

Vitis Vision Libraryを用いた画像処理の ハードウェア実装と性能評価

指導教員

高橋 寛 教授

甲斐 博 准教授

王森レイ 講師

令和 5 年 1 月 20 日提出

愛媛大学工学部工学科

応用情報工学コース

計算機/ソフトウェアシステム研究室

西川 竜矢

目次

第1章 序論	4
1.1 研究背景	4
1.2 論文の構成	5
第2章 準備	6
2.1 画像処理	6
2.1.1 物体検出	6
2.1.2 物体検出の詳細	6
2.1.3 OpenCV	7
2.2 FPGA	7
2.2.1 FPGA 概要	7
2.2.2 Ultra96v2	8
2.3 ハードウェアアクセラレーション	8
第3章 エッジ AI プラットフォーム開発	9
3.1 Vitis プラットフォーム概要	9
3.2 Vitis プラットフォーム開発環境とツール	9
3.3 Vitis プラットフォーム作成	10
3.3.1 HW Component	11
3.3.2 SW Component	14
3.3.3 Vitis Target Platform	16
3.4 Vitis Vision Library	16
第4章 アプリケーションの実装	18
4.1 アプリケーション作成 (PS)	18
4.2 アプリケーション作成 (PS+PL)	19

第 5 章 評価実験	20
5.1 実験準備	20
5.1.1 データセット	20
5.1.2 SD_Card の作成	21
5.1.3 実験環境の構築	22
5.2 アプリケーションの実行	22
5.3 実験結果	22
第 6 章 考察	23
第 7 章 あとがき	24
謝辞	25
参考文献	25

第1章 序論

1.1 研究背景

近年，日常生活を送るうえで多くの場面でIoTが活用されている．また，エッジAIの登場により，IoT機器における処理全体に要する時間の短縮に成功している．その中でも，自動車の歩行者検知や製造業における外観検査などに使われている技術に物体検出がある．物体検出には高いリアルタイム性が求められているが，IoT機器におけるエッジデバイスは推論モデルの学習環境に用いられるPCと比較するとCPU性能やメモリ容量といったリソースが劣る．こうした現状から，限られたリソースの中で，処理速度やリソース使用量などのパフォーマンスをどれだけ向上させられるかが課題となっている．

物体検出の流れとしてはじめに入力画像に対する前処理を行い，ここで整形された画像データを用いて推論処理を行う．これらの工程において，入力画像に対する前処理よりも，推論処理の方が処理に要する時間が大きくなる．そのため，前処理に対する高速化の研究よりも推論処理に対する高速化の研究の方が盛んである．推論処理に対する高速化手法 [1] は，主流な方法である量子化をはじめ，レイヤフュージョン，デバイス最適化，マルチスレッド化などさまざまである．今後さらに推論処理の高速化が進んでくると，高速化された推論処理に対して，その前に処理速度の遅い前処理の工程が入ってくるため，折角高速化した推論処理のパフォーマンスを最大限に発揮できなくなってしまう恐れがある．

加えて，エッジコンピューティングにおいて注目すべきはそのエッジデバイスである．FPGA (Field Programmable Gate Array) は，様々なエッジデバイスに搭載され用いられている．その大きな特徴として現場で論理回路の構成を書き換え可能である点が挙げられ，こうした特徴から，FPGAは大量のデータを高速に処理し，さらに消費電力が低いという利点がある．

以上の点から，本研究では，物体検出におけるリアルタイム性を課題として取り上げ，入力画像に対する前処理を高速化することを目的とする．目的達成のための方法としてFPGAを用いたハードウェアアクセラレーションを用いる．高速化した前処理と，そうでない前処理に対して処理速度の計測を行い，ハードウェアアクセラレーションによりどの程度処理時

間を短縮できたかを検証する.

1.2 論文の構成

※全体が完成したら書きます.

第2章 準備

本章では，この論文を読むにあたって理解しておく必要のある予備知識について記述する．

2.1 画像処理

2.1.1 物体検出

機械学習を活用して画像に映る特定の物体を検出する技術を物体検出と呼ぶ．物体検出における大まかな流れを図 2.1 に示す．

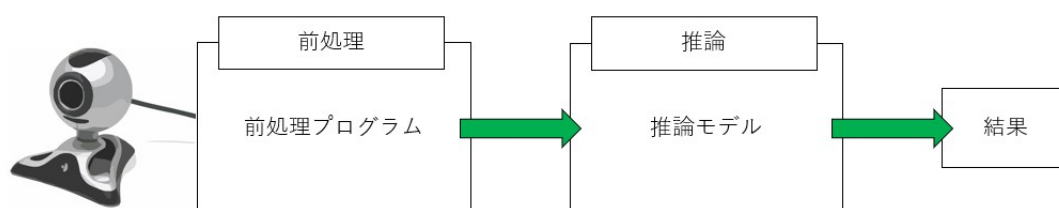


図 2.1: 物体検出の流れ

物体検出の流れとして，はじめにカメラから入力画像を取得する．この画像に対して画像前処理を行う．この処理は画像データの整形を行い，整形したデータを推論モデルに渡す．整形された画像データを受け取った推論モデルは推論処理を行い，推論結果を出力する．こうした流れで物体検出技術は実現されており，製造業や自動車分野，さらには医療分野など幅広い分野で利用されている．

2.1.2 物体検出の詳細

本研究における物体検出の詳細について示す．本研究では推論モデルに，YOLOv3 tiny および YOLOv4 を想定しており，入力画像に対する前処理はリサイズを行う．

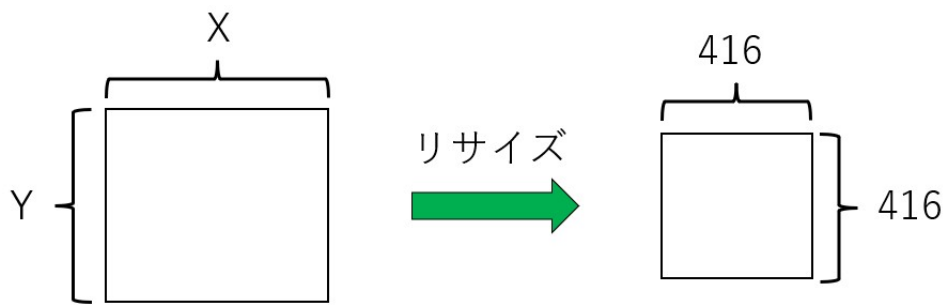


図 2.2: リサイズ

図 2.2 にリサイズの工程を示した。入力画像のサイズを横:X, 縦:Y に対してリサイズ後のサイズは 416px の正方形である。

2.1.3 OpenCV

OpenCV とは Open Source Computer Vision Library の略称で、Intel が開発した画像・動画に関する処理機能をまとめたオープンソースのライブラリである。OpenCV の持つ機能 [2] を以下に列挙する。

- 画像の入出力
- 画像の前処理
- 画像内のオブジェクト検出
- 画像への描写処理
- Deep Learning

2.2 FPGA

2.2.1 FPGA 概要

FPGA は Field Programmable Gate Array の略称であり、日本語に直訳すると「現場で構成可能なゲートアレイ」となる。ここで言う「ゲートアレイ」とは、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) の設計・製造手法のひとつである。この手法では、ウェハー上に標準 NAND ゲートや NOR ゲート等の論理回路、単体のトランジスタ、抵抗器などの受動素子といった部品を決まった形で配置し、その上に配線を加えることで各部品を配線し半

導体回路を完成させる。昨今では専用 LSI である ASIC の開発に数千万円から数億円の初期コストがかかることや、一度製造してしまった LSI の構成は製造後には変更できないなどの問題がある。一方で FPGA は「現場で構成可能」という表現からもわかる通り、ユーザの手元でロジックや配線を変更できるというコンセプトを基に開発される。現在開発されている FPGA の規模は様々だが、一昔前の専用 LSI を超える規模の回路を簡単に構成できるようになってきている。また、FPGA と ASIC などの専用 LSI との大きな違いとして「製造のための初期コスト」が不要なことも挙げられる。

2.2.2 Ultra96v2

本研究で扱う FPGA ボード。Ultra96v2 に搭載されている Zynq UltraScale+ MPSoC [3] は、プロセッサと FPGA を 1 チップに搭載しており、機能を以下に述べる。

- 高性能かつ大容量プログラムロジックを利用した高帯域な信号・画像処理
- Cortex-A53 アプリケーションプロセッサで余裕のあるシステム (OS/GUI) プロセス処理実行
- Cortex-R5 でタイミングクリティカルなリアルタイム処理をプログラムロジックと連携処理

以上の機能を持つことから、自動車、医療、製造業、放送、通信などの幅広い分野で利用されている。

2.3 ハードウェアアクセラレーション

ここでは、ハードウェアアクセラレーション [4] の概要を示す。CPU (PS: Processing System) は複雑な制御に優れているが、膨大なデータ処理を必要とするアプリケーションには最適とは限らない。こうした課題を抱えているアプリケーションに対して、アプリケーション内の大量の演算処理が必要な部分を切り離し、その処理のために構成した専用ハードウェア (PL: Programmable Logic) で処理を行うことで高速化を図る手法のことをハードウェアアクセラレーションと呼ぶ。

本研究では、物体検出における前処理に対してハードウェアアクセラレーションをすることで、処理の高速化を図る。

第3章 エッジAIプラットフォーム開発

本章では Vitis と呼ばれるツールを用いてハードウェアアクセラレーションアプリケーション開発のためのプラットフォームについて述べる。

3.1 Vitis プラットフォーム概要

Vitis プラットフォーム [5] は、外部メモリインターフェイス、カスタム入出力インターフェイス、ソフトウェアランタイムなど、AMD ザイリンクスプラットフォームのハードウェアやソフトウェアのベースアーキテクチャおよびアプリケーションコンテキストを定義する。Vitis プラットフォームの特徴およびメリットとして、同じプラットフォーム上で異なるアクセラレーションアプリケーションを入れ替え可能な点、最小限の操作で異なるプラットフォーム間でアプリケーションを移植可能な点が挙げられる。本研究では、こうした特徴を利用するために Vitis プラットフォームを作成し、そのプラットフォーム上で画像処理用アプリケーションを作成する。

3.2 Vitis プラットフォーム開発環境とツール

- Ubuntu18.04.3 LTS … LinuxOS の Ubuntu を用いた。開発ツールである Vivado, PetaLinux, Vitis のバージョンに対応させて Ubuntu のバージョンは 18.04 を採用している。
- Vivado-v2019.2 … Xilinx が提供するハードウェア設計ツール。HDL からビットストリームの生成, FPGA への書き込みまでの開発における下位の部分を担当する。
- PetaLinux-v2019.2 … Xilinx が Yocto Project をベースとして Zynq シリーズ用にカスタマイズした Linux ディストリビューションを構築する提供するフレームワーク。Xilinx のプロセッシングシステム上で組み込み Linux のソリューションをカスタマイズ, ビルド, およびデプロイするために必要な

モノを全て提供する。設計生産性の加速を目的とするこのソリューションは、Xilinx のハードウェア設計ツールと連動し、Versal, Zynq UltraScale+ MPSoP, Zynq-7000, および MicroBlaze 向けの Linux システムの開発を容易にする。

- Vitis-v2019.2 … Xilinx が提供する Vitis 統合ソフトウェアプラットフォーム。ツール内容を以下に述べる。
 - アクセラレーションアプリケーションをシームレスに構築するための包括的なコア開発キット
 - AMD ザイリンクスの FPGA および Versa I ACAP ハードウェアプラットフォーム向けに最適化された、ハードウェアアクセラレーション用の豊富なオープンソースライブラリ
 - 使い慣れた高レベルのフレームワークを利用して直接開発できる、プラグインタイプのドメイン特化開発環境
 - 今後さらに拡大する、ハードウェアアクセラレーションパートナー提供のライブラリおよび構築済みアプリケーションのエコシステム

3.3 Vitis プラットフォーム作成

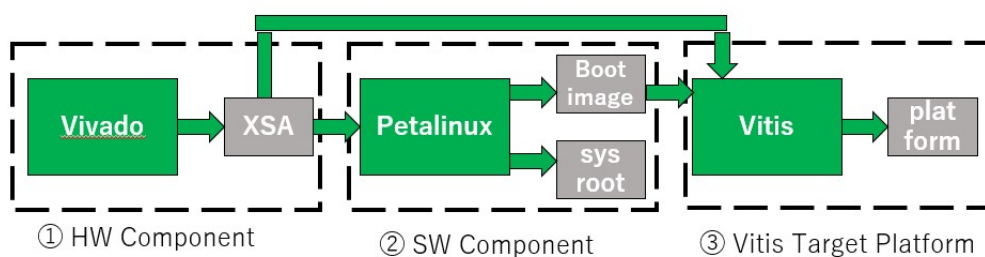


図 3.1: Vitis プラットフォーム作成フロー

図 3.1 はプラットフォーム作成フローを示している。はじめに Vivado を用いてハードウェアの構成を行い、XSA ファイルとして出力する。この工程を HW Component とする。次に PetaLinux を用いて、Ultra96v2 上で Linux カーネルを起動するためのファイル (Boot image) およびヘッダ、ライブラリが格納されている root ディレクトリ (sysroot) の作成を

行う。この工程を SW Component とする。最後に HW Component と SW Component の成果物を Vitis で読み込んで Vitis プラットフォームを作成する。この工程を Vitis Target Platform とする。ここで示した開発フローを、Xilinx 提供のユーザガイド [6] を参考にして実行する。

3.3.1 HW Component

ここではハードウェアの構成を行う。Vivado を起動し、プロジェクト名を u96v2 とした。

はじめに、BlockDesign と呼ばれる回路の設計を行う。図 3.2 に作成した BlockDesign を示す。

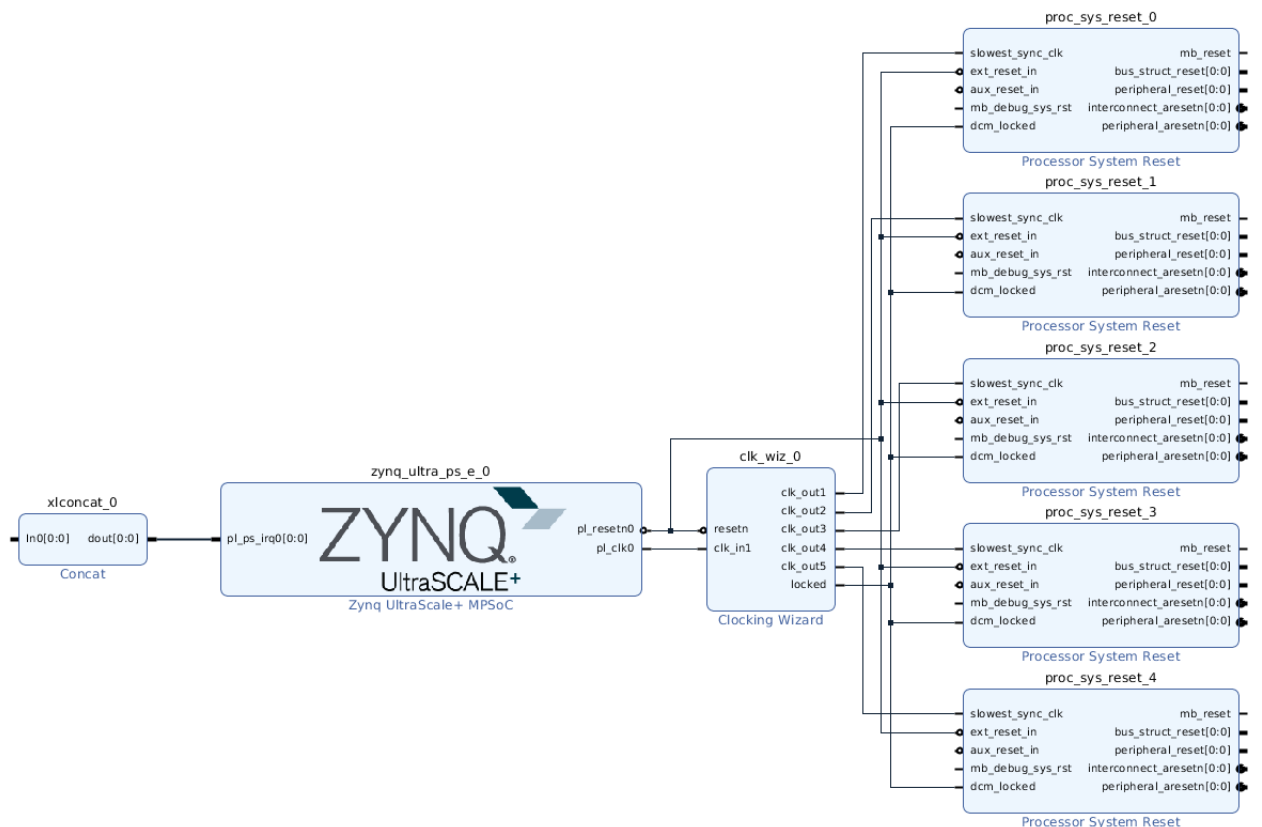


図 3.2: HW BlockDesign

図 3.2 中の配線によって繋がれているブロックの部分を IP(Intellectual Property) と呼び、このブロックは既に設計された回路モジュールを表している。Ultra96v2 ボードには Zynq UltraScale+ MPSoC と呼ばれる IP が搭載されている。この IP は PS(Processing System) と PL(Programmable Logic) の部分に分かれており、他の IP に対してクロックとリセットの供給を行う。作成した BlockDesign では、Zynq UltraScale+ MPSoC の出力クロックと

出力リセットを Clking Wizard に供給する。Clocking Wizard は PL 部分にクロックの供給を行い、その出力周波数を指定することができる。Clocking Wizard のクロック出力数は Processor System Reset の数に合わせて 5 つに指定する。また Processor System Reset へのリセット入力は Zynq UltraScale+ MPSoC の出力リセットから供給する。図 3.2 に示した BlockDesign における IP の種類、IP の名称、IP の入出力についてを表 3.1 に示す。

表 3.1: BlockDesign における IP

IP 種類	IP 名称	入力	出力
Zynq UltraScale++ MPSoC	zynq-ultra_ps_e_0	dout[0:0]	pl.resetn0 pl.clk0
Concat	xlconcat_0		dout[0:0]
Clocking Wizard	clk_wiz_0	pl.resetn0 pl.clk0	clk_out1 clk_out2 clk_out3 clk_out4 clk_out5 locked
Processor System Reset	proc_sys_reset_0	clk_out1 locked pl.resetn0	
Processor System Reset	proc_sys_reset_1	clk_out2 locked pl.resetn0	
Processor System Reset	proc_sys_reset_2	clk_out3 locked pl.resetn0	
Processor System Reset	proc_sys_reset_3	clk_out4 locked pl.resetn0	
Processor System Reset	proc_sys_reset_4	clk_out5 locked pl.resetn0	

FPGA では FPGA 内部のロジックに供給するクロックを指定する必要がある。その機能を有している IP が図 3.2 中の Clocking Wizard であり、実際に出力されるクロックの詳細について表 3.2 に示す。

表 3.2: Clocking Wizard による出力クロック

ポート名	出力周波数 (MHz)	
	要求	実際
clock_out1	100	100
clock_out2	200	200
clock_out3	300	300
clock_out4	400	400
clock_out5	600	600

以上の BlockDesign の作成を終了し、u96v2.xsa というファイル名で保存することでここでの工程は終了する。

3.3.2 SW Component

この工程では Petalinux を用いて作業を行う。Petalinux の保持しているツールの中で本研究で用いるのは、petalinux-create, petalinux-config, petalinux-build である。

はじめに、プロジェクト名を u96v2 として petalinux project の専用ディレクトリを作成する。プロジェクトの作成には petalinux-create ツールを使用する。petalinux project 内であれば Petalinux の保持するツールが利用できないため、以降はこのディレクトリ内で SW Component の工程を行う。

作成したディレクトリに移動し、petalinux-config ツールを用いて u96v2.xsa からハードウェアコンポーネントの情報のアップデート、Linux カーネルの設定、root ディレクトリの設定の順で行う。

はじめに、ハードウェア情報のアップデートにおける作業を述べる。Ultra96v2 を起動するには、起動用データを SD カードに格納し、それを Ultra96v2 に挿入することで起動させる。ここで、root ディレクトリとして SD カードに格納されるファイルは EXT 型である必要があるため、Root filesystem type を EXT に設定する。次に、Petalinux のベースは Yocto Project であるため、Yocto の設定でデバッグを有効にする。最後に UART の設定を行う。Ultra96v2 はシリアル通信における標準入出力を UART1 で行うため、psu_uart_1 を指定する。以上の変更を保存してハードウェア情報のアップデートは終了する。

次に Linux カーネルの設定について述べる。ここではデバイスドライバのサイズをデフォ

ルト値が 254MB だったため 1024MB に変更した。

加えて、Petalinux プロジェクトの中に user-rootfsconfig というファイルがある。root ファイルシステムに含めるパッケージを管理する。このファイルに、ホストとアクセラレータの通信を容易にするソフトウェアインターフェイスである XRT(Xilinx Runtime Library), Linux カーネルドライバである zocl, 複数の異なる計算用リソースを併用するために用いる OpenCL, 画像処理ライブラリである OpenCV の項目を追加する。ここで追加した zocl ドライバをデバイスツリーに含める。デバイスツリーは system-user.dtsi というファイルに記述されているため、このファイルを編集して zocl を追加した。

最後に root ディレクトリの設定を行う。ここでは作成したアプリケーションを動かすために必要となるライブラリを有効にする。具体的には gcc ランタイムの C++, Python3, OpenCV, user package を有効にする。以上で Petalinux-config ツールを用いた設定を終了する。

最後に、設定した PetaLinux プロジェクトの内容を参照して実際に Linux カーネルおよび sysroot の生成を行う。この作業は petalinux-build ツールを用いる。ここでは複数のファイルが生成されるが、その中に sdk.sh というファイルがある。これは自己解凍ファイルであり、このファイルを実行し、自己解凍することで sysroot ディレクトリが生成される。ここまで、Linux カーネルを起動するためのコンポーネントを作成してきた。これらのコンポーネント構造をまとめるファイルが必要である。そのファイル名を linux.bif として作成する。以下に SW Component における成果物のうち、後の Vitis Target Platform の作成で用いるファイルおよびディレクトリを列挙する。

- bl31.elf
- image.ub
- pmufw.elf
- u-boot.elf
- zynqmp_fsbl.elf
- system.dtb
- linux.bif
- sysroot

新たに boot という名前のディレクトリを作成し、上記の生成物の内、bl31.elf, image.ub, pmufw.elf, u-boot.elf, fsbl.elf, system.dtb を格納してまとめて管理する。

3.3.3 Vitis Target Platform

HW Component と SW Component の工程で得られた成果物と Vitis ツールを用いて Vitis Target Platform の作成を行う。設定項目と設定内容を表 3.3 に示す。

表 3.3: Vitis Target Platform 初期設定

項目	内容
XSA_file	u96v2.xsa
OS	Linux
Processor	psu_cortexa53
Bif file	linux.bif
Boot Component Directory	boot
Linux Image Directory	boot
Sysroot Directory	sysroot/aarch64-xilinx-linux

表 3.3 の設定内容について記述する。Vitis を起動後、HW Component で示した XSA ファイルを選択して、Platform Project を作成する。Domain 設定を開き、OS を Linux、Processor を psu_cortexa53 に指定する。加えて Bif ファイルを linux.bif、Boot Components Directory および Linux Image Directory を SW Component の工程でまとめた boot ディレクトリ、Sysroot Directory に sysroots/aarch64-xilinx-linux ディレクトリを指定した。以上の設定後、Vitis ツール上でビルドボタンを押すことで、設定内容をまとめて Vitis Target Platform として出力される。ここで作成したプラットフォームが格納されているディレクトリ名を u96v2_pfm とした。ここで作成した Vitis Target Platform を用いて第 4 章のアプリケーション開発を行う。

3.4 Vitis Vision Library

FPGA 用の画像データ前処理アプリケーションは Vitis というツールで作成するため、Vitis ツール専用のライブラリを用いる必要がある。そのライブラリが、Xilinx から提供されている Vitis Vision Library であり、OpenCV の画像処理関数の多くを含んでいる。Vitis Vision Library の特徴を以下に列挙する。

- 色およびビット深度変換、ピクセルごとの算術演算、幾何変換、統計、フィルター、特徴検出、分類、3D 再構成など性能に最適化された機能の提供

- カラー画像処理のネイティブサポート, マルチチャネルストリーミングのサポート
- オンチップメモリまたは外部メモリ間のデータ移動を効率的に管理して最大限の性能を達成
- ビジョンパイプラインに求められる演算能力をすばやく評価して最適なデバイスを選択
- ビジョンおよび画像処理アルゴリズムを高速化する方法を示すサンプルデザインを提供
- 関数パラメータを活用し, 1 クロックサイクルで複数ピクセルを処理してスループット要件を満たす

第4章 アプリケーションの実装

本章では物体検出における画像前処理アプリケーションを作成について述べる。Ultra96v2のようなFPGAボードには基本的なシステム全体の制御を行うPS(Processing System)部分と特定の演算処理などに用いられるPL(Programmable Logic)部分が存在する。本研究では、PSのみを利用して処理を行うアプリケーションとPSに加えてPLを用いて処理を行うアプリケーションの作成を行う。

4.1 アプリケーション作成 (PS)

実行時にPSのみを用いて画像の前処理を行うアプリケーションの作成について述べる。このアプリケーションのソースコードはPythonで記述しており、ファイル名をprepro_PS.pyとし以下に示す。

プログラム 4.1: prepro_PS.py

```
1  import glob
2  import sys
3  import time
4  import cv2
5  import numpy as np
6
7  re_length = 416
8  total = 0
9
10 for i in range(600):
11
12     img = cv2.imread("./mask_before/Mask_" + str(i+1) + ".jpg")
13
14     time_sta = time.time()
15
16     h, w = img.shape[:2]
17
18     re_h = re_w = re_length/max(h,w)
19
20     img_resize = cv2.resize(img, dsize=None, fx=re_h, fy=re_w)
21
```

```
22         time_end = time.time()
23         t = time_end - time_sta
24         total = total + t
25
26     print("time:" + str(total) + "[ms]")
```

prepro_PS.py の概要を以下に述べる。1 行目から 5 行目までは必要なモジュールを利用するための記述である。7 行目の変数 `re_length` は入力画像に対してリサイズした後の画像サイズである 416px を定義している。ここでは入力画像の長辺を 416px にリサイズすることを想定しており、リサイズ後も長辺と短辺の大きさの比率は変わらない。10 行目から 20 行目までの画像処理の部分の説明をする。前処理を行うサンプル画像の枚数は 600 枚で行ったので 10 行目の `range` の中は 600 に指定している。12 行目では `opencv` を利用した入力画像の取得を行っており、続けて 16 行目で入力画像の縦のサイズ:h, 横のサイズ:w を取得している。18 行目では入力画像を変換する倍率の計算を行っており、リサイズ後の長辺サイズである 416px を入力画像の縦、横のピクセルサイズのうち大きい方で除算することにより倍率を計算している。20 行目の `img_resize` には入力画像をリサイズした後の配列を格納する。`opencv` の関数である `cv2.resize` に対して入力画像 `img` と 18 行目で計算した倍率である `re_h` と `re_w` を引数として渡すことでリサイズ処理を行う。

リサイズにかかる処理時間は、変数 `total` に格納する。リサイズの処理を行う前後で時刻を取得し、その処理時間の計算を行う。1 枚当たりにかかった処理時間を変数 `total` に加算していくことで、最終的に 600 枚当たりの処理時間の計測を行っている。

4.2 アプリケーション作成 (PS+PL)

PSに加えてPLを用いるアプリケーションの作成は、3章で作成した Vitis Target Platform である `u96v2_pfm` を利用して行う。Vitis ツールを起動し、プラットフォームを `u96v2_pfm` に指定した。その後サンプルから Vitis Vision Library を選択する。Vitis Vision Library は OpenCV の機能の一部を有しており、それを Vitis ツールで利用できる形にカスタマイズされたライブラリである。そのライブラリの中から `resize` を選択する。作成したソースコードを以下に示す。

※完成したら書きます

第5章 評価実験

本章ではこれまでに作成してきたアプリケーションの実行するまでの準備，実行手順，実験結果について述べる．

5.1 実験準備

5.1.1 データセット

実験に用いるサンプル画像は，Vitis-AI の Ultra96v2 上動作に関する記事 [7] に記載されているマスクを着用している人々の画像データセットである Mask Dataset [8] を利用した．このデータセットの内，600 枚の画像に対して前処理プログラムを実行する．サンプル画像の例を図 5.1 に示す．



図 5.1: Mask Dataset Sample Picture

5.1.2 SD_Card の作成

Ultra96v2 は起動イメージと root ディレクトリを異なるパーティションに格納する必要がある。そのため、MicroSD カードを 2 つのパーティションに分割する。分割の概要について表 5.1 に示す。

表 5.1: MicroSD のパーティション分割

項目	第 1 パーティション	第 2 パーティション
名称	boot	rootfs
ファイルシステム	FAT32	ext4
サイズ	4GB	28GB

表 5.1 のように、第 1 パーティションの名称を boot、ファイルシステムは FAT32、サイズは 4GB に指定した。続いて、第 2 パーティションの名称は rootfs、ファイルシステムは ext4、サイズは 28GB に指定した。名称はそれぞれの格納するファイルを表している。また、Ultra96v2 には Zynq UltraScale+ MPSoC と呼ばれるデバイスが搭載されている。このデバイスは FAT ファイルシステムにある起動用ファイルを読み出すことで起動する。サイズは、格納するファイルのサイズに合わせて指定してある。次に、作成したデータの書き込みについて図 5.2 に示す。

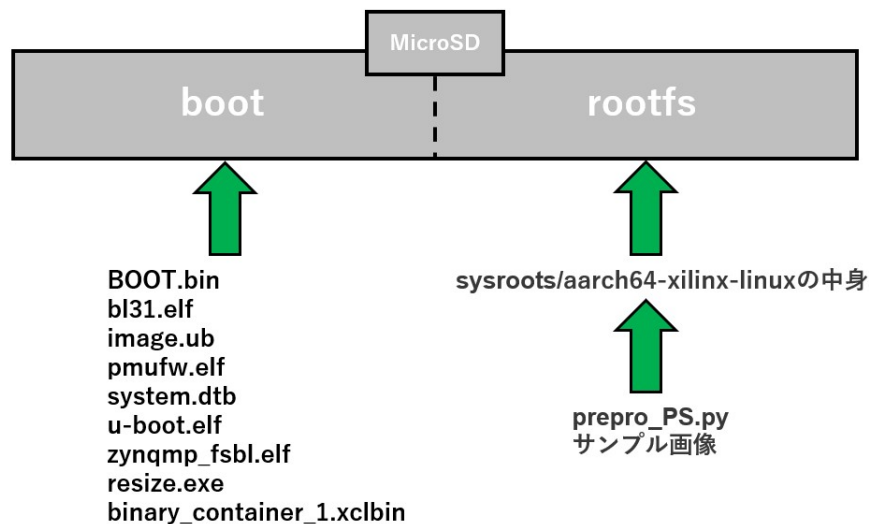


図 5.2: SD カードへのデータ格納

第 1 パーティションである boot には図 5.2 に示している 9 つのファイルを書き込む。第 2 パーティションである rootfs には Linux システムの root ファイルを書き込む。同時に、作

成した Ultra96v2 上のデバイスのうち、PS(Processing System) のみで処理を行う画像処理アプリケーションと実験に用いるサンプル画像のデータセットもこの第 2 パーティションに書き込む。

5.1.3 実験環境の構築

必要なファイルの書き込みが完了したので、MicroSD カードを Ultra96v2 に挿入し、PC とシリアル通信を行う。シリアル通信用ツールである GTKterm を起動し、設定画面を開き、ポートを `/dev/ttyUSB1` に、ボーレートを 115200 に指定した。Ultra96v2 の起動ボタンを押すと、Linux カーネルが起動する。加えて、はじめに PS のみを用いて処理を行うアプリケーションのために、python で用の OpenCV をダウンロードする。

5.2 アプリケーションの実行

※実行したら書きます。

5.3 実験結果

※結果出たら書きます。

第6章 考察

本章では，ハードウェア実装した前処理の性能に対する考察と，本研究の今後の展望についての考察を述べる．

まず，ハードウェア実装した前処理の性能に対する考察を述べる．※実験終わったら書きます

次に，本研究の今後の展望について考察を述べる．本研究では，物体検出における前処理の部分の中でも，特にリサイズの処理に対して焦点を当てた．しかし実際の前処理では，リサイズだけの処理をするわけではなく，正規化などの他の処理も行う，この前処理は推論モデルによってまちまちである．そのため，リサイズ以外の前処理についてもハードウェア実装をすることで高速化できると考える．また，エッジコンピューティングにおける速度以外の課題であるリソースの使用率や消費電力の項目についてもハードウェア化することでどのような変化をもたらすか検証する必要がある．加えて，ハードウェア実装した前処理を，物体検出に組み込み，前処理から推論処理までの物体検出全体の処理速度にどの程度影響を及ぼすのかも検証する必要がある．

第7章 あとがき

本研究では、物体検出におけるリアルタイム性を課題として取り上げ、前処理を高速化することを目的とした。この目的を成し遂げるため、前処理の部分をハードウェア実装することを目指した。本研究を進めるにあたって、はじめに開発ツールである Vivado, Petalinux, Vitis の使用方法について学習を行った。その後、プラットフォームの作成、アプリケーションの作成、FPGA ボードでの実験、性能評価の順で実行した。

本研究の結果※実験終わったら書きます

しかし、ハードウェア実装できた物体検出における画像処理はリサイズ処理のみであり、さらに高速化を図るためには、その他の前処理についてもハードウェア実装する必要がある。加えてエッジデバイスにおけるリアルタイム性以外の課題であるリソース使用率や消費電力については検証できていないのため、これらの項目についても検証する必要がある。以上を今後の課題とし、解決することでエッジデバイスにおける物体検出のリアルタイム性向上につながると考える。

謝辞

本研究，論文作成を進めるにあたり，御懇篤な御指導，御鞭撻を賜りました本学高橋寛教授ならびに甲斐博准教授，王森レイ講師に深く御礼申し上げます。

また，審査頂いた本学甲斐博准教授，遠藤慶一准教授ならびに宇戸寿幸准教授に深く御礼申し上げます。

最後に，多大な御協力と貴重な御助言を頂いた計算機/ソフトウェアシステム研究室の諸氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 小西祥之, 国宗大介, 西田芳隆, ミラクシアエッジテクノロジー株式会社,
2021,
”物体検出におけるエッジ環境での推論高速化と精度上昇”,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/pjsai/JSAI2021/0/JSAI2021_3I4GS7a02/_pdf/-char/ja,
(参照 2023-01-19)
- [2] ケイエイブル株式会社,
”初めての Open CV (画像処理ライブラリ) ガイド”
<https://www.klv.co.jp/corner/python-opencv-what-is-opencv.html>,
(参照 2023-01-19)
- [3] AVNET,
”Ultra96 開発ボードで Xilinx Zynq UltraScale+ MPSoC を手軽に評価”,
<https://www.avnet.com/wps/portal/japan/products/product-highlights/ultra96/>,
(参照 2023-01-19)
- [4] Xilinx,
”アクセラレーションコンピューティングとは何か. そしてなぜ必要なのか”,
<https://japan.xilinx.com/applications/adaptive-computing/what-is-accelerated-computing-and-why-is-it-important.html>,
(参照 2023-01-29)
- [5] Xilinx,
”Vitis 統合ソフトウェアプラットフォーム, プラットフォームベースフロー”,
<https://japan.xilinx.com/products/design-tools/vitis/vitis-platform>.

html,

(参照 2023-01-19)

[6] Xilinx,

”Vitis 統合ソフトウェアプラットフォームの資料：エンベデッドソフトウェア開発”,

2020-06-24,

<https://docs.xilinx.com/r/2020.1-日本語/ug1400-vitis-embedded>,

(参照 2023-01-18)

[7] Qiita,

”Vitis-AI v1.4 on Ultra96v2”,

2021-11-06,

[urlhttps://qiita.com/lp6m/items/4117a3bab185afedfd5f](https://qiita.com/lp6m/items/4117a3bab185afedfd5f),

(参照 2023-01-19)

[8] Google Drive,

”Mask_Dataset”,

2020-02-26,

[urlhttps://drive.google.com/drive/folders/1aAXDTl5kMPKAHE08WKGP2Piflde21-](https://drive.google.com/drive/folders/1aAXDTl5kMPKAHE08WKGP2Piflde21-ZG)

ZG,

(参照 2023-01-19)