Shapes

— ett hyfsat funktionellt ritspråk

Henrik Tidefelt

LiTH

25 september 2007

Mål

Med den här UppLYSningen hoppas jag (kanske lite naivt)

- Att ni ska få ett hum om vad Shapes är.
- Få höra era invändningar mot designen som den ser ut idag.
- Lyckas hitta någon testpilot.
- Väcka intresse för utvecklingssamarbete.

Plan

De stora inslagen idag är:

- Beskriva hur språkets struktur ser ut idag.
- Visa lite av de funktioner som kärnan erbjuder.
- Diskutera intressanta utmaningar för framtiden.
- Små avstickare med konkreta exempelkörningar.

Introduktion

Historia

- Hösten 2003: Första kontakt med MetaPost.
- Sommaren 2004: Toolbox för plottning i Matlab tar form.
- Hösten 2004: Börjar undersöka möjligheten att ersätta MetaPost.
- September 2005: Shapes, då kallat *MetaPDF*, versionshanteras.
- Januari 2007: Shapes, då kallat *Drool*, har använts till stort antal figurer i en bok.
- April 2007: Kontrollerade tillstånd.
- September 2007: Språket heter *Shapes*, och presenteras för första gången.

Rötter

Shapes har sina rötter i många av de språk jag varit i kontakt med:

- MetaPost
- Scheme
- Haskell
- C++

Alternativ

Några andra ritspråk som finns och/eller används idag:

- MetaPost
- Asymptote
- PGF och TikZ
- Haskell PDF
- Functional MetaPost

Varför Shapes?

Givet utbudet av alternativa rit-språk, varför utveckla ett till? Här är några skäl:

- Inte funktionellt orienterade (alla utom Haskell PDF och Functional MetaPost).
- Dålig beräkningskapacitet (MetaPost och PDF/TikZ).
- Saknar domän-specifik syntax (Haskell PDF).
- Inte publicerade när Shapes påbörjades (Asymptote och Haskell PDF).
- Osmidig arbetsgång (Functional MetaPost).

Hello, shaper!

```
•page << [stroke (0cm,0cm)--(1cm,1cm)]

•page << stroke [] ((0cm,0cm)--(1cm,1cm))

[(\ •dst pth .> { •dst << stroke [] pth } )
  •page  (0cm,0cm)--(1cm,1cm)]
```

Språkets struktur

Exempel på enkla typer

- Flyttal: `14`, `14.5`, `  1`
- Heltal: `'5`, `'~12`, `'0xFF`
- Längd: `7cm`, `~3mm`, `72bp`
- Sträng (mer detaljer senare): `` `Hej!´ ``
- Symbol: `'left`

Lexikala bindningar

Lexikala bindningar fungerar som i Scheme, men kan inte bindas om.

```
a: 42
```

Räckvidden (eng: *scope*) är begränsad till en kod-klammer (eng: *code bracket*):

```
{
  a: 42
  •stdout << a
}
```

Lexikala bindningar — detaljer

- Högerledet evalueras i samma scope som bindningen tillhör. (Jämför `letrec` i Scheme.)

```
odd: \ n .> [if n = '0 false [even n - '1]]
even: \ n .> [if n = '0 true [odd n - '1]]
```

- Skuggade bindningar kan nås:

```
a: ../a + 7
```

- Se *scopes.drool*!

Dynamiska bindningar

Dynamisk bindning infördes som ett sätt att undvika den imperativa spagetti-struktur som ett skrivbart *graphics state* lätt kan leda till.

```
@width:4bp | [stroke mypath]
```

- Dynamiska variabler inleds med `@`.
- Den dynamiska variabeln tillsammans med ett värde blir ett nytt värde som representerar en potentiell dynamisk bindning.
- Bindningsvärden kan kombineras:
  `@width:4bp & @dash:[dashpattern 1cm 4mm]`
- Dynamiska bindningar sätts i scope med en “pipe”.
- En dynamisk variabel har ett filter och ett skönsvärde (eng: *default value*).

Dynamiska värden

En dynamisk variabel kan bindas till ett *dynamiskt värde*.

- Ser ut så här:
  ```
  @bigmargin: dynamic 1.3 * @smallmargin
  ```
- Undviker behovet av att binda alla dynamiska variabler till argumentlösa funktioner.

Funktionsdefinitioner

Exempel:

```
\ x y .> x * x + y * y
```

- Argumentens namn är en del av funktionens signatur.
- En slask (eng: *sink*) kan ta hand om ytterligare argument.
  ```
  \ x y <> rest .> x + y + (foo [] <>rest)
  ```
- Vilka argument som helst kan få skönsvärden:
  ```
  \ x:3 y z:2 .> x + y + z
  ```

Enkla funktionsanrop

Ett enkelt funktionsanrop kan ange argument både genom ordning och genom namn.

```
hypot: \ x y .> [sqrt x*x + y*y]
```

- Ordnade argument: se anrop till `sqrt`.
- Namngivna argument: `[hypot y:3 x:4]`
- Blandat: Ordnade argument måste komma först.
- Endast ett argument: `square [] 3` eller `square [] x:3`

Märk att namngivna argument kan inte ändra betydelsen av ordnade argument!

Snitt

Scheme: *evaluated cuts*

```
[hypot 3 ...]
[hypot y:4 ...]
```

- Ordnade argument blir helt osynliga i den nya funktionen.
- Namngivna argument (er)sätter skönsvärden.
- Endast ett argument: `hypot [...] 3` eller `hypot [...] y:4`

Scenario

Utgångsbudet för att skapa en komplex bild i ett funktionellt språk är att skriva ett stort uttryck som sätter ihop de ingående delarna till en helhet.

- Det skapar lätt en krystad struktur i koden.
- Det stämmer illa med *painter's model* och hur de flesta av oss tänker på att skapa en bild.
- Intuitionen är snarare *imperativ*!
- . . . men variabler kunde ju inte bindas om. . .

Kontrollerade tillstånd

Shapes erbjuder *kontrollerade tillstånd* (eng: *limited states*) för att tillåta en viss grad av imperativ stil.

- Kontrollerade tillstånd binds till variabler som inleds med • eller #: •page
- De kan skickas *by reference* till "funktioner", men kan inte returneras.
- Några finns globalt, andra kan skapas genom avknoppning från speciella *värden*.

Grundläggande operationer

Det finns tre huvudsakliga operationer på ett tillstånd:

- Lägga till (eng: *tack on*): `•dst << pic`
- Frysa (eng: *freeze*), erhålla slutgiltigt värde, och förstöra (endast egen kod-klammer): `•dst;`
- Tjuvtitta (eng: *peek*), bör ge samma resultat som att frysa, men förstör inte tillståndet: `(•dst)`

Exempel 1

```
mark: \ •dst .>
{
  •dst << [stroke (0cm,0cm)--(1cm,1cm)]
}

[mark •page]
```

Exempel 2

```
•page <<
{
  •dst: newGroup2D
  •dst << house << car
    << dog
  •dst << cow
  •dst;
}

•page << ( newGroup2D << sun << clouds )
```

Mer om tillstånd

- Inbyggda tillstånds-avknoppare:
  `newIgnore`, `newGroup2D`, `newGroup3D`, `newString`, `newTimer`, `newText`, `newFont`, `newZBuf`, `newZSorter`
- Högre-nivå-konstruktorer:
  `newRandom`, `devRandom`
- Globalt definierade (interaktion med omvärlden) tillstånd:
  `•page`, `•catalog`, `•stdout`, `•stderr`, `•randomdevice`, `•time`, `•ignore`

"Funktioner" och tillstånd...

- Tillstånd kan skickas både ordnat och per namn, precis som argument.
- En funktion kommer inte åt tillstånd utanför sin kropp.
- Anrop bör ses som makro-expansion snarare än funktions-anrop.
- En kod-klammer med tillstånd blir ett *uttryck*; utifrån syns det inte att tillstånd används för att konstruera klammerns värde.
- Notera att en funktion kan inte frysa tillstånd som den tar emot.
- Tillstånds-parametrar kan inte ges skönsvärden.
- Ett rent funktionsanrop kan inte påverka några tillstånd!

Procedurer

En *procedur* kan påverka tillstånd utanför sin egen kropp.

- Kan vara praktiskt ibland.
- Svårt att analysera; att användas under kontrollerade former.
- Skapas med egen syntax:
  `proc: \ arg1 arg2 .> ! body`
- Anropas med egen syntax (annars skulle det se ut som ett rent uttryck!):
  `[!proc arg1 arg2]`

Utmaning

Dynamiska tillstånd. . .

Strukturer

En *struktur* (eng: *structure*) generaliserar en namn-värde-avbildning för att mer likna hur en funktions formella argument binds till värden vid ett funktionsanrop.

- Både ordnade och namngivna fält.
- Kan bara innehålla värden; inga tillstånd i dagsläget.
- Kan vecklas ut vid funktionsanrop och bindning av variabler.
- Används som slask vid funktionsanrop.
- Användas för att "returnera många värden".

På så sätt uppnås en viss grad av symmetri mellan att funktionsanrop med många värden, och retur av många värden.

Konstruktion och adressering

- Ordnade fält:
  `s: (> 12 13 14 <)`
- Namngivna fält:
  `s: (> c:14 a:12 <)`
- Liksom vid funktionsanrop måste ordnade fält anges före namngivna.
- Adressering av namngivet fält:
  `s.c`
- Hur komma åt ett givet ordnat fält?

Funktionsanrop och slaskar

- För att anropa en funktion (eller procedur) med en struktur:
  ```
  fun [] <> s
  proc [!] <> s
  ```
- Skapa snitt:
  ```
  fun [...] <> s
  proc [!...] <> s
  ```
- Funktioner med slask har vi sett tidigare:
  ```
  \ x y <> rest .> x + y + (foo [] <>rest)
  ```

Binda till delarna

För att binda nya variabler till delarna av en struktur används en särskild och förhållandevis rik syntax. Några exempel:

- `(< first second third >) : (> 1 2 3 <)`
- `(< first second third:40 >) : (> 1 2 <)`
- `(< a:.y b:.x >) : (> x:1 y:2 <)`
- `(< a:.y:8 b:.x >) : (> x:1 <)`
- `(< a:.y:8 b:." >) : (> b:1 <)`

Lat evaluering

Shapes anävnder lat evaluering vid funktionsanrop och bindning av variabler.

- Imperativ kod fördröjs aldrig (viktigt att lätt känna igen).
- Fördröjd evaluering kan avstyras manuellt:
  `a : !! expr`
  `[fun expr1 !!expr2 expr3]`
- En funktion kan peka ut vilka argument som ska skickas evaluerade (vanligt i kärnan).

Continuation passing style

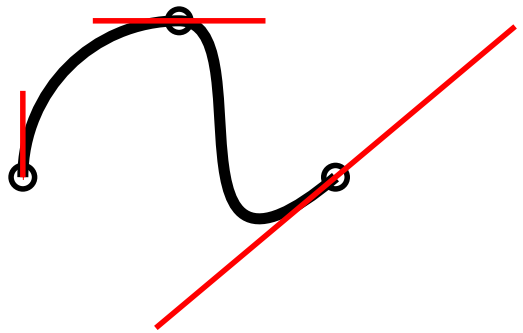
Shapes evalueras *continuation passing style*.

- Svansrekursion blir naturligt.
- Öppnar upp för lekstuga.
- Jobbigt att implementera.
- Inget *dynamic-wind* i dagsläget.
- Begränsad tillgång; endast *escape continuations* i dagsläget.
- . . . duger för enklare felhantering.

Funktioner i kärnan

Introduktion

Shapes arbetar med kubiska splines som enda kurv-typ.
Bezier-parameterisering:



Hur vill man ange koordinaterna?

Syntax

- En kurva byggs upp av sammankopplade *kurvpunkter* (eng: *path points*) (och delkurvor).
  `pp1--pp2--pp3`
- En kurvpunkt har en mittpunkt som den interpolerande kurvan passerar genom, och två kontroll-punkter (en framåt och en bakåt).
  `rear<mid>front`
- Koordinaterna *kan* anges absolut:

```
(0mm,0mm)>(2mm,5mm)
--(4cm,~5mm)<(6mm,0mm)>(9mm,3mm)
--(10mm,0mm)
```

Relativa och polära koordinater

- Kontroll-punkterna kan anges relativt den mittpunkt de tillhör, och en mittpunkt kan anges relativt föregående mittpunkt på kurvan.
- Relativa koordinater kan anges med ett relativ-uttryck:
  Båda koordinaterna tillsammans: `(+(x,y))`
  Var och en för sig: `(x,(+y))`
- Kontrollpunkter kan även anges relativt på polär form med speciell syntax:
  `(r^a)`
- I de polära koordinaterna kan endera eller båda komponenterna utelämnas.

Semantik

Värden för utelämnade komponenter i polära koordinater bestäms i grova drag enligt:

- Vinklar propageras genom mittpunkter (eventuellt hörn).
- Resterande vinklar bestäms baserat på mittpunktens läge i förhållande till angränsande mittpunkter.
- Radier propageras genom mittpunkter.
- Resterande radier beräknas baserat på vinklar.

Alla effekter är lokala, vilket gör processen lättare att hantera.

Smarta enheter

När en radie beräknas baserat på vinklar används en *special-enhet* för längd.

- Avbildar mitt-mitt-avstånd och vinklar på radie.
- 9 special-enheter är definierade, och gör det enkelt att approximera cirkelbågar, undvika inflexioner, göra vågor, med mera.
- Vilken enhet som används bestäms av `@specialunit`, men det går också bra att använda special-enheter direkt som radie-angivelse.
- Se *pathconstruction.drool*!

Travare

En *travare* (eng: *slider*) är ett kurva–kurvtid-par.

- Skapa utifrån kurvlängd, kurvtid, eller andra beräkningar:
  `[pth 1.3]`, `[pth 7mm]`, `pth.begin + 12mm`,
  `[continuous_approximator pth (4cm,7cm)]`
- Punktvisa egenskaper för kurvan (i 3D även binormaler):
  `sl.p`, `sl.v`, `sl.rv`, `sl.t`, `sl.rt`, `sl.n`, `sl.rn`, `sl.ik`,
  `sl.rik`, `sl.time`, `sl.length`, `sl.past`, `sl.looped`, `sl.mod`
- Del-kurvor:
  `[pth 2cm]--[pth 2.5cm]`

Grundläggande kurv-målning

För att komma igång med ritandet:

- För att måla kurvor:
  `[stroke pth]`, `[fill pth]`, `[fillodd pth]`
- Välja färg och dylikt:
  `@stroking`, `@nonstroking`, `@width`, `@dash`, `@cap`, `@join`, `@miterlimit`, `@blend`, `@nonstrokingalpha`, `@strokingalpha`
- Utmatning:
  `•page << pic1 << pic2 << pic3`

Transformationer

Transformationer är affina avbildningar som applicerar på grafik och andra geometriska objekt.

- Används som vilken funktion som helst:
  `[tf obj]`
- Kan sättas ihop med multiplikationsoperatorn:
  `[tf2*tf1 obj] = [tf2 [tf1 obj]]`
- Generella konstruktorer:
  `[affinetransform (1,2) (3,4) (5mm,6mm)]`,
  `[affinetransform3D (1,2,3) (3,4,5) (5,6,7) (8mm,9mm,0mm)]`
- Specialiserade konstruktorer:
  `[rotate 25°]`, `[shift (5mm,0mm)]`,
  `[rotate3D dir:(~1,0,0) angle:45°]`, `[inverse tf]`
  `[scale 2.5]`, `[scale y:~1]`, `[scale3D x:2 z:3]`

Grundläggande text-målning

Shapes har stöd för de typsnitt som ingår i PDF-standarden.

- Manuell och automatisk kernering(?) (eng: *kerning*).
- Tyvärr begränsat urval av tecken som kan kodas. Dock inte sämre än att svenska tecken klarat sig.
- Typsnittsegenskaper sätts som vanligt med dynamiska variabler, fångas i regel upp vid kernering.
- Grafiken skapas genom att text-operationer samlas i ett tillstånd:
  `( newText << op1 << op2 )`
- En text-operation är oftast en sträng eller en sträng med kernering:
  `( newText << [kern `LINK´ 0.15 `ÖPING´] )`

LINKÖPING

Pilhuvuden

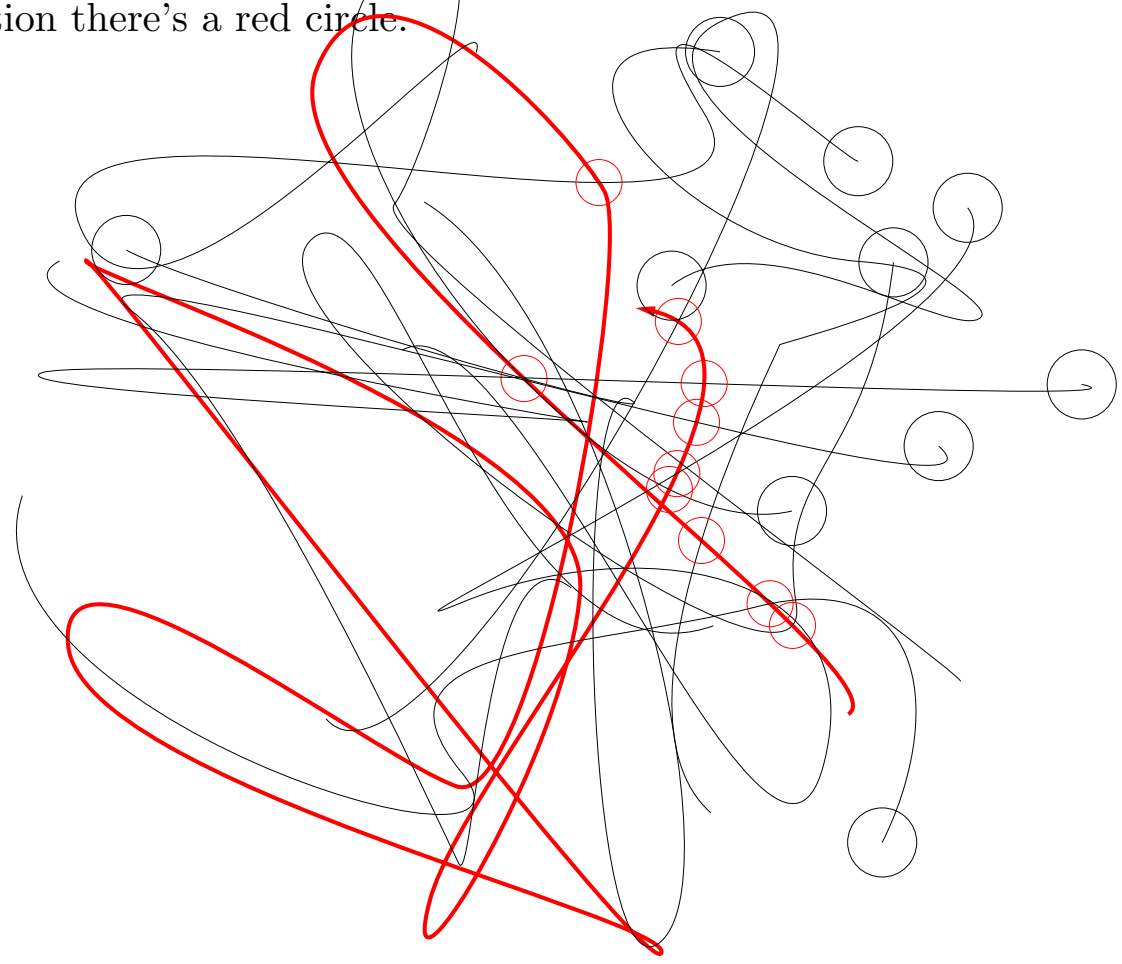
- Pilhuvuden kan sättas i båda ändar av en kurva som ska målas:
  `[stroke pth head:hfn tail:tfn]`
- Utseendet definieras av en funktion som avbildar kurvan på ett pilhuvud och ett avstånd som ska klippas bort från kurvan.
- I *arrowheads.drext* hittar man bland annat `metaPostArrow`.
- Ett pilhuvud med många parametrar specialiseras typiskt innan det används:
  `myHead: [metaPostArrow ahAngle:60° ...]`

Geometriska beräkningar

- Maximering längs kurva.
- Kortaste avstånd kurva–punkt.
- Skärning med kurva.

Skärning kurva–kurva, exempel

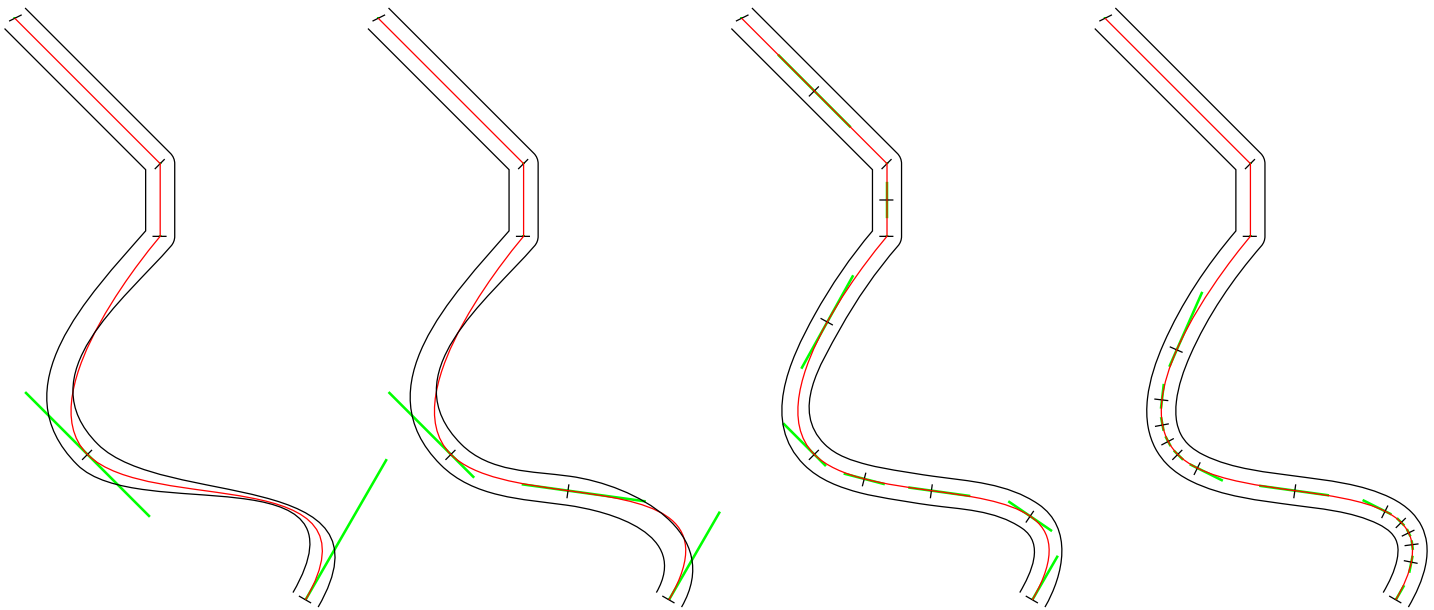
Lines start at black circles, and at their first intersection there's a red circle.



Uppsampling och avbildning

Om en kurva ska avildas icke-affint, måste resultatet i regel approximeras.

- Kärnan i Shapes tillhandahåller inga approximationsmetoder.
- Istället uppsampling.
- Se *pathmapping.drext*!



Mer om sampling

- Uppsampling kan vara ett lätt sätt att krympa onödigt stora bounding boxes.
- Nersampling är svårt och finns inte i dagsläget.

Genomskinlighet

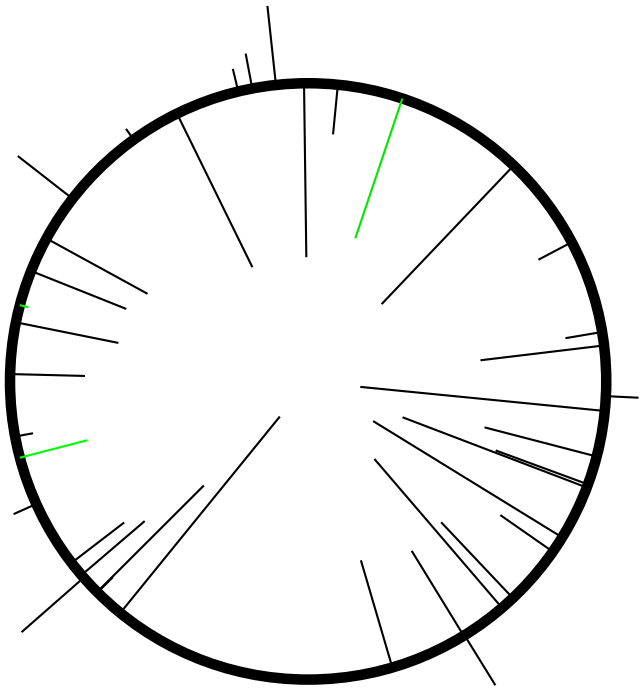
Att hantera genomskinlighet är inte helt okomplicerat.

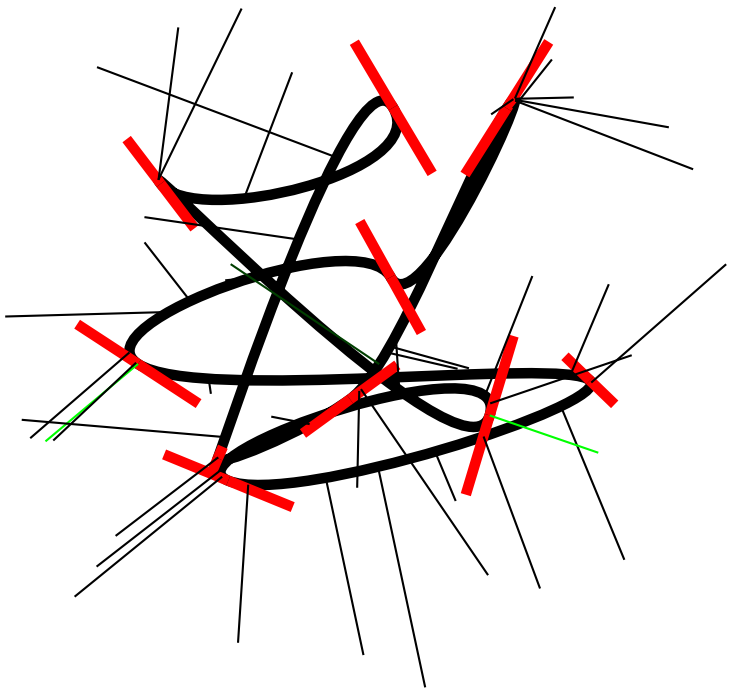
Grundläggande användning

- Grafik i 3D måste *betraktas* (eng: *view*) från ett öga i $(0, 0, \texttt{@eyez})$ med blicken mot origo, innan den kan kombineras med 2D-världen.
- Grafik i 2D kan bäddas in (eng: *immerse*) i 3D genom att lägga till en z-koordinat med värdet noll.
- Kurvor i 3D (formen, men inte linjebredden) approximeras till önskad precision när de betraktas.
- Streckning (eng: *dash*) hanteras streck för streck.
- (Uppsampling saknas i dagsläget.)

Geometriska beräkningar

- Maximering längs kurva.
- Kortaste avstånd kurva–punkt

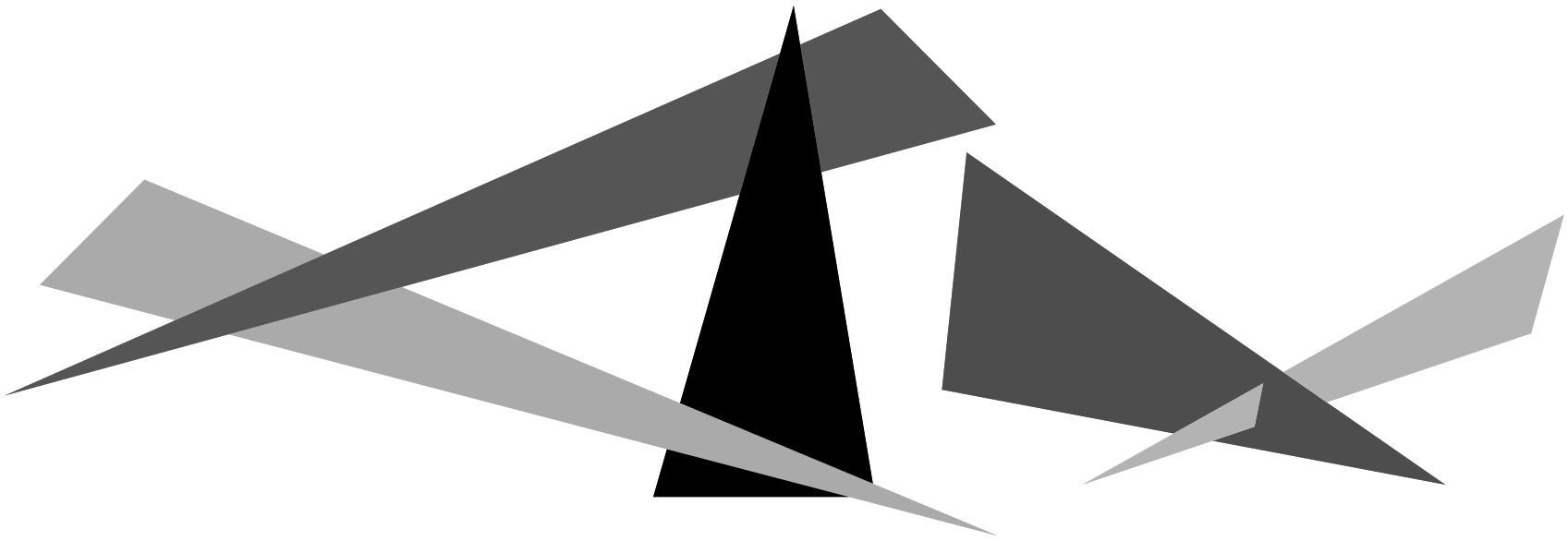




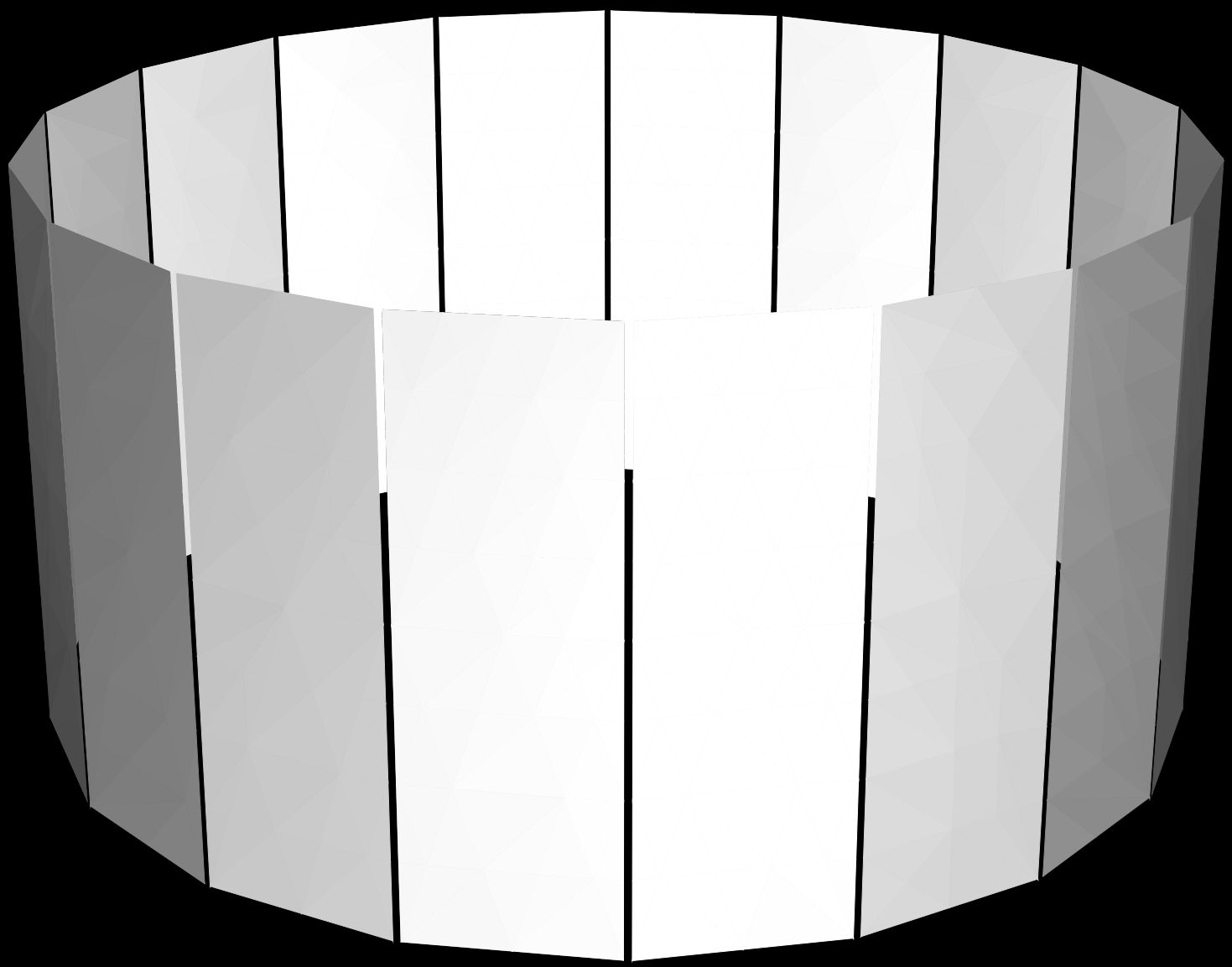
Avancerad användning

- En yta som färgas av ljusmodellen skapas med `facet`, och kan förfinas med `facetnormal`.
- Ytor kan vara enkel- (kan spara beräkningar) eller dubbelsidiga (om man är lat).
- En *tiebreaker* kan användas för att ordna ytor som ligger i varandra.
- Ytor kan ges reflexionsegenskaper:
  `@reflexions`, `@autointensity`, `@autoscattering`
- Ljuskällor av olika typer:
  `ambient_light`, `specular_light`, `distant_light`
- Dynamiska parametrar styr upplösning och teknik:
  `@facetresolution`, `@shadeorder`
- Överlap hanteras med två metoder, z-buffer och z-sortering.

Exempel: *z*-buffer



Exempel: ljussättning



PDF

Shapes har stöd för

- Dokument med många sidor. Varje sida läggs till •`catalog`.
- Korsreferenser och dokumentöversikt.
- Sidnummer.
- Text-tillägg (eng: *text annotations*).
- Se *multipage.pdf*!

LaTeX och strängar

- För att använda pdfLaTeX:
- Syntaxen för strängar är noga utformad för att inte hamna i konflikt med TeX.
- Ovanliga escape-tecken: ¢ och ¤
- Undviker onödigt många anrop till pdfLaTeX genom att spara resultat mellan körningar.
- Se *boxedeq.drool*!

Slumptal

Slumptal i ett funktionellt språk?

- Två globala tillstånd utgör inkörsport: `•time` och `•randomdevice`
- Funktionerna `newRandom` och `devRandom` skapar *slump-frön*.
- Ett slump-frö knoppar alltid av sig ett lika dant *slump-tillstånd*, och används normalt sett bara en gång:

```
•rand1: [newRandom (•time)]
•rand2: [devRandom •randomdevice]
```

- Slump-tillståndet måste skickas med när man vill ha slumptal:

```
[random2D •rand1]
```

- Funktionellt, om än inte jätte-smidigt!

Utmaningar för framtiden

Trixelering

Att rendera 3D genom en z-buffer kompliceras enormt av att det inte finns ett givet raster.

- Analysera vilka och hur många toleranser som måste sättas.
- Designa algoritm med testbara invarianter.
- Implementera...
- Kan även användas för skuggor!

Kompilera funktioner till PDF

Just nu används färgövergångar endast vid en viss typ av ljussättning.

- Användaren vill kunna göra egna övergångar.
- Funktioner från åskådliga planet till färgrummet ska kunna definieras på hög nivå.
- Funktionerna ska fungera som vanligt i Shapes, men också gå att kompilera till PDF!
- Mycket begränsad PostScript-kalkylator.

Bättre stöd för typsnitt

Snart lessnar man på de inbyggda typsnitten och begränsningar i teckenkodning.

- Reda ut hur man hanterar teckenkodningen systematiskt.
- Förmodligen ta hjälp av FreeType.

Mer grund-struktur

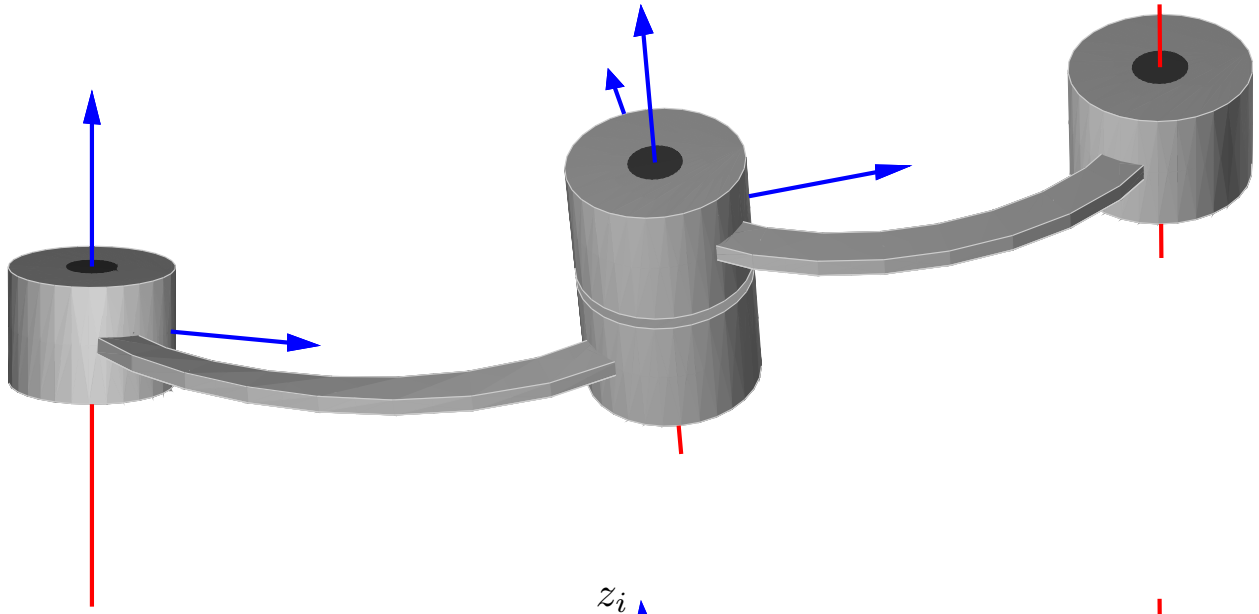
- Namespaces/packages.
- Användar-typer (och -tillstånd!).

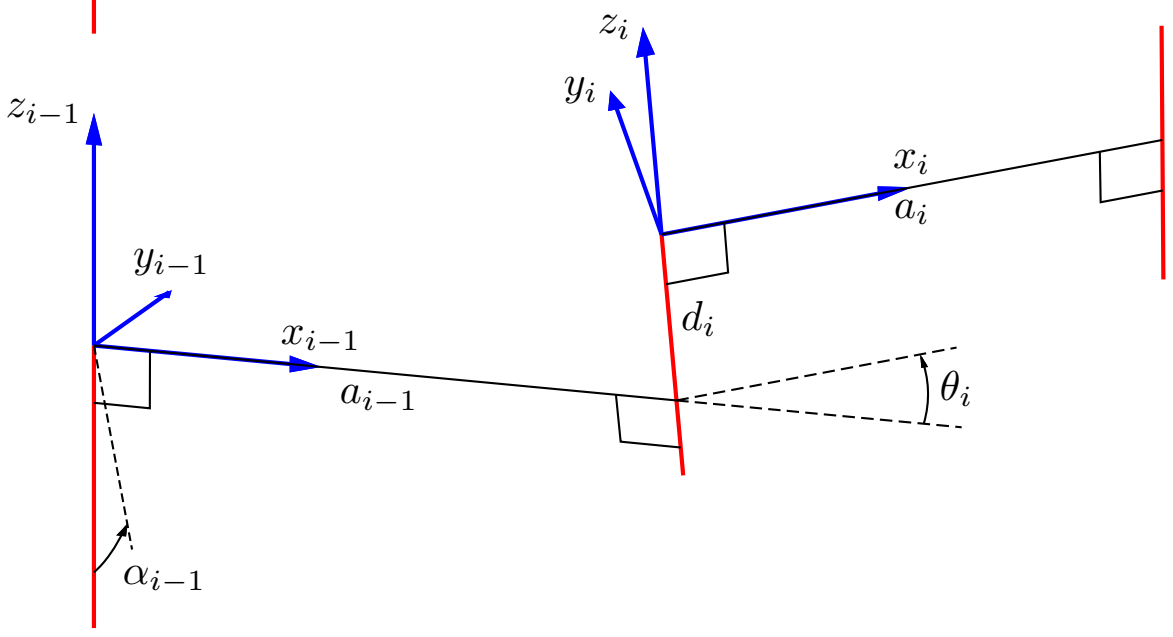
Sammanfattning

Sammanfattning

Seminariet har förhoppningsvis förmedlat något om...

- Shapes ursprung och sammanhang idag.
- Språkets grundelement.
- Funktionalitet från kärnan.
- Hur kompilatorn används.
- Hur Shapes-kod kan se ut.




z_{i-1}
y_{i-1}
x_{i-1}
a_{i-1}
α_{i-1}
z_i
y_i
x_i
a_i
d_i
θ_i