

RZ/A2M グループ

物体検出 アプリケーションノート

要旨

RZ/A2M 用物体検出 サンプルプログラムについて解説します。

動作確認デバイス

RZ/A2M

目次

1. 概要	3
2. 動作確認条件	4
3. ファイル構成	6
4. サンプルプログラム解説	6
4.1 入出力仕様	8
4.1.1 入力仕様	8
4.1.2 出力仕様	8
4.2 処理詳細	9
4.2.1 簡易 ISP	9
4.2.2 自動露出補正(AE)	9
4.2.3 画像の縮小	12
4.2.4 ノイズ除去	13
4.2.5 エッジ検出処理	14
4.2.6 輪郭検出	15
4.2.7 カラー画像出力	16
4.2.8 カラー画像切り出し	17
4.2.9 切り出した画像の縮小	18
4.3 結果出力	19
5. DRP ライブラリ	20
6. 参考ドキュメント	21
改訂記録	22

1. 概要

本アプリケーションノートは DRP（Dynamically Reconfigurable Processor）で、入力画像中の物体の輪郭を検出するサンプルプログラムについて説明します。

本サンプルプログラムは、カメラで撮影した画像の輪郭情報を取得し、物体の検出をすることができます。画像の前処理から輪郭情報を取得するまでの工程に DRP を使用することで、CPU で処理させた時と比較して高速処理ができます。また、物体検出処理の結果をモニタへ表示することができます。以下に本サンプルプログラムの特長を示します。

1. 簡易 ISP 【注】を用いて、屋内外問わず、周辺の明るさに影響されずに物体検出を行います。
2. RZ/A2M 搭載の DRP を利用して、リアルタイムで物体検出をします。
3. 検出結果をモニタに出力します。

【注】 DRP Library の簡易 ISP 機能です。詳細は 4.2.1 簡易 ISP を参照してください。

図 1.1 図 1.1 物体検出サンプルプログラムのシステム概要に物体検出サンプルプログラムのシステム概要を示します。

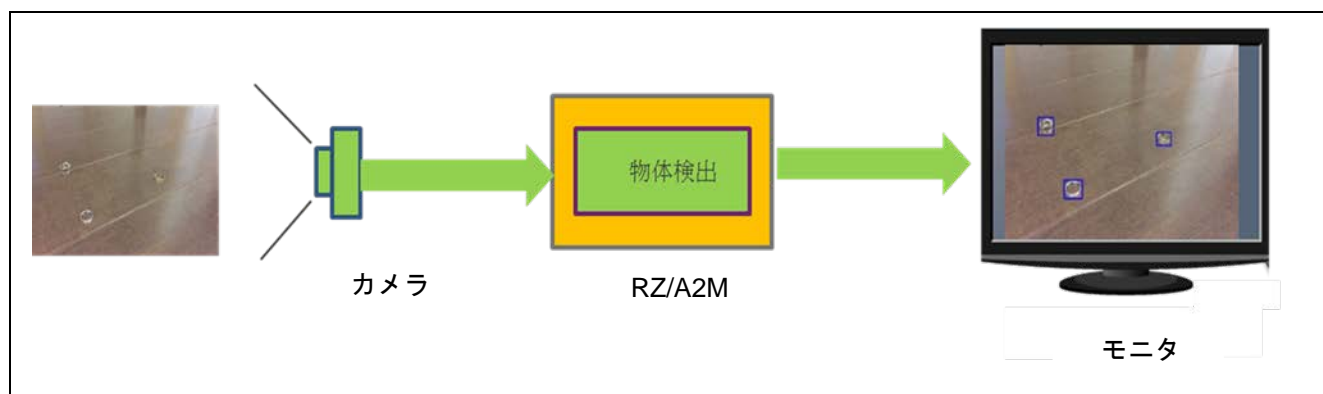


図 1.1 物体検出サンプルプログラムのシステム概要

2. 動作確認条件

図 2.1 に本サンプルプログラムの動作確認環境を示します。DIP SW とジャンパの設定は、readme.txt を参照してください。モニタの表示内容は、4.1.2 出力仕様を参照してください。

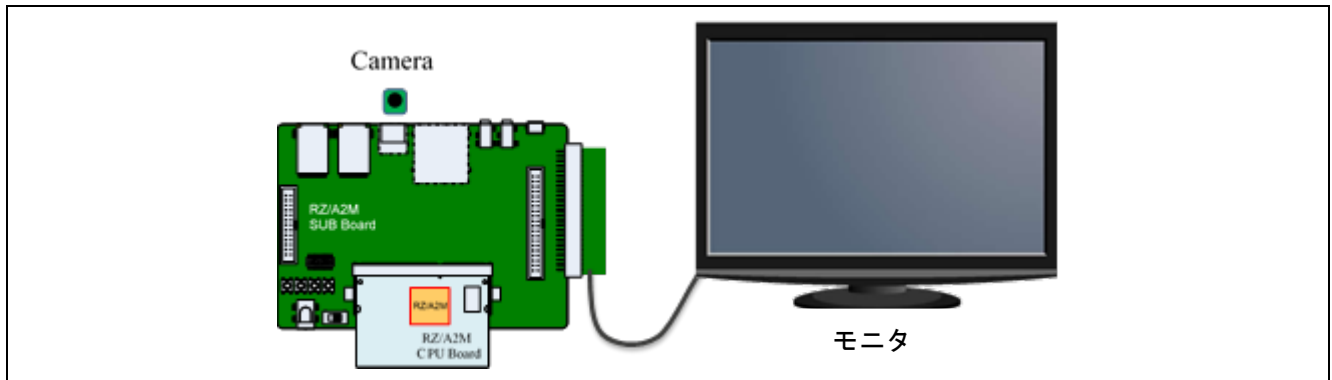


図 2.1 動作確認環境

本サンプルプログラムは、RZ/A2M Evaluation Board Kit に付属されているカメラ（Raspberry Pi Camera V2）を使用することができます。

本サンプルプログラムは表 2.1 の条件で動作を確認しています。

表 2.1 動作確認条件

項目	内容
使用 MCU	RZ/A2M
動作周波数 (注)	CPU クロック (I ϕ) : 528MHz 画像処理クロック (G ϕ) : 264MHz 内部バスクロック (B ϕ) : 132MHz 周辺クロック 1 (P1 ϕ) : 66MHz 周辺クロック 0 (P0 ϕ) : 33MHz QSPI0_SPCLK : 66MHz CKIO : 132MHz
動作電圧	電源電圧 (I/O) : 3.3V 電源電圧 (1.8/3.3V 切替 I/O (PVcc_SPI)) : 3.3V 電源電圧 (内部) : 1.2V
統合開発環境	e2 studio V7.4.0
C コンパイラ	GNU Arm Embedded Toolchain 6-2017-q2-update コンパイラオプション (ディレクトリパスの追加は除く) Release: -mcpu=cortex-a9 -march=armv7-a -marm -mlittle-endian -mfloat-abi=hard -mfpu=neon -mno-unaligned-access -Os -ffunction-sections -fdata-sections -Wunused -Wuninitialized -Wall -Wextra -Wmissing-declarations -Wconversion -Wpointer-arith -Wpadded -Wshadow -Wlogical-op -Waggregate-return -Wfloat-equal -Wnull-dereference -Wmaybe-uninitialized -Wstack-usage=100 -fabi-version=0 Hardware Debug: -mcpu=cortex-a9 -march=armv7-a -marm -mlittle-endian -mfloat-abi=hard -mfpu=neon -mno-unaligned-access -Og -ffunction-sections -fdata-sections -Wunused -Wuninitialized -Wall -Wextra -Wmissing-declarations -Wconversion -Wpointer-arith -Wpadded -Wshadow -Wlogical-op -Waggregate-return -Wfloat-equal -Wnull-dereference -Wmaybe-uninitialized -g3 -Wstack-usage=100 -fabi-version=0
動作モード	ブートモード 3 (シリアルフラッシュブート 3.3V 品)
使用ボード	RZ/A2M CPU ボード RTK7921053C00000BE RZ/A2M SUB ボード RTK79210XXB00000BE
使用デバイス (ボード上で使用する機能)	<ul style="list-style-type: none"> シリアルフラッシュメモリ (SPI マルチ I/O バス空間に接続) メーカー名 : Macronix 社、型名 : MX25L51245GXD RL78/G1C (USB 通信とシリアル通信を変換し、ホスト PC との通信に使用) LED1

【注】 クロックモード 1 (EXTAL 端子からの 24MHz のクロック入力) で使用時の動作周波数です。

3. ファイル構成

ファイル構成は、RZ/A2M グループ Simple Applications Package リリースノート(R01AN4494)を参照してください。

本サンプルプログラムには、表 3.1 のオープンソースソフトウェアが同梱されています。

表 3.1 オープンソースソフトウェア

名称	説明
FreeRTOS	MIT ライセンスで配布されているオープンソースのソフトウェアです。 MIT ライセンスについては、 https://opensource.org/licenses/mit-license.php を参照してください。 FreeRTOS は、組み込みマイコン向けのリアルタイムオペレーションシステムカーネルです。本サンプルプログラムでは、Kernel V10.0.0 を使用しています。

4. サンプルプログラム解説

本章では入出力仕様、サンプルプログラムに使用されている輪郭検出処理の詳細、結果出力について説明します。

簡易 ISP、輪郭検出処理、結果出力の 3 つの処理で構成されています。カメラで撮影した画像に対し、以下の処理を行っています。各処理の詳細は 4.2 章を参照してください。

1. 簡易 ISP：物体検出の精度向上やノイズによる物体の誤検出の防止のために、画質を改善します。
2. 輪郭検出処理：入力画像内の輪郭を検出することで物体を検出します。
3. 結果出力：検出結果をモニタに出力します。

図 4.1 に物体検出サンプルプログラムのシステムブロック、図 4.2 にその処理フローチャートを示します。

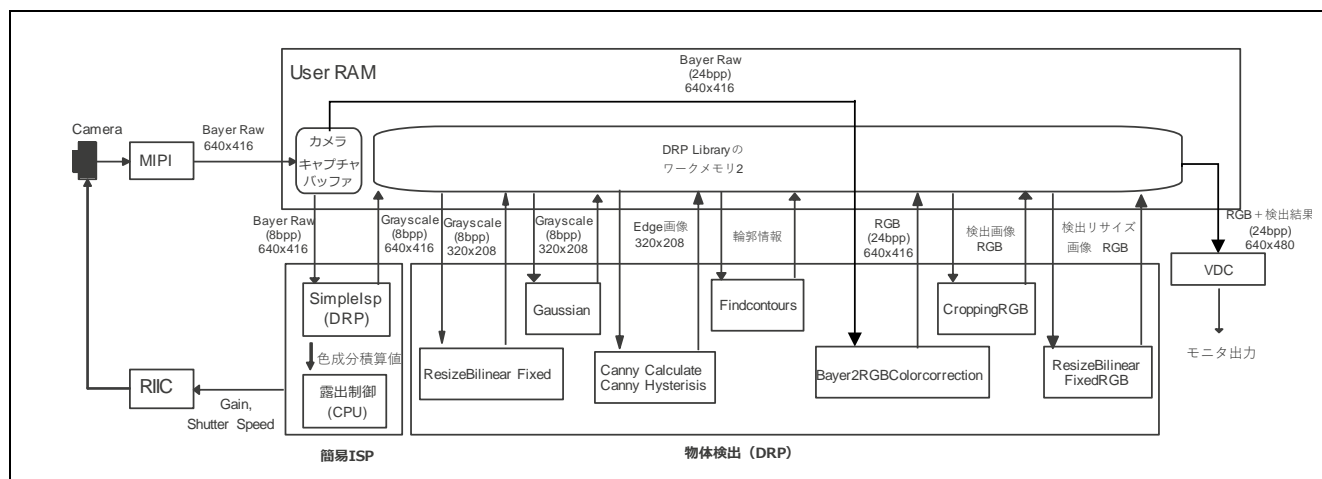


図 4.1 物体検出サンプルプログラムのシステムブロック

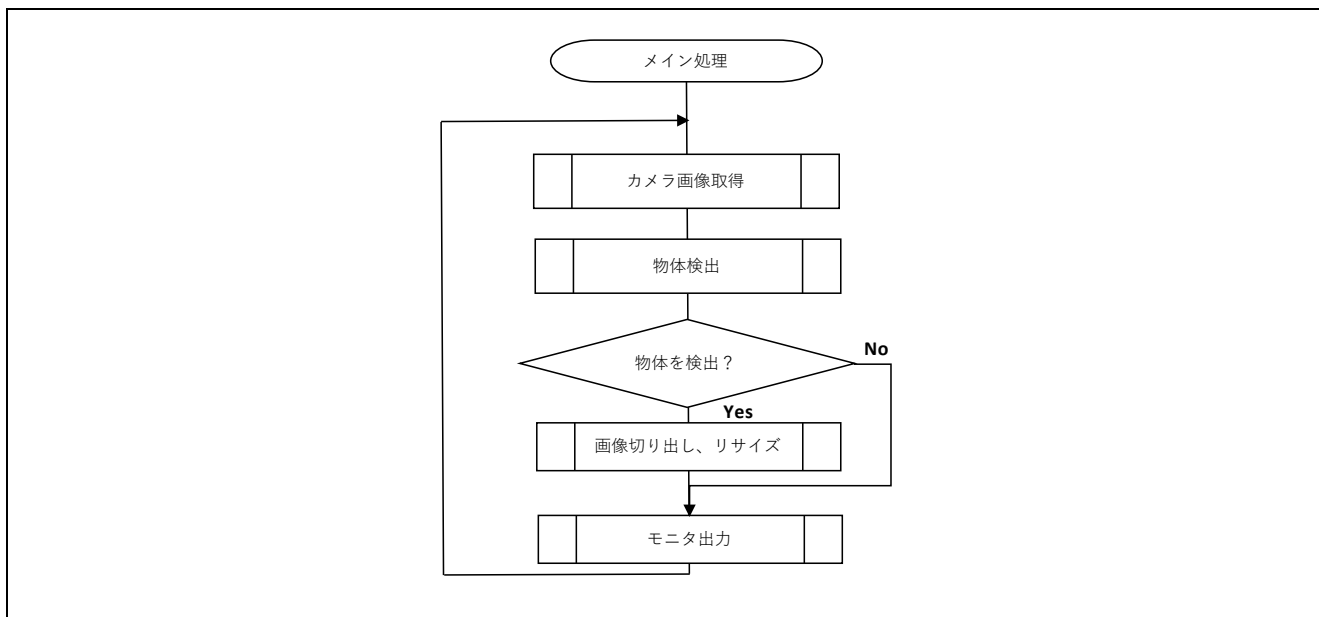


図 4.2 物体検出サンプルプログラム 処理フローチャート

4.1 入出力仕様

4.1.1 入力仕様

表 4.1 に、本サンプルプログラムのカメラ設定を示します。

表 4.1 カメラ設定

入力画像フォーマット	ベイヤフォーマット 8[bit per pixel]
画像キャプチャサイズ	640×416
キャプチャフレームレート	4.2.2 自動露出補正(AE)によって、キャプチャフレームレートが 20~24fps の間で変動します。

4.1.2 出力仕様

本サンプルプログラムは物体検出処理の結果をモニタで確認することができます。また、検出した物体を 64×64 のサイズにリサイズし表示します。

表 4.2 に本サンプルプログラムで使用するモニタの出力仕様を示します。

表 4.2 モニタ出力仕様

画像の解像度	640×480
画像表示フレームレート	60 fps

4.2 処理詳細

4.2.1 簡易 ISP

物体の検出精度向上、ノイズによる物体の誤検出の防止のために画質を改善します。また、物体検出処理を行う際には色情報は不要なため、入力画像をグレースケールに変換します。DRP Library の簡易 ISP を使用して、以下の処理を行います。簡易 ISP の詳細は、「DRP Library ユーザーズマニュアル(R01US0367)」を参照してください。

本章で説明する処理は、本サンプルプログラムのソースコード「r_bcd_main.c」ファイルの「sample_main」関数内のコメント「/* Function : Simple ISP(AE, Bayer to grayscale conversion, Noise reduction) */」以降に実装しています。

4.2.2 自動露出補正(AE)

簡易 ISP の出力した色成分積算値を基に、図 4.3 のようにカメラの露出（シャッター速度と、カメラゲイン調整）を補正します。カメラの露出制御はCPUで行います。カメラ制御の処理フローは図 4.4 AE 処理フロー、図 4.5 カメラ動作設定(明るく)フローチャート、図 4.6 カメラ動作設定(暗く)フローチャート、図 4.7 物体検出処理フローをそれぞれ参照してください。

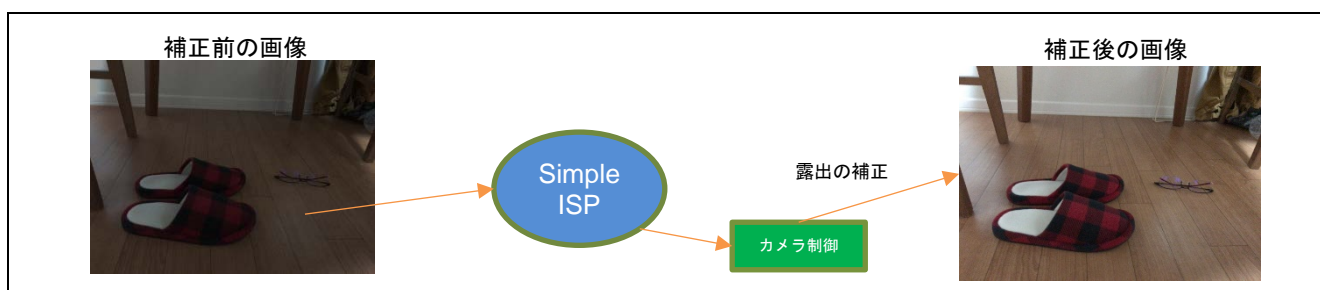


図 4.3 明度積算処理

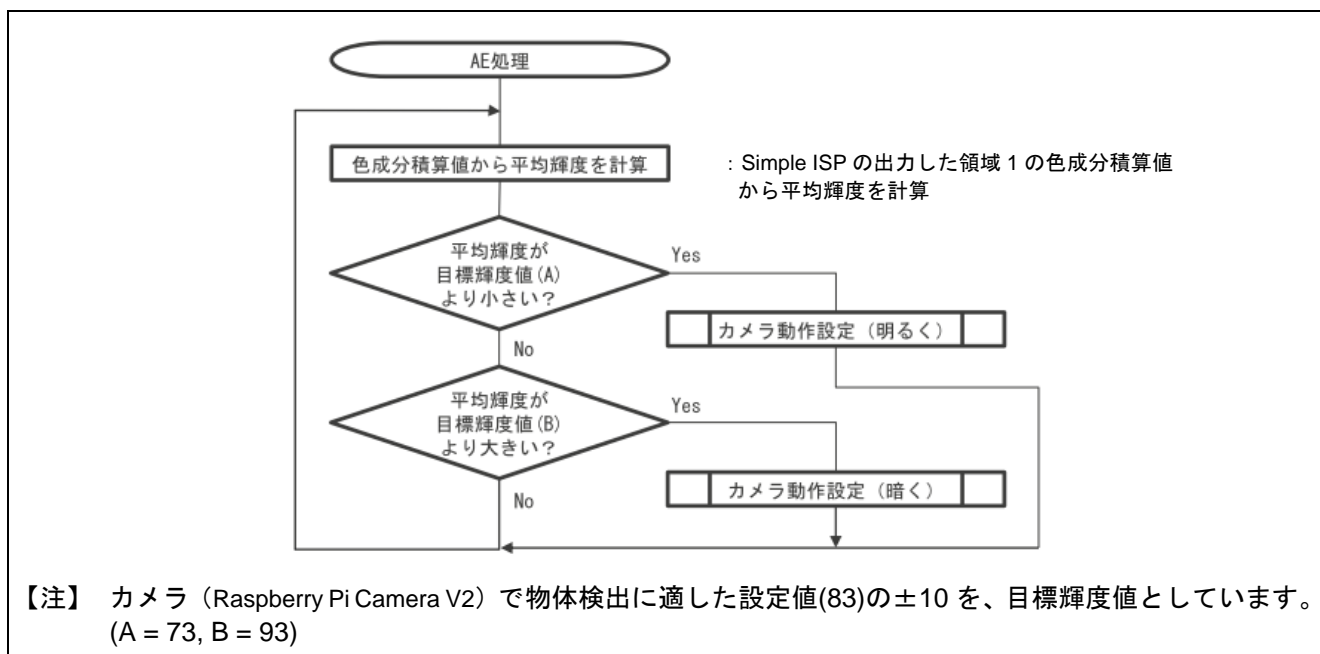


図 4.4 AE 処理フロー

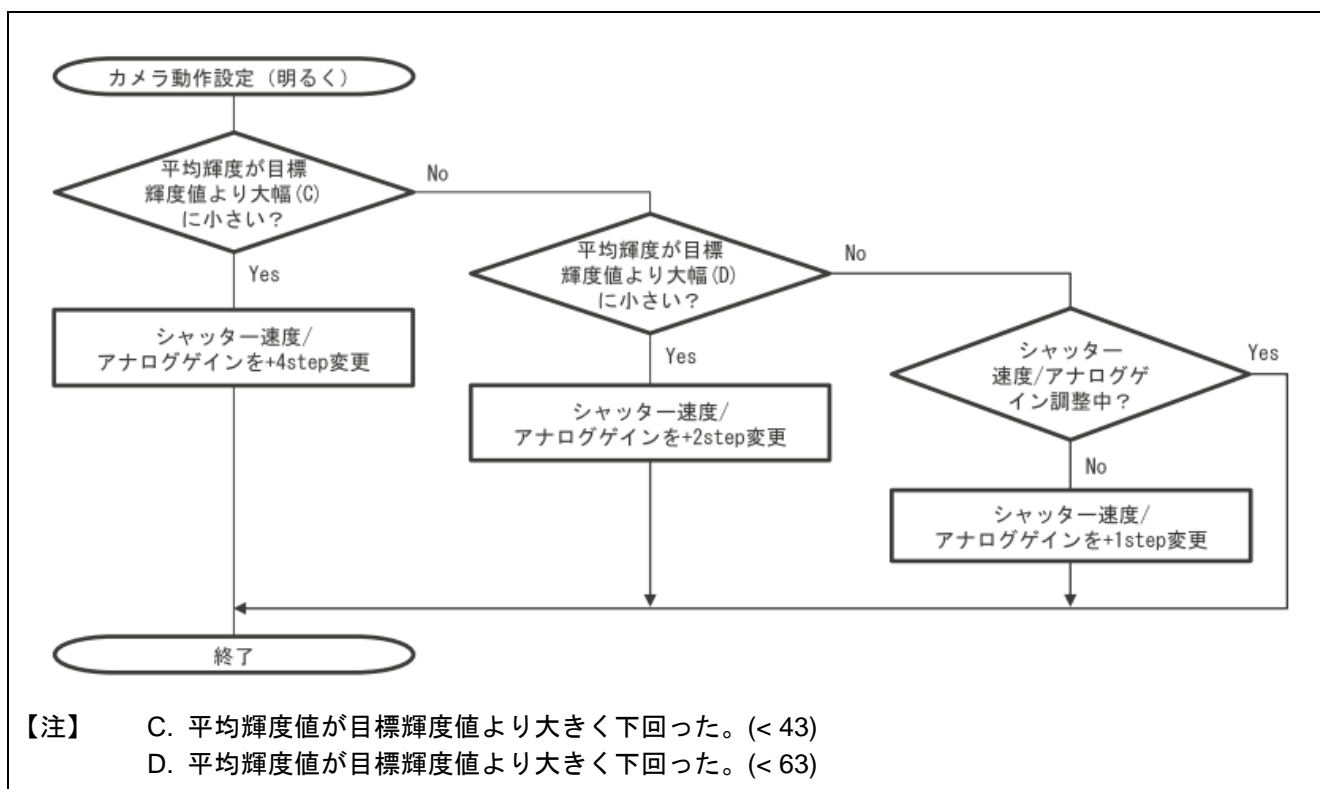


図 4.5 カメラ動作設定(明るく) フローチャート

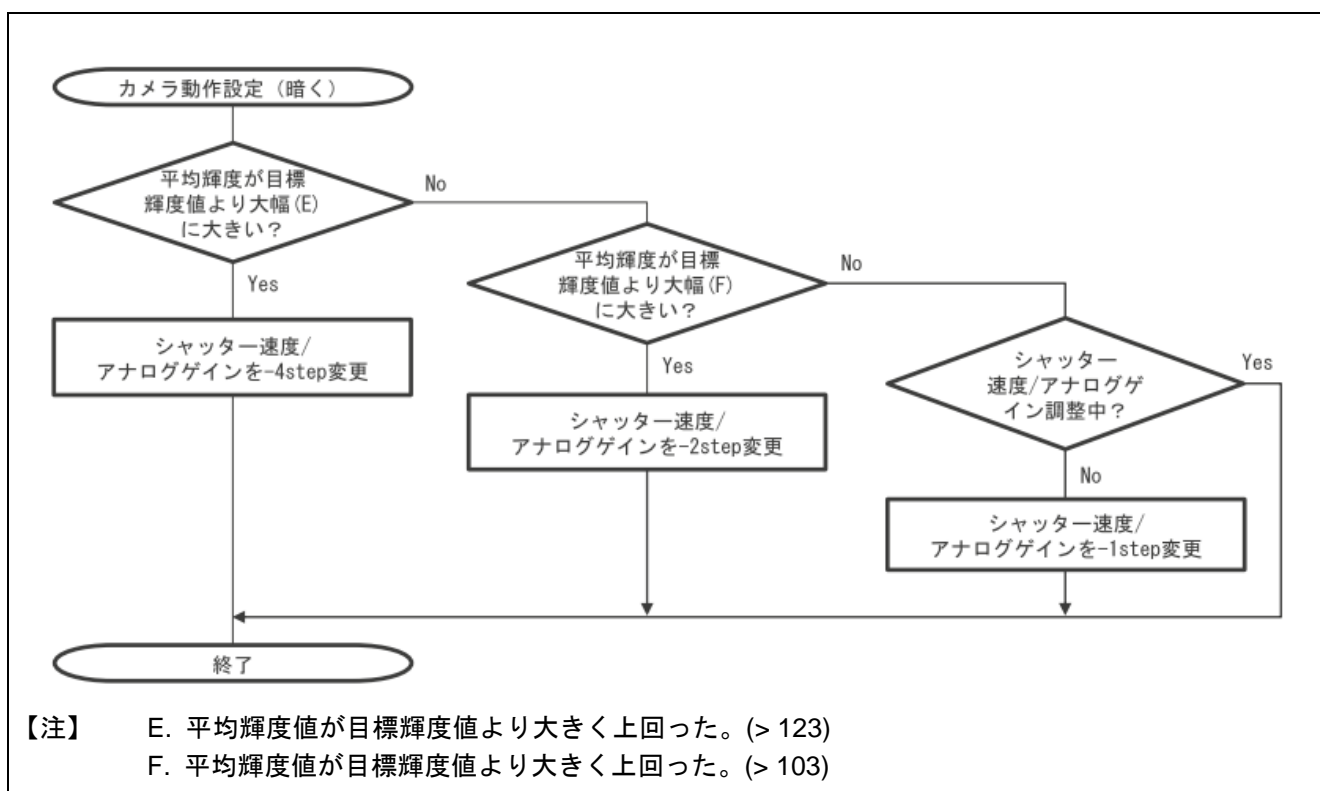


図 4.6 カメラ動作設定(暗く)フローチャート

図 4.7 に本サンプルプログラムの DRP を使用した物体検出処理フローを記載します。

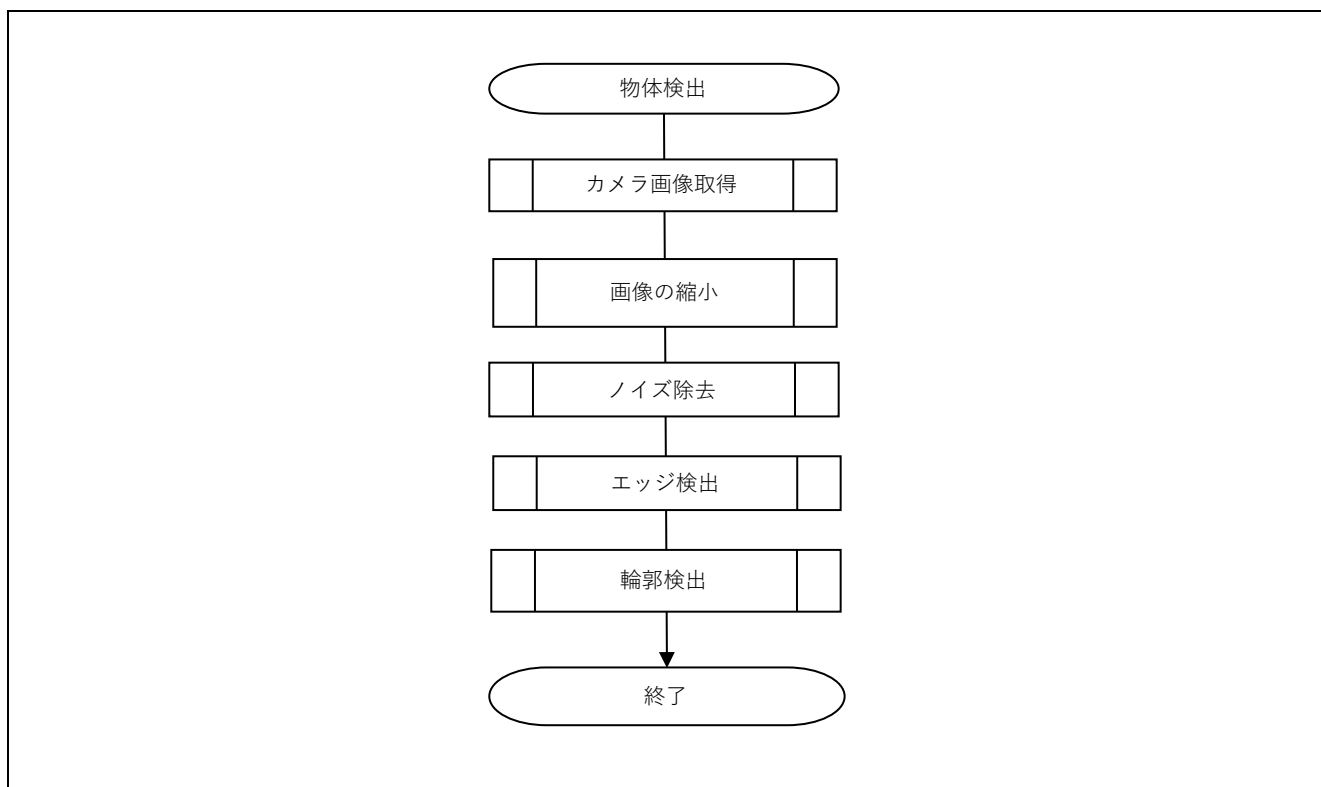


図 4.7 物体検出処理フロー

以降、物体検出処理の各処理の詳細を示します。

4.2.3 画像の縮小

カメラから入手したベイヤー形式の画像を、Simple ISP でグレースケール画像に変換します。また、生成したグレースケール画像（640×416）を、resize 処理により画像（320×208）に縮小変換します。

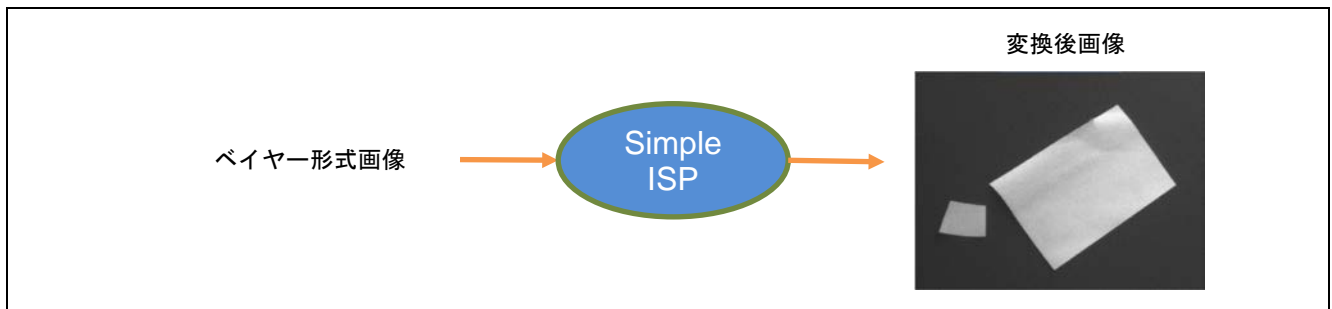


図 4.8 Simple ISP 処理

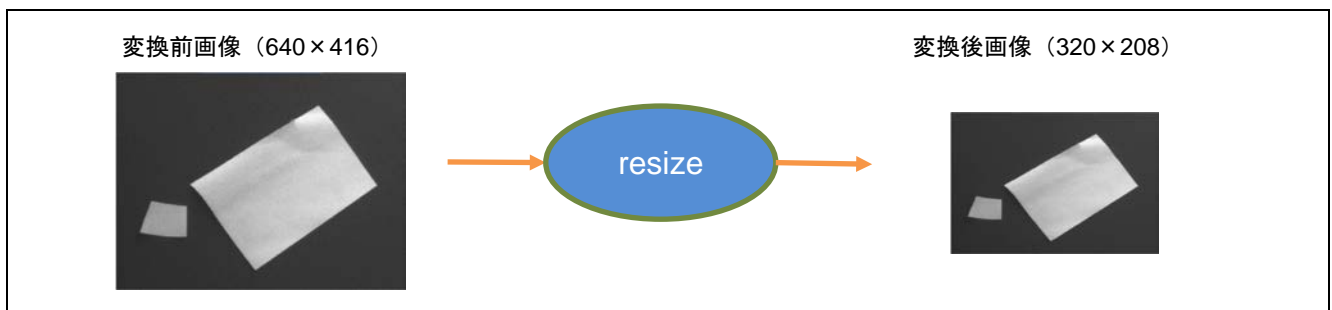


図 4.9 画像の縮小変換処理

4.2.4 ノイズ除去

縮小変換させたグレースケール画像に対し、Gaussian フィルタを用いて、ノイズ除去を行います。

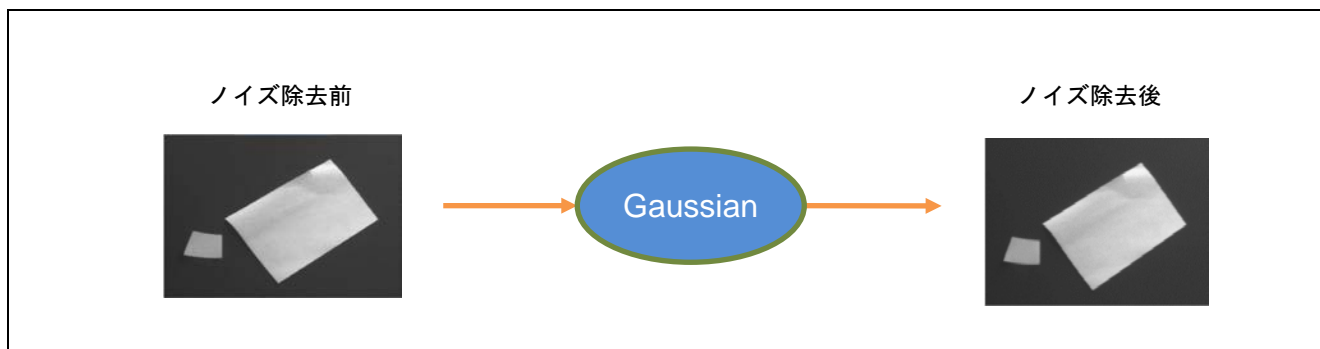


図 4.10 ノイズ除去処理（Gaussian フィルタ）

4.2.5 エッジ検出処理

ノイズ除去処理を実施したグレースケール画像に対し、Canny フィルタ（Canny Calculate / Canny Hysteresis）を使用したエッジ検出処理を行います。

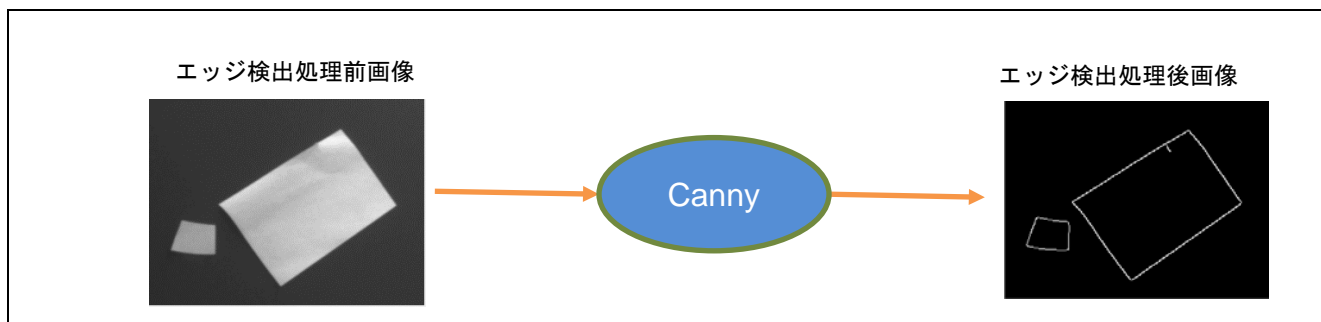


図 4.11 エッジ検出処理（Canny）

4.2.6 輪郭検出

エッジ膨張処理を行った画像を使用し、図 4.12 のような Findcontours を使用した輪郭検出処理を行います。この処理で取得できる情報は、検出した輪郭の外接矩形の情報（矩形情報）です。本サンプルプログラムでは、一定範囲の矩形の大きさのみ取得するようにしています。Findcontours の詳細は、「DRP Library ユーザーズマニュアル(R01US0367)」を参照してください。

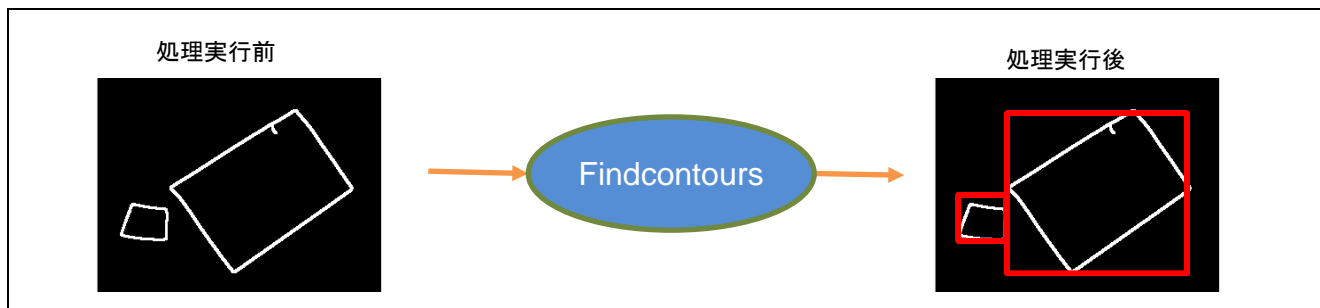


図 4.12 物体検出処理（Findcontours）

物体の輪郭が一部しか検出できない場合、ある一つの物体に対し複数の矩形が検出されてしまうことがあります。その場合、検出された矩形が重複することがありますが、本対策を含めることで、擬似的に物体の検出をすることができます。（図 4.13）

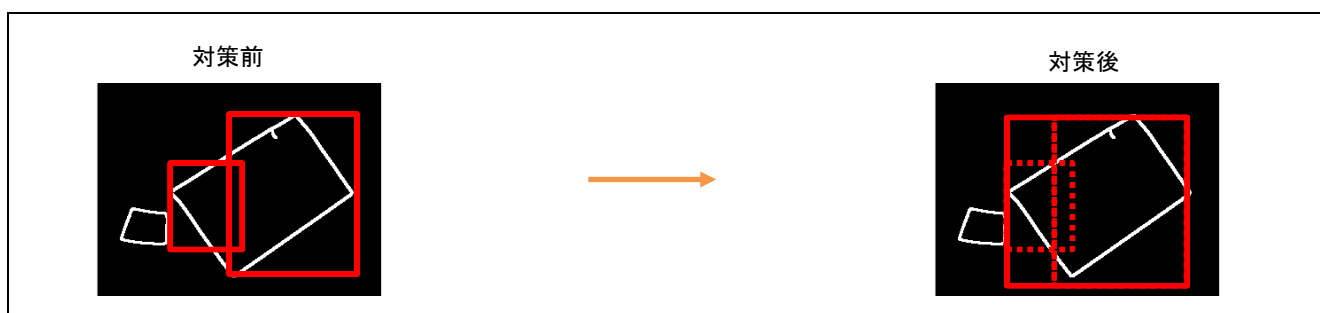


図 4.13 物体の輪郭が十分に検出できなかった場合の対策例

4.2.7 カラー画像出力

カメラから入手したバイヤー形式の画像を、Bayer2RgbColorCorrection を使用して、カラー画像を生成します。（物体検出処理には使用していません）

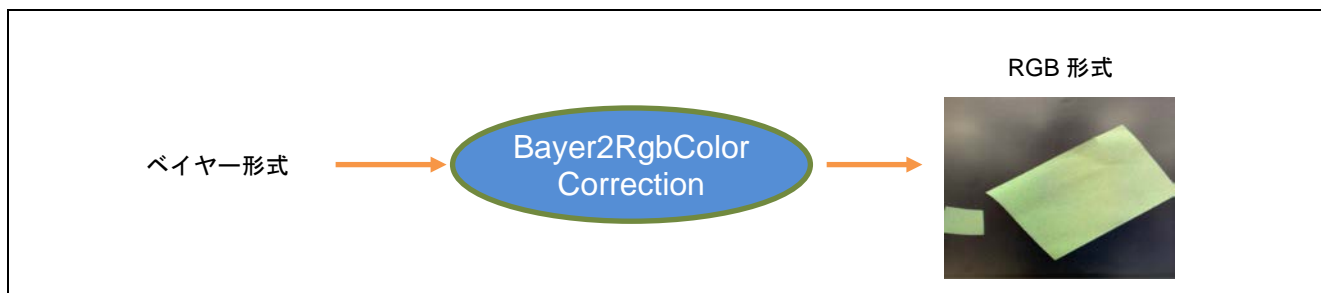


図 4.14 カラー画像切り出し（Bayer2RgbColorCorrection）

4.2.8 カラー画像切り出し

4.2.6 輪郭検出で取得した情報を基に、カラー画像から物体を切り出します。

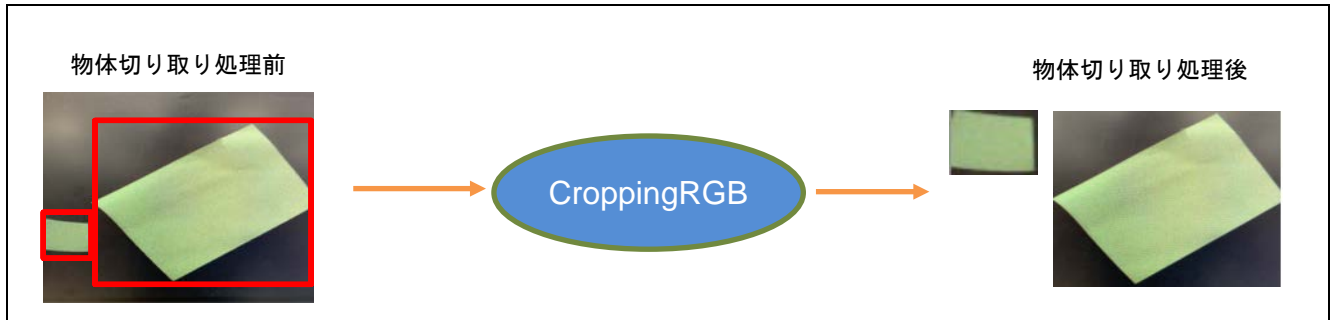


図 4.15 カラー画像切り出し処理 (CroppingRGB)

4.2.9 切り出した画像の縮小

4.2.8 カラー画像切り出しで生成した各画像に対し、DRP Library の `ResizeBilinearFixedRgb` 処理により画像サイズをリサイズします。本サンプルプログラムでは、 64×64 の大きさに統一しています。

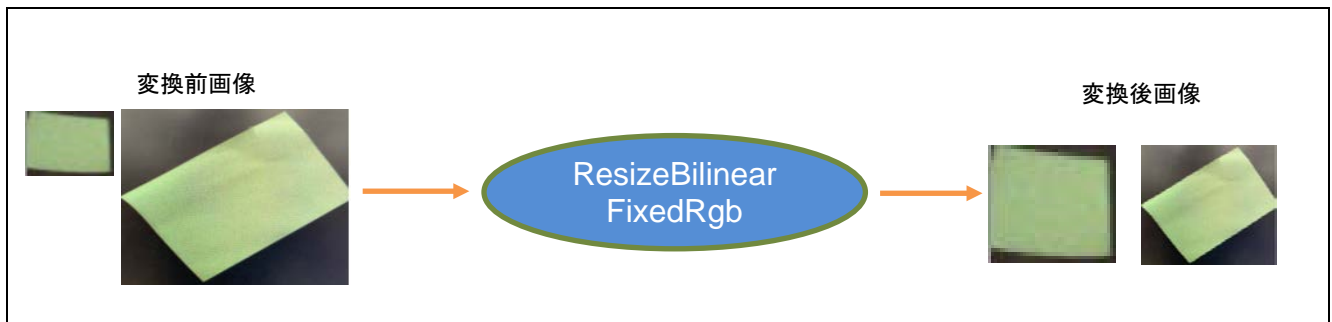


図 4.16 画像の縮小変換処理（`ResizeBilinearFixedRgb`）

4.3 結果出力

図 4.17 にモニタの表示内容を示します。表 4.3 に物体検出処理結果の表示項目一覧を記載します。

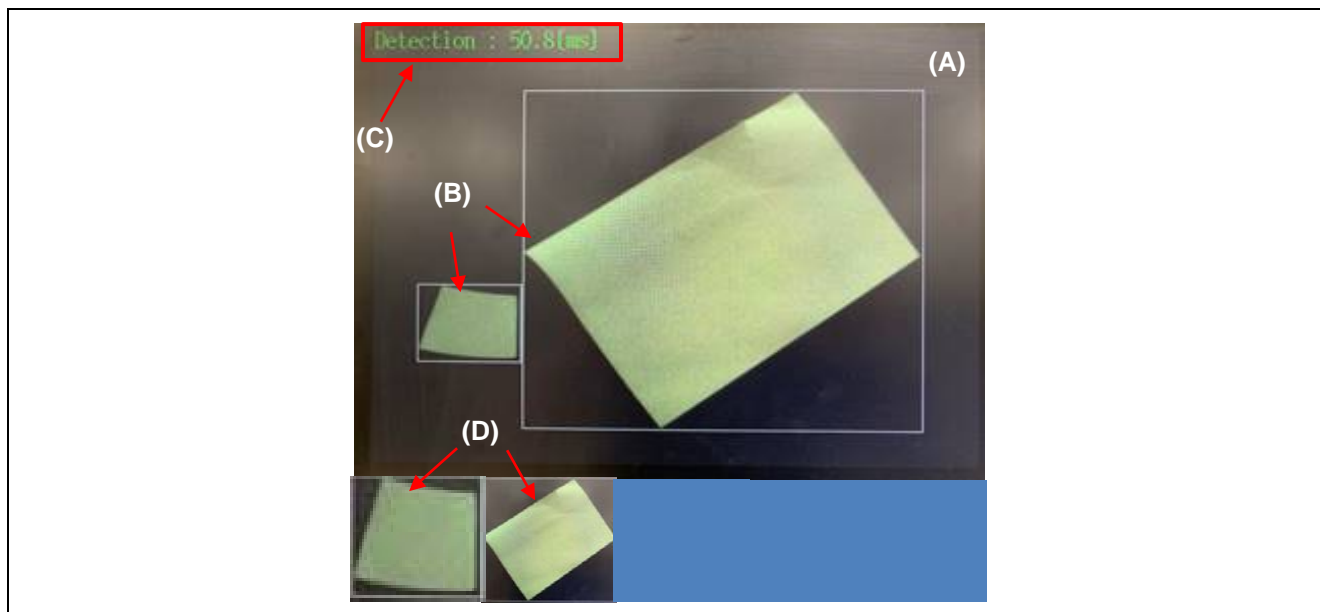


図 4.17 モニタの表示内容

- (A) カメラで撮影した画像を表示します。画像の表示サイズは 640×416 です（カラー画像）。
- (B) 物体を検出した場合、その物体を矩形で囲みます。
- (C) 物体検出に要した各処理の時間を表示します。
- (D) 4.2.9 の結果を確認できるようにモニタ出力します。

表 4.3 物体検出処理結果の表示項目一覧

表示項目	物体検出の処理内容	説明章
Simple ISP	簡易 ISP	4.2.1
Resize	画像のサイズ変換	4.2.3
Gaussian	ノイズ除去	4.2.4
Canny	エッジ検出処理	4.2.5
FindContours	輪郭検出	4.2.6
Bayer2RgbColorCorrection	カラー画像出力	4.2.7
CroppingRGB	カラー画像の切り出し	4.2.8
ResizeBilinearFixedRgb	カラー画像サイズの変換	4.2.9

5. DRP ライブラリ

本サンプルプログラムは、表 5.1 の DRP Library を用いて入力画像中の物体を検出します。使用する DRP Library の仕様は、DRP Library ユーザーズマニュアル(R01US0367)を参照してください。

表 5.1 使用する DRP Library の機能一覧

カテゴリ	機能名	用途	説明章
Simple ISP	SimpleISP	AE に使用する補正値の算出、グレースケールに変換し、ノイズ除去します	4.2.1
Color conversion	Bayer2RGB color correction	CMOS からの RAW データ(Bayer 配列)を RGB カラーへ変換し、色補正を行います	4.2.7
Image filter	GaussianBlur	画像（グレー）を平滑化します	4.2.4
Image conversion	ResizeBilinear	画像のサイズ変更をします	4.2.3
	ResizeBilinear FixedRgb	カラー画像のサイズ変更をします	4.2.9
	CroppingRGB	カラー画像の切り出しをします	4.2.8
Feature detection	CannyCalculate	Canny 法を使って、画像の輪郭を検出します（2 機能の連続処理で実現）	4.2.5
	CannyHysteresis		
	FindContours	輪郭を検出し、その外接矩形を算出します	4.2.6

6. 参考ドキュメント

ユーザーズマニュアル：ハードウェア

RZ/A2M グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編

（最新版をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。）

RTK7921053C00000BE（RZ/A2M CPU ボード）ユーザーズマニュアル

（最新版をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。）

RTK79210XXB00000BE（RZ/A2M SUB ボード）ユーザーズマニュアル

（最新版をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。）

Arm Architecture Reference Manual ARMv7-A and ARMv7-R edition Issue C

（最新版を Arm ホームページから入手してください。）

Arm CortexTM-A9 Technical Reference Manual Revision: r4p1

（最新版を Arm ホームページから入手してください。）

Arm Generic Interrupt Controller Architecture Specification - Architecture version2.0

（最新版を Arm ホームページから入手してください。）

Arm CoreLinkTM Level 2 Cache Controller L2C-310 Technical Reference Manual Revision: r3p3

（最新版を Arm ホームページから入手してください。）

テクニカルアップデート／テクニカルニュース

（最新の情報をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。）

ユーザーズマニュアル：統合開発

統合開発環境 e2 studio のユーザーズマニュアルは、ルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。

（最新版をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。）

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.0	2019/5/31	-	初版
1.1	2019/9/30	7	・物体検出サンプルプログラムの処理フローチャートの内容変更（図 4.2）
		17	・検出した物体を表示するための処理を追加（4.2.8, 4.2.9）
		22	・モニタ表示内容を変更（図 4.17）
1.12	2019/12/17	6	フォルダ構成を変更
1.13	2020/09/30	8	表 4.1 カメラ設定 キャプチャフレームレートの記載変更
		9,10	図 4.4、図 4.5、図 4.6 AE 処理フローを変更

製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本ドキュメントおよびテクニカルアップデートを参照してください。

1. 静電気対策

CMOS 製品の取り扱いの際は静電気防止を心がけてください。CMOS 製品は強い静電気によってゲート絶縁破壊を生じることがあります。運搬や保存の際には、当社が出荷梱包に使用している導電性のトレーやマガジンケース、導電性の緩衝材、金属ケースなどを利用し、組み立て工程にはアースを施してください。プラスチック板上に放置したり、端子を触ったりしないでください。また、CMOS 製品を実装したボードについても同様の扱いをしてください。

2. 電源投入時の処置

電源投入時は、製品の状態は不定です。電源投入時には、LSI の内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。

3. 電源オフ時における入力信号

当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力ブルアップ電源を入れないでください。入力信号や入出力ブルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。

4. 未使用端子の処理

未使用端子は、「未使用端子の処理」に従って処理してください。CMOS 製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI 周辺のノイズが印加され、LSI 内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。

5. クロックについて

リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後、に切り替えてください。リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。

6. 入力端子の印加波形

入力ノイズや反射波による波形歪みは誤動作の原因になりますので注意してください。CMOS 製品の入力がノイズなどに起因して、 V_{IL} (Max.) から V_{IH} (Min.) までの領域にとどまるような場合は、誤動作を引き起こす恐れがあります。入力レベルが固定の場合はもちろん、 V_{IL} (Max.) から V_{IH} (Min.) までの領域を通過する遷移期間中にチャタリングノイズなどが入らないように使用してください。

7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止

リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。アドレス領域には、将来の拡張機能用に割り付けられている リザーブアドレス（予約領域）があります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。

8. 製品間の相違について

型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。同じグループのマイコンでも型名が違くと、フラッシュメモリ、レイアウトパターンの相違などにより、電気的特性の範囲で、特性値、動作マージン、ノイズ耐量、ノイズ輻射量などが異なる場合があります。型名が違う製品に変更する場合は、個々の製品ごとにシステム評価試験を実施してください。

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器・システムの設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含みます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 当社製品、本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
5. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。

標準水準： コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等

高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通管制（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。

6. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
7. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
8. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
10. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものいたします。
11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
12. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.4.0-1 2017.11)

本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレシア）

www.renesas.com

お問合せ窓口

弊社の製品や技術、ドキュメントの最新情報、最寄の営業お問合せ窓口に関する情報などは、弊社ウェブサイトをご覧ください。

www.renesas.com/contact/

商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。