

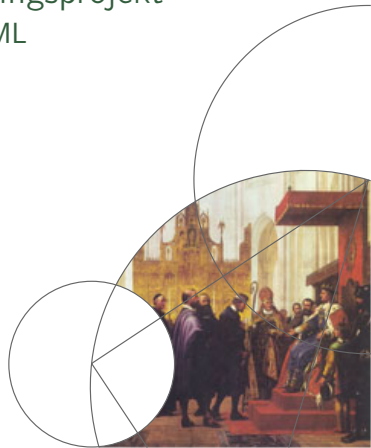


Det Naturvidenskabelige Fakultet

Brug SML til jeres systemudviklingsprojekt

Om at skrive større programmer med SML

Morten Brøns-Pedersen (f@ntast.dk)
Datalogisk institut



Program

- Introduktion (med eksempel).
- Kort om systemdesign.
- SML's modulsystem.
- Et par eksempler.
- Det kedelige praktiske.
- Afrunding.

*Diaser og kode kan findes på
<http://github.com/mortenbp>.*



Introduktion

På kurset Introduktion på Programmering har I lært SML at kende. Men de problemer I har løst har været små og veldefinerede.

Målet for i dag er at gøre jer i stand til

At strukturere, og udvikle, et større program med SML.

Vi starter med et eksempel.



Eksempel: Persondatabase (1/13)

Designovervejelser

- Hvad skal den kunne? Vi kan f.eks. lave hurtigt opslag af personer på navn eller CPR-nummer, men ikke umiddelbart begge.
- Hvor generisk skal databasen være? Er det bare et tilfælde af en mængde eller en afbildning, eller skal den være mere specialiseret?
- Hvad er formålet med databasen? Formålet skal afspejles i designet; *godt design kendes på hvad der er udeladt*.
- Skal det være muligt at arbejde med flere databaser, eller findes der kun én enkelt?



Eksempel: Persondatabase (2/13)

MyFaceTube[©]

En database som holder styr på venskaber mellem personer. Venskaber er ikke nødvendigvis gensidige.

Der findes kun én **MyFaceTube[©]**!

MyFaceTube[©] er *ikke*

- En telefonbog.
- Et stamtræ.
- Et fotoalbum.
- ...

Ekstra funktionalitet kan implementeres som en ny database eller direkte i **MyFaceTube[©]**. Endnu et valg at træffe!



Eksempel: Persondatabase (3/13)

Hvilke beregninger og hvilke objekter består **MyFaceTube**© af?

- Personer.
- Mængder (af personer).
- Opslag (fra personer til mængder af personer) — Hvem er dine venner?
- Selve **MyFaceTube**©.

Vi starter med signaturerne.



Eksempel: Persondatabase (4/13)

```
1 signature ORDNING =  
2 sig  
3   type t  
4  
5   val sammenlign : t * t -> order  
6 end
```



Eksempel: Persondatabase (4/13)

```
1 signature ORDNING =  
2 sig  
3   type t  
4  
5   val sammenlign : t * t -> order  
6 end
```

Husk at order er defineret i standardbiblioteket:

```
datatype order = LESS | EQUAL | GREATER
```



Eksempel: Persondatabase (5/13)

```
1 signature PERSON =  
2 sig  
3   type t  
4  
5   val ny : {navn : string, cpr : int} -> t  
6   val navn : t -> string  
7   val cpr : t -> int  
8  
9   val sammenlign : t * t -> order  
10 end
```



Eksempel: Persondatabase (6/13)

```
1 signature ORDNET_MAENGDE =
2 sig
3   type element
4   type t
5
6   val tom : t
7   val indsaet : t -> element -> t
8   val indeholder : t -> element -> bool
9   val faelles : t -> t -> t
10  val fjern : t -> element -> t
11  val erTom : t -> bool
12
13  (* Refleksiv variant: {delmaengde a b} betyder a \subseteq b *)
14  val delmaengde : t -> t -> bool
15
16  (* Kan hejse {Empty} *)
17  val tagMindste : t -> element * t
18  val tagStoerste : t -> element * t
19 end
```



Eksempel: Persondatabase (7/13)

```
1 signature ORDNET_OPFLAG =  
2 sig  
3   type noegle  
4   type 'a t  
5  
6   val tom : 'a t  
7   val indsaet : 'a t -> noegle * 'a -> 'a t  
8   val find : 'a t -> noegle -> 'a option  
9   val fjern : 'a t -> noegle -> 'a t  
10  
11   (* Kan hejse {Empty} *)  
12   val tagMindste : 'a t -> (noegle * 'a) * 'a t  
13   val tagStoerste : 'a t -> (noegle * 'a) * 'a t  
14 end
```



Eksempel: Persondatabase (8/13)

```
1 signature MY_FACE_TUBE =  
2 sig  
3   val tilmeld : Person.t -> unit  
4   val afmeld : Person.t -> unit  
5   val medlem : Person.t -> bool  
6   val medlemmer : unit -> PersonMaengde.t  
7  
8   (* Hvis ikke medlem returneres den tomme maengde *)  
9   val venner : Person.t -> PersonMaengde.t  
10  
11   (* {nyVen a b} tilfoejer b til a's venner *)  
12   val nyVen : Person.t -> Person.t -> unit  
13 end
```



Eksempel: Persondatabase (9/13)

Vi gennemgår ikke hele implementeringen her. Koden kan findes online på <http://github.com/mortenbp>.

```
1  structure Person :> PERSON =  
2  struct  
3    (* Navn * CPR-nummer *)  
4    type t = string * int  
5  
6    (* TODO: Indfoer integritetstjek paa CPR-nummer *)  
7    fun ny {navn, cpr} = (navn, cpr)  
8  
9    fun navn (navn, _) = navn  
10   fun cpr (_, cpr) = cpr  
11  
12   fun sammenlign ((_, x), (_, y)) = Int.compare (x, y)  
13   end
```



Eksempel: Persondatabase (10/13)

```
1  functor OrdnetMaengdeFn (Element : ORDNING) :>
2      ORDNET_MAENGDE where type element = Element.t =
3  struct
4      type element = Element.t
5      datatype t = E
6          | T of t * element * t
7
8      val tom = E
9
10     fun indsaet E x = T (E, x, E)
11     | indsaet (T (l, y, r)) x =
12         case Element.sammenlign (x, y) of
13             LESS    => T (indsaet l x, y, r)
14             EQUAL   => T (l, y, r)
15             GREATER => T (l, y, indsaet r x)
```

```
structure PersonMaengde = OrdnetMaengdeFn (Person)
```

```
structure PersonOpslag = OrdnetOpslagFn (Person)
```



Eksempel: Persondatabase (11/13)

One of a kind? — Imperativ programmering med SML.

```
1  structure MyFaceTube := MY_FACE_TUBE =  
2  struct  
3  structure M = PersonMaengde  
4  structure O = PersonOpslag  
5  
6  val opslag = ref O.tom  
7  
8  fun tilmeld p =  
9      opslag := O.indsaet (!opslag) (p, M.tom)  
10  
11 fun afmeld p =  
12     opslag := O.fjern (!opslag) p  
13  
14 fun medlem p =  
15     case O.find (!opslag) p of  
16         SOME _ => true  
17     | NONE   => false  
18  
19 fun medlemmer _ =
```



Eksempel: Persondatabase (12/13)

Live demo.



Eksempel: Persondatabase (13/13)

Alternativ løsning: Lad personer holde styr på deres egne venskaber.

Pro MyFaceTube[©] bliver essentielt blot en mængde af personer — vi behøver ikke implementere opslag.

Contra Vores Person.t bliver mindre generel — i mange situationer er det uinteressant at vide hvem der er venner med hvem.



Eksempel: Persondatabase (13/13)

Alternativ løsning: Lad personer holde styr på deres egne venskaber.

Pro MyFaceTube[©] bliver essentielt blot en mængde af personer — vi behøver ikke implementere opslag.

Contra Vores Person.t bliver mindre generel — i mange situationer er det uinteressant at vide hvem der er venner med hvem.

```
type t = string * int
```



Eksempel: Persondatabase (13/13)

Alternativ løsning: Lad personer holde styr på deres egne venskaber.

Pro MyFaceTube[©] bliver essentielt blot en mængde af personer — vi behøver ikke implementere opslag.

Contra Vores Person.t bliver mindre generel — i mange situationer er det uinteressant at vide hvem der er venner med hvem.

```
type t = string * int
```

```
datatype t = P of string * int * t list
```



Kort om systemdesign

Tommelfingerregel:

Des mindre to dele af systemet har med hinanden at gøre, des mindre bør de vide om hinanden.

- Opdel systemet i beregning og repræsentation. Det er især vigtigt i funktionel programmering.
- Konventioner omkring repræsentation og invarianter er OK inden for strukturer, *ikke* mellem dem.
- Undgå så vidt muligt at gøre (data)typer synlige for det omgivende program (brug `:>`). Lav i stedet en struktur som modellerer objektet.
- Brug de objekter der passer! Altså; ingen lister hvor der burde være mængder.



SML's modulsystem (1/3)

Signaturer som dokumentation. Eksempel fra MyLib:

```
1 signature Layout =
2 sig
3   (* infix ^^ ++ \ & \\ && *)
4   include Pretty
5
6   (* Prints to standard out (with an extra \n). Takes an optional max width. *)
7   val println : int option -> t -> unit
8
9   (* A space if the output fits, new line and indent if it doesn't. *)
10  val softln : t
11
12  (* Nothing if the output fits, new line and indent if it doesn't. *)
13  val softbrk : t
14
15  (* Replaces all spaces with softln. *)
16  val softtxt : string -> t
17
18  (* Like softtxt but prepends two spaces. *)
19  val paragraph : string -> t
20
21  (* Converts a preformatted text into a document. A newline character separates
22   * paragraphs and the following number of spaces determine the next paragraphs
23   * indentation. So it basically does what you would expect. *)
24  val str : string -> t
```



SML's modulsystem (2/3)

Brug en enkelt struktur for hvert objekt der skal repræsenteres.

Objektets type er `Objekt.t`.

OBS: Strider med standardbibliotekets konvention som er `Objekt.objekt`.



SML's modulsystem (3/3)

Udvidelse af strukturer.

- Signaturer kan inkludere andre signaturer med `include`.

```
1 signature List =  
2 sig  
3   include LIST  
4   val sort : ('a -> 'a -> order) -> 'a list -> 'a list  
5   val shuffle : 'a list -> 'a list
```

- Strukturer kan inkludere andre strukturer med `open`.

```
1 structure List :> List =  
2 struct  
3   open List
```



Et par eksempler

- Når option ikke er god nok: `Either.t`.
- Modellering af klasser med funktorer: `FlagFn`.
- Gratis funktioner med funktorer: `FoldbarFn`.
- Doven evaluering med memoisering: `Lazy.t`.



Et par eksempler: `Either.t`

```
1 signature Either =
2 sig
3   datatype ('a, 'b) t = Left of 'a | Right of 'b
4   exception Either
5
6   val ofLeft : ('a, 'b) t -> 'a
7   val ofRight : ('a, 'b) t -> 'b
8   val either : ('a -> 'c) -> ('b -> 'c) -> ('a, 'b) t -> 'c
9   val lefts : ('a, 'b) t list -> 'a list
10  val rights : ('a, 'b) t list -> 'b list
11  val partition : ('a, 'b) t list -> 'a list * 'b list
12 end
```



Et par eksempler: `Either.t`

```
1  structure Either :> Either =
2  struct
3  datatype ('a, 'b) t = Left of 'a | Right of 'b
4  exception Either
5
6  fun ofLeft (Left x) = x
7    | ofLeft _ = raise Either
8
9  fun ofRight (Right x) = x
10   | ofRight _ = raise Either
11
12 fun either l r e =
13   case e of
14     Left x => l x
15   | Right x => r x
16
17 fun lefts es = List.mapPartial (fn Left x => SOME x | _ => NONE) es
18 fun rights es = List.mapPartial (fn Right x => SOME x | _ => NONE) es
19
20 fun partition es = (lefts es, rights es)
21 end
```

```
1  datatype either = datatype Either.t
2  exception Either = Either.Either
```



Et par eksempler: FlagFn

FARE! Imperativ programmering.

```
1 signature FLAG =  
2 sig  
3   val hejs : string -> unit  
4   val saenk : string -> unit  
5   val hejst : string -> bool  
6 end
```

```
1 functor FlagFn () :> FLAG =  
2 struct  
3   structure M = TekstMaengde  
4   val flag = ref M.tom  
5  
6   fun hejs f =  
7     flag := M.indsaet (!flag) f  
8  
9   fun saenk f =  
10     flag := M.fjern (!flag) f  
11  
12   fun hejst f =  
13     M.indeholder (!flag) f  
14 end
```



Et par eksempler: FlagFn

FARE! Imperativ programmering.

```
1  structure MineFlag = FlagFn ()  
2  
3  ;MineFlag.hejs "Danebrog";
```



Et par eksempler: FoldbarFn

```
1 signature FOLDBAR = sig
2   type 'a t
3   val fold : ('a * 'b -> 'b) -> 'b -> 'a t -> 'b
4 end
```

```
1 functor FoldbarFn (F : FOLDBAR) :> sig
2   type 'a t = 'a F.t
3   val tilliste : 'a t -> 'a list
4   val alle : 'a t -> ('a -> bool) -> bool
5   val nogle : 'a t -> ('a -> bool) -> bool
6   val findes : ''a t -> ''a -> bool
7   val konkat : 'a list t -> 'a list
8   val anvend : 'a t -> ('a -> unit) -> unit
9 end =
10 struct
11   type 'a t = 'a F.t
12   fun tilliste f = F.fold (fn (a, b) => a :: b) nil f
13   fun alle f g = F.fold (fn (a, b) => g a andalso b) true f
14   fun nogle f g = F.fold (fn (a, b) => g a orelse b) false f
15   fun findes f x = F.fold (fn (a, b) => a = x orelse b) false f
16   fun konkat f = F.fold (fn (a, b) => a @ b) nil f
17   fun anvend f g = F.fold (fn (a, _) => g a) () f
18 end
```



Et par eksempler: FoldbarFn

Mange ting er FOLBARe:

- Opslag.
- Træer.
- Lister.
- Grafer.
- Filer.
- ...

De seks funktioner er nu „gratis“ for hver slags objekt.

```
1 structure T = FoldbarFn (Trae)  
2 val data = T.tilListe mitTrae
```



Et par eksempler: Lazy.t

```
1  (* Memoized lazy evaluation *)
2
3  signature Lazy =
4  sig
5      type 'a t
6      type 'a thunk = unit -> 'a
7
8      val lazy : 'a thunk -> 'a t
9      val force : 'a t -> 'a
10     val eager : 'a -> 'a t
11     val delay : 'a t thunk -> 'a t
12 end
```



Et par eksempler: Lazy.t

```
1  structure Lazy :> Lazy =
2  struct
3  type 'a thunk = unit -> 'a
4  datatype 'a t' = Thunk      of 'a thunk
5                  | Value    of 'a
6                  | Exception of exn
7  type 'a t = 'a t' ref
8
9  fun lazy f = ref (Thunk f)
10 fun eager v = ref (Value v)
11 fun force t =
12   case !t of
13     Thunk f =>
14       (let
15         val v = f ()
16         in
17           t := Value v ;
18           v
19         end
20       handle e =>
21         (t := Exception e;
22          raise e)
23     )
24   | Value v => v
25   | Exception e => raise e
26 fun delay t = lazy (fn _ => force (t ()))
27 end
```



Det praktiske

- Oversættere.
- Projektfiler.
- Biblioteker.



Det praktiske: Oversættere (1/4)

Moscow ML (<http://www.itu.dk/~sestoft/mosml.html>)

- Har I arbejdet med før.
- Har en interaktiv fortolker.
- Egner sig ikke så godt til programmer som fordeler sig over flere filer.
- Implementerer ikke hele standardbiblioteket.



Det praktiske: Oversættere (2/4)

SML of New Jersey (<http://www.smlnj.org>)

- Har en interaktiv fortolker.
- Er godt dokumenteret.
- Understøtter projektfiler (CM).
- Har adskillige ekstrabiblioteker.



Det praktiske: Oversættere (3/4)

MLKit (<http://www.it-c.dk/research/mlkit>)

- Har en konfigurerbar spildopsamler.
- Understøtter projektfiler (MLB).
- Har ingen interaktiv fortolker.



Det praktiske: Oversættere (4/4)

MLTon (<http://mlton.org>)

- Har mange ekstrabiblioteker.
- Genererer meget hurtige programmer.
- Er godt dokumenteret.
- Understøtter projektfiler (MLB).
- Oversætter enormt langsomt.
- Har ingen interaktiv fortolker.



Det praktiske: Projektfiler (1/2)

Compilation Manager (<http://www.smlnj.org/doc/CM>)

- Mange avancerede funktioner.
- Godt dokumenteret.
- Kun brugt af SML of New Jersey.
- Kan være svært at sætte sig ind i.



Det praktiske: Projektfiler (2/2)

MLB: ML Basis (<http://mlton.org/MLBasis>,

http://www.it-c.dk/research/mlkit/index.php/ML_Basis_Files)

- Brugt af flere oversættere (MLTon, MLKit, ...).
- Ikke så avanceret som CM.
- Let at bruge og sætte sig ind i.

MyFaceTube.mlb

```
1 $(SML_LIB)/basis/basis.mlb
2
3 ORDNING.sig
4 ORDNET_MAENGDE.sig OrdnetMaengdeFn.sml
5 ORDNET_OPSLAG.sig OrdnetOpslagFn.sml
6
7 PERSON.sig Person.sml
8
9 PersonMaengde.sml
10 PersonOpslag.sml
11
12 MY_FACE_TUBE.sig MyFaceTube.sml
```



Det praktiske: Biblioteker (1/4)

The Standard ML Basis Library

(<http://www.standardml.org/Basis>)

SML's standard bibliotek. Lær det godt at kende!



Det praktiske: Biblioteker (2/4)

SMLServer (<http://www.smlserver.org>)

Web server plugin til Apache. Skriv websider med SML.
Understøtter også ML Server Pages.



Det praktiske: Biblioteker (3/4)

MyLib (<http://www.github.com/mortenbp/mylib>)

Generisk bibliotek udviklet af Jesper Reenberg og mig selv. Udvider standardbiblioteket og implementerer forskellige datastrukturer og andre nyttigheder. Er i øjeblikket ikke særligt godt dokumenteret, og ændres jævnligt. Brug på eget ansvar!



Det praktiske: Biblioteker (4/4)

MLTon Lib (<http://mlton.org/cgi-bin/viewsvn.cgi/mltonlib>)

Udvidelse af standardbiblioteket samt adskillige selvindeholdte biblioteker. Svært at gå til og indeholder mange vanvittigt avancerede ting. Til gengæld er flere dele dokumenteret i videnskabelige artikler. (Kig efter Vesa Karvonen.)



Afrunding

- Minimer nødvendigheden af (implicitte?) konventioner og invarianter mellem adskilte dele af systemet.
- Find frem til hvilke dele af systemet der har med repræsentation og hvilke der har med manipulation at gøre.
- Brug projektfiler.
- Brug biblioteker (søg på Google — man bliver overrasket over hvad folk har lavet).
- Brug en eller anden form for versionskontrol.
- Vær ikke bange for at lave ting om (det kommer I alligevel til).



Afrunding: Litteratur (1/4)

Oversættere

- **MLTon:** (Anbefalet)
<http://mlton.org>
- **SML of New Jersey:** (Anbefalet)
<http://mlton.org>
- **Moscow ML:**
<http://www.it-c.dk/research/mlkit>
- **MLKit:**
<http://www.itu.dk/~sestoft/mosml.html>



Afrunding: Litteratur (2/4)

Biblioteker

- **The Standard ML Basis Library:** (Anbefalet)

<http://www.standardml.org/Basis>

- **SMLServer:**

<http://www.smlserver.org>

- **MyLib:**

<http://www.github.com/mortenbp/mylib>

- **MLTon Lib:**

<http://mlton.org/cgi-bin/viewsvn.cgi/mltonlib>



Afrunding: Litteratur (3/4)

Dokumentation

- **ML Basis:**

<http://mlton.org/MLBasis>,

http://www.it-c.dk/research/mlkit/index.php/ML_Basis_Files

- **Compilation Manager:**

<http://www.smlnj.org/doc/CM>

- **MLLex: (Lexer)**

<http://mlton.org/pages/Documentation/attachments/mllex.pdf>

- **MLYacc: (Parser)**

<http://mlton.org/pages/Documentation/attachments/mlyacc.pdf>



Afrunding: Litteratur (4/4)

Bøger

- **Purely Functional Data Structures: (Anbefalet)**
Chris Okasaki, ISBN 978-0-521-63124-2
- **Introduction to Programming Using SML:**
Michael R. Hansen og Hans Rischel, ISBN 0-201-39820
- **ML For the Working Programmer:**
Lawrence C. Paulson, ISBN 0-521-56543-X
- **The Definition of Standard ML (Revised):**
Robin Milner, Mads Tofte, Robert Harper og David MacQueen, ISBN 0-262-63181-4



KISS

