Implementation of K-Dop Bounding Box and Collision Avoidance Hardware Chip

國立中正大學
National Chung Cheng University
電機工程學系
專題生:陳峻霆、徐紹棋
指導教授:朱元三

(一)背景介紹

隨著自駕車、無人機與機械手臂等先進技術的興起，碰撞偵測成為一項至關重要的功能，不僅可以保護設備，還可保障人員安全。然而，當前的碰撞偵測技術在精確度和效率之間存在著平衡難題。

許多精密機械要求快速且準確的碰撞偵測以達到即時反應的需求，而這依賴於一個高效、低功耗的硬體支撐。在此背景下，本專題研究了一種基於 K-DOP 包圍盒的防碰撞硬體設計，目的在實現快速且低功耗的碰撞偵測。

(二)實作方法

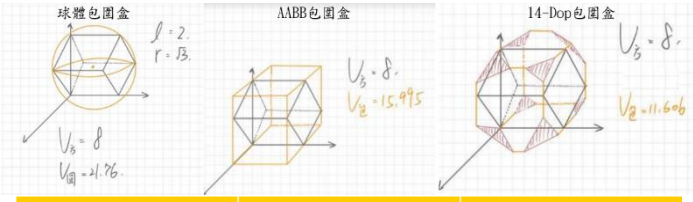
本實作方法分為軟體模擬、硬體實現與驗證三個部分。

在軟體模擬階段，我們針對三種包圍體進行 C CODE 演算法比較。球體包圍採用找到兩個最遠點生成球體來包覆物件；AABB 通過找出 XYZ 軸上最大和最小的極值，形成平行方程來包覆六面體。K-DOP 使用多面向量描述物體邊界，利用更多的面來增加包覆緊密度，有更高的準確性。

在硬體實現上，採用 Verilog HDL 來描述各包圍體演算法。在電路設計上，劃分了多個模組，包括 Datapath 接收輸入座標和輸出極值 與 Control Unit 管理時序和模組切換。

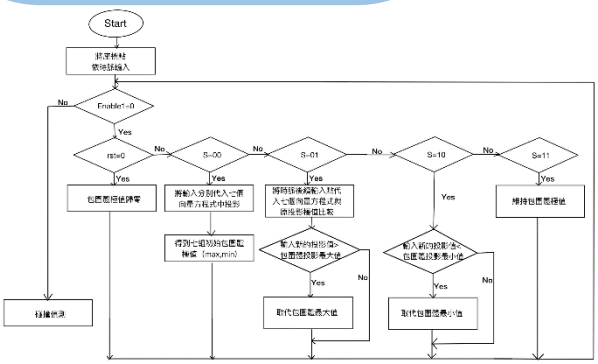
在驗證階段，使用 Testbench 進行模擬測試，依時序輸入座標點進行包圍。通過波形圖與軟體結果做比較，確認其正確性和效率。最後進行 APR，並通過 DRC 和 LVS 驗證確保電路設計符合製程需求。

(三)包圍體比較

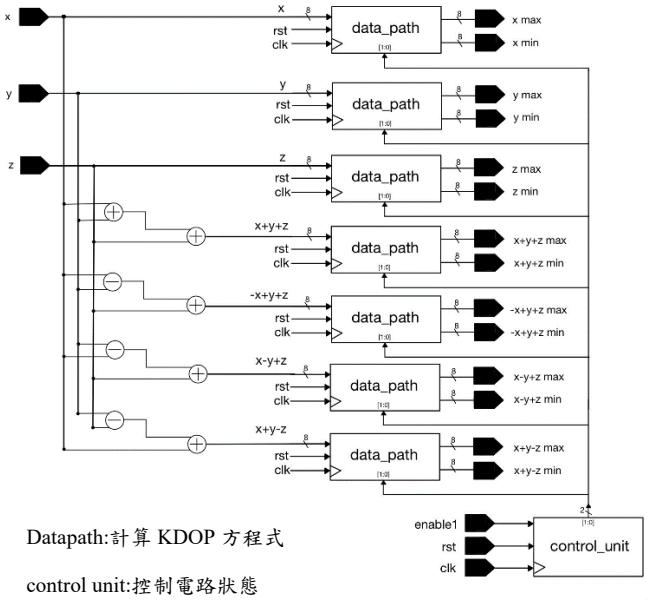


包圍體種類	包圍體體積	緊密度
球體包圍盒	21.76	36.76%
AABB包圍盒	15.995	50.01%
14-Dop包圍盒	11.606	68.93%

(四)K-DOP 流程圖



(五)硬體架構

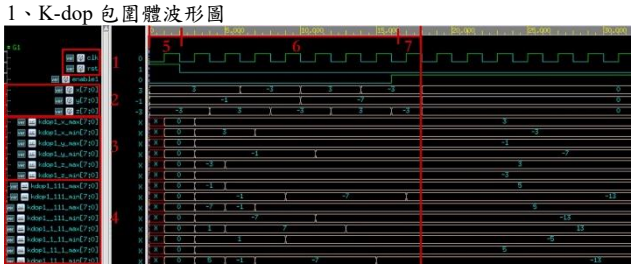


Datapath:計算 KDOP 方程式

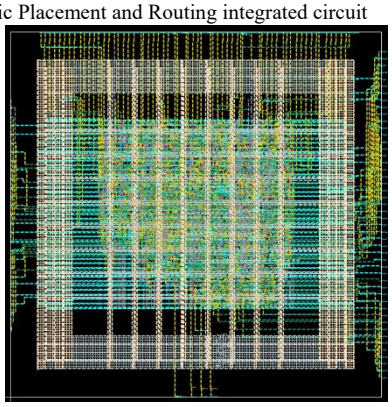
control unit:控制電路狀態

(六)實作成果

1、K-dop 包圍體波形圖



2、Automatic Placement and Routing integrated circuit



3、晶片數據

Process	0.18um
Total Cell Area	171668.933um²
Clock Cycle	9
Total Dynamic power	0.5707mW
Cell Leakage Power	901.1nW
Frequency	133Mhz

(七)結論

本專題在不同包圍體的基礎上，實現了 K-DOP 包圍盒防碰撞硬體晶片，並驗證了其在精密機械防碰撞應用中的優越表現。通過硬體設計，本專題成功將 K-DOP 演算法的硬體運行速度提升至 10000 多倍，且顯著降低了晶片的功耗與面積。與球體和 AABB 包圍盒相比，K-DOP 的緊密度高達 68.93%，有效減少碰撞偵測中的空間冗餘與誤差，滿足即時偵測的要求。