

AN10943

使用M3數字信號處理庫的快速傅立葉轉換對雙音多頻進行解碼

版本 .1 ---- 西元二零一零年六月十七日

應用手冊

文件資訊

訊息	內容
關鍵字	M3, LPC1300, LPC1700, 數字信號處理器, 離散傅立葉轉換, 快速傅立葉轉換, 雙音多頻
摘要	這份應用手冊和有關的源碼範例演示了如何使用恩智浦M3 數字信號處理器資料庫內的快速傅立葉轉換函式去對雙音多頻進行解碼



版本歷史

版本	日期	說明
1	2010年6月17日	初版

聯絡資訊

更多額外的訊息，請上：<http://www.nxp.com>

業務與辦公室地址，請發電郵至：salesaddresses@nxp.com

1. 介紹

M3數字信號處理器資料庫包含了一組共同使用的信號處理函式，它被設計與優化與恩智浦Cortex-M3 LPC1700和LPC1300家族產品一起使用。

這個應用手冊說明了軟件範例的幫助、如何使用包含在庫裡面的快速傅立葉轉換函式去解碼雙音多頻的音頻。

請注意為了能夠建立軟件範例，和本數字信號處理器資料庫一起被提供的應用手冊AN10913[2]必須被安裝。

應用手冊AN10913和數字信號處理器資料庫可以在下列的網址下載：

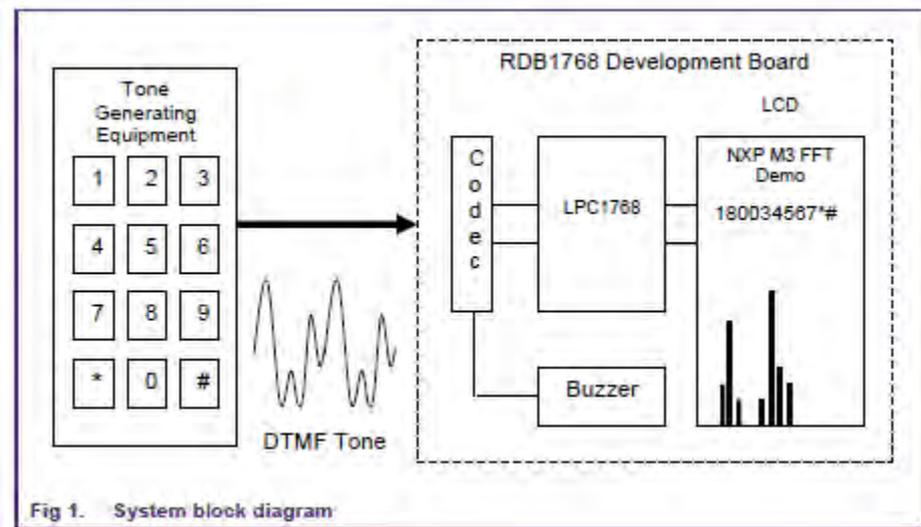
<http://ics.nxp.com/support/documents/microcontrollers/zip/an10913.zip>

2. 概述

這份應用手冊演示了包含在恩智浦M3數字信號處理器資料庫的快速傅立葉轉換函式是如何的被使用在對雙音多頻的解碼上。

這個範例軟件要求使用CodeRead公司製作的RDB1768開發板以及一個有能力產生雙音多頻音效的裝置(一台電腦運行音效產生軟件是其中一種選擇)。

被產生出來的音效透過音源線接頭直接輸入到RDB1768板。他們被編碼解碼器數字化並透過i2s傳送給微控制器LPC1768。微控制器從數字信號處理器資料庫調用快速傅立葉轉換函式去計算出現在所有收到的數據代表不同的頻率進而轉成相對應的按鍵。



快速傅立葉演算法的輸出以及相對於所收到的音頻轉出來的按鍵都被顯示在LCD屏幕上。且音頻在接收後透過編碼解碼器由揚聲器輸出。

3. 背景

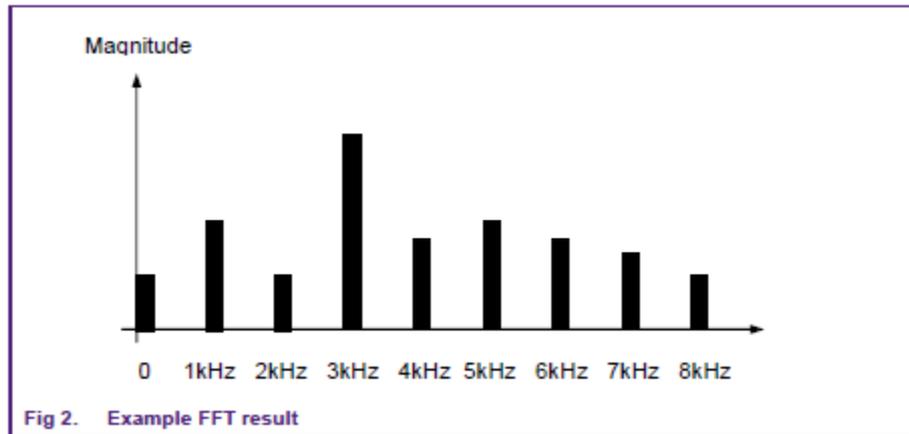
3.1 快速傅立葉轉換基礎

離散傅立葉轉換(DFT)是一個通用的轉換式且應用在通訊、音源信號處理、講話信號處理、樂器信號處理以及影像處理中。它是一種技術用來轉換一些從時間域變成頻率域的複合數值。快速傅立葉轉換是一個演算法被設計用來高效地計算離散傅立葉轉換。基本上，快速傅立葉轉換是一個演算法，它可以有效地計算出一個離散數值集合內的頻率內容。換言之，它把時間信號轉成頻率信號。

運行一個快速傅立葉轉換後的結果是一堆點的集合或可說是一堆頻帶的集合。每個點或頻帶是一個複合出來的數值，它代表一個特定的頻譜值。所有的點設為N，輸入頻率的取樣率設為(f_s)，而每個頻帶(f_{bin})點決定出頻率的範圍，正確的關係式如下：

$$f_{bin} = \frac{f_s}{N} \quad (1)$$

例如：如果一個信號被用16KHz的速度取樣且經過16點的快速傅立葉轉換後得到16個點，各代表一個頻譜，每個頻譜有1千赫茲的寬度。有個重要的地方需要注意，如果輸入值是實數(換言之，虛數部分為零)，這表示只有前面 $N/2 + 1$ 個頻帶在快速傅立葉轉換後是獨立的；剩下的頻帶沒有包含額外的訊息。也因為這樣，顯示在結果的最大頻率將只有取樣頻率的一半。一個快速傅立葉轉換後的結果通常以長條圖表示。請看圖2，它呈現了上一段所描述的例子(假設輸入序列是實數)。



請注意第一個快速傅立葉轉換輸出值(頻帶0)代表了輸入序列的直流成分。

對快速傅立葉轉換來說，輸入與輸出值都是複合數值且有下面的格式：

$$a + bi \quad (2)$$

對大部分的應用來說，輸入值將是實數序列。因此，虛數部分**b**將為零。強度(M)和相位(θ)關係在輸入序列的時間區域和嚙對應的頻帶頻率之間，可以透過下面的公式計算出複合輸出值：

$$M = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1}(b/a) \quad (4)$$

3.2 快速傅立葉轉換函式實行方式

快速傅立葉轉換函式處理16比特輸入數值並產生16比特殊出數值，輸入與輸出都用複數的數組表示；偶數部分表示複數的實部，奇數部分表示虛部。請看下列圖三的例子：

```
input_buffer[0] = sample_0_real_part;
input_buffer[1] = sample_0_img_part;
.
.
input_buffer[8] = sample_4_real_part;
input_buffer[9] = sample_4_img_part;
```

Fig 3. FFT input buffer format

所有被包含在數字信號處理器庫內的快速傅立葉轉換函式都是採用Radix-4的架構，這表示所有點的數量都是4的倍數，所以經快速傅立葉轉換的結果會是64、256或1024個點。Radix-2演算法則是所有的點數都是2的倍數，轉換後的結果也是一樣。不過由於在Cortex M3核內有16個寄存器的區塊，所以使用Radix-4可以耗較少的中央處理器脈波數達到一樣的計算結果進而提供更佳的效能。

快速傅立葉轉換函式不能”in place”執行運算，意思是說輸入和輸出的緩衝區塊必須被放置在記憶體內的不同區域；換言之，同一塊緩衝區不能同時當輸入與輸出使用。

取樣的輸入數目相等於所產生的輸出點數；舉例來說，如果使用一個256個點的快速傅立葉轉換的結果(vF_dspl_fftr4b16N256)，則需要256個輸入取樣。這些輸入取樣實際上包含了512個不同的16比特資料值，也就是256個實數和256個虛數。這個函式產生了512個16比特殊出取樣數目，256個實數和256個虛數。

3.3 雙音多頻基礎

雙音多頻(DTMF)是一個透過電話將信號發射出去的方法。當電話上的一個按鍵被壓下去，一個信號(包含兩個不同頻率弦波)被傳送給接收裝置；每個按鍵由八個不同頻率中的兩個組成一獨一無二的組合(請見圖四)。例如:按下按鍵'5'會引起一個由770赫茲和1336赫茲弦波所組成的音頻被傳送出去。

Tone Frequency	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz
697 Hz	1	2	3
770 Hz	4	5	6
852 Hz	7	8	9
941 Hz	*	0	#

Fig 4. Keypad frequencies

被產生出來的音頻，其持續時間通常至少70毫秒，不過在一些國家可能更短，只有45毫秒。

4. 軟件範例

伴隨著本應用手冊一起提供的軟件範例使用了快速傅立葉轉換函式去解碼雙音多頻音效。它從編碼解碼器取得了經數字化的音源資料(音源透過線性輸入孔)並經過一個快速傅立葉轉換處理，轉換的結果被檢測是否有音源信號出現，如果有就繼續解碼程序去檢查是屬於哪個按鍵。下圖五是軟件運作流程總結。

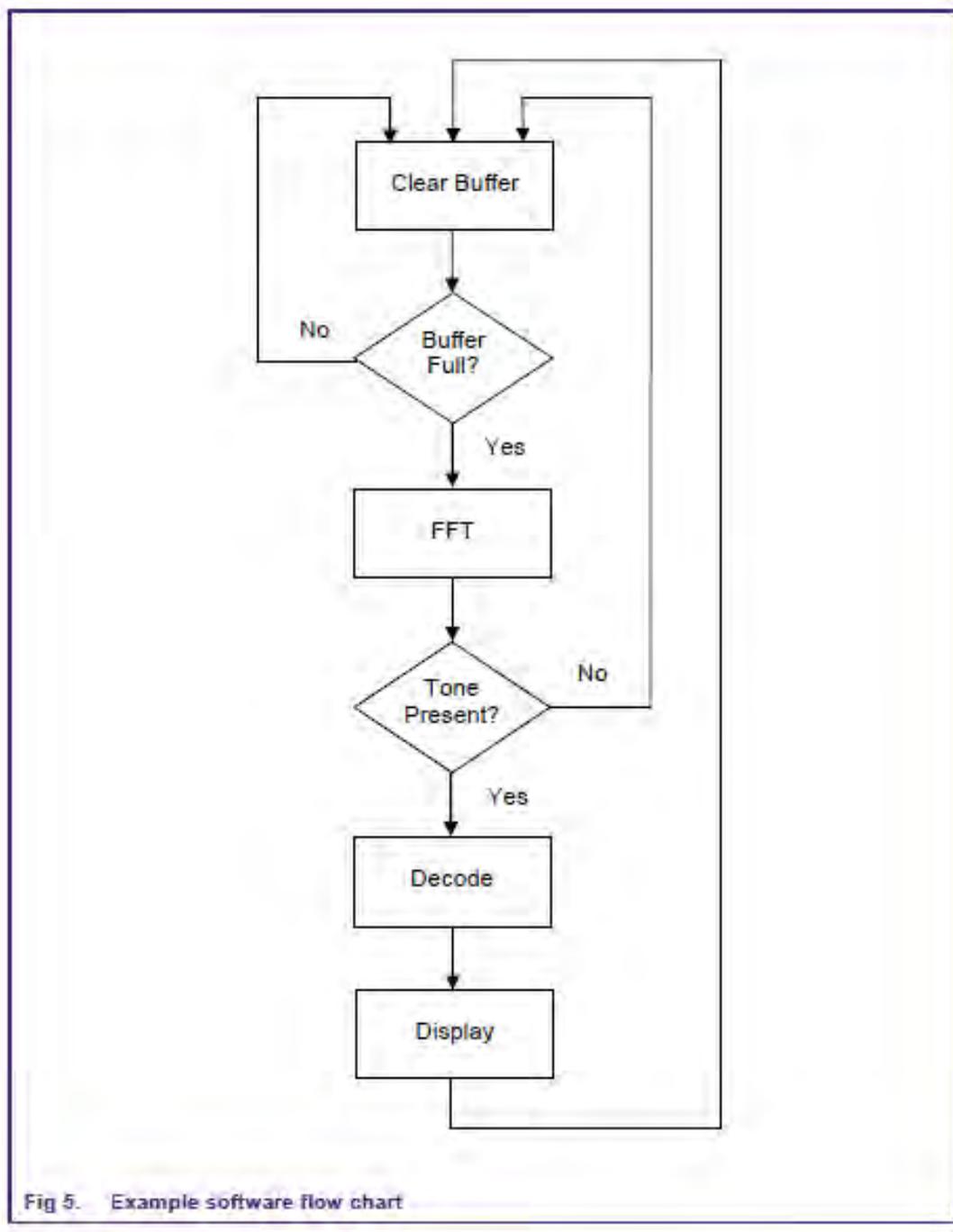


Fig 5. Example software flow chart

4.1 取樣音源資料

從等式(2)可以看出在不同音頻資料的取樣頻率，以及經過快速傅立葉轉換後被產生的點數，決定了輸出的頻率分辨率。雙音多頻音效最小的頻率差異(73赫茲)，定義了最大的快速傅立葉轉換輸出分辨率，它可以被用於辨識不同音頻間的差異。為了防止失真，取樣率必須至少兩倍於最大音效頻率，換言之，至少需要2954赫茲。

如果音源信號用8000赫茲取樣，而一個256個點經快速傅立葉轉換後產生；則輸出的分辨率是31.25赫茲。當使用8000Hz取樣得到256個取樣點花費了32毫秒，這更低於最小音頻持續時間70毫秒。

範例碼使用了編碼解碼器，適用於所有RDB1768，可以取樣從音源線性孔輸入的音源資料。當取樣完成並透過i2s傳送給微控制器LPC1768後，一個中斷將會被產生。而這個中斷服務程序將儲存取樣值為FFT輸入的實部並將虛數部分設為零；同時將所收到的音源資料透過編碼解碼器傳送給揚聲器輸出。

4.2 快速傅立葉轉換

一旦主循環偵測到輸入緩衝區滿了，一個256點的快速傅立葉轉換將會立刻被執行。複合結果的強度由快速傅立葉轉換產生並使用公式三計算。然而，因為效率的關係，軟件只計算到強度的平方，換言之，平方根的計算沒有被執行。但這大概的強度平方值對應到特定頻率的功率已經足夠去做音頻檢測及解碼。

當取樣率是8000赫茲且得到一個256個快速傅立葉轉換的結果後，出現在雙音多頻音效的頻率將有7個不一樣的輸出頻帶(請見表一)。

Table 1. DTMF tone - FFT bin table

Frequency	Bin number
697 Hz	22
770 Hz	25
852 Hz	27
941 Hz	30
1209 Hz	39
1338 Hz	43
1477 Hz	47
1633 Hz	52

4.3 音調檢測

為了檢測出到底有沒有音效信號，頻帶的功率和對應的雙音多頻頻率被放在一起比較為了找出總功率和出現的頻帶關係。如果在雙音多頻的頻帶上的功率高於總功率25個百分比，就會被假設有一個音頻存在。

4.4 解碼音源資料

為了檢查出哪個音頻是存在的，只需要比較相關的頻帶強度，請見表二。如果一個音頻存在，則兩個頻帶所包含的值應該大於其它的。一群頻帶代表一系列其它的表示為行，請見表二。

Table 2. FFT bin - Key table

Key	Row bin	Column bin
1	22	39
2	22	43
3	22	47
4	25	39
5	25	43
6	25	47
7	27	39
8	27	43
9	27	47
*	30	39
0	30	43
#	30	47

解碼出哪個按鍵被按下是簡單的，只要檢查哪些頻帶在列22、25、27和30以及39行、43行和47行包含了最大值。這些值可以透過上表以得知是哪個按鍵被壓下。

4.5 顯示結果

在雙音多頻音頻被檢測及解碼後，相對應的按鍵和快速傅立葉轉換結果被險是在LCD屏幕上。每個頻帶的強度被顯示與放大到一個適當的區域。

4.6 硬件設定

軟件範例被設計用來運行在RDB1768評估板上，下列的評估板版本有被支持：

- RDB1768 版本1
- RDB1768 版本2

音頻應該透過3.5 毫米的線性接頭輸入(J16)，所有收到的音源資料被輸出到揚聲器上(確保S2如下列的設定- 1關, 2開)

5. 參考文獻

- [1] 了解數字信號處理，作者: 理查 基 里昂
- [2] LPC1700及LPC1300專用數字信號處理器資料庫(AN10913)
- [3] LPC17xx使用者手冊(UM10360)
- [4] 雙音多頻信號發射，維基百科
(http://www.nxp.com/redirect/en.wikipedia.org/wiki/Dual-tone_multi-frequency_signaling)

6. 法律資訊

6.1 釋義

草稿 – 這份文件只是草稿版本。內容仍在內部檢閱中且受到正式核准限制，可能會做修改或增加。恩智浦半導體沒有給任何授權或保證精確或完整訊息包括文中所提且無義務對使用此訊息的後果負責。

6.2 否認事項

有限制的保證與責任 – 這份文件的訊息相信是正確的與可靠的，不過恩智浦半導體沒有給任何保證、授權、傳遞或暗示；所以沒有責任去保證關於訊息的精確度或完整性。

恩智浦半導體沒有義務針對間接的、偶發的、懲罰的、特別的或必然的損壞(包含—無限制的利益損失、儲存損失、生意破產、調動的成本、任何產品的取代或重工費用)無論是否是損壞造成都屬於侵權行為(包括疏忽)，保固、侵害合約或其他任何的法律方式。

儘管客戶有各種理由聲明可能遭受任何損壞，恩智浦半導體基於所累積與增加的客戶對產品的信任，在文中說

明的應該被限制在一致的恩智浦半導體商業銷售條件和項目。

有權修改 – 恩智浦半導體保有權利對這份發布的文件訊息做修改，包含沒有限制的規格、產品說明，沒有時間與限制。這份文件取代所有訊息有優先於發佈的優先權。

適合使用 – 恩智浦半導體的產品沒有被設計、授權或保證一定是用於生活當中，對生命與安全有疑慮的裝置或系統沒有在失敗或故障的恩智浦產品應用當中，所以可以合理的期待沒有人會因為使用該產品而受傷、死亡或對環境或財產造成傷害。

6.3 商標

注意:所有參考的品牌、產品名稱、服務名稱及商標都是該擁有者的所有權。

7. 目录

1. 介紹	3
2. 概述	3
3. 背景	4
3.1 快速傅立葉轉換基礎	4
3.2 快速傅立葉轉換函式實行方式	5
3.3 雙音多頻基礎	6
4. 軟件範例	7
4.1 取樣音源資料	8
4.2 快速傅立葉轉換	8
4.3 音調檢測	8
4.4 解碼音源資料	9
4.5 顯示結果	9
4.6 硬件設定	9
5. 參考文獻	10
6. 法律資訊	11
7. 目录	12

This translated version is for reference only, and the English version shall prevail in case of any discrepancy between the translated and English versions.

版权所有 2012恩智浦有限公司 未经许可，禁止转载