

许不法分子把别人发送给 A 的数据报，转发到被暗中设定的某个伪造的外地代理。

移动 IP 的实现会遇到很多具体问题。我们知道，上述的移动 IP 的基本假定就是移动站首先必须有一个永久 IP 地址。但哪个运营商会给你你的移动设备指派一个永久 IP 地址呢？至少在目前这个问题在实践中尚未得到解决。限于篇幅，这里不再继续进行讨论了。

9.4.2 移动网络对高层协议的影响

前面讲过的无线网络在移动站漫游时，会经常更换移动用户到无线网络的连接点（即到移动站相关联的基站）。这样，网络的连接就会发生很短时间的中断。那么，这种情况对高层协议有没有影响呢？现在我们简单讨论一下这个问题。

我们知道，在 TCP 连接中，只要发生报文段的丢失或出错，TCP 就要重传这个丢失或出错的报文段。在移动用户的情况下，TCP 报文段的丢失，既可能是由于移动用户切换引起的，也可能是由于网络发生了拥塞。由于移动用户更新相关联的基站需要一定的时间（即不可能在数学上的瞬间完成），这就可能造成 TCP 报文段的丢失。但 TCP 并不知道现在出现的分组丢失的确切原因。只要出现 TCP 报文段频繁丢失，TCP 的拥塞控制就会采取措施，减小其拥塞窗口，从而使 TCP 发送方的报文段发送速率降低。这种措施显然是默认了报文段丢失是由网络拥塞造成的。可见，当无线信道出现严重的比特差错，或由于切换产生了报文段丢失，减小 TCP 发送方的拥塞窗口对改善网络性能并不会有任何好处。

经过研究，发现可以使用三种方法来处理这个问题。

(1) 本地恢复。这是指差错在什么地方出现，就在什么地方改正。例如，在无线局域网中使用的自动请求重传 ARQ 协议就属于本地恢复措施。

(2) 让 TCP 发送方知道什么地方使用了无线链路。只有当 TCP 能够确知，是有线网络部分发生了拥塞时，TCP 才采用拥塞控制的策略。然而要能够区分是在有线网段还是无线网段出现报文段丢失，还需要一些特殊的技术。

(3) 把含有移动用户的端到端 TCP 连接拆成两个互相串接的 TCP 连接。从移动用户到无线接入点是一个 TCP 连接（这部分使用无线信道），而剩下的使用有线网段连接的部分则是另一个 TCP 连接（我们假定 TCP 连接的另一端是有线主机）。已经有人研究过，采用拆分 TCP 连接的方法，在使用无线信道的 TCP 连接上，既可以使用标准的 TCP 协议，也可以使用有选择确认的 TCP 协议，甚至还可以使用专用的、有差错恢复的 UDP 协议。在蜂窝无线通信网中实验的结果表明，采用拆分 TCP 连接的方法可以使整个性能得到明显的改进。

9.5 移动通信的展望

前面我们已经介绍了移动通信与计算机网络关系较密切的若干问题。为便于记忆，蜂窝移动通信从 1G 到 4G 的发展规律，可以认为大约是十年更新一代。从最初的 1G（模拟电话），发展到 2G（数字电话），然后演进到具有较强数据传输能力的 3G，再到可支持高质量音频和视频传输和高速率移动互联网业务的 4G（全 IP 网）。现在又发展到了第五代蜂窝移动通信 5G，甚至连 5.5G 或 6G 也相继被提出了。在我国，工信部已于 2019 年 10 月 31 日宣布 5G 的商用正式启动。下面简要地介绍一下 5G 的要点。

从 1G 到 2G，通信主要局限在人与人之间的通信。到了 3G 和 4G 时代，智能手机不仅能够提供人与人之间通信，而且还发展到可以提供多人参加的视频聊天。此外，还增加了人

与互联网之间的通信（下载文件、音乐、视频等）。这种通信方式均可称为人联网。

我们在前面 9.1.1 节中曾简单地介绍了物联网 IoT。物联网现在发展很快，在 4G 时代就已经有了一些物联网的应用。但 5G 就非常明确地把物联网作为一个非常重要的应用领域。

现在 5G 标准的制定机构 3GPP 把 5G 的传输业务划分为以下三大类（在 5G 标准中称为三大应用场景），即：

- (1) 增强型移动宽带 eMBB (enhanced Mobile BroadBand)
- (2) 大规模机器类型通信 mMTC (massive Machine Type Communication)
- (3) 超高可靠超低时延通信 uRLLC (ultra Reliable and Low Latency Communication)

第一种应用场景 eMBB 实际上就是 4G LTE 的升级版本，它仍然属于人联网。在这一类应用场景中，5G 要传输的新型业务主要是三维（即 3D）视频和超高清视频等大流量移动宽带业务。3D 视频包括虚拟现实 VR (Virtual Reality) 和增强现实 AR (Augmented Reality)。

上面的后两种应用场景 mMTC 和 uRLLC 都属于物联网。mMTC 又称为海量物联网，这种应用场景的数据率较低且时延并不敏感，但其连接的终端种类却非常广泛，不仅要求网络具有超千亿连接的支持能力，而且终端成本必须很低而电池寿命却要求很长，例如 10 年以上。这类应用场景包括智慧城市、智能家居、智能电网、物流跟踪、环境监测等方面。应用场景 uRLLC 则使用在工业控制、交通安全和控制、远程制造、远程手术以及无人驾驶等领域。

为了适应上述三种应用场景，5G 制定的标准规定其下行数据峰值速率为 10 Gbit/s（常规情况下），而在特定场景（VR 和 AR）时数据率可达 20 Gbit/s。5G 还制定了新的空口标准 5GNR (5G New Radio)，使用户层面无线信道的单向时延大大缩短（可小到毫秒级），这就保证了 5G 的整个端到端时延均可满足各种应用场景的需求。5G 还采用了一些比 4G 更高的频率，可使用更大的信道带宽，这有助于提高数据的传输速率。5G 的频谱效率（即在同样带宽下传输的数据量）也比 4G 的增加数倍。因此 5G 的特点可以简单地归纳为：极高的速率，极大的容量，极低的时延。值得注意的是，5G 并非 4G 的简单升级版本，而是在应用方面有许多崭新的领域，具有划时代的意义。

在使用的频谱方面，5G 引入了毫米波，即频率在 30 ~300 GHz 之间的无线电波，其波长为 1~10 mm。这里面还有许多新的技术问题有待于进行研究和解决。5G 还选用了与 4G 不同的信道编码方式。5G 的天线也有多方面的创新。例如，采用天线波束赋形技术，并把多进多出 MIMO 发展到大规模 MIMO 系统和立体三维 MIMO 技术，等等。

在更高的工作频率下，每个基站的覆盖范围就缩小了，因而 5G 所架设的基站必须更加密集。这显然就增加了 5G 网络的复杂性，也增加了网络运营商的投资和运营成本。因此 5G 的发展前景不单纯是个简单的学术性或技术水平问题，而是与未来的商业市场密切相关的。也就是说，上述的三个应用场景今后究竟会发展到何种水平，目前还都是未知。我们在学习 5G 新技术时，对此应有足够的重视。

本章的重要概念

- 无线局域网可分为两大类。第一类是有固定基础设施的，第二类是无固定基础设施的。
- 无线局域网的标准是 IEEE 的 802.11 系列。使用 802.11 系列协议的局域网又称为 Wi-Fi。