

(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
2020 年 9 月 17 日 (17.09.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/181695 A1

(51) 国际专利分类号:
H04B 17/309 (2015.01) **H04B 17/391** (2015.01)
H04B 17/373 (2015.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/094701

(22) 国际申请日: 2019 年 7 月 4 日 (04.07.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910183808.0 2019年3月12日 (12.03.2019) CN

(71) 申请人: 南京邮电大学(NANJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) [CN/CN];
中国江苏省南京鼓楼区新模范马路 66 号, Jiangsu 210003 (CN)。

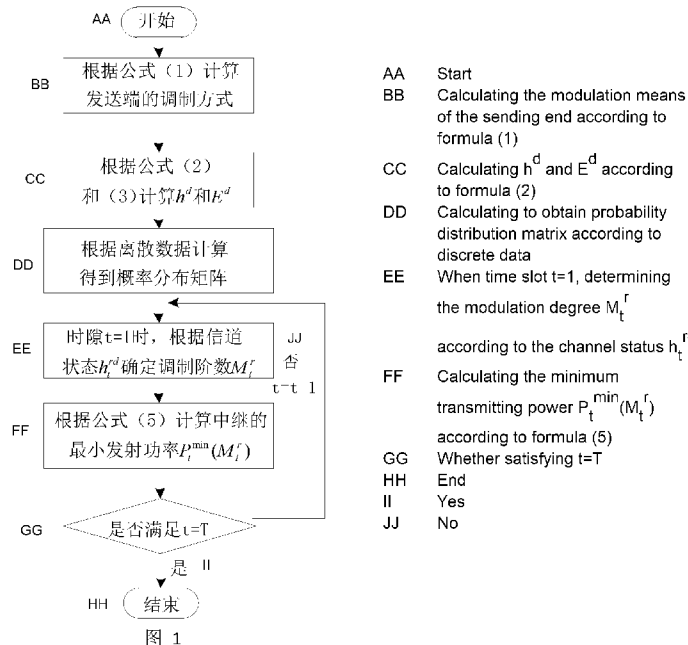
(72) 发明人: 朱琦(ZHU, Qi); 中国江苏省南京鼓楼区新模范马路 66 号, Jiangsu 210003 (CN)。 刘康(LIU, Kang); 中国江苏省南京鼓楼区新模范马路 66 号, Jiangsu 210003 (CN)。 朱洪波(ZHU, Hongbo); 中国江苏省南京鼓楼区新模范马路 66 号, Jiangsu 210003 (CN)。 杨龙祥(YANG, Longxiang); 中国江苏省南京鼓楼区新模范马路 66 号, Jiangsu 210003 (CN)。

(74) 代理人: 南京苏高专利商标事务所(普通合伙)(NANJING SUGAO PATENT AND TRADEMARK FIRM (ORDINARY PARTNERSHIP)); 中国江苏省南京白下区中山东路 198 号龙台国际大厦 1912 室, Jiangsu 210005 (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,

(54) Title: ADAPTIVE MODULATION METHOD FOR BAYES CLASSIFIER-BASED ENERGY HARVESTING RELAY SYSTEM

(54) 发明名称: 基于贝叶斯分类器的能量采集中继系统自适应调制方法



(57) Abstract: The present invention discloses an adaptive modulation method for a Bayes classifier-based energy harvesting relay system. The method comprises: a sending end determines, according to the status of a delay data-caching mechanism, the modulation method used such that the data sending does not exceed the relay storage capacity; the relay determines, according to data sent by the sending end as well as channel status information and energy harvesting status information within a period of time, the optical modulation means used by the relay during this period of time; the modulation means and the channel status information and energy

BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, 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))。

information are used as training data to obtain a classification model on the basis of the Naive Bayes classifier algorithm, so that the relay can self-adaptively select the modulation means while only knowing the channel information and energy information at the current moment. The present invention considers the specific modulation means of the nodes, provides the modulation means selection strategy in the limit condition of energy storage and data storage, thereby increasing the total handling capacity of the system and improving the energy use ratio.

(57) 摘要: 本发明公开了一种基于朴素贝叶斯分类器的能量采集中继系统自适应调制方法, 首先发送端根据中继数据缓存器的状态, 确定采用的调制方式, 使得发送数据不超过中继存储能力, 接着中继根据发送端发送的数据, 以及一段时间内信道状态和能量采集状态信息, 确定这段时间内中继采用的最优调制方式, 再将调制方式以及信道状态信息和能量信息作为训练数据, 根据朴素贝叶斯分类器算法得到分类模型, 中继可以在只知道当前时刻信道状态信息和能量信息的条件下, 自适应的选择调制方式。本发明考虑了节点的具体调制方式, 给出了在能量存储和数据存储限制条件下的调制方式选择策略, 从而增大了系统总的吞吐量, 提高了能量利用效率。

基于贝叶斯分类器的能量采集中继系统自适应调制方法

技术领域

本发明属于通信技术领域，具体涉及一种基于朴素贝叶斯分类器的能量采集中继系统自适应调制方法。

背景技术

近年来，随着无线通信技术的发展，无线业务的应用越来越广泛，能源消耗越来越大，所以绿色通信已成为关注的焦点。能量采集技术是指节点从周围环境采集能量，并用于自身信息的发送，作为发送功率。由于从环境获取能量，能量采集技术不仅绿色环保，同时延长了能量自给设备的寿命，同时，随着通信范围的扩大，边缘用户的通信质量由于信道衰落的增加而降低。协作中继技术是指在发送端和接收端之间增加中继节点，通过中继转发改善信号质量，从而有效提升网络的覆盖率，避免因信道衰落造成通信质量的降低，并能提供一定的通信增益。能量采集中继已成为下一代移动通信中一个重要的研究方向。

对于能量采集系统中功率分配的研究已有很多，但是对于实际的通信系统，通常需要考虑具体的调制方式。数字通信系统中， M 进制正交振幅调制（MQAM）是最常用的调制技术之一。对于能量采集中继系统，考虑系统中节点如何选择调制方式，将面临两个主要挑战。首先，系统包含源节点和中继，都需要发送数据，所以两者分别如何确定自己的调制方式，将直接决定系统所能提供的吞吐量。由于中继采用能量采集技术，可用发送功率受限，所以调制方式受采集能量的限制，而源节点的调制方式则主要取决于系统所能允许的业务量。因此，需要跟据不同的限制条件确定两者各自的调制阶数。其次，由于允许中继存储能量，中继可以根据信道状态的变化情况选择是否对能量进行存储，当信道状态更好时，可以采用更高的调制方式，达到更大的系统吞吐量。然而对于实际的通信系统，由于存在小尺度衰落，节点很难预测将来时刻的信道状态，难以提前做出判断是否对能量进行存储，系统吞吐量难以提高。所以，对于在缺乏信道信息的前提下，采用合理的调制方式，提升系统吞吐量的算法研究目前还比较欠缺。

发明内容

发明目的：为了克服现有技术中存在的不足，提供一种基于朴素贝叶斯分类器的能量采集中继系统自适应调制方法，其针对实际场景节点只能得到当前时刻的信道信息，而无法预测未来信道状态的问题，构建了一种利用朴素贝叶斯分类算法确定节点调制方式的方案，能够有效的增大系统吞吐量。

技术方案：为实现上述目的，本发明提供一种基于朴素贝叶斯分类器的能量采集中继系统自适应调制方法，包括如下步骤：

S1：根据中继数据缓存器的状态，确定发送端采用的调制方式：

系统由发送端 S ，接收端 D 和一个能量采集中继 R 组成，中继包含一个数据缓存器和一个能量缓存器，若时隙 $t-1$ 数据缓存器存储能力为 Q_{t-1} ，根据 $M_t^s \leq 2^{\frac{(Q_{\max}-Q_{t-1})\tau_s}{\tau}}$ 确定时隙 t 发送端的调制方式 M_t^s ，其中 $Q_{\max}$ 为中继缓存器的最大存储量；

S2：根据概率分布矩阵确定中继采用的调制方式：

时隙 t 时中继到目的节点的信道增益为 h_t^{rd} ，则对应的归一化信道增益为 $k_t = \frac{h_t^{rd} - \overline{h_{rd}}}{\overline{h_{rd}}}$ ，其中 $\overline{h_{rd}}$ 表示中继到目的节点信道的平均信道增益，根据 k_t 的值将信道离散化， h^d 为信道状态离散化后的值，时隙 t 中继的能量存储状态为 E_t^r ，得到能量存储状态离散化的值 $E^d = \left\lfloor 1 + \frac{1.5h_{rd}E_t^r}{\ln(\frac{1}{5BER})N_0W\tau} \right\rfloor_M$ ，根据概率分布矩阵，分别对所有的调制阶数 $M^r = 1, 4, 16, 64, 256$ 计算条件概率 $P(h^d / M^r)$ 和 $P(E^d / M^r)$ ，并得到后验概率为 $P(M^r / h^d \times E^d) = \frac{P(h^d / M^r)P(E^d / M^r)P(M^r)}{P(h^d \times E^d)}$ ，中继通过比较不同调制阶数后验概率

的大小，选择概率最大的调制阶数为当前时隙的调制方式 M_t^r ；

S3：确定中继的发送功率：

根据调制阶数确定中继的发送功率 $P_t^{\min}(M_t^r) = \frac{(M_t^r - 1)\ln(\frac{1}{5BER})N_0W}{1.5h_{rd}}$ ，其中， BER 是

接收端的误码率要求， M_t^r 是中继所采用调制方式的调制阶数， N_0 是噪声功率， W 是接收信号带宽， h_{rd} 表示中继到源节点的信道状态，根据 $B_t = E_t - P_t^{\min}(M_t^r)$ 计算中继的剩余能量 B_t ，如果 $B_t < 0$ ，则修改调制阶数 $M_t^r = M_{t\max}^r$ ， $M_{t\max}^r$ 表示此刻可以选择的最大调制阶数。

进一步地，所述步骤 **S2** 中概率分布矩阵的确定包括如下步骤：

S2-1：在时隙 t ，中继根据采集到的能量，确定可以采用的最大调制阶数

$$M_{t \max}^r = \left\lfloor 1 + \frac{1.5h_{rd}B_t}{\ln\left(\frac{1}{5BER}\right)N_0W\tau} \right\rfloor_M$$

其中 $\lfloor x \rfloor_M$ 表示从集合 $M = \{1, 4, 16, 64, 256\}$ 选择出最大的但不大于 x 的元素，并根据 M_t^r

计算总的系统吞吐量 $V = \sum_{t=1}^T \frac{\tau}{\tau_s} \log_2 M_{t \max}^r$ ，其中 T 表示总时间长度；

S2-2: 根据调制阶数确定中继的发送功率 $P_t^{\min}(M_{t \max}^r)$ ，确定中继的剩余能量 B_t ；

S2-3: 调整时隙 t 的调制方式；

S2-4: 重复以上步骤直到所有 T 时刻中继都已选择合适的调制方式；

S2-5: 按中继所采用的调制阶数，根据朴素贝叶斯分类算法得到概率分布矩阵，将训练数据中时隙对应的信道状态信息和能量存储状态信息离散化，分别统计同一调制方式下不同信道状态和能量状态的个数，计算出两种属性对应的条件概率 $P(h^d / M^r)$ 和 $P(E^d / M^r)$ ，根据贝叶斯公式得到后验概率 $P(M^r / h^d \times E^d)$ ，统计所有阶数的后验概率，得到最终概率分布矩阵。

进一步地，所述步骤 **S2-3** 中调整时隙 t 的调制方式具体包括如下步骤：

A) 随机选择 $M_t^{r'}$ 满足 $M_t^{r'} < M_t^r$ ，计算新的中继端发送功率 $P_t^{\min}(M_t^{r'})$ ，得到新的存储能量 B_{t_0+1}' ；

B) 根据新的存储能量状态，利用步骤 A 中方法得到时隙 $t_1 > t$ ，中继的可采用的最大调制阶数 $M_{t_1}^{r'}$ ；

C) 根据新的调制阶数 $M_{t_1}^{r'}$ 确定新的系统总吞吐量 V' ，如果 $V' > V$ ，更新 t_0 时刻调制阶数 $M_{t_0}^r = M_{t_0}^{r'}$ ，否则调制阶数不变；

D) 重复此步骤直到 t_1 时刻所有可选择的调制阶数都被选择。

本发明的基本思路是利用机器学习算法中的朴素贝叶斯分类算法，在将来信道信息未知的情况下，给出一种在线的能量采集中继自适应的调制方法。首先根据中继数据缓存器的状态，确定发送端采用的调制方式，使得发送数据不超过中继存储能力，接着中继根据发送端发送的数据，以及过去一段时间自身到接收端的信道状态和采集能量，利用离线算法确定这段时间内所采用的调制方式，目的是获得更高的系统总吞吐量。再将离线算法得到的调制方式以及信道状态信息作为训练数据，利用朴素贝叶斯分类器方法得到分类模型，根据分类模型，中继可进一步的根据当前时隙的信道状态信息自适应的选择调制方式，并根据能量状态，动态调整分类结果，最终得到所有时隙中继所采用的调制方式。

有益效果：本发明与现有技术相比，具有以下优点：

1、考虑了节点的具体调制方式，给出了在能量存储和数据存储限制条件下的调制方式选择策略，可以在不同接收端误码率要求下选择合适的调制方式，从而增大系统总的吞吐量。

2、中继节点在采用能量采集的前提下，可以根据已有的分类模型自适应的选择合适的调制方式，不需要依赖之后时隙的系统信息，更加符合实际的通信系统模型。且分类模型不需要根据能量存储器状态和信道状态动态变化，大大减少了中继为了维护分类模型而产生的损耗。

3、通过对存储能量的合理分配，使得中继采集能量利用率提高，避免了由于信道状况不佳造成的能量浪费，提升系统总的吞吐量性能。

附图说明

图 1 为本发明方法的流程示意图；

图 2 为无线通信系统引入中继系统吞吐量变化对比图；

图 3 为系统总吞吐量随用户误码率要求变化对比图；

图 4 为系统总吞吐量随能量到达率的变化对比图；

图 5 为本发明系统的组成示意图。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例，进一步阐明本发明。

本发明方法考虑在单中继无线通信场景中，节点均采用 MQAM 调制方式发送信号，节点需要根据当前时隙系统信息，利用机器学习方法自适应的确定当前采用的调制方式，以达到提升系统吞吐量的目标。参照图 5，其具体过程为：发送端根据中继数据缓存器的状态，确定采用的调制方式，使得发送数据不超过中继存储能力，接着中继根据发送端发送的数据，以及一段时间内信道状态和能量采集状态信息，确定这段时间内中继采用的最优调制方式，以达到提升系统总吞吐量的目标，再将调制方式以及信道状态信息和能量信息作为训练数据，根据朴素贝叶斯分类器算法得到分类模型，中继可以在只知道当前时刻信道信息和能量信息的条件下，自适应的选择调制方式，以达到提升系统总吞吐量，提高能量利用效率的目标。

根据上述设计原理和工作过程，本实施例提供一种基于朴素贝叶斯分类器的能量采集中继系统自适应调制方法，如图 1 所示，其包括如下步骤：

S1：根据中继数据缓存器的状态，确定发送端采用的调制方式：

系统由发送端 S ，接收端 D 和一个能量采集中继 R 组成，中继包含一个数据缓存器和一个能量缓存器，时隙 $t-1$ 数据缓存器存储能力为 Q_{t-1} ，根据公式（1）确定时隙 t 的

调制方式 M_t^s :

$$M_t^s \leq 2^{\frac{(Q_{\max} - Q_{t-1})\tau_s}{\tau}} \quad (1)$$

其中 $Q_{\max}$ 表示数据缓存器的最大存储量， τ 表示半时隙长度， τ_s 表示发送符号周期， M_t^s 的取值属于集合 $M = \{1, 4, 16, 64, 256\}$ 。

S2: 根据概率分布矩阵确定中继采用的调制方式:

时隙 t 时中继到目的节点的信道增益为 h_t^{rd} ，则对应的归一化信道增益为 $k_t = \frac{h_t^{rd} - \overline{h_{rd}}}{\overline{h_{rd}}}$ ，其中 $\overline{h_{rd}}$ 表示中继到目的节点信道的平均信道增益，根据 k_t 的值将信道离散化， h^d 为信道状态离散化后的值，将信道状态分为四个等级，即 $h^d = 1, 2, 3, 4$ 。具体如下表达式(2):

$$h^d = \begin{cases} 1 & k_t < -0.25 \\ 2 & -0.25 < k_t < 0 \\ 3 & 0 < k_t < 0.25 \\ 4 & k_t > 0.25 \end{cases} \quad (2)$$

时隙 t 中继的能量存储状态为 E_t^r ，得到能量存储状态离散化的值:

$$E^d = \left\lfloor 1 + \frac{1.5h_{rd}E_t^r}{\ln(\frac{1}{5BER})N_0W\tau} \right\rfloor_M \quad (3)$$

根据概率分布矩阵，分别对所有的调制阶数 $M^r = 1, 4, 16, 64, 256$ 计算条件概率 $P(h^d / M^r)$ 和 $P(E^d / M^r)$ ，并得到后验概率为:

$$P(M^r / h^d \times E^d) = \frac{P(h^d / M^r)P(E^d / M^r)P(M^r)}{P(h^d \times E^d)} \quad (4)$$

中继通过比较不同调制阶数后验概率的大小，选择概率最大的调制阶数为当前时隙的调制方式 M_t^r ;

S3: 确定中继的发送功率:

本实施例中为了充分利用能量，假设中继确定调制方式后，均采用最小发射功率发送数据，则根据调制阶数确定中继的发送功率:

$$P_t^{\min}(M_t^r) = \frac{(M_t^r - 1) \ln(\frac{1}{5BER}) N_0 W}{1.5h_{rd}} \quad (5)$$

其中, BER 是接收端的误码率要求, M_t^r 是中继所采用调制方式的调制阶数, N_0 是噪声功率, W 是接收信号带宽, h_{rd} 表示中继到源节点的信道状态, 再根据中继采集的能量计算剩余能量 B_t :

$$B_t = E_t - P_t^{\min}(M_t^r) \quad (6)$$

其中, E_t 表示时隙 t 能量缓存器的初始能量状态。

如果

$$B_t < 0 \quad (7)$$

则修改选择的调制阶数为:

$$M_t^r = M_{t \max}^r \quad (8)$$

上述步骤 S2 中概率分布矩阵的确定包括如下步骤 S2-1~S2-5:

S2-1: 在时隙 t , 中继根据采集到的能量, 确定可以采用的最大调制阶数

$$M_{t \max}^r = \left\lfloor 1 + \frac{1.5 h_{rd} B_t}{\ln\left(\frac{1}{5BER}\right) N_0 W \tau} \right\rfloor_M$$

其中 $\lfloor x \rfloor_M$ 表示从集合 $M = \{1, 4, 16, 64, 256\}$ 选择出最大的但不大于 x 的元素, 并根据 M_t^r

计算总的系统吞吐量 $V = \sum_{t=1}^T \frac{\tau}{\tau_s} \log_2 M_{t \max}^r$, 其中 T 表示总时间长度。

S2-2: 根据公式 (2) 确定中继的发送功率 $P_t^{\min}(M_{t \max}^r)$, 再根据公式 (3) 确定中继的剩余能量 B_t 。

S2-3: 利用机器学习的方法调整时隙 t 的调制方式, 具体包括如下步骤 A~D:

A) 随机选择 $M_t^{r'}$ 满足 $M_t^{r'} < M_t^r$, 则中继可多存储的能量为:

$$E_{st}(M_t^{r'}) = P_t^{\min}(M_t^{r_0}) - P_t^{\min}(M_t^{r'}) \quad (11)$$

即新的能量状态为:

$$B_{t+1}' = B_{t+1} + E_{st}(M_t^{r'}) \quad (12)$$

B) 根据新的存储能量状态, 利用步骤 A 中方法得到时隙 $t_1 > t$, 则中继的可采用的最大调制阶数 $M_{t_1}^{r'}$, 即

$$M_t^r = \begin{cases} M_t^r & t < t_1 \\ M_{t_1}^{r'} & t \geq t_1 \end{cases} \quad (13)$$

C) 根据新的调制阶数 $M_{t_1}^{r'}$ 确定新的系统总吞吐量 V' , 如果 $V' > V$, 更新 t 时刻调制

阶数 $M_t^r = M_t^{r'}$ ，否则调制阶数不变；

D) 重复步骤 A~C 直到 t_1 时刻所有可选择的调制阶数都被选择。

S2-4: 重复以上步骤直到所有 T 时刻中继都已选择合适的调制方式。

S2-5: 根据公式 (2) 和 (3) 得到离散信道状态 h^d 和离散能量存储器状态 E^d ，分别统计同一调制方式下不同信道状态和能量状态的个数，计算出两种属性对应的条件概率 $P(h^d / M^r)$ 和 $P(E^d / M^r)$ 。假设 $P(M^r)$ 为不同调制阶数的初始概率分布，根据贝叶斯公式得到后验概率：

$$P(M^r / h^d \times E^d) = \frac{P(h^d \times E^d / M^r)P(M^r)}{P(h^d \times E^d)} \quad (14)$$

根据属性条件独立性的假设，后验概率可以改写为：

$$P(M^r / h^d \times E^d) = \frac{P(h^d / M^r)P(E^d / M^r)P(M^r)}{P(h^d \times E^d)} \quad (15)$$

对于不同调制阶数，后验概率公式的分母均相同，因此后验概率仅由分子 $P(h^d / M^r)P(E^d / M^r)P(M^r)$ 决定。假设对于所有调制阶数， $P(M^r)$ 相等，后验概率仅通过条件概率的乘积 $P(h^d / M^r)P(E^d / M^r)$ 求得，统计所有阶数的后验概率，得到最终概率分布矩阵。

根据上述具体方法步骤，可将本发明方法的具体过程进行如下归纳：首先根据中继数据缓存器的状态，需要先确定发送端采用的调制方式；中继再根据发送端发送的数据，以及过去一段时间自身到接收端的信道状态和采集能量，利用离线算法确定这段时间内所采用的调制方式；之后，将离线算法得到的调制方式以及信道状态信息作为训练数据，根据朴素贝叶斯公式计算不同调制方式对应的能量存储状态和信道状态的概率分布矩阵，得到分类模型；根据分类模型，中继可进一步的根据当前时隙的信道状态信息和能量存储状态信息自适应的选择调制方式，最终得到所有时隙中继所采用的调制方式。

本实施例中为了验证本发明方法的实际效果进行仿真实验，具体如图 2~图 4 所示：

如图 2 所示为无线系统引入中继后系统吞吐量的变化。可见运用本发明的方法后，引入中继后系统吞吐量有明显的提升。这是由于对于用户，尤其是处于基站边缘覆盖的用户，由于信道的大尺度衰落影响，信道衰落比较大，发送功率到达接收端衰减明显。而采用中继技术可以有效改善用户的覆盖，通过中继节点的转发，可以增强原本已经衰落的信号，使得接收端信号强度维持在较高的水平，提升了接收端信号的信噪比，因此系统吞吐量得到提升。当中继位置越靠近发送端与接收端中心时，其对于信号衰落的改善效果最好，而中继位于两端时对于信号基本没有改善，因此图 2 系统吞吐量随中继的

位置呈现先增大后减小的趋势。

如图3所示为本发明采用的在线自适应调制算法与中继直接采用最大调制方式的算法系统吞吐量的对比图。显然通过自适应调整中继的调制方式，系统吞吐量有了明显的升高。因为通过自适应的调整中继的调制方式，可以根据信道状态选择合适的调制方式，而不是仅仅根据采集到的能量。比如时隙 t 的信道增益为 h_t^{rd} ，时隙 t_1 的信道增益为 $h_{t_1}^{rd}$ ，假设时隙 t 采集的能量明显多于时隙 t_1 ，但是信道 h_t^{rd} 却差于 $h_{t_1}^{rd}$ 。如果不调整调制方式，中继会将采集到的能量尽可能的多用于时隙 t ，而却因为信道较差而获得较低的系统吞吐量，而在 t_1 时刻却因为缺少能量而同样获得较低的系统吞吐量。本发明方法中中继会根据信道状态调整自身调制方式，而将能量存储至 t_1 时刻，这样虽然放弃了时隙 t 时刻的部分吞吐量，但是在时隙 t_1 获得了更多的系统吞吐量，系统的总吞吐量因此得到提升。随着接收端误码率要求的提高，系统总吞吐量也随之提高。

如图4所示为本发明采用的在线自适应调制算法与中继直接采用最大调制方式的算法在系统平均吞吐量的对比图，可见本发明方法的系统平均吞吐量要高于中继直接采用最大调制的方式，显著提升了系统总吞吐量，且随着能量到达率逐渐提高，系统能达到的容量也随之提高，这些都优于中继直接采用最大调制的方式。

权 利 要 求 书

1、基于朴素贝叶斯分类器的能量采集中继系统自适应调制方法，其特征在于：包括如下步骤：

S1：根据中继数据缓存器的状态，确定发送端采用的调制方式：

系统由发送端 S ，接收端 D 和一个能量采集中继 R 组成，中继包含一个数据缓存器和一个能量缓存器，若时隙 $t-1$ 数据缓存器存储能力为 Q_{t-1} ，根据 $M_t^s \leq 2^{\frac{(Q_{\max}-Q_{t-1})\tau_s}{\tau}}$ 确定时隙 t 发送端的调制方式 M_t^s ，其中 $Q_{\max}$ 为中继缓存器的最大存储量；

S2：根据概率分布矩阵确定中继采用的调制方式：

时隙 t 时中继到目的节点的信道增益为 h_t^{rd} ，则对应的归一化信道增益为 $k_t = \frac{h_t^{rd} - \overline{h_{rd}}}{\overline{h_{rd}}}$ ，其中 $\overline{h_{rd}}$ 表示中继到目的节点信道的平均信道增益，根据 k_t 的值将信道离散化， h^d 为信道状态离散化后的值，时隙 t 中继的能量存储状态为 E_t^r ，得到能量存储状态离散化的值 $E^d = \left\lfloor 1 + \frac{1.5h_{rd}E_t^r}{\ln(\frac{1}{5BER})N_0W\tau} \right\rfloor_M$ ，根据概率分布矩阵，分别对所有的调制阶数

计算条件概率 $P(h^d/M^r)$ 和 $P(E^d/M^r)$ ，并得到后验概率为

$$P(M^r/h^d \times E^d) = \frac{P(h^d/M^r)P(E^d/M^r)P(M^r)}{P(h^d \times E^d)}$$

的大小，选择概率最大的调制阶数为当前时隙的调制方式 M_t^r ；

S3：确定中继的发送功率：

$$\text{根据调制阶数确定中继的发送功率 } P_t^{\min}(M_t^r) = \frac{(M_t^r - 1) \ln(\frac{1}{5BER}) N_0 W}{1.5h_{rd}}, \text{ 其中, } BER \text{ 是}$$

接收端的误码率要求， M_t^r 是中继所采用调制方式的调制阶数， N_0 是噪声功率， W 是接收信号带宽， h_{rd} 表示中继到源节点的信道状态，根据 $B_t = E_t - P_t^{\min}(M_t^r)$ 计算中继的剩余能量 B_t ，如果 $B_t < 0$ ，则修改调制阶数 $M_t^r = M_{t,\max}^r$ ， $M_{t,\max}^r$ 表示此刻可以选择的最大调制阶数。

2、根据权利要求 1 所述的基于朴素贝叶斯分类器的能量采集中继系统自适应调制方法，其特征在于：所述步骤 S2 中概率分布矩阵的确定包括如下步骤：

S2-1：在时隙 t ，中继根据采集到的能量，确定可以采用的最大调制阶数

$$M_{t \max}^r = \left\lfloor 1 + \frac{1.5h_{rd}B_t}{\ln(\frac{1}{5BER})N_0W\tau} \right\rfloor_M$$

其中 $\lfloor x \rfloor_M$ 表示从集合 $M = \{1, 4, 16, 64, 256\}$ 选择出最大的但不大于 x 的元素，并根据 M_t^r

计算总的系统吞吐量 $V = \sum_{t=1}^T \frac{\tau}{\tau_s} \log_2 M_{t \max}^r$ ，其中 T 表示总时间长度；

S2-2: 根据调制阶数确定中继的发送功率 $P_t^{\min}(M_{t \max}^r)$ ，确定中继的剩余能量 B_t ；

S2-3: 调整时隙 t 的调制方式；

S2-4: 重复以上步骤直到所有 T 时刻中继都已选择合适的调制方式；

S2-5: 按中继所采用的调制阶数，根据朴素贝叶斯分类算法得到概率分布矩阵，将训练数据中时隙对应的信道状态信息和能量存储状态信息离散化，分别统计同一调制方式下不同信道状态和能量状态的个数，计算出两种属性对应的条件概率 $P(h^d / M^r)$ 和 $P(E^d / M^r)$ ，根据贝叶斯公式得到后验概率 $P(M^r / h^d \times E^d)$ ，统计所有阶数的后验概率，得到最终概率分布矩阵。

3、根据权利要求 2 所述的基于朴素贝叶斯分类器的能量采集中继系统自适应调制方法，其特征在于：所述步骤 S2-3 中调整时隙 t 的调制方式具体包括如下步骤：

A) 随机选择 $M_t^{r'}$ 满足 $M_t^{r'} < M_t^r$ ，计算新的中继端发送功率 $P_t^{\min}(M_t^{r'})$ ，得到新的存储能量 B_{t_0+1}' ；

B) 根据新的存储能量状态，利用步骤 A 中方法得到时隙 $t_1 > t$ ，中继的可采用的最大调制阶数 $M_{t_1}^{r'}$ ；

C) 根据新的调制阶数 $M_{t_1}^{r'}$ 确定新的系统总吞吐量 V' ，如果 $V' > V$ ，更新 t_0 时刻调制阶数 $M_{t_0}^r = M_{t_0}^{r'}$ ，否则调制阶数不变；

D) 重复此步骤直到 t_1 时刻所有可选择的调制阶数都被选择。

4、根据权利要求 1 所述的基于朴素贝叶斯分类器的能量采集中继系统自适应调制方法，其特征在于：所述步骤 2 中调制阶数 $M^r = 1, 4, 16, 64, 256$ 。

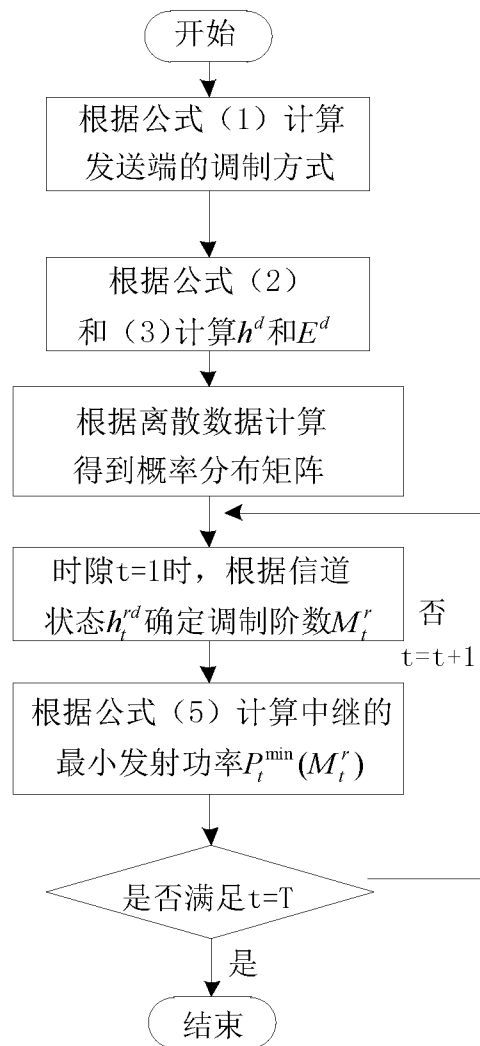


图 1

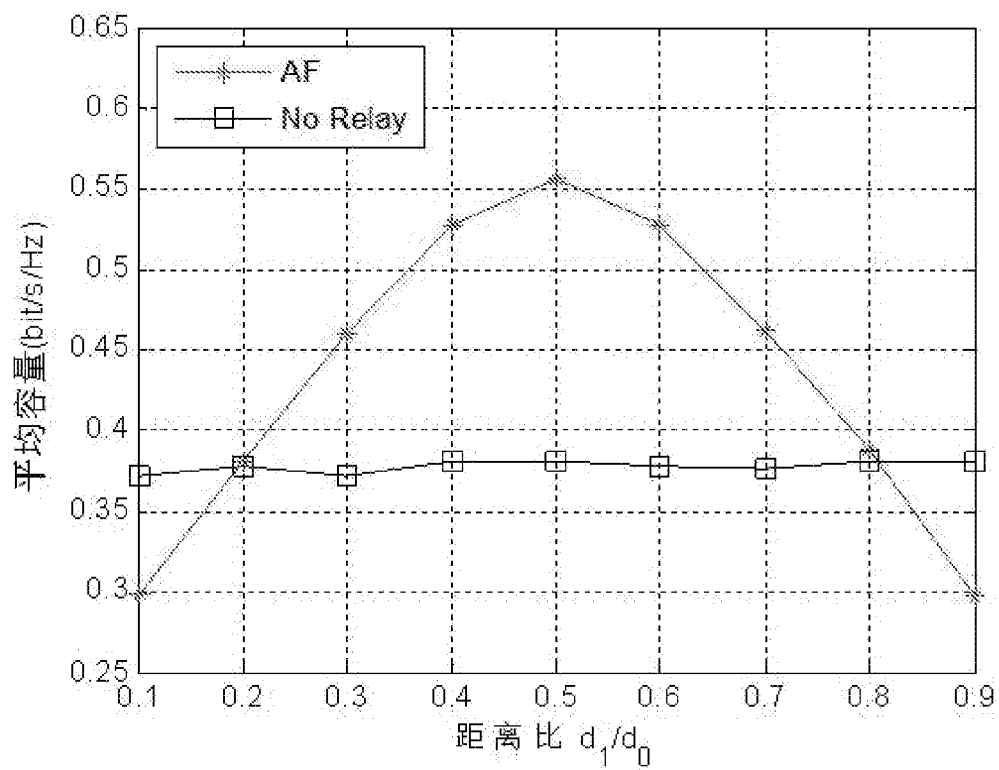


图 2

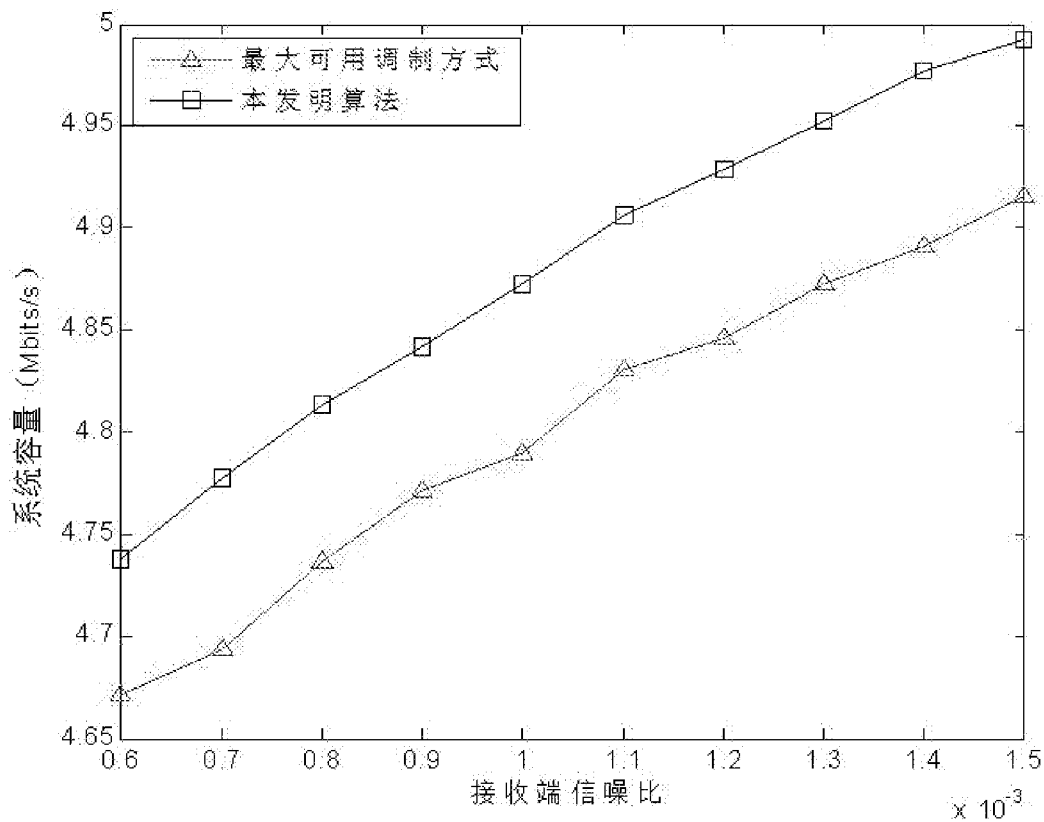


图 3

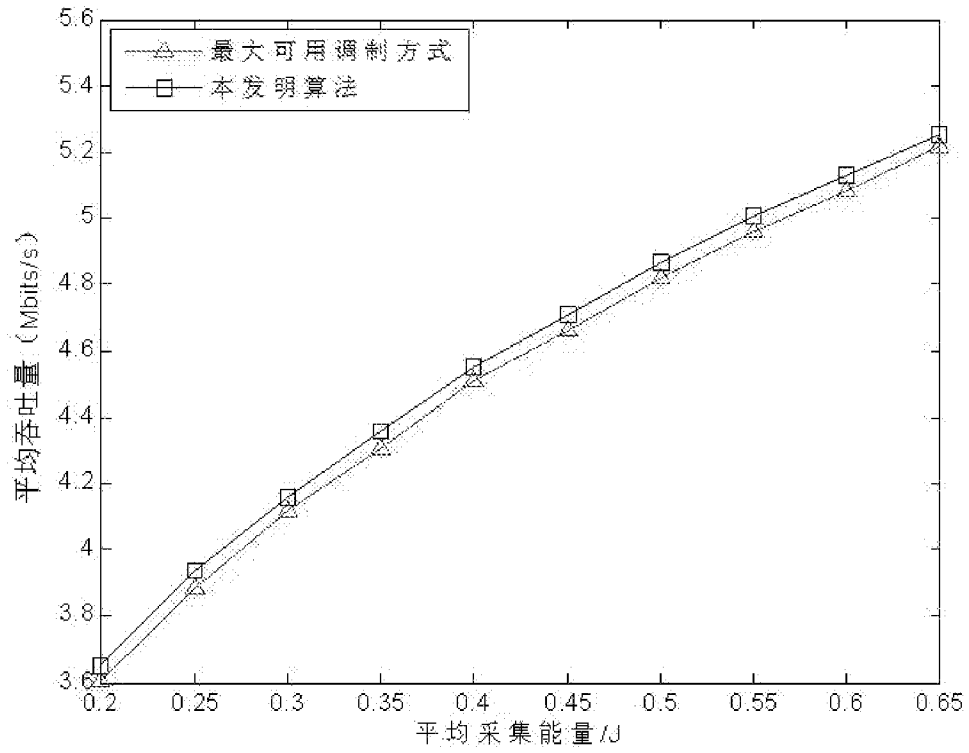


图 4

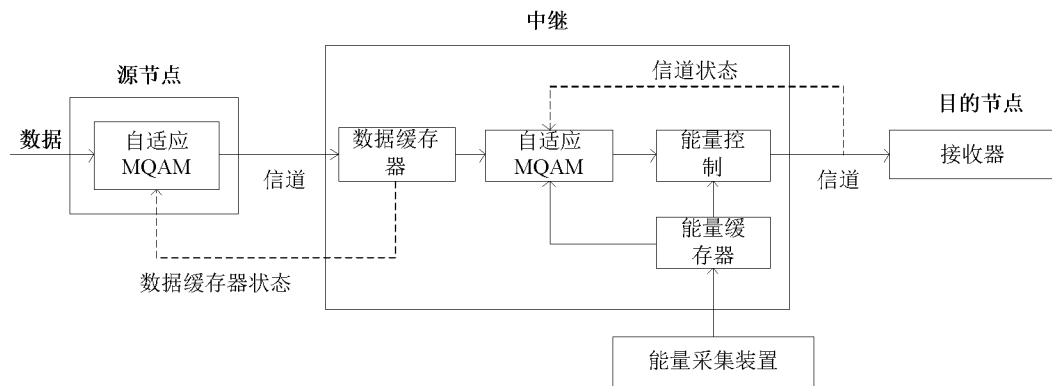


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/094701

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 17/309(2015.01)i; H04B 17/373(2015.01)i; H04B 17/391(2015.01)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)

H04B

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)

CNABS; CNTXT; CNKI; VEN; IEEE: 能量, 采集, 收集, 中继, 后验概率, 调制阶数, 贝叶斯, energy, collect+, relay, posterior +, probability, modulation, order, Bayes

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 108551383 A (NANJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 18 September 2018 (2018-09-18) description, paragraphs [0031]-[0068], and figures 1 and 5	1-4
A	CN 109286426 A (CHINA JILIANG UNIVERSITY) 29 January 2019 (2019-01-29) entire document	1-4
A	CHIKHA, W.B.; ATTIA, R. "On the Performance Evaluation of Bayesian Network Classifiers in Modulation Identification for Cooperative MIMO Systems" <i>2015 23rd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)</i> , 02 November 2015 (2015-11-02), entire document	1-4
PX	CN 109951239 A (NANJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 28 June 2019 (2019-06-28) claims 1-4	1-4



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 October 2019

Date of mailing of the international search report

04 December 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/094701

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	108551383	A	18 September 2018	None	
CN	109286426	A	29 January 2019	None	
CN	109951239	A	28 June 2019	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/094701

A. 主题的分类 H04B 17/309(2015.01)i; H04B 17/373(2015.01)i; H04B 17/391(2015.01)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) H04B 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)) CNABS;CNTXT;CNKI;VEN;IEEE:能量, 采集, 收集, 中继, 后验概率, 调制阶数, 贝叶斯, energy, collect+, relay, posterior+, probability, modulation, order, Bayes																	
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 108551383 A (南京邮电大学) 2018年 9月 18日 (2018 - 09 - 18) 说明书[0031]-[0068]段, 图1、5</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109286426 A (中国计量大学) 2019年 1月 29日 (2019 - 01 - 29) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>Wassim Ben Chikha ; Rabah Attia. "On the performance evaluation of Bayesian network classifiers in modulation identification for cooperative MIMO systems" 2015 23rd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2015年 11月 2日 (2015 - 11 - 02), 全文</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109951239 A (南京邮电大学) 2019年 6月 28日 (2019 - 06 - 28) 权利要求1-4</td> <td>1-4</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 108551383 A (南京邮电大学) 2018年 9月 18日 (2018 - 09 - 18) 说明书[0031]-[0068]段, 图1、5	1-4	A	CN 109286426 A (中国计量大学) 2019年 1月 29日 (2019 - 01 - 29) 全文	1-4	A	Wassim Ben Chikha ; Rabah Attia. "On the performance evaluation of Bayesian network classifiers in modulation identification for cooperative MIMO systems" 2015 23rd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2015年 11月 2日 (2015 - 11 - 02), 全文	1-4	PX	CN 109951239 A (南京邮电大学) 2019年 6月 28日 (2019 - 06 - 28) 权利要求1-4	1-4
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
X	CN 108551383 A (南京邮电大学) 2018年 9月 18日 (2018 - 09 - 18) 说明书[0031]-[0068]段, 图1、5	1-4															
A	CN 109286426 A (中国计量大学) 2019年 1月 29日 (2019 - 01 - 29) 全文	1-4															
A	Wassim Ben Chikha ; Rabah Attia. "On the performance evaluation of Bayesian network classifiers in modulation identification for cooperative MIMO systems" 2015 23rd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2015年 11月 2日 (2015 - 11 - 02), 全文	1-4															
PX	CN 109951239 A (南京邮电大学) 2019年 6月 28日 (2019 - 06 - 28) 权利要求1-4	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 "D" 申请人在国际申请中引证的文件 "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 2019年 10月 23日		国际检索报告邮寄日期 2019年 12月 4日															
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(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		授权官员 奇琳 电话号码 86-(010)-62411295															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/094701

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	108551383	A	2018年 9月 18日	无	
CN	109286426	A	2019年 1月 29日	无	
CN	109951239	A	2019年 6月 28日	无	