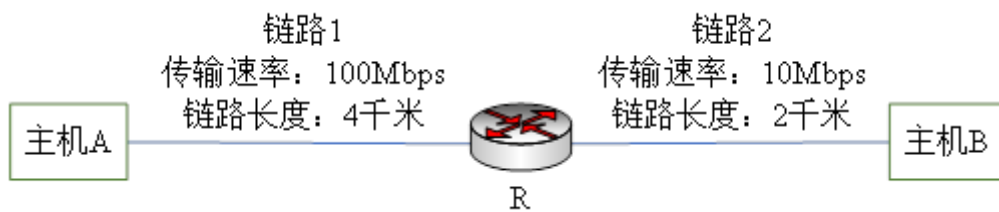


第一章问题

网络结构如下图所示，主机A与主机B之间通过两段链路和一台转发设备R进行连接，每条链路的长度和传输速率已经在图中标出，R采用存储转发机制。主机A向主机B发送一个长度为10000字节的报文，请回答以下问题（设电磁波传播速度为 2×10^8 米/秒）

1. 如果采用报文交换，请计算端到端的最小延，即从主机A传输报文的第一位开始，到主机B接收到报文的最后一位为止所用的时间。
2. 如果将报文分成5个报文分组传输，请计算完成报文传输的最小端到端时延（忽略报文分组的封装开销）。
3. 在统计多路复用机制中，端到端的时延具有不确定性，请简要分析影响端到端时延的主要因素。



答：

1. 采用报文转发方式，具有最小端到端时延的情况是只考虑传播时延和传输时延，而不考虑排队时延、处理时延等，解答如下

传输时延

传播时延

传输时延

传播时延

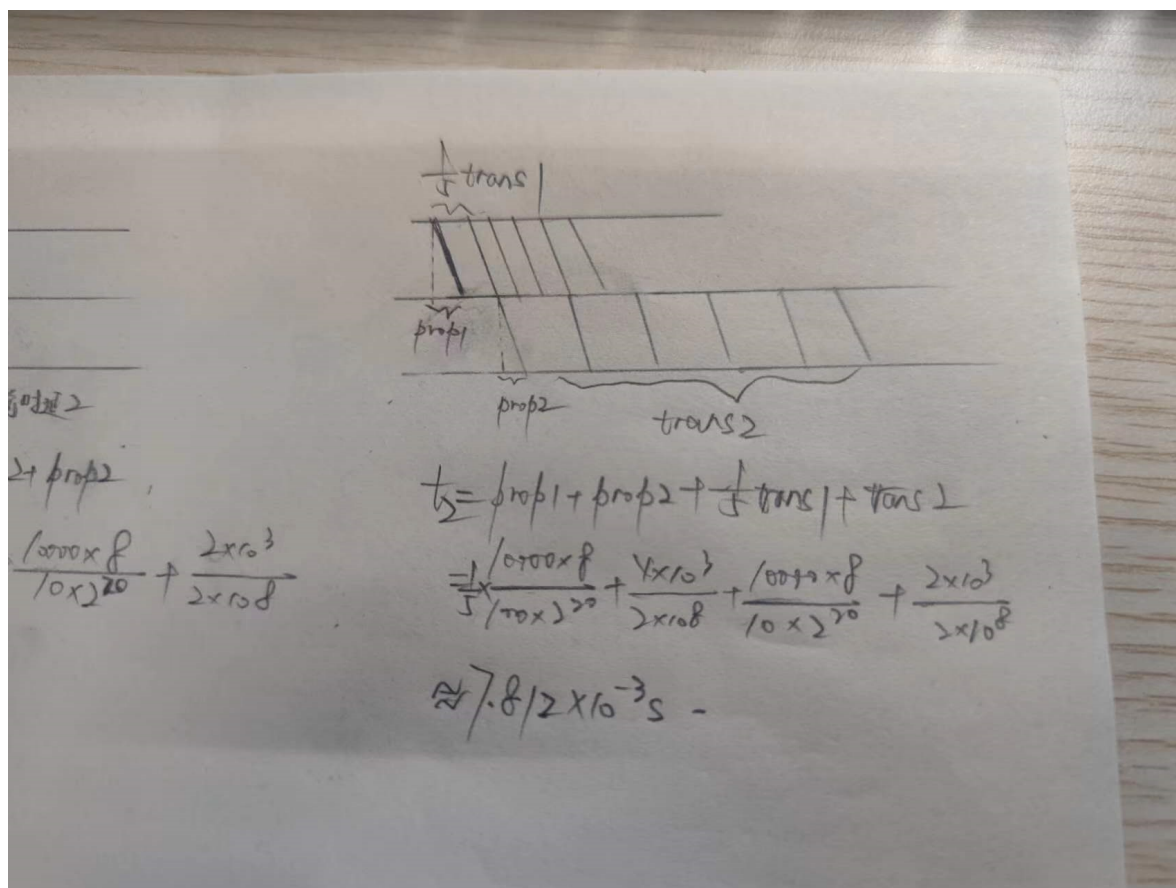
$$t_f = t_{trans1} + t_{prop1} + t_{trans2} + t_{prop2}$$

$$= \frac{10000 \times 8}{100 \times 2^{20}} + \frac{4 \times 10^3}{2 \times 10^8} + \frac{10000 \times 8}{10 \times 2^{20}} + \frac{2 \times 10^3}{2 \times 10^8}$$

$$= 8.8 \times 10^{-3} \times 2^{-20} + 3 \times 10^{-5}$$

$$\approx 8.622 \times 10^{-3} s$$

2. 将报文分为5个分组，忽略报文分组开销，解答如下



3. 使用统计多路复用时，影响端到端时延的因素为：

统计多路复用的原理，是只为需要传输数据的终端分配资源。需要不断扫描终端，接收发送请求，将其要发送的资源收集到缓冲区中排队，在主机的一定调度策略下，利用存储有该用户地址信息的STDM帧进行传输。因此它是一种按需分配的策略。

时延的类型分为传输时延、传播时延、处理时延和排队时延等，在统计多路复用策略下，下列是可能产生较大影响的因素：

- 流量强度。当多个用户提起大量发送请求时，数据涌入缓冲区排队，流量强度越大，平均排队时延越长。此外，统计多路复用需要在时间间隙处存放终端的地址信息，一定程度上增大了流量强度。
- 发送策略。路由器以特定协议为数据包选路，不同的传输路径具有不同的传播、发送时延等。此外，按何种顺序发送缓冲区中的数据也会影响排队时延。
- 处理策略。路由器可能将数据切分为多个帧，并决定是否增加差错检测和恢复、数据压缩等，该部分处理的复杂程度影响处理时延。

第二章问题

1. 通过使用Windows命令行模式提供的nslookup命令查询www.baidu.com的IP地址，给出结果截图，并对返回的结果进行解释。同时，利用Wireshark捕获查询的交互过程，给出结果截图，并进行简要说明。
2. 以反复解析为例，说明域名解析的基本工作过程（可以结合图例）。给出内容分发网络（CDN）中DNS重定向的基本方法，说明原始资源记录应该如何修改，并描述重定向过程。
3. 在DNS域名系统中，域名解析时使用UDP协议提供的传输层服务（DNS服务器使用UDP的53端口），而UDP提供的是不可靠的传输层服务，请你解释DNS协议应如何保证可靠机制。

答：

- 1.
2. 1 执行nslookup命令查询www.baidu.com对应的IP地址，返回信息如下：

```
C:\Windows\system32>nslookup www.baidu.com
服务器: UnKnown           本地DNS服务器名称
Address: 222.30.45.41      本地DNS服务器地址

非权威应答:
名称:   www.a.shifen.com   域名实际对应的主机名记录
Addresses: 182.61.200.6     域名对应物理主机地址，可以对应多个物理主机
          182.61.200.7
Aliases: www.baidu.com     目标域名
```

执行ipconfig命令，注意到220.30.45.41对应本地DNS服务器地址

```
无线局域网适配器 WLAN:

   连接特定的 DNS 后缀 . . . . . : 
   描述 . . . . . : Realtek 8821CE Wireless LAN 802.11ac PCI-E NIC
   物理地址. . . . . : 28-39-26-E2-7D-6B
   DHCP 已启用 . . . . . : 是
   自动配置已启用. . . . . : 是
   IPv6 地址 . . . . . : 2001:250:401:6561:9b2:2c5:67e1:2ee3(首选)
   临时 IPv6 地址. . . . . : 2001:250:401:6561:4ff:44c8:9273:a5c9(首选)
   本地链接 IPv6 地址. . . . . : fe80::48:46ea:359d:eea4%17(首选)
   IPv4 地址 . . . . . : 10.130.19.84(首选)
   子网掩码 . . . . . : 255.255.128.0
   获得租约的时间 . . . . . : 2022年11月25日 7:46:17
   租约过期的时间 . . . . . : 2022年11月26日 1:59:36
   默认网关. . . . . : fe80::865b:12ff:fe5e:3602%17
                       10.130.0.1
   DHCP 服务器 . . . . . : 10.130.0.1
   DHCPv6 IAID . . . . . : 136853798
   DHCPv6 客户端 DUID . . . . . : 00-01-00-01-2A-8C-2C-35-28-39-26-E2-7D-6B
   DNS 服务器 . . . . . : 222.30.45.41
                       202.113.16.41
   TCP/IP 上的 NetBIOS . . . . . : 已启用
```

在nslookup返回结果中，提示非权威应答。说明返回DNS记录的服务器不是主机名www.baidu.com所对应的权威DNS服务器。因其之前接收过相同请求，将保存在缓存中的记录重新取出返回。

物理主机地址不唯一，通过配置多个对应该域名的物理主机，并配合响应算法，可以实现负载均衡。

1.2 利用Wireshark捕获查询的交互过程

执行nslookup命令寻找主机名www.baidu.com的地址，通过wireshark捕获到三组DNS请求-响应，由本地主机向本地DNS服务器发送请求，并收到服务器响应。

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
6	3.533638	10.130.19.84	222.30.45.41	DNS	72	Standard query 0xc2b5 AAAA www.bing.com
7	3.548128	222.30.45.41	10.130.19.84	DNS	277	Standard query response 0xc2b5 AAAA www.bing.com CNAME www-www.bing.com.trafficmanager.net CNAME cn-bing-com...
60	11.443721	10.130.19.84	222.30.45.41	DNS	85	Standard query 0x0001 PTR 41.45.30.222.in-addr.arpa
61	11.448882	222.30.45.41	10.130.19.84	DNS	135	Standard query response 0x0001 No such name PTR 41.45.30.222.in-addr.arpa SOA localhost
62	11.450046	10.130.19.84	222.30.45.41	DNS	73	Standard query 0x0002 A www.baidu.com
63	11.456682	222.30.45.41	10.130.19.84	DNS	132	Standard query response 0x0002 A www.baidu.com CNAME www.a.shifen.com A 182.61.200.6 A 182.61.200.7
64	11.460807	10.130.19.84	222.30.45.41	DNS	73	Standard query 0x0003 AAAA www.baidu.com
65	11.467713	222.30.45.41	10.130.19.84	DNS	157	Standard query response 0x0003 AAAA www.baidu.com CNAME www.a.shifen.com SOA ns1.a.shifen.com

具体看每次交互过程。

第一次DNS请求，由主机使用UDP协议发往DNS服务器对应的53端口，标志位中的应答位为0，表示请求。问题字段记录了问题的数量为1个。在请求中，使用PTR请求查询DNS服务器对应IP地址所在的域名。因为在PTR记录中，IP地址被切分、倒序存储，因此这里的DNS服务器地址也是这样发起请求的。

```

User Datagram Protocol, Src Port: 57908, Dst Port: 53
  Source Port: 57908
  Destination Port: 53  使用UDP协议，发送给DNS服务器对应的53号端口
  Length: 51
  Checksum: 0xa917 [unverified]
  [Checksum Status: Unverified]
  [Stream index: 2]
  [Timestamps]
    [Time since first frame: 0.000000000 seconds]
    [Time since previous frame: 0.000000000 seconds]
  UDP payload (43 bytes)
Domain Name System (query)
  Transaction ID: 0x0001
  Flags: 0x0100 Standard query
    0... .. = Response: Message is a query  查询报文
    .000 0... .. = Opcode: Standard query (0)
    .... 0.0... .. = Truncated: Message is not truncated
    .... ...1... .. = Recursion desired: Do query recursively  表示可以递归查询
    .... ...0... .. = Z: reserved (0)
    .... ...0... .. = Non-authenticated data: Unacceptable
  Questions: 1
  Answer RRs: 0
  Authority RRs: 0
  Additional RRs: 0
  Queries
    41.45.30.222.in-addr.arpa: type PTR, class IN
      Name: 41.45.30.222.in-addr.arpa  为DNS服务器地址的倒序，后跟特定后缀in-addr.arpa
      [Name Length: 25]
      [Label Count: 6]
      Type: PTR (domain name Pointer) (12)  类型为PTR
      Class: IN (0x0001)
      [Response In: 61]

```

服务器向主机回应第一次DNS请求，为SOA记录，包含了被授权管理的服务器名、生存期、刷新时间等。

```

Domain Name System (response)
  Transaction ID: 0x0001
  Flags: 0x8183 Standard query response, No such name
    1... .. = Response: Message is a response
    .000 0... .. = Opcode: Standard query (0)
    .... 0.0... .. = Authoritative: Server is not an authority for domain
    .... 0.0... .. = Truncated: Message is not truncated
    .... ...1... .. = Recursion desired: Do query recursively
    .... ...1... .. = Recursion available: Server can do recursive queries
    .... ...0... .. = Z: reserved (0)
    .... ...0... .. = Answer authenticated: Answer/authority portion was not authenticated by the server
    .... ...0... .. = Non-authenticated data: Unacceptable
    .... ...0011 = Reply code: No such name (3)
  Questions: 1
  Answer RRs: 0
  Authority RRs: 1  权威性资源数量
  Additional RRs: 0
  Queries
    41.45.30.222.in-addr.arpa: type PTR, class IN
      Name: 41.45.30.222.in-addr.arpa
      [Name Length: 25]
      [Label Count: 6]
      Type: PTR (domain name Pointer) (12)
      Class: IN (0x0001)
  Authoritative nameservers
    45.30.222.in-addr.arpa: type SOA, class IN, mname localhost
      Name: 45.30.222.in-addr.arpa
      Type: SOA (Start Of a zone of Authority) (6)  起始授权区域
      Class: IN (0x0001)
      Time to live: 4940 (1 hour, 22 minutes, 20 seconds)  生存期
      Data length: 38
      Primary name server: localhost  服务器名
      Responsible authority's mailbox: root.localhost  负责的电子邮件地址
      Serial Number: 2000000000
      Refresh Interval: 10800 (3 hours)
      Retry Interval: 900 (15 minutes)

```

第二次DNS请求，表明递归查询www.baidu.com对应的IPV4地址（以类型A表示）

```

v Domain Name System (query)
  Transaction ID: 0x0002
  v Flags: 0x0100 Standard query
    0... .. = Response: Message is a query
    .000 0... .. = Opcode: Standard query (0)
    .... ..0... .. = Truncated: Message is not truncated
    .... ..1... .. = Recursion desired: Do query recursively
    .... ..0... .. = Z: reserved (0)
    .... ..0... .. = Non-authenticated data: Unacceptable
  Questions: 1
  Answer RRs: 0
  Authority RRs: 0
  Additional RRs: 0
  v Queries
    v www.baidu.com: type A, class IN
      Name: www.baidu.com
      [Name Length: 13]
      [Label Count: 3]
      Type: A (Host Address) (1)
      Class: IN (0x0001)
      [Response In: 63]

```

服务器返回第二次请求，这里CNAME类型表示该资源的值为规范主机名。另外在两个A类资源中，包含了该主机名对应的IP地址。

```

v Domain Name System (response)
  Transaction ID: 0x0002
  v Flags: 0x8180 Standard query response, No error
    1... .. = Response: Message is a response
    .000 0... .. = Opcode: Standard query (0)
    .... ..0... .. = Authoritative: Server is not an authority for domain
    .... ..0... .. = Truncated: Message is not truncated
    .... ..1... .. = Recursion desired: Do query recursively
    .... ..1... .. = Recursion available: Server can do recursive queries
    .... ..0... .. = Z: reserved (0)
    .... ..0... .. = Answer authenticated: Answer/authority portion was not authenticated by the server
    .... ..0... .. = Non-authenticated data: Unacceptable
    .... ..0000 = Reply code: No error (0)
  Questions: 1
  Answer RRs: 3 返回资源数
  Authority RRs: 0
  Additional RRs: 0
  v Queries
    > www.baidu.com: type A, class IN
  v Answers
    v www.baidu.com: type CNAME, class IN, cname www.a.shifen.com cname表示返回一个规范主机名
      Name: www.baidu.com
      Type: CNAME (Canonical NAME for an alias) (5)
      Class: IN (0x0001)
      Time to live: 362 (6 minutes, 2 seconds)
      Data length: 15
      CNAME: www.a.shifen.com
    > www.a.shifen.com: type A, class IN, addr 182.61.200.6 对应主机名的物理地址
    > www.a.shifen.com: type A, class IN, addr 182.61.200.7
  [Request In: 62]
  [Time: 0.006636000 seconds]

```

第三次DNS请求时AAAA类型，表示查询IPV6地址。对应响应如下，包含了主机名对应DNS服务器的权威域名服务器的信息，包括该服务器的名称、刷新闻隔、最短生存期等。


```

    Queries
    ▼ www.baidu.com: type AAAA, class IN
      Name: www.baidu.com
      [Name Length: 13]
      [Label Count: 3]
      Type: AAAA (IPv6 Address) (28)
      Class: IN (0x0001)
    Answers
    ▼ www.baidu.com: type CNAME, class IN, cname www.a.shifen.com
      Name: www.baidu.com
      Type: CNAME (Canonical NAME for an alias) (5)
      Class: IN (0x0001)
      Time to live: 362 (6 minutes, 2 seconds)
      Data length: 15
      CNAME: www.a.shifen.com
    Authoritative nameservers
    ▼ a.shifen.com: type SOA, class IN, mname ns1.a.shifen.com
      Name: a.shifen.com
      Type: SOA (Start Of a zone of Authority) (6)
      Class: IN (0x0001)
      Time to live: 363 (6 minutes, 3 seconds)
      Data length: 45
      Primary name server: ns1.a.shifen.com
      Responsible authority's mailbox: baidu_dns_master.baidu.com
      Serial Number: 2211250033
      Refresh Interval: 5 (5 seconds)
      Retry Interval: 5 (5 seconds)
      Expire limit: 2592000 (30 days)
      Minimum TTL: 3600 (1 hour)
    [Request In: 64]
    [Time: 0.006906000 seconds]

```

2.

3.1 反复解析即迭代解析，是以DNS客户端为中心，执行的DNS查询。对于要查询的域名，执行如下操作：

(1) DNS客户端向所配置的本地名称服务器发出解析域名的请求。

(2) 本地名称服务器收到客户端请求，先查询本地缓存。若没有查到该域名对应记录，则本地服务器把所配置的根服务器地址信息通过DNS应答返还给客户端；否则直接响应对应记录。

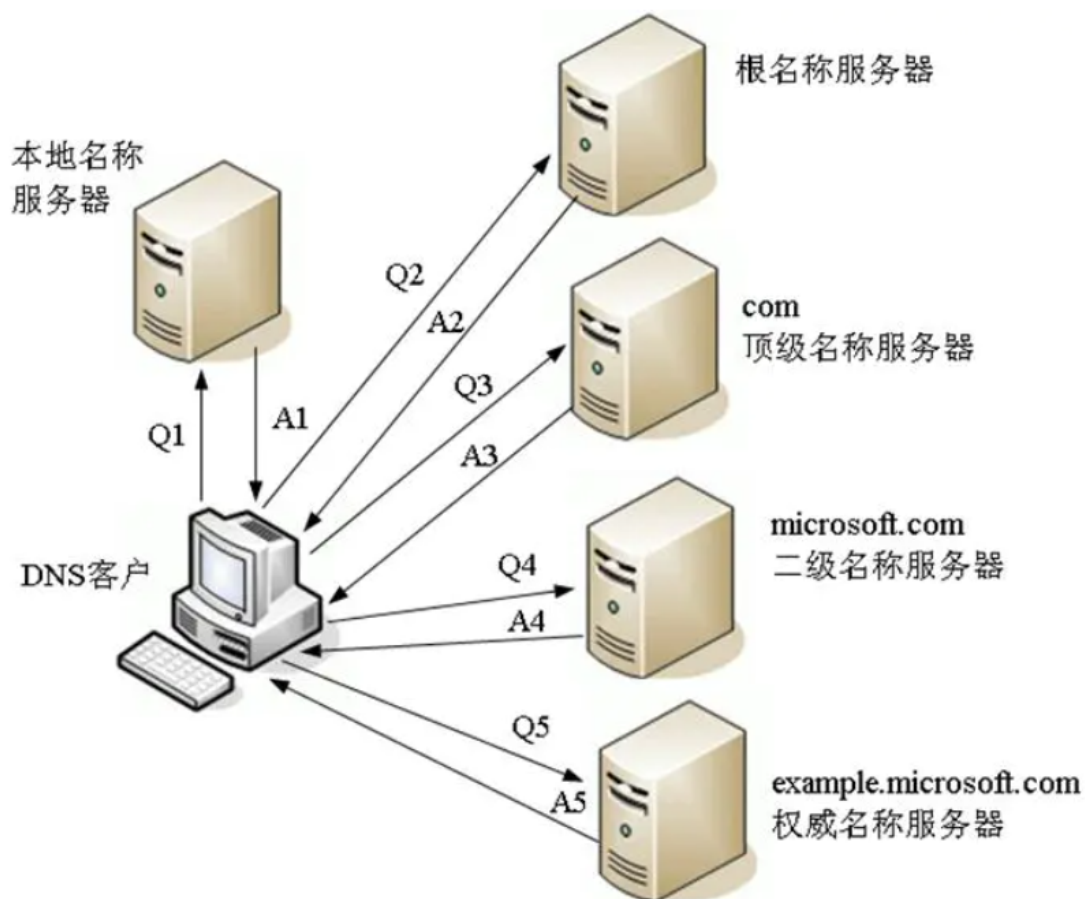
(3) DNS客户端收到本地服务器的DNS应答，根据提供的根服务器地址，向其发送解析域名的DNS请求。

(4) 根服务器收到DNS请求后，查询得到顶级域名所对应的顶级服务器地址，向客户端发送DNS响应。

(5) DNS客户端向顶级域名服务器发送解析请求，若顶级域名服务器没有对应缓存记录，则返回一个二级域名服务器地址。

(6) 这样，DNS客户端不断根据返回的结果，进行查询请求，直到获得需要的DNS记录。否则若在权威域名服务器也无法找到，则解析失败。

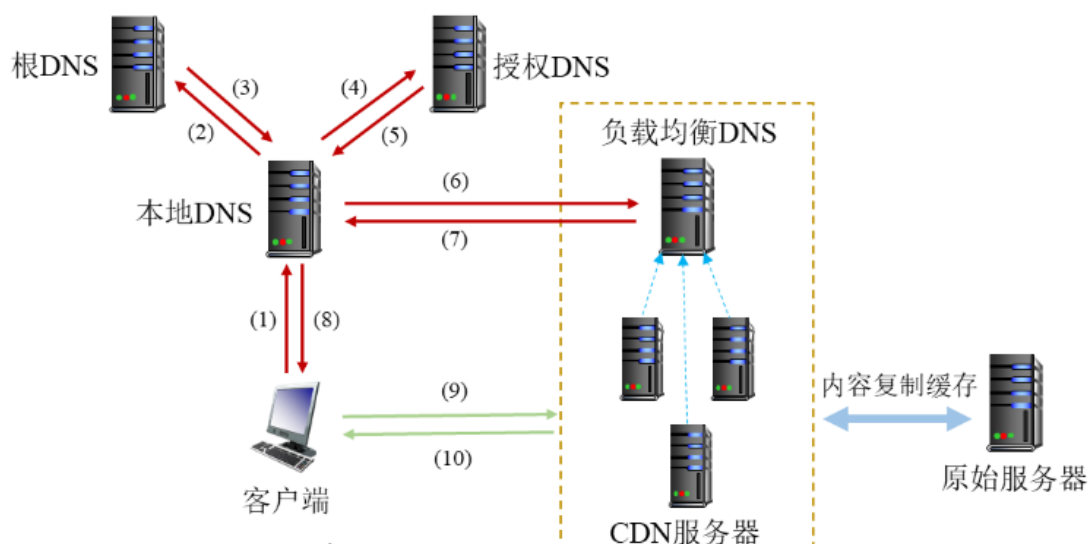
(7) DNS客户端在收到.com顶级名称服务器的DNS应答报文，得到microsoft.com二级域名所对应的二级名称服务器地址后，再次向对应的二级名称服务器发送一条解析example.microsoft.com域名的DNS请求报文（图中的Q4）。



图源: <https://www.jianshu.com/p/183ef16854f1>

2. 2 本地DNS服务器通过DNS解析，找到负载均衡DNS所在的地址。负载均衡DNS对CDN服务器根据用户地址和CDN服务器状态，选择最适宜用户的服务器，返回给本地DNS服务器。本地DNS服务器将获得的CDN服务器地址告知客户端，这样客户端直接与对应CDN服务器进行交互。

对于原始资源记录的修改，只需要将域名解析的权限交给CDN运营商，这样解析的结果就是负载均衡DNS。



2. 3 DNS基于UDP，仍保持可靠性的原因：

UDP“不可靠”只是意味着协议本身不指定任何正式机制用于确认、重传、重新排序、纠错等，因此UDP轻量且快速。DNS客户端和服务端通过使用UDP作为基础的高阶应用程序级协议，来实现数据包丢失、纠错等应对机制，而不是被迫使用协议中指定的机制本身。

另外，对于DNS服务而言，使用的UDP数据包小，当小于512字节时，收到即确认，且UDP协议的校验和易于验证。UDP请求-响应都是通过单个数据包完成，不需要拥塞控制、重排等，若出现丢包、出错，则上层应用进行重传。

UDP也不总是使用UDP，当数据包大小超过512字节、或用于区域传输任务、或需要一次发送多个请求时，往往通过TCP协议进行传输。