

# 面向格式化报文结构的数据链战术行为认知可行性初探

李海涛, 雷迎科, 李鹏程

(国防科技大学电子对抗学院, 合肥, 230037)

**摘要** 数据链所发送的报文往往承载着战术信息。在报文具体内容未知的情况下,对认知典型数据链战术行为的可行性进行了实验探究。首先根据格式化报文的特点,对包含战术消息的数据链V系列报文结构进行模拟,同时产生数据链的已调信号。然后利用小波包分解方法提取时频特征,构建时频图数据集,并使用深度学习方法对包含不同战术消息的信号进行分类,并引入应用于CNN的注意力机制模块CBAM,以进一步提高识别准确率。实验证明:即便报文结构未知,通过识别包含不同V系列战术消息的物理层信号,可以认知相应的战术任务。最后,基于实验结果,还提出一种新的数据链战术行为侦察流程新思路。

**关键词** 数据链;行为认知;格式化报文;小波包分解;深度学习;CBAM

**DOI** 10.3969/j.issn.2097-1915.2023.04.015

**中图分类号** TN971. +1 **文献标志码** A **文章编号** 2097-1915(2023)04-0102-09

## A New Data Link Tactical Behavior Reconnaissance Process

LI Haitao, LEI Yingke, LI Pengcheng

(College of Electronic Countermeasures, National University of Defense Technology, Hefei 230037, China)

**Abstract** The messages sent by the data link often carry tactical information. In this paper, the specific content of the message being unknown, the feasibility of cognizing typical data link tactical behaviors is experimentally explored. Firstly, according to the characteristics of formatted messages, the structure of the V-series messages with a tactical message is simulated, and simultaneously, the modulated signal is of data link generated. And then the wavelet packet decomposition method is utilized for extracting the time-frequency features and constructing the time-frequency graph datasets. Deep learning is used to classify the signals containing different tactical messages, and the attention mechanism module CBAM applied to CNN is introduced to further improve the recognition accuracy. The experiments prove that even if the message structure is unknown, the corresponding tactical task can be recognized by identifying the physical layer signals containing different V-series tactical messages. Finally, based on the experimental results, a new data link tactical behavior reconnaissance process is proposed.

**Key words** data link; behavior cognition; formatted message; wavelet packet decomposition; deep learning; CBAM

行为认知研究在通信侦察领域处于起步阶段。通信辐射源由人进行操作,因此通信辐射源的行为

收稿日期: 2023-01-19

基金项目: 国家自然科学基金(62071479)

作者简介: 李海涛(1998-),男,安徽蚌埠人,硕士生,研究方向为信号处理与机器学习。E-mail: lihaitao\_01@163.com

**引用格式:** 李海涛,雷迎科,李鹏程,等.面向格式化报文结构的数据链战术行为认知可行性初探[J].空军工程大学学报,2023,24(4):102-110. LI Haitao, LEI Yingke, LI Pengcheng. A New Data Link Tactical Behavior Reconnaissance Process[J]. Journal of Air Force Engineering University, 2023, 24(4): 102-110.

本质上就是其操作者的行为,间接地反映了操作者的战术意图。随着人工智能与数据挖掘等技术的发展,通过对监测的电磁频谱数据进行分析,获取通信规则与通联关系,是一种有效的通信行为认知方法<sup>[1-3]</sup>。同时,通过解析通信协议,可以获取通信行为意图<sup>[4-5]</sup>。然而,无论是电磁频谱数据,还是通信协议,获取起来都是十分困难的,在复杂的电磁环境中,最容易获取的是物理层通信信号,信号采集与解析是通信侦察最常用的方法。

从行为学角度认知通信辐射源信号,可间接获取非协作方的行为意图,相比于传统的通信侦察方法,站得更高,望得更远<sup>[6]</sup>。目前基于物理层信号的通信辐射源行为识别研究主要针对第三代短波自动链路建立(the third generation of automatic link establishment, 3G-ALE)的突发波形,文献[7]提取3G-ALE突发波形的双谱幅度以及相位特征,并利用改进 LeNet 实现五种通联行为的识别,文献[8]利用自相关去噪方法对突发波形进行预处理,并提取去噪时间序列的双谱幅度特征,利用双输入卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)识别5种通联行为,提高了噪声较大条件下的识别准确率。文献[9]利用改进的一维密集连接卷积网络(one-dimensional densely connected convolutional networks, denseNet-1D)识别了7种链路建立(link establishment, LE)行为对应的突发波形,进而识别了7种建链行为。文献[10]在小样本条件下,利用一维辅助分类生成对抗网络(one-dimensional auxiliary classifier generative adversarial network, ACGAN-1D)生成虚假样本,再利用改进的 DenseNet-1D 模型识别7种 LE 行为。

战术数据链服务于现代战争,适应了不同作战方式的需要。作为一类典型的通信辐射源,战术数据链支持包括网络管理、精确定位与识别、监视数据、电子战等在内的战术任务<sup>[11]</sup>。目前已设计出多种消息结构和信号波形以支持不同的战术任务。

针对数据链信号的研究主要包括调制识别<sup>[12-13]</sup>、信号类型识别<sup>[14]</sup>、个体识别<sup>[15]</sup>等,但是几乎没有基于数据链信号的行为级研究。针对此问题,本文以典型的战术数据链为例,在报文结构未知的条件下,首先模拟了包含不同战术消息的数据链 V 系列报文,通过实验,实现了相应的数据链信号的分类,最终验证了通过分类信号认知数据链战术行为的可行性。

## 1 格式化报文模拟

数据链将战术消息以格式化报文形式进行封装,典型的格式化报文结构包括 V 系列、R 系列、M 系列、J 系列报文等。以某机载数据链为例,其具有单向链路和双向链路两种工作模式,传输 V 系列消息。其中,工作在单向链路时,受控飞机(战斗机)只接收来自控制站(预警机、舰艇)的控制消息而不发送应答消息,该工作模式可承担空中交通管制(air traffic control, ATC)、航母自动着舰(automatic carrier landing, ACL)、舰载机惯性导航系统校准(carrier aircraft inertial navigation system, CAINS)等战术任务,经过格式化报文封装后,采用 2FSK 调制为射频信号。战术任务与消息的对应关系如表 1 所示。

表 1 数据链单向通信任务与报文映射关系

战术任务	格式化消息
空中交通管制	V. 5
航母自动着舰	V. 6
惯性导航校准	V. 31

如图 1 所示,V 系列报文由同步脉冲串(8 bit, 10101010)、保护间隔(4 bit, 0000)、起始位(1 bit, 1)、数据位(56 bit)、非键控位(1 bit, 0)组成,其中连续且长度固定的战术消息存储在 56 bit 数据位中,但是战术消息的长度与起止位置目前是未知的。图 2 反映了这种存储情况。

同步脉冲串	保护间隔	起始位	数据位	非键控位
8 bit	4 bit	1 bit	56 bit	1 bit

图 1 V 系列报文组成



图 2 包含战术消息的 V 系列数据段报文结构

$M$  和  $N$  表示战术任务消息在数据位中的起始位置和终止位置,  $M \in \{x \in \mathbb{Z}, 0 \leq x \leq 55\}$ ,  $N \in \{x \in \mathbb{Z}, 1 \leq x \leq 56\}$ 。  $M$  和  $N$  的具体值是未知的,理论上,最多可以存储  $2^{N-M}$  种战术任务。由于信号采用 2FSK 调制方式,当发送“0”和“1”的时候,调制载频分别为  $f_1 = f_c - \Delta f$  和  $f_2 = f_c + \Delta f$ ,其中,  $f_c$  是中心频率,  $\Delta f$  是频率偏移。记战术消息长度  $L = N - M$ ,如果  $L = 1$ ,此时,终止位  $N = M + 1$ ,战术消息部分可以为 0 或者 1,对应的数据链信号和载波频率如图 3 所示。

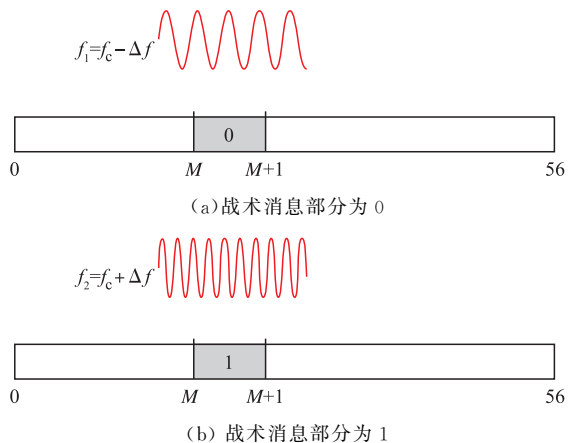


图3  $L=1$  时战术消息部分对应数据链信号以及载波频率

由图3可知,仅仅考虑战术消息部分,由于本文数据链采用2FSK调制生成信号,如果战术消息为0,经过2FSK调制后该部分信号的载频为 $f_c - \Delta f$ ,如果战术消息为1,经过2FSK调制后该部分信号的载频为 $f_c + \Delta f$ 。由于报文的格式化封装结构保证了战术消息起始位 $M$ 是固定的,因此,战术消息部分对应信号的起止时间也是固定的,这表明战术消息部分对应的时域信号,一定具有可观测的时频差异。

战术消息以外的55 bit内容未知,只能由随机比特替代,每一位是0还是1随机产生,对应的载波频率也是随机的,因此,在战术消息位以外的55比特,很难具有可观测的时频差异。

另外,战术消息长度 $L$ 越长,随机比特越少,随机比特位对应的载波频率带来的时频偶然性越小,战术消息部分的时频差异越显著。

综上所述,数据位中战术消息部分对应的信号具有显著的时频差异,战术消息长度越长,时频差异越明显。本文只考虑战术消息长度 $L$ 较小的情况,即 $L=1$ 和 $L=2$ 的情况,为了排除偶然性,数据位中的战术消息起始位 $M$ 随机产生,其他位由随机比特替代。此时,模拟的数据位结构如图4所示。按照图1所示结构,补充同步脉冲串、保护间隔、起始位、非键控位,便得到了模拟的格式化V系列报文。

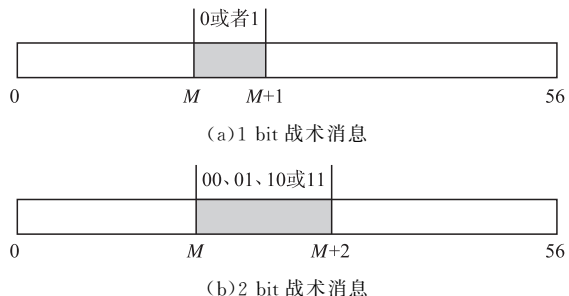


图4 实验报文结构

## 2 分类方法

V系列报文通过2FSK方式调制为数据链信号,根据第1节的分析可知,包含不同战术消息的信号具有典型的时频特性差异。目前最常见的数据链信号识别方法为时频分析与深度学习相结合的方法。

### 2.1 小波包分解时频分析

本文选取小波包分解方法用于时频分析,与短时傅里叶变换(short-time Fourier transform, STFT)相比,该方法可提高时频分辨率,更好地表征时频特征差异。

假设 $y(t)$ 是一段连续时间信号, $h(n)$ 和 $g(1-n)$ 是一对正交镜像滤波器<sup>[16]</sup>,即 $h(n) = (-1)^n g(1-n)$ ,那么小波包分解的递推公式可归纳如下:

$$\begin{cases} y_{2n}(t) = \sqrt{2} \sum_k h(k) y_n(2t - k) \\ y_{2n+1}(t) = \sqrt{2} \sum_k g(k) y_n(2t - k) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\{y_n(t)\}$ 为正交小波包,表示 $y(t)$ 在各种尺度全频段的分解结果。 $n$ 为小波包分解层数,通过小波包分解可产生 $2^n$ 个子信号,即:

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) + \dots + y_{2^n}(t) \quad (2)$$

$h(n)$ 满足:

$$\sum h(n - 2k) h(n - 2l) = \delta_{kl}, \sum h(n) = \sqrt{2} \quad (3)$$

当 $n=5$ 时小波包分解过程如图5所示。

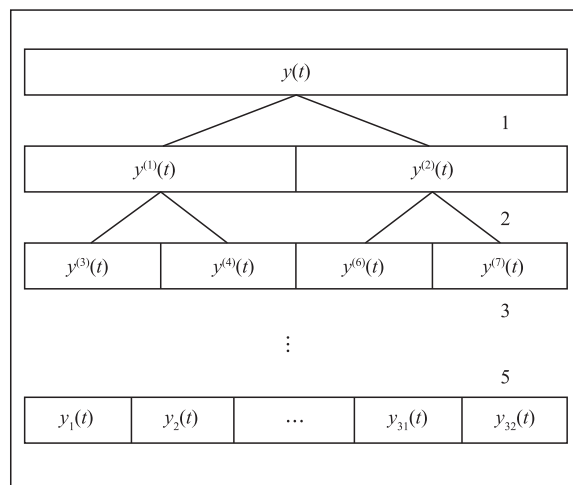
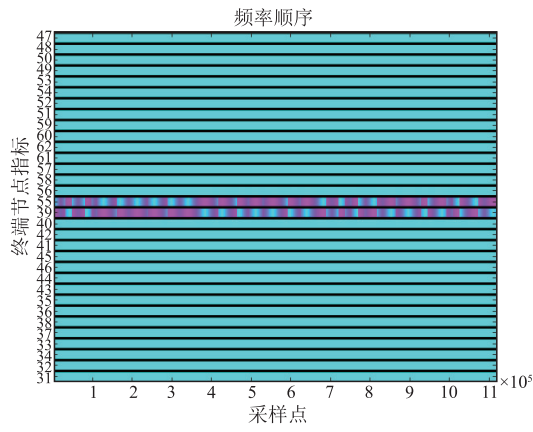
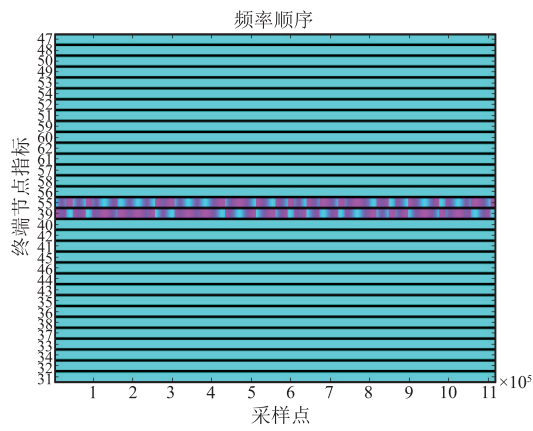


图5 5层小波包分解过程

图6和图7为对第1节分析得到的战术消息部分具有时频差异的结论进行可视化验证的结果,实验环境为理想的无噪声环境,小波包层数为5,取战术消息长度 $L=1$ 。

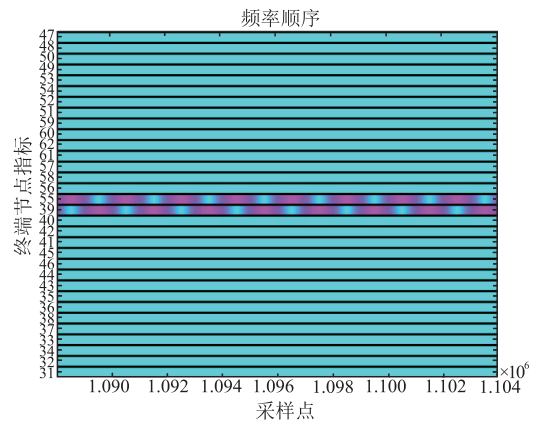


(a) 战术消息为 0

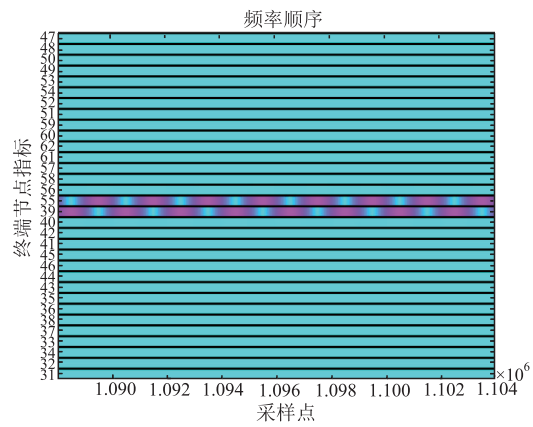


(b) 战术消息为 1

图 6 理想条件下的小波包分解时频面



(a) 战术消息为 0

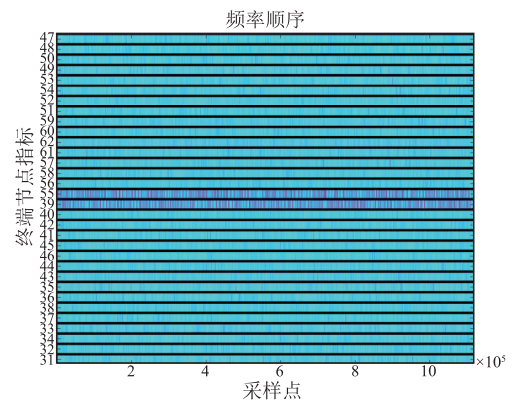


(b) 战术消息为 1

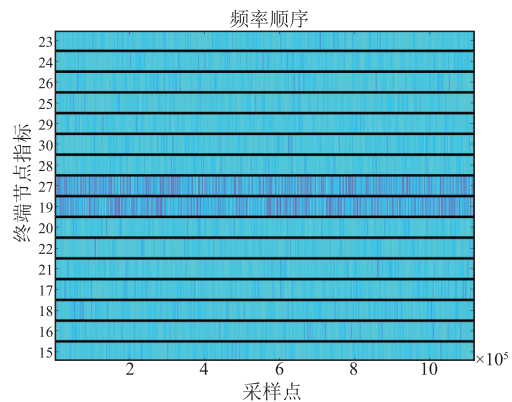
图 7 局部放大结果

图 6 为完整的小波包分解时频面图,图 7 是图 6 在战术消息部分的局部放大结果。比较图 7 可以发现,战术消息为 0 和 1 的时候,小波包分解局部放大图上频率呈现近似相反分布,这符合第 1 节的分析。同理,当战术消息长度  $L$  增大后,在战术消息存在差异的部分,比如  $L=2$  时,战术消息 00 和 01 中 0 和 1 的部分,小波包分解时频面的局部放大图也会呈现类似图 7 的差异。但是,由于实际战术消息的起始位  $M$  未知,无法精确实现局部放大,因此,仍采用图 6 所示完整的小波包分解时频面图。

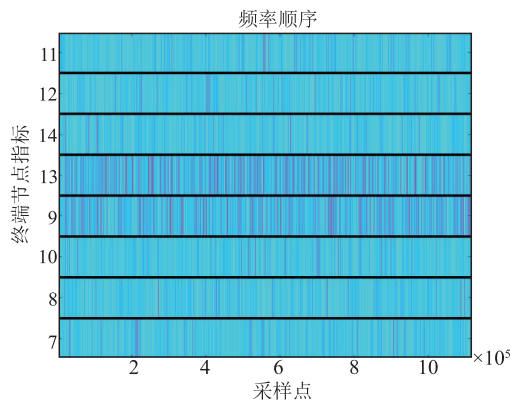
图 8 为本文数据链信号在信噪比 (signal-to-noise ratio, SNR) 为 0 dB 的小波包分解时频相平面。小波基为 Daubechies db1,当小波包层数分别为 5、4、3,时,可产生 32、16、8 个子信号。



(a) 5 层小波包



(b) 4 层小波包



(c) 3 层小波包

图 8 数据链信号 db1 小波包分解时频面(SNR=0 dB)

## 2.2 引入 CBAM 的 CNN 模型

传统的 CNN 主要由卷积层、池化层、全连接层等组成。本文在传统 CNN 的基础上,引入注意力机制。在深度学习中,注意力机制被充分应用于循环神经网络(recurrent neural network, RNN)中,以处理一维时间序列。卷积块注意力模块(convolutional block at-

tention module, CBAM)<sup>[17]</sup>是一种应用于 CNN 中的注意力模块,它考虑通道注意力和空间注意力,显著增强了对有用特征的利用。一个 CBAM 可以看成单独的一层,直接嵌入到 CNN 中。本文将每个 CBAM 分别嵌入在每一组卷积-池化-批标准化层之后,产生如图 9 所示的网络模型结构。

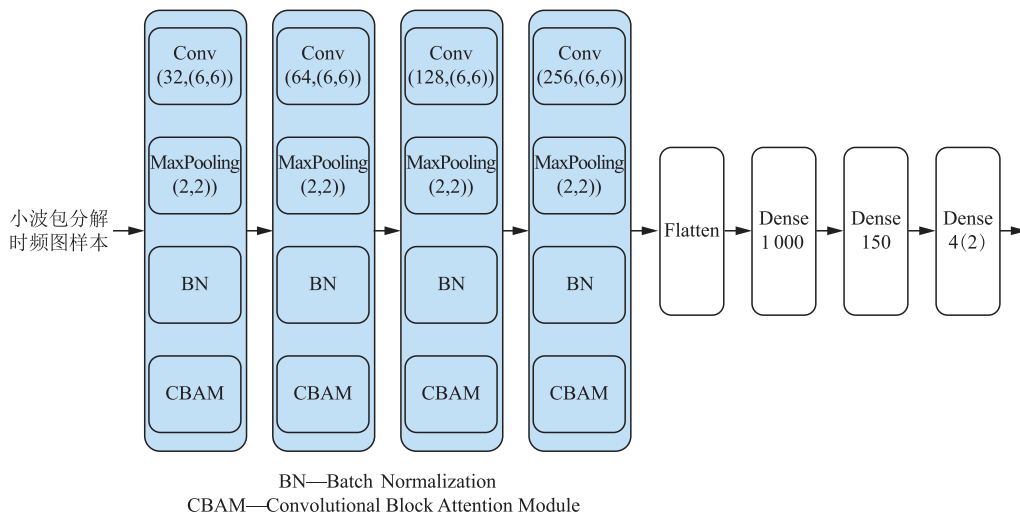


图 9 本文引入 CBAM 的 CNN 模型

CBAM 由通道注意力模块(channel attention module, CAM)和空间注意力模块(spatial attention module, SAM)组成,图 10 是 CBAM、CAM、SAM 的典型结构,输入特征  $F$  依次通过 CAM 和 SAM,输出精炼特征  $F''$ 。

$$F' = M_c(F) \otimes F \quad (4)$$

$$F'' = M_s(F') \otimes F' \quad (5)$$

式中: $\otimes$ 表示逐元素相乘, $F'$ 是输入特征  $F$  通过 CAM 后的输出特征, $M_c(F)$ 和  $M_s(F')$ 分别为通道注意力公式和空间注意力公式,定义如下:

$$M_c(F) = \sigma(\text{MLP}(\text{Avg}(F)) + \text{MLP}(\text{Max}(F))) \quad (6)$$

$$M_s(F) = \sigma(f^{7 \times 7}([\text{Avg}(F); \text{Max}(F)])) \quad (7)$$

式中: $\sigma$ 为 sigmoid 激活函数; $\text{Avg}(F)$ 、 $\text{Max}(F)$ 分别为通过平均池化层和最大池化层的输出; $\text{MLP}(\cdot)$ 为通过多层感知机的输出。

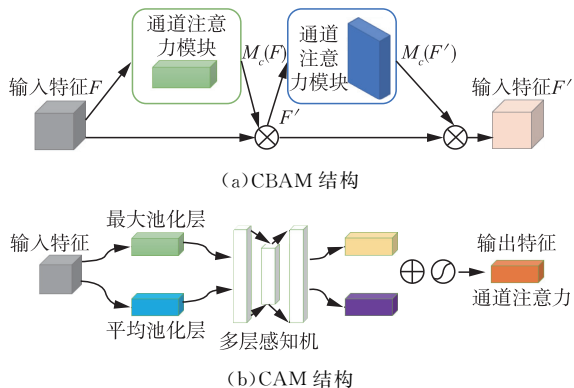


图 10 模块结构

## 2.3 实验流程

实验分为报文结构模拟、信号特征提取、信号分类 3 个部分,具体流程如下:

**步骤 1** 根据第 1 节假设,分别产生包含  $L=1$  和  $L=2$  的 56 bit 数据位,并添加同步脉冲序列、前置码与非键控位,构成完整的格式化 V 系列报文,即控制消息。

**步骤 2** 将格式化报文通过 2FSK 调制,生成数据链射频信号。

**步骤 3** 生成信号的小波包分解时频图像,构建图像数据集。

**步骤 4** 将小波包分解时频图像做预处理,统一维数为  $100 \times 100 \times 3$ ,输入到本文引入 CBAM 的 CNN 模型,通过训练,输出测试结果。

## 3 实验分析

实验选取本文所述数据链单向链路工作模式,传输报文为 V 系列报文,实验参数设置与文献[18]中一致,如表 2 所示。算法设置小波包分解层数为

5 层,选取 Daubechies db1 小波基。利用 MATLAB 仿真生成 2FSK 调制的数据链信号样本,每一类样本个数为 250,所有实验均考虑  $L=1$  和  $L=2$  的情况,2 种情况下样本总数分别为 500 和 1 000 个。

表 2 仿真设置

参数	参数设置
工作模式	单向链路
消息格式	V 系列消息
调制方式	2FSK
中心频率/MHz	20
传输速率/kbps	5
带宽/kHz	40(±20)

模型性能用准确率(Accuracy)、精确度(Precision)和召回率(Recall)评估,评估指标定义如下:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (8)$$

式中:TP 表示将正类样本预测为正类的数目;TN 表示将负类样本预测为负类的数目;FP 表示将负类样本预测为正类的数目,FN 表示将正类样本预测为负类的数目。

深度学习环境为:TensorFlow-gpu 2.5.0, Keras 2.8.0, Python 3.7。

所有实验均重复 5 次,取平均值作为实验结果。

### 3.1 实验可行性验证

当  $L=1$  的时候,即战术消息长 1 bit 的时候,在战术消息位,分别有 0、1 2 种情况。实验结果如图 11 与表 3 所示。

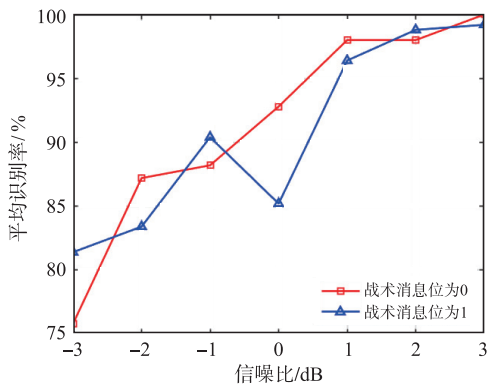


图 11 各类战术消息对应信号的识别率( $L=1$ )

表 3 实验评估结果( $L=1$ ) 单位:%

评估指标	SNR/dB						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
准确率	78.6	85.2	89.2	89.8	97.2	98.4	99.6
精确度	78.6	85.2	89.2	89.8	97.2	98.4	99.6
召回率	78.6	85.2	89.2	89.8	97.2	98.4	99.6

当  $L=2$  的时候,即战术消息长 2 bit 的时候,在战术消息位,分别有 00、01、10、11 4 种情况。实验结果如图 12 与表 4 所示。

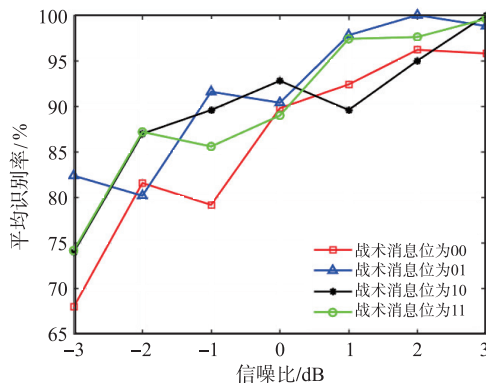


图 12 各类战术消息对应信号的识别率( $L=2$ )

表 4 实验评估结果( $L=2$ ) 单位:%

评估指标	SNR/dB						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
准确率	74.2	84.1	86.3	90.4	94.3	97.2	98.5
精确度	74.9	84.8	86.4	90.6	94.3	97.2	98.6
召回率	73.2	84.0	86.0	89.9	94.3	97.0	98.5

根据实验结果可知,针对第 1 节模拟的包含不同战术消息的 V 系列报文及相应数据链信号,本文方法可以有效区分,且当 SNR 不低于 0 dB 的时候,本文方法的准确率、精确度、召回率均可达到 89% 以上。通过识别包含不同战术消息的数据链信号,可间接识别相应的战术消息,达到认知行为的目的。

### 3.2 不同层数小波包实验结果对比

本实验比较了小波包分解层数分别为 3、4、5 时生成的时频图像的实验结果,见表 5、表 6。

表 5 不同小波包分解层数的识别率( $L=1$ ) 单位:%

小波包分解层数	SNR/dB						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
5	78.6	85.2	89.2	89.8	97.2	98.4	99.6
4	65.0	73.8	80.6	82.8	92.4	91.6	96.2
3	53.4	58.8	73.2	70.4	72.8	84.0	87.4

表 6 不同小波包分解层数的识别率( $L=2$ ) 单位:%

小波包分解层数	SNR/dB						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
5	74.2	84.1	86.3	90.4	94.3	97.2	98.5
4	56.0	61.7	69.1	78.4	85.5	90.1	91.8
3	41.2	42.0	54.0	60.5	65.3	72.4	82.1

由实验结果可知,随着小波包分解层数的增加,原始信号被分成越来越多的子信号,时频差异愈发明显,但是,由图 13 可知,随着小波包分解层数的增加,时间损耗几乎的成倍增长的,考虑到实际通信侦察快速、有效的战术需求,设置小波包分解层数为 5 是合理的。

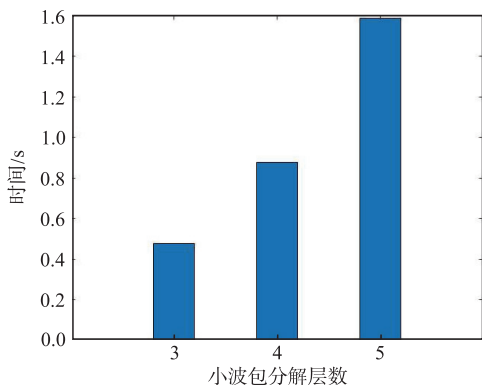


图 13 不同小波包层数每张时频图生成时间

### 3.3 消融实验

本节利用消融实验,验证 CBAM 对网络模型性能的提升情况。比较引入 CBAM 前后的平均识别率,并依然考虑  $L=1$  和  $L=2$  时的不同情况,实验结果如表 7~12 所示。

表 7 引入 CBAM 前后的平均识别率 ( $L=1$ ) 单位: %

模型	SNR/dB						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
有 CBAM	78.6	85.2	89.2	89.8	97.2	98.4	99.6
无 CBAM	71.4	78.2	87.8	89.2	96.2	97.6	98.2

表 8 引入 CBAM 前后的最佳识别率 ( $L=1$ ) 单位: %

模型	SNR/dB						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
有 CBAM	81.0	90.0	91.0	92.0	98.0	99.0	100
无 CBAM	74.0	81.0	90.0	91.0	99.0	99.0	99.0

表 9 引入 CBAM 前后的最差识别率 ( $L=1$ ) 单位: %

模型	SNR/dB						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
有 CBAM	76.0	82.0	87.0	88.0	96.0	98.0	99.0
无 CBAM	67.0	74.0	86.0	86.0	94.0	96.0	97.0

表 10 引入 CBAM 前后的平均识别率 ( $L=2$ ) 单位: %

模型	SNR/dB						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
有 CBAM	74.2	84.1	86.3	90.4	94.3	97.2	98.5
无 CBAM	68.3	75.4	82.9	86.4	92.4	95.1	98.3

表 11 引入 CBAM 前后的最佳识别率 ( $L=2$ ) 单位: %

模型	SNR/dB						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
有 CBAM	76.0	86.5	90.0	91.5	95.5	98.0	99.0
无 CBAM	71.0	78.0	82.9	88.5	94.0	95.5	99.0

表 12 引入 CBAM 前后的最差识别率 ( $L=2$ ) 单位: %

模型	SNR/dB						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
有 CBAM	72.0	82.5	84.0	88.5	93.0	96.5	98.0
无 CBAM	65.5	73.0	82.9	84.5	92.0	94.5	98.0

实验结果表明, CBAM 显著地提高了本文 CNN 模型的学习能力, 并且噪声越大, 提升的效果越显著。当 SNR 不高于  $-2$  dB 的时候, 引入 CBAM 后可至少将平均识别率提高 5.9%。当 SNR 增大到 3 dB 的时候, 原始网络模型已经可以很好地识别每一类战术消息的信号, 引入 CBAM 后的识别准确率不再显著提升, 这表明 CBAM 具备在噪声环境下进一步提取特征的能力。

### 3.4 基于数据链信号的战术行为侦察流程

根据前文的结果, 本节提出一种基于 V 系列报文数据链的战术行为侦察流程。

在实际的电磁环境中, 非协作方侦收的信号类型是复杂的, 同样可能具备多种数据链信号。本文数据链采用 V 系列报文结构, 直接将消息格式化封装后即调制为射频信号。部分数据链采用 J 系列报文, 在调制前, 需要经过交织、伪随机噪声加密等处理, 交织会导致原始报文顺序被打乱, 伪随机噪声加密会改变报文的内容。由于不知道具体的交织和加密规则, 因此, 报文在非协作方看来是“杂乱无章”的。进一步地, 由于报文内容发生改变, 已调制信号在时间上已无法与初始报文相对应, 难以按照第 1 节方法找到时频特征差异。因此, 本节战术侦察流程仍基于 V 系列报文数据链。

目前, 信号分选、调制识别、电磁辐射源个体识别等技术快速发展, 不同类型信号的分类方法已经十分成熟。而不同类型数据链信号在调制类型、工作频率、持续时间等参数上存在明显差异, 基于此, 图 14 给出一种 V 系列报文数据链行为认知的技术路线。具体如下:

- 1) 信号采集: 在复杂的电磁环境中, 采集电磁信号, 该信号可能包括多种类型;
- 2) 信号提炼: 利用信号分选、调制识别等技术, 提取出本文数据链信号, 用于战术行为认知;
- 3) 行为认知: 利用本文行为认知模型, 完成战术行为推理, 给出行为推理结果。

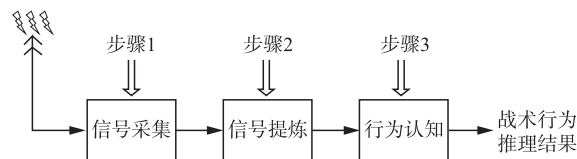


图 14 技术路线

虽然 V 系列报文的具体结构目前未知, 但其具体承载哪些战术行为是已知的, 如图 15 所示, 包括 ATC、ACL、CAINS 等在内的战术行为谱  $\Theta$  是已知的, 因此, 我们提出的战术行为侦察流程是一种依赖信号-行为映射作为先验知识的行为认知流程。

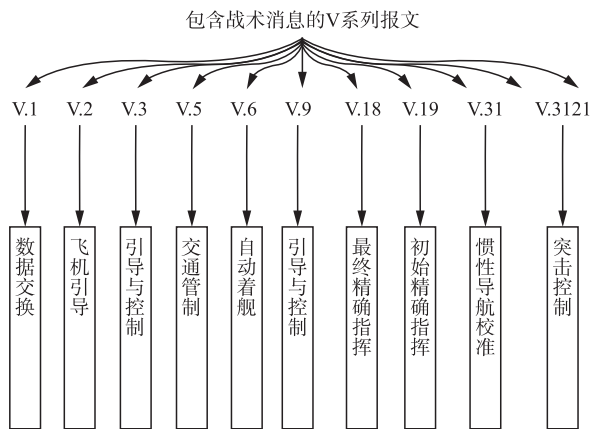


图 15 V 系列报文战术行为集合

战术行为谱  $\Theta$  如下所示:

$$\Theta = \{ATC, ACL, CAINS, \dots\} \quad (9)$$

由于战术行为与信号的映射关系未知,直接利用本文方法并不能解析出相应的战术行为,需要通过情报搜集过程获取战术行为谱与信号集的映射关系,将其作为先验知识,后面才可以通过直接识别数据链信号的方式解析战术行为。行为认知的流程图如图 16 所示。

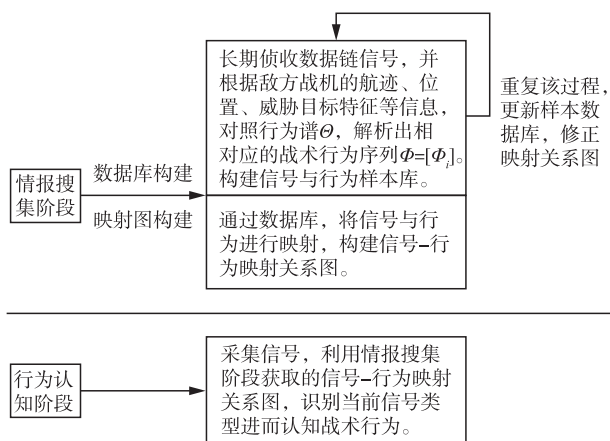


图 16 V 系列报文数据链行为认知流程

情报搜集阶段与传统的行为识别方法类似,即通过获取非协作方辐射源平台、威胁目标包括航迹、位置等在内的特征参数,并参考战术行为谱  $\Theta$  解析出行为。除此之外,对侦收的信号进行分类,构建信号和战术行为的数据库,并生成信号-行为映射关系图。此后,在情报搜集阶段,重复上述过程,并更新数据库,修正映射图,当数据样本足够多的时候,该映射图趋于稳定。此后,仅侦收信号,通过识别包含战术消息的信号,并根据映射关系图,可以达到认知战术行为的目的。

## 4 结语

数据链的报文直接承载了其战术行为。现实

中,获取其具体内容非常困难,因此,本文首先根据格式化报文的特点,以 V 系列报文为例,模拟了包含战术消息的最简单格式化报文结构,利用小波包分解方法提取信号时频图像特征,构建图像数据集,并利用引入 CBAM 的 CNN 完成不同信号的分类。实验证明了基于信号分类的战术行为认知研究具有可行性。本文的研究同时为通信侦察提供了一种新的思路,即在不解析信号的情况下,直接识别包含不同行为级信息的通信辐射源信号,逆向推理行为意图。本文相关工作仅针对单一型号数据链展开,后续相关研究会拓展到其他的数据链,并进一步考虑多种数据链信号存在的情况。

## 参考文献

- [1] LIU C K, WU X R, ZHU L, et al. The Communication Relationship Discovery Based on the Spectrum Monitoring Data by Improved DBSCAN [J]. IEEE Access, 2019, 7: 121793-121804.
- [2] PAN T, WU X R, YAO C H, et al. Communication Behavior Structure Mining Based on Electromagnetic Spectrum Analysis [C]// 2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference. Chongqing: IEEE Press, 2019 : 1611-1616.
- [3] LIU C K, WU X R, YAO C H, et al. Discovery and Research of Communication Relation Based on Communication Rules of Ultrashort Wave Radio Station [C]// 2019 the 4th IEEE International Conference on Big Data Analytics. Suzhou, IEEE Press, 2019 :112-117.
- [4] 游翔, 葛卫丽. 飞信协议识别与多远通联关系提取方法 [J]. 现代电子技术, 2014, 37 (21): 19-23.
- [5] ZHANG J Y, TAN M T, SHI F, et. al. A Novel Approach of Protocol Behavior Identification for TD-MA-Based Frequency Hopping Communication [J]. Wireless Communication and Mobile Computing, 2022, 2022: 1-14.
- [6] 石荣, 肖悦. 行为科学的新分支:电磁辐射源行为学 [J]. 航天电子对抗, 2018, 34 (4): 1-6.
- [7] WU Z L, CHEN H, LEI Y K. Recognizing Non-Collaborative Radio Station Communication Behavior Using an Ameliorated LeNet [J]. Sensors, 2020, 20 (15): 1-19.
- [8] LI H T, CHEN X, LEI Y K, et. al. Identification of Shortwave Radio Communication Behavior Based on Autocorrelation Spectrogram Features [J]. Wireless



- Communication and Mobile Computing, 2022, 2022: 1-14.
- [9] WU Z L, CHEN H, LEI Y K. Recognizing Automatic Link Establishment Behaviors of a Short-wave Radio Station by an Improved Unidimensional DenseNet [J]. IEEE Access, 2020, 8: 96055-96064. DOI:10.1109/ACCESS.2020.29973800.
- [10] WU Z L, CHEN H, LEI Y K. Unidimensional AC-GAN Applied to Link Establishment Behaviors Recognition of a Short-Wave Radio Station[J]. Sensors, 2020, 20(15):4270.
- [11] 孙义明, 杨丽萍. 信息化战争中的战术数据链 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005.
- [12] 甘新泰, 程伟, 杨瑞娟, 等. 基于支持向量机分类器的数据链信号调制方式识别 [J]. 空军预警学院学报, 2015, 29(1): 38-42.
- [13] 郑瑞华, 陈旗, 满欣. 基于卷积神经网络的数据链信号识别研究 [J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42(S2): 265-270.
- [14] 杨司韩, 彭华, 许漫坤, 等. 基于卷积神经网络的超短波特定信号谱图识别 [J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(4): 744-751.
- [15] 刘杉坚, 张宁燕, 贾源泉. 基于 LINK4A 暂态特征的目标识别技术[J]. 电子信息对抗技术, 2019, 34(5): 16-19.
- [16] 陈金龙, 范影乐, 倪红霞, 等. 基于小波包分解的含躁语音时频分析及端点检测[J]. 数据采集与处理, 2014, 29(2): 293-297.
- [17] WOO S, PARK J, LEE J Y, et. al. Cbam: Convolutional Block Attention Module [C]// Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). Munich, Germany: [s. n.], 2018: 3-19.
- [18] 李娃娃, 孙浩, 陈远知. Link4A 与 Link11 信号仿真研究 [C]// 第二届全国信号处理与应用学术会议论文集. 南宁: 中国高科技产业化研究会, 2008: 149-152.

(编辑:徐楠楠)