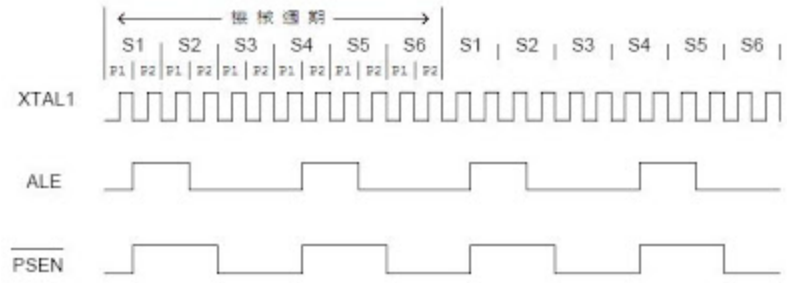
8051 clock



1. 一個機械週期 (Machine Cycle) 是由 6 個狀態週期 (State) S1-S6 組成。而每一個狀態週期包含 2 個振盪週期分別稱為 PI 與 P2 。
2. ALE (位址栓鎖致能)則是每 6 個振盪週期出現一次。
3. 當震盪器頻率 (crystal frequency) 為 12Mhz 時，表示一秒鐘能震盪 12000000 次，所以每震盪一次時間 (1 clock time) 為 1/12000000，而一個 machine cycyle 的時間需要 12 個振盪週期則為 12*1/12000000=1/1000000。
4. 當震盪器頻率 (crystal frequency) 為 40Mhz 時，表示一秒鐘能震盪 40000000 次，所以每震盪一次時間 (1 clock time) 為 1/40000000，而一個 machine cycyle 的時間需要 12 個振盪週期則為 12*1/40000000=3/10000000。
5. 一般每個指令需要二到三個 machine cycle 不等，每個 machine cycle 費時 12 個 clock，因此如果接上 12Mhz 的震盪器，則有 1 MIPS 的運算量。1T 或 4T，代表可在 1 個 clock 或 4 個 clock 完成一個 machine cycle。
6. 另一種說法，8051 的計數器是一個機器週期為一個 count，而一個機器週期費時 12 個 clock，所以說 counting at the rate of 1/12 of the clock speed，表示每秒只能計數 12000000/12 次；如果是 4T's 8051 則為 1/4 of the clock speed，表示每秒可以計數 12000000/4 次，比一般的 8051 快了三倍速度。
7. MIPS 即 Million Instructions Per Second 的簡稱，衡量計算機性能的指標之一。它表示單字長定點指令的平均執行速度。

I2C protocol 時間計算

I2C protocol 原理及應用有提供了一個範例程式碼，裏面的 i2c_wait 在當時是用試誤法來測出需要幾個 nop 指令。最近正好在做新的案子，使用不同的 crystal，就想用時脈來計算出真正需要多少個 nop 指令。

以下推導過程，使用 22.1184MHz 的振盪器，I²C匯流排速度為標準模式（100 Kbit/s）。

1. 1 clock = 1/22.1184 us
2. 1 machine cycle = 12 clock = 12/22.1184 us
3. 1 nop = 1 machine cycle = 12/22.1184 us = 542.534722 ns
4. 100 kbit/s = 1bit per 1/100000s = 10 us
5. 1 bit cycle = 10/0.542 = 18.432 machine cycle
6. 2 * i2c_wait = 1 bit cycle ==> i2c_wait = 9.2 machine cycle = 9 nop

實際上使用的 nop 有 8 個，可以正常 read/write 256 bytes eeprom。但是由於還會呼叫 lcall，ret 等指令，理論上應該少更多才對。不知是 eeprom 不穩，無法達到 100Kbit/s，還是其它原因？

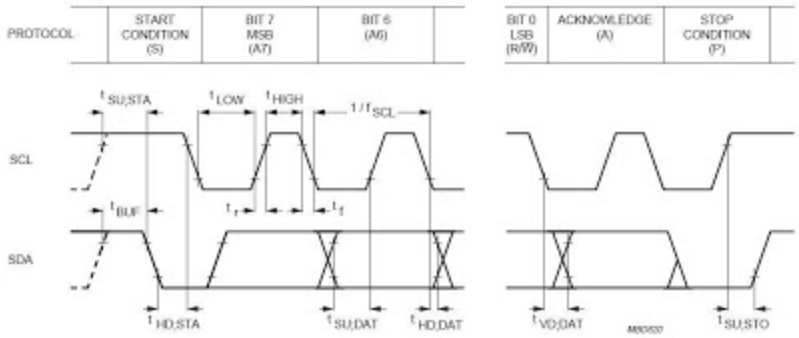
以下推導過程，使用 40MHz 的振盪器，I²C匯流排速度為標準模式（100 Kbit/s）。

1. 1 clock = 1/40 us
2. 1 machine cycle = 12 clock = 12/40 us
3. 1 nop = 1 machine cycle = 12/40 us = 0.3 us
4. 100 kbit/s = 1bit per 1/100000s = 10 us
5. 1 bit cycle = 10/0.3 = 33.33 machine cycle
6. 2 * i2c_wait = 1 bit cycle ==> i2c_wait = 16.67 machine cycle = 16 nop

實際上使用的 nop 有 10 個，只有測試讀寫 1 byte。由於還會呼叫 lcall，ret 等指令，所以少了 6 個 nop 是可以理解的。但是實際上測試需要做讀寫大量的資料，不然像上例的 eeprom，單獨讀寫一個沒問題，大量讀寫時，卻出現很多錯誤。

I²C (Inter-Integrated Circuit) 是內部整合電路的稱呼，是一種串列通訊匯流排，使用多主從架構，由飛利浦公司在 1980 年代為了讓主機板、嵌入式系統或手機用以連接低速週邊裝置而發展。I²C 的正確讀法為 "I-squared-C"，而 "I-two-C" 則是另一種錯誤但被廣泛使用的讀法，在大陸地區則多以 "I方C" 稱之。截至 2006 年 11 月 1 日為止，使用 I²C 協定不需要為其專利付費，但製造商仍然需要付費以獲得 I²C Slave (從屬裝置位址)。
I²C的參考設計使用一個7位元長度的位址空間但保留了16個位址，所以在一組匯流排最多可和112個節點通訊。常見的I²C匯流排依傳輸速率的不同而有不同的模式：標準模式（100 Kbit/s）、低速模式（10 Kbit/s），但時脈頻率可被允許下降至零，這代表可以暫停通訊。而新一代的I²C匯流排可以和更多的節點（支援10位元長度的位址空間）以更快的速率通訊：快速模式（400 Kbit/s）、高速模式（3.4 Mbit/s）。

I2C 的啟動條件及停止條件



1. I2C start condition 有二種情況，如上圖所示，虛線表示 read 動作時的第二次 start condition，實線表示 r/w 時的第一次 start condition。
2. I2C stop condition 只有一種情況，如上圖所示。

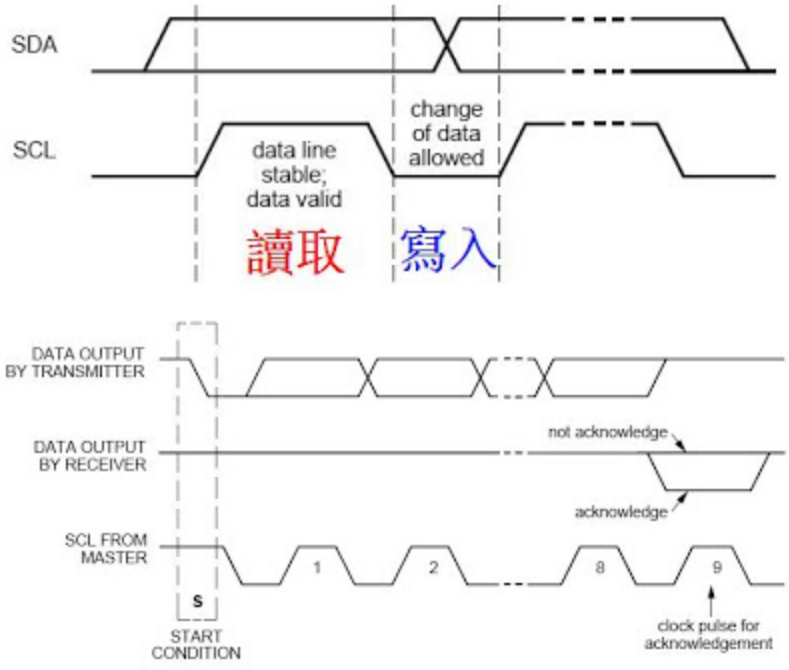
```
void i2c_start(void)
{
   // for second start signal on i2c_read
   I2C_SDA = HIGH;
   I2C_SCL = HIGH;
   i2c_wait();

   // send start signal
   I2C_SDA = LOW;
   i2c_wait2();
   I2C_SCL = LOW;
}

void i2c_stop(void)
{
   i2c_wait2();
   I2C_SDA = LOW;
   i2c_wait2();
   I2C_SCL = HIGH;
   i2c_wait2();
   I2C_SDA = HIGH;
}
```

I2C 的讀寫動作

1. 當 SCL=HIGH 時，表示 SDA 穩定，可以做讀取動作。
2. 當 SCL=LOW 時，表示 SDA 混亂，不可以讀取；因為此時可以設定 SDA 的值，也就是做寫入動作。
3. master 每一次傳送八個 bit，最後 slave 會回傳一個 ack bit，表示接受是否完成。
4. master 每一次接受八個 bit，最後 master 要傳送一個 ack bit，表示接受已經完成。
5. 在傳送完第八個 bit 之後，再等待 slave 接受完成後，需將 SDA 設成 HIGH，此時 slave 會將 SDA 拉回 LOW，表示接受動作完成。如果 acknowledge=HIGH，也就是 slave 沒有拉成 LOW 則表示傳送失敗。



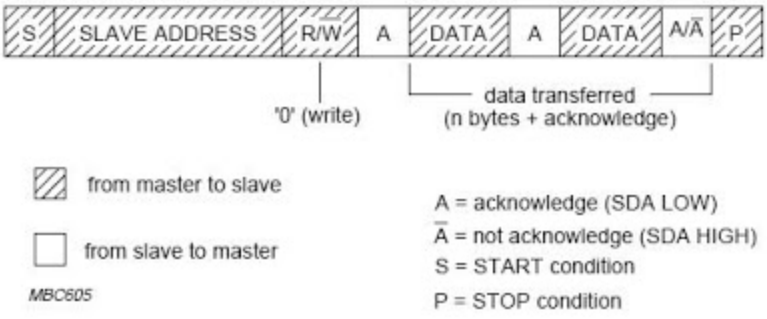
bit i2c_write(unsigned char value)

```
{
    char i=9;
    bit  ack;
    // upload data
    while(--i)
    {
        i2c_wait2();
        I2C_SDA = (value &amp;amp; 0x80) ? HIGH : LOW;
        i2c_wait2();
        // send data
        I2C_SCL = HIGH;
        i2c_wait();
        value &amp;lt;&amp;lt;= 1;
        I2C_SCL = LOW;
    }
    // get acknowledgement
    i2c_wait2();
    I2C_SDA = HIGH;
    i2c_wait2();
    I2C_SCL = HIGH;
    i2c_wait2();
    ack = I2C_SDA;
    i2c_wait2();
    I2C_SCL = LOW;
    // return acknowledge
    return ack;
}
unsigned char i2c_read(bit acknowledge)
```

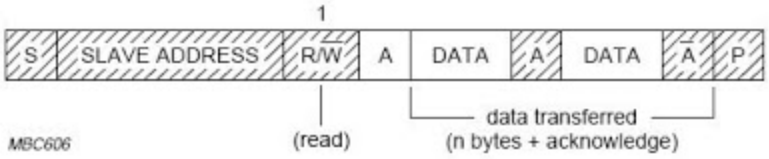
```
{
    char i=9;
    unsigned char value=0;
    // read data
     while(--i)
    {
        value &amp;lt;&amp;lt;= 1;
        i2c_wait();
        I2C_SCL = HIGH;
        i2c_wait2();
        value |= I2C_SDA;
        i2c_wait2();
        I2C_SCL = LOW;
    }
    // send acknowledge
    i2c_wait2();
    I2C_SDA = acknowledge;
    i2c_wait2();
    I2C_SCL = HIGH;
    i2c_wait();
    I2C_SCL = LOW;
    // return data
    return value;
}
```

標準 I2C 讀寫流程 by Philips

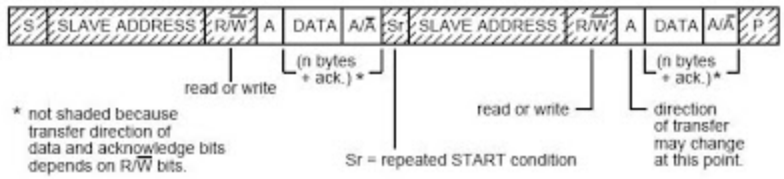
1. 讀取完最後一個 byte 時，記得要回傳 no acknowledge(SDA=HIGH)，表示已經沒有要繼續讀取資料。
2. 讀取完最後一個 byte 時，回傳 acknowledge(SDA=LOW)，再傳送 stop signal，則會造成後續的讀寫動作失敗。(這是在讀取 PCF8593 的經驗)



完整寫入流程



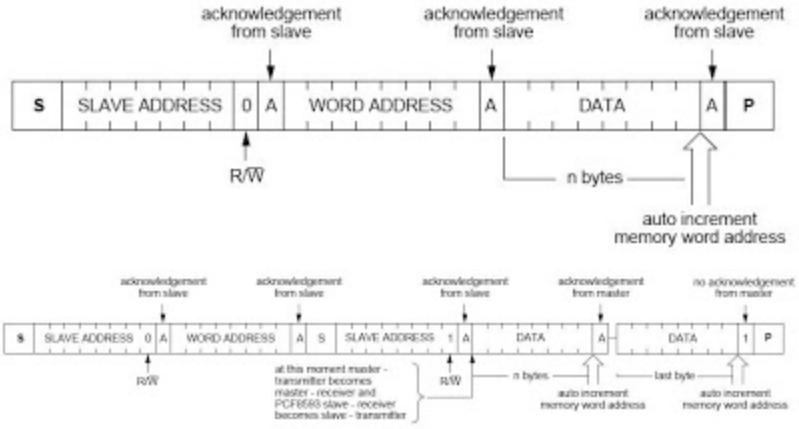
完整讀取流程



複合式讀寫流程

常用 I2C NVRAM 讀寫流程 by Philips PCF8953

1. 一般 RTC 都有帶一些 NVRAM 或是讀寫 EEPROM，需要先指定讀寫的 register address 才可以。所以在寫時，先寫入 slave address 後，需再寫入 register address，讓 chip 知道你要寫入的起始位址，接下來才能寫入 data。
2. 由於讀取前也要先寫入 register address，所以一般 NVRAM 讀取動作都是使用標準複合式流程，也就是先寫入 register address，再下一次 start conditon，再做讀取動作。




```
void i2c_write_byte(unsigned char slave_addr, unsigned char reg_addr, unsigned char value)
{
    char i=10;

    EA = 0;
    while (--i)
    {
        i2c_start();
        if(i2c_write(slave_addr)) continue;
        if(i2c_write(reg_addr)) continue;
        if(i2c_write(value)) continue;
        i2c_stop();
        break;
    }
    EA = 1;
}

unsigned char i2c_read_byte(unsigned char slave_addr, unsigned char reg_addr)
{
    char i=10;
    unsigned char value=0;
```

```
    EA = 0;
    while (--i)
    {
        // send register address
        i2c_start();
        if(i2c_write(slave_addr&amp;amp;0xfe)) continue;
        if(i2c_write(reg_addr)) continue;
        // read data
        i2c_start();
        if(i2c_write(slave_addr | 1)) continue;
        value = i2c_read(1);
        i2c_stop();
        break;
    }
    EA = 1;
    return value;
}
```