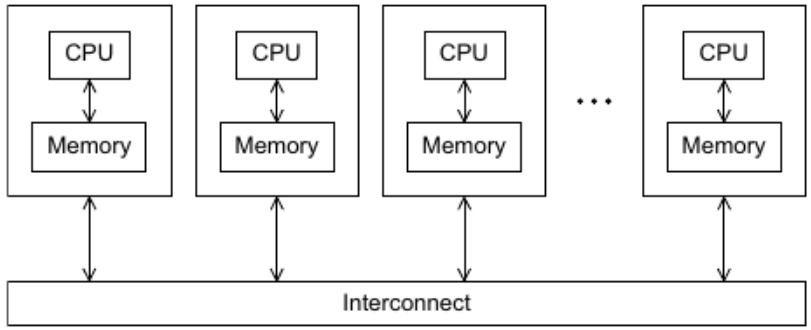
基本定位: 传统概念应用于新型平台

分布共享数据服务: 分布共享内存模型 + 分布数据系统

分布共享内存 (I)



(a) 共享内存系统.



(b) 分布内存系统.

图: 多处理器系统体系结构 **TODO:** 重绘.

分布共享内存 (II)

分布内存系统实例: 按系统耦合度分类

分布共享内存 (III)

分布共享内存: 在分布内存之上提供共享内存的假象

TODO: 图: 分布共享内存 (from Kai Li)

分布共享数据 (IV)

问题空间: 传统问题, 新平台, 新挑战 (**TODO: 总结**)
目的: 并行编程
实现手段: 硬件/操作系统

分布共享数据服务理论与技术研究

1. 研究背景
2. 研究问题
3. 研究方法
   - 理论模型: 分布共享数据
   - 技术途径: 三维框架

分布共享内存中的数据一致性问题

数据一致性问题的三个层面:

1. 虚拟共享数据有什么? ▶ 数据类型
2. 上层接口语义是什么? ▶ 一致性模型
3. 底层消息传递为什么? ▶ 一致性保障

研究框架

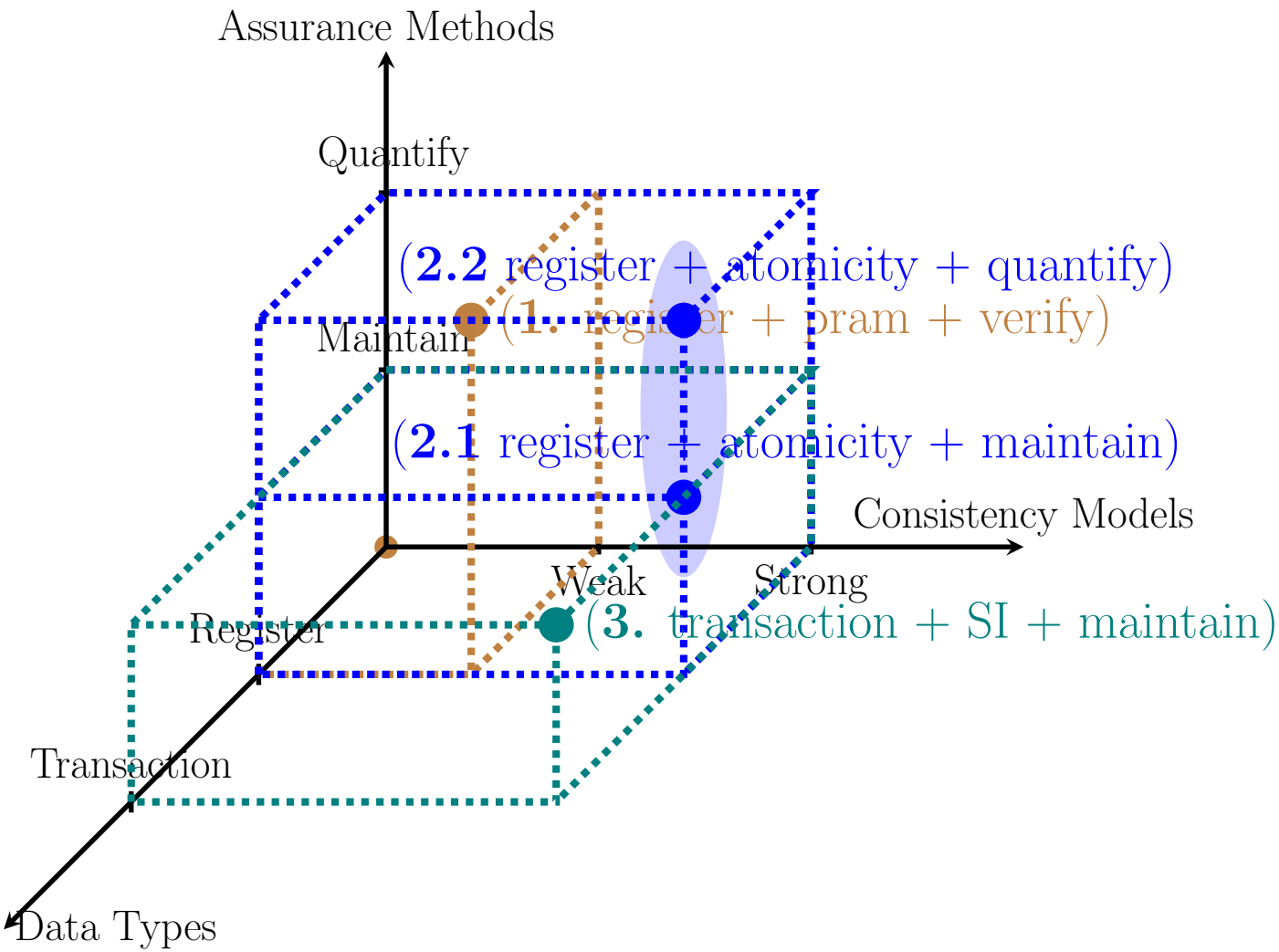


图: 数据一致性及保障技术研究框架

研究挑战

用户对一致性的需求:

1. 多样化, 可定制 [Terry@CACM'13]

2. 精细化, 可度量 [Bailis@VLDB'12]

研究挑战

用户对一致性的需求:

1. 多样化, 可定制 [Terry@CACM'13]
   - 多样化:
     - 一致性族: causality; read-your-writes (RYW)
     - 参数调节: 提供 "有限度" 的不一致 [Yu@TOCS'02]
   - 可定制: 混合使用, 运行时可变
2. 精细化, 可度量 [Bailis@VLDB'12]

研究挑战

用户对一致性的需求:

1. 多样化, 可定制 [Terry@CACM'13]
   - 多样化:
     - 一致性族: causality; read-your-writes (RYW)
     - 参数调节: 提供 "有限度" 的不一致 [Yu@TOCS'02]
   - 可定制: 混合使用, 运行时可变
2. 精细化, 可度量 [Bailis@VLDB'12]
   - 精细化: "在大多数情况下, 访问到一致数据"
   - 可度量: 量化系统执行, 后验系统对一致性的满足程度