

一、实验数据

1. 训练集

为了对比实验结果，将数据集统一用 MIT-BIH Arrhythmia Database 和 MIT-BIH Noise Stress Test Database，选用其中 10 个数据段，分别为 103, 105, 111, 116, 122, 205, 213, 219, 223, 230；通过 PhysioBank 提供的 WFDB 软件包分别向 10 个数据段中加入信噪比 SNR 为 0dB、1.25dB 和 5dB 的基线漂移、工频干扰、肌电干扰三种噪声，最终生成 $10 * 3 * 3 = 90$ 个数据段。其中每个数据段包含 12min 噪声数据，共大约 $12 \text{ min} * 90 = 18 \text{ h}$ 数据。下图为 Improved DAE 论文实验结果。

Table 1
Experimental results for BW noise.

| MIT-BIH recording number | | 103 | 105 | 111 | 116 | 122 | 205 | 213 | 219 | 223 | 230 | Average | |
|--------------------------|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| S-Transform method | 0 dB | SNR | 11.4 | 11.56 | 9.22 | 9.01 | 10.58 | 9.31 | 11.57 | 11.55 | 12.14 | 11.68 | 10.80 |
| | | RMSE | 0.269 | 0.264 | 0.346 | 0.354 | 0.296 | 0.342 | 0.264 | 0.265 | 0.247 | 0.261 | 0.291 |
| | 1.25 dB | SNR | 12.06 | 12.23 | 9.61 | 9.35 | 11.17 | 9.7 | 12.22 | 12.22 | 12.95 | 12.35 | 11.39 |
| | | RMSE | 0.249 | 0.245 | 0.331 | 0.341 | 0.276 | 0.327 | 0.245 | 0.245 | 0.225 | 0.241 | 0.273 |
| | 5 dB | SNR | 13.54 | 13.77 | 10.41 | 10.04 | 12.38 | 10.46 | 13.77 | 13.65 | 14.81 | 13.89 | 12.67 |
| | | RMSE | 0.210 | 0.205 | 0.302 | 0.315 | 0.240 | 0.300 | 0.205 | 0.208 | 0.182 | 0.202 | 0.237 |
| WT method | 0 dB | SNR | 14.87 | 31.53 | 18.41 | 20.00 | 9.12 | 22.64 | 20.83 | 18.69 | 17.34 | 22.23 | 19.57 |
| | | RMSE | 0.074 | 0.014 | 0.060 | 0.042 | 0.138 | 0.037 | 0.034 | 0.040 | 0.063 | 0.041 | 0.054 |
| | 1.25 dB | SNR | 14.88 | 31.91 | 18.42 | 20.06 | 8.54 | 22.73 | 20.47 | 20.22 | 17.40 | 22.22 | 19.69 |
| | | RMSE | 0.074 | 0.013 | 0.060 | 0.042 | 0.147 | 0.037 | 0.036 | 0.034 | 0.063 | 0.041 | 0.055 |
| | 5 dB | SNR | 14.90 | 32.71 | 18.43 | 20.10 | 8.22 | 22.91 | 19.11 | 21.44 | 17.51 | 22.18 | 19.75 |
| | | RMSE | 0.074 | 0.012 | 0.060 | 0.041 | 0.153 | 0.036 | 0.042 | 0.029 | 0.062 | 0.041 | 0.055 |
| BPNN method | 0 dB | SNR | 9.27 | 9.28 | 4.84 | 12.32 | 15.75 | 14.59 | 11.62 | 11.92 | 13.18 | 7.46 | 11.02 |
| | | RMSE | 0.130 | 0.130 | 0.178 | 0.252 | 0.151 | 0.073 | 0.178 | 0.191 | 0.153 | 0.128 | 0.156 |
| | 1.25 dB | SNR | 11.44 | 9.54 | 6.87 | 12.67 | 16.34 | 14.83 | 12.37 | 12.88 | 13.52 | 8.69 | 11.92 |
| | | RMSE | 0.105 | 0.126 | 0.142 | 0.244 | 0.143 | 0.072 | 0.164 | 0.171 | 0.145 | 0.116 | 0.143 |
| | 5 dB | SNR | 12.55 | 9.67 | 8.23 | 13.38 | 16.87 | 15.86 | 13.34 | 13.63 | 15.34 | 9.42 | 12.83 |
| | | RMSE | 0.099 | 0.122 | 0.118 | 0.224 | 0.134 | 0.063 | 0.145 | 0.155 | 0.115 | 0.106 | 0.128 |
| DAE method | 0 dB | SNR | 20.38 | 24.90 | 23.04 | 18.84 | 19.48 | 20.08 | 19.92 | 19.30 | 22.94 | 20.53 | 20.94 |
| | | RMSE | 0.038 | 0.029 | 0.035 | 0.047 | 0.040 | 0.050 | 0.036 | 0.037 | 0.031 | 0.049 | 0.039 |
| | 1.25 dB | SNR | 20.55 | 23.27 | 23.07 | 19.53 | 19.90 | 20.12 | 20.32 | 19.83 | 23.74 | 20.67 | 21.30 |
| | | RMSE | 0.038 | 0.028 | 0.035 | 0.043 | 0.038 | 0.049 | 0.035 | 0.035 | 0.029 | 0.048 | 0.038 |
| | 5 dB | SNR | 20.77 | 25.47 | 23.03 | 21.60 | 21.00 | 20.30 | 21.34 | 21.15 | 25.41 | 21.03 | 22.11 |
| | | RMSE | 0.037 | 0.027 | 0.035 | 0.034 | 0.034 | 0.048 | 0.031 | 0.030 | 0.024 | 0.046 | 0.035 |
| Proposed method | 0 dB | SNR | 23.78 | 25.40 | 23.31 | 23.51 | 20.07 | 20.07 | 21.30 | 23.02 | 24.25 | 22.72 | 22.74 |
| | | RMSE | 0.026 | 0.028 | 0.034 | 0.027 | 0.050 | 0.050 | 0.032 | 0.024 | 0.027 | 0.037 | 0.034 |
| | 1.25 dB | SNR | 23.82 | 25.42 | 23.32 | 23.59 | 20.08 | 20.08 | 21.36 | 23.31 | 24.41 | 22.74 | 22.81 |
| | | RMSE | 0.026 | 0.028 | 0.034 | 0.027 | 0.050 | 0.050 | 0.032 | 0.023 | 0.027 | 0.037 | 0.033 |
| | 5 dB | SNR | 23.89 | 25.45 | 23.35 | 23.76 | 20.08 | 20.08 | 21.46 | 24.08 | 24.64 | 22.79 | 22.96 |
| | | RMSE | 0.025 | 0.027 | 0.034 | 0.026 | 0.050 | 0.050 | 0.031 | 0.021 | 0.026 | 0.037 | 0.033 |

2. 测试集

从上述训练集中的每个数据段随机挑选大约十分之一的数据，作为实验的训练集。

二、实验调试

1.网络结构

采用基本的生成对抗网络模型 GAN 对数据进行训练去噪。GAN 网络主要分为两个部分非，第一个部分为生成器 Generator，其输入为含有噪声的 ECG 信号，输出为去除噪声后的 ECG 信号（denoised data）；第二部分为判别器 Discriminator，输入为原始的无噪声的 ECG 信号和生成器 G 生成的 denoised data，输出为判别输入数据是有噪声数据还是无噪声数据的概率。如次迭代更新权值，最终得到具有去噪功能的生成器网络。

- 生成器网络结构采用普通的人工神经网络，具有两个隐含层，结构为 100-150-150-100；
- 判别器网络结构具有一个隐含层，结构为 100-50-1；

2.损失函数

参数迭代更新方式为 Adam，损失函数主要有一下三个：

$$loss(x, y) = 1/n \sum |x_i - y_i|^2$$

- 均方误差 MSE
- 考虑到数据的特点，采用 L1Loss

$$loss(x, y) = 1/n \sum |x_i - y_i|$$

$$\|x\|_p := \left(\sum_{i=1}^n |x_i|^p \right)^{1/p}$$

- 距离函数 PairwiseDistance

三、实验结果

1.评价方法

评价实验结果主要采用以下两种度量方法：

- RMSE
- 信噪比 SNR

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [x(n) - x_m(n)]^2}$$

and SNR defined as:

$$SNR = 10 \log \frac{\sum_{n=0}^{N-1} [x(n)]^2}{\sum_{n=0}^{N-1} [x_m(n) - x(n)]^2}$$

methods

2.结果对比

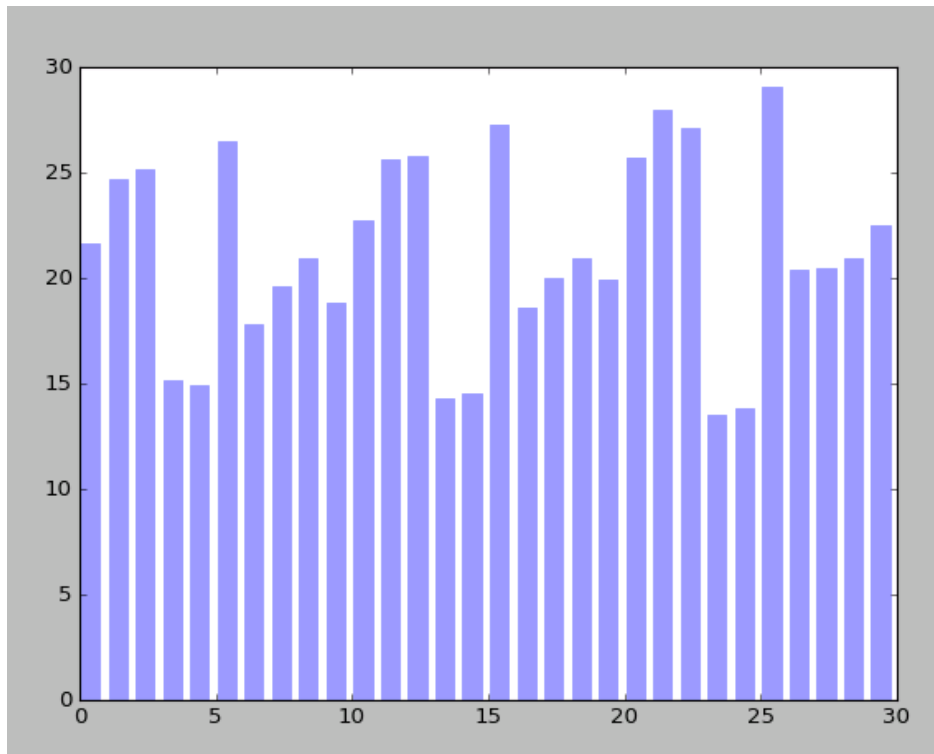
经过很多天的调试和修改，初步实验结果可以与其他方法实验结果进行对比：

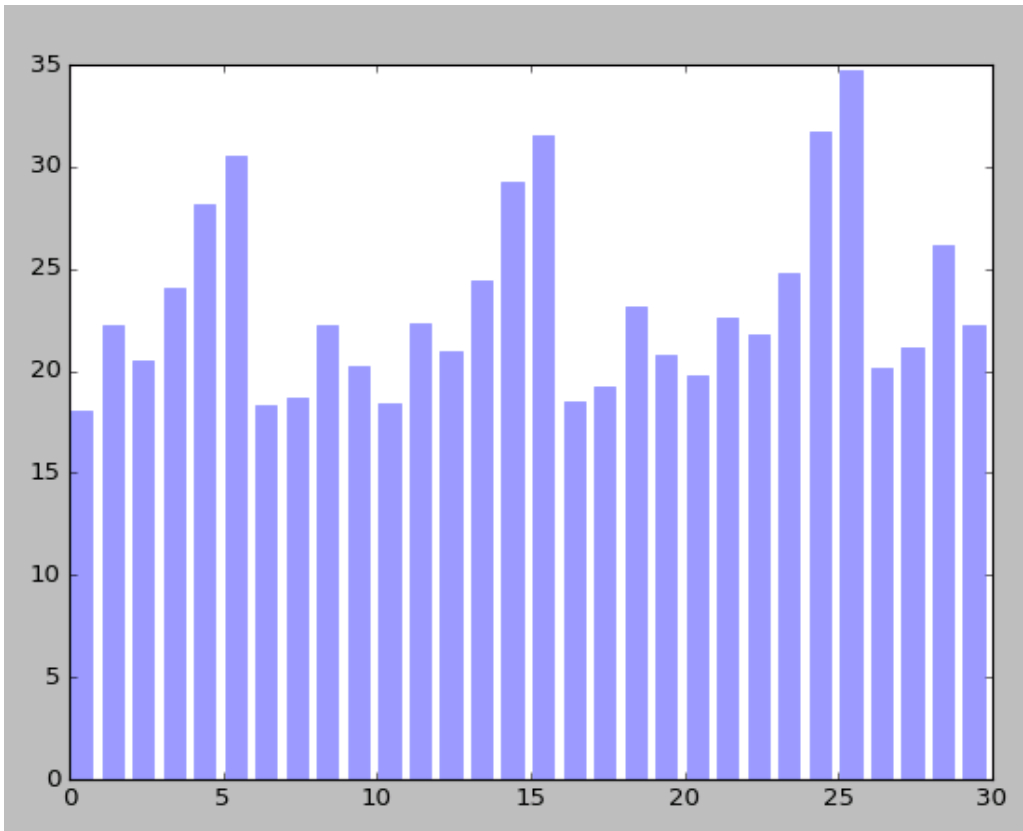
- 均方误差：下表中的实验结果的为其他论文中提出的 ECG 信号去噪的方法，均分误差最优值在 0.02—0.05 之间，
- 信噪比：以下方法中的信噪比最优值徘徊在 20—25 dB 左右；

Table 1
Experimental results for BW noise.

| MIT-BIH recording number | | | 103 | 105 | 111 | 116 | 122 | 205 | 213 | 219 | 223 | 230 | Average |
|--------------------------|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| S-Transform method | 0 dB | SNR | 11.4 | 11.56 | 9.22 | 9.01 | 10.58 | 9.31 | 11.57 | 11.55 | 12.14 | 11.68 | 10.80 |
| | | RMSE | 0.269 | 0.264 | 0.346 | 0.354 | 0.296 | 0.342 | 0.264 | 0.265 | 0.247 | 0.261 | 0.291 |
| | 1.25 dB | SNR | 12.06 | 12.23 | 9.61 | 9.35 | 11.17 | 9.7 | 12.22 | 12.22 | 12.95 | 12.35 | 11.39 |
| | | RMSE | 0.249 | 0.245 | 0.331 | 0.341 | 0.276 | 0.327 | 0.245 | 0.245 | 0.225 | 0.241 | 0.273 |
| | 5 dB | SNR | 13.54 | 13.77 | 10.41 | 10.04 | 12.38 | 10.46 | 13.77 | 13.65 | 14.81 | 13.89 | 12.67 |
| | | RMSE | 0.210 | 0.205 | 0.302 | 0.315 | 0.240 | 0.300 | 0.205 | 0.208 | 0.182 | 0.202 | 0.237 |
| WT method | 0 dB | SNR | 14.87 | 31.53 | 18.41 | 20.00 | 9.12 | 22.64 | 20.83 | 18.69 | 17.34 | 22.23 | 19.57 |
| | | RMSE | 0.074 | 0.014 | 0.060 | 0.042 | 0.138 | 0.037 | 0.034 | 0.040 | 0.063 | 0.041 | 0.054 |
| | 1.25 dB | SNR | 14.88 | 31.91 | 18.42 | 20.06 | 8.54 | 22.73 | 20.47 | 20.22 | 17.40 | 22.22 | 19.69 |
| | | RMSE | 0.074 | 0.013 | 0.060 | 0.042 | 0.147 | 0.037 | 0.036 | 0.034 | 0.063 | 0.041 | 0.055 |
| | 5 dB | SNR | 14.90 | 32.71 | 18.43 | 20.10 | 8.22 | 22.91 | 19.11 | 21.44 | 17.51 | 22.18 | 19.75 |
| | | RMSE | 0.074 | 0.012 | 0.060 | 0.041 | 0.153 | 0.036 | 0.042 | 0.029 | 0.062 | 0.041 | 0.055 |
| BPNN method | 0 dB | SNR | 9.27 | 9.28 | 4.84 | 12.32 | 15.75 | 14.59 | 11.62 | 11.92 | 13.18 | 7.46 | 11.02 |
| | | RMSE | 0.130 | 0.130 | 0.178 | 0.252 | 0.151 | 0.073 | 0.178 | 0.191 | 0.153 | 0.128 | 0.156 |
| | 1.25 dB | SNR | 11.44 | 9.54 | 6.87 | 12.67 | 16.34 | 14.83 | 12.37 | 12.88 | 13.52 | 8.69 | 11.92 |
| | | RMSE | 0.105 | 0.126 | 0.142 | 0.244 | 0.143 | 0.072 | 0.164 | 0.171 | 0.145 | 0.116 | 0.143 |
| | 5 dB | SNR | 12.55 | 9.67 | 8.23 | 13.38 | 16.87 | 15.86 | 13.34 | 13.63 | 15.34 | 9.42 | 12.83 |
| | | RMSE | 0.099 | 0.122 | 0.118 | 0.224 | 0.134 | 0.063 | 0.145 | 0.155 | 0.115 | 0.106 | 0.128 |
| DAE method | 0 dB | SNR | 20.38 | 24.90 | 23.04 | 18.84 | 19.48 | 20.08 | 19.92 | 19.30 | 22.94 | 20.53 | 20.94 |
| | | RMSE | 0.038 | 0.029 | 0.035 | 0.047 | 0.040 | 0.050 | 0.036 | 0.037 | 0.031 | 0.049 | 0.039 |
| | 1.25 dB | SNR | 20.55 | 23.27 | 23.07 | 19.53 | 19.90 | 20.12 | 20.32 | 19.83 | 23.74 | 20.67 | 21.30 |
| | | RMSE | 0.038 | 0.028 | 0.035 | 0.043 | 0.038 | 0.049 | 0.035 | 0.035 | 0.029 | 0.048 | 0.038 |
| | 5 dB | SNR | 20.77 | 25.47 | 23.03 | 21.60 | 21.00 | 20.30 | 21.34 | 21.15 | 25.41 | 21.03 | 22.11 |
| | | RMSE | 0.037 | 0.027 | 0.035 | 0.034 | 0.034 | 0.048 | 0.031 | 0.030 | 0.024 | 0.046 | 0.035 |
| Proposed method | 0 dB | SNR | 23.78 | 25.40 | 23.31 | 23.51 | 20.07 | 20.07 | 21.30 | 23.02 | 24.25 | 22.72 | 22.74 |
| | | RMSE | 0.026 | 0.028 | 0.034 | 0.027 | 0.050 | 0.050 | 0.032 | 0.024 | 0.027 | 0.037 | 0.034 |
| | 1.25 dB | SNR | 23.82 | 25.42 | 23.32 | 23.59 | 20.08 | 20.08 | 21.36 | 23.31 | 24.41 | 22.74 | 22.81 |
| | | RMSE | 0.026 | 0.028 | 0.034 | 0.027 | 0.050 | 0.050 | 0.032 | 0.023 | 0.027 | 0.037 | 0.033 |
| | 5 dB | SNR | 23.89 | 25.45 | 23.35 | 23.76 | 20.08 | 20.08 | 21.46 | 24.08 | 24.64 | 22.79 | 22.96 |
| | | RMSE | 0.025 | 0.027 | 0.034 | 0.026 | 0.050 | 0.050 | 0.031 | 0.021 | 0.026 | 0.037 | 0.033 |

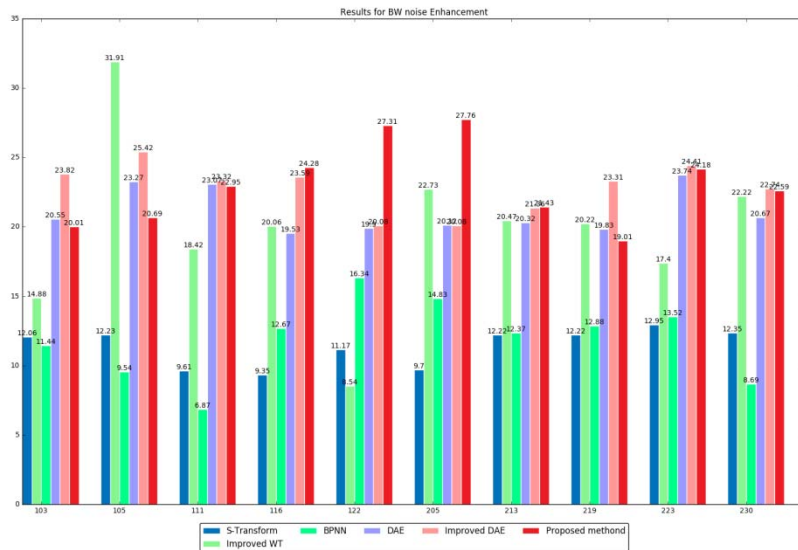
以下结果为 GAN 实验结果，只取了基线漂移 BW 的噪声类型的去噪效果：





结果对比 (BW 噪声, 信噪比为 1.25dB)

- 1000 次 epoch:



四、下一步计划

1、收集查询资料

2、撰写论文