

# 基于多因素测量和分析用户到本地 DNS 递归服务器的网络性能

## 1. 研究目的与意义

随着网络技术的不断发展,人们的生活、工作和学习都越来越离不开互联网。而 DNS (Domain Name System, 域名系统) 将域名和 IP 地址相互映射, 作为互联网上重要的基础设施, 也成为了人们网络生活必不可少的一部分。

目前, 关于 DNS 递归服务器的研究, 主要集中在 DNS 服务器自身的健康状况上, 而用户到所使用的递归 DNS 服务器 (即本地 DNS 递归服务器) 的网络性能的质量, 同样决定域名解析的准确率和效率, 根据当前用户到本地 DNS 递归服务器的网络性能, 实时选择合适的 DNS 服务器, 可以给用户更好的网络体验。

本文从北京和山东两个网络探测点, 分别对大量北京和山东的 DNS 递归服务器进行网络性能测量, 模拟用户设置不同 DNS 服务器。本文分别从网络时延、时延抖动、丢包率、平均路径长度多个因素测量用户到 DNS 递归服务器的网络性能, 并从多个维度对数据进行分析。

## 2. 探测点和 DNS 递归服务器来源

本研究使用两个网络探测点 A 和 B, A 位于北京市大兴区, 为租用的阿里云服务器; B 位于山东省威海市, 哈尔滨工业大学 (威海), 该服务器位于大学校园内, 其出口 IP 为 221.2.164.4, 运营商为中国联通。

DNS 递归服务器来自于哈尔滨工业大学 (威海), 网络与信息安全研究中心前期对全国 DNS 服务器进行的分布探测。本文选择北京市的 500 个 DNS 递归服务器, 和山东省内的 151 个 DNS 递归服务器, 模拟用户到 DNS 递归服务器的网络性能的测量。

## 3. 网络性能测量因素和方法

分别测量两个城市的用户与使用两地 DNS 递归服务器之间的网络性能, 得到探测点 A 和 B 分别到两地的 DNS 递归服务器的路由平均路径长度、往返时延、时延抖动以及丢包率等网络性能指标, 因为网络性能数据的实时性, 本文对

所有数据连续探测 3 天（2017.6.16-2017.6.18），分析多次探测的结果。

测量的网络性能因素主要包括以下 4 个方面：

- (1) **路径长度** 是指数据包从用户到本地递归服务器之间所经由转发的路由器的个数，使用 `traceroute` 命令获取用户到本地递归服务器的路径长度。
- (2) **往返延迟** 是指数据包从用户经过多次转发到达 DNS 递归服务器再返回到用户所经历的时间。
- (3) **时延抖动** 是指由于网络因素造成的数据包之间时间间隔。根据一段时间内探测得到的往返时延，可以计算出该段时间内的时延抖动。定义一段时间内的试验为  $d_i (i=1,2,\dots)$  ,  $i$  表示数据包序号， $Avg(d)$  为时延  $d_1$  到  $d_n$  的平均值，则时延抖动的计算公式见式（1）：

$$D = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_i - Avg(d))^2} \quad (1)$$

式中， $D$  表示  $d_1$  到  $d_n$  的时延抖动； $n$  表示测量时延的包的个数

- (4) **丢包率** 是指由于网络拥塞造成的数据包丢失数量占发送数量的比率。探测时，使用 `ping` 命令得到一段时间内用户到 DNS 递归服务器的丢包率。

如图 1 所示，为用户到 DNS 递归服务器网络性能测量架构图。

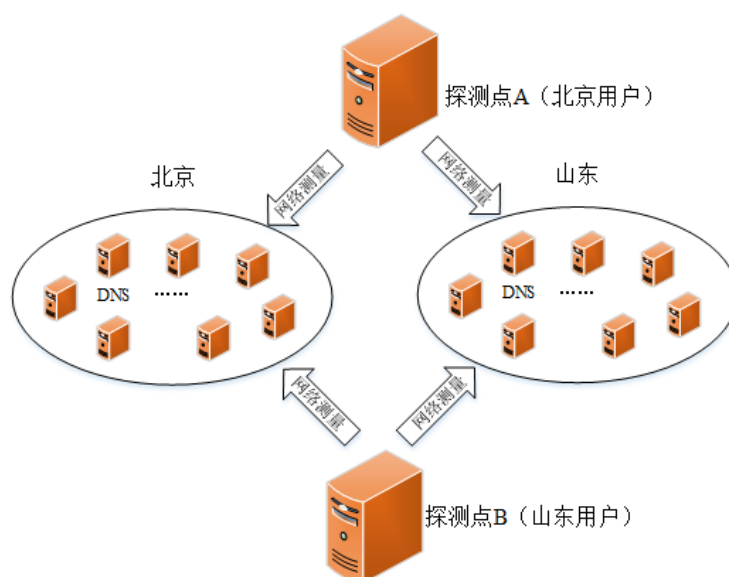


图 1 用户到 DNS 递归服务器之间网络性能测量的架构图

如图 1 所描述，分别使用北京和山东两个探测点，作为用户，同时对两个地区的 DNS 递归服务器的 IP 进行探测，获取网络性能的相关因素，该方法要求两个探测点同时进行探测，能够在一定程度上保证两点网络环境的一致性，为数据分析的正确性提供保障。

获取两个探测点对 DNS 服务器的网络性能测量数据后，采用以下方法对数据进行分析研究。

- (1) 分析本地用户到本地 DNS 递归服务器的网络性能；
- (2) 分析本地用户到异地 DNS 递归服务器的网络性能；
- (3) 数据交叉比对分析；
- (4) 分析不同时间段，用户到递归服务器网络性能情况；
- (5) 网络性能是否与运营商和地理位置有关。

## 4. 结果分析

### 4.1. 异常数据剔除

由于网络原因，有时会导致部分探测数据异常偏大，若不对异常数据处理，会导致整体结果不准确，我们采用标准化数值（Z-score）方法进行异常数据处理，计算公式见式（2）。Z 分数标准化后的数据服从正态分布。因此，应用 Z 分

数可识别异常值。本文将 Z 分数低于-3 或高于 3 的数据看成是异常值，直接去除。

$$x' = \frac{x - \mu}{\sigma} \tag{2}$$

其中， $\mu$  是样本均值， $\sigma$  是样本标准差。

因为部分 DNS 服务器动态改变，所有数据去除丢包率为 100% 的测量记录。

4.2. 山东省 DNS 递归服务器网络性能测量

分别使用探测点 A 和 B，测量探测点到山东省的 DNS 服务器的网络性能，即模拟用户使用山东省的 DNS 服务器。从运营商、地理位置、时间等多个维度，对获取的测量数据进行分析，以下分别从往返时延、时延抖动、丢包率和平均路径长度，进行网络性能分析。

(1) 往返时延

如图 2 所示，为不同探测点到不同运营商的 DNS 服务器的网络往返延迟情况。可以看出，两个探测点到联通的 DNS 服务器往返延迟都是最小，即速率最快，电信与鹏博士时延基本一样，教育网则较差。另一方面，A 探测点的往返时延整体比北京探测点的时延低，可能是由于网络设备的地域原因。

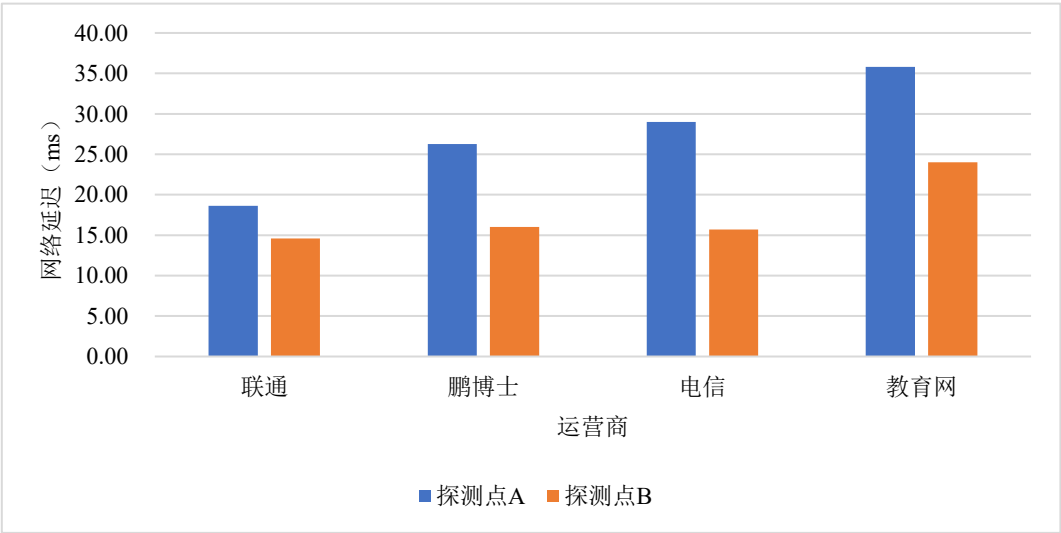


图 2 不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的网络时延

如图 3 所示，为探测点 A 和 B 到不同城市的 DNS 递归服务器的网络延迟情

况统计。可以看出，探测点 B 到各个城市的平均网络延迟比北京探测点的较小，特别是因为探测点 B 在威海，威海的网络延迟最小。另外，东营市在两个探测点都是最差的地区。探测点 A 到各个城市的网络时延相差不大，除了东营市。

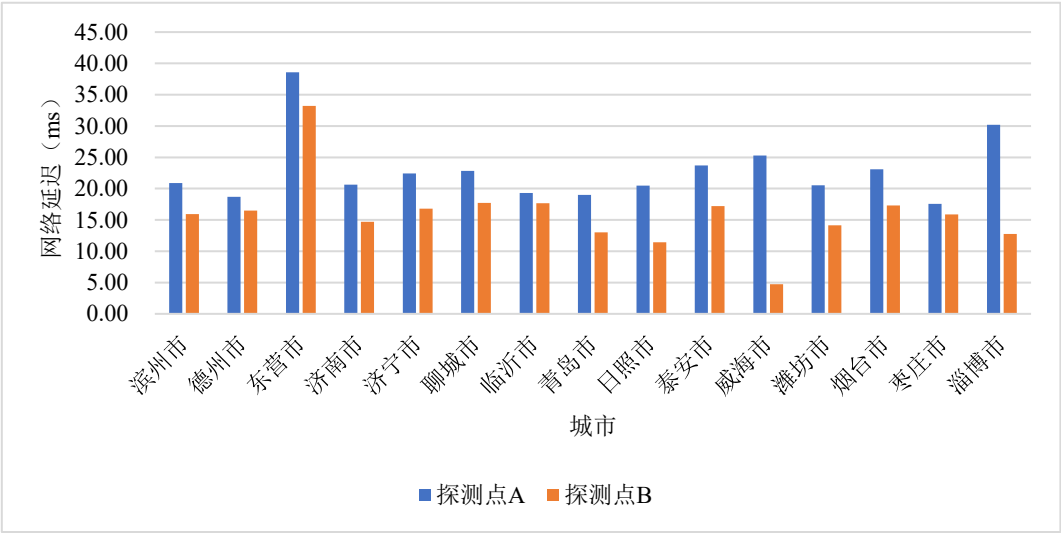


图 3 不同探测点到不同城市 DNS 服务器的网络往返时延

如图 4 所示为 24 小时内，不同时间段探测点到 DNS 递归服务器的往返时延。可以看出，1) 探测点 A 较为稳定，原因可能是因为异地探测，网络延迟较大，波动小，整体情况相同；2) 探测点 B 则波动较大，特别是在 12 点和 18 点左右，符合网络实际预期情况；3) 探测点 A 与 DNS 服务器之间的网络延迟高于探测点 B。

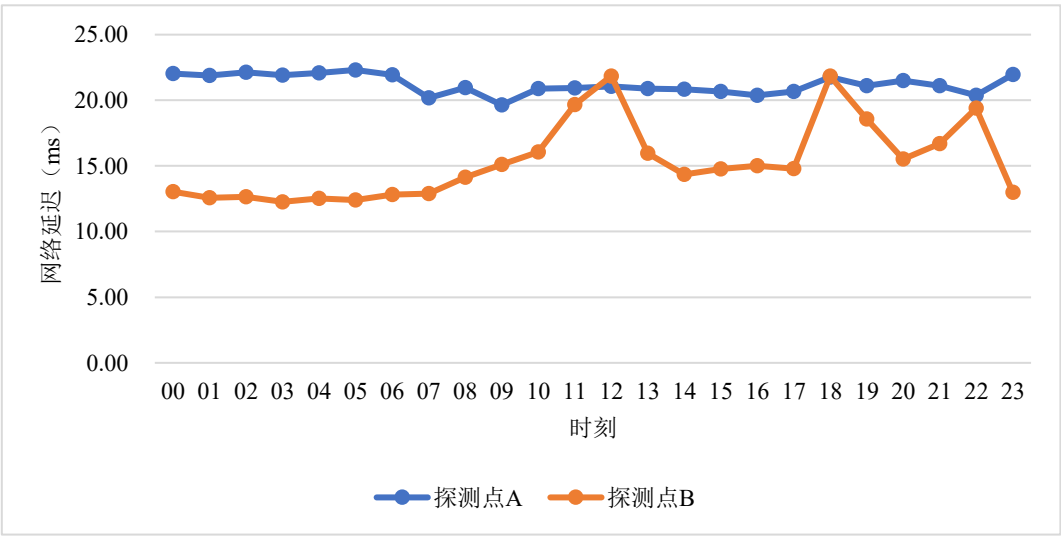


图 4 不同时间段内探测点到 DNS 递归服务器的往返时延

(2) 时延抖动

图 5 所示，为不同探测点到不同运营商的 DNS 服务器的时延抖动情况。可以看出，1) 探测点 A 测量 DNS 服务器的时延抖动小于探测点 B，说明北京的网络更加稳定；2) 两个探测点都是教育网的时延抖动最小，其他运营商时延抖动基本相同。

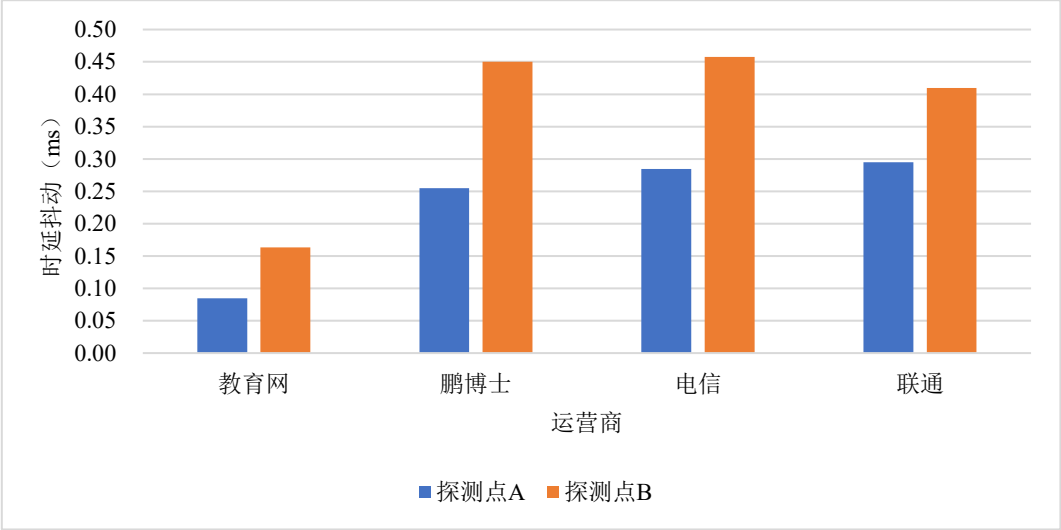


图 5 不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的时延抖动

图 6 所示，为不同探测点到不同城市的 DNS 的网络时延抖动情况。可以发现，两个探测点到各个城市的 DNS 服务器的时延抖动基本相同，东营市的时延抖动最大。

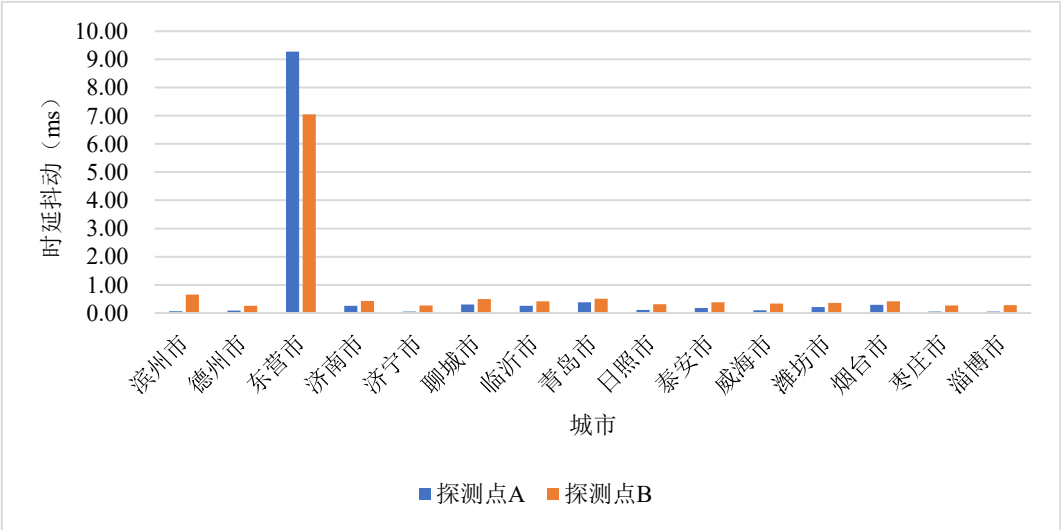


图 6 不同探测点到不同城市的 DNS 的网络时延抖动

如图 7 所示，为不同时间段内探测点到 DNS 服务器的时延抖动情况。可知，

1) 探测点 B 的整体时延抖动高于探测点 A; 2) 两个探测点的时延抖动趋势较为相似, 都是在中午 12 点左右和晚上 18 点, 波动较大。有意思的是, 可以看出, 北京的网络在 20 点左右较为平缓, 可以猜想大家外出娱乐较多, 而晚上 10 点之后, 网络延迟和抖动较大, 大家开始上网, 探测点 B 正好相反。

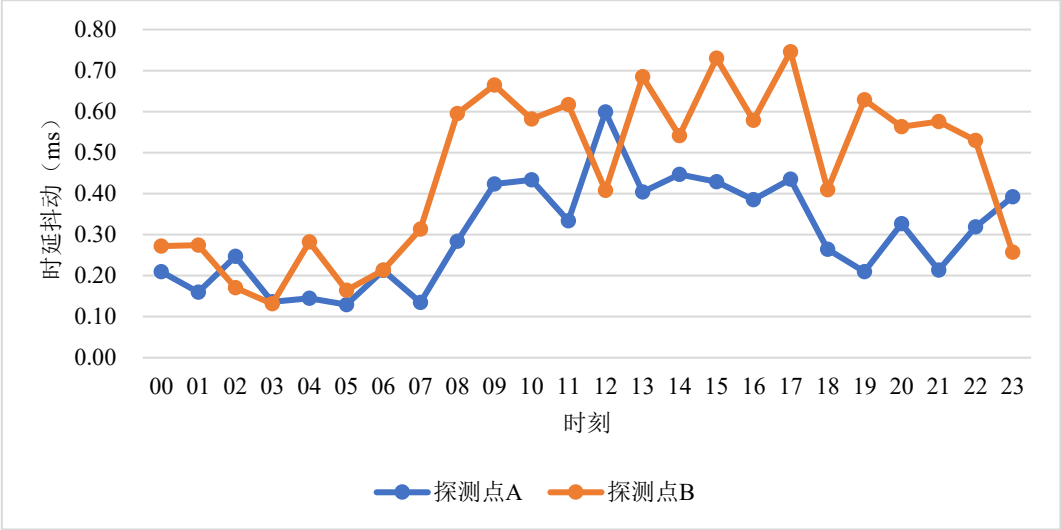


图 7 不同时间段内探测点到 DNS 递归服务器的时延抖动

(3) 丢包率

图 8 所示, 为不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的丢包率。可以看出, 1) 探测点 A 和 B 所探测的运营商的丢包率排名相同, 教育网最优, 联通丢包率较高, 性能最差; 2) 探测点 A 到各个运营商的 DNS 服务器的丢包率较低。

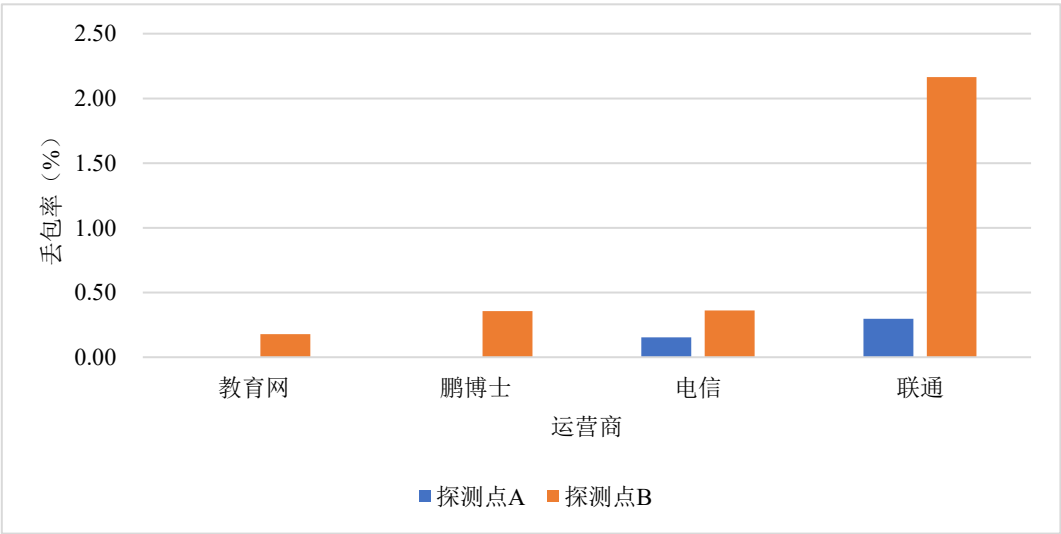


图 8 不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的丢包率

图 9 所示，为不同探测点到不同城市的 DNS 服务器的丢包率统计。可以看出，1) 探测点 A 到各个城市的 DNS 服务器的丢包率较小，性能较好；2) 东营市在两个探测点上的结果都较差；3) 探测点 B 到各个城市都有较高的丢包率。

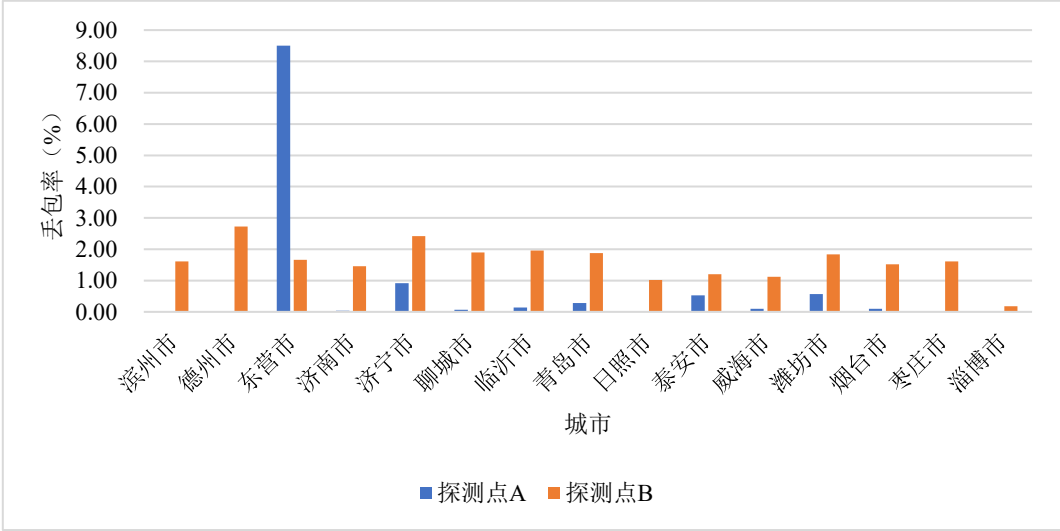


图 9 不同探测点到不同城市的 DNS 服务器的网络丢包率

图 10 所示，为不同时间段内探测点到 DNS 递归服务器的丢包率，可以看出，1) 不同时间段，探测点 A 到 DNS 服务器的丢包率较低，并且平稳，说明北京的整体网络性能好；2) 探测点 B 到 DNS 服务器的丢包率在 0 点-7 点较低和平稳，而 8 点-23 点则有波动，且符合实际预期，即网络高峰期丢包严重。

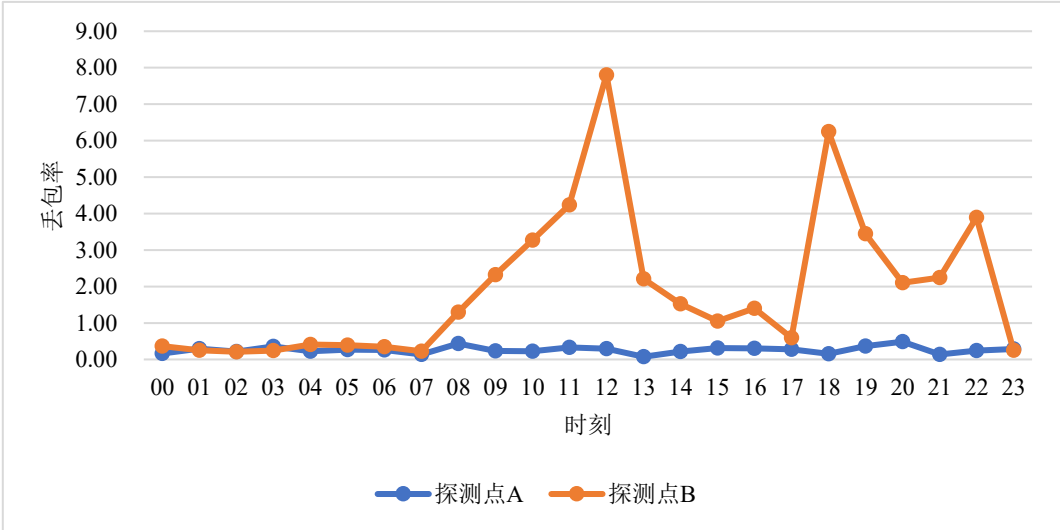


图 10 不同时间段内探测点到 DNS 递归服务器的丢包率

(4) 平均路径长度



如图 11 所示，为不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的平均路径长度。可知，1) 探测点 B 到各个运营商的 DNS 服务器平均路径长度基本一致；2) 探测点 A 到教育网的平均路径比探测点 B 到教育网的路径长 4 跳，电信则多 1 跳，联通则基本一致。

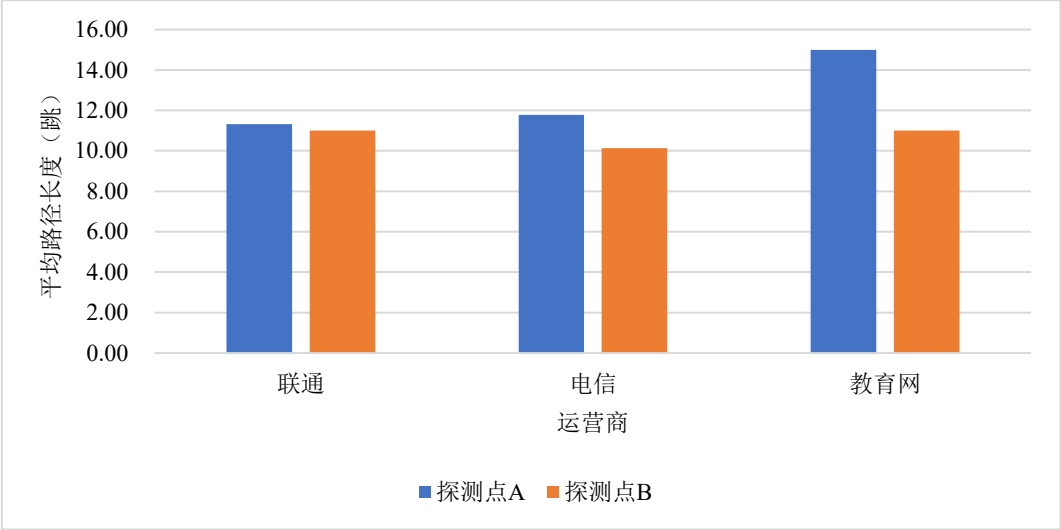


图 11 不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的路径长度

如图 12 所示，为不同探测点到不同城市的 DNS 服务器的平均路径长度，可以发现两个探测点的路径长度基本一致，探测点 B 因为在威海市，所以路径长度较小，而东营市的又是路径长度最长的城市，所以其网络时延和时延抖动也较大。

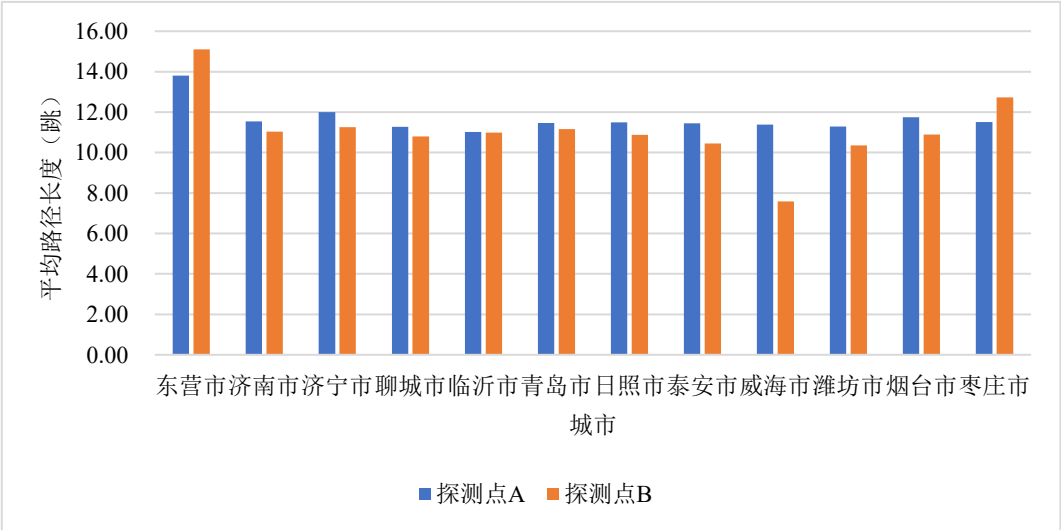


图 12 不同探测点到不同城市的 DNS 服务器的平均路径长度

如图 13 所示，为不同时间段内探测点到 DNS 服务器的平均路径长度，可以

发现，在不同时间段探测点 A 和 B 各自的平均路径长度基本一致，北京比山东探测点的路径长度基本只多出 1 跳（重要跳）。

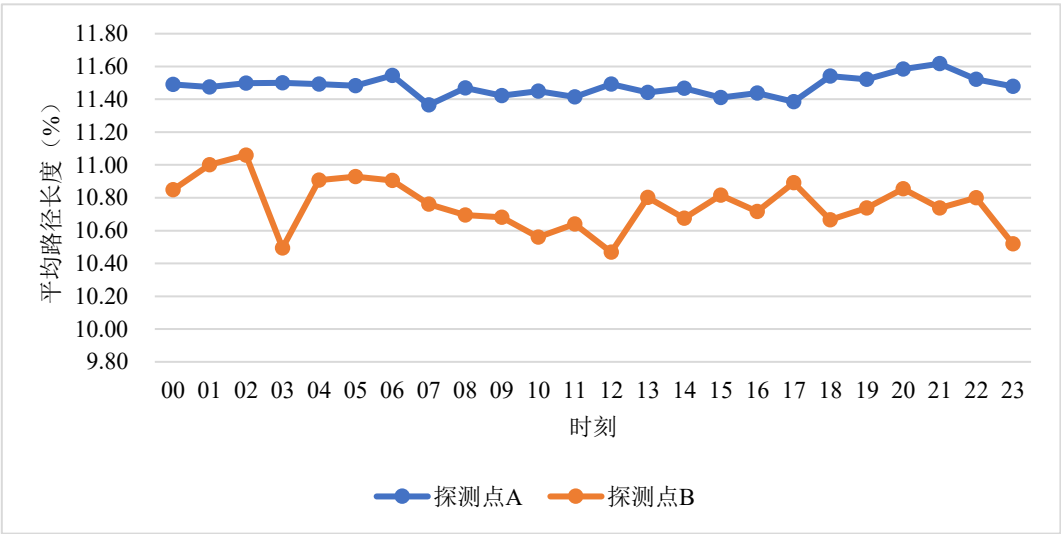


图 13 不同时间段内探测点到 DNS 递归服务器的平均路径长度

### 4.3. 北京市 DNS 递归服务器网络性能测试

分别使用探测点 A 和 B，测量用户到北京市的 DNS 服务器的网络性能，从运营商、地理位置、时间等多个维度，对获取的测量数据进行分析，以下分别从往返时延、时延抖动、丢包率和平均路径长度，进行网络性能分析。

#### (1) 往返时延

如图 14 所示，为不同探测点到不同运营商的 DNS 服务器的网络延迟情况，可以出 1) 探测点 A 的整体网络延迟小于探测点 B 的情况；2) 因为探测点 A 使用阿里云服务器运营商，所以阿里云的网络延迟最小；3) 不同运营商的网络延迟差别较大，可以分等级进行区分。

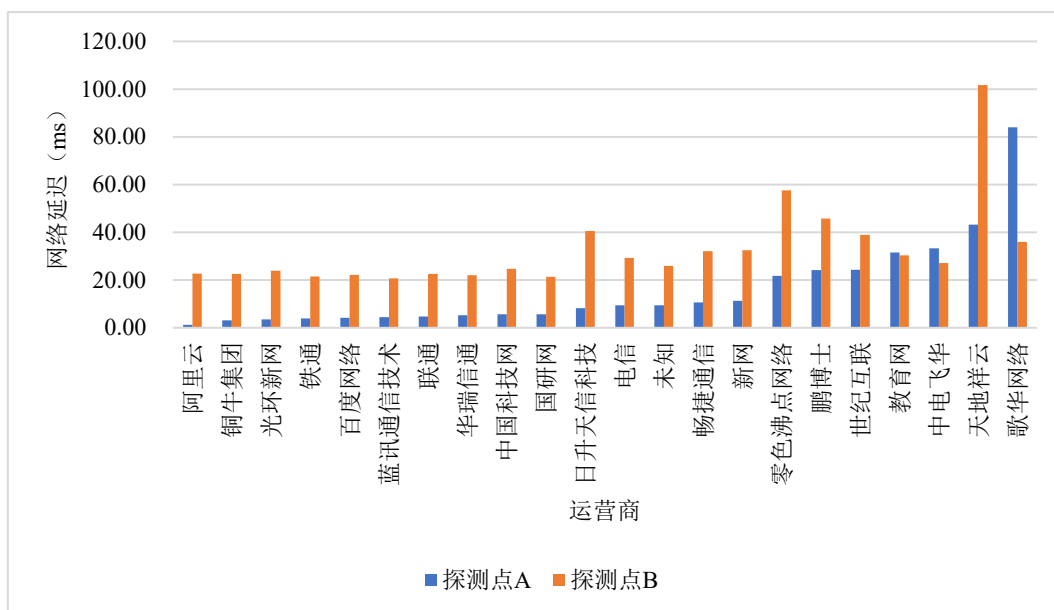


图 14 不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的网络时延

图 15 所示，为不同时间段内探测点到 DNS 递归服务器的网络时延情况，可知，探测点 B 整体比探测点 A 延迟大，两者的波动错位 1-2 个小时，说明生活习惯不一样，工作方式。

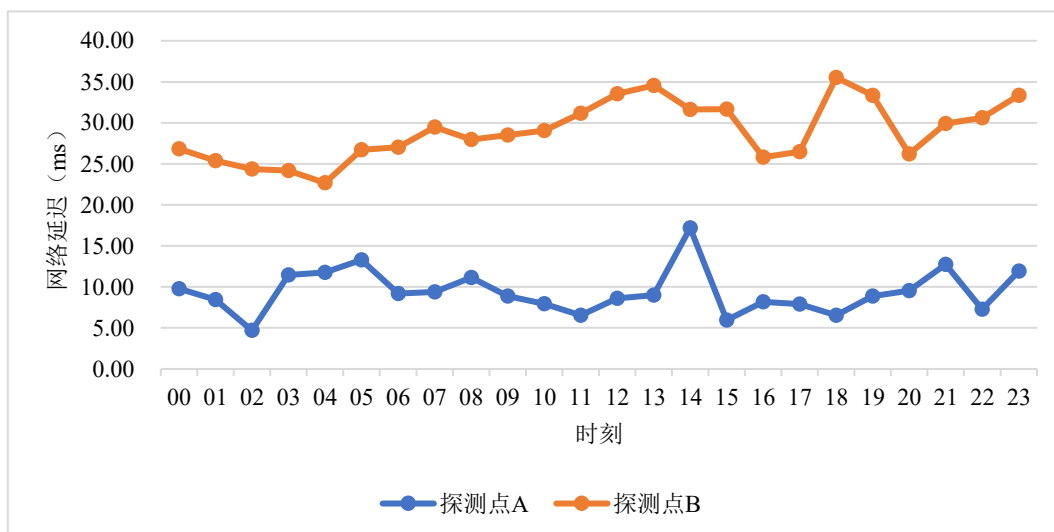


图 15 不同时间段内探测点到 DNS 递归服务器的网络时延

## (2) 时延抖动

如图 16 所示，为不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的时延抖动，可以看出，1) 两个探测点对各个运营商的情况探测相同；2) 探测点 B 整体比探测点 A 的时延抖动要大；3) 可以发现网络性能较好的运营商。

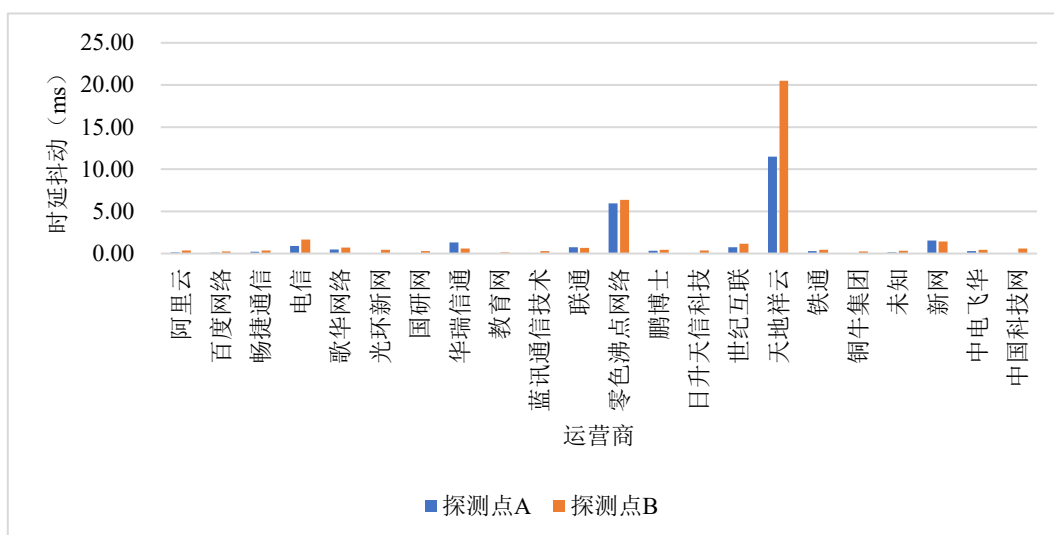


图 16 不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的时延抖动

如图 17 所示，为不同时间段内探测点到 DNS 服务器的时延抖动情况。可知，1) 探测点 B 整体比探测点 A 抖动要大，不稳定；2) 探测点 B 的波形比探测点 A 要提前 1 个小时，说明两个地区的网络性能不同，跟人们的工作和生活习惯有关。

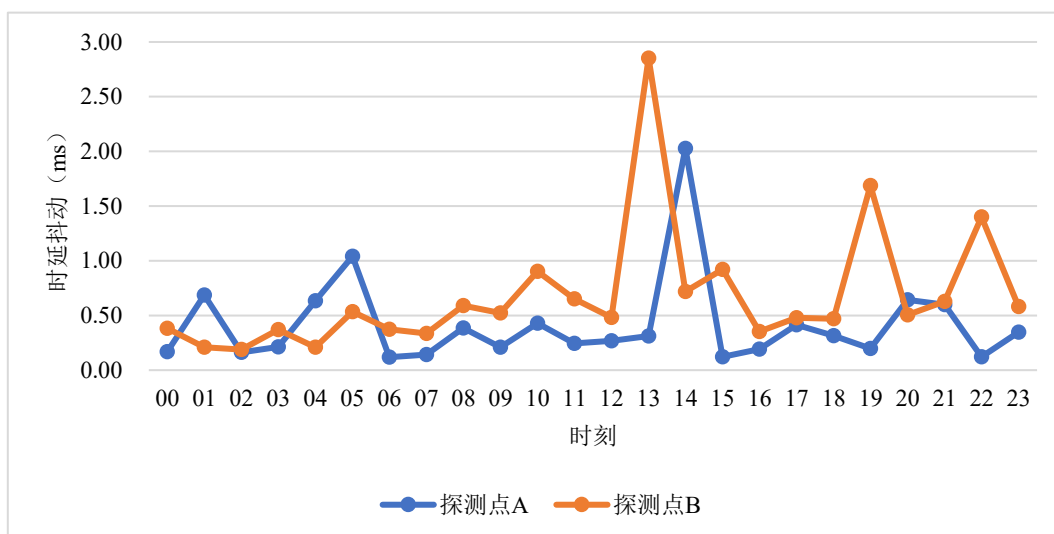


图 17 不同时间段内探测点到 DNS 递归服务器的时延抖动

### (3) 丢包率

如图 18 所示，为不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的丢包率，可知，1) 探测点 B 的丢包率远远大于探测点 A 的丢包率；2) 部分运营商的丢包率较高，例如歌华网络；3) 相同运营商，对不同地区探测点或运营商的网络支持应该有所区别。

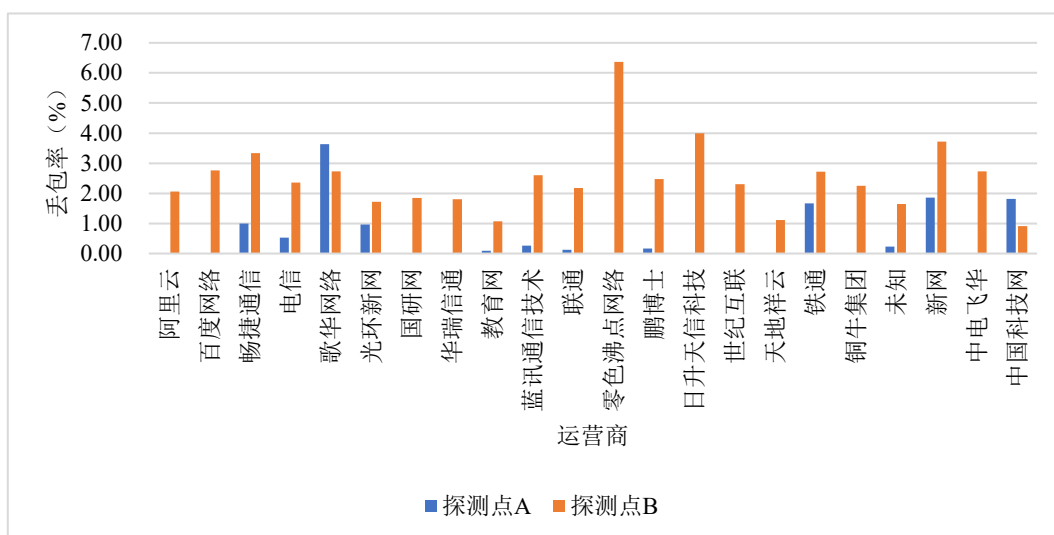


图 18 不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的丢包率

如图 19 所示, 为不同时间段内, 探测点到 DNS 服务器的丢包率, 可以发现, 探测点 A 较为稳定, 而探测点 B 波动较大, 且整体丢包率高于探测点 A。

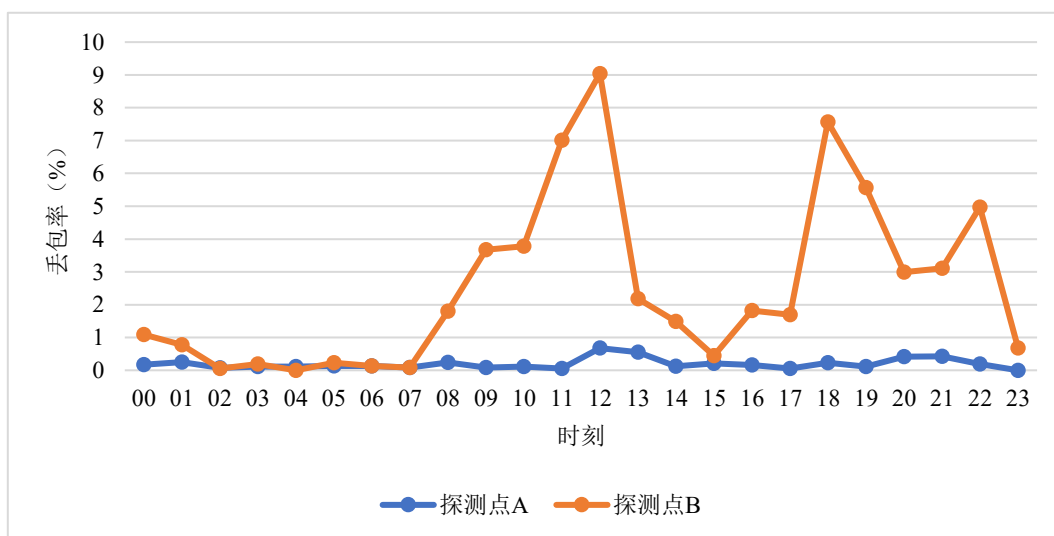


图 19 不同时间段内探测点到 DNS 递归服务器的丢包率

#### (4) 路径长度

如图 20 所示, 为不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的平均路径长度。可知, 1) 探测点 B 要比探测点 A 到服务器的路径长 7-8 跳左右; 2) 探测点 A 使用阿里云服务器, 所以条数最少, 而零色沸点网络则条数也很少; 3) 相同地区, 不同运营商之间的路径长度也不同。

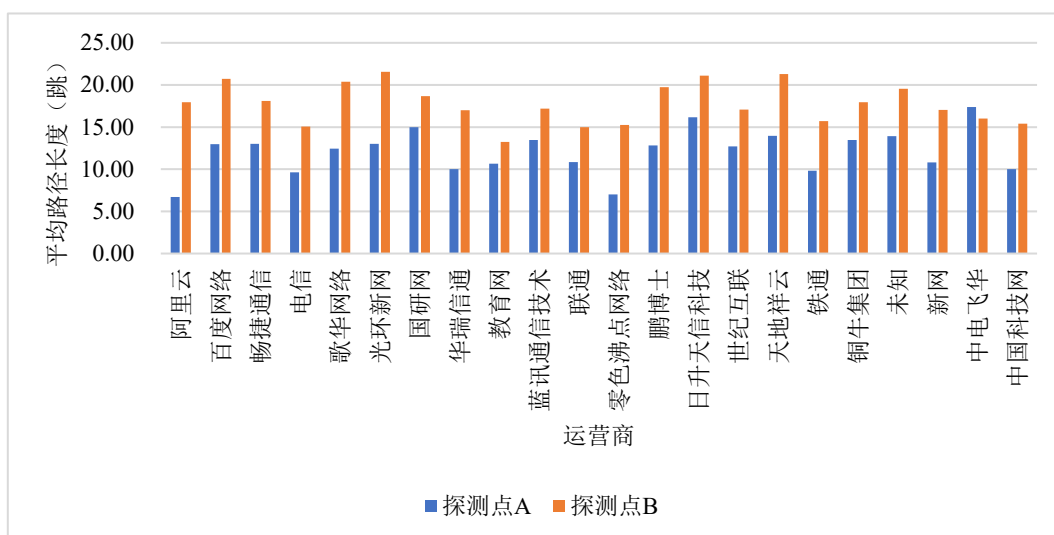


图 20 不同探测点到不同运营商 DNS 服务器的平均路径长度

如图 21 所示，为不同时间段内探测点到 DNS 服务器的平均路径长度，可知  
 1) 探测点 B 比探测点 A 要多 7-8 跳；2) 探测点 A 的条数不稳定，网络较好时，条数会减少，而探测点 B 则较为稳定。

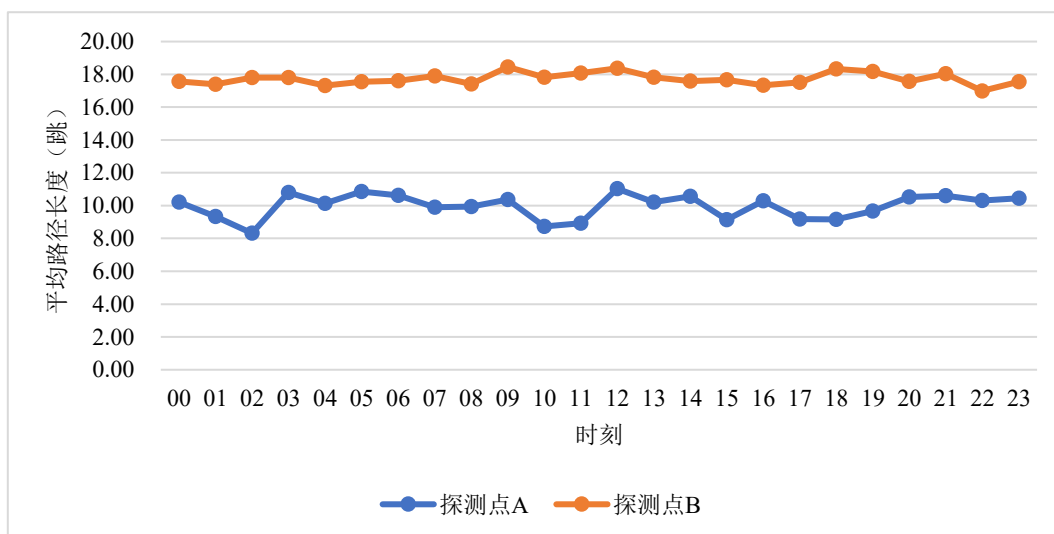


图 21 不同时间段内探测点到 DNS 递归服务器的平均路径长度

#### 4.4. 地区网络性能交叉比较

##### (1) 平均路径长度

对用户到 DNS 递归服务器的平均路径长度分析，可知，北京地区用户到本地的 DNS 递归服务器的平均路径长度为 9.97 跳，同样山东省内的平均路径长度为 10.76 跳，可知两个地区内部的路径长度基本一致。

值得注意的是，北京用户使用山东省内 DNS 递归服务器，则用户到递归服务器的平均路径长度为 11.48 跳，与北京市内的平均路径长度只相差 1 跳左右。然而，山东省内的用户使用北京的 DNS 递归服务器则平均路径长度增长为 17.73 跳，竟然相差 6 跳左右。

### **(2) 网络延迟情况**

山东省用户到山东省 DNS 递归服务器的网络延迟为 15.33ms；而北京市用户到北京的 DNS 递归服务器网络延迟为 9.43ms；北京用户若使用山东 DNS 服务器则延迟为 21.22ms；山东用户若使用北京的 DNS 服务器则延迟为 29.00ms，高出 8ms 左右。

### **(3) 时延抖动**

山东省内用户到山东省内 DNS 服务器的网络时延抖动为 0.46ms，北京则为 0.42ms；北京用户使用山东的 DNS 服务器的时延抖动为 0.30ms，相反则时延抖动为 0.68ms。

### **(4) 丢包率**

山东省内用户到山东省内 DNS 服务器的丢包率为 1.93%，北京市则为 0.17%；北京用户使用山东省的 DNS 服务器的丢包率为 0.26%，相反则为 2.51%。可知山东省内的网络性能弱于北京市。

## **5. 结论**

通过上述对多点测量结果的数据分析，本文得出以下结论。

- (1) 一般情况下，用户使用异地 DNS 递归服务器的网络性能比本地运营商提供的服务器网络性能较差，主要表现在往返时延较长，时延抖动较大，平均路径较长，易发生节点故障，丢包率也较高；
- (2) 一般情况下，用户使用相同运营商提供的 DNS 递归服务器，网络性能较好；
- (3) 不同时间段内，网络性能不同，与实际网络使用环境有关；
- (4) 山东省不同地区的网络性能相差较大，所以 DNS 服务器的选择与地理位置一定关系；
- (5) 北京市的整体网络环境要远远好于山东省。

## 6. 待改进地方

因为时间原因，本文只是对 DNS 网络性能进行简单的初步测量与分析，提出研究思路，目前主要存在以下问题，需要在后续的研究中解决：

- (1) 探测点较少，无法较详细，较完整的测量网络性能。只使用两个探测点 A 和 B，预计不同地区至少保证 3 个探测点，才能在一定程度上保证数据的精确；
- (2) DNS 递归服务器较少，因为时间原因，本文使用了较少的递归服务器进行测试，使用的 DNS 覆盖各个城市越多，越能更详细的绘制某地区的网络性能情况；
- (3) 需要考虑带宽问题，对网络性能造成的影响；
- (4) 需要不同运营商的探测点进行数据分析；
- (5) 异常数据的处理方法较为粗糙，使用多个异常处理的方法进行检验；
- (6) 本文对数据只进行了二维分析，可尝试从多维角度分析，发现更多实际结果。例如，不同运营商在不同地理位置的网络时延。
- (7) 分析两地的丢包情况，可以通过路径查看，丢包是发生在哪个地区。