KU LEUVEN

Het gebruik van de normalen bij het bouwen van BSP acceleratie-structuren

Thesisverdediging

Jesse Hoobergs
KU Leuven
Juni 2019

Promotor:
Prof. dr. ir. Ph. Dutré

0 Overzicht

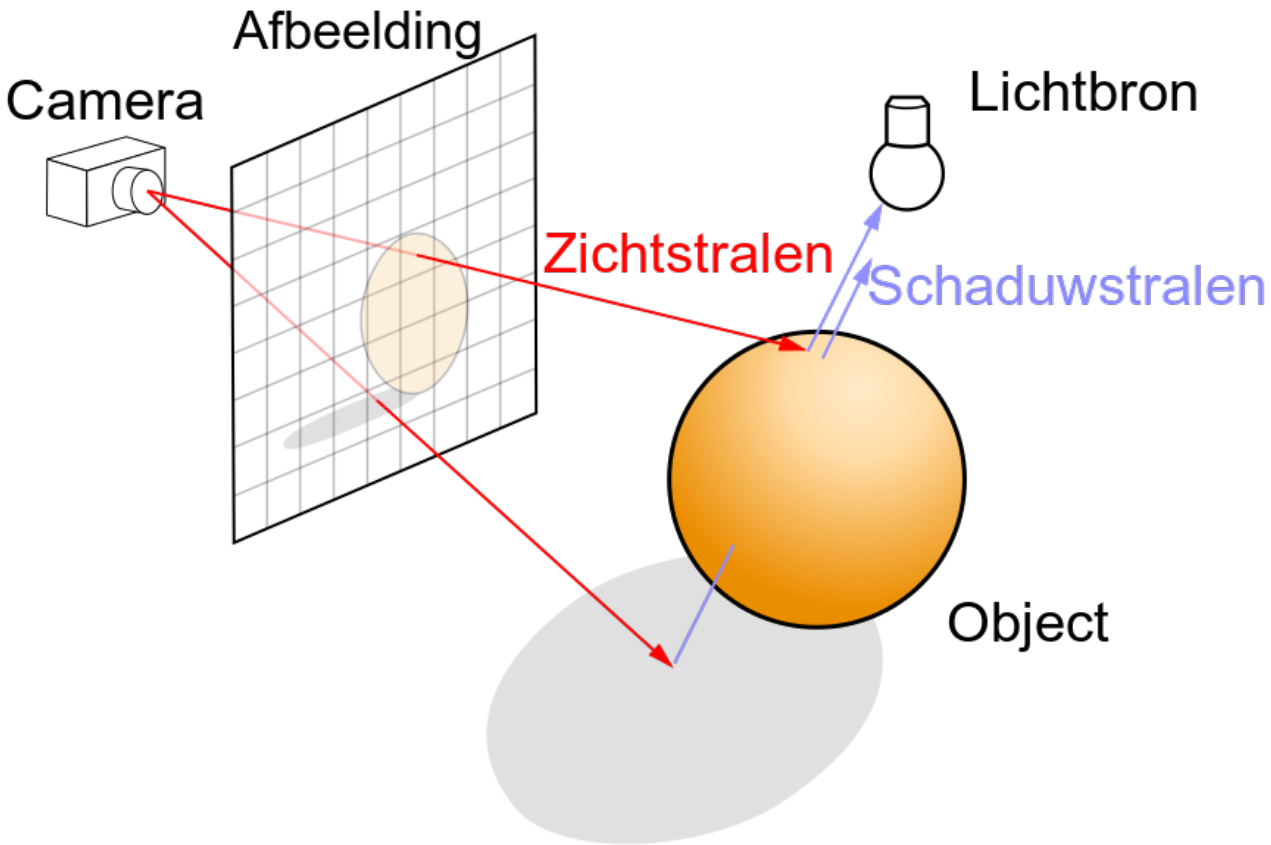
1 Outline

1 Ray tracing

- Fysisch gebaseerd renderen
- Stralen volgen door een scene

1 Ray tracing

- Fysisch gebaseerd renderen
- Stralen volgen door een scene



Gebaseerd op een afbeelding op $https://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(graphics)$

1 Ray tracing

- Praktische aantallen:
  - 1 miljoen pixels
  - 1 miljoen driehoeken (mogelijks veel meer)
  - 100 stralen per pixel

1 Ray tracing

- Praktische aantallen:
  - 1 miljoen pixels
  - 1 miljoen driehoeken (mogelijks veel meer)
  - 100 stralen per pixel

$\Longrightarrow$ 10^{14} straal-driehoekintersecties

1 Ray tracing

- Praktische aantallen:
  - 1 miljoen pixels
  - 1 miljoen driehoeken (mogelijks veel meer)
  - 100 stralen per pixel

$\Longrightarrow$ 10^{14} straal-driehoekintersecties

$\Longrightarrow$ Acceleratiestructuren

1 Acceleratiestructuren

- Doel:
  - Totale rendertijd minimaliseren
  - Straal-driehoekintersecties te verminderen

1 Acceleratiestructuren

- Doel:
  - Totale rendertijd minimaliseren
  - Straal-driehoekintersecties te verminderen
- Simpelste versie
  - Omhullende volume van scene (balk, bol, etc)
  - Test intersectie met omhullend volume
    - `Intersectie`: Test alle driehoeken
    - `Geen intersectie`: Test nul driehoeken
  - Recursief opdelen tot boomstructuur

1 Acceleratiestructuren

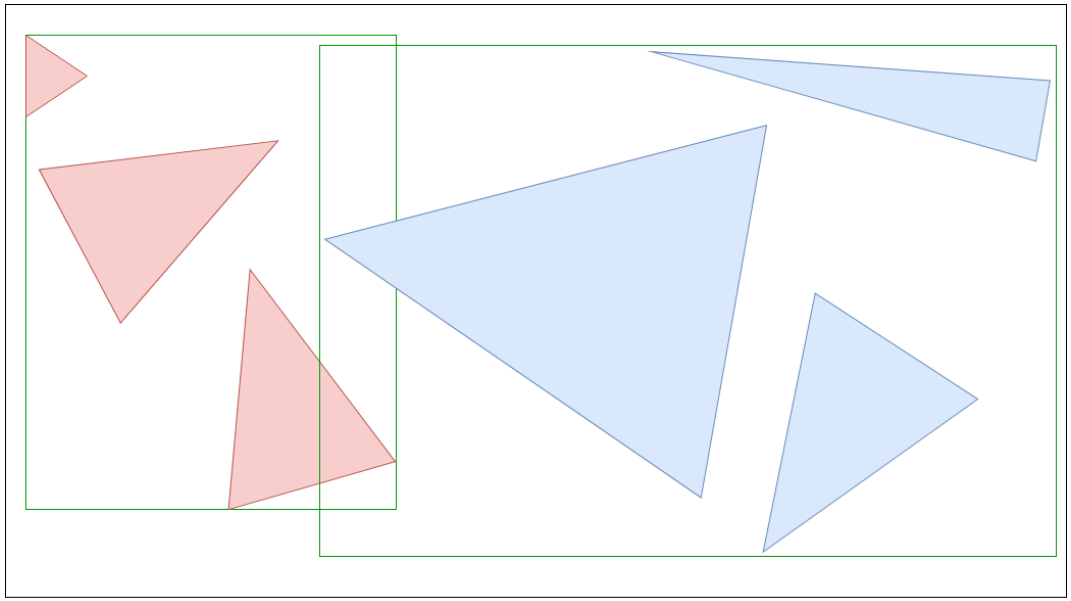
- Doel:
  - Totale rendertijd minimaliseren
  - Straal-driehoekintersecties te verminderen
- Simpelste versie
  - Omhullende volume van scene (balk, bol, etc)
  - Test intersectie met omhullend volume
    - `Intersectie`: Test alle driehoeken
    - `Geen intersectie`: Test nul driehoeken
  - Recursief opdelen tot boomstructuur
- Twee manieren van opdelen:
  - Volgens objecten
  - Volgens volume

1 Opdelen volgens object

- Driehoeken opgedeeld in disjuncte groepen
- Kindvolumes = omhullende volumes groepen
- Elke driehoek in exact één kindvolume
- Kindvolumes kunnen overlappen in de ruimte

1 Opdelen volgens object

- Driehoeken opgedeeld in disjuncte groepen
- Kindvolumes = omhullende volumes groepen
- Elke driehoek in exact één kindvolume
- Kindvolumes kunnen overlappen in de ruimte

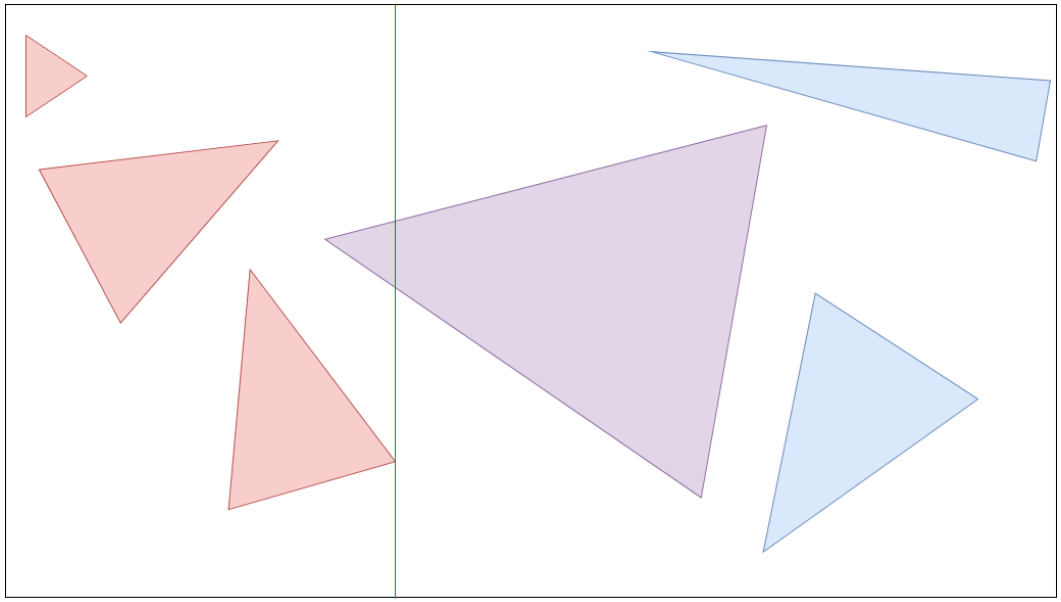


1 Opdelen volgens ruimte

- Volume opgedeeld in disjuncte groepen
- Splitsing via *splitsingsvlakken*
- Elke driehoek in minstens één kindvolume
- Kindvolumes overlappen niet in de ruimte

1 Opdelen volgens ruimte

- Volume opgedeeld in disjuncte groepen
- Splitsing via *splitsingsvlakken*
- Elke driehoek in minstens één kindvolume
- Kindvolumes overlappen niet in de ruimte



1 BSP bomen

- *Binary Space Partitioning* bomen
- Delen volgens ruimte
- Delen steeds in 2 kindvolumes
- Splitsing via willekeurige vlakken in de ruimte
- Kd boom:
  - Enkel asgealigneerde vlakken
  - Computationele voordelen bij bouwen en renderen
  - Meest gebruikte BSP boom
- Algemene BSP boom:
  - Veel meer mogelijke splitsingsvlakken
  - Moeilijk om goede te vinden

1 Doel thesis

- Algemene BSP boom
- Normalen van driehoeken
- Goede splitsingsvlakken

- BSP_{SWEEP} boom

2 Outline

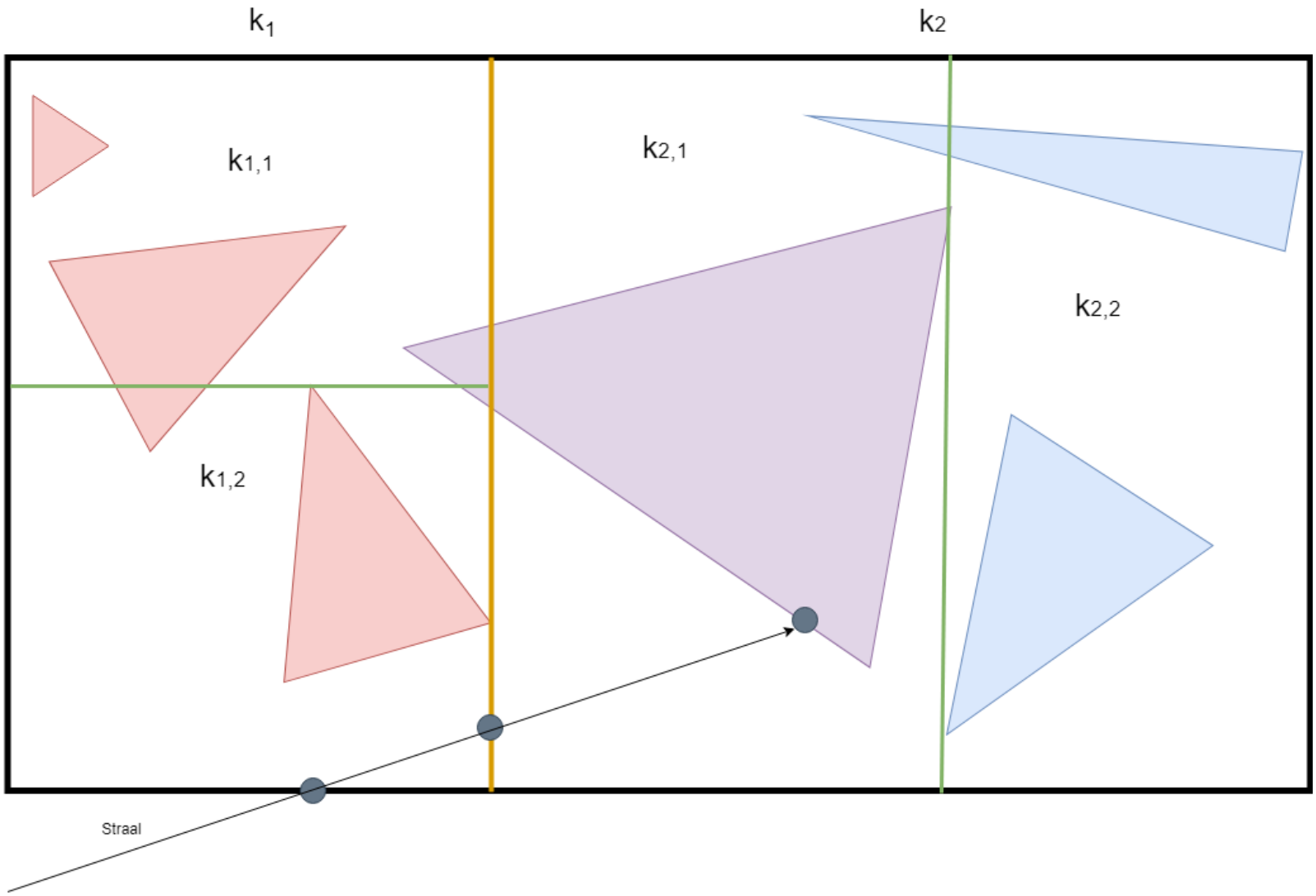
2 BSP bomen

- Bouwen
- Intersecteren
- Bestaande BSP bomen

2 Bouwen BSP boom

- Wortelknoop
  - Volume = omhullende balk scene
  - Bevat alle driehoeken
- Splits in twee kindknopen
  - Splits het volume volgens een splitsingsvlak
  - Maak twee kindknopen, één voor elk volumedeel
  - Bepaal voor elke kindknoop de driehoeken
- Splits kindknopen recursief tot stopconditie

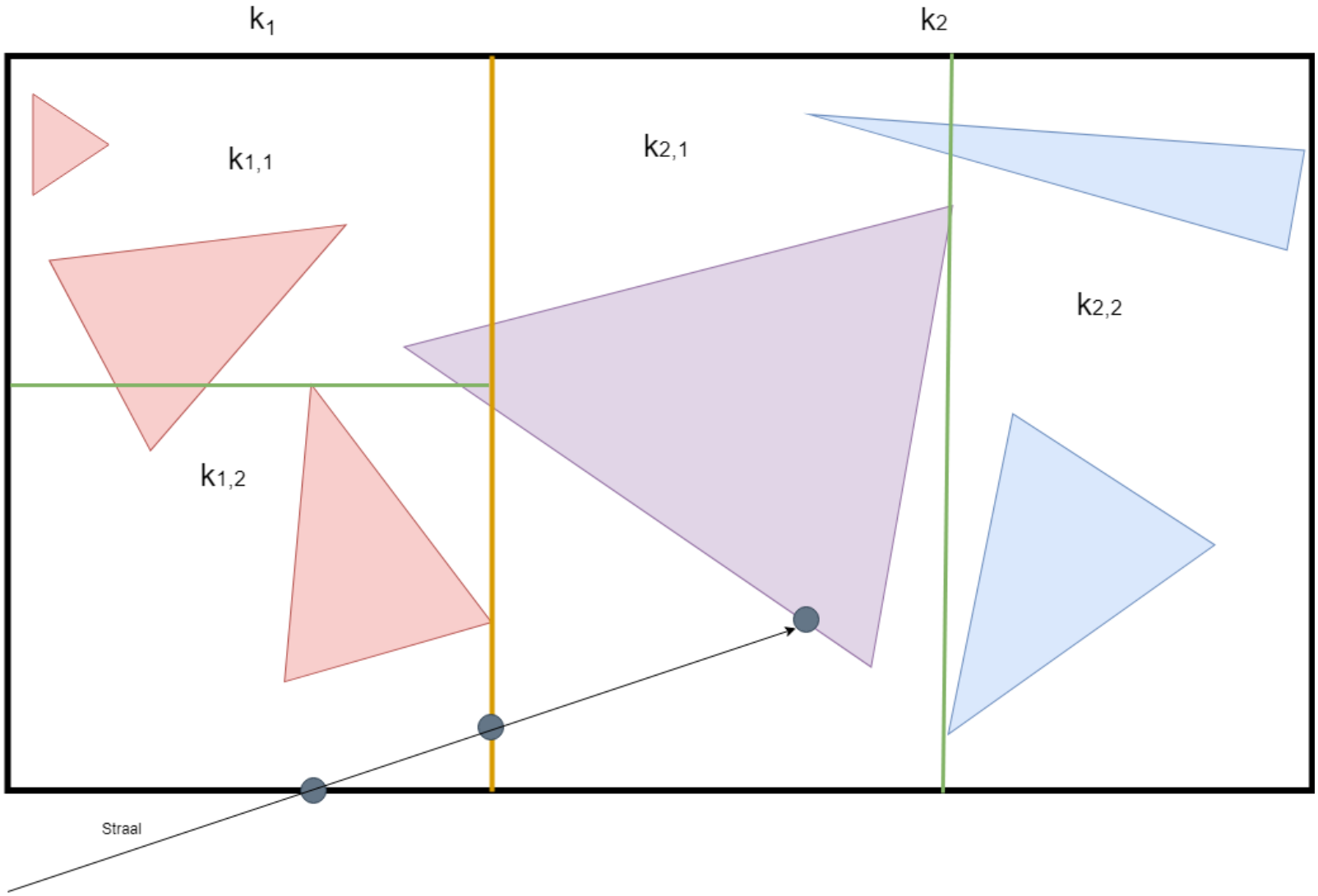
2 Bouwen BSP boom



2 Intersecteren BSP boom

- Bepaal intersectie straal met wortelknoop:
  - geen intersectie: geen intersecterende driehoek
  - anders: doorkruis de wortelknoop
- Doorkruisen knoop
  - Inwendige knoop
    - Bepaal intersectie straal met splitsingsvlak
    - Bepaal de volgorde waarin de straal door de kindknopen gaat
    - Doorkruis de kindknopen in deze volgorde
  - Bladknoop
    - Bepaal voor elke driehoek de straal-driehoek intersectie

2 Intersecteren BSP boom

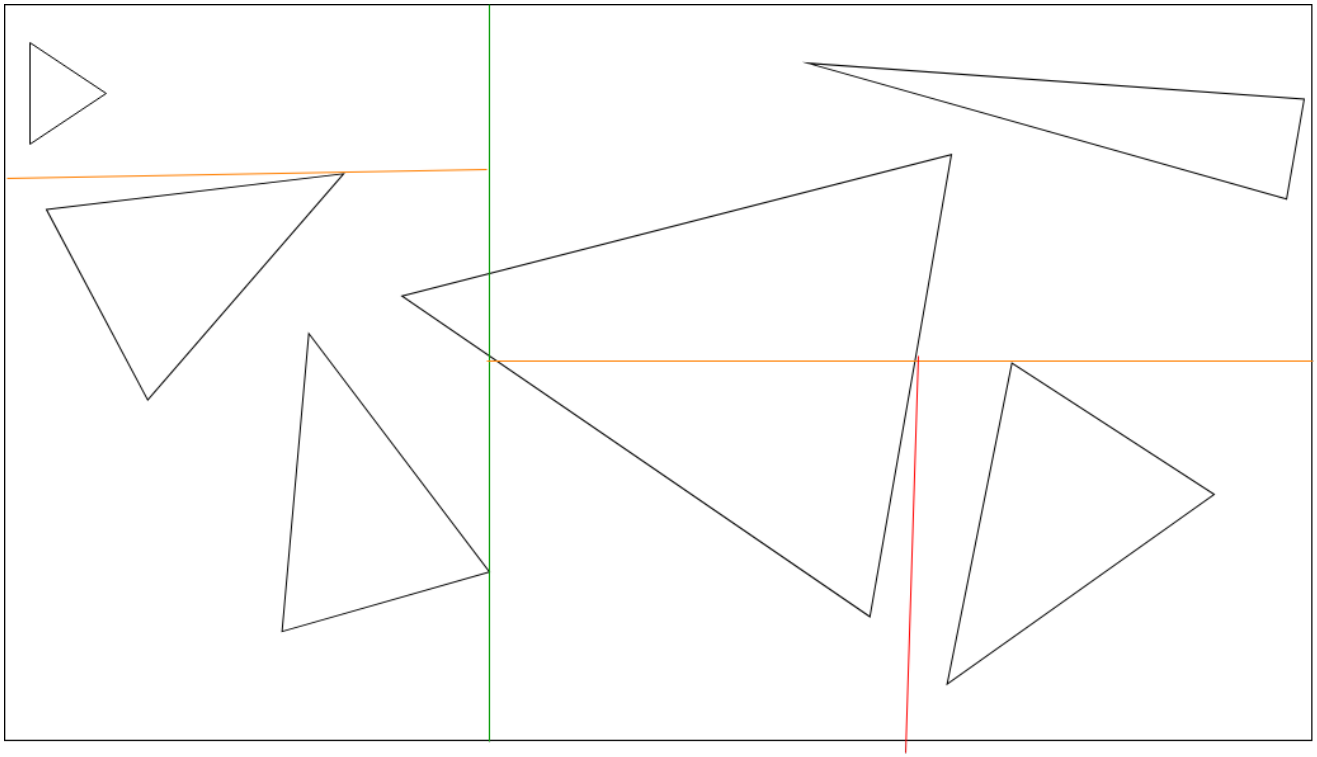


2 Kd boom

- Enkel asgealigneerde splitsingsvlakken
  - Volume elke knoop $=$ asgealigneerde balk
  - Goedkoper doorkruisen inwendige knoop
  - Kunnen zich minder goed aanpassen aan scene

2 Kd boom

- Enkel asgealigneerde splitsingsvlakken
  - Volume elke knoop = asgealigneerde balk
  - Goedkoper doorkruisen inwendige knoop
  - Kunnen zich minder goed aanpassen aan scene



2 Bepalen beste splitsingsvlak

- Bepaal kost na splitsen volgens vlak
- Kies beste splitsingsvlak of splits niet

2 Bepalen beste splitsingsvlak

- Bepaal kost na splitsen volgens vlak
- Kies beste splitsingsvlak of splits niet
- *Surface Area* heuristiek
  - Kans om kindknoop te doorkruisen is evenredig met oppervlakte
  - Kost knoop evenredig met aantal driehoeken
  - Na splitsing zijn beide kindknopen bladknopen
  - $\mathcal{K}_p = \frac{SA(l)}{SA(p)} * n_l * \mathcal{K}_i + \frac{SA(r)}{SA(p)} * n_r * \mathcal{K}_i + \mathcal{K}_d$
  - Kost om niet te splitsen: $n_l * \mathcal{K}_i$

2 Bepalen beste splitsingsvlak

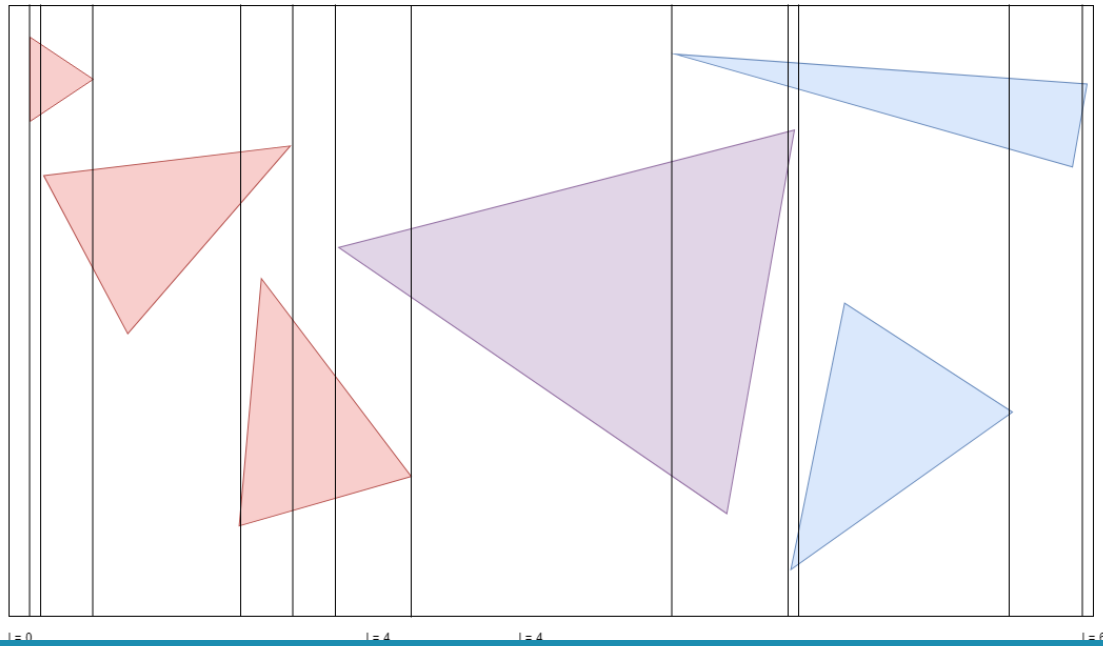
- Bepaal kost na splitsen volgens vlak
- Kies beste splitsingsvlak of splits niet
- *Surface Area* heuristiek
  - Kans om kindknoop te doorkruisen is evenredig met oppervlakte
  - Kost knoop evenredig met aantal driehoeken
  - Na splitsing zijn beide kindknopen bladknopen
  - $\mathcal{K}_p = \frac{SA(l)}{SA(p)} * n_l * \mathcal{K}_i + \frac{SA(r)}{SA(p)} * n_r * \mathcal{K}_i + \mathcal{K}_d$
  - Kost om niet te splitsen: $n_l * \mathcal{K}_i$
- Alle asgealigneerde vlakken testen is onhaalbaar
  - Havran: slechts $2n$ mogelijke splitsingsvlakken per richting
  - SA kost stijgt/daalt monotoon tussen eindpunten driehoeken langs die richting
  - Enkel asgealigneerde vlakken door eindpunten testen

2 Bepalen beste splitsingsvlak

- SA kost berekenen
  - Aantal driehoeken in beide kindknopen nodig
  - Oppervlaktes beide kindknopen nodig

2 Bepalen beste splitsingsvlak

- SA kost berekenen
  - Aantal driehoeken in beide kindknopen nodig
  - Oppervlaktes beide kindknopen nodig
- *Sweeping*
  - Sorteer driehoeken volgens eindknopen langs as
  - 'Veeg' over de as en update n_l en n_r

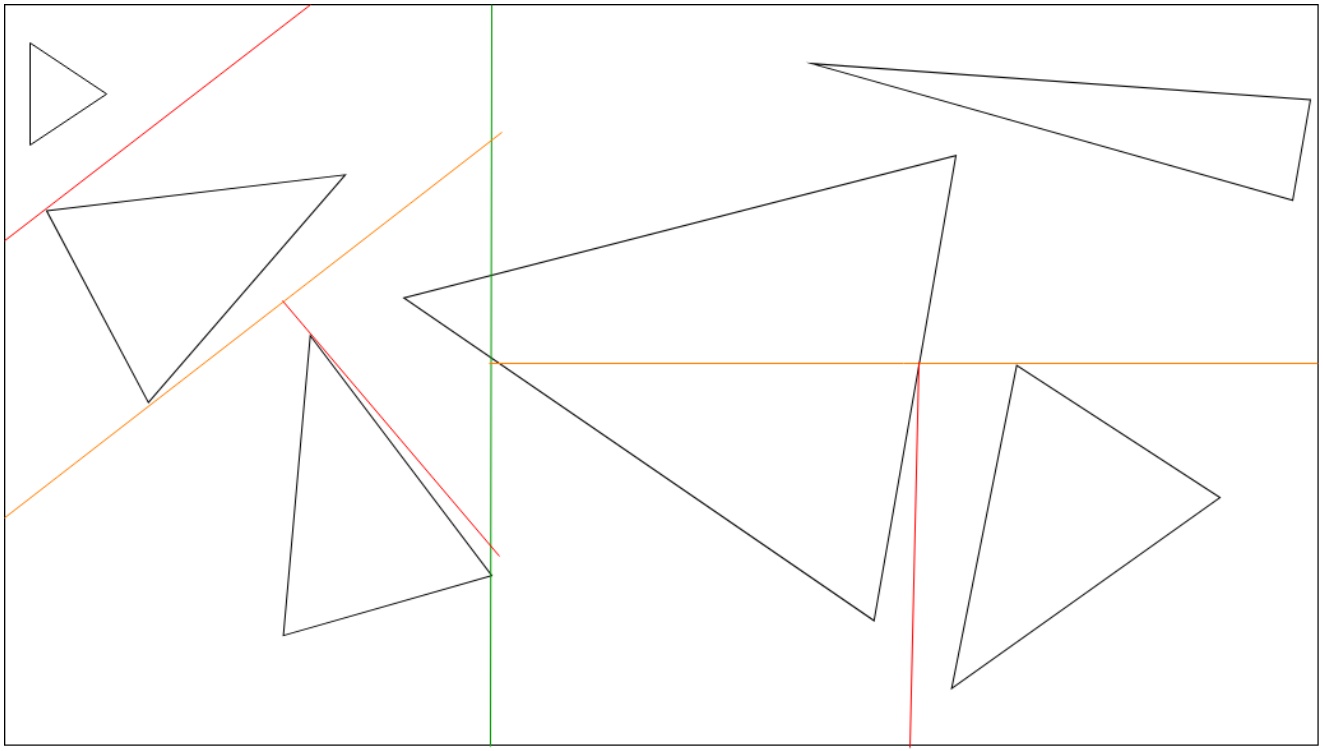


2 $RBSP$ boom

- Enkel splitsingsrichtingen uit vaste verzameling van k richtingen
  - Volume elke knoop $= k - DOP$
  - Duurder doorkruisen inwendige knoop
  - Kunnen niet alle niet-intersecterende driehoeken scheiden

2 $RBSP$ boom

- Enkel splitsingsrichtingen uit vaste verzameling van k richtingen
  - Volume elke knoop $= k - DOP$
  - Duurder doorkruisen inwendige knoop
  - Kunnen niet alle niet-intersecterende driehoeken scheiden



2 Praktisch

- Bepalen vaste verzameling splitsingsrichtingen
  - Belangrijk dat ze samen de eenheidsbol goed bedekken
- SA kost kan gebruikt worden, inclusief *sweeping*
- Oppervlakte $k - DOP$ berekenen is duurder
- Ten opzichte van Kd boom
  - Minder straal-driehoekintersecties
  - Tragere inwendige knoopdoorkruising
  - Tragere rendertijd

2 BSP_{IZE} boom

- Enige bestaande algemene BSP boom bij rendering
- Geometrie-afhankelijke splitsingsvlakken
  - De asgealigneerde vlakken van Kd boom
  - Vlak door elke driehoek
  - Drie vlakken door zijde driehoek en loodrecht op driehoek
- Volume elke knoop $=$ convex veelvlak
- Sweeping
  - Mogelijk voor de Kd richtingen
  - Niet mogelijk voor de vier andere vlakken per driehoek
    - BVH hulpstructuur nodig om n_l en n_r efficiënt te berekenen
    - Tragere bouwtijd

2 BSP^{Kd}_{IZE} boom

- Optimalisatie

2 BSP^{Kd}_{IZE} boom

- Optimalisatie
- Inwendige Kd knopen bevoordelen
  - Sneller te doorkruisen dan BSP knopen
  - Lagere doorkruiskost in SA kost dan inwendige BSP knopen

2 BSP^{Kd}_{IZE} boom

- Optimalisatie
- Inwendige Kd knopen bevoordelen
  - Sneller te doorkruisen dan BSP knopen
  - Lagere doorkruiskost in SA kost dan inwendige BSP knopen
- Aanpassing SA heuristiek
  - Aparte $\mathcal{K}_{d,Kd}$ en $\mathcal{K}_{d,BSP}$

2 BSP^{Kd}_{IZE} boom

- Optimalisatie
- Inwendige Kd knopen bevoordelen
  - Sneller te doorkruisen dan BSP knopen
  - Lagere doorkruiskost in SA kost dan inwendige BSP knopen
- Aanpassing SA heuristiek
  - Aparte $\mathcal{K}_{d,Kd}$ en $\mathcal{K}_{d,BSP}$
  - Rechtstreeks gebruiken in SA kost werkt niet
    - SA kost varieert lineair in aantal driehoeken
    - BSP knopen splitsen beter
    - Bijna enkel BSP knopen gebruikt

2 BSP^{Kd}_{IZE} boom

- Optimalisatie
- Inwendige Kd knopen bevoordelen
  - Sneller te doorkruisen dan BSP knopen
  - Lagere doorkruiskost in SA kost dan inwendige BSP knopen
- Aanpassing SA heuristiek
  - Aparte $\mathcal{K}_{d,Kd}$ en $\mathcal{K}_{d,BSP}$
  - Rechtstreeks gebruiken in SA kost werkt niet
    - SA kost varieert lineair in aantal driehoeken
    - BSP knopen splitsen beter
    - Bijna enkel BSP knopen gebruikt
  - $\mathcal{K}_{d,BSP}$ lineair afhankelijke van aantal driehoek
    - $\mathcal{K}_{d,BSP} = \alpha * \mathcal{K}_i * (n-1) + \mathcal{K}_{d,Kd}$
    - Beste splitsingsvlak zoeken
    - Indien niet gevonden, vaste $\mathcal{K}_{d,BSP}$

2 Vergelijking

- Ten opzichte van Kd boom
  - Geen volledige sweeping mogelijk
  - Minder straal-driehoekintersecties
  - Gemiddeld lichtjes tragere inwendige knoopdoorkruising
  - Lichtjes snellere rendertijd

2 Vergelijking

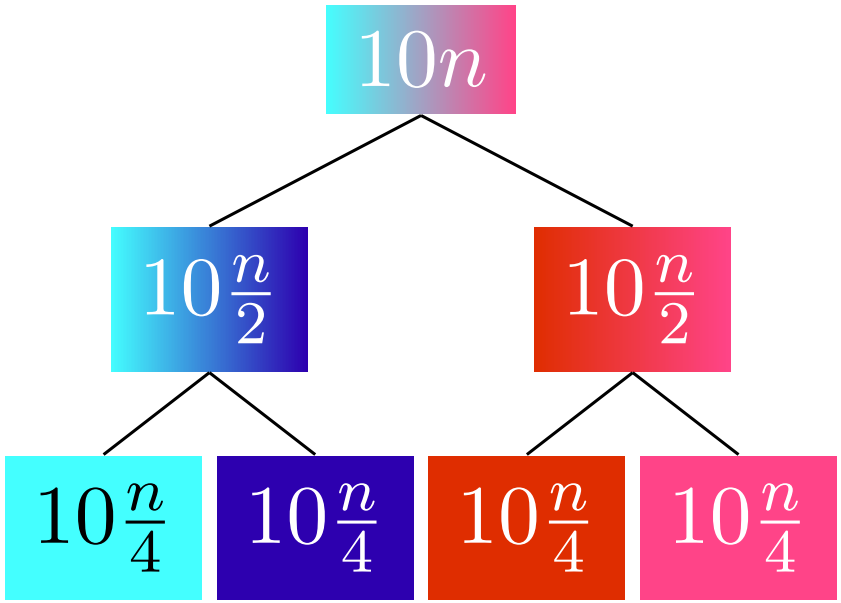
- Ten opzichte van Kd boom
  - Geen volledige sweeping mogelijk
  - Minder straal-driehoekintersecties
  - Gemiddeld lichtjes tragere inwendige knoopdoorkruising
  - Lichtjes snellere rendertijd
- Ten opzichte van $RBSP$ boom
  - Duurdere bouwtijd
  - Beide kunnen snelle Kd doorkruising gebruiken

2 Vergelijking

- Aantal splitsingsvlakken per niveau
  - Kd: $6n$
  - $RBSP$: $2kn$
  - BSP_{IZE}: $10n$
- Totaal aantal verschillende geteste splitsingsvlakken
  - Kd: $6n$
  - $RBSP$: $2kn$
  - BSP_{IZE}: $10n$
- Zelfs BSP_{IZE} gebruikt niet volledige vrijheid

2 Aantal splitsingsvlakken

- Zelfde splitsingsvlakken op elk niveau (bv BSP_{IZE})



$\#$	$\# \neq$
$10n$	$10n$
$10n$	$10n$
$10n$	$10n$

- Driehoeken die in het bovenste niveau niet gesplitst kunnen worden
  - Kunnen in geen enkel niveau van elkaar gesplitst worden

3 Outline

3 Concept

- Algemene BSP boom
- Geometrie-afhankelijke splitsingsrichtingen
  - In elke knoop k richtingen bepaald
  - Richtingen kunnen afhankelijk zijn van driehoeken in knoop
  - *Sweeping* over deze richtingen
  - Geen hulpstructuur nodig
- Drie ontwerpbeslissingen
  - Methode gebruikt om de k-richtingen te bepalen
  - Waarde van k
  - Kd richtingen altijd gebruiken of niet ?
- $RBSP$ boom is BSP_{SWEEP} boom met steeds zelfde richtingen

3 Bepalen k-richtingen

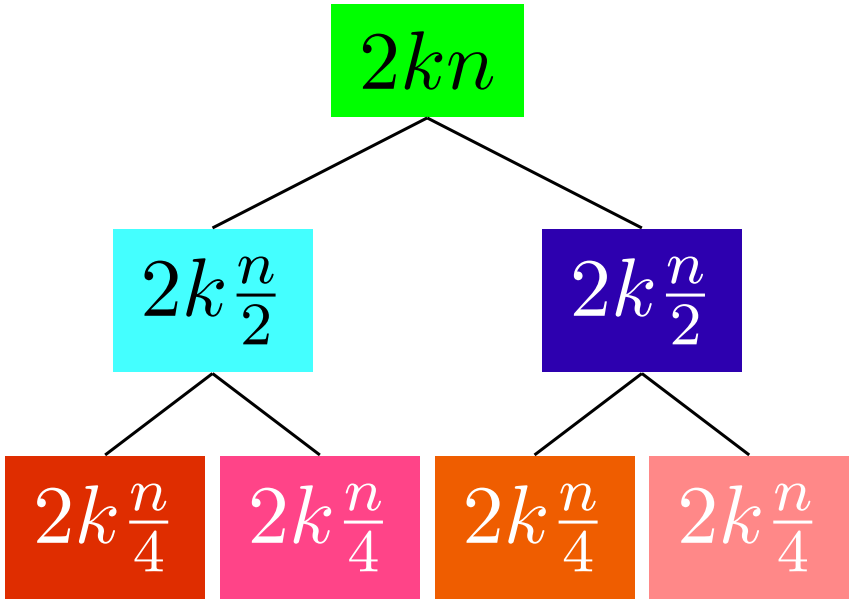
- BSP_{random}
  - Willekeurige richtingen (uniform op hemisfeer)
  - Idee: met veel verschillende (mogelijks slechte) vlakken proberen te splitsen
  - Kans op splitsing door willekeurige richting even groot als door Kd richting
- BSP_{wn}
  - Normalen van willekeurige driehoeken in de knoop
  - Idee: splitsen volgens oriëntatie driehoeken
  - Maakt gebruik van welke driehoeken samen in een knoop zitten
- BSP_{cn}
  - Clustercentra van normalen van de driehoeken in de knoop
  - Idee: splitsen volgens veelvoorkomende oriëntaties
  - Maakt gebruik van welke driehoeken samen in een knoop zitten

3 Kd richtingen gebruiken ?

- k richtingen genereren
  - BSP_{random}
  - BSP_{wn}
  - BSP_{cn}
- Kd richtingen en $k-3$ richtingen genereren
  - Kd richtingen behandelen als BSP richtingen
    - $BSP_{random+}$
    - BSP_{wn+}
    - BSP_{cn+}
  - Kd richtingen apart behandelen
    - $BSP^{Kd}_{random+}$
    - BSP^{Kd}_{wn+}
    - BSP^{Kd}_{cn+}

3 Aantal splitsingsvlakken

- Andere splitsingsvlakken op elk niveau



$\#$	$\#\neq$
$2kn$	$2kn$
$2kn$	$4kn$
$2kn$	$6kn$

- Driehoeken die in het bovenste niveau niet gesplitst kunnen worden
  - Kunnen op lagere niveaus misschien wel gesplitst worden
  - $\mathcal{O}(nlog(n))$ verschillende splitsingsvlakken ipv $\mathcal{O}(n)$

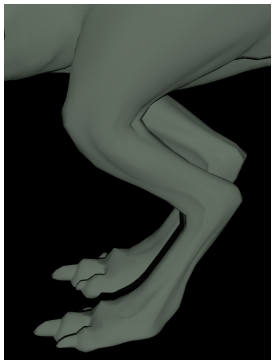
4 Outline

4 Implementatie

- Pbrt-v3 renderer
- Enkel op de CPU
- Bouwen is niet geparallelliseerd
- Geïmplementeerde BSP bomen:
  - Kd
  - $RBSP$ en $RBSP^{Kd}$
  - BSP_{IZE} en BSP^{Kd}_{IZE}
  - $BSP^{(Kd)}_{random(+)}$, $BSP^{(Kd)}_{wn(+)}$ en $BSP^{(Kd)}_{cn(+)}$

5 Outline

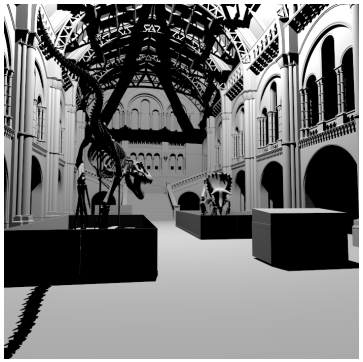
5 Scenes



(a) Killeroo Been scene

(b) Sponza scene

(c) Conference scene



(d) Museum scene

- Killeroo: 33264 driehoeken
- Sponza: 227309 driehoeken
- Conference: 123651 driehoeken
- Museum: 1462840 driehoeken

5 Twee experimenten

- Afhankelijkheid van het aantal richtingen k bij BSP_{SWEEP}
  - Eerste drie scenes zeven keer gerenderd
    - Voor elk k-waarde van 2 tem 10
    - Voor elk van de negen BSP_{SWEEP} bomen
  - Uitvoering met rendertijd $=$ mediaan zeven rendertijden gebruikt als representatieve
- Vergelijking met de andere BSP bomen
  - Alle vier scenes zeven keer gerenderd
    - Voor elke besproken bestaande BSP boom
    - Voor $BSP^{Kd}_{random+}$, BSP^{Kd}_{wn+}, BSP^{Kd}_{cn+} met optimale k-waarde
  - Uitvoering met rendertijd $=$ mediaan zeven rendertijden gebruikt als representatieve

5 Afhankelijkheid van het aantal richtingen

- Bouwtijd
  - Twee ordegroottes groter dan bouwtijd Kd boom
  - Afhankelijkheid van k
    - $BSP^{(Kd)}_{random(+)}$ lineair
    - $BSP^{(Kd)}_{wn(+)}$ en $BSP^{(Kd)}_{cn(+)}$: sublineair
  - Op zelfde wijze afhankelijk van aantal driehoeken als Kd boom
  - Gebruik convex veelvlak is ongeveer 25 keer trager dan asgealigneerde balk

5 Afhankelijkheid van het aantal richtingen

- Aantal knopen
  - Stijgt met stijgende k, maar vlakt snel af
  - $BSP^{(Kd)}_{random(+)}$: 1.8 - 2 keer zoveel knopen als Kd boom
  - $BSP^{(Kd)}_{wn(+)}$ en $BSP^{(Kd)}_{cn(+)}$: 1.2 - 1.3 keer zoveel knopen als Kd boom

- Procentueel aantal Kd knopen
  - Daalt met stijgende k, maar vlakt snel af
  - $BSP^{Kd}_{random+}$: 20% - 35 %
  - BSP^{Kd}_{wn+} en BSP^{Kd}_{cn+}: 30% - 45 %
  - Afhankelijkheid van de diepte
    - Bovenste niveaus: bijna enkel Kd knopen
    - Onderste niveaus: bijna enkel BSP knopen

5 Rendertijd

- BSP_{SWEEP} boom zonder Kd richtingen
  - Daalt sterk met stijgende k
  - Enkel sneller dan Kd boom bij Killeroo Been scene
  - Daalt tot ongeveer 1.8 keer (BSP_{random}) en 1.3 keer (BSP_{wn} en BSP_{cn}) trager
- BSP_{SWEEP} boom met Kd richtingen als BSP richtingen
  - Daalt lichtjes met stijgende k en stijgt dan voor grotere k-waarden
  - Bij minstens één k-waarde sneller dan Kd boom
  - $BSP_{random+}$ trager dan BSP_{wn+} en BSP_{cn+}
- BSP_{SWEEP} boom met Kd richtingen apart behandeld
  - Daalt met stijgende k
  - Bij elk k-waarde sneller dan Kd boom
    - BSP^{Kd}_{wn+} en BSP^{Kd}_{cn+}: daalt al minstens 15% voor k $= 4$
  - $BSP^{Kd}_{random+}$ trager dan BSP^{Kd}_{wn+} en BSP^{Kd}_{cn+}

5 Afhankelijkheid van het aantal richtingen

- Aantal intersecties
  - Verloop in functie van k zoals rendertijd
  - BSP^{Kd}_{wn+} en BSP^{Kd}_{cn+}:
    - daling tot 40%
    - vlak vanaf een k-waarde van 5
  - $BSP^{Kd}_{random+}$:
    - daling tot 40%
    - daalt trager maar monotoon in functie van k

5 Afhankelijkheid van het aantal richtingen

- Aantal doorkruisingen
  - BSP^{Kd}_{wn+} en BSP^{Kd}_{cn+}:
    - evenveel als Kd boom
    - onafhankelijk van k
  - $BSP^{Kd}_{random+}$:
    - stijgt tot 10% meer dan Kd boom
    - stijgt traag en monotoon in functie van k
- Procentueel aantal Kd doorkruisingen
  - BSP^{Kd}_{wn+} en BSP^{Kd}_{cn+}:
    - 85% - 90%
    - vlak vanaf k-waarde van 5
  - $BSP^{Kd}_{random+}$:
    - 80% - 90%
    - daalt traag en monotoon in functie van k

5 Vergelijking bestaande bomen

- Nieuwe bomen
  - $BSP^{Kd}_{random+}$ met k = 10
  - BSP^{Kd}_{wn+} met k = 6
  - BSP^{Kd}_{cn+} met k = 6
  - $RBSP^{Kd}$ met k = 13
- Bestaande bomen
  - Kd
  - $RBSP$ met k = 13
  - BSP_{IZE}
  - BSP^{Kd}_{IZE}

5 Rendertijd en Bouwtijd

		Killeroo Been		Sponza		Conference		Museum	
Boom	k	R	B	R	B	R	B	R	B
Kd		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BSP_{IZE}		94.1%	21 100%	165%	35 900%	105%	26 700%	88.2%	90 100%
BSP^{Kd}_{IZE}		95.0%	19 600%	109%	35 300%	92.5%	25 600%	84.7%	91 800%
BSP^{Kd}_{wn+}	6	67.7%	11 300%	80.4%	9460%	78.6%	8650%	63.4%	11 500%
BSP^{Kd}_{cn+}	6	67.8%	11 700%	80.3%	9740%	79.3%	8840%	65.9%	12 100%
$BSP^{Kd}_{random+}$	10	80.2%	17 800%	85.5%	16 100%	87.1%	15 400%	78.4%	21 800%
$RBSP$	13	82.7%	25 100%	131%	23 700%	101%	22 300%	482%	25 000%
$RBSP^{Kd}$	13	83.5%	25 700%	94.2%	23 600%	92.9%	22 200%	78.1%	24 900%

5 Straal-driehoekintersecties

		Killeroo Been		Sponza		Conference		Museum	
Boom	k	ZI	SI	ZI	SI	ZI	SI	ZI	SI
Kd		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BSP_{IZE}		73.1%	72.7%	390%	483%	128%	140%	73.1%	46.6%
BSP^{Kd}_{IZE}		76.2%	75.2%	157%	142%	83.4%	81.9%	57.5%	61.4%
BSP^{Kd}_{wn+}	6	19.0%	16.1%	58.6%	54.3%	47.1%	34.2%	27.0%	40.2%
BSP^{Kd}_{cn+}	6	18.7%	16.4%	59.3%	54.5%	53.7%	41.3%	28.5%	44.8%
$BSP^{Kd}_{random+}$	10	35.2%	35.8%	49.9%	53.8%	52.5%	52.0%	36.8%	52.3%
$RBSP$	13	44.3%	45.2%	209%	239%	98.3%	111%	1380%	600%
$RBSP^{Kd}$	13	42.4%	43.0%	78.0%	75.8%	73.3%	78.4%	55.1%	33.1%

5 *False color* afbeeldingen intersecties

- BSP^{Kd}_{wn+} vs Kd




5 Inwendige knoopdoorkruisingen

		Killeroo Been		Sponza		Conference		Museum	
Boom	k	ZD	SD	ZD	SD	ZD	SD	ZD	SD
Kd		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BSP_{IZE}		97.3%	101%	130%	128%	117%	115%	109%	98.4%
BSP^{Kd}_{IZE}		100%	102%	117%	109%	107%	107%	107%	103%
BSP^{Kd}_{wn+}	6	83.2%	83.9%	98.6%	99.6%	96.7%	96.5%	94.1%	90.6%
BSP^{Kd}_{cn+}	6	83.0%	85.0%	98.6%	99.5%	96.0%	97.0%	95.0%	94.0%
$BSP^{Kd}_{random+}$	10	95.8%	99.1%	108%	109%	108%	108%	106%	105%
$RBSP$	13	91.5%	96.1%	141%	138%	125%	127%	109%	97.1%
$RBSP^{Kd}$	13	95.3%	98.1%	117%	112%	110%	108%	105%	96.4%

5 Kd knoopdoorkruisingen

		Killeroo Been			Sponza		
Boom	k	Kd	ZD Kd	SD Kd	Kd	ZD Kd	SD Kd
Kd		100%	100%	100%	100%	100%	100%
BSP_{IZE}		49.4%	0%	0%	50.9%	0%	0%
BSP^{Kd}_{IZE}		55.1%	88.3%	88.3%	55.6%	88.2%	90.9%
BSP^{Kd}_{wn+}	6	29.5%	72.8%	72.3%	36.6%	88.8%	89.3%
BSP^{Kd}_{cn+}	6	29.2%	72.8%	71.3%	36.5%	88.5%	89.0%
$BSP^{Kd}_{random+}$	10	30.2%	74.6%	72.3%	34.5%	83.5%	84.9%
$RBSP$	13	22.0%	0%	0%	26.3%	0%	0%
$RBSP^{Kd}$	13	29.8%	71.2%	70.9%	33.2%	77.9%	79.2%

		Conference			Museum		
Boom	k	Kd	ZD Kd	SD Kd	Kd	ZD Kd	SD Kd
Kd		100%	100%	100%	100%	100%	100%
BSP_{IZE}		49.8%	0%	0%	38.5%	0%	0%
BSP^{Kd}_{IZE}		58.4%	89.7%	91.0%	41.7%	87.1%	87.1%
BSP^{Kd}_{wn+}	6	44.1%	92.3%	92.6%	32.0%	88.8%	87.3%
BSP^{Kd}_{cn+}	6	43.2%	90.0%	90.8%	30.5%	87.1%	86.8%
$BSP^{Kd}_{random+}$	10	35.3%	84.1%	87.1%	21.3%	83.1%	83.6%
$RBSP$	13	25.1%	0%	0%	18.3%	0%	0%
$RBSP^{Kd}$	13	34.3%	80.4%	82.6%	22.2%	78.9%	78.4%

6 Outline

6 Conclusie

- BSP_{SWEEP}
  - Nuttig en uitbreidbaar concept voor algemene BSP bomen
  - Lokale geometrie makkelijk in rekening te brengen
  - Beperkte bouwtijd door *sweeping*
- Variant met snelle Kd richtingen is superieur
- $BSP^{Kd}_{random+}$
  - In elke knoop andere splitsingsvlakken kiezen maakt de boom beter
- BSP^{Kd}_{wn+} en BSP^{Kd}_{cn+}
  - Splitsingsvlakken afhankelijk van lokale geometrie (normalen) maken de boom nog beter
  - Vermindering rendertijd met meer dan 20%
  - Vermindering straal-driehoekintersecties met meer dan 40%
  - Clustering lijkt geen voordeel te bieden

6 Toekomstig onderzoek

- Verbeteren bouwtijd
- Bepalen beste aantal richtingen (per diepte)
- Bepalen betere richtingen
- Focus op splitsen in disjuncte delen ipv SA kost

Bedankt voor jullie aandacht