



# SAA0167

## Princípios de Aviônica e Navegação

Redes de dados

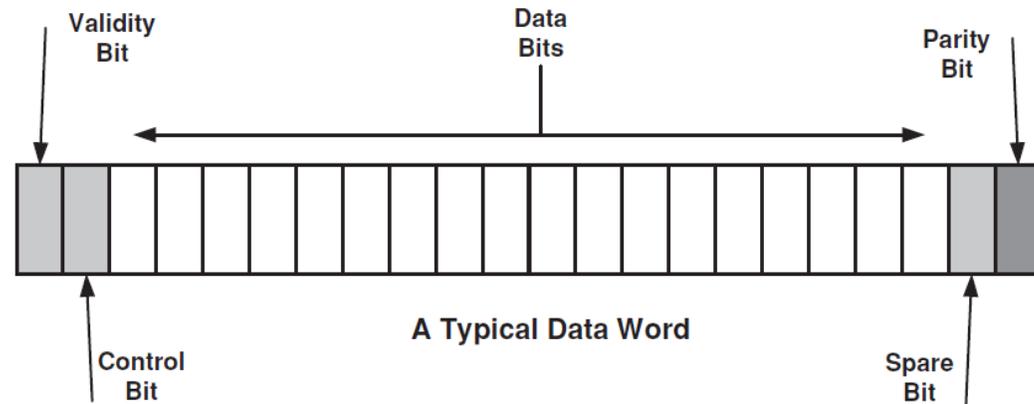
Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto  
jhbidi@sc.usp.br

- Fundamentos
- Protocolos de Transmissão
- Barramentos
- Fibra Ótica

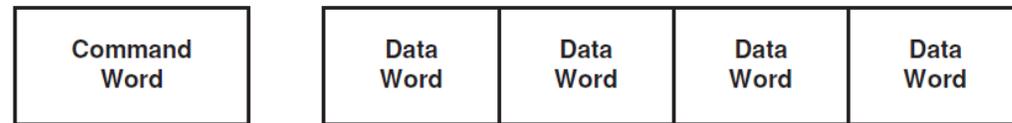
- Fundamentos
- Protocolos de Transmissão
- Barramentos
- Fibra Ótica

- **Barramentos de dados (Data Bus)**
- No início da aviação, os dados eram todos analógicos, portanto o valor de um dado sinal era proporcional à corrente gerada pelo sensor, cujo sinal era transmitido por cabos elétricos
- Com o advento da aviação digital, os dados convertidos em sequências de 0 e 1 deveriam ser transmitidos da mesma forma
- Com isso, surgiu a possibilidade de se transmitir esses sinais através de pacotes de dados
- Para que essa transmissão seja possível, é necessário que, nesses dados, sejam identificados cada sequência de 0 e 1 que se refere a cada tipo de grandeza

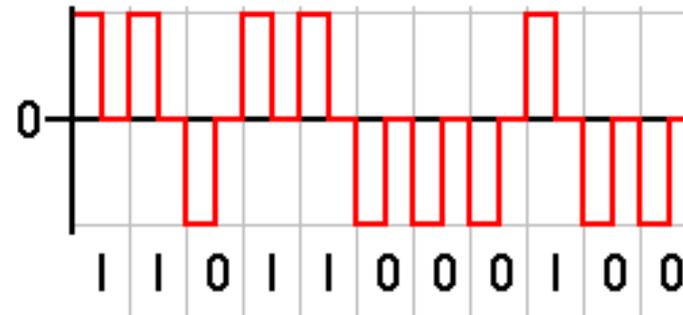
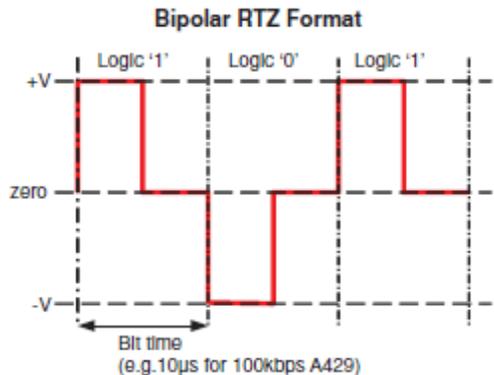
- **Barramentos de dados (Data Bus)**
- Essa seleção e classificação é feita pelo barramento de dados, através de um tipo de protocolo (que serão estudados a seguir)
- Para que essa decodificação seja possível, cada sequência de bits possui bits extra para identificação, conferência e validação dos dados



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)



- **Codificação**
- Existem dois tipos principais de codificação para transmissão das sequências 0 e 1:
- **Formato Bipolar RTZ:**
  - Codifica o 1 como uma variação de voltagem 'high to zero' e o 0 como uma variação 'low to zero' dentro de cada intervalo de tempo que corresponde a um bit

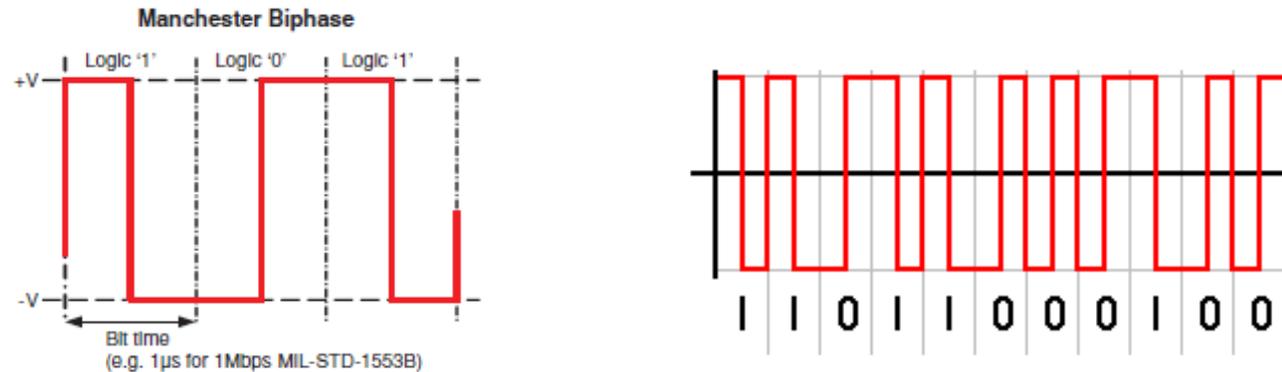


FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- **Codificação**

- **Formato Manchester biphase**

- Codifica o 1 como uma variação de voltagem 'high to low' e o 0 como uma variação 'low to high' dentro de cada intervalo de tempo que corresponde a um bit



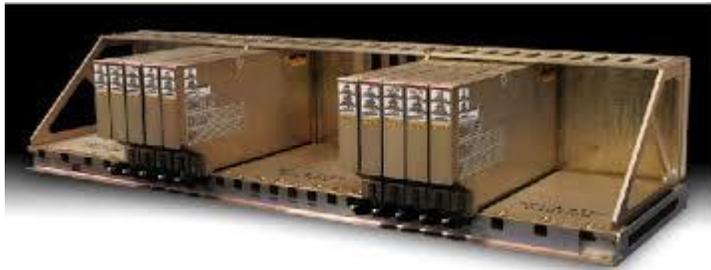
FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- Barramentos como o ARINC 429 utilizam a lógica Bipolar RTZ e barramentos MIL-STD-1553B utilizam lógica Manchester

- **Linear Repleceable Units (LRU)**
- Cada unidade (placa) de um sistema aviônico é tratada separadamente, e devem ser substituíveis. Estas unidades são chamadas LRUs, dispostas em um hardware aviônico normalmente em forma de ‘gavetas’



FONTE: diehl.com

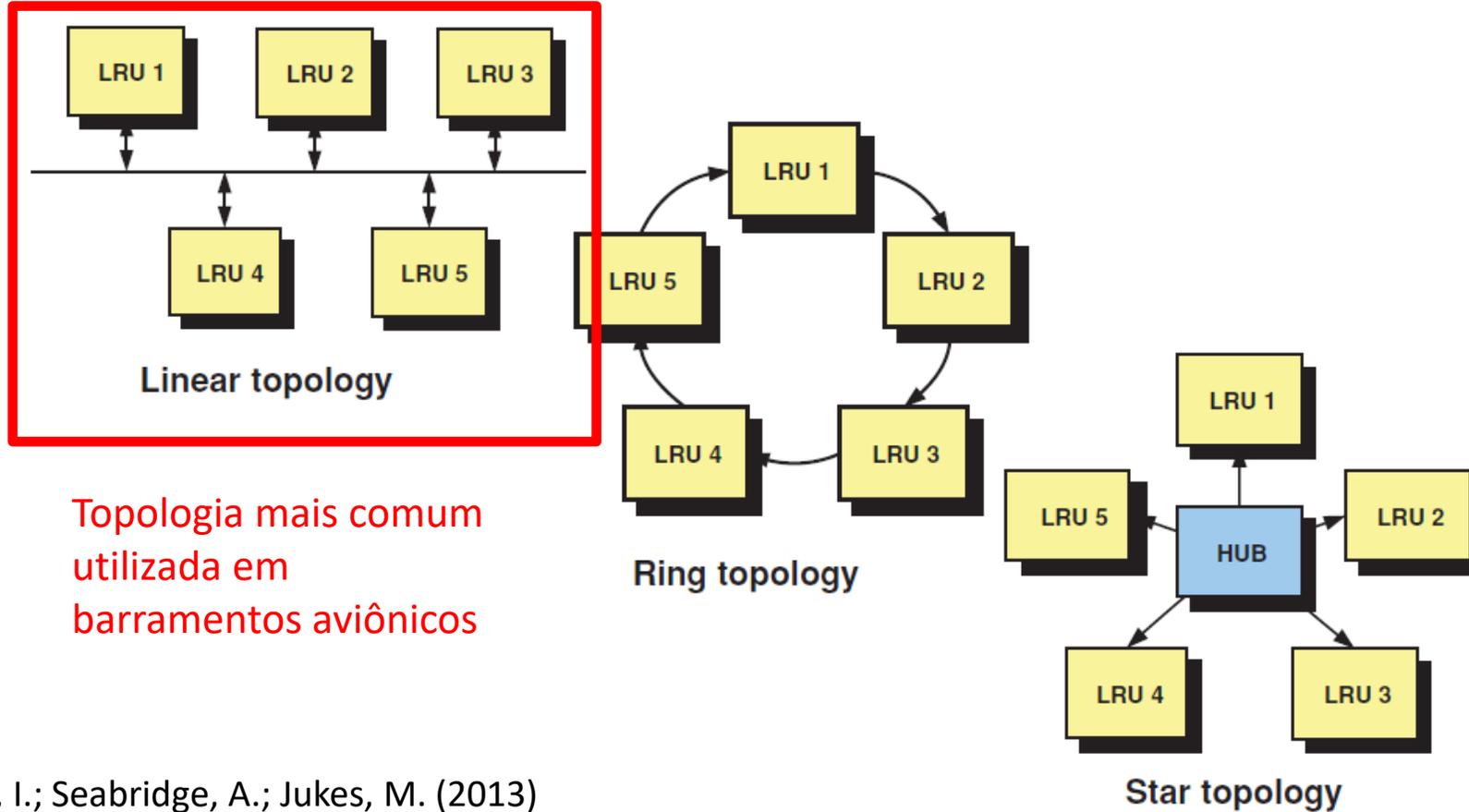


FONTE: artist-embedded.org

FONTE: hawkeyemedia.com



## • Transmissão de dados - topologia



Topologia mais comum utilizada em barramentos aviônicos

FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

## • Transmissão de dados - velocidade

Data Rate	Databus	Application
10Gbps		
1Gbps	◀ IEEE 1394b; 800Mbps	F-35 JSF
100Mbps	◀ ARINC 664-P7; 100Mbps	Airbus A380 Boeing 787
10Mbps	◀ STANAG 3910; 20Mbps	Typhoon, Rafale
1Mbps	◀ MIL-STD-1553B; 1Mbps ◀ CANbus; 1Mbps ◀ ASCB; 670kbps	Very widely used in Military Aerospace Community Automotive Business Jets
100kbps	◀ ARINC 429; 100kbps ◀ CSDB; 50kbps	Very widely used in Civil Aerospace Community General Aviation
10kbps		

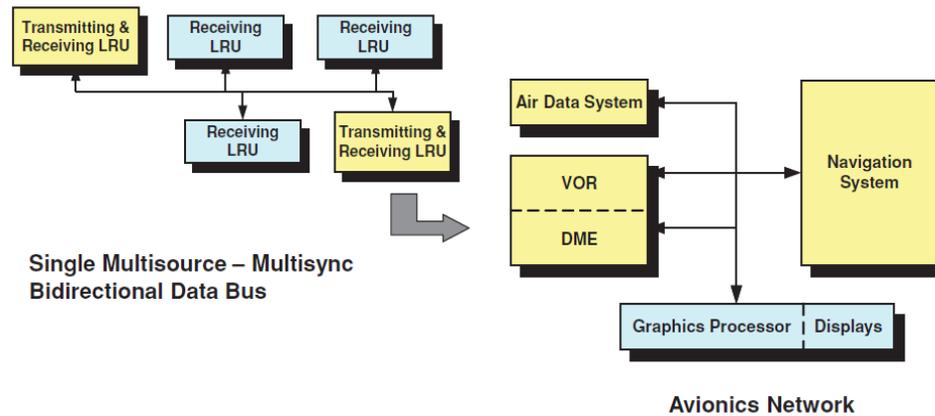
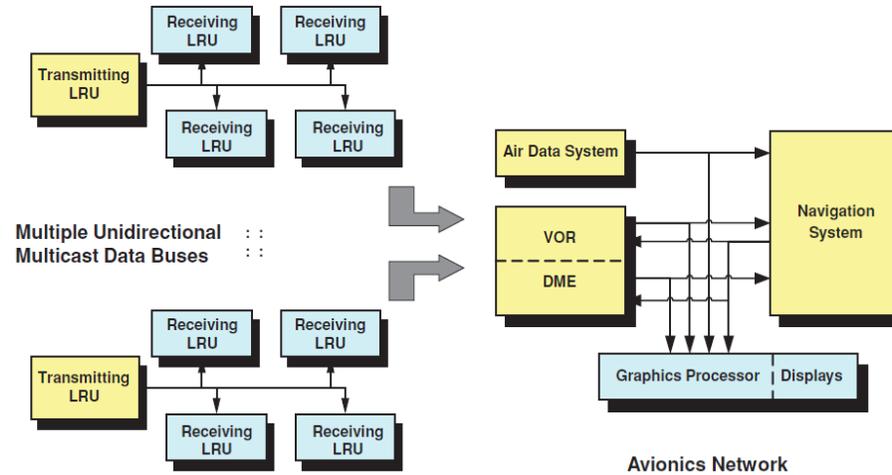
Para comparação:  
USB 1.0 (1996): 1,5 Mbit/s  
ou 1.500kbps

USB 3.0 (2008): 5 Gbit/s  
ou 5.000.000kbps

Mais comum!!!

- Fundamentos
- Protocolos de Transmissão
- Barramentos
- Fibra Ótica

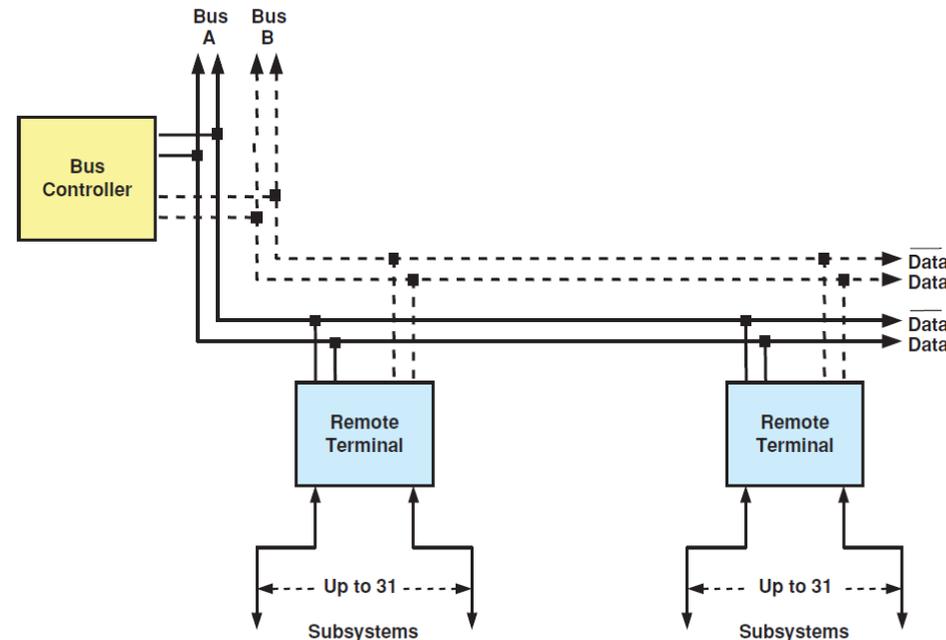
- Single source
- Multiple sink
- Unidirectional transmission



- Multiple source
- Multiple sink
- Bidirectional transmission

FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- **Protocolo comando/resposta**
- O controle de comunicação é centralizado
- Cada unidade requisita uma informação à central de comando, que libera a informação de resposta
- Em geral pode existir mais de um controle central, para redundância

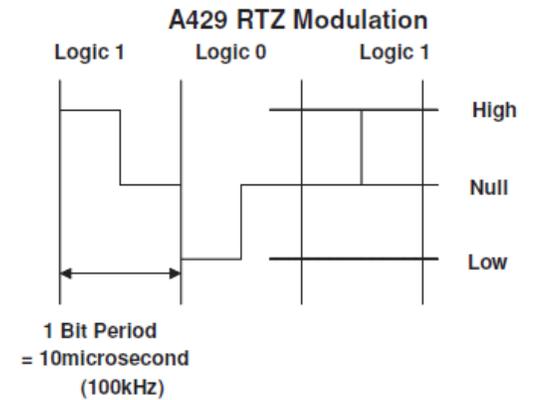
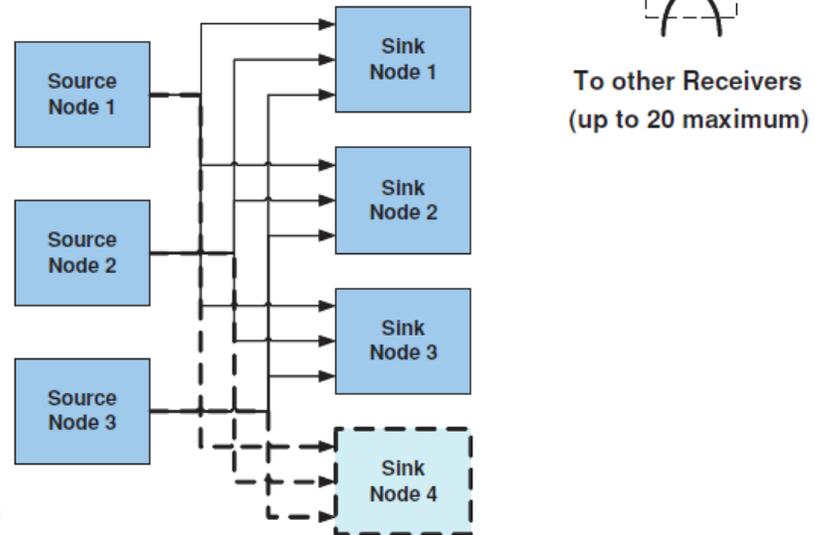
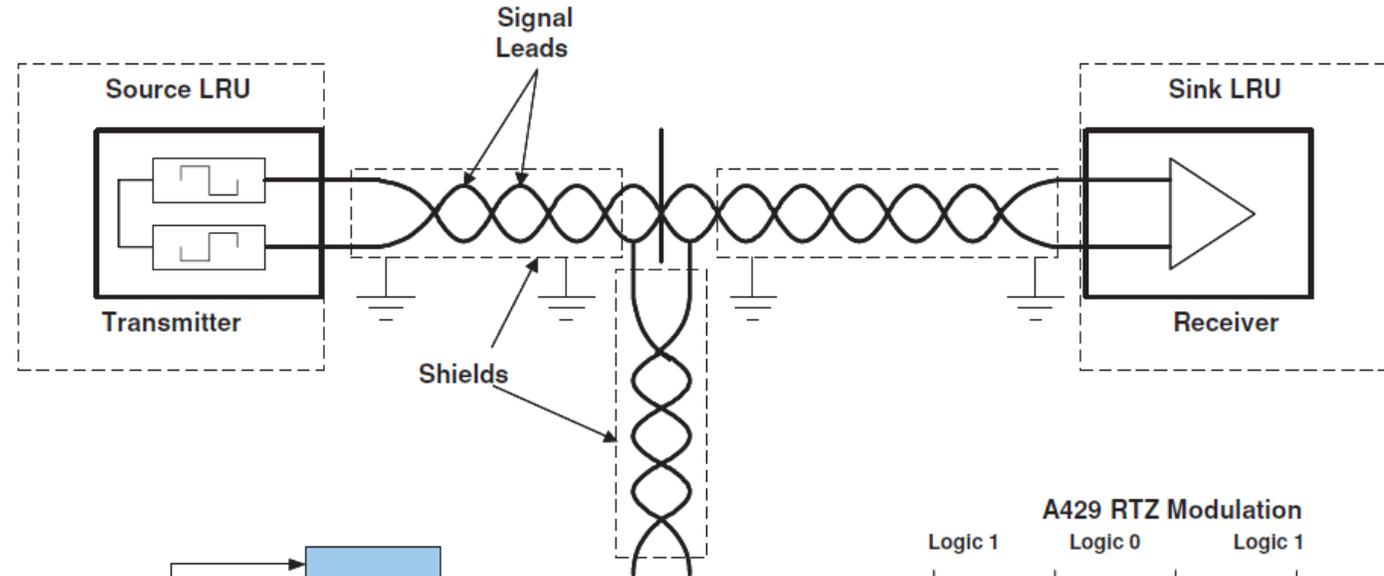


FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- Fundamentos
- Protocolos de Transmissão
- **Barramentos**
- Fibra Ótica

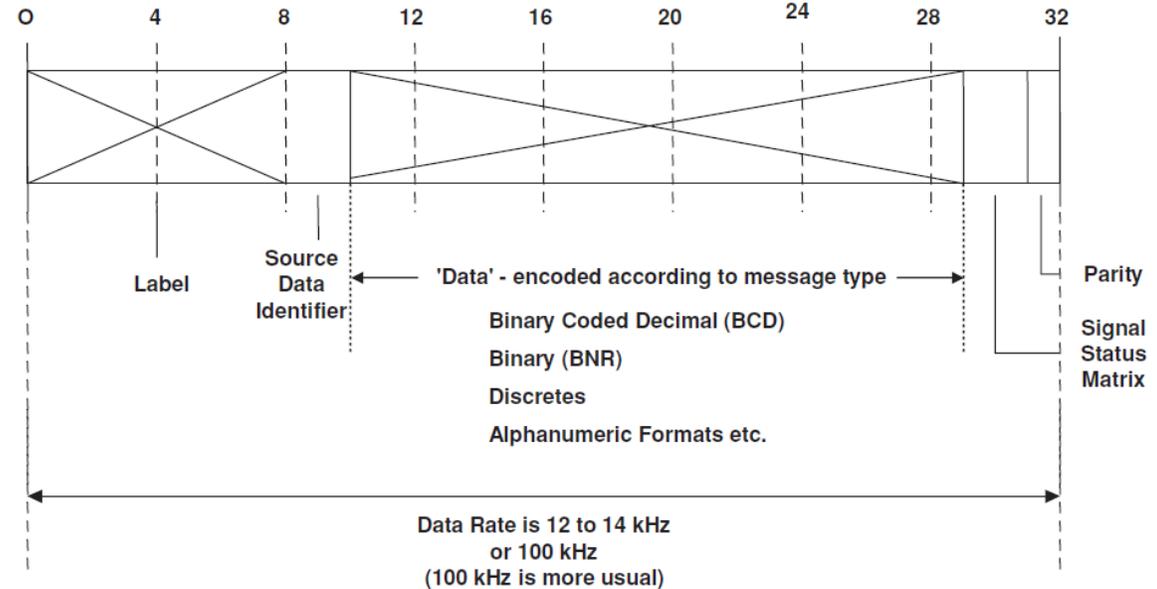
- **ARINC 429**
- De longe o barramento mais comum em aviônica
- Desde meados dos anos 1980, quase toda aeronave utiliza este barramento
- Características:
  - Single source, multiple sink
  - Topologia linear
  - Codificação bipolar RTZ
  - Transmissão via par de cabos trançados, que podem ser derivados para outro sistema (sink)
  - Até 20 sinks podem ser alimentadas com a mesma informação
  - Em geral as informações são transmitidas em palavras de 32 bit
  - Velocidades: comunicação com sensores é de 12 a 14 kbps; comunicação entre computadores é até 100 kbps

- ARINC 429
- Topologia



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- ARINC 429
- Palavras – formato
- Dos 32 bits, 18 carregam informação. O restante é utilizado para codificação, de modo que as palavras tenham destino certo



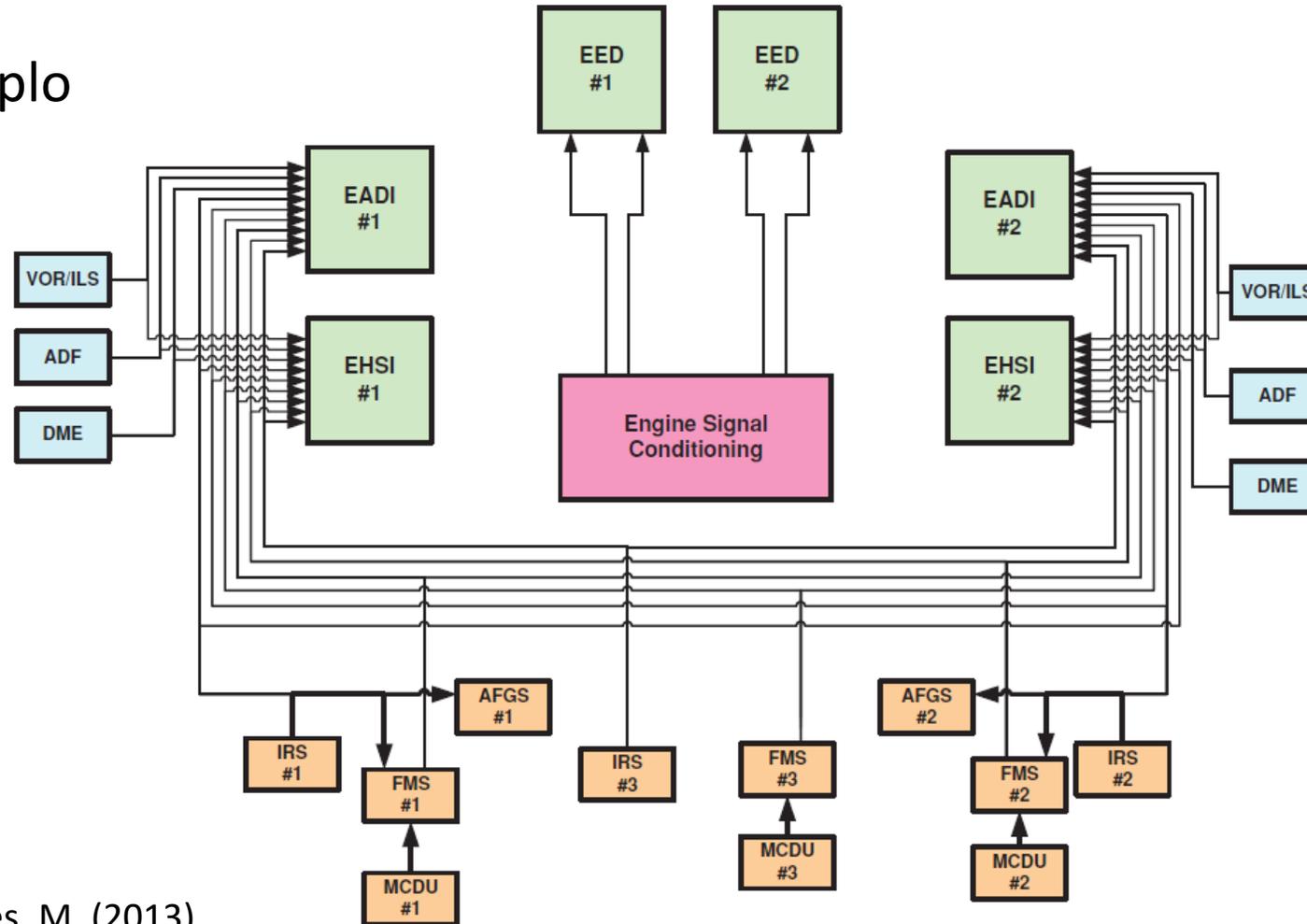
FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- ARINC 429
- Arquitetura
- Cada computador de transmissão (LRU) vai possuir ao menos um barramento ARINC 429 de transmissão;
- Cada LRU de recepção de sinal vai possuir um barramento ARINC 429 de recepção para cada sinal que recebe



FONTE: sea-gmbh.com

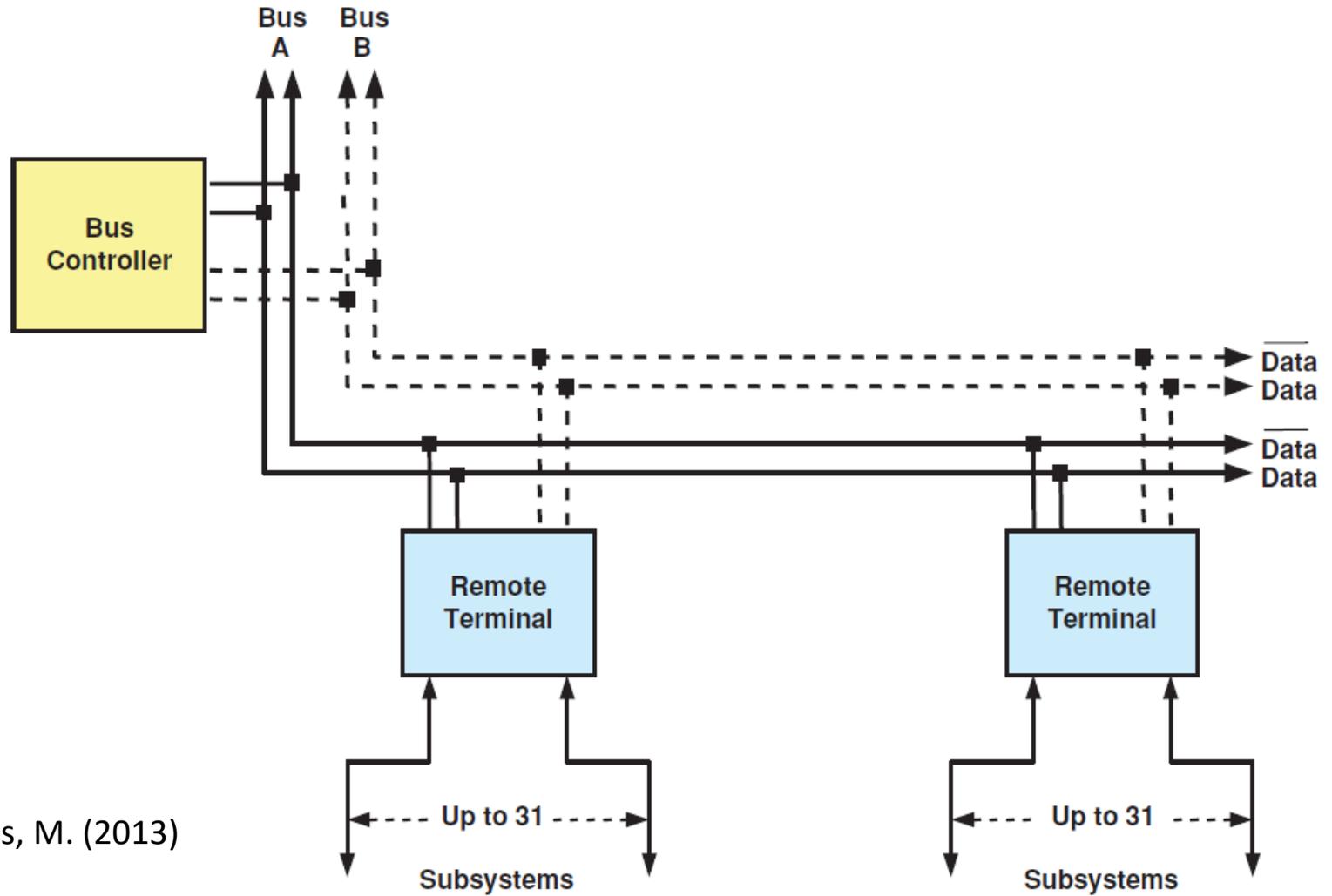
- ARINC 429
- Arquitetura - exemplo



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- **MIL-STD-1553B**
- Barramento de uso militar
- Concebido na década de 1970
- Características:
  - Bidirecional
  - Topologia linear
  - Codificação Manchester biphas
  - Transmissão via par de cabos trançados
  - Controle centralizado (comandados por estação única) e comunicação por comando/resposta
  - Normalmente as vias de pergunta/resposta são duplicadas para redundância
  - Até 31 estações, além da central de controle, podem estar conectadas ao barramento simultaneamente
  - Velocidade de 1Mbps
  - Possui maior proteção contra curto-circuito ou corrompimento de informação

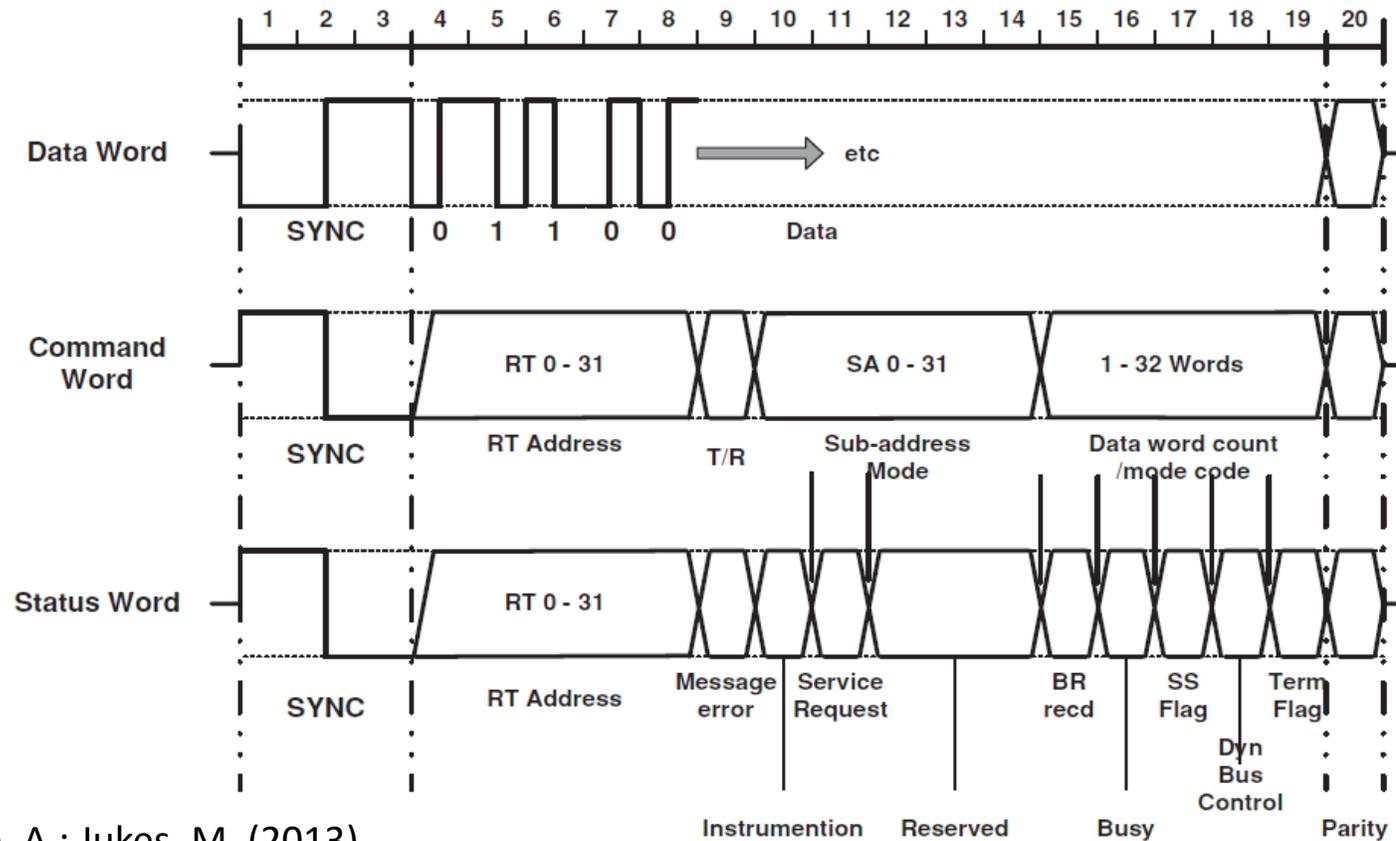
- MIL-STD-1553B
- Topologia



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- **MIL-STD-1553B**
- Palavras – formato
- São transmitidos 3 tipos de palavras simultaneamente, com 20 bits cada:
  - Palavras de dados: 16 bits de informação, mais codificação
  - Palavras de comando: 5 bits para identificar o terminal de destino, 1 bit de transmissão, 5 bits para identificar endereço, 5 bits para identificar o número da palavra de dados, mais codificação
  - Palavra de status: 5 bits para identificar o terminal de resposta e o restante para identificar o terminal de destino. Mensagens do tipo 'RT trabalhando normalmente, mensagem válida e recebida corretamente'

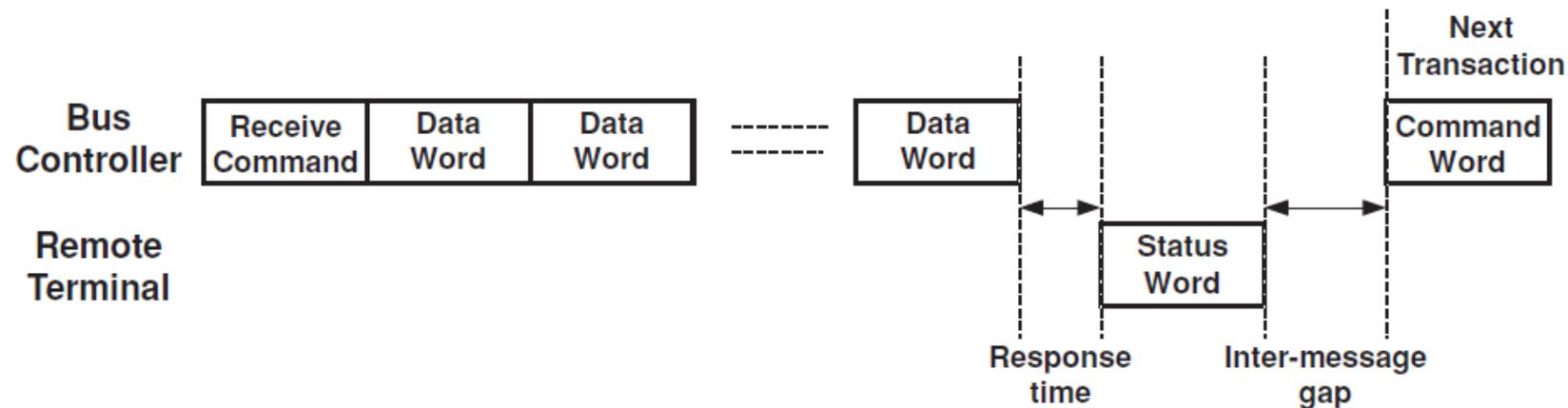
- MIL-STD-1553B
- Palavras – formato



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

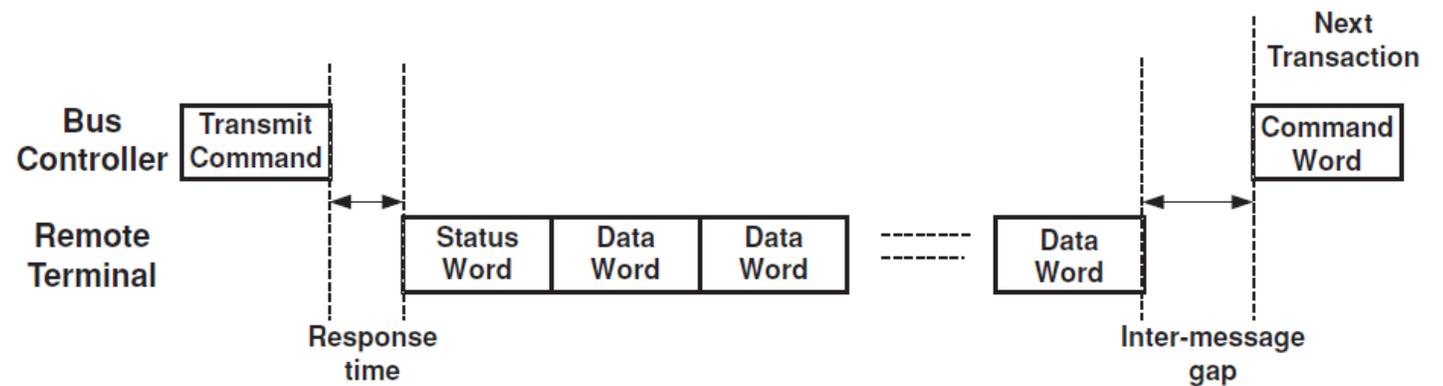
- **MIL-STD-1553B**
- Comunicação:
- Os tipos comuns de comunicação são:
  - Controle do barramento para terminal remoto
  - Terminal remoto para controle do barramento
  - Terminal remoto para terminal remoto
  - Em rede

- **MIL-STD-1553B**
- Comunicação:
- Controle do barramento (BC) para terminal remoto (RT):
  - Chamado de Protocolo BC-RT
  - BC envia comando que identifica qual RT que deve receber a mensagem, seu endereço e o número de palavras da mensagem
  - Após intervalo (4 a 12  $\mu$ s), a RT solicitada envia seu status
  - Após intervalo (tipicamente 8  $\mu$ s), BC inicia envio de dados



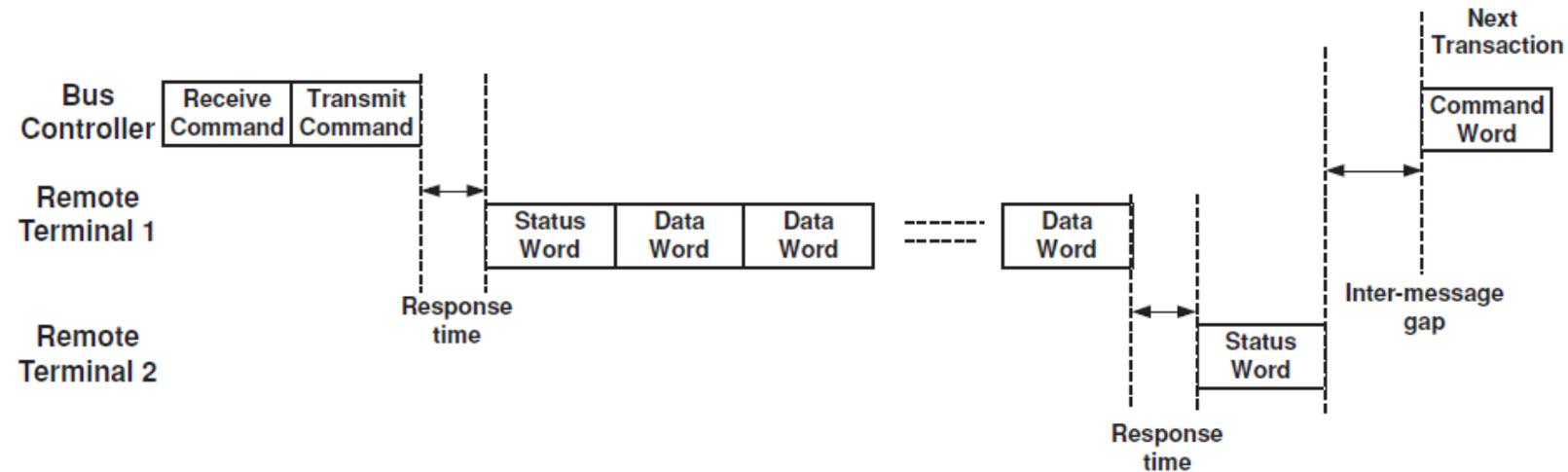
FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- **MIL-STD-1553B**
- Comunicação:
- Terminal remoto (RT) para controle do barramento (BC):
  - Chamado de Protocolo RT-BC
  - BC envia comando que identifica qual RT que deve receber a mensagem, seu endereço e o número de palavras da mensagem
  - Após pequeno intervalo, a RT envia informação de status e imediatamente a informação solicitada. BC tem a informação se a mensagem chegou corretamente, não necessitando de status de recebimento. Isso completa a troca de informações, permitindo o início da próxima mensagem



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- **MIL-STD-1553B**
- Comunicação:
- Terminal remoto (RT) para terminal remoto (RT):
  - Chamado de Protocolo RT-RT. É uma combinação de BC-RT com RT-BC
  - BC envia comando para a RT receptora, indicando a mensagem que virá em seguida
  - BC envia mensagem para a RT transmissora
  - RT transmissora envia mensagem de status e a mensagem de dados
  - RT receptora envia mensagem de status

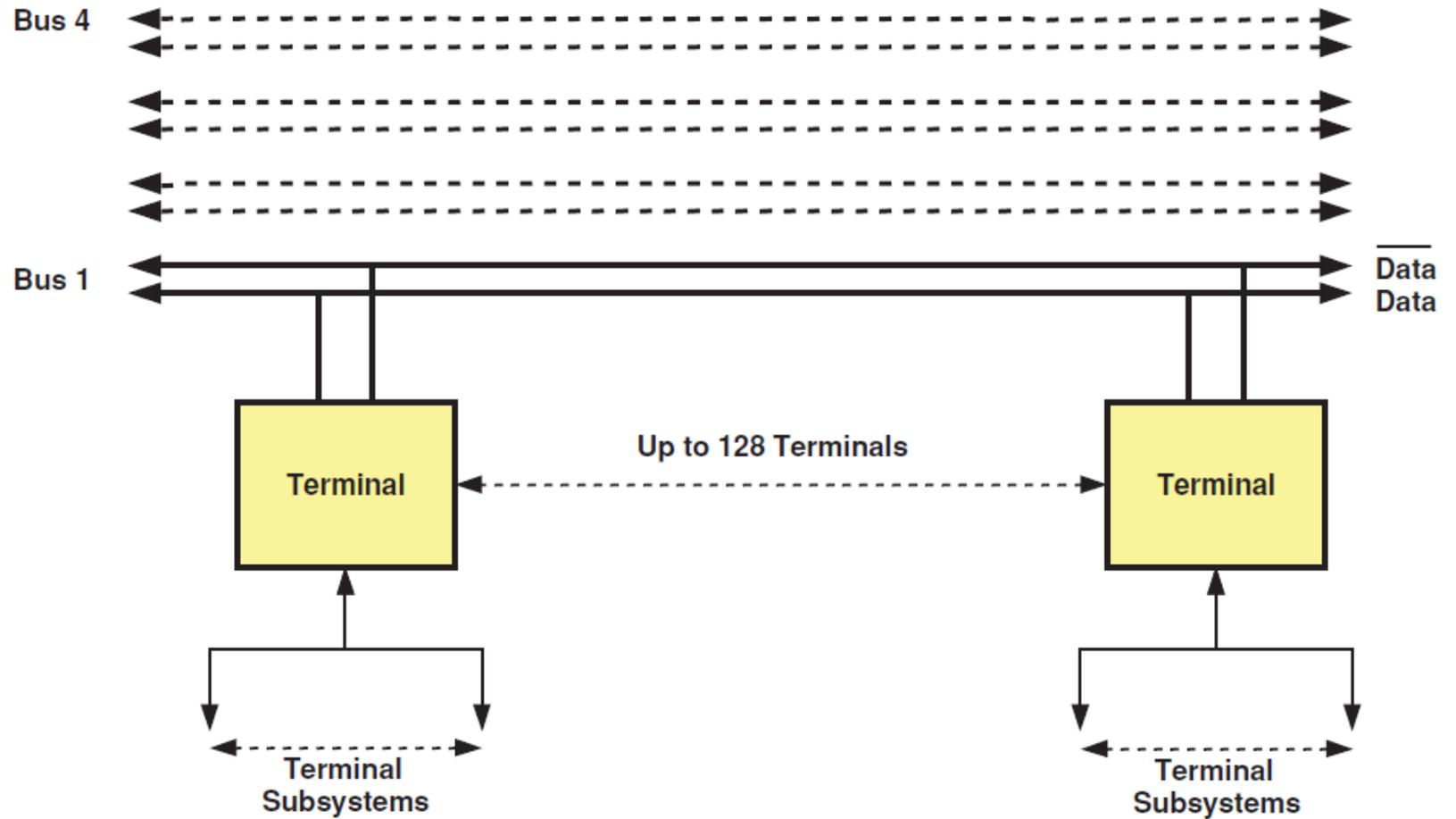


FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- **MIL-STD-1553B**
- Comunicação:
- Comunicação em rede:
  - Comunicação entre a BC e todas as RTs simultaneamente
  - Em geral só é utilizada no início da atividade, para sincronizar todas as RTs

- **ARINC 629**
- Barramento desenvolvido com a experiência adquirida no ARINC 429 e no MIL-STD-1553B
- Concebido em meados da década de 1980
- Características:
  - Multisource, Multisink
  - Toda parte física semelhante ao ARINC 429
  - Até 128 estações
  - Palavras de 20 bits
  - Velocidade de 2Mbps
  - Permite redundância tripla ou quádrupla
- É utilizado em apenas uma aeronave: Boeing 777

- ARINC 629
- Topologia:

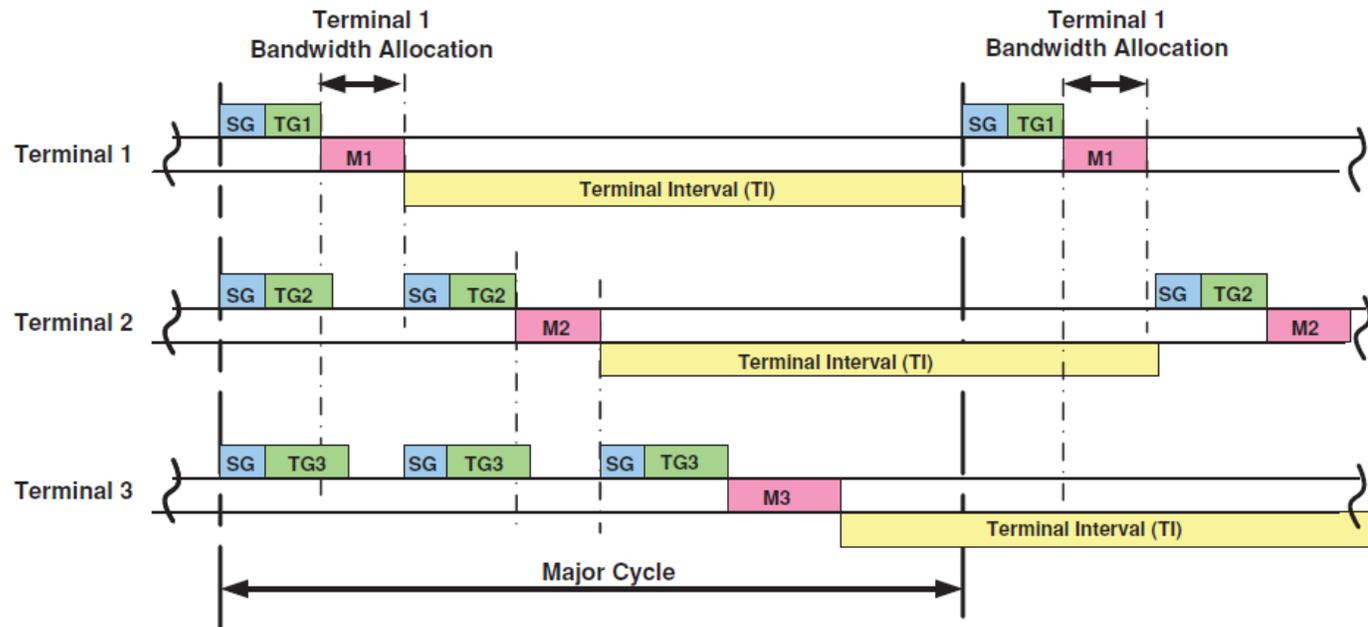


FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- **ARINC 629**

- Topologia:

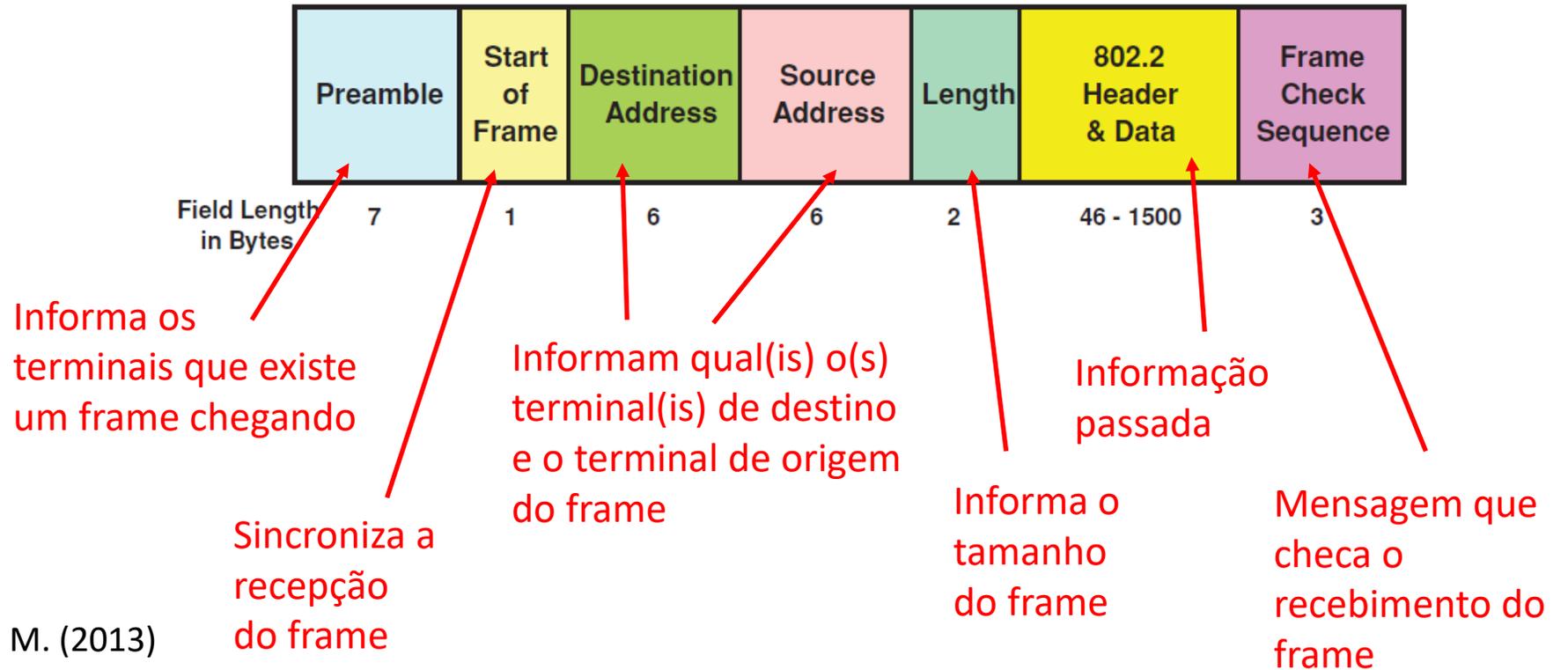
- As palavras são transmitidas continuamente, com um intervalo entre elas
- Cada estação receptora tem um intervalo próprio
- Ao receber informações com um determinado intervalo, a estação receptora sabe que aquela informação é para aquele destino



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

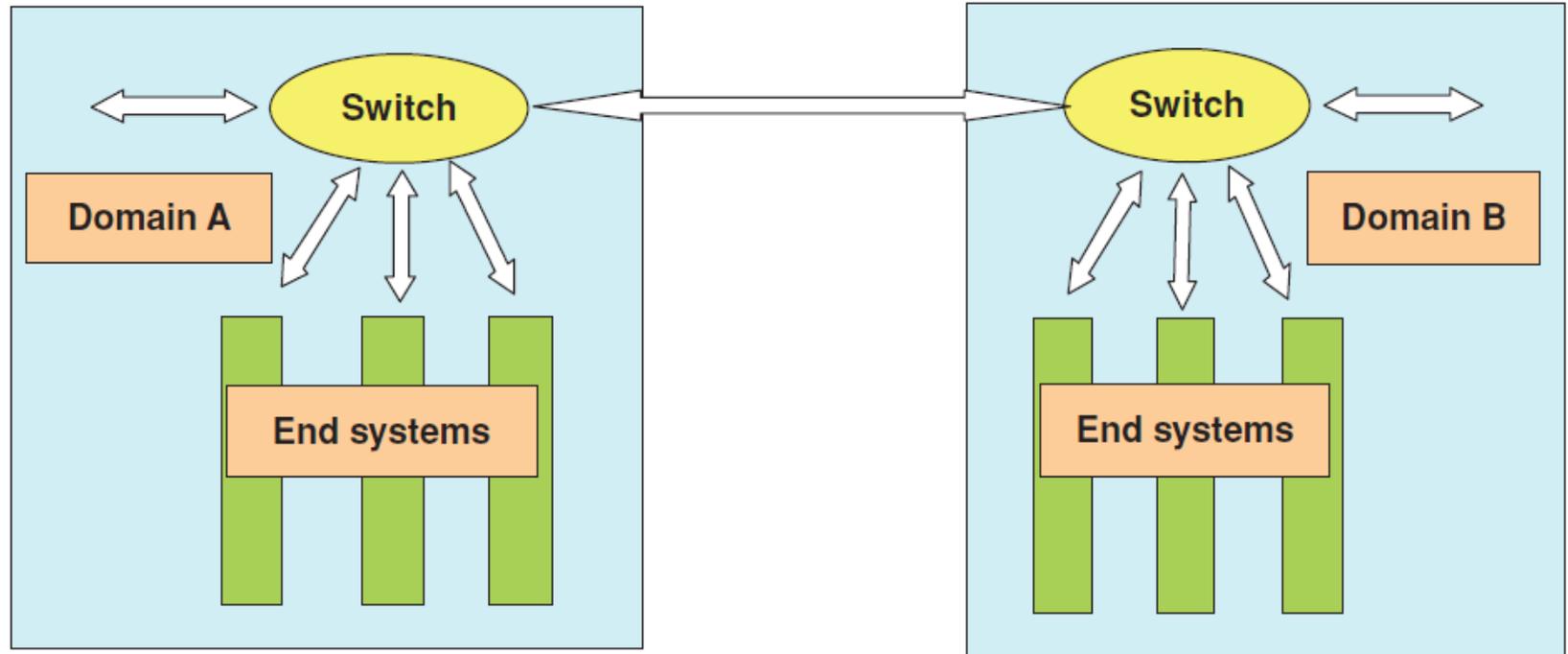
- **ARINC 664 Part 7**
- Barramento desenvolvido para o uso da tecnologia de redes
- Se baseia em:
  - Tecnologia Ethernet (IEEE 802.3)
  - Media Access Control (MAC)
  - Internet Protocols (IP)
  - User Datagram Protocol (UDP)
  - Isso permite uma velocidade de 10 a 100 Mbps
- Na prática, é criada uma rede de internet dentro da aeronave
- Componentes mais baratos e simples
- Topologia do tipo star
- Barramento mais moderno em uso, utilizado em aeronaves como Boeing 787, A380, A350, A400, Sukhoi Super-jet 100, etc

- ARINC 664 Part 7
- Troca de informações
  - A informação é passada na forma de 'frames', e não palavras



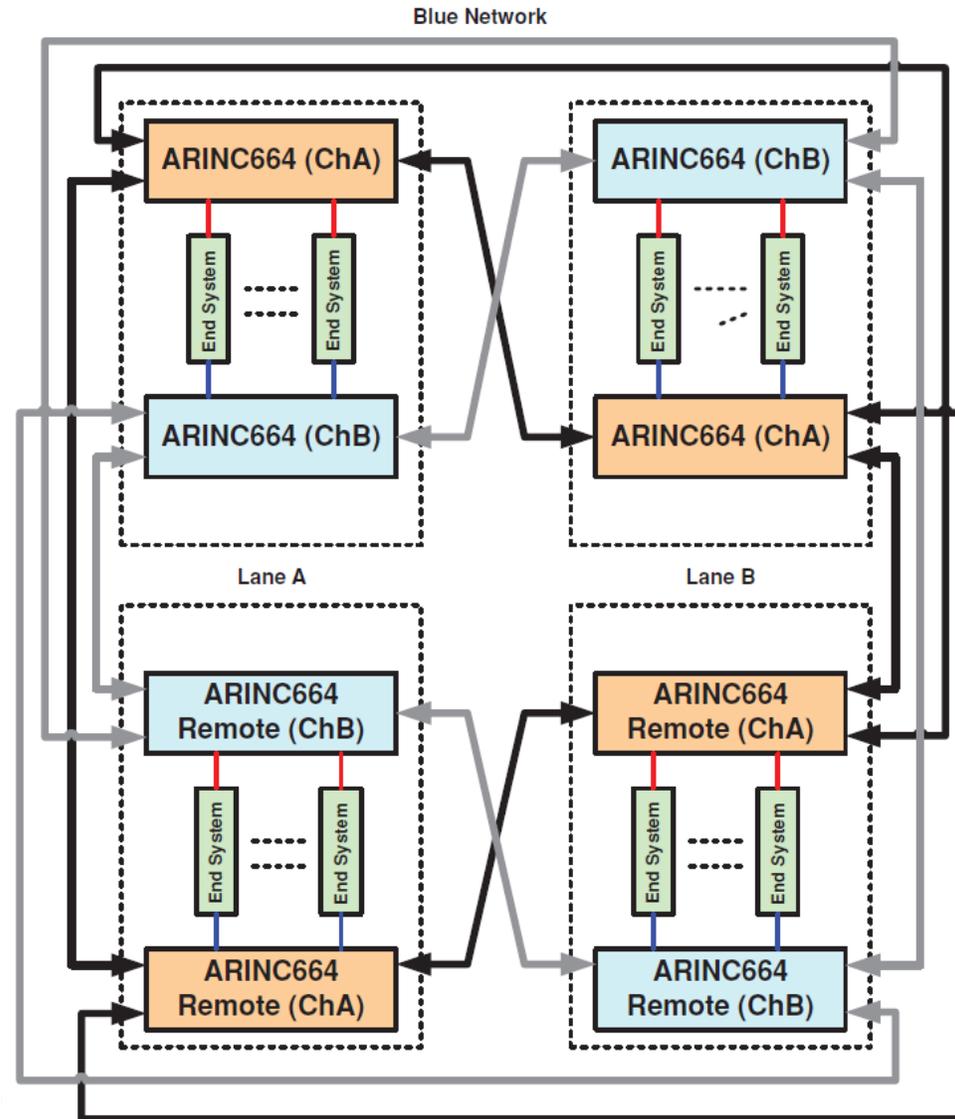
FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- ARINC 664 Part 7
- Topologia de rede:
  - Diagrama simplificado da topologia de dois sistemas e a rede em topologia tipo 'star'



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

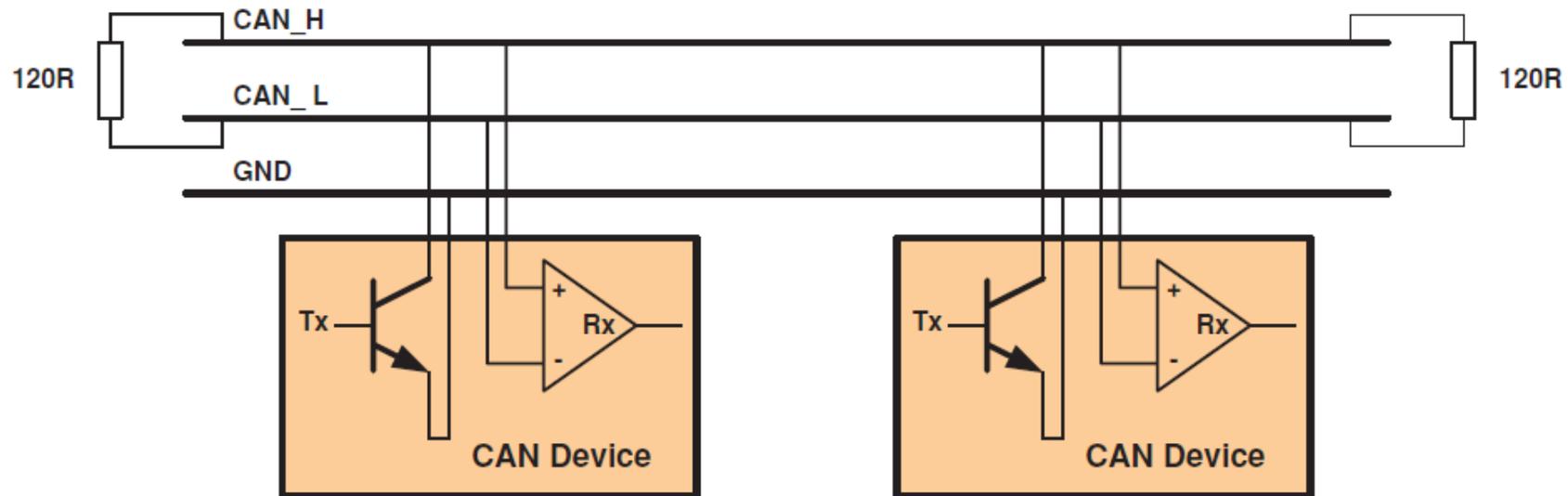
- ARINC 664 Part 7
- Topologia de rede:
  - O sistema possui redundâncias na rede que tornam quase impossível a perda de informações



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

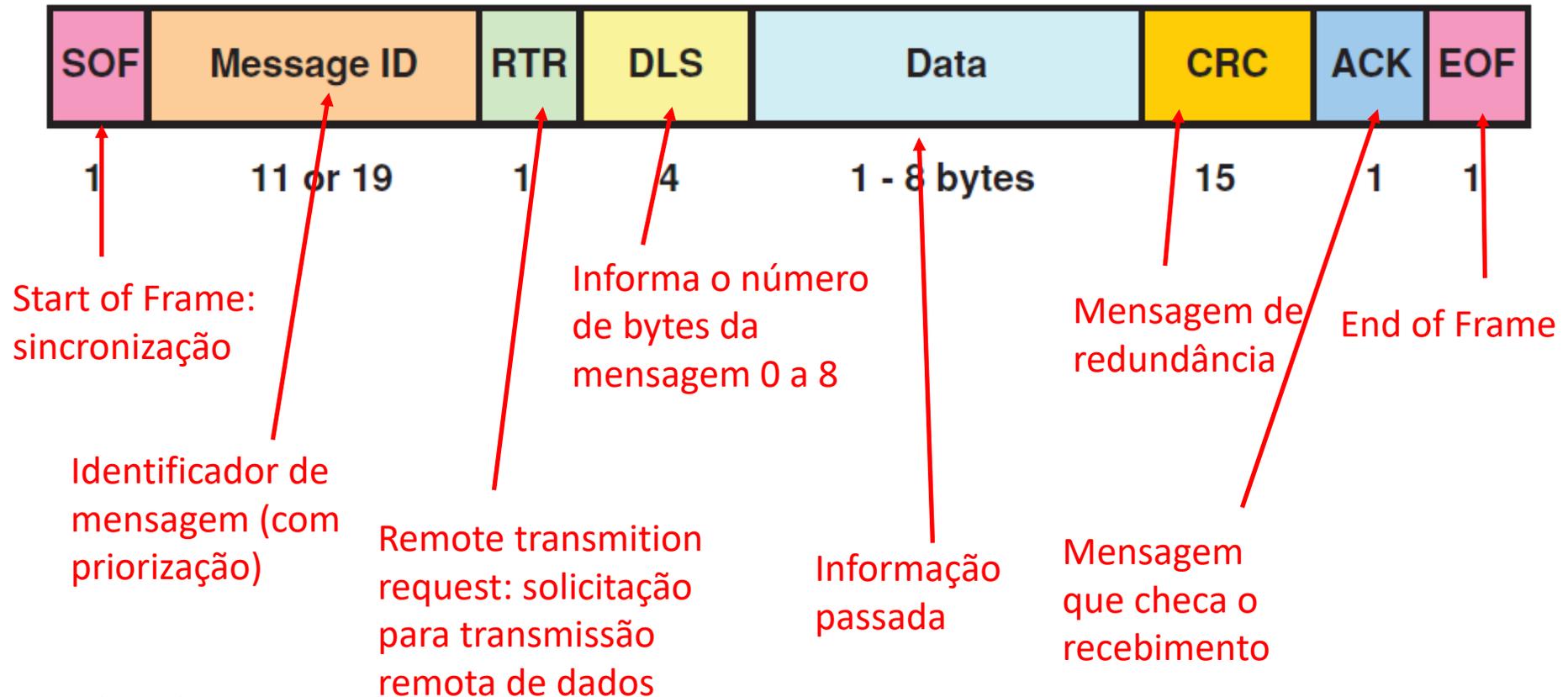
- **CANbus**
- Barramento de baixo custo desenvolvido pela Bosch
- Década de 1980
- Desenvolvido para uso automotivo
- Posteriormente tem tentado tomar lugar na aviação
- Características:
  - Multisource, multisink
  - Codificação Manchester biphas
  - Velocidade até 1Mbps, mas tipicamente trabalha a 320 kbps

- CANbus
- Topologia:



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

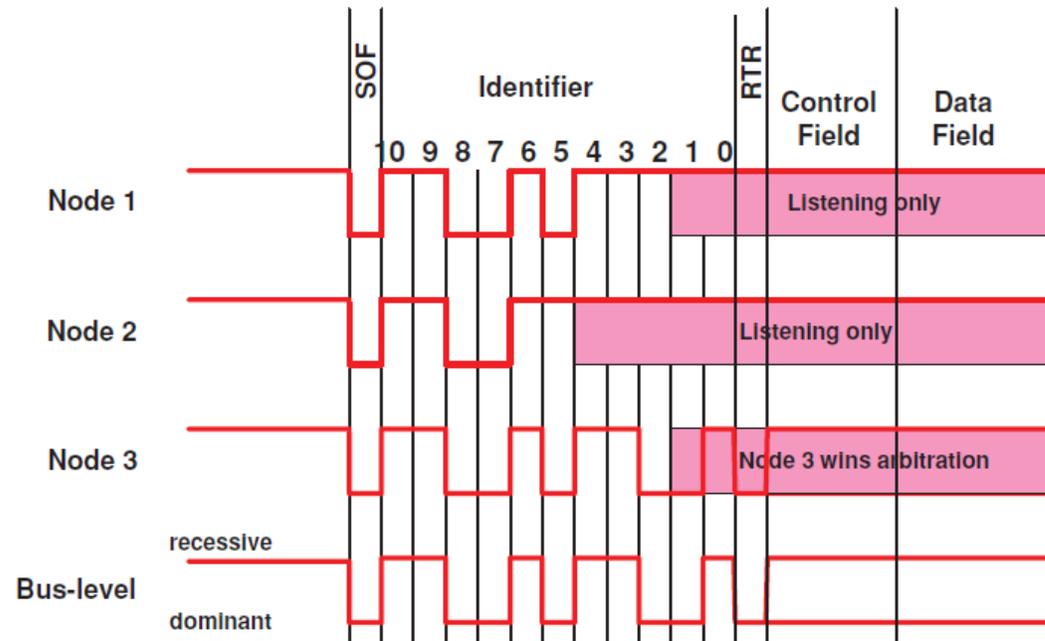
- CANbus
- Troca de informações:



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- **CANbus**
- Envio de mensagens
  - Neste tipo de barramento, as estações, ou LRUs, são chamadas de Nós (Nodes)
  - No projeto do barramento, existe uma priorização entre os nós
  - Caso mais de um nó envie mensagens ao mesmo tempo, os nós que estão acima na cadeia de prioridade terão suas mensagens enviadas primeiro

- CANbus
- Envio de mensagens:
  - Lógica de identificação dominante/recessivo



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

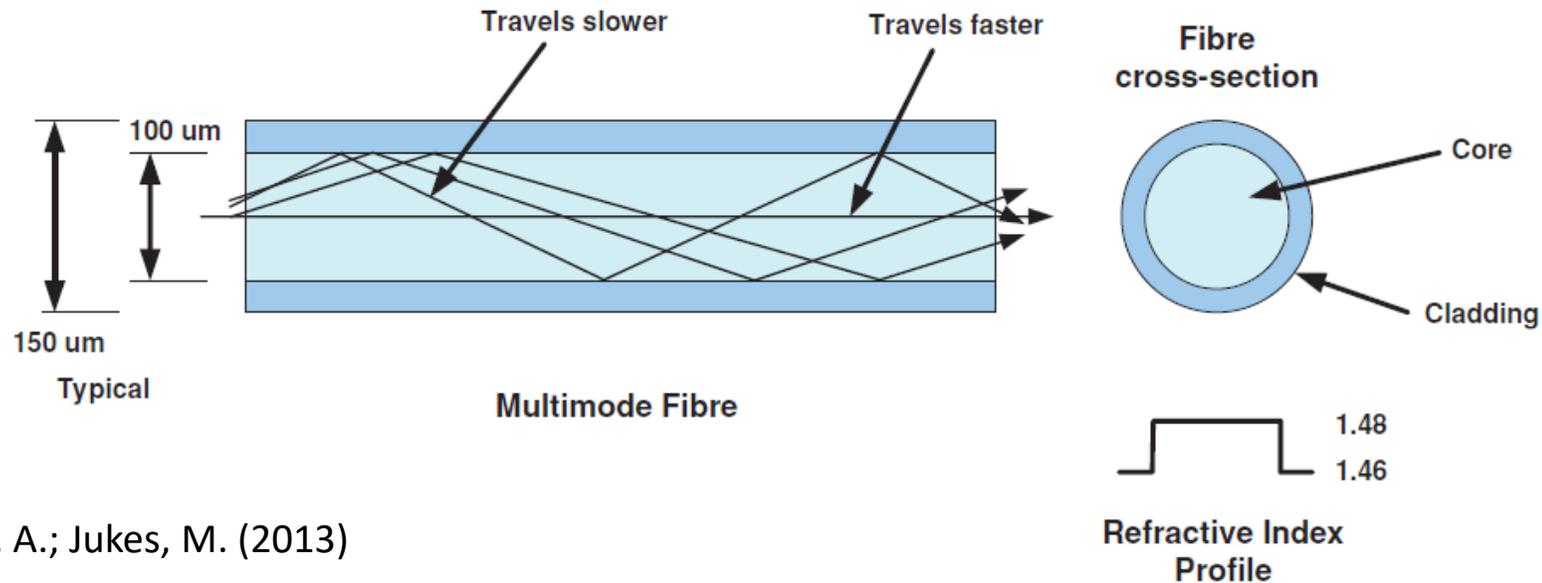
- At bit 5, nodes 1 and 3 send a dominant identifier bit, node 2 sends a recessive bit but reads back a dominant bit. Node 2 loses the bus.
- At bit 2 node 1 loses arbitration against node 3.
- Node 3 wins. Nodes 1 and 2 send their message after node 3 has finished.

- **CANbus**
- **Variações**
  - Existem diversas variações de barramentos CANbus. Exemplos:
    - TJA 1054
    - CANopen
    - TTCAN
    - MILCAN
    - etc

- **Time Triggered Protocol (TTP)**
- Barramento desenvolvido há quase 30 anos na Universidade de Viena
- Possui grandes benefícios, especialmente em alguns subsistemas críticos de aeronaves, como comandos de voo
- Características:
  - Multisource, multisink
  - Codificação Manchester biphas
  - Velocidade até 25Mbps
  - Mensagens de até 240 bytes
  - Até 64 nós por barramento
  - Topologia linear dupla ou do tipo star
- Apesar das boas características, esse tipo de barramento não chegou a ser utilizado em aviação

- Fundamentos
- Protocolos de Transmissão
- Barramentos
- **Fibra Ótica**

- Para transmissão de dados, uma tendência futura é o uso de fibra ótica
- Essa transmissão se dá por pulsos de luz, funcionando como 1 e 0 em barramentos com código Manchester biphas
- Transmissão de dados:



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- Vantagens:

- Imune a interferências
- Imune a raios
- Permite grandes velocidades de transmissão (>1Gbps)
- Pouca perda de informação
- Baixo peso

- Desvantagens:

- Preço
- Dificuldade com conectores
- Fragilidade dos cabos
- Dificuldade de implementação

- Por essas desvantagens, o uso de fibra ótica em barramentos aviônicos ainda não ocorre, mas atualmente se trabalha para vencer essas dificuldades e utilizá-lo, o que pode aumentar muito a velocidade na troca de informações