

凸包围多面体生成算法及应用

(申请清华大学工学硕士学位论文答辩报告)

学 生：唐 磊

指导教师：雍 俊 海 教授



计算机辅助设计图形学与可视化研究所

二〇一五年六月



目录

1 基于 k -CBP 的碰撞检测算法

- k -CBP 间的相交测试
- 三角网格间的相交测试
- 基于 k -CBP 的碰撞检测算法
- 实验结果及分析



目录

1 基于 k -CBP 的碰撞检测算法

- k -CBP 间的相交测试
- 三角网格间的相交测试
- 基于 k -CBP 的碰撞检测算法
- 实验结果及分析



AABB 树法

将生成的 k -CBP 视为普通的三角网格，实现简单，适用于模型较小的静止碰撞检测场景

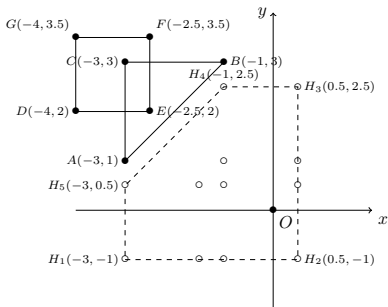
GJK 法

计算凸多面体之间的最近距离的 GJK 算法。

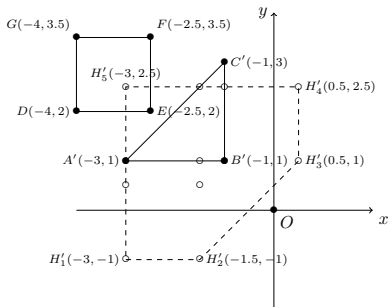
Minkowski 差，即 $\mathbb{A} - \mathbb{B} = \{\mathbf{a} - \mathbf{b} | \mathbf{a} \in \mathbb{A}, \mathbf{b} \in \mathbb{B}\}$ 。GJK 算法的核心基础在于若两个凸多边形相交，则凸多边形顶点的 Minkowski 差所围成的多边形必包含原点，因为若 \mathbb{A} 和 \mathbb{B} 相交即 \mathbb{A} 和 \mathbb{B} 必含有公共交集，即至少含有一点同时属于 \mathbb{A} 和 \mathbb{B} ，该点的 Minkowski 差即为原点 $\mathbf{O}(0,0)$ 。

 k -CBP 间的相交测试

二维 GJK 算法示例



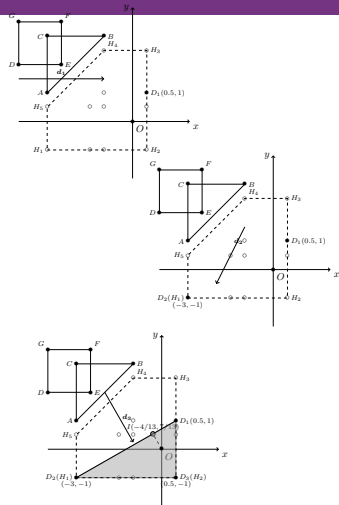
(a) 相交



(b) 不相交

 k -CBP 间的相交测试

GJK 算法

算法 1 基于 GJK 的 k -CBP 相交检测算法输入: 两个 k -CBP $k\text{-CBP}_1, k\text{-CBP}_2$ 输出: k -CBP 是否相交

```

1: function KCBPDETECTIONBASEDONGJK( $k\text{-CBP}_1, k\text{-CBP}_2$ )
2:    $d \leftarrow \text{INITNORMAL}()$ 
3:    $D \leftarrow \text{SUPPORT}(k\text{-CBP}_1, k\text{-CBP}_2, d)$ 
4:    $S \leftarrow \{p\}$ 
5:    $iter \leftarrow 1, d \leftarrow -d$ 
6:   while  $iter++ < \text{MaxIter}$  do
7:      $D \leftarrow \text{SUPPORT}(k\text{-CBP}_1, k\text{-CBP}_2, d)$ 
8:     if  $D \cdot d < 0$  then
9:       return False
10:    end if
11:     $S \leftarrow S \cup D$ 
12:     $\text{contains} \leftarrow \text{CHECKCONTAINUPDATE}(S, d)$  // 检测是否包含原点,
    对集合  $S$  进行规约, 并获取下一次迭代的方向  $d$ 
13:    if  $\text{contains}$  then
14:      return True // 包含原点, 直接返回相交, 否则继续迭代
15:    end if
16:  end while
17:  return False // 达到最大迭代次数, 根据需求返回相交或者不相交
18: end function

```



目录

1 基于 k -CBP 的碰撞检测算法

- k -CBP 间的相交测试
- 三角网格间的相交测试
- 基于 k -CBP 的碰撞检测算法
- 实验结果及分析



三角网格间的相交测试

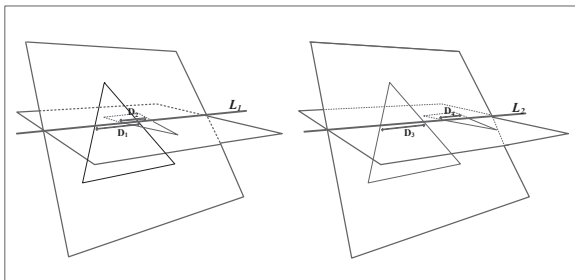


Figure 1: 两个非共面三角形的位置关系

三角形 T_1, T_2 点坐标 \Rightarrow 平面方程 $\Pi_1, \Pi_2 \Rightarrow T_2$ 到 Π_1 的有向距离 $h_i, i \in \{1, 2, 3\}$,

- (1) 若 $\forall i \in \{1, 2, 3\}, h_i = 0$, 即三角形 T_2 的三个顶点到三角形 T_1 所在 Π_1 的距离都为 0, 则两个三角形共面; \Rightarrow 共面三角形求交
- (2) 若 $\forall i \in \{1, 2, 3\}, h_i > 0$ 或 $\forall i \in \{1, 2, 3\}, h_i < 0$, 即三角形 T_2 的三个顶点到三角形 T_1 所在 Π_1 的有向距离同号, 则 T_2 在 Π_1 的同一侧, 可立即排除相交;
- (3) 其他情况, 三角形 T_2 必交 Π_1 于一条线段。 \Rightarrow 判断两个区间线段 D_1, D_2 是否相交。



目录

1 基于 k -CBP 的碰撞检测算法

- k -CBP 间的相交测试
- 三角网格间的相交测试
- 基于 k -CBP 的碰撞检测算法
- 实验结果及分析

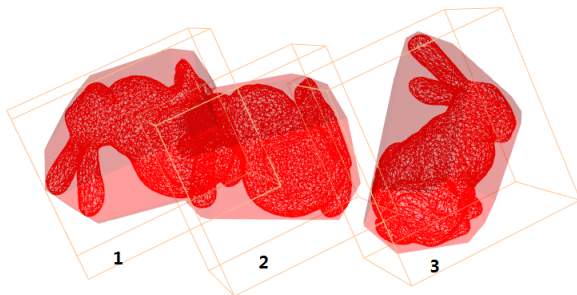


Figure 2: k -CBP 应用于碰撞检测示例

图中模型 1 与 2、2 与 3 的包围盒分别相交, 而其 16-CBP 仅 1 与 2 相交, 实际模型仅 1 与 2 相交.



静止场景碰撞检测算法

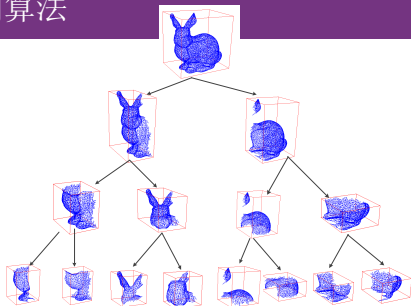


Figure 3: Bunny 模型的 AABB 树形结构 (部分) [► 动态图](#)

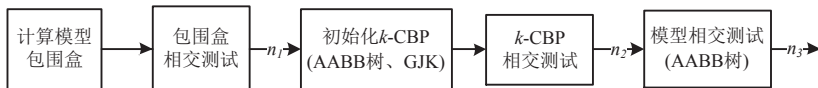


Figure 4: 基于 k -CBP 的碰撞检测算法流程图

运动场景碰撞检测算法

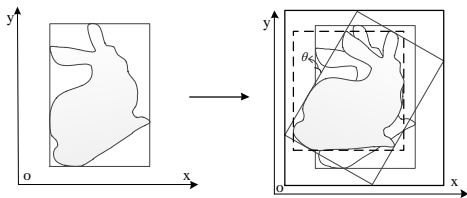


Figure 5: AABB 更新策略图

将变换矩阵 $M = R(n, \theta) \cdot T(t)$
应用于 GJK 顶点、AABB 顶
点。

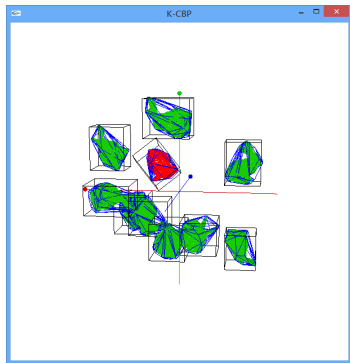


Figure 6: 运动场景碰撞检测示例 [▶ 动态图](#)



目录

1 基于 k -CBP 的碰撞检测算法

- k -CBP 间的相交测试
- 三角网格间的相交测试
- 基于 k -CBP 的碰撞检测算法
- 实验结果及分析



实验结果: k -CBP 的有效性

Table 1: k -CBP 和包围盒应用于碰撞检测结果对比

n	CT(Box) (ms)	CT(16-CBP) (ms)	DT(Box) (ms)	DT(16-CBP) (ms)	r (Box) (%)	r (k -CBP) (%)	DP(Model) (对)
10	0.1	1.8	26.0	0.1	0.00	100.00	0
30	0.2	2.9	134.0	70.0	45.45	83.33	5
50	0.5	4.8	506.0	255.2	46.34	86.36	19
70	0.4	4.8	901.1	492.5	44.16	80.95	34
90	0.7	5.7	1324.0	734.7	41.82	73.02	46
100	0.7	7.8	1481.0	870.7	43.31	75.34	55
150	1.0	9.8	4153.1	2473.0	42.98	70.75	150
200	1.6	12.8	8049.3	4430.9	41.02	71.32	281

其中模型和凸包围多面体是否相交都采用了 AABB 树的方式进行判断。



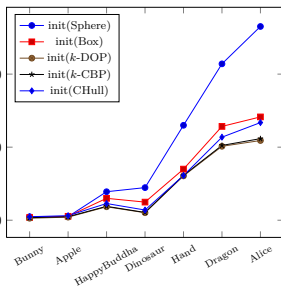
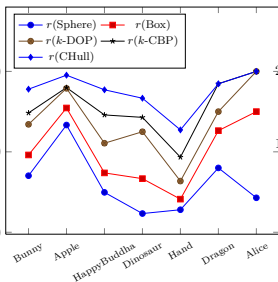
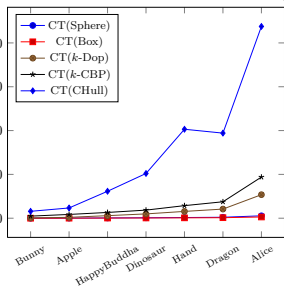
实验结果及分析

实验结果：不同包围体对比

时间 (ms)

命中率 (%)

时间 (ms)



(a) 包围体构造时间

(b) 包围体命中率

(c) 初始化时间

构造时间上基本满足：凸包 > k -CBP > k -DOP > Sphere \approx Box，包围体命中率基本满足：凸包 > k -CBP > k -DOP > Box > Sphere