

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 5G NR (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。