



数据驱动的移动Web软件分析与优化



刘譞哲



北京大学

数据驱动的移动 Web软件分析与 优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望



通用计算机软硬件栈

浏览器的重要性：万维网的“操作系统”



各种主流浏览器



90%以上的App
内置浏览器



北京大学

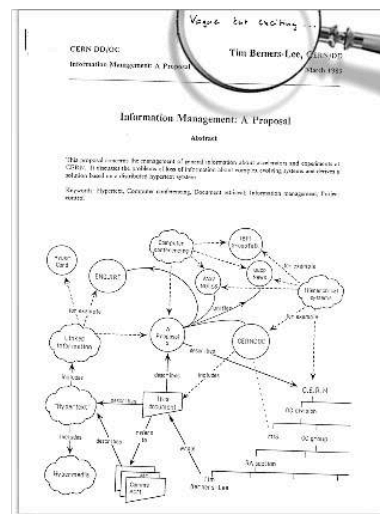
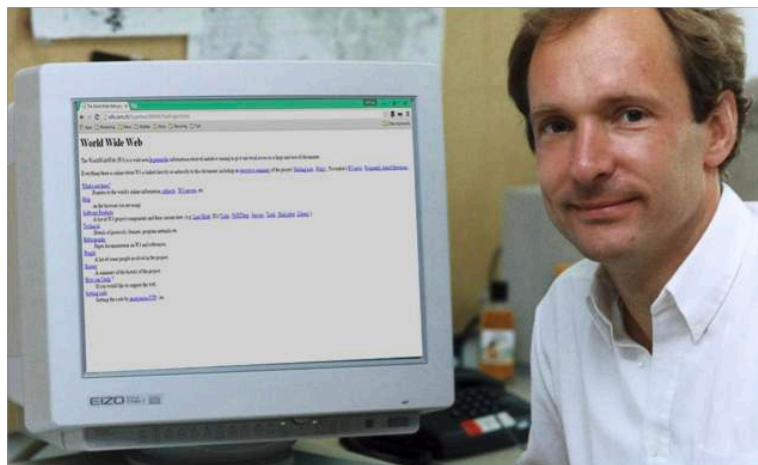
数据驱动的移动 Web软件分析与 优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望



Web：互联网上应用最广泛的软件系统

相当长一段时期内，某种程度上Web ≈ 互联网



门户网站、微博、社交网络、
电子邮件、SaaS、Apps...



2016年图灵奖获得者 Tim Berners-Lee

- 1990年编写了第一个Web网页
- 实现了第一个Web Server httpd和第一个浏览器WorldWideWeb



北京大学

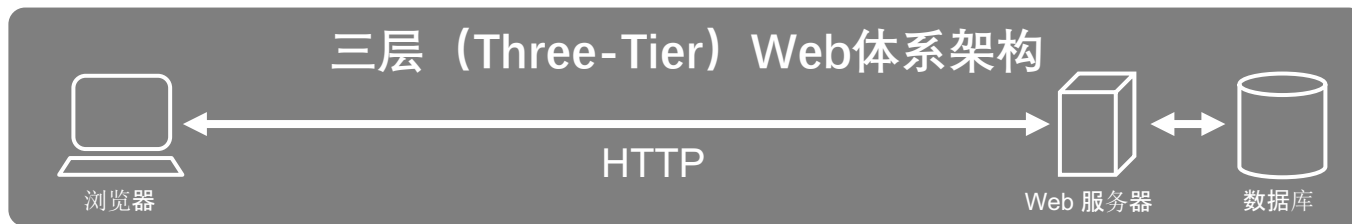
数据驱动的移动 Web软件分析与 优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

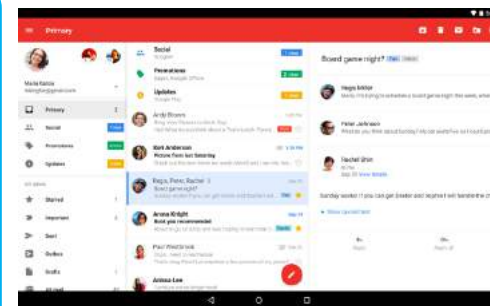
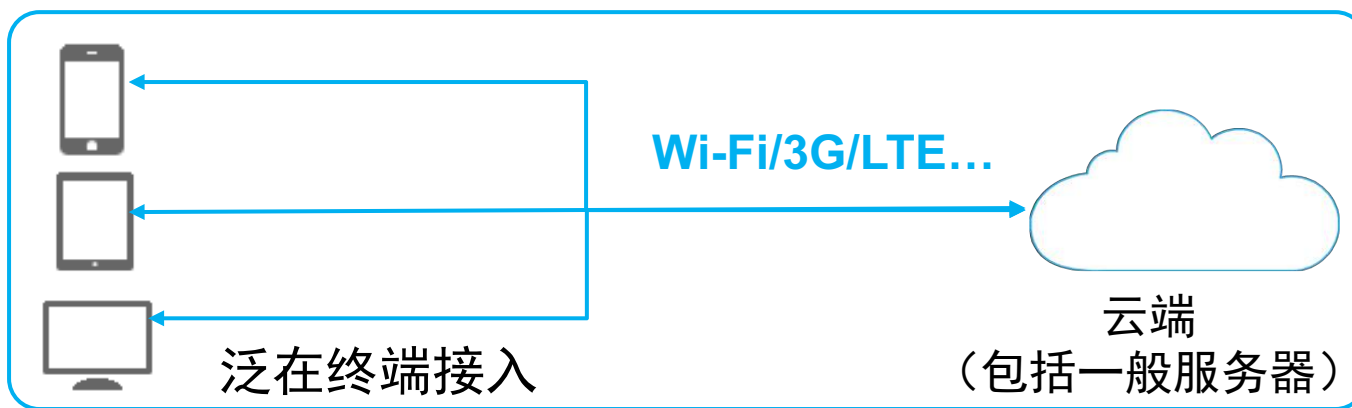


Web系统体系结构的演进

Yahoo ! (1995)



Gmail (2018)



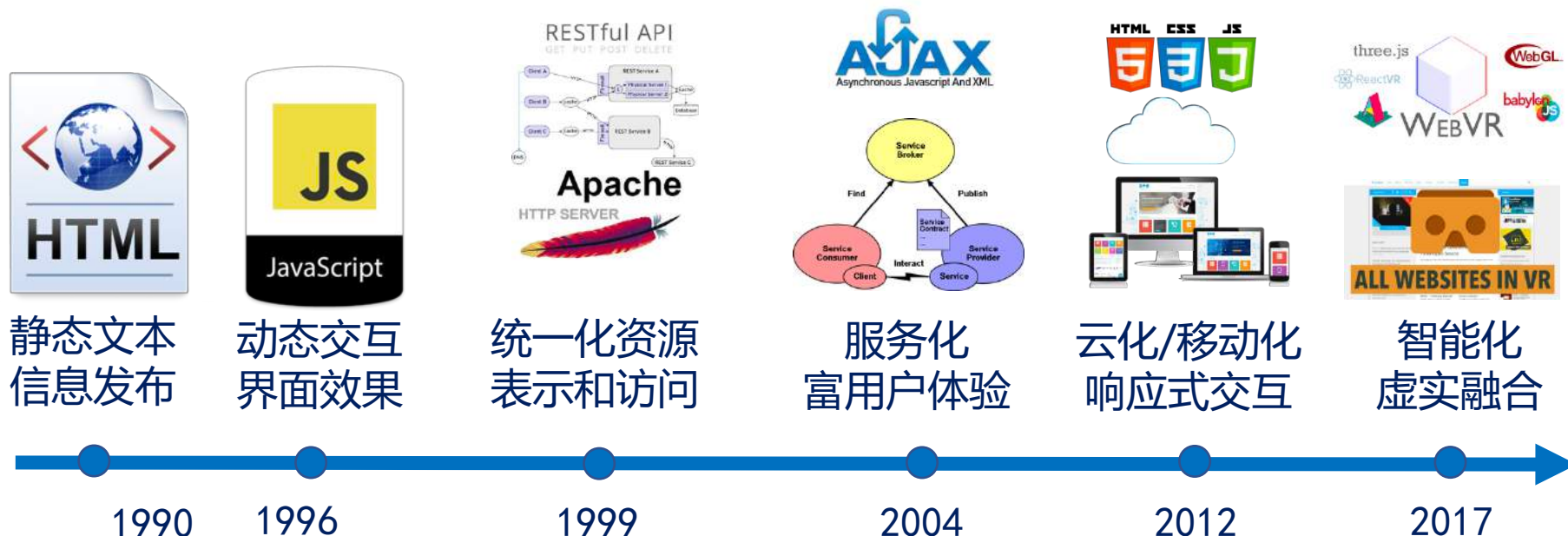
北京大学

数据驱动的移动 Web软件分析与 优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

从软件技术角度看Web的发展

软件技术的发展是Web取得成功的核心驱动力



北京大学

数据驱动的移动 Web软件分析与 优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

Web软件系统研究视角的演变

正确性为核心，相对单一、通用化的服务质量（QoS）

综合化、个性化、场景化的用户体验（QoE）



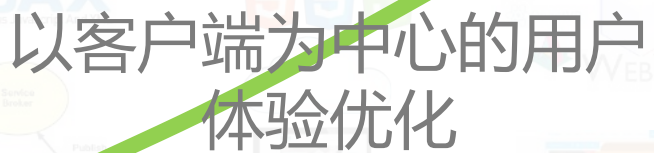
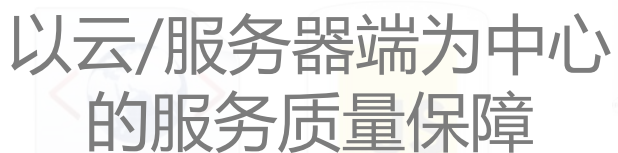
北京大学

数据驱动的移动 Web软件分析与 优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

Web软件系统关注点的转移

Web 应用开发者服务提供者无法预知每个用户的使用情境
决定了可信性保障重心必须向客户端转移



数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

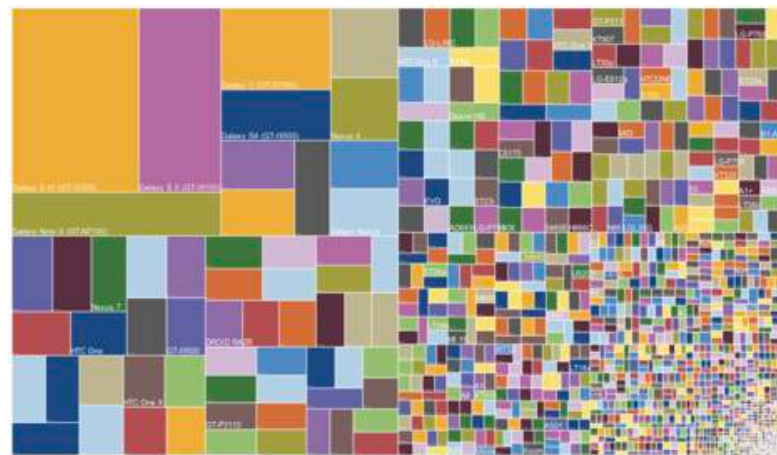


从Web客户端软件栈看QoE面临的挑战

挑战1：“碎片化”终端设备在硬件能力的“异构性”



同一应用在不同终端设备上的表现不同



市面上在售的Android智能手机型号
超过2万种



北京大学

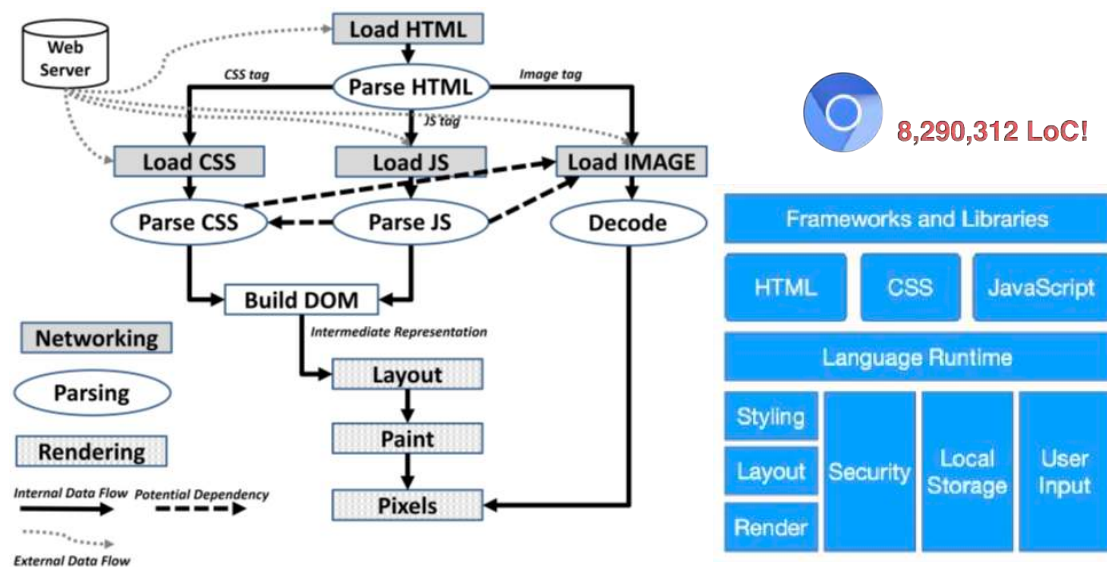
数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望



从Web客户端软件栈看QoE面临的挑战

挑战2：浏览器运行时资源调度管理的“复杂性”



浏览器已经成为Web应用“专用”的“操作系统”



北京大学

数据驱动的移动 Web软件分析与 优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

挑战3：Web应用功能和体验愈加丰富，计算逻辑复杂



jQuery、WebGL等新型开发框架不断涌现并被广泛应用



Web应用已不再限于简单的前端内容显示，功能和逻辑日益丰富和复杂，更接近“原生”应用，还出现了新型Web AI应用



北京大学

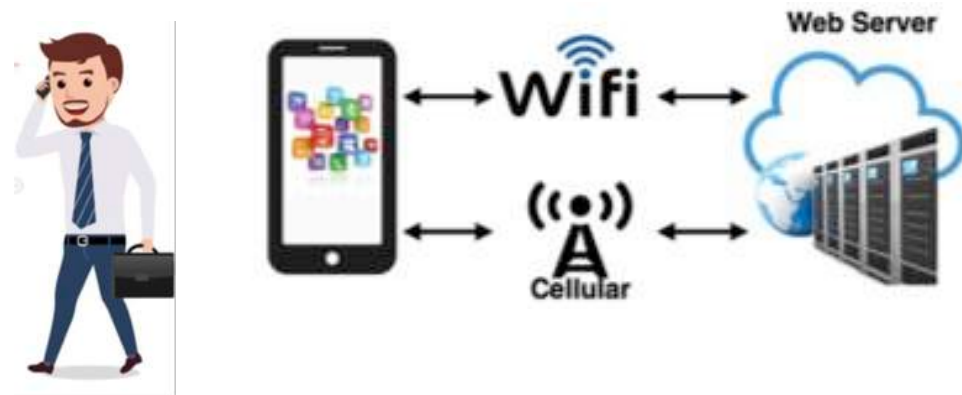
数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望



从Web客户端软件栈看QoE面临的挑战

挑战4：用户行为的“个性化”和使用情境的“动态性”



用户的使用行为千差万别，所处的情境也动态变化



北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

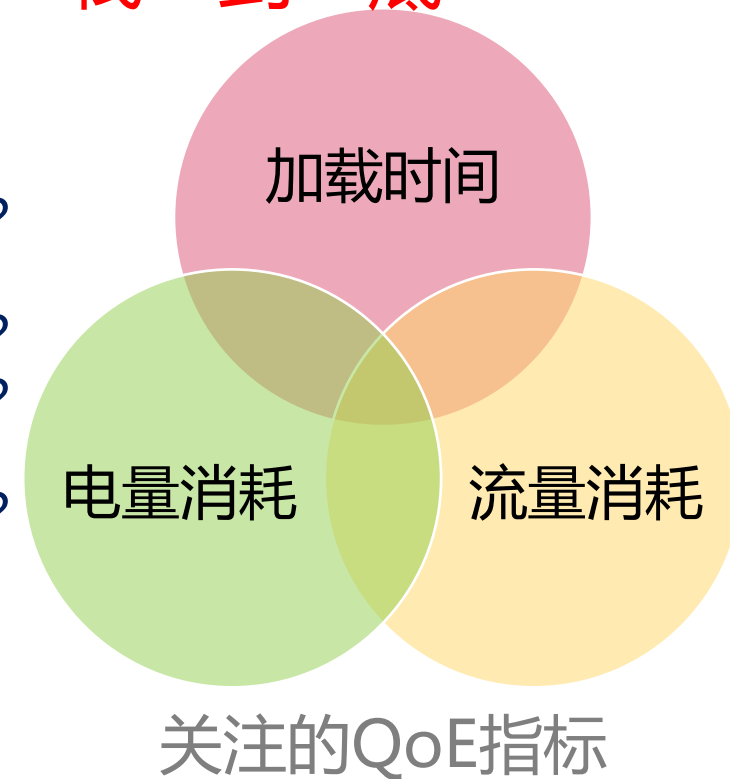
- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

数据驱动的Web软件QoE分析与保障 (2010-)

研究思路：数据驱动，一“栈”到“底”



- 用户怎么使用？
- 实现是否合理？
- 能否优化应用？
- 能否不改应用？



北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

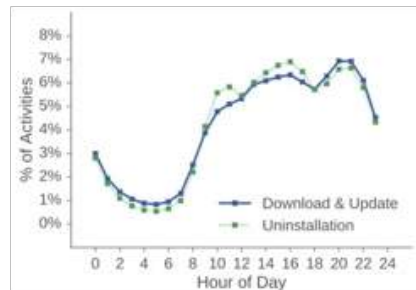
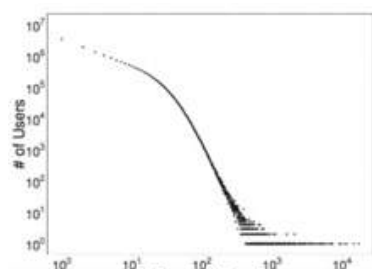
- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望



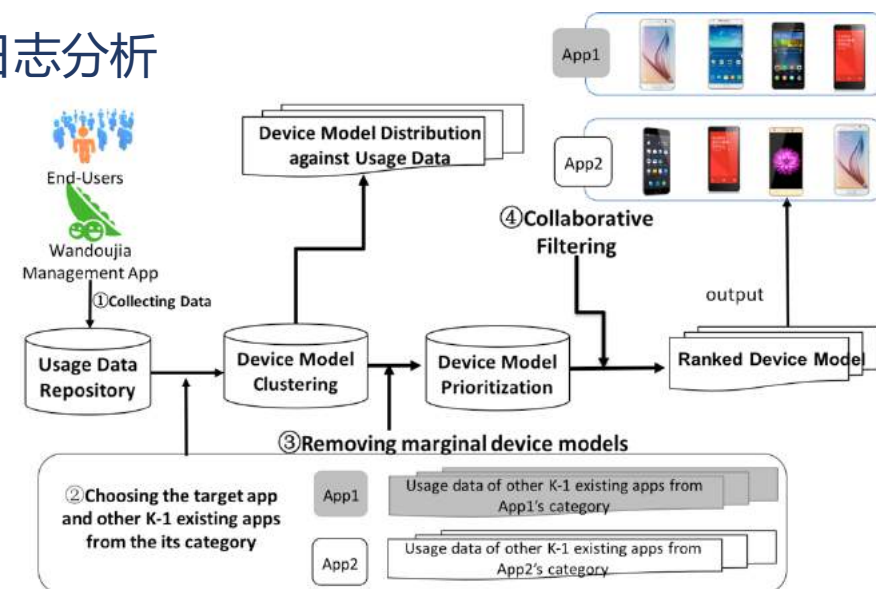
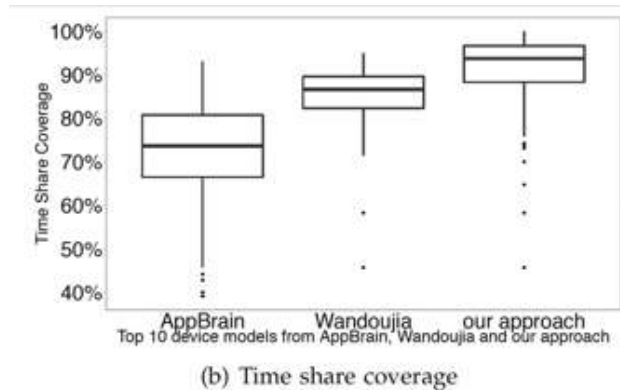
基于大规模用户行为数据的Web访问模式挖掘



1700万用户5个月的App访问日志分析



- Web应用的使用频率呈现“幂律”分布
- Web应用的使用时间呈现“周期性”分布



- 提出了基于协同过滤的Web应用使用及在线时间预测方法

启示1：可按需“预取”用户需要的应用

相关成果发表于国际会议ICSE 2016和期刊IEEE TSE 2017



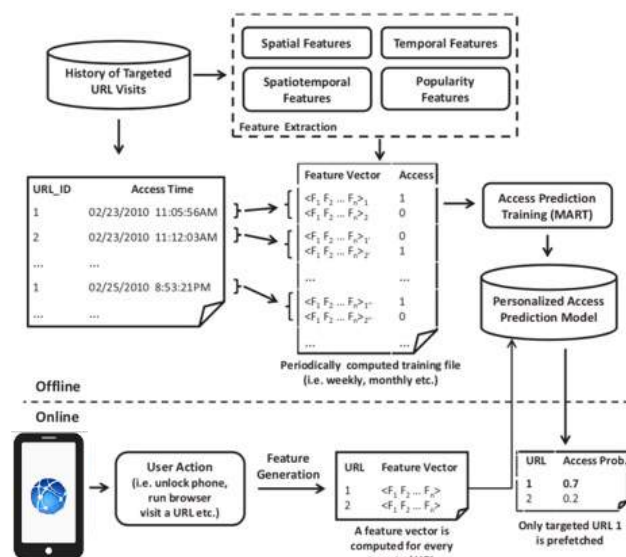
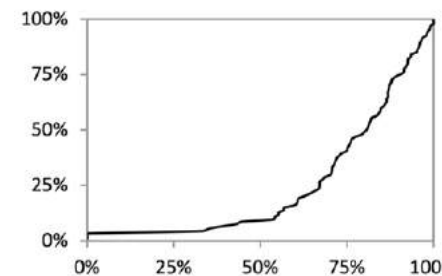
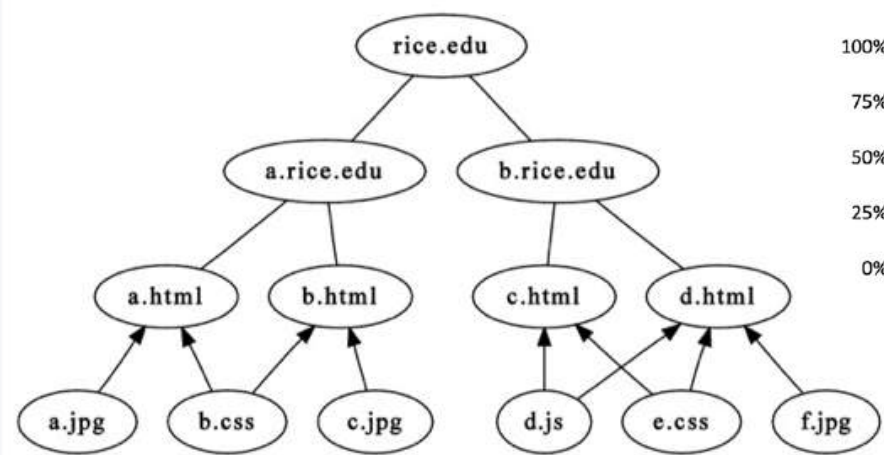
北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望



基于大规模用户行为数据的Web访问模式挖掘



- 同域的Web页面
 - 结构上有较大的相似性
 - 资源上有较大的重合度

启示2：可按需“复用”多个应用间的数据

相关成果发表于国际会议WWW 2017



北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

数据驱动的Web软件QoE分析与保障

研究思路：数据驱动，一“栈”到底



- 用户怎么使用？→行为模式可预测→确定优化点
- 实现是否合理？



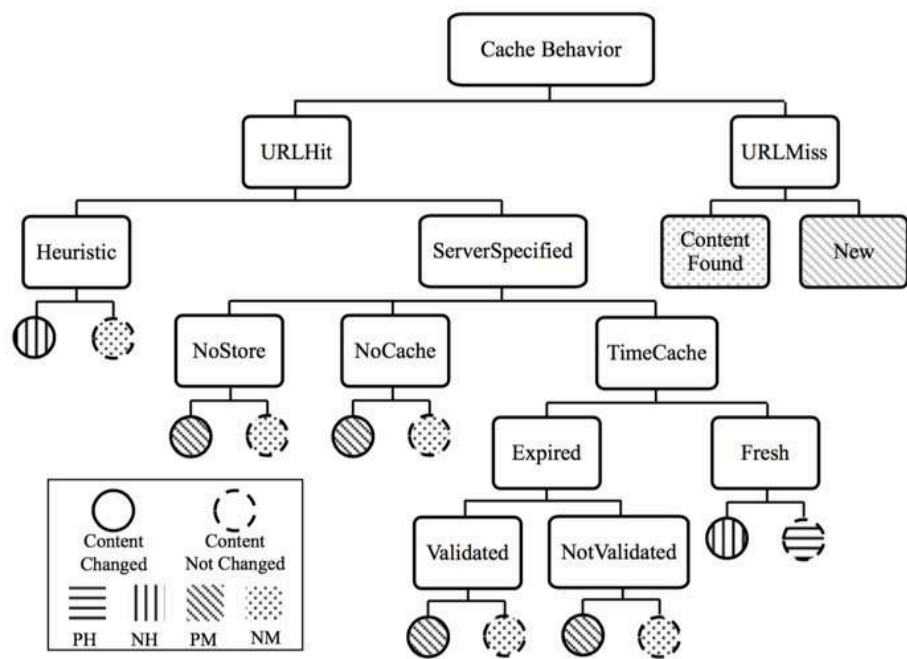
数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

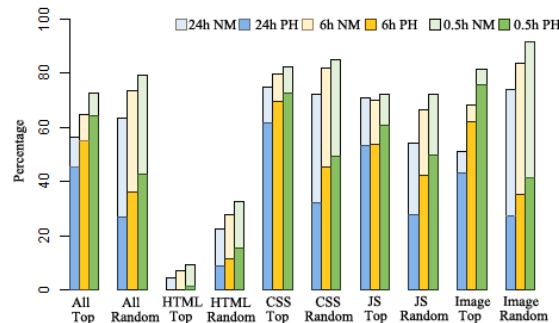


客户端Web应用数据缓存机理分析

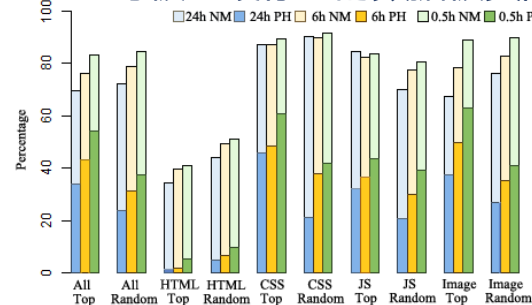
从客户端角度构造了Web缓存分类器



发现了现有Web缓存存在缺陷



只有60%-80%可被“缓存”的数据被实际缓存



只有不到50%可被“缓存”的对象被实际缓存

NH：缓存对象错误（正确性）；NM：缓存对象重复（效率）



北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

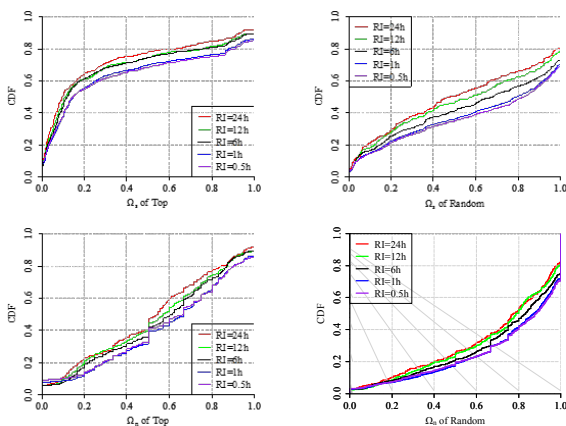
- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望



客户端Web应用数据缓存机理分析

揭示了Web应用缓存缺陷的根本原因

冗余数据传输

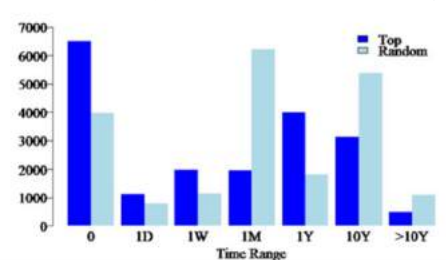


大量的“冗余”传输（按24小时重新访问计算，平均约40%）

粗粒度的缓存失效时间

		HTML	CSS	JS	Image	Others	Total
Top	Pct.	37.4%	1.9%	3.8%	2.6%	2.6%	6.0%
	Cycle	3.7 h	1.0 h	7.2 h	1.0 h	4.0 h	5.9 h
Random	Pct.	29.9%	37.3%	20.4%	45.2%	24.5%	33.7%
	Cycle	29 h	134 h	143 h	133 h	90 h	107 h

浏览器“启发式”缓存失效时间



开发者“保守”的配置（超过80%的资源失效时间少于1天）

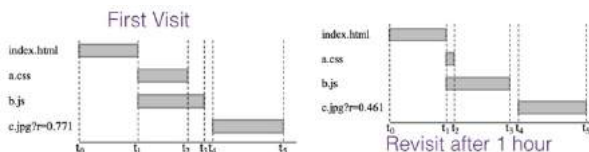
动态语言导致重复内容

HTML Fragment

```
<html>
<head>
  <link rel="stylesheet", href="a.css">
  <script src="b.js">
</head>
<body>
  <img id="out">
  <script>
    var o = document.getElementById("out");
    o.src = "c.jpg?r=" + Math.random();
  </script>
</body>
</html>
```

Resources

URL	Cache Configuration
index.html	cache-control : public
a.css	cache-control : public max-age : 86400
b.js	cache-control : public max-age : 300
c.jpg?r=0.771	cache-control : public max-age : 31536000
c.jpg?r=0.461	cache-control : public max-age : 31536000



JavaScript动态生成内容和CDN之间的不匹配，导致相同内容重复请求

相关成果发表于国际会议WWW 2015



北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

数据驱动的Web软件QoE分析与保障

研究思路：数据驱动，一“栈”到底



- 用户怎么使用？→场景行为可预测→确定优化点
- 实现是否合理？→有缺陷，不适应场景化需求

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望



北京大学

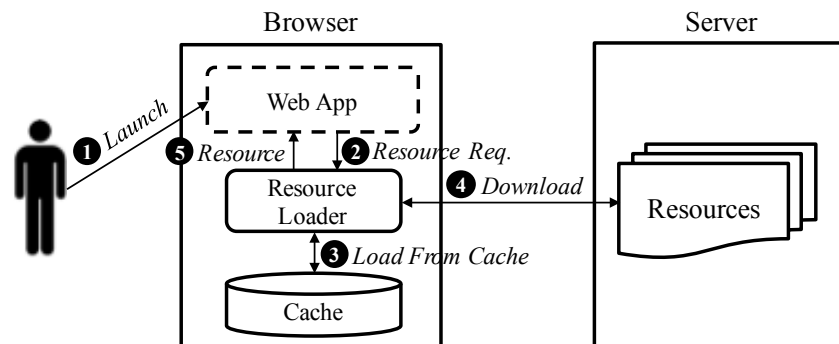
数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

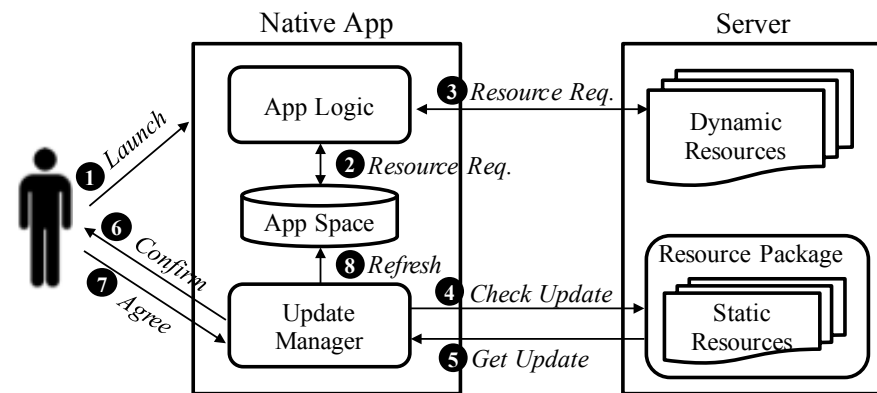
应用特定的细粒度可编程Web数据对象预测方法

核心思想：将Web应用“改造”为类“原生”应用，重新定义Web应用资源传输机制

浏览器为所有Web应用提供“One-Size-Fits-All”的配置方法



“原生”应用 (Native App) 允许开发者在细粒度上为每个数据对象的缓存策略进行编程



相关成果发表于国际期刊IEEE TMC 2017



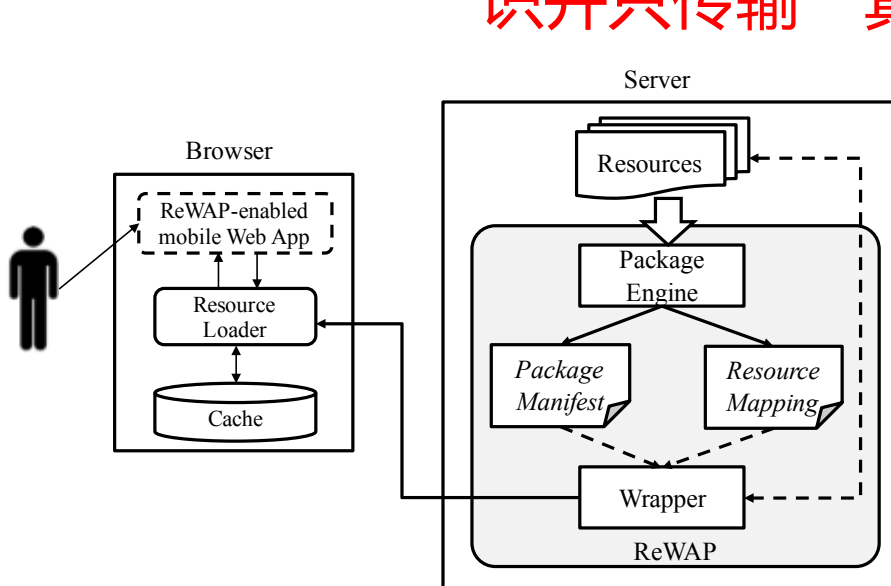
北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

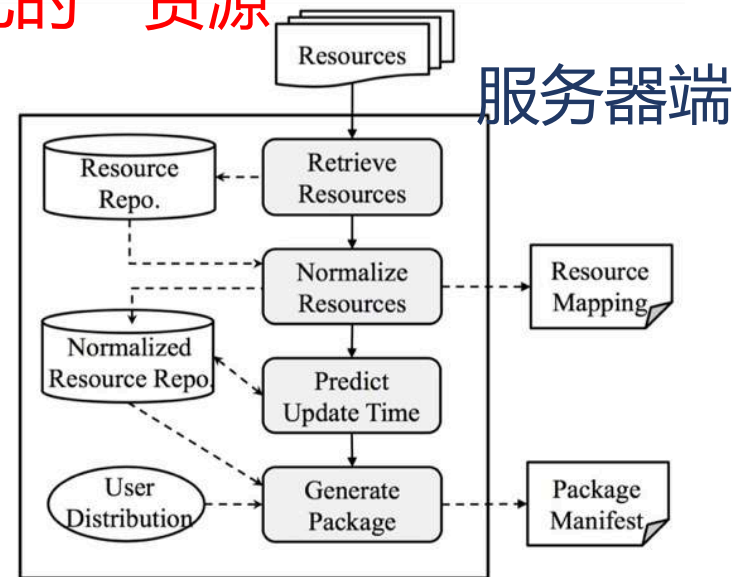
- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

应用特定的细粒度可编程Web数据对象预测方法

方法：通过客户端的可编程数据对象机制，精确辨识并只传输“真正变化的”资源



- 为每个Web应用分配专用本地存储空间
- 细粒度数据对象变化辨识算法
- 面向数据对象更新的客户端合并技术



- 数据对象归一化表示
- 基于资源演化历史的数据对象变化预测算法
- 增量式变化数据对象推送方法

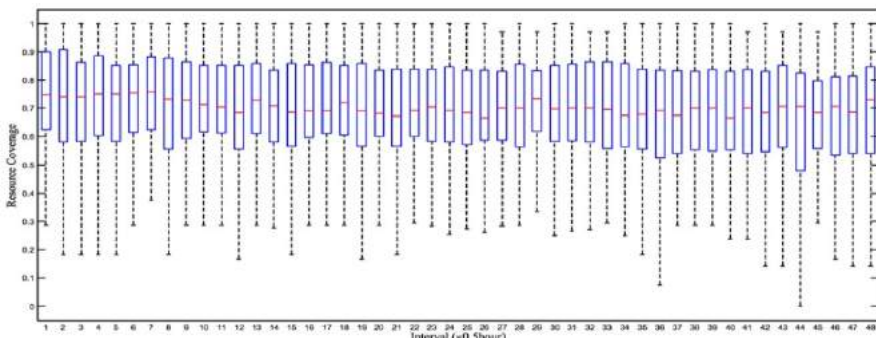


北京大学

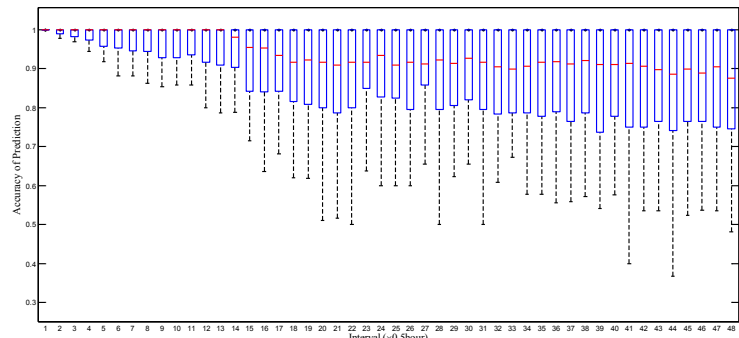
数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

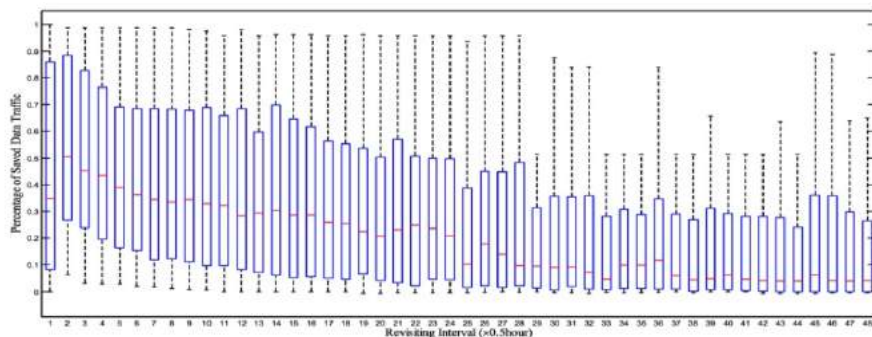
应用特定的细粒度可编程Web数据对象预测方法



数据对象的“覆盖度”约70%



数据对象变化预测的“准确率”超过90% (一周)



数据流量传输减少8%-51%



- 已有Web应用少量修改 (仅加一行重定向代码)
- 可在主流浏览器上直接部署



- 实现为服务器端模块, 可部署在主流Web服务器



北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

数据驱动 Web 软件 QoE 分析与保障

研究思路：数据驱动，一“栈”到底



- 用户怎么使用？→ 场景行为可预测 → 确定优化点
- 实现是否合理？→ 有缺陷，不适应场景化需求
- 能否优化应用？→ 可优化，开发者修改源码
- 能否不改应用？

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

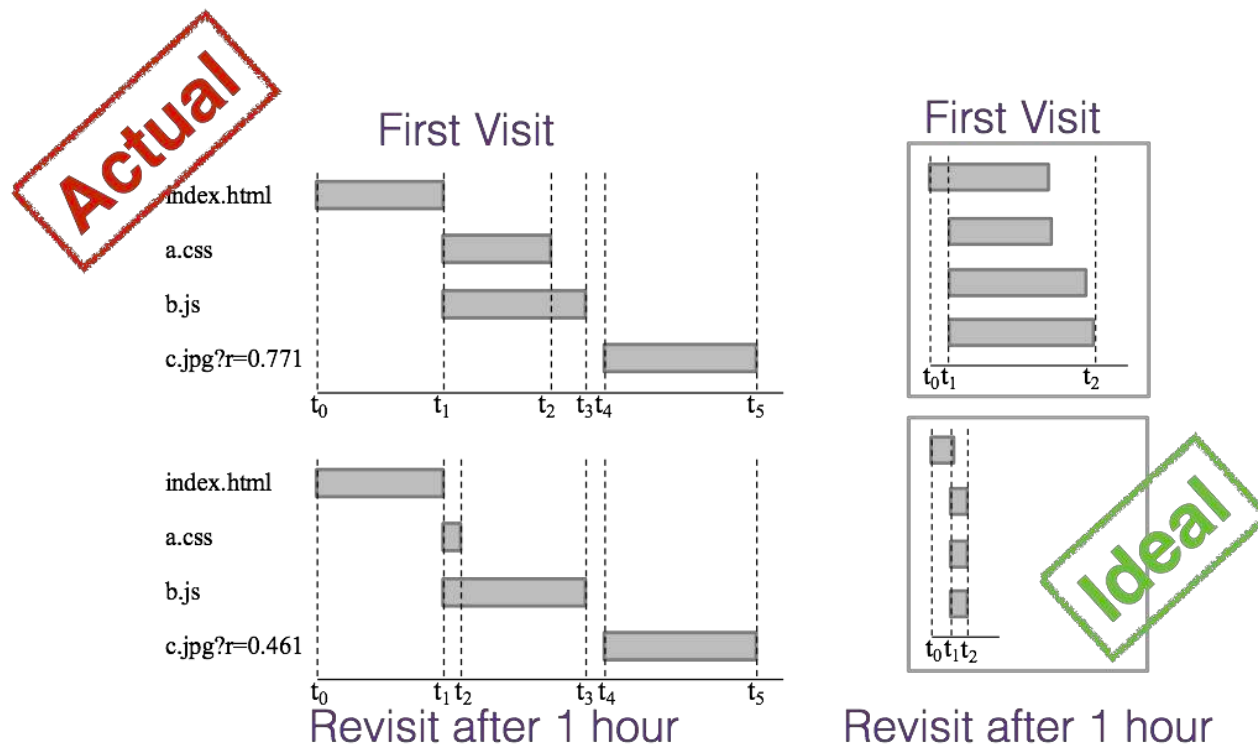


数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

基于云管端融合的Web应用数据分载预取方法

核心思想：不改造应用，在运行时系统进行优化

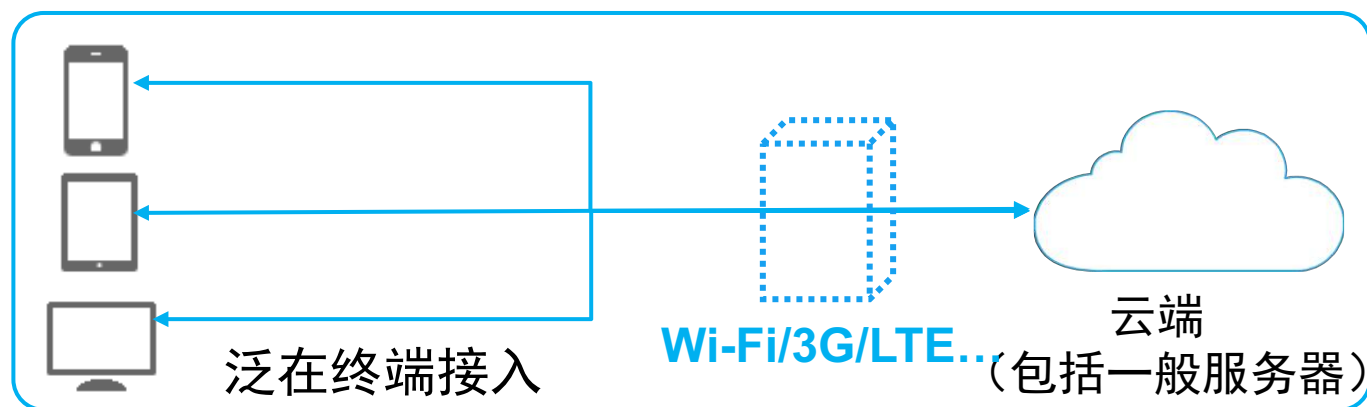


数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

基于云管端融合的Web应用数据分载预取方法

方法：在传统三层结构中加入中间层“个人云”



- 根据用户行为主动预取Web应用
- 在中间层“分载”计算和渲染，减少终端计算负载
- 客户端代理负责本地和中间层的数据对象一致性检查同步
- 客户端仅请求“更新”的数据资源对象并与本地合并



北京大学

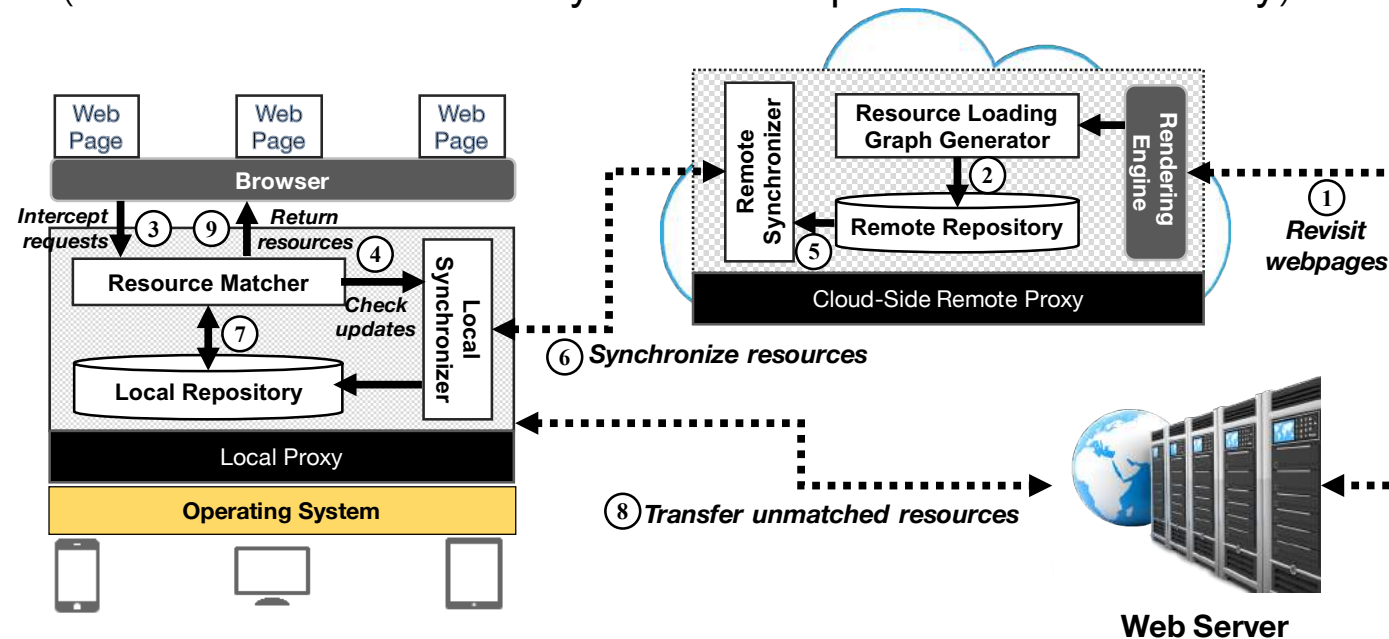
数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

基于云管端融合的Web应用数据分载预取方法

SWAOVsky 原型系统

(Smart Web Acceleration by Resource Optimization over the sky)



11,000 LoC over WebKit



北京大学

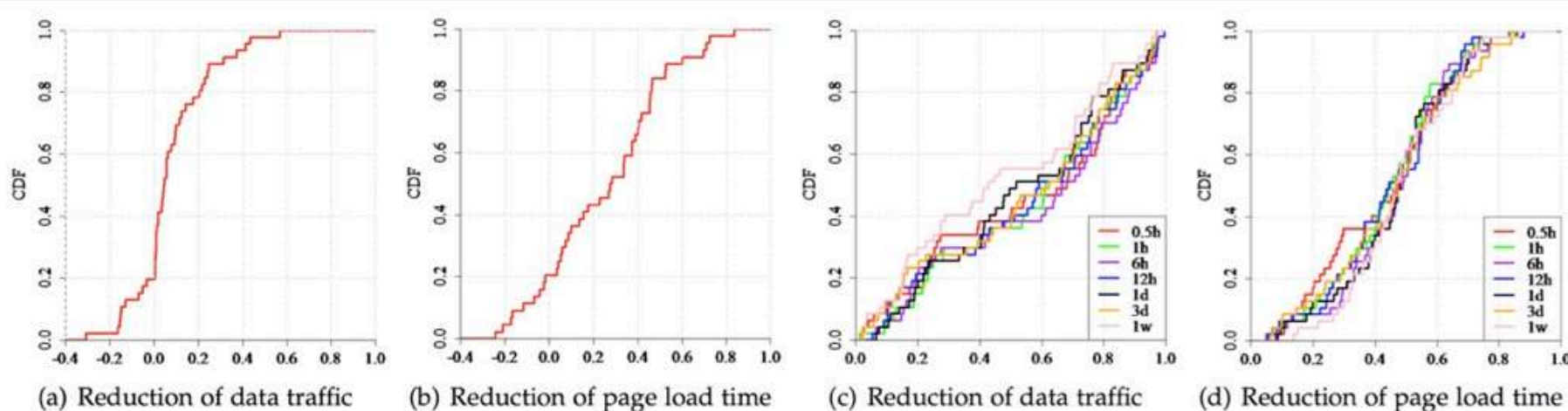
数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望



基于云管端融合的Web应用数据分载预取方法

Alexa Top 100的Web应用均得到提升



“冷启动” 情况下

- 平均流量消耗减少4%
- 平均加载时间减少26.9%

“热启动” 情况下

- 平均流量消耗减少43.1%
- 平均加载时间减少57.6%

相关成果发表于国际期刊IEEE TMC 2017



北京大学

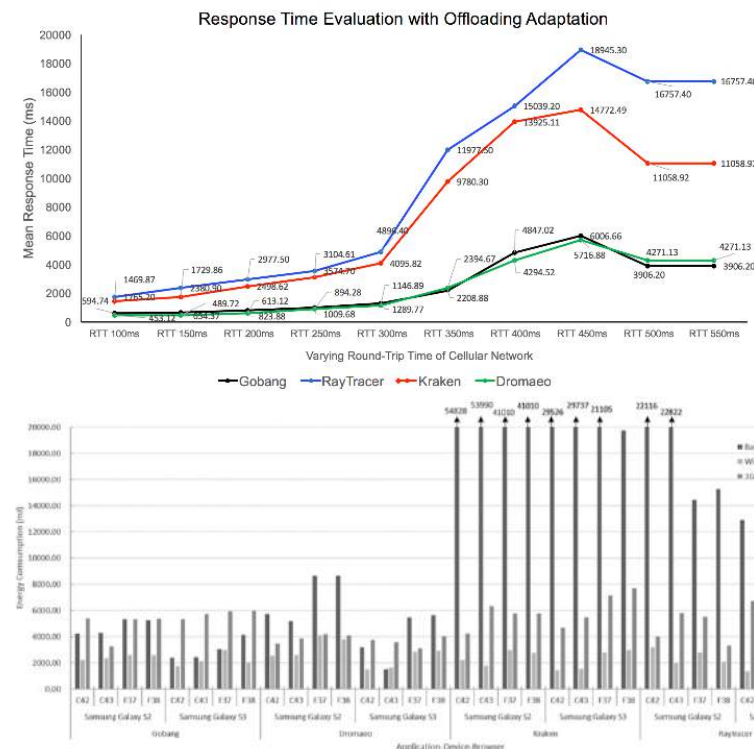
数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望



基于云管端融合的Web应用数据分载预取方法

在数十种主流智能终端上进行实测



实验效果：最高可加快**49X**的加载时间、减少**90%**的电量消耗

相关成果发表于国际期刊ACM TOIT 2017



北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

数据驱动的Web软件可信性分析与保障

研究思路：数据驱动，一“栈”到“底”



- 用户怎么使用？→场景行为可预测→确定优化点
- 实现是否合理？→有缺陷，不适应场景化需求
- 能否优化应用？→可优化，开发者修改源码
- 能否不改应用？→无修改，云管端协同融合



数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

- 1.Xuan Lu, Xuanzhe Liu, et al. PRADA: Prioritizing Android Devices for Apps by Mining Large-Scale Usage Data. ***Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering (ICSE 2016)***, pp. 3-13.
- 2.Yun Ma, Xuanzhe Liu, et al. Measurement and Analysis of **Mobile Web** Cache Performance. ***In Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web (WWW 2015)***, pp 691-701. Florence, Italy, May 2015
- 3.Xuanzhe Liu, Yun Ma, Yunxin Liu, Tao Xie, Gang Huang. Demystifying the Imperfect Client-Side Cache Performance of **Mobile Web Browsing**. ***IEEE Transactions on Mobile Computing***. 15(9): 2206-2220 (2016).
- 4.Xuanzhe Liu, Yun Ma, Xinyang Wang, Yunxin Liu, Tao Xie, Gang Huang. SWAROVsky: Optimizing Resource Loading for **Mobile Web Browsing**. ***IEEE Transactions on Mobile Computing***. 16(10): 2941-2954 (2017).
- 5.Xuanzhe Liu, Yun Ma, Shuailiang Dong, Yunxin Liu, Tao Xie, Gang Huang. ReWAP: Reducing Redundant Transfers for **Mobile Web Browsing** via App-Specific Resource Packaging. ***IEEE Transactions on Mobile Computing***. 16(9): 2625-2638 (2017).
- 6.Yun Ma, Xuanzhe Liu, Yi Liu, Gang Huang. A Tale of Two Fashions: An Empirical Study on the Performance between Native App and **Web** App on **Android**. ***IEEE Transactions on Mobile Computing***.
- 7.Xuanzhe Liu, Meihua Yu, Yun Ma, Yunxin Liu, Gang Huang, Hong Mei. i-Jacob: An Internetware-Oriented Approach to Optimizing Computation-Intensive **Mobile Web Browsing**. ***ACM Transactions on Internet Technology***
8. Xuanzhe Liu, Yun Ma, et al. Rethinking Resource Management in Mobile Web: Measurement, Deployment, and Runtime. ICDCS 2018, pp. 1347-1356 (**invited visionary paper**)



数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

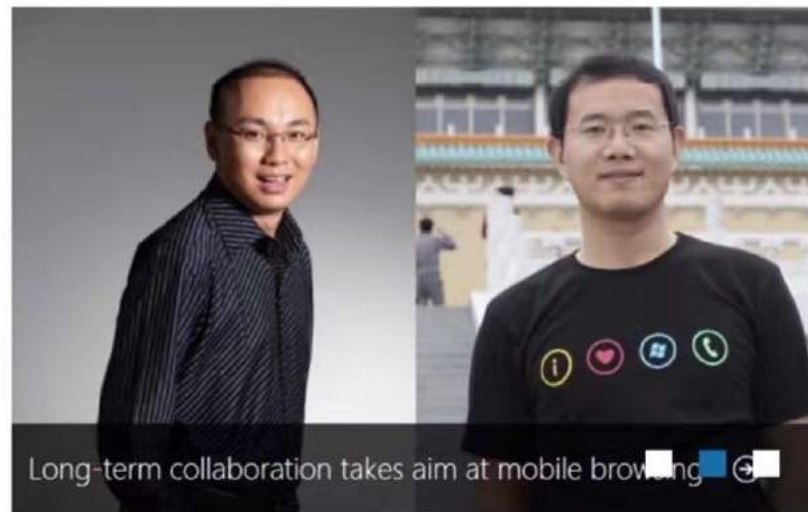


Microsoft Research
微软亚洲研究院

首页 学术合作 研究领域 科技前沿 旗舰活动 新闻中心 关于我们

关于学术合作部 合作机会 学术合作故事

学术合作



其他学术影响

Microsoft Research将Mobile Web Browser优化的成果作为“**Long-Term Research Collaboration**”的典型工作在其首页予以宣传报道



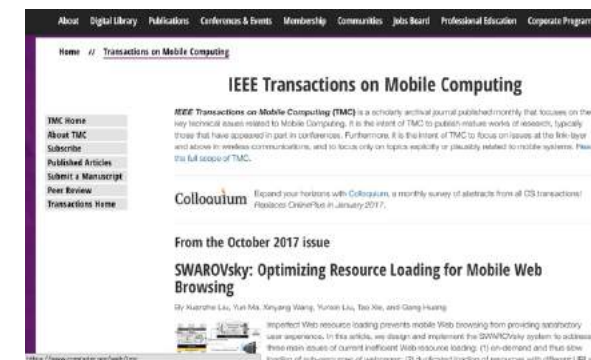
北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

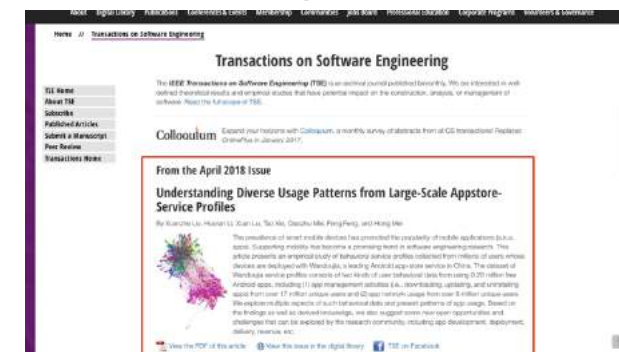
成果获奖情况

IEEE TMC 亮点论文 (Spotlight Paper)

ICSS 最佳论文



IEEE TSE 亮点论文 (Spotlight Paper)



SOCA 最佳论文提名



作为三个技术创新点之一的主要贡献获得中国电子学会迄今唯一的技术发明特等奖



• Web软件系统发展和现状

• 移动互联网时代Web软件面临挑战

• 数据驱动的移动Web软件分析

• 全栈式移动Web软件优化

• 总结和展望



北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

正在进行的工作—AI密集型移动应用优化

AI密集型移动应用正在兴起



ConvNetJS is a Javascript library for training Deep Learning models (Neural Networks) entirely in your browser. Open a tab and you're training. No software requirements, no compilers, no installations, no GPUs, no sweat.

<https://cs.stanford.edu/people/karpathy/convnetjs/index.html>



Fei-Fei Li



Andrej Karpathy
Director of AI in Tesla



智能化
虚实融合



北京大学

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

数据驱动的移动Web软件分析与优化

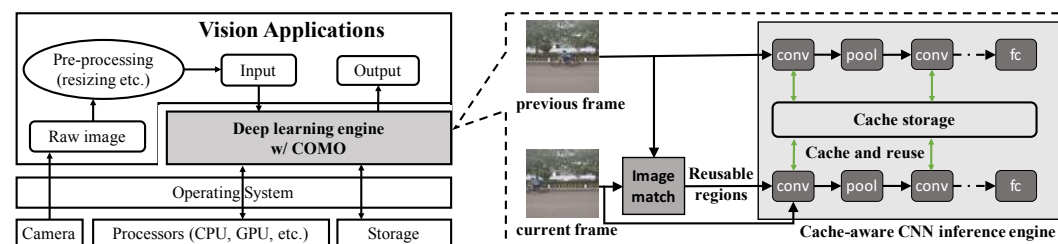
- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望



正在进行的工作—AI密集型移动应用优化

- 数据驱动的计算分载和组装
- DL模型切分与合并方法

较现有CNN模型执行优化方法性能提升**2倍**以上



Mengwei Xu, Xuanzhe Liu, et al. DeepCache: Principled Cache for Mobile Deep Learning. MobiCom 2018, to appear



北京大学

数据驱动的移动Web软件分析与优化

- Web软件系统发展和现状
- 移动互联网时代Web软件面临挑战
- 数据驱动的移动Web软件分析
- 全栈式移动Web软件优化
- 总结和展望

• 系统软件研究的特点

- 基础性：系统软件是计算机系统的**灵魂**
- 长期性：短期不易见效，往往1-2年才能出论文，甚至可能出不了论文
- 实践性：大量动手实践训练，源码阅读、插桩追踪、日志分析、机器学习...
- 系统性：要求较为全面的计算机系统知识，单点深入，全局考虑

• 困难：

- “真”数据难以获取，“真”需求难以把握，“真”方案难以验证

• 感触：

- 要有坐冷板凳的精神，内心强大，坚持不懈
- 不能闭门造车，**必须加强**和工业界实践的结合
- 论文和代码（开源）都是好工作的评价标准，后者的影响力可能更大

