



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет



МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

MOBILE COMPUTER VISION SYSTEM BASED
ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Markov Nikolai G.,
Zoev Ivan V.

Тегеран – 2019

ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- проблема оценки состояния и выявления техногенных рисков и противоправных действий на опасных промышленных объектах
- своевременного обнаружения очагов возгорания на обширных территориях
- мониторинга экологической обстановки на/вблизи промышленных объектов

Требуются современные программно-аппаратные инструменты для мониторинга.

СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ МОНИТОРИНГА

- беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащенные соответствующими датчиками (видеокамеры, тепловизоры, газоанализаторы и т.д.)
- наземные мобильные робототехнические комплексы, оснащенные датчиками и перемещающиеся по периметру опасных промышленных объектов

МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ БПЛА

- система компьютерного зрения (СКЗ) является интеллектуальной системой, поскольку с помощью сверточных нейронных сетей позволяет на борту БПЛА распознавать объекты различной физической природы (автомобили, людей и т.д.) на изображениях земной поверхности
- СКЗ выполняет анализ видео и тепловизионных изображений и данных с иных датчиков в режиме реального времени
- решение об инцидентах на участках мониторинга по результатам анализа принимается автоматически; сообщение об инциденте и его координаты передаются в наземный пункт управления

СВЕРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

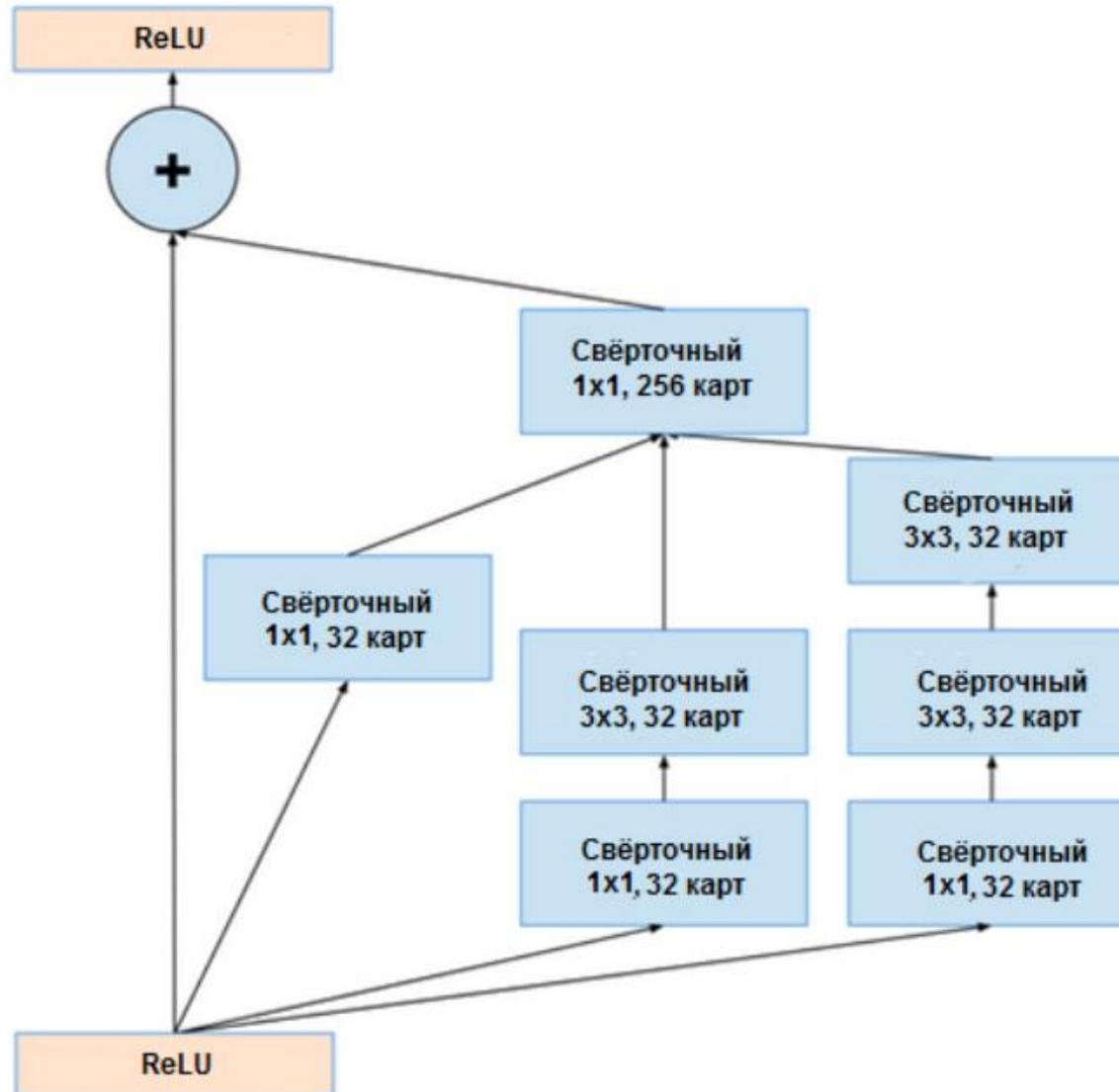
- для классификации/детектирования объектов на изображениях в СКЗ предложено использовать сверточные нейронные сети (СНС, англ. CNN) классов LeNet5 и YOLO; эти сети обеспечивают довольно высокую скорость и точность распознавания объектов
- для повышения скорости детектирования предложено СНС аппаратно реализовать на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС, англ. FPGA)
- использование ПЛИС позволяет создать мобильную СКЗ с минимальным энергопотреблением

АРХИТЕКТУРА СНС tiny-YOLO

- YOLOv2 (22 свёрточных слоя)
- tiny-YOLO (9 свёрточных слоев)

№	Тип слоя	Ядра	Размеры/ шаг	Размеры входа
1	Свёрточный	16	3x3/1	416x416x3
2	Подвыборки	-	2x2/2	416x416x16
3	Свёрточный	32	3x3/1	208x208x16
4	Подвыборки	-	2x2/2	208x208x32
5	Свёрточный	64	3x3/1	104x104x32
6	Подвыборки	-	2x2/2	104x104x64
7	Свёрточный	128	3x3/1	52x52x64
8	Подвыборки	-	2x2/2	52x52x128
9	Свёрточный	256	3x3/1	26x26x128
10	Подвыборки	-	2x2/2	26x26x256
11	Свёрточный	512	3x3/1	13x13x256
12	Подвыборки	-	2x2/1	13x13x512
13	Свёрточный	1024	3x3/1	13x13x512
14	Свёрточный	1024	3x3/1	13x13x1024
15	Свёрточный	125	1x1/1	13x13x1024
16	Детектор	-	-	

Inseption-ResNet-модуль



НОВЫЕ АРХИТЕКТУРЫ СНС КЛАССА YOLO

- tiny-YOLO-Inception-ResNet (использование одного Inception-ResNet-модуля вместо 5-го сверточного слоя tiny-YOLO)
- tiny-YOLO-Inception-ResNet2 (использование двух последовательно исполняемых Inception-ResNet-модулей вместо 5-го сверточного слоя)
- tiny-YOLO-Inception-ResNet3 (использование трех последовательно исполняемых Inception-ResNet-модулей)
- tiny-YOLO-Inception-ResNetx2 (использование двух параллельно исполняемых Inception-ResNet-модулей)
- tiny-YOLO-Inception-ResNetx3 (использование трёх параллельно исполняемых Inception-ResNet-модулей)

Исследования показали, что по критерию точности детектирования перспективными являются СНС №2 и №3, а по критерию минимального времени на анализ одного изображения предпочтение из них следует отдать СНС №2.

УНИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ СВЁРТКИ /ПОДВЫБОРКИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ СКЗ

При проектировании аппаратной СНС на ПЛИС в вычислительном устройстве (ВУ) мобильной СКЗ нами предложен метод унификации вычислительных блоков свёртки/подвыборки:

- унификация этих блоков достигается путем извлечения параметров блоков и размещения их в отдельную область памяти ПЛИС, называемую конфигурационной;
- число блоков, задействованных в аппаратной реализации СНС в целом и в ее слоях может быть переменным и определяется только вычислительными ресурсами ПЛИС.

СПОСОБ 1 ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ВУ

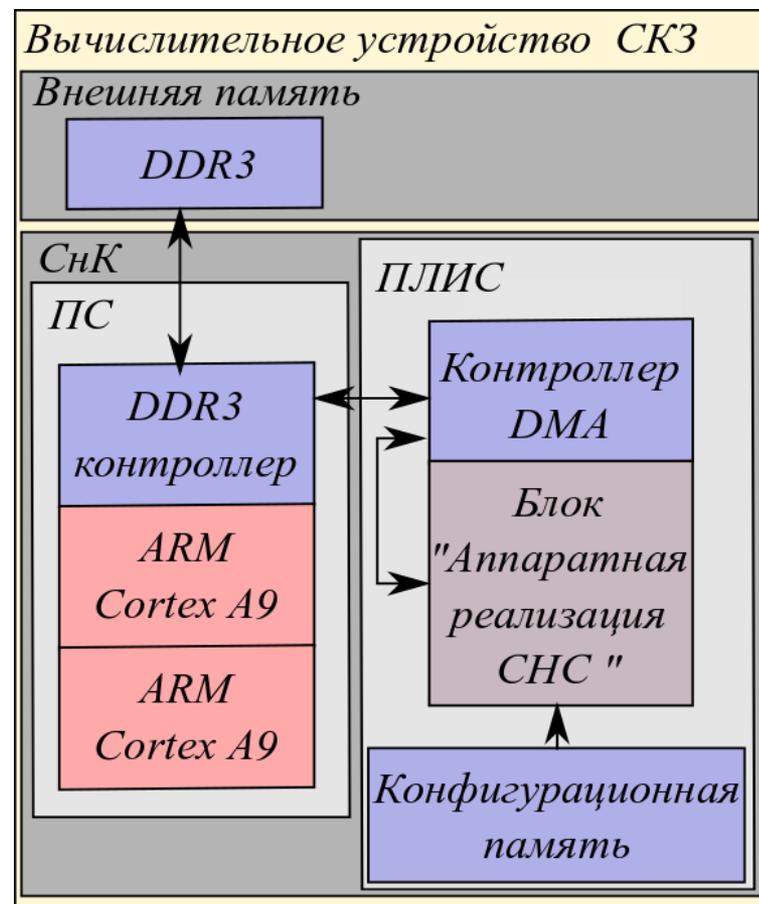
- ВУ мобильной СКЗ реализовано с учетом метода унификации вычислительных блоков на отладочной плате Terasic SoCKit с системой на кристалле (СнК) Cyclone V SX.
- Предложен Способ 1 организации вычислений в ВУ; он предполагает использование в СнК одного канала внешней памяти и одного модуля нейровычислительного устройства (НВУ) в блоке «Аппаратная реализация СНС».

РЕАЛИЗАЦИЯ В ВУ СПОСОБА 1

Основные модули ПЛИС :

- Блок «Аппаратная реализация СНС», в котором имеется НВУ. Оно выполняет процедуры свертки и подвыборки.
- Контроллер DMA, обеспечивающий прямой доступ к внешней памяти.
- Конфигурационная память, содержащая архитектурные параметры СНС.

Укрупненная функциональная схема ВУ

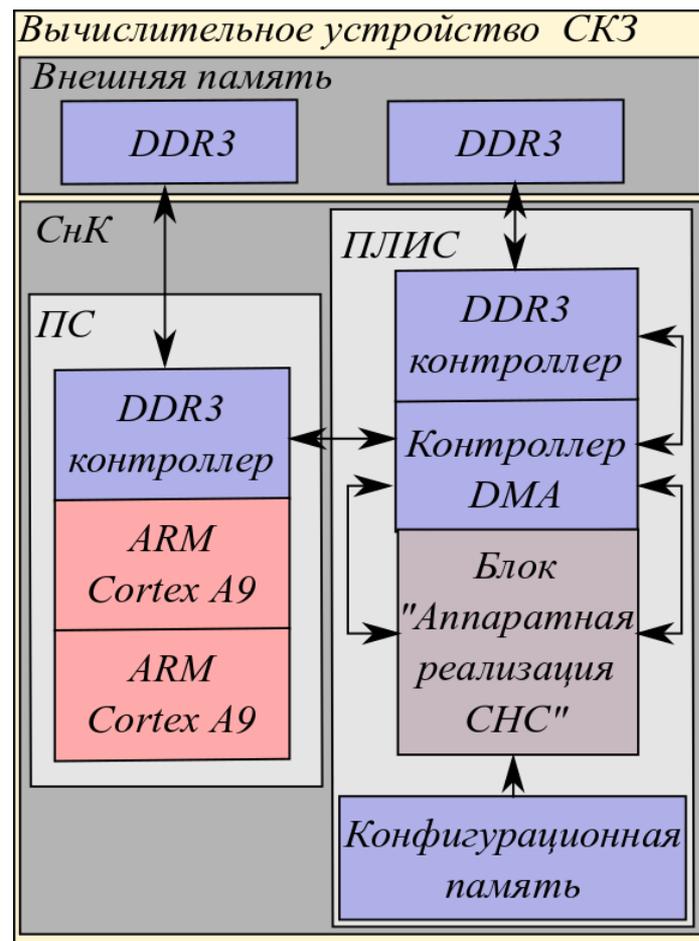


ПС – процессорная система

СПОСОБ 2 ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ В ВУ

- Способ 2 организации вычислений в ВУ предполагает использование в СнК двух каналов внешней памяти и двух модулей внешней памяти.
- Используется один модуль НВУ в блоке «Аппаратная реализация СНС».

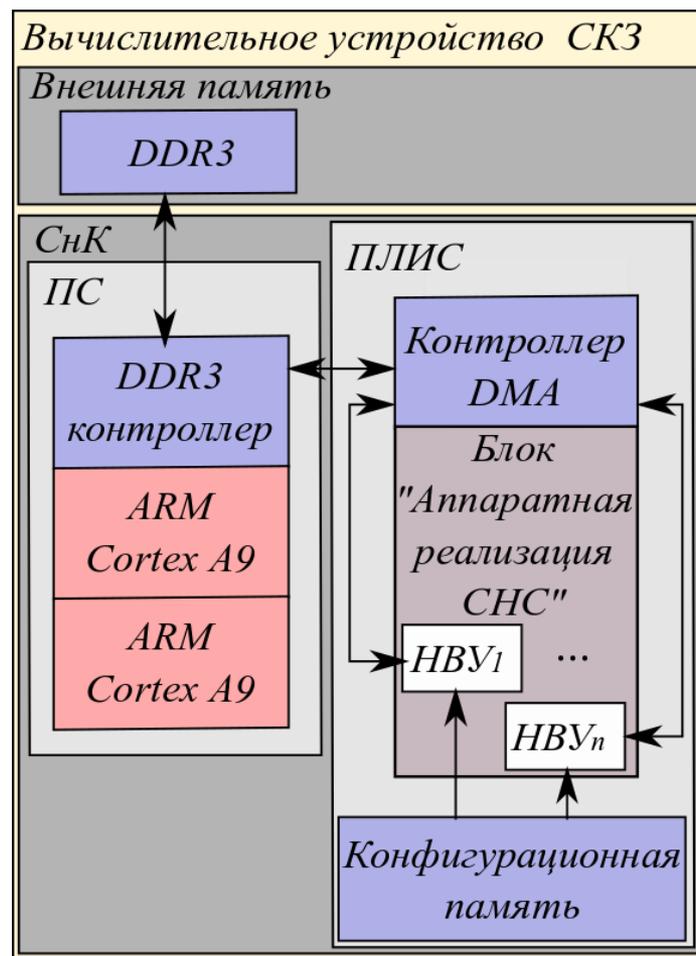
Укрупненная функциональная схема ВУ



СПОСОБ 3 ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ В ВУ

- Способ 3 предполагает использование нескольких модулей НВУ в блоке «Аппаратная реализация СНС».
- Используется только один канал для связи с внешней памятью.

Укрупненная функциональная схема ВУ



ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ВУ

Критерии эффективности:

- скорость классификации объектов на изображениях
- энергопотребление ВУ

Объект исследования:

- класс СНС LeNet5 (модифицированная архитектура LeNet5)
- обучающая и тестовая выборки изображений рукописных цифр MNITS

Конфигурации модуля НВУ

Наименование конфигурации НВУ	К1	К2	К3	К4
Количество вычислительных блоков свёртки	6	10	32	100
Количество вычислительных блоков подвыборки	6	10	32	32

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ВУ

Производительность ВУ при Способе 1
и Способе 2 организации вычислений

Конфигурации НВУ	Среднее время классификации одного изображения, мс	
	Способ 1	Способ 2
К1	16,464	15,487
К2	13,985	11,27
К3	6,933	6,579
К4	7,202	5,986

Энергопотребление ВУ, реализующего Способ 1 — 5,1 Вт

Энергопотребление ВУ, реализующего Способ 2 — 7,4 Вт

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ВУ

Результаты получены для конфигурации КЗ каждого модуля НВУ

Производительность ВУ при Способе 1
и Способе 3 организации вычислений

Производительность вариантов ВУ	Способ 1	Способ 3 (2 модуля НВУ)	Способ 3 (3 модуля НВУ)
Количество одновременно классифицируемых изображений, шт	1	2	3
Среднее время классификации изображений на одном модуле НВУ, мс	6,933	7,811	12,763
Среднее время классификации одного изображения, мс	6,933	3,905	4,161

Энергопотребление ВУ, реализующего Способ 3 — 5,1 Вт

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Разработаны новые архитектуры СНС класса YOLO; в результате исследований выявлено, что наиболее перспективной является СНС архитектуры tiny-YOLO-Inception-ResNet2.
- Предложены способы организации вычислений и на их основе реализованы функциональные схемы трех вариантов ВУ.
- Проведены исследования производительности этих вариантов ВУ при аппаратной реализации СНС класса LeNet5. В результате исследований получено, что наилучшую производительность и минимальное энергопотребление имеет вариант ВУ, реализующий Способ 3 организации вычислений, причем предпочтение нужно отдать ВУ с двумя аппаратно-реализованными на ПЛИС нейровычислительными устройствами.
- В дальнейшем планируются исследования эффективности ВУ в случае аппаратной реализации на ПЛИС СНС архитектуры tiny-YOLO-Inception-ResNet2.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Марков Николай Григорьевич,
e-mail: markovng@tpu.ru