

# Домашнее задание: «Арифметика свёрточной сети»

**Студент № 24 → Вариант 4.** Правило:  $r = (\text{номер} \bmod 5)$ , если  $r = 0$  — Вариант 5.

**Уникальный вариант.** Вы можете сгенерировать себе уникальный вариант задания.

Для этого:

1. Откройте tex-файл и найдите строку с "`{studentnumber}{24}`".
2. Замените число на свой номер студента в группе по ведомости.
3. Сохраните файл и соберите PDF. В серой рамке сверху появится «Студент № "ваш номер" → Вариант "ваш вариант"» - это и есть ваш вариант.
4. Ничего больше в преамбуле не меняйте: архитектура, таблицы и все задания автоматически подстраиваются под ваш номер.

**Мотивация.** В свёрточных сетях важно уметь «вручную» оценивать размеры тензоров, число параметров и вычислительную стоимость. Это помогает проектировать архитектуры, сравнивать модели и понимать, где узкие места. В этом задании вы всё считаете на бумаге — без кода.

**Что нужно сделать.**

1. **Размеры:** вычислите  $H \times W \times C$  после каждого слоя вашей сети.
2. **Параметры:** посчитайте число параметров (с bias) каждого свёрточного слоя и сумму по сети.
3. **Вычислительная стоимость:** оцените MACs для каждого свёрточного слоя и общую сумму (считаем только свёртки; ReLU и Max Pooling игнорируем).
4. **Короткий ответ (2–4 предложения):** почему свёртка эквивариантна сдвигу, а связка *Global Average Pooling + Softmax* повышает инвариантность к сдвигам?

Ваш вариант (зависит от номера студента).

**Вариант 4** (вход  $24 \times 24 \times 3$ ):

- Conv1:  $3 \times 3$ ,  $s = 1$ ,  $p = 1$ ,  $C_{\text{out}} = 12$
- Conv2:  $3 \times 3$ ,  $s = 2$ ,  $p = 1$ ,  $C_{\text{out}} = 24$  (*даунсемплинг*)
- Max Pooling:  $2 \times 2$ ,  $s = 2$
- Conv3:  $1 \times 1$ ,  $s = 1$ ,  $p = 0$ ,  $C_{\text{out}} = 10$
- Global Average Pooling → Softmax

**Что сдаём.** Таблица размеров; таблица параметров; таблица MACs; короткий текст про экви-/инвариантность.

# Домашнее задание: «Арифметика свёрточной сети»

## Справка

Размеры выхода (Conv/Pooling).

$$H_{\text{out}} = \left\lfloor \frac{H + 2p - k}{s} \right\rfloor + 1, \quad W_{\text{out}} = \left\lfloor \frac{W + 2p - k}{s} \right\rfloor + 1.$$

Параметры Conv2D (с bias). #params =  $(k_H k_W C_{\text{in}}) C_{\text{out}} + C_{\text{out}}$ .

**MAC и связь с FLOPs.** MAC (*Multiply–ACcumulate*) — операция  $a \leftarrow a + b \times c$ . Для свёртки:

$$\text{MACs} = H_{\text{out}} W_{\text{out}} C_{\text{in}} k^2 C_{\text{out}}.$$

Во многих отчётах FLOPs  $\approx 2 \times \text{MACs}$  (умножение+сложение считаются раздельно). Конвенции (учёт bias, FMA) могут различаться между фреймворками/статьями.

**Global Average Pooling (глобальное среднее пулинг).** Для карты признаков  $A \in \mathbb{R}^{H \times W \times C}$ :

$$y_c = \frac{1}{HW} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W A_{i,j,c}.$$

Global Average Pooling убирает координаты (усиливает инвариантность к сдвигам) и не добавляет параметров.

**Конвенции этого ДЗ.** Свёртка трактуется как кросс-корреляция; ядра квадратные  $k \times k$ . Считаем MACs только для свёрток; ReLU и Max Pooling игнорируем.

# Домашнее задание: «Арифметика свёрточной сети»

## Бланк ответов

**Задание 1.** Напишите размеры тензоров после каждого слоя.

На вход тензор:  $24 \times 24 \times 3$

#	Слой	$k$	$s$	$p$	$C_{\text{in}}$	$C_{\text{out}}$	Размер выхода $H \times W \times C$
—	<i>Bxod</i>	—	—	—	—	—	—
1	Conv1	$3 \times 3$	1	1	3	12	—
2	Conv2	$3 \times 3$	2	1	12	24	—
3	Max Pooling	$2 \times 2$	2	0	—	—	—
4	Conv3	$1 \times 1$	1	0	24	10	—
5	Global Average Pooling	—	—	—	—	—	$1 \times 1 \times 10$

**Задание 2.** Посчитайте число параметров каждого свёрточного слоя и сумму.

Подсказка по формуле:  $(k^2 C_{\text{in}})C_{\text{out}} + C_{\text{out}}$  (bias учитываем).

#	Слой	$k$	$s$	$p$	$C_{\text{in}}$	$C_{\text{out}}$	#params
1	Conv1	$3 \times 3$	1	1	3	12	—
2	Conv2	$3 \times 3$	2	1	12	24	—
3	Max Pooling	$2 \times 2$	2	0	—	—	—
4	Conv3	$1 \times 1$	1	0	24	10	—
5	Global Average Pooling	—	—	—	—	—	—

**Задание 3.** Оцените MACs для каждого свёрточного слоя и общую сумму.

Подсказка по формуле:  $\text{MACs} = H_{\text{out}}W_{\text{out}}C_{\text{in}}k^2C_{\text{out}}$ .

#	Слой	$k$	$s$	$p$	$C_{\text{in}}$	$C_{\text{out}}$	$H_{\text{out}} \times W_{\text{out}}$	$k^2$	MACs
1	Conv1	$3 \times 3$	1	1	3	12	—	9	—
2	Conv2	$3 \times 3$	2	1	12	24	—	9	—
3	Max Pooling	$2 \times 2$	2	0	—	—	—	—	—
4	Conv3	$1 \times 1$	1	0	24	10	—	1	—
5	Global Average Pooling	—	—	—	—	—	—	—	—

**Задание 4.** Коротко: эквивариантность свёртки и инвариантность от Global Average Pooling + Softmax (2–4 предложения).