

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 10 月 4 日 (04.10.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/176889 A1

(51) 国际专利分类号:
H04L 27/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/114108

(22) 国际申请日: 2017 年 11 月 30 日 (30.11.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201710189632.0 2017年3月27日 (27.03.2017) CN

(71) 申请人: 华南理工大学 (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省广州市南沙区环市大道南25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。

(72) 发明人: 陈芳炯 (CHEN, Fangjiong); 中国广东省广州市南沙区环市大道南25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 张文松 (ZHANG,

Wensong); 中国广东省广州市南沙区环市大道南25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 呼增 (HU, Zeng); 中国广东省广州市南沙区环市大道南25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 季飞 (JI, Fei); 中国广东省广州市南沙区环市大道南25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 余华 (YU, Hua); 中国广东省广州市南沙区环市大道南25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。

(74) 代理人: 广州粤高专利商标代理有限公司 (YOGO PATENT & TRADEMARK AGENCY LIMITED COMPANY); 中国广东省广州市天河区体育西路中石化大厦B塔4416室, Guangdong 510620 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,

(54) Title: METHOD FOR AUTOMATICALLY IDENTIFYING MODULATION MODE FOR DIGITAL COMMUNICATION SIGNAL

(54) 发明名称: 一种数字通信信号调制方式自动识别方法



图 1

AA RECEIVE A SIGNAL
BB PREPROCESS A TRAINING SIGNAL
CC EXTRACT A CHARACTERISTIC VALUE OF THE TRAINING SIGNAL
DD CONSTRUCT A STRONG CLASSIFIER BY BAGGING LEARNING
EE PREPROCESS A SIGNAL TO BE MEASURED AND EXTRACTING A CHARACTERISTIC VALUE
FF TRAINED STRONG CLASSIFIER
GG OUTPUT A DECISION

(57) Abstract: Provided by the present invention is a method for automatically identifying a modulation mode for a digital communication signal. The method comprises: S1, preprocessing a digital modulation training signal; S2, extracting a characteristic value of the training digital modulation signal; S3, constructing a strong classifier by means of Bagging learning; and S4, preprocessing a modulation signal to be tested and extracting a corresponding characteristic parameter, and then inputting the parameter to the strong classifier in S3 so as to perform classification and identification for the modulation signal. According to the method, by means of processing all characteristic values in parallel, the relationship of the success rate of identification to the identification performance of a single characteristic parameter is small, and the success rate of identification is mainly related to the whole performance, such that the identification for the modulation mode has the advantages of a fast identification speed and a high success rate of identification.

(57) 摘要: 本发明提供一种数字通信信号调制方式自动识别方法。该方法包括: S1、训练数字调制信号的预处理; S2、训练数字调制信号特征值的提取; S3、通过Bagging学习构建强分类器; S4、将待测的调制信号进行预处理并提取对应的特征参数, 然后输入到S3的强分类器中, 对调制信号进行分类识别。本方法通过并行处理所有的特征值, 识别的成功率就与单个特征参数的识别性能关系不大, 主要与整体性能有关, 使得对调制方式的识别具有具有识别速度快, 识别成功率高的优势。

CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

— 发明人资格 (细则4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种数字通信信号调制方式自动识别方法

技术领域

本发明涉及模式识别，机器学习和数字通信领域，特别涉及一种数字通信信号调制方式自动识别方法。

背景技术

通信的目的是通过信道有效、安全、准确地传输信息。无论有线通信或者无线通信, 由于信道的限制也为了充分利用信道的容量, 满足用户的不同需求, 基带信号都不能直接传输, 必须经过调制。通过调制, 可以使信号更安全的进行传输, 还可以获得更高的通信速率、更有效的频谱利用率。随着电子技术的快速发展, 以及对信息传输要求的不断提高, 通信信号的调制方式也越来越多。目前的通信系统中应用了各种各样的调制方式, 并将信号调制到不同的频带上进行传输。在具体应用中, 我们遇到的不仅仅是合作性通信问题, 还有非合作性通信问题。在大部分民用通信中, 大都采用合作通信即事先知道传输信号的调制方式、调制参数, 接收机只需要将接收到的信息按事先所给的调制方式和调制参数解调即可。但是接收端可能会接收到各种各样的信号, 毕竟在通信信号如此发达的今天, 周围空间中的信号复杂繁多, 如何从接收端提取出真正要接收的信号也是一个重要的问题, 有一种方法就是对接收到的信号进行识别, 得到其调制方式和调制参数, 然后和事先给定的信号比对, 如果确定是发送端的信号就对其进行接收并解调。同时目前软件无线电接收机都实现了多频带、多调制信号的自动接收, 也需要先进行信号的调制模式识别和信号参数识别, 才能正确接收。所以通信信号的调制方式自动识别在民用通信中是有广泛应用的。

1969 年 4 月, C. S. Waver 等四名作者在斯坦福大学技术报告上发表了第一篇研究自动调制识别的论文《采用模式识别技术实现调制类型的自动分类》。从此, 国内外对调制信号的自动识别的研究就进入一个蓬勃发展的阶段, 体系逐渐完善。Polydoros 在调制识别的决策理论方法领域作出了大量的研究工作, 主要用于 CW、MPSK 和 MFSK 信号的分类。J. A. Sills 提出了利用最大似然法实现 PSK 信号与 QAM 信号的分类, Wen Wei 提出了利用最大似然法实现信号的 QAM 调制分类。Hsue 提出了利用信号过零点的时间间隔和相位差的直方图分类、和信号。1992 年 Assaleh 提出了利用 AR 模型提取信号瞬时频率和瞬时带宽作为

特征参数实现数字调制信号的分类方法,可分类 CW、MPSK 和 MFSK 信号。A. K. Nandi 和 E. E. Azzouz 利用他们提出的九个关键特征,分别采用决策理论、神经网络和神经网络级联的方法对模拟和数字信号进行分类识别,在信噪比大于 10dB 时,具有良好的识别效果。近几年来,研究人员又将机器学习、神经网络技术、小波变换技术、高阶谱分析技术与调制识别技术相结合,提出了很多新型的调制识别方法。机器学习在数字通信信号调制方式自动识别中的应用受到了广泛的关注。

发明内容

本发明的目的是提供一种数字通信信号调制方式自动识别方法,用来识别比较常用的 6 种数字通信调制信号,分别是 2ASK, 4ASK, 2FSK, 4FSK, 2PSK, 4PSK。本发明把基于并发式集成学习的机器学习方法应用于数字信号调制方式的识别。本发明可以实现对 6 种数字通信调制信号较为精确的识别。

本发明的目的通过如下技术方案实现。

一种数字通信信号调制方式自动识别方法,包含以下的步骤:

S1、训练数字调制信号的预处理,信号预处理部分为后续处理提供合适的数据。信号预处理包括:估计该未知信号的带宽及载频,对信号进行带通滤波,并将该信号变频到合适的频段;

S2、训练数字调制信号特征值的提取,从调制信号中提取信号的时域特征,包括:

①归一化中心瞬时幅度谱最大值 $\gamma_{\max}$

$$\gamma_{\max} = \max |FFT[a_{cn}(i)]|^2 / N_s$$

$$a_{cn}(i) = a_n(i) - 1$$

式中, N_s 为取样点数, $a_{cn}(i)$ 为零中心归一化瞬时幅度, $a_n(i) = \frac{a(i)}{m_s}$, 而

$m_s = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} a(i)$ 为瞬时幅度 $a(i)$ 的平均值,用平均值来对瞬时幅度进行归一化的

目的是为了消除信道增益的影响;

②零中心非弱信号段瞬时相位非线性分量绝对值的标准偏差 σ_{ap}

$$\sigma_{ap} = \sqrt{\frac{1}{c} \left[\sum_{a_n(i) > a_t} \phi_{NL}^2(i) \right] - \left[\frac{1}{c} \sum_{a_n(i) > a_t} |\phi_{NL}(i)| \right]^2},$$

式中 a_t 是判断弱信号的一个幅度判决门限电平, c 是在全部取样数据 N_s 中属于非弱信号值的个数, $\phi_{NL}(i)$ 是经零中心化处理后瞬时相位的非线性分量, 在载波完全同步时, 有:

$$\phi_{NL}(i) = \varphi(i) - \varphi_0$$

式中 $\varphi_0 = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} \varphi(i)$, $\varphi(i)$ 为瞬时相位;

③零中心非弱信号段瞬时相位非线性分量的标准偏差 σ_{dp}

$$\sigma_{dp} = \sqrt{\frac{1}{c} \left[\sum_{a_n(i) > a_t} \phi_{NL}^2(i) \right] - \left[\frac{1}{c} \sum_{a_n(i) > a_t} |\phi_{NL}(i)| \right]^2}$$

④零中心归一化瞬时幅度绝对值的标准偏差 σ_{aa}

$$\sigma_{aa} = \sqrt{\frac{1}{N_s} \left[\sum_{i=1}^{N_s} a_{cn}^2(i) \right] - \left[\frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} |a_{cn}(i)| \right]^2}$$

式中 $a_{cn}(i)$ 前面已经给出了它的定义式。

⑤零中心归一化非弱信号段瞬时频率绝对值的标准偏差 σ_{af} 。

$$\sigma_{af} = \sqrt{\frac{1}{c} \left[\sum_{a_n(i) > a_t} f_N^2(i) \right] - \left[\frac{1}{c} \sum_{a_n(i) > a_t} f_N(i) \right]^2}$$

式中 $f_N(i) = \frac{f_m(i)}{R_s}$, $f_m(i) = f(i) - m_f$, $m_f = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} f(i)$, 其中 R_s 为数字信号的符号速率,

$f(i)$ 为信号的瞬时频率。

S3、训练强分类器, 通过 Bagging 并发式集成学习方法, 训练出 5 个基于 BP 神经网络的弱分类器, 然后组合成一个强分类器, 具体的步骤为:

S31、设定包含 1000 个训练样本数据集 $G = \{(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1), \dots, (\mathbf{x}_{1000}, \mathbf{y}_{1000})\}$,

$\mathbf{x}_i = [\gamma_{\max_i}, \sigma_{ap_i}, \sigma_{dp_i}, \sigma_{aa_i}, \sigma_{af_i}]^T$ ($i \in \{1, 2, \dots, 1000\}$), $\mathbf{y}_i$ 属于下列矩阵中的其中一列,

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

第一列代表 2ASK 调制方式, 第二列代表 4ASK 调制方式, 第三列代表 2FSK 调制, 第四列代表 4FSK 调制方式, 第五列代表 2PSK 调制方式, 第六列代表 4PSK 调制。

S32、接下来随机从训练样本数据中集取出一个样本放入采样集中, 在把该样本放回初始训练样本数据集, 使得下次采样时该样本仍有可能被选中, 这样经过 1000 次的随机采样操作, 得到一个含有 1000 个样本的采样集 D_i 。照这样, 采样出 5 个含有 1000 个训练样本的采样集。

S33、对于每一个采样集 D_i , 训练出一个三层 BP 神经网络, 这个网络这里称为弱分类器。网络的输入采用列向量输入即 $x_i = [\gamma_{\max_i}, \sigma_{ap_i}, \sigma_{dp_i}, \sigma_{aa_i}, \sigma_{af_i}]^T$, 输出采用列向量输出即 y_i , 从而得到每一个采样集对应的弱分类器, 判决函数为 $h_i(\mathbf{x})$ 。BP 神经网络由输入层, 隐含层, 输出层三部分组成。

S34、通过组合弱分类器, 得到一个强分类器, 总体判决函数为

$$H(\mathbf{x}) = \arg \max_{y \in Y} \sum_{i=1}^5 I(h_i(\mathbf{x}) = y)$$

其中 $\mathbf{x}$ 为输入向量, $\mathbf{y}$ 为输出向量, $I(\bullet)$ 为指示函数, 在 $\bullet$ 为真和假时分别取值 1, 0。

S4、测试模型, 先将待测的数字调制信号进行预处理并提取对应的特征值, 然后输入到步骤 3 的强分类器中, 对调制方式进行分类识别。在对每一个弱分类器预测输出进行结合时, 采用简单投票法, 通过少数服从多数的方式得到分类结果。

采用上述技术方案后，本发明具有如下优点和技术效果：

1. 本方法使用数字信号调制方式识别常用的 5 个特征值作为强分类器的输入，每次判决的时候使用全部特征值，而不仅仅是一个特征值，识别成功率主要与特征的整体性能有关，相对于传统的使用一个特征量来作判决的方法，会具有更高的识别成功率。
2. 智能化程度高，不需要任何的先验知识，只需要对样本进行训练，调整好分类器的结构，就可以用于调制方式的识别。

附图说明

图 1 为本发明一种数字通信信号调制方式自动识别方法的步骤流程图；

图 2 为本发明一种数字通信信号调制方式自动识别方法的强分类器训练的步骤流程图；

图 3 为本发明一种数字通信信号调制方式自动识别方法的 BP 神经网络图；

图 4 为本发明一种数字通信信号调制方式自动识别方法的强分类器图。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本申请作进一步详细说明。

本实例提供一种数字通信信号调制方式自动识别方法。如图 1 所示，步骤如下：

S1、训练数字调制信号的预处理，信号预处理部分为后续处理提供合适的数据。信号预处理包括：估计该未知信号的带宽及载频，对信号进行带通滤波，并将该信号变频到合适的频段；

S2、训练数字调制信号特征值的提取，从调制信号中提取信号的时域特征，包括

①归一化中心瞬时幅度谱最大值 $\gamma_{\max}$

$$\gamma_{\max} = \max |FFT[a_{cn}(i)]|^2 / N_s$$

$$a_{cn}(i) = a_n(i) - 1$$

式中， N_s 为取样点数， $a_{cn}(i)$ 为零中心归一化瞬时幅度， $a_n(i) = \frac{a(i)}{m_s}$ ，而

$m_s = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} a(i)$ 为瞬时幅度 $a(i)$ 的平均值，用平均值来对瞬时幅度进行归一化的

目的是为了消除信道增益的影响。

②零中心非弱信号段瞬时相位非线性分量绝对值的标准偏差 σ_{ap}

$$\sigma_{ap} = \sqrt{\frac{1}{c} \left[\sum_{a_n(i) > a_t} \phi_{NL}^2(i) \right] - \left[\frac{1}{c} \sum_{a_n(i) > a_t} |\phi_{NL}(i)| \right]^2}$$

式中 a_t 是判断弱信号的一个幅度判决门限电平, c 是在全部取样数据 N_s 中属于非弱信号值的个数, $\phi_{NL}(i)$ 是经零中心化处理后瞬时相位的非线性分量, 在载波完全同步时, 有:

$$\phi_{NL}(i) = \varphi(i) - \varphi_0$$

式中 $\varphi_0 = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} \varphi(i)$, $\varphi(i)$ 为瞬时相位。

③零中心非弱信号段瞬时相位非线性分量的标准偏差 σ_{dp}

$$\sigma_{dp} = \sqrt{\frac{1}{c} \left[\sum_{a_n(i) > a_t} \phi_{NL}^2(i) \right] - \left[\frac{1}{c} \sum_{a_n(i) > a_t} |\phi_{NL}(i)| \right]^2}$$

④零中心归一化瞬时幅度绝对值的标准偏差 σ_{aa}

$$\sigma_{aa} = \sqrt{\frac{1}{N_s} \left[\sum_{i=1}^{N_s} a_{cn}^2(i) \right] - \left[\frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} |a_{cn}(i)| \right]^2}$$

式中 $a_{cn}(i)$ 前面已经给出了它的定义式。

⑤零中心归一化非弱信号段瞬时频率绝对值的标准偏差 σ_{af} 。

$$\sigma_{af} = \sqrt{\frac{1}{c} \left[\sum_{a_n(i) > a_t} f_N^2(i) \right] - \left[\frac{1}{c} \sum_{a_n(i) > a_t} f_N(i) \right]^2}$$

式中 $f_N(i) = \frac{f_m(i)}{R_s}$, $f_m(i) = f(i) - m_f$, $m_f = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} f(i)$, 其中 R_s 为数字信号的符号速率, $f(i)$ 为信号的瞬时频率。

S3、训练强分类器, 通过 Bagging 并发式集成学习方法, 在本实例中训练出 5 个基于 BP 神经网络的弱分类器, 然后组合成一个强分类器, 如图 2 所示, 具体的步骤为:

S31、设定包含 1000 个训练样本数据集 $G = \{(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1), \dots, (\mathbf{x}_{1000}, \mathbf{y}_{1000})\}$,

$x_i = [\gamma_{\max_i}, \sigma_{ap_i}, \sigma_{dp_i}, \sigma_{aa_i}, \sigma_{af_i}]^T$ ($i \in \{1, 2, \dots, 1000\}$), y_i 属于下面矩阵中的的一列,

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

第一列代表 2ASK 调制方式, 第二列代表 4ASK 调制方式, 第三列代表 2FSK 调制方式, 第四列代表 4FSK 调制方式, 第五列代表 2PSK 调制方式, 第六列代表 4PSK 调制方式。

S32、接下来随机从训练样本数据集中取出一个样本放入采样集中, 在把该样本放回初始训练样本数据集, 使得下次采样时该样本仍有可能被选中, 这样经过 1000 次的随机采样操作, 得到一个含有 1000 个样本的采样集 D_i 。照这样, 采样出 5 个含有 1000 个训练样本的采样集。

S33、对于每一个采样集 D_i , 训练出一个三层 BP 神经网络, 这个网络这里称为弱分类器, 输入采用列向量输入即 $x_i = [\gamma_{\max_i}, \sigma_{ap_i}, \sigma_{dp_i}, \sigma_{aa_i}, \sigma_{af_i}]^T$, 输出采用列向量输出即 y_i , 从而得到每一个采样集对应的弱分类器, 判决函数为 $h_i(\mathbf{x})$ 。作为实例, 图 3 所示了本实例所构造和使用的 BP 神经网络。网络由输入层, 隐含层, 输出层, 三部分组成。输入层包括 5 个神经元, 隐含层包括 3 个神经元, 输出层包括 6 个神经元。

S34、如图 4 所示, 通过组合弱分类器, 得到一个强分类器, 总体判决函数为

$$H(\mathbf{x}) = \arg \max_{y \in Y} \sum_{i=1}^5 I(h_i(\mathbf{x}) = y)$$

其中 $\mathbf{x}$ 为输入向量, $\mathbf{y}$ 为输出向量, $I(\bullet)$ 为指示函数, 在 $\bullet$ 为真和假时分别取值 1, 0, $h_i(\mathbf{x})$ 为每一个弱分类器对应的判决函数。

S4、测试模型，先将待测的数字调制信号进行预处理并提取对应的特征值，然后输入到步骤3的强分类器中，对调制方式进行分类识别。在对每一个弱分类器预测输出进行结合时，采用简单投票法，通过少数服从多数的方式得到分类结果。

本发明利用BP的神经网络，具有自适应调制学习率的训练方法，并且充分的利用数字信号调制方式识别常用的5个特征值作为强分类器的输入，每次判决的时候使用全部特征值，而不仅仅是一个特征值，识别成功率主要与特征的整体性能有关，相对于传统的使用一个特征量来作判决的方法。同时，Bagging针对同样的训练数据训练出多个BP神经网络作为弱分类器，并将这一些弱分类器构成一个强分类器。从而使得调制方式具有更高的成功识别率。

以上所述的具体实施仅为本发明的一种最佳实现方式，并不用于限制本发明的保护范围，凡是利用本发明精神和原则及附图内容所作的等效结构或等效流程变换，均应包括在本发明的保护范围内。

权 利 要 求 书

1. 一种数字通信信号调制方式自动识别方法，其特征在于包括以下步骤：

S1、训练数字调制信号的预处理，即估计该数字调制信号的带宽及载频，对该数字调制信号进行带通滤波，并变频到合适的频段；

S2、训练数字调制信号特征值的提取，从该数字调制信号中提取信号的时域特征；

S3、训练模型，训练强分类器，通过 Bagging 并发式集成学习方法，将特征值组成的列向量作为输入，训练出 5 个基于 BP 神经网络的弱分类器，然后组合成一个强分类器；

S4、测试模型，先将待测的调制信号进行预处理并提取五个特征参数，分别为归一化中心瞬时幅度谱最大值 $\gamma_{\max}$ ，零中心非弱信号段瞬时相位非线性分量绝对值的标准偏差 σ_{ap} ，零中心非弱信号段瞬时相位非线性分量的标准偏差 σ_{dp} ，零中心归一化瞬时幅度绝对值的标准偏差 σ_{aa} ，零中心归一化非弱信号段瞬时频率绝对值的标准偏差 σ_{af} ，然后输入到步骤 S3 的强分类器中，对调制方式进行分类识别；在对每一个弱分类器预测输出进行结合时，采用简单投票法，通过少数服从多数的方式得到分类结果。

2. 如权利要求 1 所述的一种数字通信信号调制方式自动识别方法，其特征在于步骤 S3 中强分类器的训练，具体包括：首先设定包含 1000 个训练样本数

数据集 $G = \{(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1), \dots, (\mathbf{x}_{1000}, \mathbf{y}_{1000})\}$ ，其中 $x_i = [\gamma_{\max_i}, \sigma_{ap_i}, \sigma_{dp_i}, \sigma_{aa_i}, \sigma_{af_i}]^T$ 为步骤 S2 中提取出的特征值组成的列向量， $i=1\sim 1000$ ， x_i 属于表示第 i 个由特征值组成输入列向量， $\mathbf{y}_i$ 属于下列矩阵中的其中一列，

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

第一列代表 2ASK 调制方式，第二列代表 4ASK 调制方式，第三列代表 2FSK 调制方式，第四列代表 4FSK 调制方式，第五列代表 2PSK 调制方式，第六列代表 4PSK 调制方式；接下来，采样出 5 个含有 1000 个训练样本的采样集 D_i ，对每一个

采样集 D_i ，训练出一个三层 BP 神经网络，作为一个弱分类器，对应的判决函数为 $h_i(\mathbf{x})$ ；其中 BP 神经网络由输入层，隐含层，输出层三部分组成；最后，通过组合弱分类器，把 5 个基于 BP 神经网络的弱分类器组合成强分类器，强分类器的总体判决函数为

$$H(\mathbf{x}) = \arg \max_{\mathbf{y} \in \mathbf{Y}} \sum_{i=1}^5 I(h_i(\mathbf{x}) = \mathbf{y})$$

其中 $\mathbf{x}$ 为由特征值组成的输入列向量， $\mathbf{y}$ 为输出向量， $I(\bullet)$ 为指示函数，在 $\bullet$ 为真和假时分别取值 1、0， $h_i(\mathbf{x})$ 为每一个弱分类器对应的判决函数。

3、如权利要求 2 所述的一种数字通信信号调制方式自动识别方法，其特征在于所述训练样本数为 1000 个以上。

4. 如权利要求 1 所述的一种数字通信信号调制方式自动识别方法，其特征在于步骤 S4，先将待测的调制信号进行预处理并提取对应的特征参数，然后输入到步骤 S3 的强分类器中，对调制方式进行分类识别。

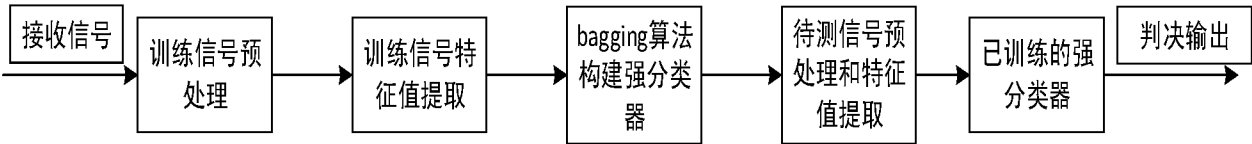


图 1

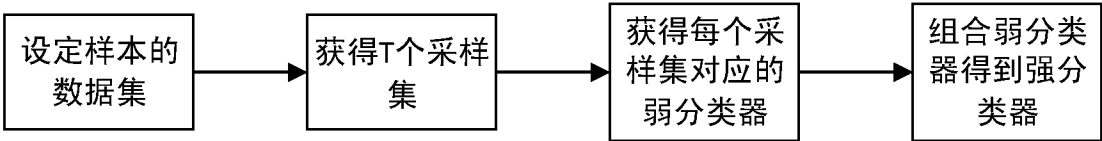


图 2

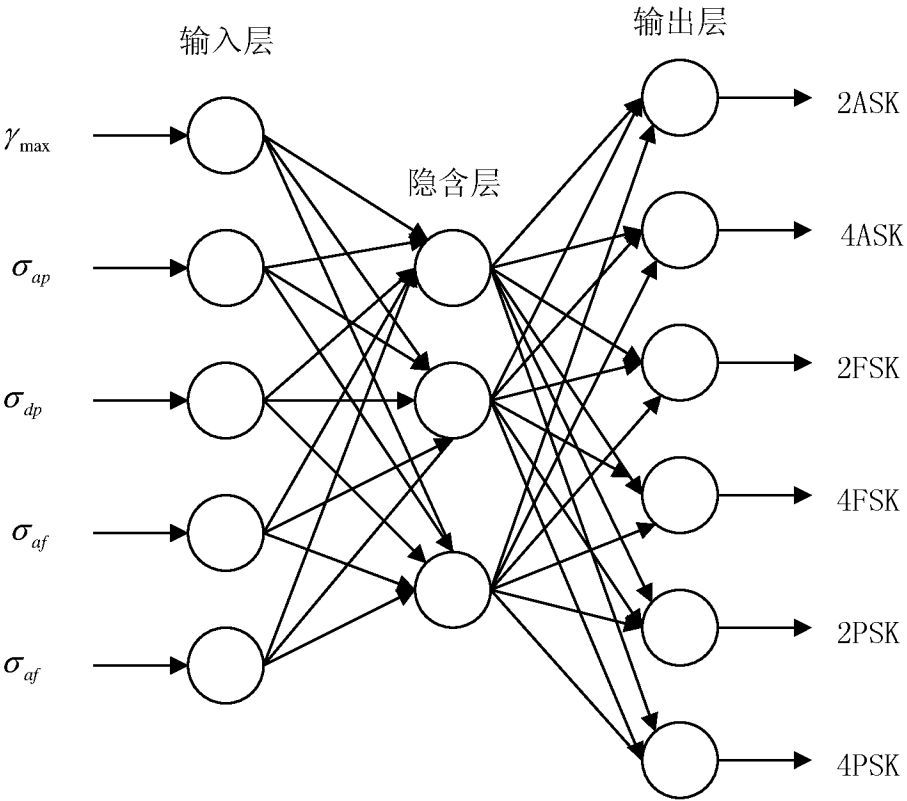


图 3

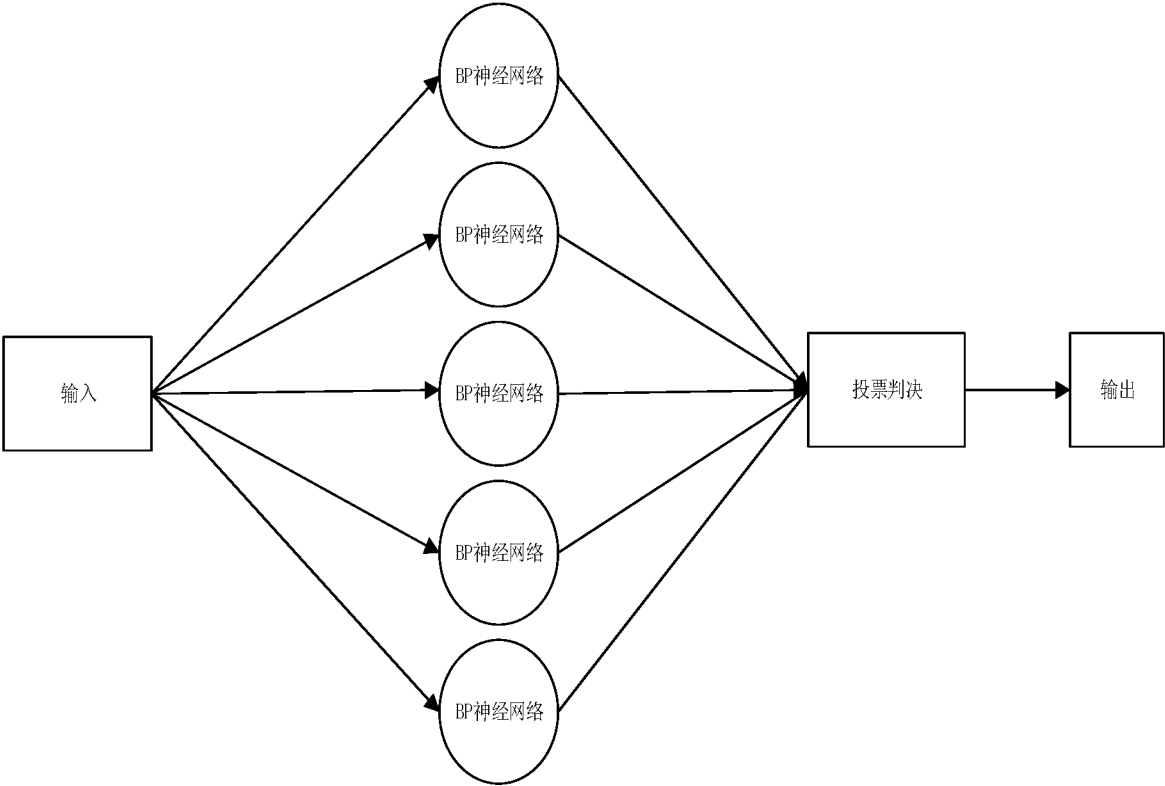


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2017/114108

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 27/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 调制, 识别, 分类, 种类, bagging, bootstrap, 集成学习, BP 神经网络, 特征, 弱分类, 强分类, 测试, 训练, 预处理, 滤波, 频段, 判决, 全部, modulat+, recogni+, BP, neural, network, classif+, pretreat+, ensemble, learning, week, low, strong, feature, test+, practice, train+, filter, band, total, determin+, judg+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	王鑫 等, “基于随机森林的认知网络主用户信号调制类型识别算法”, 东北大学学报 (自然科学版), 35(12), 31 December 2014 (31.12.2014), section 2, (WANG, Xin et al., “Primary User Signal Recognition Algorithm based on Random Forest in Cognitive Network”, Journal of Northeastern University (Natural Science))	1, 4
Y	朱守业, “基于 BP 神经网络和 Bagging 算法的入侵检测”, 计算机工程与应用, 45(18), 31 December 2009 (31.12.2009), sections 3-4, (Computer Engineering and Applications), non-official translation (ZHU, Shouye, “Intrusion Detection Based on BP Neural Network and Bagging Algorithm”)	1, 4
Y	林晋福 等, “一种基于 Boosting 特征选择的调制方式识别算法”, 电视技术, 37(15), 31 December 2013 (31.12.2013), section 1, (LIN, Jinfu et al., “Novel Modulation Recognition Algorithm Based on Boosting Feature Selection”, Video Engineering)	1, 4
PX	CN 107124381 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 01 September 2017 (01.09.2017), claims 1-4	1-4
A	CN 102710572 A (JIANGSU POSTS & TELECOMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGNING INSTITUTE CO., LTD.), 03 October 2012 (03.10.2012), entire document	1-4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 19 January 2018	Date of mailing of the international search report 30 January 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer JIA, Yu Telephone No. (86-10) 61648539

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/114108

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104994045 A (BEIHANG UNIVERSITY), 21 October 2015 (21.10.2015), entire document	1-4
A	WO 2016138238 A1 (TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED), 01 September 2016 (01.09.2016), entire document	1-4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/114108

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 107124381 A	01 September 2017	None	
CN 102710572 A	03 October 2012	None	
CN 104994045 A	21 October 2015	None	
WO 2016138238 A1	01 September 2016	CN 107430189 A	01 December 2017
		US 2016252607 A1	01 September 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/114108

A. 主题的分类

H04L 27/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H04L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI; 调制, 识别, 分类, 种类, bagging, bootstrap, 集成学习, BP神经网络, 特征, 弱分类, 强分类, 测试, 训练, 预处理, 滤波, 频段, 判决, 全部, modulati+, recogni+, BP, neural, network, classifi+, pretreat+, ensemble, learning, weak, low, strong, feature, test+, practice, train+, filter, band, total, determin+, judg+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	王鑫 等. “基于随机森林的认知网络主用户信号调制类型识别算法” 东北大学学报(自然科学版), 第35卷, 第12期, 2014年 12月 31日(2014-12-31), 第2节	1, 4
Y	朱守业. “基于BP神经网络和Bagging算法的入侵检测” 计算机工程与应用, 第45卷, 第18期, 2009年 12月 31日(2009-12-31), 第3-4节	1, 4
Y	林晋福 等. “一种基于Boosting特征选择的调制方式识别算法” 电视技术, 第37卷, 第15期, 2013年 12月 31日(2013-12-31), 第1节	1, 4
PX	CN 107124381 A (华南理工大学) 2017年 9月 1日(2017-09-01) 权利要求1-4	1-4
A	CN 102710572 A (江苏省邮电规划设计院有限责任公司) 2012年 10月 3日(2012-10-03) 全文	1-4

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2018年 1月 19日

国际检索报告邮寄日期

2018年 1月 30日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

加玉

电话号码 (86-10)61648539

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 104994045 A (北京航空航天大学) 2015年 10月 21日 (2015 - 10 - 21) 全文	1-4
A	WO 2016138238 A1 (TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED) 2016年 9月 1日 (2016 - 09 - 01) 全文	1-4

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2017/114108

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	107124381	A	2017年 9月 1日	无			
CN	102710572	A	2012年 10月 3日	无			
CN	104994045	A	2015年 10月 21日	无			
WO	2016138238	A1	2016年 9月 1日	CN	107430189	A	2017年 12月 1日
				US	2016252607	A1	2016年 9月 1日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)