

注意：この日本語版文書は参考資料としてご利用ください。
最新情報は必ずオリジナルの英語版をご参照願います。



AN3433

ペリフェラル タッチ コントローラ(PTC)を使った サーフェス ジェスチャ認識機能付きタッチパッド

はじめに

著者: Ankit Tripathi, Microchip Technology Inc.

この 20 年で、スマート ガジェットの普及によって静電容量式タッチサーフェス(またはタッチパッド)がマンマシン インターフェイス(HMI)として幅広いアプリケーションで用いられるようになりました。タッチ インターフェイス に対する要求の高まりにより、信頼性が高く堅牢なタッチセンシング技術の開発も進みました。その結果、ウェアラブル型機器、家庭用電化製品、ホーム オートメーションを含む多数のコンシューマ向け電子機器および産業用、医療用、車載製品において、静電容量式タッチ インターフェイスはユーザからの必須要件となっており、現在では多くの機器で機械式ボタンの代わりに静電容量式タッチサーフェスが採用されています。

本書では、AVR®DA マイクロコントローラ向けに、ジェスチャ認識機能を備えた 2D タッチサーフェスの実装例を紹介し ます。これには、本マイクロコントローラが内蔵するペリフェラル タッチ コントローラ(PTC)と Microchip タッチライブラリを使いま す。また、AVR DA マイクロコントローラが備える先進の低消費電力タッチ計測機能と、スタンバイ スリープモード中の CPU で PTC モジュールを使って消費電力を最小化する方法も紹介します。

さらに、簡易なスネークゲーム デモにより、Microchip 社の AVR128DA48 Curiosity Nano、Curiosity Nano タッチ アダプタ、QT2 Xplained Pro 拡張ボード、Microchip タッチライブラリを使った 2D タッチサーフェス ジェスチャ の実装例を紹介し ます。デモ用ファームウェアの開発には Microchip 社の Atmel START を使用し、タッチサーフェス パラメータの設定には Atmel Start に組み込まれた QTouch®コンフィグレータを使いま す。



[View Code Example on GitHub](#)
Click to browse repository

目次

はじめに.....	1
1. 主な内容.....	4
2. AVR [®] DA MCU ファミリの概要.....	5
2.1. 対応デバイス.....	5
3. AVR [®] DA のペリフェラル タッチ コントローラ(PTC).....	6
3.1. PTC の低消費電力モード.....	6
4. 静電容量式タッチサーフェスと 2D ジェスチャ.....	8
4.1. 2D タッチパッドとサーフェス ジェスチャ.....	8
5. デモの概要.....	9
5.1. スネークゲームの基本.....	9
5.2. 実装.....	9
6. ハードウェアの概要.....	10
6.1. 開発ボード.....	10
6.2. ハードウェアのセットアップ.....	11
6.3. ピン配置.....	11
7. ファームウェア.....	12
7.1. Microchip タッチライブラリ.....	13
7.2. タッチサーフェス センサの設定.....	13
7.3. 低消費電力タッチの設定.....	13
7.4. ジェスチャの実装.....	14
7.5. LED マトリクス ドライバとスネークゲームのアルゴリズム.....	14
7.6. ソフトウェア ツール.....	15
8. デモのセットアップ.....	16
9. タッチ サーフェスの性能計測.....	17
9.1. マイクロコントローラの詳細設定.....	17
9.2. 消費電力.....	17
9.3. メモリ消費量.....	17
9.4. タッチ応答時間.....	18
9.5. CPU 使用率.....	18
10. スネークゲーム デモの性能計測.....	19
10.1. マイクロコントローラの設定.....	19
10.2. 消費電力.....	19
10.3. メモリ消費量.....	19
11. 参考資料.....	21
12. 補遺: QT2 サーフェス センサの設計仕様.....	22
12.1. タッチパッドの解像度.....	22

13. 改訂履歴.....	24
Microchip 社のウェブサイト	25
製品変更通知サービス	25
カスタマサポート.....	25
Microchip 社のデバイスコード保護機能.....	25
法律上の注意点	25
商標	26
品質管理システム.....	26
各国の営業所とサービス.....	27

1. 主な内容

本書には以下の内容を記載しています。

- AVR DA マイクロコントローラが内蔵する PTC (ペリフェラル タッチ コントローラ)モジュールの概要
- 2D 静電容量式タッチサーフェスとジェスチャ認識機能
- Microchip タッチライブラリを使ったタップおよびスワイプ ジェスチャの認識
- PTC モジュールを使った低消費電力で信頼性の高い静電容量式タッチセンシング
- LED マトリクス ディスプレイ コントローラ向けの I²C 接続 LED マルチプレクサ ドライバ
- スネークゲーム アプリケーション

PIC®、AVR、SAM、PIC32 デバイスと静電容量式タッチセンシング ソフトウェアライブラリおよびツールを使って開発を始めるお客様は <https://microchipdeveloper.com/touch:start> をご覧ください。

2. AVR® DA MCU ファミリの概要

AVR DA ファミリのマイクロコントローラは、ハードウェア乗算器を備えた AVR CPU (最高 24 MHz で動作)を使用し、32/64/128 KB のフラッシュメモリ、4/8/16 KB の SRAM、512 バイトの EEPROM を内蔵した 28/32/48/64 ピンパッケージで提供されます。本ファミリは Microchip 社の最新テクノロジーを採用し、イベントシステムと SleepWalking、高精度アナログ機能、先進の周辺モジュール、ペリフェラル タッチ コントローラ(PTC)を含む柔軟な低消費電力アーキテクチャを備えています。

Note: フラッシュメモリ容量が異なるデバイスでは、通常 SRAM と EEPROM の容量も異なります。詳細は各デバイスのデータシートを参照してください。

2.1 対応デバイス

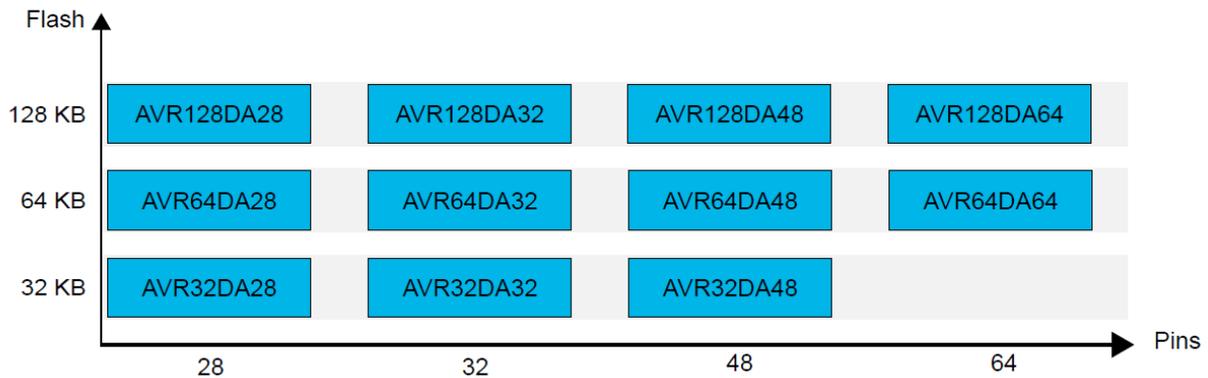
以下に、本書の内容に対応するデバイスを記載します。

2.1.1 AVR® DA ファミリの概要

図 2-1 に、ピン数とメモリ容量に基づく AVR® DA デバイスのラインアップを示します。

- 縦方向のデバイスへの移行にはコードの変更は不要です(ピンと機能が完全互換)。
- 横方向の下位デバイス (メモリ容量が同じで少ピンのデバイス)へ移行する場合、一部の機能が利用できなくなります。

図 2-1. AVR® DA ファミリの概要



フラッシュメモリ容量が異なるデバイスでは、通常 SRAM の容量も異なります。

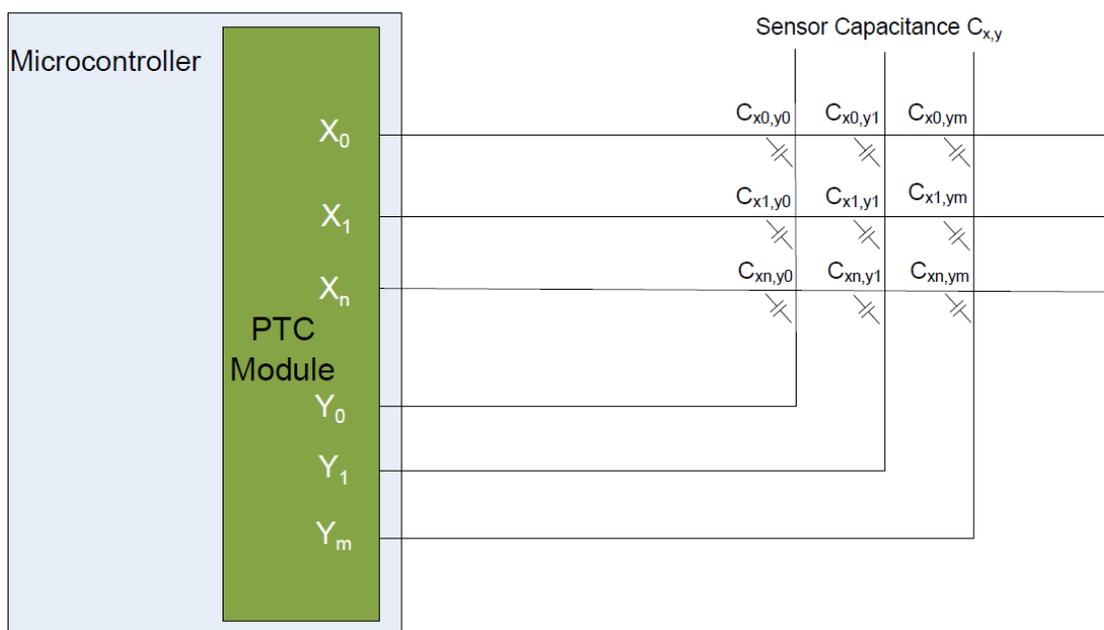
3. AVR[®] DA のペリフェラル タッチ コントローラ(PTC)

AVR DA ファミリのマイクロコントローラは、CPU に負荷をかけずに自律的に静電容量式タッチセンサからのデータを収集する PTC(ペリフェラル タッチ コントローラ)モジュールを内蔵しています。

PTC モジュールはボタン、スライダ、ホイール、2D サーフェスセンサ向けに自己容量式と相互容量式の両方のタッチセンシング方式をサポートします。PTC モジュールと Microchip タッチライブラリを使う事で、かつてない柔軟な組み合わせでタッチ インターフェイスを設計する事ができます。

AVR DA マイクロコントローラのパッケージタイプとデバイス コンフィグレーションに応じて、最大で 46 個の PTC チャンネルがデバイス上で利用可能です。46 個の PTC チャンネルは、最大で 46 個の自己容量式センシングボタンまたは 529 個の相互容量式センシングノードとして使えます。利用可能なセンシング チャンネル数の詳細は、各デバイスのデータシートを参照してください。

図 3-1. 相互容量式センサの構成



AVR DA ファミリの PTC モジュールと Microchip タッチライブラリを使う事で、環境条件が変化しても安定した確実なタッチ操作感をユーザに提供できます。PTC の SleepWalking 機能とイベントシステムの組み合わせにより、1つの低消費電力センサで自律的なタッチセンシングが可能となります。



重要:

1. PTC モジュールと Microchip タッチライブラリを使用するには、Atmel START を使って PTC を設定し、ライブラリをアプリケーション ソフトウェアへリンクさせる必要があります。詳細はウェブページ「[Atmel START QTouch[®] Capacitive Sensing Library](#)」内の手順ガイドを参照してください。
2. Microchip タッチライブラリにより、単一のインターフェイスでボタン、スライダ、ホイール、近接センシング、タッチサーフェスを柔軟に組み合わせる事ができます。

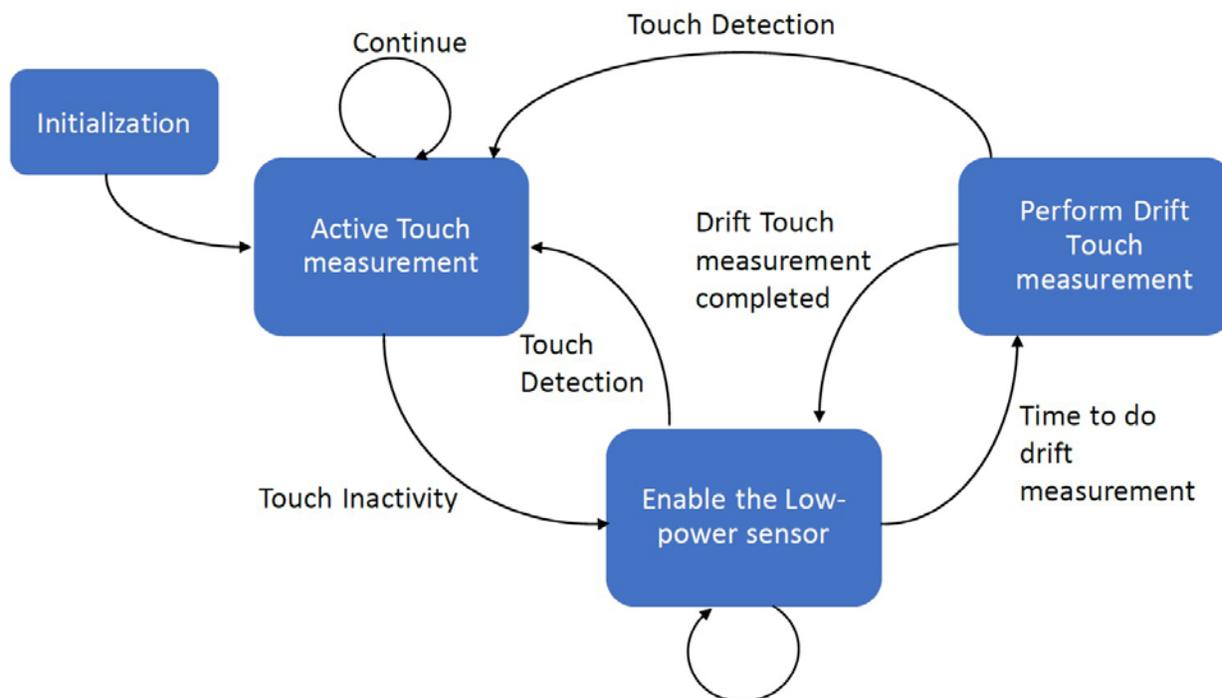
3.1 PTC の低消費電力モード

PTC は、SleepWalking 機能を使う低消費電力モードをサポートします。このモードでは、指定された低消費電力センサでタッチセンシングを自律的に実行します。低消費電力タッチ アプリケーションは、スタンバイモード中の CPU で動作します。この機能はイベントシステムを使用し、タッチ アクティビティが一定時間内に報告されない場合に CPU をスリープモードへ移行させる事により消費電力を最小化します。低消費電力センサで有効なタッチイベントが検出されると、PTC は割り込みを生成して CPU を復帰させます。

低消費電力タッチ アプリケーションを実装するには、低消費電力センサを復帰要因として設定する必要があります。複数チャンネルを集合させて単一センサを構成し、低消費電力モードからの復帰用に使う事ができます。有効なタッチが低消費電力センサで検出されると、CPU を復帰させて後続の処理を実行させるために割り込みが生成されます。ファームウェアは低消費電力モードとアクティブ計測モードを一定時間毎に切り換える事により、環境条件(温度と湿度)の変化による静電容量の変化を追跡します。これに応じて Microchip タッチライブラリはドリフト アルゴリズムを使ってセンサ基準値を調整する事により、信号値の変化を補償します。総消費電力を低減するため、通常はドリフト計測の周期を低消費電力計測の周期よりも長く設定します。

詳細は、『AN2812 - Low-Power Sensor Design User Guide』を参照してください。

図 3-2. 低消費電力モードでのイベント駆動型タッチ アプリケーションのステートマシン



4. 静電容量式タッチサーフェスと 2D ジェスチャ

静電容量式タッチサーフェス(またはタッチパッド) は、縦の電極(X 電極)と横の電極(Y 電極)を使って格子状のセンシングノードを構成します。タッチパッドは指の位置を X 座標値と Y 座標値として追跡し、シングルフィンガーおよびマルチフィンガーのタッチ操作をサポートします。

タッチ性能を最適化するため、センサはアプリケーション要件に応じて専用に設計する必要があります。サーフェスセンサの詳細な設計ガイドラインは、[『AN2934 - 静電容量式タッチセンサの設計』](#)を参照してください。

4.1 2D タッチパッドとサーフェス ジェスチャ

Microchip タッチライブラリは、タッチサーフェスにジェスチャ検出機能を提供します。また、デュアルフィンガーでのジェスチャ認識と X/Y 位置報告も可能です。ジェスチャはデバイス内部で検出されてホストへ報告されます。Microchip タッチライブラリは以下のジェスチャをサポートします。

- タップ&ホールド
- マルチタップ - シングルおよびデュアル フィンガー
- スワイプ - シングルおよびデュアル フィンガー
- スワイプ&ホールド
- ホイール/ローテーション
- ピンチ/ズーム

図 4-1. タッチジェスチャ



5. デモの概要

スネークゲームをデモ アプリケーションとして実装し、AVR DA マイクロコントローラの PTC モジュールによる先進タッチ機能と低消費電力モード動作を評価します。このデモはジェスチャ認識機能を備えた 2D 静電容量式タッチサーフェスを使い、PTC とイベントシステムの組み合わせをタッチサーフェスからの復帰要因として使います。

5.1 スネークゲームの基本

スネークゲームはよく知られたビデオゲームであり、ユーザは画面上の蛇を操ります。通常、蛇は 1 本のラインとして表現されます。餌を食べるたびに蛇は長くなりポイントが増えます。蛇自身が蛇の動きを妨げる障害物となります。

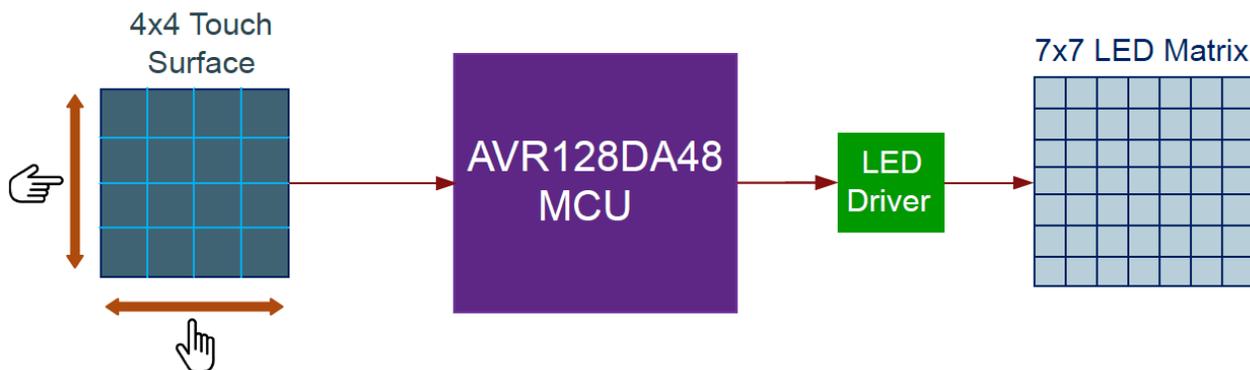
このデモでは、上下左右のスイープコマンドを使って蛇を餌へと導きます。餌は画面上のランダムな座標に配置されます。蛇が餌を食べるたびに、その長さが 1 単位ずつ伸びます。蛇が自分自身にぶつくとゲームオーバーです。

5.2 実装

本デモでは、蛇と餌を表示するディスプレイとして 7x7 LED マトリクスを使います。適切な LED ドライバとマルチプレクサを使って、I²C シリアル通信経由で LED を駆動します。蛇を誘導するためのコマンド入力用に 4x4 静電容量式タッチサーフェスを使います。このタッチサーフェスはタップ、スイープ、ホイール、その他の 2D ジェスチャをサポートします。スネークの進行方向を変更するために、タッチサーフェス上で上下左右のスイープを使います。アプリケーション コードは AVR DA マイクロコントローラ上で実行します。内蔵 PTC モジュールと Microchip タッチライブラリにより、2D ジェスチャ認識が可能なタッチサーフェスを容易に実装できます。

本デモでは AVR128DA48 マイクロコントローラを使いますが、AVR DA ファミリのその他の製品も使えます。

図 5-1. スネークゲームのシステムブロック図

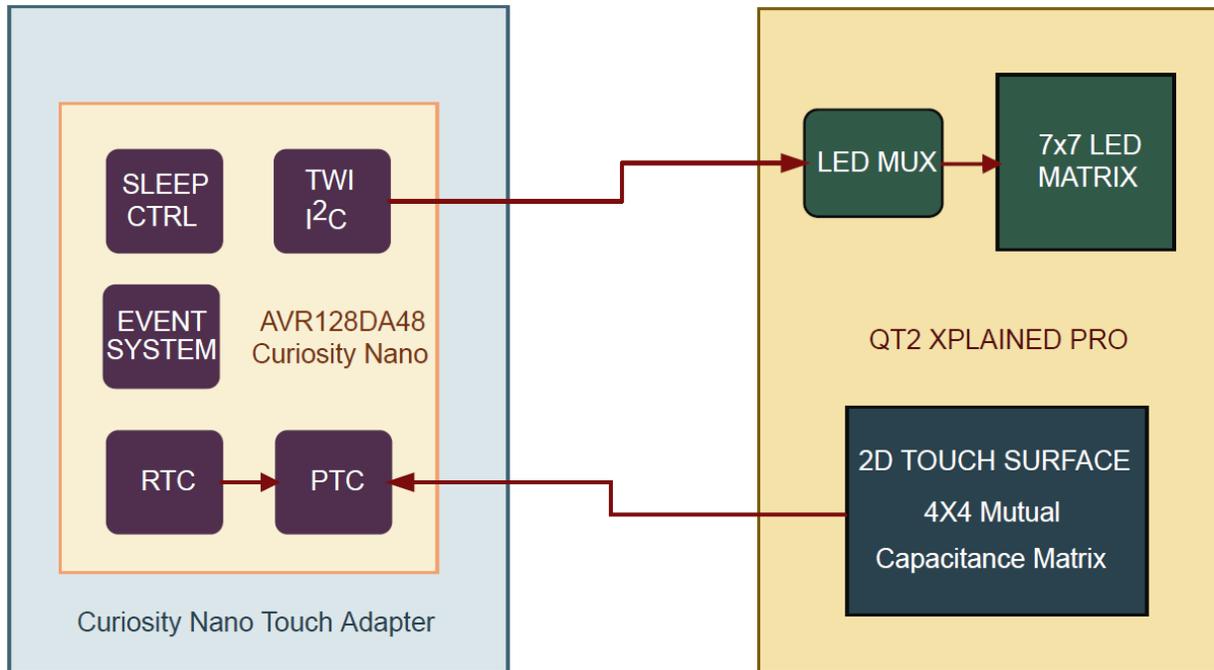


重要: Atmel START を使ってタッチ プロジェクトを開発するための手順ガイドは、Microchip Developer Help 内の「[Introduction to QTouch® Project Creation](#)」ページを参照してください。

6.2 ハードウェアのセットアップ

前述の開発ボードは、接続ケーブル当を必要とせずにソケットとヘッダで直接接続できます。図 6-2 に、これらの3つのボードを全て接続したハードウェア ブロック図を示します。

図 6-2. ハードウェア ブロック図



6.3 ピン配置

QT2 Xplained Pro 拡張ボードとの接続用に設定されたピンの一覧を表 6-1 に示します。これらのピンには、タッチサーフェスおよび LED マトリクスとの接続機能に加えて、2D タッチサーフェス ユーティリティを使ったタッチデータのデバッグ用に Curiosity Nano Virtual COM ポート上の USART インターフェイス機能がオプションにより割り当てられています。

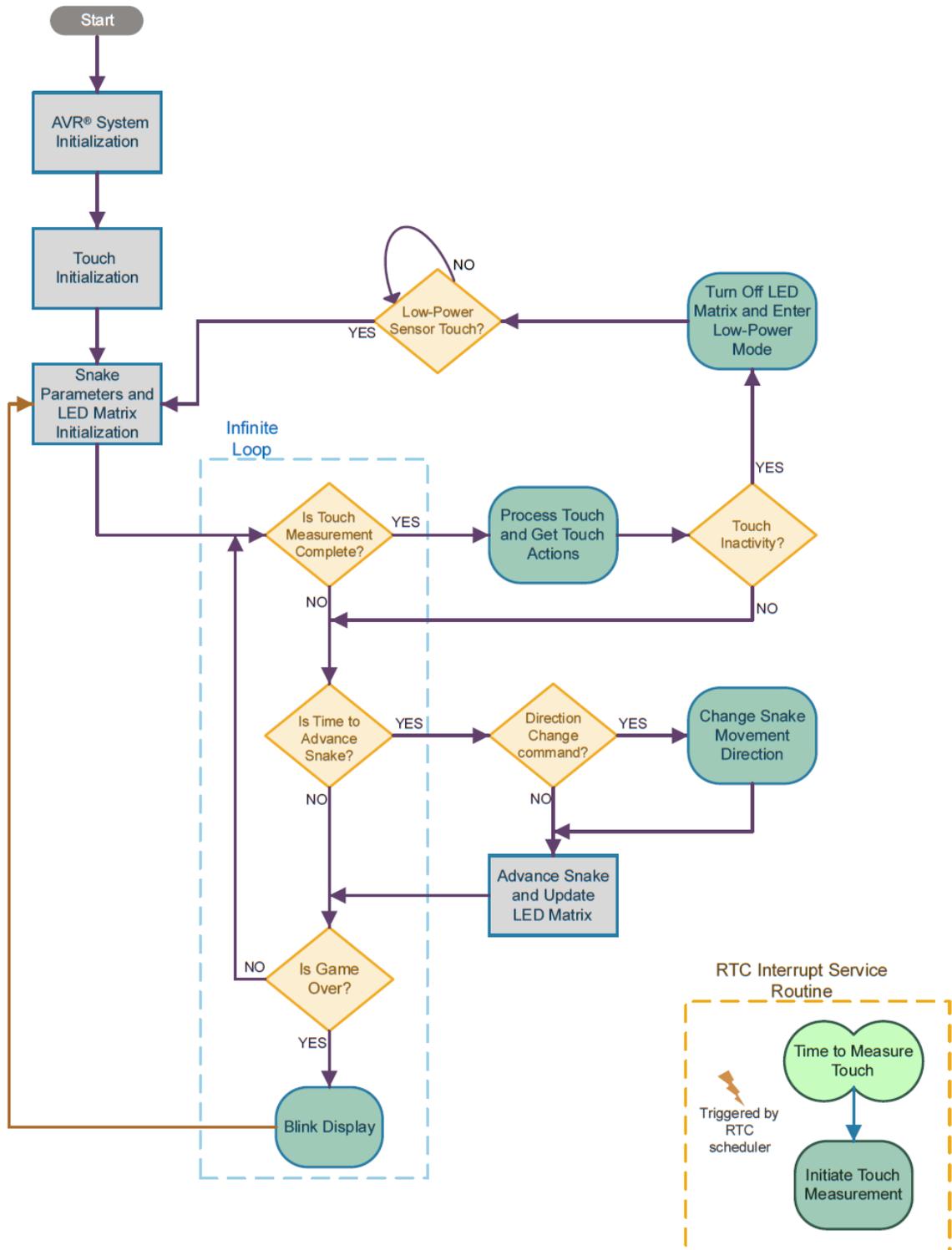
表 6-1. スネークゲーム デモ用のピン割り当て

No.	ピン名	ポート	周辺モジュール	ピン機能
1	SDA	PC2	TWI_0	LED Mux I ² C
2	SCL	PC3	TWI_0	LED Mux I ² C
3	X1	PD2	PTC	QT2 Touch X-line
4	X2	PD3	PTC	QT2 Touch X-line
5	X3	PA6	PTC	QT2 Touch X-line
6	X4	PD4	PTC	QT2 Touch X-line
7	Y1	PD6	PTC	QT2 Touch Y-line
8	Y2	PA5	PTC	QT2 Touch Y-line
9	Y3	PD7	PTC	QT2 Touch Y-line
10	Y4	PA4	PTC	QT2 Touch Y-line
11	Tx	PC1	USART_2	Debug UART
12	Rx	PC0	USART_2	Debug UART

7. ファームウェア

本デモのアプリケーション コードは Atmel START を使って生成します。TWI、UART、PTC モジュールと Microchip タッチライブラリの設定にも Atmel START を使います。スネークゲームのアルゴリズムと LED マトリクス ドライバのアプリケーション コードをファームウェアに組み込みます。スネークゲーム デモ アプリケーション コードのフローを [図 7-1](#) に示します。

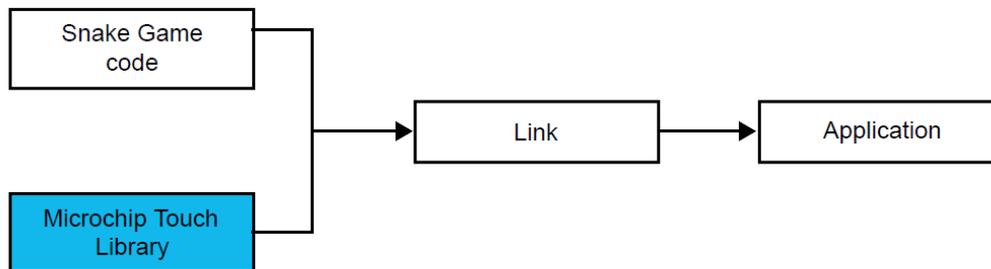
図 7-1. スネークゲーム デモ アプリケーションのフロー図



7.1 Microchip タッチライブラリ

Microchip タッチライブラリは各種の AVR、PIC、SAM、PIC32 マイクロコントローラ上で自己容量式および相互容量式タッチセンサをサポートします。このライブラリは PTC の設定、センサデータの収集、タッチステータスの更新に必要な API (Application Programming Interface)を提供します。Atmel START 内の QTouch コンフィグレータは、Microchip タッチライブラリをユーザ アプリケーションに組み込むためのシームレスなインターフェイスを提供します。

図 7-2. タッチライブラリの使用法



Note: 詳細は『[QTouch® Modular Library Peripheral Touch Controller User's Guide](#)』を参照してください。

7.2 タッチサーフェス センサの設定

Atmel START を使って QT2 Xplained Pro 2D サーフェスをワンフィンガー ジェスチャ検出向けに設定します。センサの設定パラメータを表 7-1 に示します。

表 7-1. タッチサーフェス センサの設定パラメータ

パラメータ	値
センサタイプ	相互容量式
タッチ計測周期	20 ms
アナログゲイン	1
デジタルゲイン	2
Charge Share Delay	2
フィルタレベル	16
センサしきい値レベル	25
サーフェス解像度(bit)	7 ビット

7.3 低消費電力タッチの設定

センサの初期化後に、デバイスは既定値のアクティブ計測モードで動作を開始します。タッチ アクティビティが 20 秒間検出されないと、デバイスは自動的に低消費電力モードに移行します。低消費電力モードへ移行する前にイベントシステムが有効になり、指定されたセンサが低消費電力センサとして設定されます。本アプリケーション デモでは、全チャンネルを集合したノード(Node_8) の低消費電力センサとして使います。これにより、サーフェス全体のどこをタッチしてもマイクロコントローラを復帰させる事ができます。

PTC を使った低消費電力タッチ アプリケーションの実装に関する詳細は、『[AN2812 - Low-Power Touch Design](#)』を参照してください。表 7-2 に、低消費電力タッチ検出向けに設定したパラメータを示します。

表 7-2. 低消費電力タッチセンサの設定パラメータ

パラメータ	値
低消費電力/自動スキャン キー	Node_8
集合ノードの X ライン	X21、X16、X6、X17
集合ノードの Y ライン	Y22、Y5、Y23、Y4
集合ノードの Charge Share Delay	0
低消費電力計測周期	64 ms
タッチ非検出タイムアウト	20s
ドリフト計測周期	5s

7.4 ジェスチャの実装

本デモでは、実装可能な各種ジェスチャの中からタップとスワイプのみを使います。ジェスチャの設定を表 7-3 に示します。

表 7-3. ジェスチャの設定パラメータ

パラメータ	値
タップ タイムアウト	200 ms
スワイプ タイムアウト	700 ms
エリアタップ	20
横方向および縦方向スワイプ	30
ジェスチャ計測周期	10 ms

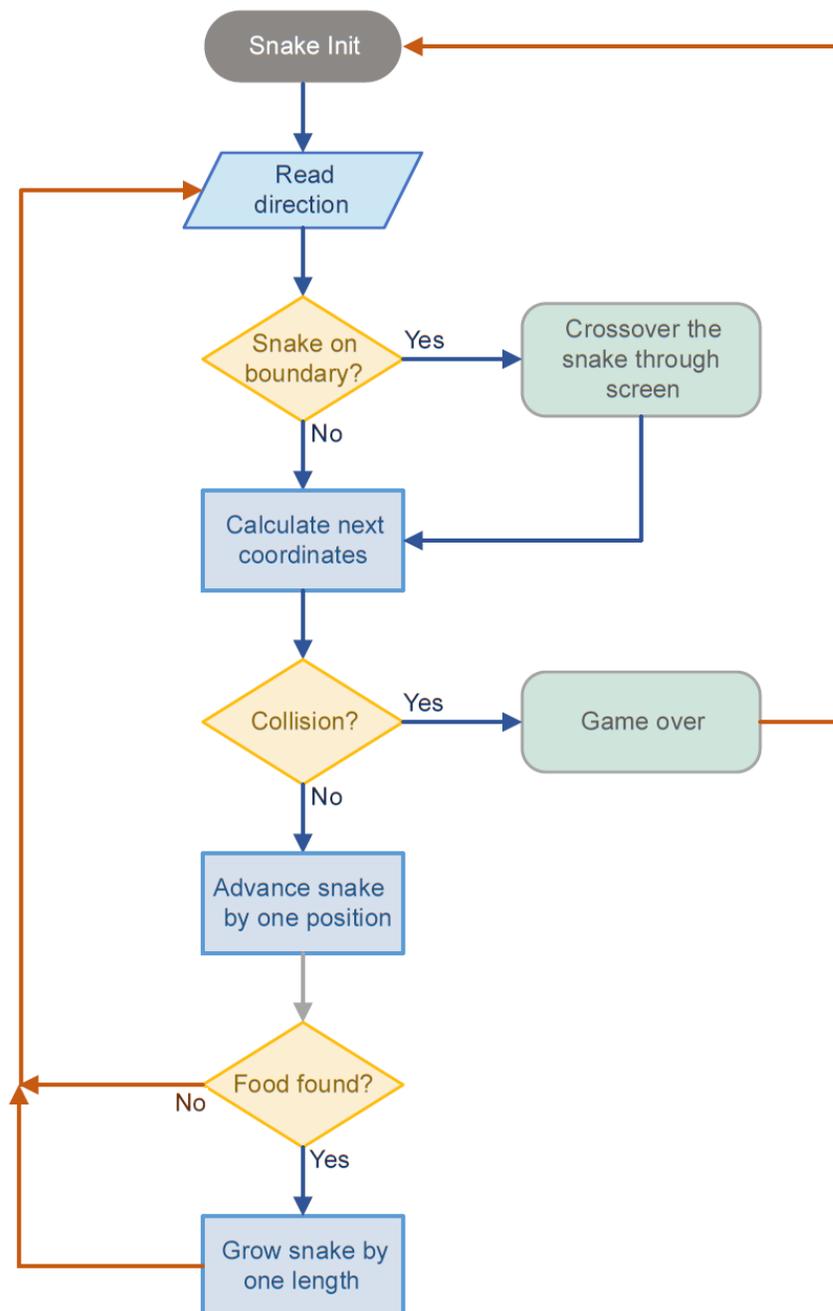
Microchip タッチライブラリのジェスチャ検出アルゴリズムは、タッチサーフェス上の有効なタップおよびスワイプ (上下左右)ジェスチャ イベントを検出します。有効なタップまたはスワイプ ジェスチャ イベントが検出されると、対応するジェスチャ検出フラグビットがセットされます。アプリケーション コードはジェスチャ情報を読み出し、そのジェスチャに対応するコマンドに従って蛇の進行方向を設定します。

7.5 LED マトリクス ドライバとスネークゲームのアルゴリズム

QT2 Xplained Pro ボード上の全ての LED は、I²C により制御される LED マトリクス ドライバ(IS31FL3728) によって駆動されます。LED マトリクス ドライバの接続方法の詳細は、ドライバデバイスのデータシート (<http://www.issi.com/>)を参照してください。スネークゲーム デモには、適切な I²C 対応ドライバが実装されます。LED ドライバ関連のコードルーチンは LEDdriver.c ファイルにより提供されます。

タッチサーフェスの各種機能を評価するため、スネークゲーム アルゴリズムのコードはモジュール形式で書かれています。スネークゲーム アルゴリズム関連のコードルーチンは Snake.c ファイルにより提供されます。図 7-3 に、スネークゲーム アルゴリズムのアプリケーション フローを示します。

図 7-3. スネークゲーム アルゴリズムのフロー



7.6 ソフトウェア ツール

Microchip 社の統合開発環境(IDE)、コンパイラ、グラフィカル コード ジェネレータはアプリケーション ファームウェア開発の全行程を通してシームレスなユーザ体験を提供します。本書のデモ アプリケーションには以下のツールを使います。

- Atmel Studio 7.0.2397
- Atmel START
- AVR-Dx_DFP v1.0.21
- AVR GCC コンパイラ

Note: 本デモを実行するには、上記バージョン以上のツールをインストールする必要があります。デモの動作は上記より古いバージョンのツールを使って検証されていません。

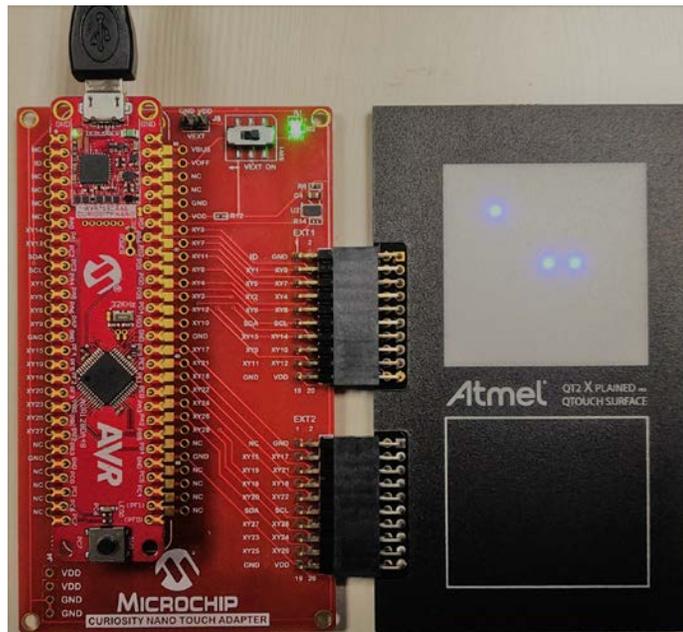
8. デモのセットアップ

蛇を餌の方向へ誘導するために以下のスワイプ ジェスチャが使えます。

- Up
- Down
- Left
- Right

餌を食べるたびに蛇は長くなります。20 秒より長くタッチ アクティビティが検出されないと、本デモはスタンバイスリープモードに移行します。デモを復帰させるには、QT2 ボード上のタッチサーフェスのどこかをタップする必要があります。

図 8-1. スネークゲーム デモ



9. タッチサーフェスの性能計測

以下に、タッチサーフェスの各種性能(タッチ応答時間、CPU 使用率、プログラムメモリおよびデータメモリ消費量、消費電力)を計測したデータを記載します。これらのデータは、スネークゲーム機能の実装を含まないタッチサーフェス設定のみで計測されました。

タッチパラメータの計測には以下のハードウェアを使用しました。

- AVR128DA48 Curiosity Nano 開発ボード
- Curiosity Nano タッチアダプタ ボード
- QT2 Xplained Pro 拡張キット
- Power Debugger

9.1 マイクロコントローラの詳細設定

表 9-1 に、スネークゲーム アプリケーション向けに設定した AVR128DA48 マイクロコントローラと周辺モジュールの動作条件を示します。

表 9-1. マイクロコントローラの設定

パラメータ	値
マイクロコントローラ	AVR128DA48
システムクロック	24 MHz (OSCHF)
マイクロコントローラ動作電圧	3.3 V
RTC クロック	1 kHz (OSC32K / 32)
RTC 割り込み周期	20 ms
低消費電力モード中の RTC 割り込み周期	5 s
PTC クロック	2 MHz

9.2 消費電力

AVR128DA48 マイクロコントローラの消費電力は、タッチサーフェス機能のみ設定した状態で、アクティブモードとスリープモードで計測しました。表 9-2 に、各モードでの消費電力を示します。

表 9-2. タッチサーフェスの消費電流データ

No.	状態	電流
1	アクティブ	5.7 mA
2	低消費電力(ドリフト補正なし)	13 μ A
3	低消費電力(ドリフト補正あり)	31 μ A

Note: 「低消費電力(ドリフト補正あり)」の消費電流は、スタンバイ中とドリフト計測中(周期は 5 s)にマイクロコントローラが消費した平均電流です。

9.3 メモリ消費量

表 9-3 に、ジェスチャ認識を含むタッチサーフェス機能(スネークゲーム機能を除く)のプログラムメモリおよびデータメモリ消費量を、各種コンパイラ最適化レベルごとに示します。

表 9-3. タッチサーフェスのメモリ消費量

No.	最適化レベル	プログラムメモリ	データメモリ
1	-O0	14510 バイト	830 バイト
2	-O1	12856 バイト	830 バイト
3	-O2	12932 バイト	830 バイト
4	-O3	13580 バイト	830 バイト
5	-Os	12874 バイト	830 バイト

9.4 タッチ応答時間

応答時間とは、タッチサーフェスがフィンガータッチ イベントに応答するまでに要する時間です。これには、マイクロコントローラがサーフェス センサノードのタッチデータを収集し、さらにデータを後処理して有効なタッチイベントを報告するまでに必要な時間が含まれます。応答時間が短いほど、毎秒報告されるタッチイベントの数は増加します。

表 9-4. タッチ応答時間

No.	タッチ計測周期	Detect Integrator	1 回の計測に要する時間	タッチ応答時間
1	20 ms	2	1.7 ms	5.1 ms

Note: タッチ応答時間は Detect Integrator (DI) 設定に応じて変化します。最適な応答時間とタッチ感度を達成するには、DI パラメータをセンサ設計に応じて調整する必要があります。

9.5 CPU 使用率

タッチ計測の CPU 使用率は、タッチサーフェス計測サイクルの後処理フェイズに必要な時間によって決まります。通常、タッチ検出の CPU 使用率は計測周期の百分率で表されます。表 9-5 に、異なる計測周期(20 ms と 40 ms)でのタッチ アプリケーション (スネークゲーム機能を除く) のアクティブモードおよびスリープモード中の CPU 使用率を示します。

表 9-5. タッチサーフェス アプリケーションの CPU 使用率

No.	CPU の状態	アクティブモード中の計測周期	低消費電力スリープモード中の計測周期	CPU 負荷
1	アクティブ	20 ms	64 ms	9%
2	スリープ	20 ms	64 ms	0%
3	アクティブ	40 ms	64 ms	5%
4	スリープ	40 ms	64 ms	0%

10. スネークゲーム デモの性能計測

以下に、スネークゲーム アプリケーション デモの性能計測データを記載します。

10.1 マイクロコントローラの設定

表 9-1 に、スネークゲーム アプリケーション向けに設定した AVR128DA48 マイクロコントローラと周辺モジュールの動作条件を示します。

表 10-1. マイクロコントローラの設定

パラメータ	値
マイクロコントローラ	AVR128DA48
システムクロック	24 MHz (OSCHF)
マイクロコントローラ動作電圧	3.3 V
RTC クロック	1 kHz (OSC32K / 32)
RTC 割り込み周期	20 ms
低消費電力モード中の RTC 割り込み周期	5s
PTC クロック	2 MHz

10.2 消費電力

消費電力は、各種要因から大きな影響を受けます。そのような要因には動作電圧、動作周波数、CPU のアクティブ期間、スリープモード、動作温度等が含まれます。通常の実用的なアプリケーションでは、CPU がアイドル状態である時にマイクロコントローラはスリープモードへ移行して計算処理を一切実行しません。これによりマイクロコントローラのアクティブ期間が大幅に短縮されて平均消費電力が削減されます。

表 10-2 に、タッチサーフェスを使ったスネークゲーム デモのマイクロコントローラ消費電力を示します。

表 10-2. スネークゲーム デモの消費電流

No.	状態	電流
1	アクティブ	5.8 mA
2	低消費電力(ドリフト補正なし)	13 μ A
3	低消費電力(ドリフト補正あり)	31 μ A

Note:

「低消費電力(ドリフト補正あり)」の消費電流は、スタンバイ中とドリフト計測中(周期は 5 s)にマイクロコントローラが消費した平均電流です。センサノードのドリフトを計測するために、マイクロコントローラは 5 秒周期で低消費電力モードから復帰します。

10.3 メモリ消費量

各種コンパイラ最適化レベルにおけるスネークゲーム デモのプログラムメモリおよびデータメモリ消費量を表 10-3 に示します。

表 10-3. スネークゲーム デモのメモリ消費量

No.	最適化レベル	プログラムメモリ	データメモリ
1	-O0	22328 バイト	1216 バイト

.....続き			
番号	最適化レベル	プログラムメモリ	データメモリ
2	-O1	16608 バイト	1216 バイト
3	-O2	16936 バイト	1216 バイト
4	-O3	18322 バイト	1216 バイト
5	-Os	16446 バイト	1216 バイト

11. 参考資料

1. [AVR DA ファミリの製品ページ](#)
2. [AVR128DA48 の製品ページ](#)
3. [Introduction to QTouch® Configurator Project Creation](#)
4. [Microchip タッチライブラリ](#)
5. [AVR128DA48 Curiosity Nano 評価用キットの製品ページ](#)
6. [QT2 Xplained Pro 拡張キットの製品ページ](#)
7. [Curiosity Nano タッチアダプタの製品ページ](#)

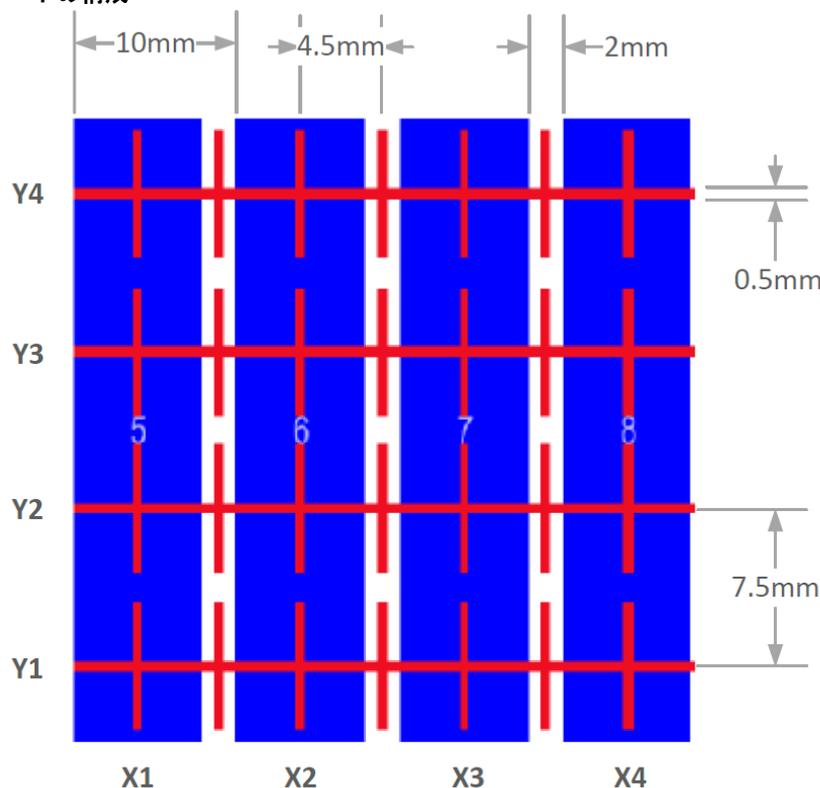
12. 補遺: QT2 サーフェス センサの設計仕様

QT2 Xplained Pro は 4x4 相互容量式タッチサーフェスを備えています。タッチパッドのセンサノードは銅箔ベタの X 電極を使って形成されます。QT2 Xplained Pro タッチパッドはタッチサーフェスとして使用できる他、4x4 のタッチボタン配列として使う事もできます。

表 12-1. タッチサーフェスの設計パラメータ

パラメータ	値
行ピッチ	7.5 mm
列ピッチ	10 mm
Y 電極幅	0.5 mm
Y 電極分離距離	4.5 mm
X 電極幅	8 mm
X 電極分離距離	2 mm
フロントパネル厚さ	0.5 mm
フロントパネル材質	Lexan (PC)

図 12-1. QT2 センサノードの構成



12.1 タッチパッドの解像度

タッチパッドの解像度(dpi)とは、X 軸または Y 軸方向で検出(報告、識別)可能な位置の 1 インチあたりの数です。この解像度は解像度設定値(2~12 ビット = 各軸で 4~4096 個の位置)により調整できます。

$$\text{X 軸の総位置数} = [\text{X 電極の数}] \times [\text{電極あたりの位置数}]$$

Y 軸の総位置数 = [Y 電極の数] × [電極あたりの位置数]

タッチパッドの解像度(dpi) = [1 インチあたりの電極数] × [電極あたりの位置数]

1 インチあたりの位置数 = [1 インチ(25.4 mm)] ÷ [1 センサ領域の寸法(mm)]

スネークゲーム デモ アプリケーションでは、QT2 Xplained Pro 拡張ボードをタッチサーフェスとして使います。このタッチサーフェス上の1つのセンサ領域の寸法は 8 mm x 8 mm であり、ファームウェアは7ビットの位置解像度を使います。従って、上記の計算式から、QT2 タッチサーフェスのタッチパッド解像度は 102 dpi となります。

表 12-2 に、4X x 4Y センサ構成(1つのセンサ領域は 8 mm x 8 mm)で可能な位置数とタッチパッド解像度を 3 通りの解像度設定で示します。

表 12-2. タッチサーフェス解像度(dpi)の計算

No.	解像度設定	X 軸位置数	Y 軸位置数	タッチパッド解像度(dpi)
1	6 ビット	64	64	51
2	7 ビット	128	128	102
3	8 ビット	256	256	203

13. 改訂履歴

文書リビジョン	日付	改訂内容
B	2020年05月	最新の商標に従い、AVR® MCU DA (AVR-DA)を AVR® DA MCU に更新し、AVR-DA を AVR DA に更新しました。
A	2020年03月	本書の初版です。

Microchip 社のウェブサイト

Microchip 社はウェブサイト(www.microchip.com)を通してオンライン サポートを提供しています。当ウェブサイトでは、お客様に役立つ情報やファイルを簡単に見つけ出せます。以下を含む各種の情報をご覧になれます。

- **製品サポート** - データシートとエラッタ、アプリケーション ノートとサンプル プログラム、設計リソース、ユーザガイドとハードウェア サポート文書、最新のソフトウェアと過去のソフトウェア
- **技術サポート** - FAQ(よく寄せられる質問)、技術サポートのご依頼、オンライン ディスカッション グループ、Microchip 社のデザイン パートナー プログラムおよびメンバーリスト
- **ご注文とお問い合わせ** - 製品セレクトと注文ガイド、最新プレスリリース、セミナー/イベントの一覧、お問い合わせ先(営業所/正規代理店)の一覧

製品変更通知サービス

Microchip 社の製品変更通知サービスは、お客様に Microchip 社製品の最新情報をお届けする配信サービスです。ご興味のある製品ファミリまたは開発ツールに関する変更、更新、リビジョン、エラッタ情報をいち早くメールにてお知らせします。

<http://www.microchip.com/pcn> にアクセスし、登録手続きをしてください。

カスタマサポート

Microchip 社製品をお使いのお客様は、以下のチャンネルからサポートをご利用になれます。

- 正規代理店
-
-
- 技術サポート

サポートは販売代理店にお問い合わせください。各地の営業所もご利用になれます。本書の最後のページに各国の営業所の一覧を記載しています。

技術サポートは以下のウェブページからもご利用になれます。 <http://www.microchip.com/support>

Microchip 社のデバイスコード保護機能

Microchip 社製品のコード保護機能について以下の点にご注意ください。

- Microchip 社製品は、該当する Microchip 社データシートに記載の仕様を満たしています。
- Microchip 社では、通常の条件ならびに仕様に従って使った場合、Microchip 社製品のセキュリティレベルは、現在市場に流通している同種製品の中でも最も高度であると考えています。
- しかし、コード保護機能を解除するための不正かつ違法な方法が存在する事もまた事実です。弊社の理解では、こうした手法は全て Microchip 社データシートにある動作仕様書以外の方法で Microchip 社製品を使用する事です。このような行為は知的所有権の侵害に該当する可能性が非常に高いと言えます。
- Microchip 社はコードの保全性に懸念を抱いているお客様と連携して対応策に取り組んでまいります。
- Microchip 社を含む全ての半導体メーカーで、自社のコードのセキュリティを完全に保証できる企業はありません。コード保護機能とは、Microchip 社が製品を「解読不能」として保証するものではありません。

コード保護機能は常に進歩しています。Microchip 社では、常に製品のコード保護機能の改善に取り組んでいます。Microchip 社のコード保護機能の侵害は、デジタル ミレニアム著作権法に違反します。そのような行為によってソフトウェアまたはその他の著作物に不正なアクセスを受けた場合は、デジタル ミレニアム著作権法の定めるところにより損害賠償訴訟を起こす権利があります。

法律上の注意点

本書に記載されているデバイス アプリケーション等の情報は、ユーザの便宜のためにのみ提供されるものであり、更新によって無効となる事があります。お客様のアプリケーションが仕様を満たす事を保証する責任は、お客様にあります。

Microchip 社は、明示的、暗黙的、書面、口頭、法定のいずれであるかを問わず、本書に記載されている情報に関して、状態、品質、性能、商品性、特定目的への適合性をはじめとする、いかなる類の表明も保証も行いません。Microchip 社は、本書の情報およびその使用に起因する一切の責任を否認します。Microchip 社の明示的な書面による承認なしに、生命維持装置あるいは生命安全用途に Microchip 社の製品を使用する事は全て購入者のリスクとし、また購入者はこれによって発生したあらゆる損害、クレーム、訴訟、費用に関して、Microchip 社は擁護され、免責され、損害をうけない事に同意するものとします。特に明記しない場合、暗黙的あるいは明示的を問わず、Microchip 社が知的財産権を保有しているライセンスは一切譲渡されません。

商標

Microchip 社の名称とロゴ、Microchip ロゴ、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR ロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT ロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi ロゴ、MOST、MOST ロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PackerTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST ロゴ、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTrackr、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGA は米国およびその他の国における Microchip Technology Incorporated の登録商標です。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Liberio、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus ロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePicta、TimeProvider、Vite、WinPath、ZL は米国における Microchip Technology Incorporated の登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet ロゴ、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified ロゴ、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA、ZENA は米国とその他の国における Microchip Technology Incorporated の商標です。

SQTP は米国における Microchip Technology Incorporated のサービス マークです。

Adaptec ロゴ、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcom はその他の国における Microchip Technology Incorporated の登録商標です。

GestIC は、その他の国における Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG (Microchip Technology Inc. の子会社)の登録商標です。

その他の商標は各社に帰属します。

© 2024, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

ISBN: 978-1-6683-3316-7

品質管理システム

Microchip 社の品質管理システムについては、<http://www.microchip.com/quality> をご覧ください。

各国の営業所とサービス

北米

本社

2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel:480-792-7200
Fax:480-792-7277
技術サポート：
<http://www.microchip.com/support>
URL:
www.microchip.com

アトランタ

Duluth, GA
Tel:678-957-9614
Fax:678-957-1455

オースティン、TX

Tel:512-257-3370

ボストン

Westborough, MA
Tel:774-760-0087
Fax:774-760-0088

シカゴ

Itasca, IL
Tel:630-285-0071
Fax:630-285-0075

ダラス

Addison, TX
Tel:972-818-7423
Fax:972-818-2924

デトロイト

Novi, MI
Tel:248-848-4000

ヒューストン、TX

Tel:281-894-5983

インディアナポリス

Noblesville, IN
Tel:317-773-8323
Fax:317-773-5453
Tel:317-536-2380

ロサンゼルス

Mission Viejo, CA
Tel:949-462-9523
Fax:949-462-9608
Tel:951-273-7800

ローリー、NC

Tel:919-844-7510

ニューヨーク、NY

Tel:631-435-6000

サンノゼ、CA

Tel:408-735-9110
Tel:408-436-4270

カナダ - トロント

Tel:905-695-1980
Fax:905-695-2078

アジア / 太平洋

オーストラリア - シドニー

Tel:61-2-9868-6733

中国 - 北京

Tel:86-10-8569-7000

中国 - 成都

Tel:86-28-8665-5511

中国 - 重慶

Tel:86-23-8980-9588

中国 - 東莞

Tel:86-769-8702-9880

中国 - 広州

Tel:86-20-8755-8029

中国 - 杭州

Tel:86-571-8792-8115

中国 - 香港 SAR

Tel:852-2943-5100

中国 - 南京

Tel:86-25-8473-2460

中国 - 青島

Tel:86-532-8502-7355

中国 - 上海

Tel:86-21-3326-8000

中国 - 瀋陽

Tel:86-24-2334-2829

中国 - 深圳

Tel:86-755-8864-2200

中国 - 蘇州

Tel:86-186-6233-1526

中国 - 武漢

Tel:86-27-5980-5300

中国 - 西安

Tel:86-29-8833-7252

中国 - 厦門

Tel:86-592-2388138

中国 - 珠海

Tel:86-756-3210040

アジア / 太平洋

インド - バンガロール

Tel:91-80-3090-4444

インド - ニューデリー

Tel:91-11-4160-8631

インド - プネ

Tel:91-20-4121-0141

日本 - 大阪

Tel:81-6-6152-7160

日本 - 東京

Tel:81-3-6880-3770

韓国 - 大邱

Tel:82-53-744-4301

韓国 - ソウル

Tel:82-2-554-7200

マレーシア - クアラルンプール

Tel:60-3-7651-7906

マレーシア - ペナン

Tel:60-4-227-8870

フィリピン - マニラ

Tel:63-2-634-9065

シンガポール

Tel:65-6334-8870

台湾 - 新竹

Tel:886-3-577-8366

台湾 - 高雄

Tel:886-7-213-7830

台湾 - 台北

Tel:886-2-2508-8600

タイ - バンコク

Tel:66-2-694-1351

ベトナム - ホーチミン

Tel:84-28-5448-2100

ヨーロッパ

オーストリア - ヴェルス

Tel:43-7242-2244-39
Fax:43-7242-2244-393

デンマーク - コペンハーゲン

Tel:45-4485-5910
Fax:45-4485-2829

フィンランド - エスポー

Tel:358-9-4520-820

フランス - パリ

Tel:33-1-69-53-63-20
Fax:33-1-69-30-90-79

ドイツ - ガーヒング

Tel:49-8931-9700

ドイツ - ハーン

Tel:49-2129-3766400

ドイツ - ハイムブロン

Tel:49-7131-72400

ドイツ - カールスルーエ

Tel:49-721-625370

ドイツ - ミュンヘン

Tel:49-89-627-144-0
Fax:49-(89-627)-144/-44

ドイツ - ローゼンハイム

Tel:49-8031-354-560

イスラエル - ラーナナ

Tel:972-9-744-7705

イタリア - ミラノ

Tel:39-0331-742611
Fax:39-0331-466781

イタリア - パドヴァ

Tel:39-049-7625286

オランダ - ドリュエーン

Tel:31-416-690399
Fax:31-416-690340

ノルウェー - トロンハイム

Tel:47-7288-4388

ポーランド - ワルシャワ

Tel:48-22-3325737

ルーマニア - ブカレスト

Tel:40-21-407-87-50

スペイン - マドリッド

Tel:34-91-708-08-90
Fax:34-91-708-08-91

スウェーデン - ヨーテボリ

Tel:46-31-704-60-40

スウェーデン - ストックホルム

Tel:46-8-5090-4654

イギリス - ウォーキングム

Tel:44-118-921-5800
Fax:44-118-921-5820