

ワンチップマイコンを使ったCWデコーダー

ハードウェア構成

STマイクロエレクトロニクス社

STM32 Nucleo開発ボード NUCLEO-F446RE

MCU STM32F446RE

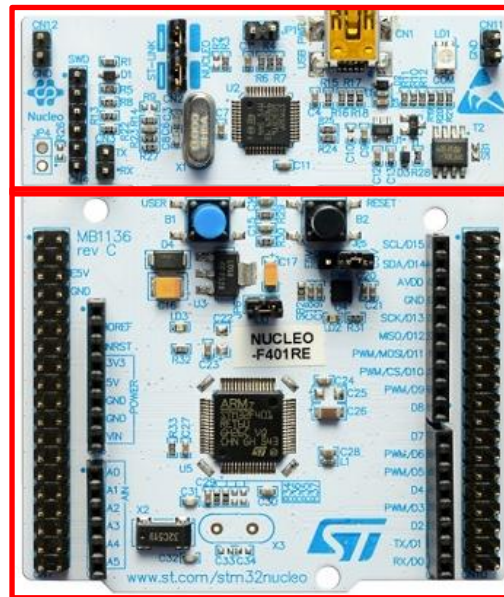
Core	ARM M4 180MHz
Flash memory	512KB
SRAM	32KB
Timer	14
GPIO	50
ADC	3
DAC	2
I/F	SPI,I2C,UART,USB CAN,SDIO....etc

ソフトウェア開発環境

STマイクロエレクトロニクス社

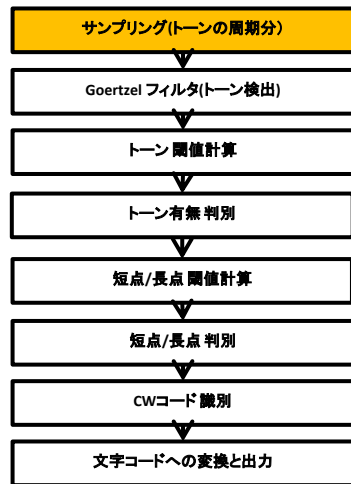
統合開発環境 STM32Cube IDE Version: 1.19.0 (オープンソースベースで無料)

デバッガープローブ



本体部分

サンプリング



- トーン周波数: 600Hz
- トーン周期あたりのサンプル数: $n = 6$
- サンプリング周波数: $600 \times 6 = 3600\text{Hz}$ (周期 $\Delta t = 278\mu\text{S}$)
- 量子化数: 10bit
- ブロックサンプル数: $N = 6 \times 6 \text{ サイクル} = 36\text{個}$

アナログ入力

ADコンバータ

DMAコントローラ

$F_s = 3600\text{Hz}$

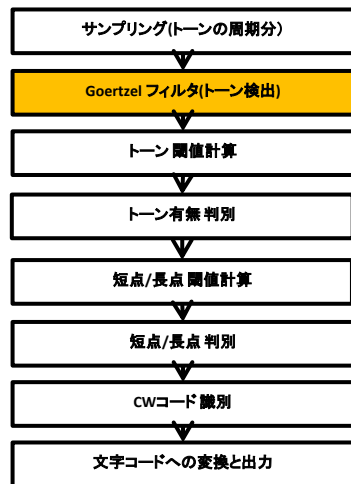
タイマー

バッファメモリ(36個)

0	Buf[0]
1	Buf[1]
2	Buf[2]
.....	
n-1	Buf[n-1]
n	Buf[n]
n+1	Buf[n+1]
.....	
35	Buf[35]

1. 3600HzのサンプリングでAD変換指示をする
2. AD変換完了
3. 変換されたデータがDMAコントローラによってバッファメモリに転送される
4. 36個転送完了まで1~3を繰り返す
5. 36個転送($1/100 = 10\text{ms}$)が完了時に割込でCPUに通知される。

Goertzel (ゲルツェル) フィルタ

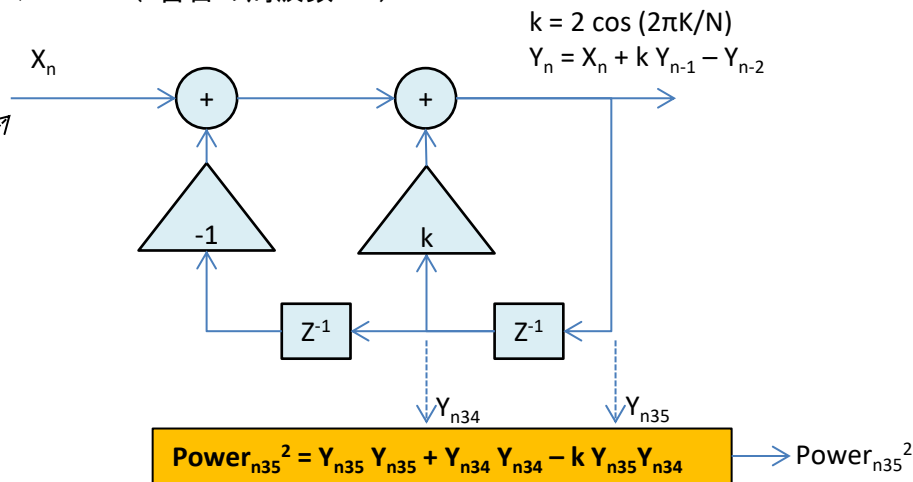


離散フーリエ変換で1つの周波数成分を効率的に計算する手法

- ブロックサンプル数 $N: 36$ ($1/100\text{Hz} = 10\text{ms}$ 分)
- トーン周波数: 600Hz : $K = 600/100 = 6$ (6番目の周波数BIN)

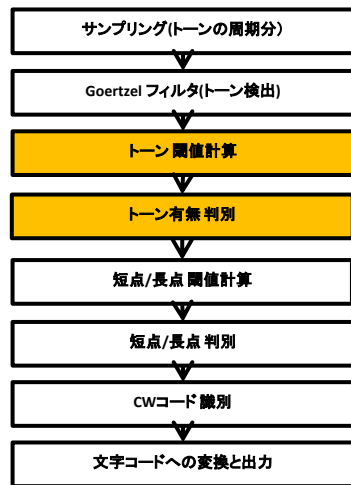
バッファメモリ(36個)

0	Buf[0]
1	Buf[1]
2	Buf[2]
.....	
$n-1$	Buf[$n-1$]
n	Buf[n]
$n+1$	Buf[$n+1$]
.....	
35	Buf[35]

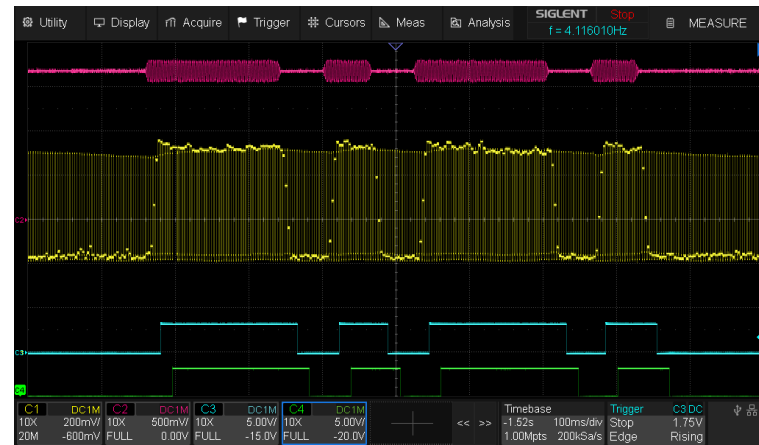
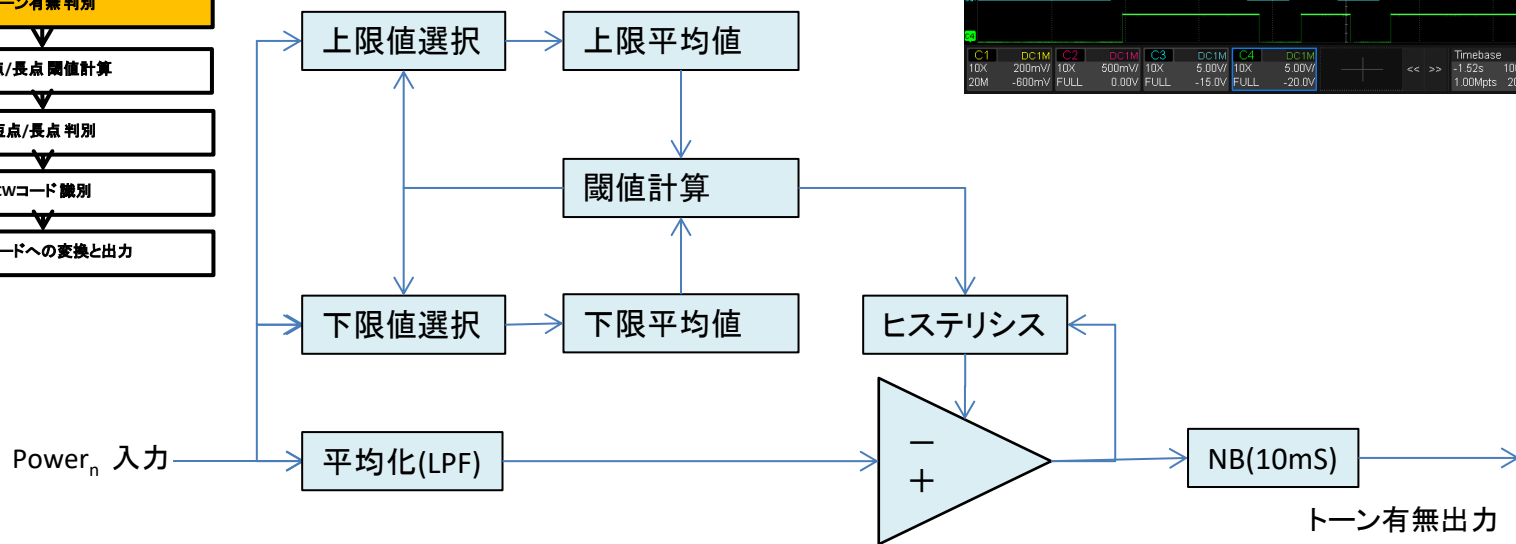


1. $n=0 \sim 35$ まで、上記の演算を繰り返す
2. 36個まで完了したら、電力値(Power^2)を計算する。
3. 10ms毎に電力値が更新される
4. 3系統のAD変換をインターリーブ動作させ、3.3ms毎に更新している

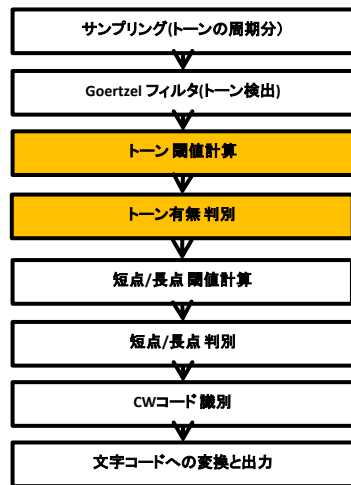
トーンの閾値計算 有無判別



- 上限値と下限値を循環型のフィルタで平均化
- 入力値に追従して、閾値を変化させ、判別を行う

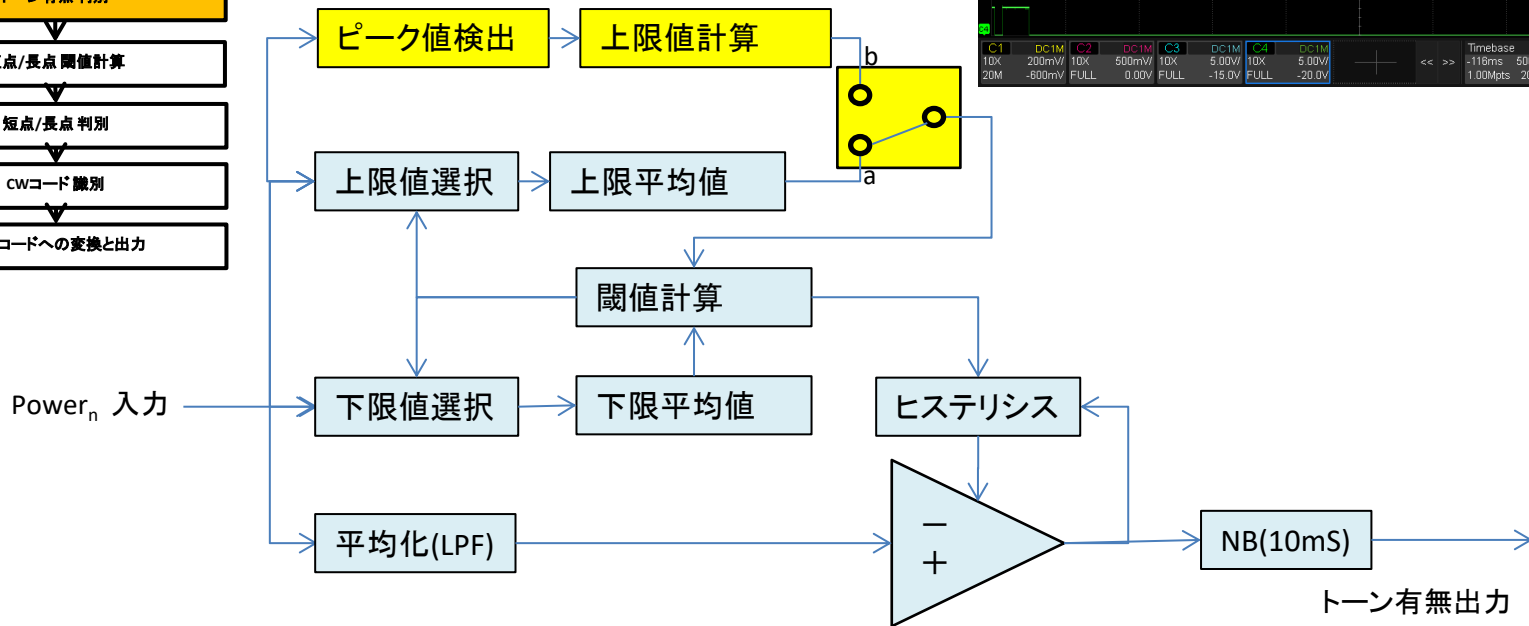


トーンの閾値計算 動作/待機判定

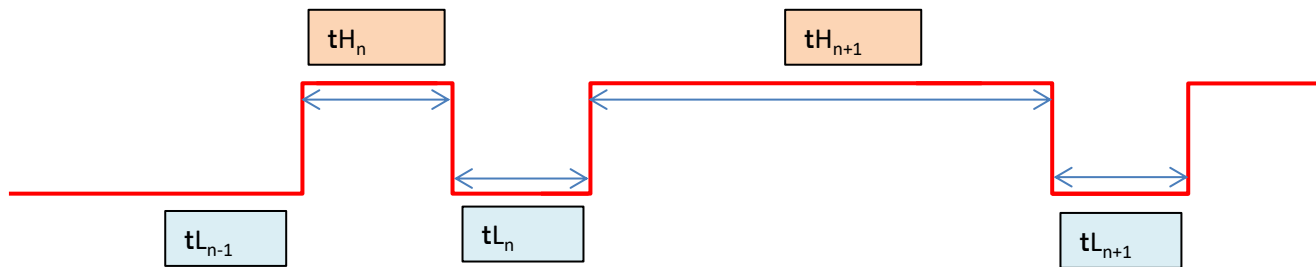
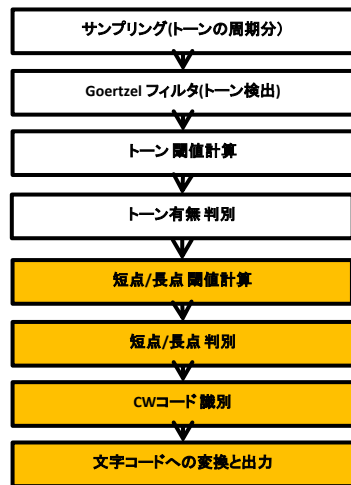


- ・ トーン無が続いた場合に閾値を下げながら、ノイズによるデコードもできるだけ抑制する
- ・ 入力が閾値を連続して超えた場合、動作開始

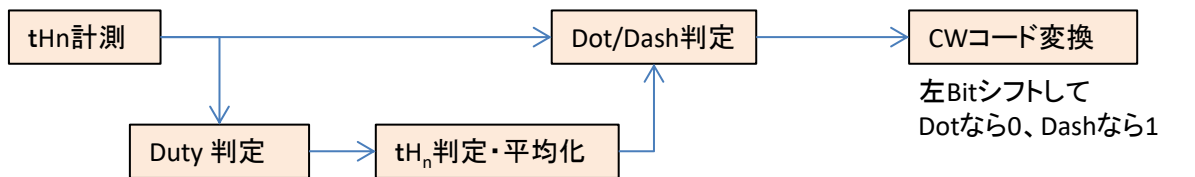
トーン無から300ms経過で a → b に切替
入力がピーク閾値を連続して超えた場合 b → a に切替



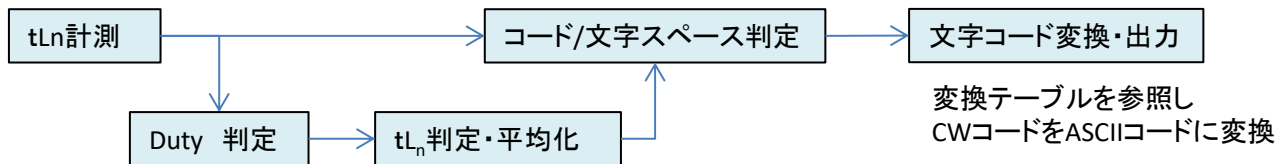
短点/長点の閾値計算と判別、CWコード識別



符号判定



スペース判定



デコード率向上へのアイデア

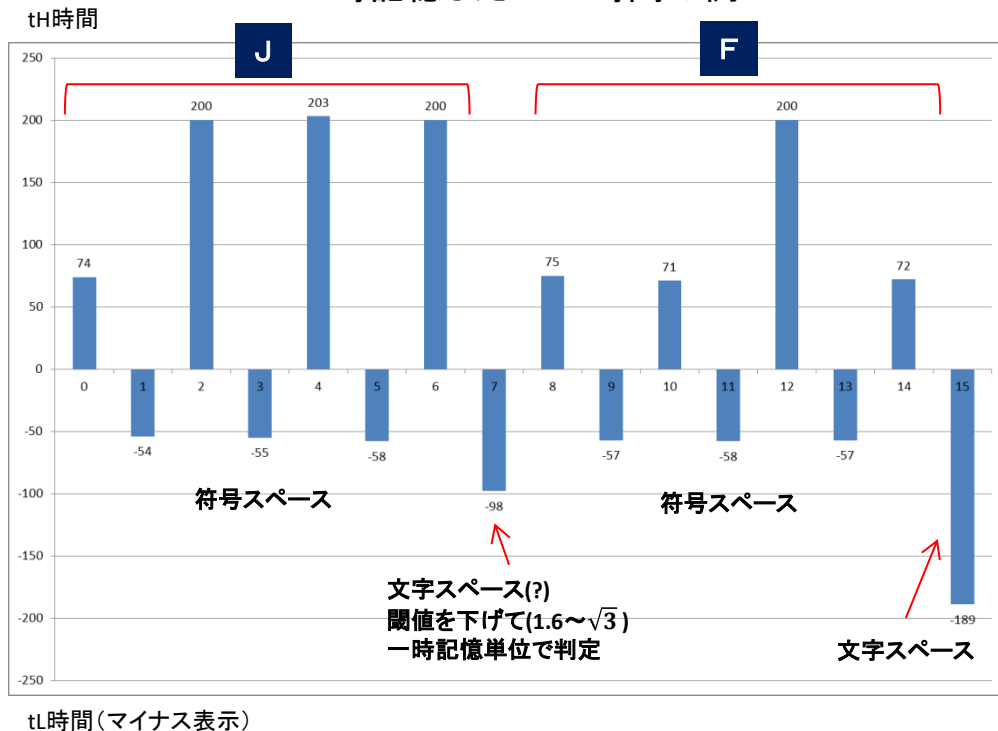
□ tL/tH時間判定

Duty計算のため、符号が2個以上の場合に行う
速度変化への追従性向上のため、平均化処理は
文字判定毎に行う。

□ 一時記憶デコード方式

tL時間、tH時間を文字判定(閾値: $\sqrt{3}\sqrt{3} = 2.28$)毎に
一時記憶し、tL/tH時間判定・平均化処理、
短点・長点・コード判定を一時記憶単位で行う

一時記憶したtL・tH時間の例



まとめ

□ トーンの検出

離散フーリエ変換によるトーン検出能力は、それなりに高い
遅延時間の短縮については、複数AD変換によるインターリーブ動作が有効

□ デコード率

入力レベルに追従して閾値を変える方法は有効
1文字判定の成否が大きく影響する
低S/Nや手打ちへの対応については、まだ余地がありそう

□ 検討項目

複数トーンの検出による、周波数変化への対応
和文CWへの対応

□ 感想

機能が統合されたモダンなuCPUのコスパは非常に高く、電子工作には十分！
機能を使いこなすためのソフト作成は開発環境の構築やプログラミングの知識の習得が必要
生成AIを教科書代わりに活用することがおすすめ

参考: STM32F4シリーズ各ドキュメント、Gadget4u [morse-shield_240506.ino](#) (2024/05/06版)