

معماری انجام شده (Proposed Architecture)

مدل پیشنهادی از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

شبکه اول (BaseNN1 - شبکه کم عمق)

این شبکه به گونه ای طراحی شده که الگوهای ساده و خطی تر را از داده یاد بگیرد.

ویژگی ها:

- 2 لایه مخفی
- تابع فعال سازی: ReLU
- Dropout = 0.2
- خروجی: Sigmoid (احتمال وجود بیماری)

هدف این شبکه:

یادگیری الگوهای پایه و عمومی بدون پیچیدگی زیاد

شبکه دوم (BaseNN2 - شبکه عمیق تر)

این شبکه نسبت به BaseNN1 عمیق تر است و با تابع فعال سازی متفاوت کار می کند تا فضای جستجوی متفاوتی را پوشش دهد.

ویژگی ها:

- 3 لایه مخفی
- تابع فعال سازی: Tanh
- Dropout = 0.1
- خروجی: Sigmoid

هدف این شبکه:

یادگیری روابط غیر خطی تر و پیچیده تر بین ویژگی ها

استفاده از Tanh باعث می شود رفتار این شبکه از نظر توزیع گرادیان و پاسخ متفاوت از BaseNN1 باشد، که برای ensemble بسیار مهم است.

لایه رأی‌گیری فازی (Fuzzy Voting Layer)

ایده اصلی:

به جای میانگین‌گیری ساده از خروجی شبکه‌ها، از یک وزن‌دهی مبتنی بر confidence استفاده شده است.

تعریف confidence :

- اگر خروجی یک شبکه به 0 یا 1 نزدیک باشد → اعتماد بیشتر
- اگر خروجی نزدیک به 0.5 باشد → عدم قطعیت بیشتر

فرمول استفاده‌شده:

$$\text{confidence} = |\text{output} - 0.5| \times 2$$

نحوه ترکیب:

$$\text{Weighted Output} = (x_1 \times \text{conf1} + x_2 \times \text{conf2}) / (\text{conf1} + \text{conf2})$$

نتیجه:

- اگر هر دو شبکه مطمئن باشند → تصمیم قوی
- اگر یکی مطمئن‌تر باشد → رأی آن غالب می‌شود
- اگر هر دو نامطمئن باشند → تصمیم نرم و محتاطانه

این رفتار دقیقاً مشابه تصمیم‌گیری فازی انسانی است.

شبکه نهایی (Meta Network)

خروجی لایه فازی وارد یک لایه خطی ساده می‌شود:

- Linear ($1 \rightarrow 1$)
- Sigmoid

هدف:

تنظیم نهایی خروجی ensemble و افزایش انعطاف‌پذیری تصمیم نهایی

- Optimizer: Adam
- Loss Function: Binary Cross Entropy
- Epochs: 50
- Batch Size: 8

مدل روی داده‌های آموزش train شده و روی validation ارزیابی شده است.

نتایج تجربی (Experimental Results)

نتایج نشان می‌دهد که مدل:

- $85\% \approx \text{Accuracy}$
- Recall برای کلاس بیمار $\approx 97\%$
- خطای False Negative بسیار پایین

Confusion Matrix:

[[20 8]

[1 32]]

Classification Report:

	Precision	recall	f1-score	support
0.0	0.9524	0.7143	0.8163	28
1.0	0.8000	0.9697	0.8767	33
Accuracy			0.8525	61
macro avg	0.8762	0.8420	0.8465	61
weighted avg	0.8699	0.8525	0.8490	61