

# Redes de Computadores II

## Aulas 3 e 4

**Prof. Elias P. Duarte Jr.**

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Departamento de Informática

[www.inf.ufpr.br/elias/redes](http://www.inf.ufpr.br/elias/redes)

# Sumário da Aula de Hoje

- Revisão de tecnologias de rede
- Uma rede local muito popular: a Ethernet
- Vamos falar então de redes industriais
- E ainda de empresas influenciando padrões
- São muitas tecnologias e vão continuar sendo, como lidar com este fato?

# Antes da Internet

- Precisamos revisar alguns conceitos chave da Camada de Enlace
- A Ethernet vai ser nosso modelo de enlace
- Várias das características da Ethernet vão ser mencionadas ao longo da disciplina

# A Ethernet: Um Pouco de História

- Desde sua invenção em meados dos anos 1970: uma rede de alta velocidade
  - começou com 10Mbps, depois uma versão 2Mbps

# A Ethernet: Um Pouco de História

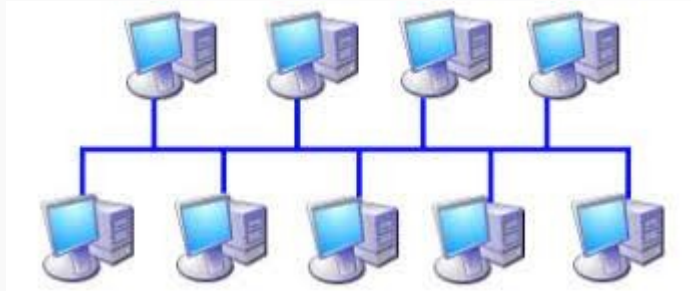
- Desde sua invenção em meados dos anos 1970: uma rede de alta velocidade
  - começou com 10Mbps, depois uma versão 2Mbps
- Evolução não para: 100Mbps, 1Gbps,...
- Uma rede **muito popular**
- Hoje: Terabit Ethernet (TbE) com velocidades de 200Gbps e 400Gbps
- Expectativa para meados 2020's: até 1,6Tbps

# Uma Classificação

- As redes de computadores podem ser classificadas em:
  - redes “de escritório”
  - redes industriais
- O comitê 802 do IEEE padronizou as redes locais
- A **Ethernet** é uma rede “de escritório”, com padrão **IEEE 802.3**
- A rede **Token Bus** foi padronizada também naquele momento: **IEEE 802.4**, uma rede industrial
- No mesmo comitê foi padronizada a rede local **Token Ring** IEEE **802.5**, outra rede “de escritório”
- Oportunidade única: compreender vários aspectos das redes

# A Ethernet

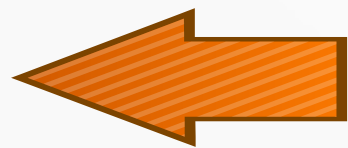
- Não é uma rede: é uma família de redes
- Topologia em barramento
- Substituído por hub/switch



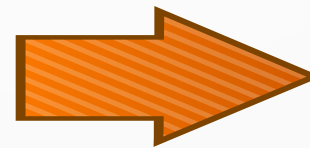
# O Quadro Ethernet

- Antes: formato geral de quadro, pacote, segmento e PDU - próximo slide
- O quadro Ethernet se manteve o mesmo ao longo da evolução da Ethernet

|                   |                            |                           |                           |                                       |                         |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Preâmbulo<br>(8B) | Enderec<br>Destino<br>(6B) | Enderec<br>Origem<br>(6B) | Tipo<br>[Tamanho]<br>(2B) | Dados<br><i>Payload</i><br>(46~1500B) | Checksum<br>CRC<br>(4B) |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|



**Cabeçalho (*Header*)**



***Os dados  
mesmo***



***Trailer***



# Antes: Formato Geral dos Pacotes

- PDU, Segmento, Pacote e Quadro seguem um formato básico: cabeçalho (“header”) + dados (“payload”)

|                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| <b>H E A D E R</b><br>dados controle | <b>D A D O S</b><br><i>PAYLOAD</i> |
|--------------------------------------|------------------------------------|

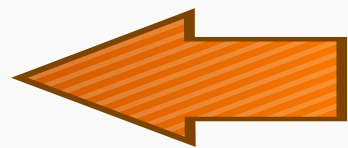
- No caso da Ethernet (e alguns poucos outros protocolos há também um “trailer” depois do *payload*)

|                                      |                                    |  |
|--------------------------------------|------------------------------------|--|
| <b>H E A D E R</b><br>dados controle | <b>D A D O S</b><br><i>PAYLOAD</i> | <b>T R A I L E R</b><br>dados controle |
|--------------------------------------|------------------------------------|--|

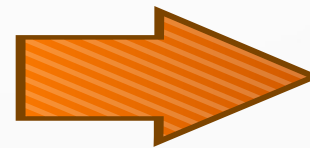
# O Quadro Ethernet

- Antes: formato geral de quadro, pacote, segmento e PDU - próximo slide
- O quadro Ethernet se manteve o mesmo ao longo da evolução da Ethernet

|                       |                            |                             |                            |                                 |                          |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| <b>Preâmbulo (8B)</b> | <b>Enderec Origem (6B)</b> | <b>Enderec Destino (6B)</b> | <b>Tipo [Tamanho] (6B)</b> | <b>Dados Payload (46~1500B)</b> | <b>Checksum CRC (4B)</b> |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|



**Cabeçalho (*Header*)**



  
**Os dados mesmo**

  
**Trailer**

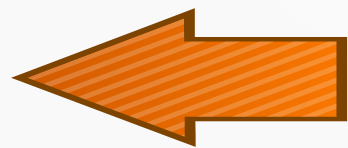
# Campos do Quadro Ethernet

- Preâmbulo (8 bytes): os primeiros 7 bytes têm o formato 10101010 e o último byte 10101011
  - O oitavo byte costuma ser chamado de SFD: *Start Frame Delimiter*
- O objetivo é permitir que a placa detecte que há um quadro sendo transmitido
- O meio é continuamente “escutado”, tem que detectar que uma transmissão está começando!

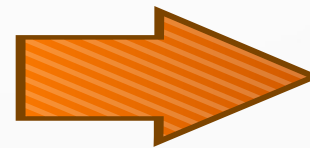
# O Quadro Ethernet

- Antes: formato geral de quadro, pacote, segmento e PDU - próximo slide
- O quadro Ethernet se manteve o mesmo ao longo da evolução da Ethernet

|                       |                            |                             |                            |                                 |                          |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| <b>Preâmbulo (8B)</b> | <b>Enderec Origem (6B)</b> | <b>Enderec Destino (6B)</b> | <b>Tipo [Tamanho] (6B)</b> | <b>Dados Payload (46~1500B)</b> | <b>Checksum CRC (4B)</b> |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|



**Cabeçalho (*Header*)**



***Os dados mesmo***



***Trailer***

# Endereços Ethernet: 6 Bytes

- Um endereço Ethernet é um endereço físico, da placa mesmo
- Também chamado de “MAC address”, endereço MAC (*Medium Access Control*)
- MAC: é o protocolo de controle de acesso ao meio, vamos estudar o da Ethernet daqui a pouco
- Voltando ao endereço: obtido pelo fabricante a partir de uma autoridade mundial
  - era para ser único no mundo...

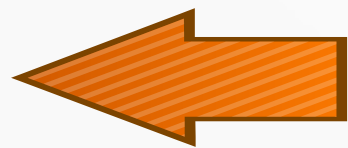
# Endereços Ethernet

- Extremamente importantes: rede baseada em broadcast
- Todas as máquinas recebem todos os pacotes transmitidos
- Na placa de uma máquina: compara o endereço de destino do pacote com o endereço da máquina
  - Igual? Opa, destinatário!
  - Diferente? Descarta (ou não: modo promíscuo)
- O pacote IP é extraído do quadro e enviado ao IP

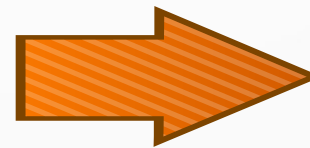
# O Quadro Ethernet

- Antes: formato geral de quadro, pacote, segmento e PDU - próximo slide
- O quadro Ethernet se manteve o mesmo ao longo da evolução da Ethernet

|                       |                            |                             |                            |                                 |                          |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| <b>Preâmbulo (8B)</b> | <b>Enderec Origem (6B)</b> | <b>Enderec Destino (6B)</b> | <b>Tipo [Tamanho] (6B)</b> | <b>Dados Payload (46~1500B)</b> | <b>Checksum CRC (4B)</b> |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|



**Cabeçalho (*Header*)**



  
***Os dados mesmo***

  
***Trailer***

# Campos do Quadro Ethernet

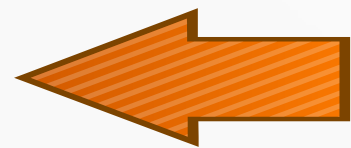
- Tipo (2 bytes): este campo carrega o identificador do protocolo para o qual os dados (“payload”) devem ser entregues
  - Há casos em que é usado para informar o número de bytes de *payload*, mas são raros
  - O final do quadro é determinado na camada física
- Na grande maioria dos casos: o protocolo que usa a Ethernet para comunicar é o IP (hoje as versões 4 e 6 co-existem na Internet)



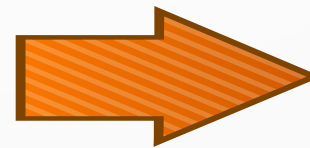
# O Quadro Ethernet

- Antes: formato geral de quadro, pacote, segmento e PDU - próximo slide
- O quadro Ethernet se manteve o mesmo ao longo da evolução da Ethernet

|                   |                            |                           |                           |                                       |                         |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Preâmbulo<br>(8B) | Enderec<br>Destino<br>(6B) | Enderec<br>Origem<br>(6B) | Tipo<br>[Tamanho]<br>(2B) | Dados<br><i>Payload</i><br>(46~1500B) | Checksum<br>CRC<br>(4B) |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|



**Cabeçalho (*Header*)**



***Os dados  
mesmo***



***Trailer***

# Campos Ethernet: *Payload*

- O campo de dados do quadro Ethernet carrega o pacote IP ou eventualmente outro tipo de pacote
  - sempre de outro protocolo: Ethernet não comunica “espontaneamente”
- Valor mínimo: 46 bytes
- Valor máximo: 1500 bytes
  - Em outras palavras: o número máximo de dados que podem ser transmitidos em 1 quadro Ethernet é 1500 bytes

# Campos Ethernet: Trailer

- O código de detecção de erros segue o payload
- A Ethernet usa um código muito poderoso: CRC
- CRC: Código da Redundância Cíclica
- Lembrando: erro neste contexto é erro de transmissão
- Bit 1 é transmitido, bit 0 é recebido, ou vice-versa
- O CRC detecta um número enorme de combinações de bits em erro

# O Protocolo MAC Ethernet

- A Ethernet utiliza como protocolo MAC o protocolo *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* - **CSMA/CD 1-persistente**
- As máquinas escutam o meio antes de transmitir: *Carrier Sense*
- Todas as máquinas transmitem na mesma faixa de frequência
  - Estamos acostumados com faixas de frequência no nosso dia-a-dia, pense no rádio por exemplo

# Protocolo CSMA/CD

- Se a máquina tem um quadro para transmitir
- Escuta o meio
- Está livre? Transmite!
- Não está livre? Aguarda... e quando ficar livre transmite!

# Protocolo CSMA/CD

- Se a máquina tem um quadro para transmitir
- Escuta o meio
- Está livre? Transmite!
- Não está livre? Aguarda... e quando ficar livre transmite!
- “A Ethernet não tem colisão, pois só transmite quando encontra o meio livre.” certo?

# Protocolo CSMA/CD

- Se a máquina tem um quadro para transmitir
- Escuta o meio
- Está livre? Transmite!
- Não está livre? Aguarda... e quando ficar livre transmite!
- “A Ethernet não tem colisão, pois só transmite quando encontra o meio livre.” certo?
- Errado! Se 2 ou mais máquinas escutam ao mesmo tempo: colisão!

# CSMA/**CD**: **C**ollision **D**etection

- A placa Ethernet está equipada para detectar que houve uma colisão
- Processo intrinsecamente analógico
- Após uma colisão ser detectada:
  - interrompe a transmissão corrente o mais rápido possível
  - tenta novamente depois



# CSMA/CD 1-persistente



- Lembrando: quando o meio fica livre: uma máquina na Ethernet transmite com probabilidade 100%
- Existem alternativas (*não para a Ethernet, fiquem atentos!*)
- No projeto de protocolos é possível optar pelos protocolos  $p$ -persistentes: meio livre? transmite com probabilidade  $p$
- Os protocolos *não*-persistentes: meio ocupado? Não fica escutando continuamente, tenta depois de um intervalo aleatório

# CSMA/CD 1-persistente: Ethernet

- Mesmo assim podem ocorrer colisões
- O que fazer? Desistir? Chorar?



# CSMA/CD 1-persistente: Ethernet

- Mesmo assim podem ocorrer colisões
- O que fazer? Desistir? Chorar? 
- Não! Tentar de novo!! 
- Quando? Como?
- No caso da Ethernet: algoritmo *binary exponential backoff* (retransmissão com tentativas com espalhamento binário e exponencial)

# Algoritmo *Binary Exponential Backoff*

- Usado pela Ethernet após uma colisão para tentar retransmitir
- Na 1ª colisão: espera 0 ou 1 intervalos de tempo para tentar novamente
- Seleciona aleatoriamente 0 ou 1



# Algoritmo *Binary Exponential Backoff*

- Colidiu de novo?
- Na 2ª colisão: seleciona aleatoriamente entre 0, 1, 2 ou 3 intervalos para tentar novamente
- Na 3ª colisão: seleciona aleatoriamente 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 ou 7 intervalos para retransmitir
- ...
- Na  $i^{\text{a}}$  colisão: 0, 1, 2, 3, ..., ou  $2^{i-1}$  intervalos

# Algoritmo *Binary Exponential Backoff*

- Na verdade: só até a 10<sup>a</sup> colisão usa a fórmula, a partir daí tenta sempre esperando 1, 2, 3, ..., ou  $2^{10}-1$  intervalos
- Isso até a 16<sup>a</sup> colisão...

# Ethernet: Depois de 16 colisões...

- Depois de 16 colisões: desiste!
- Portanto: é possível enviar um quadro Ethernet e este não ser transmitido
- Pode acontecer!
- Mais: você pode enviar uma sequência de pacotes e todos eles coliderem 16 vezes
- .... e não conseguir comunicar!

# Ethernet: Rede Probabilística

- A probabilidade de uma sequência de pacotes sofrerem 16 colisões é muito baixa
  - especialmente em redes com o perfil de aplicação da Internet
- Mas que pode acontecer, pode!
- A Ethernet é, portanto, uma rede probabilística



# Redes Probabilísticas

- Em ambientes ditos “de escritório”: tudo bem!
- Não é só “escritório” propriamente dito: nossos laboratórios por exemplo, escolas, etc.
- Mas pense no monitoramento de uma usina:



# Redes Determinísticas

- Redes industriais também não podem correr o risco!
- Pense em uma linha de montagem:



# Redes Industriais

- Ao contrário das redes de “escritório”, não houve um claro vencedor

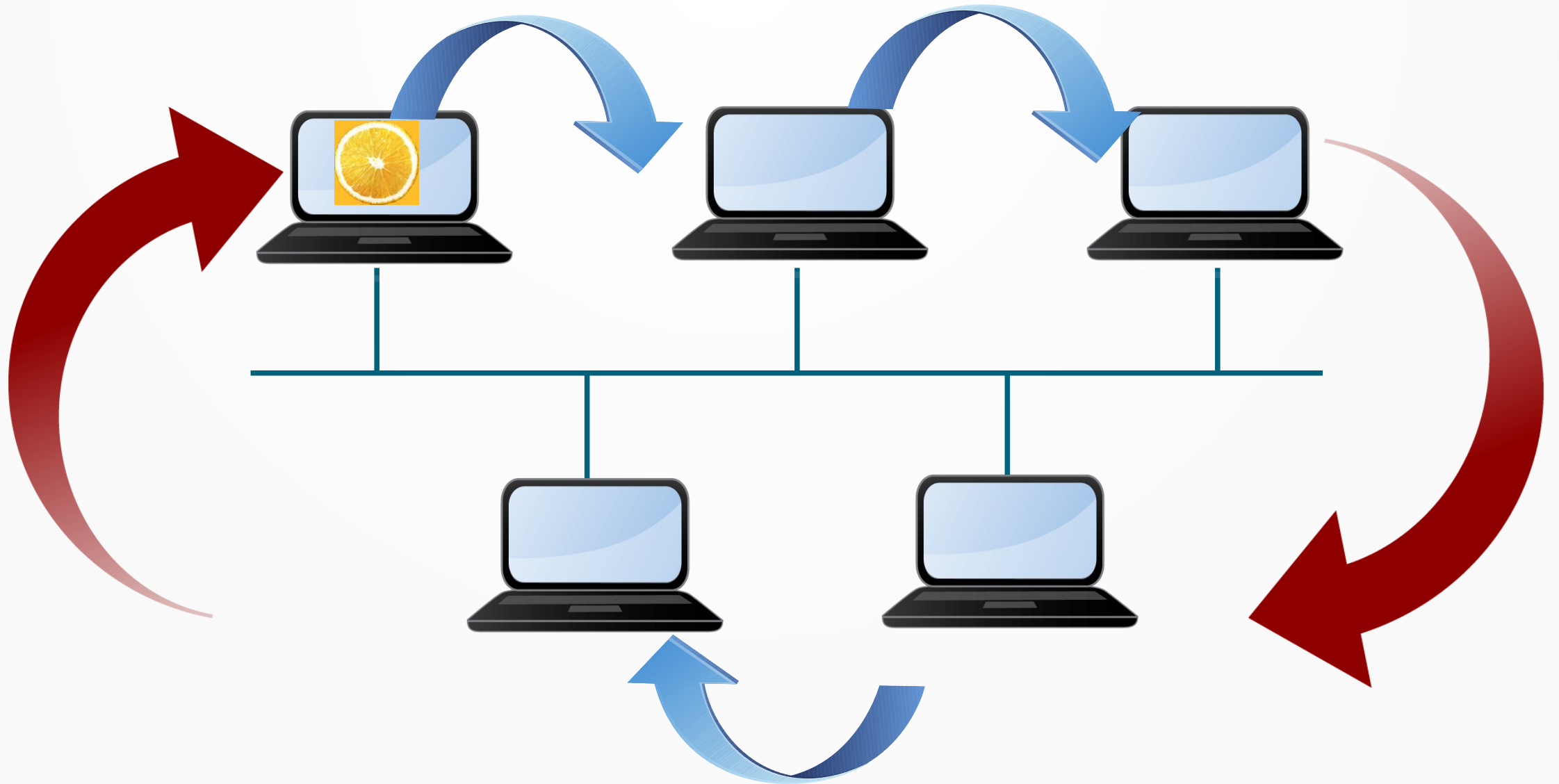
# Redes Industriais

- Ao contrário das redes de “escritório”, não houve um claro vencedor
- Múltiplas soluções adotadas por indústrias distintas
- A partir de um momento: influenciadas pela própria Ethernet: variantes determinísticas
- Padrões IEEE TSN: Time Sensitive Networking
- Mas vamos dar uma olhadinha em 1 protocolo de enlace determinístico

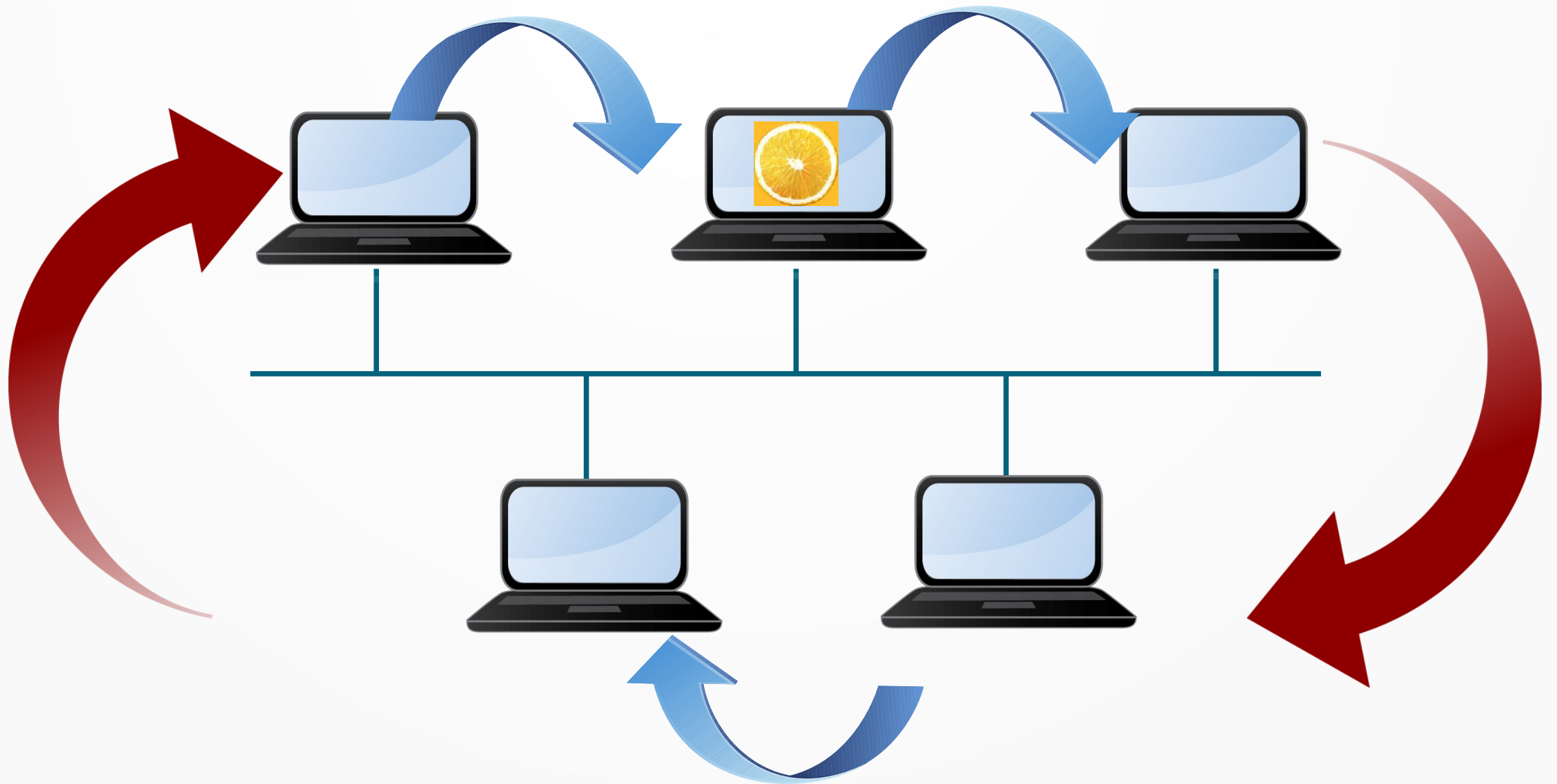
# Rede Token Bus: IEEE 802.4

- Padrão publicado ao mesmo tempo que o da Ethernet
- Rede determinística, para aplicações industriais
- Topologia Física: barramento
- Topologia Lógica: anel
- Um “token” (bastão) é continuamente repassado entre as máquinas em anel lógico
- Quem tem o token tem direito de comunicar

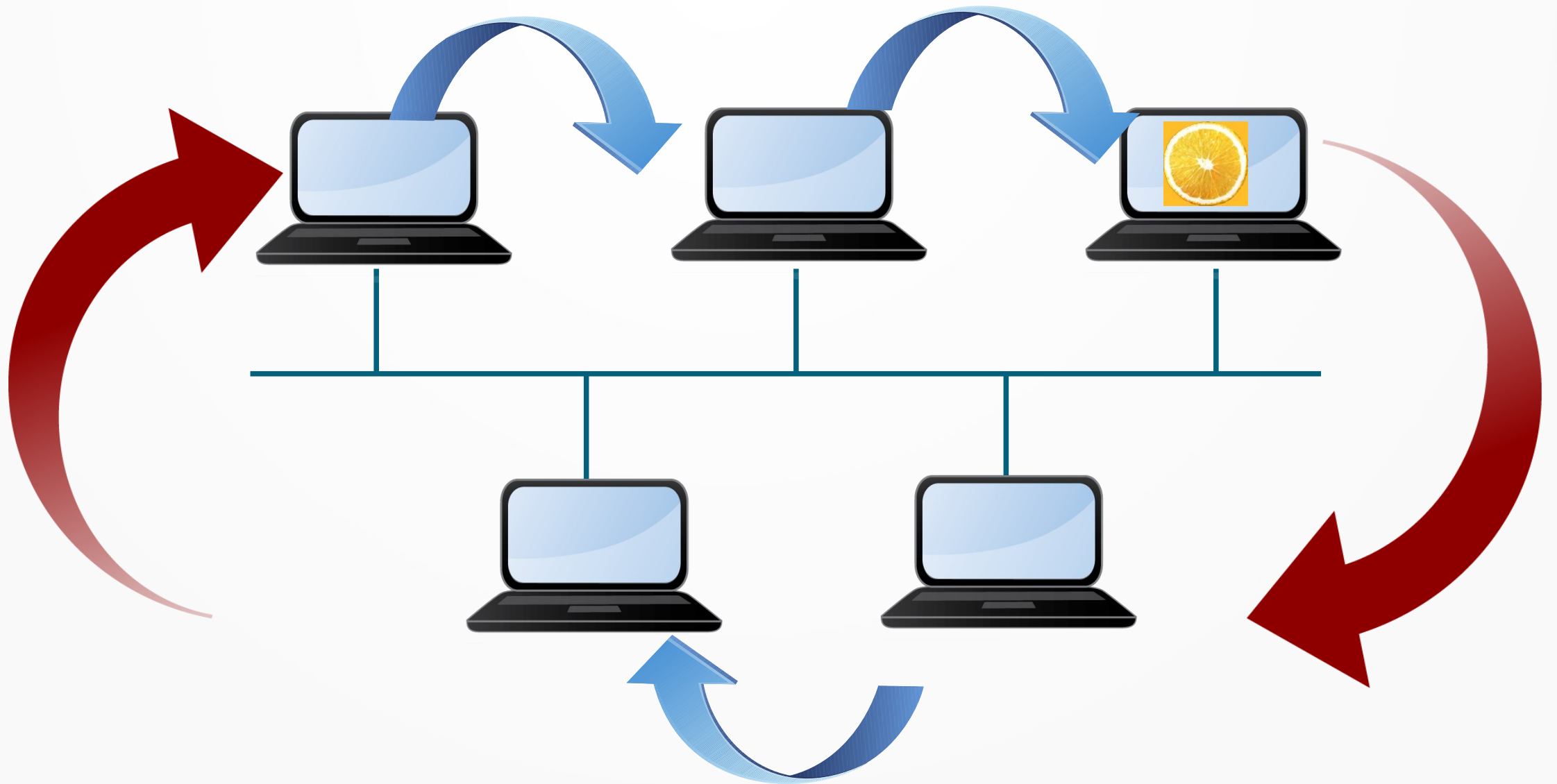
# Token Bus



# Token Bus

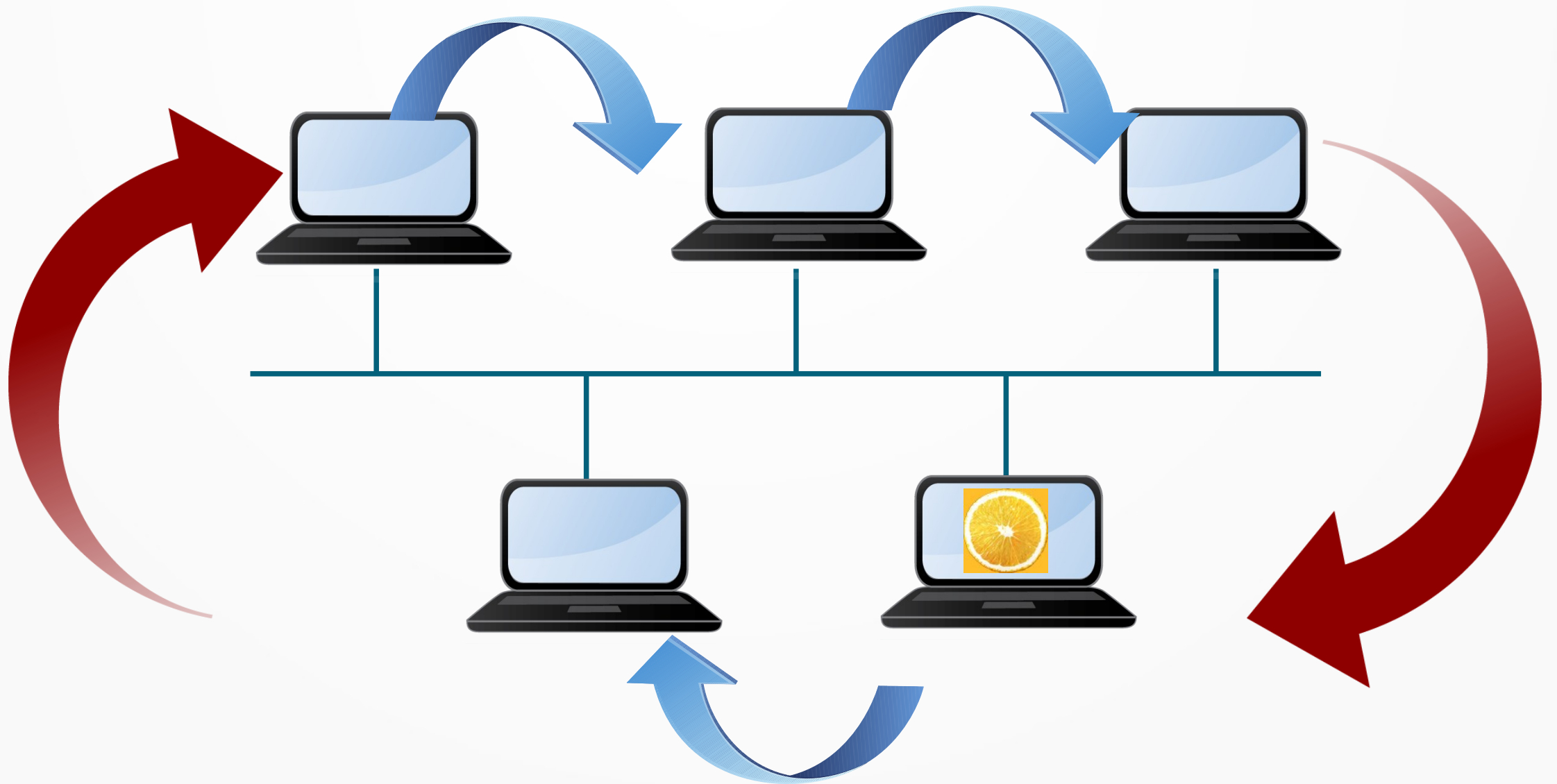


# Token Bus

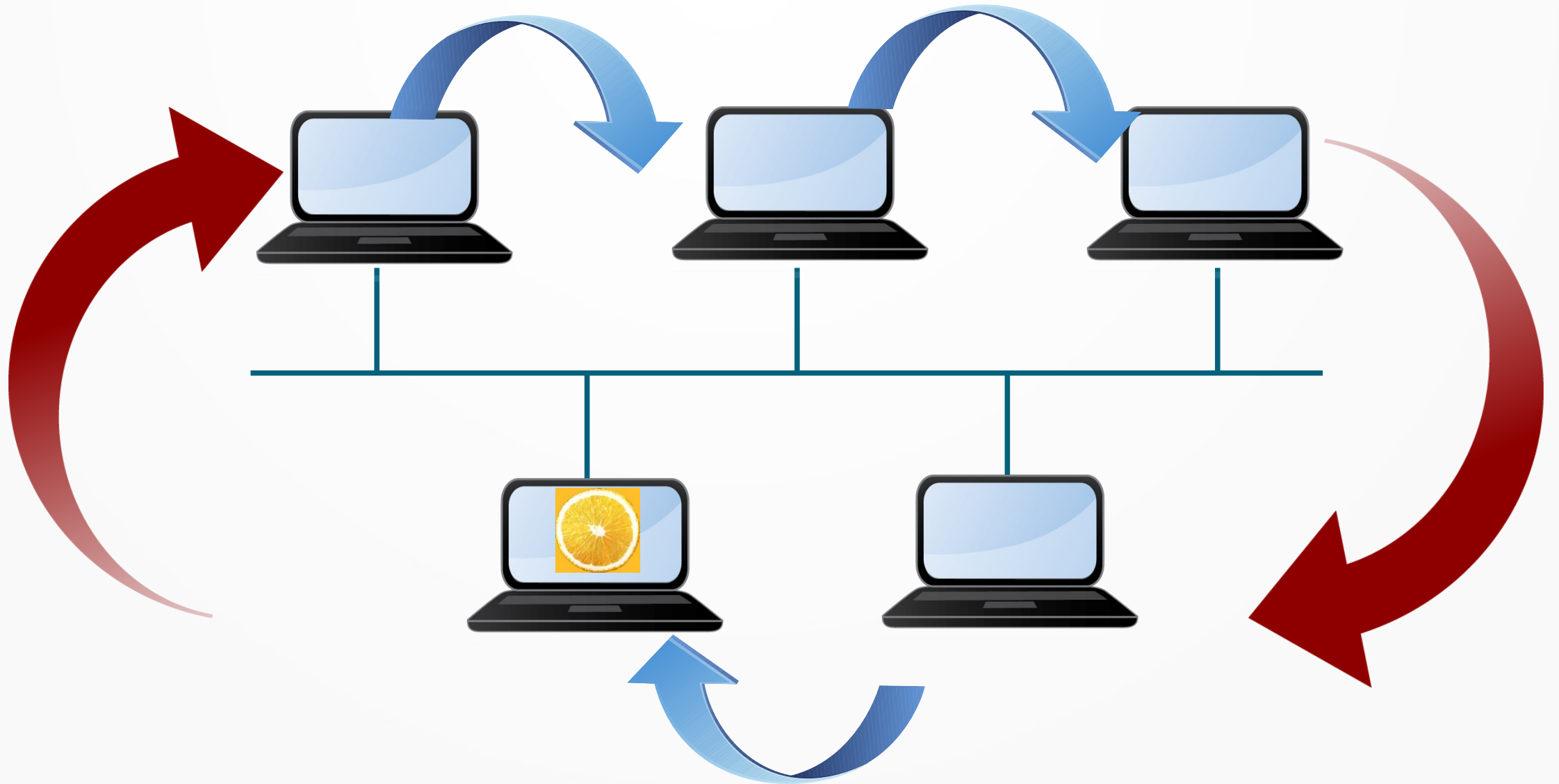




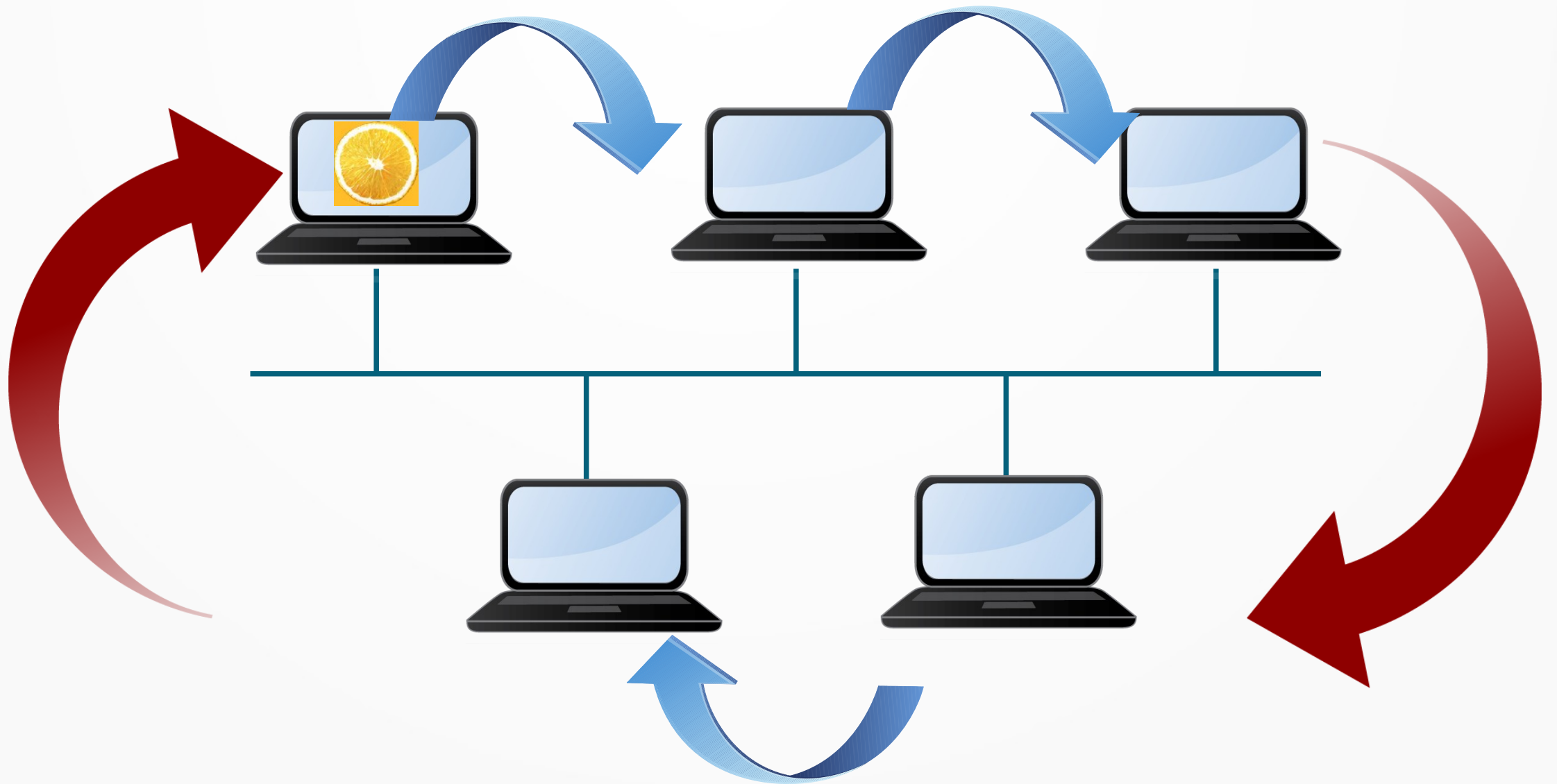
# Token Bus



# Token Bus



# Token Bus



# Token Bus: O Protocolo

- Toda a lógica para a manutenção correta do anel lógico implementada em hardware na camada 2
- Além da permissão para transmissão de dados do token: classes de prioridade dos dados
- 4 classes de prioridades
- Permite a coexistência de aplicações com e sem requisitos de **QoS**: Qualidade de Serviço (*Quality of Service*)

# Token Bus: Manutenção do Anel

- Lembre-se que o anel é dinâmico, máquinas são ligadas e desligadas, entram e saem da rede
- Cada máquina sabe quem são: antecessora e sucessora no anel

# Entrada no Anel

- Periodicamente: quem tem o token transmite um quadro de controle SOLICIT\_SUCESSOR: máquinas no intervalo apropriado podem aplicar
- E se duas ou mais máquinas aplicarem?

# Entrada no Anel

- Periodicamente: quem tem o token transmite um quadro de controle SOLICIT\_SUCESSOR: máquinas no intervalo apropriado podem aplicar
- E se duas ou mais máquinas aplicarem?
- Pode haver colisão! Fator não determinístico

# Entrada no Anel

- Periodicamente: quem tem o token transmite um quadro de controle SOLICIT\_SUCCESOR: máquinas no intervalo apropriado podem aplicar
- E se duas ou mais máquinas aplicarem?
- Pode haver colisão! Fator não determinístico
- Se o token “demora muito” para chegar, a máquina não precisa mandar um SOLICIT\_SUCCESOR (outro fator não determinístico)



# Inicialmente: Ninguém!

- No início, quando todas as máquinas estão desligadas e a primeira é ligada: o anel deve ser inicializado
- Se uma máquina ligada não escuta o token por um intervalo de tempo pré-definido: cria token

# Inicialmente: Ninguém!

- No início, quando todas as máquinas estão desligadas e a primeira é ligada: o anel deve ser inicializado
- Se uma máquina ligada não escuta o token por um intervalo de tempo pré-definido: envia CLAIM\_TOKEN
- Ninguém responde: cria token
- Duas ou mais máquinas podem enviar CLAIM\_TOKEN ao mesmo e colisão! Fator não determinístico

# Falhas Acontecem

- Se a máquina passa o token para a sucessora, mas esta falhou
- Se não escuta nada após passar o token:  
WHO\_FOLLOWS
- Se não tem resposta: SOLICIT\_SUCCESOR\_2

# Muitos Outros Problemas Podem Acontecer...

- E se a própria máquina com o token falha?

# Muitos Outros Problemas Podem Acontecer...

- E se a própria máquina com o token falha?
- Temporizador leva outra máquina a criar executar CLAIM\_TOKEN

# Muitos Outros Problemas Podem Acontecer...

- E se a própria máquina com o token falha?
- Temporizador leva outra máquina a criar executar CLAIM\_TOKEN
- E se, acidentalmente, múltiplas máquinas criam múltiplos tokens
  - veja: o protocolo **tem que prever** casos como este

# Muitos Outros Problemas Podem Acontecer...

- E se a própria máquina com o token falha?
- Timer leva outra máquina a criar executar CLAIM\_TOKEN
- E se, acidentalmente, múltiplas máquinas criam múltiplos tokens
  - veja: o protocolo **tem que prever** casos como este
- Uma das máquinas que escuta a outra comunicando apaga seu token

# Muitos Outros Problemas Podem Acontecer...

- E se a própria máquina com o token falha?
- Timer leva outra máquina a criar executar CLAIM\_TOKEN
- E se, acidentalmente, múltiplas máquinas criam múltiplos tokens
  - veja: o protocolo **tem que prever** casos como este
- Uma das máquinas que escuta a outra comunicando apaga seu token
- E se todos os tokens forem apagados?



# Em Resumo: Complexidade

- Um protocolo bastante complexo
- Cada máquina mantém cerca de 20 variáveis de estado interno, mais cerca de 10 timers
- E com fatores não determinísticos
- Riscos devem ser avaliados adequadamente

# Uma Outra Alternativa

- O comitê original IEEE 802 ainda propôs originalmente outro padrão de LAN de “escritório”
- A rede Token Ring, da IBM

# Uma Outra Alternativa

- O comitê original IEEE 802 ainda propôs originalmente outro padrão de LAN de “escritório”
- A rede Token Ring, da IBM
- Dizem as más línguas que foi lobby da própria IBM dentro do comitê de padronização
- Até hoje: forte participação de empresas!

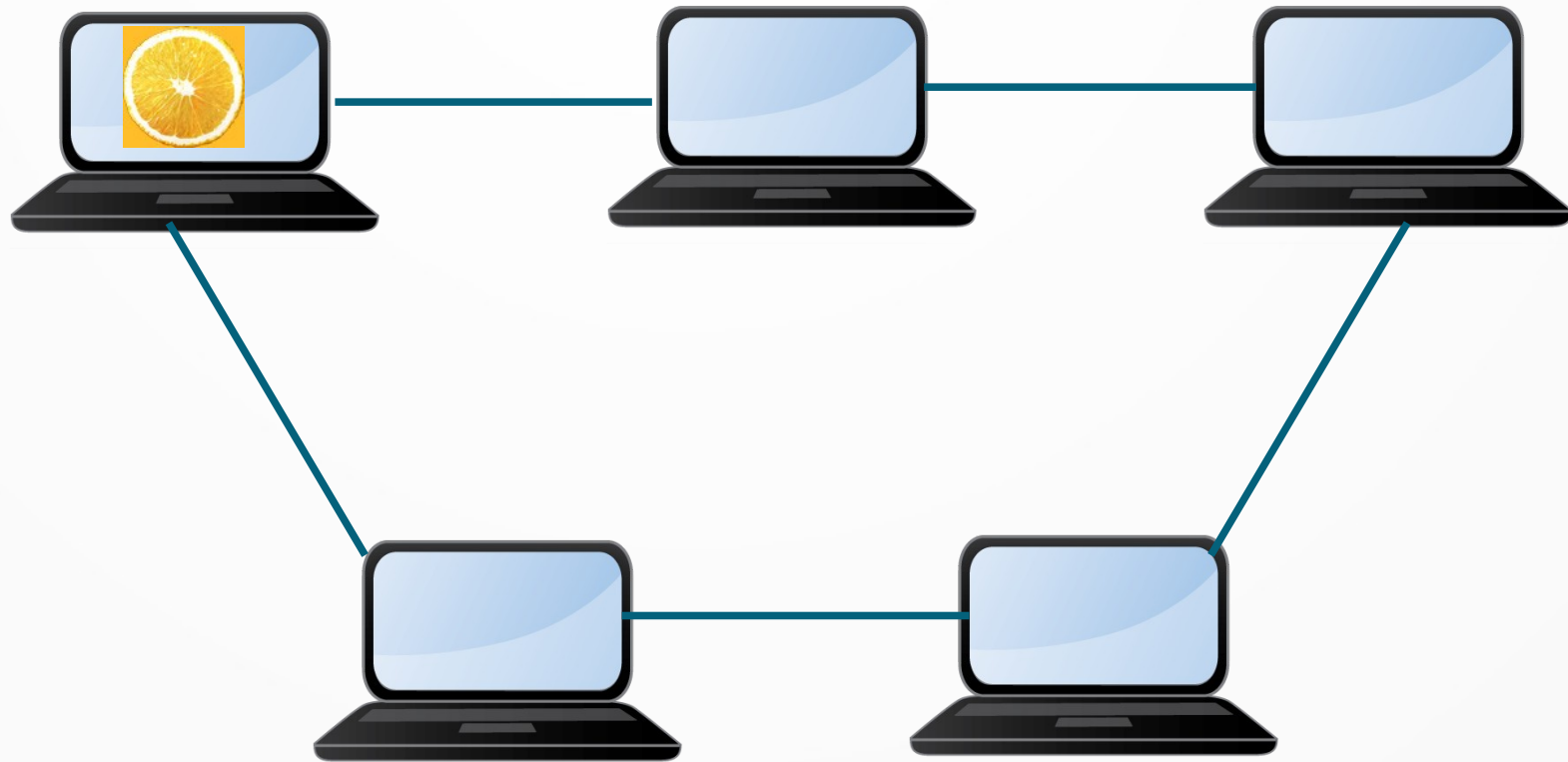
# Token Ring

- Topologia Física: anel
- Uma grande vantagem sobre as demais redes: enlaces ponto-a-ponto

# Token Ring

- Topologia Física: anel
- Uma grande vantagem sobre as demais redes: enlaces ponto-a-ponto, por que?
- Enlaces ponto-a-ponto não têm colisão!
- Mesmo assim uma rede baseada em broadcast

# Token Ring



# Gerência do Token: Centralizada

- Um fator que causa a complexidade nas redes  
Token Bus: gerência distribuída do anel

# Gerência do Token: Centralizada

- Um fator que causa a complexidade nas redes Token Bus: gerência distribuída do anel
- Na rede Token Ring: há um monitor centralizado, responsável pela presença correta do token e gerência do anel
- Estratégia com monitor: só vantagens?



# Gerência do Token: Centralizada

- Um fator que causa a complexidade nas redes Token Bus: gerência distribuída do anel
- Na rede Token Ring: há um monitor centralizado, responsável pela presença correta do token e gerência do anel
- Estratégia com monitor: só vantagens?
- Diminui a confiabilidade da rede :-)
- Ponto central de falha: falha o monitor, falha a rede!

# Token Ring: O Monitor

- Responsabilidades do Monitor:
  - garantir que o token não se perca
  - localizar quebras no anel
  - limpar o anel de lixo
  - remover quadros órfãos do anel (passam duas vezes)

# Token Ring: O Monitor

- Responsabilidades do Monitor:
  - garantir que o token não se perca
  - localizar quebras no anel
  - limpar o anel de lixo
  - remover quadros órfãos do anel (passam duas vezes)
- E se o monitor falha?
  - um protocolo é executado para eleger o próximo monitor
  - simples: a primeira máquina que manda um CLAIM\_TOKEN se transforma em monitor

# Comparação Ethernet x Token Ring

- Ambas redes de “escritório”, qual será melhor?

# Comparação Ethernet x Token Ring

- Ambas redes de “escritório”, qual será melhor?
- Que tal pensar em situações de carga alta e carga baixa?

# Comparação Ethernet x Token Ring

- Ambas redes de “escritório”, qual será melhor?
- Que tal pensar em situações de carga alta e carga baixa?
- Em carga alta: Ethernet tem muita colisão, Token Ring é melhor!
- Em carga baixa: Token Ring tem um atraso muito grande na passagem desnecessária do token

# Comparação Ethernet x Token Ring

- Ambas redes de “escritório”, qual será melhor?
- Que tal pensar em situações de carga alta e carga baixa?
- Em carga alta: Ethernet tem muita colisão, Token Ring é melhor!
- Em carga baixa: Token Ring tem um atraso muito grande na passagem desnecessária do token
- IBM descontinuou a rede Token Ring no começo dos anos 2000, quando estava para lançar a versão 1Gbps, sucesso da Ethernet

# Além destas: são muitas redes!

- O número de tecnologias de redes é enorme!
- 802.11 (rede WiFi), Bluetooth, ATM, SMDS, Satélite, InfiniBand, MiriNet, etc. etc. etc.
- Como fazer para conectar todas as redes de todas as tecnologias e permitir que máquinas em todas elas possam se comunicar?

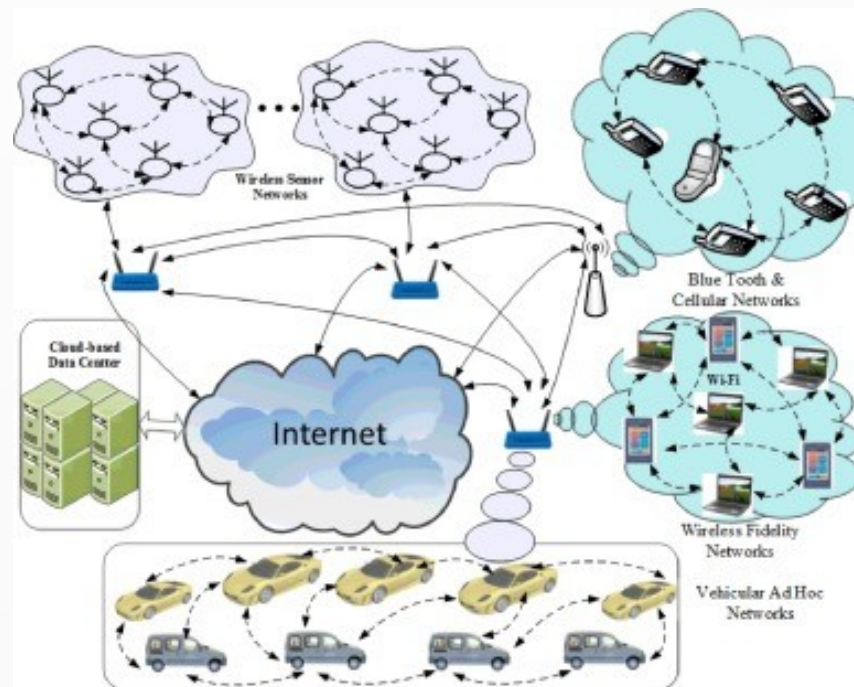


# Além destas: são muitas redes!

- O número de tecnologias de redes é enorme!
- 802.11 (rede WiFi), Bluetooth, ATM, SMDS, Satélite, InfiniBand, MiriNet, etc. etc. etc.
- Como fazer para conectar todas as redes de todas as tecnologias e permitir que máquinas em todas elas possam se comunicar?
- Resposta: a Internet e os protocolos TCP/IP

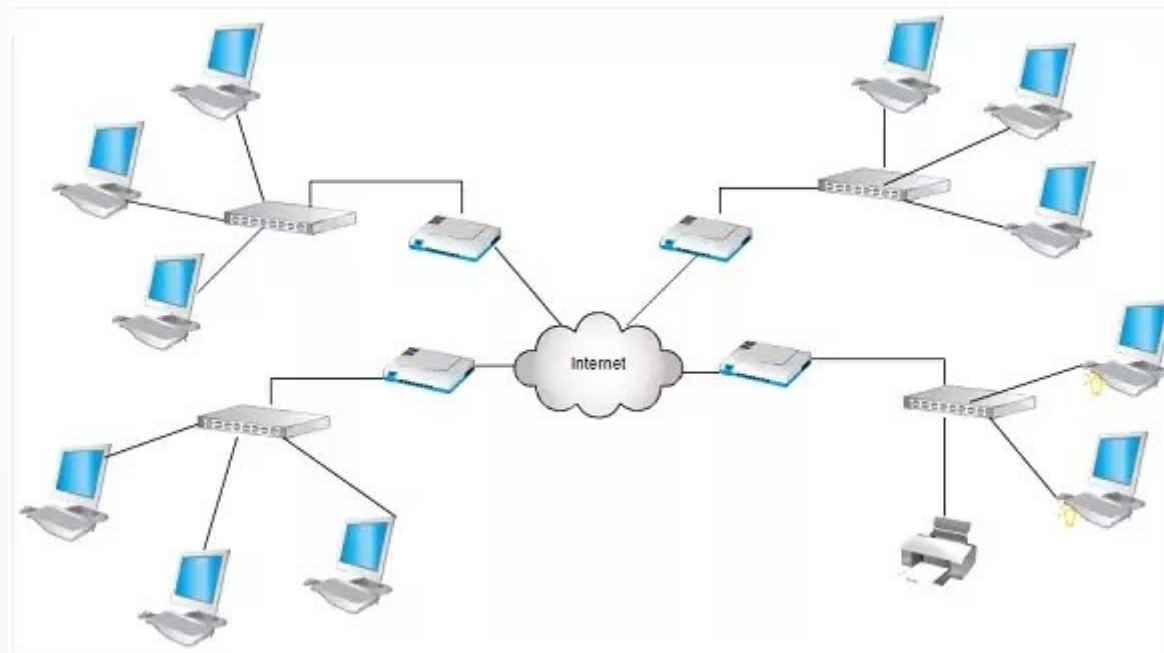
# A Internet

- Uma das muitas definições de Internet:
  - A Internet é uma rede de redes de tecnologias diferentes
  - Inclusive: convergência com redes de telecomunicações



# A Internet

- A palavra “internet” já fazia parte do vocabulário das Redes de Computadores dos anos 1980:
  - coleção de redes interconectadas entre si na camada 3
- Na literatura técnica: Internet com “I” maiúsculo



# A Internet

- A Internet é uma rede virtual

# A Internet

- A Internet é uma rede virtual
- A princípio inteiramente constituída por software
- Software que permite a comunicação universal de máquinas conectadas a redes físicas das mais diversas tecnologias
- A Internet é constituída por software que implementa os protocolos da família TCP/IP
- Os protocolos TCP/IP definem o conjunto de regras que permitem a comunicação universal entre máquinas

# A Internet

- Hoje conecta todo o planeta
- Vamos dar uma olhada:  
<https://www.internetworldstats.com/>

# Conclusão da Aula 3

- Hoje vimos a rede local cabeada mais importante do mundo: A Ethernet
- Estudamos o formato do quadro Ethernet
- O Protocolo MAC Ethernet: CSMA/CD
- Vimos que a Ethernet é uma rede probabilística
- Ambientes industriais demandam: rede determinística
- Demos uma olhada em Token Bus e Token Ring
- São múltiplas redes físicas, de tecnologias distintas e vão continuar sendo assim!
- A Internet conecta todas elas

**Obrigado!**

Lembrando: a página da disciplina é:  
<https://www.inf.ufpr.br/elias/redes>