3. LA CAPA DE ENLACE DE DATOS

Contenido

- 3.1 Cuestiones de diseño de la capa de enlace de datos
- 3.2 Detección y corrección de errores
- 3.3 Protocolos elementales de enlace de datos
- 3.4 Protocolos de ventana deslizante

- Limitaciones de los medios de comunicación:
  - Tienen una **limitada** tasa de datos
  - **Retardan** de propagación de los bits
  - Se producen **errores** en la transmisión de los datos

3.1 Cuestiones de diseño de la capa de enlace de datos

- Las funciones de la capa 2 son dos:
  1. Maneja los errores de transmisión
  2. Regula el flujo de datos: emisores rápidos y receptores lentos

- Para realizar las funciones, la capa 2 encapsula los paquetes de la capa 3 en tramas
- Trama:
  - Encabezado (head)
  - Carga útil: paquete (packet)
  - Cola (tail)
- Los controles de flujo y errores los realizan las capas 2 y 4

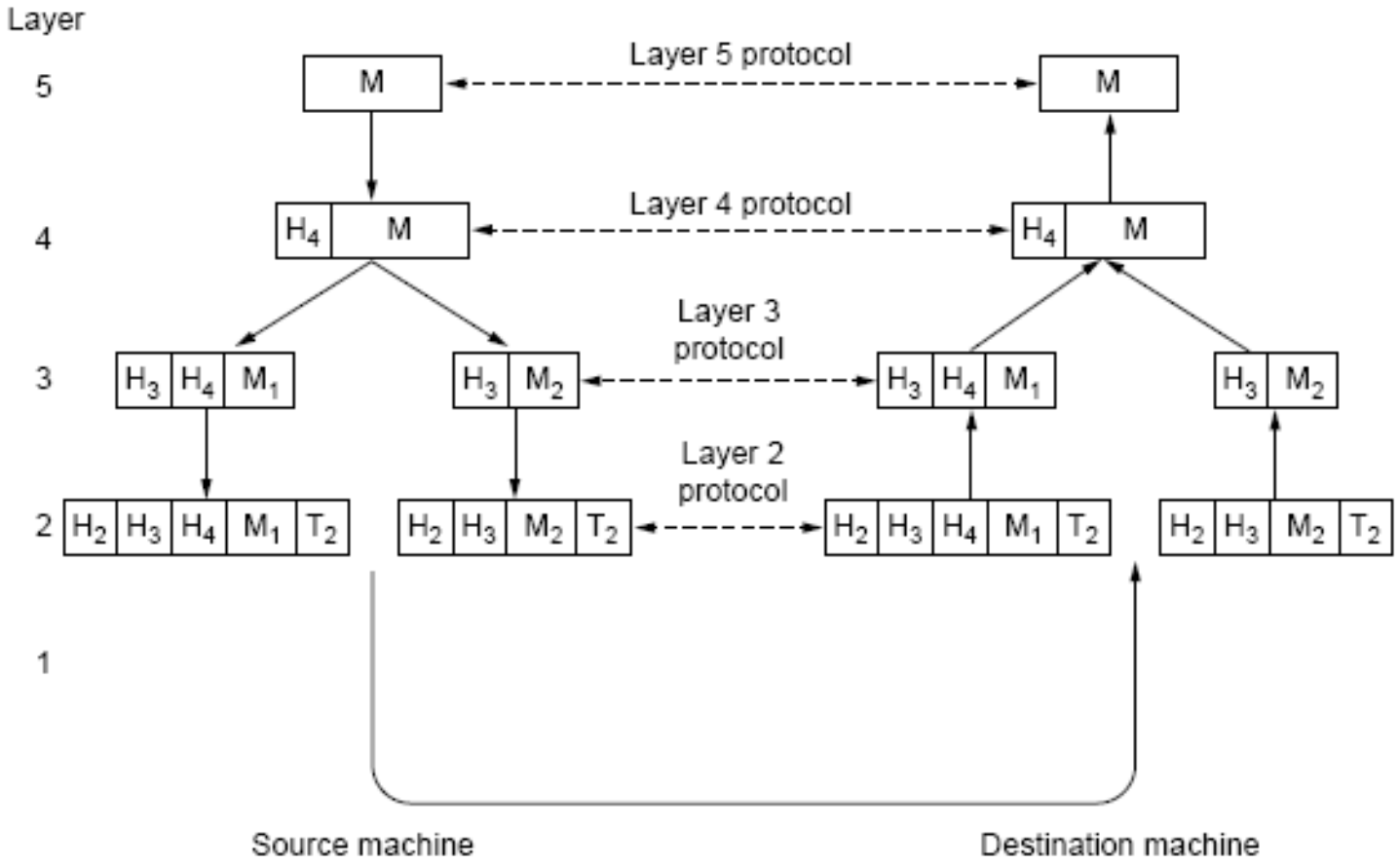


Fig. 1-15. Example information flow supporting virtual communication in layer 5.

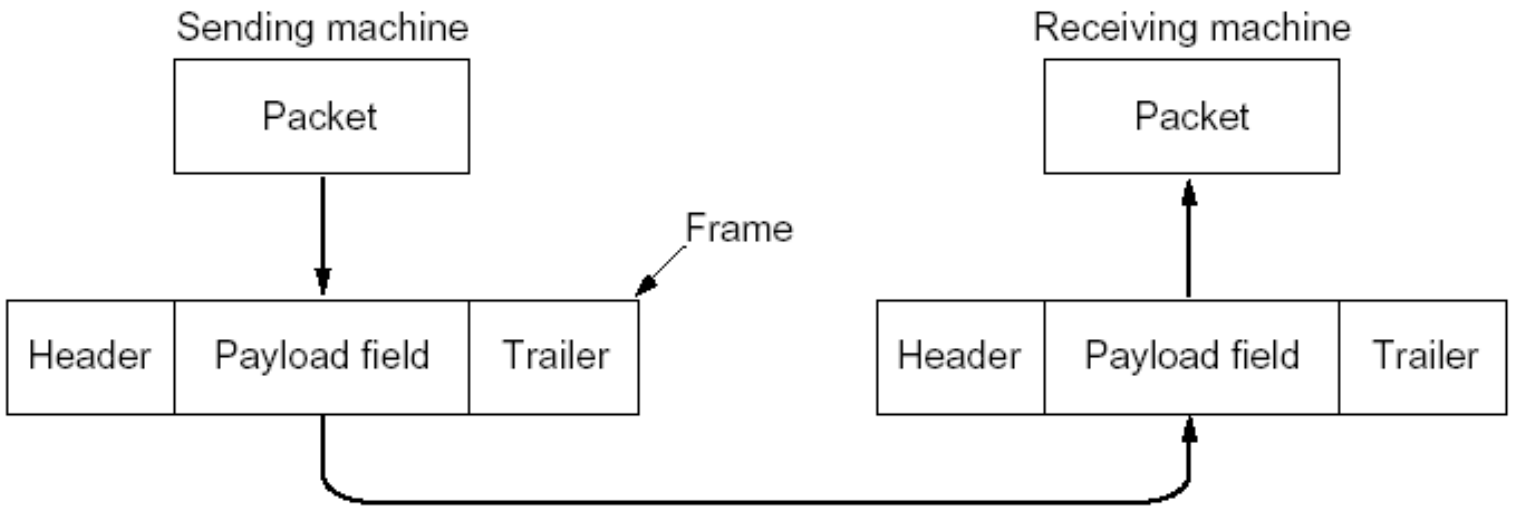


Fig. 3-1. Relationship between packets and frames.

3.1.1 Servicios a la capa de red

- Servicio principal: transferir datos de la capa 3 en el origen a la capa 3 en el destino

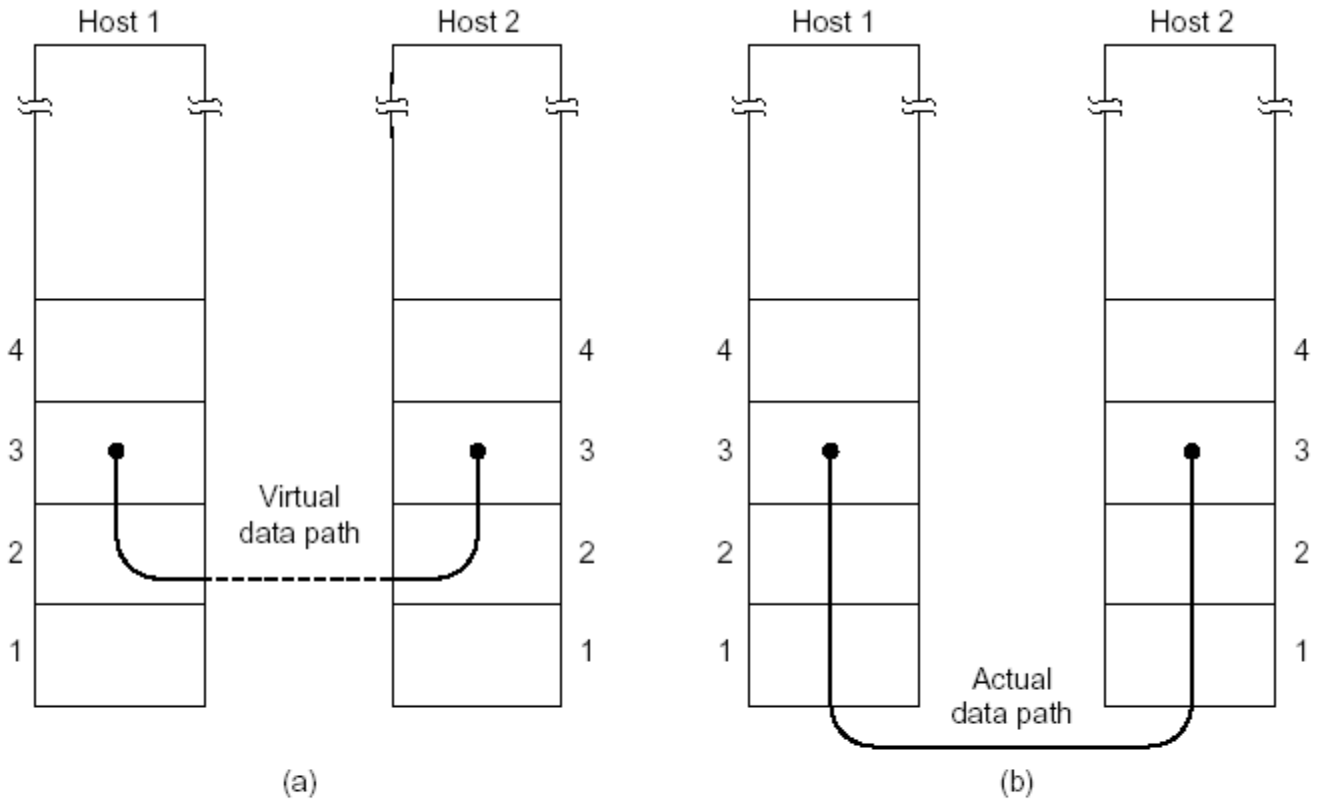


Fig. 3-2. (a) Virtual communication. (b) Actual communication.

Formas de dar servicio de la capa de enlace

- La capa 2 tiene tres maneras de dar el servicio a la capa 3
  - Sin conexión sin ACK.
  - Sin conexión con ACK.
  - Orientado a la conexión con ACK.

Servicio sin conexión **sin** ACK

- El origen envía tramas independientes al destino sin pedir confirmación (acknowledgment)
- No hay control de daño o pérdida de tramas debido al ruido en el medio
- En el destino, los datos se aceptan con o sin errores
- Servicio apropiado con medios de transmisión con baja tasa de errores
- Adecuado en:
  - redes LAN como Ethernet
  - aplicaciones de tiempo real: VoIP, videoconferencia

Servicio sin conexión **con** ACK

- El receptor avisa al emisor de qué manera llegó la trama
- Si la trama no ha llegado o llega dañada, el emisor lo reenvía
- ¿Cómo sabe el emisor que la trama no ha llegado a su destino?
- Usado en canales inestables: inalámbricos
- Con FO este servicio es innecesario, ¿por qué?
- Porque los datos llega y sin errores
- Utilizado en mensajería de texto de telefonía móvil (WhatsApp): se envía un mensaje y se recibe su confirmación

Servicio orientado a la conexión con ACK

- Es un servicio confiable
- Se simula una conexión numerando las tramas
- La numeración permite garantizar:
  - Recibir todas las tramas
  - En forma ordenada
  - Una sola vez
  - Sin errores
- Se simula una conexión porque las tramas llegan en orden y una sola vez
- El algoritmo podría implementarse en hardware

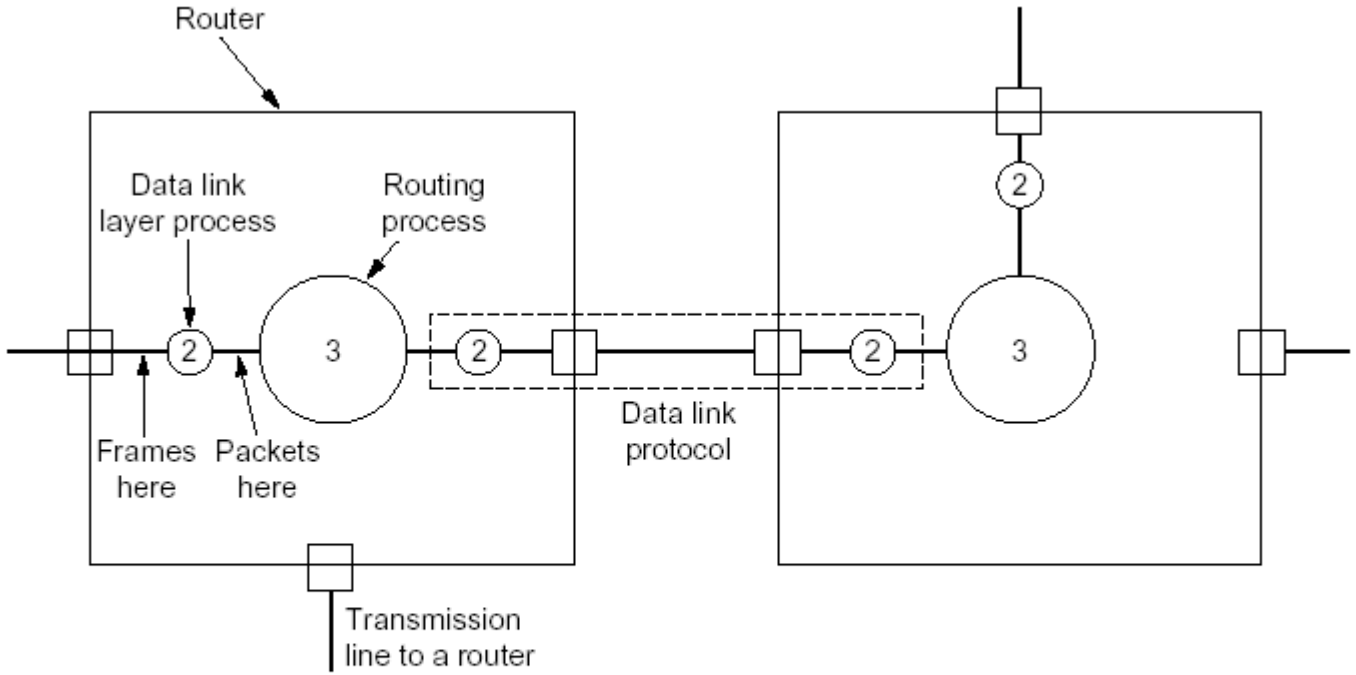


Fig. 3-3. Placement of the data link protocol.

3.1.2 Entramado

- Métodos para indicar el inicio y fin de una trama:
  - Inserción de intervalos de tiempo entre las tramas
  - Conteo de caracteres
  - Banderas de inicio y fin, con relleno de caracteres
  - Banderas de inicio y fin, con relleno de bits
  - Violación de codificación de la capa física

Inserción de intervalos de tiempo

- Pausas entre tramas
  - Similar a los espacios de tiempo entre palabras
- Riesgo:
  - Los intervalos podrían ser eliminados
  - Por error podrían insertarse intervalos dentro de una trama

Conteo de caracteres

- Longitud de la trama: campo en la cabecera para indicar el número de caracteres de la trama

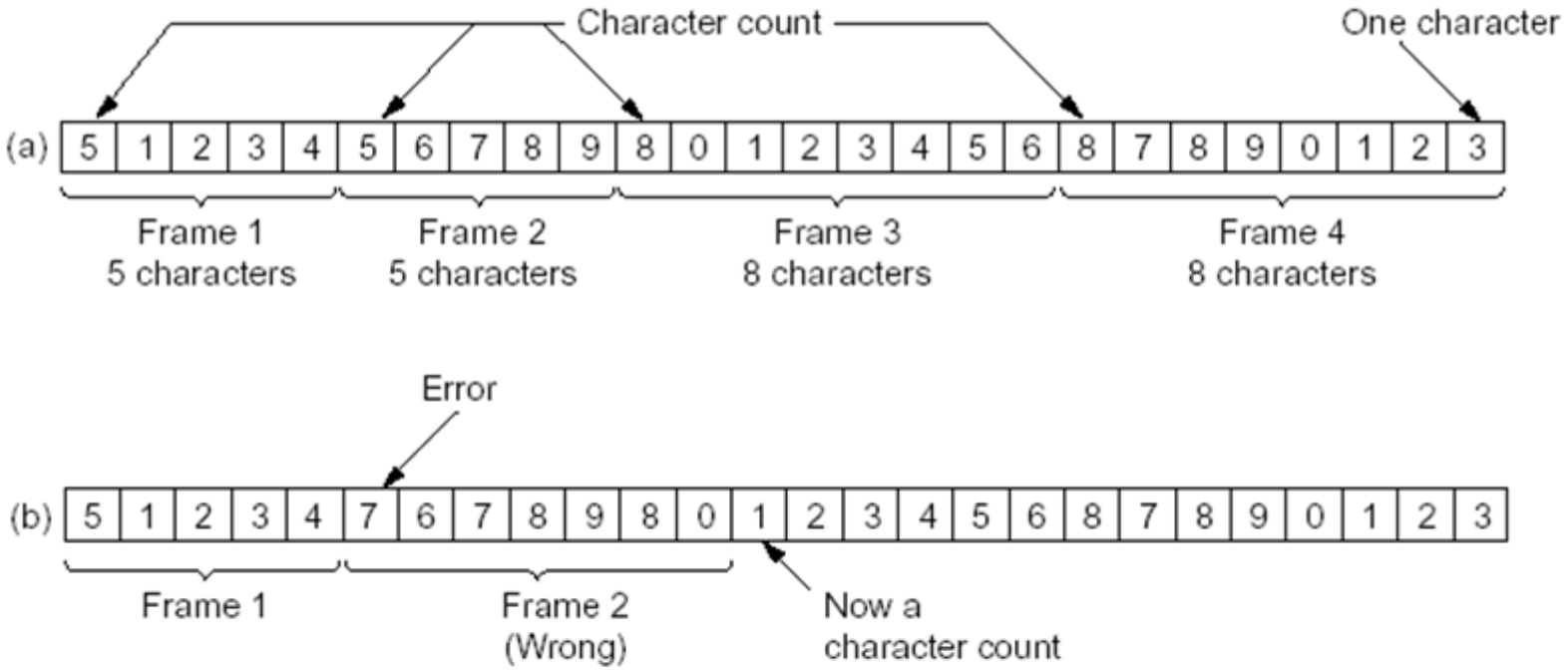
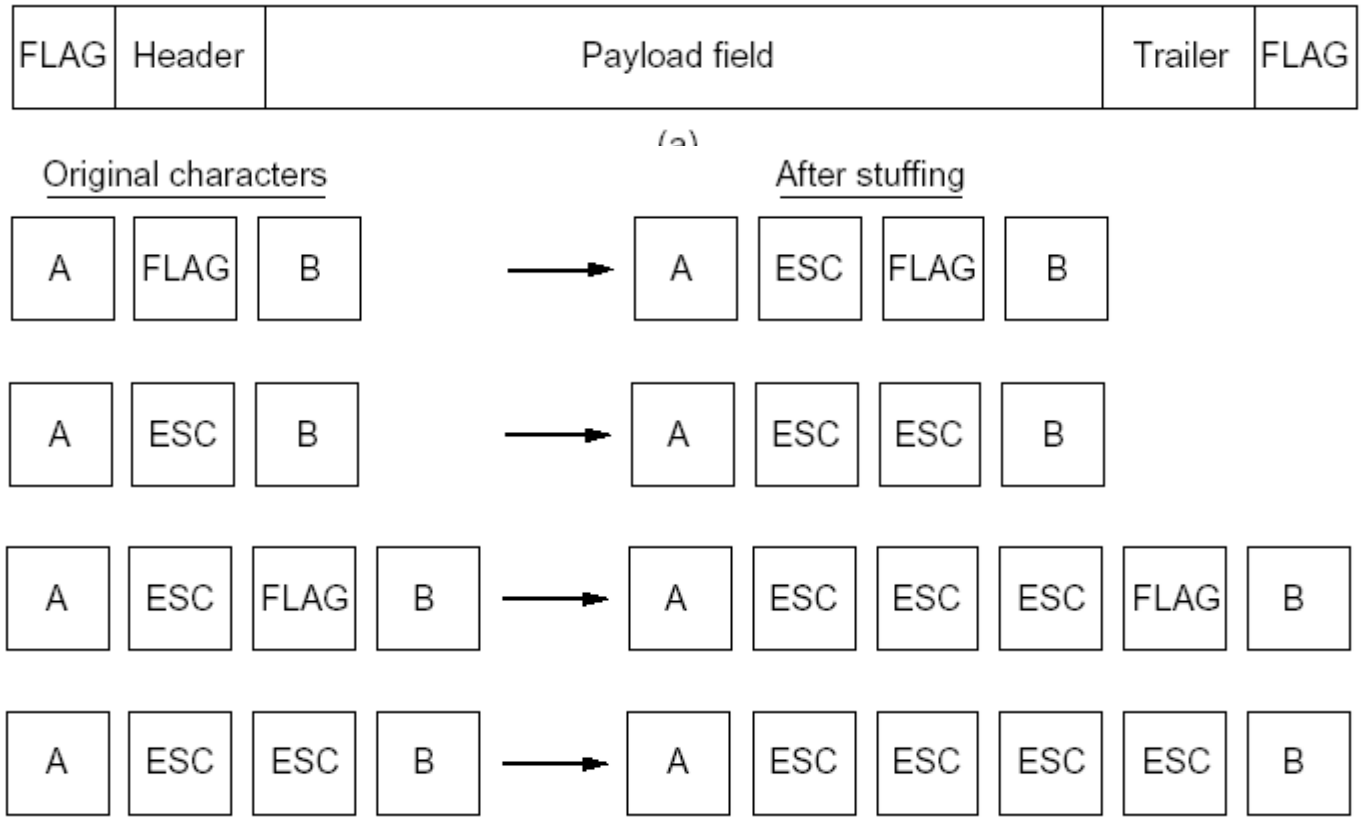


Fig. 3-4. A character stream. (a) Without errors. (b) With one error.

Banderas con relleno de caracteres

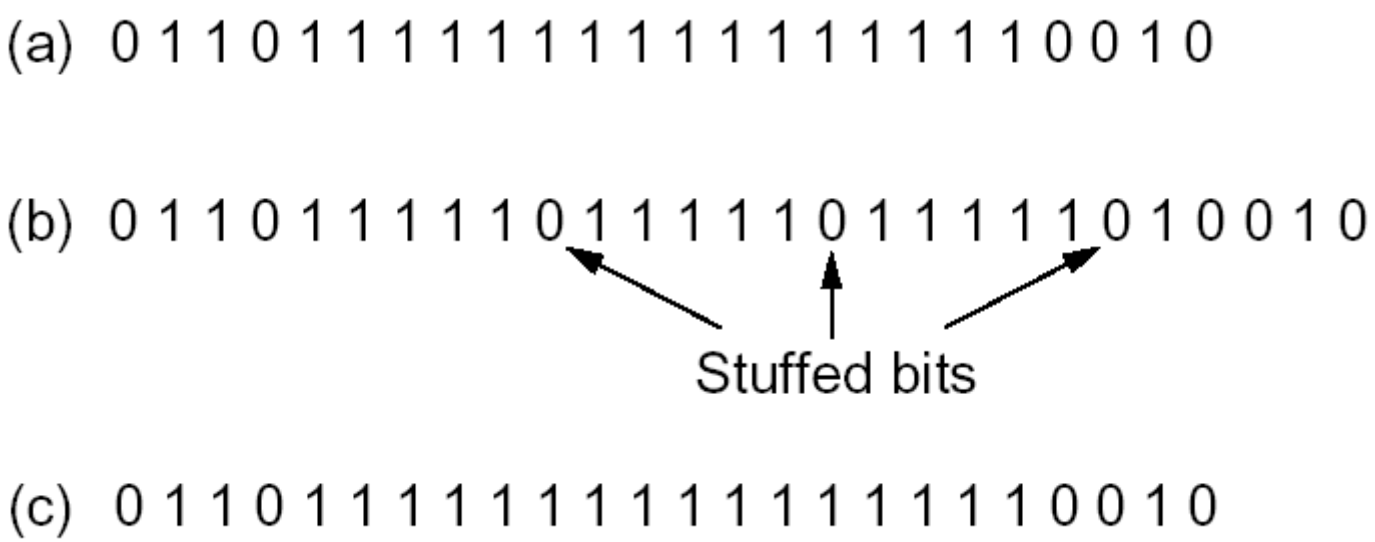
- Inicio y fin de una trama con un byte especial
- 01111110
- La bandera sincroniza al receptor con el emisor
- Si el receptor pierde sincronía, puede esperar la siguiente bandera
- Dos banderas consecutivas señalan el fin de una trama e inicio de la siguiente
- Podría ocurrir que el patrón de bits de la bandera aparezca entre los datos
- Para solucionar se usa el byte ESC


FLAG
Header
Payload field
Trailer
FLAG
(a)
Original characters
After stuffing
A
FLAG
B
A
ESC
FLAG
B
A
ESC
B
A
ESC
ESC
B
A
ESC
FLAG
B
A
ESC
ESC
ESC
FLAG
B
A
ESC
ESC
B
A
ESC
ESC
ESC
ESC
B

Banderas con relleno de bits

- Cada trama inicia y termina con 01111110 (seis 1s)
- Si la capa 2 encuentra cinco 1s consecutivos en los datos, inserta un 0
- Si el receptor ve cinco 1s de entrada seguido de un 0, extrae el 0 de relleno

Bits de relleno en los datos



Violaciones de codificación de la capa física

- Algunas LANs representan los bits de datos usando codificación Manchester
  - Alto – bajo: bit 1
  - Bajo – alto: bit 0
- alto-alto y bajo-bajo no se usa para datos
- Algunos protocolos usan alto-alto y bajo-bajo para delimitar tramas

3.1.3 Formas de controlar los errores

- Primero es necesario implementar un sistema de detección los errores
- Luego se retroalimenta al emisor con tramas de control ACK – NACK
- Son tramas de confirmación positiva o negativa
- ACK *Acknowledgement*
- ACK: envíe la siguiente trama
- NACK: Retransmita la trama dañada
- Si la trama de datos no llega al receptor, no hay retroalimentación:
  - Inicio de temporizador en el emisor
  - Expira el temporizador – retransmite
  - Tramas numeradas para no duplicar si el receptor si recibió la trama pero ACK se perdió

3.1.4 Control de flujo

- Si existen emisores rápidos y/o receptores lentos
- Hay saturación, sobrecarga o desbordamiento del receptor
- Para evitarlo se controla el flujo de tramas del emisor hacia el receptor:
  - Basado en retroalimentación al emisor. Se usa en la Capa de Enlace de Datos
  - Basado en tasa. El protocolo limita la tasa a la que el emisor puede transmitir los datos. Se asigna un determinado ancho de banda. Usado en la Capa de Red

3.2 Detección y corrección de errores

- Fundamentalmente los errores se producen en:
  - Última milla, si es de cobre (*local loop,* bucle local, bucle de abonado, o planta externa del proveedor del servicio)
  - Comunicación inalámbrica
- Debido a ráfagas de ruido, los errores aparecen en ráfagas de bits, no individualmente
- Desventaja de errores en ráfaga: más difíciles de detectar y corregir
- Ventaja: dañan una o máximo dos tramas

3.2.1 Códigos de corrección de errores

- Hay dos estrategias:
- Códigos de corrección de errores
  - Incluir información redundante en la trama para que el receptor corrija el error
- Códigos de detección de errores
  - Incluir suficiente información para que el receptor sepa que ha ocurrido un error

- Fibra óptica: tasa baja de error porque el medio es inmune al ruido
  - Es suficiente usar códigos de detección de errores
- Wireless: tasa alta de errores debido a ruido ambiental, descargas eléctricas atmosféricas, interferencia con otras señales
  - Es mejor usar códigos de corrección de errores

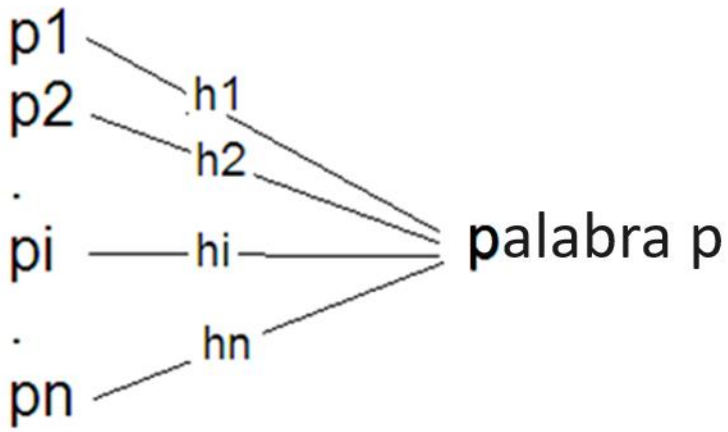
- En dos palabras codificadas, el número de bits en los que difieren es h

```
          10001001
          10110001
XOR       00111000
```

- En el ejemplo, h = 3
- h es la distancia de Hamming

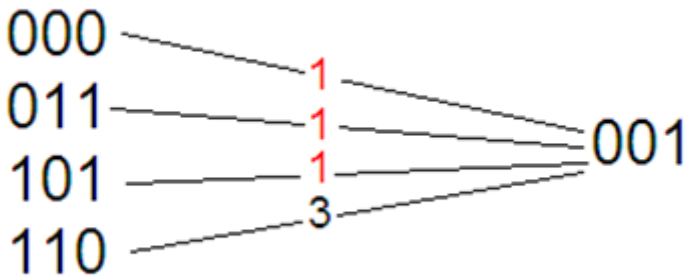
- Se puede construir una lista completa de palabras válidas
- Las palabras deben ser lo suficientemente distintas entre sí
- Para ello, h entre dos palabras no será menor a una distancia mínima **m**
- La facilidad para detectar y corregir errores depende de h
- Si una palabra tiene un h < **m** con alguna de las palabras legales, se detectará el error
- Si h < m, esta cantidad h de bits no es posible convertir una palabra válida en otra palabra válida

Lista legal



Si hi < m, se detecta error

Lista legal m = 2



1 < 2, se detecta error

Corrección de errores. 1era. forma

- Para corregir e bits errados o menos se necesita un código de distancia m = 2e + 1
- Las palabras legales están tan separadas que alterando hasta e bits todavía esta más cerca de la palabra original

Ejemplo de corrección de errores

- En vez de: 00 Se tiene: 0000000000
  01 0000011111
  10 1111100000
  11 1111111111

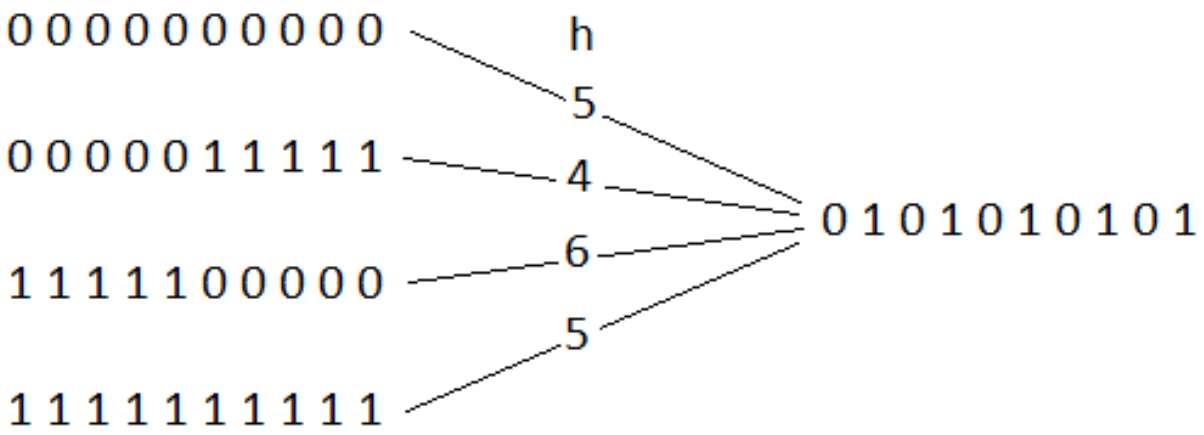
- m = 5
- m = 2e + 1
- e = (m – 1)/2 = (5 - 1)/2 = 2

Se pretende corregir hasta e = 2 errores.

m = 2e + 1

m = 5

Códigos legales



Las distancias h son mayores a e = 2

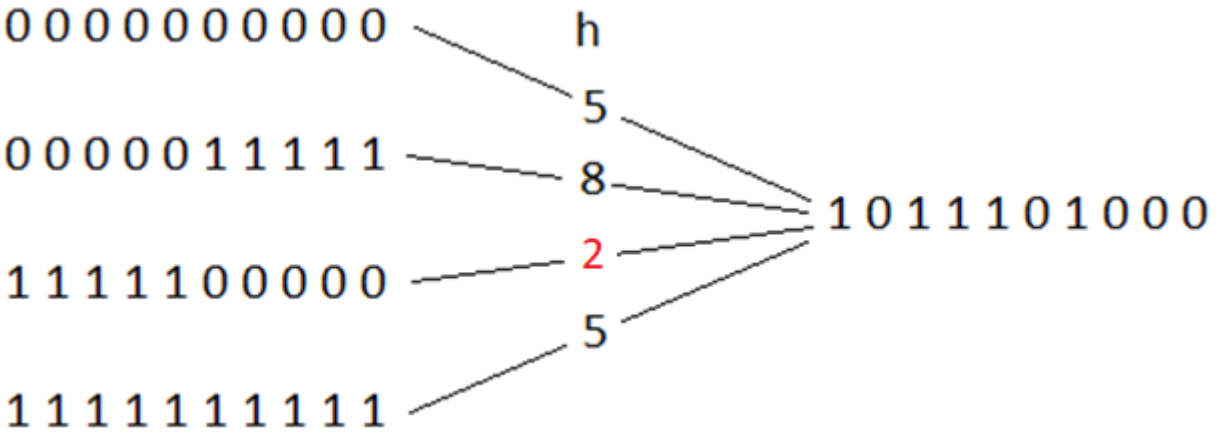
No se pueden corregir los errores

Se pretende corregir hasta e = 2 errores.

m = 2e + 1

m = 5

Códigos legales



Corrección de errores. Códigos de Hamming. 2da. forma

- Se desea corregir errores individuales
- Se debe determinar el número de bits redundantes ***r***
- El mensajes tiene *m* bits
- n longitud de la trama
- n = m + r

¿Cuál es el mínimo de bits redundantes *r* ?

- m = longitud del mensaje
- Hay 2^m mensajes legales
- Si m = 2 hay 4 mensajes legales: 00, 01, 10, 11
- Haremos que por cada mensaje legal haya *n* palabras ilegales a una distancia 1 del mensaje
- Entonces, el total de mensajes ilegales tiene que ser $n2^m$
- Palabras legales + ilegales: $2^m + n2^m = (n + 1)2^m$
- Obviamente legales + ilegales $\leq 2^n$
- $(n + 1)\ 2^m \leq 2^n$
- n = m + **r**; $(m + r + 1)\ 2^m \leq 2^{m+r}$; despejando: $m + 1 \leq 2^r - r$
- Por tanteo, si m = 2 entonces r = 3

Ejemplo

legales	ilegales n = 5				con errores de 1 bit
00000	10000	01000	00100	00010	00001
01011	11011	00011	01111	01001	01010
10100	00100	11100	10000	10110	10101
11111	01111	10111	11011	11101	11110

- m = 2; **r** = 3; n = m + **r** = 5
- Mensajes legales $2^m = 2^2 = 4$
- Palabras ilegales: n $2^m = 5*2^2 = 5*4 = 20$
- Legales + ilegales = $2^m + n\ 2^m = (n + 1)*\ 2^m = 24$
- Legales + ilegales <= 2^n
- 24 <= 32

Códigos de Hamming
Ejemplo

bits m = 7

$m + 1 \leq 2r - r$; r = 4

Posición k

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ASCII			1		0	0	1		0	0	0
2^n											
1											
2											
4											
8											

$$3 = 1 + 2$$

Posición k

	1	2	**3**	4	5	6	7	8	9	10	11
ASCII			1		0	0	1		0	0	0
2^n											
1			1								
2			1								
4											
8											

$$5 = 1 + 4$$

Posición k

	1	2	3	4	**5**	6	7	8	9	10	11
ASCII			1		0	0	1		0	0	0
2^n											
1			1		0						
2			1								
4					0						
8											

$$6 = 4 + 2$$

Posición k

	1	2	3	4	5	**6**	7	8	9	10	11
ASCII			1		0	0	1		0	0	0
2^n											
1			1		0						
2			1			0					
4					0	0					
8											

	Posición k										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ASCII			1		0	0	1		0	0	0
2^n											
1			1		0		1		0		0
2			1			0	1			0	0
4					0	0	1				
8									0	0	0

Paridad par de 1s

	Posición k										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ASCII			1		0	0	1		0	0	0
2^n											
1	0		1		0		1		0		0
2			1			0	1			0	0
4					0	0	1				
8									0	0	0

Paridad par de 1s

	Posición k										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ASCII			1		0	0	1		0	0	0
2^n											
1	0		1		0		1		0		0
2		0	1			0	1			0	0
4					0	0	1				
8									0	0	0

Paridad par de 1s

	Posición k										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ASCII			1		0	0	1		0	0	0
2^n											
1	0		1		0		1		0		0
2		0	1			0	1			0	0
4				1	0	0	1				
8								0	0	0	0

Código de Hamming

	Posición k										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
2^n											
1	0		1		0		1		0		0
2		0	1			0	1			0	0
4				1	0	0	1				
8								0	0	0	0

Simulación de error en los datos:

Dato enviado: 1001000

Dato recibido con error: 1001001

Posición k

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1
2^n											
1	1		1		0		1		0		1
2		1	1			0	1			0	1
4				1	0	0	1				
8								1	0	0	1

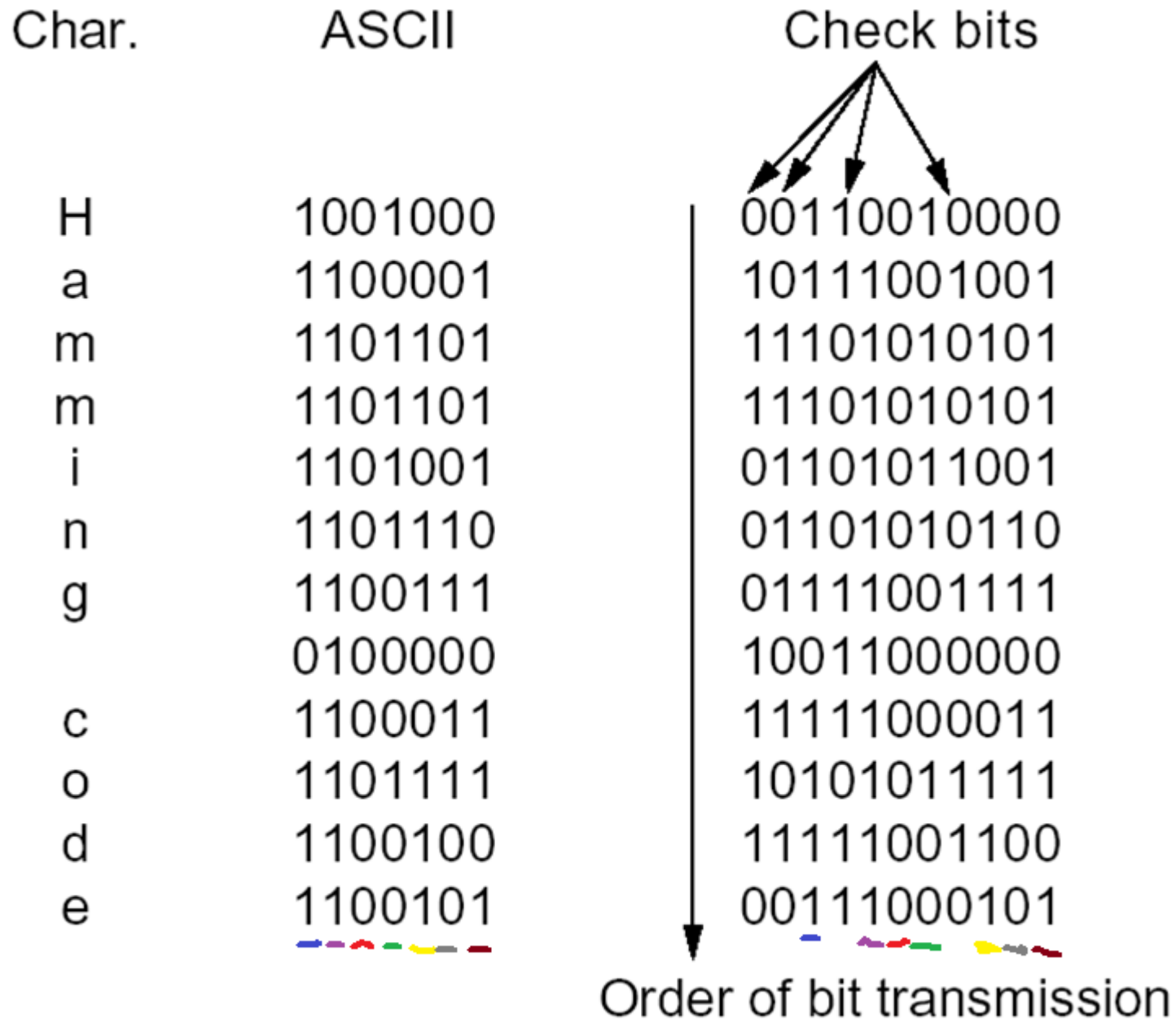
Posición de los bits de paridad:	1	2	4	8
Bits recibidos:	0	0	1	0
Bits calculados en el receptor:	1	1	1	1
	error	error		error

Sumar las potencias de 2 en donde hubo error:
1 + 2 + 8 = 11

El bit 11 está errado. Hay que invertir su valor

Error: 1001001
Dato corregido: 1001000

- Códigos de Hamming sólo corrigen errores individuales
- Hay un truco para corregir códigos de ráfaga
- k palabras se disponen en matriz
- No se transmite por filas, sino por columnas
- Un error de ráfaga de longitud k, dañará a lo mucho 1 bit de cada una de las k palabras


Char.
ASCII
Check bits
H 1001000 00110010000
a 1100001 10111001001
m 1101101 11101010101
m 1101101 11101010101
i 1101001 01101011001
n 1101110 01101010110
g 1100111 01111001111
0100000 10011000000
c 1100011 11111000011
o 1101111 10101011111
d 1100100 11111001100
e 1100101 00111000101
Order of bit transmission

3.2.2 Códigos de detección de errores

- Bit de paridad
  - Paridad par: cantidad par de **1**s
  - Paridad impar: cantidad impar de **1**s
- Códigos con bit de paridad tienen distancia mínima m = 2

10100011

11100010

XOR 01000001 h = 2

- Cualquier error de un solo bit será detectado
- Es un sistema para detectar errores individuales

Código de redundancia cíclica **CRC**

- Una cadena de bits se trata como un polinomio, con coeficientes 0 y 1
- Una trama de k bits se considera como un polinomio de k términos de grado k - 1
- $b_{k-1}x^{k-1} + b_{k-2}x^{k-2} + \ldots + b_1x + b_0$
- $101011 = 1x^5 + 0x^4 + 1x^3 + 0x^2 + 1x + 1$

- La suma y la resta se reducen a un XOR

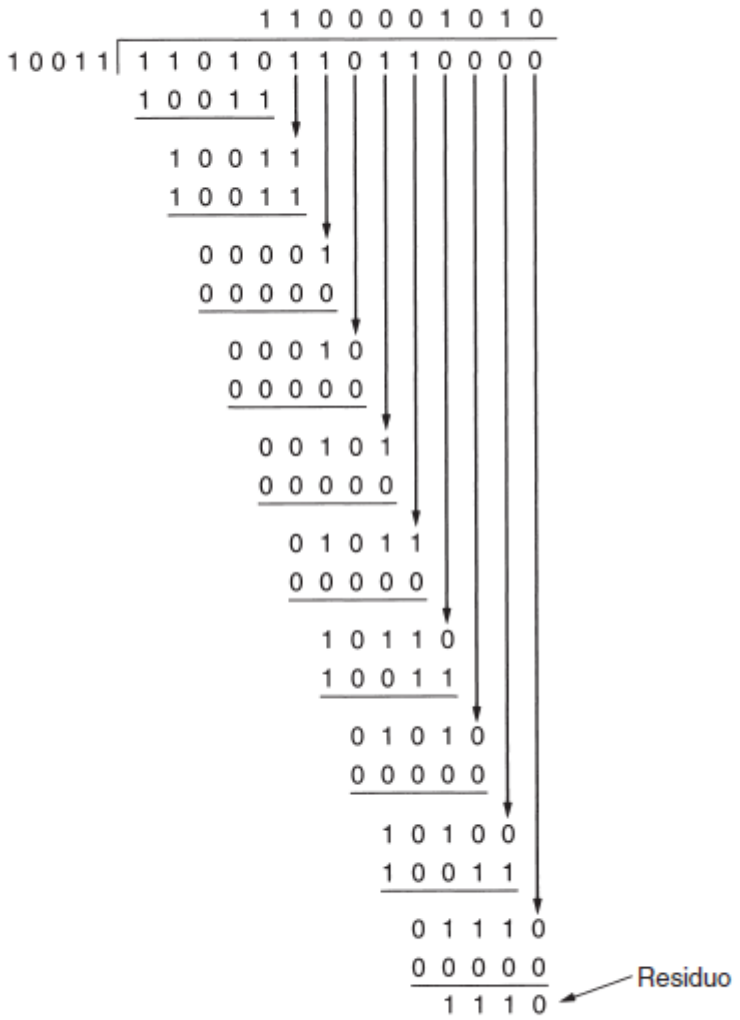
$$\begin{array}{rr} & 10011011 \\ \pm & 11001010 \\ \hline & 01010001 \end{array}$$

- Emisor y receptor acuerdan el generador G(x)
- El mensaje M(x) de m bits, debe ser más grande que G(x)
- Se añade la suma de verificación CRC al fin de M(x)
- T(x) = M(x) + CRC
- T(x) trama que se transmite
- T(x) debe ser divisible para G(x)
- Si hay residuo, hay un error de transmisión

M(X) Trama : 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1

G(X) Generador: 1 0 0 1 1

Mensaje tras anexar 4 bits cero: 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 0 0 0



T(X) Trama transmitida: 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0

3.3 Protocolos elementales de enlace de datos

Archivo *protocol.h*

```
#define MAX_PKT 1024                        /* determines packet size in bytes */

typedef enum {false, true} boolean;         /* boolean type */
typedef unsigned int seq_nr;                /* sequence or ack numbers */
typedef struct {unsigned char data[MAX_PKT];} packet;/*    packet definition */
typedef enum {data, ack, nak} frame_kind;   /* frame_kind definition */

typedef struct {                            /* frames are transported in this layer */
  frame_kind kind;                          /* what kind of a frame is it? */
  seq_nr seq;                               /* sequence number */
  seq_nr ack;                               /* acknowledgement number */
  packet info;                              /* the network layer packet */
} frame;

/* Wait for an event to happen; return its type in event. */
void wait_for_event(event_type *event);

/* Fetch a packet from the network layer for transmission on the channel. */
void from_network_layer(packet *p);

/* Deliver information from an inbound frame to the network layer. */
void to_network_layer(packet *p);

/* Go get an inbound frame from the physical layer and copy it to r. */
void from_physical_layer(frame *r);
```

```
/* Pass the frame to the physical layer for transmission. */
void to_physical_layer(frame *s);

/* Start the clock running and enable the timeout event. */
void start_timer(seq_nr k);

/* Stop the clock and disable the timeout event. */
void stop_timer(seq_nr k);

/* Start an auxiliary timer and enable the ack_timeout event. */
void start_ack_timer(void);

/* Stop the auxiliary timer and disable the ack_timeout event. */
void stop_ack_timer(void);

/* Allow the network layer to cause a network_layer_ready event. */
void enable_network_layer(void);

/* Forbid the network layer from causing a network_layer_ready event. */
void disable_network_layer(void);

/* Macro inc is expanded in-line: Increment k circularly. */
#define inc(k) if (k < MAX_SEQ) k = k + 1; else k = 0
```

- Tres casos con niveles de complejidad crecientes.
  - Protocolo símplex sin restricciones
  - Protocolo símplex de parada y espera
  - Protocolo simplex para un canal ruidoso

3.3.1 Protocolo símplex sin restricciones

- Es sencillo
- Es irreal
- Los datos se transmiten sólo en una dirección
- Las capas de red del emisor y receptor siempre están listas
- Se ignora el tiempo de procesamiento
- Hay un espacio infinito de buffer
- Canal no produce errores ni pierde tramas

```
typedef enum {frame_arrival} event_type;
#include "protocol.h"

void sender1(void)
{
  frame s;                          /* buffer for an outbound frame */
  packet buffer;                    /* buffer for an outbound packet */

  while (true) {
      from_network_layer(&buffer);                          /* go get something to send */
      s.info = buffer;              /* copy it into s for transmission */
      to_physical_layer(&s);        /* send it on its way */
  }                                 /* Tomorrow, and tomorrow, and tomorrow,
                                       Creeps in this petty pace from day to day
                                       To the last syllable of recorded time.
                                           - Macbeth, V, v */
}


void receiver1(void)
{
  frame r;
  event_type event;                 /* filled in by wait, but not used here */

  while (true) {
      wait_for_event(&event);       /* only possibility is frame_arrival */
      from_physical_layer(&r);      /* go get the inbound frame */
      to_network_layer(&r.info);    /* pass the data to the network layer */
  }
}
```

- No se usan números de secuencia ni confirmaciones de recepción
- Único evento posible: llega tramas sin daños

3.3.2 Protocolo simplex de parada y espera

- El receptor requiere un tiempo para recibir y procesar la trama que llega
- Se evita que el emisor sature al receptor
- Se supone que el canal de comunicaciones está libre de errores
- El tráfico de datos es símplex
- Solución: receptor retroalimenta al emisor
- Luego de enviar una trama, el emisor espera que llegue una trama ACK
- La trama ACK autoriza al emisor para que envíe la siguiente trama
- Este protocolo se llama de «parada y espera»

```
void sender2(void)
{
  frame s;                        /* buffer for an outbound frame */
  packet buffer;                  /* buffer for an outbound packet */
  event_type event;               /* frame_arrival is the only possibility */

  while (true) {
      from_network_layer(&buffer);                    /* go get something to send */
      s.info = buffer;            /* copy it into s for transmission */
      to_physical_layer(&s);      /* bye-bye little frame */
      wait_for_event(&event);     /* do not proceed until given the go ahead */
  }
}

void receiver2(void)
{
  frame r, s;                     /* buffers for frames */
  event_type event;               /* frame_arrival is the only possibility */
  while (true) {
      wait_for_event(&event);     /* only possibility is frame_arrival */
      from_physical_layer(&r);    /* go get the inbound frame */
      to_network_layer(&r.info);  /* pass the data to the network layer */
      to_physical_layer(&s);      /* send a dummy frame to awaken sender */
  }
}
```

- En realidad hay flujo de información en ambas direcciones en una alternancia estricta

3.3.3 Protocolo símplex para un canal ruidoso

- El canal comete errores o pierde tramas
- Puede ser que el ACK enviado por el receptor se pierda
  - El emisor lo vuelve a enviar duplicándose la trama
  - Para evitar problemas se numera las tramas

- El número de secuencia es de 1 bit (0 ó 1)
- Éste se incrementa módulo 2
- Se transmite también en una sola dirección
- Los protocolos en los que el emisor espera confirmación se llaman ARQ (Automatic Repeat reQuest)

```
#define MAX_SEQ 1                                   /* debe ser 1 para el protocolo 3 */
typedef enum {frame_arrival, cksum_err, timeout} event_type;
#include "protocol.h"

void sender3(void)
{
  seq_nr next_frame_to_send;                        /* número de secuencia de la siguiente
                                                       trama de salida */
  frame s;                                          /* variable de trabajo */
  packet buffer;                                    /* búfer para un paquete de salida */
  event_type event;

  next_frame_to_send = 0;                           /* inicializa números de secuencia de
                                                       salida */
  from_network_layer(&buffer);                      /* obtiene el primer paquete */
  while (true){
     s.info = buffer;                               /* construye una trama para transmisión */
     s.seq = next_frame_to_send;                    /* inserta un número de secuencia en la
                                                       trama */
     to_physical_layer(&s);                         /* la envía a su destino */
     start_timer(s.seq);                            /* si la respuesta tarda mucho, expira el
                                                       temporizador */
     wait_for_event(&event);                        /* frame_arrival, cksum_err, timeout */
     if (event == frame_arrival){
           from_physical_layer(&s);                 /* obtiene la confirmación de recepción */
           if (s.ack == next_frame_to_send){
                 stop_timer(s.ack);                 /* desactiva el temporizador */
                 from_network_layer(&buffer);       /* obtiene siguiente a enviar */
                 inc(next_frame_to_send);           /* invierte next_frame_to_send */
           }
     }
  }
}
```

```
void receiver3(void)
{
  seq_nr frame_expected;
  frame r, s;
  event_type event;

  frame_expected = 0;
  while (true){
     wait_for_event(&event);                  /* posibilidades: frame_arrival, cksum_err */
     if (event == frame_arrival){             /* ha llegado una trama válida. */
          from_physical_layer(&r);            /* obtiene la trama recién llegada */
          if (r.seq == frame_expected){       /* esto es lo que hemos estado esperando. */
                 to_network_layer(&r.info);   /* pasa los datos a la capa de red */
                 inc(frame_expected);         /* para la próxima se espera el otro número
                                                 de secuencia */
          }
          s.ack = 1 - frame_expected;         /* indica la trama cuya recepción se está
                                                 confirmando */
          to_physical_layer(&s);              /* envía confirmación de recepción */
     }
  }
}
```

3.4 Protocolos de ventana deslizante

- Una forma de transmitir datos dúplex es con 2 circuitos símplex
- Otra forma es usar un circuito para datos en ambas direcciones
- El campo *kind* de la cabecera de la trama indica si es de datos o ACK

Técnica de superposición o *piggybacking*

- Se anexa un ACK a una trama de datos de retorno, usando el campo *ack* del encabezado
- ACK viaja gratis
- Se aprovecha mejor el BW del canal
- Hay menos interrupciones de “*ha llegado una trama*”

- Problema: Podría expirar el temporizador del emisor y retransmitir la trama porque el receptor no tiene datos que enviar
- Solución: El receptor espera un tiempo. Si el receptor no tiene datos que enviar, envía solo un ACK

Tres protocolos de ventana deslizante

- Son bidireccionales:
  - Protocolo de ventana corrediza de un bit
  - Protocolo de retroceso N
  - Protocolo de repetición selectiva
- Cada trama tiene un número de secuencia
- El emisor registra las tramas enviadas aun no confirmadas
- El receptor tiene una ventana de tramas a aceptar

- Estos protocolos entregan en orden los paquetes a la capa 3
- En el emisor:
  - Si llega un paquete nuevo de la capa 3, el extremo superior de la ventana avanza 1
  - Al llegar un ACK, el extremo inferior de la ventana avanza 1

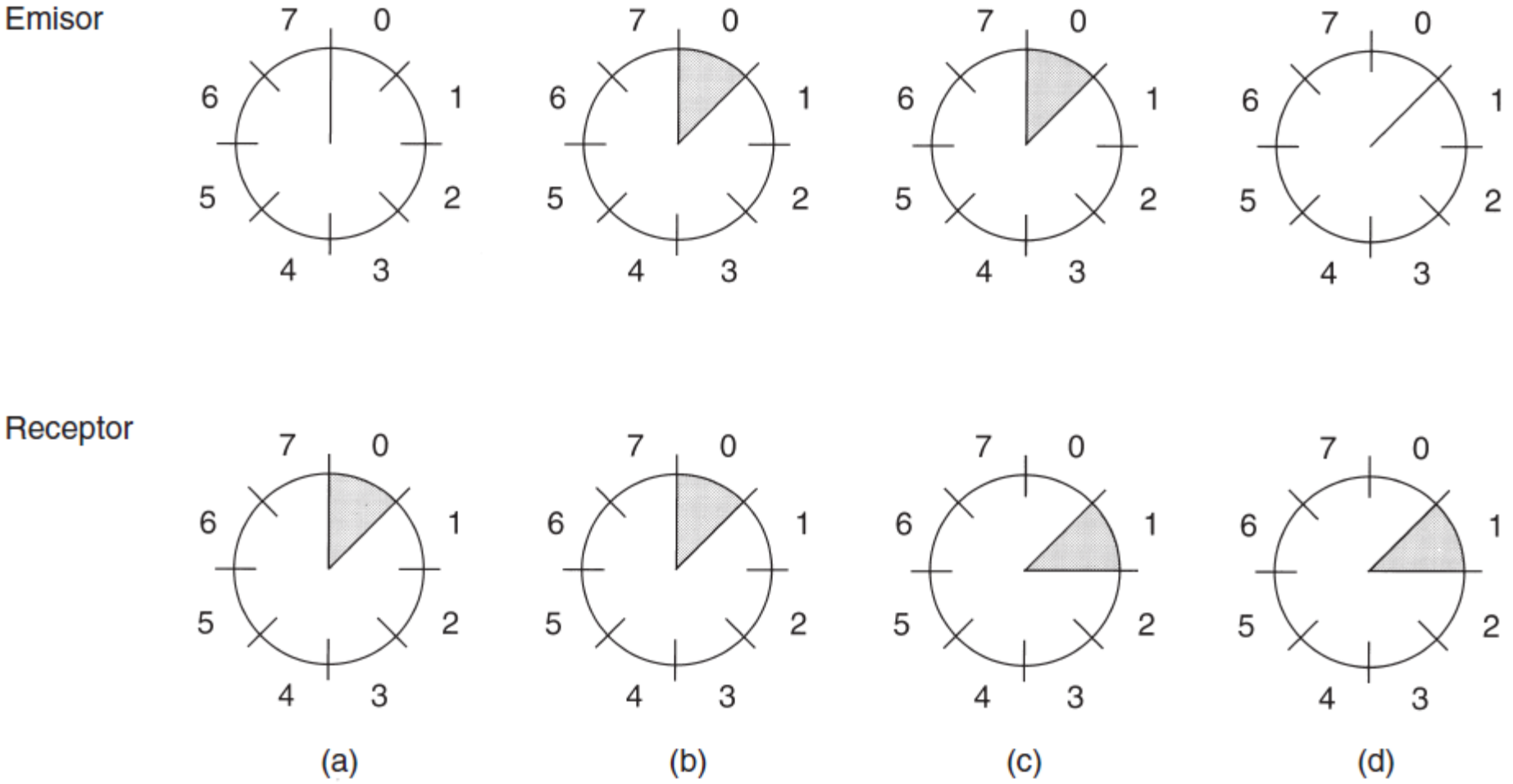


Figura 3-13. Ventana corrediza de tamaño 1, con un número de secuencia de 3 bits. (a) Al inicio. (b) Tras la transmisión de la primera trama. (c) Tras la recepción de la primera trama. (d) Tras recibir la primera confirmación de recepción.

3.4.1 Protocolo de ventana corrediza de 1 bit

- Utiliza parada y espera
- Las tramas se numeran con 0, 1, 0, 1, …
- Sólo una de las máquinas puede iniciar la transmisión
- Si las 2 máquinas inician la transmisión al mismo tiempo hay funcionamiento anormal

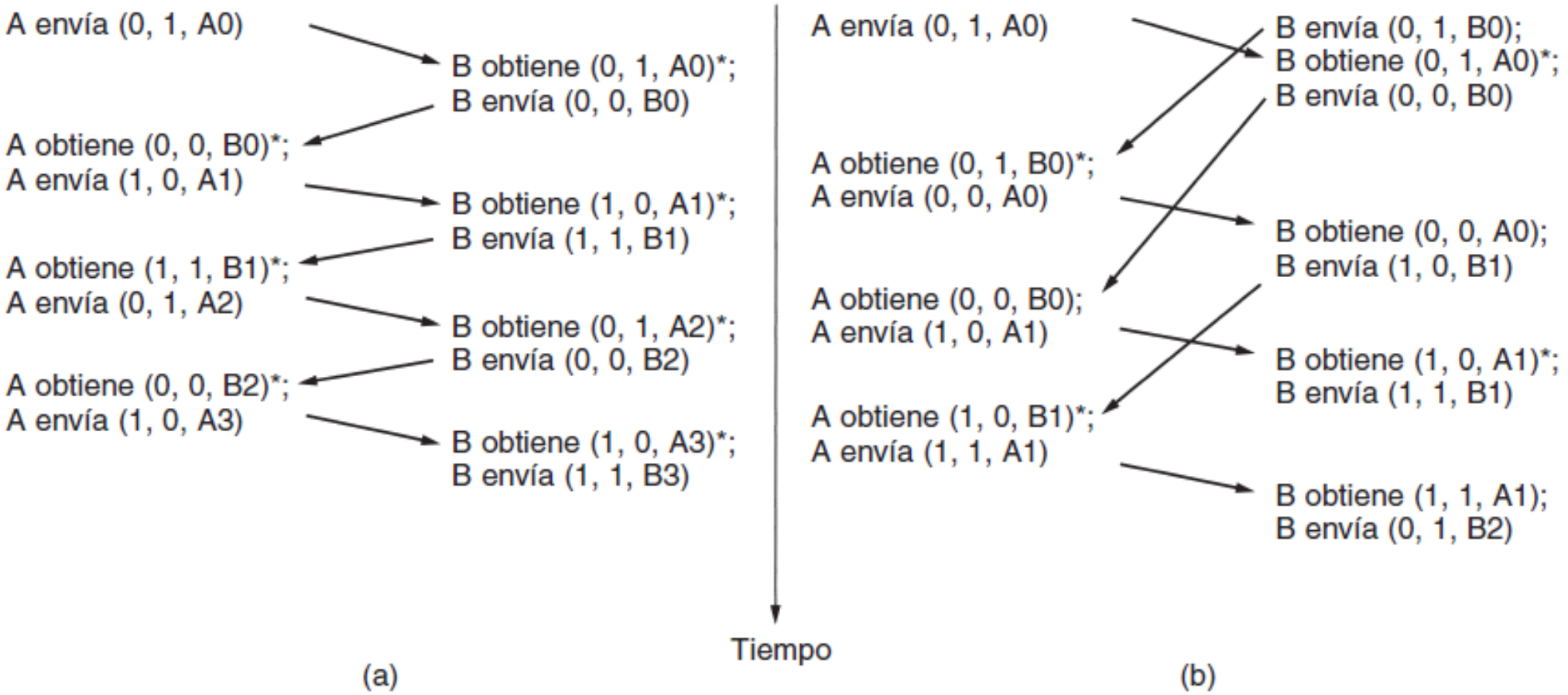
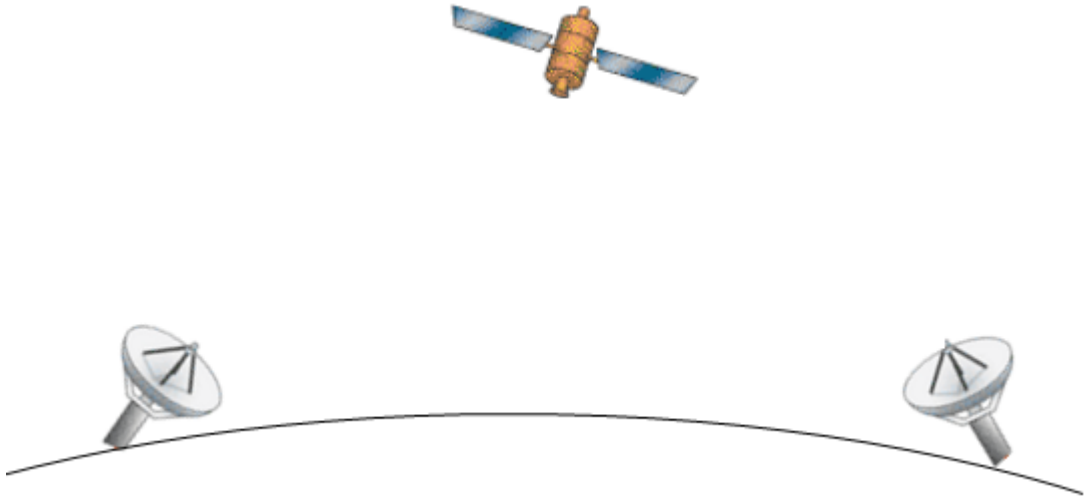


Figura 3-15. Dos escenarios para el protocolo 4. (a) Caso normal. (b) Caso anormal. La notación es (secuencia, confirmación de recepción, número de paquete). Un asterisco indica el lugar en que una capa de red acepta un paquete.

3.4.2 Protocolo que usa retroceso N: Canalización

- Enlace satelital de **C** = 50 kbps
- Satélite geoestacionario 36.000 km
- Ida y vuelta al emisor es 4 x 36.000 km
- Retardo de propagación de ida y vuelta **P**
- $\boldsymbol{P} = 4 \times \frac{36.000\ km}{300.000\ km/s} = 480\ ms$



- Longitud de la trama **L** = 1000 bits
- Tiempo de transmisión de la trama **T**
- $\boldsymbol{T} = \frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{C}} = \frac{1000\ bits}{50\ kbps} = 20\ ms;$
- Tiempo de transmisión y recibir ACK de una trama $\boldsymbol{TP} = \boldsymbol{T} + \boldsymbol{P} = 20\ ms + 480\ ms = 500\ ms$
- El emisor espera la confirmación de la trama enviada antes de enviar las siguiente trama
- Con ACK corto, el uso del canal $U1 = \boldsymbol{T}/(\boldsymbol{TP})x100 = (20s/500\ ms) \times 100 = 4.0\%$

Solución

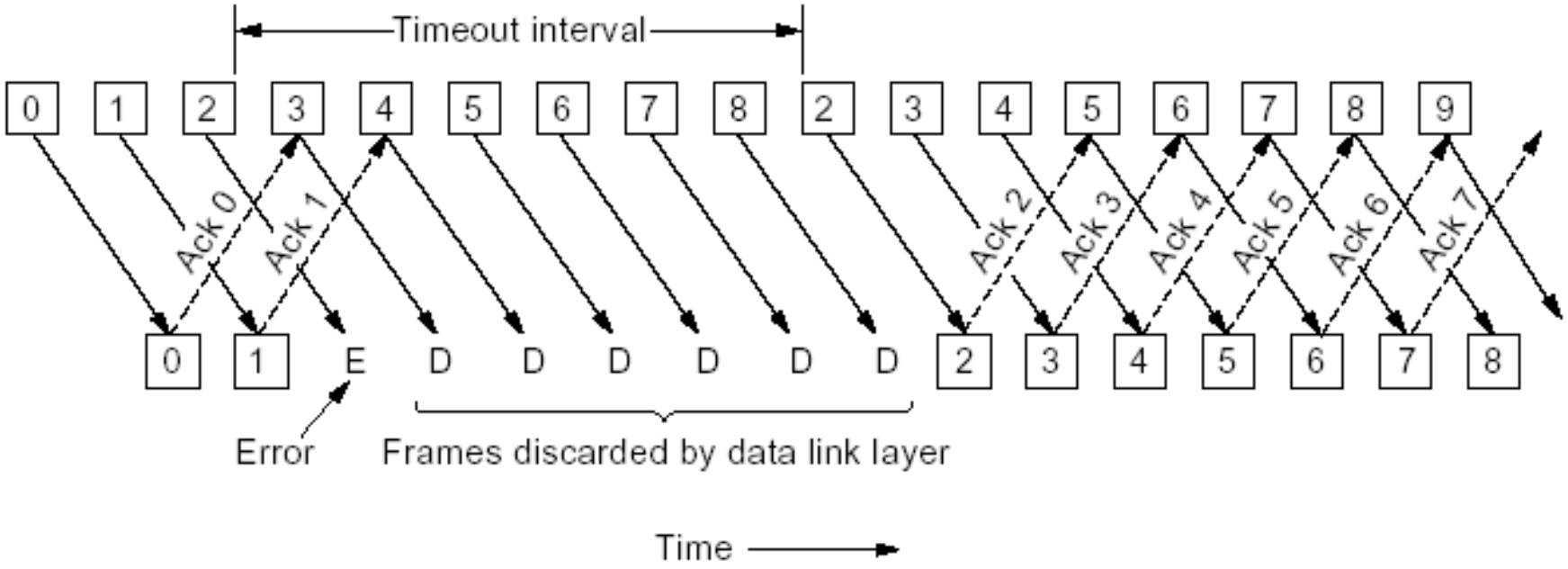
- Canalización. El emisor envía w tramas durante el tiempo total ***TP*** = T + **P** = 500 ms
- ¿Cuántas tramas puede enviar el emisor, o cuál es el tamaño de la ventana *w*?
- $w = \boldsymbol{TP} / T = 500ms / 20ms = 25\ tramas$
- El emisor ocupa el canal por 500 ms para enviar 25 tramas
- El emisor espera los ACKs de todas ellas antes de enviar las siguientes 25 tramas
- Tiempo para transmitir y recibir ACKs de 25 tramas ***TT***
- $\boldsymbol{TT} = \boldsymbol{TP} + 24T = 500\ ms + 24x20\ ms = 980\ ms$
- $24T$ es el tiempo que demora en llegar al receptor los ACKs de las tramas restantes
- Uso del canal U2 = tiempo de transmisión de w tramas ***TP***/ ***TT***
- $U2 = (500\ ms\ / 980\ ms)x100 = 51\%$
- Mucho mayor uso del canal

- Al terminar de enviar la trama 26 en t = 520 ms, llega la confirmación de recepción de la trama 1
- Entonces las confirmaciones llegan cada 20 ms

Métodos para manejar **errores** en canalización

1. Retroceso n
2. Repetición selectiva

Retroceso n


Timeout interval
0
1
2
3
4
5
6
7
8
2
3
4
5
6
7
8
9
Ack 0
Ack 1
Ack 2
Ack 3
Ack 4
Ack 5
Ack 6
Ack 7
0
1
E
D
D
D
D
D
D
2
3
4
5
6
7
8
Error
Frames discarded by data link layer
Time

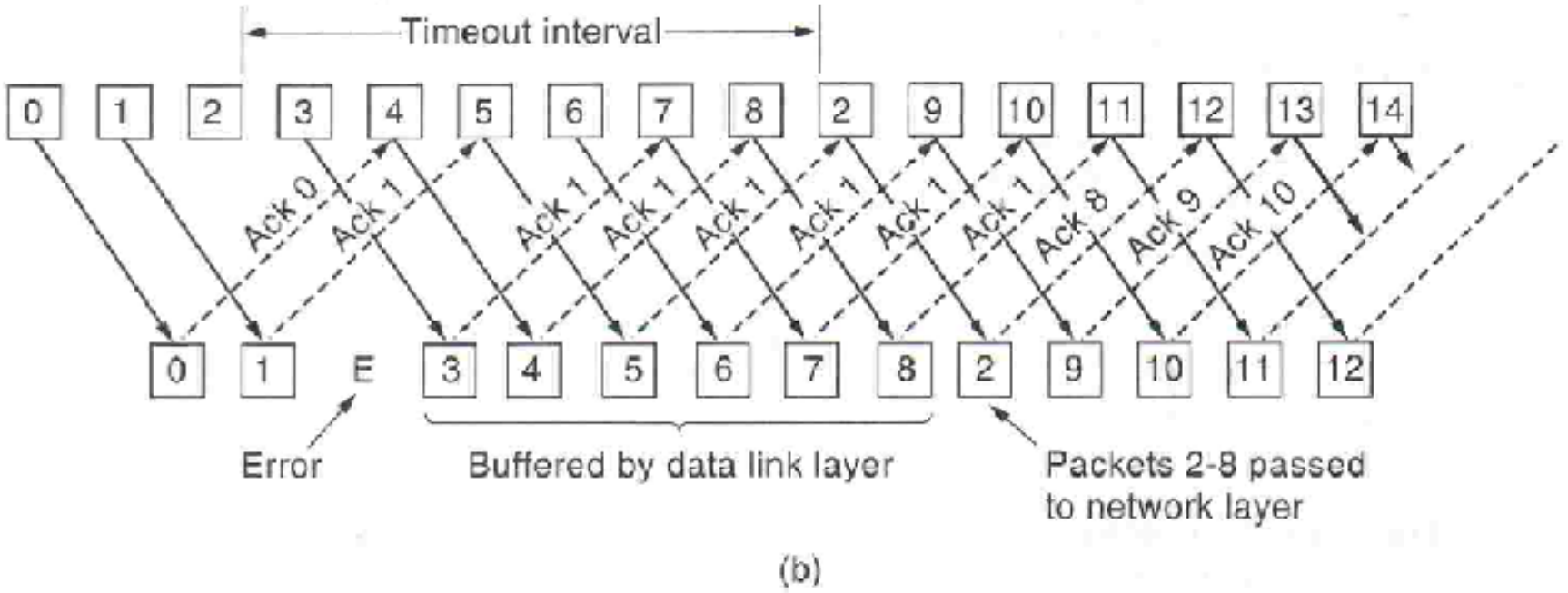
Retroceso n continuación

- Tamaño de la ventana del receptor = 1
- El receptor descarta las tramas subsiguientes
- El canal de comunicación no se aprovecha si la tasa de errores es alta

Repetición selectiva

- Ventana del receptor > 1
- Se descarta la trama dañada recibida
- Siguientes tramas recibidas correctamente se almacenan en buffer
- Emisor transmite sólo la última trama sin ACK

Repetición selectiva



(b)

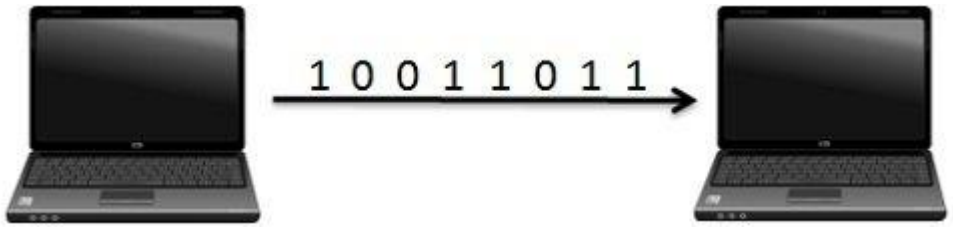
Repetición selectiva

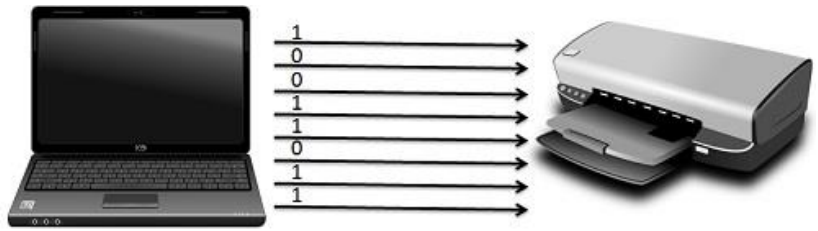
- El receptor podría enviar un NACK al detectar error para estimular la retransmisión antes de que expire el temporizador del emisor
- El emisor y receptor mantienen una ventana

3.5 EJEMPLOS DE PROTOCOLOS DE ENLACE DE DATOS

Transmisión serie y paralelo

- Transmisión serie. Los bits se transmiten a través de un único camino
- Transmisión paralelo. Los bits se transmiten en forma simultánea a través de varios caminos
- En telemática se estudia solamente la transmisión serie





Muestreo de la línea de transmisión

- En la transmisión de datos es importante la sincronización de los relojes del emisor y receptor
- El receptor debe saber la velocidad a la que se están transmitiendo los datos y en qué momentos inicia un bit
- Esto le permite muestrear la línea a intervalos constantes de tiempo para leer los bits
- Para ellos se utilizan dos técnicas de transmisión:
  - asíncrona y
  - síncrona

Transmisión asíncrona

- La transmisión se realiza de carácter en carácter
- Cada carácter o byte se trata independientemente
- El primer bit de cada carácter alerta al receptor de la llegada del carácter
- El % de bits suplementarios para alertar al receptor y validar el byte es alto
- La validación de cada carácter se lo hace a través del bit de paridad
- La paridad puede ser par o impar

Transmisión síncrona

- La transmisión se realiza en bloques de tramas
- El % de bits suplementarios para sincronizar y validar tramas es mucho menor
- Por tal razón la transmisión es más eficiente

Líneas síncronas y asíncronas

- Línea síncrona. Línea telefónica arrendada o dedicada. Siempre está a disposición
- Línea asíncrona. Línea telefónica básica o dial-up. La línea podría estar ocupada

- Las redes WAN utilizan líneas punto a punto
- Las líneas punto a punto pueden ser de cobre o de FO
- Dos de los protocolos de enlace de datos para líneas punto-a-punto y punto-multipunto son:
- HDLC High-level Data Link Control
- PPP Point-to-Point Protocol, que es una mejora de SLIP

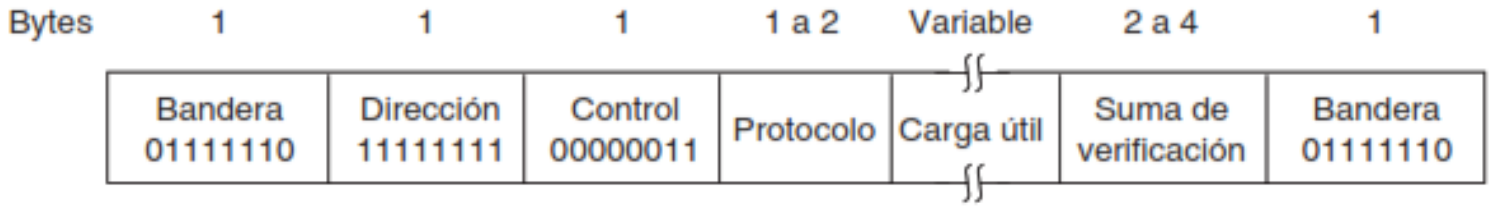
HDLC High-level Data Link Control

- Dentro de la carga útil usa relleno de bits (Sección 3.1.2 Entramado) Protocolo orientado a bit
- Se aplica en los datos insertando un 0 si hay 5 1s seguidos. Esto ayuda a la sincronización en la capa física
- Permite tramas con número fraccionario de bytes
- Usa transmisión con ventana deslizante y ACKs
- Cada trama empieza y termina con la bandera o señalizador 01111110
- La bandera permite además sincronizar los relojes de emisor y receptor

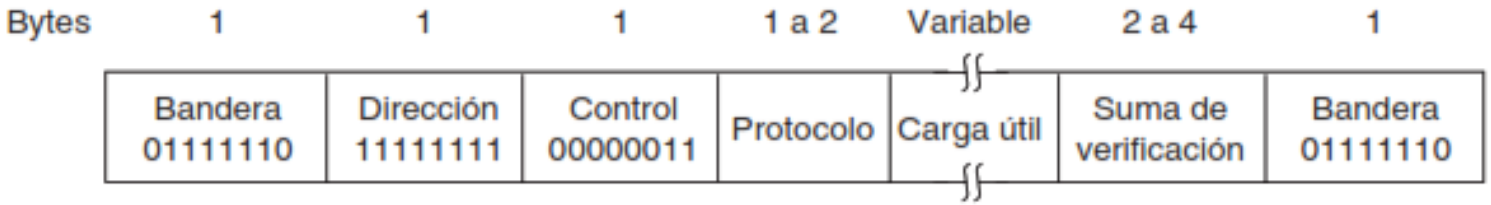
- El campo de dirección identifica a la estación que recibirá la trama
- Este campo solo se necesita en transmisiones punto-multipunto (computador-terminales)
- 11111111 es una dirección de broadcasting. En este caso, el campo dirección identifica a la estación que ha transmitido la trama

PPP Point-to-Point Protocol

- Es una mejora de SLIP Serial Line Internet Protocol
- Está orientado a bytes
- Las tramas tienen un número entero de bytes
- Dentro de la carga útil utiliza relleno de caracteres



- Solo se necesita una bandera entre tramas
- Si no hay tramas para enviar se envían una secuencia de banderas
- Dirección 11111111 indica que todas las estaciones deben aceptar la trama



- Control 00000011 indica tramas de control y son no numeradas
- Protocolo: IPv4, IPv6, IPX (Netware Novell), AppleTalk
- Carga útil de longitud variable. Longitud predeterminada 1500 bytes
- Usa Checksum para verificar la integridad de los datos (no usa CRC; este se lo usa en capas superiores)
- PPP es usado con muchos tipos de capas físicas