binho

應用筆記

使用 Binho Pulsar 透過 SPI 啟動除錯 CMIS 光模組

AN0010

文件資訊

關鍵詞	AN0010, Pulsar, Supernova, CMIS, OIF, SPIMCI, SPI, 共同封裝光學, CPO, 流量控制, ACK, NACK, 晶片選擇, 光模組
摘要	SPIMCI 是 CMIS 在修訂版 5.3 中為共同封裝光學（CPO）新增的 SPI 管理介面，它將確認回應編碼為 00h。 因此，閒置的匯流排、未上電的模組或從未啟用的目標裝置都會傳回一個完美無缺的確認回應，後面接著全零資料， 一次看似成功的啟動除錯實際上什麼也沒有證明。另一個障礙使問題更加複雜：流量控制位元組數不在線路上傳輸， 而是由一些暫存器推導得出，而在已知該位元組數之前，這些暫存器是無法讀取的。本應用筆記從 Binho Pulsar 或 Supernova 出發， 以一種無法被靜默匯流排欺騙的方式啟動除錯 SPIMCI 鏈路，並提供一個命令，根據模組自身的檢查碼確定這兩個未知數。

Binho Inc.
42 Dore Street, Unit A, San Francisco, CA 94103

修訂版 1.0
6 NOVEMBER 2026

測試範圍。本文件中的規格內容均有出處並已核實。第 6 節中的流程尚未在 SPIMCI 模組上執行。 它已在一塊未載有 SPIMCI 韌體的電路板上執行，這正是第 8.2 節所回報的內容，也正是它促成了第 6.2 節中檢查碼防護的更正。 第 8 節精確說明了尚待完成的事項。

1 簡介

您接好一個 SPIMCI 模組，發出一次讀取，它成功了。交易完成，確認回應存在，資料也傳回了。

但模組並沒有上電。

SPIMCI 將 ACK 編碼為 **00h**（B.3.7.1.2），因此全零是一個有效的確認回應，後面接著全零資料。Binho 在實驗台上正好重現了這種情況：讀取完成，看到了確認回應，資料為 `00 00`。 一次完成的 SPIMCI 交易本身絕不能作為模組存在的證據。

本筆記以一種靜默無法偽造的方式啟動除錯 SPIMCI 鏈路，並順帶解決 SPIMCI 給主機帶來的第二個問題。

1.1 範圍

讀完本文件後，手邊有硬體的讀者將能夠確定其模組實作的流量控制位元組數與 R/Wn 極性、讀取其識別資訊， 並驗證其 Page 00h 檢查碼，而且在此過程中不會接受任何可能由不存在的模組產生的中間結果。

本文件涵蓋 SPI 管理介面，即 CMIS 附錄 B.3，它是規範性內容，於修訂版 5.3 引入。 AN0008 介紹暫存器模型，是本文件的前提。共同封裝光學系統設計不在本文範圍內。

1.2 適用裝置

表 1. 適用裝置

項目	角色	依據
Binho Pulsar	主機轉接器，SPI 控制器	本筆記尚未驗證
Binho Supernova	主機轉接器，SPI 控制器	已作為控制器驗證，第 8.1 節。當時不存在 SPIMCI 目標裝置
任何具備 SPIMCI 介面的 CMIS 模組	目標裝置	**本筆記尚未驗證**

在修訂版 1.0 中尚未連接任何 SPIMCI 模組。 訊框格式、流量控制推導與極性矛盾均取自 OIF-CMIS-05.3 附錄 B.3， 並與 05.4 交叉核對。已經驗證的是主機端與失效模式：2026 年 8 月 15 日，在未連接任何模組的匯流排上觀察到了偽造的確認回應； 2026 年 9 月 2 日，在一塊存在但靜默的電路板上再次觀察到此現象，而且它還騙過了檢查碼防護。 所有依賴模組回應的內容都尚待完成。

1.3 相關文件

表 2. 相關文件

文件	主題
OIF-CMIS-05.3	附錄 B.3，SPI-Based Management Communication Interface，第 374 至 383 頁
OIF-CMIS-05.4	附錄 B.3，第 416 至 425 頁。除頁尾外，內文與 5.3 完全相同
AN0008	使用 Binho Supernova 透過 I2C 啟動除錯 CMIS 光模組
AN0011	使用 Binho Supernova 量測 CMIS 韌體更新時間

2 所需設備與軟體

2.1 硬體

表 3. 所需設備

項目
Binho Pulsar 或 Binho Supernova USB 主機轉接器
一個具備 SPIMCI 管理介面的 CMIS 模組
USB-C 線材
Saleae Logic 擷取硬體，選用

2.2 連接

CMIS 對傳統的 SPI 訊號進行了重新命名。請使用規格中的名稱，並同時註明熟悉的名稱，以免任何人產生誤解。

表 4. 轉接器與模組之間的連接

轉接器	規格名稱	傳統名稱	是否必要
CS	`CSn`	CS、SS 或 ModSeln	是
SCK	`CLK`	SCLK	是
MOSI	`IOTI`，Initiator Out Target In	MOSI、PICO	是
MISO	`IITO`，Initiator In Target Out	MISO、POCI	是
3V3	電源		是，除非電路板自行供電
GND	回路		是

> **注意：** `CSn` 是必要的，而不是選用的。低電位有效是規範性要求（B.3.3），而且每個目標裝置都有一個專用的 `CSn`， 同一時刻最多只有一個被設為有效（B.3.2）。沒有它，就沒有訊框定界參考，沒有錯誤偵測，也無法重新同步： 多出一個時脈邊緣就會使工作階段的其餘部分永久錯位。通用 SPI 解碼器能夠容忍缺少的晶片選擇，並傳回看似合理的無用資料。

2.3 軟體

```
pip install binhopulsar          # Pulsar
pip install binhosupernova       # Supernova
python cmis_mci.py selfcheck
```

`--transport spi` 用於選擇 SPI 繫結。此工具程式與 AN0008、AN0009 和 AN0011 隨附的是同一個檔案。

3 SPIMCI 是什麼，以及為什麼值得理解它

SPIMCI 於 CMIS 5.3 引入，由共同封裝光學推動；修訂歷史中寫有「SPI-based SPIMCI in support of CPO」。 字串 `SPI` 在 CMIS 5.2 中從未出現。

它也是對未來任何繫結都至關重要的先例。它的加入完全沒有觸及暫存器存取層或 Common Data Block， 而且在加入的同時修正了定址方式。I2CMCI 只攜帶頁內位元組位址，因此需要 00h:126 與 00h:127 的頁選擇暫存器； 而 SPIMCI 交易攜帶完整的記憶庫、頁與位元組三維位址，具有隱含的頁切換，並且最多可傳輸 2048 位元組。

這對主機的實際意義是：**沒有需要寫入的頁選擇暫存器，也沒有可能出錯的跨交易位址狀態。**

表 5. 規格固定的參數

參數	值	出處
字組大小	8 位元，最高有效位元在前	B.3.7.2.3
取樣邊緣	CLK 上升緣	B.3.7.1
晶片選擇極性	低電位有效	B.3.3
最大傳輸量	2048 位元組	B.3.7.1

> **附註**：規格規定了取樣邊緣，但從未說明 CLK 的閒置電位，因此「SPIMCI 是 SPI 模式 0」是一種推論， 而不是引文。此工具程式預設使用模式 0，並允許選擇模式。

4 交易結構

每個 SPIMCI 交易都是 **4 + N + M** 位元組，分為三個階段。

表 6. 交易控制階段，4 位元組，僅從發起端到目標裝置

位元	欄位	說明
0	Command Type，R/Wn	請見第 5.2 節
1:4	Bank Index	4 位元。規格指出這「不允許大於 15 的任意記憶庫索引值」
5:15	EncodedSize	11 位元。傳輸位元組數 = EncodedSize + 1，最大 2048
16:23	Page Index	8 位元
24:31	Byte Index	8 位元，起始位址。此後依序遞增

在整個控制階段，`IITO` 均未定義。

流量控制階段，N 位元組，N 至少為 2。 發起端傳送零值的虛擬位元組，目標裝置會忽略這些位元組。 目標裝置在該階段的**最後一個**位元組中，透過 `IITO` 傳回 **ACK = 00h** 或 **NACK = FFh**。

資料傳輸階段，M = EncodedSize + 1 位元組。 讀取時，資料在 `IITO` 上，`IOTI` 上傳送 00h。 寫入時，資料在 `IOTI` 上，`IITO` 未定義。

5 兩個未知數，以及如何確定它們

5.1 N 不在線路上傳輸，而且存在自舉漏洞

`N` 由 `00h:213` 位元 6-0 的 `MciFlowControlDuration` 與 `00h:213` 位元 7 的 `MciFlowControlDurationEncoding` 推導得出：

表 7. 流量控制位元組數

編碼位元	推導方式
0，靜態	N = 2 + 通告值
1，與速率相關	N = max(2, ceil(duration x SpiSpeedInMHz / 8))，速率取自 `00h:27.3-0` 的 `MciSpeedConfiguration`

B.3.7.1.2 要求雙方以完全相同的方式推導 `N`。但在已知 `N` 之前無法讀取 `00h:213`，而規格沒有指定安全的自舉值。 被動的匯流排觀察者同樣無法得知它。

解決方法是掃描 `N`，讓模組自身的檢查碼來判斷哪個值是正確的，這正是 `spi-probe` 所做的事。

5.2 R/Wn 極性自相矛盾

表 8. CMIS 5.3 中的 R/Wn 極性

出處	規定
B.3.7.1.1	「此位元為 1 時，表示請求讀取」
B.3.8.1 至 B.3.8.5，圖 B-14 至 B-17	0 表示讀取

兩者都在同一份文件中。有一個值得了解的判定依據：B.3.8.5 將 **TEST** 定義為從位元組位址 0 進行的一位元組讀取， 而且**全部 32 個控制位元皆為零**，只有當 0 表示讀取時，這才是自洽的。此工具程式預設遵循圖示， 可依要求使用任一極性，在未指定時會探測兩種極性。

6 流程

6.1 離線確認工具

```
python cmis_mci.py selfcheck
```

6.2 確定 N 與極性

```
python cmis_mci.py spi-probe --transport spi
```

此命令針對每種極性將 `N` 從 2 掃描到 16，而且**僅**在 Page 00h 檢查碼驗證通過時才接受某個組合：即 94 位元組的模組特定內容與模組自己寫入的一個位元組相符。一次完成的交易、一個確認回應，甚至看似合理的資料，都可能由未上電的電路板產生。

> **注意**：未上電的電路板也可能產生相符的檢查碼，而且只有一種方式，恰好是實務中會出現的那種方式。 靜默的 SPI 匯流排對每個位元組都傳回 `00h`。九十四個 `00h` 位元組之和為 `00h`，而同一匯流排回報的儲存檢查碼也是 `00h`， 因此兩者一致。所以，只有當檢查碼驗證通過**而且** Page 00h 包含不只一個相異值時，掃描才會接受某個組合。 第 8.2 節記錄了加入此條件之前命令的回報內容。

若這些值已知，請直接傳入並略過掃描：

```
python cmis_mci.py spi-probe --transport spi --n 4 --read-bit 0
```

失敗時，此命令會回報需要檢查的內容，並刻意不提供「模組有回應」作為安慰，因為在 SPIMCI 上這不構成任何資訊。

6.3 讀取模組

```
python cmis_mci.py bringup  --transport spi --n 4 --read-bit 0
python cmis_mci.py identify --transport spi --n 4 --read-bit 0
python cmis_mci.py read --transport spi --page 01h --byte 251 --n 4 --read-bit 0
```

請注意，最後一個命令中的頁讀取不需要寫入頁選擇。頁資訊隨交易標頭一起傳輸。

7 分析器帶來了什麼

以 CMIS SPIMCI 分析器解碼的 `CSn`、`CLK`、`IOTI` 與 `IITO` 擷取會顯示 4 + N + M 訊框結構、 確認回應位元組，以及交易所定址的暫存器。

除此之外，它還會回報規格實際定義的唯一錯誤條件，而通用解碼器在結構上無法表示此條件。

ABORT。 正常的 STOP 在預期時間落在 8 位元邊界上。不規則的 STOP，即落在非 8 位元邊界上或早於預期， 會終止交易，而且「任何未完整接收的位元組都必須被接收端丟棄或忽略」。標準的 SPI 解碼器會靜默丟棄被晶片選擇解除 所中斷的字組：沒有訊框、沒有旗標，也沒有標記。這種情況正是 SPIMCI 的 ABORT 條件。

分析器也會顯示 `N`，而不是將其隱藏。它可以被明確設定，可以以持續時間加速率的方式給定，也可以從位元組 4 開始 向後掃描 `IITO` 上第一個 00h 或 FFh 來自動偵測，並附帶信心指標，因為全零的資料位元組可能造成混淆。

> **CMIS SPIMCI 分析器正在開發中，尚未發布。** 本節描述的是它產生的解碼結果，而不是讀者今天就能購買的產品。

8 實測結果

8.1 測試組態

表 9. 測試組態

項目	值
轉接器	Binho Supernova，序號 `4F970418…1111`，韌體 4.4.0，硬體修訂版 C
SDK	`binhosupernova`，Python 3.13
模組	無。在模組的位置接上了一塊 NXP FRDM-MCXN947，未載有 SPIMCI 韌體
匯流排	3.3 V，1 MHz，模式 0，使用 Binho 轉接器板上的晶片選擇 S0

8.2 結果

觀察結果，2026 年 8 月 15 日。 在未連接任何模組的匯流排上發出的 SPIMCI 讀取完成了，傳回了有效的確認回應， 並傳回 `00 00` 作為資料。這就是第 1 節所依據的觀察結果，它是編碼方式的特性，而不是任何特定模組的特性。

觀察結果，2026 年 9 月 2 日，情況比上面更糟。 同樣的探測在一塊已存在、已上電且接線正確、 但未執行 SPIMCI 韌體的電路板上執行，因此它傳回的每個位元組都是 `00h`。此命令沒有回報模組不存在， 而是回報了一個正常的模組：

```
N        : 2 flow control bytes, transaction is 4 + 2 + M
R/Wn     : 0 means READ on this module
00h:222  : checksum 0x00 matches the stored byte

PASS     : the module is present and self consistent.
```

檢查碼之所以一致，是因為比較的兩邊都是零：94 位元組的 `00h` 之和為 `00h`，而同一靜默匯流排回報的儲存檢查碼也是 `00h`。 第 6.2 節用來拒絕靜默匯流排的檢查本身被這種靜默擊敗了，因此工具程式已更正為：要求 Page 00h 包含不只一個相異值， 檢查碼一致才算數。針對同一硬體，它現在回報：

```
FAIL     : no combination of N and R/Wn produced a valid Page 00h checksum.
           Either the module is absent, or CSn, CLK, IOTI or IITO are
           miswired. On SPIMCI a silent bus still returns a perfect ACK.
```

這正是本筆記自己的論點應驗在本筆記身上：一次看似成功的啟動除錯可能什麼也沒有讀到。 實作附錄 B.3 的主機也必須防範同樣的情況。

離線。 本筆記所驅動的暫存器存取層與 AN0008 中自我檢查的是同一個，針對模擬模組 8 項全部通過。 第八項正是本節所新增的：全零的 Page 00h 必須被拒絕，而不是被當作一致的檢查碼。

在硬體上，針對模組。 尚無。修訂版 1.0 中待完成的事項：針對 SPIMCI 模組進行 `N` 掃描、極性判定、識別資訊讀取與 Page 00h 檢查碼驗證。第 8.2 節確認的是失效模式及其防護措施，而不是成功路徑。

9 疑難排解

表 10. 疑難排解

症狀	可能原因與處理方式
每個交易都成功，所有資料都是零	典型的偽造確認回應。模組不存在、未上電或未啟用。只有同時要求 Page 00h 包含不只一個相異值，檢查碼才能區分這種情況，因為 94 個零與值為零的儲存檢查碼是一致的
`spi-probe` 找不到有效組合	在懷疑 `N` 之前，先檢查 `CSn`、`CLK`、`IOTI` 與 `IITO` 的接線。靜默的匯流排仍然會給出確認回應
流量控制位元組既不是 00h 也不是 FFh	`N` 錯誤，因此讀到的位元組是資料或控制位元組，而不是確認回應
資料偏移了一個或多個位元組	`N` 偏差了相應的位元組數。請重新執行掃描，而不是手動調整
讀取能傳回資料，寫入似乎被忽略	R/Wn 極性相反。嘗試另一個 `--read-bit`
交易在字組中間被截斷	不規則的 STOP，即 ABORT 條件。檢查是否有其他裝置在驅動 `CSn`
轉接器回報傳輸長度不足	傳輸長度與酬載長度不一致。這是主機端的錯誤，而不是匯流排故障

10 縮寫

表 11. 縮寫

術語	意義
ACK	Acknowledgement（確認回應），在 SPIMCI 上為 00h
CPO	Co-packaged optics（共同封裝光學）
CMIS	Common Management Interface Specification（通用管理介面規格）
CSn	Chip select（晶片選擇），低電位有效
IITO	Initiator In, Target Out（發起端輸入，目標裝置輸出）
IOTI	Initiator Out, Target In（發起端輸出，目標裝置輸入）
MCI	Management Communication Interface（管理通訊介面）
NACK	Negative acknowledgement（否定回應），在 SPIMCI 上為 FFh
OIF	Optical Internetworking Forum（光互連論壇）
RAL	Register Access Layer（暫存器存取層）
SPIMCI	SPI Management Communication Interface（SPI 管理通訊介面）

11 關於文件中原始碼的說明

本文件中顯示以及隨附封存檔中提供的範例程式碼僅供評估與參考。 其依據 MIT 授權條款發布，授權條款全文包含在封存檔中。

表 12. 資源封存檔的內容

檔案	說明
`AN0010.md`	本文件的 Markdown 原始檔
`assets/cmis_mci.py`	參考工具程式，由 AN0008 至 AN0011 共用
`assets/LICENSE`	涵蓋範例程式碼的 MIT 授權條款

12 修訂歷史

表 13. 修訂歷史

修訂版	日期	說明
0.1	2026 年 9 月 1 日	供內部審查的草稿。規格內容已核實；流程尚未在硬體上執行。
0.2	2026 年 9 月 2 日	由 AN0009 重新編號而來。在一塊未載有 SPIMCI 韌體的電路板上執行了 `spi-probe`：全零的偽造確認回應騙過了 Page 00h 檢查碼，命令回報 PASS。工具程式現在會拒絕由單一重複值構成的頁，第 8.2 節記錄了兩次的輸出。尚未連接任何 SPIMCI 模組。
1.0	2026 年 11 月 6 日	正式發布。

法律資訊（英文）

Definitions

Draft

A document marked draft is under internal review and subject to formal approval. Binho Inc. makes no representation or warranty as to its accuracy or completeness and accepts no liability arising from its use.

Disclaimers

Limited warranty and liability

Information in this document is believed to be accurate and reliable. Binho Inc. makes no representation or warranty, express or implied, as to its accuracy or completeness, accepts no liability for the consequences of its use, and takes no responsibility for content originating outside Binho Inc.

In no event shall Binho Inc. be liable for any indirect, incidental, punitive, special or consequential damages, including without limitation lost profits, lost savings, business interruption, or costs of removing or replacing any product, whether or not based on tort, warranty, breach of contract or any other legal theory. Notwithstanding any damages a customer might incur, the aggregate and cumulative liability of Binho Inc. is limited in accordance with its terms and conditions of commercial sale.

Right to make changes

Binho Inc. reserves the right to change the information in this document, including specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes all information supplied prior to its publication.

Suitability for use

Binho Inc. products are not designed, authorized or warranted for use in life support, life-critical or safety-critical systems or equipment, nor in applications where failure of a Binho Inc. product can reasonably be expected to result in personal injury, death, or severe property or environmental damage. Any such inclusion or use is at the customer's own risk and Binho Inc. accepts no liability for it.

Applications

Applications described here are illustrative only. Binho Inc. makes no warranty that they are suitable for the specified use without further testing or modification. Customers are responsible for the design and operation of their own applications and products, for appropriate design and operating safeguards, and for determining whether a Binho Inc. product is suitable and fit for their purpose. Binho Inc. accepts no liability for assistance with applications or customer product design.

Third-party products and specifications

This document refers to products, boards, specifications and documentation supplied by third parties, which remain the responsibility of their respective owners. Binho Inc. makes no warranty regarding them and their behavior may change without notice. Register maps, protocol details and device identifiers reproduced here were observed on the specific hardware and firmware versions stated in this document and must be confirmed against the vendor's own documentation for the reader's part.

Example code

Source code supplied with this document is provided as an example, for evaluation and reference. It is not qualified for production use, has not been developed under a functional safety or security process, and is licensed under the terms accompanying it in the distribution archive.

Terms and conditions of commercial sale

Binho Inc. products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale published by Binho Inc., unless otherwise agreed in a valid written individual agreement, in which case only the terms of that agreement apply.

Export control

This document and the items it describes may be subject to export control regulations. Export may require prior authorization from the competent authorities.

Security

All products may be subject to unidentified vulnerabilities or may support security standards with known limitations. The customer is responsible for the design and operation of its applications and products throughout their lifecycle to reduce the effect of such vulnerabilities, and for compliance with all legal, regulatory and security requirements concerning its products.

Trademarks

All referenced brands, product names, service names and trademarks are the property of their respective owners. **Binho** and the Binho logo are trademarks of Binho Inc. **CMIS** 與 **OIF** 是 Optical Internetworking Forum 的商標或註冊商標。 **Saleae** 與 **Logic** 是 Saleae, Inc. 的商標。