哈尔滨工业大学(深圳)

《网络与系统安全》 实验报告

实验五

TLS 实验

学 院: 计算机科学与技术

姓 名: 宗晴

学 号: 200110513

专 业: 计算机

日 期: 2023 年 5 月

1.在客户端容器中执行如下命令 ./handshake.py www.baidu.com 根据执行结果回答下面三个问题。

```
root@743cc08b925f:/volumes# ./handshake.py www.baidu.com
After making TCP connection. Press any key to continue ...
=== Cipher used: ('ECDHE-RSA-AES128-GCM-SHA256', 'TLSv1.2', 128)
=== Server hostname: www.baidu.com
=== Server certificate:
{'OCSP': ('http://ocsp.globalsign.com/gsrsaovsslca2018',),
 'caIssuers': ('http://secure.globalsign.com/cacert/gsrsaovsslca2018.crt',),
 'crlDistributionPoints': ('http://crl.globalsign.com/gsrsaovsslca2018.crl',),
 'issuer': ((('countryName', 'BE'),),
            (('organizationName', 'GlobalSign nv-sa'),),
            (('commonName', 'GlobalSign RSA OV SSL CA 2018'),)),
 'notAfter': 'Aug  6 05:16:01 2023 GMT',
 'notBefore': 'Jul  5 05:16:02 2022 GMT',
 'serialNumber': '4417CE86EF82EC6921CC6F68',
 'subject': ((('countryName', 'CN'),),
             (('stateOrProvinceName', 'beijing'),),
             (('localityName', 'beijing'),),
             (('organizationalUnitName', 'service operation department'),),
             (('organizationName',
               'Beijing Baidu Netcom Science Technology Co., Ltd'),),
             (('commonName', 'baidu.com'),)),
 'subjectAltName': (('DNS', 'baidu.com'),
                    ('DNS', 'baifubao.com'),
                    ('DNS', 'www.baidu.cn'),
                    ('DNS', 'www.baidu.com.cn'),
                    ('DNS', 'mct.y.nuomi.com'),
                    ('DNS', 'apollo.auto'),
                    ('DNS', 'mct.y.nuomi.com'),
                    ('DNS', 'apollo.auto'),
                    ('DNS', 'dwz.cn'),
                    ('DNS', '*.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.baifubao.com'),
                    ('DNS', '*.baidustatic.com'),
                    ('DNS', '*.bdstatic.com'),
                    ('DNS', '*.bdimg.com'),
                    ('DNS', '*.hao123.com'),
                    ('DNS', '*.nuomi.com'),
                    ('DNS', '*.chuanke.com'),
                    ('DNS', '*.trustgo.com'),
                    ('DNS', '*.bce.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.eyun.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.map.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.mbd.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.fanyi.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.baidubce.com'),
                    ('DNS', '*.mipcdn.com'),
                    ('DNS', '*.news.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.baidupcs.com'),
                    ('DNS', '*.aipage.com'),
                    ('DNS', '*.aipage.cn'),
                    ('DNS', '*.bcehost.com'),
                    ('DNS', '*.safe.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.im.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.baiducontent.com'),
                    ('DNS', '*.dlnel.com'),
                    ('DNS', '*.dlnel.org'),
```

```
                    ('DNS', '*.su.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.91.com'),
                    ('DNS', '*.hao123.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.apollo.auto'),
                    ('DNS', '*.xueshu.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.bj.baidubce.com'),
                    ('DNS', '*.gz.baidubce.com'),
                    ('DNS', '*.smartapps.cn'),
                    ('DNS', '*.bdtjrcv.com'),
                    ('DNS', '*.hao222.com'),
                    ('DNS', '*.haokan.com'),
                    ('DNS', '*.pae.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.vd.bdstatic.com'),
                    ('DNS', '*.cloud.baidu.com'),
                    ('DNS', 'click.hm.baidu.com'),
                    ('DNS', 'log.hm.baidu.com'),
                    ('DNS', 'cm.pos.baidu.com'),
                    ('DNS', 'wn.pos.baidu.com'),
                    ('DNS', 'update.pan.baidu.com')),
 'version': 3}
[{'issuer': ((('organizationalUnitName', 'GlobalSign Root CA - R3'),),
             (('organizationName', 'GlobalSign'),),
             (('commonName', 'GlobalSign'),)),
  'notAfter': 'Mar 18 10:00:00 2029 GMT',
  'notBefore': 'Mar 18 10:00:00 2009 GMT',
  'serialNumber': '040000000001215853 08A2',
  'subject': ((('organizationalUnitName', 'GlobalSign Root CA - R3'),),
              (('organizationName', 'GlobalSign'),),
              (('commonName', 'GlobalSign'),)),
  'version': 3}]
After TLS handshake. Press any key to continue ...
root@743cc08b925f:/volumes#
```

（1）客户端和服务器端使用的加密算法有哪些，分别起什么作用？

客户端和服务器端使用的加密算法有：ECDHE-RSA-AES128-GCM-SHA256。

RSA 是一种公钥密码算法，是第一个能同时用于加密和数字签名的算法，也易于理解和操作。

ECDHE 算法是在 DHE 算法的基础上利用了 ECC 椭圆曲线特性，可以用更少的计算量计算出公钥，以及最终的会话密钥。具有前向安全，被广泛使用。

AES128 是一个分组密码，属于对称密码范畴，AES 算法的模块在对称密码领域特别是分组密码领域常有使用。AES128 分组长度为 128 比特，密

钥长度也为 128 比特。算法涉及 4 种操作：字节替代、行移位、列混淆和轮密钥加。

GCM (Galois/Counter Mode) 指的是该对称加密采用 Counter 模式，并带有 GMAC 消息认证码。二者分别保证了加密算法的保密性、完整性。

SHA-256 作为 SHA-2(Secure Hash Algorithm 2，安全哈希算法 2) 的一部分，目前已经是最流行的哈希算法之一。安全加密算法通过将输入文本拆分成独立的片段，并通过这些独立的片段生成最终的结果——加密算法哈希值。这些加密算法哈希值几乎是唯一的字符串，因而它们往往被用作数据块的摘要"digest"，指纹"figerprint"或签名"signature"。SHA-256 算法往往被用来生成 256 位的签名。

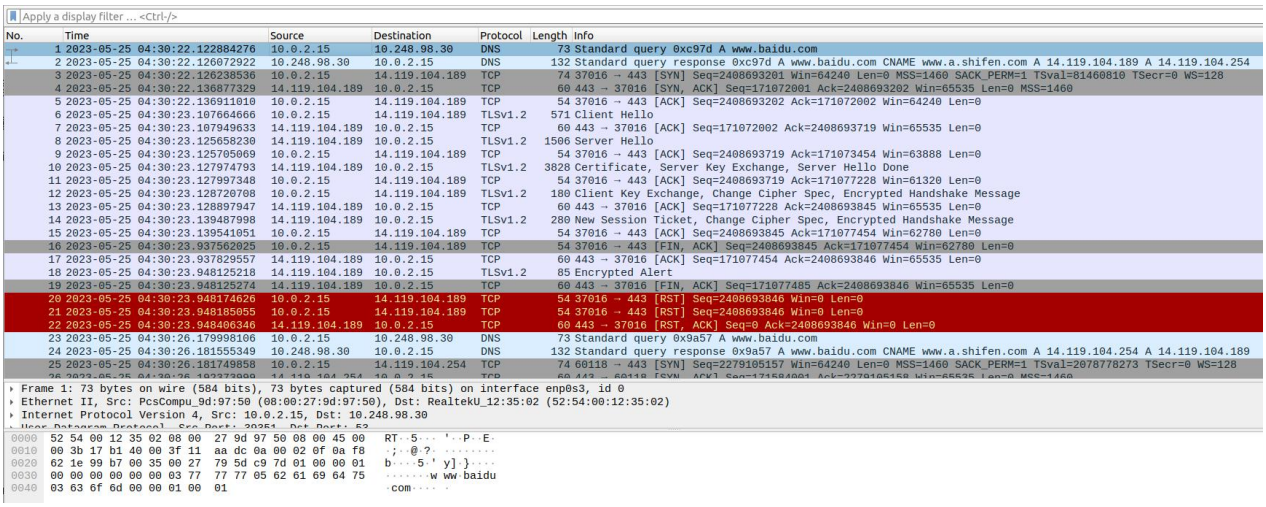
（2）分析打印出来的服务器端证书

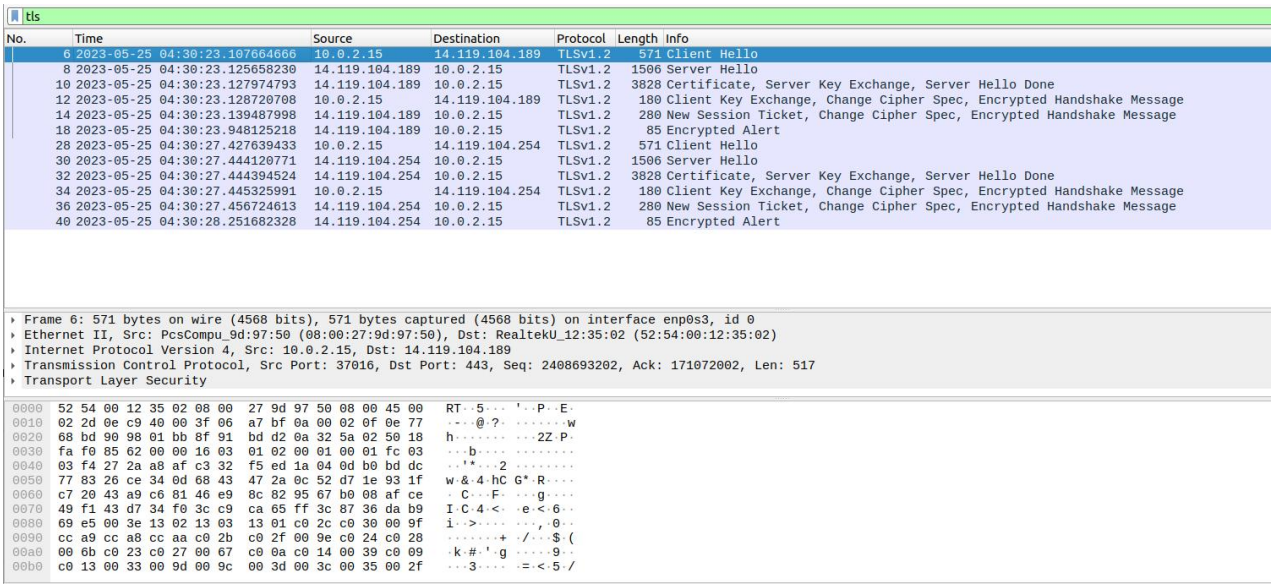
服务器端证书如上图所示，为“===Server certificate: ”字段后的内容。

在打印出来的服务器端证书前首先说明了签名算法、主机名（www.baidu.com）。然后证书中说明了所用的 OCSP 即在线证书状态协议、caIssuers 即证书的签发机构等信息，以及 notAfter 和 notBefore 即证书的有效时间、serialNumber 即证书的独特序列号、subject 即证书的拥有者信息、subjectAltName 即证书拥有者的别名、version 即版本号为 3，以及其他相关信息。

（3）抓包分析 TLS 握手协议

抓包结果如下：





如上图所示，为进行了两次 TLS 握手的抓包过程（已经筛选出了所有的 TLS 数据包）。可以看出 TLS 握手过程如下：

（1）客户端：发送客户端问候消息（Client Hello），表明它自己支持哪些密码套件和客户端的一次性随机数（Client_random）。

（2）服务器：发送服务器问候消息（Server Hello），根据客户端发来的问候消息，选择确认一个客户端和服务器都支持的密码套件，并提供服务器的一次性随机数（Server_random）。

（3）服务器：发送公钥证书（certificate，server key exchange）给客户端。

（4）服务器：发送握手完成的消息，表明已完成握手协商。（server hello done）

（5）客户端：发送客户端密钥交换消息（client key exchange）。客户端随机生成一个预主密钥，然后用服务器的公钥对其进行加密，并将加密后的密钥发送给服务器。客户端和服务器首先使用预主密钥生成主密钥，然后再使用主密钥生成会话密钥。

（6）客户端和服务器：互相发送更改密码规范消息。

（7）客户端和服务器：互相发送一个加密完成的消息。

2.更改证书文件路径，请同学们将 www.baidu.com 网站的测试过程截图保存（如果不将证书拷贝过来应该有报错信息，拷贝过来之后应该正常），也可选用其他网站做测试。

如果不将证书拷贝过来，执行./handshake.py www.baidu.com 会有报错信息，如下图所示：

```
root@743cc08b925f:/volumes# ./handshake.py www.baidu.com
After making TCP connection. Press any key to continue ...
Traceback (most recent call last):
  File "./handshake.py", line 29, in <module>
    ssock.do_handshake()   # Start the handshake
  File "/usr/lib/python3.8/ssl.py", line 1309, in do_handshake
    self._sslobj.do_handshake()
ssl.SSLCertVerificationError: [SSL: CERTIFICATE_VERIFY_FAILED] certificate verify failed: unable to get
 local issuer certificate (_ssl.c:1123)
root@743cc08b925f:/volumes#
root@743cc08b925f:/volumes# ./handshake.py www.baidu.com
After making TCP connection. Press any key to continue ...
Traceback (most recent call last):
  File "./handshake.py", line 29, in <module>
    ssock.do_handshake()   # Start the handshake
  File "/usr/lib/python3.8/ssl.py", line 1309, in do_handshake
    self._sslobj.do_handshake()
ssl.SSLCertVerificationError: [SSL: CERTIFICATE_VERIFY_FAILED] certificate verify failed: unable to get
 local issuer certificate (_ssl.c:1123)
root@743cc08b925f:/volumes#
```

如果将证书拷贝过来之后，显示正常，如下图所示：

```
root@743cc08b925f:/volumes# ./handshake.py www.baidu.com
After making TCP connection. Press any key to continue ...
=== Cipher used: ('ECDHE-RSA-AES128-GCM-SHA256', 'TLSv1.2', 128)
=== Server hostname: www.baidu.com
=== Server certificate:
{'OCSP': ('http://ocsp.globalsign.com/gsrsaovsslca2018',),
 'caIssuers': ('http://secure.globalsign.com/cacert/gsrsaovsslca2018.crt',),
 'crlDistributionPoints': ('http://crl.globalsign.com/gsrsaovsslca2018.crl',),
 'issuer': ((('countryName', 'BE'),),
            (('organizationName', 'GlobalSign nv-sa'),),
            (('commonName', 'GlobalSign RSA OV SSL CA 2018'),)),
 'notAfter': 'Aug  6 05:16:01 2023 GMT',
 'notBefore': 'Jul  5 05:16:02 2022 GMT',
 'serialNumber': '4417CE86EF82EC6921CC6F68',
 'subject': ((('countryName', 'CN'),),
             (('stateOrProvinceName', 'beijing'),),
             (('localityName', 'beijing'),),
             (('organizationalUnitName', 'service operation department'),),
             (('organizationName',
               'Beijing Baidu Netcom Science Technology Co., Ltd'),),
             (('commonName', 'baidu.com'),)),
 'subjectAltName': (('DNS', 'baidu.com'),
                    ('DNS', 'baifubao.com'),
                    ('DNS', 'www.baidu.cn'),
                    ('DNS', 'www.baidu.com.cn'),
                    ('DNS', 'mct.y.nuomi.com'),
                    ('DNS', 'apollo.auto'),
                    ('DNS', 'dwz.cn'),
                    ('DNS', '*.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.baifubao.com'),
                    ('DNS', '*.baidustatic.com'),
                    ('DNS', '*.bdstatic.com'),
```

```
                    ('DNS', '*.bdimg.com'),
                    ('DNS', '*.hao123.com'),
                    ('DNS', '*.nuomi.com'),
                    ('DNS', '*.chuanke.com'),
                    ('DNS', '*.trustgo.com'),
                    ('DNS', '*.bce.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.eyun.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.map.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.mbd.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.fanyi.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.baidubce.com'),
                    ('DNS', '*.mipcdn.com'),
                    ('DNS', '*.news.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.baidupcs.com'),
                    ('DNS', '*.aipage.com'),
                    ('DNS', '*.aipage.cn'),
                    ('DNS', '*.bcehost.com'),
                    ('DNS', '*.safe.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.im.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.baiducontent.com'),
                    ('DNS', '*.dlnel.com'),
                    ('DNS', '*.dlnel.org'),
                    ('DNS', '*.dueros.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.su.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.91.com'),
                    ('DNS', '*.hao123.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.apollo.auto'),
                    ('DNS', '*.xueshu.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.bj.baidubce.com'),
                    ('DNS', '*.gz.baidubce.com'),
                    ('DNS', '*.smartapps.cn'),
                    ('DNS', '*.bdtjrcv.com'),
                   ('DNS', '*.bdtjrcv.com'),
                   ('DNS', '*.hao222.com'),
                   ('DNS', '*.haokan.com'),
                   ('DNS', '*.pae.baidu.com'),
                   ('DNS', '*.vd.bdstatic.com'),
                   ('DNS', '*.cloud.baidu.com'),
                   ('DNS', 'click.hm.baidu.com'),
                   ('DNS', 'log.hm.baidu.com'),
                   ('DNS', 'cm.pos.baidu.com'),
                   ('DNS', 'wn.pos.baidu.com'),
                   ('DNS', 'update.pan.baidu.com')),
 'version': 3}
[{'issuer': ((('countryName', 'BE'),),
             (('organizationName', 'GlobalSign nv-sa'),),
             (('organizationalUnitName', 'Root CA'),),
             (('commonName', 'GlobalSign Root CA'),)),
  'notAfter': 'Jan 28 12:00:00 2028 GMT',
  'notBefore': 'Sep  1 12:00:00 1998 GMT',
  'serialNumber': '040000000001154B5AC394',
  'subject': ((('countryName', 'BE'),),
              (('organizationName', 'GlobalSign nv-sa'),),
              (('organizationalUnitName', 'Root CA'),),
              (('commonName', 'GlobalSign Root CA'),)),
  'version': 3}]
After TLS handshake. Press any key to continue ...
root@743cc08b925f:/volumes#
```

3. 请同学们将修改 www.baidu.com 网站主机名的测试过程截图保存在报告里并分析执行的结果，也可选用其他网站做测试。

当 context.check_hostname = True 时，执行 ./handshake.py www.baidu.com 会有报错信息，显示、Hostname 不匹配，如下图所示：

```
root@743cc08b925f:/volumes# echo 14.119.104.254 www.baidu1.com >> /etc/hosts
root@743cc08b925f:/volumes# ./handshake.py www.baidu1.com
After making TCP connection. Press any key to continue ...
Traceback (most recent call last):
  File "./handshake.py", line 29, in <module>
    ssock.do_handshake()   # Start the handshake
  File "/usr/lib/python3.8/ssl.py", line 1309, in do_handshake
    self._sslobj.do_handshake()
ssl.SSLCertVerificationError: [SSL: CERTIFICATE_VERIFY_FAILED] certificate ver
ify failed: Hostname mismatch, certificate is not valid for 'www.baidu1.com'.
(_ssl.c:1123)
```

当 context.check_hostname = False 时，执行 ./handshake.py www.baidu.com 显示正常，如下图所示：

```
root@743cc08b925f:/volumes# ./handshake.py www.baidu1.com
After making TCP connection. Press any key to continue ...
=== Cipher used: ('ECDHE-RSA-AES128-GCM-SHA256', 'TLSv1.2', 128)
=== Server hostname: www.baidu1.com
=== Server certificate:
{'OCSP': ('http://ocsp.globalsign.com/gsrsaovsslca2018',),
 'caIssuers': ('http://secure.globalsign.com/cacert/gsrsaovsslca2018.crt',),
 'crlDistributionPoints': ('http://crl.globalsign.com/gsrsaovsslca2018.crl',
 'issuer': ((('countryName', 'BE'),),
            (('organizationName', 'GlobalSign nv-sa'),),
            (('commonName', 'GlobalSign RSA OV SSL CA 2018'),)),
 'notAfter': 'Aug  6 05:16:01 2023 GMT',
 'notBefore': 'Jul  5 05:16:02 2022 GMT',
 'serialNumber': '4417CE86EF82EC6921CC6F68',
 'subject': ((('countryName', 'CN'),),
             (('stateOrProvinceName', 'beijing'),),
             (('localityName', 'beijing'),),
             (('organizationalUnitName', 'service operation department'),),
             (('organizationName',
               'Beijing Baidu Netcom Science Technology Co., Ltd'),),
             (('commonName', 'baidu.com'),)),
 'subjectAltName': (('DNS', 'baidu.com'),
                    ('DNS', 'baifubao.com'),
                    ('DNS', 'www.baidu.cn'),
                    ('DNS', 'www.baidu.com.cn'),
                    ('DNS', 'mct.y.nuomi.com'),
                    ('DNS', 'apollo.auto'),
                    ('DNS', 'dwz.cn'),
                    ('DNS', '*.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.baifubao.com'),
                    ('DNS', '*.baidustatic.com'),
```

```
                ('DNS', '*.bdstatic.com'),
                ('DNS', '*.bdimg.com'),
                ('DNS', '*.hao123.com'),
                ('DNS', '*.nuomi.com'),
                ('DNS', '*.chuanke.com'),
                ('DNS', '*.trustgo.com'),
                ('DNS', '*.bce.baidu.com'),
                ('DNS', '*.eyun.baidu.com'),
                ('DNS', '*.map.baidu.com'),
                ('DNS', '*.mbd.baidu.com'),
                ('DNS', '*.fanyi.baidu.com'),
                ('DNS', '*.baidubce.com'),
                ('DNS', '*.mipcdn.com'),
                ('DNS', '*.news.baidu.com'),
                ('DNS', '*.baidupcs.com'),
                ('DNS', '*.aipage.com'),
                ('DNS', '*.aipage.cn'),
                ('DNS', '*.bcehost.com'),
                ('DNS', '*.safe.baidu.com'),
                ('DNS', '*.im.baidu.com'),
                ('DNS', '*.baiducontent.com'),
                ('DNS', '*.dlnel.com'),
                ('DNS', '*.dlnel.org'),
                ('DNS', '*.dueros.baidu.com'),
                ('DNS', '*.su.baidu.com'),
                ('DNS', '*.91.com'),
                ('DNS', '*.hao123.baidu.com'),
                ('DNS', '*.apollo.auto'),
                ('DNS', '*.xueshu.baidu.com'),
                ('DNS', '*.bj.baidubce.com'),
                ('DNS', '*.gz.baidubce.com'),
                ('DNS', '*.smartapps.cn'),

                    ('DNS', '*.smartapps.cn'),
                    ('DNS', '*.bdtjrcv.com'),
                    ('DNS', '*.hao222.com'),
                    ('DNS', '*.haokan.com'),
                    ('DNS', '*.pae.baidu.com'),
                    ('DNS', '*.vd.bdstatic.com'),
                    ('DNS', '*.cloud.baidu.com'),
                    ('DNS', 'click.hm.baidu.com'),
                    ('DNS', 'log.hm.baidu.com'),
                    ('DNS', 'cm.pos.baidu.com'),
                    ('DNS', 'wn.pos.baidu.com'),
                    ('DNS', 'update.pan.baidu.com')),
 'version': 3}
[{'issuer': ((('countryName', 'BE'),),
             (('organizationName', 'GlobalSign nv-sa'),),
             (('organizationalUnitName', 'Root CA'),),
             (('commonName', 'GlobalSign Root CA'),)),
  'notAfter': 'Jan 28 12:00:00 2028 GMT',
  'notBefore': 'Sep  1 12:00:00 1998 GMT',
  'serialNumber': '040000000001154B5AC394',
  'subject': ((('countryName', 'BE'),),
              (('organizationName', 'GlobalSign nv-sa'),),
              (('organizationalUnitName', 'Root CA'),),
              (('commonName', 'GlobalSign Root CA'),)),
  'version': 3}]
After TLS handshake. Press any key to continue ...
root@743cc08b925f:/volumes#
```

这是因为，如果 context.check_hostname = False，当服务器返回"Server Hello"消息时，客户端将不会对服务器的证书中的 hostname 进行校验。在此示例中，服务器证书主机名应该是 www.baidu.com，但由于客户端不进行主机名校验，所以可以接受证书中的主机名为 www.baidu1.com，并与服务器建立连接。

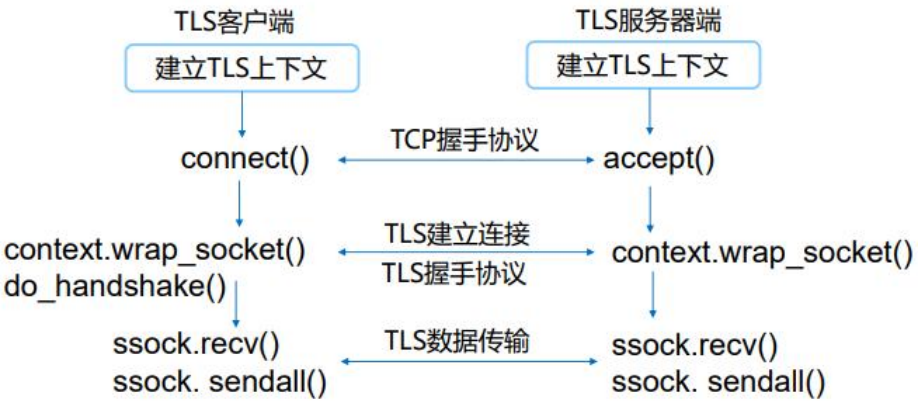
4.请分析 TLS 客户端编程和 server.py 的代码，说明客户端和服务器程序的关键步骤。

利用 handshake.p 修改 client.py，并增加相应代码：

```
29 ssock.do_handshake()   # Start the handshake
30 print("=== Cipher used: {}".format(ssock.cipher()))
31 print("=== Server hostname: {}".format(ssock.server_hostname))
32 print("=== Server certificate:")
33 pprint.pprint(ssock.getpeercert())
34 pprint.pprint(context.get_ca_certs())
35 #input("After TLS handshake. Press any key to continue ...")
36
37 # Send HTTP Request to Server
38 request = b"GET / HTTP/1.0\r\nHost: " + hostname.encode('utf-8') +
   b"\r\n\r\n"
39 ssock.sendall(request)
40 # Read HTTP Response from Server
41 response = ssock.recv(2048)
42 while response:
43  pprint.pprint(response.split(b"\r\n"))
44  response = ssock.recv(2048)
45
46 # Close the TLS Connection
47 ssock.shutdown(socket.SHUT_RDWR)
48 ssock.close()
49
50
```

分析代码可知，客户端和服务器程序的关键步骤为，双方首先利用 connect()函数和 accept()函数确定 TCP 握手协议，然后利用 context.wrap_socket()函数和 do_handshake()函数进行 TLS 建立连接与 TLS 握手协议，最后利用 ssock.recv()函数和 ssock.sendall()函数进行 TLS 数据传输。

过程如下图所示：



5.请分别用 client.py 和浏览器两种方式访问服务器，并记录你观察的结果（截图）

用 client.py 访问服务器的结果如下：

客户端处的结果：

```
root@bf220f70d4d6:/volumes# ./server.py
Enter PEM pass phrase:
TLS connection established
"Request: b'GET / HTTP/1.0\\r\\nHost: www.bank32.com\\r\\n\\r\\n'"
```

服务器处的结果：

```
root@743cc08b925f:/volumes# ./client.py www.bank32.com
After making TCP connection. Press any key to continue ...
=== Cipher used: ('TLS_AES_256_GCM_SHA384', 'TLSv1.3', 256)
=== Server hostname: www.bank32.com
=== Server certificate:
{'issuer': ((('commonName', 'www.modelCA.com'),),
            (('organizationName', 'Model CA LTD.'),),
            (('countryName', 'US'),)),
 'notAfter': 'May 22 09:44:52 2033 GMT',
 'notBefore': 'May 25 09:44:52 2023 GMT',
 'serialNumber': '1000',
 'subject': ((('countryName', 'US'),),
             (('organizationName', 'Bank32 Inc.'),),
             (('commonName', 'www.bank32.com'),)),
 'subjectAltName': (('DNS', 'www.bank32.com'),
                    ('DNS', 'www.bank32A.com'),
                    ('DNS', 'www.bank32B.com')),
 'version': 3}
[{'issuer': ((('commonName', 'www.modelCA.com'),),
             (('organizationName', 'Model CA LTD.'),),
             (('countryName', 'US'),)),
  'notAfter': 'May 22 09:43:48 2033 GMT',
  'notBefore': 'May 25 09:43:48 2023 GMT',
  'serialNumber': '1EC59475CA1D0161F30983054325D2E1CB601EDD',
  'subject': ((('commonName', 'www.modelCA.com'),),
              (('organizationName', 'Model CA LTD.'),),
              (('countryName', 'US'),)),
  'version': 3}]
[b'\nHTTP/1.1 200 OK',
 b'Content-Type: text/html',
 b'',
 b'\n<!DOCTYPE html><html><body><h1>This is Bank32.com!</h1></body></html>\n']
root@743cc08b925f:/volumes#
```

用浏览器访问服务器的结果如下: