

# 计算机协会通讯

CACM.ACM.ORG

03/2015 VOL.58 NO.03



## 局部拉普拉斯滤波器

## 利用拉普拉斯金字塔的边缘觉察型图像处理

真正的软件危机

HTTP/2.0

谁拥有 IT?

在网上寻找健康信息的隐私问题

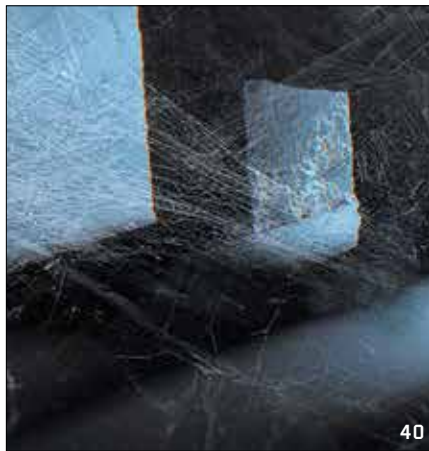
## 观点



34

- 34 **观点**  
**真正的软件危机：以可重复性为核心价值**  
 分享为五大会议运作工件评估委员会的经验  
*Shriram Krishnamurthi 和 Jan Vitek*

## 实践



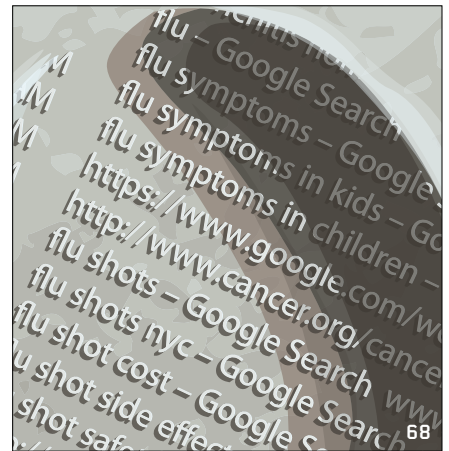
40

- 40 **HTTP/2.0 — IETF 在敷衍了事糟糕的协议，恶劣的政治。**  
*Poul-Henning Kamp*

## 投稿文章

- 50 **谁拥有 IT？**  
 曾经的集中式技术管理或联合式技术管理正逐步迈向参与式管理。  
*Stephen J. Andriole*

## 评论文章



68

- 68 **在网上查找健康信息所带来的隐私含意**  
 内幕揭秘：个人健康信息搜索如何成为私营企业的财产  
*Timothy Libert*

## 研究亮点

- 80 **技术视角**  
**图像处理返璞归真**  
*Edward Adelson*
- 81 **局部拉普拉斯滤波器：利用拉普拉斯金字塔的边缘觉察型图像处理**  
*Sylvain Paris、Samuel W. Hasinoff 和 Jan Kautz*



请观看此独家  
 Communications 视频中作者对本研究的讨论。



Association for Computing Machinery  
 Advancing Computing as a Science & Profession



## 关于封面：

本月封面故事（第 81 页）描述了采用简单、灵活拉普拉斯滤波器的最先进边缘觉察型图像处理，说明了有时最好的方法就是返璞归真。封面设计：Andriy Borys Associates，摄影：Zora Avagyan。

## ACM计算机通讯(中文版)编审委员会

### 主席



陈文光  
清华大学  
cwg@tsinghua.edu.cn

并行计算和编程语言

陈文光教授现任清华大学计算机科学与技术系教授、副主任。

### 委员



陈海波  
上海交通大学  
haibo.chen@sjtu.edu.cn

操作系统和计算机体系结构

陈海波教授就职于上海交通大学软件学院。



崔斌  
北京大学  
bin.cui@pku.edu.cn

数据库

崔斌教授就职于北京大学信息科学技术学院,并担任网络与信息系研究副所长。



陈贵海  
上海交通大学  
gchen@cs.sjtu.edu.cn

上海交通大学计算机科学与工程系教授;中国计算机学会开放系统专委会主任;在并行与分布式计算领域有广泛的兴趣,特别是各种网络系统,例如无线传感器网络,对等覆盖网络,数据中心网络,社交网络等。



李向阳  
伊利诺理工学院  
xli@cs.iit.edu

李向阳教授就职于伊利诺理工学院。他是中国国家自然科学基金海外杰出青年学者奖的获得者。



刘云浩  
清华大学  
yunhao@greenorbs.com

刘云浩教授现任清华大学长江特聘教授。他还担任ACM中国理事会主席。



山世光  
计算技术研究所  
sgshan@ict.ac.cn  
计算机视觉和图案识别  
山世光教授就职于中国科学院计算技术研究所(ICT)。



孙晓明  
计算技术研究所  
sunxiaoming@ict.ac.cn  
理论  
孙晓明教授就职于中国科学院计算技术研究所。



唐杰  
清华大学  
jietang@tsinghua.edu.cn  
数据挖掘  
唐杰副教授就职于清华大学计算机科学与技术系。



田丰  
中国科学院软件研究所  
tianfeng@iscas.ac.cn

人机交互

田丰教授就职于中国科学院软件研究所,他还担任计算机协会中国人机交互学会主席。



谢涛  
伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校  
taoxie@illinois.edu  
软件工程  
谢涛副教授就职于美国伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校计算机科学系。



周昆  
浙江大学  
kunzhou@acm.org  
计算机图形和虚拟现实  
周昆教授是长江特聘教授,浙江大学CAD&CG国家重点实验室主任。



诸葛建伟  
清华大学  
zhugejw@cernet.edu.cn  
计算机安全  
诸葛建伟副教授就职于清华大学网络科学与网络空间研究院。

## ACM中国理事会

孙家广, 名誉主席  
刘云浩, 主席  
沈运申, 副主席, 分会  
陈文光, 副主席, 出版物  
王新兵, 副主席, 会议  
万猛, 副主席, 宣传与公共关系  
张铭, 常务理事  
肖人毅, 常务理事  
吕自成, 常务理事  
秦志光, 常务理事  
罗军舟, 常务理事  
胡传平, 常务理事  
胡斌, 常务理事  
赵峰, 常务理事

## ACM中国指导委员会

孙家广, 主席  
李志民, 联席主席  
姚期智  
廖湘科  
王珊  
怀进鹏  
梅宏  
吕健  
郑南宁  
张尧学  
林惠民

## 分会主席

上海分会 胡传平  
南京分会 罗军舟  
成都分会 秦志光  
兰州分会 胡斌  
重庆分会 廖晓峰  
长沙分会 卢凯  
广州分会 张军  
济南分会 杨波  
武汉分会 金海  
大连分会 罗钟铉  
北京分会 朱文武  
郑州分会 高金峰  
太原分会 曾建潮

## ACM中国理事会办公室

中国北京清华大学  
东主楼 11-236 室  
邮编: 100084  
电话: +86-10-62785025  
电子邮件: acmchina@acm.org  
联系人: 辛爽

## ACM通讯

(ISSN 0001-0782) 由计算机协会  
(2 Penn Plaza, Suite 701, New  
York, NY 10121-0701) 按月发行。



Association for  
Computing Machinery

# 观点

## 真正的软件危机：以可重复性为核心价值

分享为五大会议运作工件 (artifact) 评估委员会的经验

**软**件在编程语言研究中处于怎样的地位？在我们的领域，软件工件扮演着中流砥柱的角色：它们是我们想法和贡献的化身。而在发布之时，我们被评估的是在论文中简略介绍这些工件的能力。通常，这样的论文仅仅描述作品的一个角度，有时候又过分华丽。尤其是论述的对象由数以万计的代码行组成，这些代码又以微妙的方式与软件的不同部分及部署软件的硬件堆栈进行交互。多年来，我们社区的文化已经演变为视原创性高于一切，我们的大型会议和主要期刊<sup>a</sup>拒绝承认软件的正当地位。

当我们在现有成果上开发研究时，当新的想法能够轻松地对照目前最新水平进行衡量时，科学就能以更快的速度进步。在可重用软件工件的制作不受嘉奖的环境中，这显得特别困难。我们的目标是实现这样的愿景：

<sup>a</sup> 我们的中心论点也适用于期刊，而且适用性或许更强。不过，我们没有为期刊创建工件评估流程的经验；我们也没想到，一部分期刊也许会担心其提交率比较低，因而不能承受进一步的阻碍，尽管这并不是放弃进行更为细致的审阅的充足理由。

**如果一篇论文提出或暗示需要软件的主张，那么这些主张应当有东西来支撑。**

任何已被评估、衡量或基准测试过的公开想法能够附有具体化这一想法的工件。就如正式研究结果越来越被期望附有自动化证明，实证研究结果也应当伴有代码。

有关此主题的对话不可避免地陷入对可再现性的讨论，即从基本原理中创建一个全新系统来重复不同实验条件下的现有结果的行为。可再现性是代价昂贵的承诺，不是我们所要倡导的。我们提倡的是可重复性，即仅检验论文中提出的主张，通常的方法是（但不限于）重新运行与之相伴的软件工件。可重复性是成本低廉而又简单轻松的论文工件测试方法，用于明确论文的

科学贡献。我们认为，可重复性应当成为研究成果传播的一个标准特征。当然，并非所有结果都可重复，但许多结果的确可以重复。

不能要求研究人员开发出工业质量的软件。研究原型和生产软件之间始终存在差别。因此，务必要制定正确的标准。我们认为，正确的衡量不是某种绝对的质量观念，而是软件工件如何与论文中设定的期望值进行对比。而且显而易见的是，并非所有论文都需要工件。即使是在软件大会中，一些论文包含宝贵的理论成果或意义深远的观察结果，但它们并不适合成为工件。这样的论文当然也应受到欢迎。然而，如果一篇论文提出或暗示需要软件的主张，那么这些主张应当有东西来支撑。简而言之，论文不应误导读者：假如某一想法尚未评估过，那就应当注明，这样程序委员会可以根据其实际的优缺点来评判这篇论文，随后的作者们也可以通过对该论文的想法进行严格的实证评估来获得应有的回报。最后，工件可以包含数据集、证据，以及研究过程中其他附带成果。

**工件评估流程。**几届 ACM SIGPLAN 大会 (OOPSLA、PLDI 和 POPL) 和紧密相关的大会 (SAS、ECOOP 和 ESEC/FSE) 已经开始实验性地朝本文所述方向前进。他们启动了一个工件评估流程, 允许被接受论文的作者提交软件, 以及能支撑其成果的各种非软件实体 (如数据集、测试套件和模型)。<sup>b</sup> 自 2011 年以来, 我们已经运作或帮助运作了六个工件评估委员会 (AEC)。到目前为止, 结果是鼓舞人心的。2011 年, ESEC/FSE 大会 有 14 个工件提交 (34 篇被接受的论文), 其中 7 个达到或超过了期望。在 2013 年的 ECOOP 上, 13 个工件中有 9 个达到期望。同年的 ESEC/FSE 的工件提交有了飞跃, 数量达到了 22 个, 其中 12 个得到了验证。在 SAS 上, 23 篇论文中有 11 片附有工件。2014 年 OOPSLA 大会上 50 篇接受的论文中附有 21 个工件, 其中只有三个被评判为不适当。2014 年, 上述所有大会都没有工件评估流程。

**工件评估的机制是什么?** 首个工件评估流程的设计 (由第一作者与 Carlo Ghezzi<sup>c</sup> 执行) 涉及了与软件工程社区领导人的讨论, 该设计遇到了超乎预期的阻力。他们的担忧是, 在决策流程中引入工件评估可能是一种唐突而重大的文化变迁。因此, 我们利用一个临时屏障, 以最简单的方式在论文接受与工件评估之间树立了严格分隔。只有已被接受的论文才能提交进行工件评估, 并且其接受状态确保会保持不变。这是必要的妥协, 只有这样流程才能获得批准。我们可以想象的是, 工件评估会在适当的时机成为大多数科学成果评估流程的组成部分。

<sup>b</sup> 基于实用和社会原因, 工件评估限于已接受的论文。我们感觉到, 将工件评估与论文评阅相整合会存在风险, 因为构成有效工件的标准依然在发展之中。从现实角度看, 评估大量工件所需的工作会让委员会不堪重负。平均而言, 一个工件需要三位评估者, 每人需要花费一天半时间。其流程难以放大到数百个提交的规模。

<sup>c</sup> <http://cs.brown.edu/~sk/Memos/Conference-Artifact-Evaluation/>



最初, 我们在评判工件时采用五分制, 并在每一级别上附有简明扼要的陈述语句 (灵感来自许多评估者都熟悉的 “Identify the Champion” (寻找冠军)<sup>d</sup>):

- 工件大大超越论文设定的期望值。
- 工件超越论文设定的期望值。
- 工件达到论文设定的期望值。
- 工件未达到论文设定的期望值。
- 工件远不及论文设定的期望值。

一段时间后, 我们觉得这过于细致, 于是决定对工件是否合格采用更加简单的标准。此处, “期望值” 解释为论文中提出的主张。例如, 如果某一论文声称实施了 Java 编程语言的一种新编译器, 那么评估者有理由期望其工件能够处理任意的 Java 程序; 另一方面, 倘若论文仅提出了该语言的一个子集, 如 “所有无循环 Java 程序”, 那么评估者应当相应地降低他们的期望值。

除了 “运行” 工件外, 评估者必须阅读论文, 尝试修改提供的输入或者创建新的输入, 来测试工件的局限范围。投入的精力应当与评阅者在评估论文上花费的时间相称; 在实际操作中, 评估者报告其花费的时间为每个工件一到两天。与阅读论文时一样, 目标不是形成一个明确的评判, 而是提供尽可能最佳的专家观点。

**由谁来评估工件?** 有些人表示, 工件评估是大会程序委员会自身的工作。但我们认为, 这与科学论文评阅的现实情况相冲突。由于论文提交数量庞大, 程序委员会成员很 “紧俏”。此外, 他们中有一部分不一定熟悉现代的软件工具和系统。因此, 我们认为 AEC 的人员组成最好是资深博士和博士后研究员。这种选择有诸多优点。首先, 他们熟悉构建和运行工件所需的技术。其次, 根据我们的经验, 他们反应敏锐, 能及时写出详细的评论。

<sup>d</sup> <http://scg.unibe.ch/download/champion/>

最后也是更加微妙的，我们感觉让初级研究员参与到流程之中可以让这些未来的研究领导者了解到该流程的重要性。要小心的一点是，初级研究员有时可能会过度热衷于吹毛求疵，他们的评论或许需要调整。这就是为何 AEC 要由资深研究员主持大局。

**工件评估的好处有什么？** 该流程的第一个好处是释放这一讯息：工件具有重要价值，是编程语言大会上发表的论文的重要组成部分。达到或超越标准的论文将在会议论文集或大会上获得额外认可。它们会打上特殊的标记，在会议论文集中脱颖而出。少量的论文会被授予“杰出工件奖”。另一好处来自于审核本身：多名作者加以确认，评估者给出宝贵的反馈，甚至对工件和其封装提供小的错误修复。例如，在 ECOOP 2013 上，部分作者甚至表示工件审核比论文评阅更有用处。从科学社区的宏观角度看，工件评估鼓励作者制作可重用的工件，作为未来研究的基石。

**工件是否应当发表？** 尽管有许多正当理由支持让工件面世，也有争论反对公开工件：


## 从科学社团的宏观上看，工件评估鼓励作者制作可重用的工件，作为未来研究的基石。

- ▶ 工件可能是在公司内制作的，因而可能被认为是专有财产。
- ▶ 论文实验中使用的数据可能是专有财产，或者有很高的隐私需求。
- ▶ 工件可能依赖于昂贵或专有的平台，除作者之外，其他人难以或无法访问到。
- ▶ 公开这些工具可能会使得他人容易继续相关研究方向，从而降低原始研究人员的回报。

理智的人对上述每一条观点提出了相反的结论。在某些情形下，改变奖励体系可能会有所帮助。在一些情形中，可重复性的确显然是“禁区”；但这些情形极为罕见，不应当主导相关的讨论。

从长远看，我们希望看到被评估的工件依照规定对外公布，正如 SAS 2013 所做的那样。尽管仍然有自行选择权，但对于希望发表工件的作者而言，依然遗留着如何发表、何处发表的问题。ACM 的数字图书馆可能是自然的归宿，近期的变化也让作者能够将工件存放于此，而不必放弃他们的版权利益。然而，数字图书馆的接口不甚理想；现行的条款也存在问题。我们更希望采用对工件访问支持更佳的技术。此外，数字图书馆只能托管静态工件；因此，考虑结合 [runmycode.org](http://runmycode.org) 和 [researchcompendia.org](http://researchcompendia.org) 等资源的力量也值得考虑。

**我们已取得长足的进步。** 我们努力变得更加“科学”，我们关注

的不再是简单报告软件项目的论文，而是要求论文提炼出这些项目的全新贡献。然而在这过程之中，我们或许走得太远——即使自然科学本身就率先要求可重复性、数据集，以及对软件的公开访问（我们认识到这种要求很有必要性，因而理当先行一步）。我们应当让摆钟回到科学贡献和软件贡献之间的折衷点上，认识到软件最终其实是我们行业必须做出、唯一最有特色的贡献。所以，我们应当欣然接受，而不是表现为似乎以此为耻。虽然我们报告的是编程语言研究领域中的一个特定实验，但计算机科学中的许多其他领域也在着眼于一些相同的问题。有关其他行动的参考，请参见附文中的信息；也请参见 <http://www.artifact-eval.org> 

Shriram Krishnamurthi (sk@cs.brown.edu) 是美国罗德岛州普罗维登斯的布朗大学的计算机科学教授。

Jan Vitek (j.vitek@neu.edu) 是美国马萨诸塞州波士顿的东北大学的计算机科学教授。

本文作者对 Andreas Zeller 因发起这一观点而遇到个人风险谨表谢意。我们感谢 Matthias Hauswirth 的热情和插图，也感激能够与 Matthias、Steve Blackburn 和 Camil Demetrescu 展开多次良好的对话。我们感谢 AEC 联席主席 Eric Eide、Erik Ernst 和 Carlo Ghezzi 的辛勤工作。最重要的是，我们感谢 AEC 成员的勤奋努力，他们的贡献经常超越其职责范围；我们还感谢为 AEC 成员提供评估工件的各位作者。

译文责任编辑：陈海波

ECML/PKDD' 13 大会始于某种与本文所述的工件评估流程相似的公开科学评奖流程。<sup>e</sup> SIGMOD 大会评估了自 2008 年到 2011 年的可重复性。<sup>f,g</sup> ICERM 关于计算和实验数学中可再现性的研讨会得出了佐证文化变迁的报告。<sup>h</sup>《*Biostatistics*》等期刊正在认可那些附有工件的论文。<sup>i</sup>

e <http://www.ecmlpkdd2013.org/open-science-award/>.

f Manegold, S. et al. Repeatability and Workability Evaluation of SIGMOD 2009. *SIGMOD Record*, September 2009.

g [http://www.sigmod2011.org/calls\\_papers\\_sigmod\\_research\\_repeatability.shtml](http://www.sigmod2011.org/calls_papers_sigmod_research_repeatability.shtml).

h [http://icerm.brown.edu/html/programs/topical/tw12\\_5\\_rcem/icerm\\_report.pdf](http://icerm.brown.edu/html/programs/topical/tw12_5_rcem/icerm_report.pdf).

i [http://www.oxfordjournals.org/our\\_journals/biosts/for\\_authors/msprep\\_submission.html](http://www.oxfordjournals.org/our_journals/biosts/for_authors/msprep_submission.html).

版权归属于作者。

文章编写主导者 [acmqueue](http://acmqueue.queue.acm.org)  
queue.acm.org

**糟糕的协议，恶劣的政治。**

撰稿人：POUL-HENNING KAMP

# HTTP/2.0—— IETF 在敷衍了事

在很久前的 1989 年，罗纳德·里根依然是总统，虽然距离卸任只剩下最后的  $19\frac{1}{2}$  天时间。在这一年之中，泰勒·斯威夫特出生，而安德烈·萨哈罗夫和塞缪尔·贝克特离开了人世。

从长远上看，1989 年最值得铭记于心的是蒂姆·伯纳斯·李修改了 HTTP 协议并将其成果命名为“World Wide Web”（此名称的一个引人注目的特征是其缩写“www”的音节数是原词的三倍，发音所需的时间也更长）。

伯纳斯·李的 HTTP 协议运行于 10Mbit/s 以太网，利用的是同轴电缆，而他的电脑则是时钟频率仅为 25MHz 的 NeXT Cube。大约 26 年后，我用的笔记本电脑与伯纳斯·李的机器相比，CPU 速度要快 100 倍，RAM 容量要大 1,000 倍。然而，HTTP 协议却是老样子。

几个星期前，互联网工程指导组（Internet Engineering Steering Group, IESG）在对新“HTTP/2.0”协议 (<https://tools.ietf.org/id/draft-ietf-httpbis-http2>) 冠以“建议标准”之前进行了“最后”的意见征集。



有些人预期，对这世界上最流行的协议作出的重大更新将是一项技术杰作，也是未来协议设计的教科书级范例。一些人希望与斯诺登泄密事件同期设计的协议将能改善他们的隐私。另一些人则更加冷眼旁观，怀疑其结果恰恰相反。人们普遍的设想是“更快速”。许多人或许也想象它会“更绿色”。而我们中的一些人则厌倦了看到“2.0”字眼，喃喃自语：“呃，第二系统综合症。”

速查表上的回答是：否、否、很可能不、可能、否、是。

如果这听起来索然无味，那是因为它原本就是如此。



HTTP/2.0 并不是什么技术杰作。它存在分层违规、不一致、多余的复杂性、不良的妥协、错过了许多成熟机会等等弊端。如果在我（假想）的协议设计课上有学生交出这份作业，我会让他不及格的。HTTP/2.0 也没有改进你的隐私。将 HTTP/2.0 包装在 SSL/TLS 中可能会也可能不会改进你的隐私，就如将 HTTP/1.1 或任何其他协议包装在 SSL/TLS 中一样。但 HTTP/2.0 本身并不能改进你的隐私。这几乎是三重讽刺，因为拖了 HTTP 后腿的主要是 cookie。cookie 有严重的隐私问题，欧盟立法规定使用

cookie 必须发出通知。HTTP/2.0 本该抛弃 cookie，替换为受客户端控制的会话标识符。这可以让用户直接处于控制地位，决定在何时希望被追踪，何时不要——这是隐私方面的一项重要改进。它也能节约带宽和网络包的个数。然而，建议的协议并没有这么做。

好消息是 HTTP/2.0 或许也没有削弱你的隐私。它确实会为服务器端添加不少“指纹采集”机会，但现在人们已经可以通过 cookie、JavaScript 和 Flash 等许多其他方式采集指纹，这个问题也许就无关紧要了。

你或许会察觉到使用 HTTP/2.0 时网页加载速度变快，但可能也只有内容提供商拥有遍布世界的服务器网络时才会这样。协议涉及到的每台电脑（包括你自己的）必须要做更多工作，尤其是对于音乐、电视和电影等速度要求高、又很庞大的对象。没人展示过接近现代线缆网络速度的 HTTP/2.0 实现。速度更快？不尽然。

这也回答了有关环境足迹的问题：HTTP/2.0 要求的计算能力比 HTTP/1.1 高许多，因此会导致二氧化碳污染的恶化，气候变化的加剧。你可能认为面向成万上亿台电脑的

协议会受到一些绿色环保审查，但令人诧异的是——至少对我而言——没有找到任何证据表明 IETF 考虑过环境影响——丝毫没有。

而且没错，第二系统综合症很严重。

既然有这么平庸的成绩单，你可能会怀疑 HTTP/2.0 当初怎么就当做一项标准加以考虑了。

### 答案是政治

Google 搞出了一个 SPDY 协议，由于他们有自己的浏览器，所以能够随心所欲，针对自己特定的需求优化这一协议。SPDY 是个很不错的原型，清晰地展现出 HTTP 协议新版本的进步潜力。基于这一点，我们要为 Google 点个赞。但对一些人、尤其是其他公司而言，SPDY 开始散发出浓厚的“私家花园”的味道，于是政治就展露头角。

IETF 显然是害怕失去领地，急匆匆地“发现”HTTP/1.1 协议需要更新，让一个工作组在不切实际的短时间内加以准备。这使得除了 SPDY 协议之外，没有其它协议能够作为 HTTP/2.0 的基础。IETF 仅仅是剔除了 SPDY 中那些最惨不忍睹的缺点，其他所有的改进尝试都以“超范围”、“太迟了”或“未达成共识”等理由拒绝。IETF 现在终于可以获得领地并取得胜利，但却基本上放弃了每一条曾被珍视的原则，只为换来例行公事地批准 Google 提议的特权。

然而，政治还没有就此止步。

HTTP/2.0 没有改进隐私的原因是幕后大公司们的业务模型正是以缺乏隐私为基础。他们非常不满 NSA 窥探世界上的每一个人，却又不想做妨碍自己同样行为的任何事情。HTTP/2.0 的支持者也在努力把它用作“SSL Anywhere”计划的杠杆，尽管许多 HTTP 应用程序不需要、不希望使用，甚至在法律上被禁止采用加密。

### 你所在国家、州、县郡的应急网页？

在发生爆炸、洪水或人员中毒时，地方政府可不想花费资源与当地的

## HTTP/2.0 没有改进隐私的原因是幕后大公司们的业务模型正是以缺乏隐私为基础。

每一部智能手机协商 SSL/TLS。类似地，大型新闻网站也会优先考虑发布新闻，而不是隐藏他们发布新闻的事实，尤其是在发生重大事件的时候。（IETF 的人全都忘了 14 年来 CNN 流量的爆炸式增长了吗？）

所谓的多媒体行业占据了网上所有流量的大约 30%，他们可不愿意被强制在无谓的加密上花费资源。甚至还有人在法律上被禁止享有通信隐私：儿童、囚犯、金融交易员、CIA 分析师，等等。尽管如此，HTTP/2.0 依然仅支持 SSL/TLS，至少是在四分之三的主流浏览器中，目的是强行推广一个特定的政治计划。讽刺的是，同样的浏览器将自我签名的证书当做是致命的风险，虽然它们以微不足道的成本提供了机密性。（机密表示只有你和对方能够解译通信的内容。隐私是与已识别或已验证第三方相关的机密。）

历史数据已经压倒性地表明，如果你要让这个世界进步，你应当提供可以让世界进步的良好工具，而不是让世界进步的政策。我建议所有在这一主题上有话语权的人都来反对 HTTP/2.0 草案标准：它不是一个好的协议，甚至也不是好的政治。 ■

queue.acm.org 上的  
相关文章

[Making the Web Faster with HTTP 2.0](#)

Ilya Grigorik

<http://queue.acm.org/detail.cfm?id=2555617>

[Better, Faster, More Secure](#)

Brian Carpenter

<http://queue.acm.org/detail.cfm?id=1189290>

[The Software Industry IS the Problem](#)

Poul-Henning Kamp

<http://queue.acm.org/detail.cfm?id=2030258>

Poul-Henning Kamp (phk@FreeBSD.org) 是 FreeBSD 操作系统的主要开发者之一，从一开始就参与了这一系统的开发。他因其基于 MD5 的密码扰码器而广为人知，这一工具用于在 Cisco 路由器、Juniper 路由器，以及 Linux 和 BSD 系统上用于保护密码。

译文责任编辑：陈文光

版权归属于作者。  
版权归属 ACM。\$15.00。

曾经的集中式技术管理或联合式技术管理正逐步迈向参与式管理。

STEPHEN J. ANDRIOLE

# 谁拥有IT？

在二十世纪，技术管理大多关乎标准和集中式管理。迈入二十一世纪后，情况有所变化。首先，从集中式技术管理模型变成了联合式技术管理模型，然后又变成了“参与式”模型。即使商品化、消费者化（consumerization）和备选的技术分发交付模型没有改变所有的公司，也改变了很多公司定义和行使管理的方式。对于其中的很多公司而言，由于技术的重要性增加后，它至少包括了三种类型的管理：运营、战略和新兴技术，技术人员数量变得更多。在很多公司中，管理的使命是朝着分享的参与式模型演进，

这种模型认可了所有内部和外部人员的作用，这点在各公司通过“云”采购、部署和支撑技术以及对供应链进行全球化和整合时特别突出。

我们的调查和访谈数据说明，管理现在涉及的人员比之前多，其中有很多远在企业的可控范围之外。本文公布的数据说明，在二十一世纪，参与式管理正逐步成为主要的技术管理模型。在越来越多地采用云计算来满足业务需求的众多公司中，参与式管理模型的势头越来越猛。与此相反，对于避免使用云部署和其他替代部署模型的公司来说，它们未来可能会继续使用更为传统的集中式/联合式管理结构。我们的调查和访谈数据描述了技术管理正在发生怎样的变化。随着新技术和技术分发交付模型的出现，技术管理沿着与二十世纪及二十一世纪初的主流模型截然不同的途径演变。基于这些数据，本文描述了一种新型的参与式管理矩阵，其认识到了内部和外部人员在技术管理流程中发挥的作用。

## 技术管理

Peterson<sup>14</sup> 把信息技术管理定义如下：“IT 管理描述了企业内 IT 决策权和职责在不同人员之间的分配情况，并定义了做出和监控 IT 战略决策的流程和机制。”与企业管理的所有方面相同，技术管理涉及

## » 重要见解

- 技术管理过去往往受到严格控制，但现在已经慢慢放开。
- 如今存在很多内部和外部的技术“管理者”，五年之前没人能预测这一点。
- 管理现在关乎生产效率和伙伴关系，而不仅仅是标准化和控制。



决策权。这些决策权通常用责任 / 问责 / 咨询 / 通知 (RACI) 图解进行组织, 其中描述了允许谁来采购、部署和支撑业务技术。<sup>12,20</sup>

在集中式的 IT 组织中, 向企业高管 (越来越多地是 CFO) 汇报的核心团队在涉及技术的采购、部署和支撑的事务中拥有决策权。在分权的组织中, 企业和业务单元之间分享了决策权; 在联合式组织中, 权力通过企业的 IT 团队、业务单元、甚至是企业的特定职能部门之间的协调确定。<sup>1,5-8,11,18,21,23,25</sup>

本文中有关技术管理的研究沿革是指导性的。多年以前, 包括 Brown 和 Magill<sup>7</sup>、Rockart 等人<sup>18</sup> 以及 Weill 和 Broadbent<sup>25</sup> 在内的研究人员讨论了组织真实 (organizational reality) 和选择的现实 (reality of choice) 场景下的技术管理, 其中硬件、软件和通讯的选择范围有限。但是, 随着各组织发生了变化, 特别是有了使用业务单元的联合体, 而且技术的选择范围更宽, 管理方面的研究便提供了另一种洞见让人们探讨公司如何重新定义管理以及技术在所有业务流程和模型中的作用。<sup>11,20,21,23</sup>

技术一致性和管理方面的研究有很多。<sup>3,6,13,24,28</sup> 我们还了解了结构和流程方面的很多知识。<sup>26</sup> 我们了解到, 管理结构的差异往往要通过各项措施的制度化来阐明。在历史上, 与战略技术 (比如业务应用和专用硬件), 技术管理在运营技术 (比如笔记本电脑、台式机、网络、存储和安全) 方面, 特别是新兴技术 (比如社交媒体、基于位置的服务、可穿戴设备和物联网) 方面表现得更为清晰和制度化。<sup>2,14,17,19</sup> 部分根据 Weill 和 Broadbent<sup>25</sup>, Weill 和 Ross,<sup>26</sup> 以及 Andriole 的论文, 图 1 勾勒了三种技术类型的差异。<sup>2,3</sup>

在二十世纪七十年代和二十世纪九十年代, 基础设施、内部开发

新的基于云的技术分发交付模型以及“消费化”设备的激增已经完全改变了管理的平衡。

的应用以及数据库通常是集中式的, 受企业首席信息官 (CIO) 的掌控。这种控制结构的一部分可以通过当时硬件和软件相对稀缺来解释。如今情况有所不同, 与管理企业资产的, 广为流行的“命令和控制”方法相比, 硬件、软件、通讯和交付的选择面更广。

随着时间的推移, 集中式逐渐让步给分散式, 然后是联合式。企业的 CIO 利用“技术标准化”予以抗衡, 他们相信, 即使业务线拥有了某种控制能力, 只要他们控制了主要设备 (服务器、台式机和通讯设备) 的技术标准, 他们实质上仍处于领导地位, 即便他们没有选择组织的任何一个业务应用。集中式、分散式和联合式的博弈一直在进行中, 直到二十世纪九十年代初出现了网络 (Web)。此时控制受到哪些没把自己仅当成终端用户的技术“消费者”的影响。

在二十世纪九十年代中期到晚期, 管理发生了变化, 这主要是因为 dot-com 时代的“非理性繁荣”和认为技术相比于战术而言, 更偏向战略的临时判断。2000 年 dot-com 崩溃后, 管理回归了运营成本控制, 然后一直如此。直到 2003 年, 技术预算才重新有所增加。在二十一世纪 00 年代的中期, 管理再次发生了改变, 此时企业的 CIO 和业务单元的 CIO (假设架构中认可了业务单元的 CIO) 或“业务单元技术总监” (有时候也这么称呼) 共享了管理权。公司继续沿着这条路发展, 直到 2008 年金融世界再次崩盘, 而管理又再次发生了改变, 此时它被集中在少数——甚至只有一个——高管 (CFO, COO 或 2008 年后偶尔会是 CEO) 手中。

随着越来越多的业务流程和模型通过数字技术得以转变或增强, 技术也通过新的分发交付模型 (特别是云分发交付模型) 变得更容易获取。这最后决定了业务对其数字

技术的可靠性、伸缩性和安全性近乎完全的依赖，永久地改变了公司采购、部署和支撑技术的方式。也就是说，所有类型的业务都发现，如果没有 IT（更广一点，没有新的技术分发交付模型），它们无法发挥作用——甚至无法存在。

各种旧的管理观念正在受到技术商品化、消费者化和备选技术分发交付模型的挑战，同时其他新兴的技术也正将对它们娴熟的问题求解能力发起冲击。这种挑战不仅关乎集中式 / 分散式 / 联合式管理的细微差别，还涉及某些认可外部参与者重要性的，但截然不同的管理结构。

业务单元大胆主动地试点和采用新技术。消费者化的、通过云提供的技术已经改变了技术采购、部署和支撑方面的规则。业务单元不再向企业的 IT 部门询问他们是否能租用软件或购买 iPad；他们选择了以后就进行租用和购买，往往不告知 IT 他们所做的一切。所谓的“蒙蔽 IT”比以往任何时候都要普遍。做其所愿的能力得到了技术本身的推动。云计算，租用而不是购买技术以及轻松维护的设备（比如智能机和平板电脑）让任何人能轻松地采购、部署和维护数字技术。新的基于云的技术分发交付模型以及消费化设备的激增已经完全改变了管理的平衡。

每种管理的配置均带有多种复杂关系和后果。决策和输入权的分配要考虑人事的因素，同时又要实用。公司必须决定它们希望如何分配权力，以及它们希望推动自己的权力分配流程走多远。

## 挑战

运营技术已经完全商品化这一概念本身就几个重要的方面对管理发起了挑战。例如，很多公司把自己的运营技术外包给本地或离岸提供商。分享外包管理，甚至是运营技

术的外包管理也有用，特别是在公司进行全球化的时候。战略技术（面向客户和供应商的技术）往往受技术和业务专业人士的“共同管理”，因为绩效指标涉及技术和职能两方面。供应链的合作伙伴构成了对管理的持续挑战，因为他们往往会提出自身的集成和互操作性挑战，而与其有业务往来的业务单元必须满足这些挑战。<sup>10</sup>

租用（而不是购买和安装）软件呼唤使用全新的管理模型。在很多公司中，供应商管理已经成为一种核心能力。服务水平协议必须加以管理，以确保绩效；业务单元及类似的中心 IT 部门需要在这方面发挥作用。与此类似，在十年内，作为构建和维护大型服务器群的可行替代方法，通过云交付来租用硬件会兴起。这一趋势也会对管理构成挑战，它要求业务和技术单元之间进行合作，因为“控制”将会涉及的第三方——云和供应链提供商——承诺向整个公司，而不仅仅是其中心 IT 组织提供支持。

消费者化已经改变了技术的引入方式。现在，往往在雇员进入办公楼前，技术的采用就已经发生。Web 2.0 和社交媒体技术（比如百科、博客、播客、RSS 过滤器、虚拟现实、众包、混搭和社交网络）正在迅速地迈进公司。企业的 IT

部门在艰难地跟上雇员、客户和供应商对这些工具的使用。混搭（Mashup）指在公司的可控范围内部和外部创建计算组件。谁来控制哪些 API，组件和小部件可以通过混搭进入新应用？公司如何防止博客和百科涌现在雇员的笔记本电脑上？

基于网络的应用也对旧的管理模型提出了挑战。它们构建迅速，几乎立即部署。对于现有的面向交易的网站，进行改变也迫在眉睫。如果业务单元希望发布修订后的全球定价目录，这是否需要经过企业的 IT 部门？十年前，当我们对拟支持实时决策的用户自定义规则引擎和其他技术进行投入时，我们就面临了那种权力的深渊。新应用向业务单元，而不是企业 IT 负责的内部专业人士（越来越多地变成外部开发者）设计和开发。如之前提到的那样，除了在架构级别之外（其仍应处于企业技术组织的控制之下），应用的开发和所有类型的、基于网络的应用都不再受到企业 IT 的管理。参与式开发与过去不同，但是作为新兴主流交易平台的网络的异军突起却改变了所有的东西。

全球化则是新管理模型的一个主要驱动力。随着越来越多的公司拓展了它们的全球范围，对于那些它们鼓励增长的业务单元，它们

图 1. 技术类别

运营技术	战略技术	新兴技术
共享的应用（比如会计、预算、数据库管理和企业资源规划）	连接客户、供应商和合作伙伴的应用	提升和颠覆运营效能的技术
共享服务（比如网络、安全性、风险管理 和邮件）	让业务单元 在市场脱颖而出的业务单元应用	提升——和颠覆——业务模型和流程的技术
共享数据库（比如客户、制造商和供应商的数据库）	特定用于业务单元和垂直产业的应用和数据库	大数据分析、社交媒体和可穿戴设备
共享的”标准“设备（例如笔记本电脑、打印机和电话）	采购或定制化的、预期寿命短的应用和数据库	运营和战略方面的数字趋势及最佳试点

图 2. 管理的参与者。

内部人员			外部人员		
企业	企业职能	业务单元	硬件、软件和 服务提供商	合作伙伴和供应商	大众
定义了企业使命和组织整体	定义了企业内部各种组织(比如营销、金融、产品和服务)	专注于特定用户群体,利用的汇报架构(包括技术领导者)会计、人力资源和销售和利润的企业实体。	向企业和业务单元提供硬件、软件、网络和其他服务的供应商(越来越多地通过云分发)	支撑业务职能及产品和服务定义、制造和分发交付以及合作伙伴和供应商	服务企业、业务单元、提供其他活动的业务合作伙伴和供应商可能以任何方式为公司成功做出贡献的所有其他组织

图 3. 从业务 (B) 和技术 (T) 专业人士处得到的结果

向业务 (B) 和技术 (T) 专业人士提出的问题	B	T
	% 是	% 是
你们有管理政策吗?	71%	91%
你们的管理政策有效果吗?	43%	61%
业务线是积极的管理合作伙伴吗?	44%	15%
中心的 IT 团队控制运营的 IT 资产吗?	67%	82%
因为您的管理政策,“蒙蔽 IT”是否更大了?	89%	42%
中心的 IT 组织是否应该拥有运营技术?	76%	86%
业务线是否应该拥有战略技术?	89%	59%
业务线是否应该拥有新兴技术?	69%	44%
管理是否仍是标准化和控制?	54%	91%
业务线是否应该拥有更多的管理能力?	88%	32%
云是否代表了管理“赛局”的改变者?”	92%	69%
供应商是否应该成为管理流程的一部分?	87%	49%
咨询师是否应该成为管理流程的一部分?	89%	51%
提供商是否应该成为管理流程的一部分?	71%	47%
大众是否应该成为管理流程的一部分?	86%	39%
业务线是否应该定义管理流程?	87%	37%
企业 IT 是否应该定义管理流程?	41%	76%
技术管理是否应该更“民主化”?	81%	58%
技术”管理“是不是过时的概念?	43%	52%

必须调整用于管理那些业务单元的权力。有必要利用分散化和联合来支撑敏捷决策;在全球扩展的业务单元需要当地主体来做出本地和区域性的决策。把企业 IT 从总部扩展到全球偶尔会有意义。但是,维持庞大的技术外派团队费用高昂,令人望而却步。随着各公司在世界

范围内构建了可持续的局点,本地的人才、提供商和本地/区域/国家的支撑能够发挥作用。

全球化呼唤新的管理结构。“总部”必须分权。标准必须成为架构方面和流程方面的东西,而不是基于品牌、模型或供应商。我们的数据说明,企业的 CIO 和 CTO 应该

把重点放在基础设施优化以及备选的技术分发交付模型和架构上,而非其他的事务上。业务单元应该把重点放在需求、应用开发(架构标准内)和类似社交媒体中使用的快速/廉价技术的部署上。如果公司没有围绕这些活动来调整自己的管理,那么业务和技术的伙伴关系将会解体。同时,也会面临来自希望采取快速、廉价及自适应行动的业务单元的重大阻拦。如果中心的 IT 组织阻碍了这些运营原则,那么业务线会终止运营 IT 组织。

### 参与式技术管理

让我们来看下我们分析中的核心结果:当技术管理基本上是技术和业务专业人士在自己的公司里定义和实施的实务时,新的参与式管理反映了决策权在多个内部和外部参与者之间的分配情况。

“参与式管理”的概念源于非正式的讨论,并通过在全球范围内(调查范围)以及美国本地/区域/全国范围内(访谈范围)与业务及技术经理和业务高管就技术管理的状态开展正式访谈和调查进行了验证。收集的数据来自多家公司的技术和业务两方面。细分群体后,数据说明技术专业人士支持参与式管理的可能性稍微低一点,而业务专业人士支持它的可能性要大得多。然而,人们普遍同意,云和供应链计算是参与式管理的主要驱动力,同时技术供应商和业务供应商应该成为管理流程的一部分。

此处的讨论对比了企业领导人过去的技术管理方式与技术管理的可能的发展方向。参与式管理是对二十世纪和二十一世纪初盛行的相对封闭的管理结构和流程的回应。受访者还把它描述成对数字技术在企业可控范围内部和外部的普及传播的回应。管理的整个概念范围扩大了。我们的数据确定了在技术资产的采购和

控制中以及技术流程和服务的管理中存在的新兴潮流。

各公司会定期放眼外部，以做出技术决策；也就是说，他们发现他们必须咨询公司外部的人员或参与者以做出重要的技术采购、部署和支撑决策。我们整合了多次调查中取得的结果，并补充了访谈进行佐证，通过访谈（非正式地举例说明）证明调查数据向我们展示的东西有效或无效。

图 2 勾勒了我们的数据中确定的管理参与者。调查和访谈问题重点关注了管理的参与者、模型和流程。此处，我们通过填写调查和访问的结果得出了一个新的基于 RACI 的管理矩阵。在新兴的管理流程中，参与者的数量增加了，而且几乎所有的增长来自众所周知的企业可控范围外部。某些新参与者是采购、部署和支撑技术的方式发生变化后产生的结果（比如，如今有庞大的，受合同约束的云计算提供商）。与此类似，集成的供应链也增加了技术提供商之间的依赖。最后，由于很多客户黏在他们的社交网络上，如今的公司必须通过他们无法用任何方式、框架或形式控制的通讯和内容网络来吸引住客户。他们如何“管理”这种活动？

### 调查和访谈数据

收集的数据来自作者在维拉诺瓦大学通过卡特联盟【Cutter Consortium (<http://www.cutter.com>)】2008-2014 年举行的调查以及作者在 2004-2014 年与担任维拉诺瓦大学 CIO 技术咨询委员会（Technology Advisory Council）成员的 CIO 和 CTO 们的访谈。维拉诺瓦大学 CIO 技术咨询委员会是一个轮换小组，由 50 多位本地、区域和全国性的技术高管组成。调查和访谈涉及了 500 多位技术经理和高管。数据通过每两年一次的回访调查和面对面访谈收集。研究人员开发了用

细分群体后，数据说明技术专业人士支持参与式管理的可能性稍微低一点，而业务专业人士支持它的可能性要大得多。

于这两种数据收集过程的调查工具和问卷。围绕技术管理和备选的组织架构，研究人员询问了普通的技术采用问题以及特定的问题。数据反映了来自公司技术和业务两方面的输入，其中要求了参与者确定其在技术管理中的角色。本文报告的数据代表了 2008-2014 期间的综合百分比。

图 3 勾勒出了与二十世纪后期和二十一世纪初举行的调查中表达的管理观念和态度极为不同的因素。首先请注意运营技术、战略技术和新兴技术之间的差异。还请注意参照的人员的范围。有通常的可疑角色——企业和业务单元的客户——但也有新的角色表，其中包括供应商、提供商、合作伙伴、甚至是“大众”或在社交媒体网站中聚集的随机角色。全体角色说明了为什么如今管理的范围和管理人员的数量明显不同，也说明了为什么控制的整个概念将让步于可能称为“参与式”或“共享”控制的东西。

还请注意技术和业务专业人士的差别。业务专业人士对管理的趋势抱有坚定的看法，同时技术的专业人士也承认技术管理和采购发生了变化，尽管他们的观点与业务专业人士的观点明显不同。

在我们与业务侧的 CIO、CTO、资深高管和经理的会谈中，他们表示参与式管理是无法避免的，赞同”推荐“采用更为合作和参与式的方法实施技术管理：

下面列出了一些技术高管发表的真知灼见。

“业务会要求更多地控制技术，这只是个时间问题。我的意思是说，我们过去多年来一直让它们若即若离。当苹果开始制造人人真正想要的东西后，我们立即身陷困境。所以我们不得不放弃某些控制。”——某家化学制品公司的 CIO

“世界真的是平的。我们在全世界销售产品，我们的数据库和应

用（包括云）也遍布各地。我们无法在一个地方控制所有的事情。我们不得不重新思考管理，否则将会出现革命。”——某家技术公司的 CIO

“在五年内，我们 90% 的东西会基于云。在如何管理技术方面，我们的供应商说多少，我们做多少。很快，云供应商会告诉我们能做什么，不能做什么。”——医药公司的 CIO

“IT 说了算的时代已经过去了。可能这不是件坏事。长久以来，我们拥有所有的技术和流程，用于购买和实施技术。但是现在我们必须加快步伐，向需要更快、更廉价的技术的各种业务开放我们的标准。我猜时机已到。”——金融服务公司的 CIO

“与业务部门共事很棒。但是他们一直不理解 IT 有多复杂，也不了解让技术发挥作用需要多少工作。我们必须不停地携手供应商和咨询师，把这些搞清楚。业务部门更担忧技术现在能为他们做什么，特别是对销售的影响。这很好，但这比挥手难多了。”——金融服务公司的 CIO

“业务线明白了。它们了解他们需要我们的基础设施，但是它们希望更多地控制他们使用的应用。我能理解这点，只要他们的决定能让基础设施保持长青。我们不能放任他们乱来。必须有一些规则，

但是我觉得这些规则需要更灵活。现在我得到了。”——保险公司的 CTO

下文列出了我们在与业务高管的访谈中扑捉的一些名言：

“我们需要迅速前行。我们不能等 IT 来决定我们应该——或不应该——做什么。我们的问题需要技术解决方案。虽然标准重要，而且所有的标准也带来了稳定性和安全性，但我们仍然需要快速解决问题。”——医药业务单元的负责人

“IT 这个群体告诉我不能做什么，而不是我希望利用技术做什么。这必须改变，否则我们会落后。当我要求新技术时，我的问题假定了 IT 能把它用起来。否则我会在其他的地方找到它。”——生物科技公司的 CEO

“云计算已经给了我们所有的希望。这不仅是因为它代表了一种很好的替代方案，还因为它把我们企业 IT 解放出来。过去当我们需要某个新数据库或应用时，我们必须找 IT，然后 IT 会告诉我们实现起来太难。因为我们依赖 IT 的基础设施来完成工作，我们必须接受他们对提供我们所需的东西的难易程度的“解释”。现在，我们可以去找云，然后仅仅租用那些东西。”——金融服务公司的销售经理

“处于中心的 IT 向我们询问我们需要什么的时候到了。而且，现

在我们说的时候，他们会听。我一直在想，他们听的原因是因为他们希望更快响应，还是因为他们知道我们可以自己去买。感谢上帝，有了云。它给了我最终的王牌。”——保险公司业务单元的 CIO

调查和访谈数据说明，业务和技术专业人士了解管理流程正在变化，同时管理过程的参与者数量正在增加。现在，云中的供应商、服务提供商、合作伙伴和同僚均是管理人员。供应商和服务提供商是特殊的人员，因为它们提供的产品和服务定义了实际上的管理。把大量的运营基础设施外包出去的公司也同时外包了它们的很多技术标准以及围绕这些标准的管理。虽然标准本身范围可能很广，但它们仍然定义了硬件、软件和服务方案的内容。

外包大量技术和技术服务的环境与它们的提供商分享了管理。与此类似，供应商和其他合作伙伴经常会要求特定的、基于技术的交易处理，它也会导致分享式管理。<sup>9,22</sup> 大众是对企业管理的最剧烈的挑战。大众是对每个人的技术能力进行各种“扩展”的源头。在这方面，最佳的例子是公司和个人发布的应用程序接口（API）。API 让客户和他们的提供商能够快速、廉价地扩展应用的功能。但是，所有的 API 都可以使用吗？管理必须加以延伸，远远超出公司可控范围之外，进而包括更多的政策和规程，用于

图 4.RACI 参与式管理

参与者		技术			
		运营技术	战略技术	新兴技术	
内部	企业	R/A/C/I	R/A/C/I	R/A/C/I	
	企业职能	R/A/C/I	R/A/C/I	R/A/C/I	
	业务单元	R/A/C/I	R/A/C/I	R/A/C/I	
外部	硬件、软件和服务提供商	R/A/C/I	R/A/C/I	R/A/C/I	
	合作伙伴和供应商	R/A/C/I	R/A/C/I	R/A/C/I	
	大众	R/A/C/I	R/A/C/I	R/A/C/I	

管理外部开发的——但强大的——API 和其他可用于增强功能的软件部件的使用。除了 API 和小部件外，大众还能提供专业知识。在选择性地解决企业问题方面，我们正快速地转向一种自由人方法。假设公司必须开发一个仪表盘、一个流程、一种化学制品或一种药品，会发生什么呢？它应该转向大众吗？假设公司把自己的帮助台转给大众，并在专家解决问题后付费，会发生什么呢？这些趋势至少部分假定了分享式管理。

最后，图 4 描述了从调查和访谈数据中得出的责任 / 问责 / 咨询 / 通知 (RACI) 图解。该数据说明了参与的范围——从负责到通知——已经发生转变。特别重要的是，在管理流程中增加了外部人员。

RACI 图解说明，企业负责 (R) 和问责 (A) 运营技术，但在战略和新兴技术方面，程度稍低。它还说明，提供商应该对业务交付负责 (A)，因为很多技术现在从云提供商处被外包了。合作伙伴和供应商在运营技术的选择和部署 (As) 中也发挥了重要作用。

企业的职能部门和业务单元问责 (A) 和负责 (R) 战略和新兴技术。与二十世纪的管理相比，这是个重大转变。但是大部分 (如果不是所有的) 战略和新兴技术都在企业 CIO 的管理之下。

提供商、合作伙伴和大众通过他们的咨询 (C) 和通知 (I) 角色成为了技术采购、部署和支撑的直接参与者，但提供商还分担了战略和新兴技术的责任 (A)，这主要是因为新技术的集成和支撑相当复杂。这是一种新结构。

## 结语

这些结果和分析说明，管理正在变化，”控制“的概念则变身融入协作和参与。同时，参与式管理将替

代二十世纪僵化的传统管理结构和流程，甚至替代二十一世纪初更为开放的”联合式“结构。参与式管理承认管理人员的数量在增大，技术的商品化，消费者化以及越来越多地把运营、战略和新兴技术进行外包的现象。本文数据还说明，通过参与式管理，可以获取新的业务技术一致性机会。 □

## 参考资料

1. Agarwal, R. and Sambamurthy, V. Principles and models for organizing the information technology function. *Management Information Systems Quarterly Executive* 1 (Mar. 2002), 1–16.
2. Andriole, S.J. Ready technology. *Commun. ACM* 57, 2 (Feb. 2014), 40–42.
3. Andriole, S.J. Boards of directors and technology governance: The surprising state of the practice. *Communications of the Association for Information Systems* 24 (Mar. 2009), 373–394.
4. Brousell, L. IT Reorgs on the horizon. *CIO Magazine* (Feb. 26, 2013).
5. Brown, C.V. Examining the emergence of hybrid IS governance solutions: Evidence from a single case site. *Information Systems Research* 8, 1 (1997), 69–94.
6. Brown, A.E. and Grant, G.G. Framing the frameworks: A review of IT governance research. *Communications of the AIS* 15, 38 (2005), 696–712.
7. Brown, C.V. and Magill, S.L. Alignment of the IS functions with the enterprise: Toward a model of antecedents. *MIS Quarterly* 18, 4 (Apr. 1994), 371–403.
8. Chan, Y.E. and Reich, B.H. IT alignment: What have we learned? *Journal of Information Technology* 22, 4 (2007), 297–315.
9. Demirkan, H., Cheng, H., and Bandyopadhyay, S. Coordination strategies in an SaaS supply chain. *Journal of Management Information Systems* 26, 4 (2010), 119–143.
10. Dong, H., XU, S.X., and Zhu, K.X. Information technology in supply chains: The value of IT-enabled resources under competition. *Information Systems Research* 20, 1 (Mar. 2009), 18–32.
11. Evaristo, J.R., Desouza, K.C., and Hollister, K. Centralization momentum: The pendulum swings back again. *Commun. ACM* 48, 2 (Feb. 2005), 66–71.
12. Feltus, C., Petit, M., and Dbois, E. Strengthening employee responsibility to enhance governance of IT: COBIT RACI chart case study. In *Proceedings of the ACM Workshop on Information Security Governance* (Chicago, Nov. 13). ACM Press, New York, 2009, 23–32.
13. McElheran, K. Decentralization versus centralization in IT governance. *Commun. ACM* 55, 11 (Nov. 2012), 28–30.
14. Peterson, R. Crafting information technology governance. *EDPACS: The EDP Audit, Control, and Security Newsletter* 32, 6 (Dec. 2004), 1–24.
15. Peterson R. Configurations and coordination for global information technology governance: Complex designs in a transnational European context. In *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Science* (Wailea, Maui, Jan. 2–6). IEEE Computer Society Press, 2001.
16. Peterson, R. Information strategies and tactics for information technology governance. In *Strategies for Information Technology Governance*, W. Van Grembergen, Ed., Idea Group Publishing, Hershey, PA, 2003, 37–78.
17. Peterson, R., Parker, M.M., and Ribbers, P. Information technology governance processes under environmental dynamism: Investigating competing theories of decision making and knowledge sharing. In *Proceedings of the 23<sup>rd</sup> International Conference on Information Systems* (Barcelona, Spain, Dec. 15–18). Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 2002.
18. Rockart, J., Earl, M., and Ross, J. Eight imperatives for the new IT organization. *Sloan Management Review* (Oct. 1996), 43–55.
19. Sambamurthy, V. and Zmud, R.W. Arrangements for information technology governance: A theory of

- multiple contingencies. *MIS Quarterly* 23, 2 (Feb. 1999), 261–290.
20. Teo, W.L., Manaf, A.A., and Choong, P.H.L. Practitioner factors in information technology. *Journal of Administrative Sciences & Technology* (June 2013), 1–12.
21. Tiwana, A., Konsynski, B., and Venkatraman, N. Information technology and organizational governance: The IT governance cube. *Journal of Management Information Systems (Special Issue)* 30, 3 (Winter 2013–2014), 7–12.
22. Topi, H. and Tucker, A.B., Eds. *Information Systems and Information Technology, Volume 2 (Computing Handbook Set)*. Taylor and Francis, Boca Raton, FL, 2014.
23. Ullah, A. and Lai, R. Requirements engineering and business/IT alignment: Lessons learned. *Journal of Software* 8, 1 (Jan. 2013), 1–10.
24. Wallace, M. and Webber, L. *IT Governance: Policies & Procedures*. Wolters-Kluwer, Alphen aan den Rijn, the Netherlands, 2012.
25. Weill, P. and Broadbent, M. *Leveraging the New Infrastructure: How Market Leaders Capitalize on Information Technology*. Harvard Business School Press, Boston, MA, 1998, 58–62.
26. Weill, P. and Ross, J. *IT Governance: How Top Performers Manage IT Decision Rights for Superior Results*. Harvard Business School Press, Boston, MA, 2004.
27. Weill, P., Subramani, M., and Broadbent, M. Building IT infrastructure for strategic agility. *Sloan Management Review* 44 (Oct. 2002), 57–65.
28. Weill, P. Don't just lead, govern: How top-performing firms govern IT. *MISQ Executive* 3, 1 (Mar. 2004), 1–17.
29. Winkler, T.J. and Brown, C.V. Horizontal allocation of decision rights for on-premise applications and software-as-a-service. *Journal of Management Information Systems* 30, 3 (Jan. 2014), 13–48.

Stephen J. Andriole (stephen.andriole@villanova.edu) 是宾夕法尼亚州维拉诺瓦大学维拉诺瓦商学院会计与信息系统系业务技术的 Thomas G. Labrecque 教授。

译文责任编辑：田丰

**内幕揭秘：个人健康信息搜索  
如何成为私营企业的财产**

TIMOTHY LIBERT

## 在网上查找健康信息所带来的隐私含意

网上隐私问题成为越来越受欢迎的研究领域，但它的定义仍然模糊不清。”隐私“本身就是一个随位置、场景和文化而变化的词语。另外，网络包罗了庞大的专业站点和可能仅适用于少数用户的活动——这让定义广泛存在的隐私问题变得相当难。与此类似，随着技术和服务的激增，网上和网下的界限变得越来越模糊。试图了解这种快速变化环境的研究人员经常会受到上述因素的阻挠。因此，研究的理想对象是本质上敏感、应用于大多数用户且容易进行分析的问题。对网络上健康隐私的研究满足了所有上述准则。

自古希腊开始，健康信息就被视为敏感信息。在公元前<sup>5</sup>世纪，遵守希波克拉底誓言的医生需要发誓：凡我在病人生活中之所见所闻……我认为应守秘密者，我愿保守秘密。<sup>21</sup>该誓言现在仍在使用，而且健康隐私的重要性仍然得到了广泛承认。然而，当对健康信息的查询转移到网上后，医生办公室内的隐私被予以交换，换来了默默侵入的行为跟踪。这种跟踪提供了价值颇高的有利形势，可依其观察根深蒂固的文化规范与技术创新之间的冲突之处。

网上健康隐私是一个影响大多数互联网用户的问题。根据皮尤研究中心（Pew Research Center）的数据，72%的美国成年互联网用户上网了解医疗状况。<sup>9</sup>但只有13%的人一开始就在专业的健康网站上搜索。事实上，健康信息可以在很多网站上找到，范围从报纸、讨论论坛一直延伸到研究机构。为了发现用户在寻找健康信息时访问的全部站点，通过归总对1,986种常见疾病的查询响应，我使用搜索引擎确定了80,142个独一无二的，与健康相关的网页。选中的这些页面代表了用户实际访问的内容，而不是一小部分特定的健康门户网站。

确定了与健康相关的网页总体后，我创建了一个定制的软件平台来监测向第三方发起的HTTP请求。我发现，91%的页面向其他方

### » 重要见解

- 在80,142个健康相关的网页中，超过90%的网页发起了对第三方的HTTP请求，这常常在用户的觉察之外。
- 约70%的第三方请求在URI字符串中传输了特定症状、治疗和疾病的信息。
- 网页访问者面临他们的健康兴趣被公开识别的风险以及他们被营销人员盲目歧视的风险。
- 现有的政策数量极少，效果也差，说明需要进行干预。



发起了请求，这可能会让用户的隐私存在风险。鉴于 HTTP 请求通常包括当前访问页面的 URI（称之为“Referer”），有关特定症状、治疗方案和疾病的信息可能会被传输出去。我的分析表明，70% 的 URI 包括此类敏感信息。

这种第三方请求的激增让企业有可能汇总出不知情用户的健康情况档案。为了确定哪些公司是这些数据的接收者，我还分析了请求最多的第三方域名的所有者。由此我得出了揭示个人健康信息搜索如何成为私营企业财产的内幕。

本文首先简要介绍了第三方 HTTP 请求如何工作的基础知识，然后回顾了本领域先前的研究，接着详细描述了方法和结果，最后提出了保护网上健康隐私的建议。

### 背景：第三方 HTTP 请求

现实世界的例子是理解信息在普通网页上如何泄露给第三方的最佳途径。当用户在网上搜索“HIV”时，最顶部的结果之一是美国疾病控制与预防中心（CDC）的页面，地

址为 <http://www.cdc.gov/hiv/>。<sup>a</sup> 点击该结果会向 CDC 网页服务器发起名为“第一方”超文本传输协议（HTTP）请求（图 1.1）。该请求的一部分如下：

```
GET /hiv/
Host: www.cdc.gov
User-Agent:Mozilla/5.0 (Macintosh...
```

该请求被发给 CDC 网页服务器（“Host: www.cdc.gov”），是一条要求返回（“GET”）地址为“/hiv/”网页的指令。该请求还包括“User-Agent（用户代理）”信息，告诉服务器用户所使用的浏览器和计算机的类型。在上面的情况中，用户在 Macintosh 电脑上使用 Mozilla Firefox（火狐）浏览器。在加载特意为智能机或平板电脑优化的页面时，这个信息相当有用。

一旦做出这种请求后，CDC 网页服务器就会给用户发送一个 HTML 文件。该文件包含了页面的文本，以及告诉网页浏览器如何下

载其他元素（如图片）并设置其格式的一套指令（图 1.2）。为了获得 CDC 的标识图片，浏览器发出了下列 HTTP 请求：

```
GET /TemplatePackage/images/cdcHeaderLogo.gif
Host: www.cdc.gov
User-Agent:Mozilla/5.0 (Macintosh...
Referer: http://www.cdc.gov/hiv/
```

这个请求引入了名为 Referer 的新信息，它包含了用户正在访问页面的地址。CDC 网页服务器可保持所有的 HTTP 请求记录，以确定对哪些页面和内容的访问最为频繁。

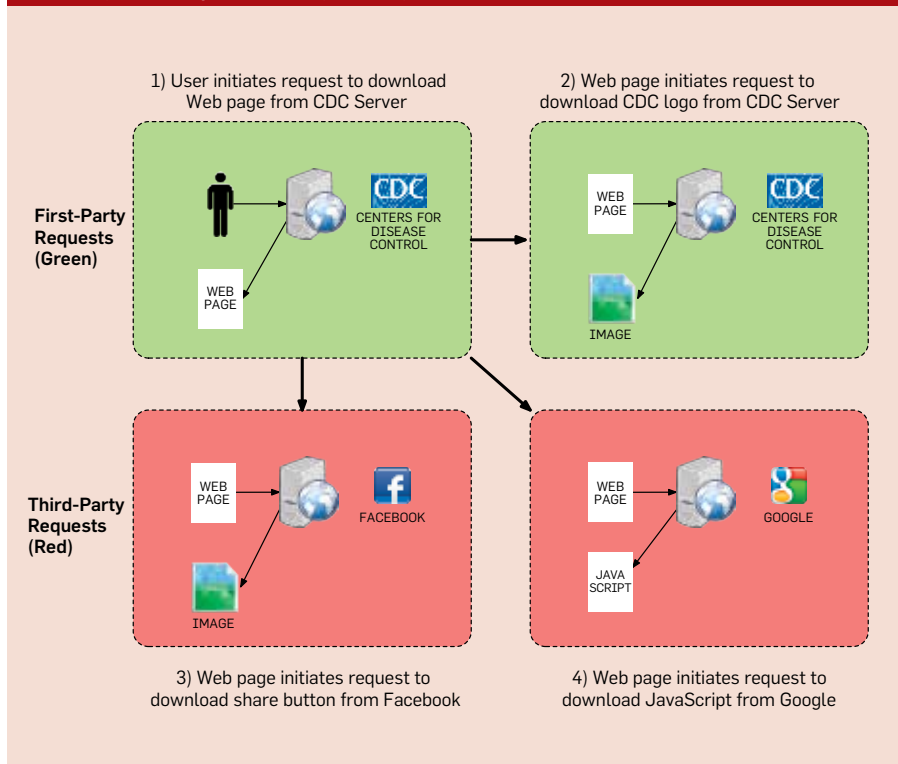
因为两次请求的“Host（主机）”完全相同（www.cdc.gov），用户只与一方互动，这类请求被称为“第一方请求”。知道用户正在查询 HIV 信息的唯一两方为用户和 CDC。然而，HTML 文件还包含了向外部各方发出请求的代码。这种类型的第三方请求通常用于下载第三方元素，如图片和 JavaScript。由于事实上用户往往不知道这种请求，它们形成了所谓的“隐蔽网络（Invisible Web）”的基础。

在 CDC 的 HIV 页面，第三方的请求发给了 Facebook（脸谱）、Pinterest（品趣志）、Twitter（推特）和 Google（谷歌）的服务器。对于前三家公司，请求的元素全部是社交媒体的按钮，它们支持通过“Recommend（推荐）”、“Tweet（推文）”或“Pin It（别住它）”图标分享内容（图 1.3）。很多用户不大可能了解到这些按钮的出现意味着他们的数据被发给了这些公司。相比之下，页面上的谷歌元素完全不可见，也没有谷歌标识存在。这些请求之一发给了谷歌分析（Google’s Analytics）服务（图 1.4），用于下载一个包含了 JavaScript 代码的文件。

```
GET /ga.js
Host: www.google-analytics.com
User-Agent:Mozilla/5.0 (Macintosh...
Referer: http://www.cdc.gov/hiv/
```

a 截至 2014 年 4 月

图 1.1. CDC 页面对 HIV/AIDS 的第一方和第三方请求。



同样，Referer 字段揭示了用户正在访问有关 HIV 的页面。通过把用户代理、Referer 和用户的 IP 地址等信息放在一起，像谷歌和 Facebook 那样的公司能够识别出关注 HIV 的人。<sup>34</sup> 访问这些页面的人则不大可能知道这一事实，而且知道后不会高兴。

### 先前的研究

先前的研究已经证明，虽然用户对这种类型跟踪感到不安，但是这种跟踪的仍通过若干极为复杂的方式予以实施，而且这种跟踪的范围越来越广。

**态度。**对于个人信息在网上的使用方式，人们一直抱有疑虑。1999 年的研究确定，“只有 13% 的调查对象报告说他们‘不是很’或‘完全不’关注“他们的网上隐私。”<sup>2</sup>2003 年时这种疑虑仍然存在，当时 70% 的调查对象报告说，如果网站拥有他们的信息，他们会紧张。<sup>29</sup>2009 年的后续调查说明，67% 的调查对象同意下列观点：他们已经“完全无法控制公司收集和使用个人信息的方法”。<sup>30</sup> 这些调查证明，很多业务活动与大众的偏好完全相左。

与人们对网上隐私的普遍关注相同，在探索人们对健康信息的态度方面也有非常好的研究。2012 年，Hoofnagle 等人确定，只有 36% 的调查对象知道允许广告商跟踪他们对健康相关网站的访问。<sup>12</sup> 自 2000 年开始的广泛调查发现，85% 的健康状况较差的互联网用户担心网站会分享他们的数据，而只有 3% 的人愿意网站把他们的数据分享给其他网站、公司和广告商。<sup>10</sup> 尽管存在这些担忧，44% 的调查对象仍觉得使用美国国立卫生研究院（NIH）等机构时，他们的信息是安全的。<sup>10</sup> 前文详细描述的例子说明，这种信任可能给错了对象。

**机制。**一旦做出了第三方请求后，人们便可以使用多种不断演进的技术机制来跟踪用户。研究人员多年来一直在跟进此类机制的进

## 这种第三方请求的激增让企业有可能汇总出不知情用户的健康情况的档案。

展，他们往往会分析在网页浏览器中存在的代码和发生的行为。这些通常被称为“客户端侧”技术，因为它们发生在用户的电脑上。传统的客户端侧技术通常涉及在用户的电脑上使用名为 cookie 的小文本文件保存数据——它作为一种数字名称标签发挥作用。<sup>3</sup> 在避免这种做法时，用户正在变得越来越熟练，因此新一点的技术通常使用了所谓的“浏览器指纹（browser fingerprinting）”来根据用户电脑的特性确定用户。已经证明，这一领域的研究最近非常流行，有大量的研究探讨指纹识别技术。<sup>1,7,13,14,23</sup> 另外，Miller 等人最近还论证了，对 HTTPS 的高超攻击能够揭示“个人详细信息，包括医疗状况”。<sup>20</sup>

让我们把目光转向服务器侧，Yen 等人最近论证了一种综合使用了 IP 地址、用户代理（User-Agent）字串和发出的 HTTP 请求间隔时间跟踪技术。该团队在 80% 的时间内可以识别用户，这与客户端侧 Cookie 通常达到的效果不相上下。<sup>34</sup> 不仅如此，即使最后去掉了 IP 地址的最后八比特位，识别率也基本保持不变。去掉地址的最后八位也是主要的广告商声称在匿名化数据时使用的常用技术。Yen 等人的结果说明，虽然客户端侧可能需要新技术，但是对于高级的服务器侧技术而言，底层的 HTTP 请求便已足够。

**度量。**最后的相关研究领域是度量。网络跟踪的度量一般包含两个步骤：选择页面的总体和执行自动化的分析，分析用户数据如何被传给第三方。很多研究依赖于 Alexa 公司提供的热点网站列表，<sup>4,17,18,25</sup> 但通常采用自己的方法进行分 析。Krishnamurthy 和 Wills 在这个领域内<sup>18</sup> 进行了很多最重要的研究，<sup>17</sup> 而且根据取得给定用户上网信息的节点的数量，他们阐述了隐私足迹的观念。该团队一直以来都发现，网上的跟踪程度相当高，其中包括那些处理如健康信息等个

人敏感信息的站点。<sup>17</sup> 其他的团队进行了国家之间的对比分析<sup>4</sup>，并探讨了跟踪机制的大致趋势。<sup>19,25</sup> 在所有的度量研究中，共同的主题是，网上跟踪的数量正在增加，且没有任何减弱的迹象。本文中的数据刷新了现有的结果，并有所进步，重点放在用户在网上寻找健康信息时如何被人跟踪上面。

## 方法

为了快速和准确地揭示健康相关网页上的第三方 HTTP 请求，我的方法使用了四大主要部件：页面选择、第三方请求检测、请求分析和企业所属分析。

**页面选择。**各种类型的网站，如报纸、政府机构和学术机构在网上提供健康信息。因此，把分析限制在以健康为中心的热门网站上时，无法获取用户实际访问的很多网站。<sup>16</sup> 换句话说，皮尤（Pew Internet）和美国生活项目组（American Life project）发现，“77%”的网上健康信息搜索者称他们从搜索引擎（如谷歌、必应或雅虎）“入手，<sup>9</sup> 而不是从健康门户网站（如 WebMD.com）开始。为了给用户提供医疗诊断后会访问的页面构建最佳的模型，我首先根据源于疾病控制中心（Centers for Disease Control）、梅奥诊所（Mayo clinic）和维基百科的数据汇总出了 1,986 种疾病和状况的列表。然后，我使用必应搜索 API 来找出每项的前 50 个搜索结果。<sup>b</sup> 在去除重复和过滤二进制文件（pdf、doc、xls）后，剩下了由 80,142 个独一无二的网页组成的集合。本研究对先前工作的主要贡献在于，我的分析专注于寻找医疗信息的用户最可能访问的网页，而不管网站是否以健康为中心。

**第三方请求检测。**为了检测第三方的 HTTP 请求，我的方法使用了名为 PhantomJS 的“无请求头”网页浏览器。<sup>24</sup> PhantomJS 不需要 GUI，耗费的资源极低，因此非常

**先前的研究已经证明，虽然用户对这种类型跟踪感到不安，但是这种跟踪的仍通过若干极为复杂的方式予以实施，而且这种跟踪的范围越来越广。**

适于大规模分析。由于该浏览器基于 WebKit 构建，PhantomJS 的底层渲染引擎能够执行 JavaScript，设置和保持 cookie 以及生成屏幕截屏。对于这个项目，最重要的一点是，PhantomJS 支持直接监测 HTTP 请求，而不需要侵入浏览器，或利用网络代理。

应该注意的是，PhantomJS（1.5+）之后的新版本不支持 Adobe Flash 浏览器插件。为了处理这种潜在的局限，我使用较老的 PhantomJS（1.4）版本和 Flash 进行了测试。包含 Flash 后，资源的使用率高了很多，也不稳定，还引入了巨大的性能代价。虽然这种方法成功分析了 Flash 请求，但是我确定，Flash 元素相对罕见，对下文陈述顶层趋势的影响可以忽略。因为，我做出了决定，放弃了对 Flash 请求的分析，使用 PhantomJS（1.9）的最新版本以获取更高的软件可靠性。

为了完全利用 PhantomJS 的能力，我创建了一个名为 WebXray 的定制化软件平台，它用于驱动 PhantomJS，用 Python 收集和分析输出，并把结果保存在 MySQL 中。该流程从预先定义的网页地址列表开始，该列表用 Python 脚本获取。然后，PhantomJS 加载给定的网页地址，等待 30 秒以完成所有的重定向和内容加载，然后把 JSON 格式的输出发回给 Python 脚本分析。该技术代表了对其他方法【如搜索经流程序（如 Ghostery 或 AdBlock）检测出的已知广告元素的方法】的一种改进。<sup>4</sup> 至 2014 年 3 月，Ghostery 报告 WebMD（美国医疗网）的“HIV/AIDS”网页包含了四个跟踪器。相比之下，WebXray 检测到相同的页面向十三个不同的第三方域名发出了请求。这是由于 Ghostery 和 AdBlock 依赖筛选过的已知跟踪器黑名单，而不是报告所有的请求。

**请求分析。**WebXray 的主要目标是通过比较被访问的网页的域名与请求中的域名来识别第三方请

<sup>b</sup> 搜索结果被翻译成美国 / 英语。

求。例如，地址” `http://example.com` “和请求” `http://images.example.com/logo.png` “两者均含有域名” `example.com` “，因此它构成了第一方请求。

另一方面，相同的页面向” `http://www.googleanalytics.com/ga.js` “发出的请求带有域名” `google-analytics.com` “，这被认为是第三方请求。在评估是否存在第三方 cookie 时，也应用了与 HTTP 请求相同的技术。该方法并非没有缺陷，因为给定的网站可能实际使用了很多域名，或是子域名可能指向了外部一方。不过，当评估汇总的这些请求类型时，这些问题构成了在任何大数据集中都会存在的统计噪声。

最后，为了评估跟踪机制中存在的较大趋势，我们细分了第三方请求，以抽取参数（例如” `?SITEID=123` “）和文件扩展名【如 `.js`（JavaScript）、`.jpg`（图片）和 `.css`（层叠样式表）】。

去除参数后，对哪些元素使用最广的分析能更健壮，因为参数字符串通常带有特定的站点标识符，让它们看起来独一无二，但它们实际并不是这样。

**企业所属。** 本次调查的侧重点之一是确定哪些企业从健康相关的网页上获取信息。虽然可以用程序检测对第三方域名的请求，但谁拥有请求中的域名有时候并不清晰。通过检查域名注册记录，我能够把看起来模糊的域名（如，” `2mdn.net` “，” `fbcdn.net` “）与拥有它们的企业对应起来（如谷歌，脸谱）。这种过程让我能够追踪数据轨迹，回溯到接受这些用户数据的企业。迄今为止，文献更多地关注了技术机制，但对潜在的企业动态关注较少。本文提供了一个新的分析角度，强调了一小部分企业巨头的的能力。

**局限。** 虽然本方法利用资源的效率高，在大规模的场景下运行良好，但是它也有几处潜在的局限，其中的某些会低估第三方请求的数量。首先，鉴于访问网页的频率

较高，可能会触发服务器上的频率限制机制（也就是说，我的 IP 发出的请求会被识别为自动发出的），然后我的 IP 地址会被列入黑名单，由此造成了数量低估。其次，由于我使用了没有浏览器插件（如 Flash、Java 和 Silverlight）的 PhantomJS，某些跟踪机制可能无法加载或正常执行，由此造成了数量低估。第三，很多跟踪机制设计得让用户不好检测，由于不能检测到特定的灵巧跟踪机制，可能会引起数量低估。综上所述，本文陈述结果构成了做出的请求数量的下界。

## 结果

在 2014 年 4 月，基于 1,986 种常见疾病的搜索结果，我从中收集了 80,142 个网页并进行了扫描，目的是检测用户敏感健康数据的泄露程度和方式。

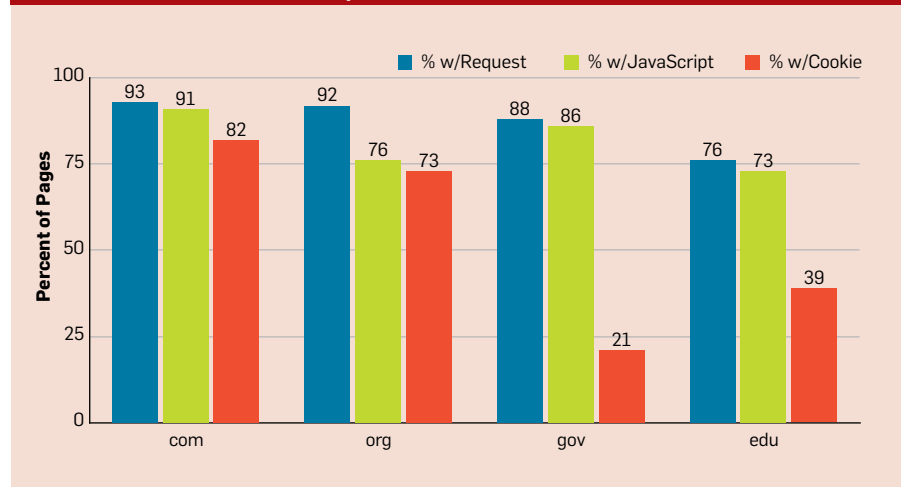
**总体趋势。** 根据从使用的 TLD 中筛选出的信息，我把顶层结果分为五个大类：他们是：所有页面、商业页面（`.com`）、非盈利性页面（`.org`）、政府页面（`.gov`）和教育相关的页面（`.edu`）。图 2 说明了这一信息。在检查的所有页面中，91% 的页面发起了某种形式的第三方 HTTP 请求，86% 下载和执行了第三方 JavaScript，71% 使用了 cookie。毫无疑问，商业网页高于总体的均值，也使用了最多的第三方请求（93%），JavaScript（91%）

和 cookie（82%）。教育网站的第三方 HTTP 请求（76%）和 JavaScript（73%）最少，其中有整整四分之一的页面没有任何第三方请求。政府页面也相当突出，因为它们的第三方 cookie 数量相对不多，只有 21% 的页面用这种方式存储用户数据。图 2 详细说明了这些结果。

**机制。** 给定 91% 的页面发出了第三方 HTTP 请求，知道当时确切的请求内容很有帮助。很多第三方请求缺乏扩展名，在浏览器浏览时，只会显示生成 HTTP 请求的空白页面，它们可能还会操纵浏览器的缓存。这种请求占前 100 种请求的 47%，它们可能指出了在用户偏好和跟踪技术之间的持续斗争中出现的新兴趋势。在最普遍的请求元素类型中，排名第二的是 JavaScript 文件（33%）。这些文件可以在用户的浏览器中执行任意代码，而且可用于执行指纹技术，操纵缓存和 HTML5 存储以及发起其他的请求。在最普遍的内容类型中，排名第三的是行之有效的图像文件，其在请求最多的元素中占 8%。表 1 说明了我发现的文件扩展名的其他细节。

既然跟踪发生在所谓的隐蔽网络中，有那么多的机制是图片，初看起来似乎相当奇怪。然而，当调查图像本身时，很明显它们几乎没有指出它们属于谁，因此用户对于它们的目的或存在一无所知。检查前 100 张请求的图像后，我确定只有 24% 包含了提醒信息，提醒用户

图 2：TLD 中第三方请求、JavaScript 和 cookie 的盛行



他们已经发起了与第三方的接触。很多图片只有一个像素大小，所以往往被称为跟踪像素，因为它们存在的唯一目的是发起 HTTP 请求。最流行的图片在 45% 的页面中都出现过，它是一个名为 `utm.gif` 单跟踪像素，是谷歌分析服务的一部分。第二流行的图片为清晰可辨认的 Facebook “Like” 按钮，在 16% 的页面中出现过。不清楚有多少用户选择 “Like” 一种疾病，但是 Facebook 能够记录页面访问，而不管用户是否点击了 “Like” 按钮，或者甚至一开始也不管用户有没有 Facebook 账户。然而，谷歌和 Facebook 并非特例，还有若干公司在网上跟踪用户。

**企业所属。**安全性和隐私研究往往把重点放在如何违反用户的隐私上面，但对谁收集用户信息的关注有所不足。简单的回答是，各种类型的广告公司开发了庞大的数据收集基础设施，这一设施设计用于避免检测以及忽略、阻碍或逃脱用户限制收集的努力。虽然在网上收

集用户数据的实体范围相当广，但一小部分私有的美国广告公司占据了隐蔽网络的绝大部分领地。

约 78% 的被分析网页含有谷歌拥有的元素。这些元素代表了若干托管服务，并使用了各种类型的域名：它们的范围从流量分析 (`google-analytics.com`)、广告 (`doubleclick.net`)、托管的 JavaScript (`googleapis.com`) 延伸到视频 (`youtube.com`)。无论提供的服务类型是什么，所有这些 HTTP 请求均以某种方式让信息漏到了谷歌。对于寻找敏感健康相关信息的大量人群而言，这意味着一家公司有能力记录他们的网络活动，而不让他们知晓或得到他们同意。

虽然谷歌是房间里的大象，但是它们绝非特例。表 2 详细说明了本次分析中发现的排名前 10 的公司以及两家数据代理公司的排名。位居第二的是 comScore，在 38% 的网页中出现；Facebook 次之，比例为 31%。这两家公司合在一起仍低于谷歌，这点令人吃惊。

另外，我根据收入模型的类型对公司进行了分类。排名前 10 的公司中，约 80% 为广告公司。这条规则的唯一例外是 Adobe 公司和亚马逊。Adobe 提供了各种软件和服务的混合，包括流量分析。亚马逊既开展客户零售服务业务，又设立亚马逊网络服务

(Amazon Web Services) 部门进行网站托管。现在，尚不清楚 AWS 数据是否被集成进了亚马逊的产品推荐或优惠，但是存在这种可能性。

虽然广告公司主导了网上跟踪，但我仍能检测出两家主要的数据代理公司。益博睿 (Experian) (5% 的页面) 和安客诚 (Acxiom) (3% 的页面)。数据代理公司的主要业务模型是收集个人和家庭的信息，以便把这些信息卖给金融机构、雇主、营销人员和拥有这种兴趣的其他实体。益博睿提供的信用评分帮助确定特定的人是否有资格获得贷款，如果有资格，那么利率是多少。鉴于 2007 年的研究说明“在所有破产中，62.1%..... 是医疗方面的，”<sup>11</sup>，可能某些数据代理公司不仅知道特定的人遭受了医疗相关的破产，或许甚至还知道他们在何时第一次搜索那些造成他们财务问题的疾病。

**健康信息的泄露。**HTTP1.1 协议规范警告说，链接的源 [URI] 可能是隐私信息，或它可能透露本来私密的信息源，并建议说，“除非 Referer 通过安全的协议转移，则客户端不应该在 (不安全的) HTTP 请求中包括 Referer 的标头字段。”<sup>8</sup> 说得更简单一点，如果网页包含了第三方元素，但没有使用安全的 HTTP 请求，则存在通过 Referer 字段泄露敏感数据的风险。在我们分析的页面中，只有 3.24% 使用了安全的 HTTP，其他则使用了非加密的 HTTP 连接，因此可能把敏感信息传送给了第三方。毫不奇怪的是，大量的敏感信息被包含在 URI 字符串内。

在从被分析的页面总体 (N=80,142) 中随机抽取的 500 个 URI 样本中，70% 包含了与特定症状、治疗或疾病相关的信息。包含特定症状信息的 URI 示例为：

[http://www.nhs.uk/conditions/breast-lump/\[...\]](http://www.nhs.uk/conditions/breast-lump/[...])

不包含此类信息的 URI 为：

表 1. 文件扩展名的类型

类型	%
无扩展名	47
JavaScript	33
图片	8
动态网页	4
其他	8

表 2. 企业的所有权和风险评价 (N=80,142)

排名	% 页面	公司	收入	身份识别	盲目歧视
1	78	谷歌	广告	X	X
2	38	comScore	广告	—	X
3	31	Facebook	广告	X	X
4	22	AppNexus	广告	—	X
5	18	Add This	广告	—	X
6	18	推特	广告	—	X
7	16	Quantcast	广告	—	X
8	16	亚马逊	零售和托管	—	X
9	11	Adobe	软件和服务	—	X
10	11	雅虎	广告	—	X
...	—	—	—	—	—
31	5	益博睿	数据代理公司	X	—
...	—	—	—	—	—
47	3	安客诚	数据代理公司	X	—

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21722252>

鉴于到目前为止前一种 URI 类型最普遍，可以看到，网站一直给第三方发送了大量的敏感 URI 字符串，第三方可以分析这些字符串，了解存在特定疾病、症状和治疗方案。由于第三方可能会把信息用于未知目的，对于那些希望让自己的信息逃脱第三方之手的人而言，这种类型的泄露明显是一种风险。

## 讨论

定义隐私的损害一直都是相当难的论题。然而，健康信息涉及了两大相互关联的隐私风险。首先是身份识别，公开把个人的姓名与其医疗历史关联。其次是盲目歧视（blind discrimination），不必揭露个人的姓名，但是可能会根据知晓的医疗状况对他们进行区别对待。

**身份识别。**虽然大多数人可能认为其他人对他们健康生活的详细情况几乎不感兴趣，或者这些情况对其他人几乎没价值，但是这些详细情况却构成了暴利行业的基础。在 2013 年，美国参议院商业、科学与交通委员会发表了措辞严厉的评论，批评了所谓的数据代理行业的当前状态。数据代理公司收集、包装和出售特定个人和家庭的信息，而几乎没有受到监管。这些数据包括人口统计信息（年龄、姓名和地址）、财务记录、社交媒体的活动以及与可能正遭受“特定疾病，包括注意力不足过动症（Attention Deficit Hyperactivity Disorder）、焦虑、抑郁……以及其他疾病“困扰的人群的信息。”<sup>26</sup> 据报道，一家名为 Medbase200 的公司使用了专有的模型来生成和销售分类清单，比如强奸案的受害者、家庭暴力的受害者和 HIV/AIDS 病人。<sup>6</sup>

还应该注意，此类模型有时候并不准确。例如，查找爱人状况相关信息的个人可能会被错误地标记为他们自己出了状况。这扩大了风险的范围，从病人处扩大到了包

**安全性和隐私研究往往把重点放在如何违反用户的隐私上面，但对谁收集用户信息的关注有所不足。**

括家庭和朋友。在其他情况下，个人可能出于一般的兴趣查找健康信息，但最后会出现在数据代理公司受害者或病人的清单上。常见的笔误和软件错误也会把个人标记上他们没有的状况。此类错误的可能性很高，这点也突出说明了需要开展隐私保护。

不仅如此，罪犯可能会滥用保护欠佳的健康信息。零售商 Target 公司已经使用数据挖掘技术来分析客户的购买历史，以便预测哪些妇女可能怀孕，从而在婴儿相关用品上为她们提供特殊的折扣。<sup>5</sup> 即使店主和上网者不介意公司收集这种数据，但无法保证小偷偷不到这些数据。2013 年，Target 被盗了四千万张信用卡和借记卡号码。<sup>15</sup> 虽然被盗的信用卡可以重发，但如果 Target 的健康相关数据在网上泄露，它会对数千万人造成灾难性的影响。仅仅存储健康状况方面的个人身份信息也会面临丢失、被盗和滥用的可能性。

**盲目歧视**广告商通常会承诺，它们的方法完全匿名，因此无害，但当歧视行为发生时，有时候并不需要身份信息。2013 年，Latanya Sweeney 调查了在线广告的植入，其中暗示了某个名字与犯罪记录有关。<sup>27</sup> 她发现，此类广告的存在不是因为特定的名字是那些罪犯的名字，而是似乎基于名字的种族背景，其中非裔美国人姓名往往更容易引发犯罪记录的联想。这样的话，现存的社会不公可能会通过网上的广告机制得到重生。疾病方面的歧视也可能通过收集和使用浏览器行为得到重生。

数据挖掘技术往往依赖折衷的方法进行数据分析。炖菜是很多不同的配料在同一个锅中混合的结果。与之相同，行为广告是混合多种类型的浏览行为的结果，这些行为被混合在一起用于检测趋势。与炖菜中的配料一样，没有那一条数据可以对结果造成过于决定性的影响，但每一条信息都有影响。在数据的炖菜中加入天气站点的访问记录将会影响用户收到的商品方案，

不过这却不是一种极其不道德的途径。然而，当健康信息被加入到混合体后，它会不可避免地对结果造成某种影响。由于医疗支出会让很多人减少奢侈品的消费，这些用户可能会被分隔到一个个不良分子的数据筒仓中<sup>28</sup>，然后他们会被排除在优惠商品和价格之外。对于那些被认为有病的人来说，这形成了一种细微但真实的歧视方式。

**风险评价。**收集到发生了多少跟踪，它如何发生以及谁正在跟踪的数据后，有必要阐述这怎么样对用户造成风险。如之前所述，有两种主要的损害类型：身份识别和盲目歧视。表2细分了12家公司（前10家公司以及数据代理公司）进行的数据收集如何影响这两类风险。两家数据代理公司牵涉个人身份的风险最为明显，因为它们整个的业务模型旨在出售个人信息。它们不大可能直接销售原始的网络跟踪数据，但可能会把这种数据作为所销售的总量的一部分。

尽管谷歌并不出售用户数据，但是他们确实拥有足够的匿名数据来标出很多用户的名字。谷歌提供了很多搜集个人详细信息的服务，比如用户的电子邮件（Gmail）、工作邮件（业务应用）和物理位置（谷歌地图）。对于使用谷歌社交媒体产品Google+的人来说，谷歌强有力地鼓励他们使用真名。通过汇总谷歌服务拥有的多种类型的信息后，对公司而言，把真实的身份与匿名的网络浏览数据匹配起来相当容易。与此类似，Facebook也要求用户使用真名。如之前所述，它在31%的页面上收集数据；因此，Facebook对浏览数据的收集也会导致个人身份识别。相比之下，Twitter允许使用化名，也允许选择禁止在网站外进行跟踪。

在广告商之间，盲目歧视的可能性最为突出。如本文所述，在线广告商使用复杂的数据模型组合很多条不相关的信息，从而对匿名的个人做出结论。对于收集和处理健康

方面的浏览数据的任何广告商来说，他们都会用某种方式使用这种数据，除非这种数据受到了过滤和处理。

### 政策的复杂性

本研究提出的隐私问题本质上属于技术问题，需要技术解决方案。这些解决方案往往以插件的形式出现，用户可以把它们安装在网页浏览器中。事实证明，这类浏览器插件在阻止某些类型的行为跟踪时有效。<sup>19,25</sup>然而，这种解决方案把负担压在了用户身上，并没有广泛发挥效果。如度量研究说明的那样，只是在过去的十年中跟踪才发生了增长，虽然人们做了技术工作来控制它。

纯技术的解决方案存在问题，因为它们要求用户方面具有相对高水平的知识和技术专长。用户必须首先了解网上信息流的复杂本质，以便寻找技术补救方案。然后，用户必须具有足够的安装和配置合适的浏览器插件。对于受过良好教育的人而言，这看起来可能微不足道，但是很多使用互联网的人几乎没接受过计算方面的教育或培训。尽管如此，这些用户也值得人们保护他们的健康隐私。

不仅如此，在智能机和平板的默认浏览器上，往往无法获得插件，这使得即便技术娴熟的人也很难保护他们的隐私。浏览器插件提供的补救措施不足的最后原因是，广告商投入了大量的资源来克服此类障碍，他们总是能找出创造性的方法来绕过用户的意图。因此，一方面我们的用户在防御自己免受各种可用的技术手段入侵时装备很差，另一方面积极性高、资金充足的企业拥有各种尖端的技术。

为了有效地处理健康相关页面的跟踪问题，需要对底层的社会动态予以关注。政府和企业的政策规范了这些动态。通过直接处理政策问题而不是防御模糊的跟踪技术，我们可以创造出超越今日技术周期的持久方案。不幸的是，现有的政策数量极少，效果也差。

**现有的政策和保护。**健康信息是很少几种受到特殊保护的个人信息之一。医疗保险可携性和责任法案（HIPAA）<sup>31</sup>是美国的法律，它规定了可用何种方式处理、保存和访问医疗信息。总体来说，HIPAA并不意味着监督业务实践；它被修改成适于那些提供特定健康服务的实体，比如医生、医院和保险理赔师。然而，即使在这个领域内，HIPAA提供的保护也不完全。与流行的观念相反，HIPAA允许在未通知病人或得到病人同意的情况下，在健康服务提供者和保险理赔师之间披露病人信息。HIPAA通常不允许病人限制其敏感数据的流动；因此，把HIPAA扩展到网上的领域中后，并不能提供保护隐私的有效方法。

然而，美国联邦贸易委员会（FTC）已经编制了《健康违约通知规定（Health Breach Notification Rule）》，其要求拥有个人可识别健康记录的实体在该等记录被盗后通知用户。<sup>32</sup>然而，仅仅提供健康信息（而不保存医生的笔记或处方记录）并未让业务处于HIPAA或相关规定的管辖之下。很多处理健康信息的业务几乎没有受到监管，而且与网上健康信息使用有关的政策的主要来源采用了自我监管的形式，由坚持从捕捉用户数据中取得最大利益的各方（在线广告商）自我监管。

然而，已经证明自我监管完全不够。权力相当大的FTC确定，“业界通过自我监管来处理隐私的工作进展太慢，迄今为止，尚未能提供足够的、有意义的保护。”<sup>33</sup>有自我监管时，对于违反广告商内部自行制定的规定的情况，也没有严厉的处罚。尽管如此，网络广告倡议组织（NAI）已经编制了《行为准则（Code of Conduct）》，要求广告商在使用健康状况（如癌症和心理健康）的精确信息时，需要用户明确选择同意。<sup>22</sup>不过，这个政策还规定，“成员公司可以根据某些通用的健康类别（如头痛）寻找和锁定用户。”<sup>22</sup>鉴于癌症和头痛之间的疾病范围极广，这一指令几

乎没有提供监管。与此类似，数字广告联盟（DAA）提供了看起来保护健康信息的规定，但是法律学者确定，“根据 DAA 的原则，搜索特定医疗状况信息或讨论该状况的互联网用户仍可以被跟踪。”<sup>12</sup>

**潜在的干预。**虽然这是个复杂的问题，但它并非无法驾驭，而且有几种方法可以降低健康隐私的风险。首先，非盈利组织、教育机构或政府运营的网站没有理由把敏感的用户信息泄露给商业方。商业网站需要广告收入保持运营，但非盈利组织从捐款和拨款中获得支持。解决这一问题可以相当简单，就如每家机构均发布一道内部政策指令，或也可以相当广泛，就如施行禁止向泄露用户数据的机构提供资助的政策。

对于面向商业的网站，他们确实依赖广告跟踪带来的收入。然而，监管和立法机构有权起草和实施相关政策，要求强制性地限制源于健康相关网站的信息可以保存的时间以及使用的方式。这种政策措施会产生明显的影响，也会反映公众的偏好。

最后，富有才华的工程师可以把他们花在分析数据上的部分时间放在开发智能的过滤器上，以隔离敏感数据。变化的火花可能由一个工程师 20% 的时间项目（类似谷歌 20% 的时间政策，译者注）创造出来。如果急着获取更多数据的狂人受到了能过滤掉潜在敏感信息的严格方法的约束，业务和用户均可以同等受益。

## 结语

证明隐私的损害一直都是一个艰巨的任务。然而，本文证实了一些不受法规约束或监管的实体正在收集健康信息的查询数据。健康信息可能会被某些公司在无意中滥用，出售给其他方，甚至会被罪犯盗走。通过承认健康数据值得特别谨慎对待，我们可以降低可能正在发生的损害，也可以积极地避免将来的问题。

**鸣谢** 作者在此感谢那些匿名的评审，感谢他们明智的修改。特别

感谢 A. Blanford、M. Delli Carpini、S. González-Bailón、J. Goodwin、B. Hoffman、B. Kroeger、D. Liebermann、N. Maruyama、T. Patel、V. Pickard、J. Poinsett、J. Rosen 和 J. Smith，他们的反馈让作者受益匪浅。 □

## 参考资料

1. Acar, G. et al. Fpdetective: Dusting the Web for fingerprinters. In *Proceedings of the 2013 ACM SIGSAC Conference on Computer & Communications Security*. ACM, 1129–1140.
2. Ackerman, M.S., Cranor, L.F. and Reagle, J. Privacy in e-commerce: examining user scenarios and privacy preferences. In *Proceedings of the 1<sup>st</sup> ACM Conference on Electronic Commerce*. ACM, 1999, 1–8.
3. Ayenson, M., Wambach, D., Soltani, A., Good, N. and Hoofnagle, C. Flash cookies and privacy ii: Now with HTML5 and etag respawning. Available at SSRN 1898390, 2011.
4. Castellucia, C., Grumbach, S., Olejnik, L. et al. Data harvesting 2.0: From the visible to the Invisible Web. In *Proceedings of the 12<sup>th</sup> Workshop on the Economics of Information Security*, 2013.
5. Duhigg, C. How companies learn your secrets. *New York Times*, (2012), 2012.
6. Dwoskin, E.D.E. Data broker removes rape-victims list after journal inquiry. *Wall Street Journal*, 2013.
7. Eckerlesley, P. How unique is your Web browser? *Privacy Enhancing Technologies*. Springer, 2010, 1–18.
8. Fielding, R. et al. Hypertext transfer protocol (1999), http://1.1.
9. Fox, S. and Duggan, M. Health online 2013. Pew Internet and American Life Project.
10. Grimes-Gruczka, T., Gratzner, C. and Dialogue, C. Ethics: Survey of Consumer Attitudes about Health Web Sites. California HealthCare Foundation, 2000.
11. Himmelstein, D.U., Thorne, D., Warren, E. and Woolhandler, S. Medical bankruptcy in the United States, 2007: Results of a national study. *Amer. J. Med.* 122, 8 (2009), 741–746.
12. Hoofnagle, C., Urban, J. and Li, S. Privacy and modern advertising: Most us Internet users want 'do not track' to stop collection of data about their online activities. In *Proceedings of the Amsterdam Privacy Conference*, 2012.
13. Jackson, C., Bortz, A., Boneh, D. and Mitchell, J.C. Protecting browser state from Web privacy attacks. In *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Conference on World Wide Web*. ACM, 2006, 737–744.
14. Jang, D., Jhala, R., Lerner, S. and Shacham, H. An empirical study of privacy-violating information flows in JavaScript Web applications. In *Proceedings of the 17<sup>th</sup> ACM conference on Computer and Communications Security*. ACM, 2010, 270–283.
15. Krebs, B. Sources: Target investigating data breach (2013); http://krebsonsecurity.com/2013/12/sources-target-investigating-data-breach/.
16. Krishnamurthy, B., Naryshkin, K. and Wills, C. Privacy leakage vs. protection measures: The growing disconnect. In *Proceedings of the Web 2.0 Security and Privacy Workshop*, 2011.
17. Krishnamurthy, B. and Wills, C. Privacy diffusion on the Web: A longitudinal perspective. In *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on World Wide Web*. ACM, 2009, 541–550.
18. Krishnamurthy, B. and Wills, C.E. Generating a privacy footprint on the Internet. In *Proceedings of the 6<sup>th</sup> ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement*. ACM, 2006, 65–70.
19. Mayer, J.R. and Mitchell, J.C. Third-party Web tracking: Policy and technology. In *Proceedings of the 2012 IEEE Symposium on Security and Privacy*. IEEE, 413–427.
20. Miller, B., Huang, L., Joseph, A. and Tygar, J. I know why you went to the clinic: Risks and realization of https traffic analysis. arXiv preprint arXiv:1403.0297, 2014.
21. National Institutes of Health, History of Medicine Division. Greek medicine (2002); http://www.nlm.nih.gov/hmd/greek/greek\_oath.html
22. Network Advertising Initiative. NAI code of conduct, 201.
23. Nikiforakis, N. et al. Cookieless monster: Exploring the

- ecosystem of Web-based device fingerprinting. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy*, 2013.
24. PhantomJS. PhantomJS is a headless Webkit scriptable [browser] with a JavaScript API, 2013; http://phantomjs.org/.
  25. Roesner, F., Kohno, T., and Wetherall, D. Detecting and defending against third-party tracking on the Web. In *Proceedings of the 9<sup>th</sup> USENIX Conference on Networked Systems Design and Implementation*. USENIX Association, 2012, 12.
  26. Staff of Chairman Rockefeller. A review of the data broker industry: Collection, use, and sale of consumer data for marketing purposes. U.S. Senate, 2013.
  27. Sweeney, L. Discrimination in online ad delivery. *Commun. ACM* 56, 5 (May 2013), 44–54.
  28. Turow, J. *The Daily You: How the New Advertising Industry is Defining Your Identity and Your Worth*. Yale University Press, 2012.
  29. Turow, J. and Center, A.P.P. Americans & online privacy: The system is broken. Annenberg Public Policy Center, University of Pennsylvania, 2003.
  30. Turow, J. King, J., Hoofnagle, C.J., Bleakley, A. and Hennessy, M. Americans reject tailored advertising and three activities that enable it. Available at SSRN 1478214, 2009.
  31. United States. Health Insurance Portability and Accountability Act of 1996. Public Law, 1996, 104–191.
  32. U.S. Federal Trade Commission. Complying with the FTC's health breach notification rule, 2010; http://www.business.ftc.gov/documents/bus56-complying-ftcs-health-breach-notification-rule/
  33. U.S. Federal Trade Commission. Protecting consumer privacy in an era of rapid change preliminary staff report, 2010; http://www.ftc.gov/sites/default/files/documents/reports/federal-trade-commission-bureau-consumer-protection-preliminary-ftc-staff-report-protecting-consumer/101201privacyreport.pdf/
  34. Yen, T.-F., Xie, Y., Yu, F., Yu, R.P. and Abadi, M. Host fingerprinting and tracking on the Web: Privacy and security implications. In *Proceedings of NDSS*, 2012.

Timothy Libert (tlibert@asc.upenn.edu) 是宾夕法尼亚州费城宾夕法尼亚大学阿能伯格传播学院的在读博士生。

译文责任编辑：诸葛建伟

# 技术视角 图像处理返璞归真

撰稿人: Edward Adelson

如需查阅相关论文,  
请访问 [doi.acm.org/10.1145/2723694](http://doi.acm.org/10.1145/2723694)



在最近几年, 数码相机的图像传感器在诸多方面进步良多。其中最为人知的是空间分辨率的提高。同样重要但不那么显眼的是降噪水平和动态范围的改进。在这一点上, 数码相机已经变得非常出色, 以至于对如此丰富的图像数据的完整显示带来了挑战。低噪成像器可以捕捉细微变化的细节, 只有将显示对比度调得异常高时才能看到。高动态范围 (HDR) 成像器显现出相反的问题: 只有将对比度调得异常低时才能显示其数据。为了向人类观察者传递视觉信息, 通常需要呈现物理上不正确、但揭示出颜色和亮度中所有具有视觉重要性的变化的图像。在摄影、计算机视觉和计算机图形的交叉点上诞生了一门学科——计算摄影学; 细节增强和 HDR 范围压缩 (也称为色调映射) 这对孪生问题也被视为重要的话题。

给定个别图块时, 不难找出有效传递局部视觉信息的显示参数。而问题是此图块必须与周围所有其他图块共存, 它们必须融合到一个全局一致的图像。人们提出了许多技巧, 寻找能够同时清晰显示所有内容又依然看上去自然逼真的图像。在费力地在所有局部约束之间带来全局妥协的过程中, 这些技巧容易引入视觉上扰人的伪影, 如强边缘周围的晕圈, 或鲜明对比、锐利度和局部特征的位置的失真等。

通过使用越来越精巧的图像处理技巧, 处理性能得到了提升, 这些技巧可以跨越多个空间尺度流畅操控信息, 同时又保留锐利边缘的完整性。“边缘觉察型”处理的最新进步以各向异性扩散、正则化

和稀疏图像编码等领域的研究为基础。新一类的边缘觉察型滤镜已经发展出来, 它们利用了源自鲁棒估计的理念。新型的小波分解也已出现, 尤其是用于应对多尺度表示中锐利边缘的处理难题。然而, 这些方法中无一被证明为完全令人满意, 其中一些也非常复杂。

在下面这篇论文中, Paris 等人出了个奇招。他们选择在拉普拉斯金字塔上构建一个系统。拉普拉斯金字塔是一种早于小波的极简单的多尺度表示, 虽然缺乏炫目的数学味道, 但依然因为其简单性和可靠性而被广泛采用; 它用作许多图像处理方案的基本构建块。同时, 拉普拉斯金字塔似乎不适合任何涉及对边缘附近做专门处理的任务。其基本函数是平滑、重叠和无向的, 而边缘则是极为局部和有向的。

该论文的作者还避开了大量现代技巧。实际上, 该论文最让人大跌眼镜的是它没有的东西: 没有统计图像模型、机器学习、PDE 和漂亮的小波, 也没有目标函数。相反, 作者们回到了现今已罕见的老派风格: 在像素和图块级别上仔细思考问题, 以尽可能最直接的方式指定需求。需要指出的是, 这些作者完全有能力在需要时开发出复杂的机器, 但他们选择另辟蹊径。他们希望从头开始重新思考问题, 为他们希望的与边缘、纹理和平滑区域相关的行为设定基本原则。

他们的新方向非常出乎意料。打个比方, 这几乎就像是某些 3D 制造方面的专家决定抛弃他们的 CAD 系统和 3D 打印机, 使用锤头和凿子来雕刻大理石。有时候, 漂

亮的工具会挡住去路, 最好的还是与材料零距离接触。

该案例的效果令人瞠目。作者们也能够细节增强和 HDR 范围压缩上达到极致水平。几乎没有可见的伪影。难以相信还会有人做得更好, 在这个意义上, 我们可以说问题已经解决。

所以, 这篇论文一锤定音了? 没有, 因为仅有美丽的图画并不足够。理智地把该项研究放置到图像处理 and 计算摄影学大世界的合理位置, 这依然重要。这些技巧与细节增强以及 HDR 范围压缩的许多其他方式有什么关联? 这篇论文中的见解如何融入到用小波或图像统计学等其他语境表述的方法? 更广泛地说, 这篇论文在边缘觉察型图像处理的底层问题上教导了我们些什么? 这些问题上已经取得了进展, 正如 Paris 等人此处展示的修订研究所述。我们可以期待, 随着人们理解并接受这篇耳目一新的原创论文的成果, 越来越多的见解会涌现出来。

Edward Adelson ([adelson@csail.mit.edu](mailto:adelson@csail.mit.edu)) 是美国马萨诸塞州剑桥市麻省理工学院大脑与认知科学系视觉科学“约翰和多萝西·威尔逊教授”。

译文责任编辑: 山世光

版权归属于作者。

# 局部拉普拉斯滤波器：利用拉普拉斯金字塔的边缘觉察型图像处理

作者：Sylvain Paris、Samuel W. Hasinoff 和 Jan Kautz

## 摘要

拉普拉斯金字塔普遍用于将图像分解为多个尺度，广泛用于图像分析。不过，由于拉普拉斯金字塔使用空间不变的高斯核构建而成，人们普遍认为它不适合表示边缘，也不适合边缘保持平滑和色调映射等边缘觉察型运算。为应付这些任务，人们提出了大量替代技术和表示法，如各向异性扩散、邻域滤波和专用小波基。虽然这些方法展现了成功的结果，但代价是带来额外的复杂性，通常伴有更高的计算成本或需要对生成的结果进行后处理。在本文中，我们将展示使用标准拉普拉斯金字塔的最新边缘觉察型处理。我们利用以像素值为基础的简单阈值对边缘进行特征化，这样我们可以区分大尺度边缘和小尺度细节。在对这一结果进行构建时，我们提出了一组图像滤波器以获得边缘保持平滑、细节增强、色调映射和逆色调映射。我们方法的优势在于其简单性和灵活性，仅依赖简单的逐点非线性和小型高斯卷积；不需要优化或后处理。正如我们展示，我们的方法产生了一致的高质量结果，不会使边缘降级，也不带来晕圈。

## 1. 简介

拉普拉斯金字塔用于在多个尺度上对图像进行分析，其应用范围广泛，如压缩、<sup>6</sup> 纹理合成<sup>18</sup> 和调和化等。<sup>32</sup> 不过，这些金字塔通常被认为不适合用于图像边缘占据重要地位的应用，如边缘保持平滑或色调映射等。构建这些金字塔的基础是各向同性、空间不变的平滑高斯核，它们被认为几乎与边缘的不连续相对立，而后者具有定位精确和各向异性的性质。此外，图像层的抽取（即以 2 为系数逐级降分辨率）常常受到批评，因为这会带来锯齿伪影，导致一些研究人员（如 Li 等人<sup>21</sup>）建议将其剔除。这些观点通常被用来支持更为复杂的方案，如各向异性扩散<sup>1, 29</sup>、邻域滤波器<sup>19, 34</sup>、边缘保持优化<sup>4, 11</sup>，以及边缘觉察小波等。<sup>12</sup>

拉普拉斯金字塔可以使用简单的图像大小调整例程来实现，而其他方法则依赖更加复杂的技术。例如，

双边滤波器依赖空间变化的内核<sup>34</sup>，基于优化的方法（如 Fattal 等人<sup>13</sup>、Farbman 等人<sup>11</sup>、Subr 等人<sup>31</sup> 和 Bhat 等人<sup>4</sup> 的研究）需要最小化空间上不均的能量，其他方法则需要为每一新图像构建专用的基函数（如 Szeliski<sup>33</sup>、Fattal<sup>12</sup> 和 Fattal 等人<sup>15</sup> 的研究）。这种额外的复杂度也通常伴有实用性上的不足。由于处理的迭代性质，各向异性扩散的参数难以设置；邻域滤波器容易使得边缘过分锐利<sup>5</sup>；基于优化的方法则由于求解程序的算法复杂性而不易扩展。虽然这些缺点可以通过后处理来克服，如双边滤波的边缘可以平滑<sup>3, 10, 19</sup>，这也引入了额外的计算和参数设置，因而要优先考虑能够直接产生良好结果的方法。在本文中，我们将展示可以通过标准的拉普拉斯金字塔实现最新的边缘觉察型滤波器。我们的方法可以形式化为对滤波器的输出构建拉普拉斯金字塔。对于每个输出金字塔系数，我们先渲染一个全分辨率图像的滤波版本，其经过处理具有在相同尺度依据相应局部图像的所需属性，再从滤波后图像构建新的拉普拉斯金字塔，然后将对应的系数复制到输出金字塔。这一方法的优势在于，生成所有位置都有预期属性的图像可能是非常困难的，但在局部获得这样的属性却通常更容易。例如，全局细节增强通常需要非线性图像分解（如 Fattal 等人<sup>14</sup>、Farbman 等人<sup>11</sup> 和 Subr 等人<sup>31</sup> 所述），但增强一个像素附近的细节可以通过以该像素亮度为中心的简单 S 形对比曲线来完成。这种局部变换只能在一个像素的周围达到预期的效果，但也足够估计精细尺度的拉普拉斯输出系数。我们对每个系数独立的重复此过程，再塌陷金字塔来产生最终输出。

我们通过分析其对阶跃边缘的效果来促进这一方法，结果表明基于一个简单的色差阈值可以将边缘与小尺度细节区别开来。我们提出一种对  $N$  个像素的图

本文的最初版本发表于：ACM Transactions on Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 2011) 30, 4 (Aug. 2011), 68:1–68:12。

像具有  $O(N \log N)$  复杂度的算法。虽然我们的算法速度上不如其他技术，它可以获得过去研究难以达到的视觉惊艳结果。在展示我们的方法时我们实施了一系列边缘觉察型滤波器，如边缘保持平滑、细节增强、色调映射和逆色调映射。我们提供了大量的结果，包括大幅度图像变换。它们都未出现晕圈，所以表明：高质量无晕圈结果其实可以使用拉普拉斯金字塔获得，而这在过去被认为是不可可能的。

**贡献。**这一研究的主要贡献在于，它是一种通过对拉普拉斯金字塔的简单逐点操控来获得边缘觉察型图像处理的灵活方法。我们方法的理论基础是对如何在拉普拉斯金字塔中表示图像边缘，以及如何以局部方式加以操控的全新理解。在这基础上，我们设计了一组边缘觉察型滤波器，它们能够产生高质量的无晕圈结果（图 1）。

## 2. 相关研究

**边缘觉察型图像处理。**边缘觉察型图像操作已经吸引了大量目光，我们参阅了对其深入探讨的一些书籍和综述。<sup>1, 20, 27</sup>最近，多种方法已经展示出性能良好而令人满意的结果（如 Chen 等人<sup>7</sup>、Farbman 等人<sup>11</sup>、Fattal<sup>12</sup>和 Subr 等人<sup>31</sup>、Criminisi 等人<sup>8</sup>、He 等人<sup>17</sup>，以及 Kass 和 Solomon<sup>19</sup>所做的研究）。我们的实际贡献在于，提供的滤波器能够一贯的获得至少同样好的结果，参数易于设置，只需使用基本的图像大小缩放例程实现，而无需迭代求解，也不依赖于优化或后处理。特别是，不同于梯度域的方法（如 Fattal 等人<sup>13</sup>的研究），我们不要求解泊松方程，其可能带来具有不可积梯度场的伪影。从概念性角度而言，我们的方法基于图像金字塔，具有与生俱来的多尺度特

质，这与表达为双尺度分解的方法不同（如 Chen 等人<sup>7</sup>、Subr 等人<sup>31</sup>和 He 等人<sup>17</sup>的研究）。

**基于金字塔的边缘觉察型滤波。**如前文所述，金字塔并不是以边缘保持方式对图像滤波的典型表示法，因此沿着这一思路提出的技术为数不多。第一种方法是直接调整拉普拉斯金字塔的系数，但这通常会产生晕圈。<sup>21</sup>虽然在医学成像领域中，晕圈可能是可以接受的（如 Vuylsteke 和 Schoeters<sup>36</sup>，以及 Dippel 等人<sup>9</sup>所述），它们在摄影中不可接受。

Fattal 等人<sup>13</sup>通过使用高斯金字塔计算应用到图像梯度的缩放因子来避免晕圈。他们通过求解泊松方程来重新构建最终图像。与之相比，我们的方法直接操控图像的拉普拉斯金字塔，而不要求全局优化。Fattal 等人<sup>14</sup>使用多尺度图像分解组合多幅图像，进行细节增强。他们的分解基于对双边滤波器的重复应用。他们的方法与构建拉普拉斯金字塔相似，但不抽取层，并且拥有随空间变化的核而不是高斯核。然而，他们的研究与我们的存在天壤之别，因为其侧重点在于多图像组合和速度。Farbman 等人<sup>11</sup>的研究有着相似的内涵，利用最小二乘法而不是双边滤波来计算多尺度边缘保持分解。这一研究也和我们的不同，因为它的重心在于一种以优化为基础的滤波器的定义和应用。在色调映射的范畴中，Mantiuk 等人<sup>23</sup>采用高斯金字塔建模人类感知。其最终图像是某一优化过程的结果，与我们仅处理金字塔的目标相去甚远。

Fattal<sup>12</sup>描述了特定于各个图像的小波基。他在定义基函数时明确考虑了边缘，因而减少了金字塔各层之间的关联。从概念角度而言，我们的研究与 Fattal 的互为补充。他设计的金字塔中边缘不会产生相关系

**图 1:** 展示基于拉普拉斯金字塔操作的边缘觉察型滤波器。我们的方法产生了高质量结果，不会使边缘降级，也不会带来晕圈，即使在极端设置中也是如此。我们的方法在标准的图像金字塔基础上构建，可以通过简单的逐点非线性实现广泛的特效（如角落中所示）。示例图像 (a) 演示利用我们方法的色调映射结果，生成了自然的再现 (b)，以及增强了细节的更夸张外观 (c)。拉普拉斯金字塔过去被认为不适合此类任务，但我们的方法得出相反的结论。



(a) Input HDR image tone-mapped with a simple gamma curve (details are compressed)



(b) Our pyramid-based tone mapping, set to preserve details without increasing them



(c) Our pyramid-based tone mapping, set to strongly enhance the contrast of details

数，而我们追求的是更好地理解这一关联，从而在滤波时加以保留。

Li 等人<sup>21</sup>展示了一种色调映射运算符，它基于空间不变小波的通用集合，对这类小波不适合边缘觉察型处理的普遍看法发起了挑战。他们的方法依赖一种校正方案来保留系数之间的空间和尺度内关联，他们也提倡以完整分辨率计算各个金字塔层来避免锯齿。但是，在应用到拉普拉斯金字塔时，需要强大的校正来避免晕圈，而这阻碍了局部对比度的大幅增强。与之相比，我们的研究显示，拉普拉斯金字塔可以生成包括极致细节放大在内的广泛边缘觉察型特效，而不会带来晕圈。

高斯金字塔与高斯尺度空间的概念紧密相关，其是使用一系列尺寸增加的高斯核滤波得到的图像而定义的。虽然这些方法也牵涉到边缘造成的尺度间校正，它们大多用于分析用途（如 Witkin<sup>37</sup> 和 Witkin 等人<sup>38</sup> 的研究所述）。

**高斯金字塔和拉普拉斯金字塔相关背景。**我们的方法基于标准的图像金字塔，我们简短总结了其构建方法（如需更多详细信息，请参见 Burt 和 Adelson<sup>6</sup> 的论文）。给定图像  $I$ ，其高斯金字塔是一组称为层的图像  $\{G_\ell\}$ ，它们表示分辨率逐渐降低的图像版本，其中高频细节逐渐消失。在高斯金字塔中，最底层是原始图像  $G_0 = I$ ，而  $G_{\ell+1} = \text{downsample}(G_\ell)$  是  $G_\ell$  的低通版本，宽度与高度都减半。其滤波和降采样过程迭代  $n$  次，通常到层  $G_n$  仅有几个像素为止。拉普拉斯金字塔是紧密关联的构建过程，其各层  $\{L_\ell\}$  表示不同空间尺度上的细节，将图像分解为大体隔离的频带。拉普拉斯金字塔的层由区分高斯金字塔连续层的细节定义， $L_\ell = G_\ell - \text{upsample}(G_{\ell+1})$ ，其中  $\text{upsample}(\cdot)$  是使用平滑核在各个维度上翻倍图像尺寸的运算符。拉普拉斯金字塔的最顶层（也称为残差）定义为  $L_n = G_n$ ，对应于图像的微小版本。拉普拉斯金字塔可以被塌陷来重构原始图像，即循环应用  $G_\ell = L_\ell + \text{upsample}(G_{\ell+1})$  直到  $G_0 = I$  恢复为止。

### 3. 在拉普拉斯金字塔中处理边缘

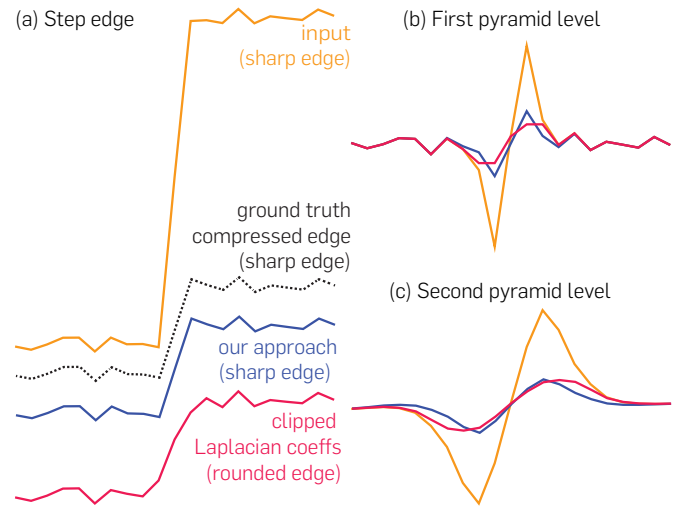
边缘觉察型处理的目标是修改输入信号  $I$  来创建输出  $I'$ ，从而使得  $I$  中大的非连续点（即边缘）保持不动，并且其剖面保持相同的总体外形。例如，重要边缘的幅度可以提高或降低，但边缘过渡不应变得更加平滑或更加锐利。对于图像增强或色调映射等以空间变化方式操控图像的技术而言，能够以这种边缘觉察型方式处理图像的能力尤为重要。这些应用中如果未能考虑到边缘，将会导致出现晕圈、边缘漂

移或梯度逆转等令人不安的人为视觉伪影。在下面的探讨中，为了进行演示，我们重点考虑追求减少边缘幅度的情形——在追求增加边缘幅度时这些论证是对称的。

在本研究中，我们在依赖应用的颜色空间中，以相应的不连续的幅度来刻画边缘；我们假设边缘造成的变化大于纹理产生的变化。这一模型与许多现有边缘觉察型滤波技术（如 Aubert 和 Kornprobst<sup>1</sup> 以及 Paris 等人<sup>27</sup> 的研究）相似；稍后将讨论这一假设对我们结果的影响。由于幅度上的这一差别，表示边缘的拉普拉斯系数也趋向于比那些纹理导致的系数大。减小边缘幅度同时又保留纹理的一种简单做法是截短这些大系数。虽然这产生了幅度变小的边缘，但是它忽略了这些大系数的真实“形状”，并给所有系数分配了较低的相同值。这会产生过度平滑的边缘，如图 2 中所示。

直觉上，更好的解决办法是缩小与边缘对应的系数，保留其剖面，并且保持其他系数不变，这样一来，只有边缘得到改动。然而，如何区分这两类系数尚不清楚，因为具有不同剖面的边缘会在不同尺度之间产生不同的系数。另一方面，根据我们的模型，边缘容易在图像空间中识别；色差上的阈值足以区分边缘和纹理带来的变化。这是我们方法的一个重要方面：通

图 2：应用于具有细小细节阶跃边缘的范围压缩 (a)。边缘的不同版本在垂直方向上偏移，这样它们的剖面能清晰可见。截短拉普拉斯系数会平滑边缘（红色），此问题已被 Li 等人<sup>21</sup> 确认为色调映射中伪影的来源。与之相比，我们的方法（绿色）保留了边缘锐利度，非常接近地呈现了预期的结果（黑色）。对前两个层 (b, c) 的形状的观察表明，大幅修剪系数会改变信号的形状（红色与橙色对比）。截短的系数形成更宽的波瓣，而我们的方法则生成几乎与输入一致的剖面（蓝色与橙色对比）。

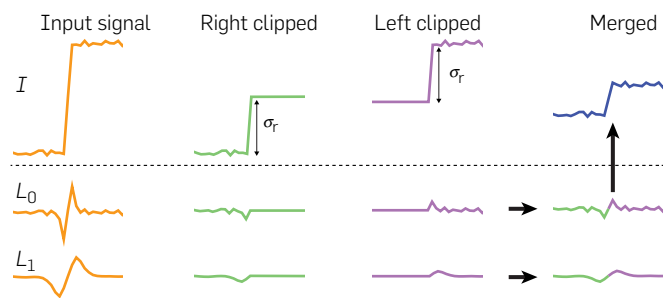


过主要处理输入图像本身来生成新的金字塔系数，而不是直接更改金字塔系数。

我们算法的总体设计源自这一见解：构建特定于各个金字塔系数的所需输出图像的近似值。这与现有文献大相径庭。过去的技术是以优化（如 Farbman 等人<sup>11</sup>）、PDE（如 Perona 和 Malik<sup>29</sup> 所述）或局部平均（如 Tomasi 和 Manduchi<sup>34</sup> 所述）来形式化的，我们却通过使用标准图像金字塔操作计算这些局部图像近似值来表示我们的滤波器。实际上，我们使用输入的局部处理版本来重新计算各个金字塔系数的值，将所有这些新系数值组合成最终的结果。对于位置  $(x, y)$  和层  $\ell$  上的每个系数，我们首先确定这一系数所依赖的输入图像区域。例如，为减小边缘的幅度，我们挤压该区域中的所有像素值，使它们与平均值的差不超过用户提供的阈值。处理后的图像拥有我们期望的属性，即边缘的幅度现在被限制为最多是阈值的两倍。这也会带来平坦化边缘附近细节的副作用。如下文所述，这些细节并未丢失，实际上被以边缘另一侧为中心的金字塔系数捕捉，如图 3 中所示。然后，我们计算这一处理后图像的拉普拉斯金字塔，来创建捕捉这一属性的系数。具体而言，这给予我们所要寻找的系数  $(x, y, \ell)$  的值。解读我们方法的另一种方式是我们对图像进行局部滤波，如通过局部对比度降低，然后确定拉普拉斯金字塔中对应的系数。我们重复这一过程，以计算出金字塔中的每一个系数。

**细节保持。**如前文中所述，这一点上自然存在一个疑问：亮度被挤压的图像在阈值区域丢失了细节，进而可能会引发最终输出上的损失。不过，这种细节损失不会传递到我们的最终结果。直观地说，被挤掉的细节在“边缘的另一侧上”，通过其他系数表示。将这一方案应用到所有金字塔系数，可以准确地表示

图 3：我们基于阈值和局部处理的范围压缩方法的简单视图。对于和图 2 中类似的阶跃信号，我们的方法有效地构建了两个拉普拉斯金字塔，对应于根据信号值将输入截取为阶跃边缘的左侧和右侧，然后按照颜色编码所示合并其系数。



边缘两侧的纹理，同时捕捉到边缘幅度上的缩减（图 3）。此外，挤压仅影响了边缘的一半；通过组合“边缘两侧”的系数，我们的方法可以重建边缘剖面，它非常接近输入图像，即输出剖面不会被过度平滑。对金字塔系数进行查验表明我们的方案满足了最初目标，即：缩小了边缘系数，同时保留了表示纹理的其他系数（图 2）。

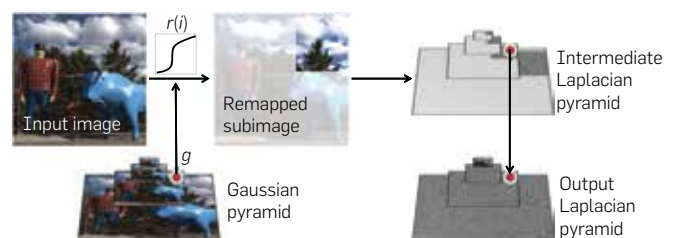
#### 4. 局部拉普拉斯滤波

我们现在来形式化一下在前面一节中获得的直观印象，并介绍的我们的局部拉普拉斯滤波，一种基于拉普拉斯金字塔的新型边缘觉察图像处理技术。图 4 中提供了可视化的算法概貌，算法 1 中提供了伪代码。

在局部拉普拉斯滤波中，通过构建输出的拉普拉斯金字塔  $\{L[I]\}$  来处理输入图像，每次处理一个系数。对于每一个系数  $(x, y, \ell)$ ，我们生成一个中间图像  $\bar{i}$ ，方法是向原始完整分辨率图像应用逐点单调再映射函数  $r_{g, \sigma}(\cdot)$ 。我们稍后将探讨这一再映射函数的设计，它依赖于取自高斯金字塔  $g = G(x, y)$  和用户参数  $\sigma$ （用于区分边缘和细节）的局部图像值。我们计算中间图像的金字塔  $\{L[\bar{i}]\}$ ，再将对应的系数复制到输出  $\{L[I]\}$ 。当计算完输出金字塔的所有系数后，我们塌陷输出金字塔来获得最终结果。

直接实现该算法的复杂度为  $O(N^2)$ ，其中  $N$  是图像中的像素数，因为每个系数需要构建具有  $O(N)$  个像素的另一金字塔。不过，可以直截了当地降低这一代价：仅处理评估  $L[\bar{i}](x, y)$  所需的子金字塔，如图 4 中所示。子金字塔的塔基在输入图像  $I$  中  $K \times K$  大小的子区域  $R$  中，其中  $K = O(2^\ell)$ ；对于使用标准的 5 级内插滤波器构建的拉普拉斯金字塔，我们有  $K = 3(2^{\ell+2} - 1)$ 。加上层  $\ell$  包含  $O(N/2^\ell)$  个系数，每一层总共需要操作

图 4：我们方法的基本思路概况。对于输入的高斯金字塔的每个像素（红点），我们寻找其值  $g$ 。基于  $g$ ，利用逐点函数再映射输入图像，从这一中间结果构建拉普拉斯金字塔，然后将适当的像素复制到输出拉普拉斯金字塔。在所有尺度上对每一像素重复此过程，直到输出金字塔被填满，然后塌陷金字塔以得到最终结果。要使计算更有效率，仅需生成中间金字塔的部分内容。



$\mathcal{O}(N)$  个系数。由于金字塔中有  $\mathcal{O}(\log N)$  个层，我们算法的总体复杂度为  $\mathcal{O}(N \log N)$ 。稍后我们会看到，一些应用仅需要处理固定数量的层，或者将子金字塔深度限制为固定值，从而进一步降低我们算法的复杂度。

**灰度图像的再映射函数。**假设用户提供了参数  $\sigma$ ，亮度变化小于  $\sigma$  应当视为细小细节，大于该参数的变化则视为边缘。作为此函数的中心点，我们使用  $g = G^l(x, y)$  来表示我们计算输出参数系数的位置和尺度。直观地说，到  $g$  比  $\sigma$  近的像素应作为细节处理，而比  $\sigma$  远的则应作为边缘处理。我们通过定义两个函数来区分这种处理： $r_d$  和  $r_e$ ，当  $|i - g| \leq \sigma$  时  $r(i) = r_d(i)$ ，

否则  $r(i) = r_e(i)$ 。既然我们要求  $r$  单调递增， $r_d$  和  $r_e$  也必须具有此属性。此外，为避免造成虚假的不连续点，我们通过要求  $r_d(g \pm \sigma) = r_e(g \pm \sigma)$  将  $r_d$  和  $r_e$  限制为连续。

函数  $r_d$  通过改变值  $g$  周围的摆动，修改精细尺度上的细节。在我们的应用中，我们对称处理正向和负向细节，这样：

$$r_d(i, g, \sigma) = g + \text{sign}(i - g)\sigma f_d(|i - g|/\sigma) \quad (1)$$

其中， $f_d$  是  $[0, 1]$  到  $[0, 1]$  的平滑函数映射，它控制细节的修改方式。此公式的优势在于，它仅依赖细节  $|i - g|$  相对于参数  $\sigma$  的幅度，即  $|i - g|/\sigma = 1$  对应于根据用户指定参数确定的最大幅度的细节。类似地， $r_e$  是修改边缘幅度的函数，我们依然以对称方式进行形式化：

$$r_e(i, g, \sigma) = g + \text{sign}(i - g)(f_e(|i - g| - \sigma) + \sigma) \quad (2)$$

其中， $f_e$  是在  $[0, \infty)$  范围内定义的非负数平滑函数。在这一公式中， $r_e$  仅依赖于超过用户阈值  $\sigma$  的幅度，即  $|i - g| - \sigma$ 。函数  $f_e$  控制边缘幅度的修改方式，因为幅度为  $\sigma + f_e(a)$  的边缘变成幅度为  $\sigma + f_e(a)$  的边缘。在我们之前的 1D 范围压缩示例中，截边对应于  $f_e = 0$ ，它将所有边缘的幅度限制为  $\sigma$ 。具体的  $r_d$  和  $r_e$  实用选项在下一节中介绍，并在图 5 中演示。

方程式 (1) 和 (2) 中定义的函数形式的优点在于，它们确保  $r$  为连续且递增的，具体滤波器的设计归结为定义两个逐点函数  $f_d$  和  $f_e$ ，它们各自具有明确的角色： $f_d$  控制细节的放大或缩小，而  $f_e$  则控制边缘的放大或缩小。

**扩展到彩色图像。**为处理颜色，可以先仅处理亮度通道，在图像处理后再重新引入色度（第 5.3 节）。不过，我们的方法也可以自然地扩展到彩色图像，直

### 算法 1 $\mathcal{O}(N \log N)$ 局部拉普拉斯滤波版本

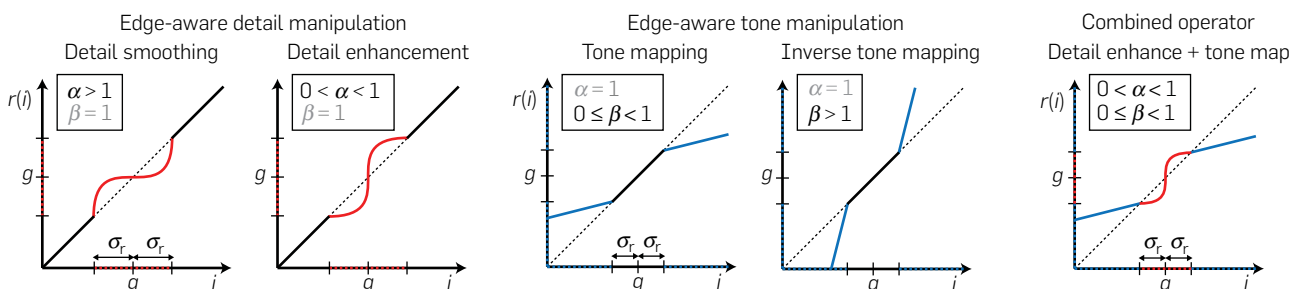
input: 图像  $I$ 、参数  $\sigma$ 、再映射函数  $r$

output: 图像  $I'$

- 1: 计算输入高斯金字塔  $\{G[I]\}$
- 2: **for all** 位置  $(x, y)$  和层  $\ell$  上的系数 **do**
- 3:  $g \leftarrow G(x, y)$
- 4: 确定所需  $I$  的子区域  $R$ ，以估算  $L(x, y)$
- 5: 创建大小相同的临时缓冲  $\tilde{R}$
- 6: **for all**  $R$  中的像素  $(u, v)$  **do**
- 7: 应用再映射函数:  $\tilde{R}(u, v) \leftarrow r(R(u, v), g, \sigma)$
- 8: **end for**
- 9: 计算子金字塔  $\{L[\tilde{R}]\}$
- 10: 更新输出金字塔:  $L[I'](x, y) \leftarrow L[\tilde{R}](x, y)$
- 11: **end for**
- 12: 塌陷输出金字塔:  $I' \leftarrow \text{collapse}(\{L[I']\})$

我们的算法逐一考虑了金字塔系数（第 2 步）。它们各自都使用来自最精细分辨率的像素（第 4 步），向它们应用再映射函数（第 7 步），并为再映射的数据构建拉普拉斯金字塔（第 9 步）。将相关系数复制到输出金字塔（第 10 步），当所有系数都计算后，塌陷该金字塔以获得最终的结果（第 12 步）。

图 5: 5.2 和 5.3 节中介绍的用于边缘觉察操作的逐点函数系列。参数  $\alpha$  和  $\beta$  分别可用于控制细节和色调的处理。为计算输出中的给定拉普拉斯系数，利用所显示公式的非线性函数  $r(i)$  对原始图像逐点滤波。此再映射函数由高斯金字塔系数  $g$  确定参数，描述局部图像内容，并使用阈值  $\sigma$  区分细小细节（红色）和较大边缘（蓝色）。



接处理 3D 矢量表示, 如 RGB 或 CIE-Lab 通道。算法 1 依然适用, 而且我们仅需要更新  $r_d$  和  $r_e$  (粗体字表示矢量):

$$r_d(\mathbf{i}, \mathbf{g}, \sigma) = \mathbf{g} + \text{unit}(\mathbf{i} - \mathbf{g})\sigma f_d(\|\mathbf{i} - \mathbf{g}\|/\sigma) \quad (3a)$$

$$r_e(\mathbf{i}, \mathbf{g}, \sigma) = \mathbf{g} + \text{unit}(\mathbf{i} - \mathbf{g})[f_e(\|\mathbf{i} - \mathbf{g}\| - \sigma) + \sigma] \quad (3b)$$

如果  $\mathbf{v} \neq \mathbf{0}$ , 则  $\text{unit}(\mathbf{v}) = \mathbf{v}/\|\mathbf{v}\|$ , 否则  $\mathbf{0}$ 。这些方程式将细节定义为以  $\mathbf{g}$  为中心、半径为  $\sigma$  的球体内的颜色, 将边缘定义为它外面的颜色。它们也不会更改  $f_d$  和  $f_e$  的角色, 从而使得修改灰度情形中细节和边缘的同一 1D 函数也适用于在彩色情形中生成相似的效果。对于颜色通道都相等的图像, 这些公式缩减为方程式 (1) 和 (2) 的灰度公式。

## 5. 应用和结果

我们现在演示如何使用我们的方法来实现实际的图像处理应用, 并且对实现细节加以讨论。我们首先考虑边缘保持平滑和细节增强, 接着再处理色调映射和相关工具。我们使用过去文献中所用图像<sup>10-13, 27</sup> 验证我们的方法, 证明我们的方法可以产生无伪影的结果。

### 5.1. 实现

我们使用 Burt 和 Adelson<sup>6</sup> 基于  $5 \times 5$  核定义的金字塔。在 2.26GHz Intel Xeon CPU 上, 利用单线程处理一百万像素图像时用时约一分钟。通过将中间金字塔的深度限制为最多五层, 并且应用映射到第  $\max(0, \ell - 3)$  层而不始终以完整分辨率图像开始, 便可将这一时间减半。这相当于在处理粗糙金字塔层时将再映射应用到图像的降采样版本。生成的图像与完整金字塔流程生成的在视觉上几乎没有差异, PSNR 大概为 30 到 40dB。虽然其性能比过去的研究更慢, 但我们的算法具有高度的数据并行度, 可以轻松利用多核架构。使用 OpenMP 时, 我们在 8 核机器上获得了 8 倍速度提升, 将运行时间缩短到 4 秒钟。

### 5.2. 细节操控

为修改图像的细节, 我们定义了 S 形逐点函数, 这与通常用于对比度局部操作的相同。为此, 我们使用了幂曲线  $f_d(\Delta) = \Delta^\alpha$ , 其中  $\alpha > 0$  是用户定义参数。其值大于 1 时可以消除细节, 其值小于 1 时则增加其对比度 (图 5 和 6)。为将我们的注意点限制到图像的细节上, 我们将边缘修改函数设置为恒值  $f_e(\mathbf{a}) = \mathbf{a}$ 。

在细节操作情形下, 参数  $\sigma$  控制信号变化在什么数量级上应当视为边缘, 因而加以保留。较大的值允许滤波器修改信号的较大部分, 产生更大的视觉变化 (图 7)。在其基本形式中, 细节操作应用于所有尺度, 但我们也可通过将处理限制到金字塔层的子集, 从而控制受影响的尺度 (图 6c、d、e)。虽然这种控制是离散的, 变化却是渐进的; 而且, 如果需要连续控制, 我们也可以在层的两个子集的结果之间插值。我们在图 6 和 7 中的结果可以和 Farbman 等人<sup>11</sup> 的结果相比较; 不过, 我们不需要预先求解多分辨率共轭梯度这样的复杂机制。请注意, 我们对彩色图像的特殊扩展也可以让我们增强颜色对比度 (图 6、7 和 8)。

**减缓噪点放大。**与用于纹理增强的其他技术一样, 增强细节的对比度可能使得有损图像压缩带来的噪点和伪影更加明显。我们通过限制最小的  $\Delta$  增幅来减缓这一问题。在我们的实现中, 当  $\alpha < 1$  时, 我们计算  $f_d(\Delta) = \tau\Delta^\alpha + (1 - \tau)\Delta$ , 其中  $\tau$  是平滑阶梯函数,  $\Delta$  小于最大亮度的 1% 时等于 0, 大于 2% 时为 1, 介于两者之间则为平滑过渡。本论文和补充资料中的所有结果都使用此函数计算。

### 5.3. 色调处理

根据标准色调映射策略, 即在压缩大尺度变化的同时保留 (或增强) 细节, 我们的方法也可以用于减小高动态范围 (HDR) 图像的亮度范围。<sup>35</sup> 在我们的框架中, 我们通过定义修改边缘幅度的逐点函数 ( $f_e(\mathbf{a}) = \beta\mathbf{a}$ ) 来处理大尺度变化, 其中  $\beta \geq 0$  是用户定义参数 (图 5)。

图 6: 平滑和增强细节, 同时保留边缘 ( $\sigma = 0.3$ )。仅处理层的子集以控制被操作的细节的频率 (c、d、e)。图像经过裁剪, 使花朵更大, 细节更明显。



在我们色调处理的实现中，我们仅处理图像亮度通道，而保留颜色不变。<sup>10</sup> 我们计算了亮度图像  $I_l = \frac{1}{61}(20I_r + 40I_g + I_b)$  和颜色比  $(\rho_r, \rho_g, \rho_b) = \frac{1}{I_l}(I_r, I_g, I_b)$ ，其中  $I_r$ 、 $I_g$  和  $I_b$  为 RGB 通道。我们利用自然对数将我们的滤波器用于对数亮度  $\log(I_l)$ <sup>35</sup>。对于色调映射，我们使用  $\alpha \leq 1$  设置滤波器，以保留或增强细节，而  $\beta < 1$  使得边缘可以被压缩。这将产生新的值  $\log(I_l')$ ，我们必须将它映射到  $[0, 1]$  中的可显示范围。我们再映射结果  $\log(I_l')$ ，先偏移它的值使其最大值为 0，再缩放它们使之覆盖用户定义的范围。<sup>10, 21</sup> 在我们的实现中，我们估计了稳定的最大值和最小值分别为 99.5% 和 0.5%，我们设置了缩放因子，使得输出动态范围为 100:1（线性亮度）。最后，我们将亮度乘以颜色比  $(\rho_r, \rho_g, \rho_b)$  来获得输出 RGB 通道，然后通过指数  $1/2.2$  伽马修正来进行显示。我们发现，修复输出动态范围不仅可以轻松获得一致的外观，而且能够制约系统。因此， $\sigma$  和  $\beta$  参数具有类似的效果，两者都能控制所渲染图像中局部和全局对比度之间的平衡（图 9）。从实用的角度来说，我们建议使  $\sigma$  固定不变，而在 0（局

部对比度负责大多数动态范围）和 1（由全局对比度主导）之间改变斜率  $\beta$ 。除非另作说明，我们使用  $\sigma = \log(2.5)$ ，这在我们的实验中提供了始终如一的良好结果。由于我们是在对数域中操作，此值对应于像素亮度之间的比值。它不依赖于场景的动态范围，而且仅假设输入 HDR 图像在特定尺度下测量辐射度。

我们的色调映射运算符在以往研究的标准元素基础上构建，可以替换为其他元素。例如，可以使用 Sigmoid 函数再映射亮度到显示范围<sup>30</sup>，或者使用不同的颜色管理方法（如 Mantiuk 等人<sup>24</sup>所述）。此外，我们没有应用其他“美化曲线”或增强饱和度，这些操作在照片编辑软件中是广泛使用的。我们的方法产生干净的输出图像，需要时也可进行这样的后处理。

范围压缩是不错的测试案例，可以展现出我们的基于金字塔的滤波器的能力，因为它涉及了大的修改。对于高度压缩，即使细微的不准确性也可能变得可见，尤其是在高对比度边缘处。在我们的实验中，我们没有观察到锯齿或过度锐利伪影，即便在其他方法可能遭受这些问题的情形中（图 10 和 11）。我们也通过使用低全局对比度 ( $\beta = 0$ ) 和高局部细节 ( $\alpha = 0.25$ ) 生成结果，对我们的运算符进行了压力测试。总体而言，我们的方法生成的结果没有呈现出任何特定的问题（图 12）。我们对比了我们方法与 Farbman 等人<sup>11</sup> 和 Li 等人<sup>21</sup> 的方法在夸大细节方面的表现。我们生成了前后一致的结果，且没有晕圈，而其他方法或者产生了晕圈，或者无法夸大细节（图 13）

图 7:  $\sigma$  参数用于细节增强 ( $\alpha = 0.25$ ) 的效果。输入与图 6 中相同。

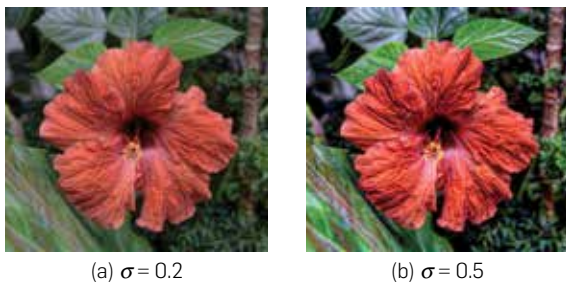
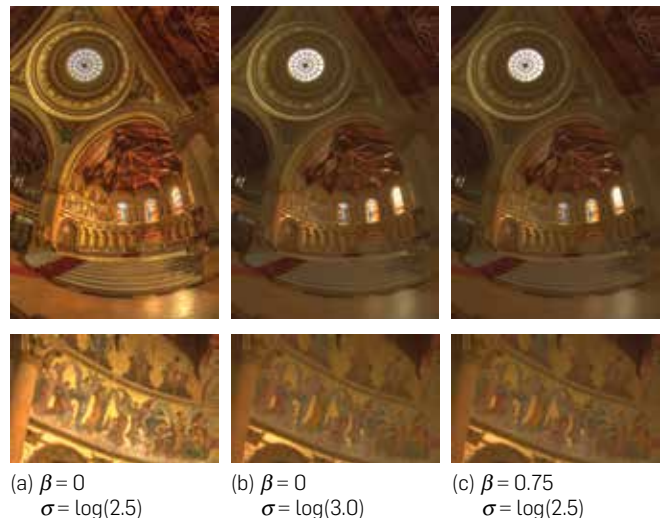


图 8: 仅过滤照度 (b) 可保留 (a) 中的原始颜色，同时过滤 RGB 通道 (c) 也可修改颜色对比度 ( $\alpha = 0.25, \beta = 1, \sigma = 0.4$ )。



图 9:  $\beta$  和  $\sigma$  对色调映射结果的效果相似，它们控制全局和局部对比度之间的平衡。所有三幅图中  $\alpha$  都设为 1。



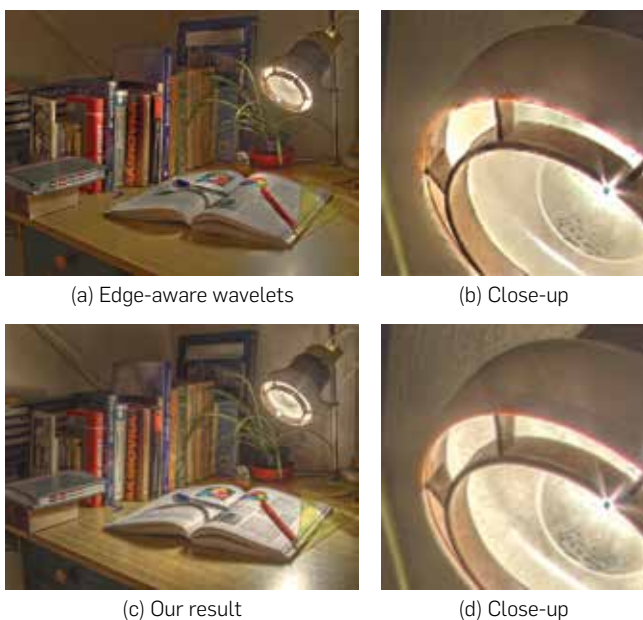
我们遇到了一个典型难题：有时候，天空与其他元素交融形成高频纹理，意外地被我们的细节增强滤波器放大（图 8b 和 14）。这样的“错误解读”对所有缺乏场景语义理解的低级滤波器比较常见，通常需要用户反馈来进行校正。<sup>22</sup>

我们还对逆色调映射进行了实验，使用大于 1 的斜率值  $\beta$  来提高普通图像的动态范围。由于我们基于对数亮度进行运算，所以粗略地来说，线性动态范围被按  $\beta$  的指数放大了。对这些范围扩大的结果应用我们的色调映射运算符，可以产生接近于原始输入的图像， $\beta = 2.5$  时 PSNR 通常介于 25 和 30 dB 之间。这表明我们的逆色调映射较好的保留了图像内容。虽然对 HDR 监视器的全尺度研究已超出本文范畴，但我们相信，我们的简单方法可以补充相关的其他技术（如 Masia 等人<sup>25</sup>的研究）。补充材料中提供了 HDR 示例结果。

#### 5.4. 讨论

虽然我们的方法在存在过量噪点或在使用了极端参数设置（如补充材料中的 *lenna* 照片具有大量噪点）时可能会失败，但我们认为我们的滤波器非常鲁棒，在广泛的设置范围中都有良好表现。图 15 显示了不同的参数值应用到同一图像，其结果一致地令人满意，不

图 10：灯泡附近的极端对比度尤其有挑战。图像 (a) 和 (b) 是从 Fattal 的研究重现的。<sup>12</sup> 边缘觉察小波存在锯齿问题，生成了不规则边缘 (b)。与之相比，我们的方法 (d) 生成了干净的边缘。对我们的方法进行了设置，以获得大致相同的细节程度 ( $\sigma = \log(3.5)$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $\beta = 0$ )。



仅质量高而且没有晕圈；补充材料中提供了更多这样的示例。虽然边缘觉察型处理的目标或许不太明确，我们获得的结果表明，借助我们的方法可以利用直观的参数和简单的实现来获得许多边缘觉察特效。我们方法现有的缺点在于其运行时间。由于我们的算法具有多尺度属性，我们可以缓解此问题，生成忠于完整分辨率结果的快速预览（图 16）。另外，该算法高度可并行，应当不难开发其快速 GPU 实现版本。除了这些实用方面，我们的主要贡献是更好地刻画图像的多尺度属性。许多与照片编辑相关的问题都基于图像的这些属性；我们相信，更好地理解这些内容可以带来超越本文所示应用的益处。

#### 6. 结论

与近期研究的关联。我们于 2011 年 ACM SIGGRAPH 大会上首次报告了本研究。与我们原始

图 11：双边滤波有时候使边缘过度锐利，导致伪影 (b)。我们使用了 Paris 和 Durand<sup>26</sup> 提供的代码，将细节图层乘以 2.5 以生成这些结果。尽管此类伪影可以在后处理中修复，这会增加系统的复杂性，并引入了新的参数。我们的方法直接生成干净的边缘 (d)。对我们的方法进行了设置，以获得大致相同的视觉结果 ( $\sigma = \log(2.5)$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $\beta = 0$ )。



图 12: 应用强范围压缩和大幅细节增强 ( $\alpha = 0.25, \beta = 0, \sigma = \log(2.5)$ ) 对我们的方法进行了压力测试。结果主要由局部对比度控制, 让人回想起流行又夸张的“HDR 感觉”, 但没有难看的晕圈与之关联。在图像质量方面, 我们的结果在大多数情形中没有伪影。我们在补充材料中进一步探索了参数变化带来的影响。



图 13: 我们比较了 HDR 图像的夸张色调映射表现。Li 等人<sup>21</sup> 基于小波的方法最适合中性表现, 在提高细节程度时产生了晕圈 (a)。Farbman 等人<sup>11</sup> 的多尺度方法表现稍好, 在中等细节程度时生成了令人满意的结果 (b), 但更大幅提升时有时会出现晕圈和边缘伪影, 如此图中所示; 请看蓝色封面上白色方块的边缘, 以及已翻开书本的边缘 (c)。与之相比, 我们的方法获得了高度细节化的表现, 并且没有伪影 (d)。补充材料中可以更好地查看这些结果和其他结果。

- (a) Li et al.<sup>21</sup> (detailed rendition using parameters suggested by the authors)
- (b) Farbman et al.<sup>11</sup> (detailed rendition using parameters suggested by the authors)
- (c) Farbman et al.<sup>11</sup> (exaggerated rendition using parameters suggested by the authors)
- (d) Our result with exaggerated details ( $\alpha = 0.25, \beta = 0$ )



论文的主要差别在第 3 节上，该节现在侧重于边缘的定性属性分析。对这些属性的正式探讨可参见 Paris 等人的论文。<sup>28</sup> 自那以后，我们还扩展了这一研究，包括让局部拉普拉斯滤波器变得实用的快速算法、表明其与双边滤波器关系的分析、应用于摄影风格转变的梯度直方图迁移的应用，以及与“引导式滤波器”<sup>17</sup>

**图 14:** 我们的方法完全基于信号，其对场景语义的忽视可能会带来伪影。局部对比度大幅提高 (b)，程度达到与图 12 相似时，云朵后的天空会局部变暗，因为它形成了被我们滤波器放大的 blue-white 纹理。我们对此示例的结果在别处不错，而且此问题在更典型的再现中没有出现 (a)。



(a) No detail increase ( $\alpha = 1$ )      (b) Detail increased ( $\alpha = 0.25$ )

等现有技术的更多比较。这些结果在 Aubry 等人的论文中进行了说明。<sup>2</sup>

虽然局部拉普拉斯滤波器可以减少图像细节，但 Xu 等人的研究<sup>39,40</sup> 表明，它们不会完全去除它们，为此他们提出了面向卡通绘制和马赛克纹理去除等应用的全面抑制细节的滤波器。通过解决极端的细节去除问题，本研究可以补充在极端细节增强上表现良好的局部拉普拉斯滤波器。Hadwiger 等人<sup>16</sup> 推出了一种专门的数据结构，可以高效地处理非常大的图像，也展示了该数据结构对局部拉普拉斯滤波的应用。

**结语。** 我们展示了一种完全基于拉普拉斯金字塔的边缘觉察型图像处理新技术。它在概念上很简单，广泛适用于边缘觉察型滤波器，并且能一贯地产生无伪影的图像。对大量图像和各种参数设置我们均展示了高质量的结果，验证了该方法的鲁棒性。我们的结果为多尺度图像分析和编辑开启了一个新视角，因为拉普拉斯金字塔过去被认为不适合操作边缘。由于金字塔的广泛用途和边缘觉察型处理的需求，我们相信，我们的新见解对图像编辑领域和其相关应用会产生广泛的影响。

**图 15:** 我们用于增强和减少细节的滤波器涵盖了可能输出的大量空白，不会造成晕圈。

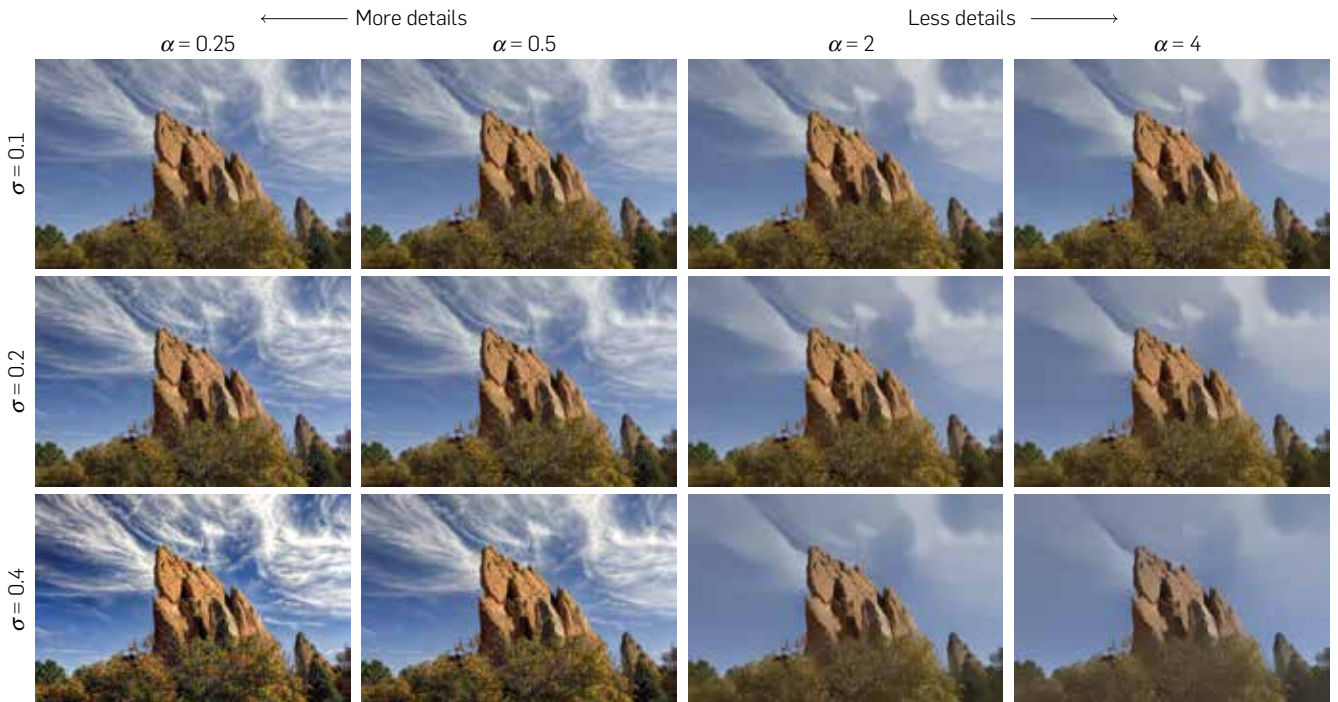
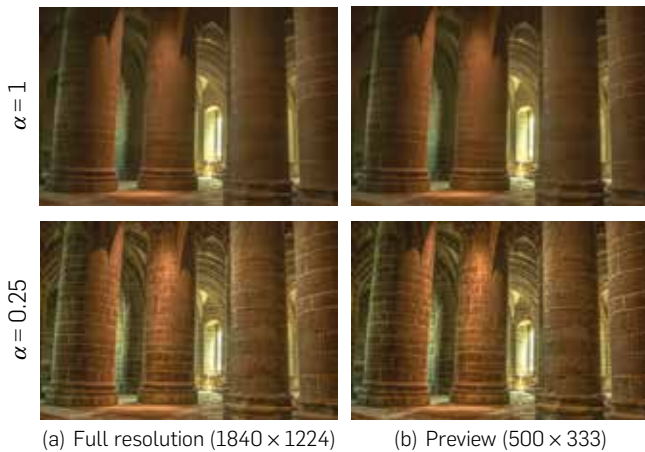


图 16: 我们的方法在应用到图像的低分辨率版本时 ( $\beta = 0, \sigma = \log(2.5)$ ), 生成了准确的预览。



## 鸣谢

感谢 Ted Adelson、Bill Freeman 和 Frédo Durand 激发灵感的讨论和鼓励; 感谢 Alan Erickson 的 Orion 图像, 并且感谢诸多匿名评阅者提供的建设性意见。本研究部分受到了 NSERC 博士后基金、Quanta T-Party、NGA NEGI-1582-04-0004 和 MURI Grant N00014-06-1-0734 的支持, 并且得到了来自 Microsoft、Google 和 Adobe 的赞助。我们感谢 Farbman 等人 and Li 等人方法比较提供的帮助。



## 参考资料

1. Aubert, G. and Kornprobst, P. *Mathematical Problems in Image Processing: Partial Differential Equations and the Calculus of Variations*. Vol. 147 of Applied Mathematical Sciences. Springer, 2002.
2. Aubry, M., Paris, S., Hasinoff, S.W., Kautz, J., and Durand, F. *Fast and Robust Pyramid-based Image Processing*. Tech. Rep. MIT-CSAIL-TR-2011-049. MIT, 2011.
3. Bae, S., Paris, S., and Durand, F. Two-scale tone management for photographic look. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 25, 3 (2006), 637–645.
4. Bhat, P., Zitnick, C.L., Cohen, M., and Curless, B. Gradientshop: A gradient-domain optimization framework for image and video filtering. *ACM Trans. Graph.* 29 (2010), 2.
5. Buades, A., Coll, B., and Morel, J.-M. The staircasing effect in neighborhood filters and its solution. *IEEE Trans. Image Process.* 15 (2006), 6.
6. Burt, P.J. and Adelson, E.H. The Laplacian pyramid as a compact image code. *IEEE Trans. Commun.* 31 (1983), 4.
7. Chen, J., Paris, S., and Durand, F. Real-time edge-aware image processing with the bilateral grid. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 26 (2007), 3.
8. Criminisi, A., Sharp, T., Rother, C., and Perez, P. Geodesic image and video editing. *ACM Trans. Graph.* 29 (2010), 5.
9. Dippel, S., Stahl, M., Wiemker, R., and Blaffert, T. Multiscale contrast enhancement for radiographies: Laplacian pyramid versus fast wavelet transform. *IEEE Trans. Med. Imaging* 21 (2002), 4.
10. Durand, F. and Dorsey, J. Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 21 (2002), 3.
11. Farbman, Z., Fattal, R., Lischinski, D., and Szeliski, R. Edge-preserving decompositions for multi-scale tone and detail manipulation. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 27 (2008), 3.
12. Fattal, R. Edge-avoiding wavelets and their applications. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 28 (2009), 3.
13. Fattal, R., Lischinski, D., and Werman, M. Gradient domain high dynamic range compression. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 21 (2002), 3.
14. Fattal, R., Agrawala, M., and Rusinkiewicz, S. Multiscale shape and

15. Fattal, R., Carroll, R., and Agrawala, M. Edge-based image coarsening. *ACM Trans. Graph.* 29 (2009), 1.
16. Hadwiger, M., Sicat, R., Beyer, J., Krüger, J., and Möller, T. Sparse PDF maps for non-linear multiresolution image operations. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH Asia)* 31 (2012), 5.
17. He, K., Sun, J., and Tang, X. Guided image filtering. In *Proceedings of European Conference on Computer Vision (Proc. ECCV)* (2010).
18. Heeger, D.J. and Bergen, J.R. Pyramid-based texture analysis/synthesis. In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Conference (Proc. SIGGRAPH)* (1995).
19. Kass, M. and Solomon, J. Smoothed local histogram filters. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 29 (2010), 3.
20. Kimmel, R. *Numerical Geometry of Images: Theory, Algorithms, and Applications*. Springer, 2003.
21. Li, Y., Sharan, L., and Adelson, E.H. Compressing and companding high dynamic range images with subband architectures. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 24 (2005), 3.
22. Lischinski, D., Farbman, Z., Uyttendaele, M., and Szeliski, R. Interactive local adjustment of tonal values. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 25 (2006), 3.
23. Mantiuk, R., Myszkowski, K., and Seidel, H.-P. A perceptual framework for contrast processing of high dynamic range images. *ACM Trans. Appl. Percept.* 3 (2006), 3.
24. Mantiuk, R., Mantiuk, R., Tomaszewska, A., and Heidrich, W. Color correction for tone mapping. *Comput. Graph. Forum (Proc. Eurographics)* 28 (2009), 2.
25. Masia, B., Agustín, S., Fleming, R.W., Sorkine, O., and Gutierrez, D. Evaluation of reverse tone mapping through varying exposure conditions. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH Asia)* 28 (2009), 5.
26. Paris, S. and Durand, F. Tone-mapping code. <http://people.csail.mit.edu/sparis/code/src/tonemapping.zip>.
27. Paris, S., Kornprobst, P., Tumblin, J., and Durand, F. Bilateral filtering: Theory and applications. *Found. Trends Comput. Graph. Vision* 4, 1 (2009), 1–74.
28. Paris, S., Hasinoff, S.W., and Kautz, J. Local Laplacian Filters: Edge-aware image processing with a Laplacian pyramid. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 30 (2011), 4.
29. Perona, P. and Malik, J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 12 (1990), 7.
30. Reinhard, E., Stark, M., Shirley, P., and Ferwerda, J. Photographic tone reproduction for digital images. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 21 (2002), 3.
31. Subr, K., Soler, C., and Durand, F. Edge-preserving multiscale image decomposition based on local extrema. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH Asia)* 28 (2009), 5.
32. Sunkavalli, K., Johnson, M.K., Matusik, W., and Pfister, H. Multi-scale image harmonization. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 29 (2010), 3.
33. Szeliski, R. Locally adapted hierarchical basis preconditioning. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)* 25 (2006), 3.
34. Tomasi, C. and Manduchi, R. Bilateral filtering for gray and color images. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (Bombay, India, 1998)*.
35. Tumblin, J. and Turk, G. Low curvature image simplifiers (LCIS): A boundary hierarchy for detail-preserving contrast reduction. In *Proc. SIGGRAPH* (1999).
36. Vuylsteke, P. and Schoeters, E.P. Multiscale image contrast amplification (MUSICA). In *Proc. SPIE*, Volume 2167 (1994).
37. Witkin, A. Scale-space filtering. In *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Volume 2 (Karlsruhe, Federal Republic of Germany (a.k.a. West Germany), 1983).
38. Witkin, A., Terzopoulos, D., and Kass, M. Signal matching through scale space. *Int. J. Comput. Vision* 1 (1987), 2.
39. Xu, L., Lu, C., Xu, Y., and Jia, J. Image smoothing via LO gradient minimization. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH Asia)* 30 (2011), 5.
40. Xu, L., Yan, Q., Xia, Y., and Jia, J. Structure extraction from texture via relative total variation. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH Asia)* 31 (2012), 5.

Sylvain Paris (sparis@adobe.com), Adobe Research.

Jan Kautz (j.kautz@ucl.ac.uk), 英国伦敦大学学院。

Samuel W. Hasinoff (hasinoff@google.com), Google Inc.

图片提供: Martin C`adik, Paul Debevec, Frédéric Drago, Frédo Durand, Mark Fairchild, Dani Lischinski, Byong Mok Oh,

Erik Reinhard 和 Gregory J. Ward。

译文责任编辑: 山世光



请观看此独家 Communications 视频中作者对本研究的讨论。