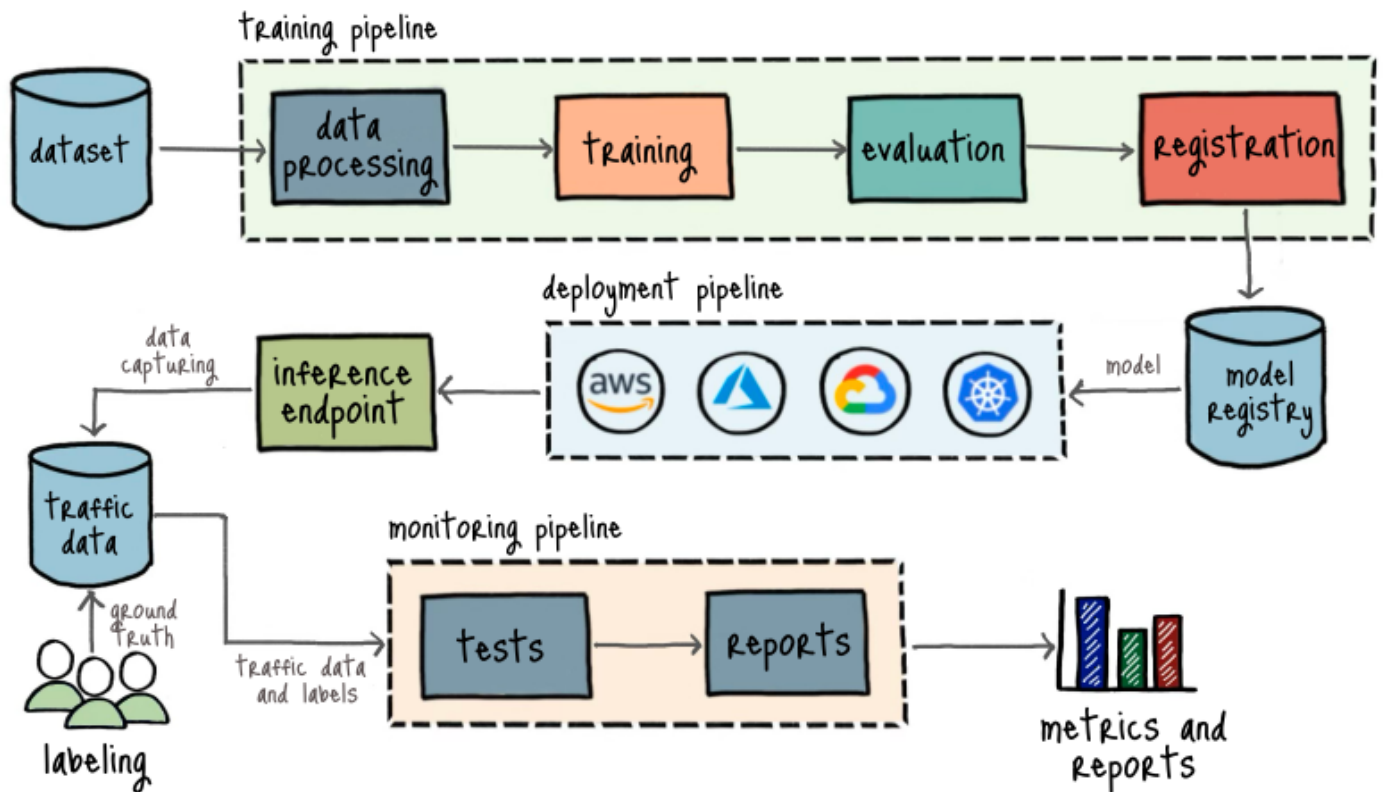


MLFlow nâng cao

- High-level Architecture
- Cài đặt môi trường
- Tổng Quan Quy Trình Pipeline Huấn Luyện Mô Hình
- Xây Dựng Hàm Phụ Trợ PipeLine
- Bắt đầu với Pipeline

High-level Architecture



Mối quan hệ giữa các thành phần

1. **Training Pipeline** tạo ra mô hình → đẩy vào **Model Registry**.
2. **Deployment Pipeline** lấy mô hình từ registry → triển khai trên AWS → cung cấp API inference.
3. **Traffic Data** cập nhật **ground truth** → dùng để cải thiện mô hình qua feedback loop.

Dưới đây là giải thích chi tiết từng thành phần trong kiến trúc bạn cung cấp, được chia theo 3 pipeline chính:

1. Training Pipeline (Quy trình huấn luyện mô hình)

Dataset

- **Ý nghĩa:** Tập dữ liệu đầu vào để huấn luyện mô hình AI/ML.
- **Chi tiết:**
 - Có thể bao gồm dữ liệu lịch sử giao thông (ví dụ: hình ảnh camera, cảm biến, dữ liệu GPS).
 - Thường được chia thành **train/validation/test sets**.

Data processing

- **Ý nghĩa:** Giai đoạn tiền xử lý dữ liệu thô.
- **Chi tiết:**
 - **Làm sạch dữ liệu:** Loại bỏ nhiễu, giá trị thiếu, dữ liệu trùng lặp.
 - **Chuẩn hóa:** Đưa dữ liệu về cùng định dạng (ví dụ: resize ảnh, scaling số liệu).
 - **Feature engineering:** Tạo đặc trưng mới (ví dụ: thời gian cao điểm, thời tiết).

Training

- **Ý nghĩa:** Huấn luyện mô hình học máy từ dữ liệu đã xử lý.
- **Chi tiết:**
 - Sử dụng các thuật toán như Neural Networks, Random Forest, SVM...
 - Mục tiêu: Học các patterns từ dữ liệu giao thông (ví dụ: dự đoán ùn tắc).

Evaluation

- **Ý nghĩa:** Đánh giá hiệu suất mô hình.
- **Chi tiết:**
 - Dùng metrics như **Accuracy, Precision, Recall, F1-score** (với bài toán phân loại) hoặc **MAE, RMSE** (với bài toán hồi quy).
 - Kiểm tra overfitting/underfitting bằng validation set.

Registration

- **Ý nghĩa:** Lưu trữ mô hình đã huấn luyện vào kho quản lý.
- **Chi tiết:**
 - **Model Registry** (ví dụ: MLflow, AWS SageMaker Model Registry) giúp versioning, tracking.
 - Cho phép triển khai lại mô hình cũ nếu mô hình mới hoạt động kém.

2. Deployment Pipeline (Quy trình triển khai mô hình)

Data capturing

- **Ý nghĩa:** Thu thập dữ liệu mới từ hệ thống thực tế.
- **Chi tiết:**
 - Ví dụ: Ảnh từ camera giao thông, dữ liệu cảm biến IoT.
 - Có thể sử dụng **Kafka** hoặc **AWS Kinesis** để xử lý real-time.

Inference endpoint

- **Ý nghĩa:** Điểm kết nối để gọi mô hình dự đoán.
- **Chi tiết:**

- Triển khai dưới dạng **API** (REST/gRPC) hoặc **serverless function** (AWS Lambda).
- Nhận input (ví dụ: ảnh giao thông) → trả kết quả (ví dụ: mức độ ùn tắc).

AWS

- **Ý nghĩa:** Nền tảng cloud để triển khai hệ thống.
- **Chi tiết:**
 - **SageMaker:** Huấn luyện và triển khai mô hình.
 - **EC2/Lambda:** Chạy inference.
 - **S3:** Lưu trữ dữ liệu.

Model

- **Ý nghĩa:** Mô hình đã được huấn luyện sẵn sàng triển khai.
- **Chi tiết:**
 - Được lấy từ **Model Registry** trong Training Pipeline.
 - Đóng gói thành container (Docker) để deploy.

Model Registry

- **Ý nghĩa:** Kho lưu trữ các phiên bản mô hình.
- **Chi tiết:**
 - Theo dõi metadata: Hiệu suất, ngày huấn luyện, người tạo.
 - Hỗ trợ rollback nếu cần.

3. Traffic Data (Dữ liệu giao thông)

Ground truth

- **Ý nghĩa:** Dữ liệu thực tế được gán nhãn chính xác.
- **Chi tiết:**
 - Ví dụ: Ảnh giao thông được cảnh sát gán nhãn "kẹt xe" hoặc "thông thoáng".
 - Dùng để so sánh với kết quả dự đoán của mô hình.

Traffic data and labels

- **Ý nghĩa:** Dữ liệu thô + nhãn tương ứng.
- **Chi tiết:**
 - **Dữ liệu:** Lưu lượng xe, tốc độ di chuyển, thời gian.
 - **Nhãn:** Mức độ ùn tắc (0-10), loại sự cố (tai nạn, đường hư hỏng).

Testing

- **Ý nghĩa:** Kiểm thử mô hình trên dữ liệu mới.
- **Chi tiết:**
 - **A/B testing:** So sánh mô hình cũ vs mới.

- **Canary deployment:** Triển khai thử nghiệm trên một phần hệ thống.

Reports & Metrics and reports

- **Ý nghĩa:** Đo lường hiệu quả và báo cáo.
- **Chi tiết:**
 - **Metrics:** Precision/Recall của mô hình, độ trễ inference.
 - **Reports:** Xuất file PDF/CSV hoặc dashboard (Power BI, Grafana).

Tác giả: Đỗ Ngọc Tú
Công Ty Phần Mềm VHTSoft

Cài đặt môi trường

Đảm bảo trên máy đã cài **Python 3.12** hoặc cao hơn

```
python3 -m venv .venv  
source .venv/bin/activate
```

```
pip3 install -U pip && pip3 install -r requirements.txt
```

file requirements.txt download tại <https://github.com/vhtsoft/machine-learning.git>

Tại thời điểm này, bạn sẽ có một môi trường Python đang hoạt động với tất cả các phụ thuộc cần thiết. Bước cuối cùng là tạo một tệp .env bên trong thư mục gốc của kho lưu trữ. Chúng ta sẽ sử dụng tệp này để xác định các biến môi trường cần thiết để chạy các pipeline

```
echo "KERAS_BACKEND=jax" >> .env
```

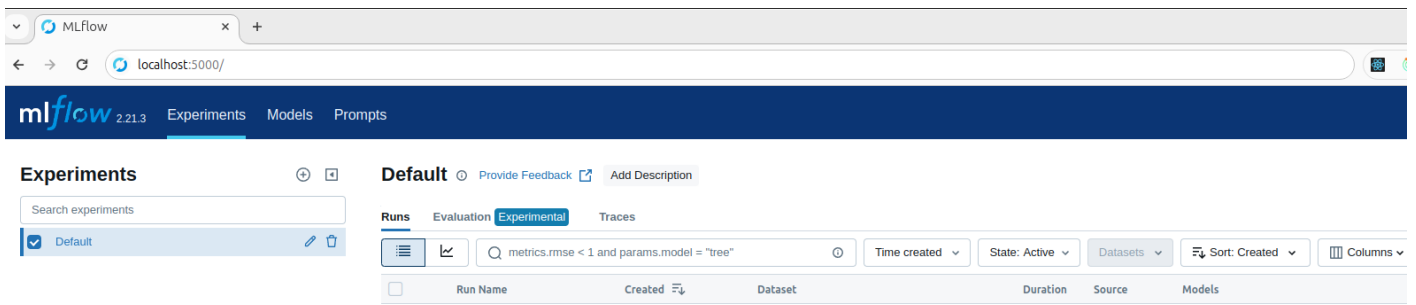
Chạy MLflow

```
mlflow server --host 127.0.0.1 --port 5000
```

```
-4/practice$ mlflow server --host 127.0.0.1 --port 5000  
[2025-04-19 21:50:59 +0700] [489759] [INFO] Starting gunicorn 23.0.0  
[2025-04-19 21:50:59 +0700] [489759] [INFO] Listening at: http://127.0.0.1:5000  
(489759)  
[2025-04-19 21:50:59 +0700] [489759] [INFO] Using worker: sync  
[2025-04-19 21:50:59 +0700] [489760] [INFO] Booting worker with pid: 489760  
[2025-04-19 21:50:59 +0700] [489761] [INFO] Booting worker with pid: 489761  
[2025-04-19 21:50:59 +0700] [489762] [INFO] Booting worker with pid: 489762  
[2025-04-19 21:50:59 +0700] [489763] [INFO] Booting worker with pid: 489763
```

Tại Browser

```
http://localhost:5000/
```



Theo mặc định, MLflow theo dõi các thử nghiệm và lưu trữ dữ liệu trong các tệp bên trong thư mục `./mlruns` cục bộ. Bạn có thể thay đổi vị trí của thư mục theo dõi hoặc sử dụng cơ sở dữ liệu SQLite bằng tham số `--backend-store-uri`. Ví dụ sau sử dụng cơ sở dữ liệu SQLite để lưu trữ dữ liệu theo dõi:

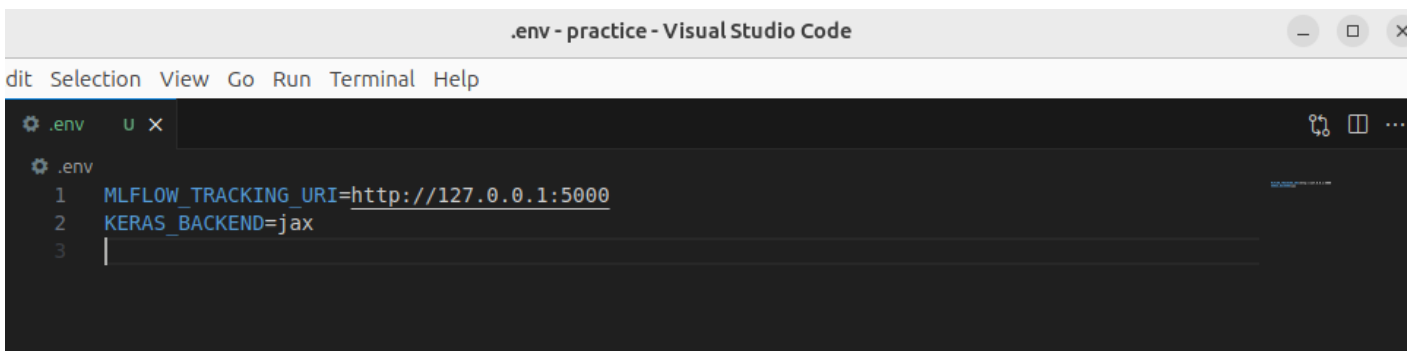
```
mlflow server --host 127.0.0.1 --port 5000 --backend-store-uri sqlite:///mlflow.db
```

Để biết thêm thông tin, hãy kiểm tra một số cách phổ biến để thiết lập MLflow. Bạn cũng có thể chạy lệnh sau để biết thêm thông tin về máy chủ:

```
mlflow server --help
```

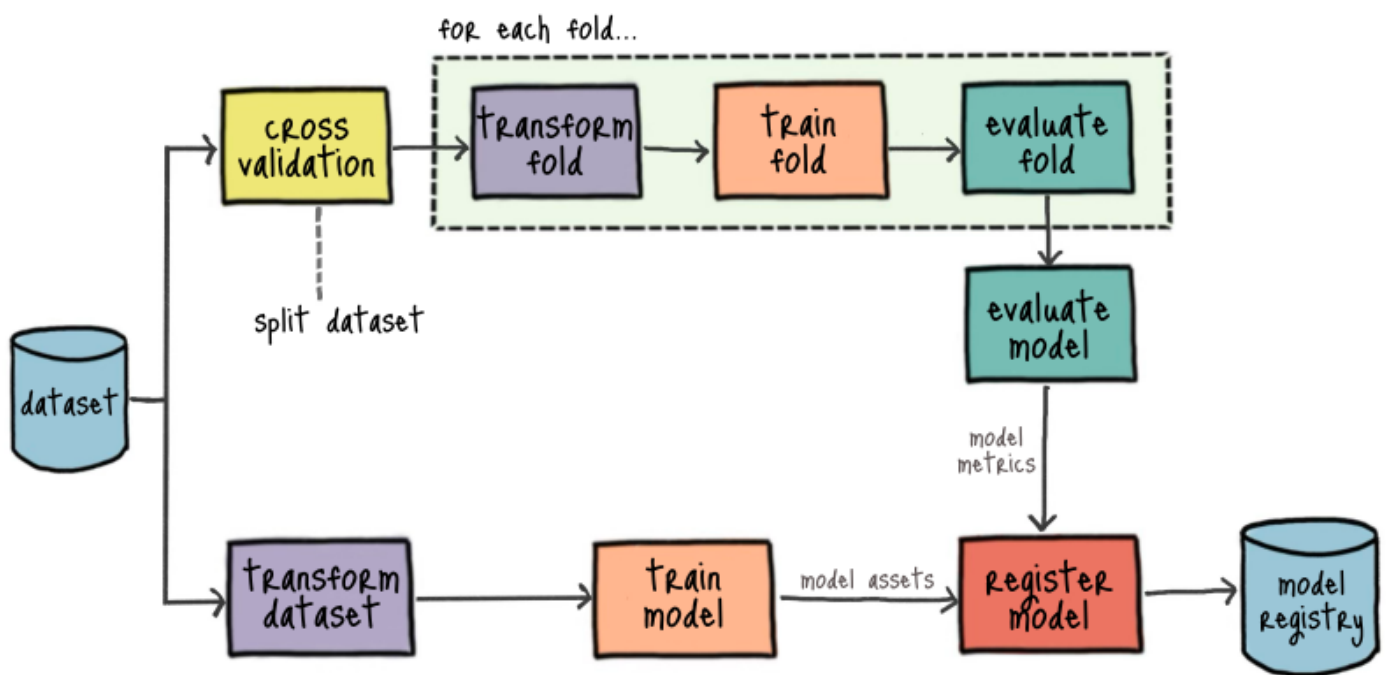
Sau khi máy chủ chạy, hãy sửa đổi tệp `.env` bên trong thư mục gốc của kho lưu trữ để thêm biến môi trường `MLFLOW_TRACKING_URI` trỏ đến URI theo dõi của máy chủ MLflow. Lệnh sau sẽ thêm biến vào tệp và xuất nó trong shell hiện tại của bạn:

```
export $((echo "MLFLOW_TRACKING_URI=http://127.0.0.1:5000" >> .env; cat .env) | xargs)
```



Tác giả: Đỗ Ngọc Tú
Công Ty Phần Mềm VHTSoft

Tổng Quan Qui Trình Pipeline Huấn Luyện Mô Hình



Đây là một **quy trình (pipeline) huấn luyện mô hình học máy theo phương pháp Cross-Validation** (kiểm tra chéo), thường được sử dụng để đánh giá hiệu suất mô hình một cách ổn định. Dưới đây là giải thích chi tiết từng bước:

1. Tổng quan

Pipeline này mô tả quy trình **K-Fold Cross-Validation**, trong đó:

- Tập dữ liệu (**dataset**) được chia thành **K phần (folds)** bằng nhau.
- Mô hình được huấn luyện **K lần**, mỗi lần sử dụng **K-1 folds để train** và **1 fold còn lại để validation**.
- Mục tiêu: Đảm bảo mô hình không bị overfitting và đánh giá khách quan trên toàn bộ dữ liệu.

2. Giải thích từng thành phần

a. Split dataset

- **Ý nghĩa:** Chia tập dữ liệu thành **K folds** (phần).
- **Chi tiết:**
 - Ví dụ: Với $K=5$, dữ liệu được chia thành 5 phần, mỗi phần chứa 20% dữ liệu.
 - Có thể chia ngẫu nhiên hoặc theo tỷ lệ lớp (stratified splitting) cho bài toán phân loại.

b. For each fold...

- **Ý nghĩa:** Lặp lại quy trình train/validation trên từng fold.
- **Chi tiết:**
 - Mỗi vòng lặp chọn **1 fold làm validation set, K-1 folds còn lại làm training set**.
 - Ví dụ: Lần 1: Fold 1 là validation, Folds 2-5 là train; Lần 2: Fold 2 là validation, Folds 1,3-5 là train...

c. Transform dataset

- **Ý nghĩa:** Tiền xử lý dữ liệu trước khi huấn luyện.
- **Chi tiết:**
 - Chuẩn hóa dữ liệu (scaling, normalization).
 - Xử lý giá trị thiếu (imputation), mã hóa categorical features.
 - **Lưu ý:** Quy trình transform phải được áp dụng **riêng cho train/validation** để tránh data leakage.

d. Train model

- **Ý nghĩa:** Huấn luyện mô hình trên tập train.
- **Chi tiết:**
 - Sử dụng thuật toán như Random Forest, SVM, Neural Network...
 - Có thể tinh chỉnh hyperparameter (nếu dùng kết hợp với GridSearch/RandomSearch).

e. Evaluate model

- **Ý nghĩa:** Đánh giá mô hình trên tập validation.
- **Chi tiết:**
 - Tính các metrics: Accuracy, Precision, Recall (bài toán phân loại) hoặc MAE, RMSE (bài toán hồi quy).
 - Lưu lại kết quả để tổng hợp sau K lần chạy.

f. Model assets

- **Ý nghĩa:** Các tài nguyên liên quan đến mô hình sau huấn luyện.
- **Chi tiết:**
 - File trọng số (weights), kiến trúc mô hình (architecture), logs.

- Metadata: Hyperparameters, thời gian huấn luyện.

g. Register model

- **Ý nghĩa:** Lưu trữ mô hình vào **Model Registry**.
- **Chi tiết:**
 - Dùng công cụ như MLflow, AWS SageMaker Model Registry.
 - Quản lý versioning (phiên bản), đánh dấu mô hình tốt nhất.

h. Model registry

- **Ý nghĩa:** Kho lưu trữ tập trung các mô hình đã huấn luyện.
- **Chi tiết:**
 - Cho phép triển khai (deploy) mô hình từ registry lên production.
 - Hỗ trợ rollback nếu mô hình mới có vấn đề.

3. Luồng hoạt động của pipeline

1. **Chia dữ liệu** → K folds.
2. **Với mỗi fold:**
 - Transform dữ liệu train/validation.
 - Train mô hình trên train set.
 - Evaluate trên validation set.
3. **Tổng hợp kết quả** từ K lần evaluate để tính **độ ổn định** của mô hình (ví dụ: mean accuracy \pm độ lệch chuẩn).
4. **Lưu mô hình tốt nhất** vào Model Registry để triển khai.

4. Ứng dụng thực tế

- **Cross-Validation** đặc biệt hữu ích khi:
 - Dữ liệu ít, cần tận dụng tối đa để đánh giá mô hình.
 - Tránh overfitting do chia ngẫu nhiên 1 lần (train-test split thông thường).
- **Ví dụ:** Dự đoán lưu lượng giao thông dựa trên dữ liệu cảm biến, với K=5 để đảm bảo mô hình hoạt động tốt trên mọi khu vực.

Tác giả: Đỗ Ngọc Tú
Công Ty Phần Mềm VHTSoft

Xây Dựng Hàm Phụ Trợ Pipeline

Trong bài này sử dụng tập dữ liệu Penguins để đào tạo một mô hình phân loại các loài chim cánh cụt.

I. DatasetMixin Class

tại thư mục gốc tạo pipelines/common.py

```
import logging
import logging.config
import sys
import time
from io import StringIO
from pathlib import Path

import pandas as pd
from metaflow import IncludeFile, current

PYTHON = "3.12.8"

PACKAGES = {
    "keras": "3.8.0",
    "scikit-learn": "1.6.1",
    "mlflow": "2.20.2",
    "tensorflow": "2.18.0",
}

class DatasetMixin:
    """A mixin for loading and preparing a dataset.

    This mixin is designed to be combined with any pipeline that requires accessing
    a dataset.
```

```
"""
```

```
dataset = IncludeFile(  
    "dataset",  
    is_text=True,  
    help="Dataset that will be used to train the model.",  
    default="data/penguins.csv",  
)
```

```
def load_dataset(self):  
    """Load and prepare the dataset."""  
    import numpy as np  
  
    # The raw data is passed as a string, so we need to convert it into a DataFrame.  
    data = pd.read_csv(StringIO(self.dataset))  
  
    # Replace extraneous values in the sex column with NaN. We can handle missing  
    # values later in the pipeline.  
    data["sex"] = data["sex"].replace(".", np.nan)  
  
    # We want to shuffle the dataset. For reproducibility, we can fix the seed value  
    # when running in development mode. When running in production mode, we can use  
    # the current time as the seed to ensure a different shuffle each time the  
    # pipeline is executed.  
    seed = int(time.time() * 1000) if current.is_production else 42  
    generator = np.random.default_rng(seed=seed)  
    data = data.sample(frac=1, random_state=generator)  
  
    logging.info("Loaded dataset with %d samples", len(data))  
  
    return data
```

```
def packages(*names: str):  
    """Return a dictionary of the specified packages and their corresponding version.
```

This function is useful to set up the different pipelines while keeping the package versions consistent and centralized in a single location.

Any packages that should be locked to a specific version will be part of the

`PACKAGES` dictionary. If a package is not present in the dictionary, it will be installed using the latest version available.

```
"""
```

```
return {name: PACKAGES.get(name, "") for name in names}
```

```
def configure_logging():
```

```
    """Configure logging handlers and return a logger instance."""
```

```
    if Path("logging.conf").exists():
```

```
        logging.config.fileConfig("logging.conf")
```

```
    else:
```

```
        logging.basicConfig(
```

```
            format="%(asctime)s [%(levelname)s] %(message)s",
```

```
            handlers=[logging.StreamHandler(sys.stdout)],
```

```
            level=logging.INFO,
```

```
        )
```

```
def build_features_transformer():
```

```
    """Build a Scikit-Learn transformer to preprocess the feature columns."""
```

```
    from sklearn.compose import ColumnTransformer, make_column_selector
```

```
    from sklearn.impute import SimpleImputer
```

```
    from sklearn.pipeline import make_pipeline
```

```
    from sklearn.preprocessing import OneHotEncoder, StandardScaler
```

```
    numeric_transformer = make_pipeline(
```

```
        SimpleImputer(strategy="mean"),
```

```
        StandardScaler(),
```

```
    )
```

```
    categorical_transformer = make_pipeline(
```

```
        SimpleImputer(strategy="most_frequent"),
```

```
        # We can use the `handle_unknown="ignore"` parameter to ignore unseen categories
```

```
        # during inference. When encoding an unknown category, the transformer will
```

```
        # return an all-zero vector.
```

```
        OneHotEncoder(handle_unknown="ignore"),
```

```
    )
```

```
    return ColumnTransformer(
```

```
        transformers=[
```

```
(
    "numeric",
    numeric_transformer,
    # We'll apply the numeric transformer to all columns that are not
    # categorical (object).
    make_column_selector(dtype_exclude="object"),
),
(
    "categorical",
    categorical_transformer,
    # We want to make sure we ignore the target column which is also a
    # categorical column. To accomplish this, we can specify the column
    # names we only want to encode.
    ["island", "sex"],
),
],
)
```

```
def build_target_transformer():
```

```
    """Build a Scikit-Learn transformer to preprocess the target column."""
```

```
    from sklearn.compose import ColumnTransformer
```

```
    from sklearn.preprocessing import OrdinalEncoder
```

```
    return ColumnTransformer(
        transformers=[("species", OrdinalEncoder(), ["species"])],
    )
```

```
def build_model(input_shape, learning_rate=0.01):
```

```
    """Build and compile the neural network to predict the species of a penguin."""
```

```
    from keras import Input, layers, models, optimizers
```

```
    model = models.Sequential(
        [
            Input(shape=(input_shape,)),
            layers.Dense(10, activation="relu"),
            layers.Dense(8, activation="relu"),
            layers.Dense(3, activation="softmax"),
        ],
```

```
)

model.compile(
    optimizer=optimizers.SGD(learning_rate=learning_rate),
    loss="sparse_categorical_crossentropy",
    metrics=["accuracy"],
)

return model
```

Class `DatasetMixin`

Là một **mixin** — class phụ dùng để thêm khả năng `load_dataset()` vào các pipeline Metaflow.

```
dataset = IncludeFile(
    "dataset",
    is_text=True,
    help="Dataset that will be used to train the model.",
    default="data/penguins.csv",
)
```

- Cho phép bạn **đưa một file vào flow** như biến `self.dataset`.
- Dữ liệu được load dưới dạng **text**, bạn sẽ cần dùng `StringIO` để convert sang CSV.

`load_dataset()`

```
def load_dataset(self):
    ...
```

- Đọc file CSV từ `self.dataset`.
- Chuẩn hóa giá trị `.`, NaN trong cột `"sex"`.
- Shuffle dữ liệu bằng `numpy`:
 - Dùng `seed=42` nếu đang ở development.
 - Dùng `seed = time` nếu ở production (`current.is_production`).

Hàm `packages(*names)`

```
def packages(*names: str):
    return {name: PACKAGES.get(name, "") for name in names}
```

Khi bạn viết Metaflow `@conda_base` hoặc `@conda` decorator, bạn có thể truyền gọn:

```
@conda(packages=packages("keras", "scikit-learn"))
```


Hàm `configure_logging()`

```
def configure_logging():  
    ...
```

- Nếu có file `logging.conf` thì dùng cấu hình từ file.
- Nếu không có thì thiết lập mặc định:
 - Format log cơ bản
 - In log ra terminal (stdout)
 - Mức `INFO`

`build_features_transformer()`

```
def build_features_transformer():  
    ...
```

Trả về một `ColumnTransformer` để xử lý:

- Các cột số (`int`, `float`):
 - Impute bằng trung bình (`SimpleImputer(strategy="mean")`)
 - Chuẩn hóa (`StandardScaler()`)
- Các cột phân loại (`object`):
 - Impute bằng mode (`most_frequent`)
 - One-hot encode (`OneHotEncoder(handle_unknown="ignore")`)

`["island", "sex"]` # là các cột categorical cụ thể

`handle_unknown="ignore"` giúp model không crash khi gặp category mới trong inference.

`build_target_transformer()`

```
def build_target_transformer():  
    ...
```

- Dùng `OrdinalEncoder` để mã hóa target `"species"` thành số nguyên (0, 1, 2).
- Gói trong `ColumnTransformer` để có API nhất quán với `fit_transform`, `inverse_transform`.

`build_model(input_shape, learning_rate)`

```
def build_model(input_shape, learning_rate=0.01):  
    ...
```

- Xây dựng model với Keras Sequential API:
 - Input: `input_shape` chiều (sau preprocessing)

- 2 hidden layers: 10 và 8 neurons
- Output: 3 class (penguin species) → softmax
- Compile model:
 - Optimizer: SGD với learning rate
 - Loss: sparse_categorical_crossentropy
 - Metrics: accuracy

Tổng Kết

Phần	Mục đích
DatasetMixin	Load CSV dataset dùng IncludeFile, shuffle, xử lý giá trị thiếu
packages()	Tập trung quản lý version package
configure_logging()	Ghi log ra terminal hoặc file
build_features_transformer()	Chuẩn hóa, encode dữ liệu đầu vào
build_target_transformer()	Encode target sang số
build_model()	Khởi tạo mô hình MLP với Keras

Tác giả: Đỗ Ngọc Tú
Công Ty Phần Mềm VHTSoft

Bắt đầu với Pipeline

```
@card
@step
def start(self):
    """Start and prepare the Training pipeline."""
    import mlflow

    mlflow.set_tracking_uri(self.mlflow_tracking_uri)
    logging.info("MLflow tracking server: %s", self.mlflow_tracking_uri)

    self.mode = "production" if current.is_production else "development"
    logging.info("Running flow in %s mode.", self.mode)

    self.data = self.load_dataset()

    try:
        # Let's start a new MLflow run to track the execution of this flow. We want
        # to set the name of the MLflow run to the Metaflow run ID so we can easily
        # recognize how they relate to each other.
        run = mlflow.start_run(run_name=current.run_id)
        self.mlflow_run_id = run.info.run_id
    except Exception as e:
        message = f"Failed to connect to MLflow server {self.mlflow_tracking_uri}."
        raise RuntimeError(message) from e

    # Now that everything is set up, we want to run a cross-validation process
    # to evaluate the model and train a final model on the entire dataset. Since
    # these two steps are independent, we can run them in parallel.
    self.next(self.cross_validation, self.transform)
```

1. Decorators

```
@card
@step
def start(self):
```

- **@step** :
Đánh dấu đây là một bước (step) trong Metaflow pipeline. Mỗi step sẽ được thực thi tuần tự hoặc song song tùy vào luồng thiết kế.
- **@card** :
Tạo một báo cáo trực quan (report) trong giao diện UI của Metaflow, giúp theo dõi thông tin chi tiết của step này (ví dụ: logs, artifacts).

2. Khởi tạo MLflow Tracking

```
import mlflow

mlflow.set_tracking_uri(self.mlflow_tracking_uri)

logging.info("MLflow tracking server: %s", self.mlflow_tracking_uri)
```

- **mlflow.set_tracking_uri()** :
Thiết lập địa chỉ của MLflow Tracking Server (nơi lưu trữ logs, metrics, models).
 - Giá trị được lấy từ tham số `mlflow_tracking_uri` (mặc định là `http://127.0.0.1:5000` hoặc biến môi trường `MLFLOW_TRACKING_URI`).
 - Ví dụ: Nếu dùng MLflow trên AWS, URI có thể là `http://<ip>:5000`.
- **logging.info()** :
Ghi log thông tin để kiểm tra địa chỉ MLflow server đã được thiết lập.

3. Xác định chế độ chạy

```
self.mode = "production" if current.is_production else "development"

logging.info("Running flow in %s mode.", self.mode)
```

- **current.is_production** :
Kiểm tra xem pipeline đang chạy ở chế độ production hay development (dựa trên cách khởi chạy Metaflow).
 - **Production**: Chạy với `--production` flag (ví dụ: `python training.py --production`).
 - **Development**: Chạy mặc định.
- **Ứng dụng**:
Có thể điều chỉnh hành vi pipeline tùy theo chế độ (ví dụ: dùng dataset khác nhau).

4. Tải dữ liệu

```
self.data = self.load_dataset()
```

- **load_dataset()** :
Phương thức kế thừa từ `DatasetMixin`, dùng để tải dữ liệu huấn luyện.
 - Dataset thường là file CSV/JSON hoặc từ database (ví dụ: bảng thông tin chim cánh cụt với các cột như `bill_length`, `flipper_length`, `species`).

```
def load_dataset(self):  
    return pd.read_csv("penguins.csv")
```

5. Thiết lập MLflow Run

```
try:  
    run = mlflow.start_run(run_name=current.run_id)  
    self.mlflow_run_id = run.info.run_id  
except Exception as e:  
    message = f"Failed to connect to MLflow server {self.mlflow_tracking_uri}."  
    raise RuntimeError(message) from e
```

- **mlflow.start_run()** :

Bắt đầu một MLflow Run để theo dõi thí nghiệm.

- **run_name=current.run_id** :

Đặt tên run bằng ID của Metaflow run (ví dụ: `penguins-12345`), giúp liên kết giữa Metaflow và MLflow.

- **run.info.run_id** :

Lưu ID của MLflow Run vào `self.mlflow_run_id` để sử dụng ở các step sau.

- **Xử lý lỗi:**

Nếu kết nối đến MLflow Server thất bại (ví dụ: server chưa khởi động), sẽ raise exception với thông báo rõ ràng.

6. Chia nhánh pipeline

```
self.next(self.cross_validation, self.transform)
```

- **self.next()** :

Chia luồng thành **2 nhánh song song**:

1. **cross_validation** : Đánh giá mô hình bằng K-Fold Cross-Validation.
2. **transform** : Tiền xử lý toàn bộ dataset để huấn luyện mô hình cuối cùng.

- **Lý do song song**:

Hai bước này độc lập, không phụ thuộc nhau → Tối ưu thời gian chạy.

Tóm tắt luồng xử lý

1. Thiết lập MLflow Tracking Server.
2. Xác định chế độ chạy (production/development).
3. Tải dữ liệu từ nguồn (CSV, database, API...).
4. Bắt đầu MLflow Run và liên kết với Metaflow Run.
5. Chia thành 2 nhánh song song: Cross-Validation và Transform.

Tác giả: Đỗ Ngọc Tú
Công Ty Phần Mềm VHTSoft