



دانشگاه صنعتی همدان



# شبکه‌های کامپیوتری - مخابراتی

دکتر رجبی

نیمسال دوم سال تحصیلی ۹۸-۹۹

دانشگاه صنعتی همدان

گروه مهندسی برق

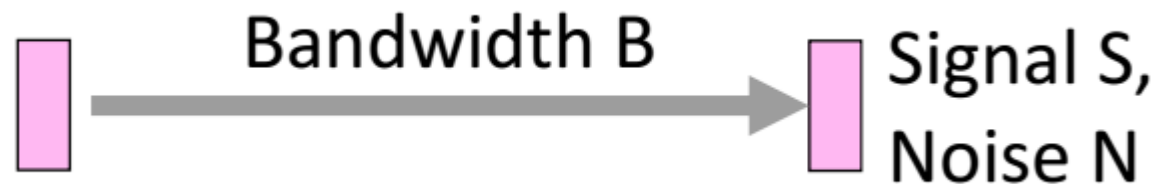
# محدودیت‌های اساسی

# موضوع

- با چه سرعتی می توان اطلاعات را بر روی لینک ارسال کرد؟
  - محدودیت نایکوئیست (۱۹۲۴~) حالت بدون نویز
  - ظرفیت شانون (۱۹۴۸) با در نظر گرفتن نویز
- سیستم های عملی طوری طراحی می شوند که به این حدها نزدیک شوند.

# خواص کلیدی کانال

- پهنای باند ( $B$ )، قدرت سیگنال ( $S$ ) و قدرت نویز ( $N$ )
- پهنای باند ( $B$ ) نرخ ارسال را محدود می‌کند.
- قدرت سیگنال و نویز ( $S, N$ )، تعداد سطوح سیگنال قابل تفکیک را محدود می‌کند.



Harry Nyquist

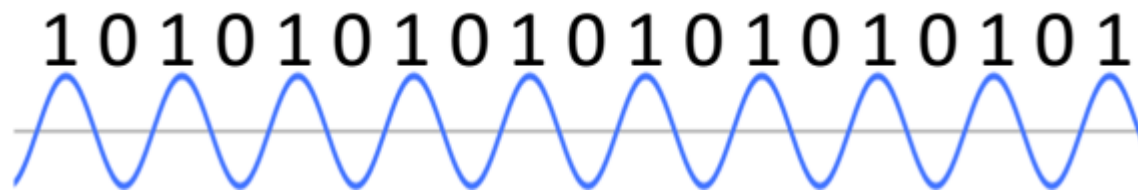


Harry Nyquist

**Born** February 7, 1889  
Nilsby, Stora Kil, Värmland,  
Sweden  
**Died** April 4, 1976 (aged 87)

## حد نایکوئیست

- بیشینه نرخ سمبل  $2B$  است.



- بنابراین در صورتی که  $V$  سطح سیگنال موجود باشد، با چشم‌پوشی از نویز، بیشینه نرخ بیت برابر است با:

$$R = 2B \log_2 V \text{ bits / sec}$$

# Claude Shannon (1916-2001)



Credit: Courtesy MIT Museum

- پدر تئوری اطلاعات
- مقاله اصلی شانون

– “A Mathematical Theory of Communication”, 1948

# ظرفیت شانون

- تعداد سطح‌هایی که می‌توان تمایز ایجاد کرد بستگی به نسبت  $S/N$  دارد.
  - یا همان SNR، نسبت قدرت سیگنال به نویز
  - توجه داریم که نویز به صورت تصادفی است، بنابراین خطا خواهیم داشت.
- SNR در مقیاس لگاریتمی بر حسب دسی بل (dB) داده می‌شود:

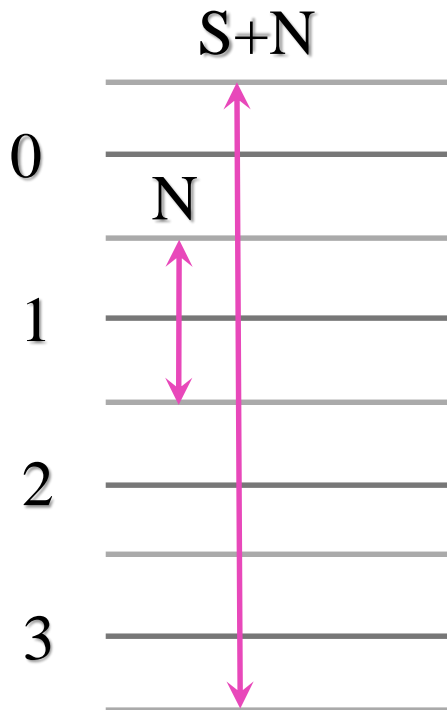
$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{S}{N} \right)$$

$$\frac{S}{N} = 10 \Rightarrow SNR_{dB} = 10dB$$

$$\frac{S}{N} = 2 \Rightarrow SNR_{dB} = 3dB$$

$$\frac{S}{N} = 100 \Rightarrow SNR_{dB} = 20dB$$

$$\frac{S}{N} = 1000 \Rightarrow SNR_{dB} = 30dB$$



## ظرفیت شانون (۲)

- حد شانون برای ظرفیت است (C)، بیشینه نرخ اطلاعات عبوری از کانال:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \text{ bits / sec}$$



# چشم انداز سیمی / بی سیم

## مهندسی SNR برای نرخ داده مشخص

- سیم‌ها و فیبر نوری

- انتخاب مهندسی پارامترهای سیگنال به نویز (SNR) و پهنای باند (B)

- می‌توان نرخ داده را تنظیم و ثابت (fix) کرد.

## تطبیق نرخ داده برای SNR مشخص

- بی‌سیم

- با پهنای باند مشخص (B)، SNR به شدت تا حدود 60 dB تغییر می‌کند!

- نمی‌توان برای بدترین حالت طراحی کرد، باید نرخ داده را تطبیق داد.