

加密文件系统设计

高嘉蕊, 14307130345
计算机科学与技术学院

2017 年 6 月 12 日

1 Server

服务器端只相当于物理存储，没有目录，全部扁平化拉平。保证服务器无法得到除了加密之后的文件内容之外的任何信息。同时对服务器的行为进行时时监测。

2 File System

2.1 文件系统整体设计

在同一个文件系统中，为每个用户建立单独文件夹，对文件夹的创建目录或文件等操作真实在文件夹中操作，同时本地保存文件备份。基于 Fuse 重写各种命令保证保证用户只能回退到 root，不能进入其他用户文件夹。用户分享过程中，为每一个分组单独创建文件夹。对每个分享组的用户而言，在自己的目录下也可以看到这个文件，但是实际文件的备份存储位置为分组中。

对每一个用户，生成一对用于 RSA 加密的密钥 (n_1, e_1, d_1) ，一个用于 DES 加密的密钥 k ，用户负责保存私钥 (n_1, d_1) 。对每一个分享组，生成两对用于 RSA 加密的密钥 $(n_1, e_1, d_1), (n_2, e_2, d_2)$ ，一个用于 DES 加密的密钥 k ，分享组中有读权限的用户保存 (n_1, d_1) ，有写权限的用户保存 $(n_1, d_1), (n_2, d_2)$ 。

在 root 目录中，保存四个文件：

- 全部用户公钥 (n_1, e_1) ；
- 全部用户非分享文件的 (n_1, e_1) 加密后的 DES 密钥 K ；
- 全部分享组的两组公钥 $(n_1, e_1), (n_2, e_2)$ ；
- 全部分享文件的 (n_1, e_1) 加密后的 DES 密钥 K 。

每个用户目录中，保存一个文件：

- 全部共享文件的全部路径名；
- 全部共享文件的全部路径名与其映射的共享文件实际存储位置。

2.2 加密过程

2.2.1 文件名加密

用户使用公钥 (n_1, e_1) 加密文件全部路径，例如 userA/path/file1.txt，作为上传服务器的名字，如果出现与服务器上的文件重名（可能性非常小），则要求用户重命名才可以上传。保证每个文件的路径名是不同的。

分享组使用公钥 (n_1, e_1) 加密。其余同上。

2.2.2 文件内容加密

使用 DES 加密，密钥为 k 。 k 无需用户保存，使用 RSA 加密用户/分享组公钥 (n_1, e_1) 对 k 加密，之后保存在 root 目录下的文件中即可。

2.2.3 用户上传文件

- 用户用自己的私钥 (n_1, d_1) 解密得到 root 文件中自己的 DES 密钥 k ，用 k 对文件内容进行加密。
- 计算加密后文件（部分文件）的 hash 值，同时把这个值用自己的私钥 (n_1, d_1) 签名，加到文件的 header 中。
- 对文件全部路径用公钥 (n_1, e_1) 加密，之后上传到文件服务器。如果文件服务器上出现重名，要求用户对文件重命名。
- 把加密上传的文件同时备份在本地。

2.2.4 用户读文件

- 对想读的文件的完整路径用 (n_1, e_1) 加密，在 server 寻找对应文件下载下来。
- 对文件进行验证，使用 (n_1, e_1) 对前一次写的签名进行解密，得到的字符串应当为文件（部分文件）的 hash 值。如果不相符，认为服务器或者其他原因文件被非法修改，则重新上传本地备份的文件到服务器。
- 如果验证成功，则认为读取到正确文件。使用私钥 (n_1, d_1) 解密得到 root 文件中自己的 DES 密钥 k ，用 k 对文件解密。

2.2.5 用户写文件

- 首先按照 Sec2.2.4读文件。
- 完成写文件操作之后，按照 Sec2.2.3上传。
- 更新本地加密的备份文件。

2.2.6 用户分享文件

下面以用户 userA 把 test.txt 分享给 userB 读权限, userC 读写权限为例:

- userA 选择 test.txt 为分享文件, 则如果之前上述三个人没有共享过文件, 则创新新文件夹 group_userA_userB_userC, 同时生成对应的密钥, 更新 root 中的文件。
- 更新三个用户自己目录下存储的共享文件对应表, 保证可以找到共享文件的实际存储位置。
- userA 对按照 Sec2.2.4读取文件, 并删除服务器上的对应文件。
- userA 使用分享组的 (n_1, e_1) 对分享组的 DES 密钥解密得到 k , 对 test.txt 加密。
- 计算加密后 test.txt (部分文件) 的 hash 值, 同时把这个值用分享组的另一对私钥 (n_2, d_2) 加密签名, 加到 test.txt 的 header 中。
- 删除 A 用户中原来的加密后的 test.txt 的备份, 把新加密好的 test.txt 被分到路径 group_userA_userB_userC/test.txt 中。
- 对 test.txt 的新路径公钥 (n_1, e_1) 加密, 之后上传到文件服务器。如果文件服务器上出现重名, 要求用户对文件重命名。
- userA 把私钥 (n_1, d_1) 告诉有读权限的 userB, 把 $(n_1, d_1), (n_2, d_2)$ 告诉有读写权限的 userB。

2.2.7 共享文件读写

通过 Sec2.2.6可以看到, 用户需要有 (n_1, d_1) 才能读文件, 同时再有 (n_2, d_2) 才能对文件进行正确签名。注意在共享这里文件系统在: 读文件、文件上传、备份文件更新之前都要进行签名检验。其余操作类似用户文件读写。

3 完成需求

由于服务器相当于物理存储, 因此除了加密之后的文件内容外, 得不到任何其他信息。

文件系统除了实现基本需求外, 由于它只保存相关公钥、加密过的 DES 密钥、加密过的备份文件。所以, 不仅恶意用户无法破坏文件系统, 即使恶意用户破坏了文件系统, 也只能得到其他用户的文件目录和文件夹名信息。

4 存在问题

- 用户需要保存的密钥太多, 包括自己的私钥, 以及每个分享组的私钥;
- 因为想要恢复被服务器非法更改的文件, 只能进行文件本地备份。