

Tema 3
Control del enlace

Tecnologías de red
Grado en Ingeniería Informática. Esp. Ing. de Computadores
Curso 2015/2016

Jesús Esteban Díaz-Verdejo
Departamento de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones
E.T.S. Ingenierías Informática y Telecomunicación – Universidad de Granada
C/ Periodista Daniel Saucedo Aranda, s/n - 18071 – Granada (Spain)
Teléfono: +34-958 242304 / 05 - Fax: +34-958 243032 - Email: jedv,pgteodor@ugr.es



© JEDV, 2006

Esquema

1. Introducción
 - 1.1 Tasas de transferencia
2. Delimitación de tramas
 - 2.1 Longitud óptima de trama
 - 2.2 Métodos de delimitación de tramas
3. Detección y corrección de errores
 - 3.1 Detección vs. corrección de errores
 - 3.2 Códigos de detección y corrección
 - 3.3 Control de errores mediante ARQ
4. Control de flujo
 - 4.1 Señalización
 - 4.2 Protocolo de parada y espera
 - 4.3 Protocolo de ventana deslizante
5. Técnicas ARQ
 - 5.1 Adelante atrás-N
 - 5.2 Repetición selectiva
 - 5.3 Análisis de prestaciones
6. Ejemplos de protocolos
 - 6.1 HDLC
 - 6.2 LLC

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

2

<h1>Bibliografía</h1>	<p>Básica</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ León-García, A.: Redes de comunicación, McGraw-Hill, 2002 8448131975 (Tema 5) ■ P. García Teodoro y otros; Transmisión de datos y redes de computadores, 2ª ed., Pearson, 2014. ISBN: 9788490354612 (Tema 4) <p>Complementaria</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Stallings, W.: Comunicaciones y redes de computadores, Prentice-Hall, 7a. ed., 2004 ISBN: 84-205-4110-9 ■ Tanenbaum, A.D.; Wetherall, D.J. ; "Computer Networks", 5ª ed., Prentice-Hall, 2011, ISBN: 9780132126953 	
3 <i>3 - Control del enlace</i>	Ver. 1.1 - Oct. 2015	Universidad de Granada

Conceptos básicos

Objetivo

- **Servicio de transferencia de datos seguro a través del enlace físico: envía bloques de datos (tramas) llevando a cabo la sincronización, el control de errores y de flujo necesario**
 - CAPA 2 (ENLACE) del modelo OSI
 - Subcapa Control del enlace

Problemas:

- **Control de errores**
 - ¿Cuándo/dónde se producen los errores?
 - Características de los errores: a ráfagas / de bit
- **Gestión de errores**
 - Corrección vs. detección y reenvío
 - Tipos de errores adicionales: deterioro de tramas, pérdida de tramas, duplicados
- **Límites de las tramas: delimitación**
- **Control de flujo**
 - No saturación del receptor
 - Sin pérdida de eficiencia
- **Gestión del enlace**
 - Inicialización, mantenimiento y finalización de la conexión

4

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Introducción

1 Introducción

- **Algoritmos para conseguir una comunicación eficiente y fiable entre dos máquinas adyacentes a nivel de enlace**
 - Máquinas adyacentes: conectadas físicamente entre sí
- Los bits son enviados en orden (mecanismo simple)
- **Problemas subyacentes básicos:**
 - errores en la línea
 - velocidad de transmisión finita
 - retardo de propagación
- **Funciones específicas de la capa de enlace:**
 - Interfaz con el nivel de red
 - **Agrupación de bits en tramas**
 - **Disciplina de línea**
 - **Gestión de los errores de transmisión**
 - **Control de flujo**

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada



Introducción

1 Introducción

El tipo de servicio ofrecido determina qué funciones deben implementarse

- Orientado a conexión / no orientado a conexión
- Confirmado / no confirmado

Requisitos y objetivos:

- **Sincronización de trama**
 - Envío de datos en bloques denominados tramas
 - El principio y fin de trama deben ser identificables únicamente
- **Control de flujo**
 - Envío de tramas a la velocidad adecuada al receptor
 - Por cuestiones de eficiencia, debe ser la máxima posible
- **Direccionamiento**
 - Se debe identificar a las estaciones involucradas en el caso de líneas multipunto

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

6



Introducción

1 Introducción 3

Datos y control sobre el mismo enlace

- El canal de comunicaciones debe ser único para información y control
- Necesidad de diferenciar entre datos y control

Gestión del enlace

- Mantenimiento y finalización del intercambio de datos
- Alto grado de coordinación y cooperación requeridos

Integridad de los datos

- Debe garantizarse la recepción correcta de todos los datos
- Mecanismos de detección / corrección (FEC o ARQ)

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

7

Introducción ▶ Tasa de transferencia

1.1 Tasa de transferencia

 **Tasa de transferencia** (nominal vs. real) del enlace

- La tasa de transferencia nominal representa un límite superior a la velocidad de transmisión de la información
- La velocidad de transmisión de la información es siempre inferior

 **Factores limitantes:**

- **Sobrecarga de trama**
 - Transmisión en bloques, con bits adicionales para funciones de control
 - Bits de cabecera y cola
 - Usual ~2% de sobrecarga
- **Retardos de propagación**
 - Tiempo de transmisión desde un extremo a otro del enlace
 - Influencia dependiente del protocolo empleado: puede ser irrelevante o llegar a ser determinante

8

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

 Universidad de Granada

Introducción ▶ Tasa de transferencia

1.1 Tasa de transferencia 2

Confirmaciones

- Si se usan técnicas ARQ, el envío de confirmaciones introduce retardos adicionales y bits / tramas suplementarias.

Retransmisiones

- Reenvío de tramas en caso de errores o pérdidas de tramas
- Originan envío de bits innecesarios (tramas deterioradas o perdidas)

Tiempo de proceso

- Es necesario procesar los datos tanto en el emisor como en el receptor
 - Gestión del protocolo
 - Incorporación/comprobación códigos de corrección / detección
 - Memorias temporales de almacenamiento

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

9

Introducción ▶ Tasa de transferencia

1.1 Tasa de transferencia 3

Diferentes magnitudes relevantes

- **Tasa de transferencia nominal**
 - Velocidad de transmisión máxima del enlace
 - ◆ Es la que se indica habitualmente como velocidad el enlace
- **Utilización del enlace**
 - Velocidad media de transferencia del enlace
 - ◆ Normalmente en porcentaje respecto de la tasa nominal
 - ◆ Promedio estadístico
- **Eficiencia del enlace**
 - Tiempo empleado en transmitir datos útiles frente al tiempo total empleado en la transmisión
 - ◆ Depende del protocolo empleado

Tasa de transferencia efectiva

- Análogo a utilización, pero sólo para bits de información

$$U = \frac{t_{util}}{t_{TOTAL}}$$

3 - Control del enlace Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Delimitación de tramas

2 Delimitación de tramas

Requerimientos

- Servicio proporcionado por el nivel físico: envío de bits
- Operación del nivel de enlace: transmisión de **tramas**

Construcción de tramas:

- No es válida la separación temporal
 - Problemas de sincronismo
 - Transmisión síncrona: necesidad de métodos de **delimitación de trama**
 - Determinación unívoca del comienzo y fin de una trama
- 4 métodos de delimitación de trama (principales):
 - cuenta de caracteres,
 - caracteres de principio y fin,
 - delimitadores de principio y fin y
 - violación de codificación del nivel físico

11

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Delimitación de tramas ▶ Longitud de trama

2.1 Longitud de trama

Elección del tamaño de trama

Efectos contrapuestos: aumentar la longitud de trama implica:

- Aumento de la probabilidad de error
 - Incremento del número de retransmisiones si ARQ
 - Códigos de corrección más robustos (más redundancia)
- Mayor eficiencia (en ausencia de errores)
 - Mayor tiempo de transmisión frente a retardos del protocolo y de procesamiento
 - Menor redundancia (porcentualmente)
- Mayores memorias temporales para almacenamiento
 - Mayor retardo de procesamiento

Solución de compromiso

- Dependerá del protocolo empleado y de la tasa de errores

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

12

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Delimitación de tramas ▶ Métodos de delimitación de trama

2.2 Métodos de delimitación de trama

Cuenta de caracteres

- Se indica el número de caracteres en cada trama
- Difícil recuperación si se pierde la cuenta
 - No sirve devolver la trama (no se conoce el principio/fin)

The diagram illustrates character counting framing. It shows two examples of a sequence of 24 characters being divided into four frames. In the first example, the counts are 5, 5, 8, and 8 characters respectively. In the second example, the counts are 5 and 7 characters, with the 7 being labeled as erroneous. Arrows point from the counts to their respective frames.

13

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

TBTG

Delimitación de tramas ▶ Métodos de delimitación de trama

2.2 Métodos de delimitación de trama 2

Caracteres de principio y fin

- Cada trama se delimita mediante caracteres
 - DLE (*Data Link Escape*) + STX (*Start of Text*)
 - DLE + ETX (*End of Text*)

DLE	STX	A	B	C	D	DLE	ETX
-----	-----	---	---	---	---	-----	-----

- Las cadenas DLE en el mensaje son duplicadas (*character stuffing, inserción de caracteres*)

DLE	STX	A	DLE	C	D	DLE	ETX
-----	-----	---	-----	---	---	-----	-----

DLE	STX	A	DLE	DLE	C	D	DLE	ETX
-----	-----	---	-----	-----	---	---	-----	-----

 - Problema: usa códigos ASCII (8 bits)

14

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

TBTG

Delimitación de tramas ▶ Métodos de delimitación de trama

2.2 Métodos de delimitación de trama 3

■ Delimitadores de principio y fin

- Se sustituyen los caracteres de principio/fin por cadenas de bits
- Delimitador usual (HDLC): 01111110

01111110	01100101 ... 1011010	01111110
----------	----------------------	----------

■ Inserción de bits (bit stuffing): tras 5 bits 1 se incluye un 0

01111110	01111110 ... 01111110	01111110
----------	-----------------------	----------

Relleno →  Relleno

01111110	011111010 ... 01111100	01111110
----------	------------------------	----------

■ Violación de código

- Emplean códigos no válidos para indicar límites
- **En la práctica, se suele usar una combinación de cuenta de caracteres con alguna de las otras tres técnicas**

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada 

15

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

Detección y corrección de errores

3 Detección y corrección de errores

 **Aparición de errores** en la transmisión por efecto del canal

- Tasa de errores de bit determinada por E_b/N_0
- Consideraciones prácticas establecen un límite a este valor

 **Servicios fiables:** envío correcto y ordenado de tramas

- Es necesario comprobar que los datos son correctos
- Mecanismos de detección / corrección de errores

 Uso de **códigos de control de errores**

- También denominado **codificación de canal**

 Dos tipos de errores:

- De **bit**: aparición de errores individuales en un bit
- De **ráfaga**: aparición de bits consecutivos erróneos

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

 Universidad de Granada

Detección y corrección de errores

3 Detección y corrección de errores 2

Esquema

```

    graph LR
        A[Mensaje entrante] --> B[Codificador de canal]
        B --> C[Transmisor]
        C --> D[Canal]
        D --> E[Receptor]
        E --> F[Decodificador de canal]
        F --> G[Mensaje saliente]
        D -- Distorsión y ruido --> D
    
```

Mensaje entrante

Mensaje saliente

Distorsión y ruido

Dos tipos de códigos:

- **De bloque:** datos transmitidos como bloques de bits de longitud fija
 - Sin memoria
 - Se gestionan bloques completos de bits (**palabras código**)
- **Convolucionales:** convolución temporal de la entrada con la respuesta impulsiva del codificador
 - Con memoria

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

17

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Detección y corrección de errores ▶ Detección vs. Corrección de errores

3.1 Detección vs. corrección de errores

Estrategias básicas

- Detectar y corregir los errores (**códigos de corrección**)
 - Corrección de errores hacia delante (**FEC, forward error correction**)
- Sólo detectar los errores (**códigos de detección**)
 - Corrección de errores hacia atrás
 - **ARQ (Automatic-Repeat reQuest)** Solicitud de retransmisión automática
 - Reenvío de los datos erróneos
- Inclusión de redundancia (bits redundantes)
 - Para detectar o para detectar y corregir

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Detección y corrección de errores > Detección vs. Corrección de errores

3.1 Detección vs. corrección de errores 2

La elección de la estrategia depende de:

- Tipo de transmisión / realimentación
 - Transmisión en tiempo real
 - Transmisión simplex
- Coste / beneficio
- Características / probabilidad de aparición de errores
 - Los medios más comunes presentan tasas significativas de error
 - Los errores se presentan normalmente en **RÁFAGAS**
 - Ventajas: estropean algunos paquetes, no todos
 - Desventajas: mayor dificultad de detección y corrección
- Suele ser **más eficiente retransmitir** la trama que protegerla para su corrección
 - Menor redundancia en los datos

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

19

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Detección y corrección de errores ▶ Códigos de detección y corrección

3.2 Códigos de detección y corrección

- Datos transmitidos como **bloques** de bits de **longitud fija**
 - Sin memoria
 - Se gestionan bloques completos de bits (*palabras código*)

Operación

- Antes de transmitir los datos se tratan como números binarios
 - Usualmente, aritmética módulo-2 sin acarreo
- Se generan **bits de comprobación** (*check bits*) a partir de alguna operación matemática lineal
- Se transmiten los bits de datos y los de comprobación
 - Normalmente al final los de comprobación
- El receptor realiza la operación inversa para comprobar la corrección de los bits de comprobación

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

30

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Detección y corrección de errores > Códigos de detección y corrección

3.2 Códigos de detección y corrección ₂

- Un bloque de datos consta de **n** bits
 - **k** bits de datos
 - 2^k posibles datos
 - **n-k** bits de comprobación o redundancia
- **Palabra código (codeword)**: secuencia válida de **n** bits
 - No todas las 2^n combinaciones posibles serán válidas
- Notación:
 - **Código (n,k)**: código de bloque de palabras de n bits con k bits de datos por palabra
 - **Longitud de bloque del código**: **n**
 - **Razón (tasa) del código**, **r**

$$r = \frac{k}{n}$$
 - $0 < r < 1$
 - Tasa de salida del codificador proporcional a tasa de datos del canal y a **r**

Datos	Cód.
k	n-k
n	

3 - Control del enlace Ver. 1.1 - Oct. 2015

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

Universidad de Granada

Detección y corrección de errores ▶ Códigos de detección y corrección

3.2 Códigos de detección y corrección 3

 **Distancia de Hamming**

- Número de bits en que difieren dos palabras de un código
- Se puede obtener a partir de la operación XOR

$$d(c_1, c_2) = \|c_1 \oplus c_2\|$$

- Dos palabras distantes una distancia d necesitan d errores para convertirse una en otra

 **Peso de Hamming** $w(c)$ de una palabra código

- Número de elementos no cero de la palabra

 **Distancia de Hamming de un código**

- Distancia mínima entre cualesquiera dos palabras del código

$$d_H(C) = \min_{i,j \in C} \{d(c_i, c_j)\}$$

- La distancia mínima en un código de bloque lineal es el menor peso de Hamming de los vectores de datos distintos de cero

22

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

 Universidad de Granada

3.2 Códigos de detección y corrección

Las propiedades de detección/corrección de un código dependen de su distancia de Hamming

- Para detectar d_H errores se necesita un código con distancia d_H+1
- Para corregir d_H errores se necesita distancia $2d_H+1$

Ejemplos:

Datos	P
000	0
001	1
010	1
011	0
100	1
101	0
110	0
111	1

Código de corrección de errores

- 4 palabras de 10 bits

Vocabulario	
0000000000	3
0000011111	2
1111100000	8
1111111111	7

0000011111

- Distancia 5, corrección de 2 errores

! 0010

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

23

Detección y corrección de errores ▶ Códigos de detección y corrección ▶ Códigos CRC

Códigos CRC

- Los códigos de redundancia cíclica (CRC) son uno de los más utilizados para detección de errores
- Son códigos de bloque cílicos
 - **Un código cíclico es un código de bloque caracterizado por la propiedad de que cualquier rotación de una palabra código genera otra palabra código**
- **Ejemplo (trivial)**

$$b_1 = m_1 \oplus m_2$$

m_1	m_2	b_1
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Detección y corrección de errores ▶ Códigos de detección y corrección ▶ Códigos CRC

Códigos CRC₂

- Un código de bloque cíclico queda determinado por una única palabra código diferente de cero
 - Los restantes se obtienen por desplazamiento del mismo
 - El vector 0 se obtiene de la suma de todos los demás
- Se identifican cadenas de $n+1$ bits con polinomios de grado n
 - Ej.: [100100011] → x^8+x^5+x+1
- Las palabras del código se obtienen a partir de un **polinomio generador $G(x)$**

$$G(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0$$
 - Aritmética módulo 2 sin acarreo (XOR para suma y resta)
 - Al ser códigos de bloque, pueden describirse también a partir de matrices generadoras
 - Característica relevante: todas las palabras código son un múltiplo del polinomio generador

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

 Universidad de Granada

Detección y corrección de errores ▶ Códigos de detección y corrección ▶ Códigos CRC

Códigos CRC₃

Utilización

- Para codificar la información, el codificador debe generar unos bits de comprobación tales que, añadidos a los datos, produzcan una palabra código múltiplo del polinomio generador

Códigos de redundancia cíclica (CRC)

Operación

- Emisor y receptor conocen y comparten un polinomio generador*
- El mensaje transmitido debe ser divisible entre G(X)*
 - Dado un número (polinomio), si se le resta el resto de la división entre un dividendo, el resultado es divisible entre dicho dividendo
 - Aritmética módulo 2 sin acarreo: suma y resta son la misma operación
 - Basta asegurar que la suma del resto no afecte a los bits de datos
 - Añadir número suficiente de bits cero al final

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

36

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Detección y corrección de errores ▶ Códigos de detección y corrección ▶ Códigos CRC

Códigos CRC₄

Trama $\boxed{1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1}$
 $G(x) \quad \boxed{1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1}$

$\boxed{1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1} \quad \boxed{1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0}$

Mensaje $\boxed{1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ \textcolor{red}{1} \ 1 \ 1 \ 0}$

- Para transmitir los datos $M(x)$ se genera un *checksum* de m bits
- La trama con el *checksum* (al final) debe ser divisible entre $G(x)$
- $r=\text{grado}(G(x))$
- La trama debe ser mayor que $G(x)$

Cálculo del checksum

- Se añaden r ceros a la trama
- $D(x)=x^r M(x)$ ($m+r$ bits)
- Se divide el resultado entre $G(X)$
- $R(x) = \text{resto}[x^r M(x) / G(x)]$
- Se sustrae el resto a la trama
- $T(x)=D(x)+R(x)=x^r M(x)+R(x)$
- Equivalente a añadir $R(x)$ al final de $M(x)$

Se envía $T(x)$

Tecnologías de red - Curso 15/16
 © 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Detección y corrección de errores ▶ Códigos de detección y corrección ▶ Códigos CRC

Códigos CRC₅

Recepción

- Se recibe $T(x)+E(x)$, siendo $E(x)$ el polinomio de error/es
- Se calcula

$$\text{resto}\left(\frac{[T(x)+E(x)]}{G(x)}\right) = \text{resto}\left(\frac{E(x)}{G(x)}\right)$$

- Se detectan todos los errores con polinomios no divisibles entre $G(X)$
- Un polinomio generador de grado r puede detectar rafagas de $t \leq r$
 $E(x)=x^t(x^{k-1}+\dots+1)$
- **Polinomios estándar**

● CRC-12	$x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x^1 + 1$
● CRC-16	$x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
● CRC-CCITT	$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

- El CRC se puede calcular mediante registros de desplazamiento

3 - Control del enlace Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

Detección y corrección de errores ▶ Control de errores mediante ARQ

3.3 Control de errores mediante ARQ

- Incluso las técnicas de corrección de errores puede que no sean suficientes para corregir todos los errores
- Estrategia alternativa: detectar los errores y retransmitir los datos
 - Realimentación: el receptor debe informar al emisor
 - Estrategia híbrida: corregir errores hasta cierto límite y usar retransmisión si se supera
- Tres tipos básicos de ARQ:
 - **Parada y espera**
 - Sólo un bloque en circulación
 - **Adelante atrás n** (retroceso-n)
 - Varios bloques en tránsito, se reinicia la transmisión desde error
 - **Repetición selectiva**
 - Varios bloques en tránsito: se reenvía únicamente bloque erróneo

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo

4 Control de flujo

- Finalidad: **asegurar que no se satura el receptor**
- Situación ideal :
 - El emisor siempre tiene datos disponibles para emitir
 - A los datos se le añaden los códigos de error/protección automáticamente
 - El receptor es capaz de procesar todos los datos inmediatamente
- Incluso en la situación ideal es necesario el control de flujo (errores)

Representación del flujo

Tiempo

A

B

trama

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

30

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Control de flujo

4 Control de flujo ₂

Aspectos / elementos a considerar:

- **Establecimiento / cierre conexión**
 - Arbitrar mecanismos para el inicio y la finalización de la comunicación (Gestión del enlace)
- **Confirmaciones de envío correcto**
 - Para garantizar la integridad de los datos es necesario confirmar todos los datos recibidos
- **Permiso para enviar**
 - Función principal del control de flujo
 - No se pueden enviar datos si no se dispone de permiso del receptor
 - ◆ Permisos explícitos / implícitos
- **Protocolos orientados a bits / bloques**
 - Señalización (para transmisión asíncrona)
 - Protocolos de parada y espera y de ventana deslizante
- **Procedimientos de recuperación de errores**
 - Técnicas ARQ incorporadas

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

31

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Señalización

4.1 Señalización

Aproximación simple

- Uso de **señales de control** específicas para indicar la disponibilidad o no del receptor
 - **Señal de parada**: se activa esta señal para impedir el envío de nuevos datos
 - **Señal de continuación**: se activa para indicar que se puede continuar el envío
- El emisor puede enviar salvo que se haya activado la señal de parada
 - El receptor debe activar la señal de continuación para que se pueda seguir con la transmisión cuando esté preparado

Aproximaciones alternativas

- Señales de **solicitud / permiso**
 - **Handshake** en EIA-232
 - ◆ Control de flujo DTE-DCE mediante RTS-CTS

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

32

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

 Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Señalización

4.1 Señalización 2

Dos tipos:

- **Señalización en banda (intrabanda):** las señales de control usan el mismo canal que los datos
- **Señalización fuera de banda:** canales separados para control y datos

Ejemplo: control de flujo X-ON/X-OFF

- Señalización intrabanda para comunicación dúplex
 - Las señales de control forman parte de los datos transmitidos
- Dos caracteres ASCII para control: **X-ON** (0x13) y **X-OFF** (0x11)
 - Normalmente corresponden a CTRL-S y CTRL-Q
- Cuando un equipo está próximo a saturarse inserta una señal X-OFF en su flujo de salida
 - El otro equipo interrumpe la transmisión hasta recibir un X-ON
 - Se reciben datos adicionales debido al retardo

33

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de parada y espera

4.2 Protocolo de parada y espera

- Idea básica: **Cada vez que se transmite una trama se espera respuesta del receptor (ACK o NACK)**
 - No se envían más tramas hasta recibir confirmación
 - El control lo realiza el receptor (no saturación)
 - Permisos para transmitir implícito en las confirmaciones

```

graph LR
    A[Computer A] --> T1[Yellow Trama]
    T1 --> B[Computer B]
    B -- ACK --> A
    A -- NACK --> B
    B -- ACK --> A
    A -- NACK --> B
  
```

- Permite incorporar fácilmente el control de errores
 - Retransmisión de las tramas confirmadas negativamente
- Problemas:
 - Possible bloqueo por pérdida de tramas
 - Posibles duplicidades de tramas si retransmisión

34

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de parada y espera

4.2 Protocolo de parada y espera ₂

Modificaciones (necesarias):

- Incorporación de temporizadores**
 - Evitar el bloqueo en caso de pérdida de tramas
 - Se retransmite la trama si expira el temporizador
- Ya no son necesarias las confirmaciones negativas

Etiquetado de tramas

- Discriminar duplicados en casos de retransmisión
- Funcionamiento
 - Se envía cada trama etiquetada con 0 ó 1
 - El receptor envía una confirmación indicando la **siguiente trama esperada**
 - Si es correcta, se envía la trama siguiente

Temporizador

A B

0 ACK1
1 ACK0
0 ACK1

35

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de parada y espera

4.2 Protocolo de parada y espera 3

- Incorpora ARQ de forma natural
 - Control de flujo + control de errores
- Capacidad de control de flujo limitada por el temporizador
 - Tiempo máximo de retención de la confirmación limitado por el temporizador
 - Efecto contraproducente
 - Elección adecuada del valor del temporizador
 - Posible uso de trama de control (confirmación) específica para detener el envío
- Possible transmisión bidireccional
- Protocolo adecuado para tramas muy largas
 - Normalmente se usan tramas cortas debido a:
 - Tamaño limitado del buffer en el receptor
 - Reducción del número de datos retransmitidos por errores y rápida detección de errores
 - Canal compartido en LAN
 - En la situación usual el protocolo es inadecuado (**ineficiente**)

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo o ▶ Protocolo de parada y espera

4.2 Protocolo de parada y espera 4

Eficiencia:

- Si $t_{prop} < t_{trama}$ uso eficiente
- Si $t_{prop} > t_{trama}$ el canal es infroutilizado

Notación:

- t_{prop} : tiempo de propagación
- t_{trama} : tiempo de trama (transmisión de trama)
- t_{ack} : tiempo de emisión ACK (transmisión ACK)
- t_{proc} : procesamiento

Instante inicial: t_0
 Fin emisión trama: $t_0 + t_{trama}$
 Recepción primer bit: $t_0 + t_{prop}$
 Recepción último bit: $t_0 + t_{trama} + t_{prop}$
 Generación ACK: $t_0 + t_{trama} + t_{prop} + t_{proc} + t_{ack}$
 Recepción ACK: $t_0 + t_{trama} + t_{prop} + t_{proc} + t_{ack} + t_{prop} + t_{proc2}$

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de parada y espera

4.2 Protocolo de parada y espera 5

$$t_0 = 2t_{prop} + 2t_{proc} + t_{trama} + t_{ack} = 2t_{prop} + 2t_{proc} + \frac{n_{trama} - n_o}{R} + \frac{n_{ack}}{R}$$

- Siendo **n** el número de bits y **R** la tasa de transferencia
- Tasa efectiva de transferencia

$$R_{ef}^0 = \frac{n. \text{bits datos enviados}}{\text{tiempo total requerido}} = \frac{n_{trama} - n_o}{t_0}$$

- Con **n_o** número de bits de sobrecarga de la trama de datos
- Eficacia de transmisión

$$\eta_0 = \frac{R_{ef}^0}{R} = \frac{1 - \frac{n_o}{n_{trama}}}{1 + \frac{n_{ack}}{n_{trama}} + \frac{2(t_{prop} + t_{proc})R}{n_{trama}}}$$

38

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de parada y espera

4.2 Protocolo de parada y espera 6

 **Modelo simplificado**

- Si t_{proc} y n_0 despreciables y $long(ACK) << long(trama)$

$$t_0 = (2t_{prop} + t_{trama})$$
- Sólo se transmiten datos durante t_{trama}

$$U = \frac{t_{trama}}{(2t_{prop} + t_{trama})} = \frac{t_{trama}}{2t_{prop} + t_{trama}}$$
- Si se define a :

$$a = \frac{t_{prop}}{t_{trama}} \Rightarrow U = \frac{1}{1+2a}$$
 Utilización máxima
 - Si $a \rightarrow 0$, $U \rightarrow 1$: Buena eficiencia para $t_{trama} \gg t_{prop}$
 - **Se ha obviado la situación de aparición de errores (NACK o expiración de temporizador)**

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

39

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

 Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de ventana deslizante

4.3 Protocolo de ventana deslizante

- Fuente de ineficiencia:
 - sólo una trama en circulación/confirmación
- Mejora:
 - Permitir la existencia de **varias tramas en tránsito**
 - El receptor dispone de **N** memorias temporales
 - Se pueden enviar hasta **N** tramas sin esperar la confirmación
 - ◆ Cada trama debe ir etiquetada/numerada
 - Las confirmaciones indican la siguiente trama esperada
 - Confirmación de **TODAS** las tramas previas a la indicada
 - Inconveniente: complicación del control de flujo
 - Lista de tramas enviadas pendientes de confirmación
 - Lista de tramas recibidas sin confirmar aún
 - Gestión de temporizadores individuales para cada trama
 - Listas de tramas que se pueden enviar/recibir

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

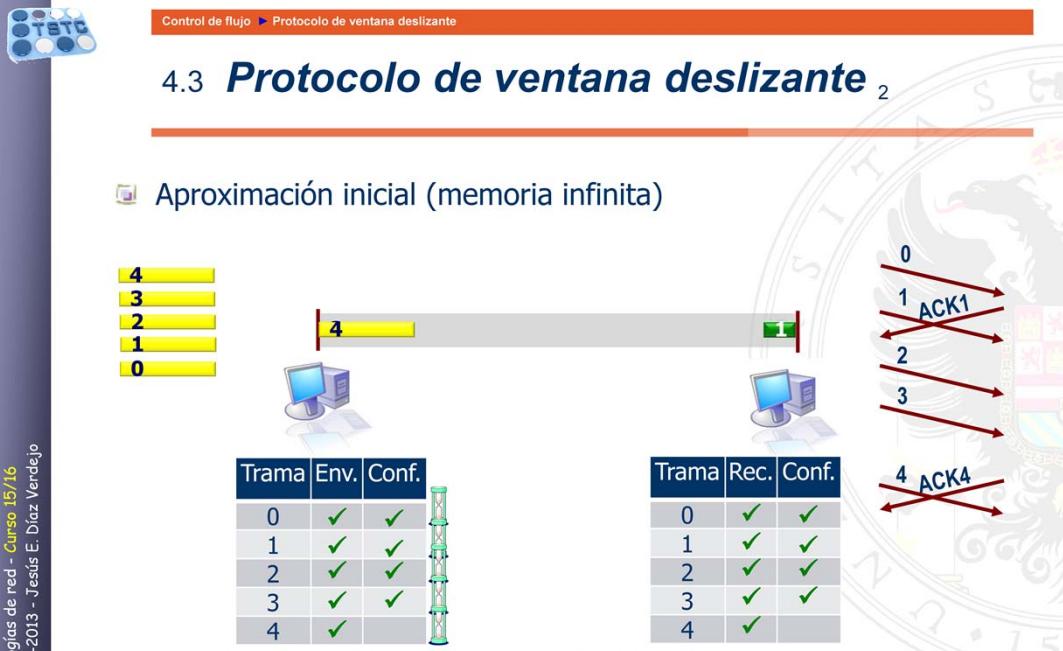
3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de ventana deslizante

4.3 Protocolo de ventana deslizante ₂



Aproximación inicial (memoria infinita)

Inadecuado (número finito de etiquetas)

- Uso de búferes circulares

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

41

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de ventana deslizante

4.3 Protocolo de ventana deslizante 3

Aproximación final (memoria limitada, n=2)

Pos.	Env.	Conf.
0	↑	↑
1	↑	↑
2	↑	↑
3	↑	↑
0	↑	↑

Pos.	Rec.	Conf.
0	↑	↑
1	↑	↑
2	↑	↑
3	↑	↑
0	↑	↑

Aparición natural del concepto de ventana

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

42

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de ventana deslizante

4.3 Protocolo de ventana deslizante 4



Resultado: Protocolo de ventana deslizante (*sliding window*)

- Se numeran las tramas módulo **N** ($0 < x < 2^n - 1$, para **n** bits)

Ventana de envío:

- Relación de números de trama que se pueden enviar**
 - Tramas no enviadas (etiquetas disponibles para nuevos envíos)
 - Tramas enviadas pendientes de confirmación
 - Deben estar en memoria para su posible retransmisión
- Puntero a última trama enviada**
- Tamaño máximo teórico 2^n

43

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo



Control de flujo ▶ Protocolo de ventana deslizante

4.3 Protocolo de ventana deslizante 5

Ventana de recepción:

- Relación de **números de trama aceptables**
 - Tramas que pueden recibirse
 - Puntero **tramas recibidas pendientes de confirmación**
 - Tamaño máximo (puntero a fin ventana) teórico 2^n

Tramas en proceso de recepción/confirmación

Tramas recibidas y confirmadas

Tramas pendientes de confirmar

Tramas que se aceptarán

Última trama confirmada

Avanza al enviar confirmaciones

Última trama recibida

Se reduce cuando se reciben tramas

N_{rec}

Ventana de recepción

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de ventana deslizante

4.3 Protocolo de ventana deslizante 6

- Tamaño de ventana de emisión
 - Se puede usar cualquier tamaño desde **1** a **2^n-1**
 - Posible confusión en caso de pérdida de la confirmación acumulada de 2^n tramas
 - El tamaño de la ventana de recepción depende de la técnica de recuperación de errores

Emisor	0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7
Receptor	0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7

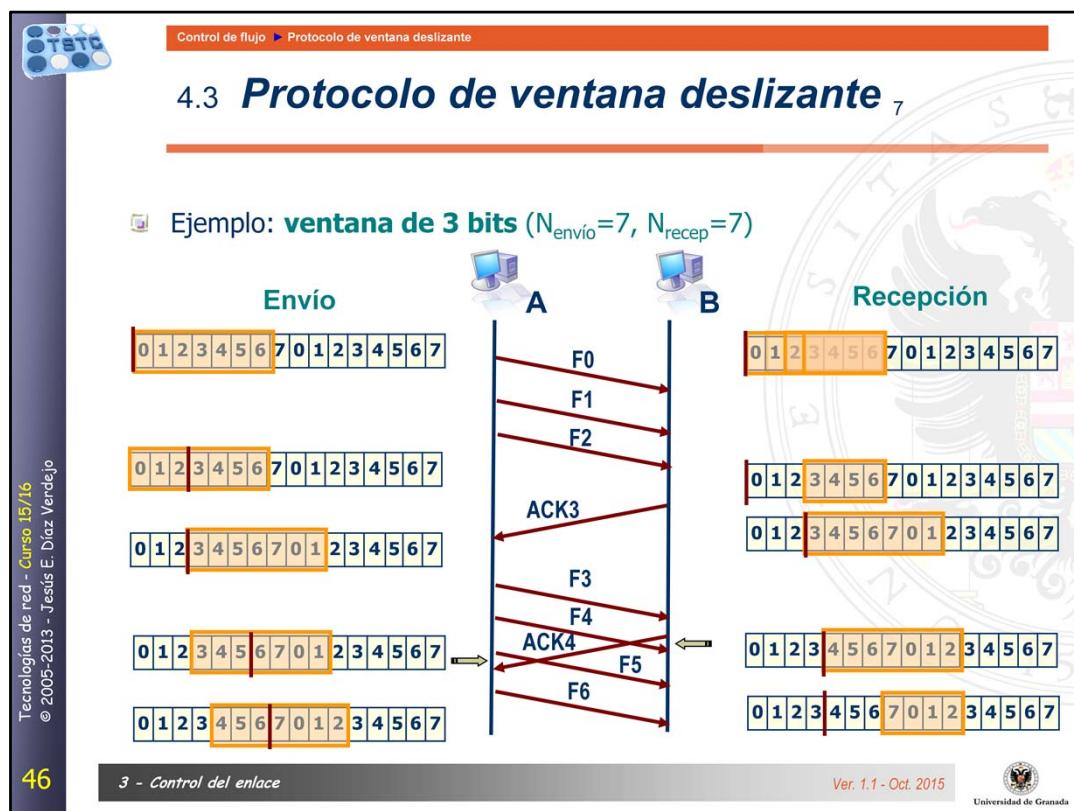
45

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada



Control de flujo ▶ Protocolo de ventana deslizante

4.3 Protocolo de ventana deslizante 8

Mejoras al protocolo

- Incorporación de confirmaciones (*piggybacking*)
 - Utilizar la transmisión en ambas direcciones
 - ACK o NACK en los mensajes en dirección contraria:
 - ◆ Si no hay datos para enviar, se envían tramas de confirmación
 - ◆ Si hay datos, pero no hay tramas nuevas que confirmar, se repite el último número confirmado
- Confirmación de tramas sin permiso para continuar la transmisión (*Receiver not ready, RNR*)
 - Se debe enviar una confirmación normal para continuar
 - Necesario para realizar el control de flujo
 - ◆ No pueden retenerse las confirmaciones
 - ◆ Expiración de temporizadores y retransmisiones en caso contrario

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

47

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de ventana deslizante ▶ Eficiencia

Eficiencia

Eficiencia (sin errores)

- Depende de N y de a
 - Suponemos modelo simplificado y $t_{trama}=1 \Rightarrow t_{prop}=a$

Dos casos

- $N > 2a + 1$**
 - ACK llega antes de terminar la ventana de envío

$U=1$

0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7

Principio trama 1

Comienzo ACK1

Llegada ACK1

Caso $N > 2a + 1$

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

48

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

Control de flujo ▶ Protocolo de ventana deslizante ▶ Eficiencia

Eficiencia ₂

- **N < 2a + 1**
 - Se acaba la ventana en $t_0 + N$
 - Se reinicia la transmisión en $t_0 + 2a + 1$

$$U = \frac{N}{2a + 1}$$

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de flujo ▶ Protocolo de ventana deslizante ▶ Eficiencia

Eficiencia ₃

- Compromiso entre aprovechamiento del BW y requisitos de memoria
- Eficiencia (sin errores)**

$$U = \begin{cases} 1 & \text{si } N \geq 1 + 2\alpha \\ \frac{N}{1 + 2\alpha} & \text{si } N < 1 + 2\alpha \end{cases}$$

Ventana deslizante sin errores

Utilización

α

N = 1
N = 7
N = 127

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

50

Técnicas ARQ

- Mecanismos necesarios para detección y corrección de errores
 - Los datos se envían en base a una secuencia de tramas
 - Se reciben en el mismo orden en que fueron enviadas
- Dos tipos de errores potenciales:
 - **Tramas perdidas:** una trama enviada no llega al receptor
 - **Tramas dañadas:** recepción de trama con algunos bits erróneos
- Técnicas a utilizar (ARQ):
 - Detección de errores
 - Confirmaciones positivas
 - Retransmisión tras expiración de un temporizador
 - Confirmaciones negativas y retransmisión (opcional)
- Tres técnicas básicas estándar
 - ARQ con parada y espera
 - ARQ con vuelta atrás N
 - ARQ con repetición selectiva

3 - Control del enlace Ver. 1.1 - Oct. 2015

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

51

Técnicas ARQ

5 Técnicas ARQ₂

Parada y espera

- Procedimiento de control de flujo de parada y espera
 - Ya estudiado
 - Se transmite una trama y se espera su confirmación
 - Si confirmación negativa o expiración del temporizador se retransmite la trama

■ Errores posibles:

- **Trama deteriorada:** llega una trama dañada
 - Los códigos de detección indicarán que la trama es errónea
 - Simplemente se descarta
 - No existen garantías sobre la identidad (etiqueta) de la trama
 - Retransmisión automática cuando expire el temporizador
- **Confirmación deteriorada:** una confirmación se deteriora en tránsito
 - Retransmisión cuando expire temporizador
 - Envío duplicado de una trama correcta: uso de etiquetas para diferenciar tramas

!Ineficiente en situaciones prácticas!

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

32

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Técnicas ARQ ▶ Adelante atrás N

5.1 Adelante atrás N

- Se eliminan en el receptor todas las tramas recibidas tras el error
 - El emisor debe reenviar todas las tramas tras la errónea
- **Ventana de recepción** de tamaño **1**
 - Sólo se considera válida la trama siguiente
- **Ventana de envío** de tamaño máximo **$2^n - 1$**
 - Aproximación optimista

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

53

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Técnicas ARQ ► Adelante atrás N

5.1 Adelante atrás N₂

- A ha enviado la trama i y B ha recibido la trama $i-1$ sin errores

■ Errores posibles:

- 1) **Trama deteriorada:** se descarta la trama
 - a) A envía trama $i+1$, B la recibe correcta, pero fuera de orden
 - Se puede enviar $NACK(i)$
 - b) A no envía más tramas (antes de temporizador)
 - Reenvío automático al expirar temporizador
 - Posibilidad de uso de sondeo (se estudiará en HDLC)
- 2) **Trama confirmación positiva deteriorada:** B recibe trama i y envía $ACK(i+1)$ que se estropea
 - a) Transmisión posterior de $ACK(i+2)$ antes de expirar temporizador
 - Confirmación acumulativa
 - b) No envío posterior: retransmisión automática por temporizador
 - Posible uso de sondeo y proceso de reinicio si persisten los problemas
- 3) **Trama confirmación negativa deteriorada**
 - Equivalente a 1.b)

Técnicas ARQ ▶ Repetición selectiva

5.2 Repetición selectiva

- Se almacenan las tramas posteriores al error
- Sólo se reenvía la trama errónea

Ventana de recepción de tamaño 2^{n-1}

- Posibles ambigüedades si se pierde la confirmación de una serie de 2^{n-1} tramas

Ventana de envío de tamaño 2^{n-1} (2^{n-1} si aproximación optimista)

Diagram illustrating Selective Repeat ARQ. It shows three states of a sequence of 12 frames (0-11). In the first state, frames 4-6 are lost. ACK1 and ACK2 are received for frames 0-3. NACK2 is sent for frame 5. In the second state, frame 5 is retransmitted. ACK6 is received for frame 6. In the third state, frames 6-8 are lost. ACK7, ACK8, and ACK9 are received for frames 0-4. NACK1 is sent for frame 6.

55

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Técnicas ARQ ▶ Análisis de prestaciones

5.3 Análisis de prestaciones

- La técnica de recuperación de errores afecta al rendimiento
 - Se transmitirán tramas inservibles

■ Parada y espera

- Cada trama se retransmite hasta su envío correcto

$$U = \frac{t_{trama}}{N_r t_0} \Rightarrow U = \frac{1}{N_r(1+2a)} \quad \text{Modelo simplificado}$$

N_r número de retransmisiones (**t_{temp}** = **t₀**)

- Si la probabilidad de error en una trama es **P_t**

$$N_r = E[\text{retransmisiones}] = \sum_{i=1}^{\infty} i \Pr[i \text{ transmisiones}] = \frac{1}{1-P_t}$$

(Probabilidad **P_t^{k-1}(1-P_t)** de necesitar **k** intentos)

- Finalmente

$$\eta = (1-P_t) \frac{1 - \frac{n_o}{n_{trama}}}{1 + \frac{n_{ack}}{n_{trama}} + \frac{2(t_{prop} + t_{proc})R}{n_{trama}}} = (1-P_t)\eta_0$$

$$U = \frac{1-P}{(1+2a)} \quad \text{Modelo simplificado}$$

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

56

3 - Control del enlace

Control de errores ▶ Análisis de prestaciones

5.3 Análisis de prestaciones 2

Repetición selectiva

- El número de repeticiones puede aproximarse por $N_r = 1/(1-P_t)$
- Casos:

$$Nt_{trama} \geq 2(t_{prop} + t_{proc}) + \frac{n_{trama} + n_{ack}}{R}$$

$$\eta = (1 - P_t) \left(1 - \frac{n_o}{n_{trama}} \right) = (1 - P_t) \eta_0$$

$$Nt_{trama} < 2(t_{prop} + t_{proc}) + \frac{n_{trama} + n_{ack}}{R}$$

$$\eta = (1 - P_t) \frac{\left(1 - \frac{n_o}{n_{trama}} \right) N}{1 + \frac{n_{ack}}{n_{trama}} + \frac{2(t_{prop} + t_{proc}) R}{n_{trama}}} = (1 - P_t) \eta_0$$

- Modelo simplificado

$$U = \begin{cases} 1/N_r & \text{si } N \geq 1 + 2a \\ \frac{N}{N_r(1+2a)} & \text{si } N < 1 + 2a \end{cases} \Rightarrow U = \begin{cases} 1 - P & \text{si } N \geq 1 + 2a \\ \frac{N(1 - P)}{1 + 2a} & \text{si } N < 1 + 2a \end{cases}$$

Repetición selectiva con errores

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Control de errores ▶ Análisis de prestaciones

5.3 Análisis de prestaciones 3

Adelante-atrás N

- Se retransmiten **K** tramas tras un error

$$N_r = \sum_{i=1}^{\infty} f(i) \cdot P_t^{i-1} \cdot (1-P) = \sum_{i=1}^{\infty} [(i-1)K + 1] \cdot P_t^{i-1} \cdot (1-P) = \frac{1 - P_t + K P_t}{1 - P_t}$$

- Casos $N t_{trama} < 2(t_{prop} + t_{proc}) + \frac{n_{trama} + n_{ack}}{R}$

$$\eta = (1 - P_t) \frac{\left(1 - \frac{n_o}{n_{trama}}\right)}{1 + (N-1)P_t} = (1 - P_t)\eta_0$$

Modelo simplificado

- Suponiendo **$K \approx 2a+1$** si **$N \geq 2a+1$** y que **$K \approx N$** si **$N < 2a+1$**

$$U = \begin{cases} \frac{1 - P}{1 + 2aP} & N \geq 2a + 1 \\ \frac{N(1 - P)}{(2a + 1)(1 - P + NP)} & N < 2a + 1 \end{cases}$$

Adelante atrás N con errores

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

38

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Ejemplos de protocolos ► HDLC

6.1 HDLC

 **HDLC** (*High-level Data Link Control*)

- ISO 3309, ISO4335
- Ampliamente usado
- Base de otros protocolos ampliamente usados

Características básicas

- 3 tipos de estaciones
 - **Primarias:** responsables del control del enlace. Emiten comandos
 - **Secundarias:** operan bajo el control de una primaria. Emiten respuestas
 - **Combinadas:** combinación de primarias y secundarias
- 3 modos de transferencia
 - **Normal Response Mode (NRM):** conf. no balanceada. Sólo el primario puede iniciar la transferencia (terminales y conexiones punto a punto)
 - **Asynchronous Balanced Mode (ABM):** conf. balanceada. Ambas pueden iniciar la transferencia (más usado)
 - **Asynchronous Response Mode (ARM):** conf. no balanceada. El secundario puede iniciar la transferencia, pero el control lo mantiene el primario

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

 Universidad de Granada

Ejemplos de protocolos ► HDLC

6.1 **HDLC**

Estructura de las tramas

- Transmisión síncrona
- Un solo formato de trama
- Varios campos

Flag	Dirección	Control	Información	FCS	Flag
8 bits	8 bits (ampliable)	8 ó 16 bits	Variable	16 ó 32 bits	8 bits

Cabecera=flag+direc.+control
Cola=FCS+flag

Campos

- Flag (01111110) (~)
 - Principio y fin de trama
 - Se usa relleno de bit
 - Ejemplo

3 - Control del enlace Ver. 1.1 - Oct. 2015

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

Universidad de Granada

Ejemplos de protocolos ▶ HDLC

6.1 HDLC₃

- Dirección**
 - Identifica estación secundaria
 - Se incluye siempre
 - No es necesario en punto-a-punto
 - Usualmente son 8 bits
 - Extensible en múltiplo de 7 bits
 - Encadenamiento mediante 0
 - 11111111 para *broadcast*
- Control**
 - Tres tipos de tramas
(Tres tipos de campos de control)
 - Tramas informativas (I)**
 - Transporte de datos
 - Datos de control de flujo, errores y *piggybacking*
 - Tramas de Supervisión (S)**
 - ARQ cuando no *piggybacking*
 - Tramas sin numerar (U)**
 - Funciones de control suplementarias
 - Los dos primeros bits identifican el tipo

The diagram illustrates the HDLC frame structure and the three types of frames:

- Frame Structure:** The frame consists of several fields: Flag (8 bits), Dirección (8 bits, ampliable), Control (8 ó 16 bits), Información (Variable), FCS (16 ó 32 bits), and another Flag (8 bits). The information field is shown as a sequence of bits: 0, 0, ..., 1.
- Information (I) Frame:** Contains fields: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, N(S), P/F, and N(R).
- Supervisión (S) Frame:** Contains fields: 1, 0, S, P/F, and N(R).
- Sin numerar (U) Frame:** Contains fields: 1, 1, M, P/F, and M.

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

61

Ejemplos de protocolos ▶ HDLC

6.1 HDLC₄

- Formato de 16 bits
 - n. de secuencia de 7 bits

Flag	Dirección	Control	Información	FCS	Flag
8 bits	8 bits (ampliable)	8 ó 16 bits	Variable	16 ó 32 bits	8 bits

16 bits

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Información (I)								N(S)	P/F	N(R)						
Supervisión (S)								1	0	S	0	0	0	P/F	N(R)	

• **Información**

- Presente sólo en tramas I y algunas U
- Contienen los datos (núm. entero de octetos)
- Longitud variable (con máximo)

• **Frame Check Sequence (FCS)**

- Código de detección de errores
- Usualmente 16 bits CRC CCITT (opcionalmente 32-bit CRC-32)

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

Universidad de Granada

Ejemplos de protocolos ► HDLC

6.1 HDLC 5

Operación

- Intercambio de tramas I, S y U

Tres fases:

- Inicialización**
 - Inicialización de datos y contadores para intercambio correcto
 - Especificación de modo (NRM, ABM, ARM)
 - Tipo de control (3 ó 7 bits) para número de secuencia
 - El receptor responde UA o DM para aceptar/rechazar la conexión

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

63

Ejemplos de protocolos ▶ HDLC

6.1 HDLC₆

Intercambio

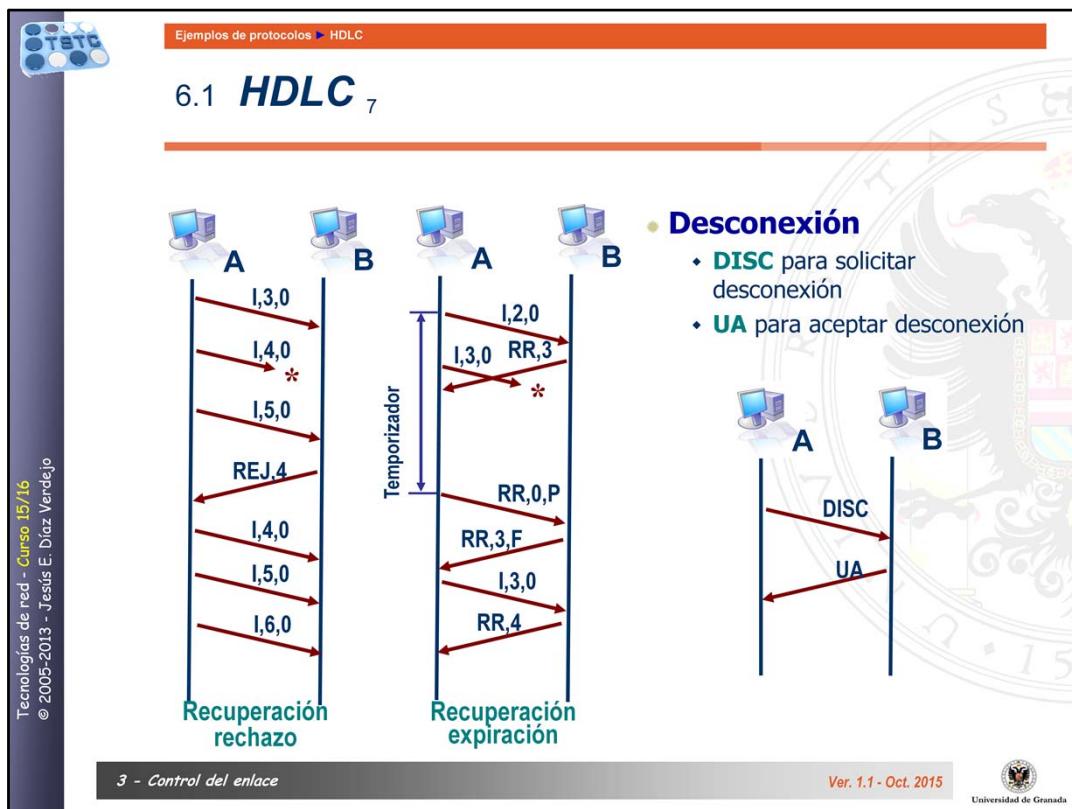
- Se envían **tramas I** con los datos
- Se numeran las secuencias (**N(s)** y **N(R)**)
 - **N(S)** núm. trama enviada
 - **N(R)** núm. trama esperada
- Usualmente módulo 8 ó 128 (3-7 bits)
- También se usan **tramas S** para control (cuando no *piggybacking*)
 - **RR** para ACK
 - **RNR** para ACK y parada
 - **REJ** para adelante-atrás N
 - **SREJ** para repetición selectiva

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada



Ejemplos de protocolos ► HDLC

6.1 **HDLC** 8

Nombre	Órdenes/ Respuesta	Descripción
Información (I)	C/R	Intercambio de datos de usuario
Supervisión (S)		
Receptor preparado (RR)	C/R	Confirmación positiva; preparado para recibir tramas I
Receptor no preparado (RNR)	C/R	Confirmación positiva; no preparado para recibir
Rechazo (RE)	C/R	Confirmación negativa; adelante-atrás N
Rechazo selectivo (SREL)	C/R	Confirmación negativa; rechazo selectivo
No numerada (U)		
Fijar el modo de respuesta normal/ampliado (SNRM/SNRME)	C	Fija el modo; ampliado=números de secuencia de 7 bits
Fijar el modo de respuesta asíncrono/ampliado (SARM/SARME)	C	Fija el modo; ampliado=números de secuencia de 7 bits
Fijar el modo de respuesta balanceado asíncrono/ampliado (SABM/SABME)	C	Fija el modo; ampliado=números de secuencia de 7 bits
Fijar el modo de iniciación (SIM)	C	Inicia las funciones de control del enlace en la estación direccionada
Desconectar (DISC)	C	Finaliza la conexión lógica del enlace
Confirmación no numerada (UA)	R	Confirma la aceptación de una de las órdenes para fijar el modo
Modo desconectado (DM)	C	Finaliza la conexión lógica del enlace
Solicitud de desconexión (RD)	R	Solicita una orden DISC
Solicitud de modo de iniciación (RIM)	R	Se necesita iniciación; solicitud de la orden SIM
Información no numerada (UI)	C/R	Se utiliza para intercambiar información de control
Sondeo no numerado (UP)	C	Se utiliza para solicitar información de control

3 - Control del enlace Ver. 1.1 - Oct. 2015

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

Universidad de Granada

Ejemplos de protocolos ► LLC

6.2 LLC

Logical Link Control

- Usado para el control del enlace en LAN
- Opera sobre la capa MAC

3 tipos de servicio:

- **Tipo 1 (no orientado a conexión sin confirmación)**
 - No hay control de flujo ni de errores
 - No hay establecimiento de conexión
 - Transmisión de datos no secuenciada con tramas de información no numerada (**UI**)
 - Otras dos PDUs para funciones de gestión
- **Tipo 2 (orientado a conexión con confirmación)**
 - Se establece una conexión previa al intercambio de datos
 - Inicio de conexión en modo **SABME** según HDLC
 - Operación idéntica a HDLC
- **Tipo 3 (no orientado a conexión con confirmación)**
 - Se confirma cada PDU transmitida
 - Se define PDU no numerada de información no orientada a conexión (**AC**)
 - Los datos se envían en PDU de orden tipo AC y deben ser confirmadas mediante PDU de respuesta tipo AC
 - Se numeran las tramas (**0 ó 1**)
 - Sólo una trama en tránsito

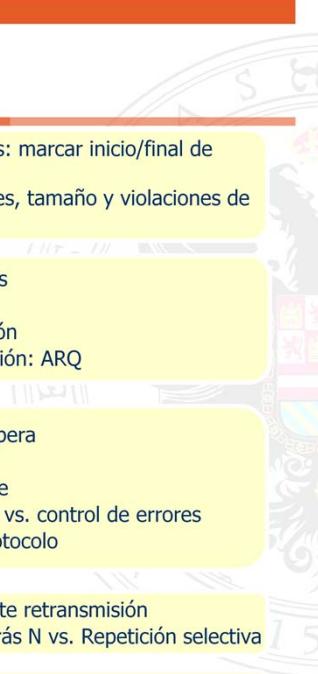
3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

67

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo



Conceptos básicos

- Delimitación tramas
 - Necesidad de establecer bloques: marcar inicio/final de bloques
 - Métodos aplicables: delimitadores, tamaño y violaciones de código
- Errores
 - Características y tipos de errores
 - FEC vs. BEC
 - Códigos de detección / corrección
 - Técnicas basadas en retransmisión: ARQ
- Control de flujo
 - Mecanismo simple: parada y espera
 - Cuestiones de rendimiento
 - Protocolos de ventana deslizante
 - Optimizaciones: control de flujo vs. control de errores
 - Optimizaciones: mejoras del protocolo
- Técnicas ARQ
 - Recuperación de errores mediante retransmisión
 - Parada y espera vs. Adelante-atrás N vs. Repetición selectiva
- Protocolos
 - HDLC / LLC

3 - Control del enlace

Ver. 1.1 - Oct. 2015

Universidad de Granada

Tecnologías de red - Curso 15/16
© 2005-2013 - Jesús E. Díaz Verdejo

69