

由表 5 可知：在不采用 L2 正则化和 Dropout 时，网络的识别率为 91.04-94.91%。只采用 Dropout 使网络的准确率变为 89.47-96.88%，Dropout 在提升最高的识别准确率时，增大了识别率的波动范围，这是因为 Dropout 在克服过拟合的同时，子网络采样的不确定性使得网络训练过程存在较大的波动；只采用 L2 正则化使网络识别的准确率提升至 95.94-96.19%，说明采用 L2 正则化可有效的提高网络识别准确率；当第一层使用 9×9 卷积核代替 2 个 5×5 的卷积核时，准确率由 95.91-98.10% 下降至 93.63-97.06%，准确率有所下降。

4.2.3 卷积神经网络噪声抑制结果与分析

对 MSTAR 数据集(不含目标变体)的每张图片分别进行 Lee 滤波、双边滤波和 Gamma MAP 滤波得到 3 个滤波后的数据集。使用 3 个不同滤波方法的数据集训练本文所提出的卷积神经网络，滤波前后的准确率和使用 Matlab 滤波时间对比如表 6 和图 4 所示：

表 6 滤波时间及准确率
Table 6 Filter time and accuracy

数据集	滤波时间(s)	准确率(不含变体)
双边滤波	1 638.44	96.70-98.51%
Gamma MAP	3 080.65	96.99-98.68%
Lee 滤波	1 391.21	97.57-99.05%
原始图像	0	96.95-99.18%

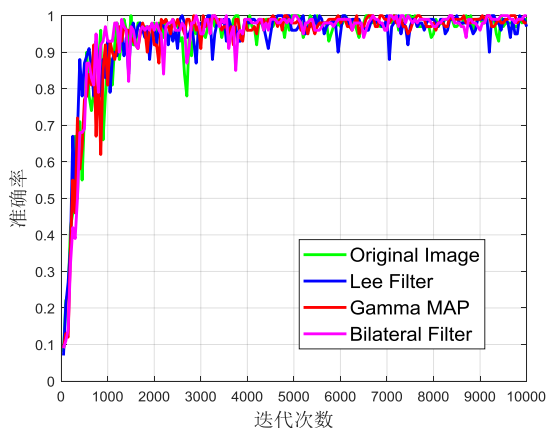


图 4 滤波前后数据集的训练过程(‘彩’)

Fig.4 Dataset training process before and after filtering

由表 6 和图 4 可知，滤波处理消耗较长的时间，没有提高卷积神经网络训练的收敛速度，反而识别准确率有所降低。这是因为滤波过程可能滤除了目标纹理等有效的目标识别特征而导致识别精度的下降。说明卷积神经网络经过训练后可有效抑制相干斑噪声，无需耗时的滤波处理。

5 结论

针对合成孔径雷达图像目标识别滤波处理耗

时长、识别精度不高的问题，本文结合 SAR 图像特点设计卷积神经网络模型用于目标识别。通过引入 L2 范数和使用 Dropout 优化，有效增强了网络的泛化性能，使得网络模型在识别变体时也有良好的表现；本文提出的网络结构在 MSTAR 数据库中 10 类 SAR 图像的整体识别准确率(含变体)达到 98.10%，验证了所提出网络的有效性；卷积神经网络的特征提取过程对于 SAR 图像相干斑噪声有抑制作用，可以省去耗时的滤波处理。随着深度学习的不断发展和 SAR 图像数据的增加，将深度学习的方法结合 SAR 图像的特点进行优化，可有效提高 SAR 图像目标识别的准确度。

参考文献(References)

- [1] Jia X Y, Lu L J. Survey on Synthetic Aperture Radar Technology [J]. Journal of Jilin University (Information Science Edition), 2015, 33(4):373-379 [贾新宇, 路来君. 合成孔径雷达技术研究综述[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2015, 33(4):373-379.]
- [2] Zhang X Z, Liu Z, Liu S, et al. Sparse coding of 2D-slice Zernike moments for SAR ATR[J]. International Journal of Remote Sensing, 2017, 38(2):412-431.
- [3] Ross T D, Velten V J, Mousing J C. Standard SAR ATR evaluation experiments using the MSTAR public release data set[J]. 1998, 3370:566-573.
- [4] Zhang R, Hong J, Ming F. SAR ATR Algorithm Based on CSAR Raw Echo Modeling [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 33(1):27-32 [张锐, 洪峻, 明峰. 基于目标 CSAR 回波模型的 SAR 自动目标识别算法[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(1):27-32.]
- [5] Wang S X, He G Z. The Fast Target Recognition Approach Based on PCA Features for SAR Images [J]. JOURNAL OF NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY, 2008, 30(3):136-140. [王世晔, 贺志国. 基于 PCA 特征的快速 SAR 图像目标识别方法[J]. 国防科技大学学报, 2008, 30(3):136-140.]
- [6] Huan R H, Zhang P, Pan Y. SAR target recognition using PCA, ICA and Gabor wavelet decision fusion [J]. Journal of Remote Sensing, 2012, 16(2):262-274. [宦若虹, 张平, 潘骥. PCA、ICA 和 Gabor 小波决策融合的 SAR 目标识别[J]. 遥感学报, 2012, 16(2):262-274.]
- [7] Zhao Q, Principe J C. Support vector machines for SAR automatic target recognition[J]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 2001, 37(2):643-654.
- [8] Wang Y, Han P, Lu X, et al. The Performance Comparison of Adaboost and SVM Applied to SAR ATR[C]// International Conference on Radar. IEEE, 2007:1-4.
- [9] Sun Y, Liu Z, Todorovic S, et al. Adaptive boosting for SAR automatic target recognition[J]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 2007, 43(1):112-125.
- [10] Yang Z Y, Lin W, Yan W D, et al. SAR Image Target Recognition Based on Heat Kernel Co-Occurrence Matrix [J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2016, 34(2):356-361. [杨中悦, 林伟, 延伟东, 等. 基于热核共生矩阵的 SAR 图像纹理目标识别[J]. 西北工业大学学报, 2016, 34(2):356-361.]
- [11] Yang X F, Lin W, Yan W D, et al. SAR image target recognition based on heat kernel [J]. Infrared and Laser Engineering, 2014, 43(11):3794-3801. [杨绪峰, 林伟, 延伟东, 等. 采用热核特征的 SAR 图像目标识别[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(11):3794-3801.]
- [12] Tian Z Z, Zhan R H, Hu J M, et al. SAR ATR Based on Convolutional Neural Network [J]. Journal of Radars, 2016, 5(3):320-325. [田壮壮, 占荣辉, 胡杰民, 等. 基于卷积神经网络的 SAR 图像目标识别研究[J]. 雷达学报, 2016, 5(3):320-325.]
- [13] Lecun Y, Bottou L, Bengio Y, et al. Gradient-based learning applied to document recognition[J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(11): 2278-2324.
- [14] Xiao S P, Yang Y, Feng D J, et al. Contrastive analysis of the performances of radar polarimetric detectors[J]. journal of Astronautics, 2014, 35(10): 1198-1203.
- [15] Hinton G E, Srivastava N, Krizhevsky A, et al. Improving neural

networks by preventing co-adaptation of feature detectors[J].
Computer Science, 2012, 3(4): 212-223

E-mail: 601386022@qq.com

第一作者简介:



林志龙(1994-), 男, 陆军工程大学无人机工程系硕士研究生, 主要研究方向为 SAR 图像目标识别。

其他作者简介:

王长龙(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为无人机信息处理与传输技术, E-mail: wang-oec@126.com.

胡永江(1978-), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为计算机视觉与无人机图像信息处理技术, E-mail: 460500180@qq.com

张岩(1991-), 男, 博士, 主要研究方向为计算机视觉与无人机信息处理技术, E-mail: hillwind@126.com