

Fast Insertion-Based Optimization of Bounding Volume Hierarchies

Martin Čáp

Obsah

- Připomenutí algoritmu
- Výsledky
- Implementace

Algoritmus

- Optimalizace hierarchie obálek (BVH) do nadstandardní kvality
- Globální úpravy pomocí vyjmutí a znovuvložení uzlů
- Založen na cenovém modelu surface area heuristic (SAH)
- Nezávislý na zvolené metodě stavby BVH
- Vhodný na architektonické scény
- Předpoklad: v každém listu jen jeden trojúhelník

Algoritmus - hlavní cyklus

Dokud nejsou splněna ukončovací kritéria:

1. Zvol vnitřní uzly pro optimalizaci.
2. Pro každý vnitřní uzel:
 - 2.1 Odeber tento uzel, oba jeho potomky a jeho rodiče ze stromu.
 - 2.2 Najdi vhodnou pozici pro znovuvložení potomků za použití metody větví a mezí založené na cenách.
 - 2.3 Vlož každého z potomků na jeho novou pozici a oprav obálky všech afektovaných uzlů.

Cenový model - Surface Area Heuristic (SAH)

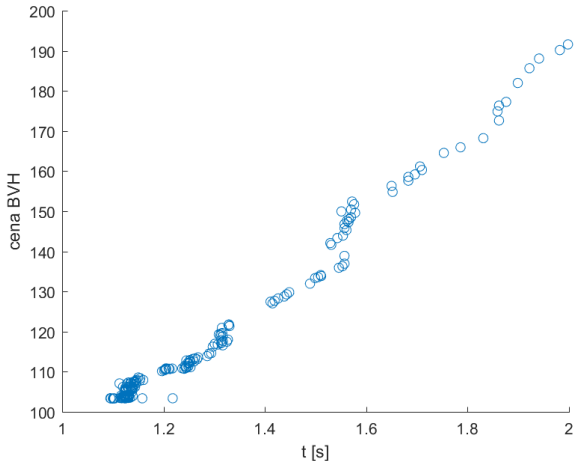
$$C(N) = \begin{cases} c_T + \frac{SA(L(N)) \cdot C(L(N)) + SA(R(N)) \cdot C(R(N))}{SA(N)} & N \text{ je vnitřní} \\ c_l \cdot t_N & N \text{ je list} \end{cases}$$

- Každý uzel má cenu, která je předpokladem průměrného počtu operací pro zpracování paprsku
- Předpoklady:
 - Uniformní distribuce paprsků
 - Paprsky nezastíněny
- Předpoklady nejsou v praxi splněny

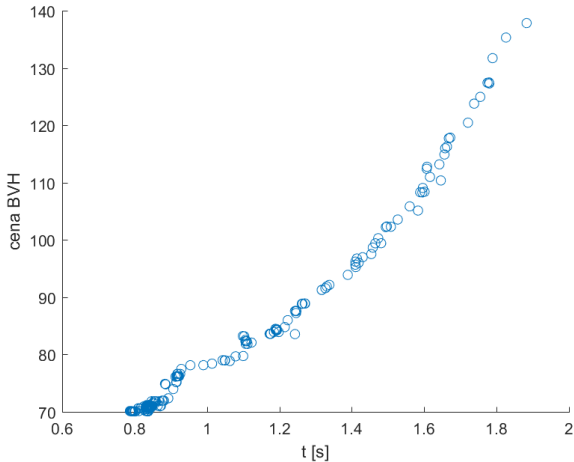
SAH - cena kořene T

$$C(T) = \frac{1}{SA(T)} \left[c_T \cdot \sum_{N \in \text{inner nodes}} SA(N) + c_l \cdot \sum_{N \in \text{leaves}} SA(N) \cdot t_N \right]$$

- $SA(T)$ je povrch obálky celé scény
- Podle našeho předpokladu, že v každém listu je právě jeden trojúhelník, je pravá suma konstantní

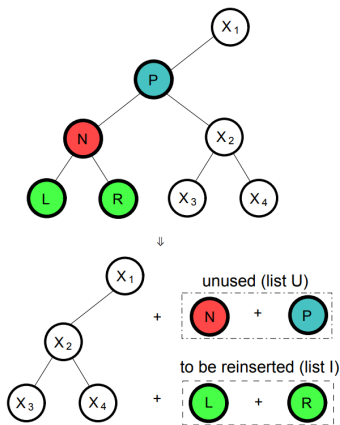


Obrázek 1: Vztah mezi cenou BVH a časem potřebným pro vykreslení scény. Získáno postupnou optimalizací jednoho BVH. Měřeno pro scénu konferenční místnosti (conference).



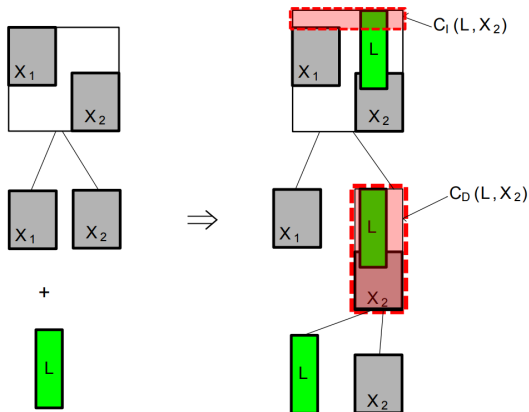
Obrázek 2: Vztah mezi cenou BVH a časem potřebným pro vykreslení scény. Získáno postupnou optimalizací jednoho BVH. Měřeno pro scénu teapots.

Odstranění uzlů



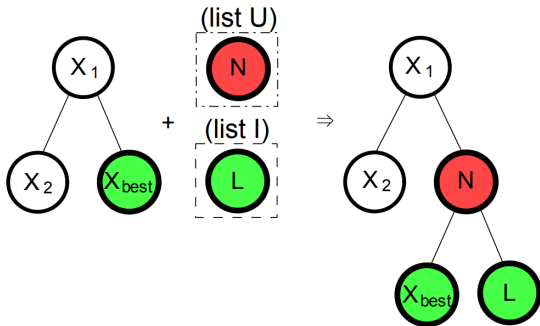
Obrázek 3: Lokální situace před a po odstranění uzlu N [1].

Vyhledání nových pozic



Obrázek 4: 2D ukázka přímé ceny C_D a indukované ceny C_I při vkládání uzlu L na pozici uzlu X_2 [1].

Zpětné vložení



Obrázek 5: Ilustrace situace, kdy vkládáme zpět uzel L na pozici X_{best} do stromu hierarchie. Zde za použití N jako společného rodiče [1].

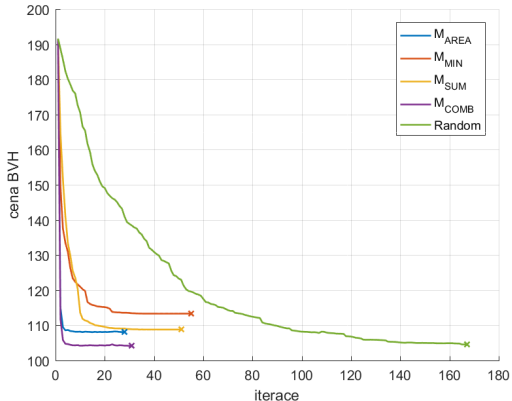
Výběr uzlů pro aktualizaci – hodnoty neefektivity

$$M_{SUM}(N) = \frac{SA(N)}{\frac{1}{|\text{children of } N|} \cdot \sum_{X \in \text{children of } N} SA(X)}$$

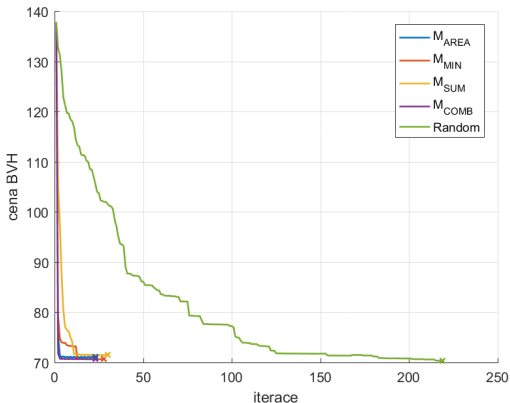
$$M_{MIN}(N) = \frac{SA(N)}{\min_{X \in \text{children of } N} SA(X)}$$

$$M_{AREA}(N) = SA(N)$$

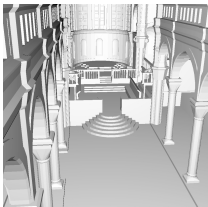
$$M_{COMB}(N) = M_{SUM}(N) \cdot M_{MIN}(N) \cdot M_{AREA}(N)$$



Obrázek 6: Porovnání strategií volby uzlů pro aktualizaci. Pro všechny byla použita ukončovací hodnota $p_T = 10$. Můžeme si všimnout, že M_{COMB} a náhodná volba uzlů (*Random*) konvergují k nejmenší hodnotě, kde se M_{COMB} hned po prvních krocích dostává do globálního minima. Měřeno na scéně konferenční místnosti (conference).



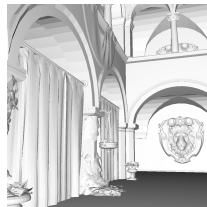
Obrázek 7: Porovnání strategií volby uzlů pro aktualizaci ($p_T = 10$). Zde si můžeme všimnout jak dlouho konverguje *Random* ke glob. minimu. Navíc lze vidět, že pro tuto konkrétní scénu hraje důležitou roli hodnota M_{MIN} . Měřeno na scéně čajových konvic (teapots).



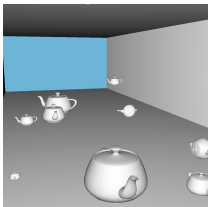
(a) Šibenik



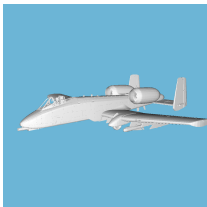
(b) Conference



(c) Sponza



(d) Teapots



(e) A-10 Warthog



(f) Armadillo

Obrázek 8: Vybrané obrázky vytvořené pomocí optimalizovaného BVH.

Výsledky z měření

Použité konstanty:

$k = 1\%$, $p_R = 5$ a $p_T = 10$, $c_{comp} = 1.25$ a $maxTrisInLeaf = 8$

V tabulce:

- $M = 1$ je BVH postavené pomocí dělení v prostorovém mediánu s round robin volbou dělicí osy (až na kořen, kde je osa zvolena podle obalového tělesa)
- $M = 2$ jsou výsledky pro optimalizované BVH pomocí popsané metody bez sloučených uzlů (právě jeden trojúhelník v každém listu)
- $M = 3$ se sloučenými uzly

M	cena BVH	doba stavby [s]	doba opt. [s]	doba vykreslení [s]	prům. # trav. kroků	prům. # inc. operací
---	-------------	-----------------------	---------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------

A-10 Warthog (219 tis. troj.)

1	92.34	0.09	–	0.356 (100.0)	15.56	1.01
2	55.36	5.74	5.65	0.329 (92.4)	12.38	1.15
3	49.89	5.80	0.05	0.326 (91.6)	10.81	2.81

Armadillo (345 tis. troj.)

1	102.14	0.18	–	0.582 (100.0)	24.07	1.27
2	88.04	7.49	7.31	0.745 (128.0)	27.02	1.49
3	84.61	7.56	0.07	0.764 (131.3)	25.37	3.53

City 1 (68 tis. troj.)

1	114.30	0.03	–	0.582 (100.0)	31.87	3.08
2	74.05	1.22	1.19	0.461 (79.2)	21.75	2.70
3	63.64	1.24	0.02	0.459 (78.9)	18.37	6.22

City 2 (75 tis. troj.)

1	141.67	0.03	–	0.794 (100.0)	41.80	3.31
2	67.33	1.58	1.55	0.624 (78.6)	29.85	2.64
3	60.28	1.61	0.03	0.658 (82.9)	25.65	9.51

M	cena BVH	doba stavby [s]	doba opt. [s]	doba vykreslení [s]	prům. # trav. kroků	prům. # inc. operací
---	-------------	-----------------------	---------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------

Conference (283 tis. troj.)

1	191.61	0.12	–	2.012 (100.0)	129.13	12.37
2	102.99	4.88	4.76	1.136 (56.5)	62.12	9.88
3	84.87	4.94	0.07	1.116 (55.5)	49.15	21.51

Forest Fairy (174 tis. troj.)

1	109.07	0.08	–	1.171 (100.0)	73.75	5.43
2	92.04	1.29	1.21	1.018 (86.9)	56.65	5.90
3	76.76	1.33	0.04	1.020 (87.1)	47.50	14.61

Park (29 tis. troj.)

1	79.41	0.01	–	1.039 (100.0)	73.73	5.78
2	54.25	0.23	0.22	0.872 (83.9)	58.60	6.40
3	48.84	0.24	0.01	0.869 (83.6)	50.15	12.73

Šibenik (80 tis. troj.)

1	125.89	0.03	–	2.532 (100.0)	175.37	9.97
2	70.49	1.95	1.92	1.558 (61.5)	98.80	6.59
3	62.24	1.98	0.03	1.574 (62.2)	92.31	13.92

M	cena BVH	doba stavby [s]	doba opt. [s]	doba vykreslení [s]	prům. # trav. kroků	prům. # inc. operací
---	-------------	-----------------------	---------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------

Sponza (279 tis. troj.)

1	432.25	0.12	–	4.326 (100.0)	293.77	24.49
2	196.74	8.24	8.12	1.689 (39.0)	99.22	8.76
3	157.74	8.31	0.06	1.728 (39.9)	87.33	27.11

Teapots (201 tis. troj.)

1	137.84	0.08	–	1.876 (100.0)	134.05	15.92
2	70.16	3.61	3.53	0.715 (38.1)	40.23	3.76
3	54.21	3.66	0.05	0.812 (43.3)	34.90	19.45

Asian Dragon (7219 tis. troj., $k = 0.4$, $p_R = 1$, $p_T = 2$)

1	108.42	2.88	–	0.857 (100.0)	29.64	1.37
2	97.28	137.99	135.11	1.154 (134.7)	34.16	1.87
3	96.66	139.12	1.13	1.304 (152.2)	32.66	3.65

Ukázka kódu

Literatura

- [1] BITTNER, J., HAPALA, M., A HAVRAN, V.: Fast Insertion-Based Optimization of Bounding Volume Hierarchies. *Computer Graphics Forum* 32 (2013), 1, pp. 85-100

Děkuji za
pozornost