binho

應用筆記

使用 Binho Supernova 與 Pulsar 設定 I2C SCL 工作週期與精確的匯流排頻率

AN0015

文件資訊

關鍵詞	AN0015、Supernova、Pulsar、I2C、SCL、工作週期（duty cycle）、tHIGH、tLOW、時序餘裕、匯流排頻率、pyCosmicSDK
摘要	有些 I2C 目標裝置以及某些驗證計畫，在意的不只是每秒有多少個 SCL 週期，還有每個週期中高電位與 低電位的分配。主機轉接器韌體 4.6.0 與 pyCosmicSDK 1.6.0 讓 Binho Supernova 或 Pulsar 可以直接 設定此分配，高電位比例為 20 至 80 百分比，以 10 為級距；設定後，匯流排頻率也會變得精確，而非經過 捨入。本應用筆記說明此呼叫，提供一個套用比例並印出主機轉接器回報值的腳本，並列出以邏輯分析儀在 100 kHz 與 400 kHz 下於線路上量測到的比例。

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

修訂版 1.0
6 NOVEMBER 2026

1 簡介

I2C 控制器會為每個 SCL 週期選擇高電位時間與低電位時間。I2C 規範為兩者都訂有最小值（tHIGH 與 tLOW），多數控制器會自行選擇分配方式。這在目標裝置對此不敏感、測試計畫也未要求特定分配時並無問題； 但測試計畫可能會要求例如 30:70 的時脈，以確認目標裝置在高電位階段較短時仍能正確取樣，或要求 40:60 的時脈，以符合目標裝置將出貨之系統的時序。

在此之前，Binho 主機轉接器都是自行選擇分配方式。在 100 kHz 下，預設約為 46 百分比高電位；在 400 kHz 下，約為 40 百分比。過去無法要求其他比例。主機轉接器韌體 4.6.0 與 pyCosmicSDK 1.6.0 新增了一個用來設定它的呼叫。

1.1 範圍

本文件涵蓋：

- `I2cController.set_duty_cycle` 做了什麼，以及它不改變什麼
- 韌體接受的比例，以及對其拒絕的比例所回應的內容
- 為什麼設定比例也會讓頻率變得精確
- 一個套用比例、產生可供量測的傳輸並印出主機轉接器回報值的腳本
- 在 100 kHz 與 400 kHz 下於線路上量測到的分配

本文件不涵蓋 20 至 80 百分比以外的比例、Supernova I3C 連接埠上的工作週期控制，也不涵蓋 SPI。SPI 時脈時序屬於另一項韌體變更。

1.2 適用裝置

表 1. 適用裝置

主機轉接器	識別資訊	依據
Binho Supernova	硬體版本 C，韌體 4.6.0 預發行建置 `80cbb484`	已量測，本文件
Binho Pulsar	硬體版本 C，韌體 4.6.0 預發行建置 `ea77618b`	於韌體驗證期間量測，與 Supernova 相差 1 百分比以內；本文件未重新量測
任一主機轉接器	韌體 4.5.1 或更早版本	以 `FW_UNSUPPORTED_COMMAND` 拒絕此呼叫

> **說明：** 本修訂版是依據預發行建置撰寫。韌體回報的版本為帶有建置後綴的 `4.5.1` ，因為當時版本字串尚未更新為 4.6.0。此呼叫及其行為與 4.6.0 正式版相同。

1.3 相關文件

表 2. 相關文件

文件	標題
UM10204	I2C-bus specification and user manual, Rev. 7, NXP Semiconductors
AN0014	在 Binho Supernova 上以單一連接埠進行 I2C/SMBus/I3C 操作以支援 NVMe-MI

2 系統概觀

`set_duty_cycle(high_pct)` 設定每個 SCL 週期中時脈保持高電位的比例。依韌體的實作方式，可推得以下 三點：

- **頻率不變。** 匯流排維持傳給 `bring_up` 或 `configure` 的頻率。只有分配會改變。
- **頻率變得精確。** 未設定比例時，主機轉接器會選擇其可達到的最接近除頻值，且可能捨入到高於要求值： 550 kHz 實際以 600.6 kHz 執行。設定比例後，韌體會將 I2C 周邊切換到更精細的時脈，因此頻率絕不會 高於要求值，且最多低 0.29 百分比。同樣的 550 kHz 實際以 549.8 kHz 執行。
- **比例會持續保留。** 之後的 `configure` 會保留比例，並在新的頻率下套用。`set_duty_cycle(0)` 或重新執行 `initialize` 會回到預設時序。

此呼叫以 `I2cDutyCycle` 傳回實際生效的設定，包含兩個欄位：

表 3. I2cDutyCycle 的欄位

欄位	意義
`frequency_hz`	設定比例時，為線路上的頻率。`high_pct` 為 0 時，為要求的頻率，預設時序可能會將其捨入
`high_pct`	實際生效的比例，以百分比表示；0 為預設時序

韌體不會依 I2C 規範限制比例。100 kHz 下 30 百分比的時脈，其 tHIGH 為 3.0 us，低於 Standard-mode 的 4.0 us 最小值。這是刻意的：餘裕測試正需要超出規範的時序。在產品中使用某個比例之前，請先依規範 檢查。

3 硬體設定

3.1 所需設備

表 4. 所需設備

項目
Binho Supernova 或 Pulsar，韌體 4.6.0 或更新版本
USB-C 傳輸線
一個 I2C 目標裝置；若目的只是量測 SCL，則不需要
接在 SCL 上的示波器或邏輯分析儀，用來量測結果

3.2 連接

表 5. I2C 連接埠的連接

主機轉接器	目標裝置或儀器	必要性
SCL	目標裝置 SCL、儀器探棒	必要
SDA	目標裝置 SDA	有目標裝置時必要
GND	目標裝置與儀器接地	必要
3.3 V	目標裝置電源	選用

3.3 匯流排注意事項

主機轉接器從偵測到 SCL 為高電位的時刻開始計算 tHIGH。因此，緩慢的上升緣會拉長週期：使用 2.2 kOhm 上拉電阻時，1 MHz 時脈實際約以 905 kHz 執行。在 1 MHz 下請使用 470 Ohm 或更強的上拉電阻。在 100 kHz 與 400 kHz 下，1 kOhm 至 2.2 kOhm 即已足夠。

4 軟體設定

安裝 pyCosmicSDK（最新版本）：

```
pip install --upgrade pycosmicsdk
```

腳本 `i2c_duty_cycle.py` 位於資產壓縮檔中，不需要其他任何東西。

5 工作週期呼叫

單獨列出的呼叫：

```
import pycosmicsdk as p

dev = p.Device.open(model=p.DeviceModel.SUPERNOVA)
bus = dev.i2c()
bus.set_voltage(voltage_mv=3300)
bus.bring_up(frequency_hz=400_000, pull_up=p.I2cPullUp.KOHM_1_0)
print(bus.set_duty_cycle(high_pct=40))
# I2cDutyCycle(frequency_hz=400000, high_pct=40)
```

表 6. set_duty_cycle 接受的值

`high_pct`	**結果**
0	預設時序，與韌體 4.5.1 相同
20, 30, 40, 50, 60, 70, 80	每個週期中該比例為高電位；頻率精確
其他任何值	`FirmwareError`，狀態為 `FW_INVALID_PARAMETER`；保留實際生效的比例

在韌體 4.5.1 及更早版本上，此呼叫會引發狀態為 `FW_UNSUPPORTED_COMMAND` 的 `FirmwareError`，且匯流排仍可正常運作。

6 程序

1. 連接主機轉接器，若有使用儀器，將其接在 SCL 上。
2. 詢問主機轉接器在相關頻率下對每個比例回報的值。每個頻率以 `configure` 套用，接著依序套用每個 比例，最後恢復預設時序：

```
$ python i2c_duty_cycle.py --model supernova --pull-up KOHM_1_0 table --khz 100 400
1000
SUPERNOVA FW-4.5.1-80cbb484  I2C 3300 mV  pull-up KOHM_1_0
request   100 kHz  ->    100000 Hz  default
request   100 kHz  ->    100000 Hz  20 % high
request   100 kHz  ->    100000 Hz  30 % high
request   100 kHz  ->    100000 Hz  40 % high
request   100 kHz  ->    100000 Hz  50 % high
request   100 kHz  ->    100000 Hz  60 % high
request   100 kHz  ->    100000 Hz  70 % high
request   100 kHz  ->    100000 Hz  80 % high
request   400 kHz  ->    400000 Hz  default
request   400 kHz  ->    400000 Hz  20 % high
request   400 kHz  ->    400000 Hz  30 % high
request   400 kHz  ->    400000 Hz  40 % high
request   400 kHz  ->    400000 Hz  50 % high
request   400 kHz  ->    400000 Hz  60 % high
request   400 kHz  ->    400000 Hz  70 % high
request   400 kHz  ->    400000 Hz  80 % high
request  1000 kHz  ->   1000000 Hz  default
request  1000 kHz  ->    999024 Hz  20 % high
request  1000 kHz  ->    999024 Hz  30 % high
request  1000 kHz  ->    999024 Hz  40 % high
request  1000 kHz  ->    999024 Hz  50 % high
request  1000 kHz  ->    999024 Hz  60 % high
request  1000 kHz  ->    999024 Hz  70 % high
request  1000 kHz  ->    999024 Hz  80 % high
```

在 1 MHz 下，精確頻率為 999024 Hz，比要求值低 0.1 百分比。`default` 列回報的是要求值，而非線路上的實際值；第 8.2 節列出兩者的差異。

3. 套用一個比例。使用 `--traffic` 時，腳本會讓 SCL 持續運作該秒數，以便儀器擷取：

```
$ python i2c_duty_cycle.py --model supernova --pull-up KOHM_1_0 set --khz 100 --high
30
SUPERNOVA FW-4.5.1-80cbb484  I2C 3300 mV  pull-up KOHM_1_0
request   100 kHz  ->    100000 Hz  30 % high
```

4. 不在接受範圍內的比例會被拒絕，實際生效的比例維持不變：

```
$ python i2c_duty_cycle.py --model supernova --pull-up KOHM_1_0 set --khz 100 --high
35
error: i2c_set_duty_cycle: FW_INVALID_PARAMETER: At least one of the parameters of
the command is not valid.
SUPERNOVA FW-4.5.1-80cbb484  I2C 3300 mV  pull-up KOHM_1_0
```

5. 在預設時序會捨入的頻率下，比較設定比例與預設時序：

```
$ python i2c_duty_cycle.py --model supernova --pull-up KOHM_1_0 set --khz 550 --high
50
SUPERNOVA FW-4.5.1-80cbb484  I2C 3300 mV  pull-up KOHM_1_0
request   550 kHz  ->    549798 Hz  50 % high
$ python i2c_duty_cycle.py --model supernova --pull-up KOHM_1_0 set --khz 550 --high
0
SUPERNOVA FW-4.5.1-80cbb484  I2C 3300 mV  pull-up KOHM_1_0
request   550 kHz  ->    550000 Hz  default
```

第二行回報 550000 Hz，因為它只是回傳要求值。在線路上，預設時序實際以 600.6 kHz 執行 （第 8.2 節）。

7 參考

表 7. i2c_duty_cycle.py 選項

選項	預設值	意義
`--model`	任何	`supernova` 或 `pulsar`，用於兩者都連接時
`--serial`	任何	主機轉接器序號
`--voltage-mv`	3300	匯流排電壓
`--pull-up`	`KOHM_2_2`	板載上拉電阻，任何 `I2cPullUp` 名稱

表 8. i2c_duty_cycle.py 命令

命令	選項	動作
`set`	`--khz`、`--high`、`--traffic`、`--address`	套用一個比例；使用 `--traffic` 時，在該秒數內從 `--address` 讀取
`table`	`--khz`（一個或多個）	印出 0 以及 20 至 80 百分比所回報的頻率與比例，然後恢復預設時序

傳輸預設從位址 0x50 讀取。若該位址沒有目標裝置，每次讀取為一個位址位元組加一個 NACK，仍會產生九個 SCL 週期。

8 量測結果

8.1 測試組態

表 9. 測試組態

項目	值
主機轉接器	Binho Supernova，硬體版本 C，韌體 `FW-4.5.1-80cbb484`（4.6.0 預發行版）
主機軟體	pyCosmicSDK 1.6.0 預發行版， `integration/1.6.0` 於 `baacfdba`
匯流排	I2C 連接埠，3.3 V，1 kOhm 板載上拉電阻，無目標裝置
傳輸	`set --traffic 10`，每次擷取約 4800 筆傳輸
儀器	Acute TravelBus 邏輯分析儀接在 SCL 上，800 MS/s，臨界值 1.6 V
擷取	每個點 3 次，電源重啟後每個點再 1 次；每次約 15000 個 SCL 週期

8.2 結果

數值為中位數。比例欄為單次擷取中 tHIGH 佔週期比例的中位數；p1 至 p99 欄為其分布範圍。每個點的四次 擷取彼此一致，差異在 0.1 百分比以內。

表 10. 線路上量測的 SCL 時序

要求值	比例	頻率	高電位	tHIGH	tLOW	高電位，p1 至 p99
100 kHz	預設	100.0 kHz	46.4 %	4645 ns	5360 ns	46.1 至 46.9 %
100 kHz	30	100.0 kHz	29.7 %	2975 ns	7030 ns	29.4 至 30.1 %
100 kHz	40	100.0 kHz	39.9 %	3990 ns	6015 ns	39.2 至 40.1 %
100 kHz	50	100.0 kHz	49.6 %	4965 ns	5035 ns	49.2 至 50.2 %
400 kHz	預設	400.0 kHz	39.6 %	990 ns	1510 ns	38.6 至 41.1 %
400 kHz	30	400.0 kHz	28.0 %	700 ns	1800 ns	27.2 至 30.7 %
400 kHz	40	400.0 kHz	39.5 %	990 ns	1515 ns	38.8 至 40.7 %
400 kHz	50	400.0 kHz	48.8 %	1220 ns	1280 ns	48.2 至 50.7 %

在 400 kHz 下，量測到的高電位比例比設定比例低 0.5 至 2 個百分點。這是上升緣造成的：分析儀只在 SCL 越過 1.6 V 後才判定為高電位，而在 400 kHz 下，此延遲佔週期的比例較大。

另有兩個點是在韌體驗證期間，於相同變更的較早建置上量測，並非使用上述組態：

- 1 MHz，使用 470 Ohm 上拉電阻，Supernova：比例 30、40 與 50 分別得到 1000.0 kHz，29.5、37.0 與 50.5 百分比。

- 550 kHz：在兩種主機轉接器以及 4.5.1 正式版上，預設時序皆以 600.6 kHz、50.2 百分比高電位執行。 比例 50 則以 551.0 kHz 執行。

20、60、70 與 80 百分比的比例是透過主機轉接器的回報值檢查（第 6 節，步驟 2），未在線路上量測。

9 疑難排解

表 11. 疑難排解

症狀	可能原因與處置
`FW_UNSUPPORTED_COMMAND`	韌體 4.5.1 或更早版本。請將主機轉接器更新至 4.6.0 或更新版本。
`FW_INVALID_PARAMETER`	比例不是 0，也不是 20 至 80 之間以 10 為級距的值。先前的比例仍然有效。
`FW_INTERFACE_NOT_INITIALIZED`	I2C 匯流排未以控制器身分啟動。請先呼叫 `bring_up`。
在 1 MHz 下量測到的頻率低於要求值	上升緣太慢。請使用 470 Ohm 或更強的上拉電阻（第 3.3 節）。
腳本重新啟動後比例回到預設值	`initialize` 會恢復預設時序。每次以 `bring_up` 初始化匯流排後，都請呼叫 `set_duty_cycle`。
`table` 出現 `CapabilityError`	`configure` 需要硬體版本 C 的 Supernova。請改為每個頻率各執行一次 `set`。

10 縮寫

表 12. 縮寫

術語	意義
I2C	Inter-Integrated Circuit
SCL	序列時脈線
SDA	序列資料線
tHIGH	SCL 時脈的高電位期間
tLOW	SCL 時脈的低電位期間
NACK	無確認（Not acknowledge）

11 關於本文件中原始碼的說明

本文件中所示以及隨附壓縮檔中提供的範例程式碼，僅供評估與參考之用。其以 MIT 授權條款釋出，授權 條款全文包含於壓縮檔中。

壓縮檔 `AN0015-assets.zip` 包含 `i2c_duty_cycle.py` 與 `LICENSE`。

12 修訂歷史

表 13. 修訂歷史

修訂版	日期	說明
0.1	25 September 2026	供內部審閱的草稿，以韌體 4.6.0 與 pyCosmicSDK 1.6.0 預發行建置量測。
1.0	6 November 2026	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. **Acute** 與 **TravelBus** 是 Acute Technology Inc. 的商標或註冊商標。