

Autóipari kommunikációs hálózatok

Autóipari kommunikációs hálózatok

Scherer Balázs



Mesterséges Intelligencia és
Rendszertervezés Tanszék

Oktatók

- Scherer Balázs:
scherer@mit.bme.hu



- Kovácsházy Tamás:
khazy@mit.bme.hu



Követelmények, időbeosztás

- Félévközi jegy: 2 db. 45 perces Zh, mindkettő 20 pontos, végső jegy a 2 ZH pontjainak összege alapján.

Hét	Dátum	Téma
1.	2025.02.13	Bevezetés, CAN 1
2.	2025.02.20	CAN 2, CAN demó
3.	2025.02.27	CAN 3, CAN demó
4.	2025.03.06	LIN 1
5.	2025.03.13	LIN 2, LIN demó
6.	2025.03.20	Flexray 1
7.	2025.03.27	FlexRay 2, FlexRay Demó, 1 ZH
8.	2025.04.03	Diagnosztika, Diagnosztika demó
9.	2025.04.10	Diagnosztika, Diagnosztika demó
10.	2025.04.17	Tavaszi szünet
11.	2025.04.24	Tavaszi szünet
12.	2025.05.01	Május 1 szünnap
13.	2025.05.08	Autóipari Ethernet 1
14.	2025.05.15	Autóipari Ethernet 2
15.	2025.05.22	2. ZH, Pótzárthelyi

Autóipari kommunikációs hálózatok

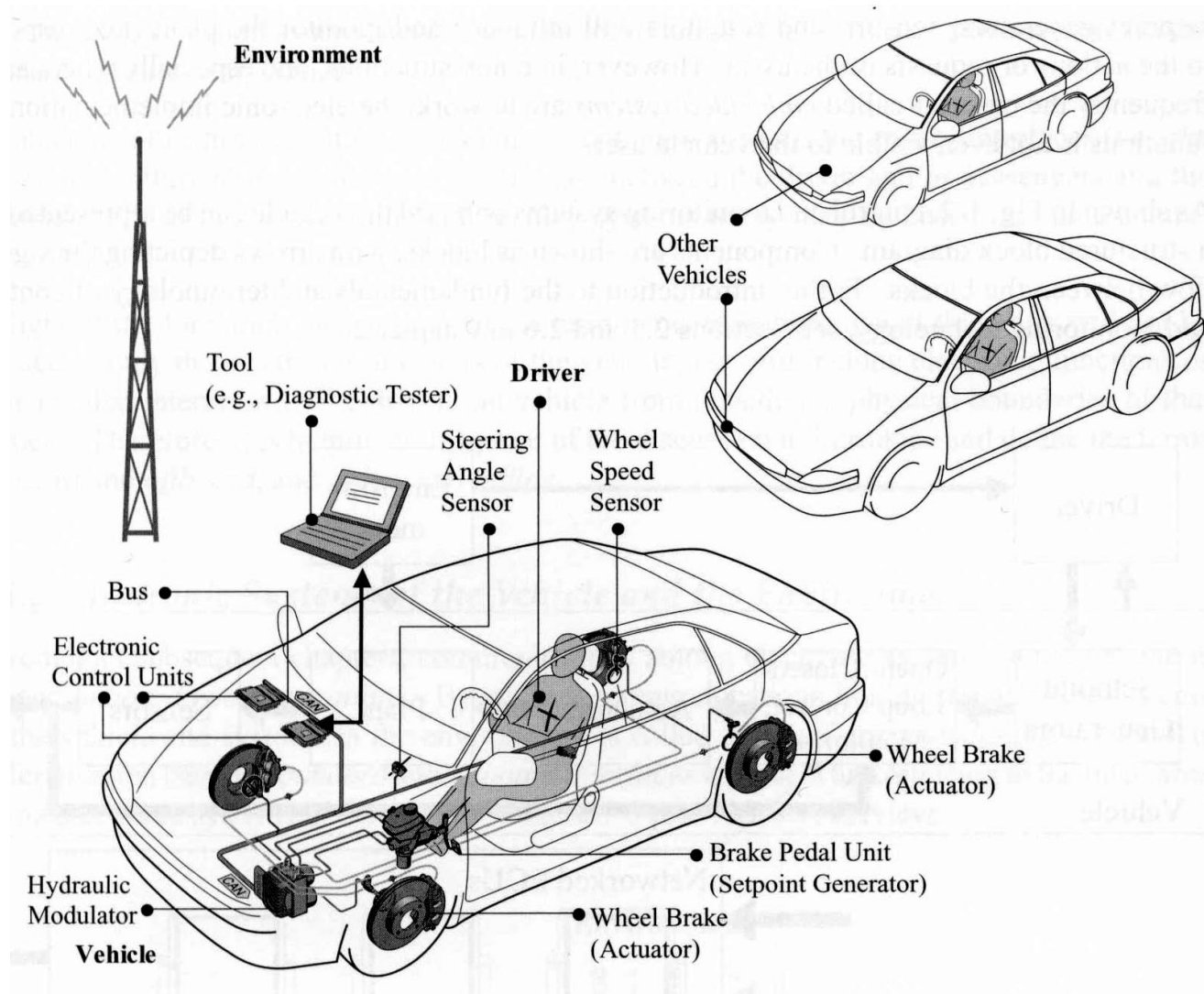
Autóipari kommunikációs hálózatok

Dr. Tóth Csaba, Scherer Balázs



Mesterséges Intelligencia és
Rendszertervezés Tanszék

A vezető–autó–környezet által alkotott rendszer

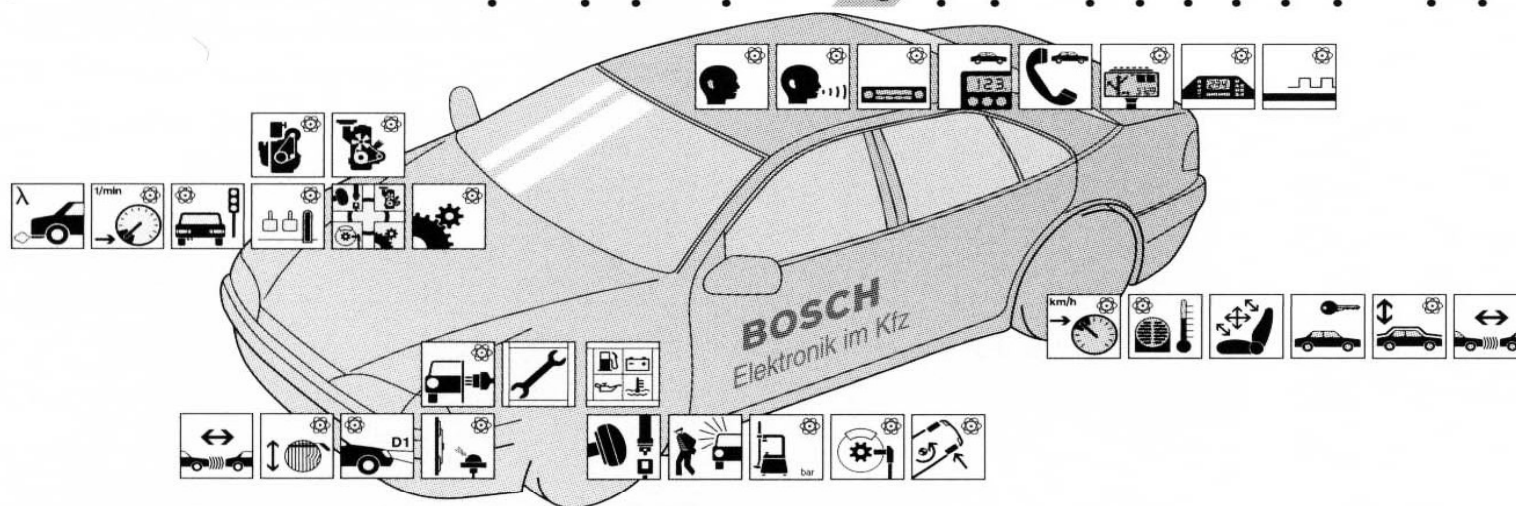


Drivetrain

- Digital engine management: gasoline engine: Motronic
- Diesel engine: Electronic diesel control (EDC) with electronically controlled fuel injection, electronic ignition (gasoline engine), Lambda exhaust-emission control, etc.
- Electronic transmission-shift control
- On-board diagnosis (OBD) (CAN)
- System diagnosis

Communication

- Electronic voice output (speech control of functions)
- Audio equipment (radio, CD, etc.)
- Video
- On-board computer
- Car phone
- Navigation
- New display technologies (head-up display)
- Internet and PC
- Bus system (e.g. CAN)
- System diagnosis



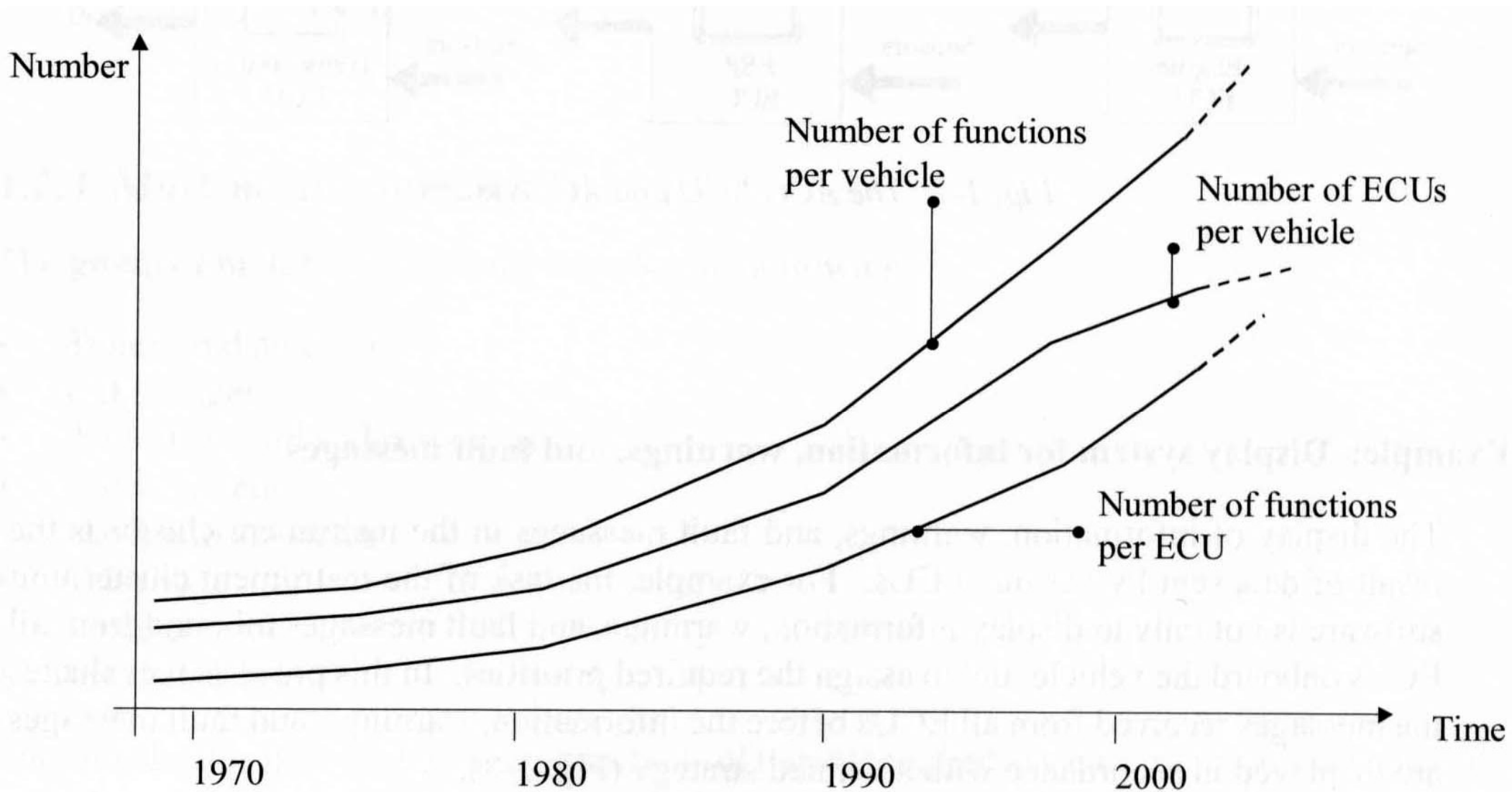
Safety

- Antilock braking system (ABS)
- Traction control system (TCS)
- Electronic stability program (ESP)
- Headlamp adjustment and cleaning
- Litronic
- Wash-wipe control
- Individualised service interval display
- Monitoring systems for consumables and wearing parts
- Triggering systems for airbags, seatbelt tensioners and roll-over bar
- Vehicle security systems
- Tire-pressure monitoring
- Controller Area Network (CAN)
- System diagnosis

Comfort and convenience

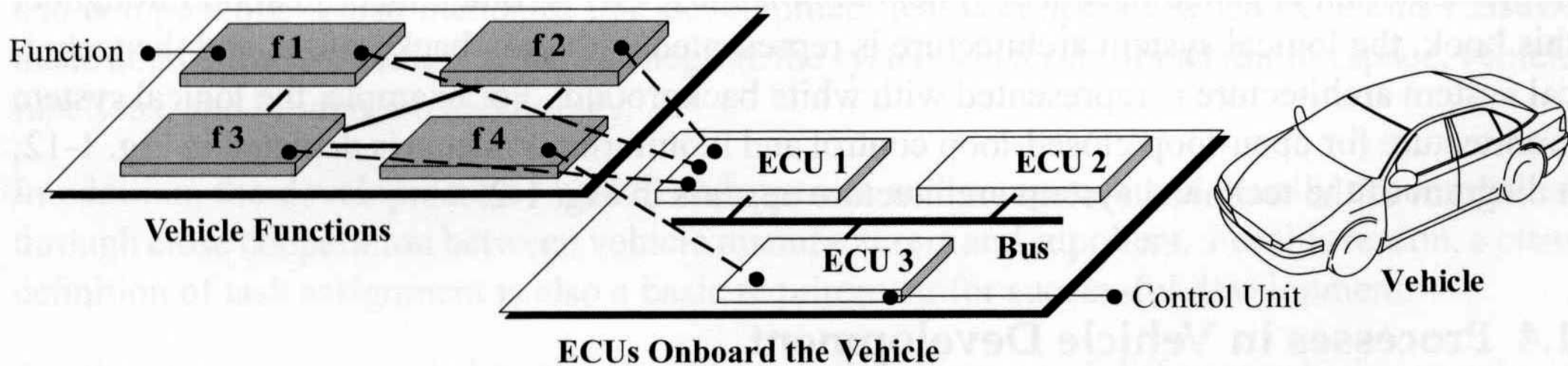
- Cruise control
- Adaptive cruise control (radar sensor)
- Heating and air-conditioning
- Seat adjustment with position memory
- Central locking
- Adaptive suspension
- Reversing assistance
- Controller Area Network (CAN)
- System diagnosis

Az ECU-k és funkciók számának növekedési trendje

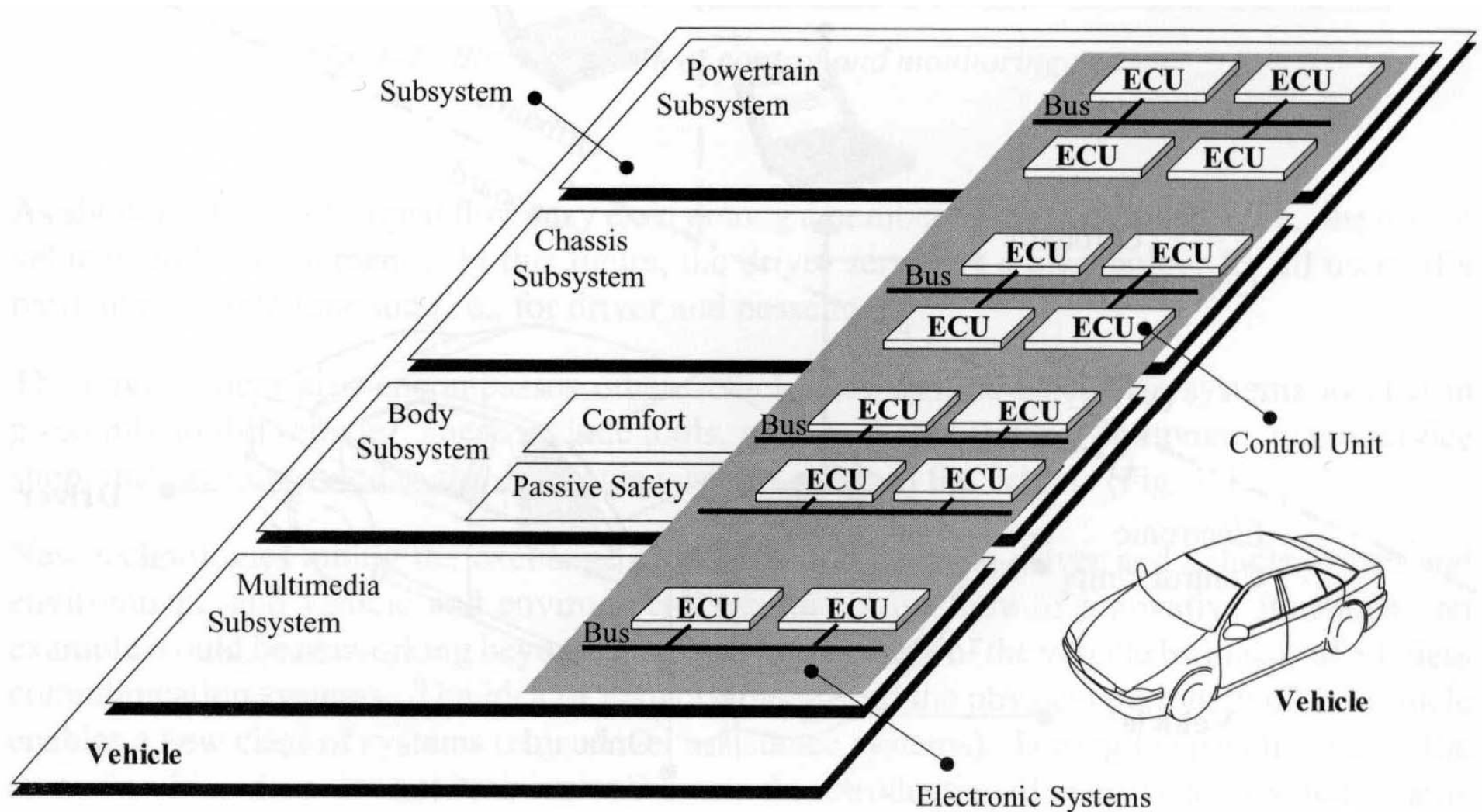


Logikai rendszerarchitektúra

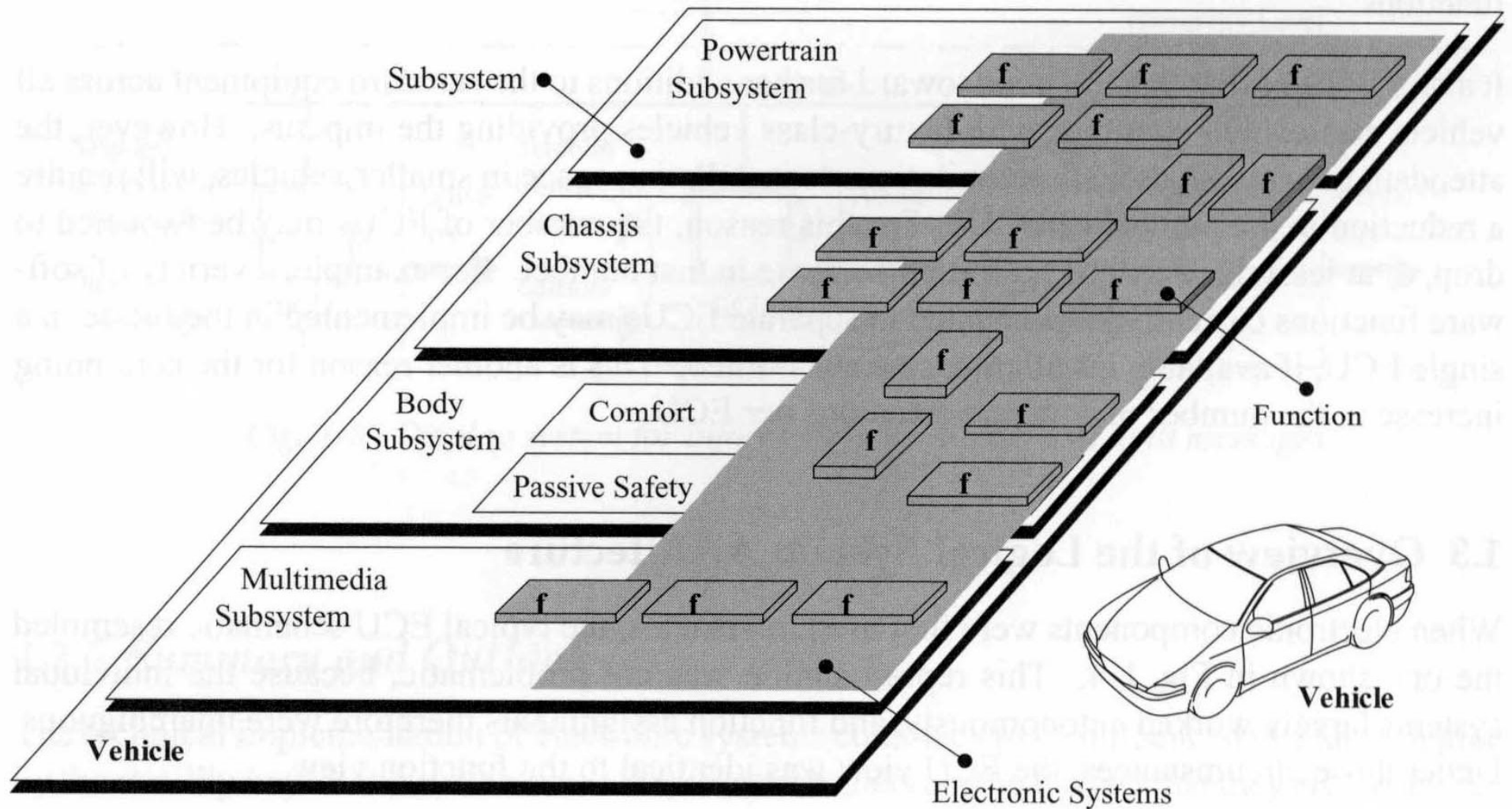
- Aspektusok (nézőpontok):
 - absztrakt (logikai)
 - konkrét (technikai)



Funkciók szeparált, autonóm megvalósítása



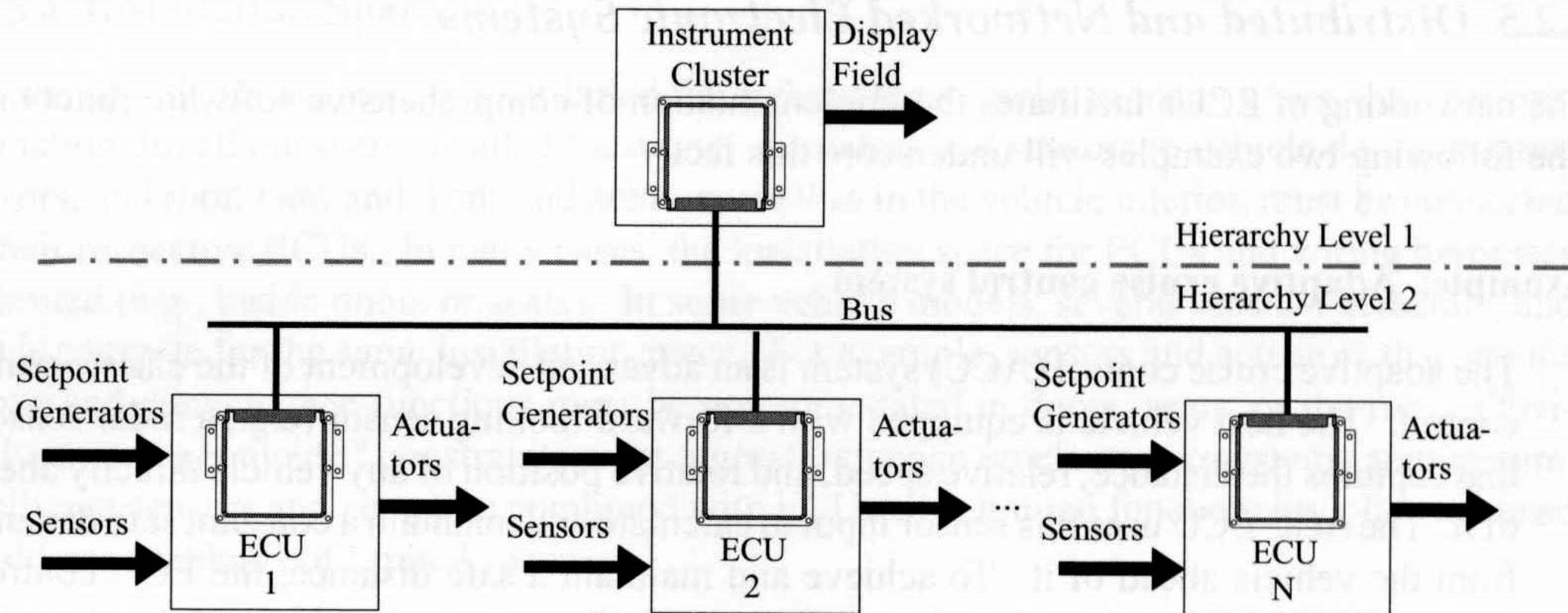
Funkciók elosztott megvalósítása



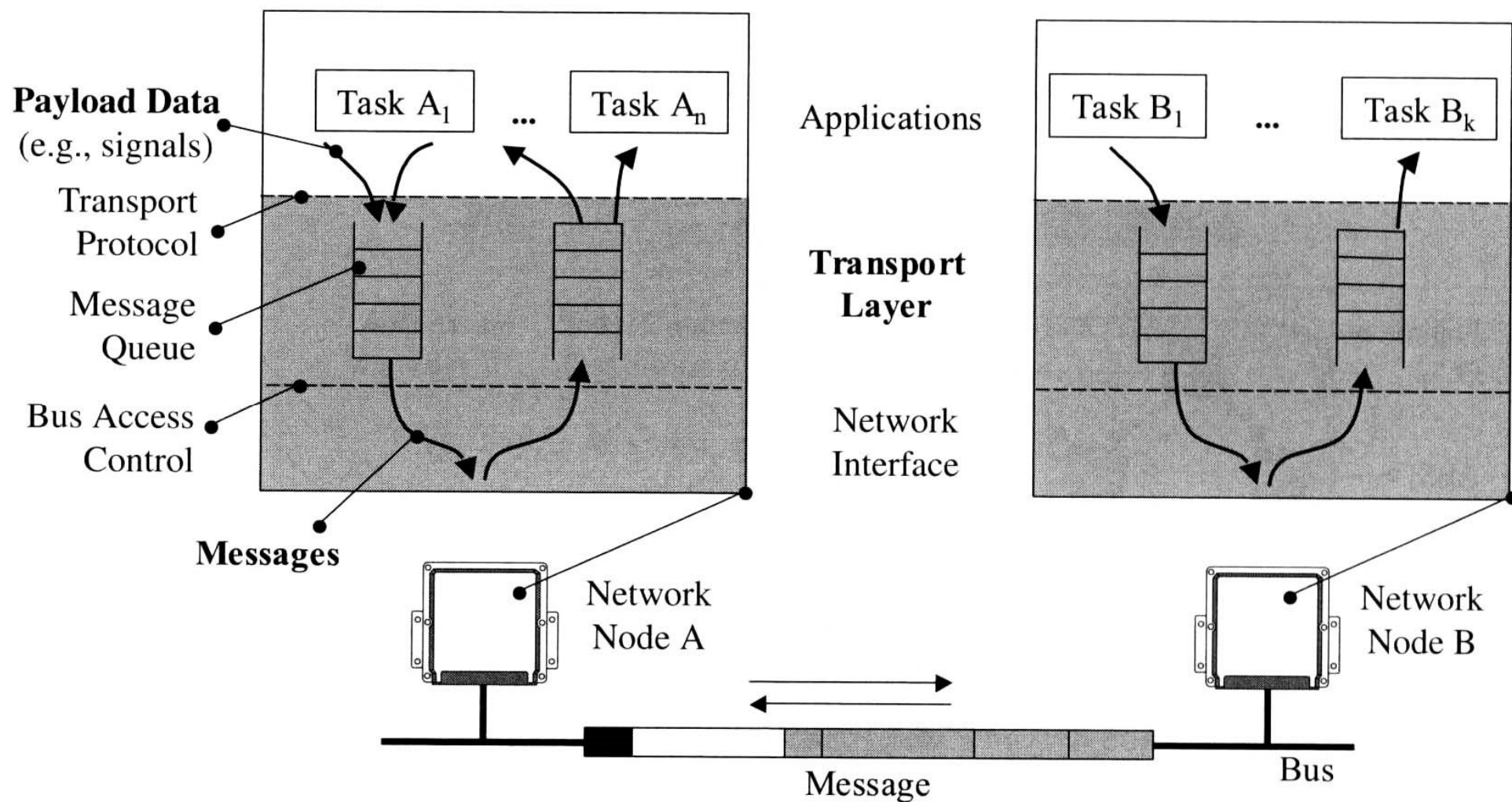
Kommunikáció

- **Eltérő követelmények:**
 - **ECU-k között (pl. CAN, LIN, FlexRay, Ethernet)**
 - autón belüli multimédia
 - vezető és távoli környezet között
 - autó és közeli környezet között

ECU-k közötti kommunikáció



Kommunikációs modell



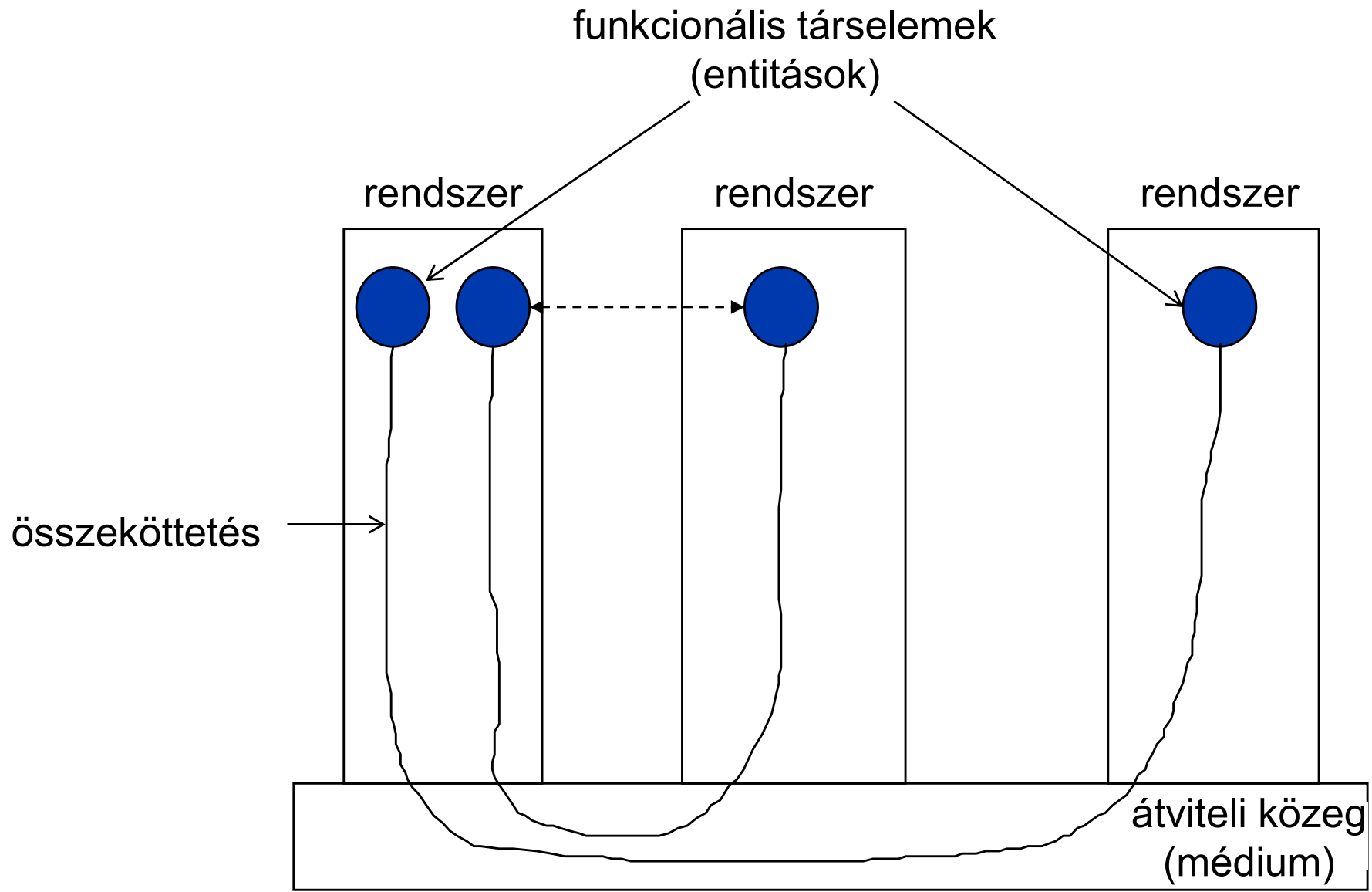
Kommunikációs hálózatok alapjai

Scherer Balázs

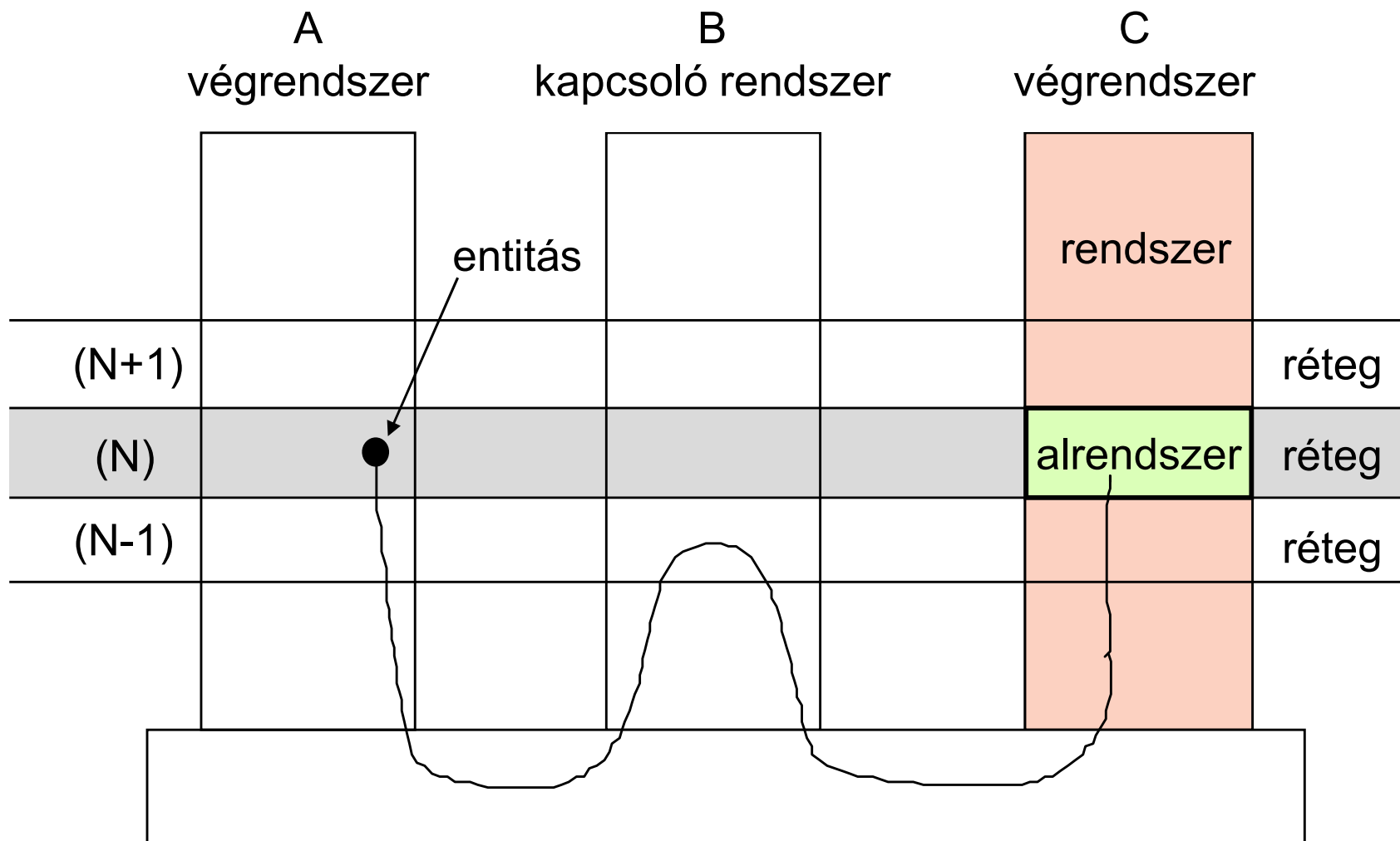


Mesterséges Intelligencia és
Rendszertervezés Tanszék

Rendszer, entitás, összeköttetés

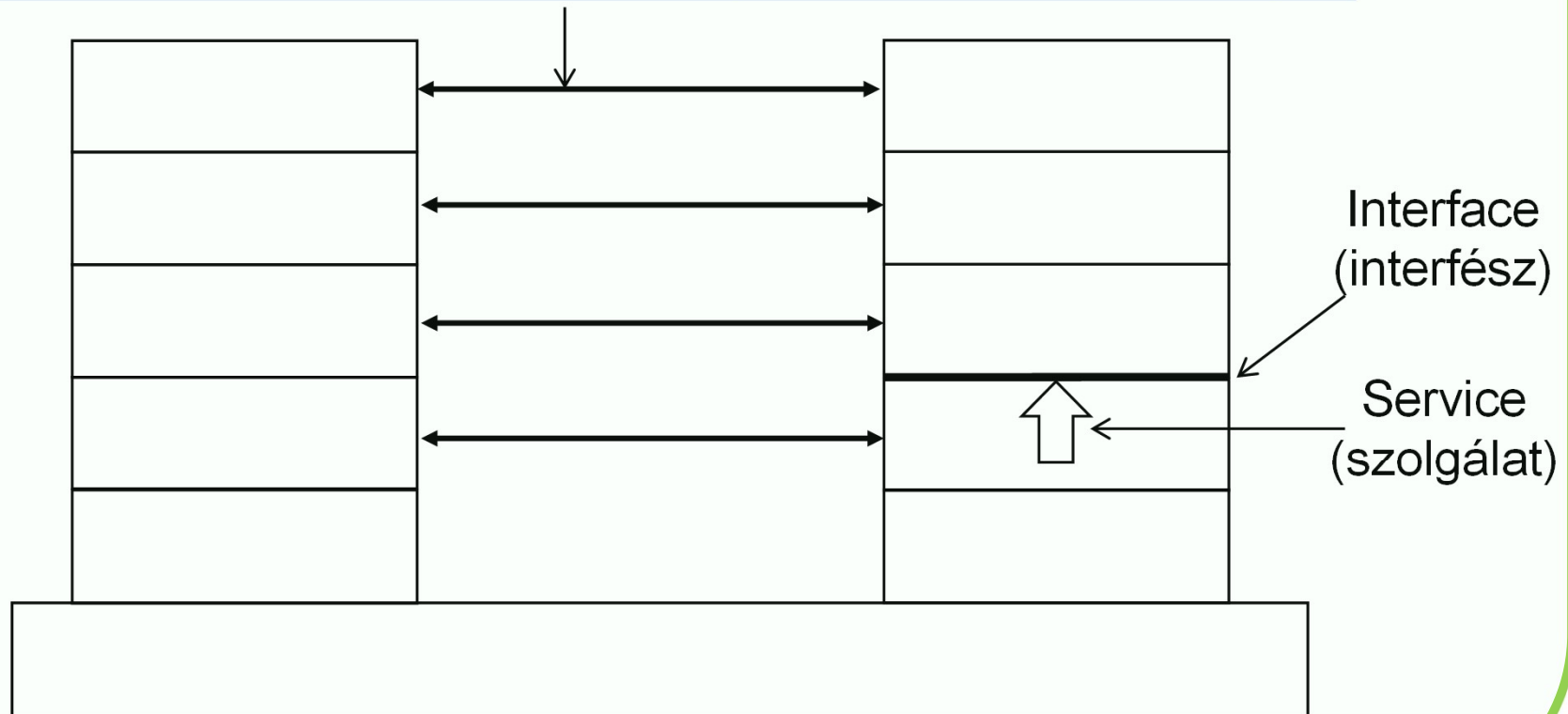


Réteg, rendszer, alrendszer



Protokoll, interfész, szolgálat, architektúra

Protocol: A funkcionális társlemek közötti kommunikáció formáját és jelentését adja meg.
(protokoll = kommunikációs szabályok + üzenetformátumok)

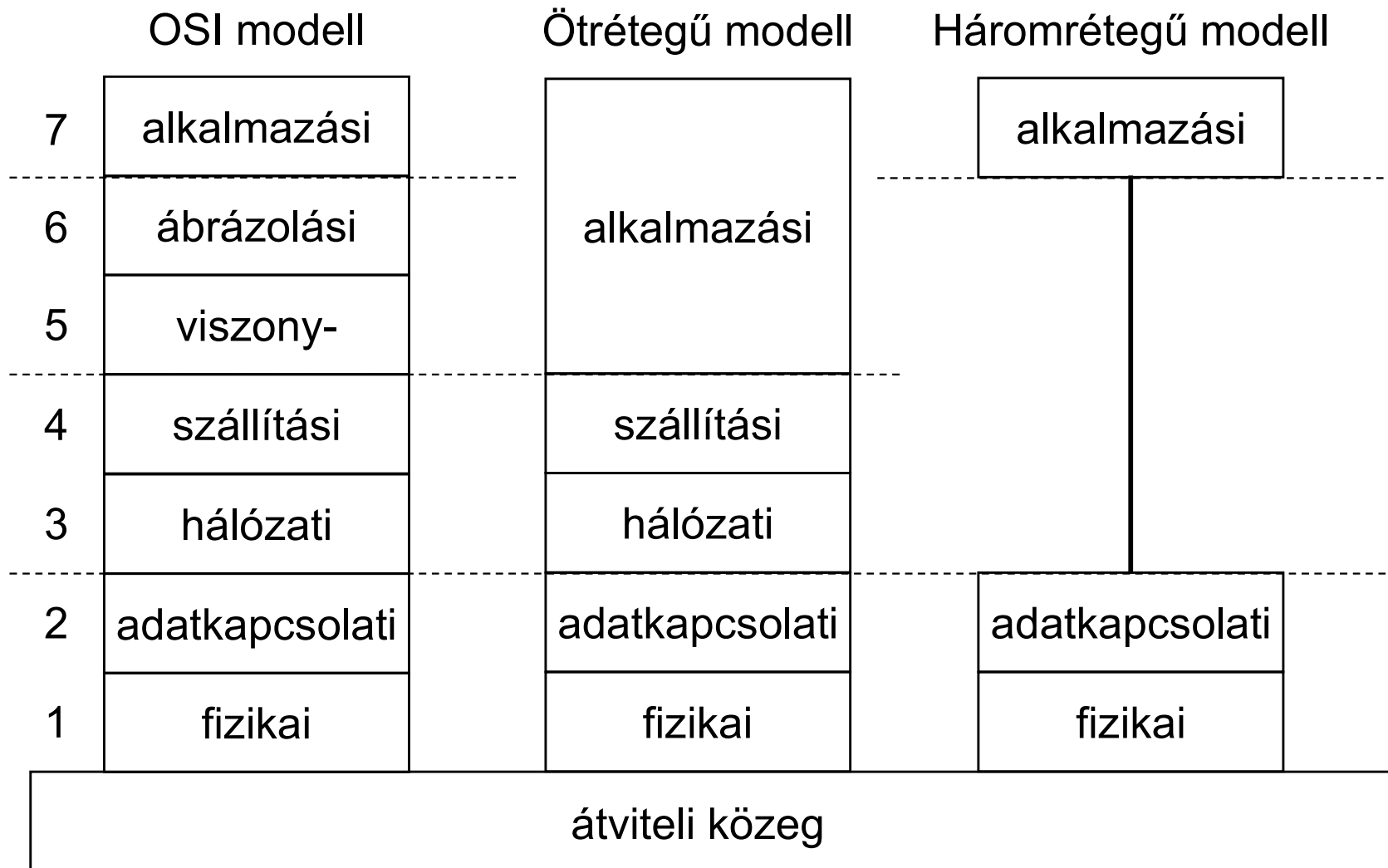


Architecture
(architektúra = a rétegek és protokolljaik együttese)

Összeköttetés szolgálatok

- Összeköttetés alapú szolgálatok (sorrendtartó)
 - Megbízható (van nyugta)
 - Üzenetsorozat (megmaradnak az eredeti üzenethatárok)
 - Byte-folyam (nem maradnak meg az eredeti üzenethatárok)
 - Megbízhatatlan (nincs nyugta)
- Összeköttetés nélküli szolgálatok (nem feltétlenül sorrendtartó)
 - Datagram (nincs nyugta)
 - Nyugtázott datagram (analógia: térít vevényes postai levél)
 - Kérdés-felelet (pl. adatbázis-lekérdezés)

Rétegmodellek: nem feltétlen OSI modell



Rétegek I.

- **Fizikai réteg:** Bitfolyam adása, vétele
 - Elektromos jellemzők
 - Bitek ábrázolása (hány V, hány ms stb.?)
 - Bithatárok kijelölése, detektálása, bitszinkronizáció
 - Moduláció
 - Mechanikus jellemzők: csatlakozók
- **Adatkapcsolati réteg:** Keretek hibamentes továbbítása
 - Keretezés
 - Címzés (jellemzően cél- és forráscím)
 - Transzparens átvitel
 - Hibakezelés: Hibadetektálás (paritás, CRC, hosszellenőrzés stb.), Hibajavítás (nyugta, újraadás stb.)
 - Forgalomszabályozás, Csatorna-hozzáférés (pl. CSMA/CD)

Rétegek II.

- **Hálózati réteg:** Forgalomirányítás (útvonalak kijelölése)
 - Torlódások és holtpont (deadlock) elkerülése
 - Számlázáshoz szükséges adatok (Pl. az átvitt adatmennyiség számolása)
 - Eltérő hálózatokon keresztüli útvonal (Pl. címtranszformációk, darabolás, újraegyesítés)
- **Szállítási réteg:** hibamentes végpont-végpont kapcsolat
 - Darabolás, újraegyesítés...
 - Több párhuzamos kapcsolat
 - Kapcsolattípusok
 - Hibamentes, sorrendhelyes kapcsolat
 - Nem sorrendhelyes továbbítás
 - Csoportoknak küldött üzenetek

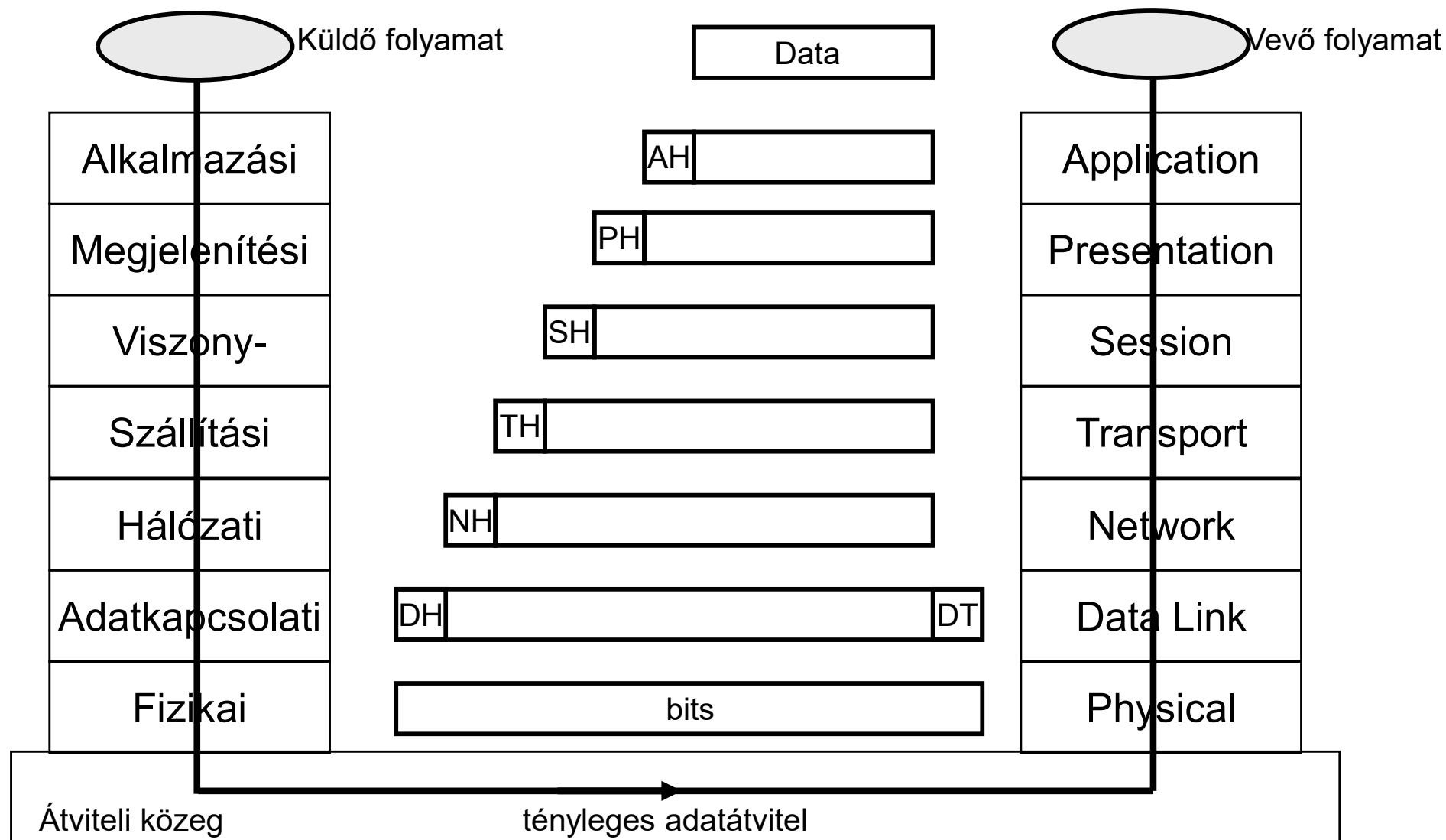
Rétegek III.

- **Viszonyréteg:** Viszony (kapcsolat) létesítése (ritkán használt)
 - Belépési jogosultságok ellenőrzése
 - Alkalmazások közötti párbeszéd szervezése
 - Kölcsönhatás-menedzselés (token management, kölcsönös kizárás)
 - Szinkronizáció, szinkronizációs pontok a műveletsorokban, tranzakció-kezelés
- **Megjelenítési réteg:** (ritkán használt)
 - Konverziók különböző adatformátumok között
 - Adattömörítés
 - Kriptográfia, titkosítás
 - Más rétegben is megvalósítható a titkosítás.
 - Ritkán használják.

■ Alkalmazási réteg

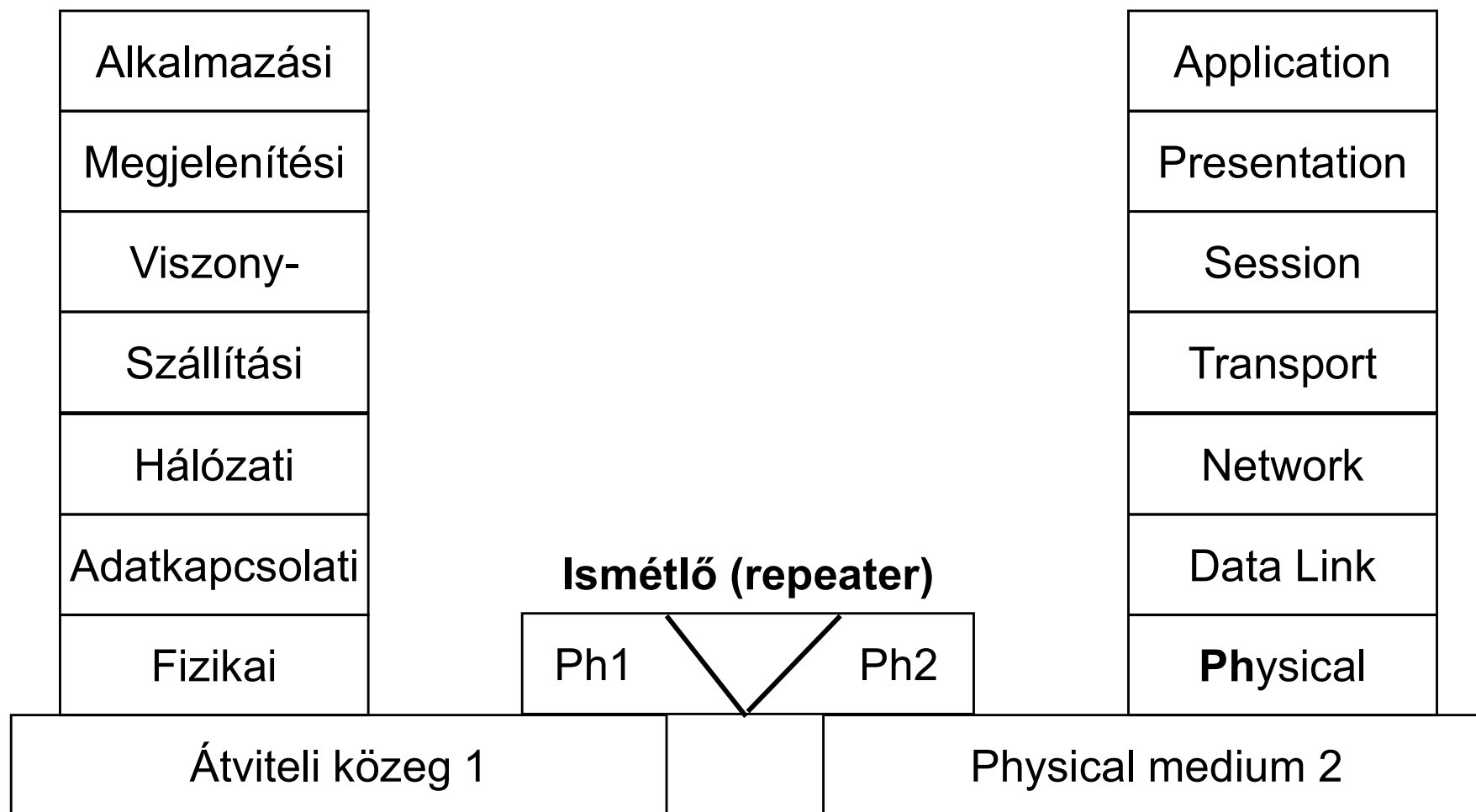
- Hálózati alkalmazások
 - (A felhasználói alkalmazások e fölött vannak!)
- Gyakori hálózati szolgáltatások
 - Elektronikus levelezés (e-mail)
 - Állománytovábbítás (file transfer, pl. FTP)
 - Távoli terminálok elérése (pl. TELNET)
 - Hálózatmenedzsment (pl. SNMP)
 - Címtárszolgálat
 - Stb.

Adatátvitel az OSI modellben

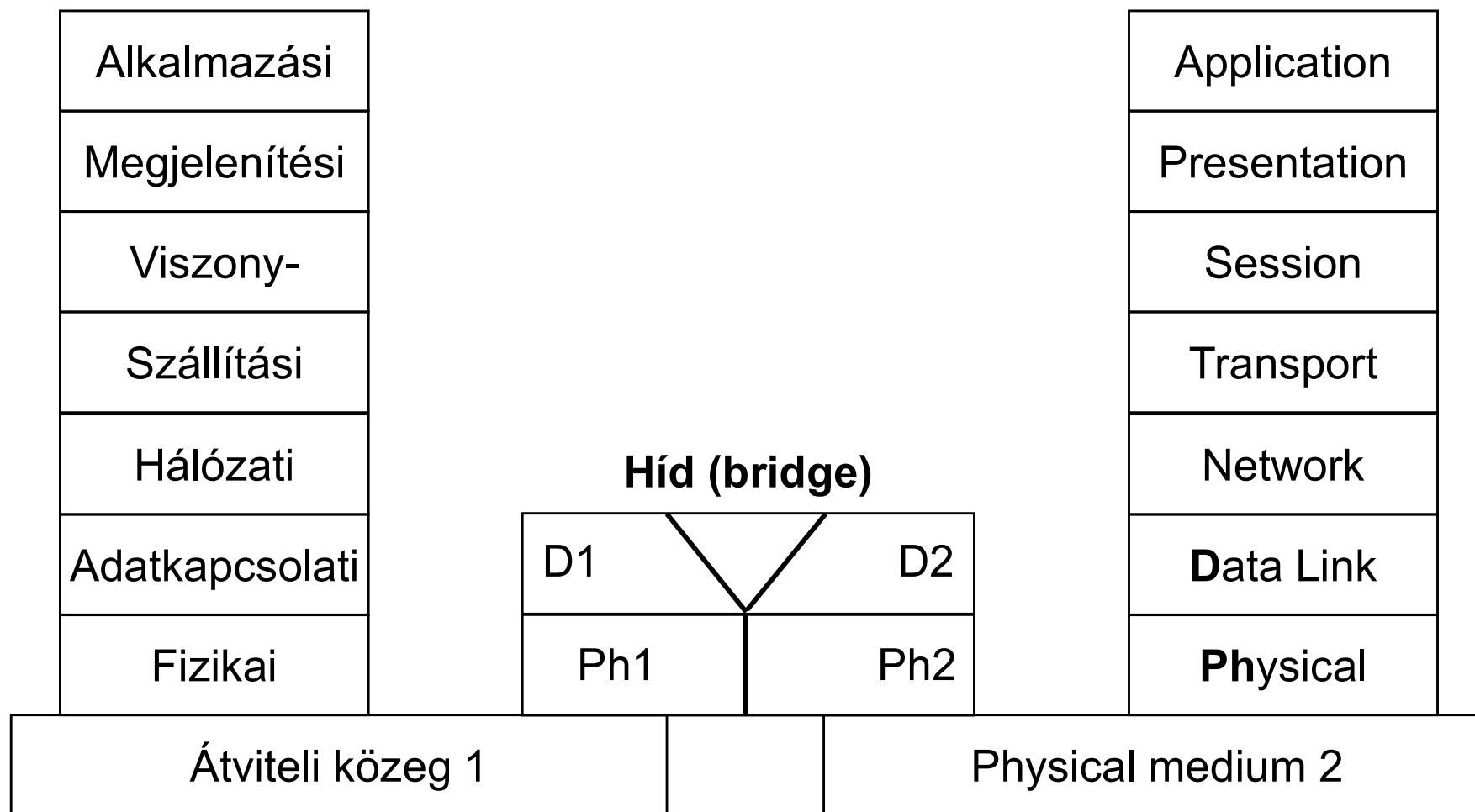


H = Header (fejrész) T = Trailer (farokrész)

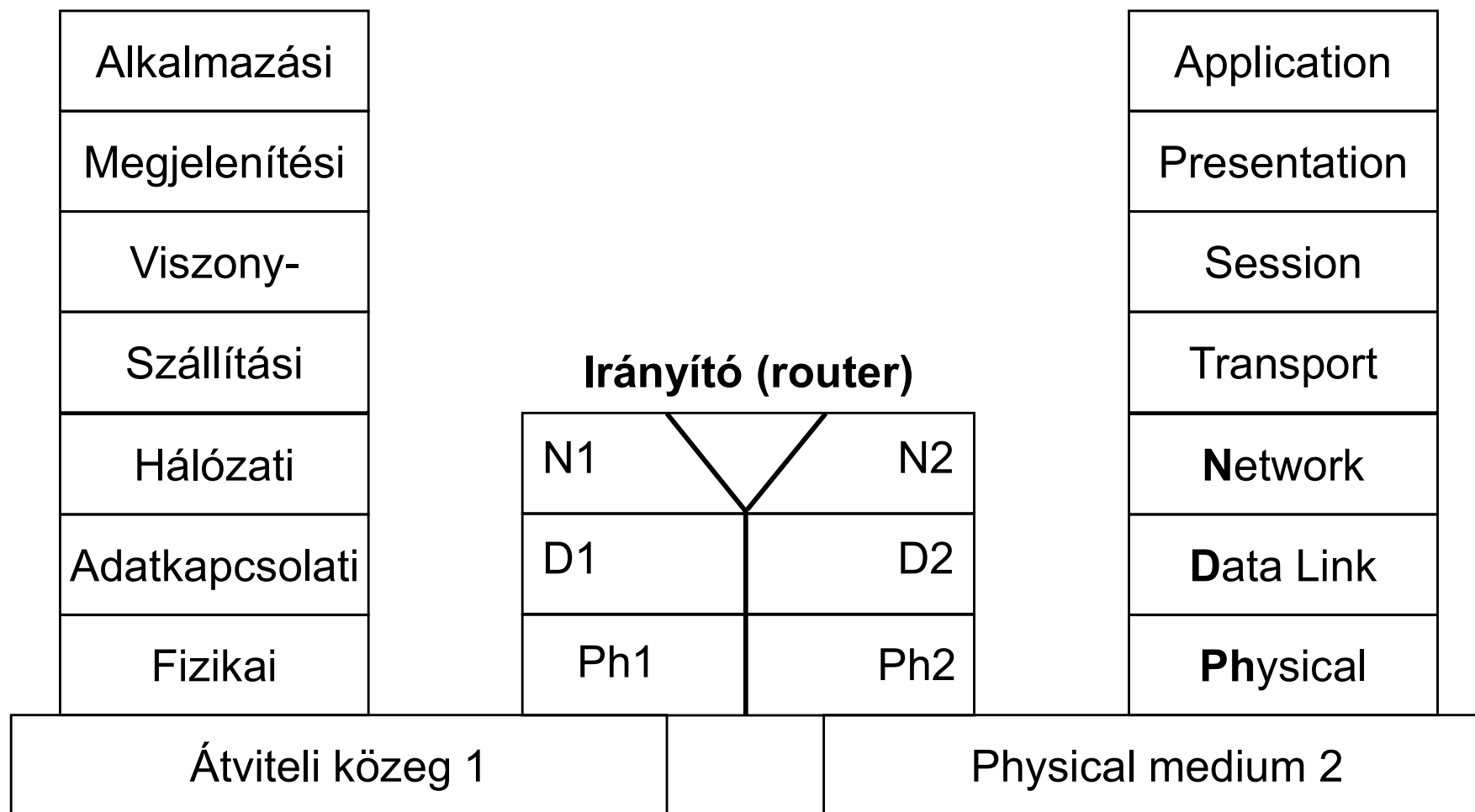
Rendszerek összekapcsolása 1



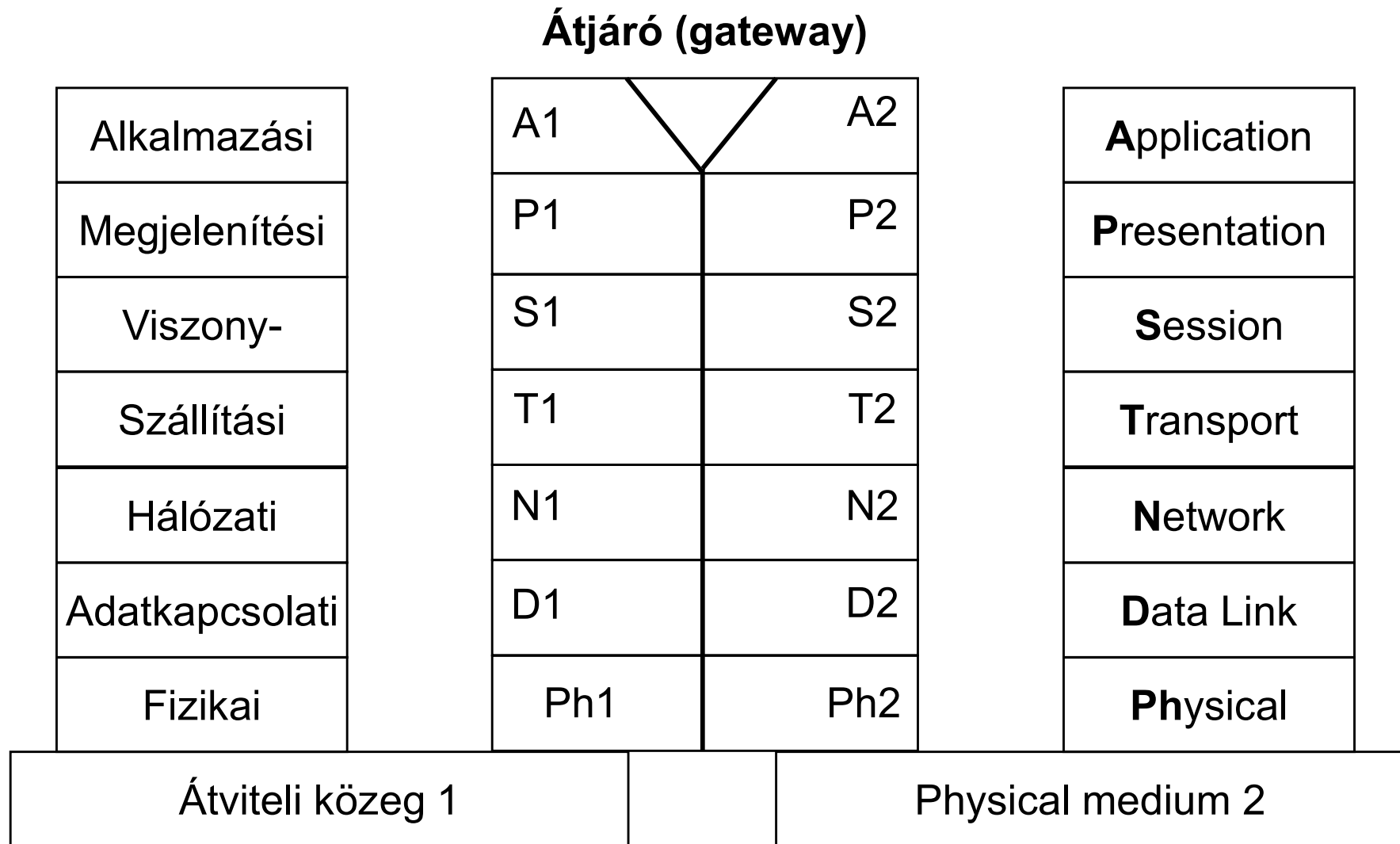
Rendszerek összekapcsolása 2



Rendszerek összekapcsolása 3



Rendszerek összekapcsolása 4



CAN: Controller Area Network I.

Scherer Balázs



Mesterséges Intelligencia és
Rendszertervezés Tanszék

Ipari buszok

Számítógép-hálózatok

- WAN
- MAN
- LAN
 - Field bus
 - CAN
 - LIN
 - ...
 - ...

Ipari buszok jellemzői

- Rövid üzenetek (néhány byte)
- Kevés node-szám ($N \times 10$ db)
- Kis távolság (10–100 m)
- Nem túl nagy adatsebesség (0,01–1 Mbit/s)
- Megbízható
- Egyszerű
- Olcsó

LAN-ok és ipari buszok

Field-bus

- Korlátos erőforrások
- Centralizált vagy elosztott működés
- Kis távolság
- A node-ok pozíciója ismert.
- A küldetés egésze a fontos.
- A címek és a tartalom közötti határ elmosódik.

LAN

Bőséges erőforrások

Elosztott működés

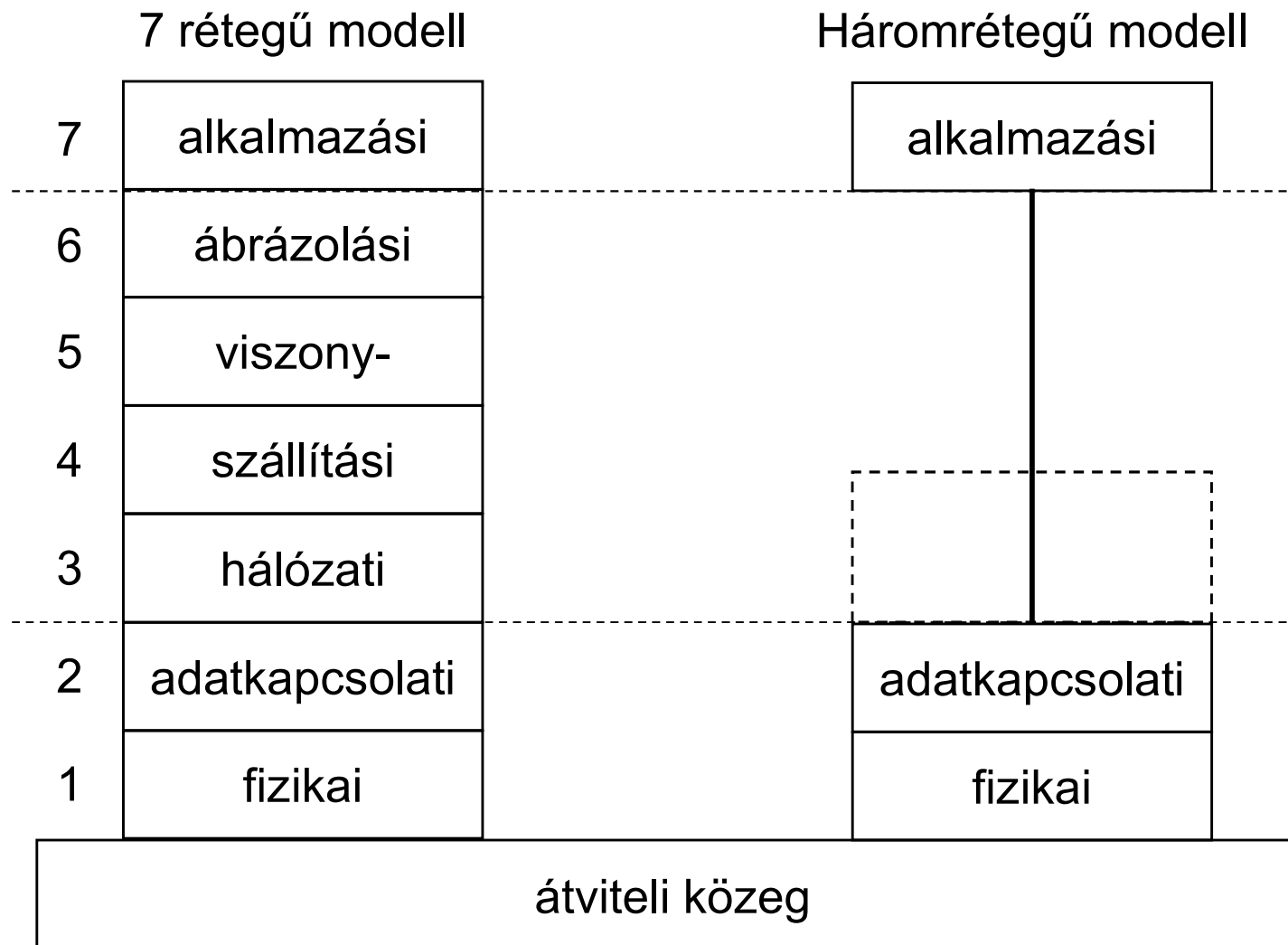
Nagy távolság

A node-ok pozíciója nem fontos.

Fair kiszolgálás

Cím és tartalom élesen elválik egymástól.

Ipari busz – OSI modell



CAN

CAN field bus

- CAN = Controller Area Network
- Kitalálója: Robert Bosch GmbH (1983)
- Nemzetközi szabvány: ISO 11898 (1993)
- Alkalmazása:
 - Autókban
 - Készülékekben (pl. röntgen, CT, automaták, ipari berendezések)

A CAN főbb jellemzői

- Busz topológia
 - Szórásos típusú hálózat: a hálózatra adott keretet mindenki veszi.
- Tetszőleges topográfia
 - Általában busz, pont-pont vagy csillag
- Többszörös hozzáférés
 - Nem destruktív ütközéskezelés (CSMA/CA)
- Egycímes keretformátum
 - A címnek inkább adatazonosító és prioritást meghatározó szerepe van.
- Fejlett hibadetektálás

A CAN főbb jellemzői (folyt.)

- Nagy sebességű (high speed)
 - 0,125–1 Mbit/s, személyautókban jellemzően 500 kbit/s
- Kis sebességű (low- speed, fault-tolerant)
 - 10–125 kbit/s
- Távolság: kb. 40–500 m
 - Függ a sebességtől, topográfiától, átviteli közegtől.
- Többféle adatátviteli közeg, legtöbbször csavart érpár
- NRZ (Non-Return to Zero) bitkódolás
bitbeszúrással és bitkiejtéssel (bit-stuffing)
- Rövid, változó hosszúságú keretek (0–8 byte hosszú adatmező)

A CAN története évszámokban

- 1983 A Bosch elkezd a fejlesztést.
- 1985 Az Intel beszáll a projektbe.
- 1986 Publikálják a CAN specifikációt.
- 1987 Megjelenik az első működő CAN chip.
- 1988 Kaphatók a CAN chipek.
- 1991 Extended CAN; Mercedes S-modell
- 1993 ISO 11898, nemzetközi szabvány
- 2001 TTCAN (Time-Triggered CAN)
- 2011 CAN FD (Flexible Data-Rate CAN)
- 2018 CAN XL (eXtra Large)

CAN szabványok – ISO 11898

ISO 11898-

Road vehicles – Controller area network (CAN) –

-1:2015 (Published) **Data link layer and physical signalling**

-2:2016 (Published) **High-speed medium access unit**

-3:2006 (Published; reviewed and confirmed in 2015) **Low-speed, fault-tolerant, medium-dependent interface**

-4:2004 (Published; reviewed and confirmed in 2013)

Time-triggered communication

-5:2007 (Withdrawn; → ISO 11898-2) **High-speed medium access unit with low-power mode**

-6:2013 (Withdrawn; → ISO 11898-2) **High-speed medium access unit with selective wake-up functionality**

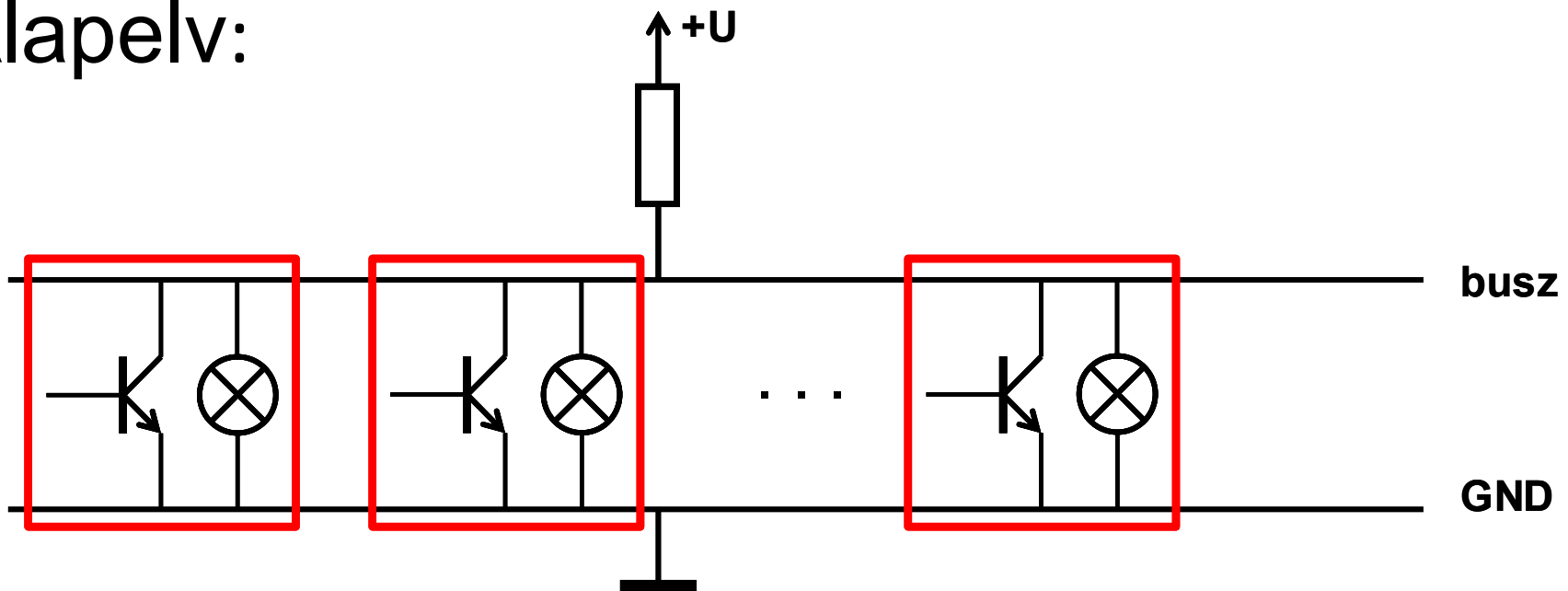
CAN – Fizikai réteg (előzetes)

Domináns és recesszív állapot

■ Jelállapotok:

- recessive (elengedett): 1
- dominant (meghúzott): 0

■ Alapelv:



Arbitráció és prioritás

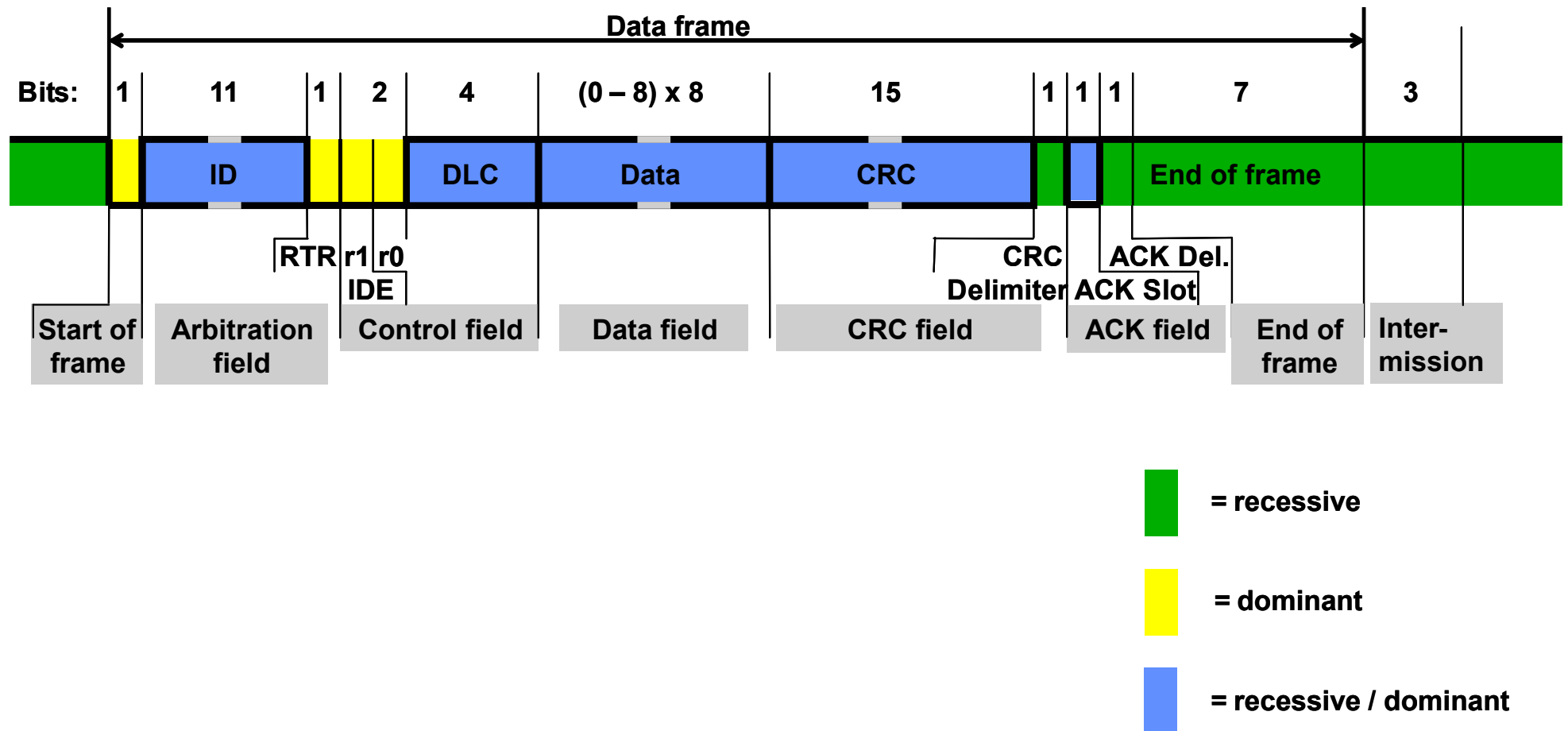
- Buszfigyelés: szabad / foglalt
- Az adó adás közben is figyeli a buszt
- Huzalozott ÉS kapcsolat
 - Ha az összes adó „r” (recessive) értéket ad, akkor a buszon is „r” érték van.
 - Ha bármelyik állomás „d” (dominant) értéket ad, a buszon „d” érték jelenik meg.
- Arbitráció: az első domináns bitet adó nyer
- Ütközés: nem destruktív
- Automatikus újraadás

CAN – Adatkapcsolati réteg (DLC)

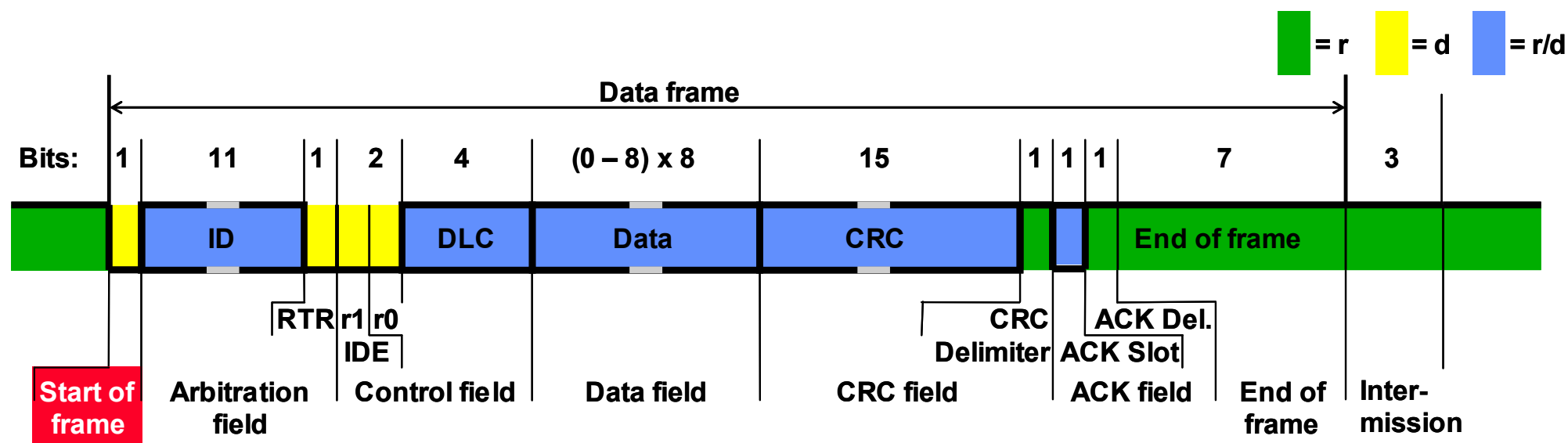
CAN keretformátumok

- Adatkeret (Data frame)
- Hibakeret (Error frame)
- Távoli keret (Remote frame)
- Túlterhelés-keret (Overload frame)

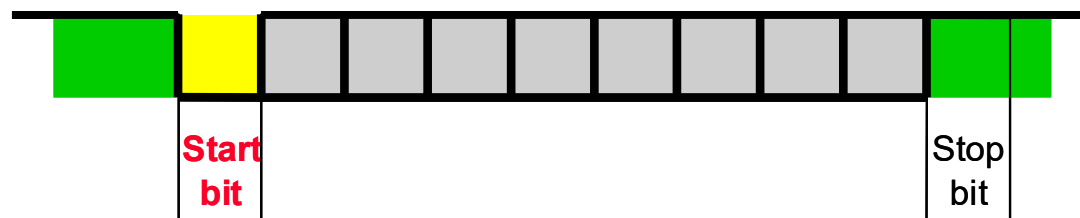
Adatkeret (Data frame) – 2.0A / Standard CAN



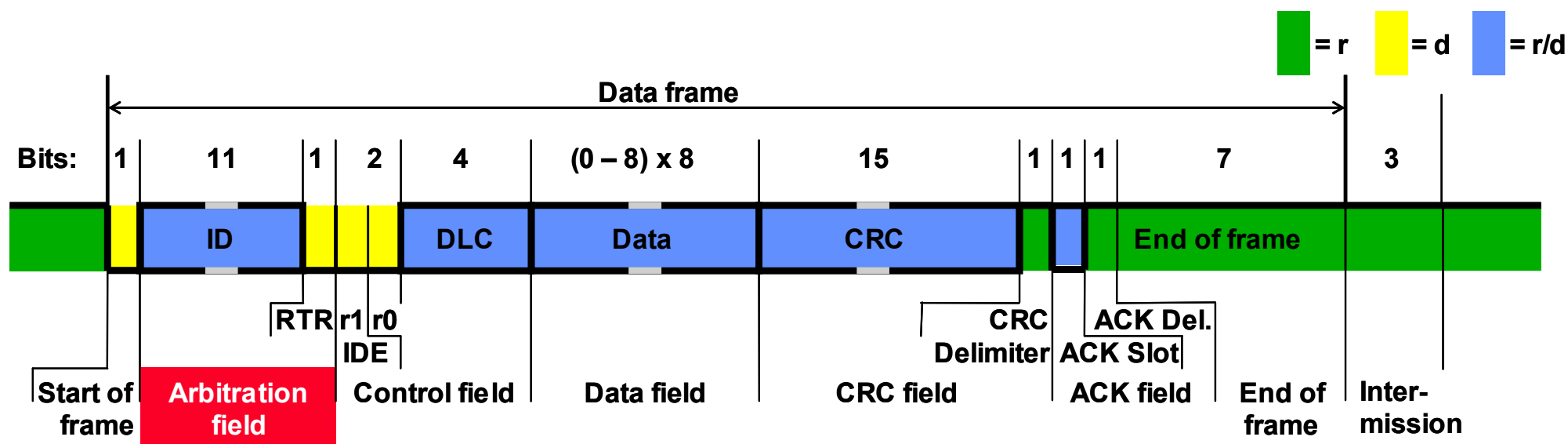
Start of frame



- A keret kezdetét jelzi.
- Analógia: aszinkron start-stop (pl. 8N1)



Arbitration field: ID + RTR

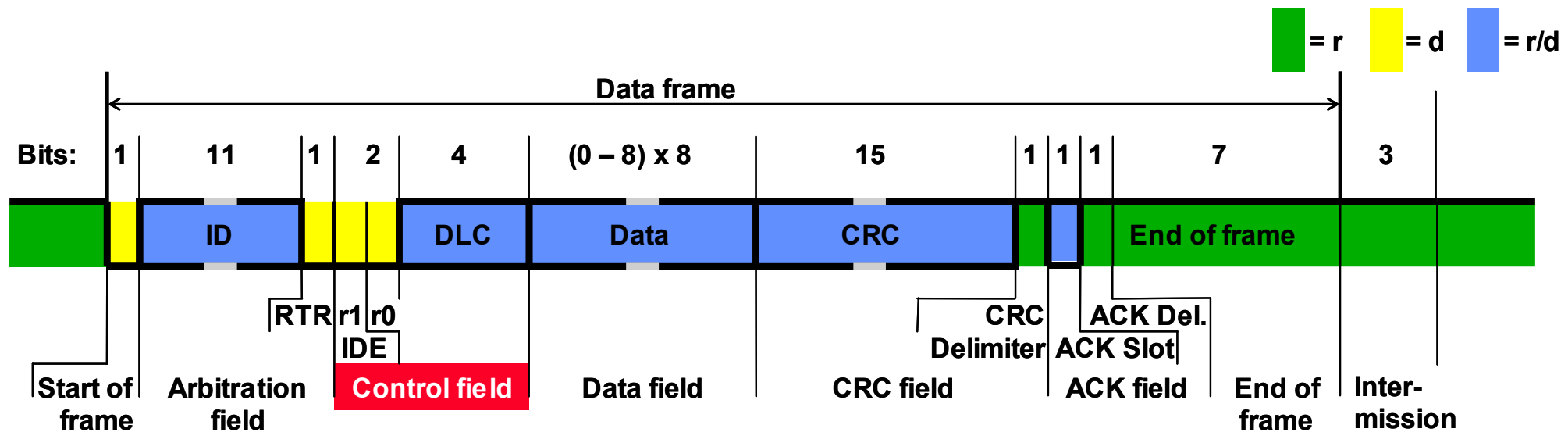


- Azonosítja a keretet és meghatározza a prioritását.
- ID (Identifier): 11 bit (ID10 – ID0) (2.0A !)
- RTR (Remote Transmit Request): távoli adáskérés
 - Data frame=d / Remote frame=r

CAN Identifier

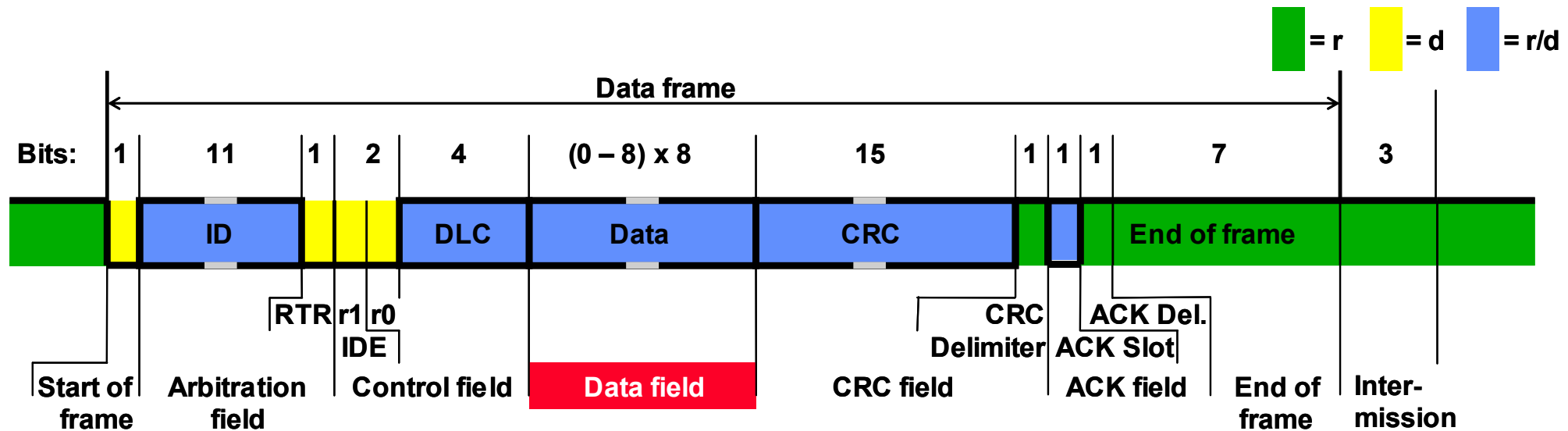
- Egycímes keretformátum
 - A CAN ID a payloadot azonosítja
(pl. a motor fordulatszámát, a jármű sebességét)
- (LAN: kétcímes, a küldőt és a fogadót azonosítja.)

Control field



- Reserved (r1=d, r0=d)
 - r1=IDE = ID Extension: d=11 (2.0A) / r=29 bites ID (2.0B)
- DLC: Data Length Code (DLC3 – DLC0)
 - 9-féle adathossz: 0, 1, 2, ..., 8 byte

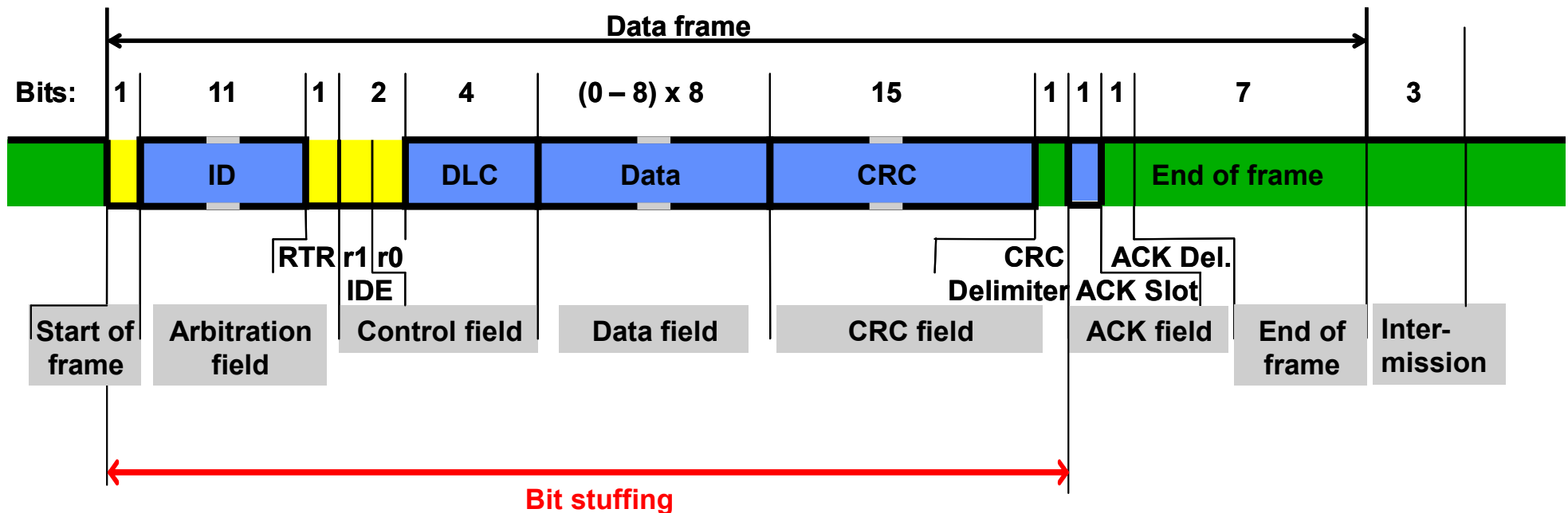
Data field



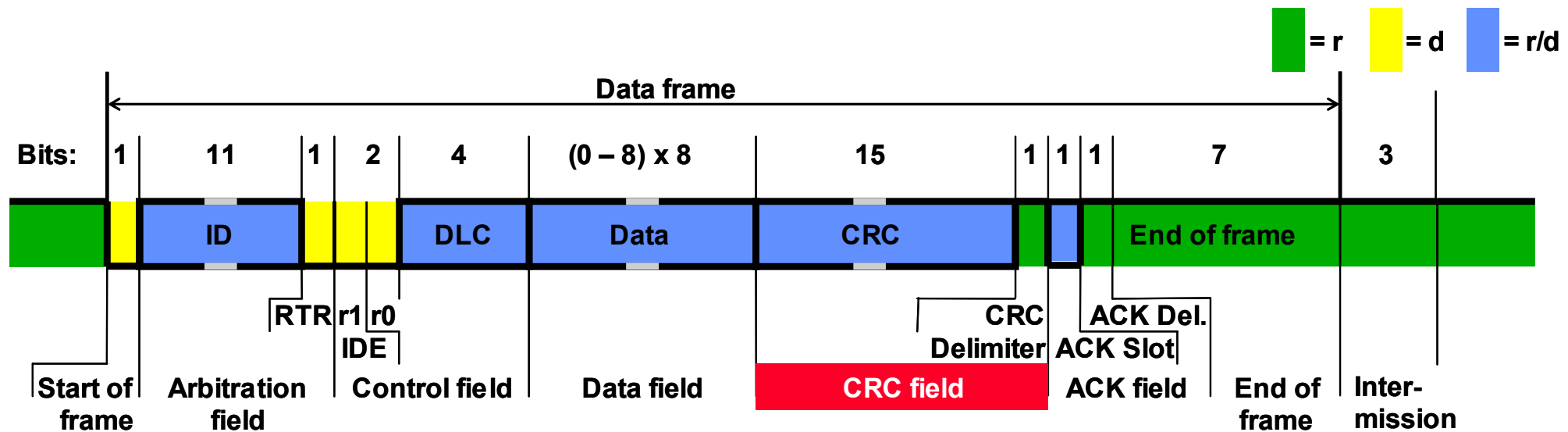
- Data field (payload): $N \times 8$ byte, $N=0 - 8$
- Tetszőleges tartalom

Transzparens átvitel

- Bitbeszúrás, -kiejtés (bit stuffing)
 - 5 azonos bit után egy ellentétes bit beszúrása/kiejtése.
 - Gondoskodik a gyakori jelátmenetekről.

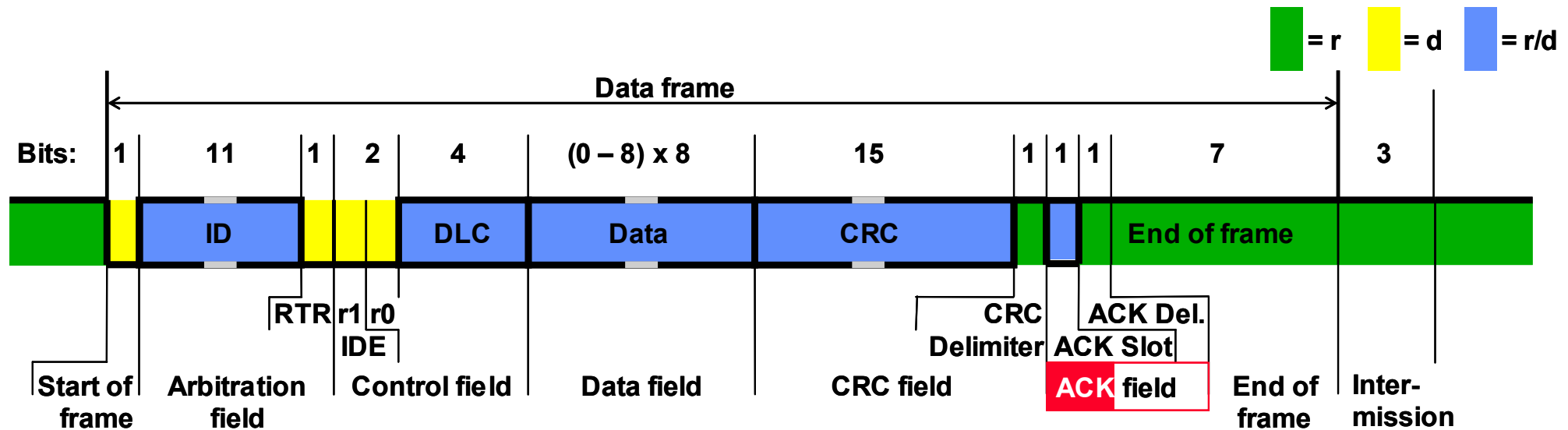


CRC field



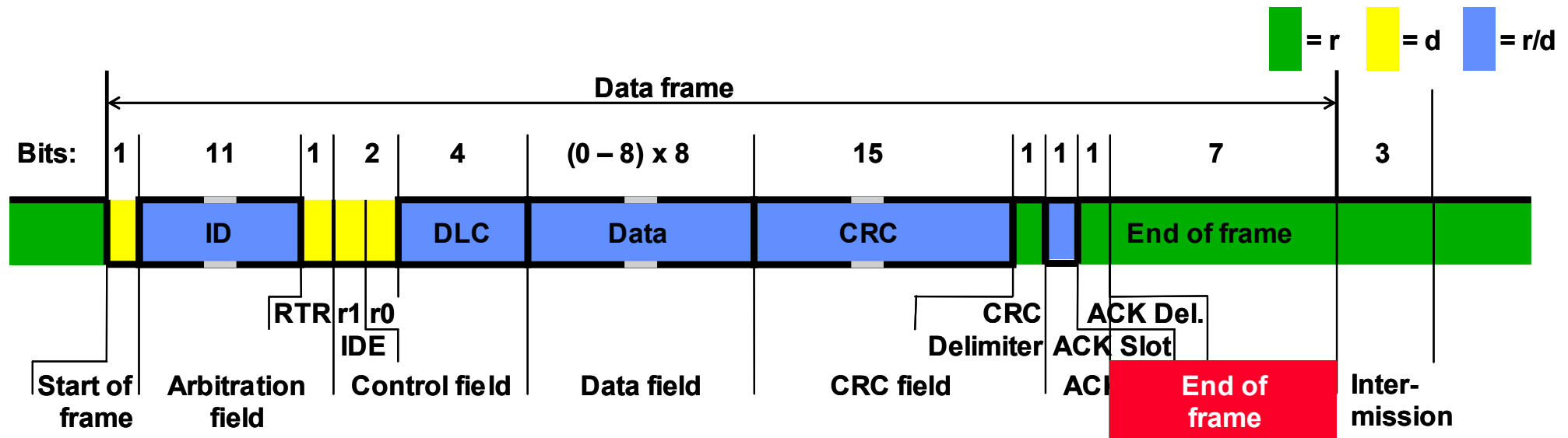
- 15 bit CRC + 1 bit CRC Delimiter (=r)

ACK field



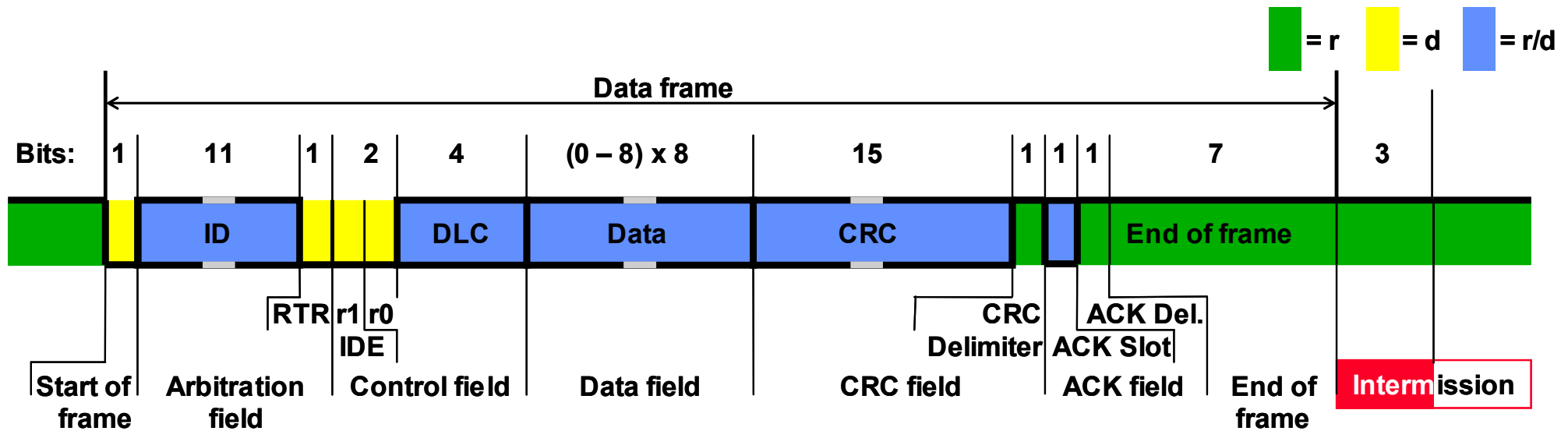
- ACK Slot – adó=r / vevő=d, azonnali nyugtázás
- ACK Delimiter =r

End of frame



■ 7 x r bit

Intermission

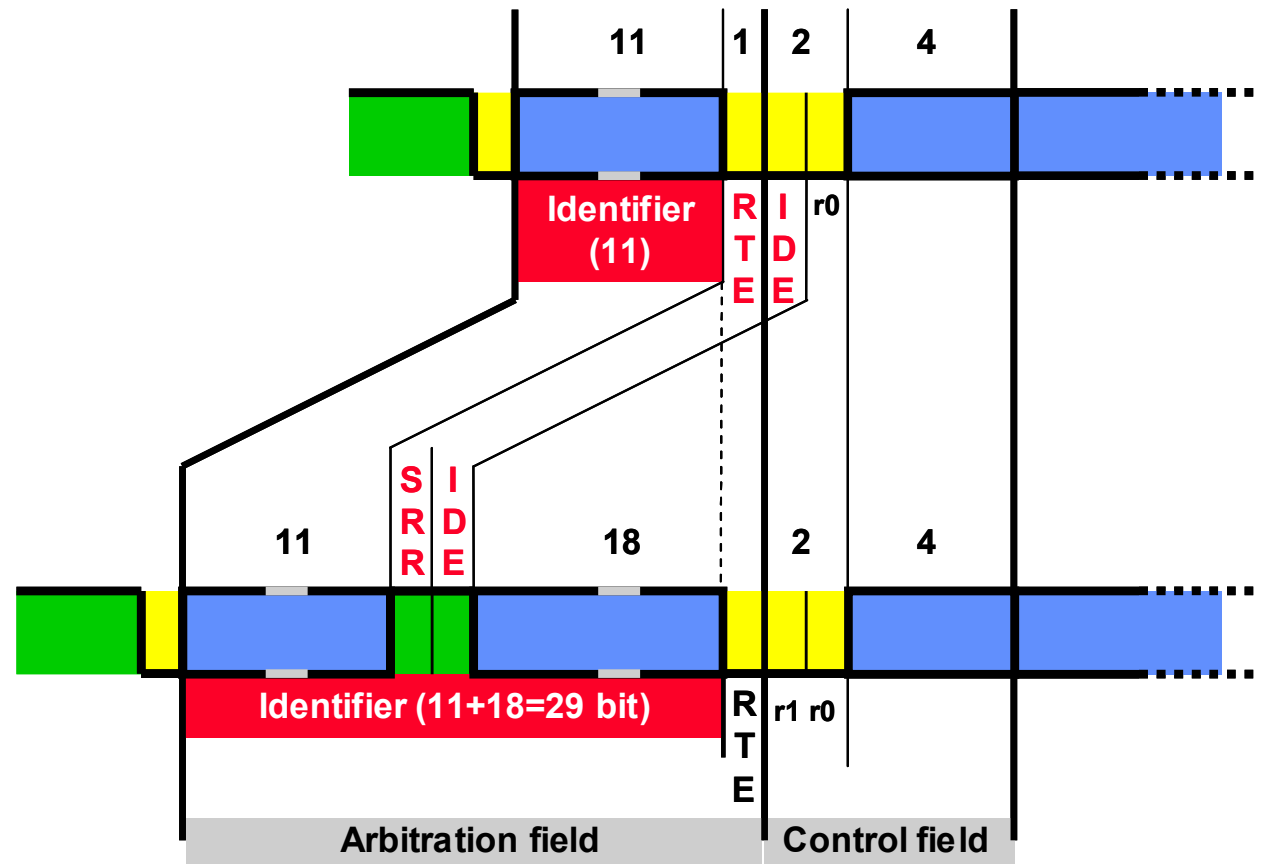


- Minimum 3 x r bit

Adatkeret (Data frame) – 2.0B / Extended CAN

Standard CAN
Data frame

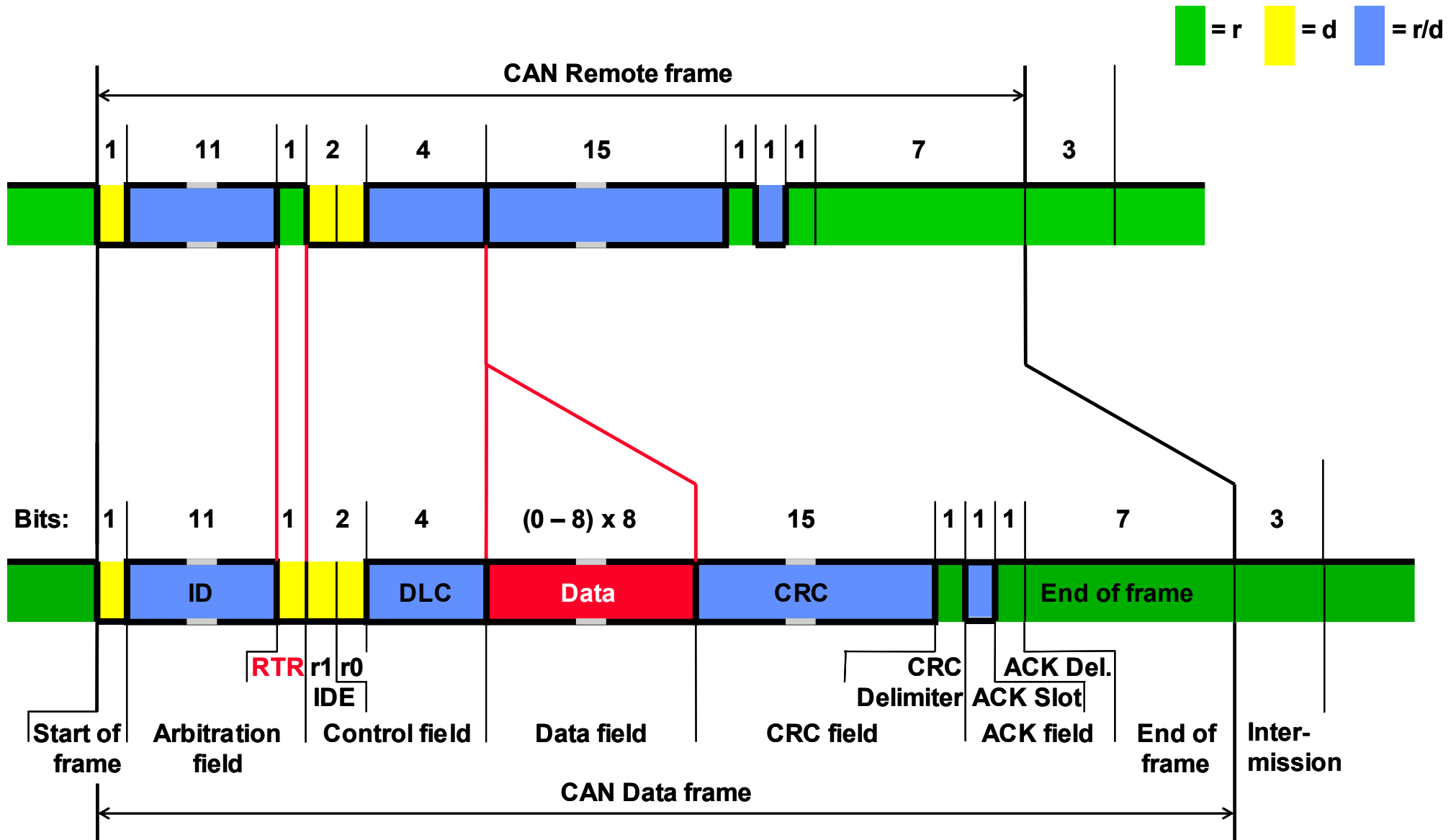
Extended CAN
Data frame



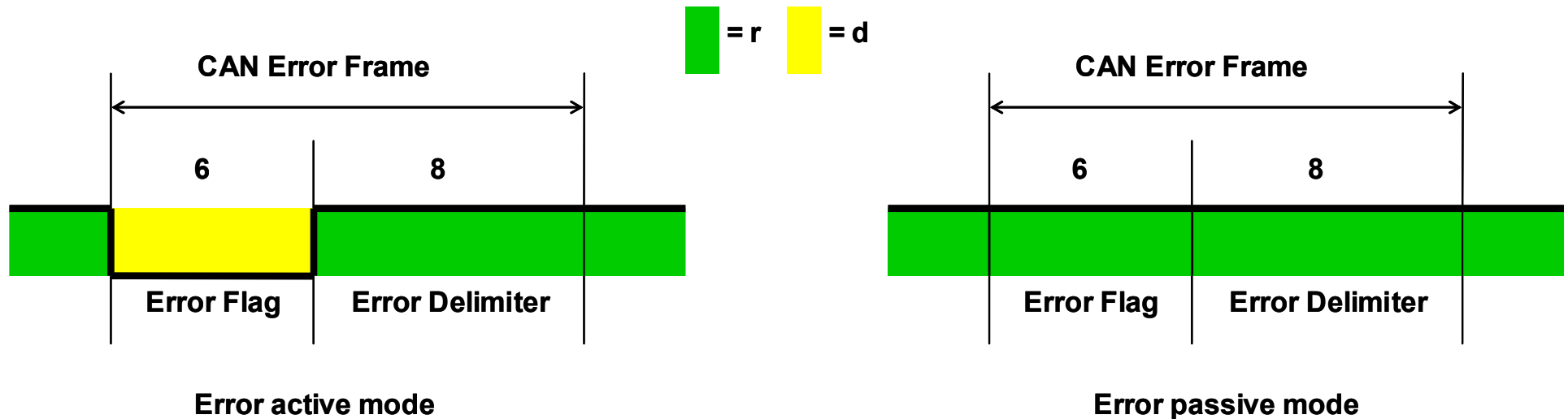
SRR = Substitute Remote Request bit

IDE = Identifier Extension bit

Távoli keret (Remote frame) – 2.0A / Standard

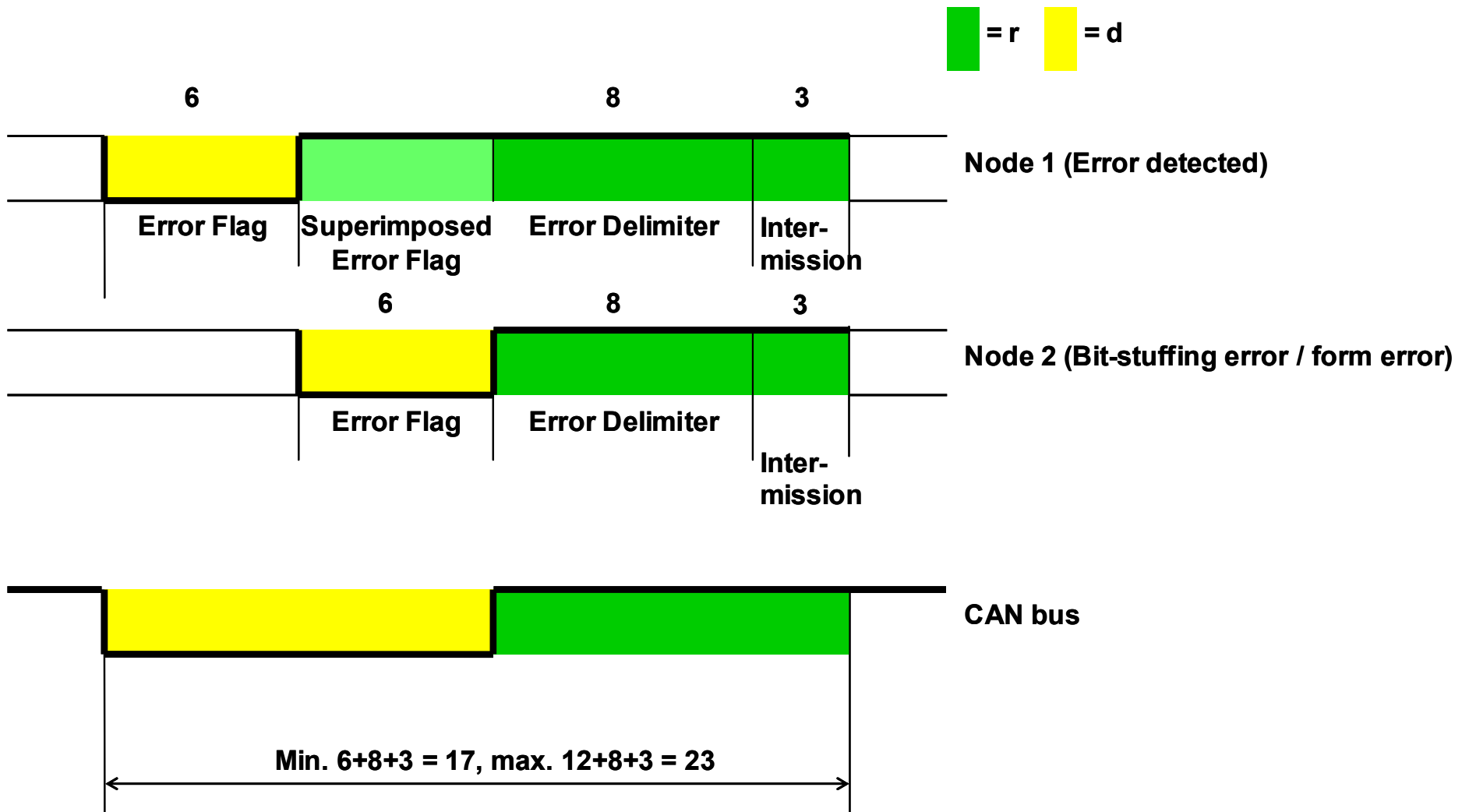


Hibakeret (Error frame)

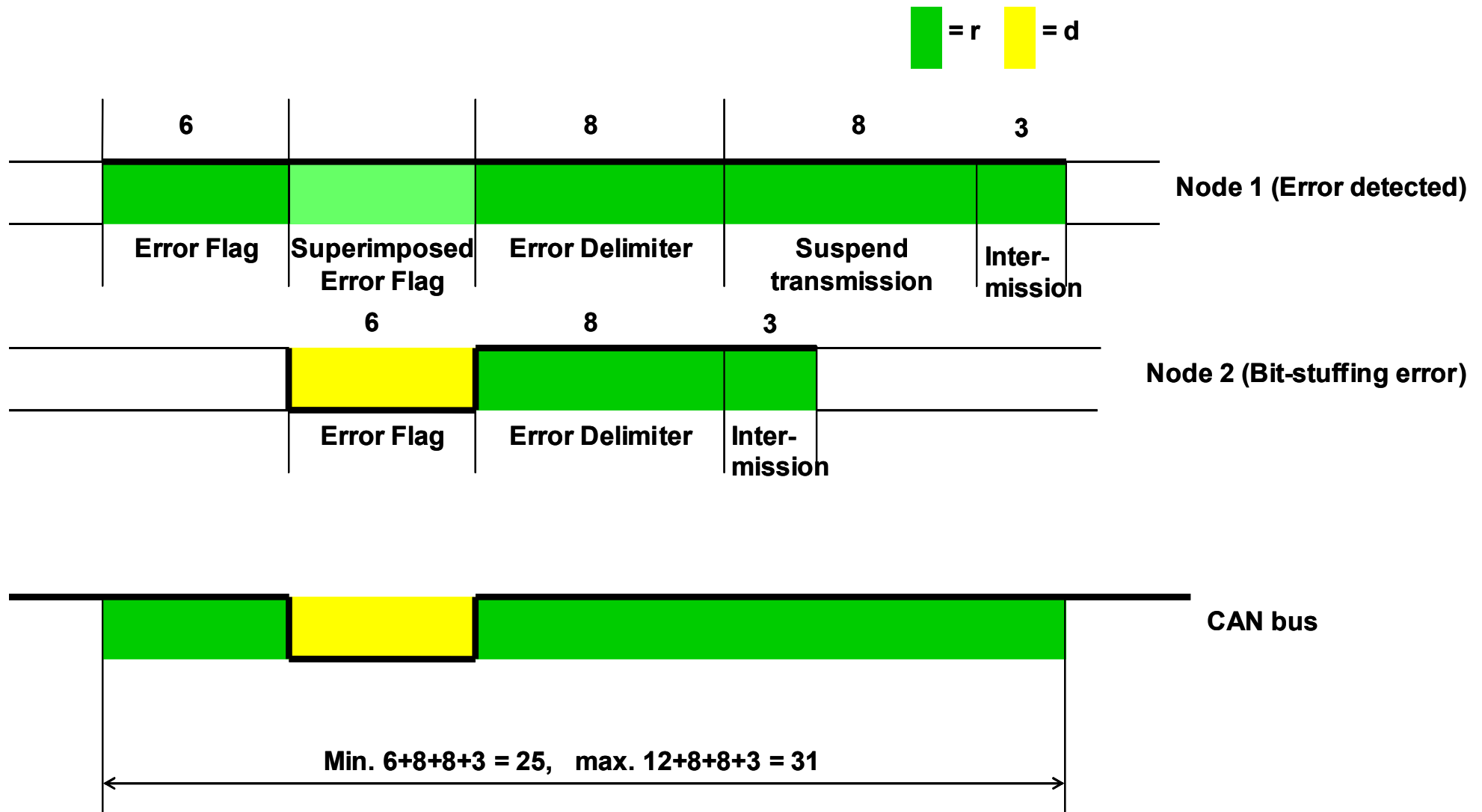


- Jelentése: „Vigyázat, ez egy hibás keret!”
- Generálása: ha adás vagy vétel közben hibát észlelnek.
 - Error active mode: Error Flag = 6 db „d”
 - Error passive mode: Error Flag = 6 db „r”
 - Error Delimiter: 8 db „r”

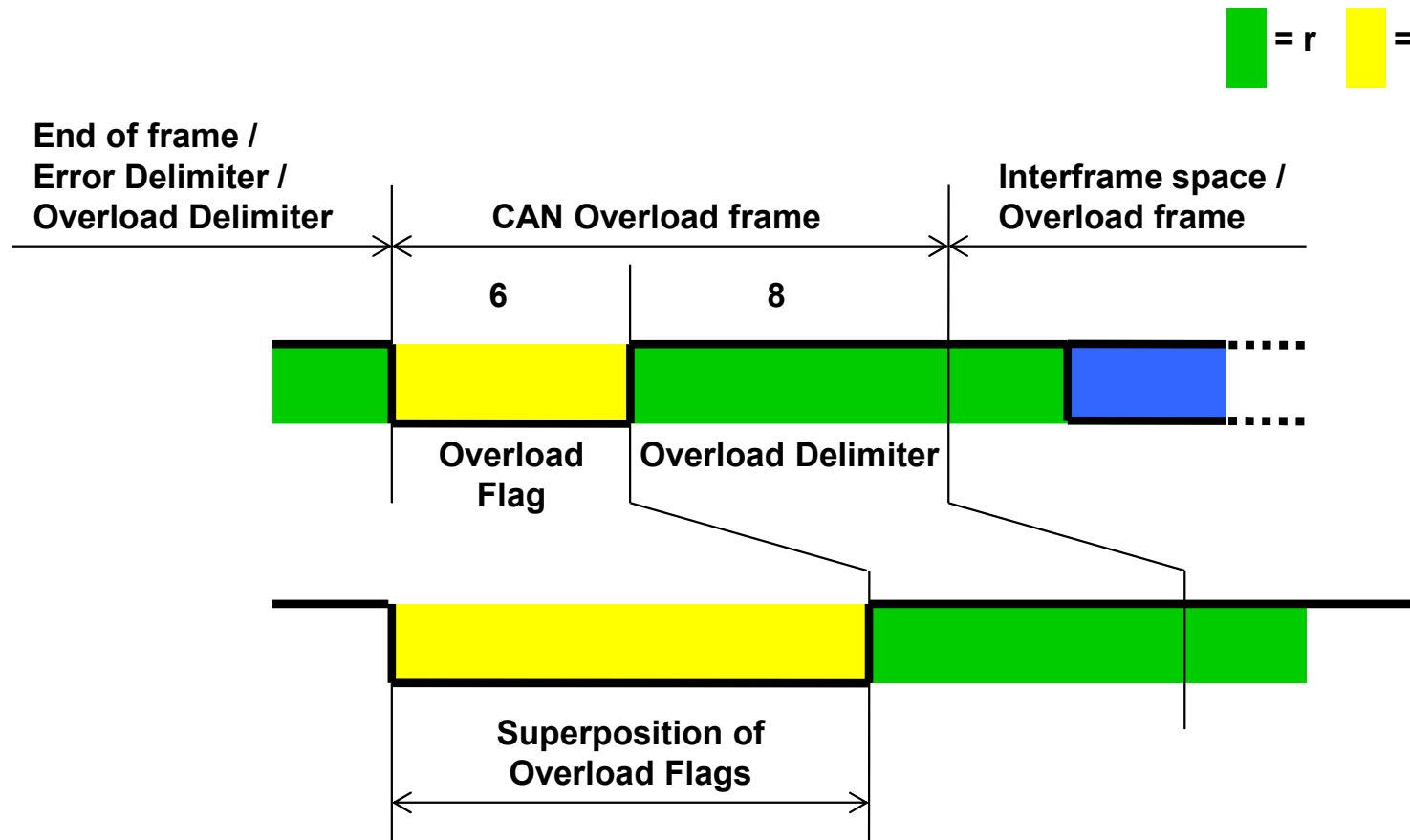
Error active mode (error counter < 128)



Error passive mode (error counter > 127)



Túlerhelés-keret (Overload frame)



- Jelentése: „Lassíts!”
- Max. 2 overload keret küldhető.

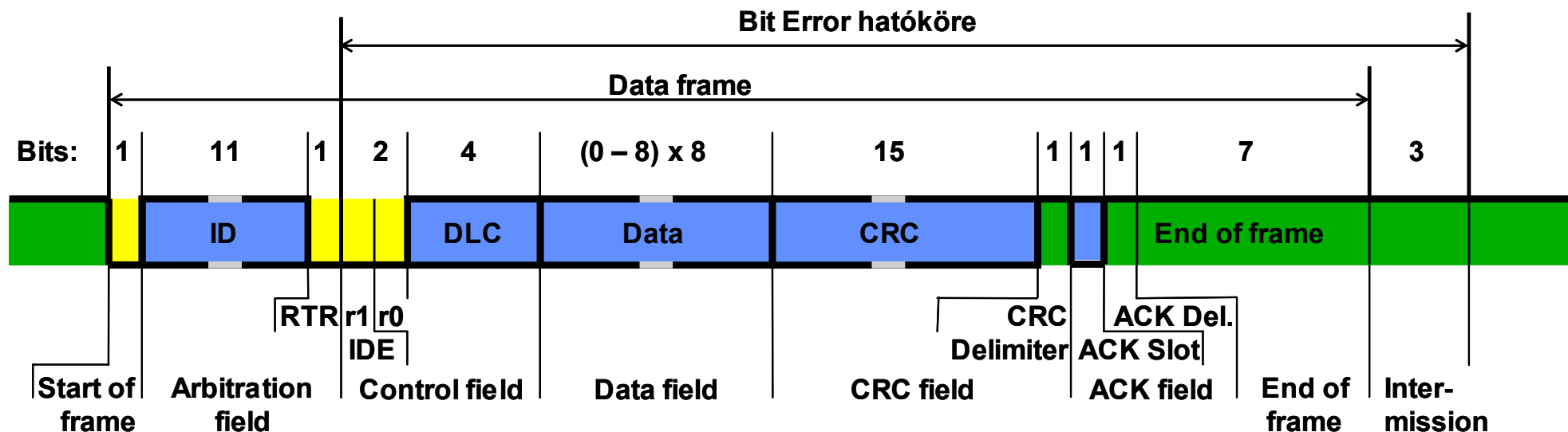
CAN – Hibakezelés

Hibakezelés

- Bit Monitoring / Bit Error
- Frame Check / Form Error
- Acknowledgement Check /Error
- CRC / CRC Error
- Bit Stuffing / Stuff Error
- Tranziens hibák kezelése (TEC, REC)

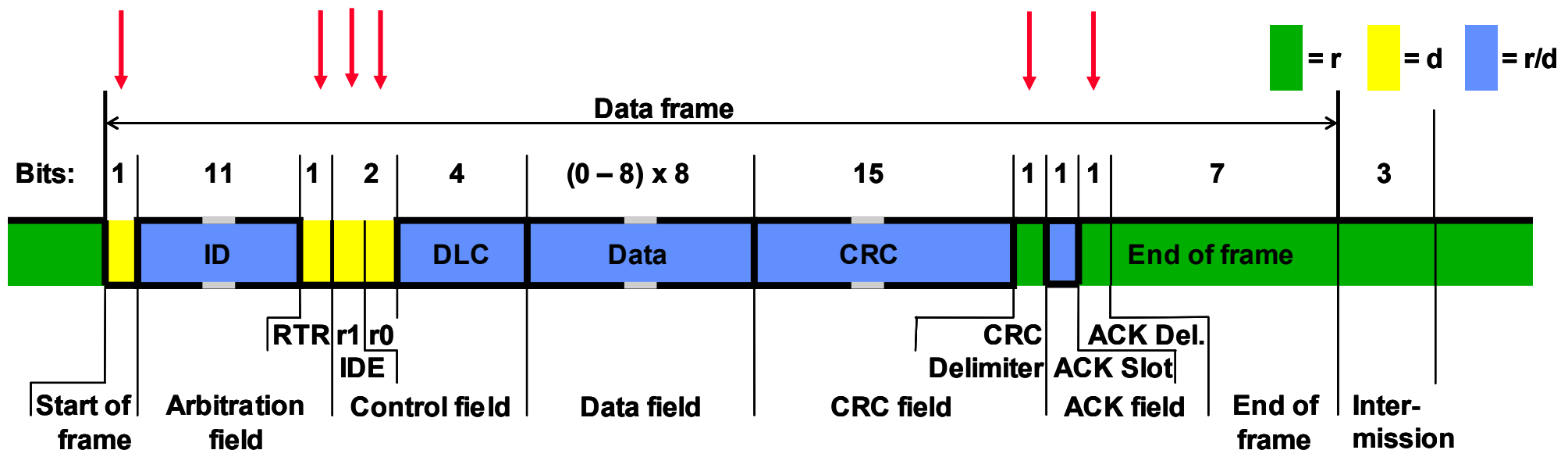
Hibakezelés – Bit Monitoring / Bit Error

- Adáskor az adó összehasonlítja a kiadott bitet a vett bittel.
- Ha az arbitrációs fázison kívül a két érték nem egyezik, **Bit Error** jelzés keletkezik, amit az adó regisztrál.



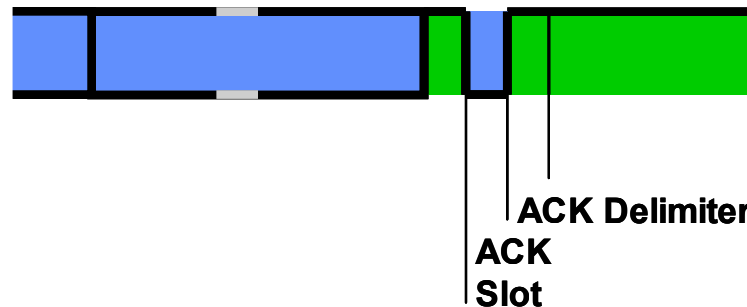
Hibakezelés – Frame Check / Form Error

- A CAN keret bizonyos bitjei rögzítettek, így az ettől való eltérést a vevők képesek észlelni.
- Ilyen típusú hiba esetén **Form Error** jelzés keletkezik.



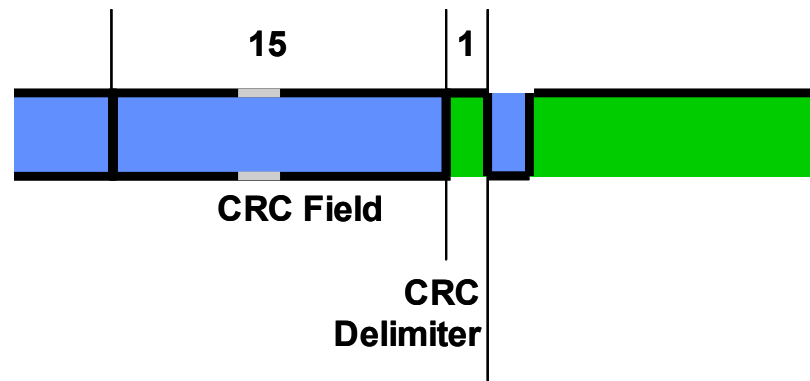
Hibakezelés – Acknowledgement Check /Error

- ACK Slot:
 - $adó = r$
 - minden vevő = d (hibátlan vétel esetén)
- Ha az adó r értéket kap vissza,
Acknowledgement Error jelzést generál.
- Azonnali nyugtázás.



Hibakezelés – CRC / CRC Error

- Az üzenetek integritását 15-bites CRC-vel védik.
- CRC hiba esetén a vevő **CRC Error-t** jelez.



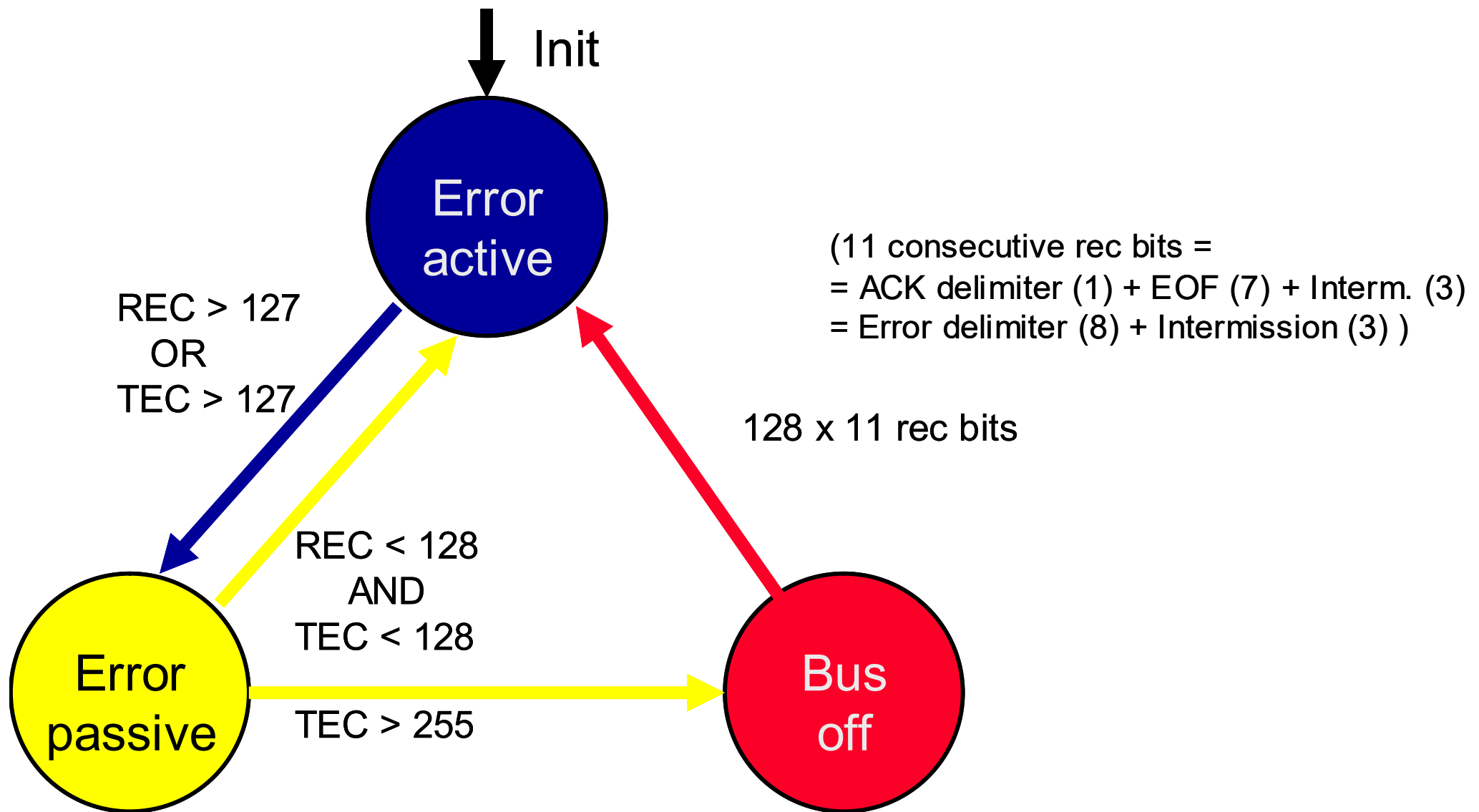
Hibakezelés – Bit Stuffing / Stuff Error

- A vevő figyeli a beérkező biteket.
- A bitbeszúrás/-bitkiejtés szabály megsértése esetén **Stuff Error**-t jelez.

Tranziens hibák kezelése

- Hibaszámlálók:
 - Transmit Error Counter (TEC)
 - Receive Error Counter (REC)
- Hiba esetén inkrementálnak.
- Hibátlan adás, vétel esetén dekrementálnak.
- Az adáskor bekövetkező hibák nagyobb súlyúak.

Error counters, error modes



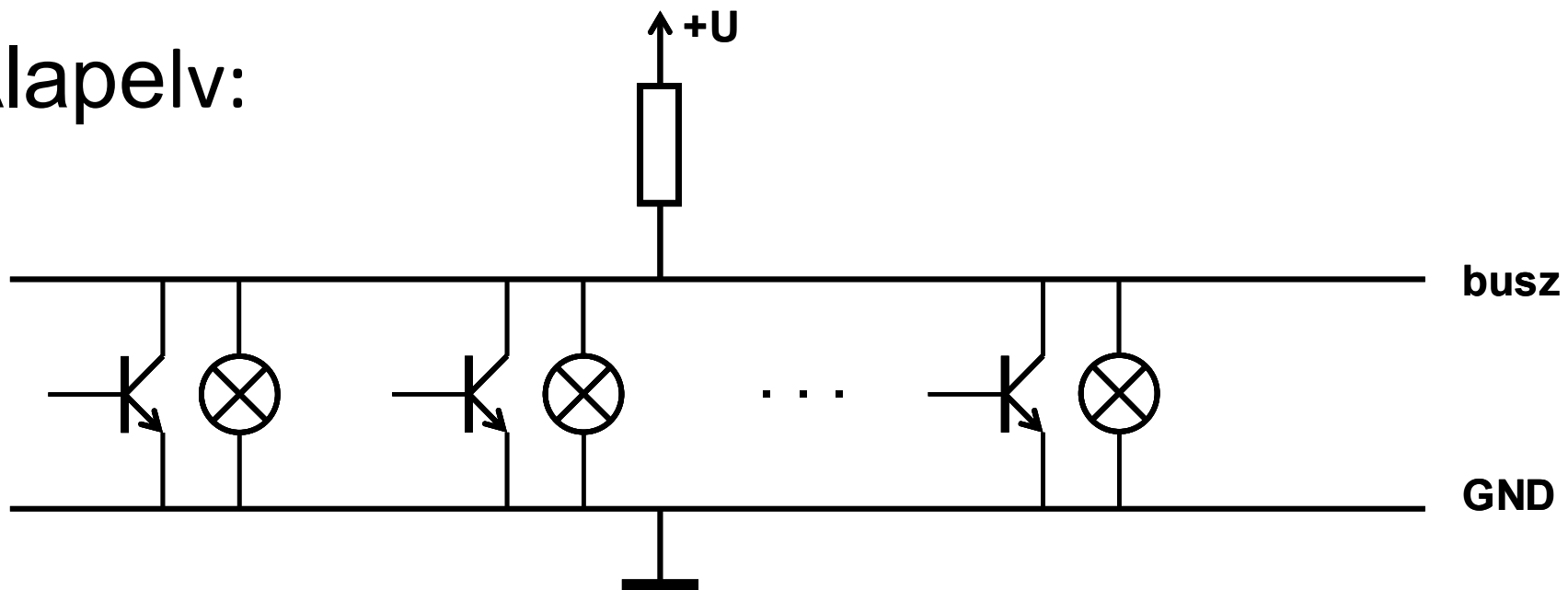
CAN – Fizikai réteg

Huzalozott ÉS kapcsolat

■ Jelállapotok:

- recessive (elengedett): 1
- dominant (meghúzott): 0

■ Alapelv:



Bitkódolás

- NRZ kódolás
- Bitbeszűrés/bitkiejtés:
 - 5 azonos bit után egy ellentétes bit
 - Gondoskodik a gyakori jelátmenetokről.

Távolság

■ Példák:

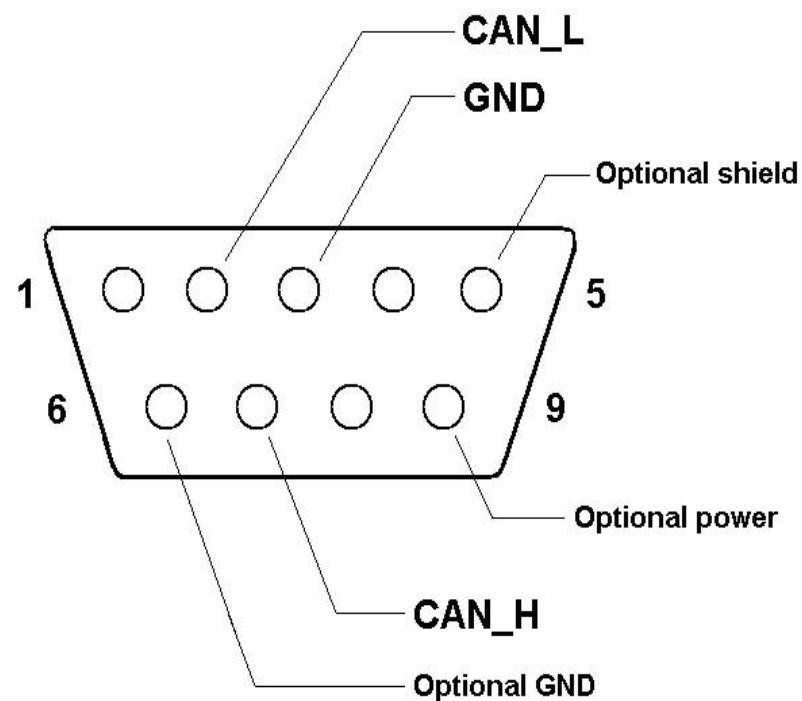
- 100 m 500 kbit/s
- 200 m 250 kbit/s
- 500 m 125 kbit/s
- 6 km 10 kbit/s

■ Korlátok:

- arbitráció
- sebesség
- jeltípus (szimmetrikus, aszimmetrikus)

CAN csatlakozók

- Legtöbbször DB9



CAN csatlakozók



DB9



DN C-type connector

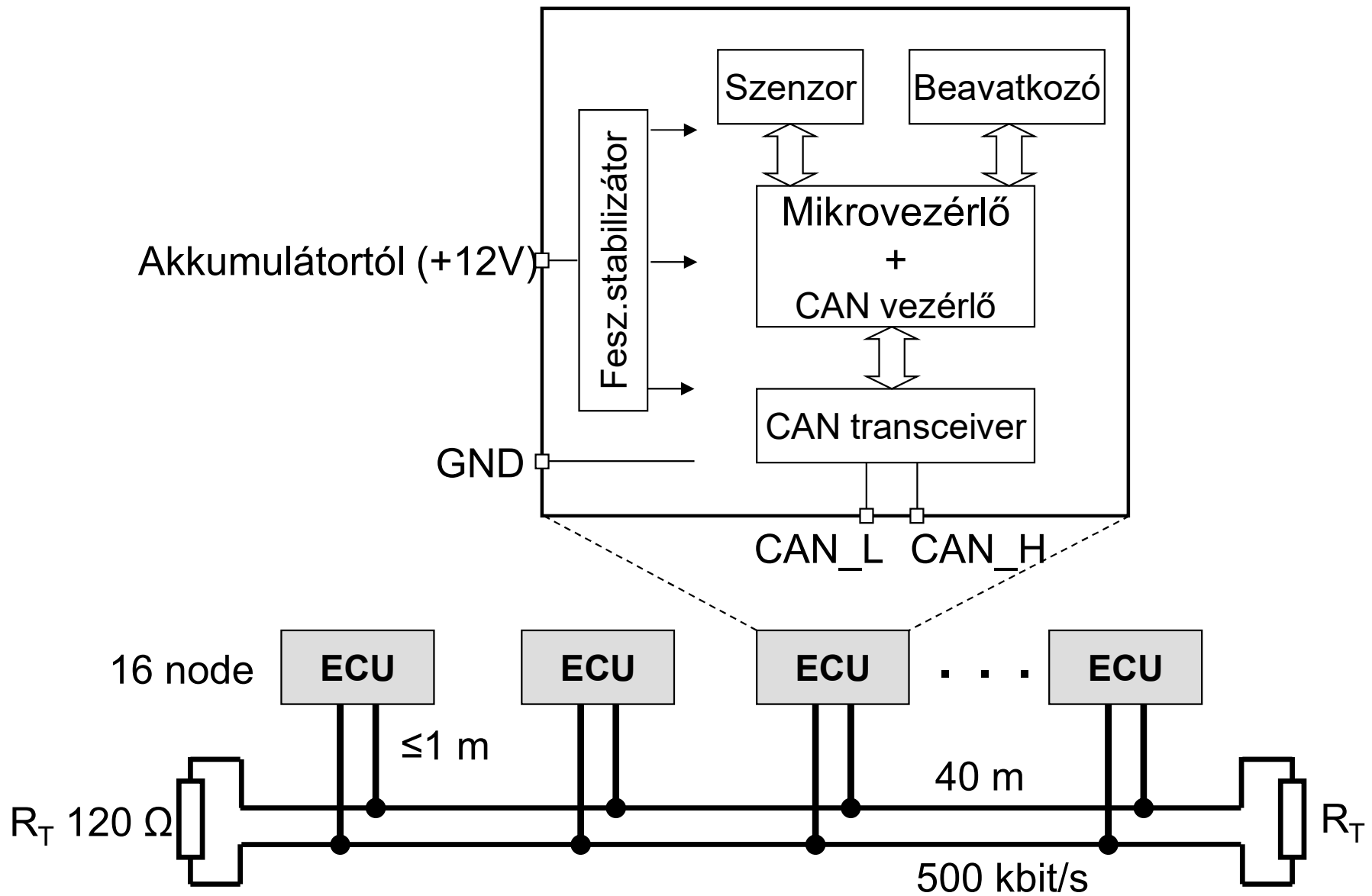


DN mini-style connector

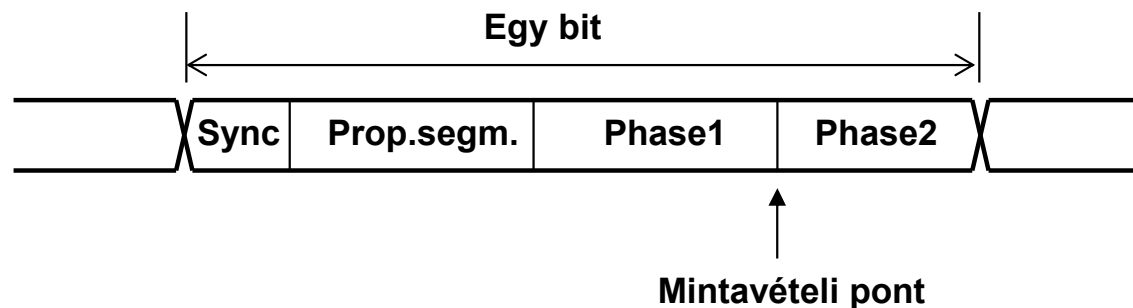


CANHUG connector

Egy CAN hálózat (példa)



Bitidőzítés



- Alap: időkvantum (time quantum, TQ)
- Synchronization Segment (SYNC_SEG) (1 TQ)
- Propagation Segment (PROP_SEG) (1-8 TQ)
- Phase_Segment 1 (PHASE_SEG1) (1-8 TQ)
- Phase Segment 2 (PHASE_SEG2)
(PHASE_SEG1 + 0-2 TQ)

Time quantum (TQ)

- A TQ-t a rendszerórából állítják elő leosztással.
- Szinkronizálás
 - Hard: a start bit recessive-domináns átmeneténél
 - Soft: bitenként a Sync figyelésével és SJW korrekcióval
- Mintavétel
 - Egyszeres
 - Többszörös (többségi szavazással)

Synchronization Segment (SYNC_SEG)

- 1 TQ kvantumnyi hosszú.
- A szinkronizálását szolgálja.
- A buszon a jelváltásokat ebben a szegmensben várjuk.

Propagation Segment (PROP_SEG)

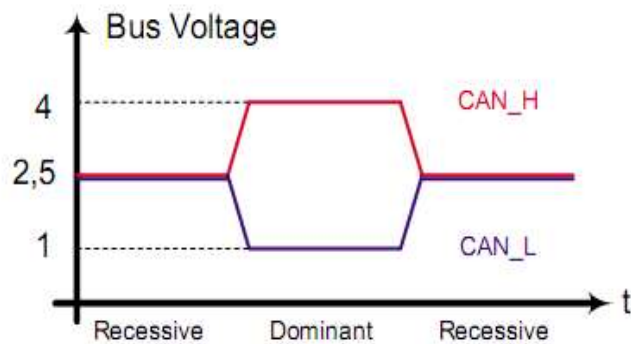
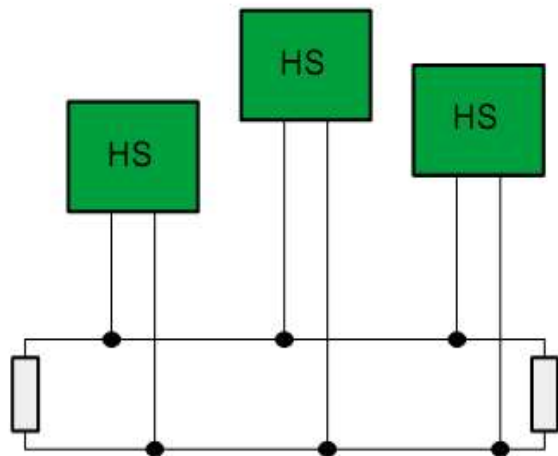
- A busz terjedési idejét kompenzálja.
- Hossza $\geq$ oda-vissza jelterjedési idő
(beleértve az elektronika késleltetéseit is)

Phase_Segment 1/2 (PHASE_SEG1/2)

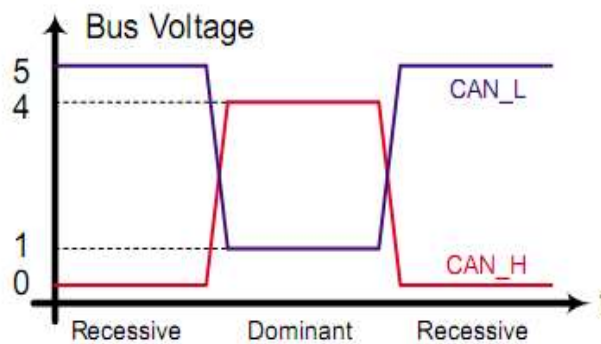
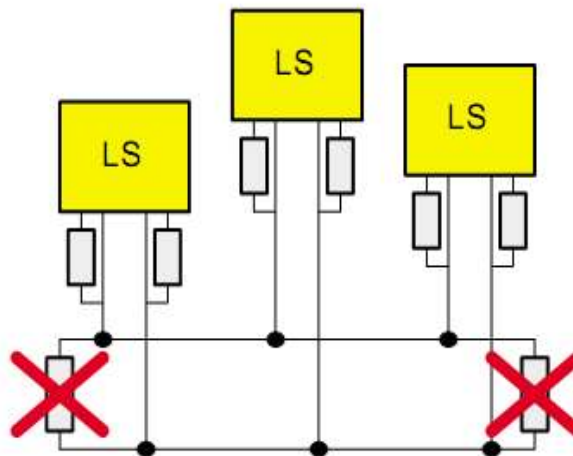
- PHASE_SEG1, ...2
 - A mintavétel a két fázisszegmens határán történik.
 - PS1 növelhető, PS2 csökkenthető egy adott értékkel (SJW)
- Synchronization Jump Width
 - $SJW = 1 \dots 4 \text{ TQ}$ vagy $1 \dots \text{PHASE_SEG1}$
- Szabályok:
 - $\text{PROP_SEG} + \text{PHASE_SEG1} \geq \text{PHASE_SEG2}$
 - $\text{PROP_SEG} + \text{PHASE_SEG1} \geq \text{TDELAY}$
 - $\text{PHASE_SEG2} > \text{SJW} + \text{IPT}$
- IPT, Information Processing Time

CAN fizikai réteg fajtái

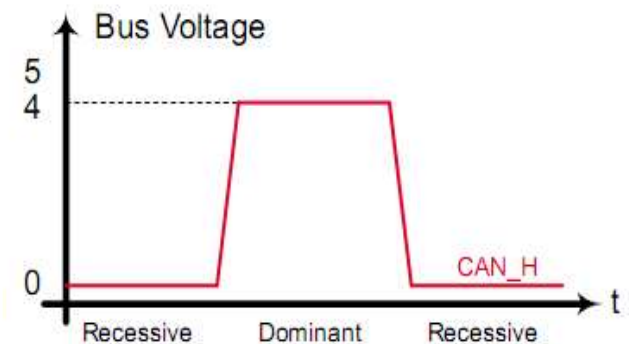
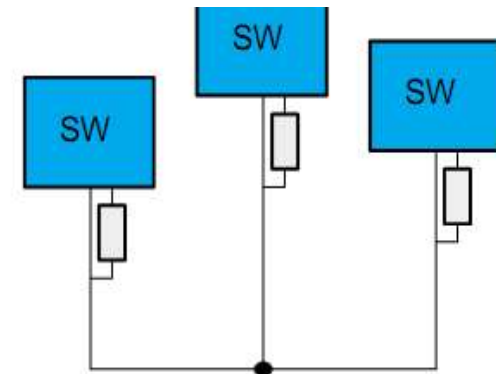
High Speed



Low Speed Fault Tolerant



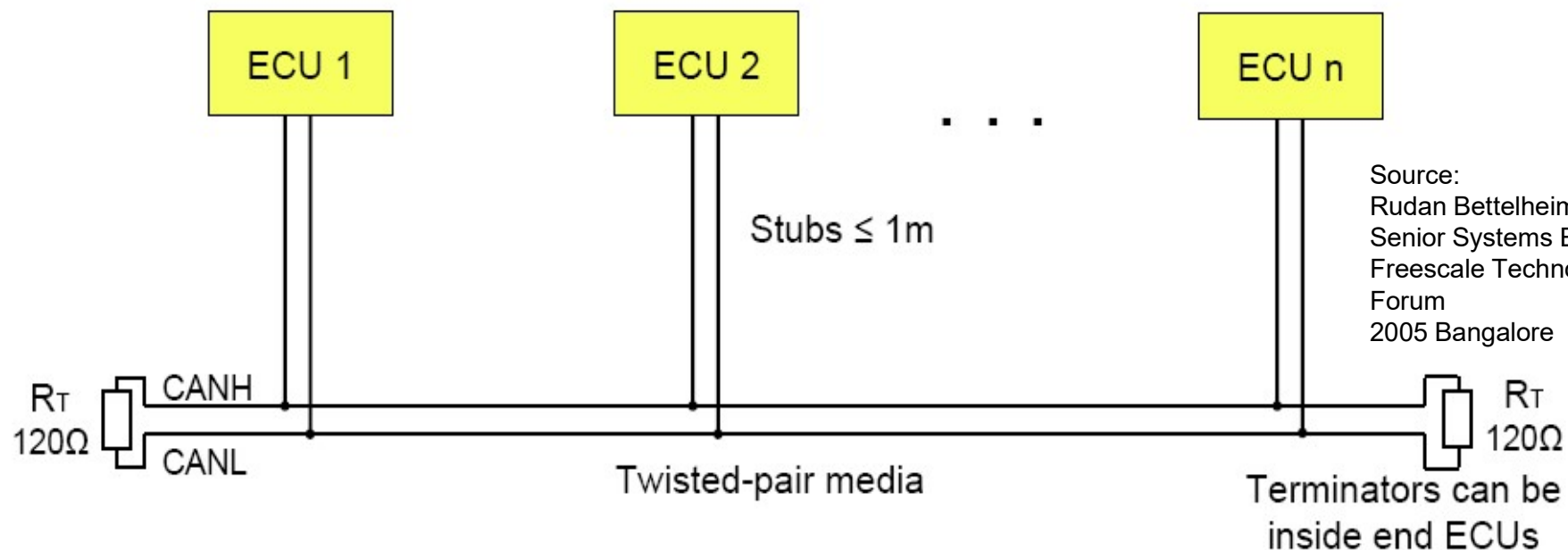
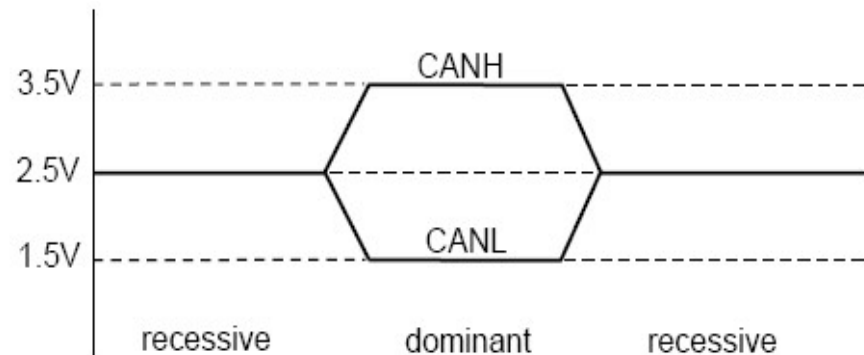
Single Wire



High Speed CAN

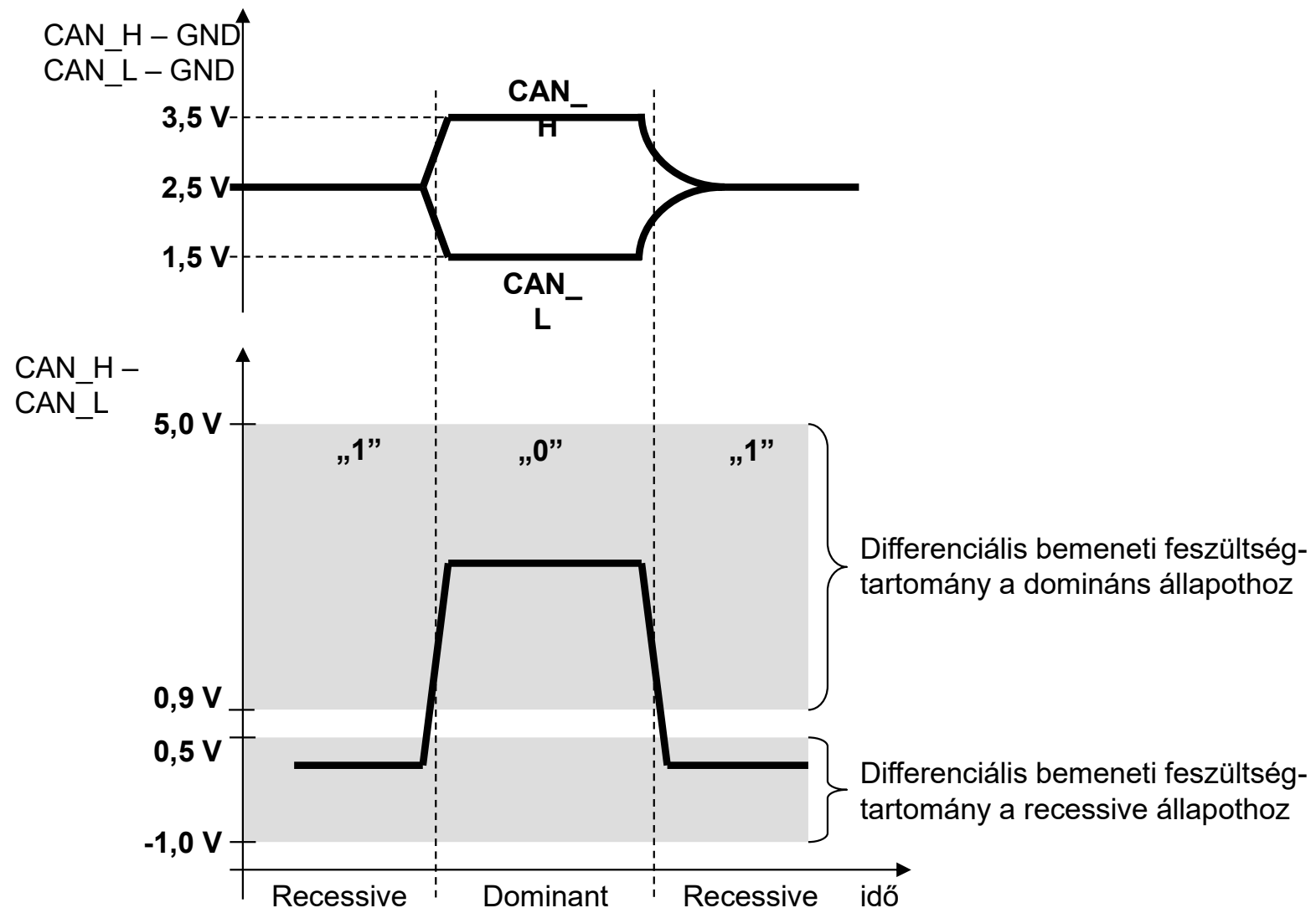
High Speed CAN (ISO 11898-2)

- Linear bus topology
- 500 Kbps bit rate
- 40 m max bus length
- Maximum of 16 nodes

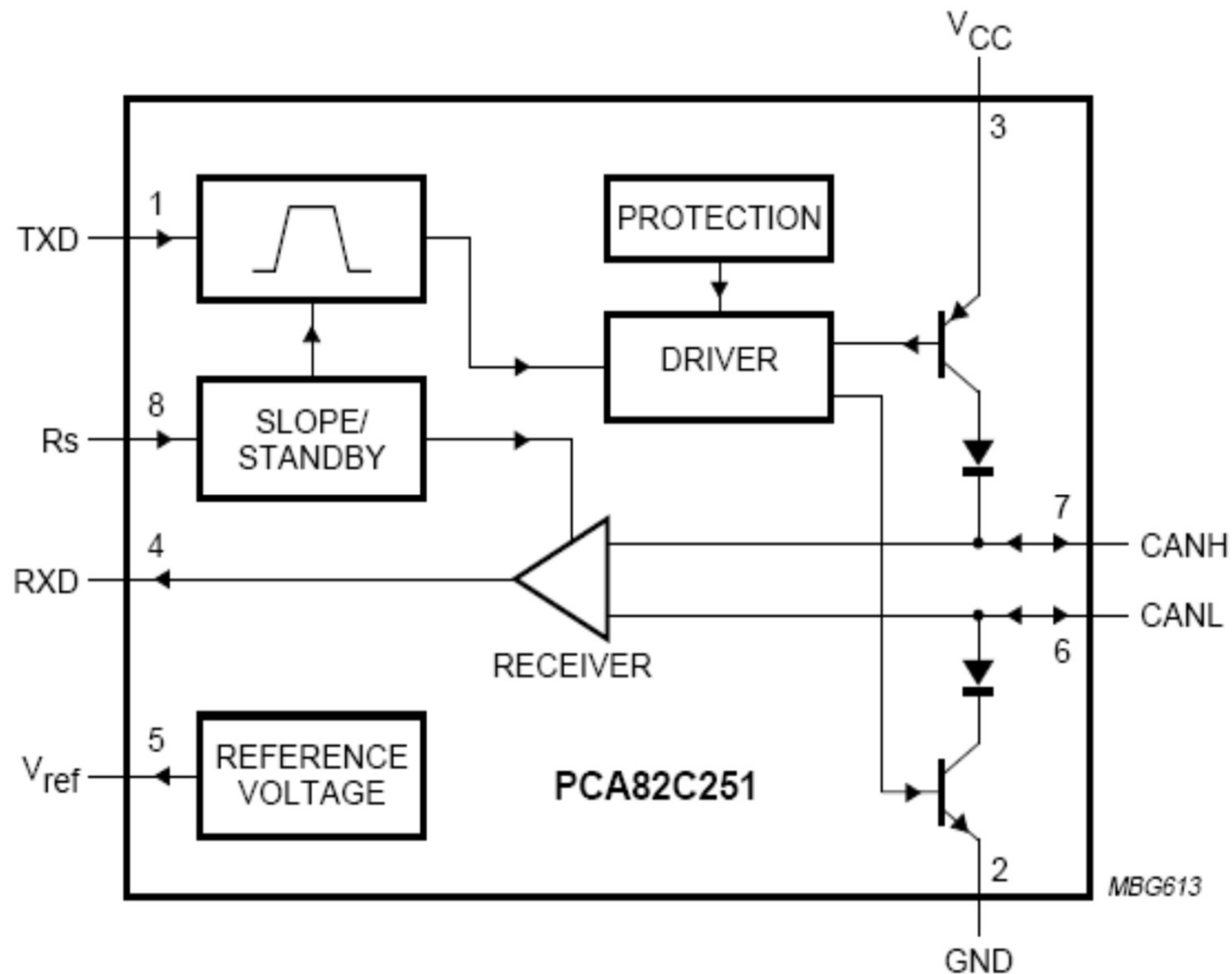


Source:
Rudan Bettelheim
Senior Systems Engineer
Freescale Technology
Forum
2005 Bangalore

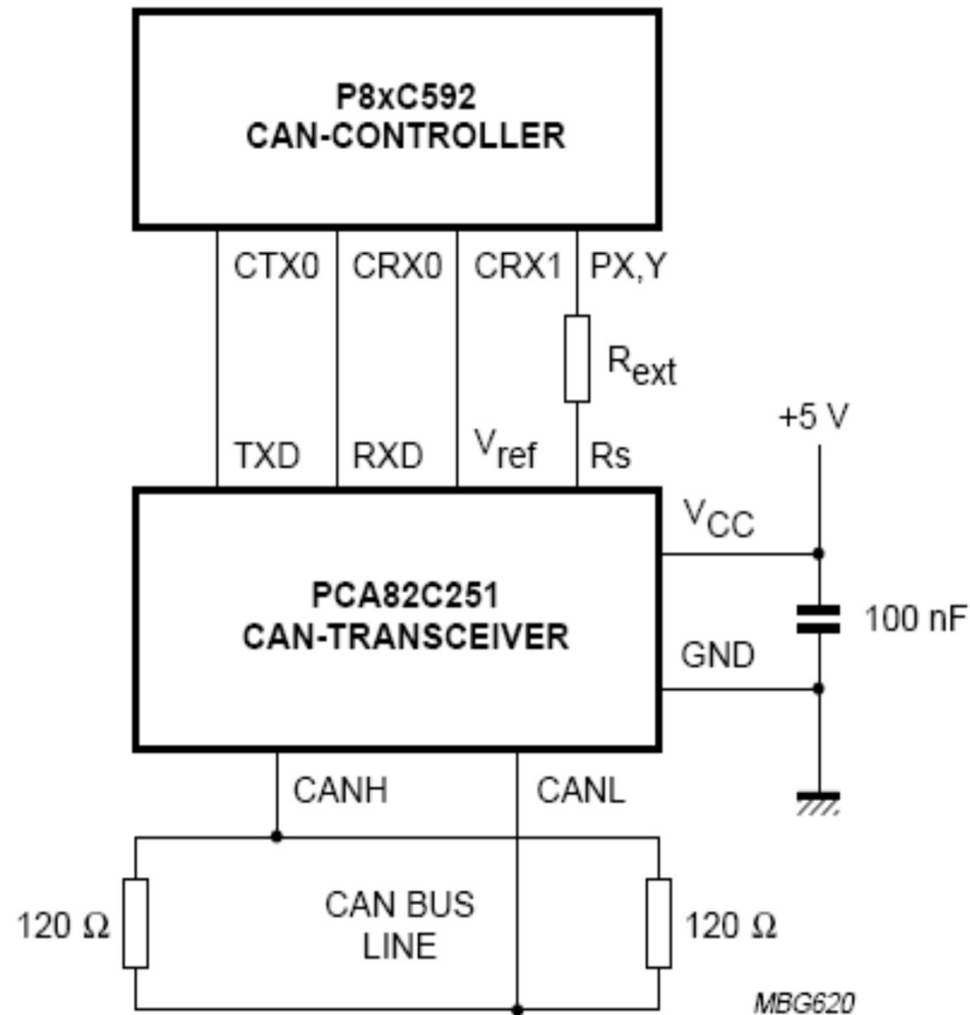
High Speed CAN (ISO 11898-2) jelszintek



Példa: high speed transceiver



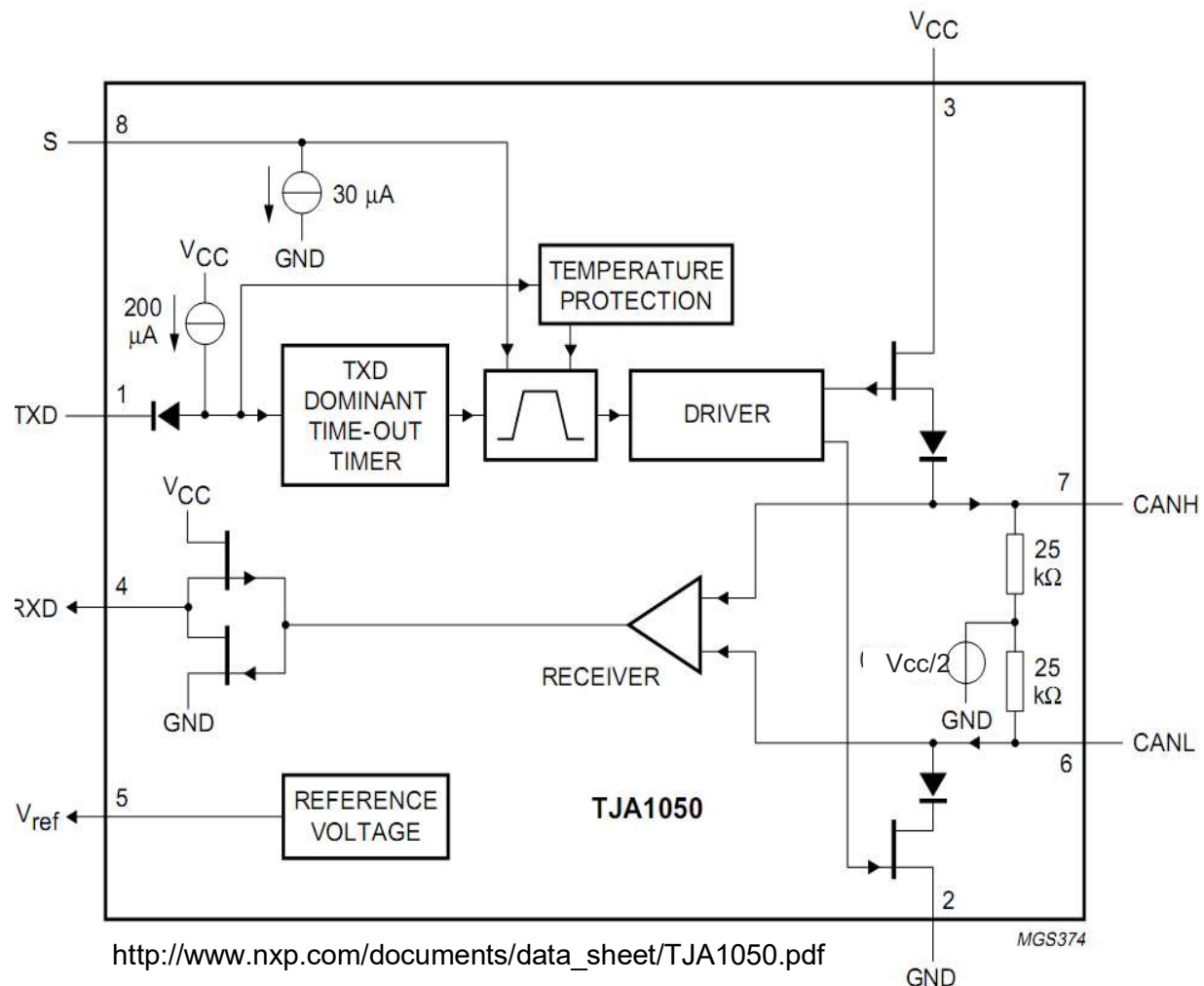
Példa: komplett CAN interfész

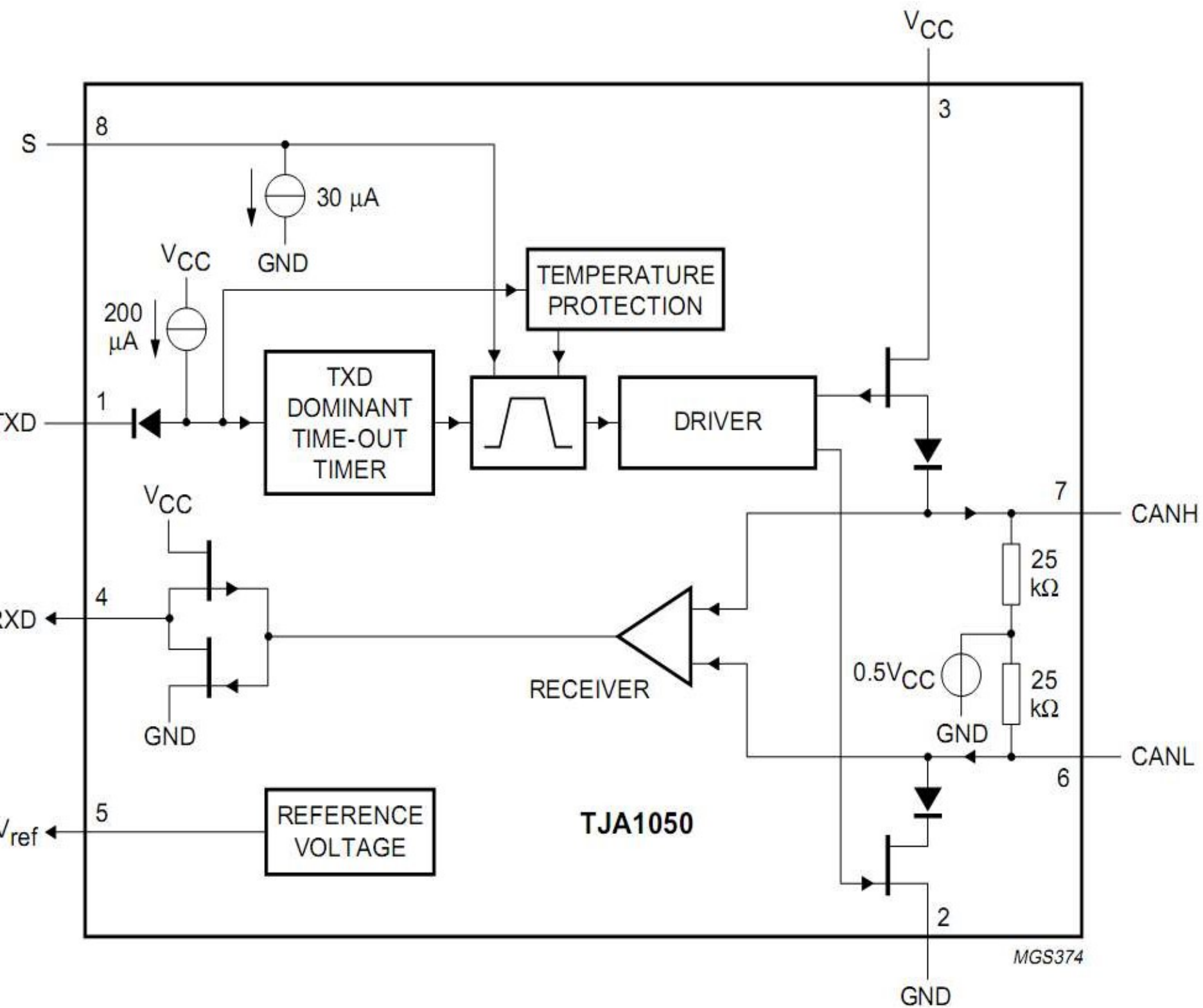


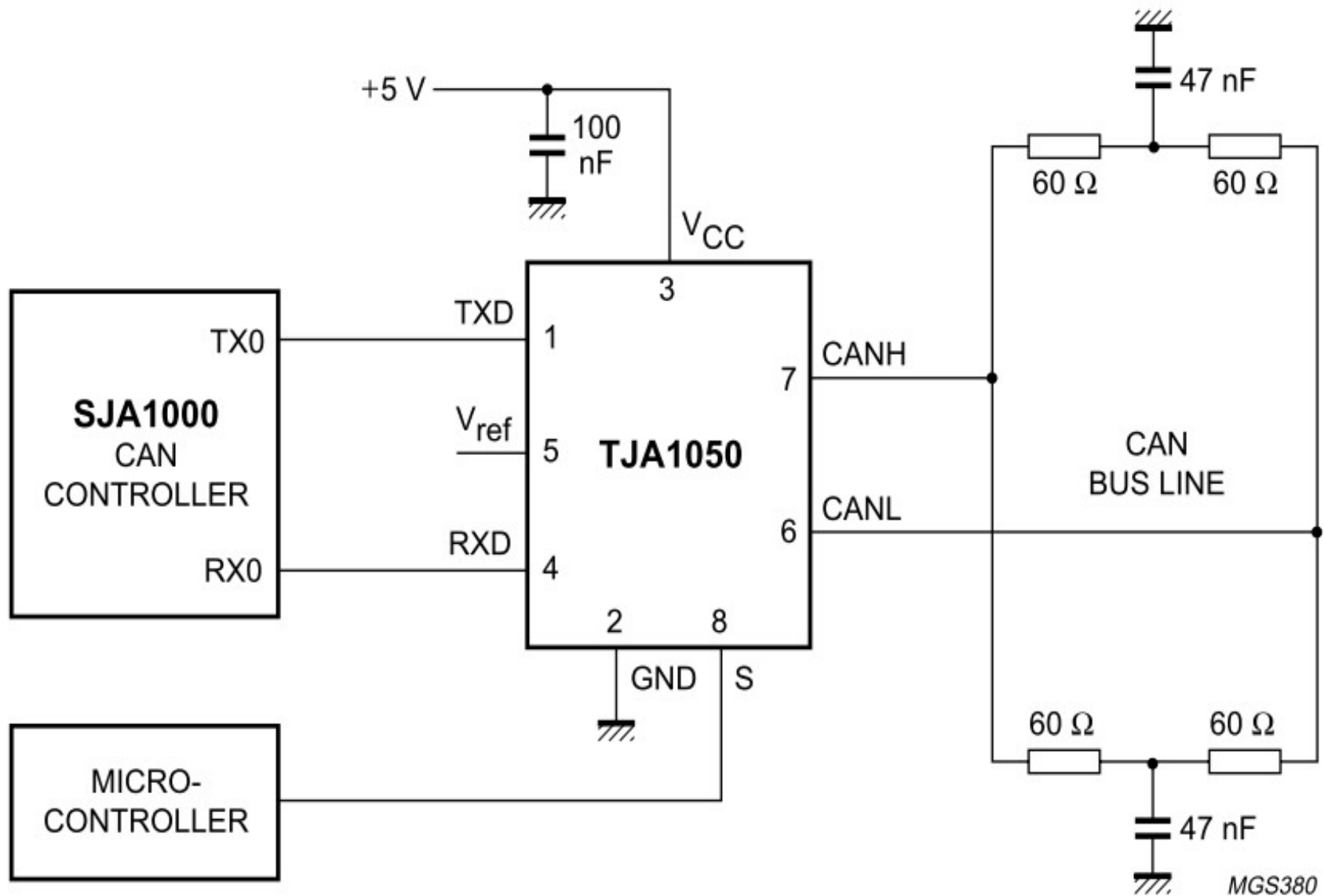
Másik példa: high speed transceiver

■ Fejlődések

- 5V-os vagy 3,3V-os
- Jobb EMC kompatibilitás (jobb jelalakformázás)
- Jobb zavarvédetség kikapcsolt módban
- Kontrollált idejű domináns állapot



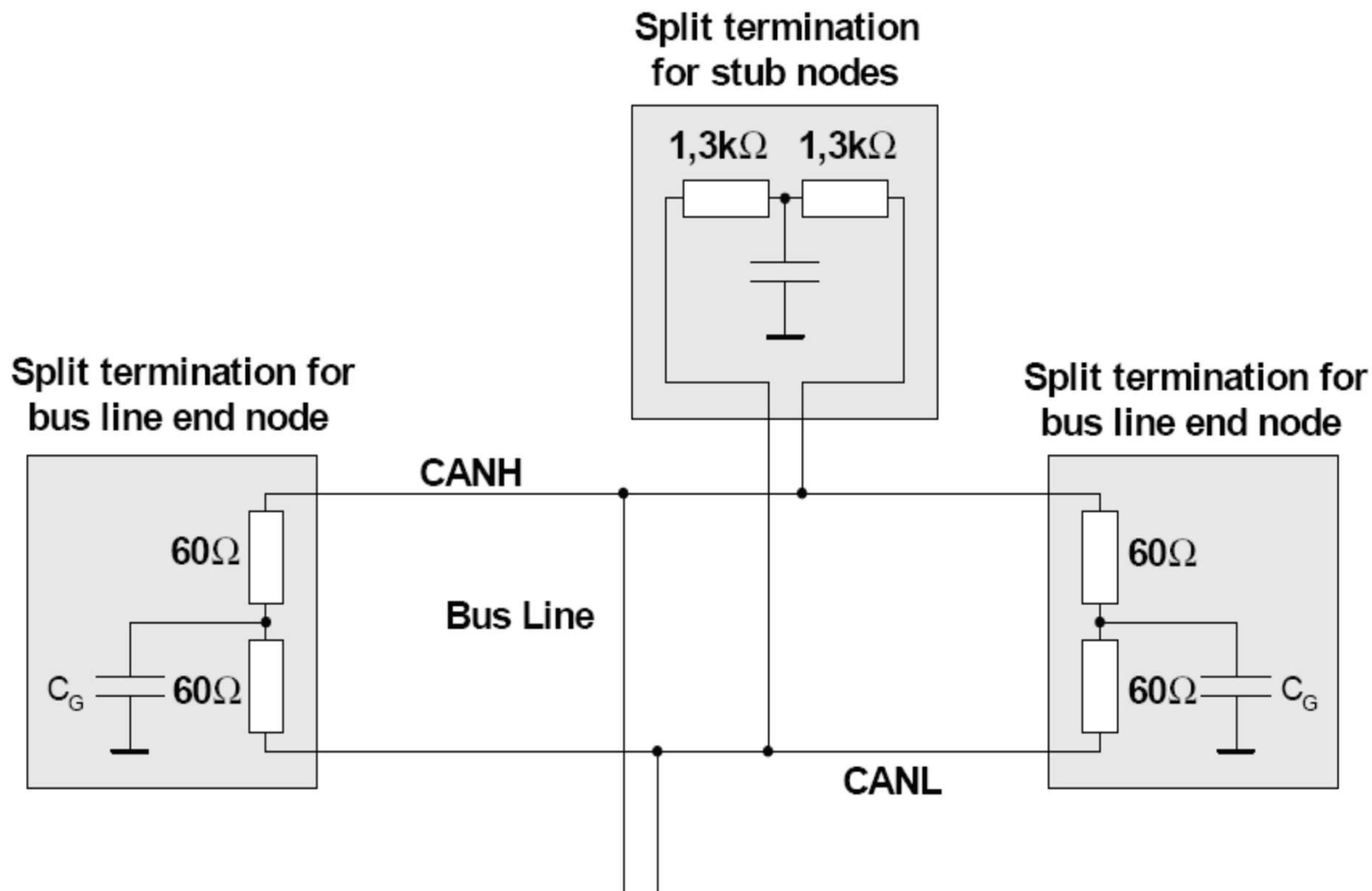




http://www.nxp.com/documents/data_sheet/TJA1050.pdf

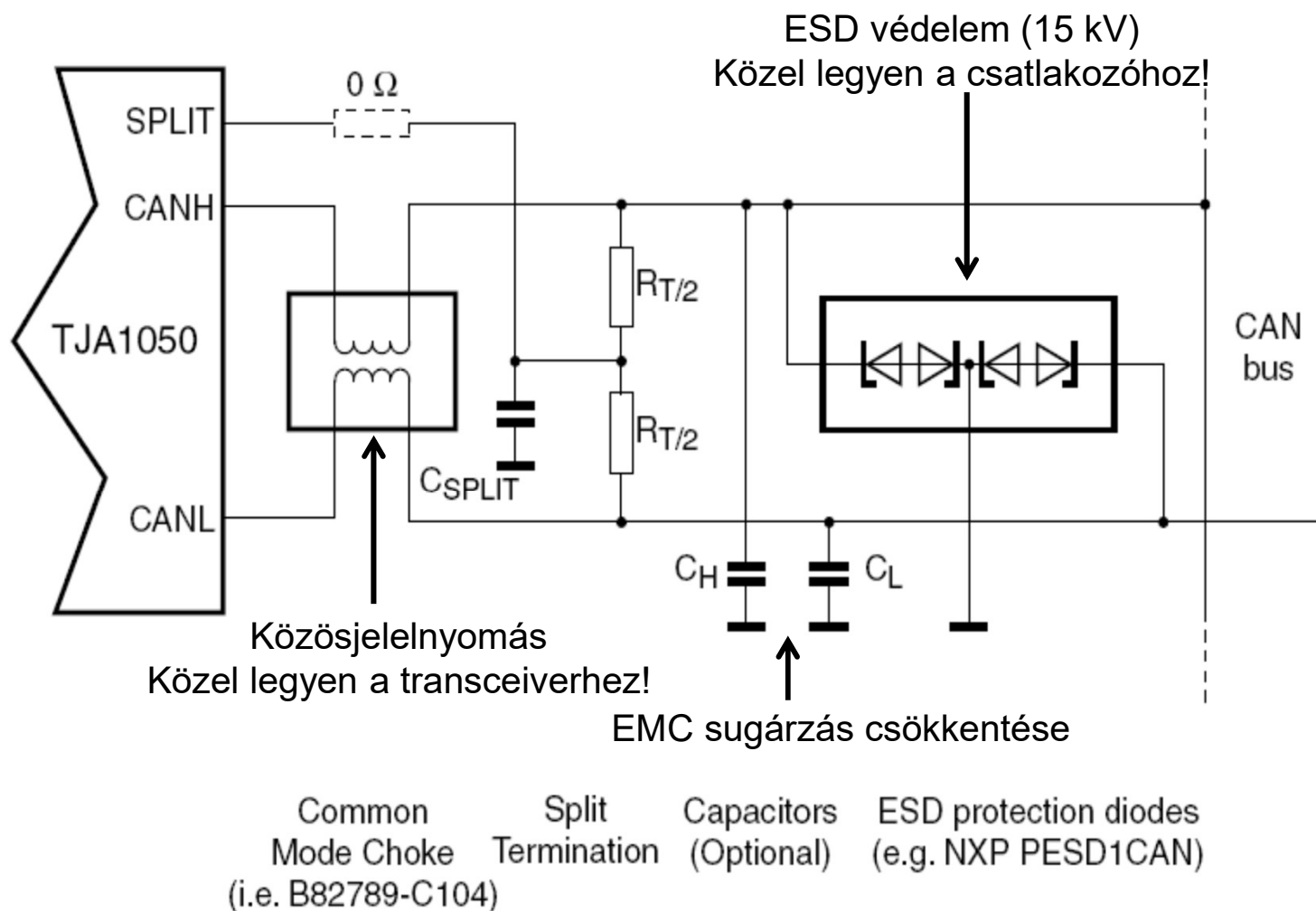
- Hullámimpedanciával
 - Meggátolja a reflexiókat.
 - Biztosítja a helyes DC feszültségszinteket.
 - Tipikus értéke: csavart érpárnál 100-120 ohm.

Split termination



http://www.nxp.com/documents/application_note/AN00020.pdf

Common mode choke + ESD protection



http://www.nxp.com/documents/application_note/AN00020.pdf