

# Számítógépes Hálózatok 2013

## 3. 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

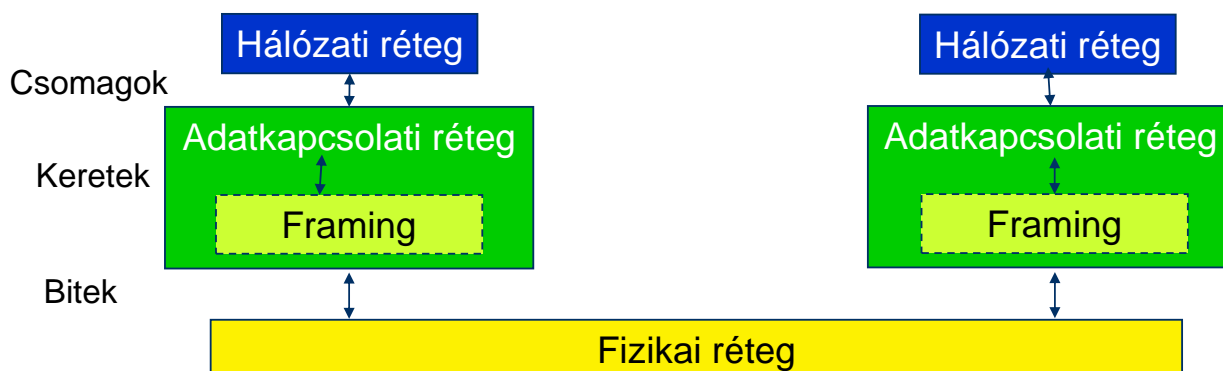
- Megbízható szolgáltatás?
  - A küldött és a fogadott csomagnak egyformának kell lenni
  - Minden elküldött csomagnak meg kell érkezni (valamikor)
  - A csomagoknak a megfelelő sorrendben kell megérkezni
  - **Hibafelügyelet** szükséges lehet
- Kapcsolat-orientált?
  - A pont-pont kapcsolat egy nagyobb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

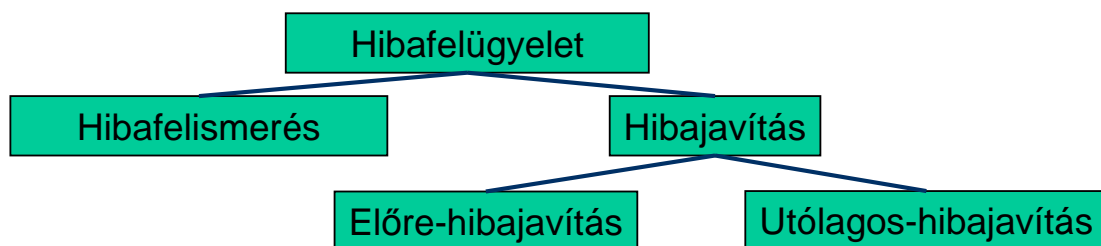
## Keretek (frames)

- 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?

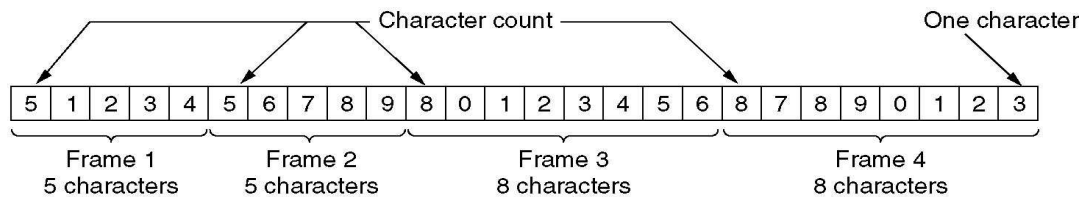


keret vége?

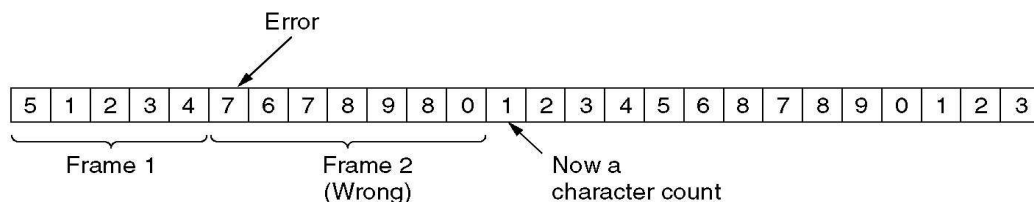
- Figyelem:
  - A fizikai réteg akkor is küldhet biteket, ha a küldő valójában semmit se küld
  - A fogadó
    - interpretálhatná a médium zaját
    - adhatná a 00000000.... sorozatot
      - adat vagy kontroll információ?

## Kerethatárok hosszinformációval?

- Ötlet: A keret fejlécében jelezni a bitek számát

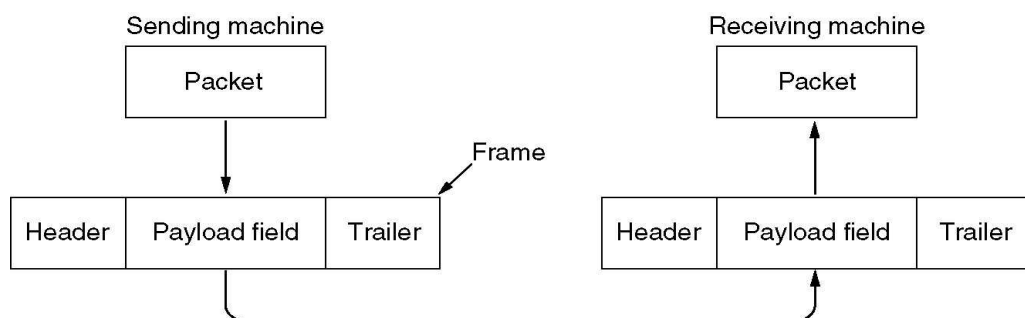


- Probléma: Mi történik, ha a keret hossza hibásan kerül átvitelre?
  - A fogadó elveszti az ütemet és új értelmetlen kereteket interpretál
- Változó keretméret hosszinformációval így nem jó koncepció



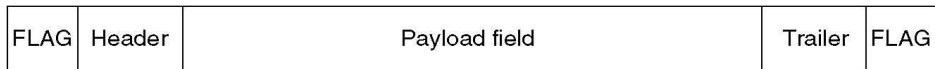
## Fejléc és lezáró (header and trailer)

- 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



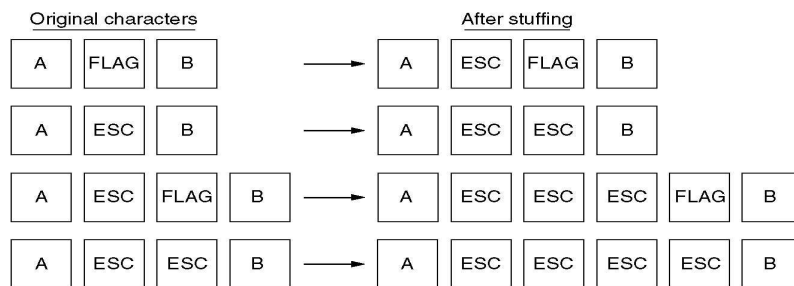
## Flag byte és byte beszúrás (byte stuffing)

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



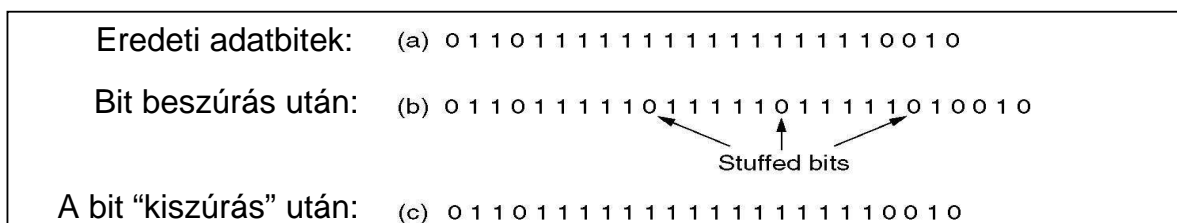
- **Byte beszúrás (byte stuffing):**

- 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 sávzélesség 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

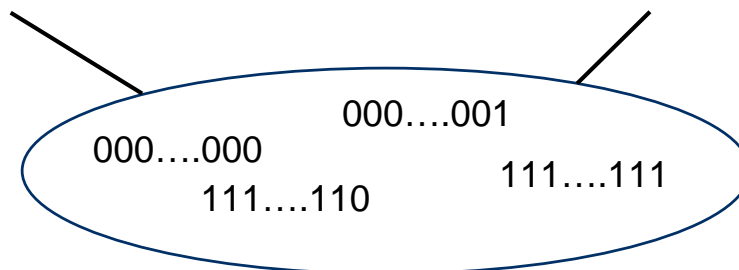


## Redundancia

- 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

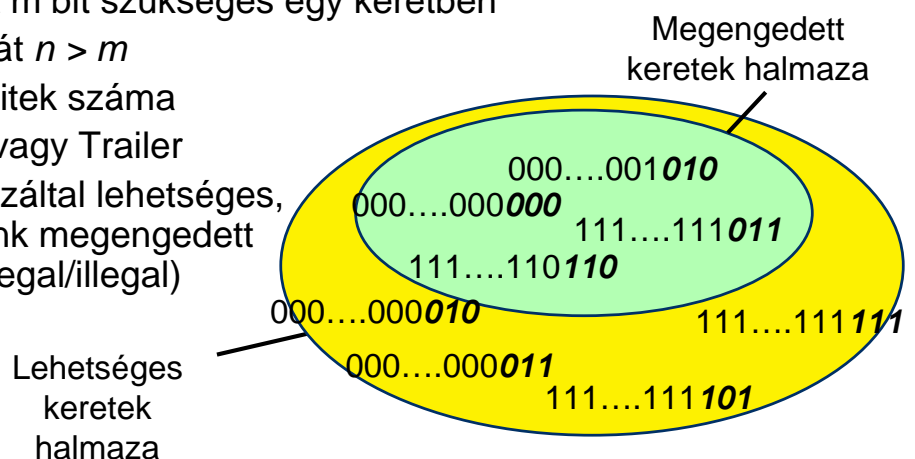
Megengedett keretek halmaza

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

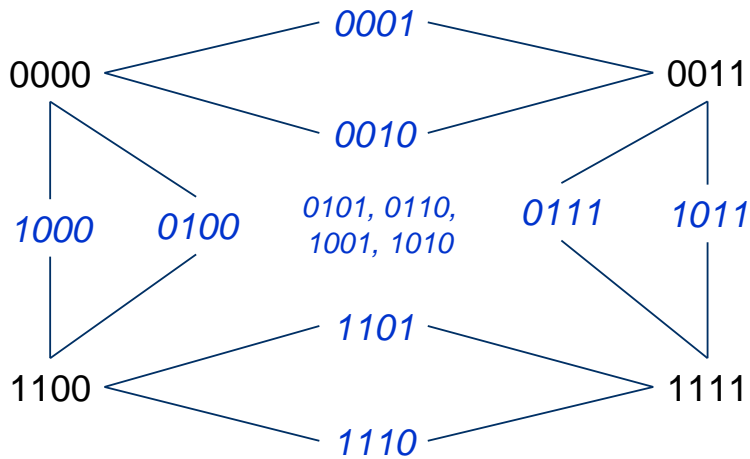
- Egy egyszerű szabály egy redundáns bit hozzáadására (azaz,  $n=m+1$ ): a paritás
  - **Odd parity**
    - 0-t fűzünk be, ha az 1-es bitek száma páratlan, egyébként 1-est
  - **Even parity**
    - 0-t fűzünk be, ha az 1-es bitek száma páros, egyébként 1-est
- Példa:
  - Eredeti üzenet redundancia nélkül: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

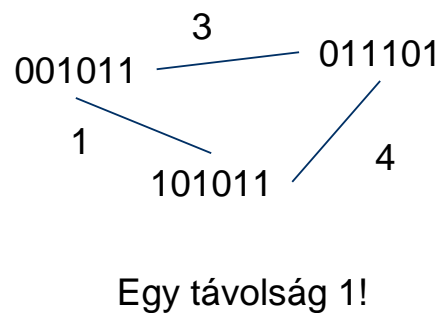
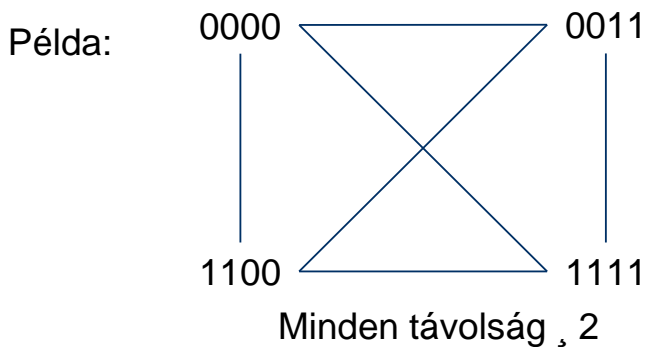
Példa:             $x=0011010111$   
                       $y=0110100101$   
                       $x$  XOR  $y=0101110010$   
  
                           $d(x,y) = 5$

## 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



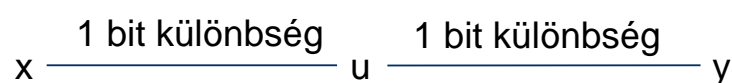
## Hibafelismerés és javítás Hamming távolsággal

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  $\delta_S$  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

- 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) polinomjain alapulnak
  - Reed Solomon kódok
    - Nem bináris BCH kódok speciális esete