

適材適所の 画像処理技術！！

アナログと
AIの融合でチュー

トランススタ技術 特別小冊子(非売品)
麻生勝之／宮崎仁 [共著]



CQ出版社

AXELLのAIソリューション 画像処理回路搭載 SoC 「AG903」



組み込み機器向けグラフィックス LSI「AG9シリーズ」

AG903

アクセルのAG903は、画像関連機能が充実した、Arm®Cortex®-A5 CPUと大容量 VRAMを内蔵した、産業機器向けSoCです。OpenVG™ 1.1 対応グラフィックスエンジン、画像コーデック (JPEG/H.264)、2画面出力、ビデオキャプチャなどの機能に加え、画像処理エンジンもハードウェア回路として搭載。従来ソフトウェアで行っていた処理をハードウェアが担うことで、システムの負荷を低減できます。これにより、LCDにユーザーインターフェースを表示しながら、その裏でカメラ映像による判定を行うといった、重くなりがちな多量の画像アプリケーションの開拓が可能となります。アクセルでは、こういったアプリケーションのための、画像関連ミドルウェアも自社で開発しています。カメラ映像から推論するAIの組み込み機器への応用も、アクセルが可能性を拓けています。

AG 903 仕様一覧 AX51903 / AX51903G

描画エンジン	OpenVG™ 1.1 対応
CPUコア	Arm®Cortex®-A5 400MHz
内蔵 DRAM 容量	64 Mバイト (512 Mbit) / 128 Mバイト (1 Gbit)
ビデオ 出力数	CMOS デジタル (24bit) × 1、LVDS デュアル × 1
出力 最大解像度	1920 × 1200 (1出力時)
クロック	デジタル最大 170MHz、LVDS 最大 85MHz
ビデオ 入力数	CMOS デジタル (24bit) × 1、アナログ (NTSC/PAL) × 4
入力 水平解像度	デジタル最大 1920 ドット
クロック	デジタル最大 170MHz
画像コーデック	JPEG (圧縮伸長)、H.264 (伸長)
電源電圧	コア 1.15V、I/O 1.8V または 3.3V (選択可能)、アナログ 1.8V、DRAM 1.8V
その他	画像前処理エンジン、外部 CPU からの制御
パッケージ	QFP 256pin、28 × 28mm

* Arm および Cortex は Arm Ltd. またはその子会社の登録商標です。
* OpenVG は The Khronos Group Inc. の商標です。
* その他の社名、製品名などは、一般に、各社の商標または登録商標です。

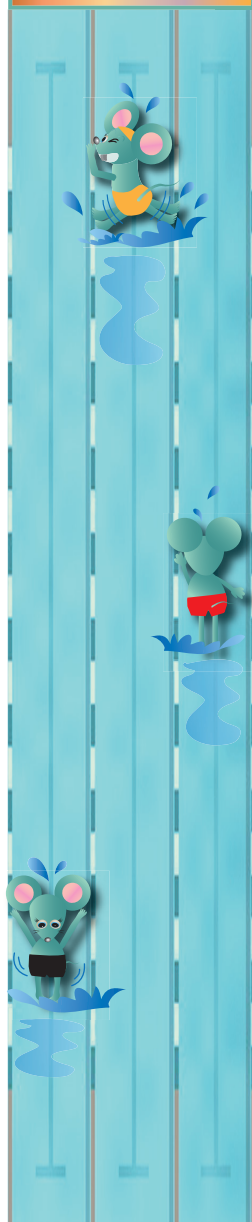
目次

[CONTENTS]

適材適所の画像処理技術

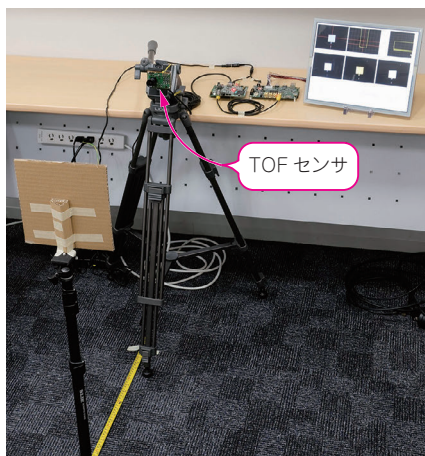
麻生勝之／宮崎仁 [共著]

第1章	写真館 1 TOF センサと 2
	AG903 による物体検出デモ
	写真館 2 AG903 による 4
	国旗カード認識デモ
第2章	NTSC 再確認 5
2-1	NTSC のビデオ信号の概要 5
2-2	ビデオ信号の詳細 6
2-3	ビデオ信号インターフェース 8
第3章	TOF センサと AG903 の接続事例 9
3-1	画像情報と距離情報 9
3-2	TOF センサ TOF-E02 の概要 11
3-3	TOF センサと AG903 を NTSC で接続! 12
3-4	NTSC I/F 基板の概要 16
3-5	AG903 による画像処理 17
3-6	AG903 による物体検出 24
第4章	AG903 による AI 画像認識の事例 26
4-1	ailia SDK for RTOS とは? 26
4-2	国旗カード認識デモの概要 27
4-3	国旗カード認識デモの結果 29
付 録	AG903 の仕様 32



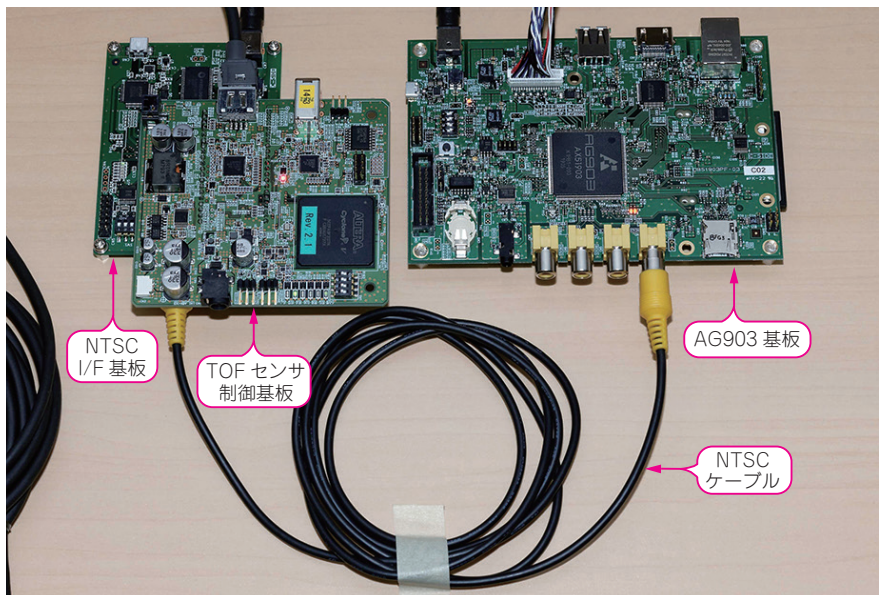
第1章 写真館1

TOF センサと AG903 による物体検出デモ (第3章参照)



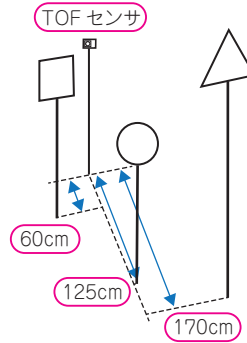
TOF センサによる距離測定の様子。
三脚で固定した TOF センサから□板の位置を変えて距離を観測した。
測定結果は液晶パネルにリアルタイムに表示される。

物体検出デモに使用した基板. TOF センサ側と AG903 基板間は NTSC で接続する。



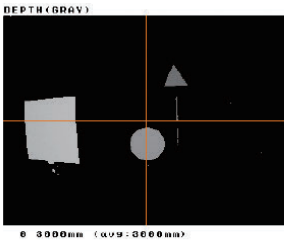


TOF センサから 60cm の位置に□板, 125cm の位置に○板, 170cm の位置に△板を置いて観測した. それぞれの高さは異なる.

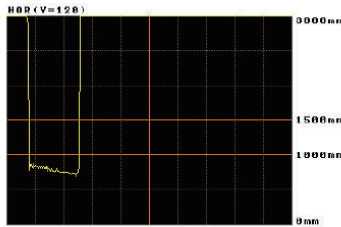


下は液晶パネルの表示画面. 右下が TOF センサより 1m ~ 1.5m の間にある物体を切り出して二値化した距離画像. ○板のみ表れ, その面積は 1149 ドットと表示される.

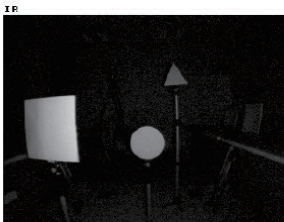
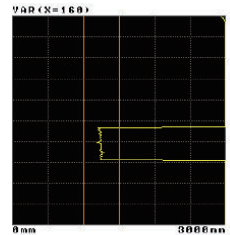
距離画像 (CLUT8)



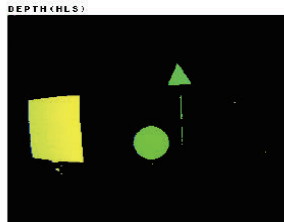
Y=120 の距離値



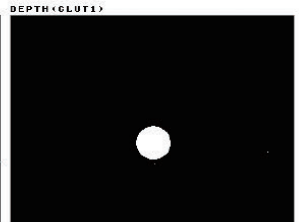
X=160 の距離値



輝度画像 (CLUT8)



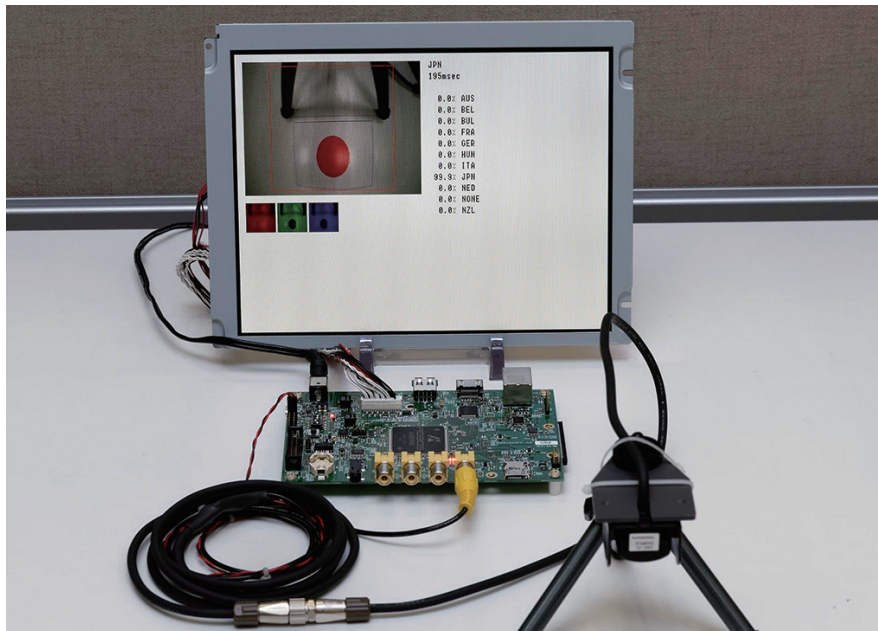
色付けた距離画像



1m ~ 1.5m を切り出して二値化した距離画像

AG903 による 国旗カード認識デモ (第4章参照)

AI を利用した国旗カード認識デモの様子。画像の取り込み, AI 処理, 液晶への表示のすべてを AG903 1 チップで実現している。認識時間も約 0.2 秒と高速だ。



カメラを下向きにして国旗カードを撮影。

使用したカメラは標準的な NTSC 出力の小型カメラで、AG903 に直結している。

第2章 NTSC再確認

NTSCは、2010年代にTV放送がデジタル化された後、TV放送やスタジオ機器からは離れて、汎用のビデオ信号インターフェースとして広く普及しています。既存の2線が利用できることからテレビドアホンで利用されたり、電源や制御信号を重畳することもできるため監視カメラでも利用されています。枯れた技術で障害にも強く、ケーブルの取り回しも良いため、今でも多くのアプリケーションで利用されています。本誌でも解像度がNTSCで十分ことから、第3章、第4章でNTSCカメラを使用しています。

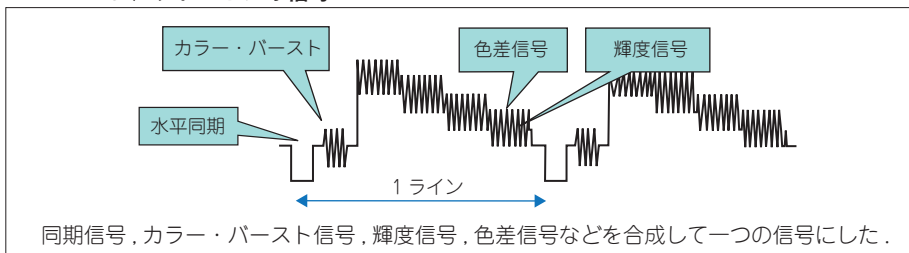
本章では、NTSCの規格とビデオ信号について再確認していきます。

NTSCは、全米テレビジョンシステム委員会(NTSC)において、1941年にモノクロTV放送、1953年にモノクロTVと互換性をもつカラーTV放送の全米標準方式が策定されました。その後、米国電子工業会(EIA)においてスタジオ画像機器の標準化が始まり、モノクロ方式は1957年にEIA RS-170規格となりました。カラー方式は1977年に規格案RS-170Aが公開され、そのまま業界標準として用いられてきました。

2-1 NTSCのビデオ信号の概要

NTSCのビデオ信号は、モノクロ方式では同期信号と輝度信号、カラー方式ではそれらに加えて色差信号、カラーバースト信号などを統合したコンポジット・ビデオ信号と呼ばれるものです(図2-1)。この信号は、2000年代までTV受信機の主流だったCRT(Cathode Ray Tube、いわゆるブラウン管)の原理に直接対応するものです。

図2-1 コンポジット・ビデオ信号



CRTは、電子銃が射出する電子ビームで画面に輝点を描画し、磁界をかけて水平方向、垂直方向にビームを偏向させて2次元の画像を得ます。水平同期信号(H-SYNC)と垂直同期信号(V-SYNC)で走査のタイミングを制御し、輝度信号(Y)で階調を制御します。

水平同期信号に同期して水平方向に走査し、1ラインを描画します。垂直同期信号に同期して垂直方向に所定のライン数分だけ走査を繰り返せば、1画面を描画できます。NTSCでは、画面のアスペクト比は4:3、ライン数(走査線数)は525本、垂直同期周波数は60Hz(ただしカラー化に際して59.94Hzに変更)と定められています。

●飛び越し走査(インタレース)と NTSC の基本的な仕様

NTSC では、525 本の走査線を奇数ラインと偶数ラインに分けて、交互に走査する飛び越し走査 (2:1 インタレース方式) を採用しています (図 2-2)。垂直方向の 1 回の走査を 1 フィールドと呼び、262.5 本分の描画を行います。奇数フィールド (図 2-2 の実線) と偶数フィールド (図 2-2 の点線) を合わせて、1 フレームの描画が完了します。

NTSC の基本的な仕様を表 2-1 に示します。

図 2-2 2:1 インタレース方式

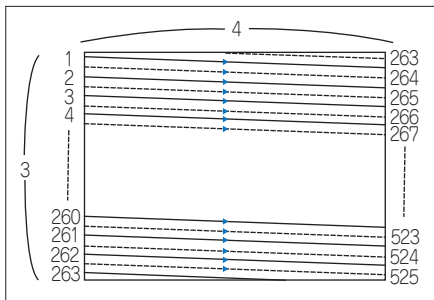


表 2-1 NTSC の基本的な仕様

アスペクト比	4:3
走査線数	525 本
垂直周波数	59.94Hz
フィールド周期	$1 / 59.94 = 16.6833\text{ms}$
フレーム周期	$2 / 59.94 = 33.3666\text{ms}$
水平周波数	$59.94 \times 262.5 = 15.734\text{kHz}$
1 ライン時間	$1 / 15734 = 63.556 \mu\text{s}$
輝度信号帯域幅	4.2MHz

2-2 ビデオ信号の詳細

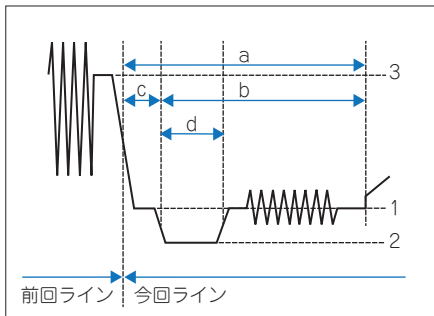
●ブランキングと有効表示期間

CRT では、画面の左端から右端まで走査して、電子ビームを左端に戻します。また、画面の上端から下端まで所定のライン数だけ走査を繰り返して、電子ビームを上端に戻します。この戻し期間を水平帰線 (水平ブランキング)、垂直帰線 (垂直ブランキング) と呼びます。

水平ブランキングは 1 ライン時間の最初の約 $10.9 \mu\text{s}$ です。この期間に水平同期パルス、カラー・バースト信号、輝度信号の基準レベル (0IRE) が出力されます (図 2-3)。その後の約 $52.4 \mu\text{s}$ が、輝度信号の有効期間となります。

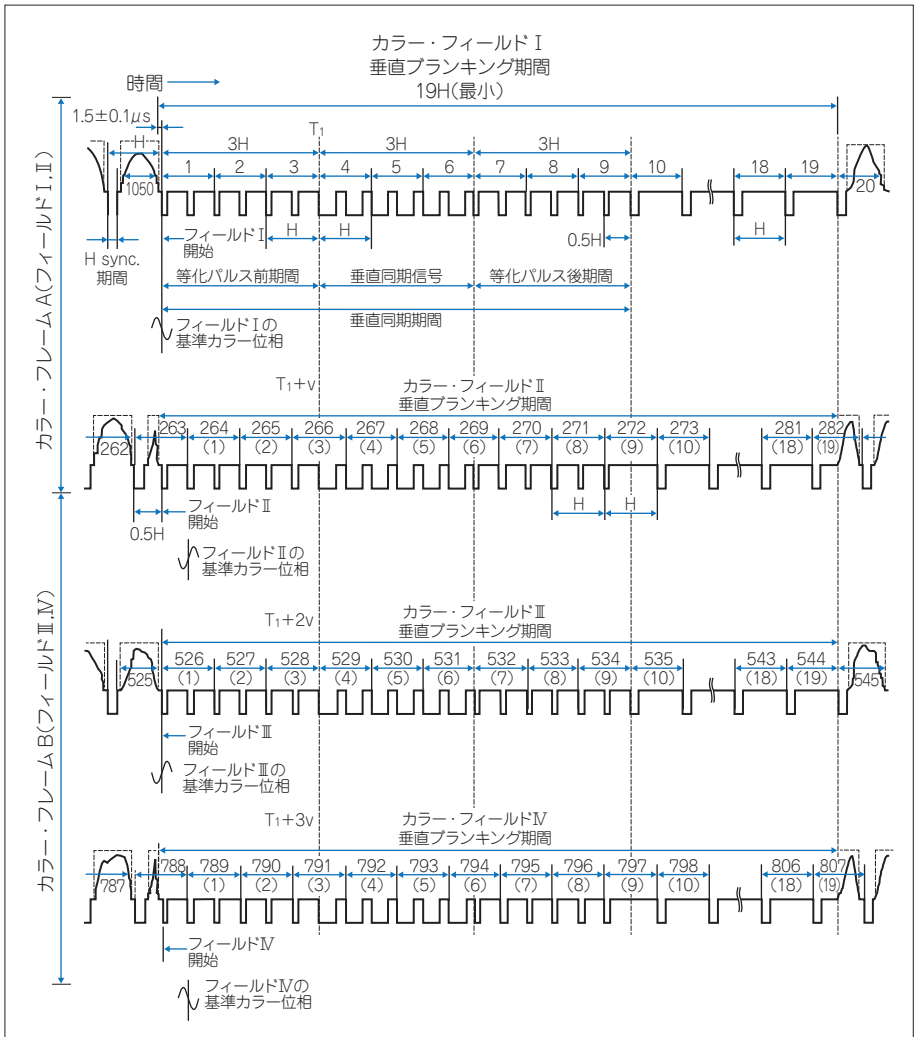
垂直ブランキングは 1 フィールドの最初の 20 ラインです (図 2-4)。1 フレーム 525 本の走査線のうち、 20×2 ラインは表示されず、有効に表示されるのは 485 本です。

図 2-3 水平ブランキング期間の信号波形

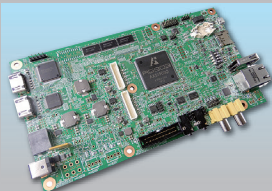


a	水平ブランキング期間	10.9 ± 0.2	μs
b	水平同期から帰線終了	9.4 ± 0.1	μs
c	フロント・ポーチ	1.5 ± 0.1	μs
d	水平同期パルス幅	4.7 ± 0.1	μs
1	ペDESTAL・レベル	0	IRE
2	水平同期信号レベル	-40	IRE
3	ピーク白レベル	100	IRE

図 2-4 NTSC 信号の構成



標準組み込みボード「AG903-C」



実用装置にそのまま組み込み可能な AG903 搭載ボード。AG903 の I/F をほぼ全て網羅。京都マイクロコンピュータ製開発環境「SOLID」に対応。

お問い合わせ：株式会社コスモ
E-mail cosmo-sales@cosmo.co.jp

図 2-5 I 信号と Q 信号

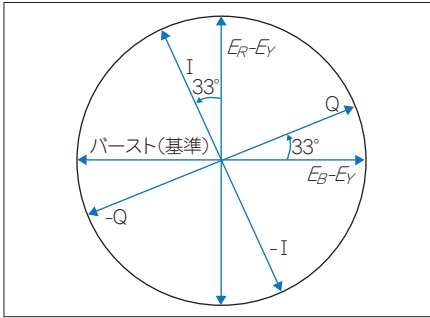
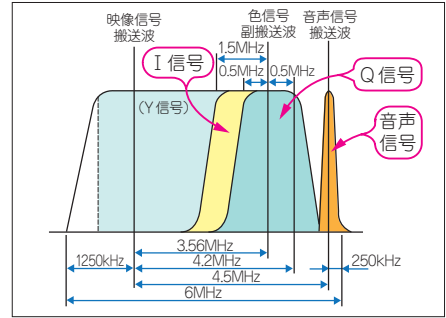


図 2-6 重畳された各信号の帯域



● カラー表示の方法

NTSC は、モノクロの輝度信号に色信号を追加してカラー化しています。輝度情報 E_y は全ての色を含むので、色差情報 $E_r - E_y$, $E_b - E_y$ から RGB の各色成分 E_r , E_g , E_b を復元できます。実際には、橙色 $E_i(I)$ とそれに直交する $E_q(Q)$ を用いています(図 2-5)。

$$E_i = -0.27(E_b - E_y) + 0.74(E_r - E_y)$$

$$E_q = 0.41(E_b - E_y) + 0.48(E_r - E_y)$$

色信号(I, Q)は、 $f_{SC} = 3.58\text{MHz}$ の色副搬送波(カラー・サブキャリア)を用いて位相変調され、輝度信号(Y)に重畳されています(図 2-6)。各ラインの最初に挿入されるカラー・バースト信号は、復調用の基準信号として用いられます。

水平周波数 f_H と色副搬送波 f_{SC} の関係は、 f_{SC} の位相が 1 ライン(1H)ごとに反転するように決められています。輝度信号と色差信号は帯域が重なっていますが、ライン相関を利用して簡単な加算、減算を行って輝度信号と色差信号を分離できます(くし形フィルタ)。

2-3 ビデオ信号インターフェース

元々の TV 放送の規格では、図 2-6 のように、帯域幅 4.2MHz の画像信号の高域側に 4.5MHz の音声信号を重畳させ、6MHz の無線チャネルで送信していました。しかし、ビデオ信号インターフェースとしての NTSC は、音声は重畳させず、画像信号だけを 1 本の 75Ω ビデオ・ケーブル(RCA コネクタ, BNC コネクタなど)で伝送します(写真 2-1)。

この場合は、画像信号の帯域を 4.2MHz 以上に伸ばすことができるので、画像機器メーカーが独自に仕様を拡張して高画質化している場合があります。

写真 2-1 ビデオ・ケーブル

(a) RCA コネクタ



(b) BNC コネクタ



第3章

TOF センサと AG903 の 接続事例

3次元の空間情報として、距離画像(画素ごとの奥行き情報)を取得できる TOF 距離画像センサ(以下 TOF センサと呼ぶ)は、機械と人の関わりを大きく変えていく新しいセンサとして注目されています。

機械の側から見れば、ロボットやドローン、自動運転車のように、機械と人間が混在する環境の中で自律的に移動・行動するシステムの実用化が盛んに進められています。このようなシステムが安全かつ効率的に移動・行動するには、周囲の状況を的確に認識するための空間センシング技術が不可欠です。距離画像を容易に取得できる TOF センサは、この目的に最適なセンサの一つと考えられています。

また人の側から見れば、身の回りのさまざまな機械を操作するための UI(ユーザ・インターフェース)が進化を続けています。スマートフォンなどディスプレイ上を軽くタッチするだけのタッチ UI が広く普及していますが、近年では、人の手や体の動きを非接触で認識するジェスチャ UI が注目されています。TOF センサで取得した距離画像を利用すれば、ジェスチャー UI も容易に実現できます。

本章では、TOF センサを AG903 に接続して距離画像を取り込み、空間の状況や存在する物体を識別する事例を紹介します。

3-1 画像情報と距離情報

一般的なカメラは、対象物の表面で反射された光をレンズを通して取り込み、イメージ・センサの撮像面上に2次元の画像情報を生成します。これは、人間の眼の構造や視覚のしくみを真似たものといえます。ただし、人間が両眼を用いて対象を立体視できるのに対して、通常のカメ​​ラは平面の画像しか得られません。カメラで撮影した画像を人間が見るなら、平面の画像でも、対象物の重なりの様子や大小関係などから奥行きを感じられます。

一方、最近ではカメラを機械の眼(マシン・ビジョン、ロボット・アイなど)として使い、空間や立体物など3次元の対象を自動的に認識する用途がきわめて多くなっています。この用途では、2次元の画像情報と同時に、奥行き方向の距離情報が必要になります。

特に、立体形状の計測や、自動走行における3次元マップの生成などの用途では、高解像度で空間を認識するとともに高精度で距離を測定することが必要です。そのため、画素ごとの距離情報を取得できる各種のセンサが登場してきました。

●距離画像取得の方式

画素ごとの距離情報を取得する方式を大別すると、表3-1のようにパッシブ・ステレオ方式、アクティブ・ステレオ方式、TOF(Time of Flight)カメラ方式に分類できます。



表 3-1 画素ごとの距離情報を取得する主な方式

方式	カメラ	光源	距離演算
パッシブ・ステレオ	複数	不要(自然光)	複数カメラの視差角
アクティブ・ステレオ	1台	スリット光,ビーム光など	投射光と反射光の視差角
TOFカメラ	1台	一括投射光	投射・反射の飛行時間

(1) パッシブ・ステレオ方式

ステレオカメラで撮影した2枚の画像情報から、視差角を用いて三角法の演算処理を行い、距離情報を取得します。人間の両眼による立体視のしくみを真似たものです。

一般的なカメラと同じレンズやイメージ・センサで実現でき、光源を必要としないことは利点です。一方、カメラ2台分のコストやスペースが必要なこと、三角法の演算負荷が大きいこと、夜間、悪天候など環境の影響を受けやすいことなどが欠点です。

(2) アクティブ・ステレオ方式

立体物にスリット状の光を投射すると、断面形状の曲線像が得られることが知られており、光切断法と呼ばれます。この曲線像をカメラで撮影し、三角法の演算処理を行って距離情報を取得します。スリット光の代わりに複数のビーム光源を用いる方式もあります。

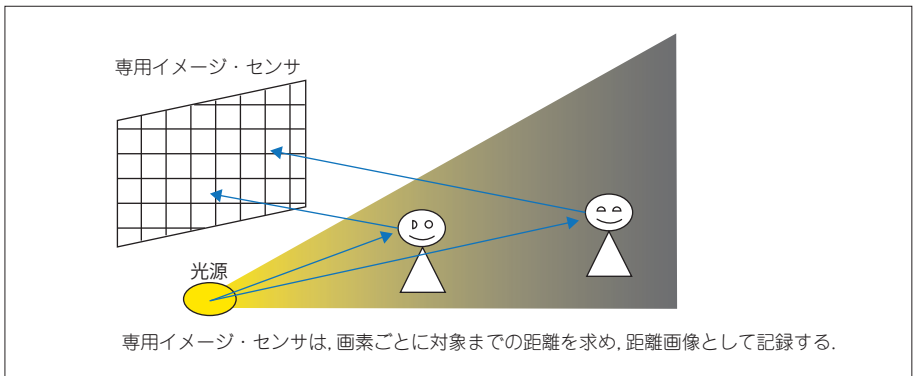
1台のカメラで実現でき、外光など環境の影響を受けにくい利点もあります。レーザ光源による高精度の立体形状計測に用いられています。

(3) TOFカメラ方式

TOF(Time of Flight)カメラは、距離測定機能をもたせた特別なカメラと光源を組み合わせ、光源が投射した光を対象物の表面で反射させて撮影します。図 3-1 のように、TOFカメラの各画素は対象からの反射光を受光し、画素ごとに光の飛行時間(Time of Flight)を測定して対象までの距離を求めます。

1台のカメラと光源で構成されるのはアクティブ・ステレオ方式と同様で、外光など環境の影響を受けにくい利点もあります。さらに、三角法の演算処理が不要なもの利点です。また、精密なスリット光、ビーム光を投射する必要がないため、低コストのLED光源を使用できます。肉眼で見えない赤外LED光源が一般に用いられています。

図 3-1 TOFカメラの概要



ただし、イメージ・センサは従来のものではなく、画素ごとに飛行時間を測定できる専用のセンサが必要になります。距離画像の解像度は一般的なカメラに比べて低く、QVGA (320×240)からVGA (640×480)程度の製品が多くなっています。最近では、TOFカメラ用のイメージ・センサ製品も増え、略してTOFセンサと呼ばれることも多くなっています。

なお、TOF自体は音波(超音波)、電波、光を使用して、探知機、距離計、レーダなどに幅広く用いられてきた歴史の長い技術です。従来からある超音波距離計やレーザー距離計のようなものもTOFセンサと呼ばれています。

3-2 TOF センサ TOF-E02 の概要

実際のTOFセンサであるTOF-E02 (NEC エンベデッドプロダクツ) とAG903 (アクセル) を接続して、3次元の物体検出を行う事例を紹介します。

TOF-E02は、NECエンベデッドプロダクツ株式会社が開発中の車載対応可能なTOFセンサ・モジュールの試作品です。TOFセンサとレンズ、近赤外線LEDなどを1枚の小型基板に搭載しています。近赤外線(NIR)の利用により夜間や暗所でも使用できます。

ジェスチャーによる非接触の機器操作、立体物の寸法計測、空間にある物体の動き計測、物体の個数カウント、物体の大きさの識別など、距離画像を利用したさまざまなアプリケーションに適用できます。

表3-2に主な仕様を、写真3-1にその外観を示します。

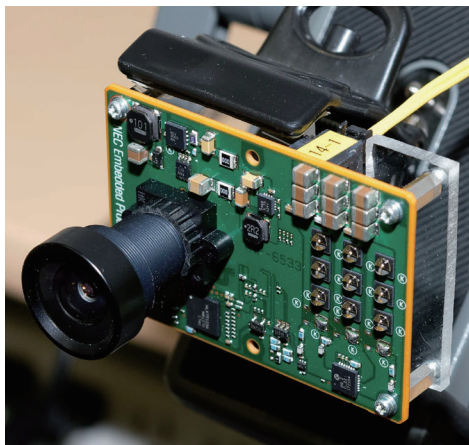
TOF-E02は320×240画素の受光素子を持ち、受光した情報から画素ごとの距離情報を生成できます。また、受光レベルから一般のモノクロ・カメラのような画素ごとの輝度情報を生成することもできます。フレームレートは最大60fpsで、距離画像と輝度画像から対象の動きを検出できます。

光源は850nmの近赤外線LEDを9個アレイ状に配置しており、モジュールに装着されたレンズで最大3mまでの距離を測定できます。

表3-2 TOF-E02の仕様

項目	仕様
距離画像解像度	320×240画素
輝度画像解像度	320×240画素
光源	近赤外線LED (850nm)×9灯
フレームレート	max 60fps
測定距離レンジ	max 3m
距離精度	±0.5cm@50cm
基板サイズ	縦45mm×横65mm

写真3-1 TOF-E02の外観



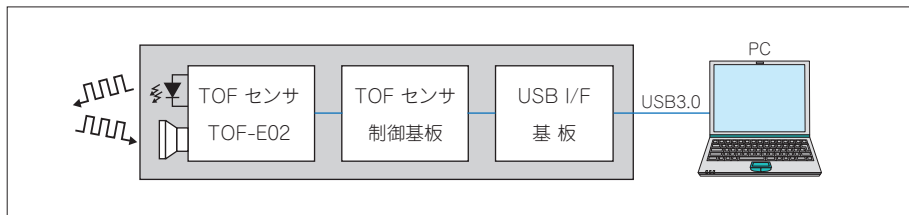
●TOF-E02 の評価環境

図 3-2 に、NEC エンベデッドプロダクツによる TOF-E02 の評価環境を示します。

TOF-E02 と TOF センサ制御基板、USB I/F 基板を組み合わせ、PC 上で距離画像と輝度画像を確認できます。TOF センサ制御基板は、TOF センサの出力から画素ごとに mm 単位で距離を算出し、距離画像を生成します。また、センサの受光値を用いて演算し、モノクロカメラで撮影したような画像の輝度画像も生成します。

USB I/F 基板は、TOF センサ制御基板が生成した距離画像と輝度画像を USB3.0 のフレームに重畳して PC に送信します。

図 3-2 TOF-E02 評価環境の構成



3-3 TOF センサと AG903 を NTSC で接続！

TOF センサを利用して 3 次元空間の物体検出ができるデモ用の組み込みシステムの事例を紹介します。PC は使用せず、組み込み向けのグラフィックス LSI である AG903 と液晶パネルを接続して、画像処理、検出処理および処理結果の表示を行います。TOF センサと AG903 を接続するインターフェースは NTSC を使用します。

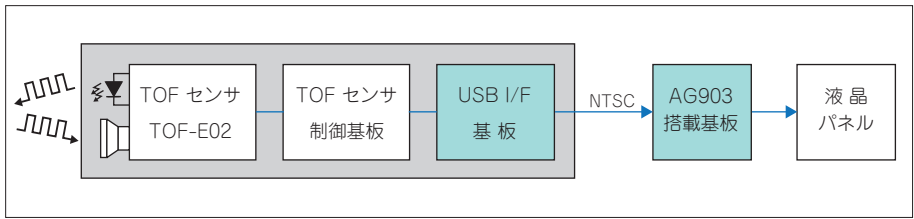
NTSC は、アナログのモノクロ TV 放送、カラー TV 放送で用いられていた信号方式です。監視カメラ、産業向けカメラでは現在でも広く採用されている実績のある規格です。モノクロ方式は EIA において RS-170 として規格化されました。それを拡張したカラー方式は、規格案 (RS-170A) が作られましたが規格化はされませんでした。

NTSC は同期信号、輝度信号、色信号(カラー方式の場合)を一つのアナログ信号として合成し、1 本のケーブルで伝送します。ノイズに対して高い耐性があり、ケーブルの取り回しが容易であるなどのメリットをもちます。解像度はおよそ 450×330 画素相当と低いですが、TOF-E02 の解像度は 320×240 画素なので、NTSC で伝送可能です。

AG903 は、アナログ入力のビデオ・デコーダを 4 チャンネル内蔵しており、NTSC の直接入力が可能です。このデモ用システムではそのうち 1 チャンネルを使用します。モノクロ信号の入力にも対応しています。入力した画像はデジタル化され、画像前処理部で各種画像処理を施したうえで液晶パネルに出力できます。

この物体検出デモ用システムは、既存の TOF-E02 評価環境(図 3-2)の一部を利用して実現します。そのため、TOF センサ制御基板に接続可能な NTSC I/F 基板を製作し、図 3-3 の構成としました。

図 3-3 TOF-E02 評価環境の一部を流用した物体検出デモ機の構成



●NTSC I/F 基板の出力フレーム

NTSC I/F 基板では、TOF センサ制御基板から出力される距離画像と輝度画像を NTSC の輝度値に変換し、産業向けカメラと同様にモノクロ画像として送信します。AG903 は、カラー画像でもモノクロ画像でも入力可能です。

カラー画像では、受信側でフィルタを用いて輝度信号と色信号を分離する (Y/C 分離) 必要があり、画質の低下につながります。モノクロ画像ならこの問題は生じません。

NTSC は元々は電波による TV 放送を前提に作られた規格です。無線チャンネルの制約から伝送帯域は 6MHz となっています。さらに、高域側では搬送波 4.5MHz の FM 音声信号を重畳するために、画像帯域はさらに狭い約 4.2MHz に制限されています。帯域幅 4.2MHz の場合、解像度は約 330TV 本となります。

ビデオ・ケーブルで画像だけを送信するなら高域の制限はなく、画像の帯域幅を拡大可能です。多くの産業向けカメラは、4.2MHz よりも広帯域の画像を出力します。EIA 方式の産業向けカメラでは 570TV 本など高解像度の製品があり、VGA 相当の出力もできます。

この NTSC I/F 基板では、隣接する画素間の距離精度を向上するために、画像の横幅を 2 倍に拡大して送信するようにしています。NTSC 信号の隣接する画素間で輝度の差が大きいとき、帯域幅が不足すると信号の立ち上がりが遅れるため正しい値を伝送できなくなります。自然画では隣り合う画素の間での輝度の差は比較的小さいのに対して、距離画像では隣り合う画素が示す距離値の差が大きく、距離値に誤差を生じる恐れがあります。

横幅を 2 倍に拡大して送信することによって、画像の実効的な帯域幅は 1/2 になり、より確実に距離値を伝送できます。受信側でビデオ・キャプチャする際に横幅を 1/2 に縮小すれば、元の画像が復元されます。

さらに、この NTSC I/F 基板では NTSC のインタレース (飛び越し走査) を利用して、ODD フィールドで距離画像を送信し、EVEN フィールドで輝度画像を送信しています。それによって、距離画像と輝度画像を同時に伝送できます。

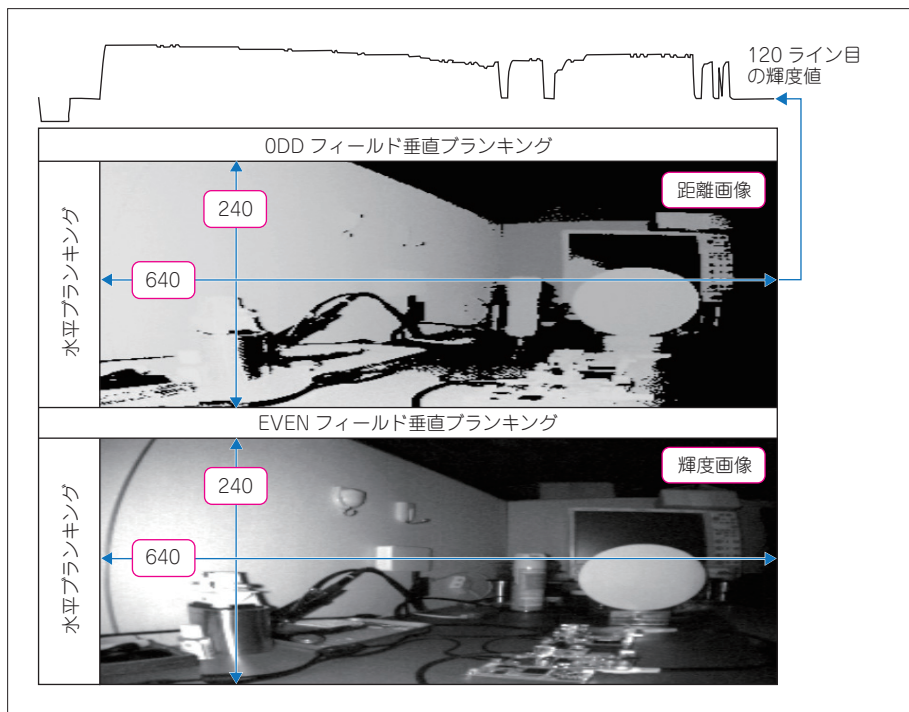
図 3-4 に、NTSC I/F 基板から出力する信号のフレーム構成を示します。

TV などインタレース方式のモニタに入力すると、距離画像と輝度画像が重なって表示されます。

この NTSC I/F 基板では NTSC は単に伝送規格として使用しており、そのまま TV に表示することは考慮していません。



図 3-4 NTSC I/F 基板から出力する NTSC 信号のフレーム構成



●輝度値と距離値の関係

輝度画像は、センサの受光レベルをそのまま輝度とする画像です。受光レベルが高いほど明るく、低いほど暗い、一般的なモノクロ・カメラと同様の画像になります。

距離画像は、画素ごとの奥行き (Depth) を数値化したもので、2次元の画面として直感的に分かりやすく表示するには工夫が必要です。ここでは、画面から直感的に距離が判断しやすいように、センサから近いほど明るく、遠いほど暗くなるように輝度で表します。

図 3-5 NTSC 信号に変換した輝度値と距離値の関係

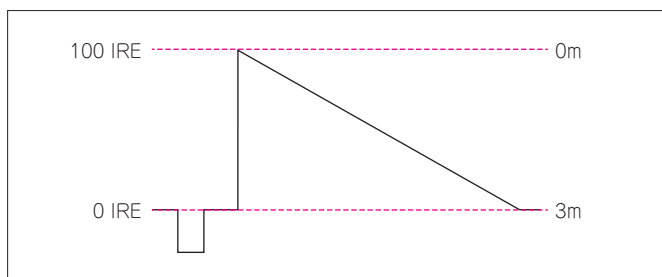
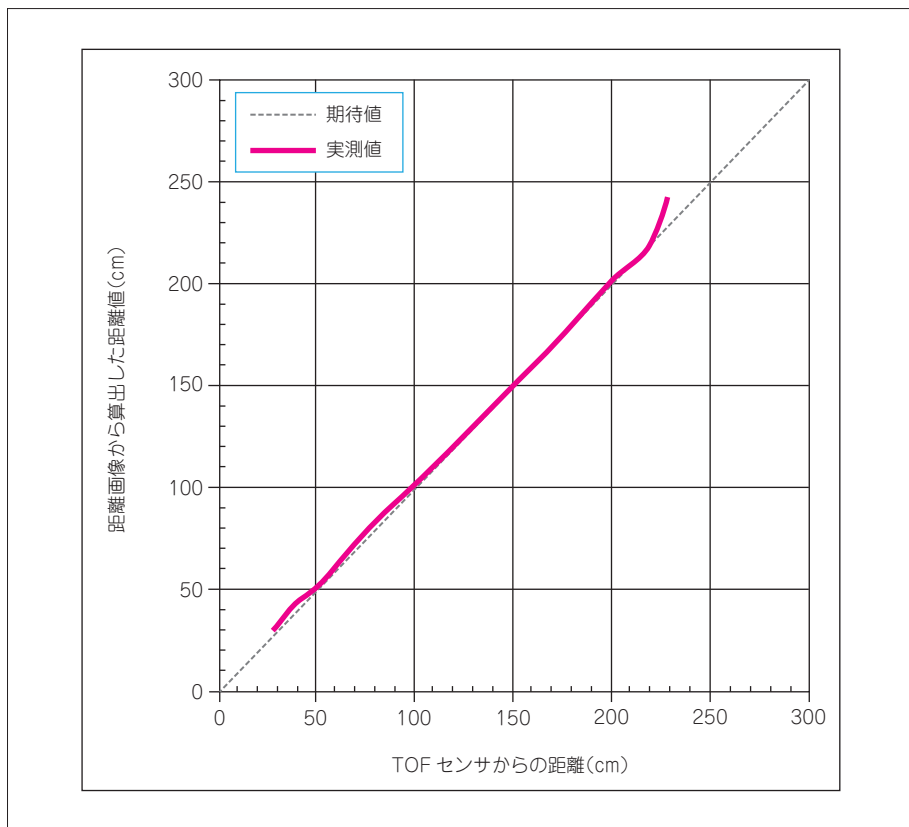


図 3-5 に輝度値と距離値の関係を示します。TOF-E02 の距離レンジが 0m ～ 3m なので、最も近い 0m を輝度値 100 IRE、最も遠い 3m を輝度値 0 IRE とします。また、3m 以上の遠方の場合など、画素の受光量が不足して距離値が不安定な部分も 0 IRE とします。

図 3-6 に、距離画像から算出した距離値の実測結果を示します。TOF センサのほぼ中心軸上で測定を行ったものです。

簡易的な測定ですが、期待値とほぼ一致しているのが分かります。ただし、0 ～ 30cm 間は TOF センサが飽和して、正しく距離を取得できませんでした。一方、220cm 以遠は受光レベルが低く、距離値が不安定ですが、物体の存在は検出できました。距離画像を NTSC で送信しても、実用上問題ないことが分かりました。

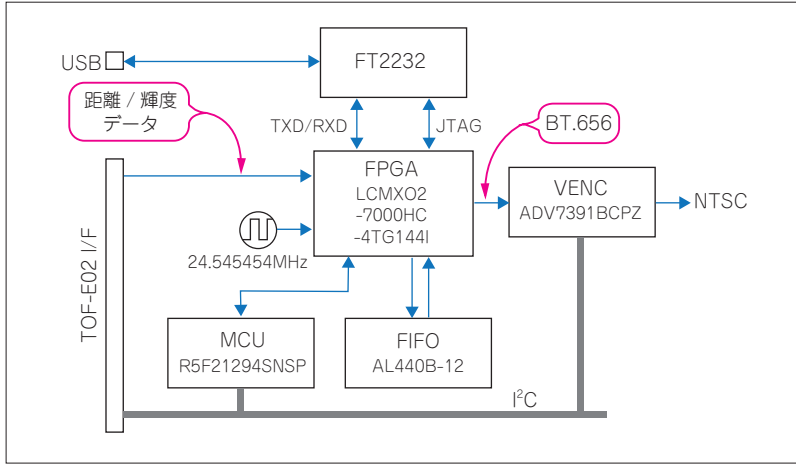
図 3-6 デモ機で測定した距離値の実測結果



3-4 NTSC I/F 基板の概要

図 3-7 に NTSC I/F 基板のブロック図を示します。TOF センサ制御基板が出力する距離画像、輝度画像のデジタル・データを、まず FPGA で処理した後、ビデオ・エンコーダを用いてアナログの NTSC 信号に変換します。

図 3-7 NTSC I/F 基板のブロック図



FPGA は LCMXO2-7000HC (Lattice Semiconductor) を用います。TOF センサ制御基板からの距離画像と輝度画像を、フォーマットに合わせて入力します。

距離データは 0 ~ 3000mm の値をとる 16 ビット・データです。これを、BT.656 規格に合わせた 8 ビットの 16 ~ 235 の輝度値にレベル変換します。さらに、近くは明るく、遠くは暗くなるように、0mm が 235 に、3000mm が 16 となるように変換します。これらの変換を行うと、距離分解能は 14mm 程度に低下します。

変換したデータは FIFO に書き込み、再び読み出します。距離画像、輝度画像ともに書き込み時の 1/2 の周波数で読み出せば、元の横幅の 320 画素は、2 倍の横幅 640 画素に引き伸ばされます。1 フレーム分のデータを FIFO に格納して取りこぼしを防いでいます。

最終的に、BT.656 規格に合わせてビデオ・エンコーダに出力します。

AL440B-12(Averlogic)は、大容量 512K バイトのビデオ向け FIFO で、最大 80MHz 動作が可能です。1 フレーム分の距離画像は $320 \times 240 \times 1$ バイト = 75K バイト、輝度画像も同じく 75K バイトであり、1 フレームあたり計 150K バイトを格納します。

ADV7391BCPZ(Analog Devices)は、BT.656 規格のデータを入力し、NTSC 信号に変換するビデオ・エンコーダです。24.545454MHz のビデオ・クロックを入力すれば、画素アスペクト比 1:1 のモードを利用できます。カラー画像の帯域幅は 4.24MHz ですが、SSAF フィルタ選択時は帯域幅 6.45MHz のモノクロ画像を出力できます。

R5F21294SNSP(ルネサス)は、1チップのマイクロコントローラです。TOF センサ制御基板と ADV7391 とを I²C バスで接続し、初期設定を行うためのものです。

FT2232(FTDI)は、USB シリアル変換 IC です。FPGA のコンフィグレーション・データを USB 経由で書き込みます。LCMXO2 はフラッシュメモリ内蔵型で、書き込みは 1 回で良く、常に USB 接続する必要はありません。FT2232 は基本的にデバッグ用です。

3-5 AG903 による画像処理

TOF センサの出力値は、伝送の過程で表 3-3 に示す範囲の値にレベル変換されます。

距離画像も輝度画像も、最終的に 0 ~ 255 の範囲をとる 256 階調の CLUT8 画像に変換して画像処理を行います。この変換には、AG903 の色空間変換機能を用います。

表 3-3 距離値と CLUT8 変換値の関係

項目	近い	遠い
TOF センサ出力値	0mm	3000mm
BT.656 Y 値	235	16
NTSC 信号レベル	100IRE	0IRE
距離画像 CLUT8 値	255(白)	0(黒)

AG903 は、3×3 の行列演算によって色空間を変換します。行列の各パラメータは任意の値を指定できるため、高い自由度の演算ができます。

NTSC 信号を AG903 内蔵ビデオ・デコーダで BT.656(YCbCr422)に変換した後、その Y 値を CLUT8 に変換する式は、次のようになります。

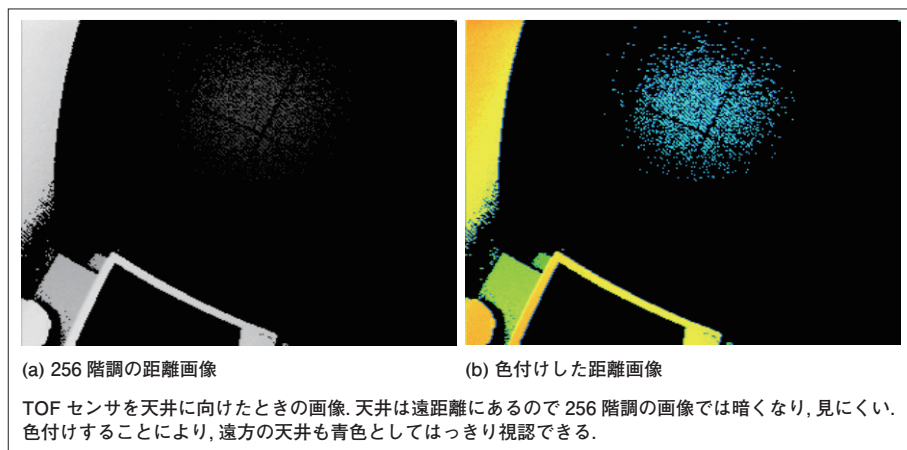
$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \frac{1}{512} \left\{ \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{255}{219} \times 512 \\ 0 & 0 & \frac{255}{219} \times 512 \\ 0 & 0 & \frac{255}{219} \times 512 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Cr \\ Cb \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -16 \times \frac{255}{219} \times 512 \\ -16 \times \frac{255}{219} \times 512 \\ -16 \times \frac{255}{219} \times 512 \end{pmatrix} \right\}$$

行列演算は整数演算です。演算誤差を抑えるためにまず 512 倍したパラメータを設定し、行列演算後の値を 512 で割って結果を得ます。変換後の値は R=G=B なので、どれか一つを選択して、CLUT8 画像として VRAM に格納します。

● 距離画像を色付けて表示する

256 階調のモノクロ・データは、物体の距離の検出には適していますが、画像として表示した場合の視認性が高くありません。特に、遠距離では輝度が低下して物体の存在が分かりにくくなります。距離ごとに色付けてカラー表示すれば視認性が高くなります(図 3-8)。

図 3-8 CLUT8 の距離画像と色付けした距離画像の比較



一例として、HLS 色空間 (HSL 色空間とも呼ばれる) での色付けを示します。

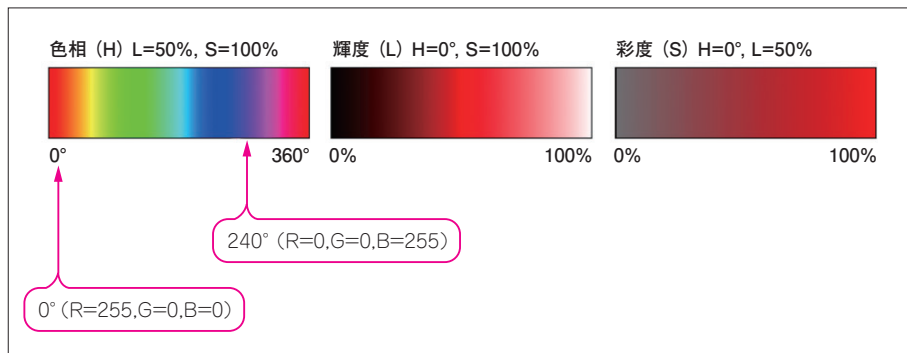
H (Hue) は色相で、色を $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ の角度で表した値です。

L (Luminance) は輝度で、色の明るさを $0\% \sim 100\%$ で表した値です。50% が純色で、低くすると暗くなり 0% で黒に、高くすると明るくなり、100% で白になります。

S (Saturation) は彩度で、色の鮮やかさを $0\% \sim 100\%$ で表した値です。100% が純色で、低くすると色が失われ 0% で灰色となります。

H, L, S の各値と表現される色の関係を図 3-9 に示します。

図 3-9 HLS 色空間



距離を色相に変換して色付けします。色相は角度が一周すると赤色に戻ってしまうため、距離値 0m ~ 3m を色相 0° (赤) ~ 240° (青) の範囲に変換します。センサに近い部分は赤色、中間は橙色 → 黄色 → 緑色 → 水色、遠い部分は青色となります。さらに、画面に表示する際は HLS から RGB に変換します。この変換も、AG903 内蔵の色空間変換機能で行えます。

BT.656(YCbCr422)のY値からHLSへの変換式を次式に示します。これによって、距離値と変換値の関係は表3-4のようになります。

$$\begin{pmatrix} L \\ S \\ H \end{pmatrix} = \frac{1}{512} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{160}{219} \times 512 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Cr \\ Cb \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 128 \times 512 \\ 255 \times 512 \\ 160 \times 512 + 16 \times \frac{160}{219} \times 512 \end{pmatrix}$$

表 3-4 距離値と HLS 変換値の関係

項目	近い	遠い
TOF センサ出力値	0mm	3000mm
BT.656 Y 値	235	16
HLS H 値	0° (0)	240° (160)
HLS L 値	50% (128)	50% (128)
HLS S 値	100% (255)	100% (255)



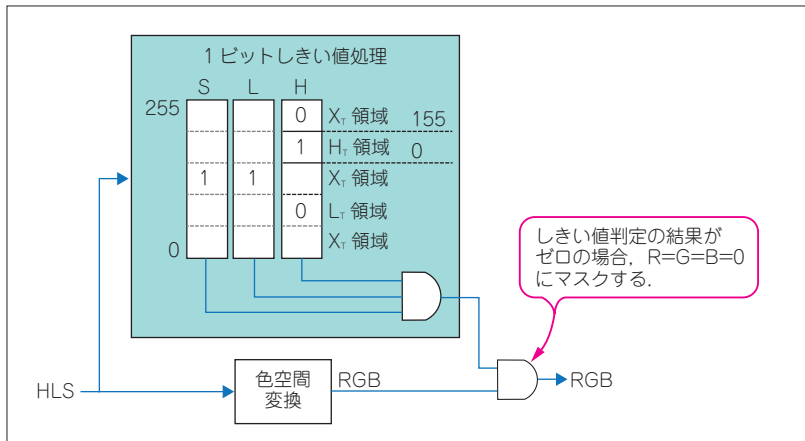
● 所望の距離範囲の画像を切り出す

この HLS 変換により、測定レンジの 3m 前後の部分は青色で表示されます。3m 以上も NTSC I/F 基板で 0 IRE としているので、背景も青色になって判別しにくくなります。視認性を向上させるため、ある距離以上の画素は黒色でマスクして表示しないようにします。

AG903 の画像切り出し機能を利用すれば、例えば 0 ~ 2.9m の範囲の画像だけを切り出すことができます。具体的には、 $2.9\text{m}/3\text{m} \times 160 \approx 155$ より、H 値 ≥ 155 の画像 (2.9m 以上離れた物体) は、1 ビットしきい値処理で黒色にマスクします。

図 3-10 に、画像切り出し処理部のブロック図を示します。

図 3-10 AG903 画像切り出し処理部の設定例



1ビットしきい値処理は、 H_T 領域、 L_T 領域、 H_T/L_T 領域以外の X_T 領域という3種類の領域を定義でき、それぞれの領域内のデータを0または1に変換できます。ここでは、HLSのH値に関しては、 H_T 領域を0～154としてその範囲の変換値を1に、それ以外の L_T/X_T 領域の変換値を0にします。また、L値とS値はしきい値判定しないため、 $H_T/L_T/X_T$ 領域の変換値は1固定にします。

$H_T/L_T/X_T$ 領域判定の優先順位は、 H_T 領域が最優先で $H_T > L_T > X_T$ の順です。これにより、H値が0～154以外の範囲では判定結果が0となり、画素は黒色にマスクされます。

この画像切り出し機能を用いれば、所望の距離範囲にある物体だけを切り出して、画像として表示することもできます。たとえば、0.8m～1mの範囲内にある物体を切り出す場合は、 $0.8m/3m \times 160 \div 43$ 、 $1m/3m \times 160 \div 53$ より、1ビットしきい値処理の H_T 領域を43～53と設定することで実現できます。

●画像内の特定の位置を切り出す

AG903のフレーム間演算機能を利用して、画像内の特定の位置を切り出すこともできます。フレーム間演算は、2つのフレーム間で画素ごとのAND、OR、XOR、ADD、ABSの各演算が行える機能です。減算は、ゲイン調整機能で負のゲインを掛けることで実現できます。

2つの入力間の演算や、VRAMに格納されたフレームとの演算ができます。VRAMに格納したフレームは、AG903の描画機能で生成した画像を利用できるので、リアルタイムに変更することが可能です。

物体検出を行いたい場合には、事前にVRAMにマスク画像を用意し、入力した画像とマスク画像をAND演算して部分的に画像を切り出すことが考えられます。マスク画像はCLUT1画像で作成すれば、VRAMの容量と帯域を節約できます。画素値1を有効画素、画素値0を無効画素として作成します。

このマスク処理は奥行きが考慮されませんが、センサの画素ごとにマスクをかけられるので、特定の位置に場所を絞り込んで距離検出が行えます。

●物体検出の実現

物体検出は、AG903のしきい値処理の後段にある面積計算機能を使用し、面積値を評価することによって実現できます。

CLUT8に変換された距離画像を、1ビットしきい値処理部で二値化します。画像切り出し機能で説明した、1ビットしきい値機能を用います。ここで、 $H_T/L_T/X_T$ 領域を設定し、所望の距離範囲の画像だけを1にし、それ以外を0に二値化します。

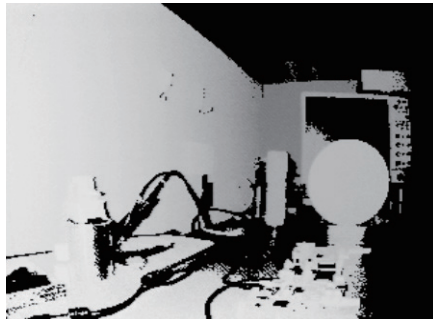
0.8m～1mの範囲内にある物体を切り出す場合は、 $0.8m/3m \times 255 = 68$ 、 $1m/3m \times 255 = 85$ より、1ビットしきい値処理の H_T 領域を68～85と設定することで実現できます。

面積計算機能は、フレーム内の白(画素値1)の画素の数をカウントします。所望の距離範囲に物体があればカウント数は大きくなり、無ければ0になります。この値をソフトウェアでフレームごとに監視すれば、物体検出が実現できます。

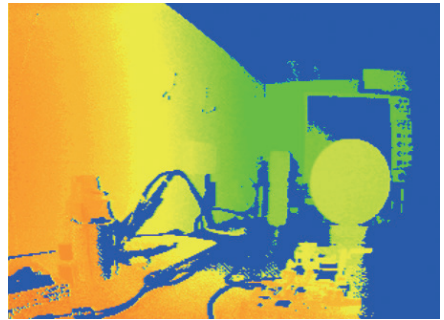
なお、二値化した画像はVRAMに出力しても、しなくてもどちらでも構いません。

ここまで見てきた各種の画像処理の例を、[図 3-11](#) に示します。

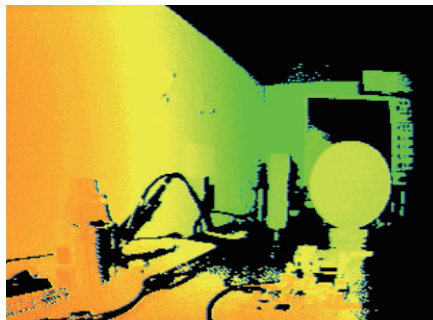
図 3-11 色付けした距離画像の例



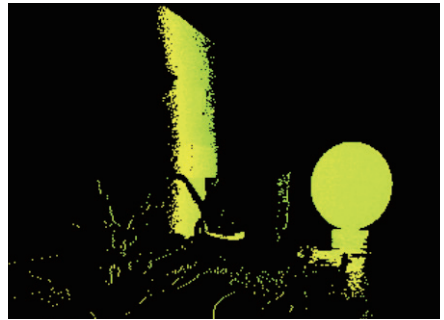
(a) CLUT8 の距離画像



(b) HLS 変換した距離画像



(c) HLS 変換し、更にセンサから 2.9m 以降を黒でマスクした距離画像



(d) センサから 0.8m ~ 1m の範囲内にある物体を切り出した距離画像



(e) 右図のマスク画像により、部分的に切り出した距離画像



(f) 部分切り出し用に用意したマスク画像. CLUT1 で作成. 白が有効画素を示す.

図 3-11 (a) は、256 階調の CLUT8 距離画像で、後の画像はすべてこれを基に画像処理を行っています。なお、この図 3-11 (a) は、図 3-6 に示した横幅 640 画素の距離画像を、横幅 320 画素に復元したのになっています。

図 3-11 (b) は、HLS 変換により距離値 0m ~ 3m を赤色 ~ 青色に色付けしたものです。距離が比較的近い部分は CLUT8 では明るく、HLS では橙色 ~ 黄色になっています。遠い部分は CLUT8 では暗く、HLS では青色になっています。

図 3-11 (c) は、センサから 2.9m 以降の遠方を黒色でマスクした距離画像です。自然な奥行き感が得られています。

図 3-11 (d) は、センサから 0.8m ~ 1m の範囲内を切り出した距離画像です。所望の距離範囲の物体だけが表示されています。

図 3-11 (e) は、マスク画像の範囲内だけを部分的に切り出した距離画像です。

図 3-11 (f) は、図 3-11 (e) の切り出しのために事前に用意したマスク画像です。

●画像のローパスフィルタ処理

画像に孤立点が多い場合、AG903 の 1 ビット空間フィルタをローパスフィルタとして機能させることで、孤立点の除去を図れます。ローパスフィルタ処理の例を図 3-13 に示します。

図 3-13 (a) は、センサから 0.8m ~ 1m の範囲内を切り出して二値化した距離画像です。ローパスフィルタ処理前であり、孤立点が目立ちます。

図 3-13 (b) は、ローパスフィルタ処理後の距離画像で、多くの孤立点が除去されていることが分かります。

二値化した物体の位置が必要な場合は、AG903 のラベリング機能を使用できます。離れた場所に複数の物体が存在しても、座標と範囲がリストアップされ VRAM に格納されます。

AG903 のもつ画像前処理機能のうち、ここまでの各種処理で用いてきた部分のブロック図を図 3-14 に示します。

図 3-14 AG903 画像前処理部のしきい値処理後段のブロック図

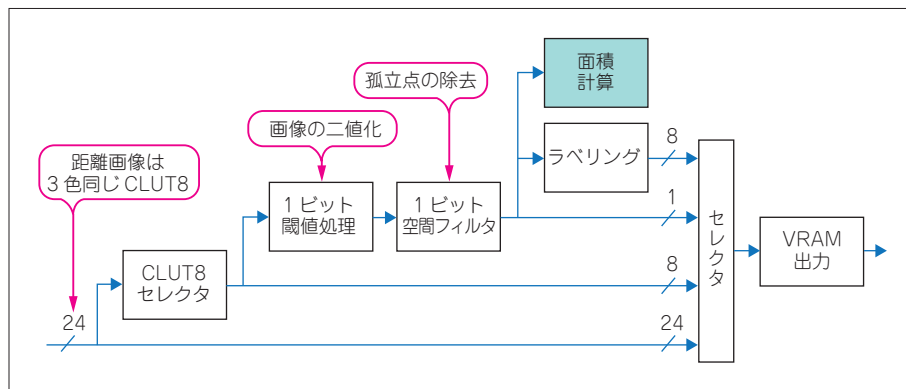
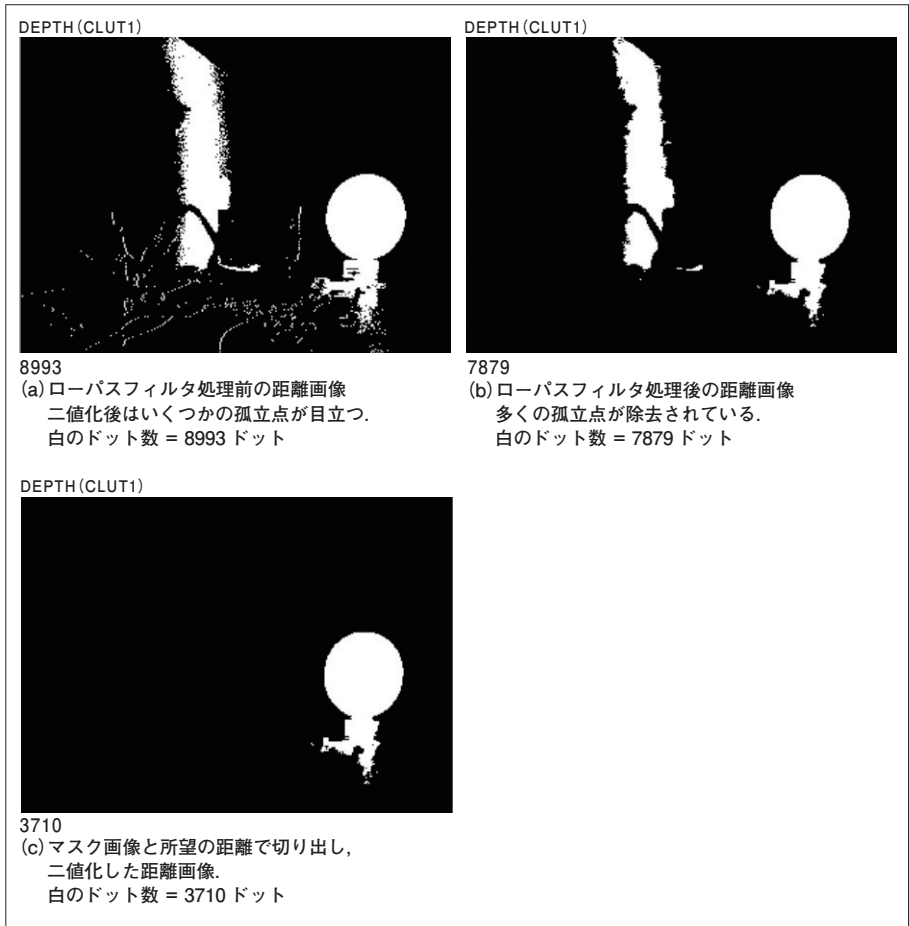


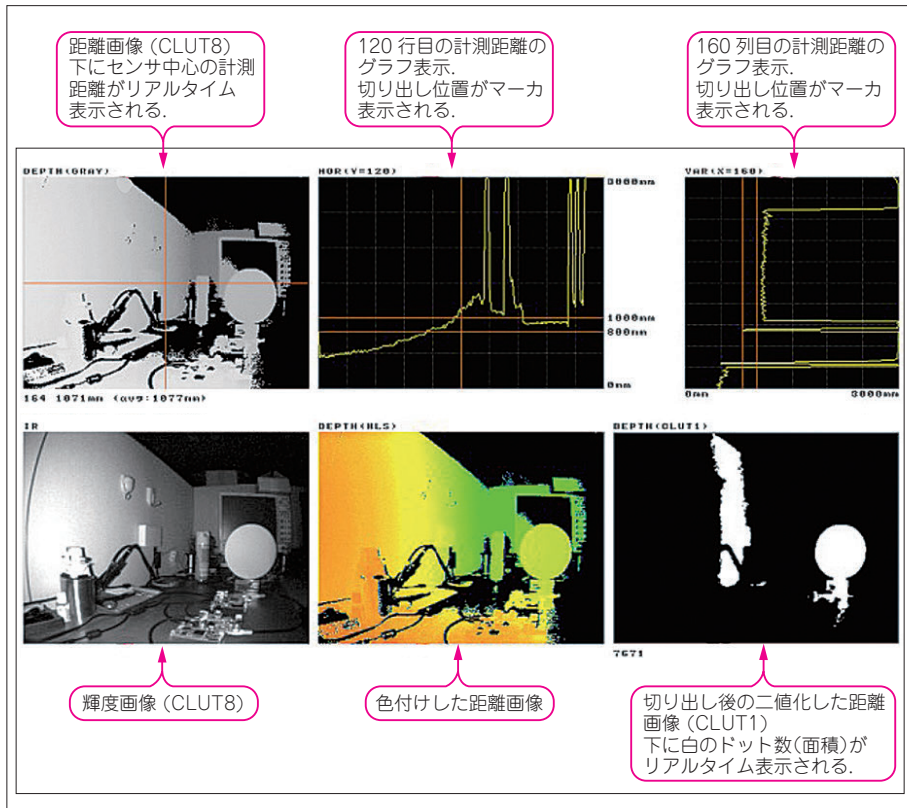
図 3-13 1ビット空間フィルタによるローパスフィルタ処理の例



3-6 AG903 による物体検出

TOF センサの出力を NTSC に変換して AG903 に取り込んだ後、AG903 が内蔵する画像前処理機能を用いて物体検出を行うまでを、ステップごとに説明してきました。図 3-14 は、この物体検出をデモとして行った場合の画面表示例です。

図 3-14 物体検出デモの画面表示例 (XGA 液晶モジュールに表示)

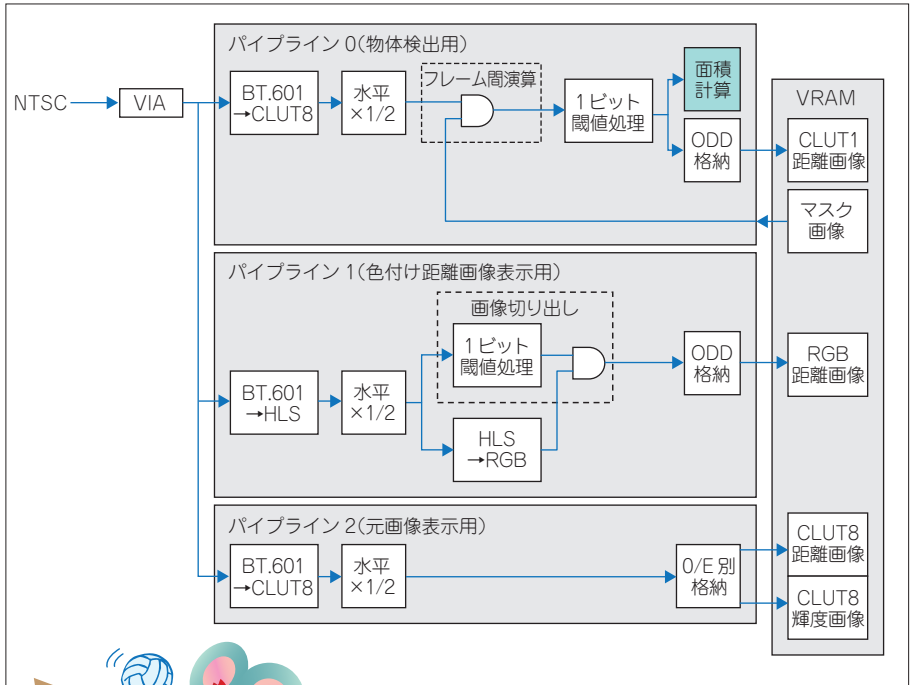


画面には、距離画像と輝度画像の他、特定行／列の距離値のグラフ、しきい値処理で得られた画像とその面積値をリアルタイム表示しています。

このデモでは、モニタ用に距離画像と輝度画像を表示するため、AG903 の画像前処理のパイプラインを同時に 3 つ使用し、それぞれ目的にあった設定をしています。それぞれのパイプラインに共通の入力ソースを設定することが可能です。

図 3-15 に、AG903 の画像前処理部に物体検出デモ用の設定をした場合のブロック図を示します。

図 3-15 物体検出デモ用の設定をした AG903 の画像前処理部



Column

NTSC 出力カメラ「CMC-01」



NEC エンベデッドプロダクツ製「CMC-01」は、CMOS イメージセンサを採用したアナログ信号出力の小型・軽量カメラモジュールです。AG903 との組み合わせで、小売店用設備に採用されています。

お問い合わせ : E-mail dm@necep.jp

第4章

AG903による AI画像認識の事例

本章では、AG903にAIを組み込んで、国旗カードの画像認識デモを行います。

AG903の画像前処理機能でカメラ画像を取り込み、CPUで画像認識し、結果を液晶パネルに表示します。AIは組み込み向け推論エンジンのailia SDK for RTOSを利用します。

AG903+ailia SDK for RTOSの活用で、1チップでAI画像認識を実現できます。

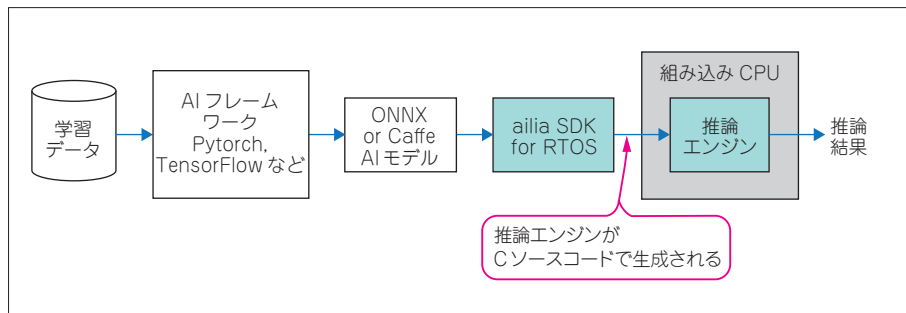
4-1 ailia SDK for RTOS とは？

ailia SDK for RTOSは、ax株式会社と株式会社アクセルが開発したディープラーニング推論エンジンで、RTOSや、OSなしの組み込みシステムでAIを実現できます。画像認識、音声認識、ジェスチャー認識、テキスト解析、センサ情報の分析などに使用できます。

ailia SDK for RTOSに学習済みのAIモデルを入力すると、レイヤーと重み情報で構成された推論エンジンが、C言語(C99準拠)のソース・コードとして自動生成されます。このソース・コードをユーザ・プログラムに組み込んでコンパイルし、推論を実行します。

図4-1に、ailia SDK for RTOSの実行フローを示します。

図4-1 ailia SDK for RTOSの実行フロー



推論エンジンの実行に特別なライブラリは不要で、単独で動作します。動的にメモリを確保するmalloc()関数なども使用しないので、大量にメモリを消費することはありません。

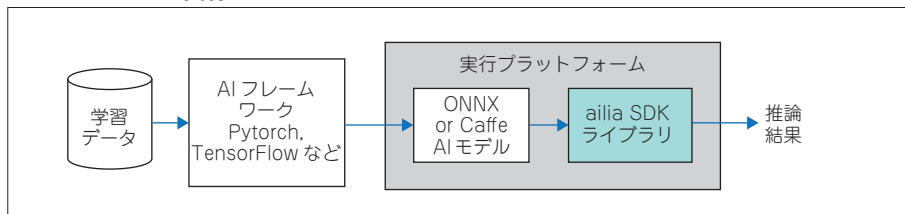
推論エンジンはAIモデルごとに異なるソース・コードとして生成されるので、AIモデルが変われば再度コード生成とコンパイルが必要です。C言語のソース・コードなので多くのCPUに対応可能で、コンパイル時にターゲットCPUに合わせて最適化できます。Arm NEONをサポートしているCPUであれば、より高速に実行できるようになります。

この、組み込みCPUで実行可能な高効率の推論エンジンを用いて、AIを利用したリアルタイム性の高い小型で省電力のエッジ・コンピューティングの実現が可能となります。

ax 株式会社では Windows, Mac, iOS, Android, Linux などの OS 上で実行する推論エンジンの ailia SDK も提供しています。実行時に AI モデルを読み込んで推論を行うクロス・プラットフォームのミドルウェアです。GPU を利用した高速、高性能な推論ができます。

図 4-2 に, ailia SDK の実行フローを示します。

図 4-2 ailia SDK の実行フロー

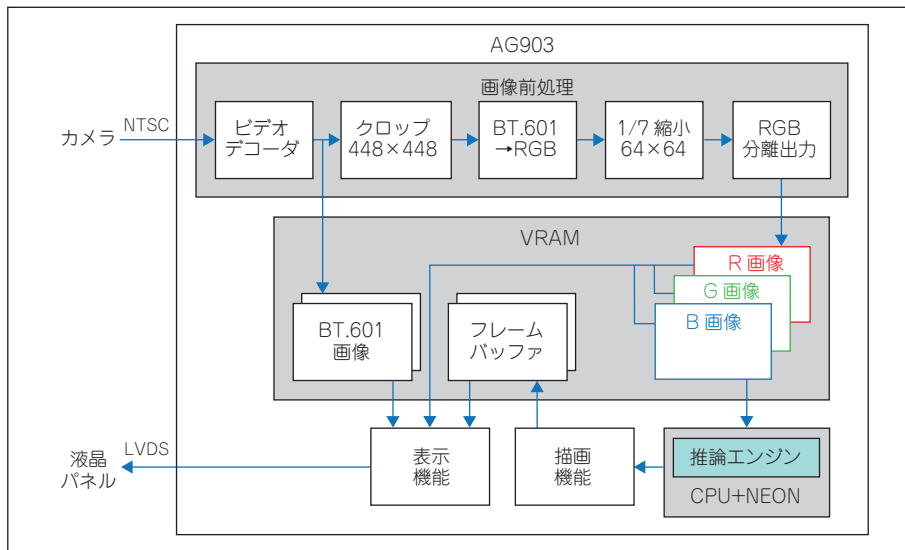


ailia SDK for RTOS, ailia SDK は, どちらも ONNX もしくは Caffe フォーマットの AI モデルで動作します。ONNX はフレームワーク間のモデル交換のためのフォーマットであり, Pytorch, TensorFlow などのオープンな AI フレームワークで学習したモデルを使用できます。また, Caffe で学習したモデルも使用できます。

4-2 国旗カード認識デモの概要

ailia SDK for RTOSで開発した AI 推論アプリケーションの事例として, 10 種類の国旗カードを認識する国旗カード認識デモを紹介します。図 4-3 にブロック図を示します。

図 4-3 国旗カード認識デモ機のブロック図



カメラの前に国旗カードを1枚置き、画像からどの国の国旗かを判定します。国旗カードは10種類で、カードが置かれていない状態を含めて11種類の画像を認識できます。

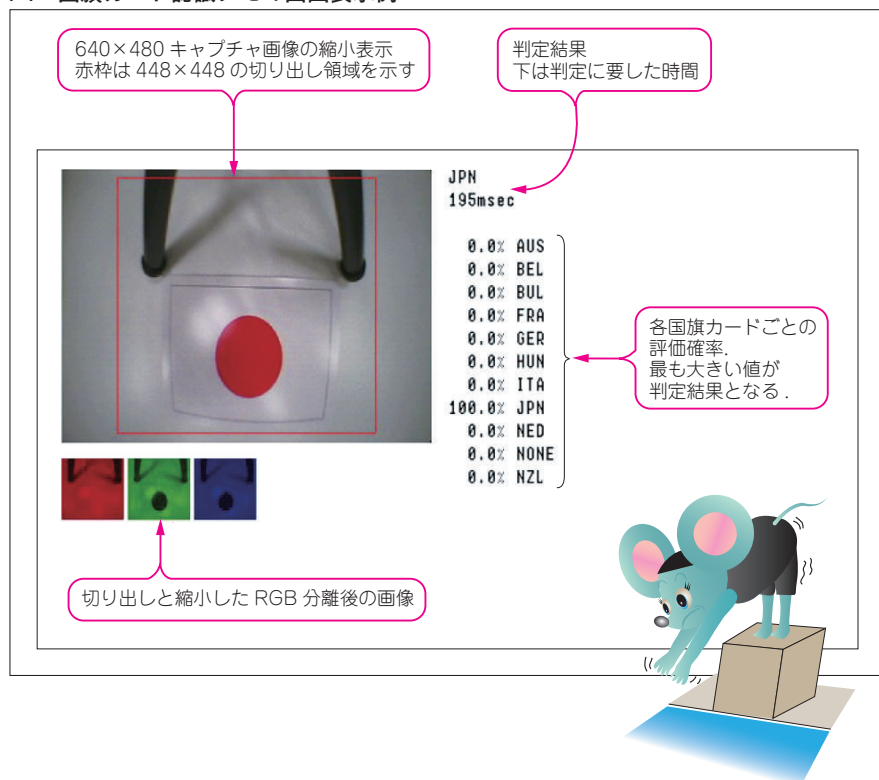
事前にAIフレームワークで国旗カードを学習してAIモデルを作成しておき、それを用いてailia SDK for RTOSで推論エンジンを生成します。推論エンジンに画像を入力すると、同時に11種類の評価結果が確率として得られ、最も高い確率の国が判定結果となります。

良好な環境で単一物体を画像認識する場合には、画像はかなり低解像度で良く、今回は64×64ピクセルの画像で国旗カードの学習と認識を行います。解像度が低いので、認識用カメラにはNTSC入力の安価な小型カメラを使えます。デモ機では、CMC-01(NECエンベデッドプロダクツ)を使い、640×480ピクセルで国旗カードをキャプチャします。

AG903の画像前処理部のうち、今回使用した機能を抜粋して説明します。まず画像から448×448ピクセルの領域を切り出し(クロップ)、色空間変換機能でBT.601(YCbCr422)形式をRGB888に変換し、縦横1/7に縮小して64×64ピクセルにします。推論エンジンはRGB分離画像を使用するので、R画像、G画像、B画像をVRAMに格納します。

VRAM内のRGB分離画像を推論エンジンで処理して、画像認識を行います。AG903はNEONが搭載されているため、推論エンジンをより高速に実行できます。判定結果を液晶パネルに表示するために、AG903の描画機能でフレーム・バッファに描画します。

図 4-4 国旗カード認識デモの画面表示例



VRAM内のそれぞれ異なる位置に、640×480ピクセルのキャプチャ画像(BT.601)、64×64ピクセルのRGB分離画像、判定結果の表示用画像が格納されます。表示回路のウィンドウ合成機能でこれらを1つの画面にレイアウトし、SVGAの液晶パネルに表示します。

図4-4に、画面表示の例を示します。

今回のデモを実行するのに必要な、主なメモリ使用量を表4-1に示します。推論エンジンを高速に動作させるため、推論エンジン本体は実行コード(P領域)、データ(C+D領域)、ワーク(B領域)を含め、すべてキャッシュ領域に配置しています。

推論エンジンに入力された画像データも、単精度浮動小数点(FP32)に変換してキャッシュ領域に格納し直してから推論エンジンを実行します。

表 4-1 デモプログラムの主なメモリ使用量

領域	用途	容量
非キャッシュ	BT.601 キャプチャ画像 ×2面	1.2Mバイト(640×480×2×2)
	RGB888 分離画像 ×2面	24Kバイト(64×64×3×2)
	RGB565 グラフィック画面 ×2面	1.8Mバイト(800×600×2×2)
	MMU テーブル	512Kバイト
キャッシュ	RGB 分離画像(FP32) ×1面	48Kバイト(64×64×3×4)
	プログラム(P+C+D+B)	466Kバイト
	推論エンジン(P+C+D+B)	1Mバイト
	推論エンジン(スタック)	433Kバイト

デモプログラムは GNU Arm Embedded Toolchain 4.9-2015-q3-update でコンパイルした。
P=.text領域 C=.rodata領域 D=.data領域 B=.bss領域

4-3 国旗カード認識デモの結果

図4-5に国旗カードの認識結果を示します。カメラの前に国旗カードを置けば自動的に認識を開始し、評価結果はリアルタイムに更新されます。

確率表示の0.0%は0.04%以下を示し、100%は99.95%以上を示します。照明などさまざまな影響により評価結果の確率値は上下することもあります。ほとんどの場合、99%以上の高確率ですべてのカードが判定できました。



Qt サービスメニュー for AG903

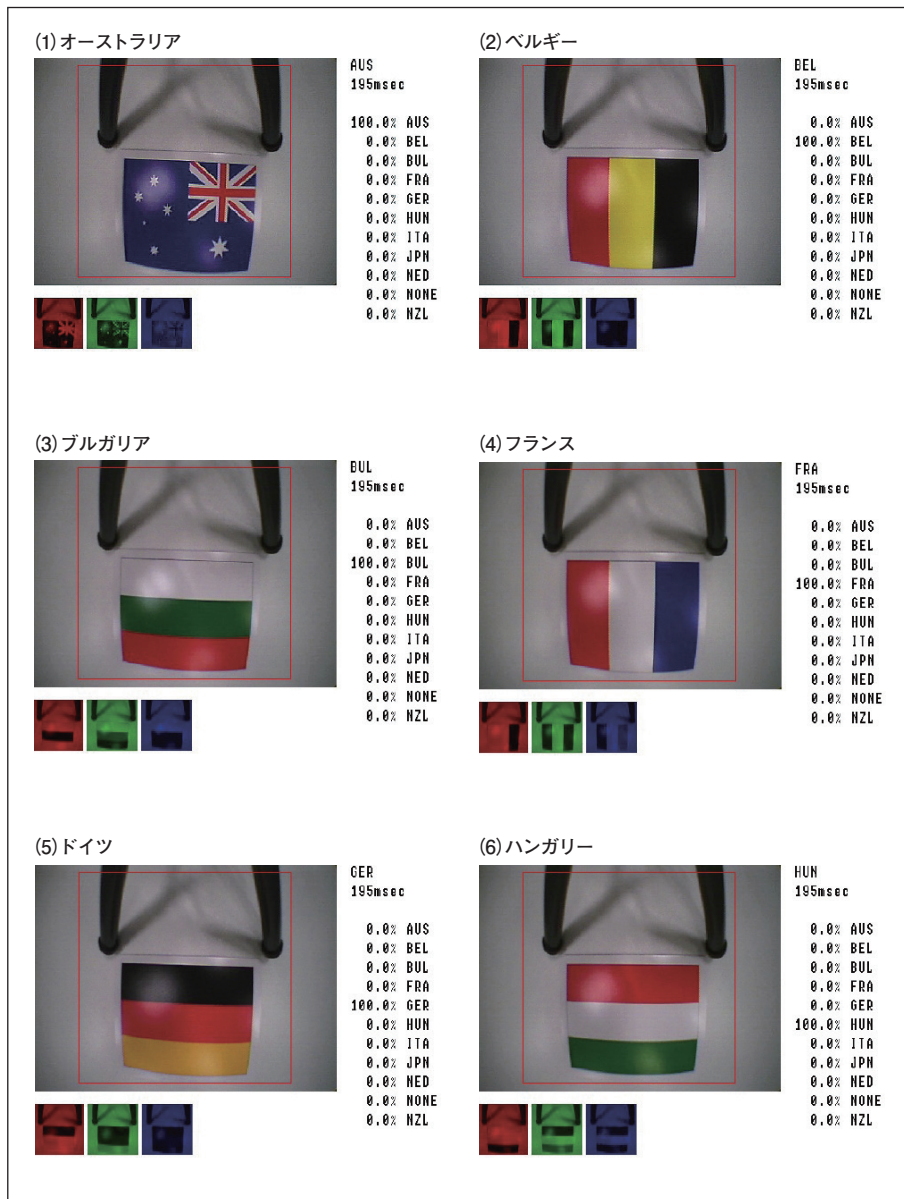


クロスプラットフォームアプリケーション・UI フレームワークのQtと、AG903ならではのアプリケーション開発を組み合わせたサービスパッケージ。

お問い合わせ：株式会社アイ・エス・ビー
E-mail proservices@isb.co.jp

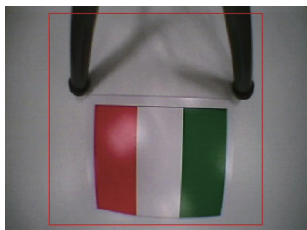
640×480ピクセルのキャプチャ画像を見ると、国旗カードに天井の照明がかなり映り込んでしまっていますが、それでも正しく判定できていることが分かります。

図 4-5 国旗カード認識デモの判定結果例



また、キャプチャしてから判定するまでの時間はいずれも 195msec で、高速に画像認識できることが分かりました。

(7) イタリア

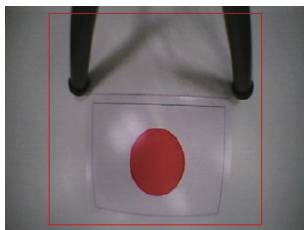


ITA
195msec

0.0%	AUS
0.0%	BEL
0.0%	BUL
0.0%	FRA
0.0%	GER
0.0%	HUN
100.0%	ITA
0.0%	JPN
0.0%	NED
0.0%	NONE
0.0%	NZL



(8) 日本



JPN
195msec

0.0%	AUS
0.0%	BEL
0.0%	BUL
0.0%	FRA
0.0%	GER
0.0%	HUN
0.0%	ITA
100.0%	JPN
0.0%	NED
0.0%	NONE
0.0%	NZL



(9) オランダ

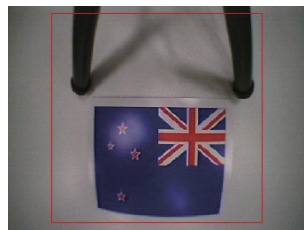


NED
195msec

0.0%	AUS
0.0%	BEL
0.0%	BUL
0.0%	FRA
0.0%	GER
0.0%	HUN
0.0%	ITA
0.0%	JPN
100.0%	NED
0.0%	NONE
0.0%	NZL



(10) ニュージーランド



NZL
195msec

0.0%	AUS
0.0%	BEL
0.0%	BUL
0.0%	FRA
0.0%	GER
0.0%	HUN
0.0%	ITA
0.0%	JPN
0.0%	NED
0.0%	NONE
100.0%	NZL



(11) カードなし



NONE
195msec

0.0%	AUS
0.0%	BEL
0.0%	BUL
0.0%	FRA
0.0%	GER
0.0%	HUN
0.0%	ITA
0.0%	JPN
0.0%	NED
100.0%	NONE
0.0%	NZL



付録 AG903 の主な仕様

本小冊子のデモ機で使用した AG903 の主な仕様を下表に示します。

機能	詳細	性能
内蔵 CPU	コア, クロック	ARM Cortex-A5, 400MHz
	FPU	ARM VFP3/NEON
	周辺機能	MMU, L1/L2 キャッシュ, DMAC, GIC, タイマ
内蔵 VRAM	容量	512M ビット (64M バイト) / 1G ビット (128M バイト)
ビデオ入力	入力 I/F	24 ビット・デジタル × 1 または 8 ビット・デジタル × 2, アナログ × 4
	入力フォーマット	RGB888/RGB565/YCbCr422 (デジタル) NTSC/PAL コンポジット (アナログ)
	最大解像度	4096 × 4096 ドット (演算パイプライン 1920 ドット × 1, 640 ドット × 1)
	入力ドット・クロック	最大 170MHz
ビデオ出力	出力 I/F	24 ビット・デジタル × 1 または 8 ビット・デジタル × 2, LVDS デュアル × 1 または LVDS シングル × 2
	出力フォーマット	RGB888/RGB565/YCbCr422 (デジタル)
	最大解像度	1920 × 1200, 60Hz (デジタル) 1366 × 768, 60Hz (LVDS シングル) 1920 × 1200, 60Hz (LVDS デュアル)
	出力ドット・クロック	最大 170MHz
	発色数	最大 24 ビット
	機能	16 ウィンドウ (2 画面合計), 拡大 / 縮小, 反転, 色補正 ウィンドウ間合成, 色空間変換, ディザリング, バックライト制御
描画	対応 API	OpenVG1.1 準拠 API, AG9 描画 API
画像圧縮 / 伸張	圧縮方式	JPEG (圧縮 / 伸張), H.264 (伸張), AG9 形式 (可逆伸張)
画像処理	機能	I/P 変換, クロップ, ノイズフィルタ, 色空間変換, HSV/HLS 変換, 縮小, 空間フィルタ, 濃度変換, 閾値処理, ラベリング, ヒストグラム生成, フレーム間演算, ディザリング
外部 I/F	CPU 周辺 I/F	UART × 4, 同期シリアル × 4, I2C × 2, タイマ × 4, バックライト制御 × 2, EQS × 1, GPIO, デバッグ
	イーサネット	MII/RMII (10/100M) × 1
	USB	USB2.0 (HS/FS/LS) × 1 (ホスト / ファンクション切替)
	オーディオ	I2S / 右詰め / 左詰め / TDM × 4, HD Audio × 1
	メディア	CF カード (TrueIDE/PC カード), SD カード (SDSC/SDHC/SDIO/MMC)
パラレル・バス I/F	バス幅, クロック	32/16/8 ビット, 最大 66MHz
	アドレス空間	26 ビット (64M バイト)
	メモリ I/F	SRAM/SDRAM I/F
デバイス・モード	バス幅, クロック	32/16 ビット, 最大 66MHz
	アドレス空間	26 ビット (64M バイト)
	データ転送モード	デュアル・アドレス・モード
クロック		24/25/27/30/48/50MHz
動作電圧		コア: 1.15V, I/O: 1.8V または 3.3V, アナログ: 1.8V, VRAM: 1.8V
パッケージ		256 ピン QFP (底面放熱パッド付き), 28 × 28mm

著
者
略
歴

- 麻生 勝之(あそう・かつゆき)
株式会社 アクセル. スキーとお酒をこよなく愛するエンジニア.
ジョギング中に「やり切るまで続けないのはいけない」と考える毎週末.
- 宮崎 仁(みやざき・ひとし)
有限会社 宮崎技術研究所. 一人で何役もこなすユーティリティ・エンジニアを目指すも、なかなか道はけわしいと思う今日この頃.

●本誌掲載記事の利用についてのご案内

本誌掲載記事には著作権があり、また工業所有権が確立されている場合があります。したがって、個人で利用される場合以外は所有者の承諾が必要です。
また、掲載された回路、技術、プログラムを利用して生じたトラブルなどについては、小社ならびに著作権者は責任を負いかねますのでご了承ください。
本誌に記載されている社名、および製品名は、一般に開発メーカーの登録商標または商標です。なお本文中では™、®, ©の各表示を明記しておりません。

●本書に関する質問について

電子メール、電話でのお問い合わせは応じかねます。文章、数式などの記述上の不明点についてのご質問は、必ず往復はがきか返信用封筒を同封した封書でお願いいたします。ご質問は著者に回送し直接回答していただきますので、多少時間がかかります。また、本書の記載範囲を超えるご質問には応じられませんので、ご了承ください。

トランスタ技術 特別小冊子(非売品)

適材適所の画像処理技術!!

著者 麻生 勝之/宮崎 仁
発行人 寺前 裕司
編集人 中元 正夫
発行所 CQ 出版株式会社
〒112-8619 東京都文京区千石 4-29-14
(03)5395-2123 (出版部)
(03)5395-2141 (販売部)
振替 00100-7-10665
Printed in Japan

(無断転載を禁じます)

わきまえた、煌めき。

京都室町に280年続く老舗の帯匠・誉田屋の十代目山口源兵衛。原始布や古代繭、天蚕といった素材にこだわりの類い希な技術で見事な作品を完成させることで、古から綿々と続く伝統を受け継ぎながら、その先に繋がる未来へと、帯の新境地を開拓し続けています。山口源兵衛の帯は、丁寧な一つ一つの駒さばきが、帯全体を構成するための強い意志に裏打ちされ、隅々まで入念に仕上げられた芸術としての雰囲気醸し出しています。

その姿は比類のない精緻さや完成度を誇りながら、徒に自己を主張するのではなく、着物と組み合わせた和装全体での調和が考慮された、非常に穏やかな表情を見せています。そこには一分の隙も無駄も存在していません。

己の役割をわきまえたもののみがもつ端正な佇まいと美しさ、その輝きは主役たる着物に決して引けを取るものではありません。私たちがこの帯のようなSOCを目指しています。

組み込み機器向けグラフィックス LSI

AG903



AG903 主な仕様

描画エンジン	Open VG™ 1.1 対応
CPUコア	Arm® Cortex®-A5 400MHz
内蔵 DRAM 容量	64M バイト (512Mbit) / 128M バイト (1Gbit)
ビデオ入力	CMOS デジタル (24 bit) × 1、アナログ (NTSC/PAL) × 4
ビデオ出力	CMOS デジタル (24 bit) × 1、LVDS デュアル × 1
最大解像度	1920 × 1200 (1出力時)
画像コーデック	JPEG (圧縮伸長)、H.264 (伸長)
電源電圧	コア 1.15V、I/O 1.8 または 3.3V (選択可能)、アナログ 1.8V、DRAM 1.8V
パッケージ	QFP 256 pin、28mm × 28mm
その他	画像処理機能、外部 CPU からの制御

* Arm および Cortex は Arm Ltd. またはその子会社の登録商標です。

* Open VG は The Khronos Group Inc. の商標です。

* その他の社名、製品名などは、一般に、各社の商標または登録商標です。