



STM32L4 - TSC

タッチセンシングコントローラー
(Touch Sensing Controller)

Revision 1



Jan - 2016

こんにちは、STM32タッチセンシングコントローラ(TSC)のこのプレゼンテーションへようこそ。
TSCは開発者が、タッチセンシング機能をどのようなアプリケーションにでも簡単に追加することを可能にします。



安定性した静電容量感知テクノロジー

- 表面チャージ転送検出原理
- 最大24の静電容量の感知チャンネル
- プログラマブルの設定
- BOM低減

アプリケーションの利点

- 楽しく、ユーザが使いやすいインターフェース。
- 密閉された環境でも、信頼できるタッチボタン。
- メカニカル部分不要。



近年、タッチセンシングは、携帯電話、IHやオーブン、コーヒー・マシン、その他のような多くのアプリケーションで全く一般的になりました。

機械部品が必要でないので、この種のインターフェースは標準的な(機会的な)押しボタンにくらべて柔軟で信頼性があります。

STM32L4に内蔵のタッチセンシングコントローラ(TSC)は、そのようなインターフェースを管理する簡単な方法を提供します。

TSCは、最高24の安定したチャージ転送検出原理の容量性検知チャンネルです。

それは色々な設定が可能です、そして、少しの外付部品だけでユーザーフレンドリーなインターフェースを設計することが可能です。

- いくつかのSTM32 MCUシリーズで利用できる安定性が証明されている表面チャージ転送方式
- 8つのアナログ入出力グループの上に分割されている24の容量性検知チャンネル
 - チャンネルとアナログ入出力グループの数は、MCUに依存
- 最大8つの容量性検知チャンネルは、同時(並列)に非常に良い応答時間を得られる
- システム構成要素を低減する最大3つの容量性検知チャンネルあたり1つのサンプリング・コンデンサ
- 雑音が多い環境でシステム安定性を改善するスペクトラム拡散によるチャージ転送検知を実現する完全ハードウェア管理
- STM32Cubeパッケージで利用できる「STM32Cubeタッチセンシングライブラリー」(無料)
 - 最適化された感度と耐性のための強化された処理機能
 - 近接センサと互換性、タッチキー操作、線形およびロータリー・タッチ・センサー



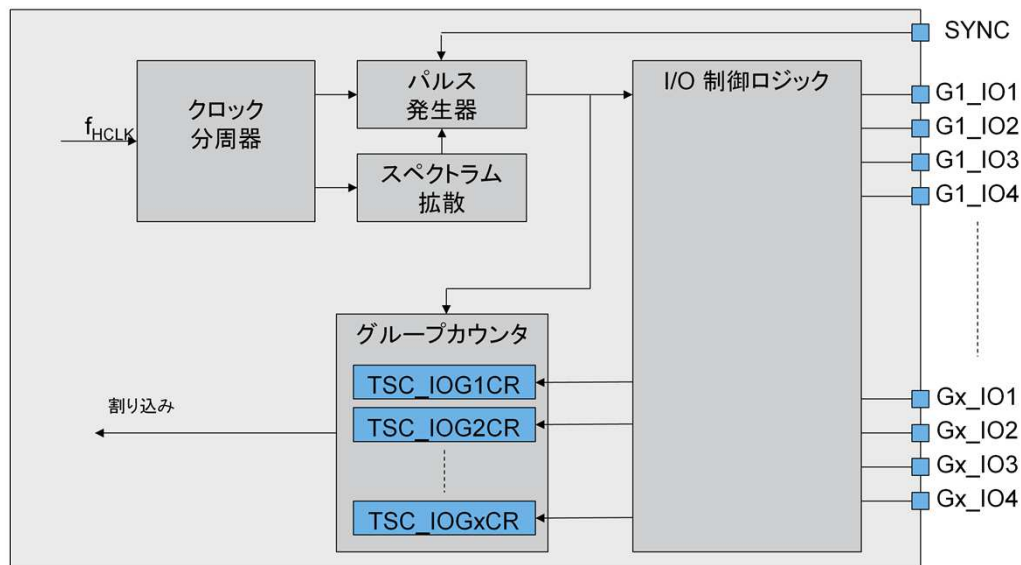
タッチセンシングコントローラの主な特徴は以下です：

- いくつかのSTM32 MCUシリーズ(STM32F0、STM32F3、STM32L0とSTM32L4)で利用可能です、安定性が証明されている表面チャージ転送方式。
- 8つのアナログ入出力グループの上に分割されている24の容量性検知チャンネル。チャンネルとアナログ入出力グループの数は、MCUに依存
- パフォーマンスの最適化のために、最大8つの容量性検知チャンネルは、同時(並列)に非常に良い応答時間を得られる
- 1つのサンプリング・コンデンサだけで、最高3つの容量性検知チャンネルに対応。これは、BOM低減を確実にします。
- チャージ転送検知は、CPUオーバーヘッドを減らすために、ハードウェアで完全に管理されます。スペクトラム拡散機能は、雑音が多い環境でシステムの安定性を改善するために利用できます。
- 最後に、タッチセンシングコントローラは、対応する

STM32Cubeパッケージで利用できる無料のSTM32Cubeタッチライブラリーで動作するように設計されています。このライブラリーは安定した容量検知ソリューションを開発することを要求されるすべての処理を提供して、近接センサ、線形タッチセンス、ロータリータッチ・センサーもサポートします。

ブロック図

4



十分なクロック分解能を提供するために、TSCはAHBクロックを使って、直接計測されます。

パルス発生器に供給しているクロックがプリスケラーを使用して分周される間、このクロックがスペクトラム拡散ブロックによって使われます。

タッチ検知を割り当てられているGPIOは、それらをタッチセンシングコントローラに接続するために、オルタネートモードに設定しなければなりません。

SYNC入力ピンは、CPU相互作用の必要なしで容量性センス検知を外部トリガと同期させるのに用いられます。

アナログ入出力グループにつき1つのカウンタは、検知の結果を保存するのに用いられます。

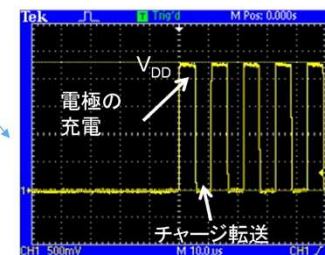
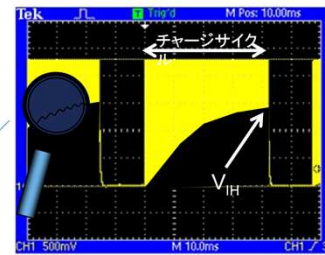
すべての許可されたアナログ入出力グループの検知の終了に、または、エラーが見つけられるとき、割り込みを発生することができます。

この割り込みは、CPUオーバーヘッドを制限するのを助けになります。

チャージ転送検出概要

5

- チャージ転送は、コンデンサ(充電電荷Q)の電気プロパティを使う
- センサー・コンデンサ(C_X)は、VDDに充電されます。それが完全充電されたら、一部のコンデンサのチャージはサンプリング・コンデンサ(C_S)へ移される。
- 内蔵のアナログ・スイッチを使用して、チャージはGPIOに移される
- サンプリング・コンデンサの電圧がそれが接続しているGPIOの V_{IH} 閾値になるまで、チャージ転送サイクルはN回繰り返される
- 閾値に達するために要求される転送サイクルの数Nは、 C_X のサイズを表す
 - センサーに触れられるとき、転送サイクルの数は減少する。



チャージ転送検出技術は、コンデンサの電気プロパティを使用して機能します。

それは、センサー・コンデンサ(C_X)を V_{DD} にチャージさせることにあります。

このコンデンサが完全充電されたならば、蓄えられたチャージの一部はサンプリング・コンデンサ(C_S)に送られます。

サンプリング・コンデンサへ移されるチャージの数は、 C_X/C_S に依存します。

サンプリング・コンデンサの電圧が閾値(我々の場合 V_{IH})に達するまで、チャージ転送サイクルはN回繰り返されます。

このNが C_X のサイズを表します。

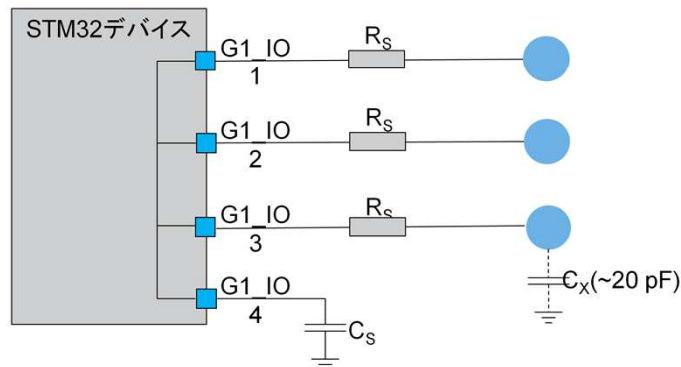
タッチがあるとき、センサー・コンデンサは増やされます、そして、このように、センサー・コンデンサからサンプリング・コンデンサへ移されるチャージの量は、チャージ転送サイクルの数の減少値により高くなります。

GPIOに内蔵されているアナログ・スイッチによって、チャージ転送は行われます。

チャージ転送測定回路

6

- R_s (1k Ω typ)は、ESD耐性を改善するのに用いられる
- C_s サンプリング・コンデンサ値は、要求されるチャンネル感度に依存します
 - C_s 値がより高いほど、感度はより高くなり、しかし、取得時間は長くなる。



測定回路は簡単です。

4つのI/Oから成る1つのアナログ入出力グループを考ねがえてみましょう。

これらのI/Oの1つは、サンプリング・コンデンサI/Oです。

一般にサンプリング・コンデンサと呼ばれている外部コンデンサ(C_s)に、それは接続しています。

アナログ入出力グループに1つにつき一つのサンプリング・コンデンサがあります。

サンプリング・コンデンサ値は、チャンネル感度に依存します。

C_s が大きければ大きいほど、感度はより高くなり、取得時間もより長くなります。

他の3つのI/Oは、チャンネル用に割り当てられます。

それらの各々は、直列抵抗(R_s)によって、センサー電極に接続されています。

R_s は、アプリケーションのESD耐性を改善するのに用いられます。

1つのアナログ入出力グループ内で、一度に1つのチャンネルだけ検知されます。

これは、3つのチャンネルがインプリメントされるならば、3連続検

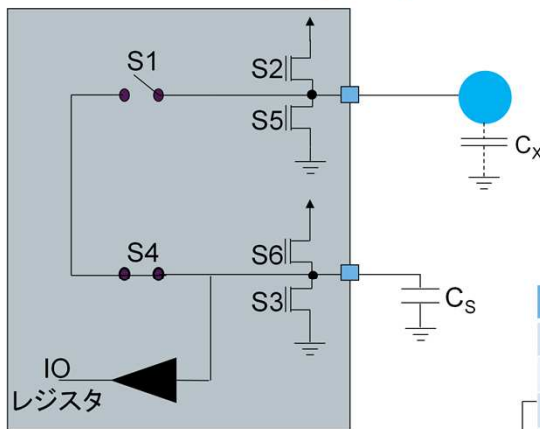
知が3つのセンサーのイメージを検出することを要求されるという
意味です。

最適のパフォーマンスのために、センサーコンデンサは、できるだけ
低くなければなりません。

我々は、このコンデンサを数十pFくらいの値だとしばしば考えます。
タッチは、センサーコンデンサの2、3pFずつの増加につながります。
例えば5pF。

チャージ転送検出シーケンス

7



S4は全検出期間は閉
S5&S6は全検出期間開

ステップ	S1	S2	S3	Description
1	閉	開	閉	C_S & C_X 放電
2	開	開	開	デッドタイム
3	開	閉	開	充電 サイクル(C_X 充電)
4	開	開	開	デッドタイム
5	閉	開	開	転送 サイクル(充電が C_S に転送される)
6	開	開	開	デッドタイム
7	開	開	開	C_S の電位を読み出す

V_{CS} が論理値『1』と読まれるまで繰り返される



チャージ転送検出シーケンスは7つのステップで構成されています。

最初に、アナログ・スイッチS1を閉じて、S3を有効することによって安定したスタート点を決めるために、サンプリング・コンデンサとセンサー・コンデンサは放電されます。

各々の大きなステップの間で、中間のステップは、検出ステップに人の手が加わる事を避けるために挿入されます。

すべての実行中のアナログ・スイッチを開いて、すべてのトランジスタを無効にすることから、このステップをデッドタイム(無駄時間)呼んでいます。

次に、センサー・コンデンサ(C_X)は、S2を閉じることによって、VDDにチャージされます。

デッドタイムの後、 C_X で蓄えられる一部のチャージは、アナログ・スイッチS1を閉じることによって、サンプリング・コンデンサ C_S に転送されます。

チャージが移動したなら、 C_S (V_{CS})の電圧は読めます。電圧が V_{IH} より低いならば、論理値『0』が返されます。

それが V_{IH} より大きいならば、論理値『1』が読めます。

返された論理値が『0』であるならば、ステップ3～7は繰り返されます。

各々のチャージ転送ループの後、カウンターは増加します。そして、センサーの静電容量を表します。

- サンプルングコンデンサI/Oは次の様に設定
 - オルタネートファンクションのオープンドレインにしてシュミットトリガー・ヒステリシス無効
- チャネルI/Oは次のように設定
 - オルタネートファンクションアウトプットプッシュプルモード



タッチセンシングGPIOがTSCIによって制御されるためには、
- サンプルング・コンデンサI/Oは、オルタネート出力のオープンドレインに構成します。
これに加えて、シュミットトリガー・ヒステリシスは無効にします。
- チャネルI/Oは、オルタネート出力出力プッシュプルモードで構成します。

柔軟な検出モードで、CPU負荷は低減されます

- **標準検出モード**

- TSC周辺機能が設定されたならば、TSC_CRレジスタのSTARTビットをセットすることによって、検出は開始される

- **同期検出モード**

- TSC周辺機能が設定されたならば、SYNC入力ピンの立下りまたは立上がりエッジと同時に、検出は開始される
- いくつかのアプリケーションにおいて雑音の影響を制限するために、このモードは有益(IH等,...)

- 両方のモードでは、検出の終了や最大カウント・エラーは、ポーリングによって管理することが可能。



CPU負荷を低減のために、2つの検出モードが用意されています：

- 検出が「TSC_CRレジスタ」の「STARTビット」をセットすることから始まる通常の検出モード。
- SYNC入力ピンの立下りまたは立上がりエッジと同時に、検出は開始される同期モード

いくつかのアプリケーションにおいて雑音の影響を制限するために、このモードは役に立ちます(IH等,...)

両方のモードでは、検出の終了や最大カウント・エラーは、ポーリングまたは割り込みによって管理することが可能です。

GPIOアナログスイッチとヒステリシス制御

10

柔軟で融通がきくGPIO

- タッチセンスコントローラで、アナログ入出力グループに属するGPIOの内蔵アナログ・スイッチとヒステリシスを手動制御可能
 - これは異なる容量性検知原理の実装と他の目的(すなわちアナログ・マルチプレクサ)に役立つ



チャージ転送容量性検出原理を管理することに加えて、個々のアナログ入出力グループに属しているI/Oのアナログ・スイッチとシュミットトリガー・ヒステリシスをコントロールすることが、TSC周辺機能によって可能です。

この機能は、異なる容量性検出原理を実装するために役に立ち、また、アナログ・マルチプレクサのような他の目的のにも使用可能です。

割り込みイベント	説 明
検出シーケンス終了	検出シーケンス終了時にセット
Maxカウンターエラー	Maxカウンターエラーが発生時にセット Maxカウント・エラーの管理はチャンネルに問題が生じた場合、検出シーケンスが無 限に続くようになる事を防止します(CSはショートされます、...)。

TSC周辺機能は2つの割り込みソースを持っています

- すべてのアクティブチャンネルの検出シーケンスが終了した時こ
とを、CPUに通知します。
- 検出シーケンスが1つあるいは複数のチャンネルの上で失敗す
るときにセットされるMaxカウント・エラー。
ハードウェア問題が生じた場合に、検出シーケンスが無限ルー
プになる事を防止します。

低消費電力モード

12

モード	説明
Run	動作.
Sleep	動作. 周辺機能の割り込みは、デバイスがSleepモードから復帰する要因になる。
Low-power run	動作.
Low-power sleep	動作. 周辺機能の割り込みは、デバイスがLow-power sleepモードから復帰する要因になる。
Stop 1	停止. 周辺機能レジスタは内容保持
Stop 2	
Standby	パワーダウン。周辺機能は、Standbyモード/Shutdownモードから復帰後、再初期化要
Shutdown	



タッチセンシングコントローラは、Run、Sleep、Low-power run、Low-power sleepで作動します。

これは、チャージ転送検知がこれらのモードだけで実行されることを意味します。

すべての他モード(Stop1、Stop 2、Standby、Shutdown)では、タッチ検知コントローラが、使用可能ではありません。

Stopモードでは、周辺機能は停止します、しかし、レジスターの内容は保たれます。

StandbyとShutdownモードでは、レジスター内容は失われます、そして、周辺機能は再初期化されなければなりません。

容量性検知チャンネルの数

13

アナログ I/O グループ	容量性検知チャンネル数		
	STM32L486Zx STM32L486Qx STM32L476Zx STM32L476Qx STM32L471Zx STM32L471Qx	STM32L486Vx STM32L476Vx STM32L471Vx	STM32L486Jx STM32L486Rx STM32L476Jx STM32L476Rx STM32L471Jx STM32L471Rx
G1	3	3	3
G2	3	3	3
G3	3	3	0
G4	3	3	3
G5	3	3	0
G6	3	3	0
G7	3	3	3
G8	3	0	0
容量性検知チャンネル数	24	21	12



この表は、STM32L4シリーズの容量性検知チャンネルの数です。

アプリケーションの裏技(コツ)

15

- 電力供給の変動によって誘発されるノイズを最小にするために、電圧レギュレータを推奨
- 最適感度のために、グランドへの寄生的な静電容量は、最小にする必要有り
 - 検知用配線は、最短
 - 薄い検知用配線を推薦
 - 直列抵抗とサンプリング・コンデンサは、MCUから最短距離に配置
 - バンク(同時に検知されるチャンネル群)によるグループセンシング配線
 - バイパス・コンデンサは、低いインピーダンス(i.e. LEDドライブ)を確実にするために使用する
- アクティブ・シールドとスペクトラム拡散は、雑音耐性の最適化に使用する
- 誤接触や偽接触を避けるために、導電性の塗装剤(ペンキ)を使わない、また機械的に安定した組み立てを行う



タッチ・コントローラ用電圧レギュレータを、強く推奨します。
それは電力供給の変動によって誘発されるノイズを最小にします。

最適感度のために、グランドへの寄生的な静電容量は、最小にする必要があります。

検知用配線は、最短ky里で薄い配線を推奨します。

直列抵抗とサンプリング・コンデンサは、MCUから最短距離に配置してください。

同時に検知されるセンサーをドライブしている検知配線はは、まとめてください(バンク)、そして、他のバンクから切り離してください。

高インピーダンス・ドライブ(例えば、オープンドレイン回路につながれているLED)がある場合、バイパス・コンデンサを使って、低インピーダンスパスを確実に作ってください。

雑音耐性の最適化のために、トラックとセンサー・パッドのまわりでアクティブ・シールドとスペクトラム拡散を組み合わせて使用する事を推奨します。

最後に、誤接触や偽接触を避けるために、導電性の塗料(ペンキ)使用しないでください。また、組み立ては安定したものにしてください。

STM32Cubeタッチセンシングライブラリーの特徴

16

- 完全無料のCソースコードは近接、タッチキー、線形とロータリータッチセンサーをサポートします。
- 容量検知機能を従来のマイコン機能と結合しているマルチファンクション
- 最適化された感度と耐性のための強化された処理機能
 - 較正、環境コントロールシステム (ECS)、デバンスフィルタリング、検出除外システム (DxS), ...
- ステータスリポートとアプリケーション構成のための完全で単純なAPI
- MISRA対応
- すべてのSTM32 Cコンパイラに対応



前述したように、TSC周辺機能はタッチセンシング検知ライブラリで動くように設計されています。

この無料のCライブラリーは近接、タッチキー、線形およびロータリータッチ・センサーに適用しています。

それで、容量検知機能を従来のMCU機能（例えばLCDドライブ、ホスト装置でのコミュニケーション）と結合することが可能になります ...

このライブラリーは、最適の感度で、強力なアプリケーションを設計することを求められているすべての処理を提供します。

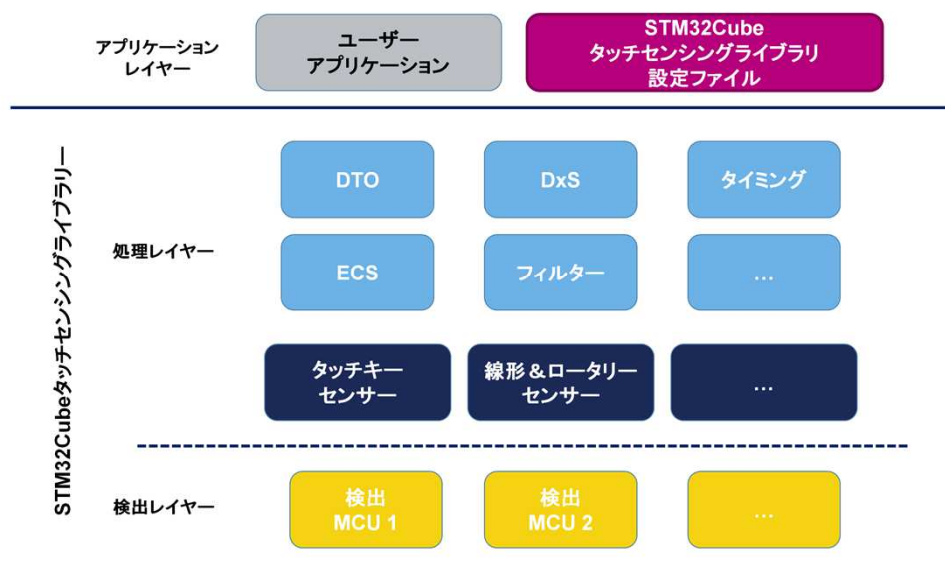
特徴の中に、電源オン較正、環境コントロールシステム (ECS)、デバンスフィルタリングと検出除外システム (DxS) を含みます。

チャンネル(センサー)を構成して、センサーの状態を得るために、このライブラリーは、単純なAPIを提供します。

それはMISRA対応です、そして、すべてのSTM32 Cコンパイラをサポートします。

STM32Cubeタッチセンシングライブラリー概要

17



STM32Cubeタッチ検知ライブラリーは、いくつかのモジュールから成りたっています。
 ライブラリーは対応するSTM32シリーズHALに従っています、そして、専用の設定ファイルによって構成されます。
 あなたのプロジェクトに取りいれられると、STM32Cubeタッチ検知ライブラリーは全体的なアプリケーションの一部になります。そして、各々のC機能は適切な動作を開始することができます。
 STM32Cubeタッチ感知ライブラリーに関する詳細については、対応するユーザー・マニュアルをご参照ください。

- この周辺機能に関連した次の周辺機能のトレーニングを参照してください:
 - リセットとクロック制御 (TSCクロック制御とリセット)
 - 割込み (TSC 割込みマップ)
 - 汎用IO (TSC チャンネル & サンプリングコンデンサI/O)



これは、STM32タッチセンシングコントローラに関連した周辺機能のリストです。

詳細はについて、必要ならばこれらの周辺機能のトレーニングを参照してください。

- さらに詳細については、次の資料を参照

- AN4299 - Guidelines to improve conducted noise robustness on touch sensing applications
(タッチ検知アプリケーションで実行された雑音耐性を改善するガイドライン)
- AN4310 - Sampling capacitor selection guide for MCU based touch sensing applications
(タッチセンシングアプリケーションベースのマイコンのためのサンプリング・コンデンサ選択ガイド)
- AN4312 - Guidelines for designing touch sensing applications with surface sensors
(表面センサーでのタッチ検知アプリケーションを設計するためのガイドライン)
- AN4316 - Tuning a STMTouch-based application
(STMTouchベースのアプリケーションのチューニング)



さらに詳細については、次のアプリケーションノートを参照してください。

AN4299, AN4310, AN4312 and AN4316.

ありがとうございました。