实验指导：动物分类任务

> **Note**
>
> 本次实验模型训练环节耗时较长，建议提前规划实验进度并充分预留训练时间，以确保完整掌握实验内容、按时提交作业！

实验背景

本实验基于PaddlePaddle深度学习框架，完成动物分类任务。实验分为两个部分：

1. **基础任务**：使用卷积神经网络（CNN）对动物图片进行分类。
2. **进阶任务**：尝试数据增强、改进模型架构（如Vision Transformer）或半监督学习，进一步提升分类性能。

实验目标

1. 熟悉深度学习的基本流程，包括数据处理、模型设计、训练和测试。
2. 掌握卷积神经网络（CNN）和Vision Transformer（ViT）的基本原理和实现。
3. 学会通过数据增强、调整参数、模型改进和半监督学习等方法提升模型性能。

实验流程

1. **数据准备**：
   - 解压数据集，划分训练集、验证集、测试集和半监督数据集。
2. **数据增强**：
   - 在训练数据中应用随机旋转、裁剪等增强操作。
3. **模型设计**：
   - 实现基础 CNN 模型。
   - 尝试改进 CNN 或使用 ViT 模型。
4. **模型训练**：
   - 使用训练集训练模型，记录训练和验证损失及准确率。
5. **半监督学习**：
   - 对未标注数据生成伪标签，扩充训练集。
6. **测试与提交**：
   - 在测试集上评估模型性能，并生成预测结果。

环境配置说明

飞桨平台环境

本实验可直接在 **AI Studio 飞桨平台** 运行，无需手动配置环境。平台已预装以下核心依赖包：

```
# 完整依赖请看附录
paddlepaddle-gpu==2.0.2.post101
numpy==1.20.3
matplotlib==2.2.3
opencv-python==4.1.1.26
pillow==7.1.2
```

本地环境配置

若需在本地运行项目，请严格遵循下述环境配置流程（Windows11系统实测可用），特别注意**PaddlePaddle版本兼容性要求**，macOS环境请参照对应方案自行适配。

1. 安装方式

- **推荐**：使用 `conda` 根据 `environment.yml` 创建虚拟环境（提供GPU和CPU版本的yml文件，根据实际情况选择）：

  ```
  # GPU版本
  conda env create -f environment.yml
  # CPU版本
  conda env create -f environment_cpu.yml
  # 激活环境
  conda activate ai_experiment
  ```

- **手动安装**：如果根据 `environment.yml` 创建虚拟环境缓慢或不成功，可以手动安装所需依赖，相关命令如下：

  ```
  # 创建Python虚拟环境（3.8版本）
  conda create -n ai_experiment python=3.8 -y

  # 激活虚拟环境
  conda activate ai_experiment
  ```

```
6
7  # 安装 paddlepaddle-gpu（GPU版本），务必设置pip镜像源
8  pip install paddlepaddle-gpu==2.6.2.post120 -i
   https://www.paddlepaddle.org.cn/packages/stable/cu120/
9  # 安装 paddlepaddle（CPU版本），务必设置pip镜像源
10 pip install paddlepaddle==2.6.2 -i
   https://www.paddlepaddle.org.cn/packages/stable/cpu/
11
12 # 其他依赖
13 pip install numpy==1.24.4
14 pip install matplotlib==3.7.5
15 pip install opencv-python==4.11.0.86
16 pip install pillow==10.4.0
17 conda install jupyterlab=4.2.5
18 pip install jupyter==1.0.0 -i
   https://pypi.tuna.tsinghua.edu.cn/simple
```

2. PaddlePaddle版本说明

- **GPU版本**：`paddlepaddle_gpu==2.6.2.post120`
  需匹配本地CUDA版本（如CUDA 12.1）。
- **CPU版本**：`paddlepaddle==2.6.2`
  仅适用于无GPU设备，训练速度显著下降。

注意事项

1. **CUDA版本检查**
   本地运行前需确认CUDA驱动版本：

   ```
   1 nvidia-smi  # 查看CUDA版本
   ```

   - 若CUDA版本与PaddlePaddle不匹配，可能导致无法调用GPU。
2. **代码适配性**
   - 本实验的本地运行版本代码（`main-local.ipynb`）已适配 **Paddle 2.6.2**，部分API（如 `fluid.layers`）在旧版本中可能废弃。
   - 如果要在本地进行实验，请先从飞桨平台下载数据集，并按照飞桨平台的文件路径放置数据集。然后在本地运行`main-local.ipynb`文件！
   - 若从其他版本迁移，可参考Paddle 1.8 与 Paddle 2.0 API 映射表：

实验内容

任务 1：数据增强

任务位置：`main.py` 文件的 `3.3 数据处理` 部分。

任务内容：在训练数据的预处理中，添加数据增强操作，例如随机旋转、裁剪、水平翻转等。

任务目的：通过数据增强，增加训练数据的多样性，提升模型泛化能力，防止过拟合。

实现提示：

在`transforms.Compose`中添加增强操作，例如：

```
transforms.RandomRotation(15),  # 随机旋转
transforms.RandomHorizontalFlip(),  # 随机水平翻转
transforms.RandomCrop(128, padding=4),  # 随机裁剪
......
```

注意事项：测试集无需增强，仅调整大小和归一化。

任务 2：定义 CNN 模型

任务位置：`main.py` 文件的 `3.4 模型` 部分。

任务内容：实现一个简单的卷积神经网络（CNN），包括卷积层、池化层和全连接层。

任务目的：掌握 CNN 的基本结构和实现方法，为后续改进模型打下基础。

实现提示：修改`self.cnn_layers`，例如增加卷积层数、调整通道数

```
class CNN(nn.Layer):
    def __init__(self):
```

```
        super(CNN, self).__init__()
        self.cnn_layers = nn.Sequential(
            nn.Conv2D(3, 64, 3, 1, 1),
            nn.ReLU(),
            nn.MaxPool2D(2, 2, 0),
            nn.Conv2D(64, 128, 3, 1, 1),
            nn.ReLU(),
            nn.MaxPool2D(2, 2, 0),
            nn.Conv2D(128, 256, 3, 1, 1),
            nn.ReLU(),
            nn.MaxPool2D(4, 4, 0),
        )
        self.fc_layers = nn.Sequential(
            nn.Linear(256 * 8 * 8, 256),
            nn.ReLU(),
            nn.Linear(256, 10)
        )

    def forward(self, x):
        x = self.cnn_layers(x)
        x = x.flatten(1)
        x = self.fc_layers(x)
        return x
```

任务 3：改进 CNN 模型或使用自定义模型

任务位置：`main.py` 文件的 `3.4 模型` 部分。

任务内容：在基础 CNN 的基础上，增加卷积层数、调整滤波器数量或引入其他改进（如批量归一化、Dropout）。也可以使用自定义的模型。

任务目的：通过改进模型架构，提升分类性能。

注意事项：

- 使用互联网上任何模型都是允许的，但是，如果想使用常见的网络结构，如vgg等，请确保不要加载预训练的参数。
  例如，如果您使用 ResNet-18 作为模型：
  - model = paddle.vision.models.resnet18(pretrained=False) → 这是符合要求。
  - model = paddle.models.resnet18(pretrained=True) → 这是不符合要求的。

- 复杂的网络有过拟合的风险，当改变网络结构时，超参也有可能需要调整。

任务 4：模型初始化

任务位置：`main.py` 文件的 `3.5 训练` 部分。

任务内容：选择CNN、ViT或其他模型进行训练。

任务 5&6：半监督学习

任务位置：`main.py` 文件的 `3.5.2 半监督学习` 部分。

任务内容：使用训练好的模型对未标注数据进行预测，并生成伪标签，扩充训练数据集。

任务目的：通过半监督学习，利用未标注数据提升模型性能。

任务5

过滤高置信度预测结果并构建数据集，可以参考以下过程：

1. **获取模型预测结果**
   - 使用模型对无标签数据的前向传播，得到每个样本的 `logits`。
   - 对 `logits` 应用 `Softmax`，将其转换为概率分布 `probs`（形状为 `[batch_size, num_classes]`）。
2. **筛选高置信度样本**
   - 计算每个样本的 **最大概率值**（对应预测类别的置信度）和 **预测类别**（`argmax`）。
   - 创建一个布尔掩码 `mask`，筛选出置信度大于设定阈值（如 `threshold=0.65`）的样本。
3. **构建伪标签数据集**
   - 使用 `mask` 从原始数据中提取符合条件的图片和对应的预测类别。
   - 将筛选后的数据转换为 `Tensor` 格式，并封装为自定义数据集类。

任务6

调用函数生成半监督数据集，可以参考以下过程：

1. **生成伪标签数据集**
   - 调用 `get_pseudo_labels` 函数，传入无标签数据集（如 `semi_set`）和模型，生成带伪标签的数据集。
2. **合并数据集并调整训练参数**
   - 将生成的伪标签数据集与原始训练集合并，或单独作为新数据加载器。
   - 调整训练参数（如降低学习率、增加训练轮次），避免模型被噪声标签误导。

任务 7：ViT模型补全

任务位置：`main.py` 文件的 `3.4.2 VisionTransformer模型` 部分，以及 `ViT.py` 文件。

任务内容：实现 Vision Transformer（ViT）模型，并调整其参数（如嵌入维度、注意力头数等）。

任务目的：探索 ViT 在小数据集上的表现，学习 Transformer 的基本原理。

实现提示：

在 `ViT.py` 文件中完成以下任务：

> **Tip**
>
> 这部分任务不难，主要用于让同学们了解多头注意力机制（Multi-head Attention）的实现，并进一步学习 Transformer 的基本原理。

1. **ViT任务1**：根据总维度dim与注意力头数num_heads推导单个注意力头的维度

```
head_dim = ______
```

2. **ViT任务2**：构造同时生成Q/K/V的线性层（提示：每个矩阵维度为dim）

```
self.qkv = nn.Linear(in_features=dim, out_features=______,
bias_attr=qkv_bias)
```

3. **ViT任务3**：分割Q/K/V，按顺序取qkv的值

```
q, k, v = qkv[0], qkv[1], qkv[______]
```

4. **ViT任务4**：缩放点积注意力，考虑 self.scale

```
attn = (q.matmul(k.transpose((0, 1, 3, 2)))) * ______
```

5. **ViT任务5**： 沿特征维度进行概率归一化

```
attn = nn.functional.softmax(attn, axis=______)
```

完成后，在 `main.py` 中**探索一组合适的参数**并初始化 ViT 模型：

```
# 始化 ViT 模型
model = VisionTransformer()
```

注意事项

1. **禁止使用预训练模型**：若使用ResNet等架构，需设置`pretrained=False`。
2. **超参数调整**：学习率（如`0.001`）、Batch Size（如`256`）、训练轮次（如`35`）需根据模型调整。
3. **半监督学习**：建议在基础模型表现较好后（val_acc > 0.7）再启用。

作业报告要求

1. **实验结果**：提交测试集的预测结果（`predict.csv` 文件）。
2. **实验代码复现**：提交完整的代码文件（`main.ipynb` 和 `ViT.py`）。
3. **实验报告**：提交实验报告，回答实验报告中的问题（`Report.pdf`）。
4. **问答题作答**：提交问答题的作答（`QA.pdf`）。
5. **其他任何你想说明的东西**：非重要不提交。

附录

飞桨平台完整环境依赖列表

AI Studio 飞桨平台 中的完整依赖清单如下：

```
Package                       Version
----------------------------- ---------------
absl-py                       0.8.1
aiofiles                      23.2.1
aiohttp                       3.8.6
aiosignal                     1.3.1
alembic                       1.8.1
altair                        4.2.0
annotated-types               0.5.0
anyio                         3.7.1
argon2-cffi                   21.3.0
argon2-cffi-bindings          21.2.0
aspy.yaml                     1.3.0
astor                         0.8.1
astroid                       2.4.1
async-generator               1.10
async-timeout                 4.0.3
asynctest                     0.13.0
attrs                         22.1.0
audioread                     2.1.8
autopep8                      1.6.0
Babel                         2.8.0
backcall                      0.1.0
backports.zoneinfo            0.2.1
bce-python-sdk                0.8.53
beautifulsoup4                4.11.1
bleach                        5.0.1
blinker                       1.6.3
cachetools                    4.0.0
certifi                       2019.9.11
certipy                       0.1.3
cffi                          1.15.1
cfgv                          2.0.1
chardet                       3.0.4
charset-normalizer            3.3.2
```

```
Click                           7.0
cloudpickle                     1.6.0
cma                             2.7.0
colorama                        0.4.4
colorlog                        4.1.0
cryptography                    38.0.1
cycler                          0.10.0
Cython                          0.29
debugpy                         1.6.0
decorator                       4.4.2
defusedxml                      0.7.1
dill                            0.3.3
easydict                        1.9
entrypoints                     0.4
et-xmlfile                      1.0.1
exceptiongroup                  1.2.0
fastapi                         0.85.1
fastjsonschema                  2.16.1
ffmpy                           0.3.1
filelock                        3.0.12
flake8                          4.0.1
Flask                           1.1.1
Flask-Babel                     1.0.0
Flask-Cors                      3.0.8
forbiddenfruit                  0.1.3
frozenlist                      1.3.3
fsspec                          2023.1.0
funcsigs                        1.0.2
future                          0.18.0
gast                            0.3.3
gitdb                           4.0.5
GitPython                       3.1.14
google-auth                     1.10.0
google-auth-oauthlib            0.4.1
gradio                          3.34.0
gradio_client                   0.2.6
graphviz                        0.13
greenlet                        1.1.3
grpcio                          1.35.0
gunicorn                        20.0.4
gym                             0.12.1
h11                             0.14.0
h5py                            2.9.0
httpcore                        0.17.3
httpx                           0.24.1
```

```
huggingface-hub                 0.16.4
identify                        1.4.10
idna                            2.8
imageio                         2.6.1
imageio-ffmpeg                  0.3.0
importlib-metadata              4.2.0
importlib-resources             5.9.0
ipykernel                       6.9.1
ipython                         7.34.0
ipython-genutils                0.2.0
ipywidgets                      7.6.5
isort                           4.3.21
itsdangerous                    1.1.0
jdcal                           1.4.1
jedi                            0.17.2
jieba                           0.42.1
Jinja2                          3.0.0
joblib                          0.14.1
JPype1                          0.7.2
json5                           0.9.5
jsonschema                      4.16.0
jupyter-archive                 3.2.1
jupyter_client                  7.3.5
jupyter-core                    4.11.1
jupyter-lsp                     1.5.1
jupyter-server                  1.16.0
jupyter-telemetry               0.1.0
jupyterhub                      1.3.0
jupyterlab                      3.4.5
jupyterlab-language-pack-zh-CN 3.4.post1
jupyterlab-pygments             0.2.2
jupyterlab-server               2.10.3
jupyterlab-widgets              3.0.3
kiwisolver                      1.1.0
lazy-object-proxy               1.4.3
librosa                         0.7.2
lightgbm                        3.1.1
linkify-it-py                   2.0.2
llvmlite                        0.31.0
lxml                            4.9.1
Mako                            1.2.2
Markdown                        3.1.1
markdown-it-py                  2.2.0
MarkupSafe                      2.0.1
matplotlib                      2.2.3
```

```
matplotlib-inline               0.1.6
mccabe                          0.6.1
mdit-py-plugins                 0.3.3
mdurl                           0.1.1
mistune                         0.8.4
more-itertools                  7.2.0
moviepy                         1.0.1
multidict                       6.0.4
multiprocess                    0.70.11.1
nbclassic                       0.3.1
nbclient                        0.5.13
nbconvert                       6.4.4
nbformat                        5.5.0
nest-asyncio                    1.5.5
netifaces                       0.10.9
networkx                        2.4
nltk                            3.4.5
nodeenv                         1.3.4
notebook                        5.7.0
numba                           0.48.0
numpy                           1.20.3
oauthlib                        3.1.0
objgraph                        3.4.1
opencv-python                   4.1.1.26
openpyxl                        3.0.5
orjson                          3.9.7
packaging                       21.3
paddlehub                       2.0.4
paddlenlp                       2.0.7
paddlepaddle-gpu                2.0.2.post101
pamela                          1.0.0
pandas                          1.1.5
pandocfilters                   1.5.0
parl                            1.4.1
parso                           0.7.1
pathlib                         1.0.1
pexpect                         4.7.0
pickleshare                     0.7.5
Pillow                          7.1.2
pip                             22.1.2
pkgutil_resolve_name            1.3.10
plotly                          5.8.0
pluggy                          1.0.0
pre-commit                      1.21.0
prettytable                     0.7.2
```

```
proglog                         0.1.9
prometheus-client               0.14.1
prompt-toolkit                  2.0.10
protobuf                        3.20.1
psutil                          5.7.2
ptyprocess                      0.7.0
py4j                            0.10.9.2
pyarrow                         12.0.1
pyasn1                          0.4.8
pyasn1-modules                  0.2.7
pycodestyle                     2.8.0
pycparser                       2.21
pycryptodome                    3.9.9
pydantic                        1.10.13
pydantic_core                   2.14.6
pydeck                          0.8.1b0
pydocstyle                      5.0.2
pydub                           0.25.1
pyflakes                        2.4.0
pyglet                          1.4.5
Pygments                        2.13.0
pylint                          2.5.2
Pympler                         1.0.1
pynvml                          8.0.4
pyOpenSSL                       22.0.0
pyparsing                       3.0.9
pypmml                          0.9.11
pyrsistent                      0.18.1
python-dateutil                 2.8.2
python-json-logger              2.0.4
python-jsonrpc-server           0.3.4
python-language-server          0.33.0
python-lsp-jsonrpc              1.0.0
python-lsp-server               1.5.0
python-multipart                0.0.6
pytz                            2019.3
PyYAML                          5.1.2
pyzmq                           23.2.1
rarfile                         3.1
recordio                        0.1.7
requests                        2.22.0
requests-oauthlib               1.3.0
resampy                         0.2.2
rich                            13.7.0
rope                            0.17.0
```

```
rsa                             4.0
ruamel.yaml                     0.17.21
ruamel.yaml.clib                0.2.6
scikit-learn                    0.24.2
scipy                           1.6.3
seaborn                         0.10.0
semantic-version                2.10.0
semver                          3.0.2
Send2Trash                      1.8.0
sentencepiece                   0.1.85
seqeval                         1.2.2
setuptools                      56.2.0
shellcheck-py                   0.7.1.1
simplegeneric                   0.8.1
six                             1.16.0
sklearn                         0.0
smmap                           3.0.5
sniffio                         1.3.0
snowballstemmer                 2.0.0
SoundFile                       0.10.3.post1
soupsieve                       2.3.2.post1
SQLAlchemy                      1.4.41
starlette                       0.20.4
streamlit                       1.13.0
streamlit-image-comparison      0.0.4
tabulate                        0.8.3
tb-nightly                      1.15.0a20190801
tb-paddle                       0.3.6
tenacity                        8.0.1
tensorboard                     2.1.0
tensorboardX                    1.8
termcolor                       1.1.0
terminado                       0.15.0
testpath                        0.4.2
threadpoolctl                   2.1.0
tinycss2                        1.1.1
toml                            0.10.0
toolz                           0.12.0
tornado                         6.2
tqdm                            4.66.1
traitlets                       5.4.0
typed-ast                       1.4.1
typing_extensions               4.7.1
tzlocal                         5.1
uc-micro-py                     1.0.2
```

```
ujson                       1.35
urllib3                     1.25.6
uvicorn                     0.22.0
validators                  0.20.0
virtualenv                  16.7.9
visualdl                    2.2.0
watchdog                    3.0.0
wcwidth                     0.1.7
webencodings                0.5.1
websocket-client            1.4.1
websockets                  11.0.3
Werkzeug                    0.16.0
whatthepatch                1.0.2
wheel                       0.36.2
widgetsnbextension          3.5.2
wrapt                       1.12.1
xarray                      0.16.2
xgboost                     1.3.3
xlrd                        1.2.0
yapf                        0.26.0
yarl                        1.9.4
zipp                        3.8.1
```