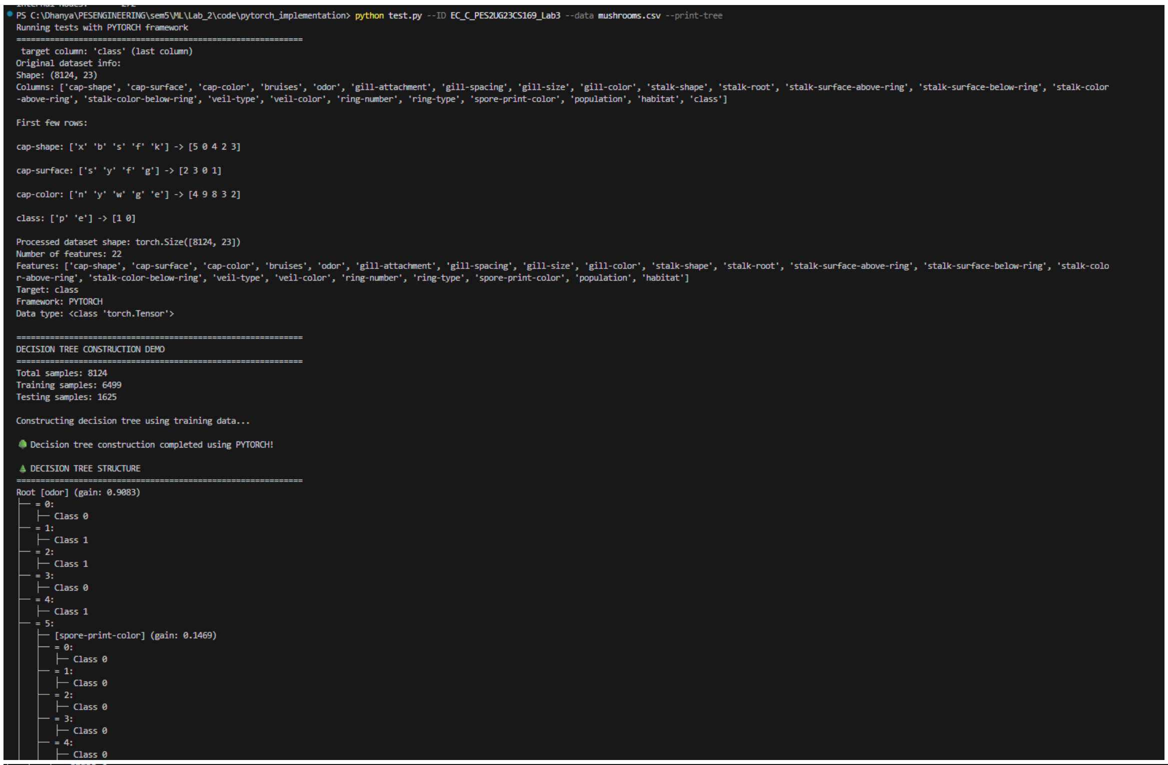
ML LAB 3

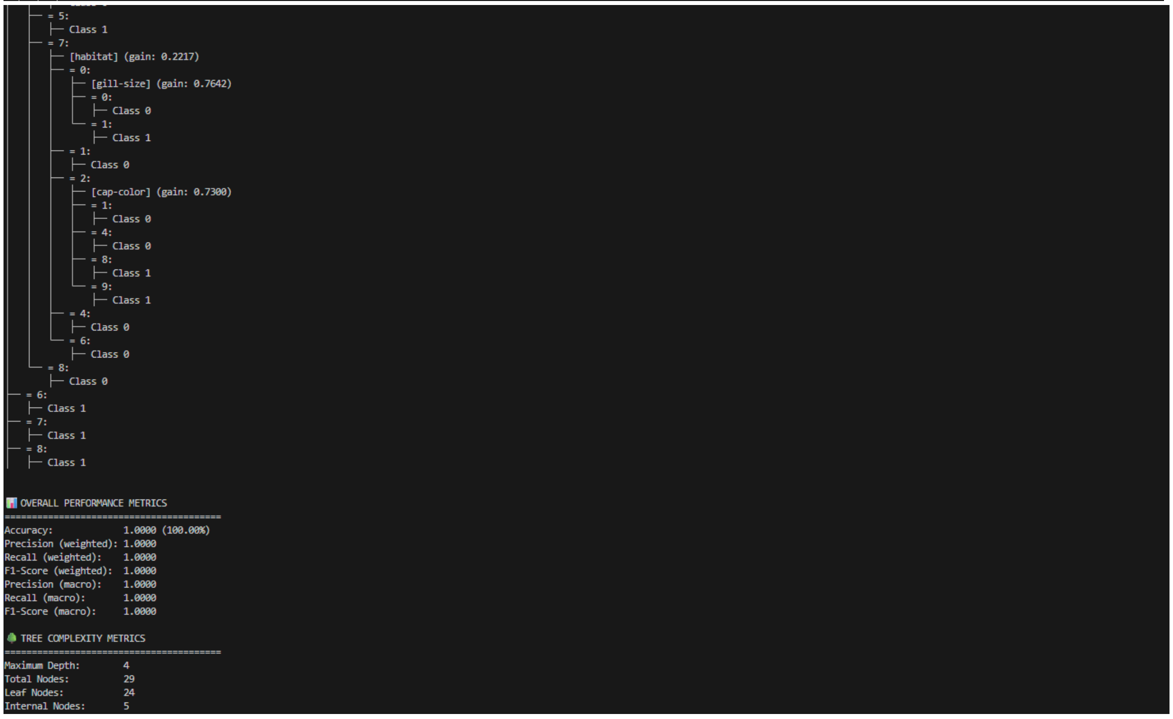
Name: Dhanya Prabhu   Date: 19/08/2025

SRN: PES2UG23CS169   Section: C

Mushrooms.csv:

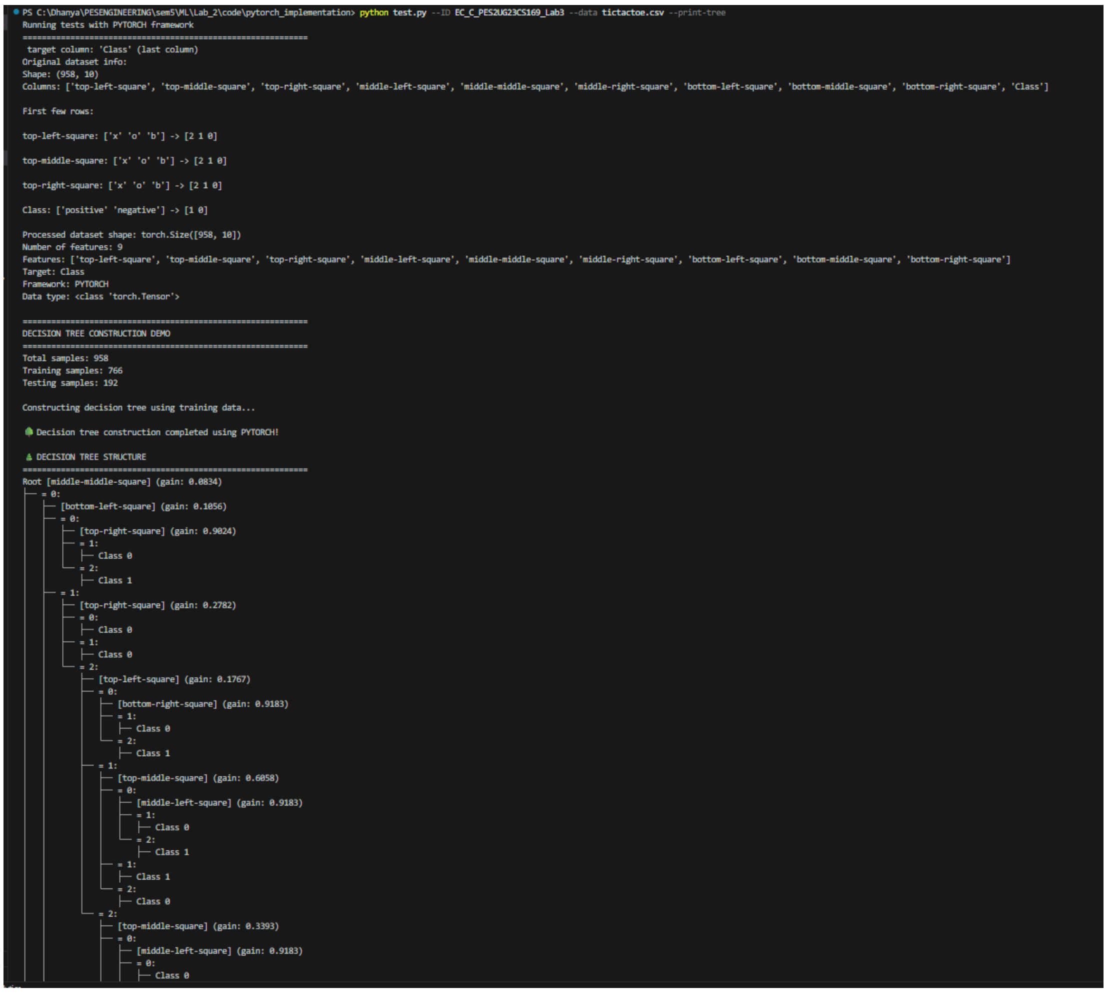


```
PS C:\Dhanya\PESENGINEERING\sem5\ML\Lab_2\code\pytorch_implementation> python test.py --ID EC_C_PES2UG23CS169_Lab3 --data mushrooms.csv --print-tree
Running tests with PYTORCH framework
============================================================
 target column: 'class' (last column)
Original dataset info:
Shape: (8124, 23)
Columns: ['cap-shape', 'cap-surface', 'cap-color', 'bruises', 'odor', 'gill-attachment', 'gill-spacing', 'gill-size', 'gill-color', 'stalk-shape', 'stalk-root', 'stalk-surface-above-ring', 'stalk-surface-below-ring', 'stalk-color
-above-ring', 'stalk-color-below-ring', 'veil-type', 'veil-color', 'ring-number', 'ring-type', 'spore-print-color', 'population', 'habitat', 'class']

First few rows:

cap-shape: ['x' 'b' 's' 'f' 'k'] -> [5 0 4 2 3]

cap-surface: ['s' 'y' 'f' 'g'] -> [2 3 0 1]

cap-color: ['n' 'y' 'w' 'g' 'e'] -> [4 9 8 3 2]

class: ['p' 'e'] -> [1 0]

Processed dataset shape: torch.Size([8124, 23])
Number of features: 22
Features: ['cap-shape', 'cap-surface', 'cap-color', 'bruises', 'odor', 'gill-attachment', 'gill-spacing', 'gill-size', 'gill-color', 'stalk-shape', 'stalk-root', 'stalk-surface-above-ring', 'stalk-surface-below-ring', 'stalk-colo
r-above-ring', 'stalk-color-below-ring', 'veil-type', 'veil-color', 'ring-number', 'ring-type', 'spore-print-color', 'population', 'habitat']
Target: class
Framework: PYTORCH
Data type: <class 'torch.Tensor'>

============================================================
DECISION TREE CONSTRUCTION DEMO
============================================================
Total samples: 8124
Training samples: 6499
Testing samples: 1625

Constructing decision tree using training data...

🌳 Decision tree construction completed using PYTORCH!

🌲 DECISION TREE STRUCTURE
============================================================
Root [odor] (gain: 0.9083)
├── = 0:
│   ├── Class 0
├── = 1:
│   ├── Class 1
├── = 2:
│   ├── Class 1
├── = 3:
│   ├── Class 0
├── = 4:
│   ├── Class 1
├── = 5:
│   ├── [spore-print-color] (gain: 0.1469)
│   ├── = 0:
│   │   ├── Class 0
│   ├── = 1:
│   │   ├── Class 0
│   ├── = 2:
│   │   ├── Class 0
│   ├── = 3:
│   │   ├── Class 0
│   ├── = 4:
│   │   ├── Class 0
```

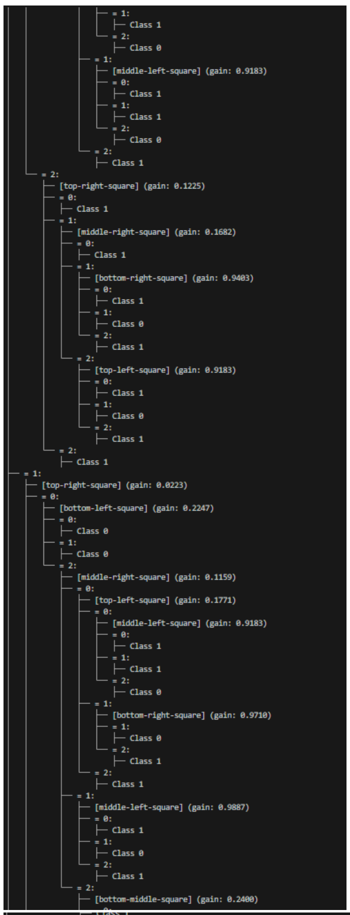


```
│   ├── = 5:
│   │   ├── Class 1
│   ├── = 7:
│   │   ├── [habitat] (gain: 0.2217)
│   │   ├── = 0:
│   │   │   ├── [gill-size] (gain: 0.7642)
│   │   │   ├── = 0:
│   │   │   │   ├── Class 0
│   │   │   └── = 1:
│   │   │       ├── Class 1
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   ├── = 2:
│   │   │   ├── [cap-color] (gain: 0.7300)
│   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   ├── Class 0
│   │   │   ├── = 4:
│   │   │   │   ├── Class 0
│   │   │   ├── = 8:
│   │   │   │   ├── Class 1
│   │   │   └── = 9:
│   │   │       ├── Class 1
│   │   ├── = 4:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   └── = 6:
│   │       ├── Class 0
│   └── = 8:
│       ├── Class 0
├── = 6:
│   ├── Class 1
├── = 7:
│   ├── Class 1
├── = 8:
│   ├── Class 1

📊 OVERALL PERFORMANCE METRICS
========================================
Accuracy:             1.0000 (100.00%)
Precision (weighted): 1.0000
Recall (weighted):    1.0000
F1-Score (weighted):  1.0000
Precision (macro):    1.0000
Recall (macro):       1.0000
F1-Score (macro):     1.0000

🌳 TREE COMPLEXITY METRICS
========================================
Maximum Depth:        4
Total Nodes:          29
Leaf Nodes:           24
Internal Nodes:       5
```

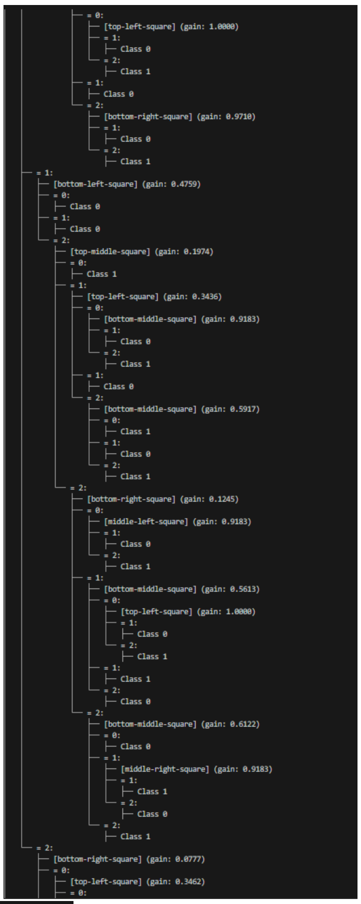
Tictactoe.csv:



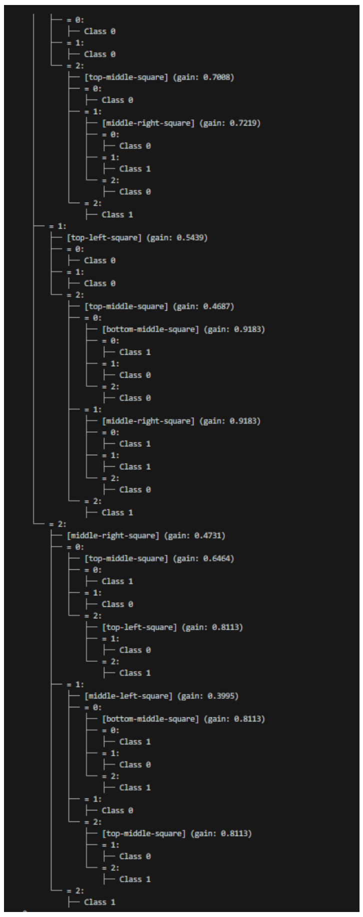
```
PS C:\Dhanya\PESENGINEERING\sem5\ML\Lab_2\code\pytorch_implementation> python test.py --ID EC_C_PES2UG23CS169_Lab3 --data tictactoe.csv --print-tree
Running tests with PYTORCH framework
============================================================
 target column: 'Class' (last column)
Original dataset info:
Shape: (958, 10)
Columns: ['top-left-square', 'top-middle-square', 'top-right-square', 'middle-left-square', 'middle-middle-square', 'middle-right-square', 'bottom-left-square', 'bottom-middle-square', 'bottom-right-square', 'Class']

First few rows:

top-left-square: ['x' 'o' 'b'] -> [2 1 0]

top-middle-square: ['x' 'o' 'b'] -> [2 1 0]

top-right-square: ['x' 'o' 'b'] -> [2 1 0]

Class: ['positive' 'negative'] -> [1 0]

Processed dataset shape: torch.Size([958, 10])
Number of features: 9
Features: ['top-left-square', 'top-middle-square', 'top-right-square', 'middle-left-square', 'middle-middle-square', 'middle-right-square', 'bottom-left-square', 'bottom-middle-square', 'bottom-right-square']
Target: Class
Framework: PYTORCH
Data type: <class 'torch.Tensor'>

============================================================
DECISION TREE CONSTRUCTION DEMO
============================================================
Total samples: 958
Training samples: 766
Testing samples: 192

Constructing decision tree using training data...

🌳 Decision tree construction completed using PYTORCH!

🌲 DECISION TREE STRUCTURE
============================================================
Root [middle-middle-square] (gain: 0.0834)
├── = 0:
│   ├── [bottom-left-square] (gain: 0.1056)
│   ├── = 0:
│   │   ├── [top-right-square] (gain: 0.9024)
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   └── = 2:
│   │       ├── Class 1
│   ├── = 1:
│   │   ├── [top-right-square] (gain: 0.2782)
│   │   ├── = 0:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   └── = 2:
│   │       ├── [top-left-square] (gain: 0.1767)
│   │       ├── = 0:
│   │       │   ├── [bottom-right-square] (gain: 0.9183)
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── Class 0
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── Class 1
│   │       ├── = 1:
│   │       │   ├── [top-middle-square] (gain: 0.6058)
│   │       │   ├── = 0:
│   │       │   │   ├── [middle-left-square] (gain: 0.9183)
│   │       │   │   ├── = 1:
│   │       │   │   │   ├── Class 0
│   │       │   │   └── = 2:
│   │       │   │       ├── Class 1
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── Class 1
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── Class 0
│   │       └── = 2:
│   │           ├── [top-middle-square] (gain: 0.3393)
│   │           ├── = 0:
│   │           │   ├── [middle-left-square] (gain: 0.9183)
│   │           │   ├── = 0:
│   │           │   │   ├── Class 0
```



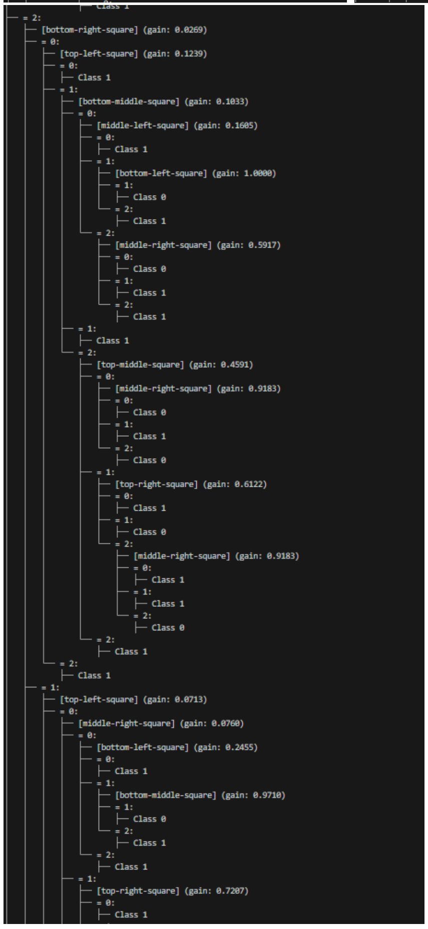
```
│   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   ├── Class 1
│   │   │   └── = 2:
│   │   │       ├── Class 0
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── [middle-left-square] (gain: 0.9183)
│   │   │   ├── = 0:
│   │   │   │   ├── Class 1
│   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   ├── Class 1
│   │   │   └── = 2:
│   │   │       ├── Class 0
│   │   └── = 2:
│   │       ├── Class 1
│   └── = 2:
│       ├── [top-right-square] (gain: 0.1225)
│       ├── = 0:
│       │   ├── Class 1
│       ├── = 1:
│       │   ├── [middle-right-square] (gain: 0.1682)
│       │   ├── = 0:
│       │   │   ├── Class 1
│       │   ├── = 1:
│       │   │   ├── [bottom-right-square] (gain: 0.9403)
│       │   │   ├── = 0:
│       │   │   │   ├── Class 1
│       │   │   ├── = 1:
│       │   │   │   ├── Class 0
│       │   │   └── = 2:
│       │   │       ├── Class 1
│       │   └── = 2:
│       │       ├── [top-left-square] (gain: 0.9183)
│       │       ├── = 0:
│       │       │   ├── Class 1
│       │       ├── = 1:
│       │       │   ├── Class 0
│       │       └── = 2:
│       │           ├── Class 1
│       └── = 2:
│           ├── Class 1
├── = 1:
│   ├── [top-right-square] (gain: 0.0223)
│   ├── = 0:
│   │   ├── [bottom-left-square] (gain: 0.2247)
│   │   ├── = 0:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   └── = 2:
│   │       ├── [middle-right-square] (gain: 0.1159)
│   │       ├── = 0:
│   │       │   ├── [top-left-square] (gain: 0.1771)
│   │       │   ├── = 0:
│   │       │   │   ├── [middle-left-square] (gain: 0.9183)
│   │       │   │   ├── = 0:
│   │       │   │   │   ├── Class 1
│   │       │   │   ├── = 1:
│   │       │   │   │   ├── Class 1
│   │       │   │   └── = 2:
│   │       │   │       ├── Class 0
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── [bottom-right-square] (gain: 0.9710)
│   │       │   │   ├── = 1:
│   │       │   │   │   ├── Class 0
│   │       │   │   └── = 2:
│   │       │   │       ├── Class 1
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── Class 1
│   │       ├── = 1:
│   │       │   ├── [middle-left-square] (gain: 0.9887)
│   │       │   ├── = 0:
│   │       │   │   ├── Class 1
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── Class 0
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── Class 1
│   │       └── = 2:
│   │           ├── [bottom-middle-square] (gain: 0.2400)
│   │           ├── Class 1
```



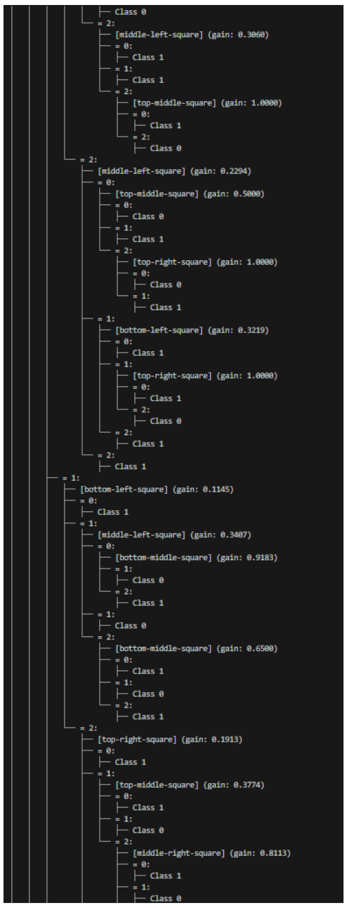
```
│   │   ├── = 0:
│   │   │   ├── [top-left-square] (gain: 1.0000)
│   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   ├── Class 0
│   │   │   └── = 2:
│   │   │       ├── Class 1
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   └── = 2:
│   │       ├── [bottom-right-square] (gain: 0.9710)
│   │       ├── = 1:
│   │       │   ├── Class 0
│   │       └── = 2:
│   │           ├── Class 1
│   ├── = 1:
│   │   ├── [bottom-left-square] (gain: 0.4759)
│   │   ├── = 0:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   └── = 2:
│   │       ├── [top-middle-square] (gain: 0.1974)
│   │       ├── = 0:
│   │       │   ├── Class 1
│   │       ├── = 1:
│   │       │   ├── [top-left-square] (gain: 0.3436)
│   │       │   ├── = 0:
│   │       │   │   ├── [bottom-middle-square] (gain: 0.9183)
│   │       │   │   ├── = 1:
│   │       │   │   │   ├── Class 0
│   │       │   │   └── = 2:
│   │       │   │       ├── Class 1
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── Class 0
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── [bottom-middle-square] (gain: 0.5917)
│   │       │       ├── = 0:
│   │       │       │   ├── Class 1
│   │       │       ├── = 1:
│   │       │       │   ├── Class 0
│   │       │       └── = 2:
│   │       │           ├── Class 1
│   │       └── = 2:
│   │           ├── [bottom-right-square] (gain: 0.1245)
│   │           ├── = 0:
│   │           │   ├── [middle-left-square] (gain: 0.9183)
│   │           │   ├── = 1:
│   │           │   │   ├── Class 0
│   │           │   └── = 2:
│   │           │       ├── Class 1
│   │           ├── = 1:
│   │           │   ├── [bottom-middle-square] (gain: 0.5613)
│   │           │   ├── = 0:
│   │           │   │   ├── [top-left-square] (gain: 1.0000)
│   │           │   │   ├── = 1:
│   │           │   │   │   ├── Class 0
│   │           │   │   └── = 2:
│   │           │   │       ├── Class 1
│   │           │   ├── = 1:
│   │           │   │   ├── Class 1
│   │           │   └── = 2:
│   │           │       ├── Class 0
│   │           └── = 2:
│   │               ├── [bottom-middle-square] (gain: 0.6122)
│   │               ├── = 0:
│   │               │   ├── Class 0
│   │               ├── = 1:
│   │               │   ├── [middle-right-square] (gain: 0.9183)
│   │               │   ├── = 1:
│   │               │   │   ├── Class 1
│   │               │   └── = 2:
│   │               │       ├── Class 0
│   │               └── = 2:
│   │                   ├── Class 1
│   └── = 2:
│       ├── [bottom-right-square] (gain: 0.0777)
│       ├── = 0:
│       │   ├── [top-left-square] (gain: 0.3462)
│       │   ├── = 0:
```



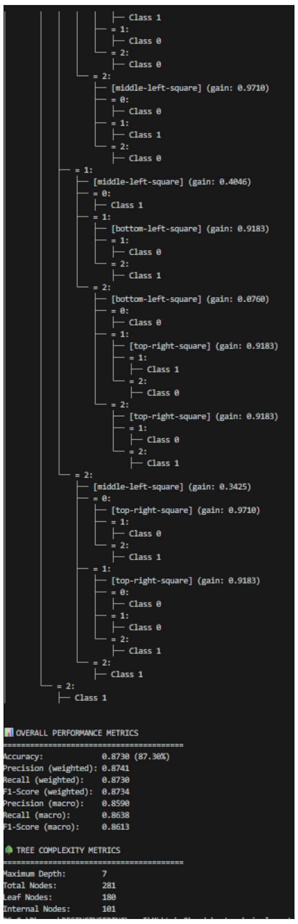
```
│   │   ├── = 0:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   └── = 2:
│   │       ├── [top-middle-square] (gain: 0.7008)
│   │       ├── = 0:
│   │       │   ├── Class 0
│   │       ├── = 1:
│   │       │   ├── [middle-right-square] (gain: 0.7219)
│   │       │   ├── = 0:
│   │       │   │   ├── Class 0
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── Class 1
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── Class 0
│   │       └── = 2:
│   │           ├── Class 1
│   ├── = 1:
│   │   ├── [top-left-square] (gain: 0.5439)
│   │   ├── = 0:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── Class 0
│   │   └── = 2:
│   │       ├── [top-middle-square] (gain: 0.4687)
│   │       ├── = 0:
│   │       │   ├── [bottom-middle-square] (gain: 0.9183)
│   │       │   ├── = 0:
│   │       │   │   ├── Class 1
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── Class 0
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── Class 0
│   │       ├── = 1:
│   │       │   ├── [middle-right-square] (gain: 0.9183)
│   │       │   ├── = 0:
│   │       │   │   ├── Class 1
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── Class 1
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── Class 0
│   │       └── = 2:
│   │           ├── Class 1
│   └── = 2:
│       ├── [middle-right-square] (gain: 0.4731)
│       ├── = 0:
│       │   ├── [top-middle-square] (gain: 0.6464)
│       │   ├── = 0:
│       │   │   ├── Class 1
│       │   ├── = 1:
│       │   │   ├── Class 0
│       │   └── = 2:
│       │       ├── [top-left-square] (gain: 0.8113)
│       │       ├── = 1:
│       │       │   ├── Class 0
│       │       └── = 2:
│       │           ├── Class 1
│       ├── = 1:
│       │   ├── [middle-left-square] (gain: 0.3995)
│       │   ├── = 0:
│       │   │   ├── [bottom-middle-square] (gain: 0.8113)
│       │   │   ├── = 0:
│       │   │   │   ├── Class 1
│       │   │   ├── = 1:
│       │   │   │   ├── Class 0
│       │   │   └── = 2:
│       │   │       ├── Class 1
│       │   ├── = 1:
│       │   │   ├── Class 0
│       │   └── = 2:
│       │       ├── [top-middle-square] (gain: 0.8113)
│       │       ├── = 1:
│       │       │   ├── Class 0
│       │       └── = 2:
│       │           ├── Class 1
│       └── = 2:
│           ├── Class 1
```



```
├── = 2:
│   ├── [bottom-right-square] (gain: 0.0269)
│   ├── = 0:
│   │   ├── [top-left-square] (gain: 0.1239)
│   │   ├── = 0:
│   │   │   ├── Class 1
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── [bottom-middle-square] (gain: 0.1033)
│   │   │   ├── = 0:
│   │   │   │   ├── [middle-left-square] (gain: 0.1605)
│   │   │   │   ├── = 0:
│   │   │   │   │   ├── Class 1
│   │   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   │   ├── [bottom-left-square] (gain: 1.0000)
│   │   │   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   │   │   ├── Class 0
│   │   │   │   │   └── = 2:
│   │   │   │   │       ├── Class 1
│   │   │   │   └── = 2:
│   │   │   │       ├── [middle-right-square] (gain: 0.5917)
│   │   │   │       ├── = 0:
│   │   │   │       │   ├── Class 0
│   │   │   │       ├── = 1:
│   │   │   │       │   ├── Class 1
│   │   │   │       └── = 2:
│   │   │   │           ├── Class 1
│   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   ├── Class 1
│   │   │   └── = 2:
│   │   │       ├── [top-middle-square] (gain: 0.4591)
│   │   │       ├── = 0:
│   │   │       │   ├── [middle-right-square] (gain: 0.9183)
│   │   │       │   ├── = 0:
│   │   │       │   │   ├── Class 0
│   │   │       │   ├── = 1:
│   │   │       │   │   ├── Class 1
│   │   │       │   └── = 2:
│   │   │       │       ├── Class 0
│   │   │       ├── = 1:
│   │   │       │   ├── [top-right-square] (gain: 0.6122)
│   │   │       │   ├── = 0:
│   │   │       │   │   ├── Class 1
│   │   │       │   ├── = 1:
│   │   │       │   │   ├── Class 0
│   │   │       │   └── = 2:
│   │   │       │       ├── [middle-right-square] (gain: 0.9183)
│   │   │       │       ├── = 0:
│   │   │       │       │   ├── Class 1
│   │   │       │       ├── = 1:
│   │   │       │       │   ├── Class 1
│   │   │       │       └── = 2:
│   │   │       │           ├── Class 0
│   │   │       └── = 2:
│   │   │           ├── Class 1
│   │   └── = 2:
│   │       ├── Class 1
│   ├── = 1:
│   │   ├── [top-left-square] (gain: 0.0713)
│   │   ├── = 0:
│   │   │   ├── [middle-right-square] (gain: 0.0760)
│   │   │   ├── = 0:
│   │   │   │   ├── [bottom-left-square] (gain: 0.2455)
│   │   │   │   ├── = 0:
│   │   │   │   │   ├── Class 1
│   │   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   │   ├── [bottom-middle-square] (gain: 0.9710)
│   │   │   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   │   │   ├── Class 0
│   │   │   │   │   └── = 2:
│   │   │   │   │       ├── Class 1
│   │   │   │   └── = 2:
│   │   │   │       ├── Class 1
│   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   ├── [top-right-square] (gain: 0.7207)
│   │   │   │   ├── = 0:
│   │   │   │   │   ├── Class 1
```

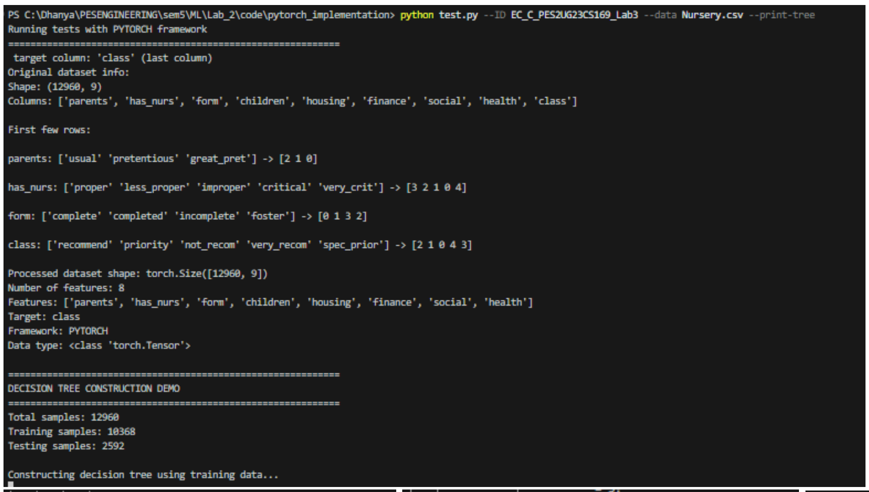


```
│   │   │   │   ├── Class 0
│   │   │   └── = 2:
│   │   │       ├── [middle-left-square] (gain: 0.3060)
│   │   │       ├── = 0:
│   │   │       │   ├── Class 1
│   │   │       ├── = 1:
│   │   │       │   ├── Class 1
│   │   │       └── = 2:
│   │   │           ├── [top-middle-square] (gain: 1.0000)
│   │   │           ├── = 0:
│   │   │           │   ├── Class 1
│   │   │           └── = 2:
│   │   │               ├── Class 0
│   │   └── = 2:
│   │       ├── [middle-left-square] (gain: 0.2294)
│   │       ├── = 0:
│   │       │   ├── [top-middle-square] (gain: 0.5000)
│   │       │   ├── = 0:
│   │       │   │   ├── Class 0
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── Class 1
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── [top-right-square] (gain: 1.0000)
│   │       │       ├── = 0:
│   │       │       │   ├── Class 0
│   │       │       └── = 1:
│   │       │           ├── Class 1
│   │       ├── = 1:
│   │       │   ├── [bottom-left-square] (gain: 0.3219)
│   │       │   ├── = 0:
│   │       │   │   ├── Class 1
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── [top-right-square] (gain: 1.0000)
│   │       │   │   ├── = 0:
│   │       │   │   │   ├── Class 1
│   │       │   │   └── = 2:
│   │       │   │       ├── Class 0
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── Class 1
│   │       └── = 2:
│   │           ├── Class 1
│   ├── = 1:
│   │   ├── [bottom-left-square] (gain: 0.1145)
│   │   ├── = 0:
│   │   │   ├── Class 1
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── [middle-left-square] (gain: 0.3407)
│   │   │   ├── = 0:
│   │   │   │   ├── [bottom-middle-square] (gain: 0.9183)
│   │   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   │   ├── Class 0
│   │   │   │   └── = 2:
│   │   │   │       ├── Class 1
│   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   ├── Class 0
│   │   │   └── = 2:
│   │   │       ├── [bottom-middle-square] (gain: 0.6500)
│   │   │       ├── = 0:
│   │   │       │   ├── Class 1
│   │   │       ├── = 1:
│   │   │       │   ├── Class 0
│   │   │       └── = 2:
│   │   │           ├── Class 1
│   │   └── = 2:
│   │       ├── [top-right-square] (gain: 0.1913)
│   │       ├── = 0:
│   │       │   ├── Class 1
│   │       ├── = 1:
│   │       │   ├── [top-middle-square] (gain: 0.3774)
│   │       │   ├── = 0:
│   │       │   │   ├── Class 1
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── Class 0
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── [middle-right-square] (gain: 0.8113)
│   │       │       ├── = 0:
│   │       │       │   ├── Class 1
│   │       │       ├── = 1:
│   │       │       │   ├── Class 0
```

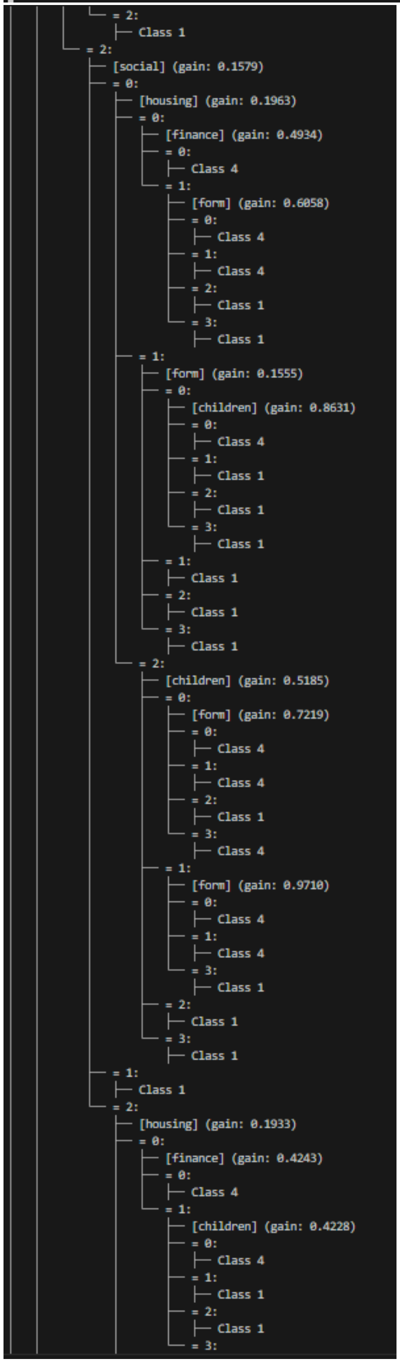


```
│   │   │   │   ├── Class 1
│   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   ├── Class 0
│   │   │   └── = 2:
│   │   │       ├── Class 0
│   │   └── = 2:
│   │       ├── [middle-left-square] (gain: 0.9710)
│   │       ├── = 0:
│   │       │   ├── Class 0
│   │       ├── = 1:
│   │       │   ├── Class 1
│   │       └── = 2:
│   │           ├── Class 0
│   ├── = 1:
│   │   ├── [middle-left-square] (gain: 0.4046)
│   │   ├── = 0:
│   │   │   ├── Class 1
│   │   ├── = 1:
│   │   │   ├── [bottom-left-square] (gain: 0.9183)
│   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   ├── Class 0
│   │   │   └── = 2:
│   │   │       ├── Class 1
│   │   └── = 2:
│   │       ├── [bottom-left-square] (gain: 0.0760)
│   │       ├── = 0:
│   │       │   ├── Class 0
│   │       ├── = 1:
│   │       │   ├── [top-right-square] (gain: 0.9183)
│   │       │   ├── = 1:
│   │       │   │   ├── Class 1
│   │       │   └── = 2:
│   │       │       ├── Class 0
│   │       └── = 2:
│   │           ├── [top-right-square] (gain: 0.9183)
│   │           ├── = 1:
│   │           │   ├── Class 0
│   │           └── = 2:
│   │               ├── Class 1
│   └── = 2:
│       ├── [middle-left-square] (gain: 0.3425)
│       ├── = 0:
│       │   ├── [top-right-square] (gain: 0.9710)
│       │   ├── = 1:
│       │   │   ├── Class 0
│       │   └── = 2:
│       │       ├── Class 1
│       ├── = 1:
│       │   ├── [top-right-square] (gain: 0.9183)
│       │   ├── = 0:
│       │   │   ├── Class 0
│       │   ├── = 1:
│       │   │   ├── Class 0
│       │   └── = 2:
│       │       ├── Class 1
│       └── = 2:
│           ├── Class 1
└── = 2:
    ├── Class 1

📊 OVERALL PERFORMANCE METRICS
========================================
Accuracy:              0.8730 (87.30%)
Precision (weighted): 0.8741
Recall (weighted):     0.8730
F1-Score (weighted):   0.8734
Precision (macro):     0.8590
Recall (macro):        0.8638
F1-Score (macro):      0.8613

🌳 TREE COMPLEXITY METRICS
========================================
Maximum Depth:         7
Total Nodes:           281
Leaf Nodes:            180
Internal Nodes:        101
```

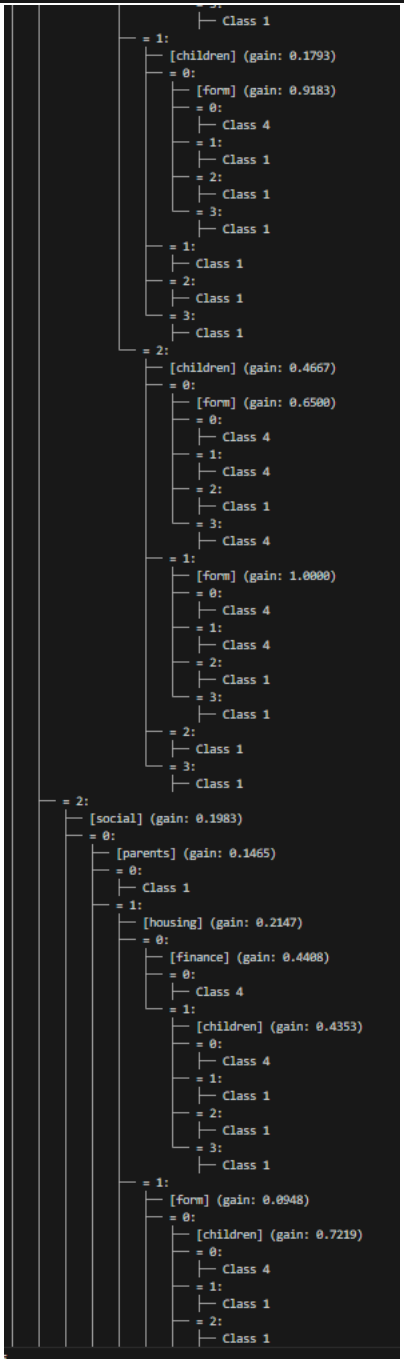
Nursery.csv:



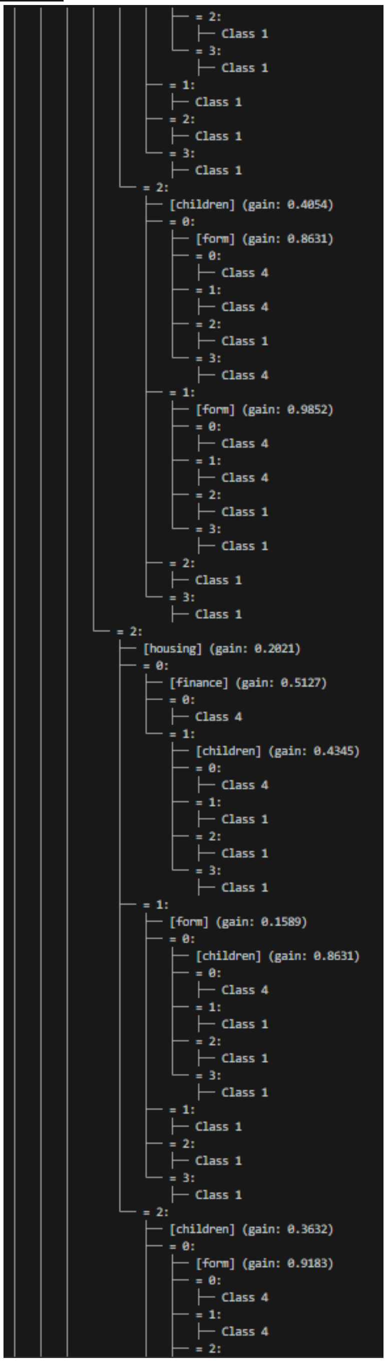
```
PS C:\Dhanya\PESENGINEERING\sem5\ML\Lab_2\code\pytorch_implementation> python test.py --ID EC_C_PES2UG23CS169_Lab3 --data Nursery.csv --print-tree
Running tests with PYTORCH framework
============================================================
 target column: 'class' (last column)
Original dataset info:
Shape: (12960, 9)
Columns: ['parents', 'has_nurs', 'form', 'children', 'housing', 'finance', 'social', 'health', 'class']

First few rows:

parents: ['usual' 'pretentious' 'great_pret'] -> [2 1 0]

has_nurs: ['proper' 'less_proper' 'improper' 'critical' 'very_crit'] -> [3 2 1 0 4]

form: ['complete' 'completed' 'incomplete' 'foster'] -> [0 1 3 2]

class: ['recommend' 'priority' 'not_recom' 'very_recom' 'spec_prior'] -> [2 1 0 4 3]

Processed dataset shape: torch.Size([12960, 9])
Number of features: 8
Features: ['parents', 'has_nurs', 'form', 'children', 'housing', 'finance', 'social', 'health']
Target: class
Framework: PYTORCH
Data type: <class 'torch.Tensor'>

============================================================
DECISION TREE CONSTRUCTION DEMO
============================================================
Total samples: 12960
Training samples: 10368
Testing samples: 2592

Constructing decision tree using training data...
```



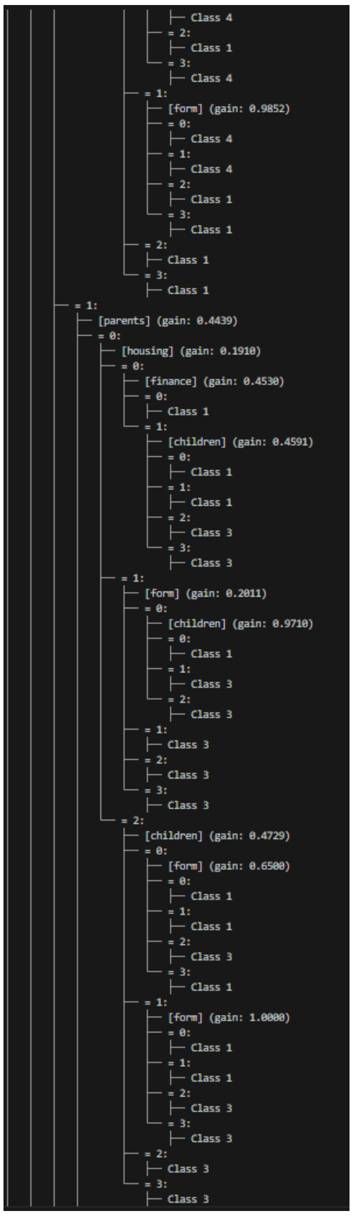
```
│   │           └── = 2:
│   │               ├── Class 1
│   │       └── = 2:
│   │           ├── [social] (gain: 0.1579)
│   │           ├── = 0:
│   │               ├── [housing] (gain: 0.1963)
│   │               ├── = 0:
│   │                   ├── [finance] (gain: 0.4934)
│   │                   ├── = 0:
│   │                       ├── Class 4
│   │                   └── = 1:
│   │                       ├── [form] (gain: 0.6058)
│   │                       ├── = 0:
│   │                           ├── Class 4
│   │                       ├── = 1:
│   │                           ├── Class 4
│   │                       ├── = 2:
│   │                           ├── Class 1
│   │                       └── = 3:
│   │                           ├── Class 1
│   │               ├── = 1:
│   │                   ├── [form] (gain: 0.1555)
│   │                   ├── = 0:
│   │                       ├── [children] (gain: 0.8631)
│   │                       ├── = 0:
│   │                           ├── Class 4
│   │                       ├── = 1:
│   │                           ├── Class 1
│   │                       ├── = 2:
│   │                           ├── Class 1
│   │                       └── = 3:
│   │                           ├── Class 1
│   │                   ├── = 1:
│   │                       ├── Class 1
│   │                   ├── = 2:
│   │                       ├── Class 1
│   │                   └── = 3:
│   │                       ├── Class 1
│   │               └── = 2:
│   │                   ├── [children] (gain: 0.5185)
│   │                   ├── = 0:
│   │                       ├── [form] (gain: 0.7219)
│   │                       ├── = 0:
│   │                           ├── Class 4
│   │                       ├── = 1:
│   │                           ├── Class 4
│   │                       ├── = 2:
│   │                           ├── Class 1
│   │                       └── = 3:
│   │                           ├── Class 4
│   │                   ├── = 1:
│   │                       ├── [form] (gain: 0.9710)
│   │                       ├── = 0:
│   │                           ├── Class 4
│   │                       ├── = 1:
│   │                           ├── Class 4
│   │                       └── = 3:
│   │                           ├── Class 1
│   │                   ├── = 2:
│   │                       ├── Class 1
│   │                   └── = 3:
│   │                       ├── Class 1
│   │           ├── = 1:
│   │               ├── Class 1
│   │           └── = 2:
│   │               ├── [housing] (gain: 0.1933)
│   │               ├── = 0:
│   │                   ├── [finance] (gain: 0.4243)
│   │                   ├── = 0:
│   │                       ├── Class 4
│   │                   └── = 1:
│   │                       ├── [children] (gain: 0.4228)
│   │                       ├── = 0:
│   │                           ├── Class 4
│   │                       ├── = 1:
│   │                           ├── Class 1
│   │                       ├── = 2:
│   │                           ├── Class 1
│   │                       └── = 3:
```



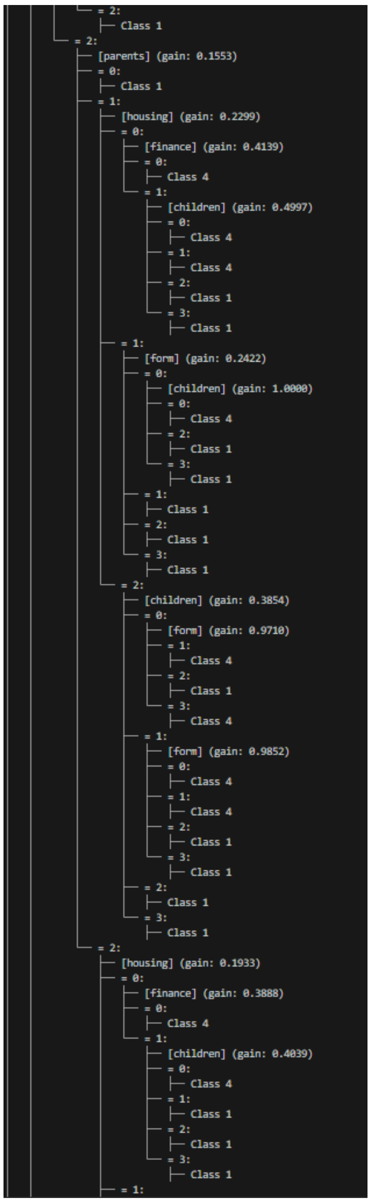
```
│   │                               ├── Class 1
│   │                   ├── = 1:
│   │                       ├── [children] (gain: 0.1793)
│   │                       ├── = 0:
│   │                           ├── [form] (gain: 0.9183)
│   │                           ├── = 0:
│   │                               ├── Class 4
│   │                           ├── = 1:
│   │                               ├── Class 1
│   │                           ├── = 2:
│   │                               ├── Class 1
│   │                           └── = 3:
│   │                               ├── Class 1
│   │                       ├── = 1:
│   │                           ├── Class 1
│   │                       ├── = 2:
│   │                           ├── Class 1
│   │                       └── = 3:
│   │                           ├── Class 1
│   │                   └── = 2:
│   │                       ├── [children] (gain: 0.4667)
│   │                       ├── = 0:
│   │                           ├── [form] (gain: 0.6500)
│   │                           ├── = 0:
│   │                               ├── Class 4
│   │                           ├── = 1:
│   │                               ├── Class 4
│   │                           ├── = 2:
│   │                               ├── Class 1
│   │                           └── = 3:
│   │                               ├── Class 4
│   │                       ├── = 1:
│   │                           ├── [form] (gain: 1.0000)
│   │                           ├── = 0:
│   │                               ├── Class 4
│   │                           ├── = 1:
│   │                               ├── Class 4
│   │                           ├── = 2:
│   │                               ├── Class 1
│   │                           └── = 3:
│   │                               ├── Class 1
│   │                       ├── = 2:
│   │                           ├── Class 1
│   │                       └── = 3:
│   │                           ├── Class 1
│   ├── = 2:
│       ├── [social] (gain: 0.1983)
│       ├── = 0:
│           ├── [parents] (gain: 0.1465)
│           ├── = 0:
│               ├── Class 1
│           ├── = 1:
│               ├── [housing] (gain: 0.2147)
│               ├── = 0:
│                   ├── [finance] (gain: 0.4408)
│                   ├── = 0:
│                       ├── Class 4
│                   └── = 1:
│                       ├── [children] (gain: 0.4353)
│                       ├── = 0:
│                           ├── Class 4
│                       ├── = 1:
│                           ├── Class 1
│                       ├── = 2:
│                           ├── Class 1
│                       └── = 3:
│                           ├── Class 1
│               ├── = 1:
│                   ├── [form] (gain: 0.0948)
│                   ├── = 0:
│                       ├── [children] (gain: 0.7219)
│                       ├── = 0:
│                           ├── Class 4
│                       ├── = 1:
│                           ├── Class 1
│                       ├── = 2:
│                           ├── Class 1
```



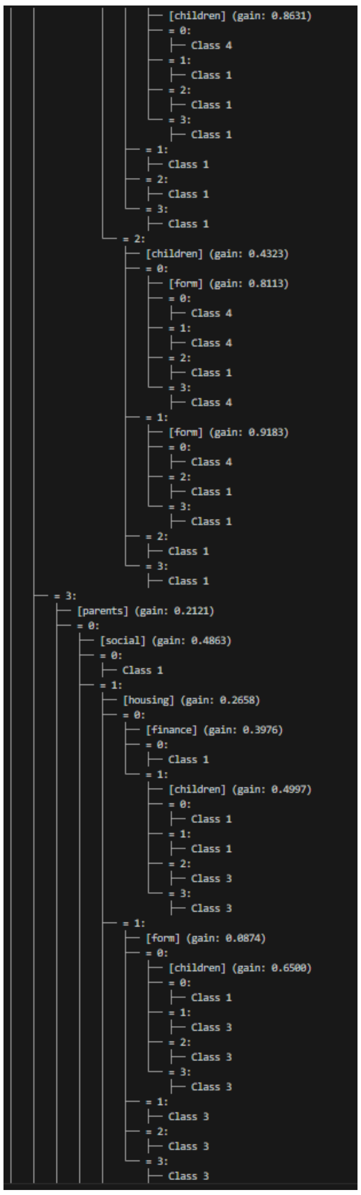
```
│   │   │   │   │   │   ├── = 2:
│   │   │   │   │   │       ├── Class 1
│   │   │   │   │   │   └── = 3:
│   │   │   │   │   │       ├── Class 1
│   │   │   │   │   ├── = 1:
│   │   │   │   │       ├── Class 1
│   │   │   │   │   ├── = 2:
│   │   │   │   │       ├── Class 1
│   │   │   │   │   └── = 3:
│   │   │   │   │       ├── Class 1
│   │   │   │   └── = 2:
│   │   │   │       ├── [children] (gain: 0.4054)
│   │   │   │       ├── = 0:
│   │   │   │           ├── [form] (gain: 0.8631)
│   │   │   │           ├── = 0:
│   │   │   │               ├── Class 4
│   │   │   │           ├── = 1:
│   │   │   │               ├── Class 4
│   │   │   │           ├── = 2:
│   │   │   │               ├── Class 1
│   │   │   │           └── = 3:
│   │   │   │               ├── Class 4
│   │   │   │       ├── = 1:
│   │   │   │           ├── [form] (gain: 0.9852)
│   │   │   │           ├── = 0:
│   │   │   │               ├── Class 4
│   │   │   │           ├── = 1:
│   │   │   │               ├── Class 4
│   │   │   │           ├── = 2:
│   │   │   │               ├── Class 1
│   │   │   │           └── = 3:
│   │   │   │               ├── Class 1
│   │   │   │       ├── = 2:
│   │   │   │           ├── Class 1
│   │   │   │       └── = 3:
│   │   │   │           ├── Class 1
│   │   │   └── = 2:
│   │   │       ├── [housing] (gain: 0.2021)
│   │   │       ├── = 0:
│   │   │           ├── [finance] (gain: 0.5127)
│   │   │           ├── = 0:
│   │   │               ├── Class 4
│   │   │           └── = 1:
│   │   │               ├── [children] (gain: 0.4345)
│   │   │               ├── = 0:
│   │   │                   ├── Class 4
│   │   │               ├── = 1:
│   │   │                   ├── Class 1
│   │   │               ├── = 2:
│   │   │                   ├── Class 1
│   │   │               └── = 3:
│   │   │                   ├── Class 1
│   │   │       ├── = 1:
│   │   │           ├── [form] (gain: 0.1589)
│   │   │           ├── = 0:
│   │   │               ├── [children] (gain: 0.8631)
│   │   │               ├── = 0:
│   │   │                   ├── Class 4
│   │   │               ├── = 1:
│   │   │                   ├── Class 1
│   │   │               ├── = 2:
│   │   │                   ├── Class 1
│   │   │               └── = 3:
│   │   │                   ├── Class 1
│   │   │           ├── = 1:
│   │   │               ├── Class 1
│   │   │           ├── = 2:
│   │   │               ├── Class 1
│   │   │           └── = 3:
│   │   │               ├── Class 1
│   │   │       └── = 2:
│   │   │           ├── [children] (gain: 0.3632)
│   │   │           ├── = 0:
│   │   │               ├── [form] (gain: 0.9183)
│   │   │               ├── = 0:
│   │   │                   ├── Class 4
│   │   │               ├── = 1:
│   │   │                   ├── Class 4
│   │   │               ├── = 2:
```



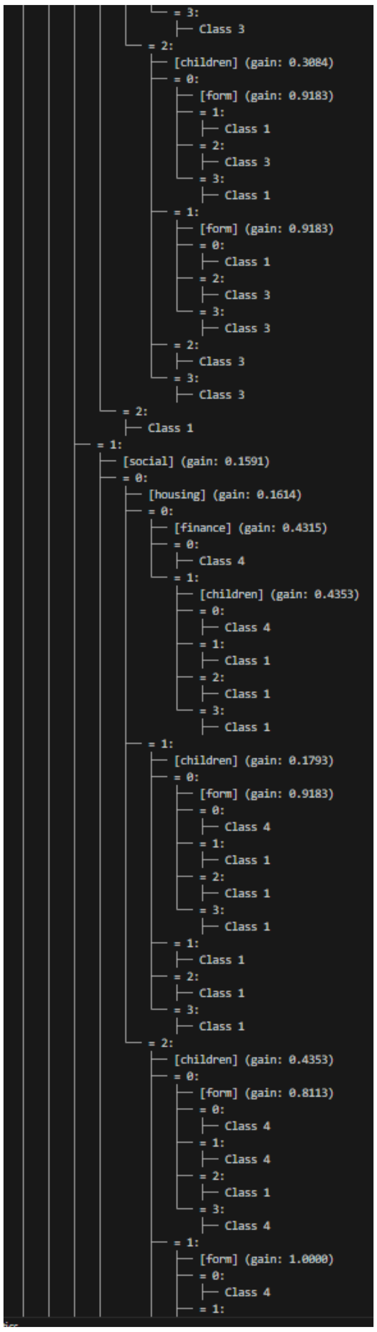
```
          ├─ Class 4
        ├── = 2:
          ├─ Class 1
        └── = 3:
          ├─ Class 4
      ├── = 1:
        ├── [form] (gain: 0.9852)
        ├── = 0:
          ├─ Class 4
        ├── = 1:
          ├─ Class 4
        ├── = 2:
          ├─ Class 1
        └── = 3:
          ├─ Class 1
      ├── = 2:
        ├─ Class 1
      └── = 3:
        ├─ Class 1
├── = 1:
  ├── [parents] (gain: 0.4439)
  ├── = 0:
    ├── [housing] (gain: 0.1910)
    ├── = 0:
      ├── [finance] (gain: 0.4530)
      ├── = 0:
        ├─ Class 1
      └── = 1:
        ├── [children] (gain: 0.4591)
        ├── = 0:
          ├─ Class 1
        ├── = 1:
          ├─ Class 1
        ├── = 2:
          ├─ Class 3
        └── = 3:
          ├─ Class 3
    ├── = 1:
      ├── [form] (gain: 0.2011)
      ├── = 0:
        ├── [children] (gain: 0.9710)
        ├── = 0:
          ├─ Class 1
        ├── = 1:
          ├─ Class 3
        └── = 2:
          ├─ Class 3
      ├── = 1:
        ├─ Class 3
      ├── = 2:
        ├─ Class 3
      └── = 3:
        ├─ Class 3
    └── = 2:
      ├── [children] (gain: 0.4729)
      ├── = 0:
        ├── [form] (gain: 0.6500)
        ├── = 0:
          ├─ Class 1
        ├── = 1:
          ├─ Class 1
        ├── = 2:
          ├─ Class 3
        └── = 3:
          ├─ Class 1
      ├── = 1:
        ├── [form] (gain: 1.0000)
        ├── = 0:
          ├─ Class 1
        ├── = 1:
          ├─ Class 1
        ├── = 2:
          ├─ Class 3
        └── = 3:
          ├─ Class 3
      ├── = 2:
        ├─ Class 3
      └── = 3:
        ├─ Class 3
```



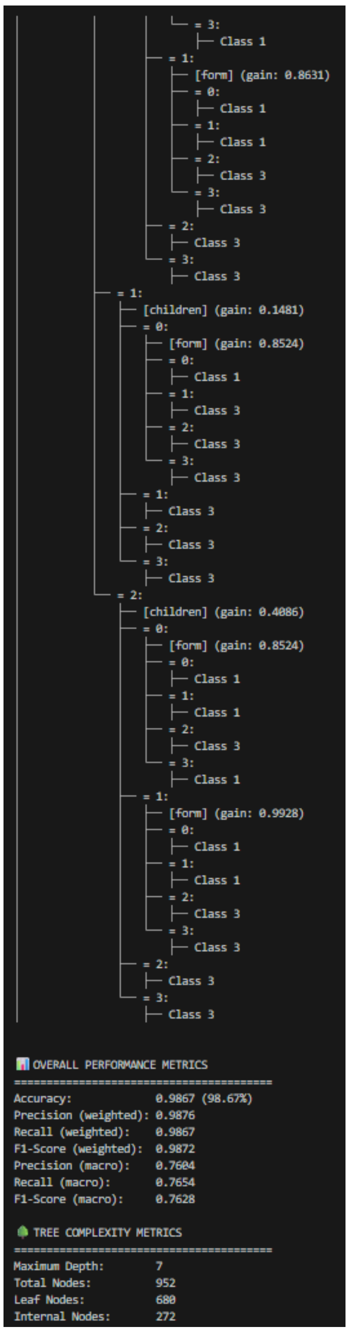
```
  └── = 2:
    ├─ Class 1
└── = 2:
  ├── [parents] (gain: 0.1553)
  ├── = 0:
    ├─ Class 1
  ├── = 1:
    ├── [housing] (gain: 0.2299)
    ├── = 0:
      ├── [finance] (gain: 0.4139)
      ├── = 0:
        ├─ Class 4
      └── = 1:
        ├── [children] (gain: 0.4997)
        ├── = 0:
          ├─ Class 4
        ├── = 1:
          ├─ Class 4
        ├── = 2:
          ├─ Class 1
        └── = 3:
          ├─ Class 1
    ├── = 1:
      ├── [form] (gain: 0.2422)
      ├── = 0:
        ├── [children] (gain: 1.0000)
        ├── = 0:
          ├─ Class 4
        ├── = 2:
          ├─ Class 1
        └── = 3:
          ├─ Class 1
      ├── = 1:
        ├─ Class 1
      ├── = 2:
        ├─ Class 1
      └── = 3:
        ├─ Class 1
    └── = 2:
      ├── [children] (gain: 0.3854)
      ├── = 0:
        ├── [form] (gain: 0.9710)
        ├── = 1:
          ├─ Class 4
        ├── = 2:
          ├─ Class 1
        └── = 3:
          ├─ Class 4
      ├── = 1:
        ├── [form] (gain: 0.9852)
        ├── = 0:
          ├─ Class 4
        ├── = 1:
          ├─ Class 4
        ├── = 2:
          ├─ Class 1
        └── = 3:
          ├─ Class 1
      ├── = 2:
        ├─ Class 1
      └── = 3:
        ├─ Class 1
  └── = 2:
    ├── [housing] (gain: 0.1933)
    ├── = 0:
      ├── [finance] (gain: 0.3888)
      ├── = 0:
        ├─ Class 4
      └── = 1:
        ├── [children] (gain: 0.4039)
        ├── = 0:
          ├─ Class 4
        ├── = 1:
          ├─ Class 1
        ├── = 2:
          ├─ Class 1
        └── = 3:
          ├─ Class 1
    ├── = 1:
```



```
          ├── [children] (gain: 0.8631)
          ├── = 0:
            ├─ Class 4
          ├── = 1:
            ├─ Class 1
          ├── = 2:
            ├─ Class 1
          └── = 3:
            ├─ Class 1
        ├── = 1:
          ├─ Class 1
        ├── = 2:
          ├─ Class 1
        └── = 3:
          ├─ Class 1
      └── = 2:
        ├── [children] (gain: 0.4323)
        ├── = 0:
          ├── [form] (gain: 0.8113)
          ├── = 0:
            ├─ Class 4
          ├── = 1:
            ├─ Class 4
          ├── = 2:
            ├─ Class 1
          └── = 3:
            ├─ Class 4
        ├── = 1:
          ├── [form] (gain: 0.9183)
          ├── = 0:
            ├─ Class 4
          ├── = 2:
            ├─ Class 1
          └── = 3:
            ├─ Class 1
        ├── = 2:
          ├─ Class 1
        └── = 3:
          ├─ Class 1
├── = 3:
  ├── [parents] (gain: 0.2121)
  ├── = 0:
    ├── [social] (gain: 0.4863)
    ├── = 0:
      ├─ Class 1
    ├── = 1:
      ├── [housing] (gain: 0.2658)
      ├── = 0:
        ├── [finance] (gain: 0.3976)
        ├── = 0:
          ├─ Class 1
        └── = 1:
          ├── [children] (gain: 0.4997)
          ├── = 0:
            ├─ Class 1
          ├── = 1:
            ├─ Class 1
          ├── = 2:
            ├─ Class 3
          └── = 3:
            ├─ Class 3
      ├── = 1:
        ├── [form] (gain: 0.0874)
        ├── = 0:
          ├── [children] (gain: 0.6500)
          ├── = 0:
            ├─ Class 1
          ├── = 1:
            ├─ Class 3
          ├── = 2:
            ├─ Class 3
          └── = 3:
            ├─ Class 3
        ├── = 1:
          ├─ Class 3
        ├── = 2:
          ├─ Class 3
        └── = 3:
          ├─ Class 3
```



```
                        └── = 3:
                            ├── Class 3
                    └── = 2:
                        ├── [children] (gain: 0.3084)
                        ├── = 0:
                            ├── [form] (gain: 0.9183)
                            ├── = 1:
                                ├── Class 1
                            ├── = 2:
                                ├── Class 3
                            └── = 3:
                                ├── Class 1
                        ├── = 1:
                            ├── [form] (gain: 0.9183)
                            ├── = 0:
                                ├── Class 1
                            ├── = 2:
                                ├── Class 3
                            └── = 3:
                                ├── Class 3
                        ├── = 2:
                            ├── Class 3
                        └── = 3:
                            ├── Class 3
                └── = 2:
                    ├── Class 1
            ├── = 1:
                ├── [social] (gain: 0.1591)
                ├── = 0:
                    ├── [housing] (gain: 0.1614)
                    ├── = 0:
                        ├── [finance] (gain: 0.4315)
                        ├── = 0:
                            ├── Class 4
                        └── = 1:
                            ├── [children] (gain: 0.4353)
                            ├── = 0:
                                ├── Class 4
                            ├── = 1:
                                ├── Class 1
                            ├── = 2:
                                ├── Class 1
                            └── = 3:
                                ├── Class 1
                    ├── = 1:
                        ├── [children] (gain: 0.1793)
                        ├── = 0:
                            ├── [form] (gain: 0.9183)
                            ├── = 0:
                                ├── Class 4
                            ├── = 1:
                                ├── Class 1
                            ├── = 2:
                                ├── Class 1
                            └── = 3:
                                ├── Class 1
                        ├── = 1:
                            ├── Class 1
                        ├── = 2:
                            ├── Class 1
                        └── = 3:
                            ├── Class 1
                    └── = 2:
                        ├── [children] (gain: 0.4353)
                        ├── = 0:
                            ├── [form] (gain: 0.8113)
                            ├── = 0:
                                ├── Class 4
                            ├── = 1:
                                ├── Class 4
                            ├── = 2:
                                ├── Class 1
                            └── = 3:
                                ├── Class 4
                        ├── = 1:
                            ├── [form] (gain: 1.0000)
                            ├── = 0:
                                ├── Class 4
                            ├── = 1:
```



```
                    └── = 3:
                        ├── Class 1
                ├── = 1:
                    ├── [form] (gain: 0.8631)
                    ├── = 0:
                        ├── Class 1
                    ├── = 1:
                        ├── Class 1
                    ├── = 2:
                        ├── Class 3
                    └── = 3:
                        ├── Class 3
                ├── = 2:
                    ├── Class 3
                └── = 3:
                    ├── Class 3
        ├── = 1:
            ├── [children] (gain: 0.1481)
            ├── = 0:
                ├── [form] (gain: 0.8524)
                ├── = 0:
                    ├── Class 1
                ├── = 1:
                    ├── Class 3
                ├── = 2:
                    ├── Class 3
                └── = 3:
                    ├── Class 3
            ├── = 1:
                ├── Class 3
            ├── = 2:
                ├── Class 3
            └── = 3:
                ├── Class 3
        └── = 2:
            ├── [children] (gain: 0.4086)
            ├── = 0:
                ├── [form] (gain: 0.8524)
                ├── = 0:
                    ├── Class 1
                ├── = 1:
                    ├── Class 1
                ├── = 2:
                    ├── Class 3
                └── = 3:
                    ├── Class 1
            ├── = 1:
                ├── [form] (gain: 0.9928)
                ├── = 0:
                    ├── Class 1
                ├── = 1:
                    ├── Class 1
                ├── = 2:
                    ├── Class 3
                └── = 3:
                    ├── Class 3
            ├── = 2:
                ├── Class 3
            └── = 3:
                ├── Class 3

📊 OVERALL PERFORMANCE METRICS
========================================
Accuracy:              0.9867 (98.67%)
Precision (weighted): 0.9876
Recall (weighted):     0.9867
F1-Score (weighted):  0.9872
Precision (macro):     0.7604
Recall (macro):        0.7654
F1-Score (macro):      0.7628

🌳 TREE COMPLEXITY METRICS
========================================
Maximum Depth:         7
Total Nodes:           952
Leaf Nodes:            680
Internal Nodes:        272
```

1. Performance Comparision:
   - Mushrooms achieves perfect classification.
   - Nursery has a very high performance and is almost perfect.
   - TicTacToe is strong but lower to others
2. Tree:
   - Mushroom: Depth – 4

     Nodes – 29

     Root – odor

   - TicTacToe : Depth – 7
     Nodes – 281

Root - middle middle square

- Nursery: Depth – 7

  Nodes – 952

  Root – odor

- Tree complexity: Nursery dataset creates the largest tree as it has many categorical attributes and 5 class targets. Mushroom tree is very small and separable. TicTacToe is in between.

3. Dataset-Specific Insights:
   - Mushrooms
     - Feature Importance: odor is dominant (94% of splits).
     - Class Distribution: Balanced (52% edible, 48% poisonous).
     - Decision Patterns: If odor is foul/fishy, mushroom is poisonous; otherwise edible.
     - Overfitting: Minimal (small tree, perfect separation).
   - Nursery
     - Feature Importance: health (52%), has_nurs-.
     - Class Distribution: Almost balanced across 5 categories.
     - Decision Patterns: First split on health; followed by has_nurs.
     - Overfitting: Deep tree (391 nodes) hints at some overfitting, but accuracy remains high.
   - TicTacToe
     - Feature Importance: bottom-left, top-left, and middle-middle.
     - Class Distribution: Imbalanced (65% one class, 35% other).
     - Decision Patterns: Root splits often capture winning/losing square positions.
     - Overfitting: Larger tree relative to dataset size; risk of memorizing rare board states.

4. Comparative Analysis Report

a) Algorithm Performance

- Highest Accuracy: Mushrooms (100%) because of a single dominant feature (odor).
- Dataset Size Effect: Larger datasets (Nursery, TicTacToe) → deeper, more complex trees.
- Number of Features: Too many features (Nursery) means more complexity, risk of overfitting. Few decisive features (Mushrooms) means clean separations.

b) Data Characteristics Impact

- Class Imbalance:

  TicTacToe (65–35 imbalance) lowers performance slightly

  Mushroom balanced classes → perfect accuracy.

  Nursery has mild imbalance → tree depth grows to capture rare classes.

- Binary vs Multi-valued Features: Binary features (TicTacToe) lead to more branching combinations; Multi-valued features (Mushroom's odor, Nursery's health) allow quick separation.

c) Practical Applications

- Mushrooms: Useful in bioinformatics / food safety. High interpretability and reliability.
- Nursery: Mimics admission/recommendation systems, where social & financial attributes matter.
- TicTacToe: Demonstrates game state classification; relevant to board game AI or reinforcement learning benchmarks.

d) Improvements

- Mushrooms: Already perfect; nothing needed.
- Nursery: Pruning the tree to reduce overfitting.
- TicTacToe: Balance dataset, prune tree, or use ensemble methods to generalize better.