

Számítógépes Hálózatok 2007

4. Adatkapcsolati réteg – Hibafelismerés és javítás, Hamming távolság, blokk kódok

Adatkapcsolati réteg (Data Link Layer)

- Az adatkapcsolati réteg feladatai:
 - Szolgáltatásokat rendelkezésre bocsátani a hálózati rétegnek
 - Keretek (frames)
 - Hibafelügyelet
 - Folyamfelügyelet
- Hibafelismerés és javítás
 - Hibajavító kódok
 - Hibafelismerő kódok
- Elemi adatkapcsolati protokollok
 - Simplex
 - „Stop-and-Wait“
 - „Noisy Channel“
- Csúszó ablak (sliding window)
 - 1-Bit-Sliding Window
 - „Go Back N“
 - „Selective Repeat“
- Protokoll-verifikáció
 - Véges automaták
 - Petri hálók

Az adatkapcsolati réteg szolgáltatásai

- Az adatátviteli réteg szituációja
 - a fizikai réteg biteket visz át
 - struktúra nélkül és esetleg hibásan
- A hálózati réteg az adatkapcsolati rétegtől a következőket várja el:
 - hibamentes átvitel
 - strukturált adatok átvitele
 - adatcsomagok vagy adatáram
 - zavarmentes adatfolyam



Az adatkapcsolati réteg lehetséges szolgáltatásai

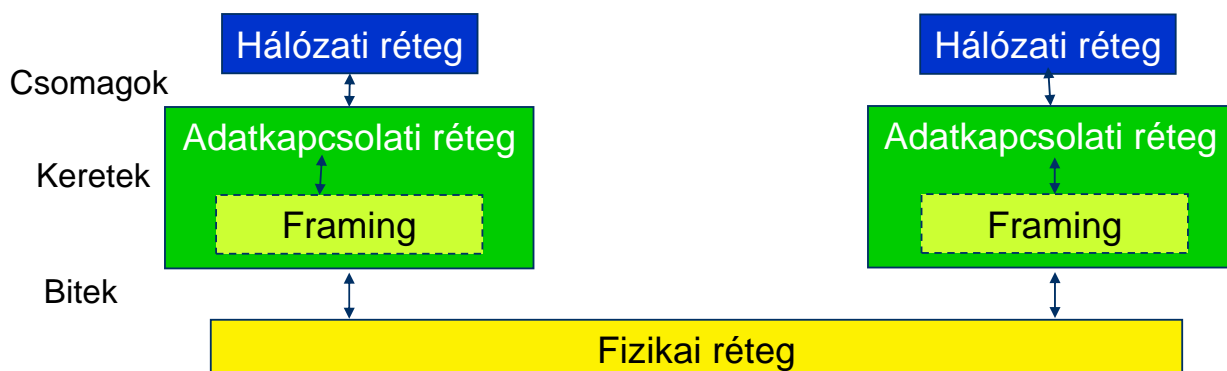
- Megbízható szolgáltatás?
 - A küldött és a fogadott csomagnak egyformának kell lenni
 - Minden elküldött csomagnak meg kell érkezni (valamikor)
 - A csomagoknak a megfelelő sorrendben kell megérkezni
 - **Hibafelügyelet** szükséges lehet
- Kapcsolat-orientált?
 - A pont-pont kapcsolat egy nagyobb összefüggésben van?
 - Kapcsolatnak foglalás szükséges?
- Csomagok vagy adatáram (bitáram)?

Megkülönböztetés: szolgáltatás és implementáció

- Példa
 - A hálózati réteg kapcsolatmentes és megbízható szolgáltatást követel
 - Az adatkapcsolati réteg **intern** kapcsolatorientált szolgáltatást használ hibakontrollal
- Más kombinációk lehetségesek

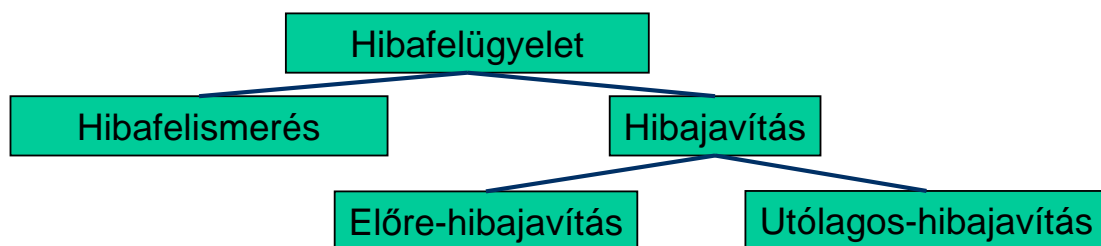
Keretek (frames)

- A fizikai réteg bitáramát darabokra, u.n. **keretekre (frames)** osztjuk
 - Szükséges a hibafelügyelethez
 - A keretek az adatkapcsolati réteg csomagjai
- Keretekre-osztás (fragmentálás és a fogadó oldalon defragmentálás) szükséges, ha a hálózati réteg csomagjai nagyobbak, mint a keretek



Hibafelügyelet

- Minimálisan megkövetelt szolgáltatás az adatkapcsolati rétegtől
 - Keretek segítségével
- Hibafelismerés: van-e hibásan átvitt bit
- Hibajavítás: bithibák megtisztítása
 - Előre-hibajavítás (Forward Error Correction)
 - Redundáns kód használata, amely újraátvitel nélkül lehetővé teszi a hiba kijavítását
 - Utólagos-hibajavítás (Backward Error Correction)
 - A hiba felismerése után a hiba utólagos kommunikációval kerül kijavításra



Kapcsolat felépítés

- Kapcsolatok használata
 - A kapcsolat állapotának felügyelete
 - Protokollok helyessége
 - Hibafelügyelet
 - Különböző hibafelügyeleti módszerek megbíznak a küldő és a fogadó közös kontextusában
- Kapcsolatok felépítése és befejezése
 - Virtuális kapcsolatok
 - A bit-áram interpretációja
 - Keretek által
 - Különösen fontos vezeték nélküli médiumok esetén
- A problémát a szállítói rétegnél átfogóan tárgyaljuk
 - L. OSI-modell ülés réteg

Folyamfelügyelet

- Probléma: gyors küldő és lassú fogadó
 - A küldő túlárasztja a fogadó pufferét
 - Az átvitel sávszélességét elpazarolják az értelmetlen újraküldések (a hibafelismerés után)



- Szükséges a keretküldési ráta hozzáigazítása a fogadóhoz

Keretek (frames)

- Hol kezdődik egy keret és hol ér véget?

Átvitt bit-áram: 0110010101110101110010100010101010101010101100010



keret kezdete?

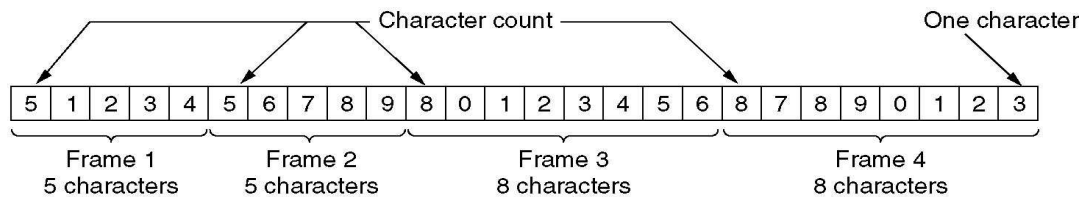


keret vége?

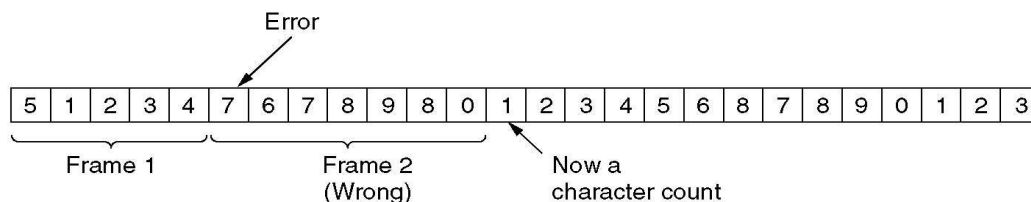
- Figyelem:
 - A fizikai réteg akkor is küldhet biteket, ha a küldő valójában semmit se küld
 - A fogadó
 - interpretálhatná a médium zaját
 - adhatná a 00000000.... sorozatot
 - adat vagy kontroll információ?

Kerethatárok hosszinformációval?

- Ötlet: A keret fejlécében jelezni a bitek számát

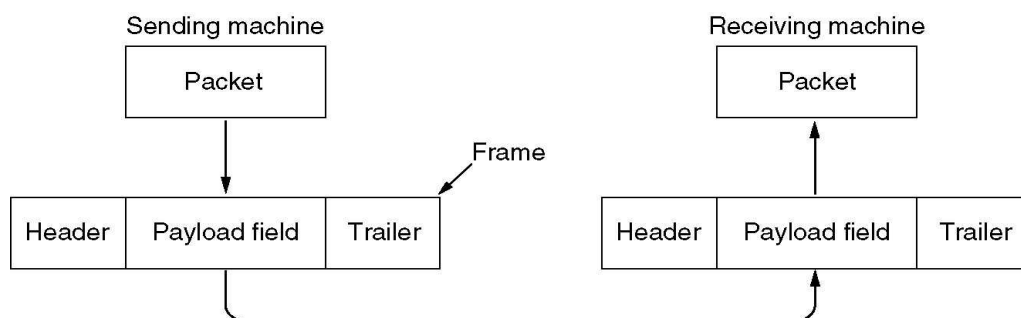


- Probléma: Mi történik, ha a keret hossza hibásan kerül átvitelre?
 - A fogadó elveszti az ütemet és új értelmetlen kereteket interpretál
- Változó keretméret hosszinformációval így nem jó koncepció



Fejléc és lezáró (header and trailer)

- Header és Trailer
 - legtöbbször a keret kezdetén használnak egy **Header**-t a végén pedig egy **Trailer**-t
 - jelzik a keret kezdetét és végét
 - kontrollinformációt hordoznak
 - Pl. küldő, fogadó, kerettípus, hibafelügyeleti információ



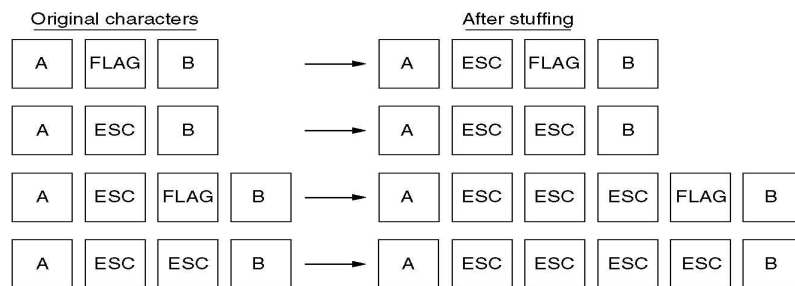
Flag byte és byte beszúrás (byte stuffing)

- Speciális “Flag Byte”-ok jelzik a keret kezdetét és végét



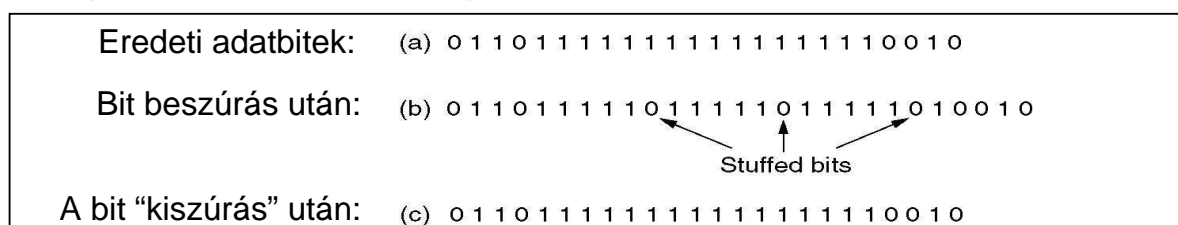
- **Byte beszúrás (byte stuffing):**

- Ha a „flag-byte” a küldendő adatok között előfordul, akkor
 - mint adatbyte-ot egy másik speciális jellel (Escape) kell jelezni
- Ha a másik speciális jel (Escape) a küldendő adatok között előfordul, azt is.



Keretek bit beszúrással (bit stuffing)

- Byte beszúrás egy byte-ot vesz elemi egységnek. Hasonló módszer működik a bitekkel is
- Flag bits és **bit beszúrás (bit stuffing)**
 - flag byte helyett egy bitsorozatot használunk, pl.: 01111110
 - bit beszúrás:
 - Ha a küldő öt 1-esből álló sorozatot küld, automatikusan beszúr a bit-áramba egy 0-t – a flag bit-ek kivételével
- A fogadó, ha öt 1-es után egy 0-t kap, törli a 0-t



Keretek kód megsértés által

- Lehetséges egy játéktér a bitek szignálokká kódolásával a fizikai rétegen
 - ha nem használja fel az összes lehetséges kombinációt a kódoláshoz
 - Pl.: a Manchester-kód csak a mély/magas és a magas/mély átmenetet használja
- A kódolási szabályok megsértésével lehet a keret kezdetét és végét jelezni
 - Pl.: Manchester – hozzáadjuk a magas/magas-t vagy a mély/mély-t
 - A Manchester önütemezése veszélybe kerül?
- Egyszerű és robusztus módszer
 - Például az Ethernet használja
 - Költség? A sáv szélesség hatékony felhasználása?

Hibafelügyelet

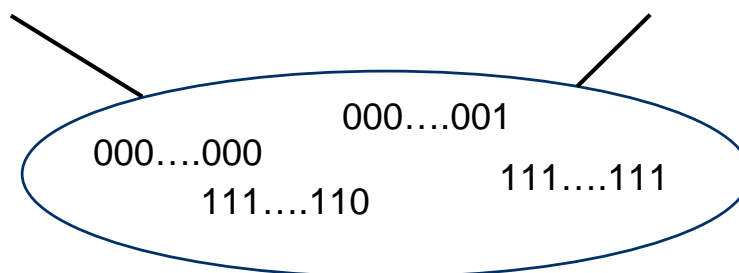
- Feladatok:
 - Hibák felismerése (hibás bitek) egy keretben
 - Hibák javítása egy keretben
- Ezen feladatok minden kombinációja előfordul
 - Felismerés javítás nélkül
 - Keret törlése további értesítés nélkül (drop a frame)
 - Magasabb rétegeknek kell a problémát kezelni
 - Javítás felismerés nélkül
 - Lehető legjobban megtisztítja a bithibákat, de esetleg még maradnak bithibák
 - Van értelme, ha a felhasználás a hibát tolerálni tudja
 - Pl.: Hangátvitel
 - Alapvetően létjogosult, mert mindig marad egy pozitív hiba valószínűség

Redundancia

- Redundancia előfeltétele a hibafelügyeletnek
- Redundancia nélkül
 - egy m hosszúságú keret 2^m féle lehetséges adatot reprezentálhat,
 - ezek mindegyike megengedett
- Egy hibás bit egy új adattartalmat eredményez

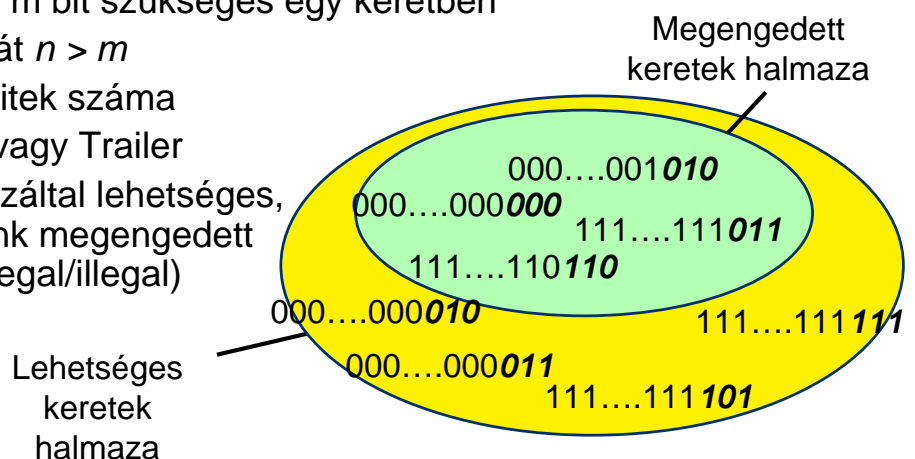
Megengedett keretek halmaza

Lehetséges keretek halmaza



Redundancia

- Alapötlet:
 - Bizonyos lehetséges m bit hosszú adatok nem megengedettek
 - Ekkor 2^m különböző adat ábrázolásához
 - több mint 2^m lehetséges keret szükséges
 - tehát több mint m bit szükséges egy keretben
 - A keret hossza tehát $n > m$
 - $r = n - m$ redundáns bitek száma
 - Pl. Header és/vagy Trailer
- Hibafelügyeletet csak azáltal lehetséges, hogy megkülönböztetünk megengedett és nem megengedett (legal/illegal) kereteket



Legegyszerűbb redundancia: paritás bit

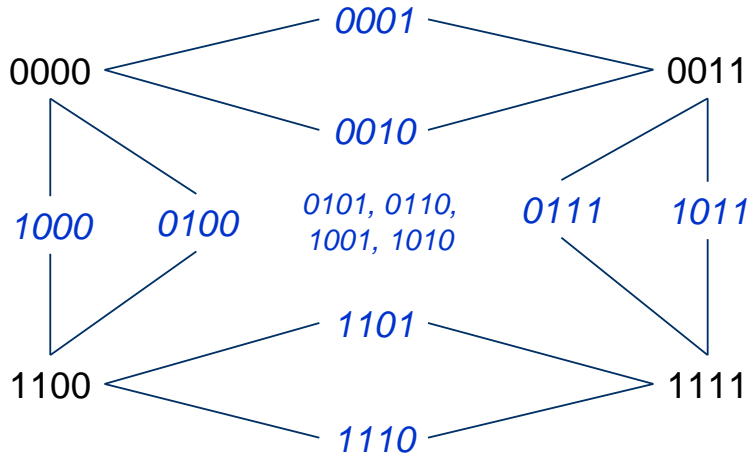
- Egy egyszerű szabály egy redundáns bit hozzáadására (azaz, $n=m+1$): a paritás
 - **Odd parity**
 - 0-t fűzünk be, ha az 1-es bitek száma páratlan, egyébként 1-est
 - **Even parity**
 - 0-t fűzünk be, ha az 1-es bitek száma páros, egyébként 1-est
- Példa:
 - Eredeti üzenet redundancia nélkül: 01101011001
 - Odd parity: 01101011001**1**
 - Even parity: 01101011001**0**

Nem megengedett keretek haszna

- A küldő csak megengedett kereteket küld
- A fizikai rétegben a bitek meghibásodhatnak
- Remény:
 - Megengedett keretek meghibásodása mindig nem megengedett keret eredményez
 - sohasem egy másik megengedett keretet
- Szükséges feltétel:
 - A fizikai rétegben csak legfeljebb bizonyos számú bit változhat meg
 - pl. $\leq k$ bit per keret
 - A megengedett keretek elegendően különbözőek ahhoz, hogy ezt a keret-hiba rátát felismerje

A keret megváltozása bit hiba által

- Tegyük fel, hogy a következő keretek megengedettek: 0000, 0011, 1100, 1111



Az élek olyan keret párokat kötnek össze, melyek csak egy bitben különböznek

$uvxy$ – megengedett $abcd$ – nem megengedett

Egy egyszerű bithiba nem tud egy megengedett keretet egy másik megengedett keretté változtatni!

Hamming távolság

- Az előző példában két megengedett üzenet "távolsága" egymástól legalább két bit volt

- Definíció:

Legyen $x=x_1, \dots, x_n$ és $y=y_1, \dots, y_n$ két üzenet

A **Hamming távolság** $d(x,y)$ = az 1-es bitek száma (x XOR y)-ban

- Intuitíven: azon pozíciók száma, amelyeken x és y különbözik
- A Hamming távolság egy metrika:

- Nem-negatív,
- idempotens,
- szimmetrikus,
- háromszögegyenlőtlenség

Példa: $x=0011010111$
 $y=0110100101$
 x XOR $y=0101110010$

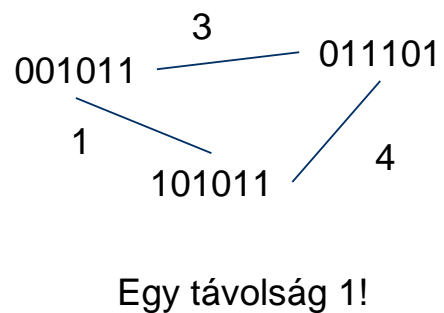
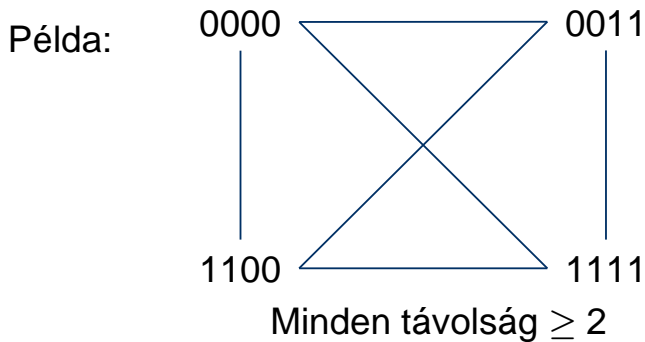
 $d(x,y) = 5$

Üzenethalmazok Hamming távolsága

- Legyen S (egyenlő hosszú) bit-sztringek halmaza. **S Hamming távolsága:**

$$d(S) = \min_{x,y \in S, x \neq y} d(x, y)$$

Azaz a legkisebb távolság két különböző S -beli bit-sztring között



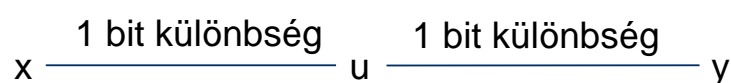
Hibafelismerés és javítás Hamming távolsággal

1. eset $d(S)=1$

- Nincs hibafelismerés
- Egy megengedett keretből 1 bit megváltozásával másik megengedett keret állhat elő

2. eset $d(S) = 2$

- Ekkor minden $x, y \in S: d(x, y) \geq 2$
- Így minden u , melyre $d(x, u) = 1$, nem megengedett,
 - mint ahogy minden u , melyre $d(y, u)=1$, se



- 1-bit-hiba
 - mindig felismerhető
 - de nem javítható

Hibafelismerés és javítás Hamming távolsággal

3. eset $d(S) = 3$

- Ekkor minden $x, y \in S : d(x, y) \geq 3$
- Minden u , melyre $d(x, u) = 1$, nem megengedett és $d(y, u) > 1$



- Ha a fogadóhoz u érkezik, a következő esetek lehetségesek:
 - x került átvitelre és 1 bit hibával érkezett
 - y került átvitelre és 2 bit hibával érkezett
 - valami más került átvitelre és legalább 2 bit hibával érkezett
- Tehát a valószínűbb, hogy x került átvitelre, mint az hogy y

Hibafelismerés és javítás Hamming távolsággal

- Ahhoz, hogy d bit hibát felismerjünk, a megengedett keretek halmazában legalább $d+1$ Hamming távolság szükséges

- Ahhoz, hogy d bit hibát javíthassunk, a megengedett keretek halmazában legalább $2d+1$ Hamming távolság szükséges

Kód-könyvek, kódok

- A megengedett keretek $S \subseteq \{0,1\}^n$ halmazát **kód-könyvnek** vagy egyszerűen **kódnak** nevezzük.
 - Definíció: Egy S **kód R_S rátája**: $R_S = \frac{\log |S|}{n}$
 - A ráta karakterizálja a kód hatékonyságát
 - Definíció: Egy S **kód δ_S távolsága**: $\delta_S = \frac{d(S)}{n}$
 - A távolság karakterizálja a hibajavítási vagy hibafelismerési lehetőségeket
- Jó kódoknak a rátája és a távolsága is nagy
 - trade-offs

Blokk kódok (block-codes)

- Blokk kódok k bites eredeti adatot n kódolt bitben kódolnak
 - $n-k$ bitet adunk hozzá
 - Bináris blokk kódok legfeljebb t hibát tudnak felismerni egy n hosszú kód-szóban (keretben) k eredeti bittel, ahol (Gilbert-Varshamov-korlát):

$$2^{n-k} \geq \sum_{i=0}^t \binom{n}{i}$$

- Ez egy elméleti felső korlát
 - Nem minden t, k és n esetén ismert vagy lehetséges ilyen kód
- Példák
 - Bose Chaudhuri Hocquenghem (BCH) kódok
 - Véges testek (Galois-testek) polinómjaira alapulnak
 - Reed Solomon kódok
 - Nem bináris BCH kódok speciális esete