

发送了 $3 \times N$ 个分组。RFC 1393 详细地描述了 Traceroute。

这里有一个 Traceroute 程序输出的例子，其中追踪的路由从源主机 `gaia.cs.umass.edu`（位于马萨诸塞大学）到 `cis.poly.edu`（位于布鲁克林的理工大学）。输出有 6 列：第一列是前面描述的 n 值，即沿着路径上的路由器编号；第二列是路由器的名字；第三列是路由器地址（格式为 `xxx.xxx.xxx.xxx`）；最后 3 列是 3 次实验的往返时延。如果源从任何给定的路由器接收到少于 3 条报文（由于网络中的丢包），Traceroute 在该路由器号码后面放一个星号，并向那台路由器报告少于 3 次往返时间。

```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1.009 ms 0.899 ms 0.993 ms
2 128.119.3.154 (128.119.3.154) 0.931 ms 0.441 ms 0.651 ms
3 border4-rt-gi-1-3.gw.umass.edu (128.119.2.194) 1.032 ms 0.484 ms 0.451 ms
4 acrl-ge-2-1-0.Boston.cw.net (208.172.51.129) 10.006 ms 8.150 ms 8.460 ms
5 agr4-loopback.NewYork.cw.net (206.24.194.104) 12.272 ms 14.344 ms 13.267 ms
6 acr2-loopback.NewYork.cw.net (206.24.194.62) 13.225 ms 12.292 ms 12.148 ms
7 pos10-2.core2.NewYork1.Level3.net (209.244.160.133) 12.218 ms 11.823 ms 11.793 ms
8 gige9-1-52.hsipaccess1.NewYork1.Level3.net (64.159.17.39) 13.081 ms 11.556 ms 13.297 ms
9 p0-0.polyu.bbnplanet.net (4.25.109.122) 12.716 ms 13.052 ms 12.786 ms
10 cis.poly.edu (128.238.32.126) 14.080 ms 13.035 ms 12.802 ms
```

在上述跟踪中，在源和目的之间有 9 台路由器。这些路由器中的多数有一个名字，所有都有地址。例如，路由器 3 的名字是 `border4-rt-gi-1-3.gw.umass.edu`，它的地址是 `128.119.2.194`。看看为这台路由器提供的数据，可以看到在源和路由器之间的往返时延：3 次试验中的第一次是 1.03ms，后继两次试验的往返时延是 0.48ms 和 0.45ms。这些往返时延包括刚才讨论的所有时延，即包括传输时延、传播时延、路由器处理时延和排队时延。因为该排队时延随时间变化，分组 n 发送到路由器 n 的往返时延实际上能够比分组 $n+1$ 发送到路由器 $n+1$ 的往返时延更长。的确，我们在上述例子中观察到了这种现象：到路由器 6 的时延比到路由器 7 的更大！

你想自己试试 Traceroute 程序吗？我们极力推荐你访问 <http://www.traceroute.org>，它的 Web 界面提供了有关路由跟踪的广泛的源列表。你选择一个源，并为任何目的地提供主机名，该 Traceroute 程序则会完成所有工作。有许多为 Traceroute 提供图形化界面的免费软件程序，其中我们喜爱的一个程序是 PingPlotter [PingPlotter 2012]。

2. 端系统、应用程序和其他时延

除了处理时延、传输时延和传播时延，端系统中还有其他一些重要时延。例如，作为它的协议的一部分，希望向共享媒体（例如在 WiFi 或电缆调制解调器情况下）传输分组的端系统可以有意地延迟它的传输以与其他端系统共享媒体；我们将在第 5 章中详细地考虑这样的一些协议。另一个重要的时延是媒体分组化时延，这种时延出现在经 IP 语音（VoIP）应用中。在 VoIP 中，发送方在向因特网传递分组之前必须首先用编码的数字化语音填充一个分组。这种填充一个分组的时间称为分组化时延，它可能较大，并能够影响用户感受到的 VoIP 呼叫的质量。这个问题将在本章结束的课后作业中进一步探讨。

1.4.4 计算机网络中的吞吐量

除了时延和丢包，计算机网络中另一个必不可少的性能测度是端到端吞吐量。为了定义吞吐量，考虑从主机 A 到主机 B 跨越计算机网络传送一个大文件。例如，也许是从一个 P2P 文件共享系统中的一个对等方向另一个对等方传送一个大视频片段。在任何时间瞬间的瞬时吞吐量（instantaneous throughput）是主机 B 接收到该文件的速率（以 bps 计）。（许