Számítógépes Hálózatok 2008

5. Adatkapcsolati réteg – CRC, utólagos hibajavítás

Hibafelismerés: CRC

- Hatékony hibafelismerés: Cyclic Redundancy Check (CRC)
- A gyakorlatban gyakran használt kód
  - Nagy hibafelismerési ráta
  - Hardware megvalósítás egyszerű
- Polinóm aritmetikán alapul a 2-es maradékosztályok (Z_2) testén
  - A jelsorozatotokat polinómnak tekintjük
  - A bitek a polinóm együtthatói

Számolás Z_2-ben

- Számolás modulo 2:
- Szabályok:
  - összeadás mod 2

A	B	A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

  kivonás mod 2

A	B	A - B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

  szorzás mod 2

A	B	A · B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

  - Példa: 0110111011
    + 1101010110
    = 1011101101

Polinóm aritmetika modulo 2

- Tekintsük a polinómokat Z_2 maradékosztály test fölött
  - $p(x) = a_n \cdot x^n + \ldots + a_1 x^1 + a_0$
  - Az a_i együtthatók és az x változók $\in \{0,1\}$
  - A számítás modulo 2 történik
- Polinómok összeadása, kivonása, szorzása, (maradékos) osztása, mint ahogy ismerjük

Bit sztringek és Z_2 feletti polinómok

- Ötlet:
  - Tekintsük az n hosszúságú bit sztringet mint egy polinóm együtthatóit

- Bit sztring: $b_n b_{n-1} \ldots b_1 b_0$
  Polinóm: $b_n \cdot x^n + \ldots + b_1 \cdot x^1 + b_0$
  - Egy (n+1) bitből álló bit sztring megfelel egy n-ed fokú polinómnak

- Példa
  - A xor B = A(x) + B(x)
  - Ha A-t k pozícióval balra toljuk (shift), ez a következőnek felel meg:
    - $C(x) = A(x)\ x^k$
- Ezt az izomorfizmust használva tudunk bit sztringekkel osztani

Maradékos osztás bitsztingekkel

- Példa:
- 1101010101 : 1001 = 1100110 maradék 11

```
1001
 1000
 1001
  001101
     1001
      1000
      1001
       0011
```

Redundancia polinómok által: CRC

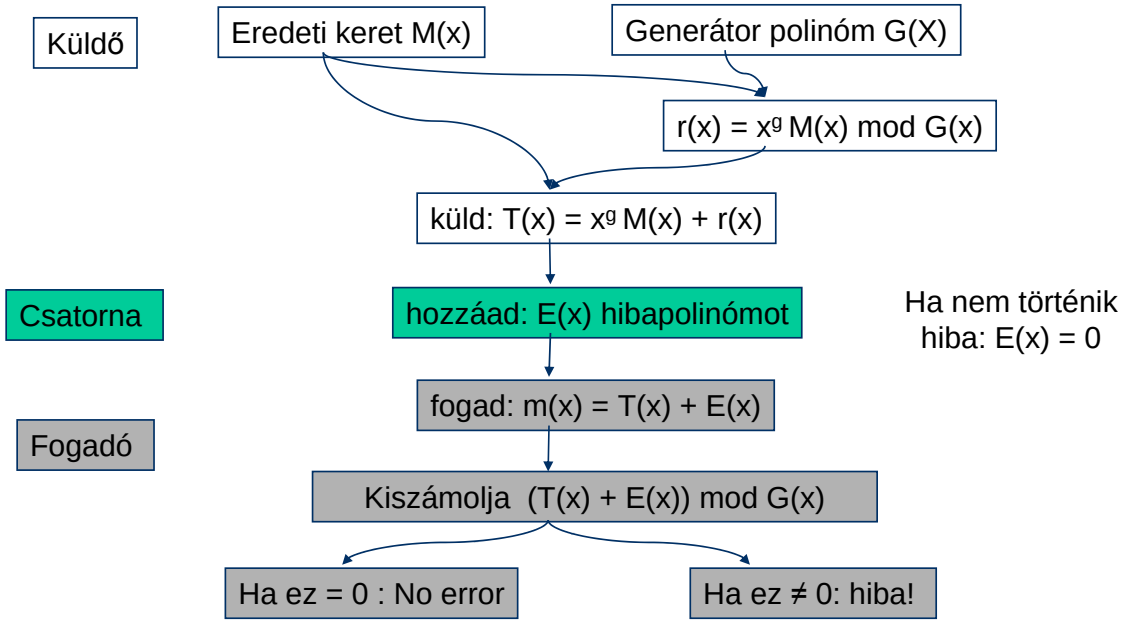
- Definiáljunk egy G(x) generatorpolinómot, melynek a foka *g*
  - G(x) a küldő és a fogadó által ismert
  - g redundáns bitet generálunk
- Adott:
  - Keret (frame, üzenet) M, mint M(x) polinom
- Küldő
  - Kiszámolja az osztás maradékát $r(x) = x^g M(x) \bmod G(x)$
  - Átvitelre kerül: $T(x) = x^g M(x) + r(x)$
    - Figyeljük meg: $x^g M(x) + r(x)$ többszöröse G(x)-nek
- Fogadó
  - m(x)-et fogad
  - Kiszámítja a maradékot: m(x) mod G(x)

CRC Átvitel

- Ha nem történt hiba:
  - T(x) fogadása korrekt
- Bithiba: T(x) tartalmaz megváltoztatott bitet
  - Ez ekvivalens egy E(x) hibapolinóm hozzáadásához
  - A fogadóhoz m(x) = T(x) + E(x) érkezik
- Fogadó
  - Kiszámítja m(x) mod G(x) maradékot
  - Ha nincs hiba: m(x) = T(x),
    - Ekkor a maradék 0
  - Bit hibák: $m(x) \bmod G(x) = (T(x) + E(x)) \bmod G(x)$

$$= \underbrace{T(x) \bmod G(x)}_{0} + \underbrace{E(x) \bmod G(x)}_{\text{hibaindikátor}}$$

CRC – Áttekintés



A generator meghatározza a CRC tulajdonságait

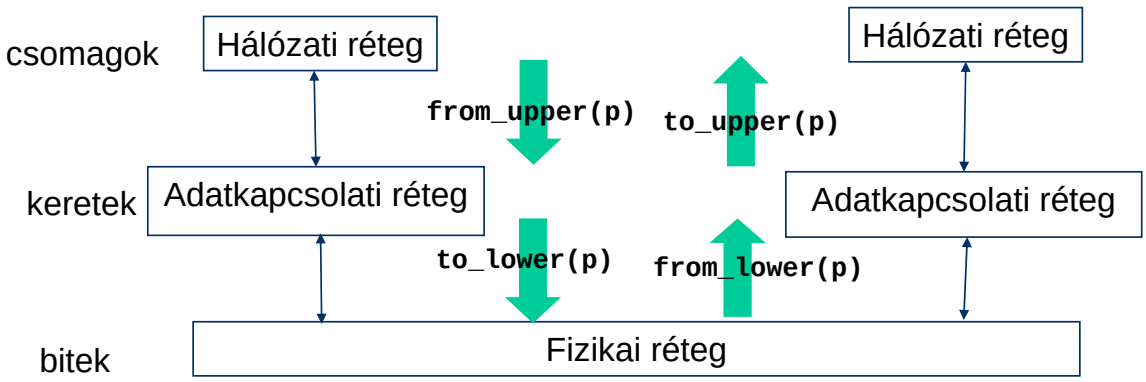
- A bit-hibákat csak akkor nem ismerjük fel, ha E(x) többszöröse G(x)-nek
- G(x) választásának trükkjei:
  - 1-bit-hiba: $E(x) = x^i$ hiba az i-edik pozíción
    - Ha G(x) legalább 2 nem nulla együthatót tartalmaz, akkor E(x) nem többszörös
  - 2-bit-hiba: $E(x) = x^i + x^j = x^j (x^{i-j} + 1)$, ahol i>j
    - G(x) nem szabad, hogy osztója legyen $(x^h + 1)$-nek semmilyen h-ra, $0 \leq h \leq k$, a maximális kerethosszig,
  - Páratlan számú hiba:
    - Ekkor E(x) nem többszöröse (x+1)-nek
    - Ötlet: legyen (x+1) osztója G(x)-nek
      - ekkor E(x) nem többszöröse G(x)-nek
- G(x) okos megválasztásával minden r hosszú hibasorozat (burst) felismerhető

CRC a gyakorlatban

- Az IEEE 802.3 (Ethernet) standardban felhasznált generátor polinóm (CRC-32):
  - $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$
- Figyelem:
  - Hiba még mindig lehetséges
  - Különösen, ha a bithibáknak megfelelő E(x) többszöröse G(x)-nek.
- Implementáció:
  - Egyszerű XOR-operáció
  - HW implementácó: shift-register

Utólagos hibajavítás

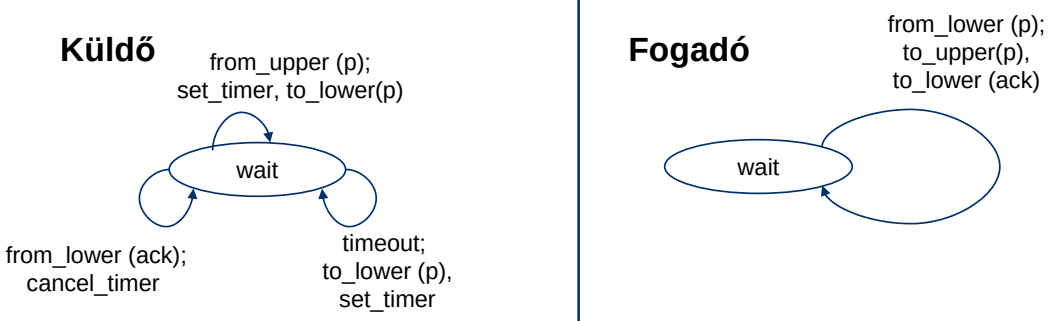
- A hiba felismerésekor a keretet újra kell küldeni
- Hogy néz ki a küldő és a fogadó összehangolt munkája?



`to_lower`, `from_lower` tartalamzzák a CRC-t vagy (szükség esetén) utólagos hibajavítást

Egyszerű simplex protokoll nyugtákkal

- Simplex üzemmód: csomagok küldése csak egyirányú
- A fogadó nyugtázza a küldő csomagjait
  (ehhez fél-duplex fizikai csatorna elegendő)
  - A küldő vár egy bizonyos ideig a nyugtára (acknowledgment -- ACK)
  - Ha az idő lejárt, újraküldi a csomagot
- Első megoldási kisérlet:

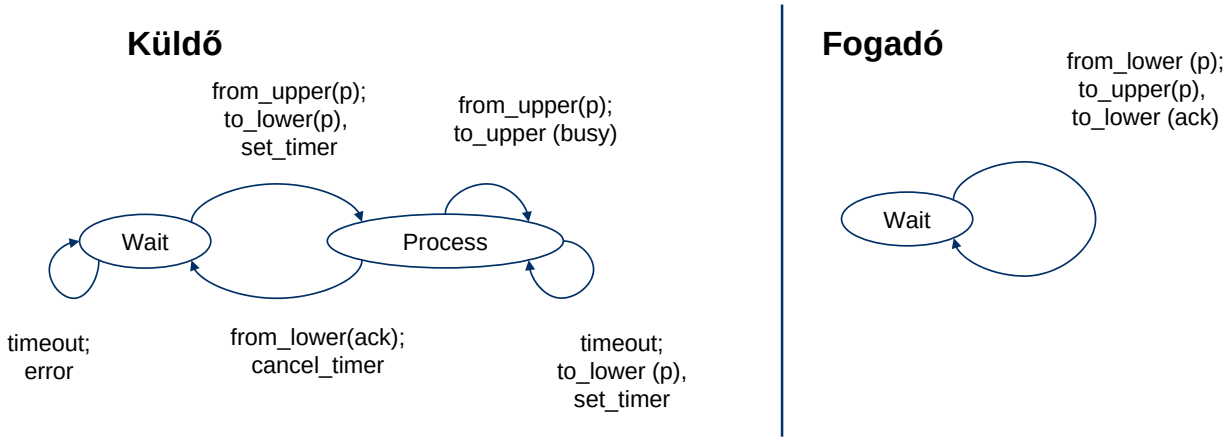


Elemzés

- Problémák
  - A felső réteg gyorsabban küldi a csomagokat, mint ahogy a nyugták megérkeznek
  - Mi történik, ha nyugták elvesznek

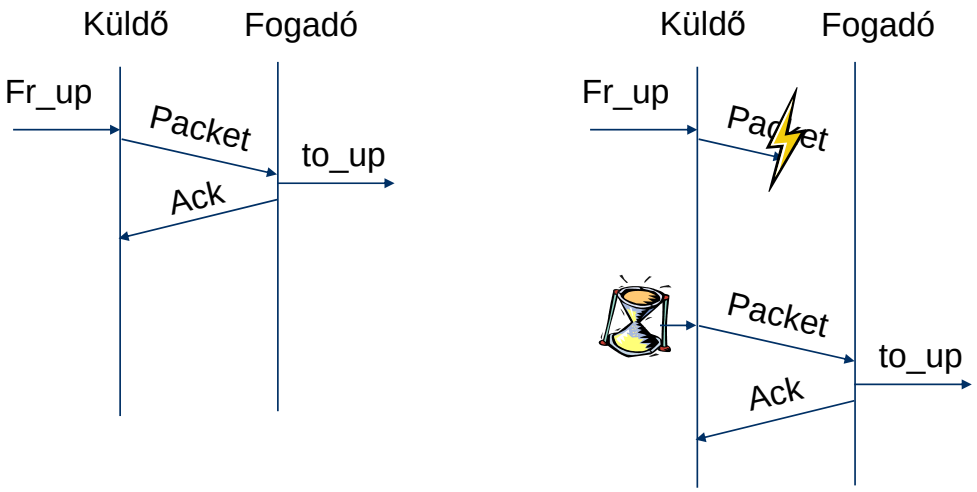
2. Kisérlet

- Az első probléma megoldása
  - Egy csomag a másik után



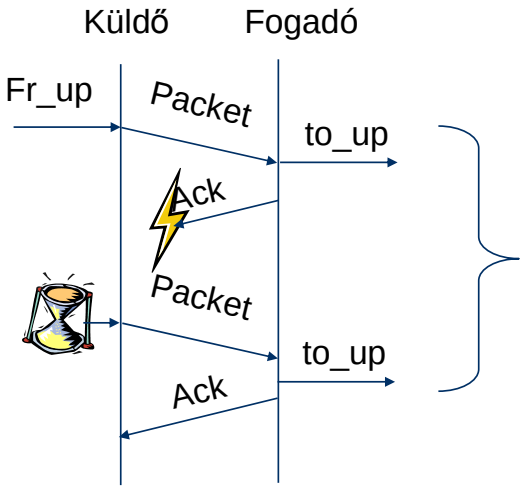
Elemzés

- A protokoll megvalósít egy elemi folyamfelügyeletet



Elemzés

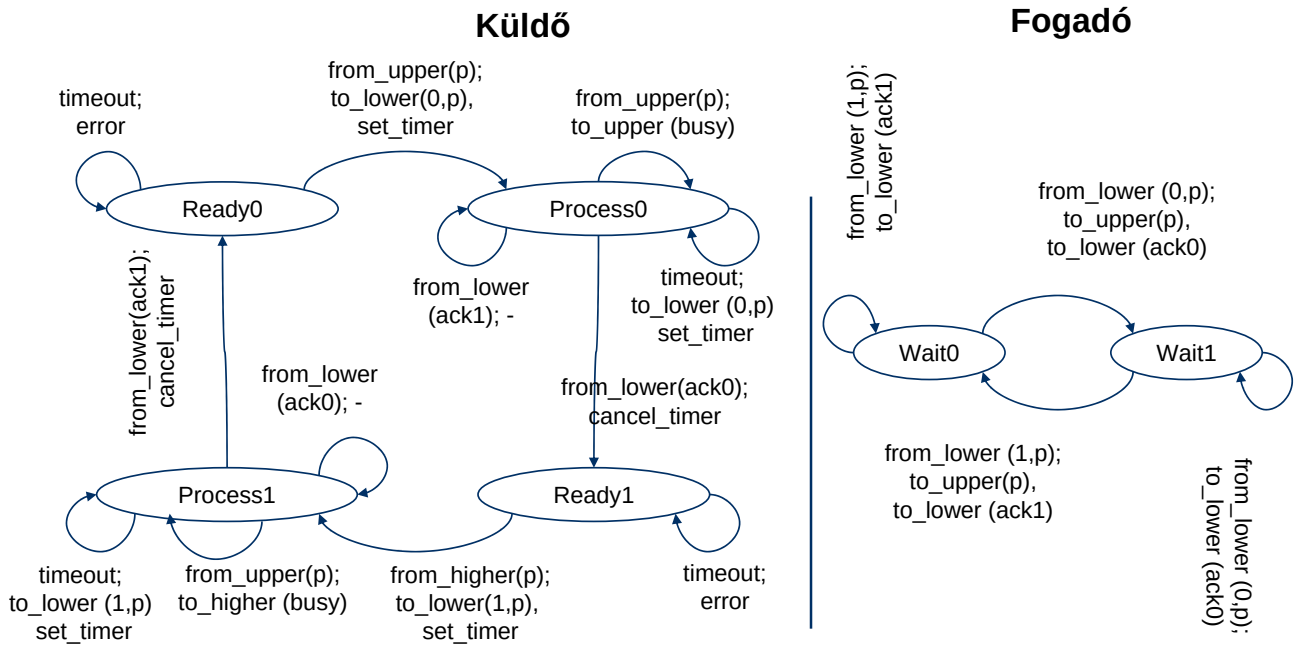
- 2. probléma: elveszik a nyugta



A 2. probléma (duplikátumok)

- A küldő nem tud különbséget tenni elveszett csomag és elveszett nyugta között
  - Újra kell küldeni a csomagot
- A fogadó nem tud különbséget tenni egy csomag és egy régi csomag redundáns másolata között
  - További információ szükséges
- Ötlet:
  - Minden csomagot ellátunk egy **sorszám**mal (**sequence number**), hogy a fogadónál az azonosítás lehetséges legyen
  - Minden csomag fejléce tartalmaz sorszámot
  - Itt: csak 0 vagy 1
- Szükséges a csomagban és a nyugtában
  - A nyugta az utolsó hibátlanul fogadott csomag sorszámát tartalmazza (tisztán konvenció)

3. kisérlet: nyugta és sorszám



3. kisérlet: alternáló bit protokoll (Alternating Bit Protocol)

- A 3. kisérlet egy zajos csatorna fölötti megbízható protokoll korrekt implementációja
  - Alternating Bit Protokoll
  - Az „Automatic Repeat reQuest (ARQ)” protokollok közé tartozik
  - Folyamfelügyelet egy egyszerű formáját is tartalmazza
- Egy nyugta két feladata
  - nyugtázni, hogy egy csomag megérkezett
  - engedélyezni egy új csomag küldését