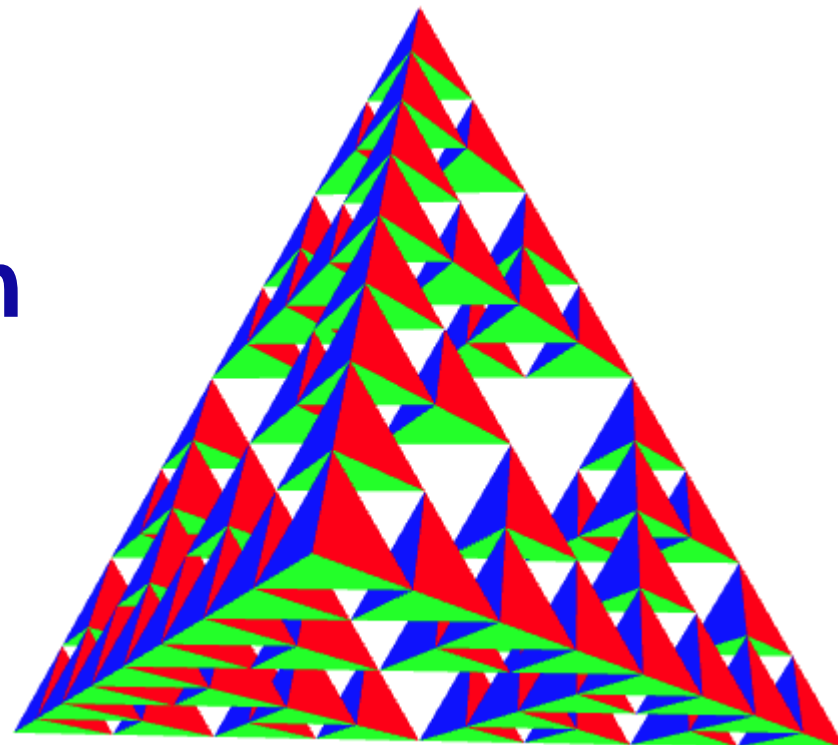


TÖL105M TÖLVUGRAFÍK

## Fyrirlestur 13: Stigveldislíkön

Hjálmtyr Hafsteinsson  
Haust 2024



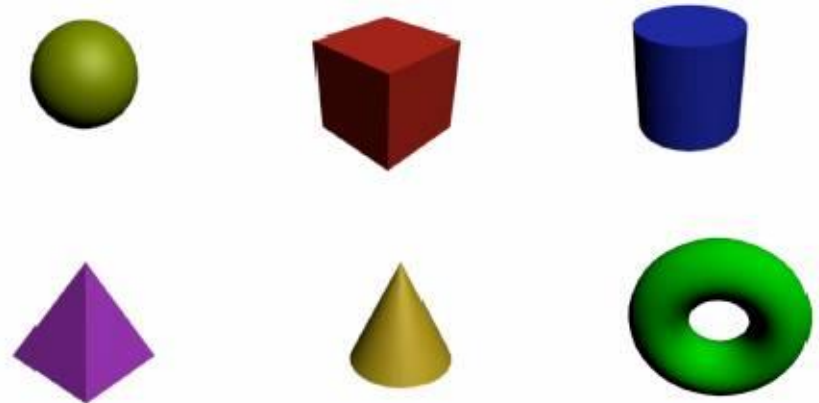
- Grafískir grunnhlutir (*symbols*)
  - Líkanahnit
- Stigveldislíkön (*hierarchical models*)
  - Vélmennaarmur
  - Mannvera
  - Útfærsla trélíkana
- Grafískir hlutir og sviðsnet

9.1 - 9.5

9.7 - 9.8

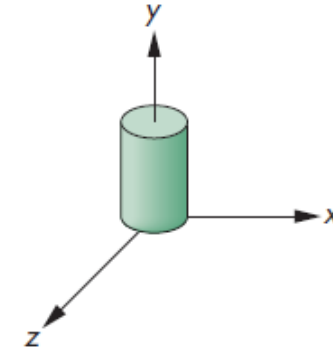
- Hvernig skilgreinum við flókin grafísk líkön?
  - Setjum þau saman úr einfaldari hlutum
- Skilgreinum grafíska grunnhluti:
  - Punktur, lína, þríhyrningur
  - Kúla, teningur, sívalningur, keila, yfirborð, ...
- Hver grunnhlutur er skilgreindur í sínu eigin hnitakerfi
  - Oftast með  $(0, 0, 0)$  í miðju hlutarins

Það eina sem WebGL hefur



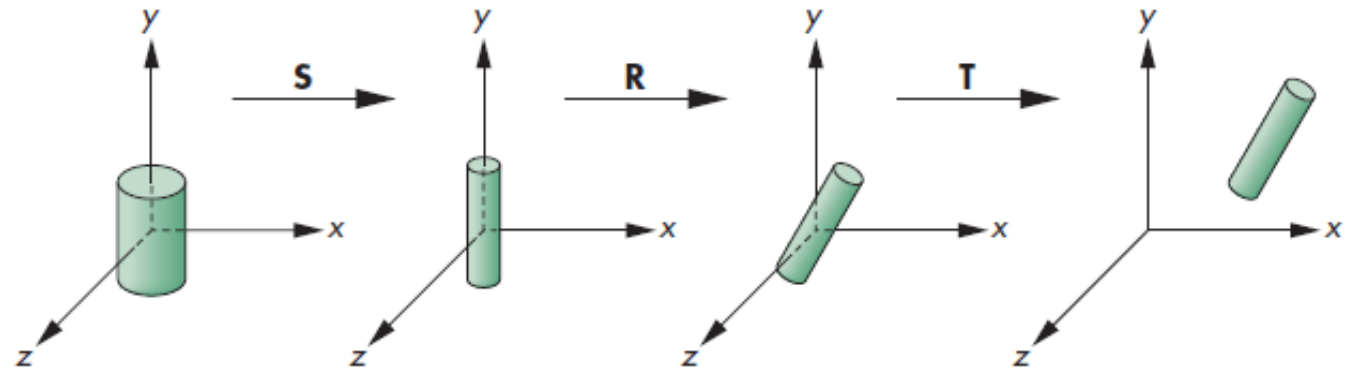
- Hver grunnhlutur er skilgreindur huglægt (*symbol*)
- Búum til tilvik (*instance*) af grunnhlutum
- Vörpum honum yfir í heimshnit með tilviksvörpun:

$$\mathbf{M} = \mathbf{TRS}$$

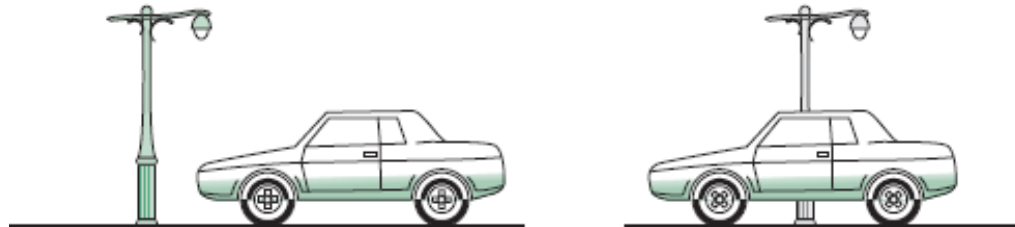
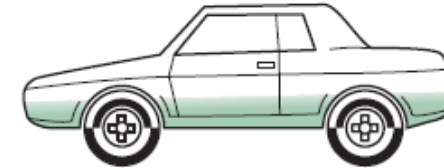


- Kvarða (**S**), snúa (**R**) og hliðra (**T**)

Þessi röð varpana er ekki nauðsynleg, en í þessari röð hafa þær minnst áhrif á hver aðra og auðvelt að skilja útkomuna



- Búum til flóknari líkön með því að setja saman grunnhluti
  - Oftast tengjast þeir samkvæmt stigveldisskipulagi
- Skoðum líkan af bíl:
  - Yfirbygging (*chassis*) og fjögur eins hjól (*wheels*)
  - Tveir grunnhlutir og fimm tilvik

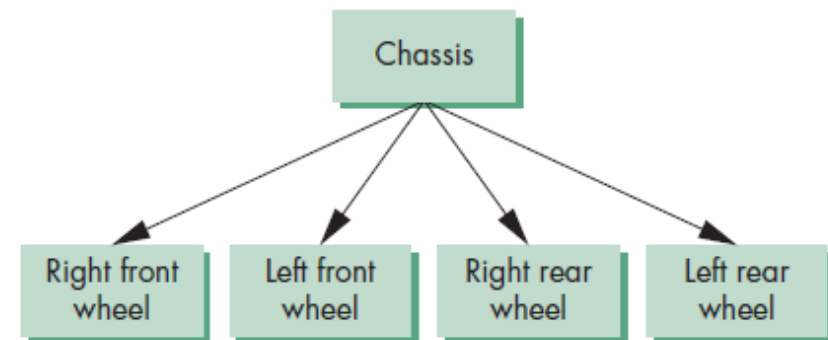


Færsla bílsins áfram ræðst af snúningshraða hjólanna

- Getum séð skipulag líkansins í forritskóðanum:

```
car(speed, dir) {  
  drawChassis(speed, dir);  
  drawRightFrontWheel(speed, dir);  
  drawLeftFrontWheel(speed, dir);  
  drawRightRearWheel(speed, dir);  
  drawLeftRearWheel(speed, dir);  
}
```

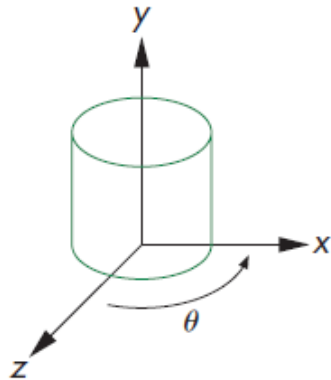
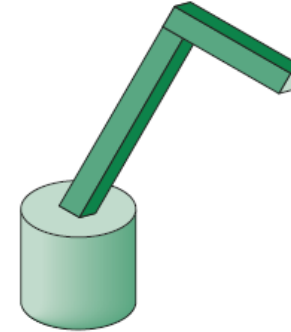
- Ekki góð uppsetning:
  - Harðkóðað skipulag líkansins
  - Erfitt að fá yfirsýn yfir flóknara skipulag



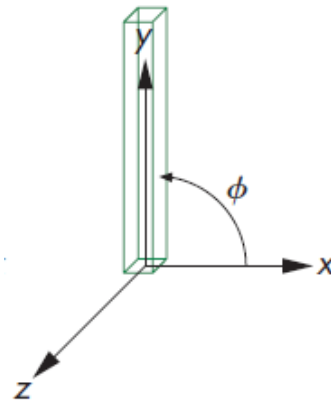
Betra að setja líkanið fram sem tré eða net

# Vélmennaarmur

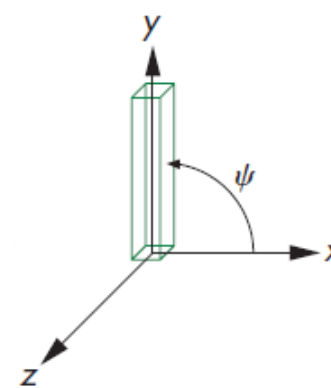
- Skilgreinum vélmennaarm samsettan úr 3 undirhlutum



Stöpull (*base*):  
sívalningur



Neðri hluti arms:  
teningur



Efri hluti arms:  
teningur

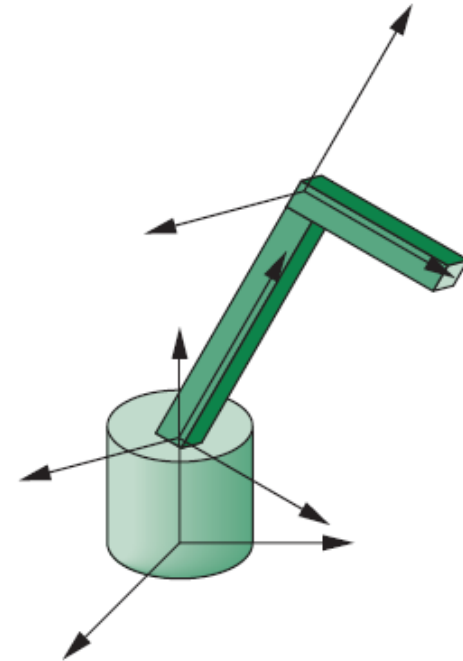
Hver eining er skilgreind í sínu eigin hnitakerfi

1. Sýnið stigveldistré fyrir hendi með 5 fingrum
2. Hversu langt, í gráðum, getur framhandleggur (*lower arm*) snúist?
3. Þegar við förum niður stigveldislíkan þá geymum (*push*) við vörpunarfylkið til að geta notað það við syskinahnútana. Ef litur eininganna er **uniform** breyta með ólík gildi, hvernig ætti að geyma hann?



# Liðlíkön (*articulated models*)

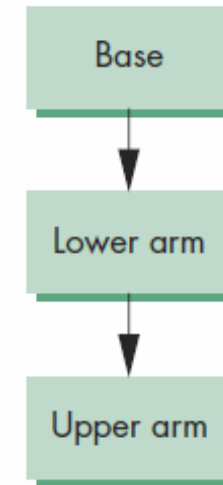
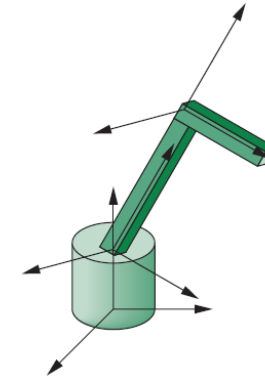
- Vélmennaarmurinn er dæmi um liðlíkan
  - Hefur nokkur liðamót, þar sem einingar koma saman
  - Skilgreinum mögulega snúninga
- Stöpull:
  - Getur snúist sjálfstætt um  $360^\circ$  um  $y$ -ás
- Neðri armur:
  - Tengdur stöpli og getur snúist um  $z$ -ás
- Efri armur:
  - Tengdur neðri armi og getur snúist um sinn  $z$ -ás



Efri og neðri armar snúast ekki sjálfir um  $y$ -ás, en þeir eru fastir við stöpulinn og munu snúast með honum um  $y$ -ásinn

# Samsetning vörpunarfylkja

- Snúningur stöpsuls:  $\mathbf{R}_b$ 
  - Heildarvörpun stöpsuls er  $\mathbf{M} = \mathbf{R}_b$
- Hliðra neðri armi miðað við stöpul:  $\mathbf{T}_{lu}$
- Snúningur neðri arms um liðamót:  $\mathbf{R}_{lu}$ 
  - Heildarvörpun neðri arms er  $\mathbf{M} = \mathbf{R}_b \mathbf{T}_{lu} \mathbf{R}_{lu}$
- Hliðra efri armi miðað við efri arm:  $\mathbf{T}_{uu}$
- Snúningur efri arms um liðamót:  $\mathbf{R}_{uu}$ 
  - Heildarvörpun efri arms er  $\mathbf{M} = \mathbf{R}_b \mathbf{T}_{lu} \mathbf{R}_{lu} \mathbf{T}_{uu} \mathbf{R}_{uu}$



Stigveldisskipulag

sjá [robotArmHH](#)

```
var render = function() {  
    gl.clear( gl.COLOR_BUFFER_BIT | gl.DEPTH_BUFFER_BIT );  
  
    ...  
  
    mvMat = mult(mvMat, rotateY(theta[Base]));  
    base();  
  
    mvMat = mult(mvMat, translate(0.0, BASE_HEIGHT, 0.0));  
    mvMat = mult(mvMat, rotateZ(theta[LowerArm]));  
    lowerArm();  
  
    mvMat = mult(mvMat, translate(0.0, LOWER_ARM_HEIGHT, 0.0));  
    mvMat = mult(mvMat, rotateZ(theta[UpperArm]));  
    upperArm();  
  
    requestAnimationFrame(render);  
}
```

Teikna stöpul

Teikna neðri  
arm

Teikna efri  
arm

Snúa stöpli um y-ás

Hliðra uppá stöpul

Snúa um z-ás

Hliðra uppá neðri arm

Snúa um z-ás

Hliðranirnar leggjast saman:  
Efri armi hliðrað uppá neðri arm og síðan  
(ásamt neðri armi) hliðrað uppá stöpul

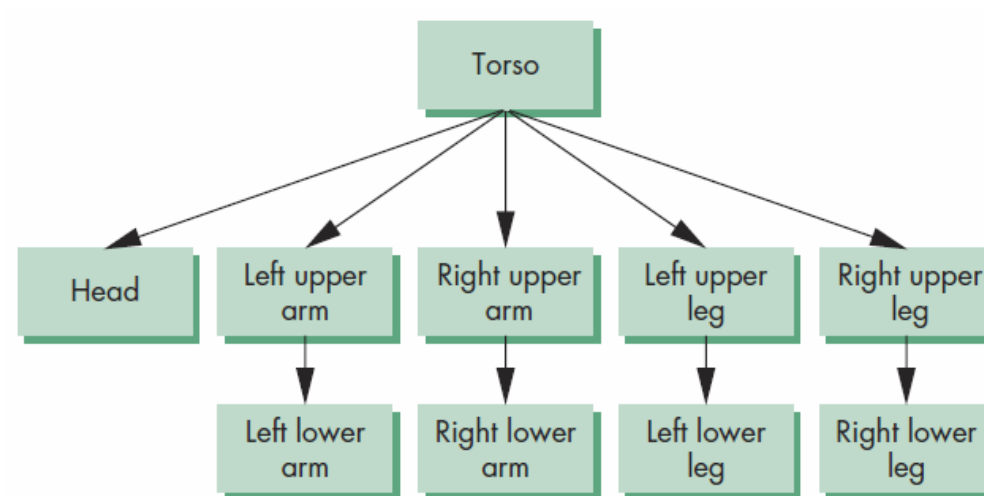
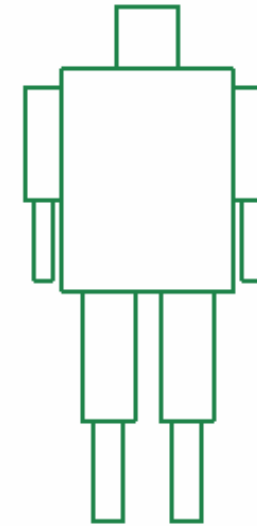
- Líkanið er útfært í Javascript kóðanum
  - Það er harðkóðað í forritið
  - Það er engin sjálfstæð lýsing á líkaninu
  - Ekki mjög flytjanlegt: Líkanið er forritið!
- Viljum að líkanið sé skilgreint sjálfstætt
- Viljum að einstakir hlutar þess geti hreyfst sjálfstætt
  - Skilgreinum það því sem tré
  - Hver hluti trésins hefur sjálfstæða hreyfigetu (upp að vissu marki)

Samanber: Word **skjal** eða  
MS Word **forritið**

# Líkan af manneskju

- Manneskja með 10 einingar:
  - Búkur (*torso*)
  - Haus (*head*)
  - Handleggir (*arms*)
    - Efri og neðri hluti, vinstri og hægri
  - Fótleggir (*legs*)
    - Efri og neðri hluti, vinstri og hægri

Hver eining getur hreyfst sjálfstætt, en er þó föst við aðra einingu með liðamótum

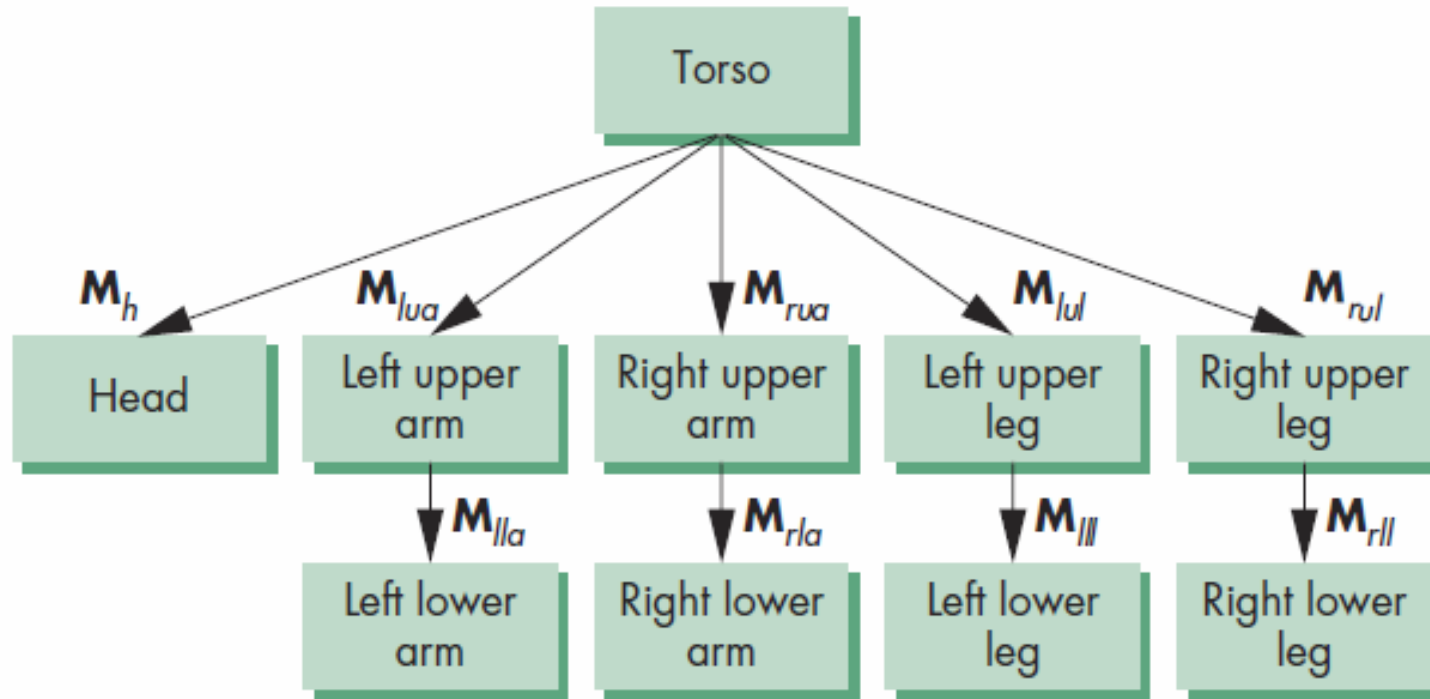


- Hver eining er teningur – af mismunandi lögun
- Hver eining teiknuð með sérstöku falli:
  - `torso()`, `leftUpperArm()`, `leftLowerArm()`, ...
- Setjum upp stigveldislíkan (þ.e. tré) með einingunum
- Hver eining hefur vörpunarfylki  $M$ , sem lýsir stöðu hennar gagnvart foreldraeiningunni í trénu
  - Til dæmis lýsir  $M_{lla}$  stöðu vinstri framhandleggs (*lower left arm*) gagnvart vinstri upphandlegg

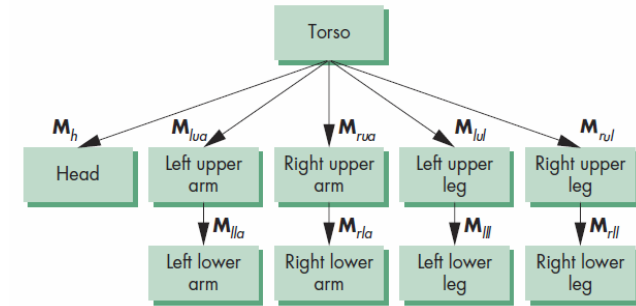
Þetta er þá staða  
vinstri olnboga

sjá líka [figureHH](#)

# Líkan með vörpunarfylkjum



- Það eru 11 mögulegar hreyfingar (liðamót)
  - Tvær hreyfingar höfuðs og ein fyrir hverja af hinum einingunum
- Fylkin geyma stöðu hverrar einingar:
  - Fylkið  $M_h$  geymir stöðu höfuðs
    - Hreyfa fram og til baka – snúningur um x-ás
    - Snúa höfði til hliðar – snúningur um y-ás
  - Fylkin  $M_{lua}$ ,  $M_{rua}$ ,  $M_{lul}$ ,  $M_{rul}$  geyma stöðu efri hluta útlima miðað við búk
  - Fylkin  $M_{lla}$ ,  $M_{rla}$ ,  $M_{lll}$ ,  $M_{rll}$  geyma stöðu neðri hluta útlima miðað við samsvarandi efri hluta útlima



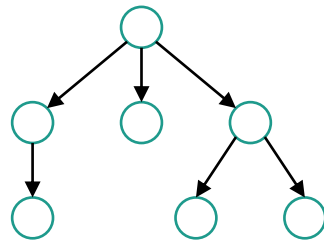


1. Sýnið stigveldistré fyrir hendi með 5 fingrum
2. Hversu langt, í gráðum, getur framhandleggur (*lower arm*) snúist?
3. Þegar við förum niður stigveldislíkan þá geymum (*push*) við vörpunarfylkið til að geta notað það við syskinahnútana. Ef litur eininganna er **uniform** breyta með ólík gildi, hvernig ætti að geyma hann?

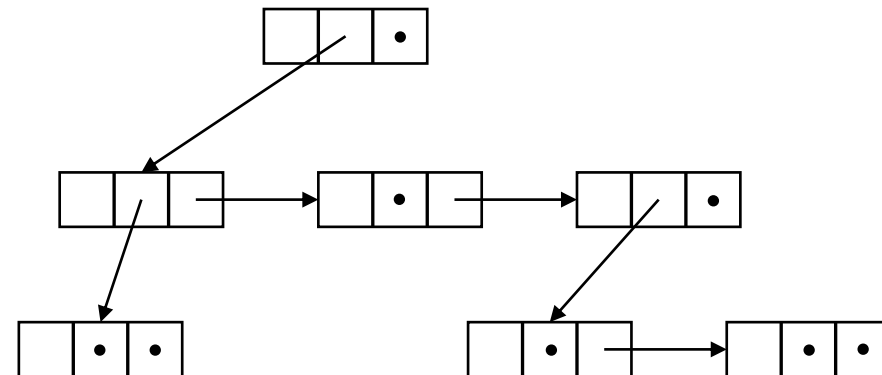
- Notum tré gagnagrind
- Hver hnútur hefur:
  - Vörpunarfylki
  - Teiknifall
  - Bendi á næsta systkini
  - Bendi á fyrsta barn

```
var node = {  
  transform: transform,  
  render: render,  
  sibling: sibling,  
  child: child  
}
```

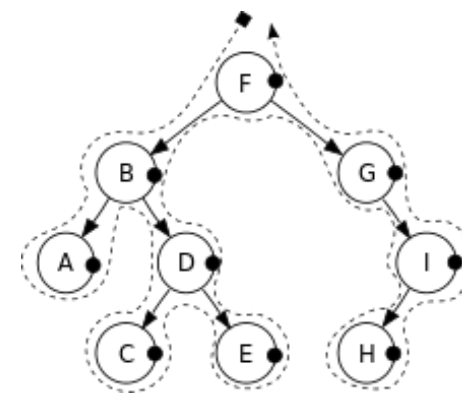
Þetta tré:



væri þá  
útfært svona:



- Forritið er í tveimur hlutum:
  - 1) Búa til tré gagnagrindina
  - 2) Rekja sig í gegnum tréð og teikna líkanið
- Tré gagnagrindin er reyndar búin til í forritinu, en gæti verið lesin úr skrá
- Notum forröðun (*preorder*) til að fara í gegnum tréð
  - Teiknum fyrst eininguna sem hnúturinn skilgreinir
  - Förum svo niður í börn hnútarins



- Fallið **initNodes (Id)** býr til hnút og tengir hann rétt
  - Id er auðkenni einingarinnar

```
function initNodes(Id) {  
    var m = mat4();  
  
    switch(Id) {  
        case torsoId:  
            m = rotateY(theta[torsoId]);  
            figure[torsoId] = createNode( m, torso, null, headId );  
            break;  
        ...  
        case leftUpperArmId:  
            m = translate(-(torsoWidth+upperArmWidth), 0.9*torsoHeight, 0.0);  
            m = mult(m, rotateX(theta[leftUpperArmId]));  
            figure[leftUpperArmId] = createNode( m, leftUpperArm,  
                                                rightUpperArmId, leftLowerArmId );  
            break;  
        case rightUpperArmId:  
        ...  
    }
```

Útbúa vörpunarfylki fyrir búkinn

Ekkert systkini

Fyrsta barn

Restin af líkamshlutunum

# Teikning líkans

```
function traverse(Id) {  
  if(Id == null)  
    return;  
  stack.push(modelViewMat);  
  
  modelViewMat = mult(modelViewMat, figure[Id].transform);  
  figure[Id].render();  
  
  if(figure[Id].child != null)  
    traverse(figure[Id].child);  
  modelViewMat = stack.pop();  
  if(figure[Id].sibling != null)  
    traverse(figure[Id].sibling);  
}
```

Setjum sjálf núverandi  
vörpunarfylki á hlaða

Framkvæma vörpun  
þessarar einingar

Teikna eininguna

Fara niður í börn

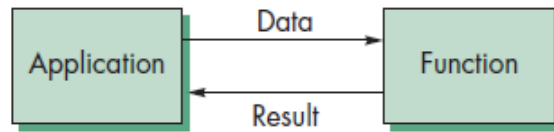
Fara í næsta systkini

render-fall þarf bara  
að byrja í rótinni

```
var render = function() {  
  gl.clear( gl.COLOR_BUFFER_BIT );  
  traverse(torsoId);  
  requestAnimationFrame(render);  
}
```

- Við teikningu verður að vista núverandi vörpunarfylki áður en farið er niður í börnin
  - Notum það aftur við vörpun annara barna í líkaninu
- Gætum lesið líkanið inn úr skrá og búið til tréð þannig
  - Þurfum þá skilgreint skráarskipulag
  - Hvernig á að gefa upp teikningu eininganna?
- Þegar líkanið er komið inn sem tré þá er hægt að láta það breytast í forritinu (*dynamically*)
  - Gefur ýmsa skemmtilega möguleika

- OpenGL/WebGL er ekki mjög hlutbundið
  - Litur er staða, ekki eiginleiki hlutar
  - OpenGL/WebGL er frekar gömul hönnun og á lágu stigi



Dæmigert í WebGL



Hlutbundin útgáfa

```
var aCube = new Cube(myVert, myCol, myTransform);
```

Búa til nýjan tening  
með lit og vörpun

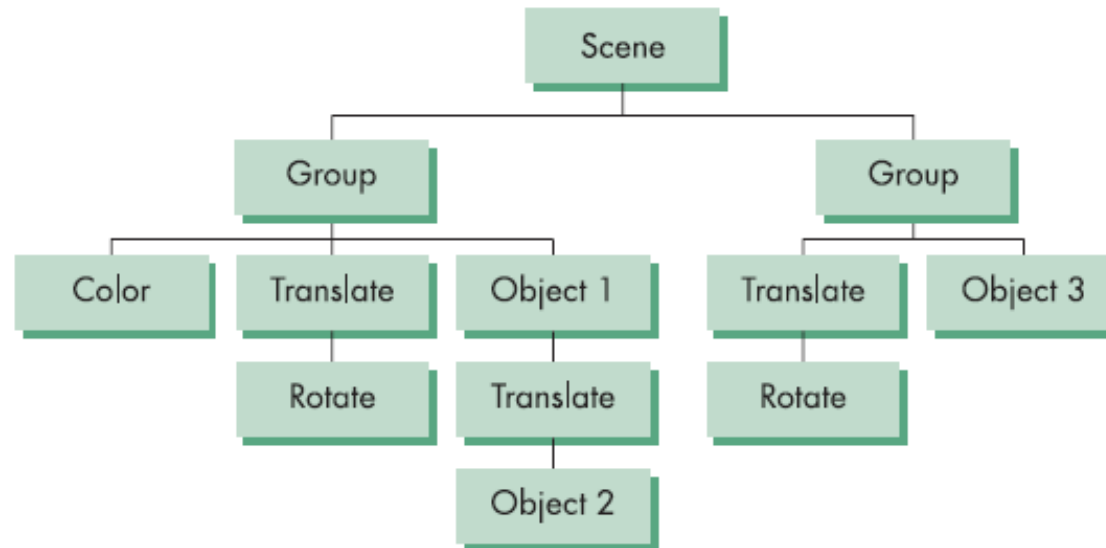
Breyta eiginleikum  
teningsins með aðferðum

```
aCube.rotateX(theta);  
aCube.rotateY(theta);  
aCube.rotateZ(theta);  
aCube.translate(d);  
aCube.scale(s);  
aCube.color(c);
```

# Sviðsnet (*scene graph*)

- Samanstendur af grafískum hlutum
  - Ljósgjafi, áhorfandi, hlutir, ...
  - Hver þeirra hefur eiginleika og tengingar á milli sín
  - Oft hægt að skilgreina hreyfingu

Dæmi um sviðsnet úr kennslubókinni





- Það eru til nokkur sviðsnetviðmót (API) fyrir WebGL:

- [three.js](#)

- Mjög vinsælt og öflugt viðmót – [sýnidæmi](#)

Skoðum síðar í námskeiðinu

- [babylon.js](#)

- Mjög öflugt viðmót, inniheldur eðlisfræði – [sýnidæmi](#)

- [PlayCanvas](#)

- Leikjavél með sviðsneti – [sýnidæmi](#)

- [Verge3D](#)

- Umhverfi til að búa til og birta 3D hluti – [sýnidæmi](#)

Sjá [lista á Wikipedia](#)

1. Sýnið stigveldistré fyrir hendi með 5 fingrum
2. Hversu langt, í gráðum, getur framhandleggur (*lower arm*) snúist?
3. Þegar við förum niður stigveldislíkan þá geymum við (*push*) vörpunarfylkið til að geta notað það við syskinahnútana. Ef litur eininganna er **uniform** breyta með ólík gildi, hvernig ætti að geyma hann?