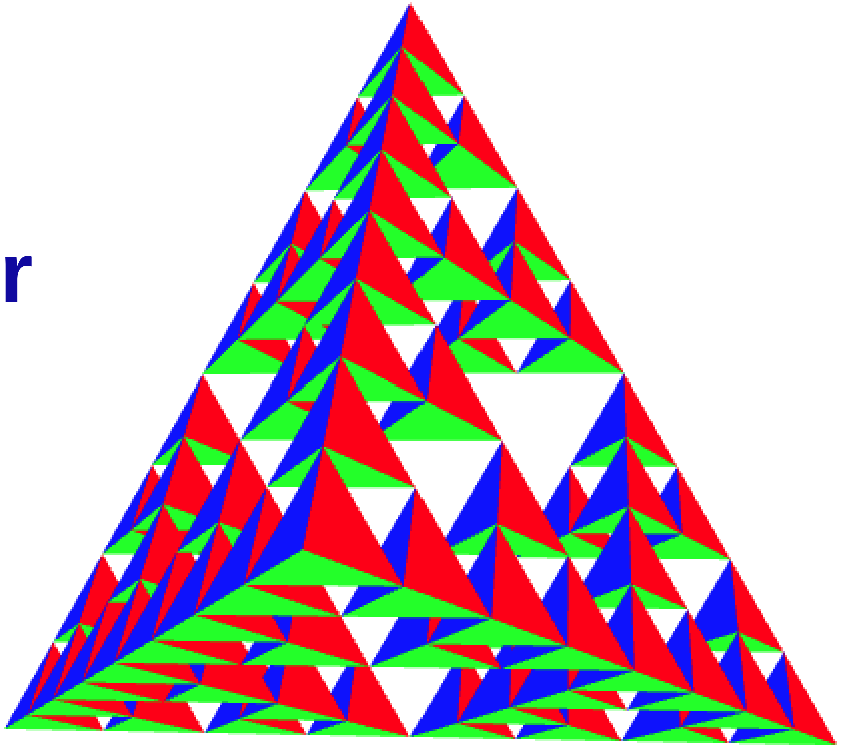
TÖL105M TÖLVUGRAFÍK

Fyrirlestur 10: Samsettar varpanir



Hjálmtýr Hafsteinsson
Haust 2024

Í þessum fyrirlestri

- Samskeyting varpana
  - Röðin skiptir máli
- Útfærsla varpana í WebGL
  - Núverandi vörpunarfylki (*CTM*, *model-view*)
  - Framkvæmd vörpunar (JS eða GLSL)
- Sýnidæmi um varpanir

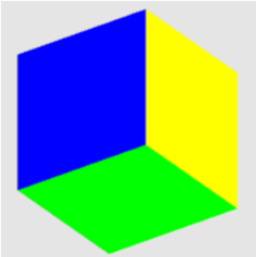
4.6, 4.10 – 4.13

Grunnvarpanir

- Skilgreindum síðast 3 grunnvarpanir:
  - Hliðrun $\boldsymbol{T}(d_x, d_y, d_z)$
  - Kvörðun $\boldsymbol{S}\,(s_x, s_y, s_z)$
  - Snúningur $\boldsymbol{R_x}(\theta), \boldsymbol{R_y}(\theta), \boldsymbol{R_z}(\theta)$
- Notum þær til að búa til flóknari varpanir
  - Varpanir eru ekki almennt víxlnar (*commutative*):

Hliðrun, svo snúningur: cube-rt

Snýst um núllpunktinn



Snúningur, svo hliðrun: cube-tr

Snýst um eigin miðju

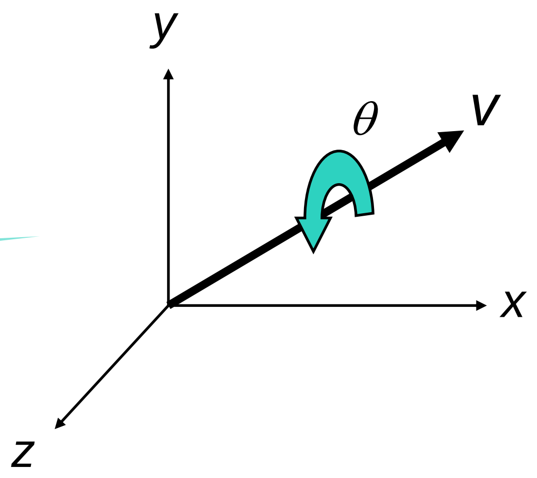
Almennur snúningur um ás

- Snúningur um θ almennan ás v sem liggur í gegnum núllpunktinn
  - Hægt að skrifa sem samskeytingu grunnsnúninganna:

$$\mathbf{R}(\theta) = \mathbf{R}_z(\theta_z)\ \mathbf{R}_y(\theta_y)\ \mathbf{R}_x(\theta_x)$$

  - Hornin θ_x, θ_y, θ_z kallas Euler horn
  - Athugið að gildi þeirra fer eftir röð grunnsnúninganna

Ekki einfalt að reikna þau út

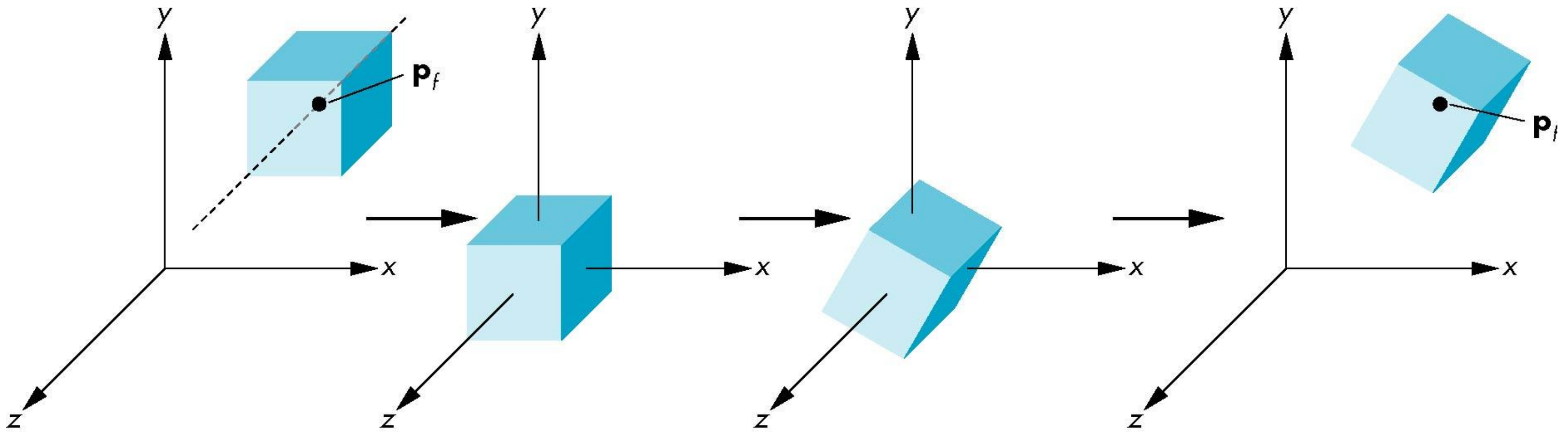


Snúningur um fastan punkt

- Viljum snúa hlut um sjálfan sig (þ.e. ekki núllpunktinn):
  - Hliðra fasta punktinum $\boldsymbol{p}_f$ niður í núllpunkt: $\boldsymbol{T}(-\boldsymbol{p}_f)$
  - Snúa um z-ás: $\boldsymbol{R}_z(\theta)$
  - Hliðra til baka: $\boldsymbol{T}(\boldsymbol{p}_f)$

- Fáum þá vörpunarfylkið $\boldsymbol{M} = \boldsymbol{T}(\boldsymbol{p}_f)\, \boldsymbol{R}_z(\theta)\, \boldsymbol{T}(-\boldsymbol{p}_f)$

Fyrsta vörpunin!



Snúningur um fastan punkt

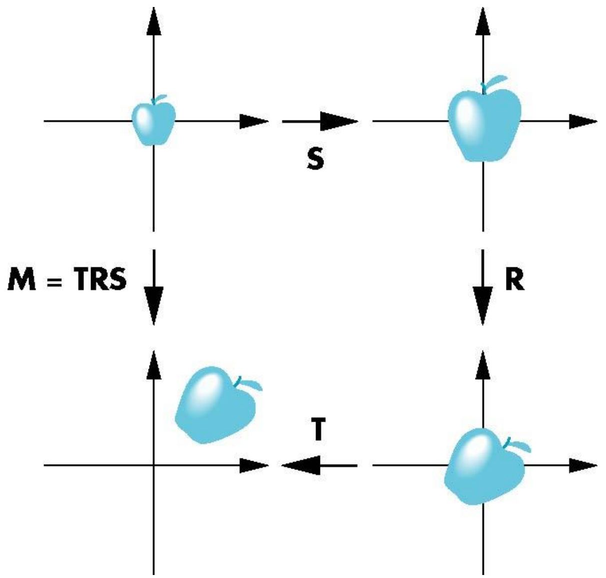
- Við notum svo fylkið ***M*** til að framkvæma þessa vörpun
  - Teningurinn er **ekki** fluttur í núllpunkt, snúið og fluttur til baka
    - Sú hugsun aðeins notuð til að búa til samsettu vörpunina
    - Punktum teningsins er bara varpað með einni vörpun, þ.e. einni 4x4 fylkjamargföldun

Dálítið svipað og að segja að 4*a sé bara a+a+a+a

Algeng samskeyting varpana

- Þegar hlutum er varpað úr líkanahnitum yfir í heimshnit er oft notuð tiltekin röð grunnvarpana
  - Í líkanahnitum er hluturinn oftast með núllpunktinn í miðjunni
- Byrjum á því að setja hlutinn í rétta stærð (***S***), síðan að snúa honum um miðju sína (***R***) og loks færa hann á réttan stað (***T***)
  - Vörpunarfylkið er þá $\boldsymbol{M} = \boldsymbol{TRS}$

Athugið röðina!



Flóknari vörpun

- Snúa um einhvern ás sem liggur ekki í gegnum núllpunkt
  - Hliðra ásnum þannig að hann liggi í gegnum núllpunkt
  - Nota samsetta vörpun fyrir snúning um einhvern ás
  - Hliðra til baka

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{T}(\boldsymbol{p}_a)\, \boldsymbol{R}_z(\theta_z)\, \boldsymbol{R}_y(\theta_y)\, \boldsymbol{R}_x(\theta_x)\, \boldsymbol{T}(-\boldsymbol{p}_a)$$

Athugið að þetta eru aðeins 4x4-fylkjamargfaldanir
(samtals 4*4*4 = 64 skalarmargfaldanir)

Fyrirlestraæfingar

1. Segjum að teningur sé með miðju í punktinum $\boldsymbol{p}_t$. Hvað gerir eftirfarandi samsetta vörpun:
$$\boldsymbol{T}(\boldsymbol{p}_t)*\boldsymbol{S}(2, 2, 2)*\boldsymbol{T}(-\boldsymbol{p}_t)$$
2. Skrifið forritsbút sem býr til vörpunarfylki fyrir vörpunina í dæmi 1
3. Hvað eru margir þríhyrningar í einum teningi?

Varpanir í gamla OpenGL

- Í "gamla" OpenGL voru nokkur vörpunarfylki hluti af núverandi stöðu:
  - Líkanafylki (**`GL_MODELVIEW`**)
    - Staðsetur líkan og auga
  - Ofanvörpunarfylki (**`GL_PROJECTION`**)
    - Varpar líkani yfir í klippihnit
- Gamla OpenGL hafði föll sem breyttu fylkjunum
  - Vann með núverandi vörpunarfylki (*CTM*, *Current Transformation Matrix*)
- Þetta er ekki lengur hluti af OpenGL/WebGL

Bókin líkir eftir þessu ferli í kóðanum

Vörpunarfylki í WebGL

- Við munum skilgreina tvö vörpunarfylki, ***MV*** og ***P***
  - Notum ***MV*** fyrst til að staðsetja áhorfanda og einstaka hluti í líkaninu
  - Notum ***P*** (*projection*) til að skilgreina sjónrúm (*view volume*) og eiginleika augans

$$p' = P * MV * p$$

Sérhverjum punkti ***p*** er varpað með báðum fylkjunum (þ.e. margfeldi þeirra)

- Notum föll úr **`MV.js`** forritasafninu til að smíða fylkin ***MV*** og ***P***

Stendur fyrir ***Matrix-Vector***

Stendur fyrir ***Model-View***

Smíða vörpunarfylki í WebGL

- Smíða einingarfylki:
```
var m = mat4();
```
- Smíða hliðrunarfylki:
```
var t = translate(dx, dy, dz);
```
- Smíða kvörðunarfylki:
```
var s = scalem(sx, sy, sz);
```
`MV.js` notar nafnið `scale` fyrir annað fall!

- Smíða snúningsfylki:
```
var r = rotate(theta, v);
var rx = rotateX(theta);
var ry = rotateY(theta);
var rz = rotateZ(theta);
```
Snúa um almennan ás **v**

Snúa um hnitakerfisás

Í skránni `MVnew.js` er `scale` notað fyrir þetta fall

Notkun vörpunarfylkja

- Viljum snúa um fastan punkt $\boldsymbol{p}_f$:

```
var mv = mat4();
mv = mult(mv, translate(pf));
mv = mult(mv, rotateZ(theta));
mv = mult(mv, translate(-pf));
```

Færa punktinn aftur til baka

Snúa um **`theta`** gráður

Færa punktinn í núllpunkt

útfærir $\boldsymbol{MV} = \boldsymbol{I}*\boldsymbol{T}(\boldsymbol{p}_f)*\boldsymbol{R}_z(\theta)*\boldsymbol{T}(-\boldsymbol{p}_f)$

Verðum að lesa forritskóðann afturábak!

Útkoman er fylkið **`mv`** sem snýr punktum um **`theta`** gráður um fasta punktinn **`pf`**

Fyrirlestraæfingar

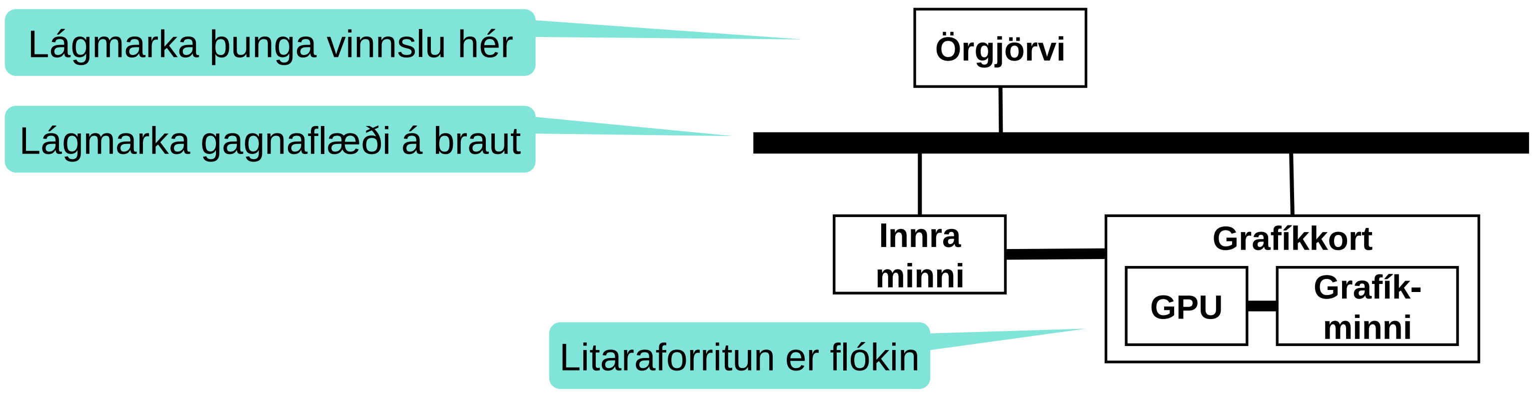
1. Segjum að teningur sé með miðju í punktinum $\boldsymbol{p}_t$. Hvað gerir eftirfarandi samsetta vörpun:

$$\boldsymbol{T}(\boldsymbol{p}_t)*\boldsymbol{S}(2, 2, 2)*\boldsymbol{T}(-\boldsymbol{p}_t)$$

2. Skrifið forritsbút sem býr til vörpunarfylki fyrir vörpunina í dæmi 1
3. Hvað eru margir þríhyrningar í einum teningi?

Framkvæmd varpana í WebGL

- 3 möguleikar:
  i. Láta Javascript forritið alveg um það
  ii. Láta hnútalitara alveg um það
  iii. JS forrit býr til vörpunarfylki, sendir það yfir og hnútalitari margfaldar það við alla hnúta



i. Javascript framkvæmir vörpun

- JS forritið fer í gegnum hnit allra hnúta, breytir þeim og sendir ný gildi yfir í grafíkminni (með **`gl.bufferSubData`**)
  - JS forrit er að framkvæma mikla útreikninga sem grafík-örgjörvi er sérhannaður til að gera
  - Mikið gagnaflæði í hverri ítrun (ný hnit á alla hnúta)
  - Allt í lagi fyrir lítil forrit, en mun hægvirkara ef margir hnútar

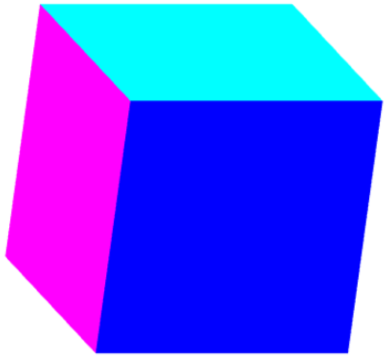
Höfum notað þessa aðferð, en munum helst ekki nota hana í seinni forritum

ii. Hnútalitari framkvæmir vörpun

- JS forrit sendir aðeins lágmarksupplýsingar um vörpun, t.d. hornið (θ) sem á að snúa um
  - Litaraforrit þarf að búa til vörpunarfylki fyrir hvern einasta hnút
    - Hnútalitarar "muna ekki" upplýsingar á milli hnúta
  - Litaraforritin verða því flóknari og hægvirkari

Sjá sýniforritið [cube-sh]

Snúa tening með mús



iii. Javascript sendir vörpunarfylki

- JS forritið býr til vörpunarfylki, sendir það til hnútalitara, sem margfaldar það við alla hnútana
  - Vörpunarfylkið er búið til og sent yfir einu sinni í hverri ítrun
    - Það er aðeins 4x4 = 16 tölur
  - JS forritið notar vörpunarföllin úr **`MV.js`**
  - Nýtir kosti hvorrar hliðar (CPU vs. GPU)

Sjá sýniforritið cube-js

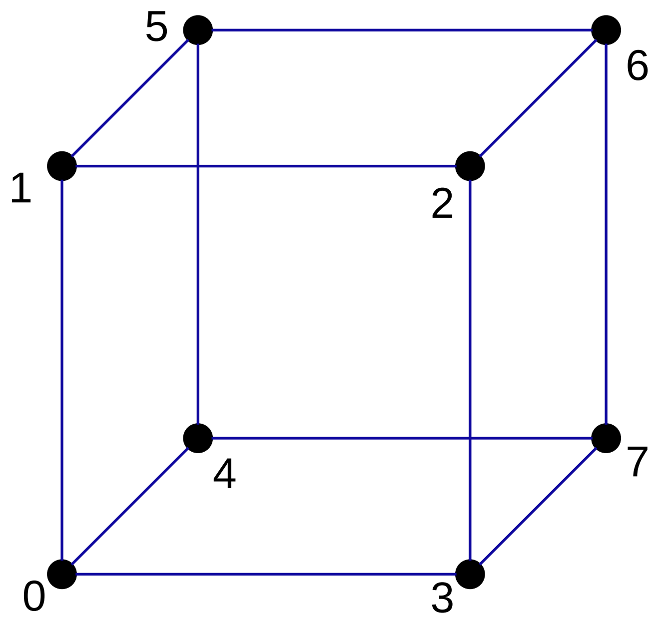
Búa til vörpunarfylkið

Senda fylkið yfir

```
function render() {
   ...
   var mv = mat4();
   mv = mult( mv, rotateX(spinX) );
   mv = mult( mv, rotateY(spinY) );
   gl.uniformMatrix4fv(mLoc, false, flatten(mv));
   ...
}
```

Skilgreining á tening

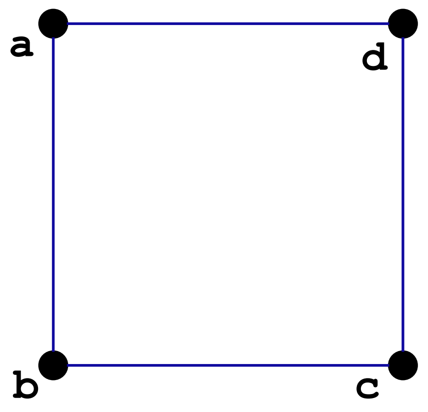
- Í bók eru sýnisforrit sem búa til tening
  - Fyrst skilgreindir 8 hnútar
  - Hnútur 0 með hnit (−0.5, −0.5, 0.5)
  - Skilgreindar 6 hliðar
    - Hlið (1, 0, 3, 2) er framhlið
    - Hlið (2, 3, 7, 6) er hægri hlið
    - Hlið (3, 0, 4, 7) er neðri hlið
    - o.s.frv.
  - Búnir til tveir þríhyrningar fyrir hverja hlið
    - Litagildi sett á hvern hnút þríhyrnings



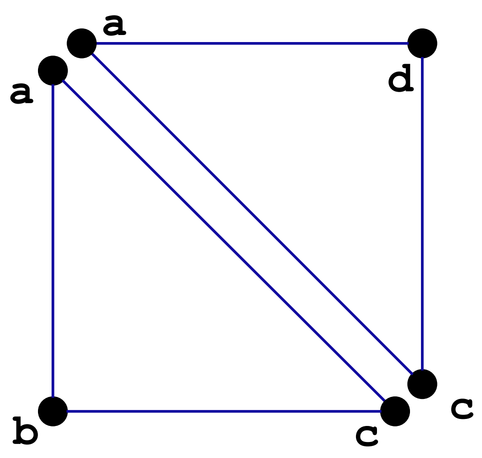
Hnútar hverrar hliðar eru í rang-sælisröð ef horft framan á hliðina

Búa til þríhyrninga

- Fallið **`colorcube()`** kallar á fallið **`quad(a,b,c,d)`** til að búa til þríhyrninga fyrir allar hliðar teningsins



Ferningurinn (**a**, **b**, **c**, **d**)



Þríhyrningarnir (**a**, **b**, **c**) og (**a**, **c**, **d**)

Sjá sýniforritið [cube-js]

Litir hnútanna

- Litagildi fyrir **`points(i)`** er í **`colors(i)`**
- Tveir möguleikar á að lita hnútanna:
  - Lita hvern af <u>hnútunum</u> 8 með einum lit
  - Lita hverja <u>hlið</u> með einum lit

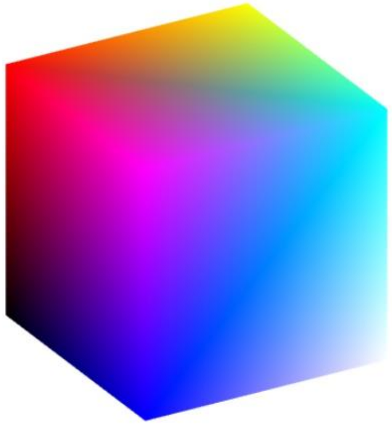
```
var vertices = [
  vec3( -0.5, -0.5,  0.5 ),
  vec3( -0.5,  0.5,  0.5 ),
  vec3(  0.5,  0.5,  0.5 ),
  vec3(  0.5, -0.5,  0.5 ),
  vec3( -0.5, -0.5, -0.5 ),
  vec3( -0.5,  0.5, -0.5 ),
  vec3(  0.5,  0.5, -0.5 ),
  vec3(  0.5, -0.5, -0.5 )
];
```

```
var vertexColors = [
  vec4( 0.0, 0.0, 0.0, 1.0 ),  // black
  vec4( 1.0, 0.0, 0.0, 1.0 ),  // red
  vec4( 1.0, 1.0, 0.0, 1.0 ),  // yellow
  vec4( 0.0, 1.0, 0.0, 1.0 ),  // green
  vec4( 0.0, 0.0, 1.0, 1.0 ),  // blue
  vec4( 1.0, 0.0, 1.0, 1.0 ),  // magenta
  vec4( 0.0, 1.0, 1.0, 1.0 ),  // cyan
  vec4( 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 )   // white
];
```

Hnitagildi og litagildi hnútanna

Hver hnútur með einn lit

- Litararnir hafa **`varying`**-breytuna **`fcolor`**
  - Litir bútanna eru blanda af litum hnútanna sem mynda þríhyrninginn



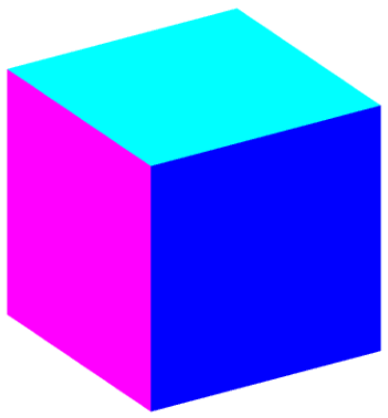
```
var indices = [ a, b, c, a, c, d ];
for (var i = 0; i < indices.length; ++i ) {
   points.push( vertices[indices[i]] );
   colors.push( vertexColors[indices[i]] );
}
```

Sjá sýniforritið [cube-color]

Veljum rétta hnútalitinn

Hver hlið með einn lit

- Notum lit fyrsta hnútarins í hliðinni (**a**) sem lit allra hnútanna í þríhyrningunum
  - Hnútar hafa þá mismunandi lit eftir því í hvaða þríhyrningi þeir eru
    - Hver hnútur er hluti af 3 hliðum og 1 eða 2 þríhyrningum á hverri hlið



```
var indices = [ a, b, c, a, c, d ];
for (var i = 0; i < indices.length; ++i ) {
   points.push( vertices[indices[i]] );
   colors.push(vertexColors[a]);
}
```

Allir 6 hnútarnir fá sama lit, sem er liturinn á **a**

Fallið **colorCube** þarf þá að passa að nota mismunandi hnúta sem fyrstu hnúta í hverri hlið

Fyrirlestraæfingar

1. Segjum að teningur sé með miðju í punktinum $\boldsymbol{p}_t$. Hvað gerir eftirfarandi samsetta vörpun:

$$\boldsymbol{T}(\boldsymbol{p}_t)*\boldsymbol{S}(2, 2, 2)*\boldsymbol{T}(-\boldsymbol{p}_t)$$

2. Skrifið forritsbút sem býr til vörpunarfylki fyrir vörpunina í dæmi 1

3. Hvað eru margir þríhyrningar í einum teningi?