



Protocolos de Acesso ao Meio

Fundamentos de Redes

**Mestrado Integrado em Engenharia de Computadores e
Telemática**

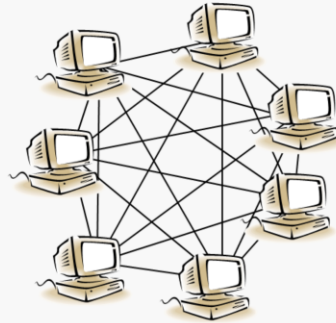
DETI-UA, 2019/2020

Topologias de rede

- Existem 4 topologias básicas:
 - Bus
 - Estrela
 - Anel
 - Malha
- Estas topologias podem ser físicas ou lógicas
 - Podem existir diferentes topologias a diferentes níveis.

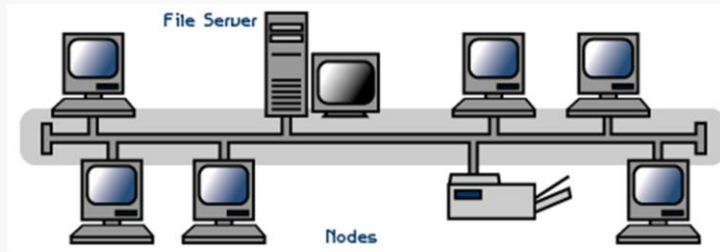
Teia (*Mesh*)

- Vantagens
 - Disponibilidade de recursos
- Desvantagens
 - Rede complexa e difícil de gerir
 - Número de ligações cresce proporcionalmente a N^2



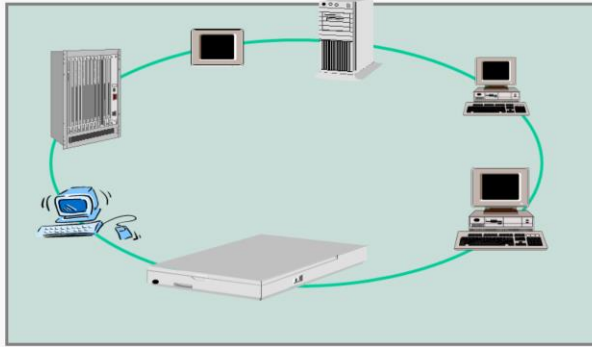
N nós na rede

Bus



- Vantagens
 - É fácil ligar um computador ou periférico a um Bus
 - Requer menos cabos que uma topologia em estrela
 - Simples e económica
- Desvantagens
 - Toda a rede fica inactiva se existe uma ruptura no cabo principal
 - São necessários terminadores em ambos os extremos do cabo principal
 - Difícil identificar a origem de um problema se a rede inteira deixar de funcionar
- Exemplo
 - Ethernet em cabo coaxial

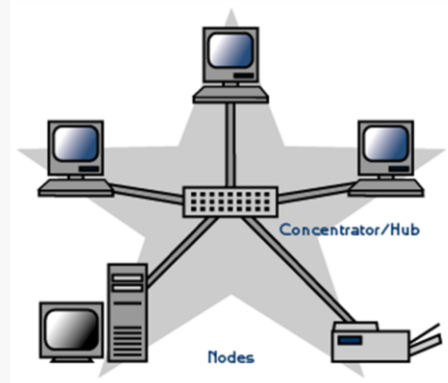
Topologia em Anel



- Mecanismo de acesso ao meio próprio (MAC)
- Garantias de tempo de resposta
- Simples de controlar
- Mecanismos de protecção para falhas no anel
- Topologia física incómoda e rede complexa

Estrela

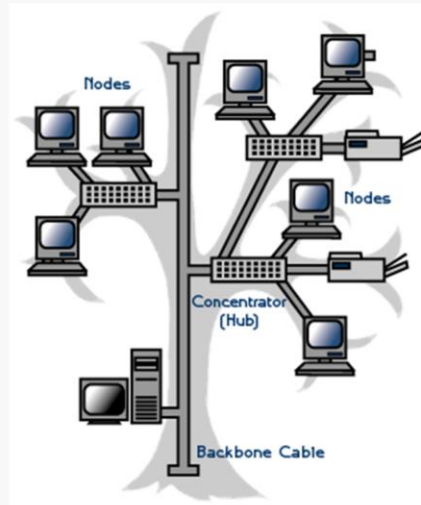
- Vantagens
 - Fácil de instalar
 - Não existem quebras na rede quando se ligam ou desligam terminais
 - Fácil detecção de falhas e remoção dos elementos com anomalias
- Desvantagens
 - Baseada num elemento central (*hub* ou concentrador) que se indisponível faz com que os nós aí ligados fiquem incomunicáveis
 - Requer mais cabo que a topologia em Bus
 - Mais caro que a topologia de Bus pelo custo dos concentradores
- Exemplo
 - Ethernet UTP



Árvore

(hierarquia de estrelas)

- Vantagens
 - Ligações ponto-a-ponto para ligação a segmentos individuais
- Desvantagens
 - O comprimento de cada segmento é limitado pelo tipo de cabo utilizado
 - Se o cabo principal falha todo o segmento falha
 - Mais difícil de configurar e cablar que as outras topologias



Ligações Partilhadas

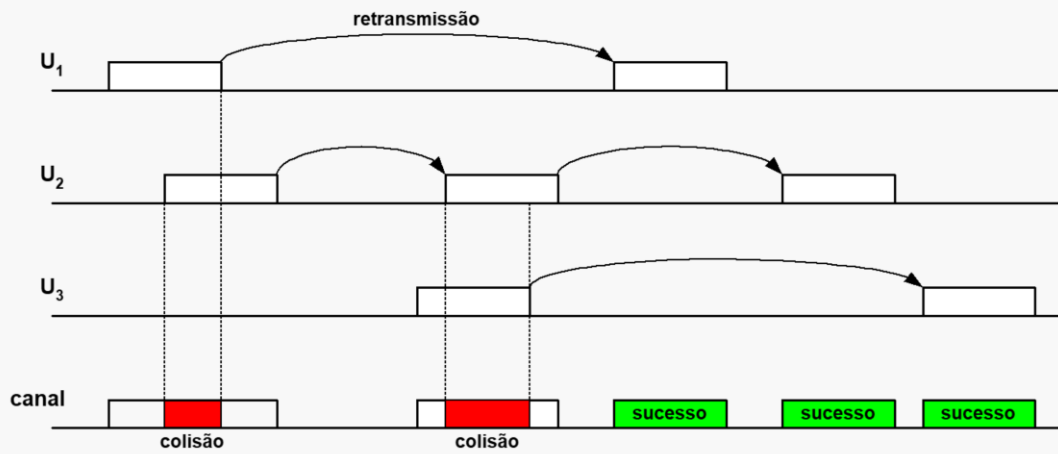
Ligações partilhadas - múltiplos emissores e receptores todos ligados ao mesmo meio de transmissão

Coordenar o acesso ao meio dos múltiplos nós emissores e receptores
– *acesso múltiplo*

ALOHA

- As estações transmitem e recebem em canais separados
- As estações transmitem sempre que têm um pacote pronto, independentemente do estado do canal
- Resolução de colisões:
 - O receptor envia ao emissor uma confirmação de que o pacote foi correctamente recebido (ACK)
 - O emissor retransmite o pacote num instante de tempo futuro se não receber uma confirmação durante um período de tempo pré-definido (*timeout*)
 - O *timeout* tem de ser superior ao atraso de propagação de ida-e-volta (*round-trip delay*)
- O tempo de retransmissão é aleatório para minimizar a repetição da colisão

Ilustração do ALOHA



utilização máxima – 18%

Aloha - desempenho

Se g designar a taxa (total) de pacotes oferecidos ao canal (offered load), então $g > \lambda$, devido às retransmissões que ocorrem em virtude das colisões

Considere-se a chegada de um pacote (novo ou velho) no instante t . A transmissão deste pacote terá sucesso se nenhum outro pacote chegar ao canal no intervalo $(t-T, t+T)$. Este período de duração $2T$ é designado por período vulnerável.

Fracção de tempo em que o canal é utilizado em transmissões com sucesso, que se designa por utilização (throughput), é
$$S = gTe^{-2gT} = Ge^{-2G}$$

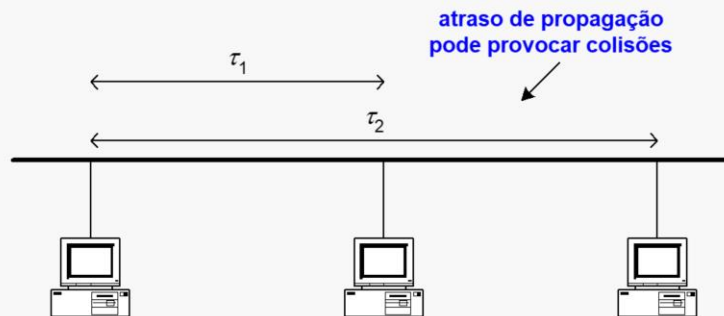
Onde $G=gT$ é o tráfego oferecido normalizado, isto é, o número médio de pacotes oferecidos por tempo de transmissão.

O valor máximo é $S_{\max} = 1/2e \approx 0.184$ e ocorre em $G = 0.5$.

11

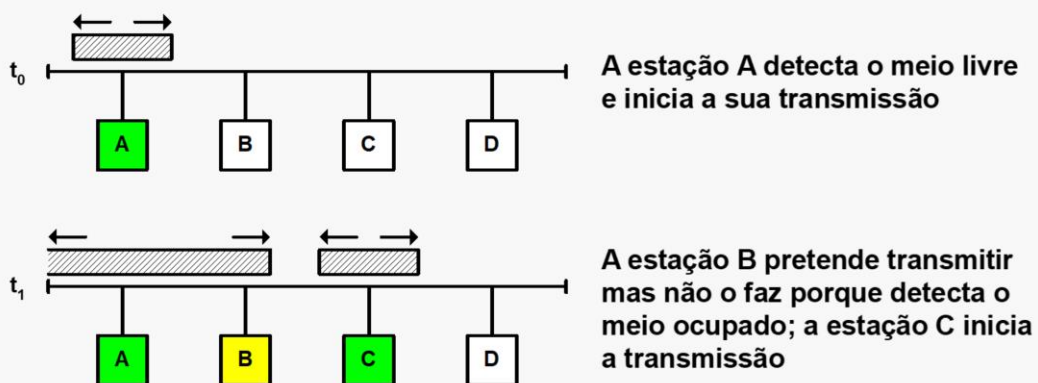
CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

- As estações transmitem e recebem no mesmo canal
- As estações **escutam o meio antes de transmitir**; só transmitem se o meio for detectado livre
- O número de colisões é minimizado
- Podem ocorrer colisões porque as estações estão a alguma distância umas das outras

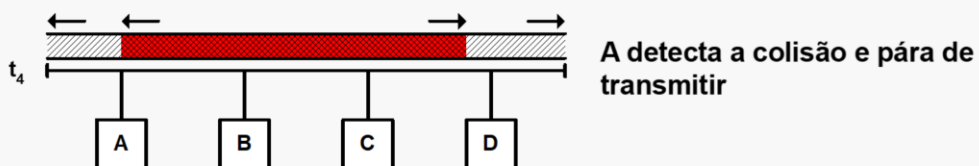
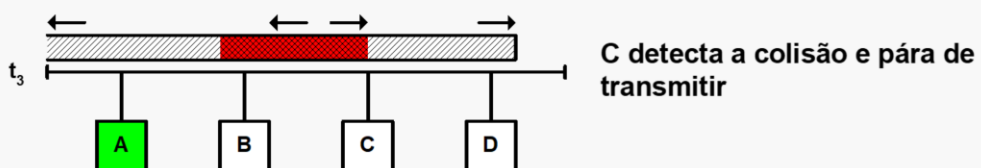


CSMA/CD (CSMA *with Collision Detection*) (I)

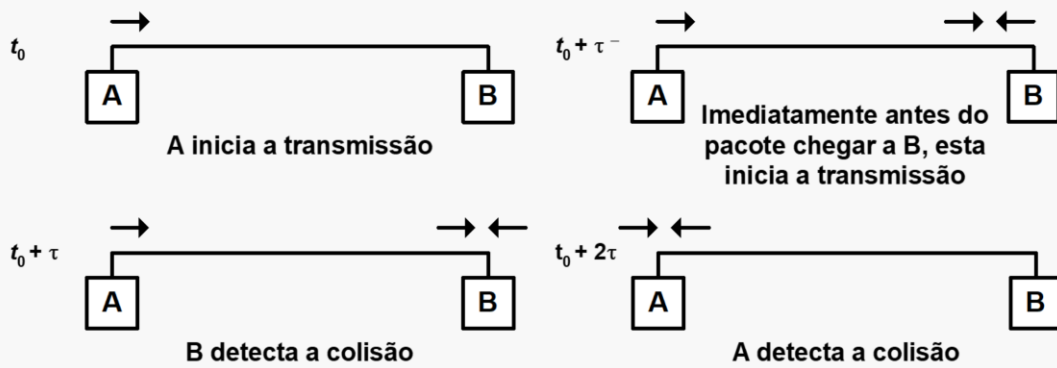
- As estações quando detectam uma colisão param de transmitir



CSMA/CD (II)



CSMA/CD (III)



Garantir que todas as estações emissoras detectam colisões
 \Rightarrow
tempo mínimo de transmissão de um pacote $>$ *round-trip delay*

CSMA/CD (IV)

- **é forçado um intervalo mínimo entre o fim de uma transmissão ou receção e o início de nova transmissão (IFS - Inter Frame Spacing = $9.6\ \mu\text{s}$ @ 10 Mb/s)**
- **se o meio é detetado ocupado as estações continuam a escutar até que o meio seja detetado livre; quanto isso acontecer, transmitem imediatamente (o protocolo diz-se 1-persistente)**
- **quando uma estação transmissora deteta uma colisão, interrompe a transmissão da sua trama e envia para o canal uma sequência de bits, designada por JAM**
- **depois do envio de JAM a estação espera um tempo aleatório até retransmitir, definido pelo Algoritmo de Recuo Binário Exponencial Truncado**

Ethernet

The Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) protocol used on Ethernet works as follows: the medium access is ruled by carrier sense (the sending station first detects if the medium is being used by another station) and collision detection (the sending station checks if the medium has the same data being sent by it).

When a station has an Ethernet frame to be sent, it first checks if the medium is busy with the transmission of a frame by another station. If the medium is free for an Inter Frame Spacing (IFS) time period, it starts sending its frame. If the medium is busy, it waits that the medium becomes free, waits another IFS time period and starts sending its frame (it is said that the protocol is 1-persistent since all stations waiting to transmit during a busy period will transmit their frames with 100% of probability as soon as the medium becomes free for a IFS time period).

IFS is the minimum time interval required by all stations to accommodate one frame before being prepared to start receiving another frame. For example, in 10 Mbps Ethernet, the IFS is $9.6\ \mu\text{s}$.

Note that it is possible that two (or more) stations start transmitting frames almost at the same time originating a collision. In a collision, multiple frames are being simultaneously transmitted and, therefore, will not be correctly received by any station. When a sending station detects a collision, it stops the frame transmission and sends a JAM signal (aimed to guarantee that all stations detect the collision). Then, it waits for a random period of time to send the frame again. This random period is defined by the Truncated Binary Exponential Backoff Algorithm described in the next slide.

CSMA/CD (V)

- **O número de ranhuras temporais (time slots) de atraso antes da n -ésima tentativa de retransmissão é uma v.a. r uniformemente distribuída no intervalo**
$$0 \leq r < 2^k, \text{ com } k = \min(n, 10)$$
- **Duração da ranhura = 64 bytes = 512 bits = 51.2 μ s (10 Mbps)**
- **Exemplo:**
 - $n = 1 \Rightarrow r = 0$ ou 1 (0 ou 51.2 μ s)
 - $n = 2 \Rightarrow r = 0, 1, 2$ ou 3 (0, 51.2, 102.4 ou 153.6 μ s)
 - \vdots
 - $n > 10$, atraso máximo fixado em $2^{10}-1 = 1023$ ranhuras
- **Número máximo de tentativas de retransmissão = 16**

Truncated Binary Exponential Backoff Algorithm

When a collision is detected by a sending station, the time that the station waits to send again its frame is given by an integer number r of time slots. In 10 Mbps and 100 Mbps Ethernet technologies, the time slot is defined by the time taken to transmit a minimum size frame of 64 bytes (64 Bytes = $64 \times 8 = 512$ bits), which is 51.2 μ s (in 10 Mbps technologies) or 5.12 μ s (in 100 Mbps technologies).

A maximum of 16 retransmissions is allowed beyond which the frame is discarded by the sending station.

In the n^{th} retransmission of the same frame (with $n \leq 16$), the number of waiting time slots r is a uniform random value between $0 \leq r < 2^k$, where k is the minimum value between n and 10.

Note that the average waiting time is short in the first retransmissions, grows exponentially with the number of retransmissions until the 10th one and remains the same above the 10th retransmission.

CSMA-CD - desempenho

A utilização do CSMA/CD é

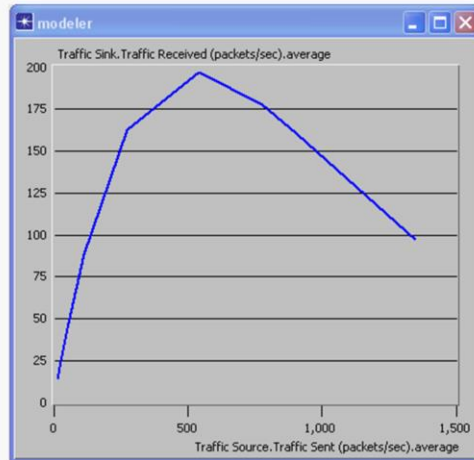
$$S \xrightarrow{N \rightarrow \infty} \frac{1}{1 + 3.44a}$$

$a = \tau/T$, T – tempo de transmissão de um pacote (tempo útil)

- $a < 1$

CSMA-CD - desempenho

- Aumento de tráfego de entrada
 - Aumento de tráfego transmitido, mas...
 - Aumento das colisões

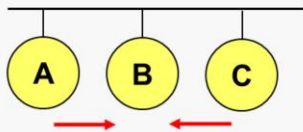


Wireless Networks

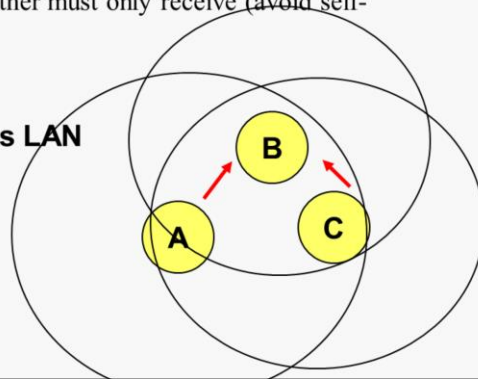
Wired vs Wireless differences

- A and C sense the channel empty simultaneously
 - Send traffic at the same time
- Ethernet: sender can detect collision
- Wireless: radios cannot detect collision (work in half-duplex)
 - Full-duplex: both can transmit and receive information between each other simultaneously
 - Half-duplex: transmission and reception of information must happen alternatively. While one point is transmitting, the other must only receive (avoid self-interference)

Ethernet LAN



Wireless LAN



21

Wireless MAC

- Wired MACs
 - Typical: CSMA/CD
 - Medium is free → send
 - Listen to sense collision
- What about wireless?
 - Signal power reduces with the square distance
 - Sender can apply CS and CD, but collisions occur in the receiver!
 - Sender may not listen the collision (CD does not work)
 - CS may not work either with hidden nodes

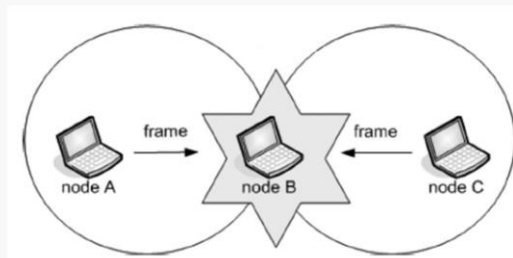
22

CD – collision detection

CS – carrier sense

Hidden nodes

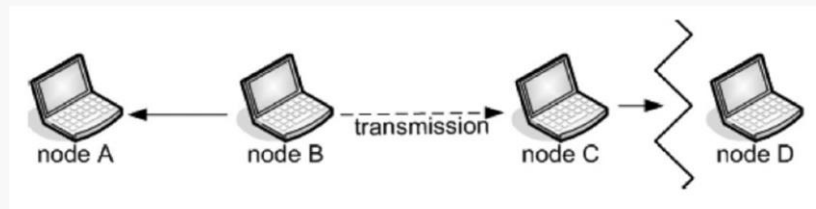
- Hidden terminals
 - A and C do not hear each other
 - Collision in B, if A and C send at the same time
 - Nor A nor C understand that collision occurred
- Solution
 - Detect collisions in the receiver
 - “virtual carrier sensing”: sender asks the receiver if he is receiving traffic; in the case of absence of answer, he assumes that the channel is busy



23

Exposed nodes

- Exposed terminals
 - B sends to A; C wants to send to D
 - C senses the network and discovers that the medium is occupied
 - D is not in the range of B and A is not in the range of C, so the traffic could be transmitted
 - A and D are exposed terminals
- The transmissions could be done in parallel with no collision



24

MACA: Multiple Access with Collision Avoidance

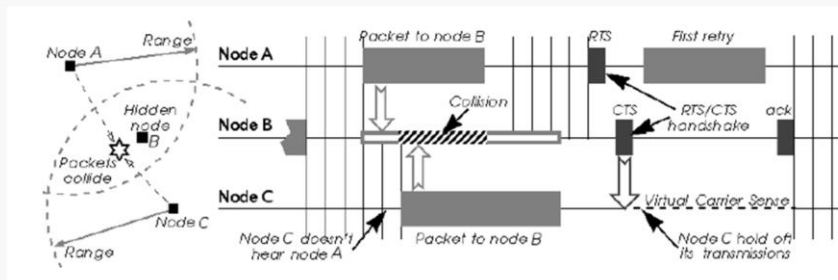
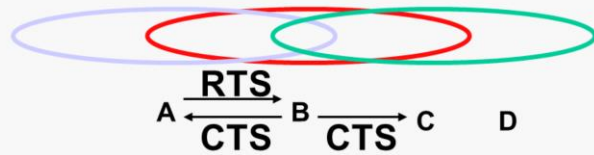
- MACA: avoids collisions using signalling packets
 - RTS (request to send)
 - A small packet is sent before transmitting
 - CTS (clear to send)
 - Receiver provides the right to transmit, when it is able to receive
- Signaling packets (RTS/CTS) contain
 - Sender address
 - Receiver address
 - Packet length (to be transmitted)
- Used in networks scenario with a large amount of traffic/collisions

25

MACA: Hidden Nodes

- MACA and hidden nodes

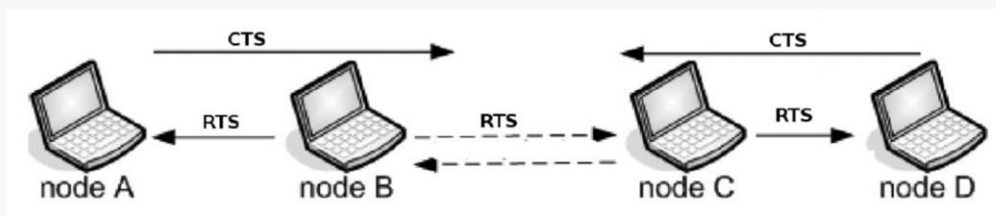
- $A, C \rightarrow B$ (?)
- $A \text{---RTS} \rightarrow B$
- $B \text{---CTS} \rightarrow A$
- C ears CTS of B
- C waits for the p



MACA: Exposed Nodes

- MACA and exposed nodes

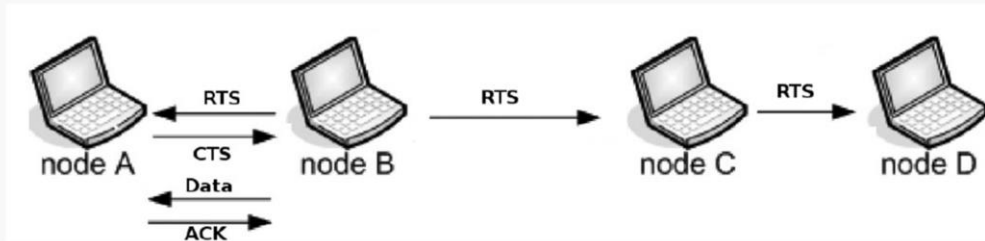
- $B \rightarrow A, C \rightarrow D(?)$
- $B \text{ RTS} \rightarrow A$
- $A \text{ CTS} \rightarrow B$
- C ears RTS of B
- C does not ear CTS of A
- $C \text{ RTS} \rightarrow D$



27

MAC reliability

- Wireless connections are very prone to errors
 - Transport is not reliable
- Solution: use **acknowledgements**
 - When A receives DATA from B, answers with **ACK**.
 - If B does not receive **ACK**, B retransmits
 - **C and D will not transmit until the ACK (to avoid collisions)**
 - Total expected duration (including ACK) is included in the **RTS/CTS** packets



28