

2023 CAD Contest

Problem E: Lossless Data Compression for Memory

Hard Repair

芯測科技(iSTART-TEK INC.)

Version:2023-04-19

0. Revise History

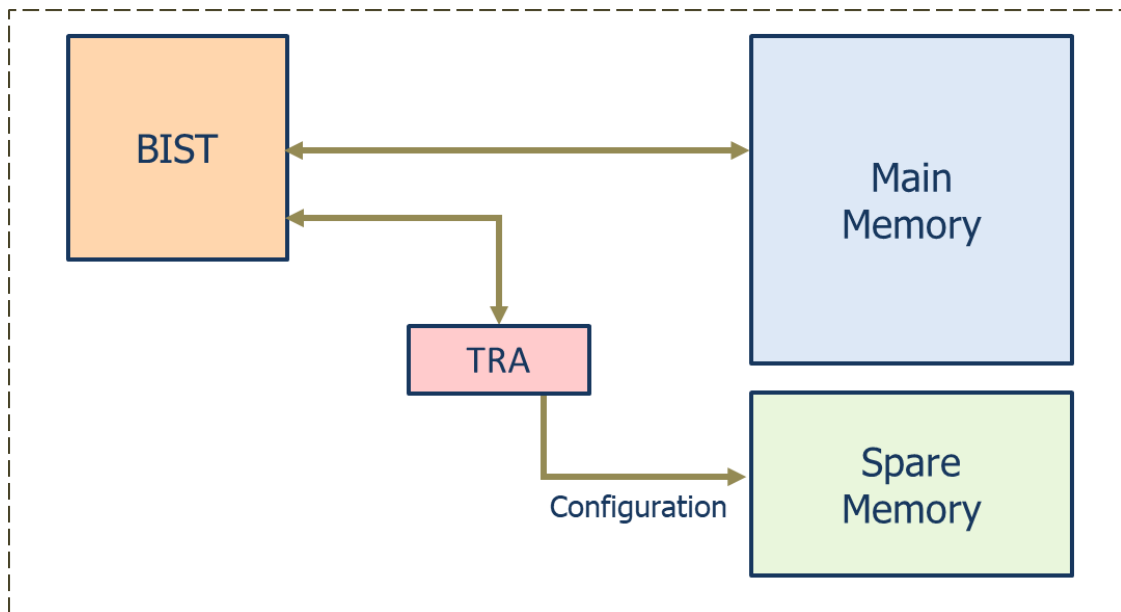
- 2023-03-09 初版
- 2023-04-19 第 3 頁更新時間記錄規則與評分方式，更新的文字用綠色表示

1. Introduction

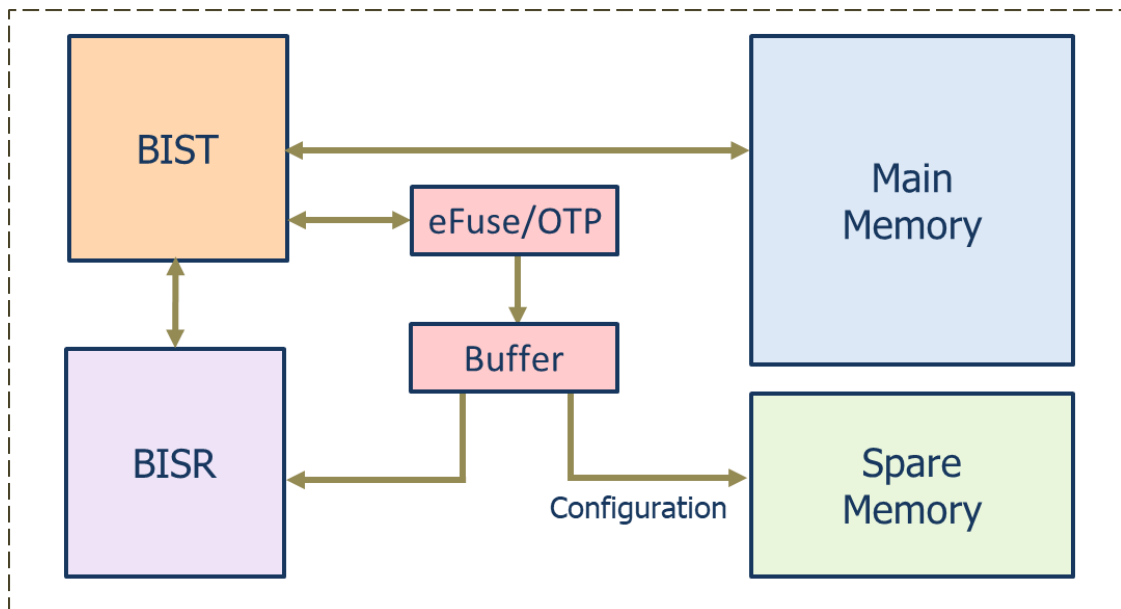
隨著積體電路(Integrated Circuit)的蓬勃發展，嵌入式記憶體無論是在數量或是密度上都以驚人的速度在成長，而在記憶體的半導體製程中有可能因外在因素而導致記憶體發生缺陷(Defect)，針對此種情況通常會在記憶體電路中加入記憶體內建式自我測試電路(Memory Built-In Self Test, MBIST)來達成記憶體自我測試的目的。MBIST 電路能夠藉由有效的演算法來檢測記憶體內部是否有存在任何形式的故障，如 SAF(Stuck-At Fault), TDF(Transition Delay Fault), CF(Coupling Fault)... 等。除了能夠含蓋各種類型的記憶體故障之外，MBIST 的設計也要求能夠達到節省電路面積，降低電路功率消耗與減少測試時間的目標。

而在設計中加入記憶體的內建自我修復(Built-In Self Repair, BISR)的機制則可以避免由記憶體故障導致的資料遺失。BISR 的機制通過備用記憶體(Spare Memory)與內建備用記憶體分析(Built-In Redundancy Analysis, BIRA)來實現修復的功能，即該方法被設計來分配用於修復錯誤位元的備用記憶體。該方法還需要一個儲存裝置來儲存經過測試和分析後的重新配置結果。這裡的備用記憶體可以是另一種獨立的記憶體，也可以使用具有冗餘(Redundancy)功能的記憶體模型 [1][2]。

在記憶體修復機制中，又分為軟修復(Soft Repair)與硬修復(Hard Repair)，其中架構圖如圖一、圖二所示：



圖一：軟修復架構圖



圖二：硬修復架構圖

軟修復將記憶體錯誤的資訊儲存入揮發性記憶體(Volatile Memory)中，如緩衝器(Buffer)或暫存器(Register)。在軟修復的階段，BIST系統需要在啟動後進行記憶體測試，並藉由測試冗餘分析器(Testing Redundancy Analyzer, TRA)切換至備用記憶體，用戶即可使用已修復後的記憶體來執行各種應用功能。軟修復的儲存設備具有揮發性，因此在系統啟動(Boot Up)過程中必須要重新蒐集重新分配過的資訊。由於記憶體的錯誤可能是隨機出現的，因此軟修復可以在系統重新啟動時修復記憶體錯誤，然而系統啟動時間則會因為測試修復的流程而加長。

而硬修復則是透過 eFuse 或是 OTP(One Time Programmable)等非揮發性記憶體(Non-Volatile Memory)來儲存錯誤資訊。在執行記憶體測試後，將關於錯誤位元的資訊以及重新分配後的資訊儲存於 eFuse/OTP 中。由於其非揮發性，因

此可以減少系統啟動的時間。然而非揮發性記憶體所帶來的面積劣勢以及額外的硬體成本花費，都是需要被審慎考量的問題。

2. Problem Description

本競賽題目之目的在於藉由演算法的設計及程式實作來達到記憶體修復資料壓縮的最佳化。相關介紹如下：

eFuse 與 OTP 型態的記憶體由於其非揮發性的特性，被用來儲存記憶體錯誤的位址以及資料。然而由於在 IC 中記憶體的數量成長，因此如何在降低 eFuse/OTP 面積成本，且同時保證記憶體的正確性就成為了一個難題。若是能夠先將需要存儲的資料進行無失真的資料壓縮(Lossless Data Compression)，就可以達到降低 eFuse 面積的要求。

參賽者將會開發無失真資料壓縮演算法，將輸入的資料進行壓縮，並且能夠做到無失真的資料還原。在資料容量上限為 1Mbits(1048576 bits)之前提下，演算法設計的目標為在最小化壓縮率(壓縮率之定義為壓縮後之檔案大小除以壓縮前之檔案大小)與最小化總執行時間，這包括壓縮所需時間與解壓縮所需時間。

另外會根據執行檔的整體執行時間，來做為程式的執行時間(Run Time)，精度至 0.01 秒。最終參賽者將會交出兩個執行檔(附檔名為 .exe)，其分別是：壓縮執行檔以及解壓縮執行檔。詳細的評分規則請見第五點。

3. Input File

輸入檔案為不大於 1Mbits 大小之 bin 檔案(副檔名為 .bin)，資料內容僅會包含數字 0 與 1，其中輸入檔案與執行檔相對應為：壓縮前的檔案輸入壓縮執行檔，壓縮後的檔案輸入解壓縮執行檔。

4. Output File

輸出檔案為壓縮後及解壓縮後之 bin 檔案(副檔名為 .bin)，資料內容僅能包含數字 0 與 1，其中輸出檔案與執行檔相對應為：壓縮執行檔輸出壓縮後的檔案，解壓縮執行檔輸出解壓縮後的檔案。

5. Grading Criteria

成績排名會由總分大小來決定，在評分的過程中會利用多組不大於 1Mbits 之 bin 檔案檢測以下特性，並根據其平均表現進行評分。評分標準如下：

1. 壓縮率(60%)。
2. 壓縮與解壓縮之總執行時間(40%)。
3. 解壓縮後之檔案必須與壓縮前之檔案內容完全一致，若有任意測試資料發生不一致的情形，則失去參與成績排名的資格。
4. 若有任意測試資料之總執行時間超過 5 分鐘，則失去參與成績排名的資格。
5. 若有出現兩組或兩組以上壓縮率與執行時間皆相等之情況，則皆失去參與成

績排名的資格。

6. Reference

- [1] Y. Zhang et al., "Design and Verification of SRAM Self-Detection Repair Based on ECC and BISR Circuit," 2019 IEEE 26th International Symposium on Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA), Hangzhou, China, 2019, pp. 1-5
- [2] Chih-Tsun Huang, Chi-Feng Wu, Jin-Fu Li and Cheng-Wen Wu, "Built-in redundancy analysis for memory yield improvement," in IEEE Transactions on Reliability, vol. 52, no. 4, pp. 386-399