

式 (2-2) 提供了对于 P2P 体系结构的最小分发时间的下界。这说明, 如果我们认为一旦每个对等方接收到一个比特就能够重分发一个比特的话, 则存在一个重新分发方案能实际取得这种下界 [Kumar 2006]。(我们将在课后习题中证明该结果的一种特情形。) 实际上, 被分发的是文件块而不是一个个比特。式 (2-2) 能够作为实际最小分发时间的很好近似。因此, 我们取由式 (2-2) 提供的下界作为实际的最小分发时间, 即

$$D_{\text{P2P}} = \max \left\{ \frac{F}{u_s}, \frac{F}{d_{\min}}, \frac{NF}{u_s + \sum_{i=1}^N u_i} \right\} \quad (2-3)$$

图 2-25 比较了客户-服务器和 P2P 体系结构的最小分发时间, 其中假定所有的对等方具有相同的上载速率 u 。在图 2-25 中, 我们已经设置了 $F/u = 1$ 小时, $u_s = 10u$, $d_{\min} \geq u_s$ 。因此, 在一个小时中一个对等方能够传输整个文件, 该服务器的传输速率是对等方上载速率的 10 倍, 并且 (为了简化起见) 对等方的下载速率被设置得足够大, 使之不会产生影响。我们从图 2-25 中看到, 对于客户-服务器体系结构, 随着对等方数量的增加, 分发时间呈线性增长并且没有界。然而, 对于 P2P 体系结构, 最小分发时间不仅总是小于客户-服务器体系结构的分发时间, 并且对于任意的对等方数量 N , 总是小于 1 小时。因此, 具有 P2P 体系结构的应用程序能够是自扩展的。这种扩展性的直接成因是: 对等方除了是比特的消费者外还是它们的重新分发者。

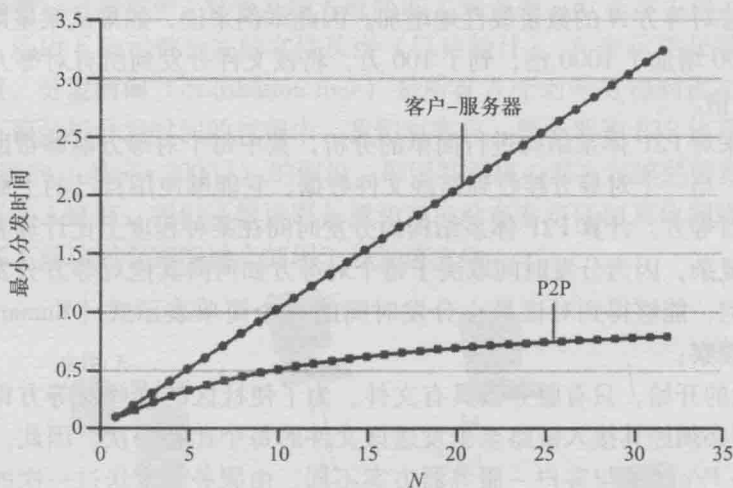


图 2-25 P2P 和客户-服务器体系结构的分发时间

2. BitTorrent

BitTorrent 是一种用于文件分发的流行 P2P 协议 [Chao 2011]。用 BitTorrent 的术语来讲, 参与一个特定文件分发的所有对等方的集合被称为一个洪流 (torrent)。在一个洪流中的对等方彼此下载等长度的文件块 (chunk), 典型的块长度为 256KB。当一个对等方首次加入一个洪流时, 它没有块。随着时间的流逝, 它累积了越来越多的块。当它下载块时, 也为其他对等方上载了多个块。一旦某对等方获得了整个文件, 它也许 (自私地) 离开洪流, 或 (大公无私地) 留在该洪流中并继续向其他对等方上载块。同时, 任何对等方可能在任何时候仅具有块的子集就离开该洪流, 并在以后重新加入该洪流中。

我们现在更为仔细地观察 BitTorrent 运行的过程。因为 BitTorrent 是一个相当复杂的协