

# Programmering og Problemløsning

## Datalogisk Institut, Københavns Universitet

### Arbejdsseddel 6 - individuel opgave

Jon Sparring

7. oktober - 11. oktober.  
Afleveringsfrist: lørdag d. 12. oktober kl. 23:59.

Emnerne for denne arbejdsseddel er:

- rekursion.

Opgaverne er delt i øve- og afleveringsopgaver. I denne periode skal I arbejde individuelt med jeres afleveringsopgaver. Regler for gruppe- og individuelle afleveringsopgaver er beskrevet i ”Noter, links, software m.m.” → ”Generel information om opgaver”.

## Øveopgaver

- 6ø0 Skriv en funktion, `fac : n:int -> int`, som udregner fakultetsfunktionen  $n! = \prod_{i=1}^n i$  vha. rekursion.
- 6ø1 Skriv en funktion, `sum : n:int -> int`, som udregner summen  $\sum_{i=1}^n i$  vha. rekursion. Lav en tabel som i Opgave 3i0 og sammenlign denne implementation af `sum` med `while`-implementation og `simpleSum`.
- 6ø2 Skriv en funktion, `sum : int list -> int`, som tager en liste af heltal og returnerer summen af alle tallene. Funktionen skal traversere listen vha. rekursion.
- 6ø3 Den største fællesnævner mellem 2 heltal,  $t$  og  $n$ , er det største heltal  $c$ , som går op i både  $t$  og  $n$  med 0 til rest. Euclids algoritme<sup>1</sup> finder den største fællesnævner vha. rekursion:

$$\text{gcd}(t, 0) = t, \quad (1)$$

$$\text{gcd}(t, n) = \text{gcd}(n, t \% n), \quad (2)$$

hvor `%` er rest operatoreren (som i F#).

(a) Implementer Euclids algoritme, som en rekursive funktion

---

<sup>1</sup>[https://en.wikipedia.org/wiki/Greatest\\_common\\_divisor](https://en.wikipedia.org/wiki/Greatest_common_divisor)

`gcd : t:int -> n:int -> int`

(b) lav en white- og black-box test af den implementerede algoritme,

(c) Lav en håndkøring af algoritmen, gerne på papir, for `gcd 8 2` og `gcd 2 8`.

6ø4 Lav dine egne implementationer af `List.fold` og `List.foldback` ved brug af rekursion.

6ø5 Benyt `List.fold` og `List.foldback` og dine egne implementeringer fra Opgave 6ø4 til at udregne summen af listen `[0 .. n]`, hvor `n` er et meget stort tal, og sammenlign tiden, som de fire programmer tager. Diskutér forskellene.

## Afleveringsopgaver

I denne opgave skal I regne med kædebrøker (continued fractions)<sup>2</sup>. Kædebrøker er lister af heltal, som repræsenterer reelle tal. Listen er endelig for rationelle tal og uendelig for irrationelle tal.

**Kædebrøk til decimalbrøk** En kædebrøk skrives som:  $x = [q_0; q_1, q_2, \dots]$ , hvilket svarer til tallet,

$$x = q_0 + \frac{1}{q_1 + \frac{1}{q_2 + \dots}}. \quad (3)$$

F.eks. svarer kædebrøken `[3;4,12,4]` til følgende decimaltal:

$$x = 3 + \frac{1}{4 + \frac{1}{12 + \frac{1}{4}}} \quad (4)$$

$$= 3 + \frac{1}{4 + \frac{1}{12.25}} \quad (5)$$

$$= 3 + \frac{1}{4.081632653} \quad (6)$$

$$= 3.245. \quad (7)$$

Altså er `[3;4,12,4] = 3.245`.

**Decimaltal til kædebrøk** For et givet tal  $x$  på decimalform kan dets kædebrøk  $[q_0; q_1, q_2, \dots]$  udregnes ved følgende algoritme: Lad  $x_0 = x$  og  $i \geq 0$ , udregn

$$q_i = \lfloor x_i \rfloor \quad (8)$$

$$r_i = x_i - q_i \quad (9)$$

$$x_{i+1} = 1/r_i \quad (10)$$

$$(11)$$

indtil  $r_i = 0$ . F.eks. for decimaltallet  $x = 3.245$  beregnes:

---

<sup>2</sup>[https://en.wikipedia.org/wiki/Continued\\_fraction](https://en.wikipedia.org/wiki/Continued_fraction)

$i$	$x_i$	$q_i = \lfloor x_i \rfloor$	$r_i = x_i - q_i$	$x_{i+1} = 1/r_i$
0	3.245	3	0.245	4.081632653...
1	4.081632653...	4	0.081632653	12.25
2	12.25	12	0.25	4
3	4	4	0	-

Resultatet aflæses i anden søjle:  $3.245 = [3; 4, 12, 4]$ .

**Heltalsbrøk til kædebrøk** Kædebrøken for en heltals brøk  $t/n$  udregnes ved følgende algoritme: Lad  $r_{-2} = t$  og  $r_{-1} = n$  og  $i \geq -2$ , udregn

$$r_i = r_{i-2} \% r_{i-1} \quad (\text{rest ved heltalsdivision}), \quad (12)$$

$$q_i = r_{i-2} \text{ div } r_{i-1} \quad (\text{heltalsdivision}), \quad (13)$$

indtil  $r_{i-1} = 0$ . Så vil  $[q_0; q_1, \dots, q_j]$  vil være  $t/n$  som kædebrøk. F.eks. for brøken  $t/n = 649/200$  beregnes:

$i$	$r_{i-2}$	$r_{i-1}$	$r_i = r_{i-2} \% r_{i-1}$	$q_i = r_{i-2} \text{ div } r_{i-1}$
0	649	200	49	3
1	200	49	4	4
2	49	4	1	12
3	4	1	0	4
4	1	0	-	-

Kædebrøken aflæses som højre søjle:  $649/200 = [3; 4, 12, 4]$ .

Kædebrøker af heltalsbrøker  $t/n$  er særligt effektive at udregne vha. Euclids algoritme for største fællesnævner. Algoritmen i Opgave 6ø3 regner rekursivt på relationen mellem heltalsdivision og rest: Hvis  $a = t \text{ div } n$  er heltalsdivision mellem  $t$  og  $n$ , og  $b = t \% n$  er resten efter heltalsdivision, så er  $t = an + b$ . For (12)–(13) skal der altså gælde, at  $r_{i-2} = q_i r_{i-1} + r_i$ . Algoritmen i Opgave 6ø3 regner udelukkende på  $r_i$  som transformationen  $(r_{i-2}, r_{i-1}) \rightarrow (r_{i-1}, r_i) = (r_{i-1}, r_{i-2} \% r_{i-1})$  indtil  $(r_{i-2}, r_{i-1}) = (r_{i-2}, 0)$ . Hvis man tilføjer beregning af  $q_i$  i rekursionen, har man samtidigt beregnet brøken som kædebrøk.

**Kædebrøk til Heltalsbrøk(er)** En kædebrøk kan approximeres som en heltalsbrøk  $\frac{t_i}{n_i}, i \geq 0$  ved følgende algorime. Lad  $t_{-2} = n_{-1} = 0$  og  $t_{-1} = n_{-2} = 1$ , udregn

$$t_i = q_i t_{i-1} + t_{i-2}, \quad (14)$$

$$n_i = q_i n_{i-1} + n_{i-2}, \quad (15)$$

indtil  $i$  er passende stor, eller der ikke er flere cifre  $q_i$ . F.eks. for kædebrøken  $[3; 4, 12, 4]$  beregnes,

$$\frac{t_0}{n_0} = \frac{q_0 t_{-1} + t_{-2}}{q_0 n_{-1} + n_{-2}} = \frac{3 \cdot 1 + 0}{3 \cdot 0 + 1} = \frac{3}{1} = 3, \quad (16)$$

$$\frac{t_1}{n_1} = \frac{q_1 t_0 + t_{-1}}{q_1 n_0 + n_{-1}} = \frac{4 \cdot 3 + 1}{4 \cdot 1 + 0} = \frac{13}{4} = 3.25, \quad (17)$$

$$\frac{t_2}{n_2} = \frac{q_2 t_1 + t_0}{q_2 n_1 + n_0} = \frac{12 \cdot 13 + 3}{12 \cdot 4 + 1} = \frac{159}{49} = 3.244897959 \dots, \quad (18)$$

$$\frac{t_3}{n_3} = \frac{q_3 t_2 + t_1}{q_3 n_2 + n_1} = \frac{4 \cdot 159 + 13}{4 \cdot 49 + 4} = \frac{649}{200} = 3.245. \quad (19)$$

Altså kan kædebrøkken  $[3; 4, 12, 4]$  approximeres som heltalsbrøkkerne  $3/1$ ,  $13/4$ ,  $159/49$  og  $649/200$  med gradvist stigende nøjagtighed.

6i0 Skriv en rekursiv funktion

```
cfrac2float : lst:int list -> float
```

som tager en liste af heltal som kædebrøk og udregner det tilsvarende reelle tal.

6i1 Skriv en rekursiv funktion

```
float2cfrac : x:float -> int list
```

som tager et reelt tal og udregner dens repræsentation som kædebrøk.

6i2 Skriv en rekursiv funktion

```
frac2cfrac : t:int -> n:int -> int list
```

som tager tæller og nævner i brøken  $t/n$  og udregner dens repræsentation som kædebrøk udelukkende ved brug af heltalstyper.

6i3 Skriv en rekursiv funktion

```
cfrac2frac : lst:int list -> i:int -> int * int
```

som tager en kædebrøk og et index og returnerer  $t_i/n_i$  approximationen som tuplen  $(t_i, n_i)$ .

6i4 Saml alle ovenstående funktioner i et bibliotek bestående af dets interface og implementationsfil (`continuedFraction.fsi` `continuedFraction.fs`), og lav en applikationsfil, der udfører en white- og black-box test af funktionerne.

Afleveringen skal bestå af

- en zip-fil, der hedder `6i_<navn>.zip` (f.eks. `6i_jon.zip`)

Zip-filen `6i_<navn>.zip` skal indeholde en og kun en mappe `6i_<navn>`. I den mappe skal der ligge en `src` mappe og filen `README.txt`. I `src` skal der ligge følgende og kun følgende filer: `continuedFraction.fsi`, `continuedFraction.fs` og `6i4.fsx` svarende til de relevante delopgaver. De skal kunne oversættes med `fsharpc`, og de oversatte filer skal kunne køres med `mono`.

Funktioner skal dokumenteres ifølge dokumentationsstandarden som minimum ved brug af `<summary>`, `<param>` og `<returns>` XML-tagsne. Udover selve koden skal besvarelser indtastes som kommentarer i de fsx-filer, de hører til. Filen `README.txt` skal ganske kort beskrive, hvordan koden oversættes og køres.

God fornøjelse.