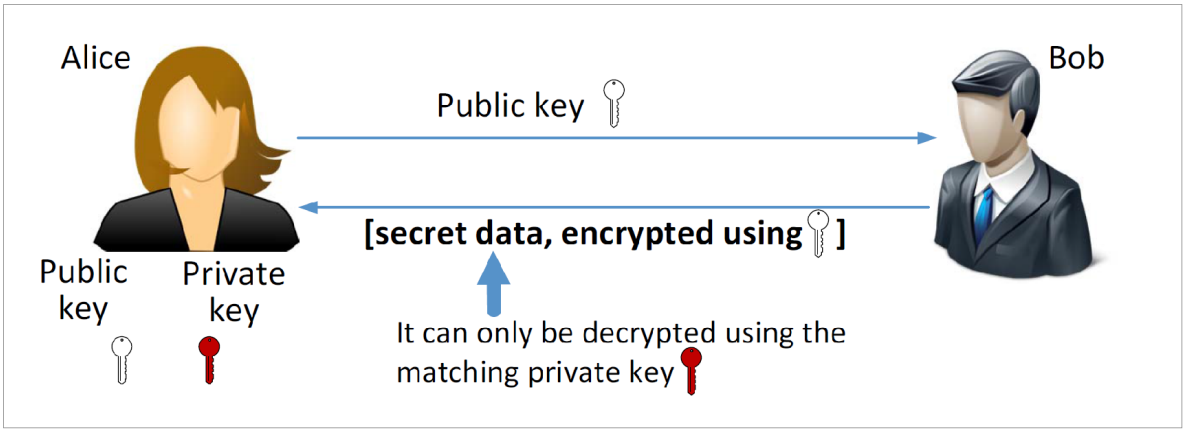
Public-Key Infrastructure (PKI) Lab

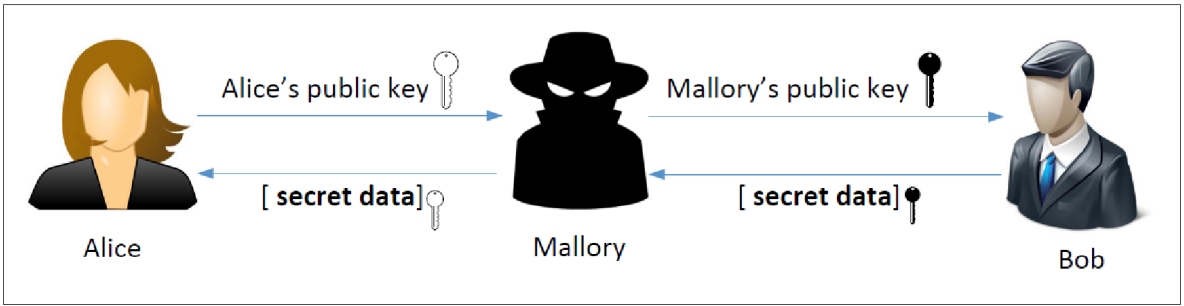
> 公钥密码学是当今安全通信的基础，但当通信的一方将公钥发送到另一边时，它就会受到人工攻击。根本的问题是，没有简单的方法来验证公钥的所有权，即，给定一个公钥及其声明的所有者信息，我们如何确保公钥确实属于声明的所有者？公钥基础设施(PKI)是解决这个问题的一个实用的解决方案。
>
> 本实验室的学习目标是让学生获得关于PKI的第一手经验。SEED实验室有一系列专注于公钥密码学的实验室，而这个实验室则专注于PKI。通过在这个实验室完成任务，学生应该能够更好地理解PKI是如何工作的，PKI如何被用来保护网络，以及中间人攻击如何被PKI击败。此外，学生将能够理解对公钥基础设施的信任的根源，以及如果根本信任被破坏，会出现什么问题。本实验室涵盖以下主题：
>
> - 公钥加密、公钥基础架构(PKI)
> - 证书颁发机构（CA)、X.509证书和根CA
> - Apache、HTTP和HTTPS
> - 中间人攻击

公钥构架

- 公开密钥密码学



- 中间人攻击



根本问题：

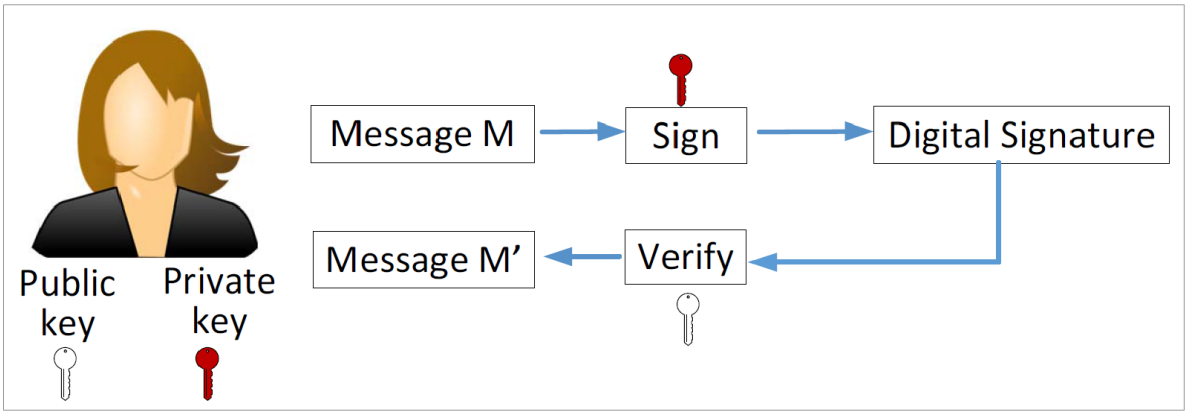
- 鲍勃没有办法知道他收到的公钥是否属于爱丽丝。

解决方案：

- 找到受信任方以验证身份

- 将身份绑定到证书中的公钥
- 证书不能伪造或篡改（使用数字签名）

数字签名



如果签名没有被篡改，M'将和M只有Alice可以签名一样（她有私钥），每个人都可以验证（公钥是公开已知的）

使用数字签名防止MITM攻击：

- Alice需要去一个受信任方来获得一个证书。
- 在验证Alice的身份后，受信任方颁发带有Alice的名字和公钥的证书。
- Alice将整个证书发送给Bob。
- Bob使用受信任方的公钥来验证证书。
- Bob现在知道了一个公钥的真正所有者。

证书颁发机构(CA)：一个受信任的交易方，负责验证用户的身份，然后将已验证的身份绑定到一个公钥。

数字证书：证明其中包含的公钥确实属于文档中描述的身份的文件。

Q：如果ModelCA的证书是自签名的，我们如何验证它?

A：没有办法来验证它。我们只是确保证书以受信任的方式获得

- 附带操作系统（如果我们信任操作系统，我们就信任证书）。
- 与该软件一起提供（如果我们信任该软件，那么我们就信任该证书）。
- 手动添加（如果我们相信自己的决定，我们就相信证书）。
- 是由我们不信任的人寄给我们的（不要相信证书）

实验环境设置

> 在这个实验室中，我们将生成公钥证书，然后使用它们来保护web服务器。证书生成任务将在VM上执行，但我们将使用一个容器来托管web服务器。

> **容器设置和命令**。请从实验室的网站下载 **Labsetup.zip** 文件到您的VM，解压它，进入Labsetup文件夹，并使用docker-compose.yml文件来设置实验室环境。
>
> 在下面的内容中，我们将列出一些与Docker和组成相关的常用命令。由于我们将非常频繁地使用这些命令，因此我们已经在.bashrc文件(在我们提供的SEEDubuntu20.04VM中)中为它们创建了别名。

```
$ docker-compose build # 构建容器镜像
$ docker-compose up    # 启动容器
$ docker-compose down  # 关闭容器

// 上面命令的别名
$ dcbuild        # Alias for: docker-compose build
$ dcup           # Alias for: docker-compose up
$ dcdown         # Alias for: docker-compose down
```

```
docker-compose build
docker-compose up
```

```
# seed @ VM in ~/pki/Labsetup [22:19:00]
$ docker-compose build
Building web-server
Step 1/7 : FROM handsonsecurity/seed-server:apache-php
apache-php: Pulling from handsonsecurity/seed-server
da7391352a9b: Already exists
14428a6d4bcd: Already exists
2c2d948710f2: Already exists
d801bb9d0b6c: Pull complete
Digest: sha256:fb3b6a03575af14b6a59ada1d7a272a61bc0f2d975d0776dba98eff0948de275
Status: Downloaded newer image for handsonsecurity/seed-server:apache-php
 ---> 2365d0ed3ad9
Step 2/7 : ARG WWWDIR=/var/www/bank32
 ---> Running in 0e3aa113830c
Removing intermediate container 0e3aa113830c
 ---> 5a171121d815
Step 3/7 : COPY ./index.html ./index_red.html $WWWDIR/
 ---> 46376df05643
Step 4/7 : COPY ./bank32_apache_ssl.conf /etc/apache2/sites-available
 ---> 6ebebd42d780
Step 5/7 : COPY ./certs/bank32.crt ./certs/bank32.key  /certs/
 ---> d54a6bf6cf67
Step 6/7 : RUN  chmod 400 /certs/bank32.key      && chmod 644 $WWWDIR/index.html      && chmod 644 $WWWDIR/index_red.html      && a2ensite bank32_apache_ssl
 ---> Running in 3a74d7744c0d
Enabling site bank32_apache_ssl.
To activate the new configuration, you need to run:
  service apache2 reload
Removing intermediate container 3a74d7744c0d
 ---> 96749dfe38b1
Step 7/7 : CMD  tail -f /dev/null
 ---> Running in 22370ce917f3
Removing intermediate container 22370ce917f3
 ---> 24a809377dec

Successfully built 24a809377dec
Successfully tagged seed-image-www-pki:latest

# seed @ VM in ~/pki/Labsetup [22:24:20]
$ docker-compose up
Creating network "net-10.9.0.0" with the default driver
Creating www-10.9.0.80 ... done
Attaching to www-10.9.0.80
```

所有的容器都将在后台运行。要在容器上运行命令，我们通常需要在该容器上获取一个shell。我们首先需要使用“dockerps”命令来找出容器的ID，然后使用“dockerexec”来在该容器上启动一个shell。我们已经在.bashrc文件中为它们创建了别名。

```
$ dockps        // Alias for: docker ps --format "{{.ID}} {{.Names}}"
$ docksh <id>   // Alias for: docker exec -it <id> /bin/bash

// 下面的示例显示了如何在主机内获取shell
$ dockps
b1004832e275    hostA-10.9.0.5
0af4ea7a3e2e    hostB-10.9.0.6
9652715c8e0a    hostC-10.9.0.7

$ docksh 96
root@9652715c8e0a:/#
// 注意：如果Docker命令需要一个容器ID，则无需键入整个ID字符串。
// 只要所有容器在所有容器中都是唯一的，那么键入前几个字符就足够了。
```

```
docker ps
docker exec -it 05 /bin/bash
```

```
# seed @ VM in ~ [22:29:29]
$ docker ps
CONTAINER ID        IMAGE               COMMAND                  CREATED             STATUS              PORTS               NAMES
05b2a42f163a        seed-image-www-pki  "/bin/sh -c 'tail -f…"   4 minutes ago       Up 4 minutes                            www-10.9.0.80

# seed @ VM in ~ [22:29:33]
$ docker exec -it 05 /bin/bash
root@05b2a42f163a:/# 
```

> **DNS设置**。在本文档中，我们以 **www.bank32.com** 为例说明如何部署具有此域名的 HTTPS Web 服务器。
> 学生需要使用其他名称完成实验。除非教师额外指定名称，否则学生应在服务器名称中包括其姓氏和实验年份。
> 例如，王小二在 2020 年进行了此实验，则服务器名称应为 **www.wang2020.com** 。
> 你不需要拥有此域名，你只需要通过在 /etc/hosts中添加以下条目即可将此名称映射到容器的IP地址（第一个条目是必需的，否则，本实验说明中的示例将会失效）：
>
> ```
> 10.9.0.80    www.bank32.com
> 10.9.0.80    www.wang2020.com
> ```

```
sudo vim /etc/hosts
```

先按下 `i` 键编辑内容，调整好格式后，按下 `Esc` 键进入命令模式，输入 `:wq` 保存并退出。

```
# For Shellshock Lab
#10.9.0.80        www.seedlab-shellshock.com
10.9.0.80        www.bank32.com
10.9.0.80        www.skprimin2022.com
```

任务1：成为证书颁发机构(CA)

> 证书颁发机构（CA）是颁发数字证书的一个受信任的实体。数字证书通过证书指定的主体（Subject）证明公钥的所有权。有许多商业化的CA被视为根CA。在撰写本文时，VeriSign是最大的CA。用户需要付费才能获得这些商业CA颁发的数字证书。
>
> 在这个实验中，我们需要创建数字证书，但是我们不会向任何商业CA付费。我们会自己创建一个根CA，然后使用该CA为其他实体（例如服务器）颁发证书。在此任务中，我们将自己设为根CA，并为此CA生成一个证书。与通常由另一个CA签名的其他证书不同，根CA的证书是自签名的。根CA的证书通常预加载到大多数操作系统，Web浏览器和其他依赖PKI的软件中。根CA的证书是无条件信任的。

> **配置文件选项**。配置文件openssl.conf。要使用 OpenSSL 来创建证书，首先需要有一个配置文件。配置文件的扩展名通常为 `.cnf` 。在 OpenSSL 的 ca、 req 和 x509 命令中会使用到这个配置文件。openssl.conf 的说明文档可以网络上找到，OpenSSL 默认会使用 `/usr/lib/ssl/openssl.cnf` 作为配置文件。
> 由于我们需要对这个文件做出一些改动，我们把它复制到当前目录，并指定 OpenSSL 使用这个副本。

```
cp /usr/lib/ssl/openssl.cnf ~/pki
```

```
# seed @ VM in ~ [22:48:22]
$ cd pki

# seed @ VM in ~/pki [22:48:24]
$ cp /usr/lib/ssl/openssl.cnf ~/pki

# seed @ VM in ~/pki [22:48:53]
$ ls
Labsetup  openssl.cnf
```

> 配置文件中的[CA_default] 一节展示了我们需要准备的默认设置。我们需要创建几个子目录。请去掉 unique_subject 一行的注释，以允许创建有相同主体的多张证书，因为在这个实验中我们很可能遇到这种情况。
>
> 清单1：默认的CA设置
>
> ```
> [ CA_default ]
> dir             = ./demoCA          # Where everything is kept
> certs           = $dir/certs        # Where the issued certs are kept
> crl_dir         = $dir/crl          # Where the issued crl are kept
> database        = $dir/index.txt    # database index file.
> #unique_subject = no                # Set to 'no' to allow creation of
>                                     # several certs with same subject.
> new_certs_dir   = $dir/newcerts     # default place for new certs.
> serial          = $dir/serial       # The current serial number
> ```
>
> 对于index.txt文件，只需创建一个空文件。对于serial文件，在文件中放一个字符串格式的数字（例如1000）。设置了配置文件openssl.cnf后，就可以创建并颁发证书了。

显然，根据其清单内容，我们要新建一个文件夹demoCA ，然后在demoCA下新建certs crl newcerts 三个文件夹和 index.txt serial 两个文件

```
mkdir demoCA
ls
cd demoCA
mkdir certs crl newcerts
touch index.txt
echo 1000 > serial
```

```
# seed @ VM in ~/pki [23:20:11]
$ mkdir demoCA

# seed @ VM in ~/pki [23:20:17]
$ ls
demoCA  openssl.cnf

# seed @ VM in ~/pki [23:20:19]
$ cd demoCA

# seed @ VM in ~/pki/demoCA [23:20:35]
$ mkdir certs crl newcerts

# seed @ VM in ~/pki/demoCA [23:20:53]
$ touch index.txt

# seed @ VM in ~/pki/demoCA [23:21:05]
$ echo 1000 > serial
```

此时的文件情况如下所示

```
# seed @ VM in ~ [23:28:14]
$ tree pki
pki
├── demoCA
│   ├── certs
│   ├── crl
│   ├── index.txt
│   ├── newcerts
│   └── serial
├── Labsetup
│   ├── docker-compose.yml
│   ├── image_www
│   │   ├── bank32_apache_ssl.conf
│   │   ├── certs
│   │   │   ├── bank32.crt
│   │   │   ├── bank32.key
│   │   │   ├── modelCA.crt
│   │   │   └── README.txt
│   │   ├── Dockerfile
│   │   ├── index.html
│   │   └── index_red.html
│   └── volumes
│       └── README.md
└── openssl.cnf
```

随后我们在 pki文件夹下修改文件，去掉 unique_subject 一行的注释

```
####################################################################
[ CA_default ]

dir             = ./demoCA              # Where everything is kept
certs           = $dir/certs            # Where the issued certs are kept
crl_dir         = $dir/crl              # Where the issued crl are kept
database        = $dir/index.txt        # database index file.
unique_subject  = no                    # Set to 'no' to allow creation of
                                        # several certs with same subject.
```

> **证书颁发机构**(CA)。如前所述，我们需要为我们的CA生成一个自签名证书。这意味着该CA是完全受信任的，并且其证书将用作根证书。你可以运行以下命令为CA生成自签名证书：
>
> ```
> openssl req -x509 -newkey rsa:4096 -sha256 -days 3650 \
>         -keyout ca.key -out ca.crt
> ```
>
> 系统将提示您输入密码。不要丢失此密码，因为每次要使用此CA为其他证书签名时，都必须键入密码短语。您还将被要求填写主题信息，如国家名称、公共名称等。
>
> 该命令的输出存储在两个文件中：ca.key和ca.crt。文件ca.key包含CA的私钥，而ca.crt包含公钥证书。

由于要指定修改后的`openssl.cnf`，因此我们需要再添加一个参数-config，来指定配置openssl.cnf。我们应在openssl.cnf同一路径下运行此命令。但显然这个要输入的有点多了，我们还是换下一个指令吧。

```
openssl req -x509 -newkey rsa:4096 -sha256 -days 3650 \
            -keyout ca.key -out ca.crt \
            -config openssl.cnf
```

```
# seed @ VM in ~/pki [23:05:33]
$ openssl req -x509 -newkey rsa:4096 -sha256 -days 3650 \
          -keyout ca.key -out ca.crt \
          -config openssl.cnf
Generating a RSA private key
.....................................................................................................................++++
......++++
writing new private key to 'ca.key'
Enter PEM pass phrase:
Verifying - Enter PEM pass phrase:
-----
You are about to be asked to enter information that will be incorporated
into your certificate request.
What you are about to enter is what is called a Distinguished Name or a DN.
There are quite a few fields but you can leave some blank
For some fields there will be a default value,
If you enter '.', the field will be left blank.
-----
Country Name (2 letter code) [AU]:SKPCA
string is too long, it needs to be no more than 2 bytes long
Country Name (2 letter code) [AU]:SK
State or Province Name (full name) [Some-State]:ANHUI
Locality Name (eg, city) []:LUZHOU
Organization Name (eg, company) [Internet Widgits Pty Ltd]:SKPrimin's Company
Organizational Unit Name (eg, section) []:History
Common Name (e.g. server FQDN or YOUR name) []:SKPrimin
Email Address []:521@gmali.com
```

> 你也可以在命令行中指定主体信息和密码，这样就不会提示你输入任何其他信息。
> 在以下命令中，我们使用 -subj 设置主体信息；使用 -passout pass:dees 将密码设置为 dees 。
>
> ```
> openssl req -x509 -newkey rsa:4096 -sha256 -days 3650 \
>         -keyout ca.key -out ca.crt  \
>         -subj "/CN=www.modelCA.com/O=Model CA LTD./C=US" \
>         -passout pass:dees
> ```

显然还是这个命令干净利落。

```
openssl req -x509 -newkey rsa:4096 -sha256 -days 3650 \
            -keyout ca.key -out ca.crt  \
            -config openssl.cnf \
            -subj "/CN=www.modelCA.com/O=Model CA LTD./C=US" \
            -passout pass:dees
```

```
# seed @ VM in ~/pki [23:36:58]
$ ls
demoCA  Labsetup  openssl.cnf

# seed @ VM in ~/pki [23:37:00]
$ openssl req -x509 -newkey rsa:4096 -sha256 -days 3650 \
            -keyout ca.key -out ca.crt  \
            -config openssl.cnf \
            -subj "/CN=www.modelCA.com/O=Model CA LTD./C=US" \
            -passout pass:dees
Generating a RSA private key
.....................++++
.................++++
writing new private key to 'ca.key'
-----
```

> 我们可以使用以下命令查看 X509 证书和 RSA 密钥的解码内容
> （-text 表示将内容解码为纯文本； -noout 表示不打印出编码版本）：
>
> ```
> openssl x509 -in ca.crt -text -noout
> openssl rsa -in ca.key -text -noout
> ```

```
openssl x509 -in ca.crt -text -noout
```

```
# seed @ VM in ~/pki [23:37:06]
$ openssl x509 -in ca.crt -text -noout
Certificate:
    Data:
        Version: 3 (0x2)
        Serial Number:
            06:67:02:35:9b:77:8e:27:3e:3c:55:50:b4:b4:48:c1:f6:2d:b9:ff
        Signature Algorithm: sha256WithRSAEncryption
        Issuer: CN = www.modelCA.com, O = Model CA LTD., C = US
        Validity
            Not Before: May 19 03:37:06 2022 GMT
            Not After : May 16 03:37:06 2032 GMT
        Subject: CN = www.modelCA.com, O = Model CA LTD., C = US
        Subject Public Key Info:
            Public Key Algorithm: rsaEncryption
                RSA Public-Key: (4096 bit)
                Modulus:
                    00:d4:a8:3f:a7:97:85:a0:ee:1e:11:10:a8:b2:39:
                    6e:ea:f0:c6:d0:75:a8:b6:f5:2b:c0:69:3d:88:ee:
                    75:19:86:ef:22:29:eb:d7:14:ee:8c:3a:98:79:cb:
```

> 请运行以上命令，并从输出中找出以下内容：
>
> - 证书中的哪一部分说明了这是一个 CA 的证书？

- Basic Constraints：一指明是否属于CA;

```
        X509v3 extensions:
            X509v3 Subject Key Identifier:
                D1:85:13:D0:24:5A:19:17:74:5C:D9:10:4E:0E:43:04:88:0C:ED:8F
            X509v3 Authority Key Identifier:
                keyid:D1:85:13:D0:24:5A:19:17:74:5C:D9:10:4E:0E:43:04:88:0C:ED:8F

            X509v3 Basic Constraints: critical
                CA:TRUE
    Signature Algorithm: sha256WithRSAEncryption
         7a:33:c1:24:f3:c0:d7:87:b5:4a:81:65:1b:61:83:17:0f:72:
         7c:cb:89:23:cb:96:e2:c7:8e:c1:29:16:6a:e1:54:6b:9e:cb:
```

> - 证书中的哪一部分说明了这是一个自签名证书?

- 颁发者（Issuer）：发证书单位的标识信息，如N=www.example.com ST=Beijing, L=Beijing, O=Model， C C=CN;

```
        06:67:02:35:9b:77:8e:27:3e:3c:55:50:b4:b4:48:c1:f6:2d:b9:f
    Signature Algorithm: sha256WithRSAEncryption
    Issuer: CN = www.modelCA.com, O = Model CA LTD., C = US
    Validity
        Not Before: May 19 03:37:06 2022 GMT
```

颁发者是我们自己指定的

- 颁发者唯一号（Issuer Unique Identifier）：代表颁发者的唯一信息;
- 主体唯一号（Subject Unique Identifier）：代表拥有证书实体的唯一信息

```
    X509v3 extensions:
        X509v3 Subject Key Identifier:
            D1:85:13:D0:24:5A:19:17:74:5C:D9:10:4E:0E:43:04:88:0C:ED:8F
        X509v3 Authority Key Identifier:
            keyid:D1:85:13:D0:24:5A:19:17:74:5C:D9:10:4E:0E:43:04:88:0C:ED:8F
```

颁发者与拥有证书实体是相同的。

> - 在 RSA 算法中，我们有公开指数 e、私有指数 d、模数 n， 以及两个秘密的数 p 和 q 使得 $n = pq$。 请从你的证书和密钥文件中找出这些元素的值。

RSA查看，输入密码 dees

```
openssl rsa -in ca.key -text -noout
```

```
# seed @ VM in ~/pki [1:05:19]
$ openssl rsa -in ca.key -text -noout
Enter pass phrase for ca.key:
RSA Private-Key: (4096 bit, 2 primes)
modulus:
    00:d4:a8:3f:a7:97:85:a0:ee:1e:11:10:a8:b2:39:
    6e:ea:f0:c6:d0:75:a8:b6:f5:2b:c0:69:3d:88:ee:
```

文件内容缩略如下

```
modulus:
    00:d4:a8:3f:a7:97:85:a0:ee:1e:11:10:a8:b2:39...  长度1026
publicExponent: 65537 (0x10001)
privateExponent:
    1a:c0:1f:61:c1:99:b9:a8:ba:77:83:14:f5:76:6c...  长度1024
```

```
prime1:
    00:ff:72:26:e9:e0:c2:a7:18:cc:5e:21:fd:09:d8...  长度514
prime2:
    00:d5:1e:56:16:23:4c:fa:d1:a5:42:2b:14:81:22...  长度514
exponent1:
    14:b8:69:b7:a6:e7:a3:2e:3b:c5:96:f4:33:8c:49...  长度512
exponent2:
    23:1d:22:75:f7:4f:01:ac:75:1c:17:d9:03:05:d9...  长度512
coefficient:
    00:99:f3:d7:29:88:e6:61:56:db:ca:f5:6e:37:45...  长度514
```

显然

RSA名称	ca.key对应部分
公开指数 e	publicExponent
私有指数 d	privateExponent
模数 n	modulus
p	prime1
q	prime2

任务 2: 为你的 Web 服务器生成证书请求

生成证书签名请求（CSR）的命令与在创建 CA 自签名证书时使用的命令非常相似，唯一的区别是是否带有 -x509选项。

没有这个选项，该命令将生成一个证书签发请求；加上这个选项，该命令将生成一个自签名证书。以下命令为 **www.bank32.com** 生成 CSR （您应该使用自己的服务器名称）：

```
openssl req -newkey rsa:2048 -sha256  \
        -keyout server.key   -out server.csr  \
        -subj "/CN=www.bank32.com/O=Bank32 Inc./C=US" \
        -passout pass:dees
```

该命令将生成一对公私钥对，然后使用公钥创建证书签名请求。我们可以使用以下命令查看 CSR 和私钥文件的解码内容：

```
openssl req -in server.csr -text -noout
openssl rsa -in server.key -text -noout
```

添加备用名称（Alternative Name）：许多网站都有不同的 URL 。例如， **www.example.com** ，example.com， example.net和 example.org 都指向同一 Web 服务器。
由于浏览器实施了主机名匹配策略，因此证书中的公用名（Common Name）必须与服务器的主机名匹配，否则浏览器将拒绝与服务器通信。

为了使证书具有多个名称， X.509 规范定义了一个可以附加到证书的扩展，名为主体备用名称（SAN）。使用 SAN 扩展名，可以在证书的 subjectAltName 字段中指定多个主机名。

要使用此类字段生成证书签名请求，我们可以将所有必要的信息放在配置文件中或命令行中。我们在本任务中使用命令行的方法（在 TLS 实验中会使用配置文件的方法）。我们可以在 openssl req 命令中添加以下选项。
应当注意， subjectAltName 扩展字段还必须包括通用名称字段中的主机名。否则，通用名称将不会被接受为有效名称。

```
-addext "subjectAltName = DNS:www.bank32.com,  \
                          DNS:www.bank32A.com, \
                          DNS:www.bank32B.com"
```

请在你的证书签名请求中添加两个备用名称。在后面的任务中将会用到它们。

```
openssl req -newkey rsa:2048 -sha256  \
            -keyout server.key   -out server.csr  \
            -config openssl.cnf \
            -subj "/CN=www.skprimin2022.com/O=Bank32 Inc./C=US" \
            -passout pass:dees -addext "subjectAltName = DNS:www.skprimin2022.com,  \
                          DNS:www.skprimin2022A.com, \
                          DNS:www.skprimin2022B.com"
```

```
# seed @ VM in ~/pki [1:50:25] C:127
$ openssl req -newkey rsa:2048 -sha256  \
            -keyout server.key   -out server.csr  \
            -config openssl.cnf \
            -subj "/CN=www.skprimin2022.com/O=Bank32 Inc./C=US" \
            -passout pass:dees -addext "subjectAltName = DNS:www.skprimin2022.com,  \
                          DNS:www.skprimin2022A.com, \
                          DNS:www.skprimin2022B.com"
Generating a RSA private key
.....................................................................+++++
..+++++
writing new private key to 'server.key'
-----
```

```
openssl req -in server.csr -text -noout
openssl rsa -in server.key -text -noout
```

```
# seed @ VM in ~/pki [1:51:34]
$ openssl req -in server.csr -text -noout
openssl rsa -in server.key -text -noout
Certificate Request:
    Data:
        Version: 1 (0x0)
        Subject: CN = www.skprimin2022.com, O = Bank32 Inc., C = US
        Subject Public Key Info:
            Public Key Algorithm: rsaEncryption
                RSA Public-Key: (2048 bit)
                Modulus:
                    00:c2:09:ef:7f:51:8b:01:b6:42:60:04:fb:a6:c3:
```

任务 3: 为你的服务器生成证书

CSR文件需要具有CA的签名才能形成证书。在现实世界中，通常将CSR文件发送到受信任的CA进行签名。在本实验中，我们将使用我们自己的受信任CA生成证书。以下命令使用CA的 ca.crt 和 ca.key ，将证书签名请求（ server.csr ）转换为X509证书（ server.crt）：

```
openssl ca -config myCA_openssl.cnf -policy policy_anything \
      -md sha256 -days 3650 \
      -in server.csr -out server.crt -batch \
      -cert ca.crt -keyfile ca.key
```

在上面的命令中，`myCA_openssl.cnf` 是我们从 `/usr/lib/ssl/openssl.cnf` 复制的配置文件（我们在任务 1 中对此文件进行了更改）。我们使用配置文件中定义的 policy_anything 策略，这不是默认策略。默认策略有更多限制，要求请求中的某些主体信息必须与 CA 证书中的主体信息匹配。命令中使用的策略不强制执行任何匹配规则。

复制扩展域：出于安全原因，openssl.cnf 中的默认设置不允许 openssl ca 命令将扩展字段从请求复制到最终证书。为此，我们可以在配置文件的副本中，取消以下行的注释：

```
# 扩展复制选项：谨慎使用。
copy_extensions = copy
```

openssl.cnf我们早已复制过来，我们再次修改文件

```
sudo vim openssl.cnf
```

位于 68行

```
# Comment out the following two lines for the "traditional"
# (and highly broken) format.
name_opt        = ca_default            # Subject Name optio
cert_opt        = ca_default            # Certificate field

# Extension copying option: use with caution.
copy_extensions = copy
```

```
openssl ca -config openssl.cnf -policy policy_anything \
        -md sha256 -days 3650 \
        -in server.csr -out server.crt -batch \
        -cert ca.crt -keyfile ca.key
```

参数	含义
ca	证书授权模块
-in filename	指定输入文件名
-out filename	结果存储在指定的输出文件中。
-cert	证书授权证书文件。
-keyfile filename	签署请求的私钥。
server.csr	server.csr是要读取用于处理结果的输入文件名。
server.crt	server.crt是输出的文件
ca.crt	Ca.crt是签名证书。
ca.key	Ca.key 是证书的私钥。

签署整证书，密码设为 dees

```
# seed @ VM in ~/pki [7:14:09]
$ openssl ca -config openssl.cnf -policy policy_anything \
         -md sha256 -days 3650 \
         -in server.csr -out server.crt -batch \
         -cert ca.crt -keyfile ca.key
Using configuration from openssl.cnf
Enter pass phrase for ca.key:
Check that the request matches the signature
Signature ok
Certificate Details:
        Serial Number: 4098 (0x1002)
        Validity
            Not Before: May 19 11:15:40 2022 GMT
            Not After : May 16 11:15:40 2032 GMT
        Subject:
            countryName               = US
            organizationName          = Bank32 Inc.
            commonName                = www.skprimin2022.com
        X509v3 extensions:
            X509v3 Basic Constraints:
                CA:FALSE
            Netscape Comment:
                OpenSSL Generated Certificate
            X509v3 Subject Key Identifier:
                21:FE:6C:95:AB:10:23:29:32:2B:B5:D9:59:3D:69:74:75:CB:36:F9
            X509v3 Authority Key Identifier:
                keyid:D1:85:13:D0:24:5A:19:17:74:5C:D9:10:4E:0E:43:04:88:0C:ED:8F

Certificate is to be certified until May 16 11:15:40 2032 GMT (3650 days)

Write out database with 1 new entries
Data Base Updated
```

> 签署证书后，请使用以下命令输出证书的解码内容，并检查是否包含备用名称。
>
> ```
> openssl x509 -in server.crt -text -noout
> ```

我们再其中并没有看到备用名称

```
# seed @ VM in ~/pki [7:15:40]
$ openssl x509 -in server.crt -text -noout
Certificate:
    Data:
        Version: 3 (0x2)
        Serial Number: 4098 (0x1002)
        Signature Algorithm: sha256WithRSAEncryption
        Issuer: CN = www.modelCA.com, O = Model CA LTD., C = US
        Validity
            Not Before: May 19 11:15:40 2022 GMT
            Not After : May 16 11:15:40 2032 GMT
        Subject: C = US, O = Bank32 Inc., CN = www.skprimin2022.com
        Subject Public Key Info:
            Public Key Algorithm: rsaEncryption
```

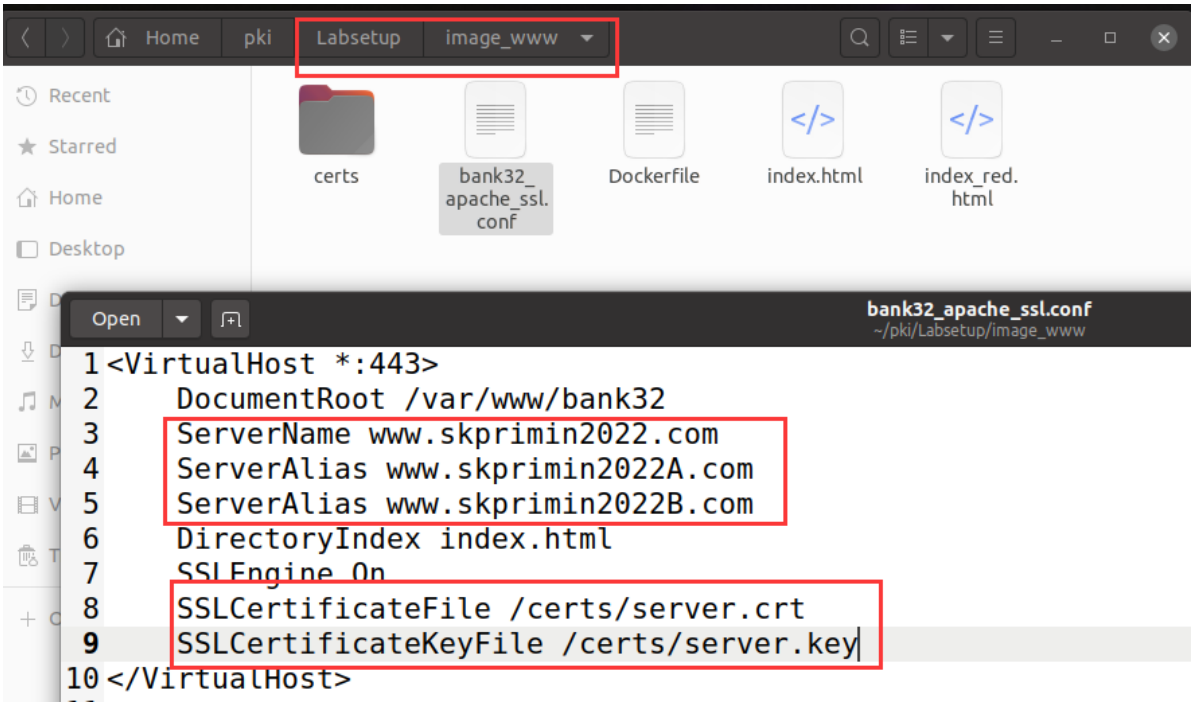
任务 4： 在基于Apache的HTTPS网站中部署证书

> 在此任务中，我们将看到网站如何使用公钥证书来保护 Web 浏览。我们将建立一个基于 Apache 的 HTTPS 网站。我们的容器中已经安装了 Apache 服务器，它支持 HTTPS 协议。要搭建 HTTPS 网站，我们只需要配置 Apache 服务器，让它知道从哪里获取私钥和证书。在我们的容器中，我们已经为bank32.com设置了一个HTTPS站点。学生们可以遵循这个例子来建立他们自己的HTTPS站点。

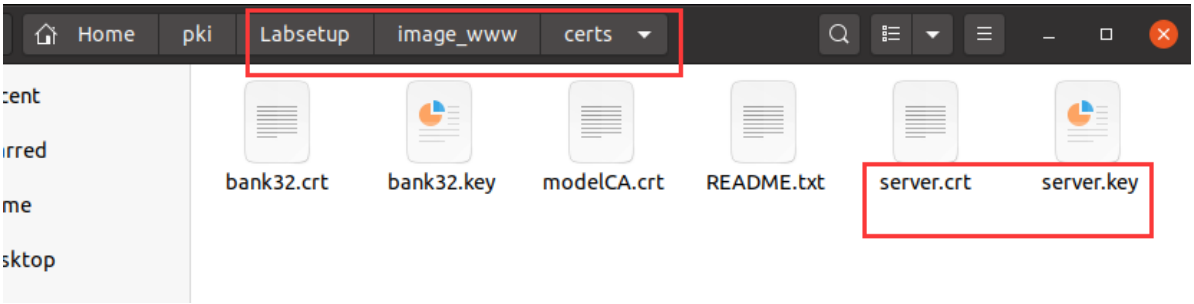
> 一个Apache服务器可以同时托管多个网站。它需要知道网站文件的存储目录。这是通过位于 /etc/apache2/sites-available 目录中的 VirtualHost 文件完成的。在我们的容器中，我们有一个名为 bank32_apache_ssl.conf 的文件，其中包含以下条目：
>
> ```
> <VirtualHost *:443>
> DocumentRoot /var/www/bank32
> ServerName www.bank32.com
> ServerAlias www.bank32A.com
> ServerAlias www.bank32B.com
> DirectoryIndex index.html
> SSLEngine On
> SSLCertificateFile    /certs/bank32.crt    (*@\ding{192}@*)
> SSLCertificateKeyFile /certs/bank32.key    (*@\ding{193}@*)
> </VirtualHost>
> ```
>
> 上面的示例设置了 HTTPS 站点 **https://www.bank32.com** （端口 443 是默认的 HTTPS 端口）。ServerName 条目指定网站的名称，而 DocumentRoot 条目指定网站文件的存储位置。使用 ServerAlias 条目，我们允许网站使用不同的名称。你也应该提供两个别名条目。
>
> 我们还需要告诉 Apache 服务器证书（192）和私钥（193）的存储位置。在 Dockerfile 中，我们已经包含了用于将证书和密钥复制到容器的 /certs文件夹的命令。

我们在此处修改文件内容

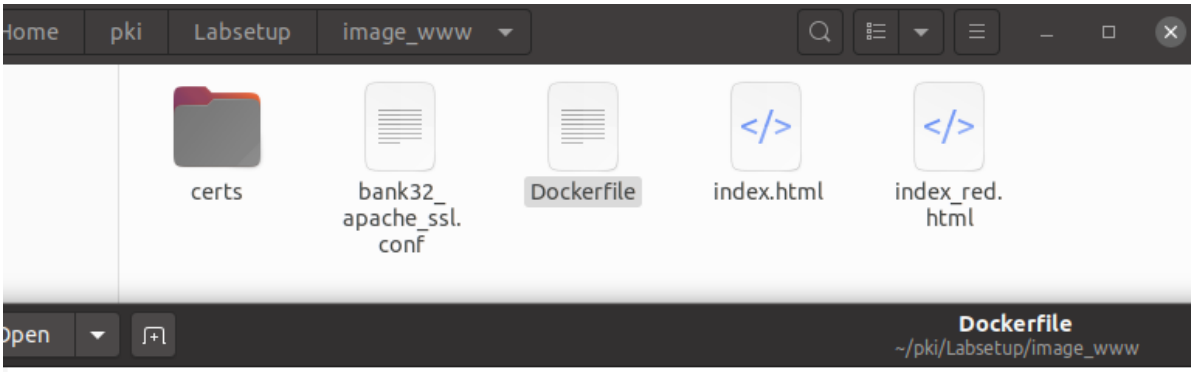
```
<VirtualHost *:443>
    DocumentRoot /var/www/bank32
    ServerName www.skprimin2022.com
    ServerAlias www.skprimin2022A.com
    ServerAlias www.skprimin2022B.com
    DirectoryIndex index.html
    SSLEngine On
    SSLCertificateFile /certs/server.crt
    SSLCertificateKeyFile /certs/server.key
</VirtualHost>
```



并将上面生成的server.crt server.key放入到image_www/certs下



此外，还需要修改Dockerfile文件内容，COPY server的文件等



Dockerfile
~/pki/Labsetup/image_www

```
FROM handsonsecurity/seed-server:apache-php

ARG WWWDIR=/var/www/bank32

COPY ./index.html ./index_red.html $WWWDIR/
COPY ./bank32_apache_ssl.conf /etc/apache2/sites-available
COPY ./certs/server.crt ./certs/server.key /certs/

RUN  chmod 400 /certs/server.key \
     && chmod 644 $WWWDIR/index.html \
     && chmod 644 $WWWDIR/index_red.html \
     && a2ensite bank32_apache_ssl
```

随后重新构建docker

```
docker-compose down

docker-compose build
docker-compose up
```

```
# seed @ VM in ~/pki/Labsetup [8:05:22]
$ docker-compose build
docker-compose up
Building web-server
Step 1/7 : FROM handsonsecurity/seed-server:apache-php
```

随后进入docker，我们查看配置文件发现已经是我们修改之后的。

```
docker ps

docker exec -it cc /bin/bash

cat /etc/apache2/sites-available/bank32_apache_ssl.conf
cat
```

```
# seed @ VM in ~ [8:18:37] C:137
$ docker ps
CONTAINER ID        IMAGE                COMMAND                  CREATED
cc35ffe0b404        seed-image-www-pki   "/bin/sh -c 'tail -f…"   37 seconds ago

# seed @ VM in ~ [8:19:24]
$ docker exec -it cc /bin/bash
root@cc35ffe0b404:/# cat /etc/apache2/sites-available/bank32_apache_ssl.conf
<VirtualHost *:443>
    DocumentRoot /var/www/bank32
    ServerName www.skprimin2022.com
    ServerAlias www.skprimin2022A.com
    ServerAlias www.skprimin2022B.com
    DirectoryIndex index.html
    SSLEngine On
    SSLCertificateFile /certs/server.crt
    SSLCertificateKeyFile /certs/server.key
```

为了使该网站正常工作，我们需要启用 Apache 的 ssl 模块，然后启用该网站。可以使用以下命令完成操作，这些命令在构建容器时已经执行。

```
# a2enmod ssl                  // 启用SSL模块
# a2ensite bank32_apache_ssl   // 启用此文件中描述的网站
```

启动 Apache 服务器：在容器中 Apache 服务器不会自动启动。我们需要在容器里运行以下命令来启动服务器（我们还列出了一些相关命令）：

```
// Start the server
# service apache2 start

// Stop the server
# service apache stop

// Restart a server
# service apache restart
```

Apache 启动时，需要为每个 HTTPS 站点加载私钥。我们的私钥已加密，因此 Apache 会要求我们输入密码进行解密。在容器内，用于 bank32 的密码为 dees 。如果一切设置正确，我们就可以浏览该网站，并且浏览器和服务器之间的所有流量都将被加密。

```
a2enmod ssl
a2ensite bank32_apache_ssl
service apache2 start
```

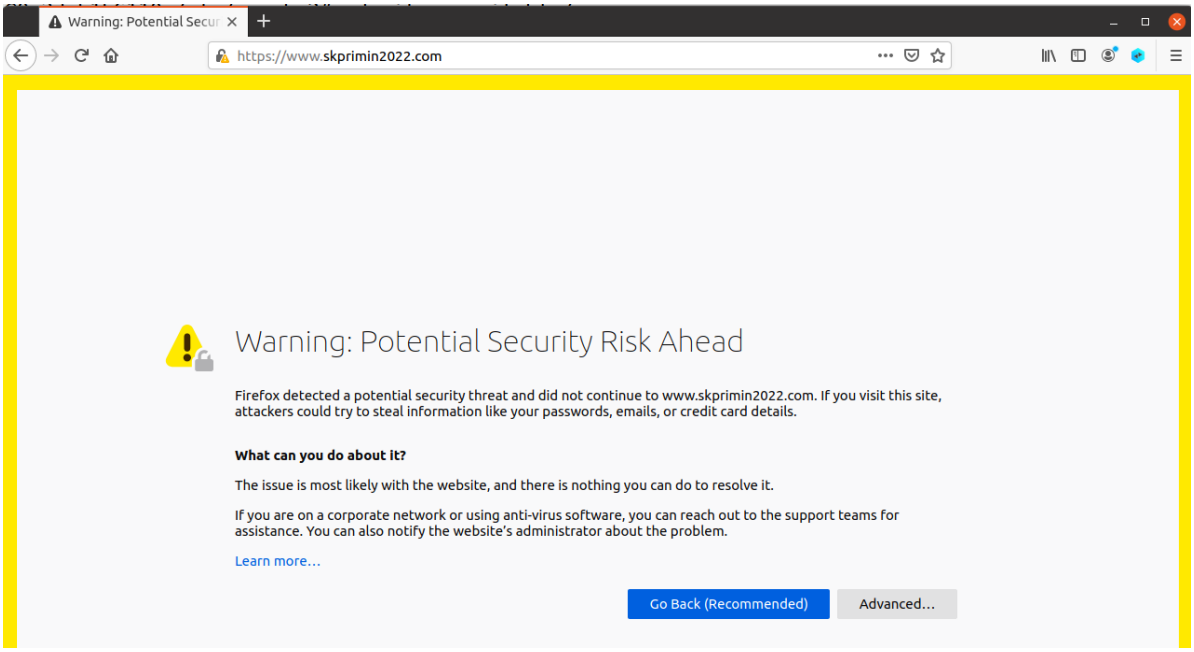
```
root@cc35ffe0b404:/# a2enmod ssl
Considering dependency setenvif for ssl:
Module setenvif already enabled
Considering dependency mime for ssl:
Module mime already enabled
Considering dependency socache_shmcb for ssl:
Module socache_shmcb already enabled
Module ssl already enabled
root@cc35ffe0b404:/# a2ensite bank32_apache_ssl
Site bank32_apache_ssl already enabled
root@cc35ffe0b404:/# service apache2 start
 * Starting Apache httpd web server apache2
Enter passphrase for SSL/TLS keys for www.skprimin2022.com:443 (RSA):
 *
```

请使用以上示例作为指导，为您的网站设置 HTTPS 服务器。请描述你的操作步骤、添加到 Apache 的配置文件中的内容以及最终结果的屏幕截图，以展示你可以成功浏览 HTTPS 站点。

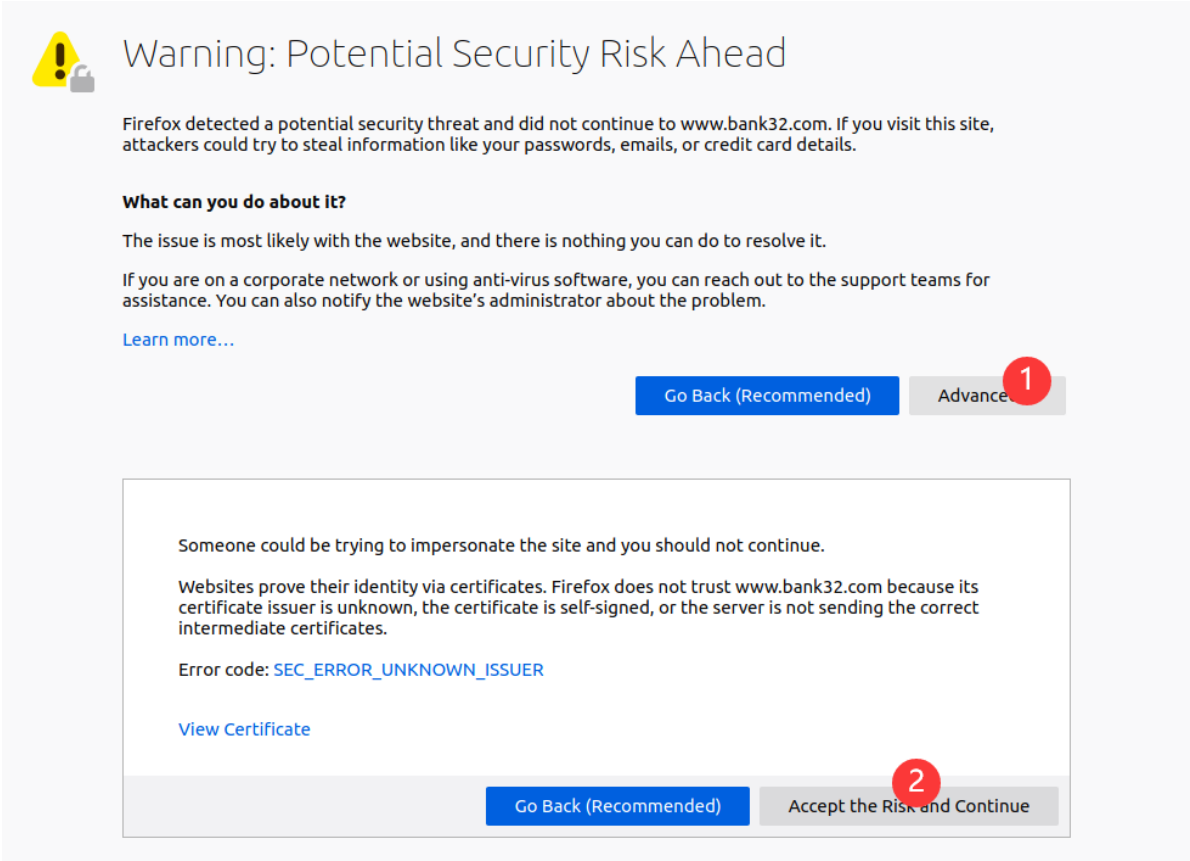
虚拟机和容器之间的共享文件夹。在此任务中，我们需要将文件从VM复制到容器中。为了避免重复重新创建容器，我们在VM和容器之间创建了一个共享文件夹。当您使用Labsetup文件夹中的“合成”文件来创建容器时，该卷子文件夹将被挂载到该容器中。您放在此文件夹中的任何东西都可以从正在运行的容器内部访问。

浏览网站：现在，用浏览器访问你的 Web 服务（注意：你应该在 URL 的开头加上 https，而不要使用 http）。请描述你观察到的现象并做出解释。您很可能无法成功，这是因为……（此处省略了原因，学生应在实验报告中做出解释）。请解决此问题，并证明你可以成功访问 HTTPS 网站。

```
https://www.skprimin2022.com/
```



这是由于我们并没有信任此网站，我们选择相信此网站。

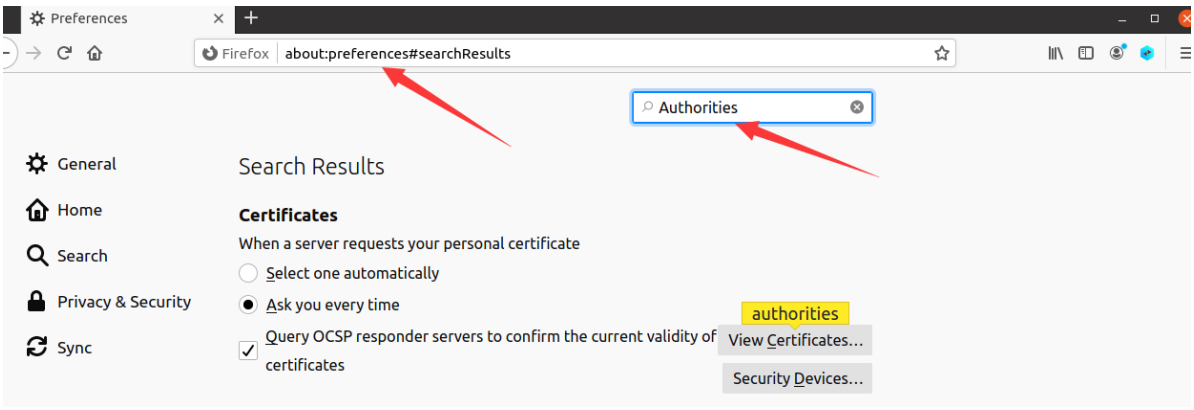


随后便能成功访问

正如我们在这个任务的实验中所看到的，我们使用了一个预先构建的html文件(index.html)作为名为skprimin2022.com的网站的主页，并在一个apache服务器上部署了该网站的证书，使其成为一个安全的网页。我们还观察到，对default-ssl.conf文件的任何更改都会在https网页中部署变化，但是，在000-default.conf文件中的任何更改都会在网站的http网页中部署变化。这意味着为了将证书部署到服务器，我们需要对default-ssl.conf文件进行更改，然后使浏览器和服务器之间的连接安全。

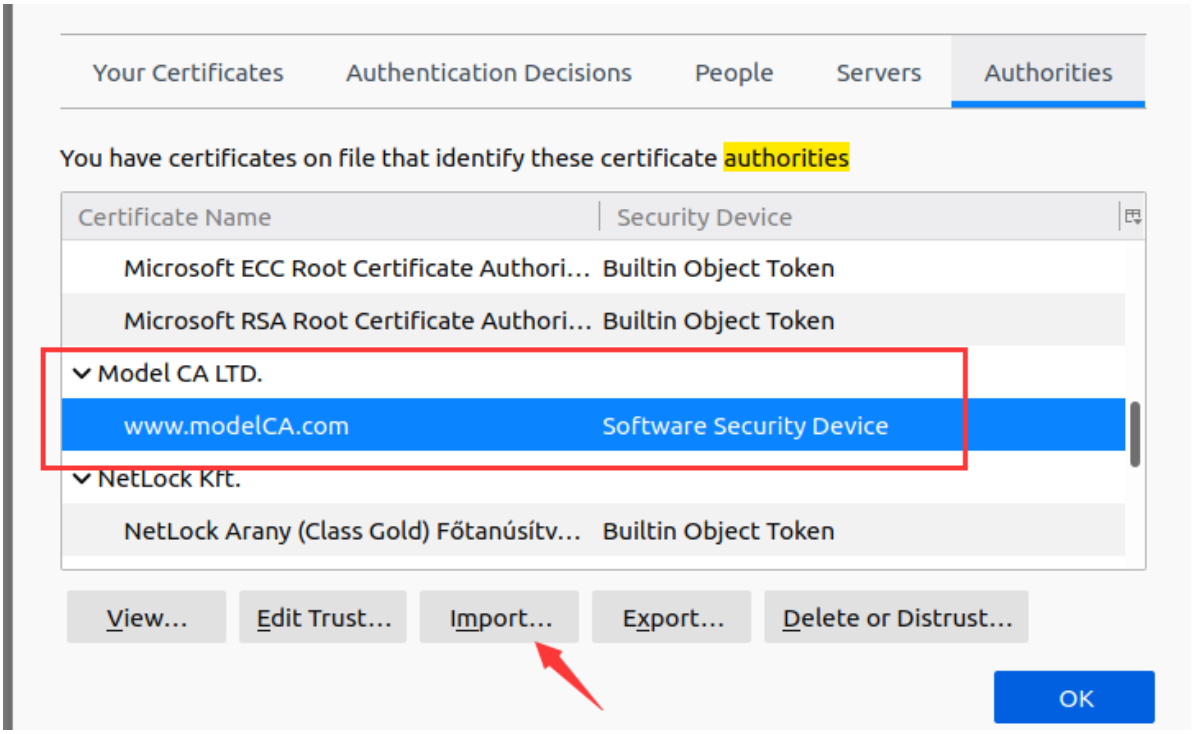
> 下面，我们说明如何将证书加载到 Firefox 。学生需要自己弄清楚为什么以及应该加载什么证书。要将证书手动添加到 Firefox 浏览器，请在地址栏中键入以下URL，然后单击页面上的 View Certificates 按钮（滚动到底部）。
>
> ```
> about:preferences#privacy
> ```
>
> 在 Authorities 标签中，你将看到已被 Firefox 接受的证书列表。

```
about:preferences#privacy
Authorities
```

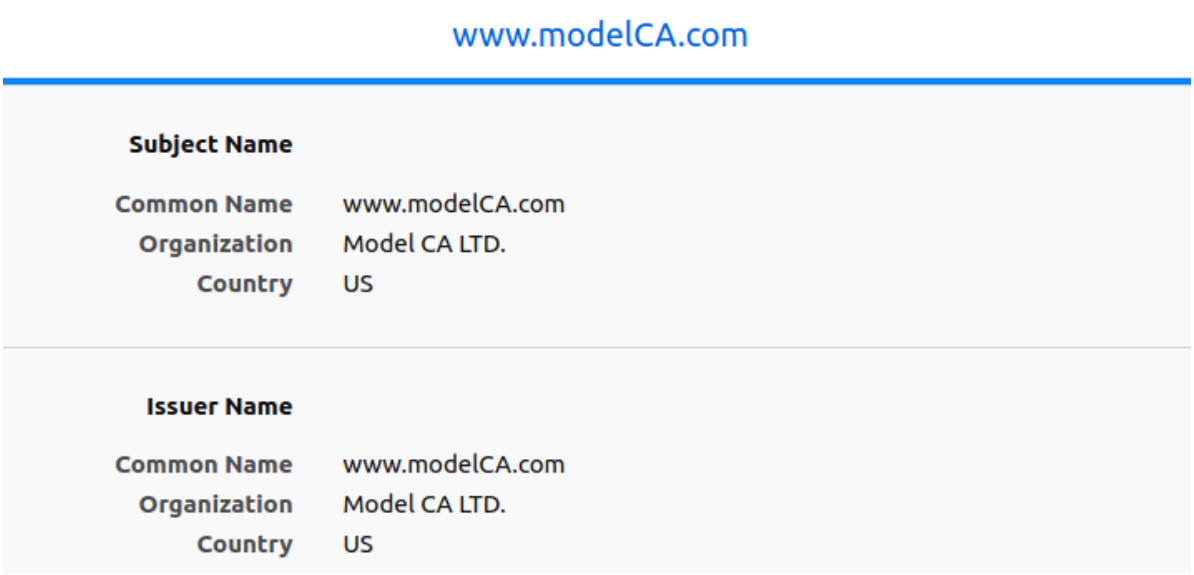


> 在这里，我们可以导入我们自己的证书。选择证书文件后，请选择 "Trust this CA to identify websites'' 选项。你会看到我们的证书现在在 Firefox 接受的证书列表中。

导入task1创建的ca.crt证书

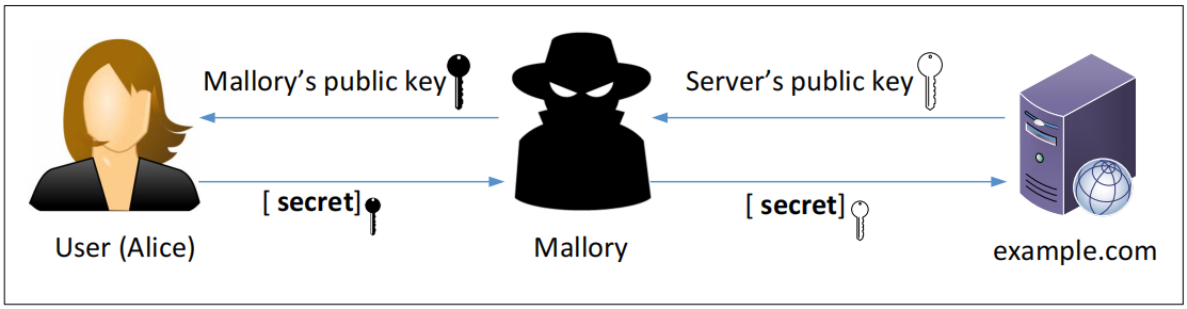


我们双击查看具体信息，确为我们所颁发的。



任务 5: 发起中间人攻击

在此任务中，我们将展示 PKI 如何抵御中间人（MITM）攻击。下图描述了MITM攻击的工作方式。



中间人(MITM)攻击

> 假设 Alice 想通过HTTPS协议访问 example.com。她需要从 example.com 服务器获取公钥；Alice 将生成一个秘密，并使用服务器的公钥对该秘密进行加密，然后将其发送到服务器。
>
> 如果攻击者可以拦截 Alice 与服务器之间的通信，那么攻击者可以用其自己的公钥替换服务器的公钥。这样 Alice 的秘密实际上是使用攻击者的公钥加密的，因此攻击者将能够读取该秘密。
>
> 攻击者可以使用服务器的公钥将秘密转发给服务器。因为该秘密将用于加密 Alice 和服务器之间的通信，因此攻击者可以解密加密的通信。

> 该任务的目的是帮助学生了解 PKI 如何抵御此类MITM攻击。在任务中，我们将模拟一次MITM攻击，并了解PKI如何精确地防御。我们将首先选择一个目标网站。
> 在本文档中，我们使用 www.example.com 作为目标网站。但在实际任务中，为了使其更有意义，学生可以选择一个受欢迎的网站，例如银行网站或者社交网站。

这里我们选择使用 www.bilibili.com 作为目标网站。

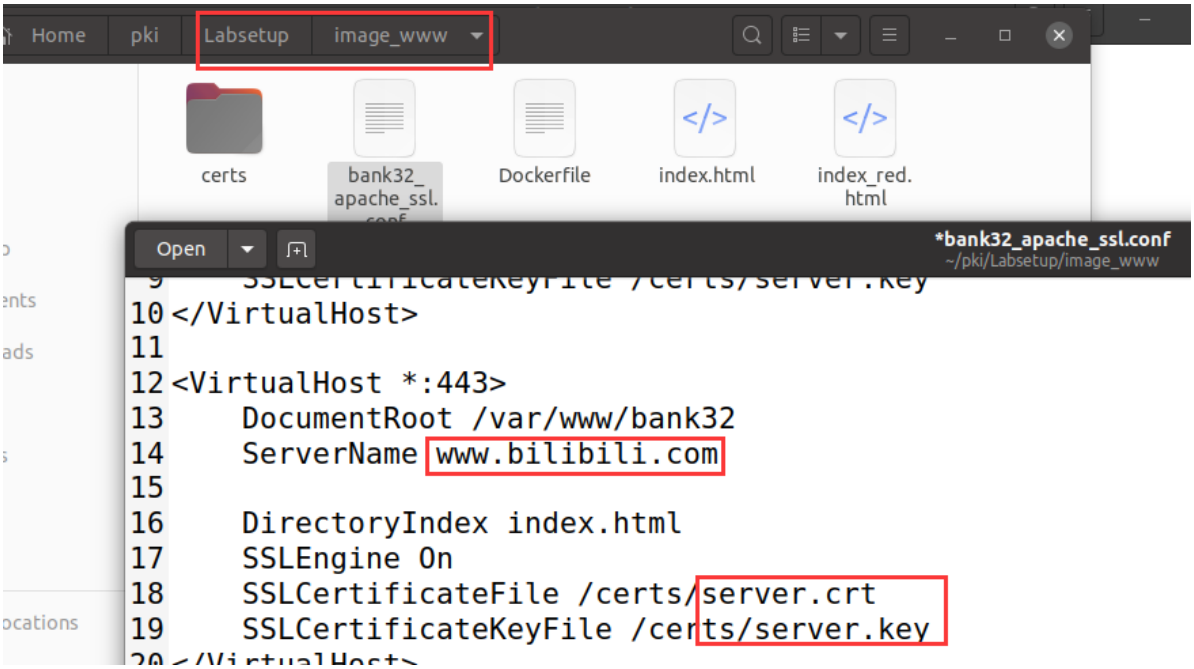
第 1 步: 启动一个恶意网站

> 在任务4中，我们已经为 pkiserver 建立了HTTPS网站。我们将使用同一台 Apache 服务器来模拟 www.example.com （或学生选择的站点 www.bilibili.com ）。
> 为此，我们将按照任务4中的说明向Apache的SSL配置文件中添加 VirtualHost 条目，ServerName 应该为 www.bilibili.com ，但其余配置可以与任务4中使用的相同。

443是默认的 HTTPS 端口，而80是默认的 HTTP 端口，这一次我们修改完全。

```
<VirtualHost *:443>
    DocumentRoot /var/www/bank32
    ServerName www.bilibili.com

    DirectoryIndex index.html
    SSLEngine On
    SSLCertificateFile /certs/server.crt
    SSLCertificateKeyFile /certs/server.key
</VirtualHost>

<VirtualHost *:80>
    DocumentRoot /var/www/bank32
    ServerName www.skprimin2022.com
    DirectoryIndex index_red.html
```

```
</VirtualHost>
```




```
<VirtualHost *:80>
    DocumentRoot /var/www/bank32
    ServerName www.skprimin2022.com
    DirectoryIndex index_red.html
</VirtualHost>
```

> 显然在真实世界中你不可能获得一个 www.bilibili.com 的合法证书，所以我们将会使用与我们自己的服务器相同的证书。
>
> 我们的目标如下：当用户尝试访问 www.bilibili.com 时，我们将使该用户进入我们的服务器，该服务器托管一个伪造的 www.bilibili.com 。
>
> 如果这是一个社交网络网站，则假网站可以显示类似于目标网站中的登录页面。
> 如果用户无法分辨出区别，则可以在伪造的网页中键入其帐户凭据，从而使攻击者获得凭据。

第 2 步: 成为中间人

> 有几种方法可以使用户的 HTTPS 请求进入我们的 Web 服务器。
>
> 一种方法是路由攻击，使用户的 HTTPS 请求被路由到我们的 Web 服务器。
>
> 另一种方法是 DNS 攻击，当受害者的计算机尝试找出目标 Web 服务器的 IP 地址时，它将获取到我们 Web 服务器的 IP 地址。
>
> 在此任务中，我们模拟 DNS 攻击。我们无需发动真正的的 DNS 缓存中毒攻击，只需要修改受害者机器的 /etc/hosts 文件，通过把 www.example.com 映射到我们的恶意 Web 服务器上来模拟 DNS 缓存存储攻击的结果。
>
> ```
> 10.9.0.80  www.example.com
> ```

```
10.9.0.80       www.bilibili.com
```

```
10.9.0.80       www.skprimin2022.com
10.9.0.80       www.bilibili.com
```

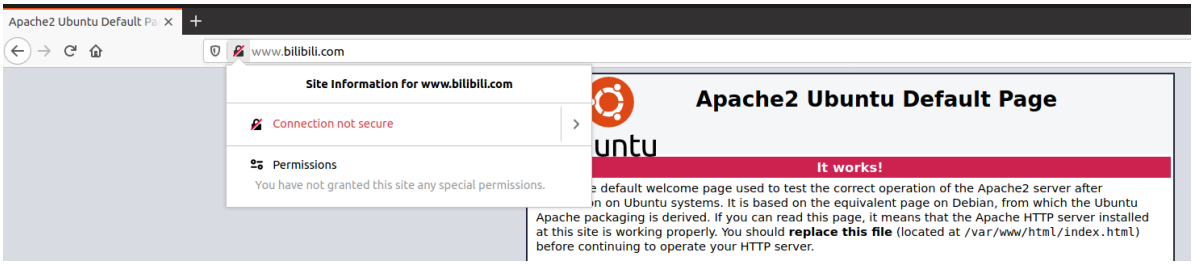
第 3 步: 浏览目标网站

> 完成所有设置后，现在访问目标真实网站，并查看您的浏览器会说些什么。请解释你观察到的现象。

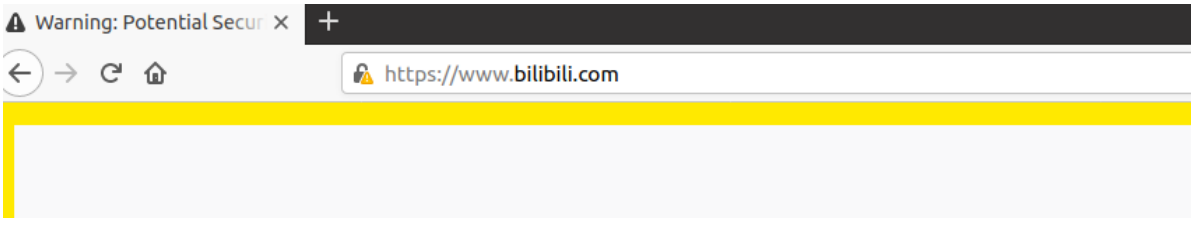
```
docker ps

docker exec -it 4e /bin/bash

a2enmod ssl
a2ensite bank32_apache_ssl
service apache2 start
```

```
# seed @ VM in ~ [10:53:23] C:137
$ docker ps
CONTAINER ID        IMAGE                 COMMAND                  CREATED
4ec6693ce8a3        seed-image-www-pki    "/bin/sh -c 'tail -f…"   6 minute

# seed @ VM in ~ [10:53:25]
$ docker exec -it 4e /bin/bash
root@4ec6693ce8a3:/# a2enmod ssl
Considering dependency setenvif for ssl:
Module setenvif already enabled
Considering dependency mime for ssl:
Module mime already enabled
Considering dependency socache_shmcb for ssl:
Module socache_shmcb already enabled
Module ssl already enabled
root@4ec6693ce8a3:/# a2ensite bank32_apache_ssl
Site bank32_apache_ssl already enabled
root@4ec6693ce8a3:/# service apache2 start
 * Starting Apache httpd web server apache2
Enter passphrase for SSL/TLS keys for www.bilibili.com:443 (RSA):
 *
```

http形式浏览目标网站，直接被标记为不安全



https形式浏览目标网站，发现被警告



如果使用默认的bank32，我们会发现效果更明显

通过这个任务，我们观察到我们成功地让用户访问bilibili.com恶意网页，但是，浏览器仍然显示连接不安全的警告。

如果用户访问 http://www.bilibili.com 网页，他/她将登陆恶意页面，但会观察到连接不安全(因为使用了http协议)。

如果用户访问 https://instagram.com 网页，则浏览器将显示一个提示，表示与本网站的连接不安全。

因此，我们无法在次实现中间人攻击。

任务 6: 使用一个被攻陷的 CA 发起中间人攻击

> 在本任务中，假设我们在任务 1 中创建的根 CA 被攻击者攻破，并且其私钥被盗。因此，攻击者可以使用此 CA 的私钥生成任意证书。在此任务中，我们将看到这种破坏的结果。

> 请设计一个实验，以表明攻击者可以在任何HTTPS网站上成功发起MITM攻击。你可以使用在任务5中创建的相同设置，但是这次，你需要证明MITM攻击是成功的。即当受害人试图访问网站时，浏览器不会有起任何怀疑，而是落入MITM攻击者的虚假网站。