

# ALOHA<sup>NET</sup>: 初代无线通信系统的介质访问算法分析\*

黄卓彬<sup>1</sup>

<sup>1</sup>电子科技大学

## 1 导论

ALOHA<sup>net</sup>, 也称为 ALOHA 系统, 或简称 ALOHA, 是夏威夷大学开发的开创性的计算机网络系统。ALOHA<sup>net</sup> 于 1971 年 6 月开始运营, 是人类开发并且投入应用的第一个无线分组数据网络。ALOHA<sup>net</sup> 在链路层上使用了一种新的媒体介质访问方法 (ALOHA 随机访问, 我们在 § 2 中将会进行分析), 在物理层上使用了实验性超高频 (UHF)。使用 UHF 的原因是在上个世纪 70 年代, 虽然用于与计算机通信的频率分配不适用于商业应用, 但还有两种其他媒体可用于 ALOHA 频道的应用——电缆和卫星。在 1970 年代, ALOHA 随机访问被用于新生的基于以太网电缆的网络。

在 1980 年代初期, 移动网络的频率变得可用, 并且在 1985 年, 适用于被称为 Wi-Fi 的频率在美国分配。这些监管发展使得在 Wi-Fi 和移动电话网络中使用 ALOHA 提出的随机访问技术成为可能。

ALOHA 信道在上个世纪 80 年代在 1G 手机中以有限的方式用于信令和控制目的。在 80 年代后期, 致力于泛欧数字移动通信系统的欧洲标准化组织 GSM 极大地扩展了 ALOHA 信道的使用, 以访问移动电话中的无线电信道。此外, 在 2G 手机中实现了 SMS 消息短信。在 2000 年代初期, 随着 GPRS 的广泛引入, 额外的 ALOHA 信道被添加到 2.5G 和 3G 手机中。

## 2 ALOHA<sup>NET</sup> 介质访问算法分析 [1]

### 2.1 Pure ALOHA<sup>NET</sup>

Pure ALOHA 的协议归根结底就是: ❶ 如果站点有数据要发送, 那么就发送这些数据; ❷ 如果一个站点在发送数据的时候, 接收到了数据, 那么说明信道上发生了碰撞, 所有的正在发送数据的站点都需要在一段时间之后尝试重新发送。在 ❶ 中, 站点在发送的时候并不会去监测当前信道中是否有其它的发送

源。由于碰撞是随时可能发生的, 因此 ALOHA 协议并不能发挥出信道 100 % 的承载量。一个站点在检测到信道冲突之后等待发送的时间, 和信道冲突发生的概率是紧密相关的, 并且共同影响信道的利用率。因此对于 Pure ALOHA<sup>NET</sup> 协议来说, 回退机制的抉择是至关重要的。

在对 Pure ALOHA<sup>NET</sup> 进行分析之前, 我们先做如下假设:

- 所有发送的数据帧的长度相同;
- 站点不能连续发送帧, 一次仅发送一个帧;
- 在一个时间段内尝试发送帧的站点的个数服从泊松分布<sup>1</sup>

我们定义  $T$  为在当前信道上发送一个完整的单帧所需要的时间, 同时我们把时间进行切片, 每个分析的时段称为 **Frame Time (FT)**, 每个 FT 长度为  $T$ 。定义  $G$  为在一个时间段内尝试发送帧的站点的个数的均值, 也即泊松分布的均值为  $G$ 。

在任意 FT 内, 网络上有  $k$  个想要发送帧的站点的概率为:

$$P_{\text{singleFT}}(N = k) = \frac{G^k e^{-G}}{k!}$$

对于两个连续的 FT, 在这两个时间段内尝试发送帧的站点的个数的均值为  $2G$ , 因此, 对于任意的两个连续的时间段, 网络上有  $k$  个想要发送帧的站点的概率为:

$$P_{\text{consecutiveFT}}(N = k) = \frac{(2G)^k e^{-2G}}{k!}$$

考虑使得一个帧能够在发送的过程中不发生任何冲突的情况。我们定义  $t$  为一个站点发送一个单帧的起始时间点。一个信道不发生冲突的理想情况是: 一个站点在时刻  $t$  发出一个帧时, 必须保证

\*本文作为 2021 年秋季由电子科技大学王晟教授开设的研究生课程“无线互联网”的作业

<sup>1</sup>如果随机变量  $X$  的概率分布函数是如下形式, 我们说该随机变量服从泊松分布:  $f(k; \lambda) = \Pr(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$ , 并且  $E(X) = \text{Var}(X) = \lambda$

$t - T \rightarrow t + T$  这段时间内信道处于空闲状态，也即除了发送站点自身，连续两个 FT 内尝试发送数据帧的站点个数为 0，也即：

$$P_{\text{pure}} = P_{\text{consecutiveFT}}(N = 0) = \frac{(2G)^0 e^{-2G}}{0!} = e^{-2G}$$

吞吐率的物理意义是：在一段尽可能短的时间内发送的数据帧的个数，通过将发送概率乘以发送成功概率，我们即可以得到当前信道的吞吐率：

$$S_{\text{pure}} = G e^{-2G} \text{frame}/FT$$

当我们取  $G = 0.5$  时，我们可以得到最大吞吐率为  $S_{\text{pure}} = \frac{0.5}{e} = 0.184 \text{frame}/FT$ ，这也就意味着对于 Pure ALOHANET 来说，仅有 18.4% 的时间用于有效传输，显然这样的吞吐率并不能让我们满意。

## 2.2 Slotted ALOHA

作为对 Pure ALOHANET 的改进，Slotted ALOHANET 提出来应该在原有的方案中引入离散的时间片 (timeslot) 来提高系统的吞吐率。对于要发送数据帧的站点，它只能在时间片开始的时候进行发送，因此信道上的冲突将会被大大减小。基于这种方案，在我们下面的推导中，我们只需要考虑在一个时间片中网络上的行为即可，而不用像在 § 2.1 中那样考虑两个连续的时间区间。

在一个时间片内，没有站点要发送数据帧的概率为：

$$P_{\text{singleFT}}(N = 0) = \frac{G^0 e^{-G}}{0!} = e^{-G}$$

对于站点来说，它想要发送一个数据帧所需要请求时间片的次数为  $k$  (i.e., 1 次申请成功， $k-1$  次申请失败) 的概率为：

$$P_{\text{attempt}}(k) = e^{-G} \cdot (1 - e^{-G})^{k-1}$$

因此，对于一个站点来说，它一次发送尝试就成功发送的概率为：

$$P_{\text{attempt}}(k = 1) = e^{-G} \cdot (1 - e^{-G})^{1-1} = e^{-G}$$

基于此，系统吞吐量为：

$$S_{\text{slotted}} = P_{\text{attempt}}(k = 1) \cdot G = G e^{-G} \text{frame}/FT$$

当我们取  $G = 0.5$  时，系统最大的吞吐量是  $S_{\text{slotted}} = 0.5 \cdot e^{-0.5} = 0.368 \text{frame}/FT$ ，也即系统有 36.8% 的时间用于有效传输，相对于 Pure ALOHANET 来说有所提高。

Slotted ALOHANET 在军用卫星通信、RFID 等技术中投入了使用。

## References

- [1] WIKIPEDIA. Alohanet. [EB/OL]. <https://en.wikipedia.org/wiki/ALOHAnet> Accessed Dec 13, 2021.