

# Záróvizsga tételek

## 14. Alapvető algoritmusok

### Alapvető algoritmusok és adatszerkezetek

Függvények aszimptotikus viselkedése, algoritmusok hatékonysága. Összehasonlító rendezések (beszűrő, összefésülő, gyors- és kupacrendezés), maximális műveletigény alsó korlátja. Rendezés lineáris időben (bucket, leszámláló és radix rendezés). Adattömörítés (naiv, Huffman, LZW). Mintaillesztés (brute-force, quicksearch, KMP).

### 1 Függvények aszimptotikus viselkedése, algoritmusok hatékonysága

TODO

### 2 Összehasonlító rendező algoritmusok (buborék és beszűrő rendezés, ill. verseny, kupac, gyors és összefésülő rendezés)

Buborék- és beszűrő rendezés klasszikusak,  $n^2$ -es műveletigényűek, a többi hatékony,  $n \log(n)$ -es idejűek.

#### 2.1 Buborékredezés

A legnagyobb értéket cserékkel a végéig felbuborékozza, ezt minden ciklus végén elhagyjuk. A gyakorlatban nem használják.

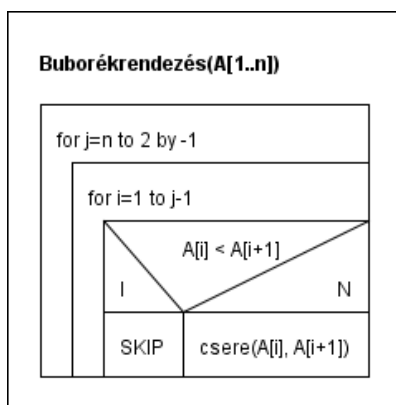


Figure 1: Buborékredezés

#### 2.2 Beszűrő rendezés

Kis  $n$ -re (kb 30) ez a rendezés a legjobb.

Itt az elemmozgatás mindig 1 értékadás (buborékredezésnél a csere 3 értékadás). Listára is implementálni lehet, ez esetben a pointereket állítjuk át, az elemek helyben maradnak.

$A[1..j]$  rendezett,  $j = 1..n$ .

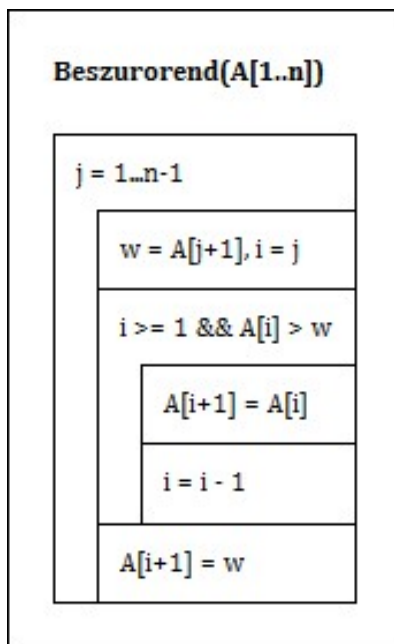


Figure 2: Beszúró rendezés

## 2.3 Versenyrendezés

Gyakorlatban nem használják.

Teljes bináris fa az alapja, egy versenyfa. Szintfolytonosan ábrázoljuk tömbösen.

1. A versenyfa kitöltése (a verseny lejátsszása). Maximum a gyökérben, ennek kiírása az outputra.
2.  $(n - 1)$ -szer
  - a) gyökérben szereplő maximális elem helyének megkeresése a levélszinten és  $-\infty$  írása a helyére
  - b) az egészet újrajátsszuk (azt az ágat, ahol volt)  $\rightarrow$  2. legjobb feljut a gyökérbe

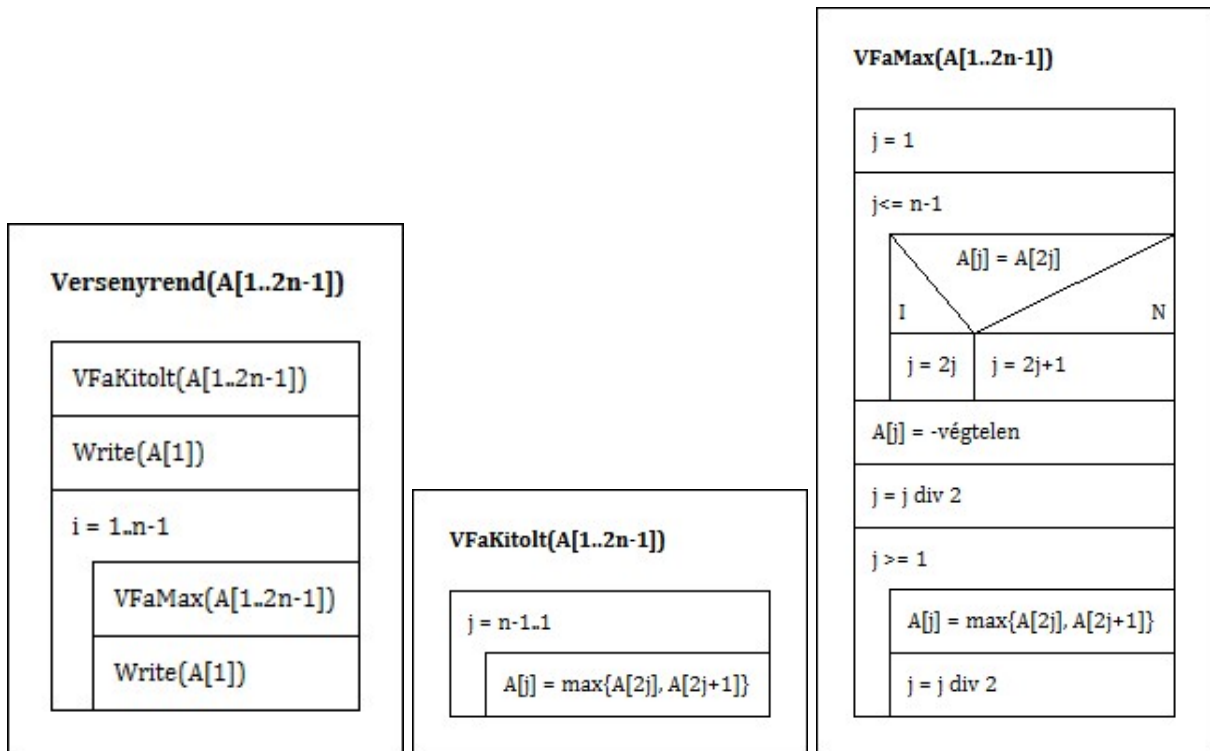


Figure 3: Versenyrendezés

## 2.4 Kupacrendezés

1. Kezdő kupac kialakítása. Rendezetlen input tömbből tartalmi invariánst készítünk, ami már kupac struktúrájú. Elv: cserékkel lesüllyesztjük az elemet a nagyobb gyerek irányába, ha kisebb a nagyobbik gyerekénél. A süllyesztés eljuthat ahhoz a csúcshoz, amelynek nincs jobb gyereke.
2.  $(n - 1)$ -szer
  - a) gyökérelem és az alsó szint jobb szélső (=utolsó) aktív elemének cseréje, és a csere után lekerült elem inaktívvá tétele
  - b) a gyökérbe került elem süllyesztése az aktív kupacon

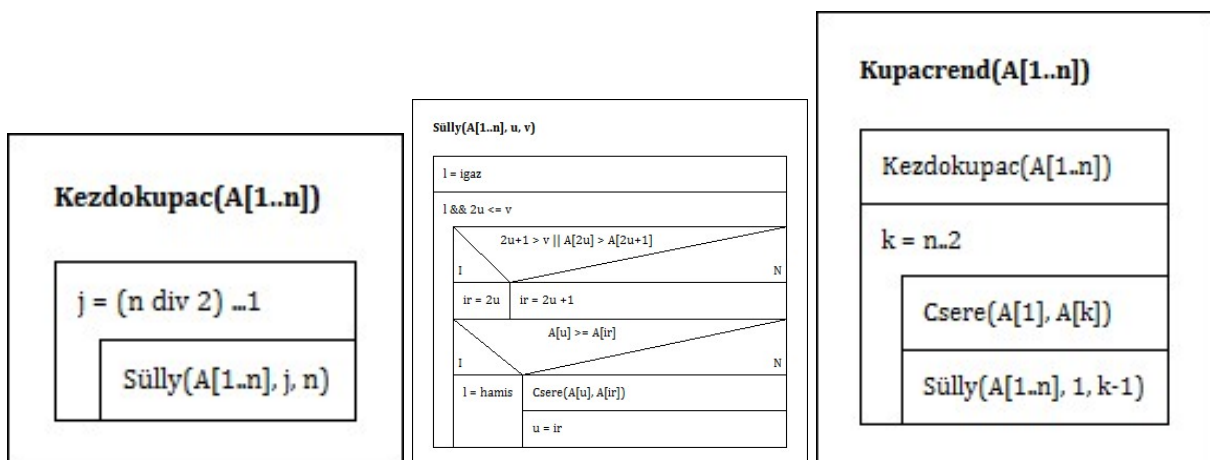


Figure 4: Kupacrendezés

A kezdőkupac kialakításánál, és a ciklus közben a süllyesztés módja kicsit különbözik, hiszen az első esetben a változó elem süllyed le a teljes kupacon, a másodikban a gyökér süllyed az aktív kupacon. A képen látható algoritmus mindkét műveletet teljesíti.

## 2.5 Gyorsrendezés

Elve: véletlenül választunk egy elemet. A nála kisebb elemeket tőle balra, a nagyobbakat jobbra rakjuk, az elemet berakjuk a két rész közé. Rekurzív algoritmus.

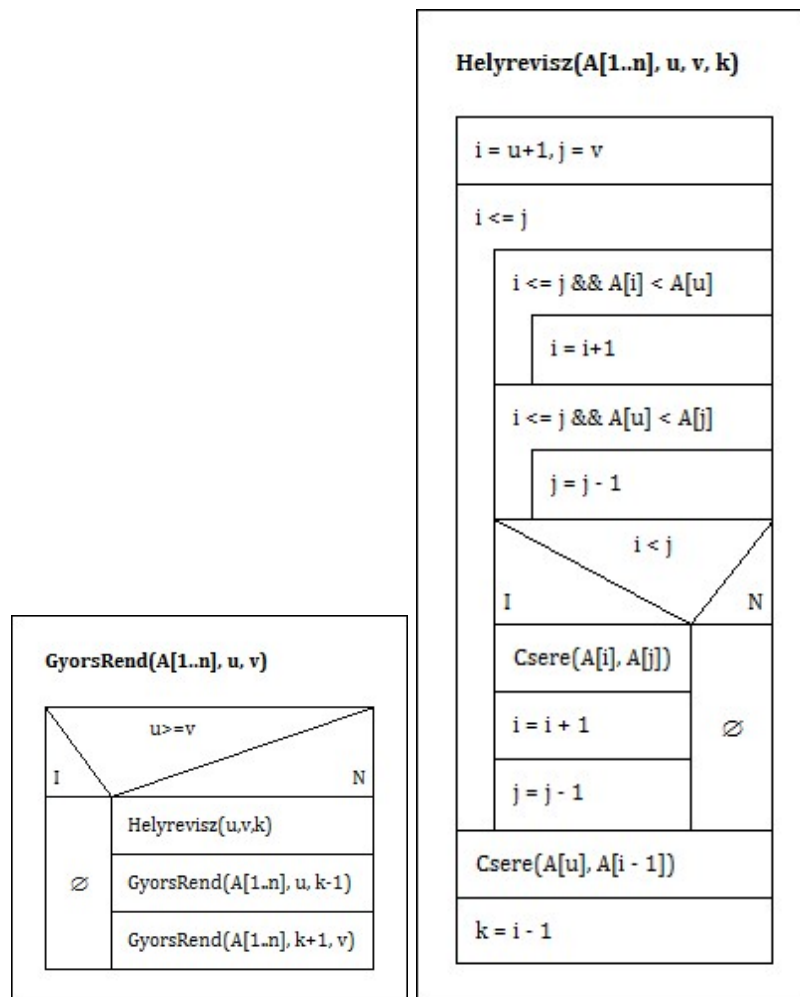


Figure 5: Gyorsrendezés

## 2.6 Összefésülő rendezés

Alapja: 2 rendezett sorozat összefésülése. Ezt alkalmazhatjuk felülről lefelé (rekurzív) vagy alulról felfelé (iteratív), ez utóbbit szekvenciális fájlknál.

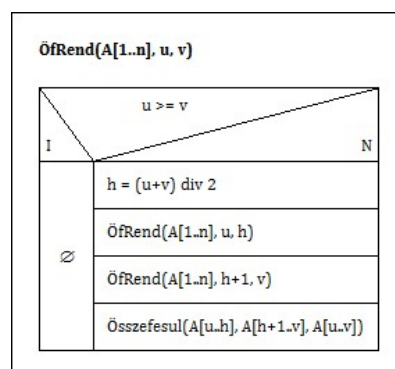


Figure 6: Összefésülő rendezés

### 3 A műveletigény alsó korlátja összehasonlító rendezésekre

#### 3.1 Műveletigény

Kijelöljük a domináns műveleteket, és az  $n$  inputméret függvényében hányszor hajtódnak végre, ezt nézzük. Jelölés általánosan  $T(n)$ , de lehet konkrétan is, pl  $Cs(n)$  [csere].  $mT(n)$  a minimális műveletigény,  $MT(n)$  a maximális és  $AT(n)$  az átlagos.

$\Theta$  : nagyságrendileg azonos, két konstans közé beszorítható

$\mathcal{O}$  : nagyságrendi felső becslés,  $\mathcal{o}$ : nincs megengedve az egyenlőség

$\Omega$  : nagyságrendi alsó becslés,  $\omega$ : nincs megengedve az egyenlőség

#### 3.2 Alsókorlát

Például:  $n$  elem maximumkiválasztása legalább  $(n - 1)$  összehasonlítást igényel. Bizonyítása: Ha ennél kevesebb összehasonlítás lenne, akkor legalább 1 elem kimaradt, és ezzel ellentmondásba kerülhetünk.

*Döntési fa*: Algoritmus  $n$  méretű inputra. Kiegyenesednek a ciklusok véges hosszú lánczá, a végrehajtás nyoma egy fa struktúrát ad. Tökéletes fa: minden belső pontnak 2 gyereke van. Ennél az algoritmusnál nincs jobb, mert  $2^{h(t)} \geq n!$ , összehasonlító rendezés esetén,  $n!$  input.

#### 3.3 Alsókorlát legrosszabb esetben

Tétel:  $MO_R(n) = \Omega(n \log n)$  A legkedvezőtlenebb permutációra legalább  $n \log n$  összehasonlítás. Bizonyítás:  $\log_2 n! \leq n \log_2 n = \Omega(n \log n)$ , és  $MO_R(n) = h(t) \geq \log_2 n!$  (lemma miatt)  $\Rightarrow MO_R(n) = \Omega(n \log n)$ .

#### 3.4 Alsókorlát átlagos esetben

Legyen minden input egyformán valószínű  $(\frac{1}{n!})$ .

$AO_R(n) = \frac{1}{n!} \sum_{p \in \text{Perm}(n)} O_R(p)$ , és könnyű belátni, hogy  $\sum_p O_R(p) = lsum(h(t_R(n)))$  [levél-magasság-összeg].

Lemma: Az  $n!$  levelet tartalmazó tökéletes fák közül azokra a legkisebb az  $lsum(h(t_R(n)))$  érték, amelyek majdnem teljesek.

Tétel:  $AO_R(n) = \Omega(n \log n)$ .

### 4 Rendezés lineáris időben (bucket-, leszámláló- és radix rendezés)

TODO

### 5 Adattömörítések

#### 5.1 Naiv adattömörítés

TODO

#### 5.2 Huffman-algoritmus

A Huffman-algoritmussal való tömörítés lényege, hogy a gyakrabban előforduló elemeket (karaktereket) rövidebb, míg a ritkábban előfordulókat hosszabb kódszavakkal kódoljuk.

Ehhez tisztában kell lennünk az egyes karakterek gyakoriságával (vagy relatív gyakoriságával). Ezek alapján egy ún. Huffman-fát építünk, melyben az éleket a kód betűivel címkézzük, a fa levelein a kódolandó betűk helyezkednek el, a gyökérből a levelekig vezető út címkéi alapján rajuk össze a kódszavakat.

Az algoritmus (spec. bináris Huffman fára):

1. A kódolandó szimbólumokat gyakoriságaik alapján sorba rendezzük.
2. A következő redukciós lépéseket addig hajtjuk végre, míg egy csoportunk marad.
3. Kiválasztjuk az utolsó két elemet (legritkább), összevonjuk őket egy új csoportba, és ennek a csoportnak a gyakorisága a gyakoriságok összege lesz.
4. A csoportot visszahelyezzük a rendezett sorba (gyakoriság alapján rendezve).
5. A csoportból új csúcsot képezünk, mely csúcs az öt alkotó két elem szülője lesz.

Példa:

Legyen a következő 5 betű, mely a megadott gyakorisággal fordul elő:

A	B	C	D	E
5	4	3	2	1

Ekkor a redukciós lépések a következők:

- |   |   |   |      |
|---|---|---|------|
| A | B | C | D, E |
| 5 | 4 | 3 | 3    |
- |         |   |   |
|---------|---|---|
| C, D, E | A | B |
| 6       | 5 | 4 |
- |      |         |
|------|---------|
| A, B | C, D, E |
| 9    | 6       |
- |               |
|---------------|
| A, B, C, D, E |
| 15            |

A huffman-fa a XY. ábrán látható.

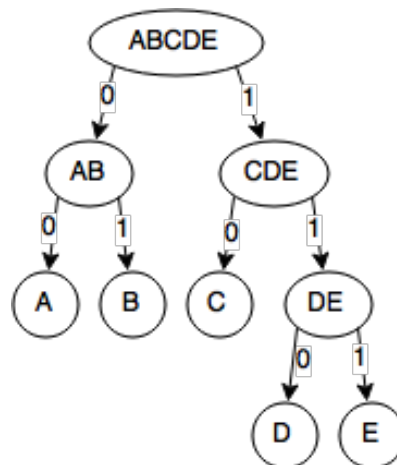


Figure 7: Huffman-fa példa

Tehát a kódszavak:

A	B	C	D	E
00	01	10	110	111

### 5.3 LZW-algoritmus

Az LZW (Lempel-Ziv-Welch) tömörítésnek a lényege, hogy egy szótárat bővítünk folyamatosan, és az egyes kódolandó szavakhoz szótárindexeket rendelünk.

## Kódolás

A kódolás algoritmus a következő lépésekből áll:

1. A szótárt inicializáljuk az összes 1 hosszú szóval
2. Kikeressük a szótárból a leghosszabb, jelenlegi inputtal összeillő  $W$  sztringet
3.  $W$  szótárindexét kiadjuk, és  $W$ -t eltávolítjuk az inputról
4. A  $W$  szó és az input következő szimbólumának konkatenációját felvesszük a szótárba
5. A 2. lépéstől ismételjük

## Dekódolás

A dekódolás során is építenünk kell a szótárat. Ezt már azonban csak a dekódolt szöveg(rész) segítségével tudjuk megtenni, mivel egy megkapott kód dekódolt szava és az utána lévő szó első karakteréből áll össze a szótár következő eleme.

Tehát a dekódolás lépései:

1. Kikeressük a kapott kódhoz tartozó szót a szótárból ( $u$ ), az output-ra rakjuk
2. Kikeressük a következő szót ( $v$ ) a szótárból, az első szimbólumát  $u$ -hoz konkatenálva a szótárba rakjuk a következő indexszel.
3. Amennyiben már nincs következő szó, dekódolunk, de nem írunk a szótárba.

Megtörténhet az az eset, hogy mégis kapunk olyan kódszót, mely még nincs benne a szótárban. Ez akkor fordulhat elő, ha a kódolásnál az aktuálisan szótárba írt szó következik.

Példa:

Szöveg: AAA

Szótár: A - 1

Ekkor a kódolásnál vesszük az első karaktert, a szótárbeli indexe 1, ezt kiküldjük az outputra. A következő karakter A, így AA-t beírjuk a szótárba 2-es indexszel. Az első karaktert töröljük az inputról. Addig olvasunk, míg szótárbeli egyezést találunk, így AA-t olvassuk (amit pont az előbb raktunk be), ennek indexe 2, tehát ezt küldjük az outputra. AA-t töröljük az inputról, és ezzel végeztünk is. Az output: 1,2

Dekódoljuk az 1,2 inputot! Jelenleg a szótárban csak A van 1-es indexszel. Vegyük az input első karakterét, az 1-et, ennek szótárbeli megfelelője A. Ezt tegyük az outputra. A következő index a 2, de ilyen bejegyzés még nem szerepel a szótárban.

Ebben az esetben a dekódolásnál, egy trükköt vetünk be. A szótárba írás pillanatában még nem ismert a beírandó szó utolsó karaktere (A példában A-t találtuk, de nem volt 2-es bejegyzés). Ekkor ?-et írunk a szótárba írandó szó utolsó karakterének helyére. (Tehát A? - 2 kerül a szótárba). De mostmár tudni lehet az új bejegyzés első betűjét ( A? - 2 az új bejegyzés, ennek első betűje A). Cseréljük le a ?-et erre a betűre. (Tehát AA - 2 lesz a szótárban).

## 6 Mintaillesztés

### 6.1 Brute-force mintaillesztés

TODO

## 6.2 Knuth-Morris-Pratt algoritmus

A Knuth-Morris-Pratt eljárásnak a Brute-Force (hasonlítsuk össze, toljunk egyet, stb..) módszerrel szemben az az előnye, hogy egyes esetekben, ha a mintában vannak ismétlődő elemek, akkor egy tolásnál akár több karakternyit is ugorhatunk.

...	A	B	A	B	A	B	A	C	...
	A	B	A	B	A	C			
			A	B	A	B	A	C	

Figure 8: KMP algoritmus több karakter tolás estén

Az ugrás megállapítását a következőképp tesszük: Az eddig megvizsgált egyező mintarész elején (prefix) és végén (suffix) olyan kartersorozatokat keresünk, melyek megegyeznek. Ha találunk ilyeneket, akkor a mintát annyival tolhatjuk, hogy az elején lévő része ráilleszkedjen a végén levőre.

Azt, hogy ez egyes esetekben mekkorát tolhatunk nem kell minden elromlás alkalmával vizsgálni. Ha a mintára önmagával lefuttatjuk az algoritmus egy módosított változatát (9. ábra), kitölthetünk egy tömböt, mely alapján a tolásokat végezni fogjuk.

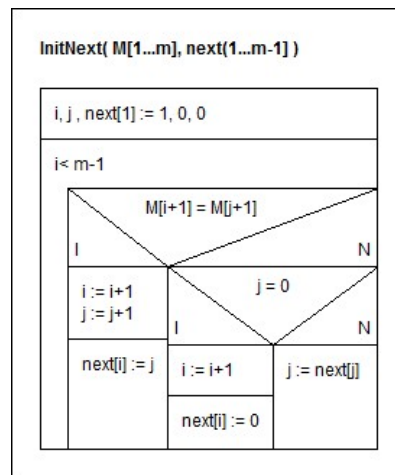


Figure 9: KMP tolásokat szabályzó tömb kitöltése

Az algoritmus (ld 10. ábra):

- Két indexet  $i$  és  $j$  futtatunk a szövegen illetve a mintán.
- Ha az  $i + 1$ -edik és  $j + 1$ -edik karakterek megegyeznek, akkor léptetjük mind a kettőt.
- Ha nem egyeznek meg, akkor:
  - Ha a minta első elemét vizsgáltuk, akkor egyet tolunk a mintán, magyarul a minta indexe marad az első betűn, és a szövegben lévő indexet növeljük eggyel ( $i = i + 1$ )
  - Ha nem a minta első elemét vizsgáltuk, akkor annyit tolunk, amennyit szabad. Ez azt jelenti, hogy csak a mintán lévő indexet helyezzük egy kisebb helyre ( $j = next[j]$ )
- Addig megyünk, míg vagy a minta, vagy a szöveg végére nem érünk. Ha a minta végére értünk, akkor megtaláltuk a mintát a szövegben, ha a szöveg végére értünk, akkor pedig nem.



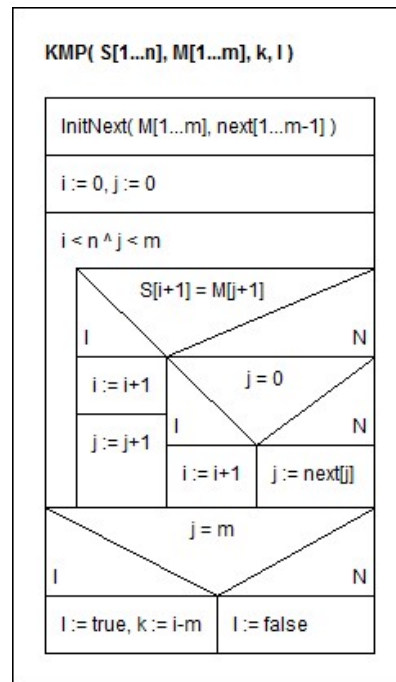


Figure 10: KMP algoritmus

### 6.3 Boyer-Moore | Quick search algoritmus

Míg a KMP algoritmus az elomlás helye előtti rész alapján döntött a tolásról, addig a QS a minta utáni karakter alapján. Tehát elomlás esetén:

- Ha a minta utáni karakter benne van a mintában, akkor jobbról az első előfordulására illesztjük. (11. ábra)

...	A	B	A	A	C	B	C	D	...
	A	A	C	B	C	D			
			A	A	C	B	C	D	

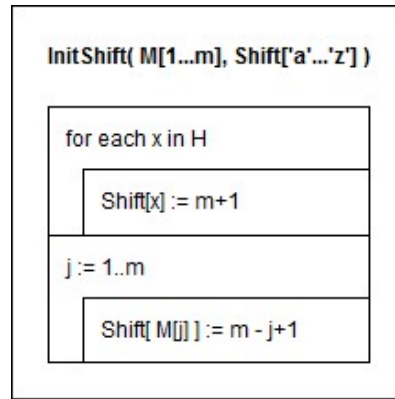
Figure 11: QS - eltolás ha a minta utáni karakter benne van a mintában

- Ha a minta utáni karakter nincs benne a mintában, akkor a mintát ezen karakter után illesztjük. (12. ábra)

...	A	B	A	A	C	B	X	D	...				
	A	A	C	B	C	D							
								A	A	C	B	C	D

Figure 12: QS - eltolás ha a minta utáni karakter nincs benne a mintában

Az eltolás kiszámítását megint elő lehet segíteni egy tömbbel, most azonban, mivel nem a minta az érdekes, és nem tudjuk pontosan mely karakterek szerepelnek a szövegben, így a tömbbe az egész abc-t fel kell vennünk (13. ábra)

Figure 13: QS - Az eltolást elősegítő tömb (*Shift*['a'...'z']) konstruálása

Az algoritmus (ld. 14. ábra):

- Két indexet  $k$  és  $j$  futtatunk a szövegen illetve a mintán.
- Ha a szöveg  $k + j$ -edik eleme megegyezik a minta  $j$ -edik karakterével, akkor léptetjük  $j$ -t (mivel a szövegben  $k + j$ -edik elemet nézzük, így elég  $j$ -t növelni).
- Ha nem egyeznek meg, akkor:
  - Ha a minta már a szöveg végén van ( $k = n - m$ ), akkor csak növeljük  $k$ -t eggyel, ami hamissá teszi a ciklus feltételt.
  - Ha még nem vagyunk a szöveg végén  $k$ -t toljuk annyival, amennyivel lehet (ezt az előre beállított *Shift* tömb határozza meg). És a  $j$ -t visszaállítjuk 1-re.
- Addig megyünk, míg vagy a minta végére érünk  $j$ -vel, vagy a mintát továbbtoltuk a szöveg végénél. Előbbi esetben egyezést találtunk, míg az utóbbiban nem.

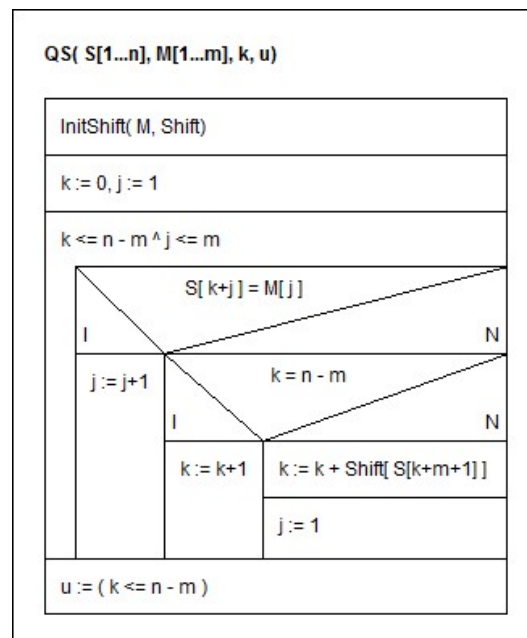


Figure 14: QS

## 6.4 Rabin-Karp algoritmus

A Rabin-Karp algoritmus lényege, hogy minden betűhöz az ábécéből egy számjegyet rendelünk, és a keresést számok összehasonlításával végezzük. Világos, hogy ehhez egy ábécé méretnek megfelelő számrendszerre lesz szükség.

ségünk. A szövegből mindig a minta hosszával egyező részeket szelünk ki, és ezeket hasonlítjuk össze.

Példa:

Minta: BBAC  $\rightarrow$  1102

Szöveg: DACABBAC  $\rightarrow$  30201102, amiből a következő számokat állítjuk elő: 3020, 0201, 2011, 0110, 1102

A fent látható szeletek lesznek az  $s_i$ -k.

Az algoritmus működéséhez azonban számos apró ötletet alkalmazunk:

1. A minta számokká alakítását Horner-módszer segítségével végezzük.

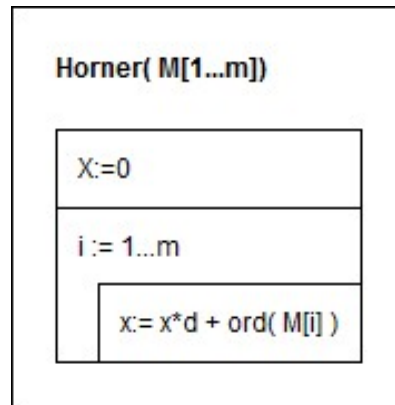


Figure 15: RK - Horner-módszer

Az  $ord()$  függvény az egyes betűknek megfelelő számot adja vissza. A  $d$  a számrendszer alapszáma.

2. A szöveg mintával megegyező hosszú szeleteinek ( $s_i$ ) előállítását:  
 $s_0$ -t a Horner-módszerrel ki tudjuk számolni. Ezek után  $s_{i+1}$  a következőképp számolandó:

$$s_{i+1} = (s_i - ord(S[i]) \cdot d^{m-1}) \cdot d + ord(S[i+1])$$

*Magyarázat:*  $s_i$  elejéről levágjuk az első számjegyet ( $s_i - ord(S[i]) \cdot d^{m-1}$ ), majd a maradékot eltoljuk egy helyiértékkal (szorzás  $d$ -vel), végül az utolsó helyiértékre beírjuk a következő betűnek megfelelő számjegyet ( $+ord(S[i+1])$ )

Példa:

Az előző példa szövegével és mintájával ( $d = 10$  elemű ábécé és  $m = 4$  hosszú minta):

$$s_0 = 3020, \text{ ekkor: } s_{0+1} = s_1 = (3020 - ord(D) \cdot 10^3) \cdot 10 + ord(B) = (3020 - 3000) \cdot 10 + 1 = 0201$$

3. Felmerülhet a kérdés, hogy az ilyen magas alapszámú számrendszerek nem okoznak-e gondot az ábrázolásnál?  
 A kérdés jogos. Vegyük a következő életszerű példát:

4 bájtton ábrázoljuk a számainkat ( $2^{32}$ ). Az abc legyen 32 elemű ( $d = 32$ ), a minta 8 hosszú ( $m = 8$ ). Ekkor a  $d^{m-1}$  kiszámítása:  $32^7 = (2^5)^7 = 2^{35}$ , ami már nem ábrázolható 4 bájtton.

Ennek kiküszöbölésére vezessünk be egy nagy  $p$  prímet, melyre  $d \cdot p$  még ábrázolható. És a műveleteket számoljuk  $\text{mod } p$ . Ekkor természetesen a kongruencia miatt lesz olyan eset, amikor az algoritmus egyezést mutat, mikor valójában nincs. Ez nem okoz gondot, mivel ilyen esetben karakterenkénti egyezést vizsgálva ezt a problémát kezelni tudjuk. (Fordított eset nem fordul elő tehát nem lesz olyan eset, mikor karakterenkénti egyezés van, de numerikus nincs). [Ha  $p$  kellően nagy, a jelenség nagyon ritkán fordul elő.]

4. A  $\text{mod } p$  számítás egy másik problémát is felvet. Ugyanis a kivonás alkalmával negatív számokat is kaphatunk.

Például: Legyen  $p = 7$ , ekkor, ha  $\text{ord}(S[i]) = 9$ , akkor előző számítás után  $s_i = 2\dots$ , de ebből  $\text{ord}(S[i]) \cdot d^{m-1} = 9 \cdot 10^3 = 9000$ -et vonunk ki negatív számot kapunk.

Megoldásként  $s_{i+1}$ -et két lépésben számoljuk:

$$s := (s_i + d \cdot p - \text{ord}(S[i]) \cdot d^{m-1}) \mod p$$

$$s_{i+1} := (s \cdot d + \text{ord}(S[i+1])) \mod p$$

A fentiek alapján az algoritmus a következő (ld. 16. ábra)

1. Kiszámoljuk  $d^{m-1}$ -et ( $dm1$ )
2. Egy iterációban meghatározzuk Horner-módszerrel a minta számait ( $x$ ) és  $s_0$ -t
3. Ellenőrizzük, hogy egyeznek-e
4. Addig számolgatjuk  $s_i$  értékét míg a minta nem egyezik  $s_i$ -vel, vagy a minta a szöveg végére nem ért.

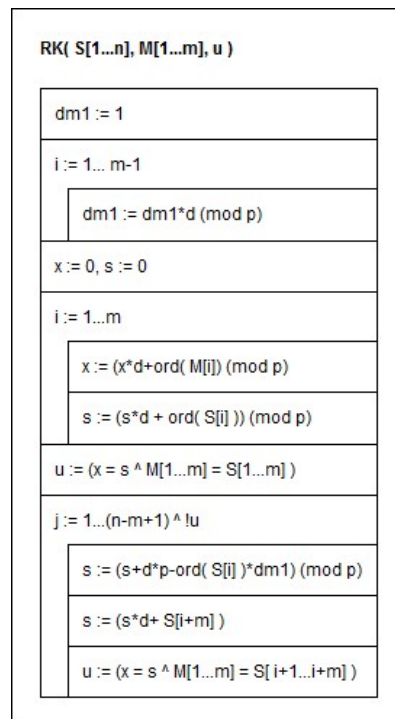


Figure 16: RK