CEU

2 La Capa de Enlace

2.5 Análisis de tiempos y rendimiento

RdE 2014-2015

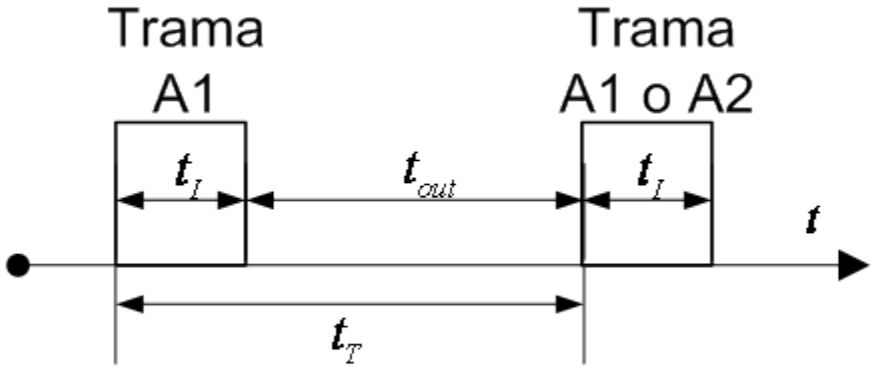
2 Guión del Tema 2

- 2 CAPA de ENLACE
  - 2.1 Funcionalidad del nivel de enlace.
  - 2.2 Control de flujo.
  - 2.3 Control de errores.
  - 2.4 HDLC. Tramas. Funcionamiento.
  - **2.5 Análisis de tiempos y rendimiento.**

2.5 Análisis de protocolos

- Para el análisis de protocolos se utilizarán las suposiciones:
  - ❑ Módulo infinito.
  - ❑ Tramas de información de longitud fija.
  - ❑ Retardo de propagación fijo y conocido (Tx y Rx).
  - ❑ Tiempo de procesado en Rx conocido y fijo.

2.5 Protocolo de Parada y Espera



$$t_{out} \geq 2t_p + t_{proc} + t_s$$

$$t_T = t_I + t_{out}$$

- t_I: tiempo requerido para transmitir una trama.
- t_{out}: tiempo del temporizador de espera de ACK.
- t_p: tiempo de retardo de propagación.
- t_{proc}: tiempo de procesado en recepción.
- t_s: tiempo de transmisión de respuesta.
- t_T: tiempo mínimo entre tramas de datos sucesivas.

- Suposiciones para el estudio analítico:
  - ❑ La transmisión se realiza de A a B (B sólo envía ACK/NACK).
  - ❑ La estación A transmite continuamente.
  - ❑ El cálculo del throughput se hace utilizando el límite máximo.
  - ❑ t_{proc} incluido en t_p.

2.5 Análisis de Parada y Espera

- El *throughput* máximo se alcanza 1 trama/t_T segundos.
- $Th_{\text{real}} < Th_{\text{máximo}}$.
- Tiempo medio para un transmisión correcta. Se supone:
  - ❑ No hay límite para las retransmisiones.
  - ❑ No se tienen en cuenta los errores de B hacia A (ACK/NACK).
  - ❑ p probabilidad de error en una trama.

$$t_v = t_T(1-p) + 2t_T(1-p)p + 3t_T(1-p)p^2 + \ldots = t_T(1-p)\sum_{i=1}^{\infty} ip^{i-1} =$$

$$= t_T(1-p)\frac{1}{(1-p)^2} \therefore t_v = \frac{t_T}{(1-p)}$$

- *Throughput* máximo:

$$Th_{\max} = \lambda_{\max} = \frac{1}{t_v} = \frac{1-p}{t_T} = \frac{1-p}{at_I} \quad \text{donde a=}\frac{t_T}{t_I}$$

2.5 Análisis de Parada y Espera

- Throughput normalizado o real.

$$\rho \equiv \lambda t_I \leq \lambda_{\max} t_I = \frac{1-p}{a} < 1 \quad \lambda \text{ tasa de llegadas real}$$

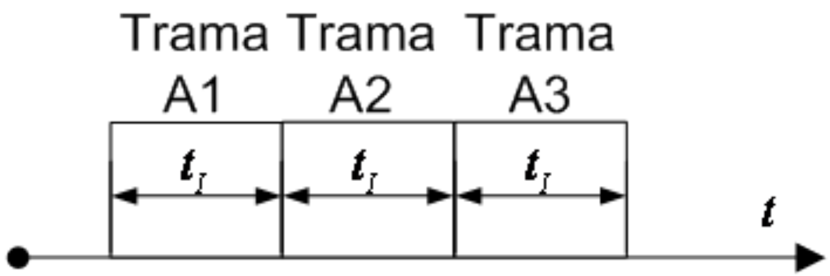
- Considerando que el tiempo de ACK/NACK es despreciable:

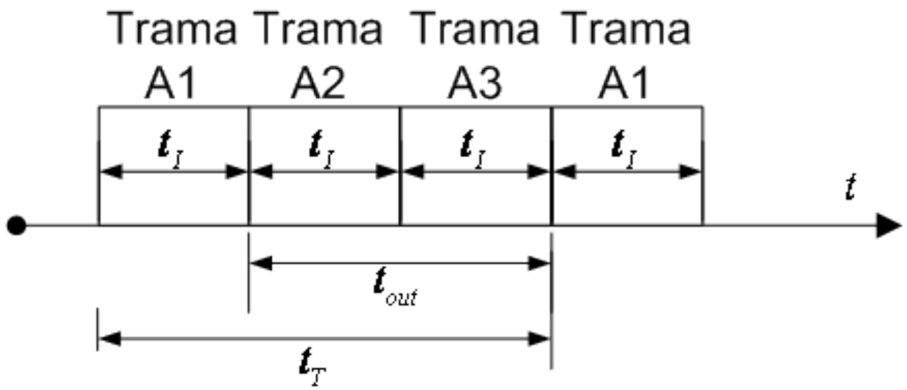
$$2t_p + t_s = t_I \Rightarrow t_{out} = t_I \Rightarrow a \approx 1$$

$$\rho < 1 - p$$

2.5 Protocolo de Vuelta Atrás-N

- Suposiciones para el estudio analítico:
  - ❑ Los números de secuencia se consideran indefinidos.
  - ❑ La retransmisión por NACK o t_{out} se considera igual.
  - ❑ Se transmite en régimen de saturación de A a B.
  - ❑ Longitud de trama t_I fija.
  - ❑ El temporizador t_{out} es fijo y múltiplo de t_I.
- El tiempo mínimo entre transmisiones es t_I.





2.5 Análisis de Vuelta Atrás-N

Tiempo medio de transmisión de una trama

$$\mathrm{t}_v = (1-p)t_I + (1-p)p(t_T + t_I) + (1-p)p^2(2t_T + t_I) + \ldots =$$

$$= (1-p)t_I + (1-p)t_T \sum_{i=1}^{\infty} ip^i + (1-p)t_I \sum_{i=1}^{\infty} p^i = (1-p)t_I + (1-p)t_T \frac{p}{(1-p)^2} +$$

$$+(1-p)t_I \frac{p}{1-p} = t_I \left(1 - p + \frac{ap}{1-p} + p \right) \therefore \mathrm{t}_v = t_I \left(\frac{1+(a-1)p}{1-p} \right)$$

$$a = \frac{t_T}{t_I} = \frac{t_I + t_{out}}{t_I} = 1 + \frac{t_{out}}{t_I}$$

Throughput máximo $\lambda_{\max} = \dfrac{1}{\mathrm{t}_v} = \dfrac{(1-p)}{(1+(a-1)p)t_I}$

Throughput normalizado $\rho = \lambda t_I \leq \dfrac{1-p}{1+(a-1)p} < 1$

2.5 Análisis de Vuelta Atrás-N

$$\lambda_{\max_{GoBackN}} = \lambda_{\max_G} = \frac{(1-p)}{(1+(a-1)p)t_I} \overset{p\to 0}{\Rightarrow} \lambda_{\max_G} = \frac{1-p}{t_I}$$

$$\lambda_{\max_{Stop\&Wait}} = \lambda_{\max_S} = \frac{1-p}{at_I} \therefore \frac{\lambda_{\max_G}}{\lambda_{\max_S}} = a$$

Si a=1 los resultados igual en parada y espera

ACK embebidos en tramas B $\rightarrow$ A

$$\mathrm{t}_{\mathrm{out}} = 2t_p + t_I \text{ (despreciando } \mathrm{t}_{\mathrm{proc}}) \Rightarrow t_T = t_I + \mathrm{t}_{\mathrm{out}} = 2t_p + 2t_I$$

$$\Rightarrow a = \frac{t_T}{t_I} = \frac{2t_p + 2t_I}{t_I} = 2 + 2\frac{t_p}{t_I} \Rightarrow a > 2$$

Luego vuelta atrás N es al menos dos veces mejor que Parada y Espera

2.5 Ejemplos

Ejemplo 1: a=4 p=0.01

Stop and Wait $\rho_{m_S} = \frac{1-p}{a} = \frac{1-0.01}{4} = \frac{0.99}{4} \approx 0.25$

Go Back N $\rho_{m_S} = \frac{1-p}{1+(a-1)p} = \frac{1-0.01}{1+(4-1)0.01} = \frac{0.99}{1.03} \approx 1$

Ejemplo 2: Enlace terrestre

$\mathrm{l}_{\mathrm{trama}} = 1200 bits$ C=9600bits/s $\mathrm{l}_{\mathrm{tramo}} < 100 km$

$V_p = 0{,}6 ms / 100 km$ $\mathrm{t}_{\mathrm{I}} = \frac{l_{trama}}{C} = \frac{1200 bit}{9600 bit/s} = 125 ms$

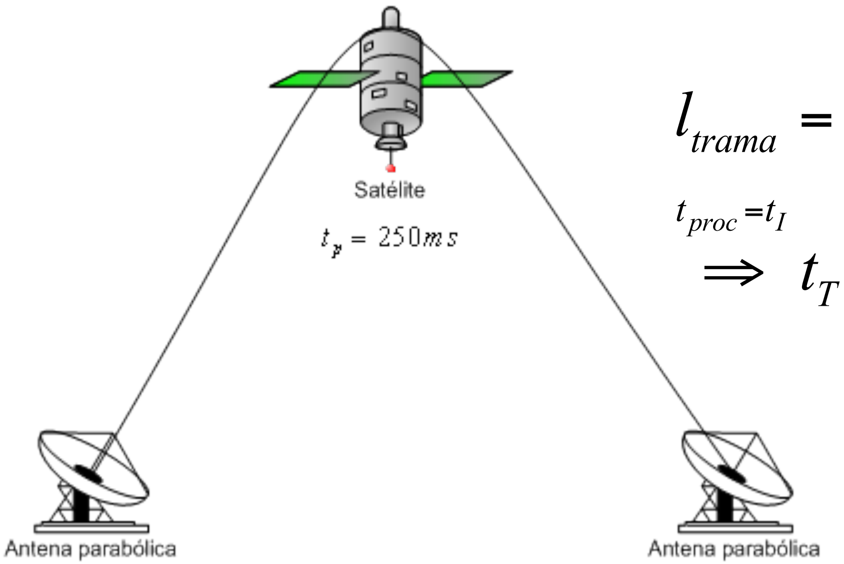
$t_{proc} \ll 125 ms$ $\mathrm{t}_{\mathrm{out}} = 2t_p + t_{proc} + t_s \ll t_I \Rightarrow t_T \approx t_I \Rightarrow a = 1$

Stop and Wait $\approx$ Go Back N

Para un tramo de 1000 km y un enlace de 56kbps $t_I = \frac{1200 bit}{56000 bit/s} = 21 ms$

$\mathrm{t}_{\mathrm{p}} = 6 ms$ $\mathrm{t}_{\mathrm{out}} = 2t_p + t_I = 33 ms$ $a = \frac{t_I + \mathrm{t}_{\mathrm{out}}}{t_I} = \frac{21 ms + 33 ms}{21 ms} = 2{,}57$

2.5 Ejemplos



$$l_{trama} = 1200bit \quad \mathrm{t_p} = 250ms \quad \mathrm{t_{out}} = 2t_p + t_I + t_{proc}$$

$$\overset{t_{proc}=t_I}{\Rightarrow} t_T = t_I + \mathrm{t_{out}} = 2t_p + 3t_I \quad a = \frac{t_T}{t_I} = 3 + 2\frac{t_p}{t_I}$$

Si C=4800bps $\Rightarrow t_I = \dfrac{1200bit}{4800bit/s} = 250ms \quad a = 3 + 2\dfrac{250ms}{250ms} = 5$

Si C=9600bps $\Rightarrow t_I = \dfrac{1200bit}{9600bit/s} = 125ms \quad a = 3 + 2\dfrac{250ms}{125ms} = 7$

Si C=48000bps $\Rightarrow t_I = \dfrac{1200bit}{48000bit/s} = 25ms \quad a = 3 + 2\dfrac{250ms}{25ms} = 23$

Si C=2Mbps $\Rightarrow t_I = \dfrac{12000bit}{2000000bit/s} = 0,006ms \quad a = 3 + 2\dfrac{250ms}{0,006ms} = 83336$

2.5 Tamaño de las tramas

TRAMA GRANDE

- Mayor carga útil.
- Menor procesamiento de cabeceras.
- Menor segmentación.

- Mayor posibilidad de error.
- Más volumen de retransmisión en caso de error.
- Más espera de retransmisión nodo a nodo.

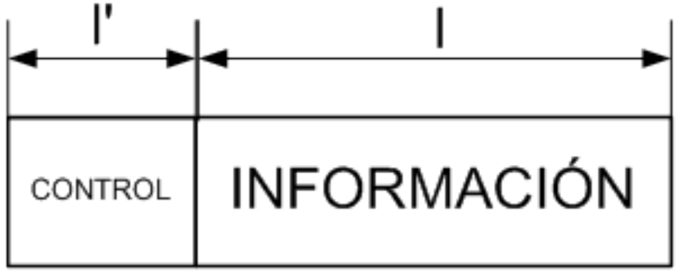
TRAMA PEQUEÑA

- Menor carga útil.
- Mayor procesamiento de cabeceras.
- Más segmentación.

- Menor posibilidad de error.
- Menor volumen de retransmisión en caso de error.
- Menor espera de retransmisión nodo a nodo.

Existe una longitud óptima de trama que maximiza el *Throughput*.

2.5 Influencia de la tasa de error Satélite



Errores en los enlaces de Satélites:

- Se supone que la probabilidad de error de bit, p_b, es independiente de la posición del bit debido al ruido aleatorio.
- Probabilidad de error en la trama:

$$p = 1 - (1 - p_b)^{l'+l} = 1 - q_b^{l'+l} \quad q_b = 1 - p_b$$

$$p = 1 - \left(\binom{l'+l}{0} 1^{l'+l} - \binom{l'+l}{1} 1^{l'+l-1} p_b^1 + \binom{l'+l}{2} 1^{l'+l-2} p_b^2 - \right)$$

$$\text{Si } p_b = 1 \Rightarrow p \cong (l'+l) p_b \Rightarrow p = 1$$

2.5 Influencia de la tasa de error Terrestre

Errores en los enlaces terrestres.

- La hipótesis de probabilidad de error bit, p_b, independiente no es aplicable.
- Los errores se producen agrupados en ráfagas.
- Se supone que la probabilidad de error de trama es proporcional a l'+l.
- Para valores de la probabilidad de error suficientemente bajos, la siguiente expresión simplificada es válida:

Si $p_b = 1 \Rightarrow p \cong k(l'+l)$ Con k constante para enlaces terrestres.

2.5 Tasa de datos normalizada D/C

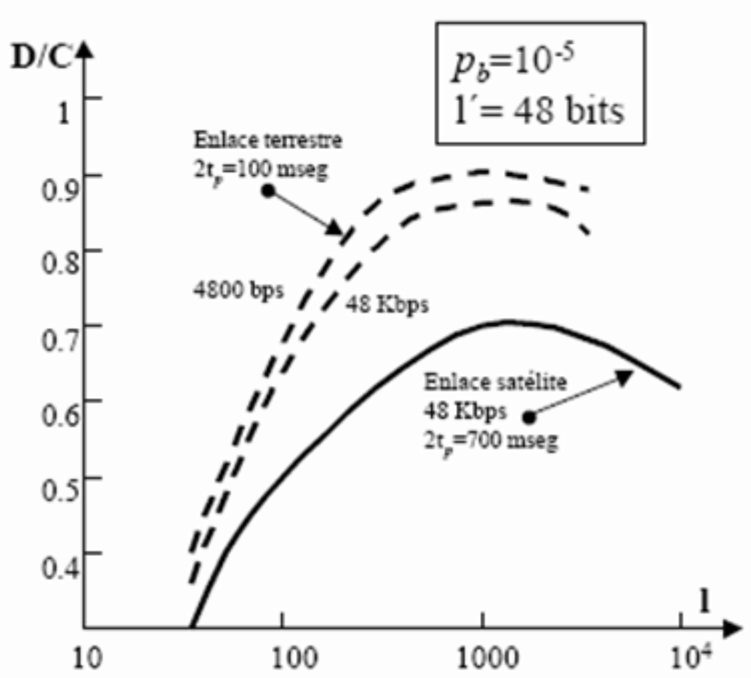
Hipótesis de cálculo:

- La estación emisora trabaja en saturación λ_{max} tramas/s.
- El protocolo utilizado es Vuelta Atrás N.

D Tasa de Datos (bit/s)

$$D = \lambda_{max} l = l \frac{1-p}{t_I\left(1+\left(a-1\right)p\right)} \qquad t_I = \frac{l'+l}{C}$$

$$\frac{D}{C} = \frac{l}{l'+l}\frac{1-p}{1+\left(a-1\right)p} \leq 1 \quad f(a(t_{out}), p)$$



Terrestre: t_{out}=100+2t_I

Satélite: t_{out}=700+2t_I

- Valores bajos de l, ineficacia. Domina la carga de pago
- Valores medios de l, máximo.
- Valores altos de l, ineficacia. Dominan los errores.

2.5 Cálculo de la longitud óptima

Hipótesis: a=1 (Parada y Espera) o (a-1)p = 1 (Vuelta Atrás N)

$$\frac{D}{C}=\frac{l}{l'+l}\frac{1-p}{1+(a-1)p}\cong\frac{l}{l'+l}(1-p)$$

- Para el caso general de satélite:

$$\frac{D}{C}=\frac{l}{l'+l}(1-p)=\frac{lq_b^{l'+l}}{l'+l}$$

Máximo: $$\frac{d\frac{D}{C}}{dl}=0=\frac{(l'+l)\left(q_b^{l'+l}+lq_b^{l'+l}Lnq_b\right)-q_b^{l'+l}}{(l'+l)^2}\qquad l_{opt}=\frac{l'}{2}\left(\sqrt{1-\frac{4}{l'Lnq_b}}-1\right)$$

Simplificando y suponiendo $p_b = 1 \Rightarrow l' p_b = 1$ $Ln(1+x)=x-\frac{x^2}{2}+\frac{x^3}{3}-\frac{x^4}{4}\ldots\ \forall x\in[-1,1]$

$$Ln(q_b)=Ln(1-p_b)=-p_b-\frac{p_b^2}{2}\ldots\cong-p_b\qquad l_{opt}=\frac{l'}{2}\left(\sqrt{1-\frac{4}{l'(-p_b)}}-1\right)\cong\frac{l'}{2}\left(\sqrt{\frac{4}{l'p_b}}\right)=\sqrt{\frac{l'}{p_b}}$$

- Para el caso Terrestre/Satélite Simplificado: $p=p_b(l'+l)$

$$\frac{D}{C}=\frac{l}{l'+l}(1-p_b(l'+l))$$ Máximo: $$\frac{d\frac{D}{C}}{dl}=0\ \ldots\quad l_{opt}\cong\sqrt{\frac{l'}{p_b}}-l'$$

2.5 Bibliografía

[1] SCHWARTZ, M. (1987) Telecommunication Networks Protocols, Modeling and Analysis, 1ª Edición, Prentice-Hall.