(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
2012 年 8 月 30 日 (30.08.2012)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2012/113105 A1

(51) 国际专利分类号:
H04B 1/7115 (2011.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2011/000310

(22) 国际申请日: 2011 年 2 月 25 日 (25.02.2011)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): **北京航空航天大学 (BEIHANG UNIVERSITY)** [CN/CN]; 中国北京市海淀区学院路 37 号, Beijing 100191 (CN)。

(72) 发明人: **洪晟 (HONG, Sheng)**; 中国北京市海淀区学院路 37 号北京航空航天大学, Beijing 100191 (CN)。 **张凤元 (ZHANG, Fengyuan)**; 中国北京市朝阳区北三环东路 15 号北京化工大学, Beijing 100029 (CN)。 **邸金山 (DI, Jinshan)**; 中国北京市海淀区学院路 37 号北京航空航天大学, Beijing 100191 (CN)。 **徐亚飞 (XU, Yafei)**; 中国北京市朝阳区北三环东路 15 号北京化工大学, Beijing 100029 (CN)。 **李莹 (LI, Ying)**; 中国北京市海淀区学院路 37 号北京航空航天大学, Beijing 100191 (CN)。 **陶文辉 (TAO, Wenhui)**; 中国北京市海淀区学院路 37 号北京航空航天大学, Beijing 100191 (CN)。 **张其善 (ZHANG, Qishan)**; 中国北京市海淀区学院路 37 号北京航空航天大学, Beijing 100191 (CN)。

(74) 代理人: **北京慧泉知识产权代理有限公司 (HUIQUAN INTELLECTUAL PROPERTY LTD.)**; 中国北京市海淀区蓟门里和景园 A 座一单元 302 室, Beijing 100088 (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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,

[见续页]

(54) Title: COGNITIVE RADIO SOFTWARE SIMULATION PLATFORM AND DESIGN METHOD BASED ON DIRECT-SEQUENCE CDMA/UWB

(54) 发明名称 : 基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台及其设计方法

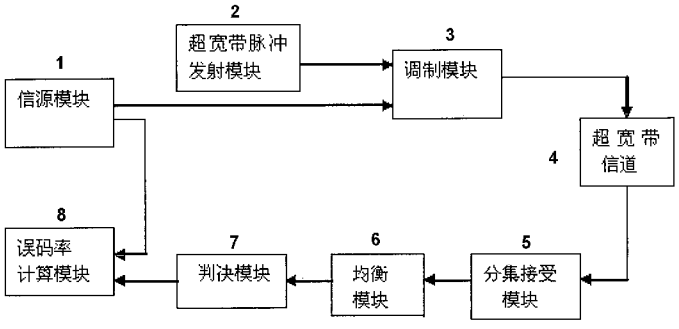


图 1 / Fig. 1

1 MESSAGE SOURCE MODULE
2 UWB PULSE TRANSMITTER MODULE
3 MODULATION MODULE
4 UWB CHANNEL
5 RAKE MODULE
6 EQUALIZER MODULE
7 JUDGMENT MODULE
8 ERROR RATE CALCULATION MODULE

(57) Abstract: The present invention involves a cognitive radio software simulation platform based on direct-sequence Code Division Multiple Access (CDMA)/ Ultra Wideband (UWB), which comprises a Source module, a UWB Pulse Generator module, a Binary Phase Shift Keying (BPSK) Modulation module, an UWB Channel module, a RAKE module, an Equalizer module, a Judging and Error Rate Calculation module. The design method of said platform includes: (1) inputting a Walsh sequence, whose sequence values are "+1" and "-1", and a bridge function sequence, whose sequence values are "+1", "0" and "-1", as spread spectrum sequences to said constructed simulation system; (2) inputting an m sequence and a bridge function sequence as spread spectrum sequences to said simulation system; (3) using bridge function intelligent coding sequences, which have zero correlation zones and whose bridge function sequence correlation function is constant 0, as the spread spectrum sequences of the system in a multi-user system. The simulation results show that, with increase of the shift parameter, the zero correlation zone becomes larger and larger, and the ability of system anti-multi-access interference also becomes stronger and stronger; when using bridge function intelligent coding sequences whose correlation function is constant 0, the ability of anti-multi-access interference achieves the best.

[见续页]

WO 2012/113105 A1

SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(57) 摘要:

本发明涉及基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台，由 Source 模块、UWB Pulse Generator 模块、BPSK Modulation 模块、UWB Channel 模块、RAKE 模块、Equalizer 模块、Judging 和 Error Rate Calculation 模块构成；该平台的设计方法是**(1)**以序列值为“+1”，“-1”的沃尔什序列和“+1”，“0”，“-1”的桥函数序列作为扩频序列输入到所构建的仿真系统中；**(2)**将 m 序列和桥函数序列作为扩频序列输入到仿真系统中；**(3)**多用户系统下采用具有零互相关区的桥函数序列互相关函数恒为 0 的桥函数智能码序列作为系统的扩频序列，仿真结果表明，随着移位参数的增大，零互相关区也越来越大，系统抑制多址干扰的能力也越来越强，当采用互相关函数恒为 0 的桥函数智能码序列时抑制多址干扰的能力达到最好。

基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台及其设计方法

技术领域：

本发明提供了基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台，它是一种基于衬底式(Underlay)接入方式的超宽带认知无线电软件仿真平台。通过 MATLAB/SIMULINK 搭建的认知无线电通信仿真系统，以高斯脉冲为发射脉冲，以沃尔什序列和桥函数序列为扩频序列的前提下，通过误码率的计算可以判断出，具有零相关区的三值桥函数序列比沃尔什序列具有更好的误码率性能。本发明属于认知无线电技术领域。

背景技术：

最近二十年里，随着社会发展，人们对无线通信的需求迅速增加，无线网络快速增长。因许多主要无线频谱已经分配给特定的应用，频谱的稀缺变得越来越严重。因此，如何在有限的频谱资源下满足人们对无线通信日益增长的需求是无线通信领域一个十分重要和艰巨的任务。最近测试表明授权频谱没有被充分利用。在此背景下，一类重用频谱资源的无线电技术被一些研究机构和标准制定组织相继提出，这其中最典型的是超宽带无线通信技术（Ultra Wideband,UWB)和认知无线电技术（Cognitive Radio,CR)。这两种技术因其诱人的应用前景而发展迅速。并且由于它们在频谱重用方式，技术实现层面等诸多不同，将两种技术相结合的进一步研究新奇关注。

超宽带技术自上世纪 90 年代起应用于民用领域之后，在国际上掀起了一股研究热潮，被认为是下一代无线通信的革命性技术。超宽带作为一种与传统技术有很大不同的无线通信技术，具有高速率，低成本，低功耗的特点，使得 UWB 成为下一代短距离高速率无线通信的最佳候选技术。超宽带技术目前可分为两类：基于窄脉冲式的冲击类 UWB 和基于调制载波扩频式的载波类 UWB。相应地，目前在国际上占主要地位的 UWB 设计方案包括直接序列 CDMA/UWB 方案和多载波 OFDM/UWB 方案。CDMA/UWB 是基于脉冲的 UWB 方案，而 OFDM/UWB 是基于多载波的 UWB 方案，它采用 OFDM 技术传输子带信息。两种技术方案各有优缺点。

认知无线电作为一种革命性智能频谱共享技术，可以显著地提高频谱的使用率，近几年受到了人们的广泛关注。认知无线电的概念是软件无线电的进一步拓展作为一种全新的智能无线通信技术，认知无线电涵盖面更为广泛，认知无线电的功能也更加强大。

桥函数系是一种由三值“ -1”、“ 0”、“ 1”元素构成的非正弦正交函数系——桥函数系，凭借它的移位参数来对序列内部零元素数目的可重构的能力和优良的抗同步误差、抗多径和多址干扰的能力，得到了越来越多的应用。桥函数序列具有的零元素数目可重构的能力，让它能根据工作的无线环境来调整码的长度、码集的大小和码型。

认知无线电的动态频谱接入技术可分为交互式接入（Overlay）和衬底式接入（Underlay）。Overlay 动态频谱接入具体来讲就是一个认知节点利用未被使用的一段频谱接入网络；这种情况对授权用户造成的干扰最小。Underlay 动态频谱接入这种方案利用了蜂窝网络的频谱扩展技术。一旦获得了频谱分配映射图（Channel Map，CM），认知节点便开始传输。在这段频谱上，授权用户把认知节点的传输当成噪声来处理。因而，这种方案需要复杂的扩频技术。与 Overlay 频谱共享方案相比，这种方案可以利用更宽的带宽。

本发明通过 MATLAB/SIMULINK 为基本仿真环境，以 Underlay 方式为接入技术，以高斯脉冲为发送脉冲，以三值桥函数序列为扩频序列，搭建起基于超宽带认知无线电的软件仿真平台，通过沃尔什序列和具有不同零相关区长度的桥函数序列作为扩频序列并对仿真结果进行对比，仿真结果表明，具有零相关区的三值桥函数序列具有比沃尔什序列具有更好的抗多径和多址干扰的能力，而且零相关区的长度越长，抗多径和多址干扰的能力也越强。

发明内容：

本发明的目的是，提供种基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台，在此平台下，从仿真结果可以看到，通过采用不同的扩频序列，具有零相关区的三值扩频序列，比沃尔什序列具有更好的抗多径干扰和抗多址干扰的能力。

为达到上述目的，本发明采用如下技术方案：

本发明基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台，是由 Source 模块，UWB Pulse Generator 模块，BPSK Modulation 模块，UWB Channel 模块，RAKE 模块，Equalizer 模块，Judging 和 Error Rate Calculation 模块构成，见图 1 所示。

其中，Source 模块为信号源，用来产生数字信号，主要由 Bernoulli Binary Generator 模块，Product 模块和 unipolar to bipolar converter 模块构成，见图 2 所示。该 Source 模块中的 Bernoulli Binary Generator 生成随机二进行制信息数据 0 和 1，并通过 unipolar to bipolar converter 变成为-1 和 1。

其中，UWB Pulse Generator 模块为高斯脉冲产生器，在该模块中，产生所需要的超宽带

（UWB）脉冲。脉冲的周期及带宽由 MATLAB 中 Workshop 工作站所定义的参数决定，并用桥函数序列矩阵优化传输波形，并输入到比例运算模块 Gain 中，由波形输出端 outWave 模块输出。输出波形在 BPSK Modulation 模块中进行 BPSK 调制。BPSK 调制模块由 MATLAB/SIMULINK 软件提供。调制后的信号送入 UWB Channel 模块中。

其中，UWB Channel 模块为 IEEE802.15.3a 所定义的标准超宽带信道，该模块提供了 IEEE802.15.3a 所定义的四种标准超宽带（UWB）信道模型，分别为 CM1，CM2，CM3，CM4。其中 CM1 是视距类型的（LOS）,信道模型为 0-4 米的室内环境，其余三种信道是非视距类型的（NLOS），其中 CM2 为 4-8 米的室内多径信道模型，CM3 为 8-12 米的室内多径信道模型，CM4 为室外信道模型。我们所构建的仿真平台中，UWB Channel 模块可以对四种信道进行选择。其中 UWB Channel 模块主要由数字滤波器，开关选择器以及对数高斯白噪声产生器组成，其结构图如图 4 所示。经过加性高斯白噪声和对数正态分布衰落的 UWB 多径信道后，输出信号是含有多条不同时延路径的能量信号，并经过 RAKE 模块。

其中，RAKE 模块采用的是 PRAKE 接收机，选择合适的最先到达的 L 条路径，用最小均方差准则进行合并，该 RAKE 模块由 MATLAB/SIMULINK 软件提供。然后在 Equalizer 模块中，采用递归最小平方均衡算法来降低多径信道的影响。

其中，Equalizer 模块为均衡器，由一组横向滤波器组成，如图 5 所示，由四个延迟单元，五个抽头和五个可调的复数乘法器（权值）组成。通过 Judging 和 Error Rate Calculation 模块计算误码率。Judging 和 Error Rate Calculation 模块由 MATLAB/SIMULINK 软件提供。

其中，BPSK Modulation 模块为 BPSK 调制模块

其中，Judging 模块为抽样判决模块

其中，Error Rate Calculation 模块为误码率计算模块

本发明基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台的设计方法，其步骤如下：

步骤一，以序列值为“+1”，“-1”的沃尔什序列和以序列值为“+1”，“0”，“-1”的桥函数序列作为扩频序列输入到所构建的仿真系统中，并通过改变桥函数序列的移位参数 j,以增大桥函数的零自相关区，从系统最后所得到的仿真结果即误码率曲线可以看到，具有零相关区的桥函数序列比沃尔什序列具有更好的误码率性能，即具有更好的抗多径干扰的能力；

步骤二，将 m 序列和桥函数序列作为扩频序列分别输入到所构建的仿真系统中，通过仿真结果可以看到，在桥函数移位参数比较小即桥函数的零相关区比较小的时候，采用 m 序列的系统比采用桥函数序列的系统抗多径干扰的能力略微要好，这是因为 m 序列的自相关函数

除零点外是一个恒定的值，而且非常接近 0，但是随着桥函数移位参数的增大，即零相关逐渐变长的情况下，采用桥函数序列作为扩频序列的系统具有更好的误码率性能；

步骤三，以上的步骤一和步骤二考虑的是单用户系统抑制多径干扰的能力；现在考虑多用户系统下采用互相关函数具有零相关的桥函序列作为扩频序列时其抑制多址干扰的能力；我们构建了一个有两个用户存在的超宽带认知无线电系统，使具有零互相关区的桥函数序列和一类特殊的互相关函数恒为 0 的桥函数智能码序列作为系统的扩频序列，仿真结果表明，随着移位参数的增大，零互相关区也越来越大，系统抑制多址干扰的能力也越来越强，当采用互相关函数恒为 0 的桥函数智能码序列时，系统的误码率性能最好，即抑制多址干扰的能力达到最好。

其中，在步骤一中所述的桥函数序列是由沃尔什函数和方块脉冲函数结合而生成的一种由“1”，“-1”，“0”构成的三值序列，有明显的零自相关区和零互相关区。而且作为桥函数中的移位参数 j 决定了桥函数的零自相关区和零互相关区的长度，随着移位参数 j 的增大，桥函数零相关区的长度也在逐渐增大，而沃尔什函数和方块脉冲函数却没有类似的性质。而大量的文献中已经证明，含有零相关区的三值扩频序列可以明显的降低多径干扰。所以在步骤一所采用的仿真过程中，我们采用了不同移位参数的桥函数序列和沃尔什序列进行对比，随着移位参数的变化，桥函数的零自相关区的长度也在逐渐增大，则系统抗多径干扰的能力也越来越强。

其中，在步骤二中所述的 m 序列是一种广为使用的扩频序列，其自相关函数除了在零点处有一个尖峰值外在其余点处是一个恒定值，而且非常接近零。当桥函数序列移位参数 j 比较小时，即零自相关区的长度比较小时，桥函数序列的抗多径干扰的能力不如 m 序列，就是因为 m 序列的自相关函数非常接近 0.当桥函数的移位参数 j 逐渐增大时，零自相关区逐渐增大，抗多径干扰能力自然逐渐增强。所以当使用零相关区比较大的桥函数序列时，其抗多径干扰的能力要比 m 序列好。在 m 序列和桥函数序列同时存在的情况下，步骤二提供了一个挑选性能更好的桥函数序列的准则。

其中，在步骤三中所述的多用户系统中，我们采用了两个用户的系统。在这个系统中，我们分别采用了普通桥函数序列和一类特殊的桥函数序列即桥函数智能码序列作为系统的扩频序列。众多参考文献已经证明，多用户系统中所存在的多址干扰由扩频序列的互相关函数决定。普通的桥函数序列族中不同序列的互相关函数具有明显的零相关区，可以降低多用户之间存在的多址干扰。而一类特殊的桥函数序列，即桥函数智能码序列其互相关函数恒为 0。

理论上可以证明，当互相关函数恒为 0 时，应具有最好的抗多址干扰的性能。我们把这类智能码序列作为扩频序列用到两用户的系统中，仿真结果验证了理论结果，采用智能码序列的系统比普通的桥函数序列具有更好的误码率性能，即更优良的抗多址干扰的能力。

本发明具有以下的优点和积极效果：

1) 本发明构建了基于直接序列 CDMA/UWB 的采用 Underlay 接入技术的认知无线电软件仿真平台。通过采用桥函数序列作为扩频序列，可以验证具有零相关区的三值序列比二值序列具有更好的抗多径干扰的能力。

2) 本发明所构建的认知无线电系统采用一种特殊的桥函数序列即智能码序列作为扩频序列，此序列的互相关函数恒为 0，可以有效地增强系统抗多址干扰的能力。

3) 设计方法简单, 仿真速度快，使用效果好。

附图说明：

图 1 为发明的单用户软件仿真系统模块框图

图 2 为 Source 模块结构图

图 3 为 UWB Pulse Generator 模块结构图

图 4 为 UWB Channel 模块结构图

图 5 为 Equalizer 模块结构图

图 6 以沃尔什序列和桥函数序列作为扩频序列时单用户系统误码率性能的对比

图 7 以 m 序列和桥函数序列作为扩频序列时单用户系统误码率性能的对比

图 8 以普通的桥函数序列作为扩频序列时多用户系统的误码率性能

图 9 以一类特殊桥函数序列即智能码序列作为扩频序列时多用户系统的误码率性能

图中符号说明如下:

图 1 中 Source 模块为信号源，用来产生数字信号；UWB Pulse Generator 模块为高斯脉冲产生器；BPSK Modulation 为 BPSK 调制模块；UWB Channel 为 IEEE802.15.3a 所定义的标准超宽带信道；RAKE 模块为 PRAKE 接收机；Equalizer 模块为均衡器；Judging 为抽样判决模块；Error Rate Calculation 为误码率计算模块。

图 2 是 Source 模块的结构图。Source 模块即信息数据源模块。Bernoulli Binary Generator 即二进制数据产生模块，Product 为乘积运算模块。unipolar to bipolar converter 为极性转换模

块。Biploar 为反极性输出，Single 为原极性输出。

图 3 是 UWB Pulse Generator 模块结构图。Plus.PnWave 为波形产生器。Signal From Workspace 为从 MATLAB 空间导入的波形数据。Gain 为比例运算模块。outWave 为输出波形端

图 4 为 UWB Channel 模块结构图。In1 为输入端。Digital Filter 为数字滤波器。WAGN 为高斯白噪声。IN/Var AWGN 为对数高斯白噪声及其方差。Channel.SNR 为信道的信噪比参数。Switch 为开关选择器。Out2 为 UWB Channel 模块的输出端。

图 5 为 Equalizer 模块结构图。Equalizer 模块由一组横向滤波器组成，由四个延迟单元，五个抽头和五个可调的复数乘法器（权值）组成。Tbout 为 Equalizer 模块输入端，Requa 为 Equalizer 模块输出端

图 6 是沃尔什序列和桥函数序列抗多径干扰能力的对比。smart code in I 代表第一类桥函数智能码序列。因为图 2 和图 3 比较的是单用户的情况下系统抗多径干扰的能力，而普通桥函数序列和第一类桥函数智能码序列在零自相关区上的性质相同，所以在单用户情况下我们采用第一类桥函数智能码序列代替普通桥函数序列。横坐标 Eb/No 表示信噪比；纵坐标 Bit Error Rate 表示误码率；j 为桥函数的移位参数，随着移位参数的增大，桥函数的零相关区也逐渐增大。

图 7 是 m 序列和桥函数序列抗多径干扰能力的对比。横坐标 Eb/No 表示信噪比；纵坐标 Bit Error Rate 表示误码率；j 为桥函数的移位参数，随着移位参数的增大，桥函数的零相关区也逐渐增大。

图 8 和图 9 是两个用户存在的情况下系统误码率仿真图。图 4 中采用的扩频序列是普通的桥函数序列，图 5 中采用的扩频序列是特殊的桥函数序列，即桥函数智能码序列，其互相关函数恒为 0。横坐标 Eb/No 表示信噪比；纵坐标 Bit Error Rate 表示误码率。

具体实施方式：

本发明基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台，是由 Source 模块，UWB Pulse Generator 模块，BPSK Modulation 模块，UWB Channel 模块，RAKE 模块，Equalizer 模块，Judging 和 Error Rate Calculation 模块构成，见图 1 所示。

其中，Source 模块为信号源，用来产生数字信号，主要由 Bernoulli Binary Generator 模块，Product 模块和 unipolar to bipolar converter 模块构成，见图 2 所示。该 Source 模块中的 Bernoulli

Binary Generator 生成随机二进行制信息数据 0 和 1，并通过 unipolar to bipolar converter 变成为-1 和 1。

其中，UWB Pulse Generator 模块为高斯脉冲产生器，在该模块中，产生所需要的超宽带（UWB）脉冲。脉冲的周期及带宽由 MATLAB 中 Workshop 工作站所定义的参数决定，并用桥函数序列矩阵优化传输波形，并输入到比例运算模块 Gain 中，由波形输出端 outWave 模块输出。输出波形在 BPSK Modulation 模块中进行 BPSK 调制。BPSK 调制模块由 MATLAB/SIMULINK 软件提供。调制后的信号送入 UWB Channel 模块中。

其中，UWB Channel 模块为 IEEE802.15.3a 所定义的标准超宽带信道，该模块提供了 IEEE802.15.3a 所定义的四种标准超宽带（UWB）信道模型，分别为 CM1，CM2，CM3，CM4。其中 CM1 是视距类型的（LOS）,信道模型为 0-4 米的室内环境，其余三种信道是非视距类型的（NLOS），其中 CM2 为 4-8 米的室内多径信道模型，CM3 为 8-12 米的室内多径信道模型，CM4 为室外信道模型。我们所构建的仿真平台中，UWB Channel 模块可以对四种信道进行选择。其中 UWB Channel 模块主要由数字滤波器，开关选择器以及对数高斯白噪声产生器组成，其结构图如图 4 所示。经过加性高斯白噪声和对数正态分布衰落的 UWB 多径信道后，输出信号是含有多条不同时延路径的能量信号，并经过 RAKE 模块。

其中，RAKE 模块采用的是 PRAKE 接收机，选择合适的最先到达的 L 条路径，用最小均方差准则进行合并，该 RAKE 模块由 MATLAB/SIMULINK 软件提供。然后在 Equalizer 模块中，采用递归最小平方均衡算法来降低多径信道的影响。

其中，Equalizer 模块为均衡器，由一组横向滤波器组成，如图 5 所示，由四个延迟单元，五个抽头和五个可调的复数乘法器（权值）组成。通过 Judging 和 Error Rate Calculation 模块计算误码率。Judging 和 Error Rate Calculation 模块由 MATLAB/SIMULINK 软件提供。

其中，BPSK Modulation 模块为 BPSK 调制模块

其中，Judging 模块为抽样判决模块

其中，Error Rate Calculation 模块为误码率计算模块

本发明基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台的设计方法，其步骤如下：

步骤一，以序列值为“+1”，“-1”的沃尔什序列和以序列值为“+1”，“0”，“-1”的桥函数序列作为扩频序列输入到所构建的仿真系统中，并通过改变桥函数序列的移位参数 j,以增大桥函数的零自相关区，从系统最后所得到的仿真结果即误码率曲线可以看到，具有零相关

区的桥函数序列比沃尔什序列具有更好的误码率性能，即具有更好的抗多径干扰的能力；

步骤二，将 m 序列和桥函数序列作为扩频序列分别输入到所构建的仿真系统中，通过仿真结果可以看到，在桥函数移位参数比较小即桥函数的零相关区比较小的时候，采用 m 序列的系统比采用桥函数序列的系统抗多径干扰的能力略微要好，这是因为 m 序列的自相关函数除零点外是一个恒定的值，而且非常接近 0，但是随着桥函数移位参数的增大，即零相关区逐渐变长的情况下，采用桥函数序列作为扩频序列的系统具有更好的误码率性能；

步骤一和步骤二考虑的都是单用户系统，具体按下述方式进行：

讨论单用户 DS - UWB 系统。在图 **1** 中，Data Source 子系统中的 Bernoulli Binary Generator 生成随机二进行制信息数据 0 和 1 并通过 unipolar to bipolar converter 模块变成为-1 和 1。在 UWB 脉冲产生器子系统中，产生高斯脉冲波形。输出波形在 Data Modulation 子系统中的进行 BPSK 调制。则传输信号可表示为

$$s(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty} d_{\left[\frac{n}{G}\right]} c_n p(t-nT_c) \tag{1}$$

$p(t)$ 为归一化脉冲波形，持续时间为 T_c；c_n 是周期为 G 的扩频码，符号周期为 $T_s=GT_c$，因此扩频增益为 G。把调制信号送往标准的超宽带信道（SV/IEEE 802.15.3a）

$$h(t)=\sum_{l=0}^{L-1}\sum_{k=0}^{K-1}\alpha_{k,l}(t-T_l-\tau_{k,l}) \tag{2}$$

其中 L 为簇的个数，K为簇内射线的个数。$\alpha_{k,l}$ 是多径增益，T_l 是第 l 簇的延时，$\tau_{k,l}$ 是第 l 簇内第 k 条射线的相对延时.为方便下面的推导，可以采用式上的简化形式

$$h(t)=\sum_{l=0}^{KL-1}\alpha_{l'}\delta(t-\tau_{l'}) \tag{3}$$

容易看出 $l'=lK+k$，$\alpha_{l'}=\alpha_k$，$\tau_{l'}=T_l+\tau_{k,l}$ 接收信号为

$$r(t)=s(t)*h(t)+n(t)=\sum_{l=0}^{KL-1}\alpha_{l'}\sum_{n=-\infty}^{\infty} d_{\left[\frac{n}{G}\right]} c_n p(t-\tau_{l'}-nT_c)+n(t) \tag{4}$$

接收信号是含有多条不同时延路径的能量信号，采用 PRAKE 接收机，选择合适的最先到达的 L 条路径，用最小均方差准则进行合并，然后在 Equalizer 模块中，采用递归最小平方均衡算法来降低多径信道的影响。

经过一系列的推到计算，得出，多径干扰的方差为

$$\sigma^2_{MPI}=\frac{1}{G^2}\sum_{l=0}^{N-1}\sum_{\substack{k=0\\M+K\neq m}}^{M-1} le^{-M\Delta\tau/\Gamma}e^{-k\Delta\tau/\gamma}(R_c^2(m-M-k)+\boxed{R}_c^2(m-M-k)) \quad (5)$$

$R_c(\tau)$ 为扩频码的自相关数, $\boxed{R}_c(\tau)=R_c(T_s-\tau)$

最后,根据BPSK误码率公式可以得到与第m 条多径同步的匹配滤波器接收机的错误概率

$$P_e=Q\left[\sqrt{\frac{2E_m}{\sigma_M PI^2+N_0/2}}\right] \quad (6)$$

E_m 为第m条多径每个符号的接收能量, 其中

$$Q(a)=\int_a^{\infty}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-x^2/2}dx \quad (7)$$

由(5), (6). (7)式综合可得, 因为 $R_c(\tau)$ 为为扩频码的自相关数, 由于智能码序列着 k 值的增大, 零相关区逐渐变长, 由(7)式可知, 误码率性能越来越好. 图 2、3 可以很好的说明这个问题。

步骤三，以上的步骤一和步骤二考虑的是单用户系统抑制多径干扰的能力；现在考虑多用户系统下采用互相关函数具有零相关的桥函序列作为扩频序列时其抑制多址干扰的能力；我们构建了一个有两个用户存在的超宽带认知无线电系统，使具有零互相关区的桥函数序列和一类特殊的互相关函数恒为 0 的桥函数智能码序列作为系统的扩频序列，仿真结果表明，随着移位参数的增大，零互相关区也越来越大，系统抑制多址干扰的能力也越来越强，当采用互相关函数恒为 0 的桥函数智能码序列时，系统的误码率性能最好，即抑制多址干扰的能力达到最好。

发射机部分与单用户系统类似，只是多了一个用户，在此不再赘述，现只考虑接收机部分。具体按下述方式进行：

接受机的接受信号可以表达为如下形式

$$r(t)=\sum_{k=1}^{N_u}s^{(k)}_{rec}(t)+n(t) \quad (8)$$

其中 n(t) 是加性高斯白噪声， N_u 是用户数目

在多径环境下

$$s^{(k)}_{rec}(t)=\sqrt{E_p}\sum_{j=-\infty}^{\infty}\sum_{n=0}^{N_s-1}\sum_{l=0}^{L-1}a_l^{(k)}d_j^{(k)}g_n^{(k)}w_{rec}(t^{(k)}-jT_f-nT_c-\tau_l) \quad (9)$$

其中 E_p 是脉冲能量， a_l^k 是第 l 条路径的信道系数 ， $\tau_l^{(k)}$ 是多径延迟.

P-Rake 接收机的第 l 个相关器的模板信号可以写为如下表达式

$$V_l(t)=\sum_{n=0}^{N_s-1} g_n^{(k)} w_{rec}(t^l - jT_f - nT_c - \hat{\tau}_l) \tag{10}$$

其中 $g_n^{(k)}$ 是本地产生的伪随机序列，$\hat{\tau}_l$ 是第 l 条路径的信道估计延迟

当信号通过 L 个相关器，第 k 个用户的信号的表达式为

$$r_l^{(k)} = \int_{jT_f}^{jT_f+(N_s-1)T_c} s_{rec}^{(k)}(t)v(t)dt$$

$$=\int_{jT_f}^{jT_f+(N_s-1)T_c}(\sqrt{E_p}\sum_{j=-\infty}^{\infty}\sum_{n=0}^{N_s-1}\sum_{l=0}^{L-1}a_l^{(k)}d_j^{(k)}g_n^{(k)}w_{rec}(t^{(k)}-jT_f-nT_c-\tau_l))(\sum_{n=0}^{N_s-1}g_n^{(k)}w_{rec}(t^l-jT_f-nT_c-\hat{\tau}_l))dt$$

$$=A\sum_{n=0}^{N_s-1}g_n^{(k)}g_n^{(l)}R(\Delta)\sum_{l=0}^{L-1}\gamma_l \tag{11}$$

其中 $A=\sqrt{E_p}N_s\sum_{j=-\infty}^{\infty}d_j^{(k)}\sum_{l=0}^{L-1}a_l^{(k)}$，$R(\Delta)=\int_0^{T_c}(w_{rec}(t^{(k)}-jT_f-nT_c-\tau_l))(w_{rec}(t^l-jT_f-nT_c-\hat{\tau}_l))dt$，$\gamma_l$ 是权重估计器的估计值

第 k 个用户多址干扰的表达式为

$$MAI=A^2(R(\Delta))^2(\sum_{n=0}^{N_s-1}g_n^{(k)}g_n^{(l)})^2(\sum_{l=0}^{L-1}\gamma_l)^2=A^2(R(\Delta))^2R_{lk}(\tau)^2(\sum_{l=0}^{L-1}\gamma_l)^2 \quad =A^2\sigma_{MAI}(\sum_{l=0}^{L-1}\gamma_l)^2 \tag{12}$$

其中 $\sigma_{MAI}=(R(\Delta))^2R_{lk}(\tau)^2$ 并且 $R_{lk}(\tau)$ 是扩频序列的互相关函数

当通过 L 个相关器之后，高斯白噪声的表示式为

$$n^2=\sigma_n^2N_s^2R^2(0)(\sum_{l=0}^{L-1}\gamma_l)^2 \tag{13}$$

根据标准高斯估计，误码率公式的表达式可写为

$$P_e=Q\left[\sqrt{\frac{E_pN_S^2R^2(0)(\sum_{l=0}^{L-1}\gamma_la_l^k)^2}{E_pN_S^2\sigma_{MAI}(\sum_{l=0}^{L-1}\gamma_la_l^{(k)})^2+\sigma_n^2N_S^2R^2(0)(\sum_{l=0}^{L-1}\gamma_l)^2}}\right] \tag{14}$$

由式（14）可以看到，扩频序列的互相关函数越小，系统的误码率性能越好，即系统抑制多址干扰的能力也越强。图 4 与图 5 对比可以很好的说明这个问题。图 4 是以普通的桥函数序列作为扩频序列时多用户系统的误码率性能。图 5 是以一类特殊桥函数序列即智能码序列作为扩频序列时多用户系统的误码率性能。由两图对比可得，采用互相关函数恒为 0 的桥函数智能码序列比普通的桥函数序列具有更好的误码率性能，即更好的抗多址干扰的能力。

权 利 要 求 书

1.一种基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台，其特征在于：它是由 Source 模块、UWB Pulse Generator 模块、BPSK Modulation 模块、UWB Channel 模块、RAKE 模块、Equalizer 模块、Judging 和 Error Rate Calculation 模块构成；

其中，Source 模块为信号源，用来产生数字信号，由 Bernoulli Binary Generator 模块、Product 模块和 unipolar to bipolar converter 模块构成； 该 Source 模块中的 Bernoulli Binary Generator 生成随机二进行制信息数据 0 和 1，并通过 unipolar to bipolar converter 变成为-1 和 1；

其中，UWB Pulse Generator 模块为高斯脉冲产生器，在该模块中，产生所需要的超宽带即 UWB 脉冲，脉冲的周期及带宽由 MATLAB 中 Workshop 工作站所定义的参数决定，并用桥函数序列矩阵优化传输波形，并输入到比例运算模块 Gain 中，由波形输出端 outWave 模块输出；输出波形在 BPSK Modulation 模块中进行 BPSK 调制；BPSK 调制模块由 MATLAB/SIMULINK 软件提供；调制后的信号送入 UWB Channel 模块中；

其中，UWB Channel 模块为 IEEE802.15.3a 所定义的标准超宽带信道，该模块提供了 IEEE802.15.3a 所定义的四种标准超宽带即 UWB 信道模型，分别为 CM1，CM2，CM3，CM4；其中 CM1 是视距类型的即 LOS,信道模型为 0-4 米的室内环境，其余三种信道是非视距类型的即 NLOS，其中 CM2 为 4-8 米的室内多径信道模型，CM3 为 8-12 米的室内多径信道模型，CM4 为室外信道模型。我们所构建的仿真平台中，UWB Channel 模块可以对四种信道进行选择；其中 UWB Channel 模块主要由数字滤波器，开关选择器以及对数高斯白噪声产生器组成，经过加性高斯白噪声和对数正态分布衰落的 UWB 多径信道后，输出信号是含有多条不同时延路径的能量信号，并经过 RAKE 模块；

其中，RAKE 模块采用的是 PRAKE 接收机，选择合适的最先到达的 L 条路径，用最小均方差准则进行合并，该 RAKE 模块由 MATLAB/SIMULINK 软件提供；然后在 Equalizer 模块中，采用递归最小平方均衡算法来降低多径信道的影响；

其中，Equalizer 模块为均衡器，由一组横向滤波器组成，由四个延迟单元，五个抽头和五个可调的复数乘法器即权值组成；通过 Judging 和 Error Rate Calculation 模块计算误码率；Judging 和 Error Rate Calculation 模块由 MATLAB/SIMULINK 软件提供。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台，

其特征在于：该 BPSK Modulation 模块为 BPSK 调制模块。

3. 根据权利要求 1 所述的一种基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台，其特征在于：该 Judging 模块为抽样判决模块。

4. 根据权利要求 1 所述的一种基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台，其特征在于：该 Error Rate Calculation 模块为误码率计算模块。

5.一种基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台的设计方法，其特征在于：其步骤如下：

步骤一，以序列值为“+1”，“-1”的沃尔什序列和以序列值为“+1”，“0”，“-1”的桥函数序列作为扩频序列输入到所构建的仿真系统中，并通过改变桥函数序列的移位参数 j,以增大桥函数的零自相关区，从系统最后所得到的仿真结果即误码率曲线可以看到，具有零相关区的桥函数序列比沃尔什序列具有更好的误码率性能，即具有更好的抗多径干扰的能力；

步骤二，将 m 序列和桥函数序列作为扩频序列分别输入到所构建的仿真系统中，通过仿真结果可以看到，在桥函数移位参数比较小即桥函数的零相关区比较小的时候，采用 m 序列的系统比采用桥函数序列的系统抗多径干扰的能力略微要好，这是因为 m 序列的自相关函数除零点外是一个恒定的值，而且非常接近 0，但是随着桥函数移位参数的增大，即零相关区逐渐变长的情况下，采用桥函数序列作为扩频序列的系统具有更好的误码率性能；

步骤三，以上的步骤一和步骤二考虑的是单用户系统抑制多径干扰的能力；现在考虑多用户系统下采用互相关函数具有零相关区的桥函序列作为扩频序列时其抑制多址干扰的能力；我们构建了一个有两个用户存在的超宽带认知无线电系统，使具有零互相关区的桥函数序列和一类特殊的互相关函数恒为 0 的桥函数智能码序列作为系统的扩频序列，仿真结果表明，随着移位参数的增大，零互相关区也越来越大，系统抑制多址干扰的能力也越来越强，当采用互相关函数恒为 0 的桥函数智能码序列时，系统的误码率性能最好，即抑制多址干扰的能力达到最好。

6. 根据权利要求 5 所述的一种基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台的设计方法，其特征在于：在步骤一中所述的桥函数序列是由沃尔什函数和方块脉冲函数结合而生成的一种由“1”，“-1”，“0”构成的三值序列，有明显的零自相关区和零互相关区；而且作为桥函数中的移位参数 j 决定了桥函数的零自相关区和零互相关区的长度，随着移位参数 j 的增大，桥函数零相关区的长度也在逐渐增大，而沃尔什函数和方块脉冲函数却没有类似的性质；而大量的文献中已经证明，含有零相关区的三值扩频序列可以明显的降低多径干

扰；所以在步骤一所采用的仿真过程中，我们采用了不同移位参数的桥函数序列和沃尔什序列进行对比，随着移位参数的变化，桥函数的零自相关区的长度也在逐渐增大，则系统抗多径干扰的能力也越来越强。

7. 根据权利要求 5 所述的一种基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台的设计方法，其特征在于：在步骤二中所述的 m 序列是一种广为使用的扩频序列，其自相关函数除了在零点处有一个尖峰值外在其余点处是一个恒定值，而且非常接近零；当桥函数序列移位参数 j 比较小时，即零自相关区的长度比较小时，桥函数序列的抗多径干扰的能力不如 m 序列，就是因为 m 序列的自相关函数非常接近 0.当桥函数的移位参数 j 逐渐增大时，零自相关区逐渐增大，抗多径干扰能力自然逐渐增强；所以当使用零相关区比较大的桥函数序列时，其抗多径干扰的能力要比 m 序列好；在 m 序列和桥函数序列同时存在的情况下，步骤二提供了一个挑选性能更好的桥函数序列的准则。

8. 根据权利要求 5 所述的一种基于直接序列 CDMA/UWB 的认知无线电软件仿真平台的设计方法，其特征在于：在步骤三中所述的多用户系统中，我们采用了两个用户的系统；在这个系统中，我们分别采用了普通桥函数序列和一类特殊的桥函数序列即桥函数智能码序列作为系统的扩频序列；众多参考文献已经证明，多用户系统中所存在的多址干扰由扩频序列的互相关函数决定；普通的桥函数序列族中不同序列的互相关函数具有明显的零相关区，可以降低多用户之间存在的多址干扰；而一类特殊的桥函数序列，即桥函数智能码序列其互相关函数恒为 0；理论上可以证明，当互相关函数恒为 0 时，应具有最好的抗多址干扰的性能；我们把这这类智能码序列作为扩频序列用到两用户的系统中，仿真结果验证了理论结果，采用智能码序列的系统比普通的桥函数序列具有更好的误码率性能，即更优良的抗多址干扰的能力。

说 明 书 附 图

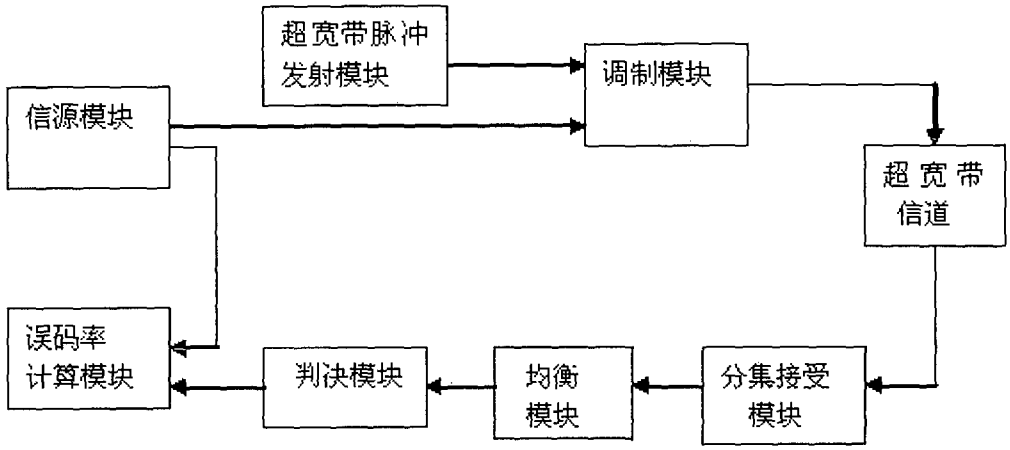


图 1

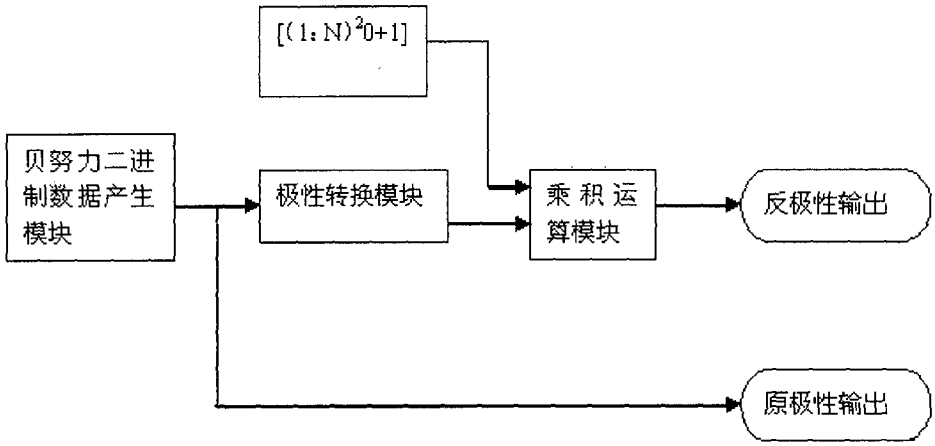


图 2

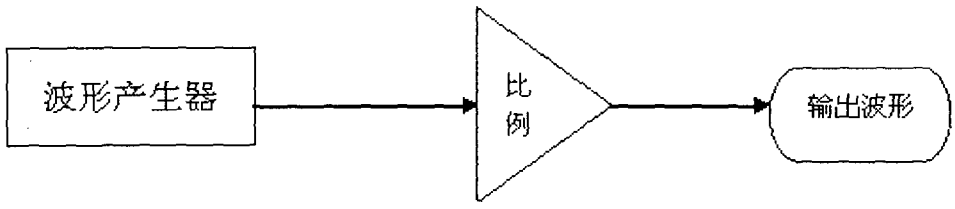


图 3

替换页(细则第26条)

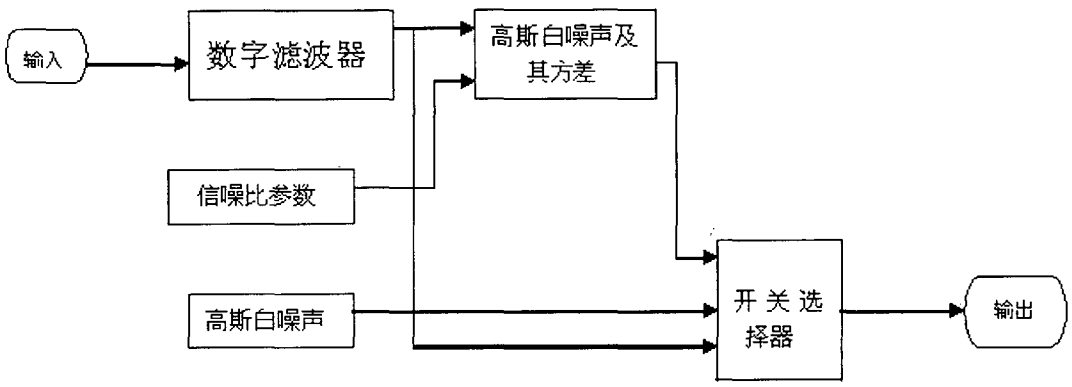


图 4

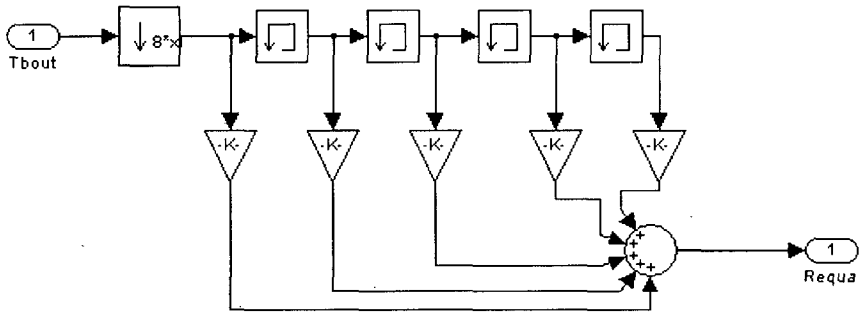


图 5

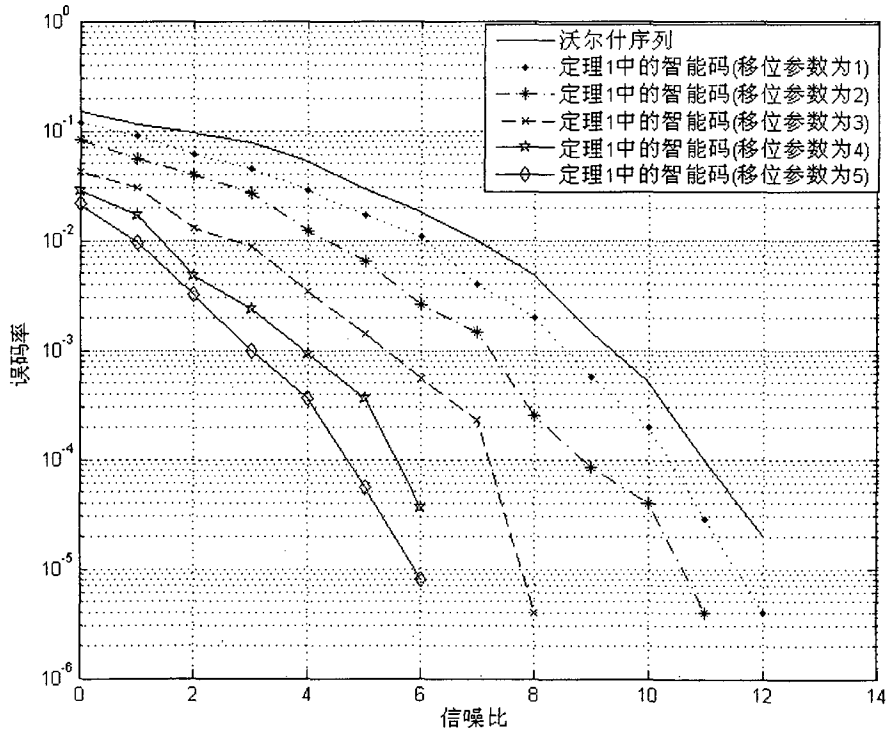


图 6

替换页(细则第26条)

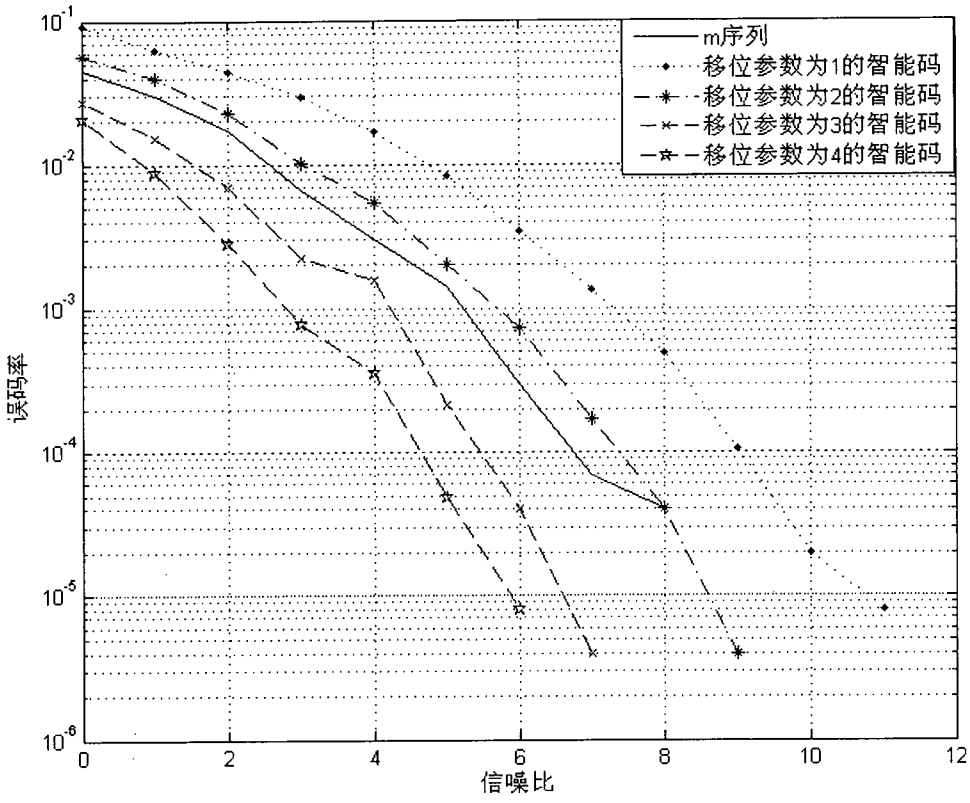

m序列
移位参数为1的智能码
移位参数为2的智能码
移位参数为3的智能码
移位参数为4的智能码
误码率
信噪比
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
10^-5
10^-6
0
2
4
6
8
10
12

图 7

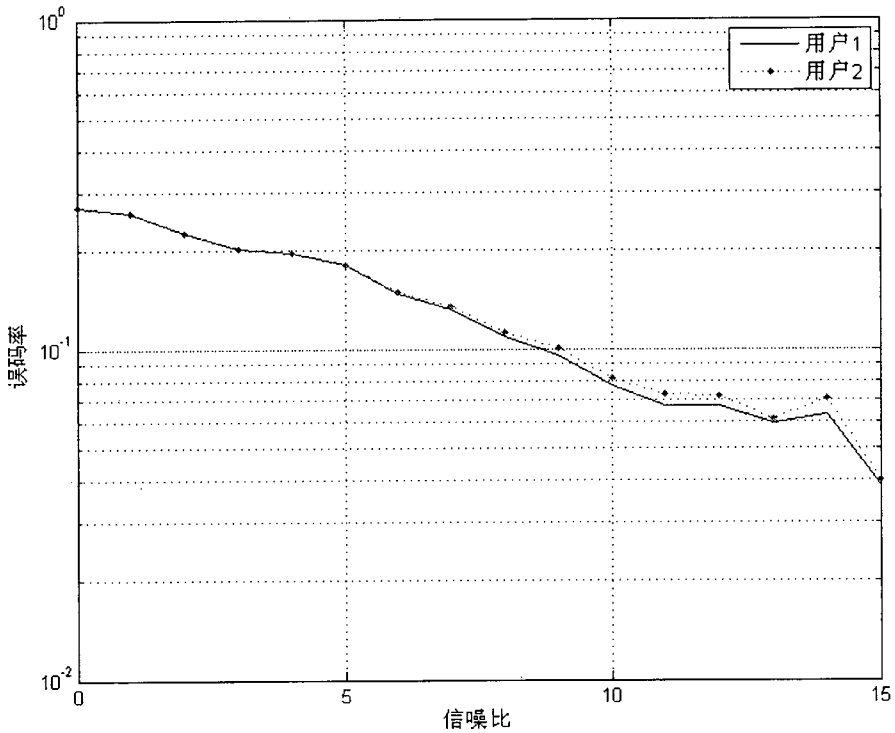


图 8

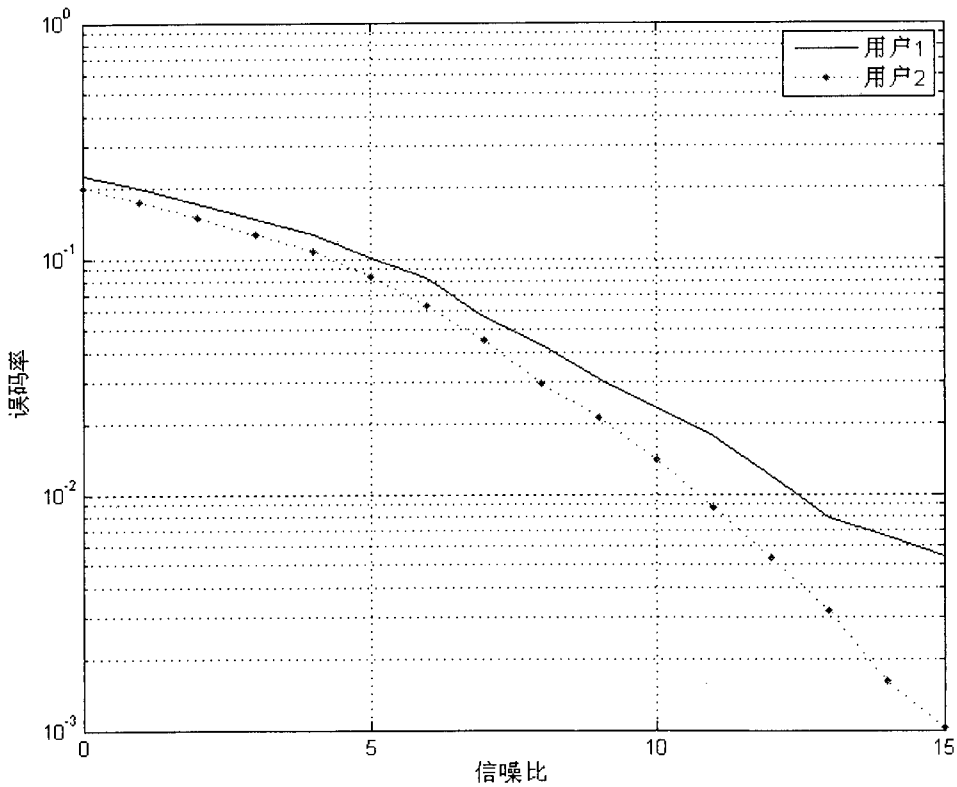


图 9

替换页(细则第26条)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2011/000310

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B1/7115(2011.01)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)

IPC: H04B, 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)
CNPAT,WPI,EPODOC,IEEE,CNKI: hong sheng, zhang fengyuan, uwb, direct sequence, ultra wideband, cr, cognitive radio, simulator, platform, bridge, Gaussian, pulse, spread spectrum, zero correlation zone, zcz, interference

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	HONG, Sheng et al. A New Direct-sequence UWB Transceiver Based on Bridge Function Sequence. 2010 Second International Conference on CINC. 13 Sep. 2010-14 Sep. 2010 (13.09.2010-14.09.2010), pages 209-212	1-8
A	CN101515915A (UNIVERSITY BEIJING TECH.) 26 Aug. 2009 (26.08.2009) the whole document	1-8
A	EP1770869A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 04 Apr. 2007 (04.04.2007) the whole document	1-8

☐ 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	Date of mailing of the international search report
13 Jul. 2011 (13.07.2011)	**01 Sep. 2011 (01.09.2011)**
Name and mailing address of the ISA/CN The State Intellectual Property Office, the P.R.China 6 Xitucheng Rd., Jimen Bridge, Haidian District, Beijing, China 100088 Facsimile No. 86-10-62019451	Authorized officer LI, Wenjuan Telephone No. (86-10)62413521

Form PCT/ISA /210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2011/000310

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN101515915A	26.08.2009	none	
EP1770869A1	04.04.2007	JP2007097186A	12.04.2007
		US2007081613A1	12.04.2007
		KR100686738B1	26.02.2007
		DE602006008235E	17.09.2009

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2011/000310

A. 主题的分类

H04B1/7115(2011.01)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)

IPC: H04B, 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）)

CNPAT,WPI,EPODOC,IEEE,CNKI:洪晟，张凤元，直接序列，uwb，超宽带，认知无线电，cr，仿真，平台，桥，高斯，脉冲，扩频，零相关区，干扰，hong sheng, zhang fengyuan, direct sequence, ultra wideband, cognitive radio, simulator, platform, bridge, Gaussian, pulse, spread spectrum, zero correlation zone, zcz, interference

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
X	洪晟等. A New Direct-sequence UWB Transceiver Based on Bridge Function Sequence. 2010 Second International Conference on CINC. 13.9 月 2010-14.9 月 2010 (13.09.2010-14.09.2010)，第 209-212 页	1-8
A	CN101515915A (北京理工大学) 26.8 月 2009 (26.08.2009) 全文	1-8
A	EP1770869A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 04.4 月 2007 (04.04.2007) 全文	1-8

☐ 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	国际检索报告邮寄日期
13.7 月 2011 (13.07.2011)	**01.9 月 2011 (01.09.2011)**
ISA/CN 的名称和邮寄地址： 中华人民共和国国家知识产权局 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 李文娟 电话号码：(86-10) **62413521**

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2011/000310

检索报告中引用的专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN101515915A	26.08.2009	无	
EP1770869A1	04.04.2007	JP2007097186A	12.04.2007
		US2007081613A1	12.04.2007
		KR100686738B1	26.02.2007
		DE602006008235E	17.09.2009