InviCloak: An End-to-End Approach to Privacy and Performance

贾怀宇 2020090916007

论文原稿：InviCloak: An End-to-End Approach to Privacy and Performance [1]
https://arxiv.org/pdf/2209.01541.pdf
收录于 CCS '22, November 7–11, 2022, Los Angeles, CA, USA

InviCloak: 应对隐私和性能的端到端方法

1.摘要：

在当今的网络生态系统中，使用内容交付网络（CDN）的网站与 CDN 共享其传输层安全（TLS）私钥或会话密钥。在本文中，我们介绍了一篇来自 CCS2022 的文章：InviCloak 的设计和实现，该系统可以在不改变 TLS 或升级 CDN 的情况下保护用户和网站私人通信的保密性和完整性。InviCloak 建立了一个轻量级但安全实用的密钥分发机制，使用现有的 DNS 基础设施来分发与网站域名相关的新公钥。网络客户端和网站可以使用新的密钥对在 TLS 内建立一个加密通道。InviCloak 适应了当前的网络生态系统。网站可以在没有客户参与的情况下单方面部署 InviCloak，以防止 CDN 内部的被动攻击者窃听其通信。如果客户端也安装了 InviCloak 的浏览器扩展，那么在 CDN 内的主动攻击者存在的情况下，客户端和网站可以实现端到端的保密和不受干扰的通信。除此之外，我们还介绍了原文中提到的其他 CDN，以此来和 InviCloak 做对比。

Keywords：CDN; HTTPS; Private key sharing

2.引言：

2.1 概述

内容交付网络（CDN）在网络生态系统中发挥着重要作用。它们不仅加快了网络内容的传播速度，而且还保护网站免受各种攻击。例如，Akamai、Cloudflare 和 CloudFront 等 CDN 提供分布式拒绝服务（DDoS）攻击缓解和恶意内容清除服务。[2]

在本文设计的核心中，旨在探索一种具有不同成本和效益权衡的解决方案，供市场选择。该解决方案，InviCloak，采取了一种端到端的方法。它适应了当前的密钥共享做法，并将内容服务授权与保密性分开。一个网站使用共享的 TLS 密钥来授权 CDN 提供其非隐私敏感的内容。然后，它使用一对新的私人/公共密钥，不与 CDN 共享，以保护隐私敏感的内容。InviCloak 可以防止主动攻击，并且不增加发送到源服务器的流量。

InviCloak 使用现有的 DNSSEC 和 DNS-over-HTTPS（DoH）基础设施来分发网站的新公钥，从而避免了网站为新域名获取新的 TLS 证书。为了便于部署，InviCloak 在网络客户端和网站源服务器之间的现有 TLS 会话中嵌入了一条端对端加密隧道，以传输私人数据，如用户的登录密码。

2.2 模型优点

（1）不改变底层 TLS 协议，对 CDN 完全透明。

（2）它不修改现有的网络服务器实现，网络开发人员不需要改变现有的网络资源或管理新的域名和证书。

（3）InviCloak 使用一对新的私人/公共密钥，不与 CDN 共享，以保护隐私敏感的内容。

（4）InviCloak 可以防止主动攻击，并且不增加发送到源服务器的流量。

3.知识补充：

3.1 CDN

内容分发网络（英语：Content Delivery Network 或 Content Distribution Network，缩写：CDN）是指一种透过互联网互相连接的电脑网络系统，利用最靠近每位用户的服务器，更快、更可靠地将音乐、图片、视频、应用程序及其他文件发送给用户，来提供高性能、可扩展性及低成本的网络内容传递给用户。

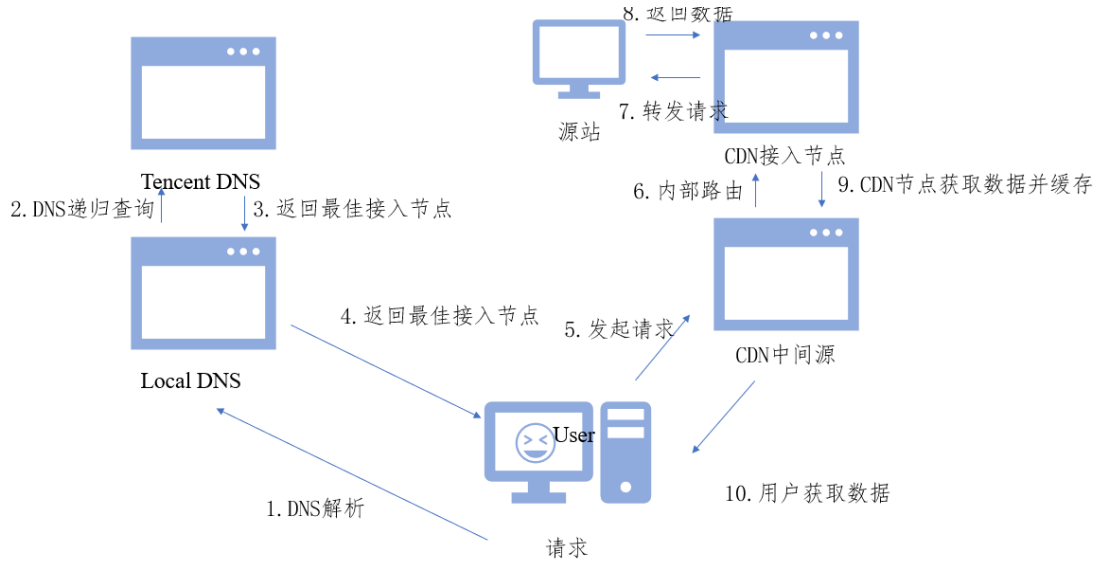
CDN 工作流程：

1. 当用户访问已经加入 CDN 服务的网站时，首先通过 DNS 重定向技术确定最接近用户的最佳 CDN 节点，同时将用户的请求指向该节点。
2. 当用户的请求到达指定节点时，CDN 的服务器（节点上的高速缓存）负责将用户请求的内容提供给用户。
3. 具体流程为: 用户在自己的浏览器中输入要访问的网站的域名，浏览器向本地 DNS 请求对该域名的解析，本地 DNS 将请求发到网站的主 DNS，主 DNS 根据一系列的策略确定当时最适当的 CDN 节点，并将解析的结果（IP 地址）发给用户，用户向给定的 CDN 节点请求相应网站的内容。

CDN 的优势：

（1）CDN 节点解决了跨运营商和跨地域访问的问题，访问延时大大降低。

（2）大部分请求在 CDN 边缘节点完成，CDN 起到了分流作用，减轻了负载。



图一：CDN 例子

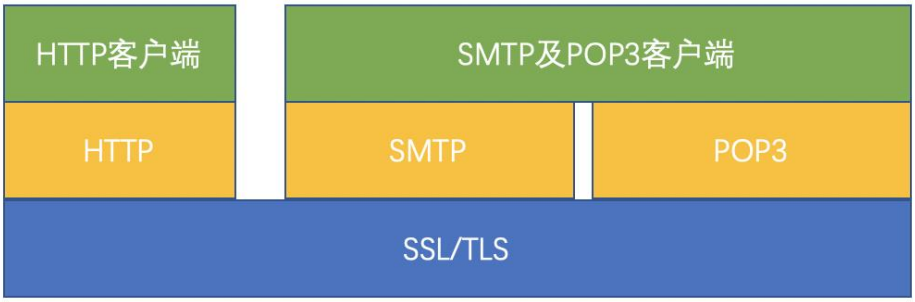
用户向 www.test.com 下的某图片资源，如 1.jpg 发起请求，先要向 Local DNS 发起域名解析请求；

当 Local DNS 解析 www.test.com 时，会发现已经配置了 CNAME www.test.com.cdn.dnsv1.com，解析请求会发送至 Tencent DNS（GSLB），GSLB 为腾讯云自主研发的调度体系，会为请求分配最佳节点 IP；Local DNS 获取 Tencent DNS 返回的解析 IP；用户测获取解析 IP；用户向获取的 IP 发起对资源 1.jpg 的访问请求；若该 IP 对应的节点缓存有 1.jpg，则会将数据直接返回给用户（10），此时请求结束。若该节点未缓存 1.jpg，则节点会向业务源站发起对 1.jpg 的请求（6、7、8），获取资源后，结合用户自定义配置的缓存策略（可

参考用户指南中缓存时间设置章节内容），将资源存储（9），并返回给用户（10），此时请求结束。

3.2 TLS

SSL/TLS 是一种密码通信框架，他是世界上使用最广泛的密码通信方法。
SSL/TLS 综合运用了密码学中的对称密码，消息认证码，公钥密码，数字签名，伪随机数生成器等，可以说是密码学中的集大成者。
SSL(Secure Socket Layer)安全套接层，是 1994 年由 Netscape 公司设计的一套协议，并与 1995 年发布了 3.0 版本。
TLS(Transport Layer Security)传输层安全是 IETF 在 SSL3.0 基础上设计的协议，实际上相当于 SSL 的后续版本。

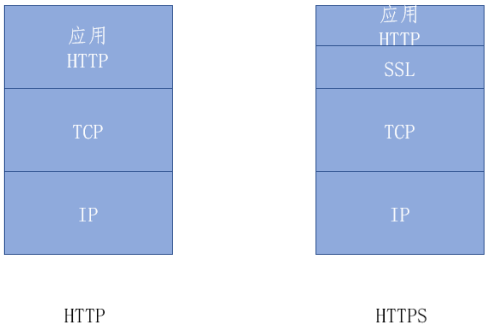


图二：TLS 协议

TLS 主要分为两层，底层的是 TLS 记录协议，主要负责使用对称密码对消息进行加密。
上层的是 TLS 握手协议，主要分为握手协议，密码规格变更协议和应用数据协议 4 个部分。
握手协议负责在客户端和服务器端商定密码算法和共享密钥，包括证书认证，是 4 个协议中最最复杂的部分。
密码规格变更协议负责向通信对象传达变更密码方式的信号
警告协议负责在发生错误的时候将错误传达给对方
应用数据协议负责将 TLS 承载的应用数据传达给通信对象的协议。

3.3 HTTPS

HTTPS：是以安全为目标的 HTTP 通道，简单讲是 HTTP 的安全版，即 HTTP 下加入 SSL 层，HTTPS 的安全基础是 SSL，因此加密的详细内容就需要 SSL。
HTTPS 协议的主要作用可以分为两种：一种是建立一个信息安全通道，来保证数据传输的安全；另一种就是确认网站的真实性。

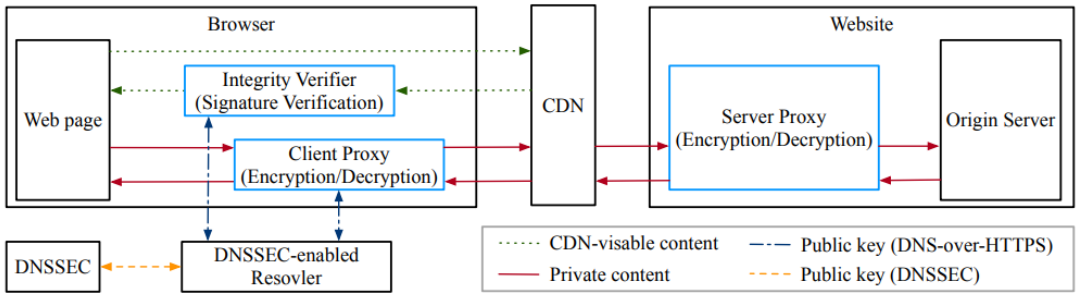


图三：HTTP 与 HTTPS

HTTP+加密+认证+完整性保护 ＝HTTPS

4. 模型与设计

4.1 模型



图四：InviCloak 模型

InviCloak 引入了三个新的组件：一个在网络浏览器中运行的客户端代理，一个作为浏览器扩展引入的完整性验证器，以及一个在网站源服务器前作为反向代理运行的服务器代理。完整性验证器适用于所有支持 InviCloak 的网站，而客户端代理是一个 JavaScript 库，包括每个网站的特定配置。一个网站在其登陆页面中嵌入客户端代理，而完整性验证器将通过浏览者认可的机制（如扩展市场）分发。InviCloak 使用 DNS 基础设施来分发网站的公钥，以便在浏览器和网站的源服务器之间建立一个加密通道。

4.2 InviCloak 的组件

Key Distribution & Management：InviCloak 使用现有的 DNS 基础设施来分发新的公钥。在 InviCloak 中，客户端代理和完整性验证器将在 DNS-over-HTTPS（DoH）中向支持 DNSSEC 的解析器发送公钥查询。InviCloak 在浏览器中缓存了一个网站的公钥，在用户清除缓存之前不会请求公钥。InviCloak 在 TLSA 记录中存储公开密钥而不是证书。

The Client Proxy：在 InviCloak 的设计中，客户端代理是一个在网络浏览器中运行的 JavaScript 库。本文设计的客户端代理将配置文件作为输入，这样每个网站只需要配置文件来部署 InviCloak，不需要开发新的 JavaScript 代码

The Server Proxy：本文把服务器代理设计成网络服务器的附加模块，如 NGINX。一个网站不需要修改其网络服务器的实现来部署 InviCloak。网站在服务器代理的配置文件中列出私人内容的 URLs(nginx.conf)中列出私有内容的 URL，与配置客户端代理的方式类似。

Establishing the Encryption Channel：。根据 TLS 1.3，InviCloak 将在每次密钥交换后随机化一个 32 字节的会话 ID 并存储相应的会话密钥。会话 ID 被返回给客户端。当客户端代理向服务器代理发送加密的私人内容时，它将包括明文的会话 ID。服务器代理通过会话 ID 检索会话密钥，如果没有找到相应的会话密钥，它将拒绝该请求。密钥交换过程可以按需进行，也可以异步进行。

Using the Encryption Channel：会话密钥设置完成后，客户端和服务器代理可以使用它来加密和解密浏览器和网站源服务器之间的私人通信。当浏览器发起一个 URL 在客户端代理的配置文件列表中的请求时，客户端代理会生成一个包括会话 ID、序列号和请求内容的消息。会话 ID 唯一标识它与服务器代理共享的 InviCloak 会话，而序列号唯一标识该会话中的请求。客户端代理使用与服务器代理共享的会话密钥对序列号和请求内容进行加密，使用 TLS 1.3 批准的密码组。然后，它将加密的请求发送到 CDN，CDN 将把它转发到源服务器。InviCloak 不改变 TLS，因此底层 TLS 连接不知道客户端代理添加的额外加密，并将加密请求视为普通的 HTTP 请求。

Integrity Verifier：InviCloak 使用完整性验证来抵御主动对手。与客户端代理不同，完整性验证器是对现有浏览器的一个扩展。它是一个独立于网络服务的组件，可以在网络会话之外安全地获得。

Partial Deployment of Integrity Verifier：在 InviCloak 的设计中，网站可以在没有用户参与的情况下部署服务器代理和客户端代理，以击败被动对手，但用户需要自己安装完整性验证器，以击败主动对手。

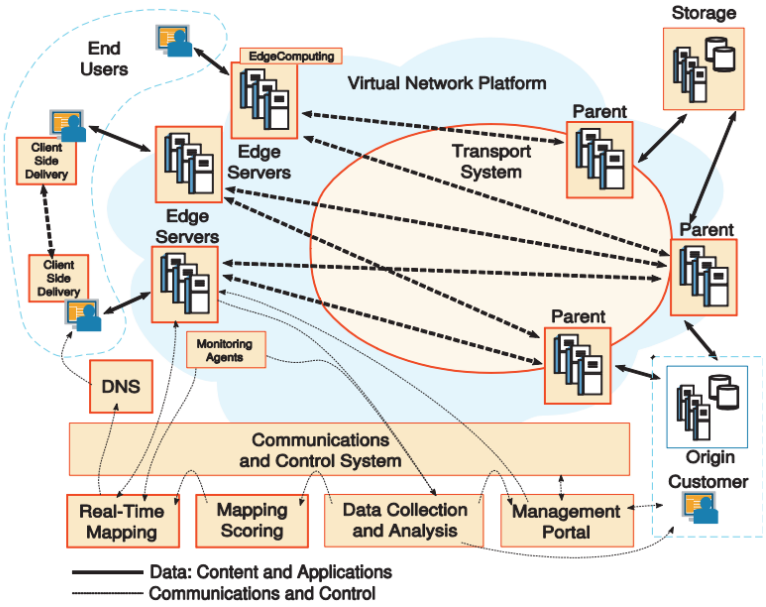
Cookie Management：InviCloak 通过用客户端和服务器代理之间建立的会话密钥对用户的认证 cookie 进行加密来防止 cookie 泄漏。网站将在其服务器代理的配置文件中指定哪些 cookie 对 CDN 是私有的（称为私有 cookie）。服务器代理将在 HTTP 响应的 Set-Cookie 标头中加密私人 cookies，并在 HTTP 请求的 Cookie 标头中解密这些 cookies。客户端代理不需要对 cookie 进行解密，因此浏览器将存储加密的 cookie，并在需要时将其附加到请求头中。

5. 其余常见 CDN

Akamai[4]: Akamai 维护着由 24 万多台“边缘服务器”组成的全球网络。 它们位于互联网的“边缘”，并尽可能靠近最终用户。 为了实现这一目标，许多边缘服务器甚至直接位于 ISP 或移动数据塔中，以进一步减少在移入 Akamai 网络之前连接到用户 ISP 的延迟。

当用户发出请求时，Akamai 会将其动态映射到最近的可用边缘服务器。 边缘服务器在使用 Akamai 网络内所有其他边缘服务器之间的最佳可用路由以从源中获取内容之前，将应用内容提供商指定的业务规则。 业务规则在每个边缘服务器上复制。然后，将可用的任何配置为缓存的内容缓存在边缘服务器上，以供将来连接到该节点的请求使用。

例如：通过在 DNS 中添加一条 CNAME 记录将站点添加到 Akamai，该记录从主机名(例如“ community.akamai.com”)指向 Akamai 控制的 Akamai 边缘主机名“ community.akamai.com.edgekey.net”。边缘服务器映射将接管以分配最佳可用边缘服务器。 如果您“ 挖掘 ”主机名并看到“ edgekey.net”，则说明内容提供商正在使用 Akamai。



图五：Akamai 平台

6. 总结

本课程报告原论文是：《InviCloak: An End-to-End Approach to Privacy and Performancein Web Content Distribution》，核心观点是 InviCloak，一个允许网站使用 CDN 进行 DDoS 保护和网络加速的系统，而不暴露它与用户交换的敏感数据。InviCloak 对客户端和源服务器之间传输的敏感数据进行加密，这样，不被信任的 CDN 就无法窃听他们的通信。一个网站的单边部署可以防止 CDN 中的被动窃听者。如果用户安装了 InviCloak 的浏览器扩展，InviCloak 可以防止 CDN 内的主动攻击者窃听或篡改其私人通信。此外，我们还罗列了论文中其余常见的 CDN：Akamai，这是一个维护着由 24 万多台“边缘服务器”组成的全球网络。

参考文献

[1] Lin S, Xin R, Goel A, et al. InviCloak: An End-to-End Approach to Privacy and Performance in Web Content Distribution[C]//Proceedings of the 2022 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. 2022: 1947-1961.

[2] Omer Gil. 2017. Web Cache Deception Attack. https://omergil.blogspot.com/2017/02/web-cache-deception-attack.html

[3] 2020. Let’s Encrypt Stats. https://letsencrypt.org/stats/

[4] Erik Nygren, Ramesh K Sitaraman, and Jennifer Sun. 2010. The Akamai Network: a Platform for High-Performance Internet Applications. SIGOPS OSR 44, 3 (2010), 2–19.