

(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
2019 年 5 月 31 日 (31.05.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/101032 A1

(51) 国际专利分类号:
H04B 13/02 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/116144

(22) 国际申请日: 2018 年 11 月 19 日 (19.11.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201711170818.8 2017 年 11 月 22 日 (22.11.2017) 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路 25 号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。

(72) 发明人: 余华(YU, Hua); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路 25 号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 周永进(ZHOU, Yongjin); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路 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路 25 号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 陈芳炯(CHEN, Fangjiong); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路 25 号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。

(74) 代理人: 广州市华学知识产权代理有限公司(GUANGZHOU HUAXUE INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国广东省广州市天河区五山路 381 号物资大楼首层, Guangdong 510640 (CN)。

(54) **Title:** SUB-BAND SELECTION ACTIVATION-BASED MULTI-BAND HYPERBOLIC FREQUENCY MODULATION SPREAD SPECTRUM UNDERWATER ACOUSTIC COMMUNICATION METHOD

(54) 发明名称: 一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法

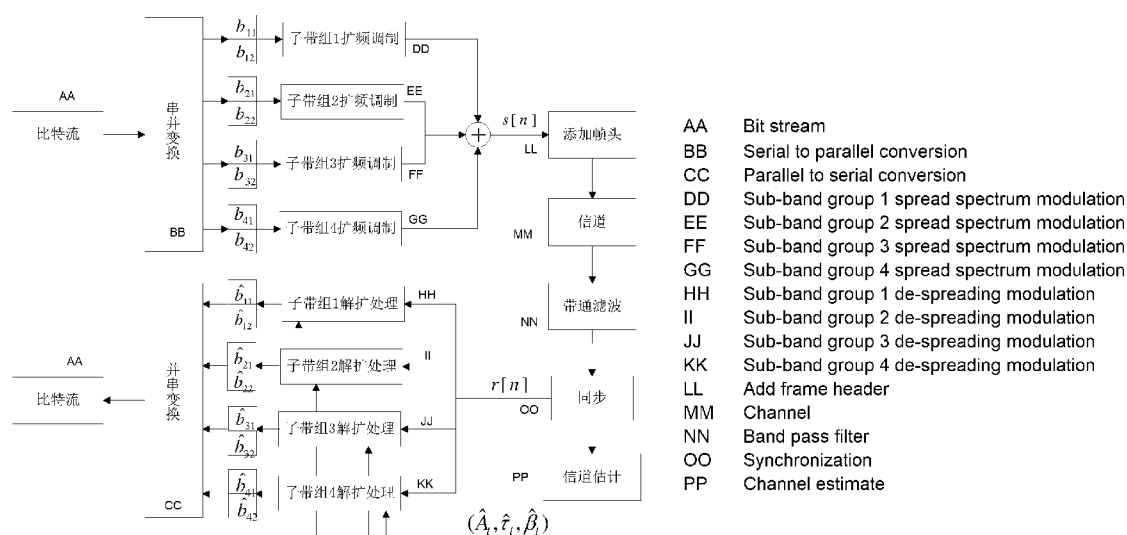


图 1

(57) **Abstract:** Disclosed by the present invention is a sub-band selection activation-based multi-band hyperbolic frequency modulation spread spectrum underwater acoustic communication method. The present invention discloses: dividing the available bandwidth of an underwater acoustic system into a plurality of sub-bands, performing hyperbolic frequency modulation on each of the sub-bands respectively, and performing spread spectrum modulation on the plurality of sub-bands within the same frequency modulation cycle, thus implementing multi-band parallel transmission. Hence, during each frequency modulation cycle, the divided plurality of sub-bands

(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, 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))。

is grouped, and each sub-band group activates different sub-bands for transmission according to different options for transmitting data. Compared to other underwater acoustic hyperbolic frequency modulation communication solutions, the present invention further improves the frequency band utilization of the system, and the energy efficiency is also improved.

(57) 摘要: 本发明公开了一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法。本发明提出了将水声系统可用带宽划分为多个子带, 每个子带分别进行双曲调频, 在同一个调频周期内, 对多个子带进行扩频调制, 实现多带并行传输。在此基础之上, 在每个调频周期内, 将划分的多个子带进行分组, 每个子带组根据传输数据的不同选择激活不同的子带进行传输。相对于其他的水声双曲调频通信方案, 本发明进一步提高了系统的频带利用率, 同时能量效率也有所改善。

一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法

技术领域

本发明涉及水声通信领域，具体涉及一种基于子带选择激活（Sub-band selection activation）的多带双曲调频扩频（Hyperbolic Frequency Modulated）水声通信方法。

背景技术

水声信道具有其特殊性和复杂性，表现在其严重的多途效应、时变特性以及带限特性等方面。近年来持续发展的水声相干通信在提高频带利用率和信息传输速率上，较非相干通信有着较明显的优势。然而严重的多径与时变性，是水声相干通信主要的制约因素，与此同时在信噪比较低的环境下，较难确保通信的可靠性。

扩展频谱（spread spectrum, SS）技术是一种能有效对抗干扰的技术，在信道多径严重的环境中，要求通信系统要具备较强的鲁棒性，此时采用扩频通信方式是一种较好的选择。传统的扩频方式有直接序列扩频，跳变频率扩频，跳变时间扩频以及混合扩频等。后续，又有人提出了线性调频（Linear Frequency Modulated）扩频以及双曲调频扩频。本发明中选取双曲调频信号作为扩频信号。双曲调频作为水声扩频通信（Underwater acoustic spread spectrum communication）方式，具备其独特的优势。

为了便于对后续算法的理解，双曲调频信号模型如下所示：

双曲调频（HFM）信号，可以定义为

$$x(t) = \exp\left(j \frac{2\pi}{k} \ln(1 + kf_0 t)\right), \quad 0 \leq t \leq T$$

其中 $k = \frac{B}{Tf_0f_1}$ 表示调频率， B 表示带宽（调频区间）， f_0 表示起始频率， $f_1 = f_0 + B$

表示终止频率， T 表示 HFM 信号持续周期。HFM 信号的瞬时频率为相位对时间取导数，

$$f(t) = \frac{1}{kt + f_0^{-1}}$$

这是一个关于时间 t 的双曲函数，因此该信号被称为双曲调频信号。双曲调频信号具有良好的脉冲压缩性和多普勒宽容性。其脉冲压缩性体现在，接收信号经过匹配滤波能够形成主瓣尖锐、旁瓣迅速衰弱的脉冲，因此具备良好的抗噪性能。与此同时，在信号传输过程中，由于相对运动会造成多普勒效应，信号会产生时间上的压缩或者扩展。在信号经历了多普勒效应之后，接收端经过匹配滤波依旧可以较好的形成脉冲，则认为该信号具有多普勒宽容性。

对于一个 HFM 信号而言，假如经历一个尺度为 α 的多普勒扩展或者压缩。接收 HFM 信号可以表达为

$$r(t) = x(\alpha t) = \exp\left(j \frac{2\pi}{k} \ln(k\alpha t + f_0^{-1})\right)$$

此时信号的瞬时频率变为

$$f'(t) = \frac{\alpha}{k\alpha t + f_0^{-1}}$$

这里我们可以找到一个合适的 Δt ，使得 $f'(t - \Delta t) = f(t)$ ，即

$$\frac{1}{kt + f_0^{-1}} = \frac{\alpha}{k\alpha(t - \Delta t) + f_0^{-1}}$$

$$\Delta t = \frac{1 - \alpha}{\alpha k f_0}$$

由此可见时延 Δt 是一个由尺度因子决定并与时间无关的常数，如此一来，HFM 信号在经历了多普勒效应之后，只是产生了一个时间上的平移，这样在接收端进行匹配滤波，依旧可以形成良好的脉冲，只是脉冲的位置会平移 Δt ，因此 HFM 信号具备多普勒宽容性。

使用 HFM 进行扩频通信虽然能增强抗干扰能力和抗多普勒效应，但是面临的一个比较严重的问题是频带利用率比较低，因此如何提高 HFM 扩频通信的

频带利用率是值得研究的问题。

本发明所述的一种结合多带传输与载波组合的双曲调频扩频通信方案，正是基于如上所述的信号模型和背景所提出的。

发明内容

本发明的目的在于基于 HFM 信号提出了一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法，通过将单带传输扩展到多带传输，同时在一个调频周期内，将多个子带进行分组处理，每个子带组选择激活不同的子带用于传输，以形成不同的子带组合方案用于携带信息，以此提高频带利用率。

对一般的 HFM 扩频通信方案而言，把系统可用带宽用于单个 HFM 调频信号，每个调频周期内，利用该调频信号进行扩频调制携带信息，这样系统的频带利用率比较低。

本发明的目的通过以下技术方案实现。

一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法，主要包括以下步骤：

- S1、将通信系统带宽分为多个子带，分别进行双曲调频；
- S2、数据、子带进行分组，确定子带激活方案，并进行信号调制；
- S3、对完成调制的信号添加帧头；
- S4、接收端对接收信号进行预处理，同步，信道估计；
- S5、计算子带检测与解调所需要的相关值；
- S6、激活子带检测；
- S7、激活子带解调。

上述方法中，具体包括如下步骤：

S1、首先将系统可用带宽 $B = f_1 - f_0$ （最高频率-最低频率）分为 K 个子带，每个子带带宽为 $\frac{B}{K}$ ，分别对每个子带进行双曲调频，后续用于扩频调制。第

$k(1 \leq k \leq K)$ 个子带对应的双曲调频信号为。

$$x_k[n] = \exp\left(j \frac{2\pi}{\alpha_k} \ln(1 + \alpha_k f_{k0} n)\right) \quad n = 0, \Lambda, N-1$$

$$\text{其中 } \alpha_k = \frac{K}{k(k-1)BT}, \quad f_{k0} = f_0 + (k-1) \frac{B}{K}。$$

S2、确定子带激活方案，并进行信号调制。将发送数据中每 K 个比特调制一个多带双曲调频扩频符号上。每 K 个比特分成 Q 组，与 Q 个子带组相对应，每组 2 个比特。每组的 2 个比特用于控制该组子带载波的激活以及每个激活子带载波的调制，激活方案如下。

每组 2 个比特中的第 1 个比特为 0 时，激活每组的第 1 个子带进行传输，当该比特为 1 时激活该组第 2 个子带进行传输。

每组 2 个比特中的第 2 个比特则采用 BPSK 符号映射，对该激活的子带载波信号进行调制。

记第 j ($j=1, \dots, Q$) 组的 2 个比特为 $b_{j1}b_{j2}$ ，则当前多带双曲调频扩频符号帧的发送信号表示为

$$s[n] = \sum_{j=1}^Q (2b_{j2} - 1)x_{k_j}[n] \quad n = 0, \Lambda, N-1$$

其中 $k_j = 2j + b_{j1} - 1$ 为第 j 组激活的子带编号，上式中 $2b_{j2} - 1$ 表示对第 j 组的第 2 个比特则采用 BPSK 符号映射。

S3、添加帧头。对完成扩频调制的信号进行添加帧头。帧头采用 LFM 信号，整个信号帧由帧头，保护间隔，以及数据组成，其中每部分的长度均可以根据实际需要做出调整。然后经过 DA 转换和模拟发送前端功率放大后在水声信道中发射。

S4、接收端，对接收信号进行预处理。首先进行带通滤波，然后利用帧头进行同步和信道估计，本发明不对同步和信道估计做专门探讨，可以采用通常的同步与信道估计算法。

假设完成同步的信号表达式为 $r[n]$, 信道估计后的结果为: 多径数为 L 条, 每条路径对应的参数为幅度 $\hat{A}_l$, 时延 $\hat{\tau}_l$, 多普勒因子 $\hat{\beta}_l$ 。

S5、子带激活检测与解调所需要的相关量计算。

S51、计算相关峰值偏移量。根据 S4 的信道估计参数, 分别计算每条路径的峰值偏移量。对于一个数据帧当中的第 $m(1, \dots, M)$ 个符号, 其第 $l(1, \dots, L)$ 条路径的峰值偏移量 $\Delta n_{k,m,l}$

$$\Delta n_{k,m,l} = \left\lceil \hat{\tau}_l * f_s + \left(\frac{1 - \hat{\beta}_l}{\hat{\beta}_l \alpha_k f_{k0}} \right) * f_s + (m-1) * \frac{N}{\hat{\beta}_l} \right\rceil \quad m=1, \Lambda, M, \quad l=1, \Lambda, L$$

其中 $\frac{1 - \hat{\beta}_l}{\hat{\beta}_l \alpha_k f_{k0}}$ 为多普勒扩展导致的偏置, f_{k0} 表示第 k 个子带的起始频率, $\frac{N}{\hat{\beta}_l}$ 为经过多普勒扩展补偿后一个双曲调频符号的点数。

S52、进行相关运算, 获取峰值。根据 $\Delta n_{k,m,l}$, 分别用每个子带 $x_k[n]$ 与 $r[n]$ 对应位置进行相关运算获得峰值。对于每个数据帧, 第 k 个子带, 第 m 个符号, 第 l 条路径的峰值 $I_{k,m,l}$ 可以表示为

$$I_{k,m,l} = \sum_{n=0}^{N-1} x_k[n] r[n + \Delta n_{k,m,l}]$$

S6、激活子带的检测。根据 S5 中相关所获得的峰值 $I_{k,m,l}$ 进行激活子带的判决, 对数据帧中的任意第 m 个符号, 第 j 组($j=1, \dots, Q$)激活子带的判决准则如下:

若 $\sum_{l=1, \dots, L} |I_{2j-1,m,l}| > \sum_{l=1, \dots, L} |I_{2j,m,l}|$, 则认为该子带组的第 1 个子带为激活子带, 同时根据 S2 中的调制规定, 可以判定该子带组对应传输的符号中 $\hat{b}_{j1}=0$, 第 j 组激活子带编号为 $k_j=2j-1$ 。

若 $\sum_{l=1, \dots, L} |I_{2j-1,m,l}| \leq \sum_{l=1, \dots, L} |I_{2j,m,l}|$, 则认为该子带组的第 2 个子带为激活子带, 同时根据 S2 中的调制规定, 可以判定该子带组对应传输的符号中 $\hat{b}_{j1}=1$, 第 j 组

激活子带编号为 $k_j = 2j$ 。

S7、激活子带的解调。第 j 组($j=1, \dots, Q$)激活子带上传符号的解调利用最大合并比准则，对 L 条路径的相关峰值进行合并处理并进行符号判决：

$$S_{j2} = \text{sign} \left(\text{Re} \left\{ \sum_{l=1}^L \hat{A}_l^* I_{k_j, m, l} \right\} \right)$$

而后进行 BPSK 符号解映射

$$\hat{b}_{j2} = \frac{S_{j2} + 1}{2}$$

自此，完成第 j 个子带组的解扩，获得该子带组传输的 2 个符号 $b_{j1} b_{j2}$ 的解调。

与现有技术相比，本发明具有如下优点和技术效果：

1、将系统可用带宽划分为多个子带，进行数据传输，提高了整个系统的频带利用率。

2、通过选择激活子带的方式，非激活子带的序号也传输了信息，在传输同样多数据的前提下，节省了系统能量消耗。

附图说明

图 1 为本发明一种结合多带传输与载波组合的水声双曲调频扩频通信方案结构示意图。

图 2 为子带组扩频调制流程图，以第 1 子带组为例。

图 3 为子带组解扩处理流程图，以第 1 子带组为例。

图 4 为信号帧结构图。

图 5 为具体实施方案的误比特率仿真图。

具体实施方式

为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚、明确，以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用

以解释本发明，并不用于限定本发明。

请参见图 1，图 1 是本发明的系统结构示意图。

各标号的含义如下：

B : 带宽，本实例取 $B=6KHz$ 。

f_0 : 带宽的起始频率，本实例取 $f_0=9KHz$ 。

f_1 : 带宽的终止频率，本实例取 $f_1=15KHz$ 。

T_H : 双曲调频信号的符号周期，本实例取 $T_H=10ms$ 。

T_G : 零符号保护间隔周期，本实例取 $T_G=20ms$ 。

T_L : LFM 帧头持续时间，本实例取 $T_L=20ms$ 。

f_s : 双曲调频信号的采样率，本实例取 $f_s=100KHz$ 。

N : 双曲调频信号一个周期的样点数， $N=T_H * f_s$ 本实例中 $N=1000$ 。

α_k : 双曲调频信号的调频率。

f_{k0} : 表示第 k 个子带的起始频率。

K : 子带的个数，本实例取 $K=8$ 。

Q : 子带分成 Q 个组，本实例取 $Q=4$ 。

M : 每一帧信号中包含的多带双曲调频符号个数，本实例取 $M=10$

本实施例中一种结合多带传输与载波组合的水声双曲调频扩频通信方案包括以下步骤：

S1、生成双曲调频扩频子带载波信号并分组。将 $B=f_1-f_0$ 分为 $K=8$ 个子带，每个子带带宽为 $\frac{B}{K}$ ，分别对每个子带进行双曲调频，用于扩频调制。第 $k(k=1,\Lambda,K)$ 个子带对应的双曲调频载波信号为

$$x_k[n] = \cos\left(\frac{2\pi}{\alpha_k} \ln(1 + \alpha_k f_{k0} n)\right) \quad n=0,\Lambda,N-1, \quad k=1,\Lambda,K \quad (1)$$

其中 $\alpha_k = \frac{K}{k(k-1)BT_H}$ 为第 k 个子带的双曲调频率, $f_{k0} = f_0 + (k-1)\frac{B}{K}$ 为第 k 个子带的起始频率。

同时, 将 K 个子带分成 $Q=4$ 组, 每组 2 个子带。

S2、信号调制。用发送数据中每 K 个比特调制一个多带双曲调频扩频符号。每 K 个比特分成 Q 组, 与 Q 个子带组相对应, 每组 2 个比特。每组的 2 个比特用于控制该组子带载波的激活以及每个激活子带载波的调制, 具体实现方式如下:

每组 2 个比特中的第 1 个比特为 0 时, 激活每组的第 1 个子带进行传输, 当该比特为 1 时激活该组第 2 个子带进行传输。

每组 2 个比特中的第 2 个比特则采用 BPSK 符号映射, 对该激活的子带载波信号进行调制。

记第 j ($j=1, \dots, Q$) 组的 2 个比特为 $b_{j1}b_{j2}$, 则当前多带双曲调频扩频符号帧的发送信号表示为

$$s[n] = \sum_{j=1}^Q (2b_{j2} - 1)x_{k_j}[n] \quad n=0, \Lambda, N-1 \quad (2)$$

其中 $k_j = 2j + b_{j1} - 1$ 为第 j 组激活的子带编号, 上式中 $2b_{j2} - 1$ 表示对第 j 组的第 2 个比特则采用 BPSK 符号映射。

采用上述信号调制方式调制 M 个多带双曲调频符号构成 1 帧信号。

S3、添加帧头。对完成扩频调制的信号进行添加帧头。帧头采用 LFM 信号, LFM 信号可以表示为

$$c[n] = \cos(2\pi f_0 n + \pi \frac{f_1 - f_0}{T} n^2) \quad n=0, \Lambda, N_L - 1 \quad (3)$$

其中 $N_L = T_L * f_s$ 。

信号帧结构如图 4 所示, T_L , T_G , T_H 均可以根据实际需要做出调整。上述数据帧经过 DA 转换和模拟发送前端功率放大后在水声信道中发射。

S4、接收预处理。信号经历水声信道中的多径和多普勒影响之后，在接收端，首先进行带通滤波，然后利用帧头进行同步和信道估计，本发明不对同步和信道估计做专门探讨，可以采用通常的同步与信道估计算法。将完成同步的接收信号记为 $r[n]$ ，假设信道估计后的结果为，多径数为 L 条，每条路径对应的参数为幅度 $\hat{A}_l$ ，时延 $\hat{\tau}_l$ ，多普勒因子 $\hat{\beta}_l$ 。

S5、子带检测与解调的相关量计算。这里以第一个子带组为例。

S51、计算相关峰值偏移量。根据 S4 的信道估计参数，分别计算每条路径的峰值偏移量。对于一个数据帧当中的第 $m(1, \Lambda, M)$ 个符号，其第 $l(1, \Lambda, L)$ 条路径的峰值偏移量应为

$$\Delta n_{k,m,l} = \left\lfloor \hat{\tau}_l * f_s + \left(\frac{1 - \hat{\beta}_l}{\hat{\beta}_l \alpha_k f_{k0}} \right) * f_s + (m-1) * \frac{N}{\hat{\beta}_l} \right\rfloor \quad k=1, \Lambda, Q \quad (4)$$

其中 $\frac{1 - \hat{\beta}_l}{\hat{\beta}_l \alpha_k f_{k0}}$ 为多普勒扩展导致的偏置， f_{k0} 表示第 k 个子带的起始频率， $\frac{N}{\hat{\beta}_l}$ 为经过多普勒扩展补偿后一个双曲调频符号的点数。

S52、进行相关运算，获取峰值。根据 $\Delta n_{k,m,l}$ ，分别用每个子带的双曲调频载波信号 $x_k[n]$ 与接收信号 $r[n]$ 对应位置进行相关运算获得峰值。对于每个数据帧，第 k 个子带，第 m 个符号，第 l 条路径的峰值 $I_{k,m,l}$ 可以表示为

$$I_{k,m,l} = \sum_{n=0}^{N-1} x_k[n] r[n + \Delta n_{k,m,l}] \quad (5)$$

S6、激活子带检测。根据 S5 中相关所获得的峰值 $I_{k,m,l}$ 进行激活子带的判决，对数据帧中的任意第 m 个符号，激活子带的判决准则如下（这里以第一个子带组为例）

若 $\sum_{l=1, \Lambda, L} |I_{1,m,l}| > \sum_{l=1, \Lambda, L} |I_{2,m,l}|$ ，则认为该子带组的激活的子带为第 1 个子带，

同时根据 S2 中的调制规定，可以判定该子带组对应传输的符号中 $\hat{b}_{11} = 0$ 。

若 $\sum_{l=1, \dots, L} |I_{1,m,l}| \leq \sum_{l=1, \dots, L} |I_{2,m,l}|$ ，则认为该子带组的激活的子带为第 2 个子带，同

时根据 S2 中的调制规定，可以判定该子带组对应传输的符号中 $\hat{b}_{11}=1$ 。

S7、激活子带解调。根据 S6 的检测结果确定激活的子带序号 k ，对该子带进行符号解调。这里利用最大合并比准则，对 L 条路径的峰值进行合并处理并进行符号判决

$$S_{12} = \text{sign} \left(\text{Re} \left\{ \sum_{l=1}^L \hat{A}_l^* I_{k,m,l} \right\} \right) \quad (6)$$

而后进行 BPSK 符号解映射

$$\hat{b}_{12} = \frac{S_{12}+1}{2} \quad (7)$$

自此，完成一个子带组的解扩，获得该子带组传输的 2 个符号 $b_{11}b_{12}$ 的解调。其余子带组依此处理。

本发明将系统可用带宽划分为多个子带，进行数据传输，提高了整个系统的频带利用率。通过选择激活子带的方式，在传输同样多数据的前提下，节省了系统能量消耗。由图 5 的误比特率仿真图也可知，本实施方案在信号发生多普勒扩展之后，依旧可以在较低信噪比 SNR 下，保持较好的误码率 BER 性能，并且通过选择激活子载波的方式，降低能量损耗以及相邻载波间的干扰。

权 利 要 求 书

1、一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法，其特征在于包括以下步骤：

- S1、将通信系统带宽分为多个子带，分别进行双曲调频；
- S2、数据、子带进行分组，确定子带激活方案，并进行信号调制；
- S3、对完成调制的信号添加帧头；
- S4、接收端对接收信号进行预处理，同步，信道估计；
- S5、计算子带检测与解调所需要的相关值；
- S6、激活子带检测；
- S7、激活子带解调。

2、根据权利要求 1 所述的一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法，其特征在于：在所述步骤 S1 中，将系统可用带宽 $B = f_1 - f_0$ ，即最高频率 f_1 与最低频率 f_0 的差，分为 K 个子带， K 的值为 2 的整数倍；每个子带带宽为 $\frac{B}{K}$ ，分别对每个子带进行双曲调频，调频周期为 T ，后续用于扩频调制；

第 $k(1 \leq k \leq K)$ 个子带对应的双曲调频信号为：

$$x_k[n] = \exp\left(j \frac{2\pi}{\alpha_k} \ln(1 + \alpha_k f_{k0} n)\right) \quad n = 0, \Lambda, N-1$$

其中 $\alpha_k = \frac{K}{k(k-1)BT}$ ， $f_{k0} = f_0 + (k-1)\frac{B}{K}$ 。

3、根据权利要求 1 所述的一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法，其特征在于：在所述步骤 S2 中，数据、子带进行分组，分组具体为：

将每 K 个比特分成 Q 个数据组， Q 的取值为子带个数除以 2，即 $\frac{K}{2}$ ，同时

将 K 个子带也分成 Q 个子带组，每个数据组与每个子带组对应构成一组，这里分组的结果为，每组 2 个子带传输 2 个比特。

4、根据权利要求 1 所述的一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法，其特征在于：在所述步骤 S2 中，确定子带激活方案并进行信号调制具体为：

每组 2 个比特中的第 1 个比特为 0 时，激活每组的第 1 个子带进行传输，当该比特为 1 时激活该组第 2 个子带进行传输；

每组 2 个比特中的第 2 个比特则采用 BPSK 符号映射，对该激活的子带载波信号进行调制；

记第 j ($j=1, \dots, Q$) 组的 2 个比特为 $b_{j1}b_{j2}$ ，则当前多带双曲调频扩频符号帧的发送信号表示为

$$s[n] = \sum_{j=1}^Q (2b_{j2} - 1)x_{k_j}[n] \quad n=0, \Lambda, N-1$$

其中 $k_j = 2j + b_{j1} - 1$ 为第 j 组激活的子带编号，上式中 $2b_{j2} - 1$ 表示对第 j 组的第 2 个比特则采用 BPSK 符号映射。

5、根据权利要求 1 所述的一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法，其特征在于：在所述步骤 S5 中，子带检测与解调所需要的相关量运算，实现流程如下：

S51、计算相关峰值偏移量，假设步骤 S4 信道估计结果为：多径数为 L 条，每条路径对应的参数为时延 $\hat{\tau}_l$ ，多普勒因子 $\hat{\beta}_l$ ；计算第 k 个子带，第 m 个符号，第 l 条路径的峰值偏移量

$$\Delta n_{k,m,l} = \left\lceil \hat{\tau}_l * f_s + \left(\frac{1 - \hat{\beta}_l}{\hat{\beta}_l \alpha_k f_{k0}} \right) * f_s + (m-1) * \frac{N}{\hat{\beta}_l} \right\rceil$$

其中 N 为一个双曲调频符号的点数； f_s 为信号采样率， $\frac{1 - \hat{\beta}_l}{\hat{\beta}_l \alpha_k f_{k0}}$ 为多普勒扩展导

致的偏置, f_{k0} 表示第 k 个子带的起始频率, $\frac{N}{\hat{\beta}_l}$ 为经过多普勒扩展补偿后一个双曲调频符号的点数;

S52、进行相关运算, 获取峰值; 根据 $\Delta n_{k,m,l}$, 分别用每个子带与接收信号对应位置进行相关运算获得峰值; 第 k 个子带, 第 m 个符号, 第 l 条路径的峰值 $I_{k,m,l}$ 表示为

$$I_{k,m,l} = \sum_{n=0}^{N-1} x_k[n] r[n + \Delta n_{k,m,l}]$$

其中 $x_k[n]$ 与为第 k 子带的扩频符号, $r[n]$ 代表接收端的信号。

6、根据权利要求 5 所述的一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法, 其特征在于: 在 S6 中, 令 $j=1, \dots, Q$, 第 j 组激活子带的检测具体包括:

若 $\sum_{l=1, \dots, L} |I_{2j-1,m,l}| > \sum_{l=1, \dots, L} |I_{2j,m,l}|$, 则认为该子带组的第 1 个子带为激活子带, 同

时根据 S2 中的调制规定, 可以判定该子带组对应传输的符号中 $\hat{b}_{j1}=0$, 激活子带编号为 $k_j=2j-1$;

若 $\sum_{l=1, \dots, L} |I_{2j-1,m,l}| \leq \sum_{l=1, \dots, L} |I_{2j,m,l}|$, 则认为该子带组的第 2 个子带为激活子带, 同

时根据 S2 中的调制规定, 能判定该子带组对应传输的符号中 $\hat{b}_{j1}=1$, 激活子带编号为 $k_j=2j$ 。

7、根据权利要求 1 所述的一种基于子带选择激活的多带双曲调频扩频水声通信方法, 其特征在于: 在 S7 中, 令 $j=1, \dots, Q$, 第 j 组激活子带上传符号解调的具体实现如下: 利用最大合并比准则, 对 L 条路径的相关峰值进行合并处理并进行符号判决

$$S_{j2} = \text{sign} \left(\text{Re} \left\{ \sum_{l=1}^L \hat{A}_l^* I_{k_j,m,l} \right\} \right)$$

其中 $\hat{A}_l$ 是第 l 条路径估计的幅度, 而后进行 BPSK 符号解映射, 即 $\hat{b}_{j2} = \frac{S_{j2}+1}{2}$ 。

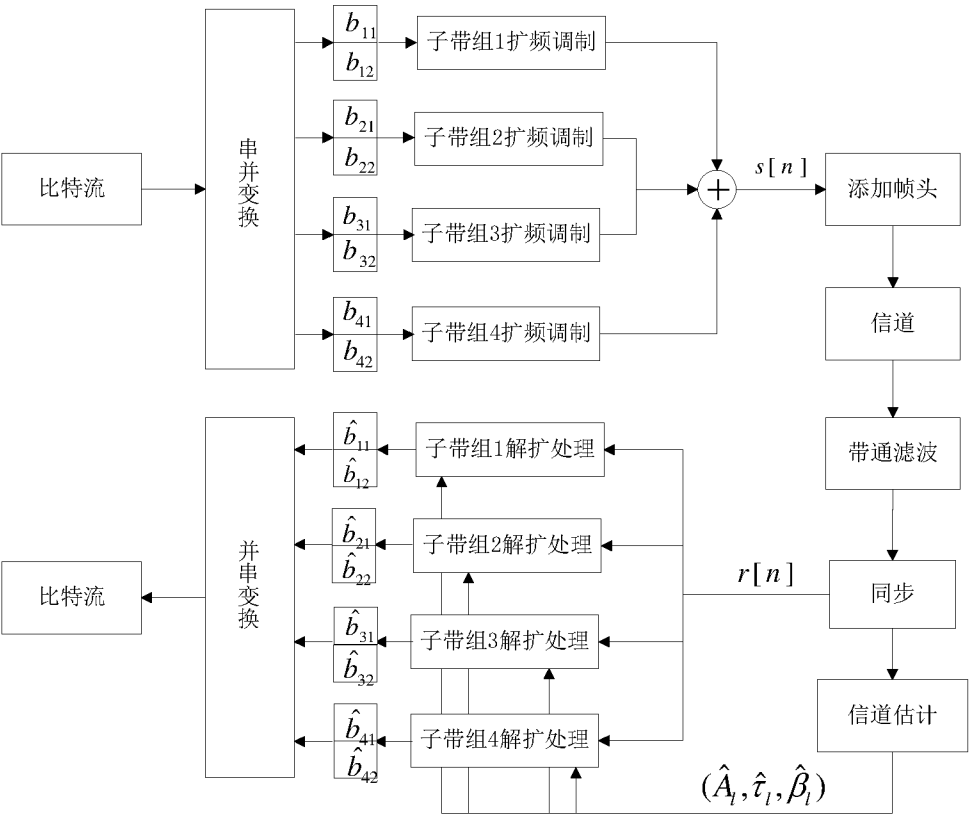


图 1

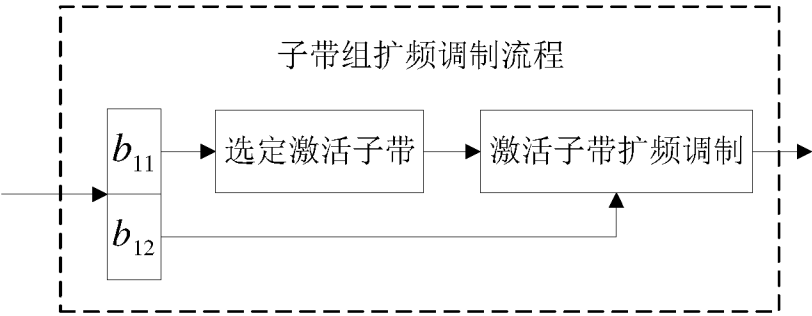


图 2

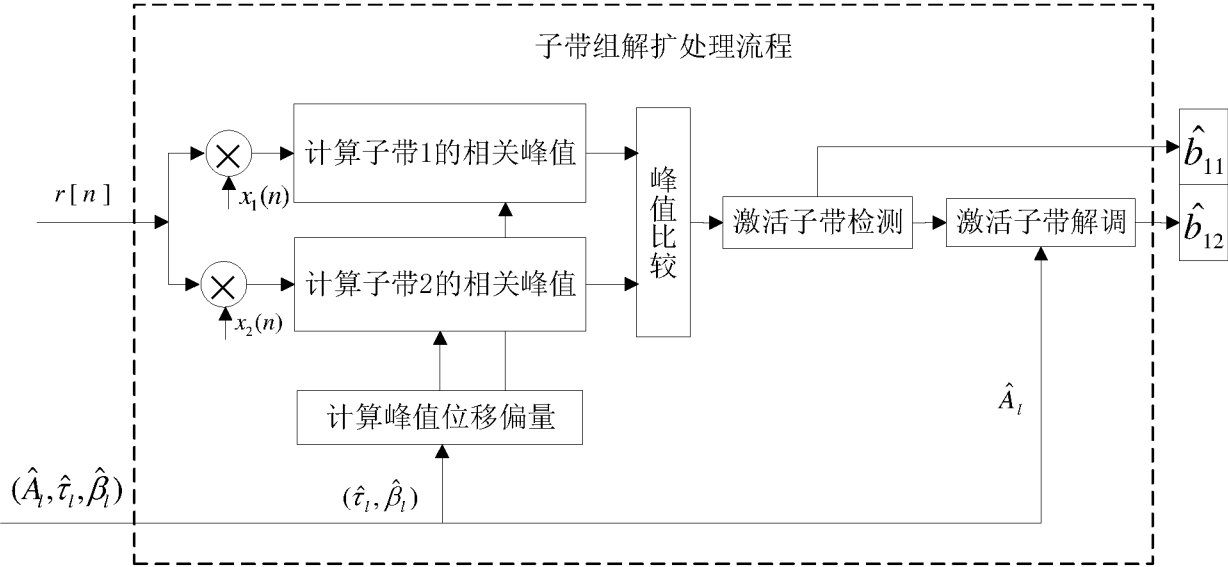


图 3

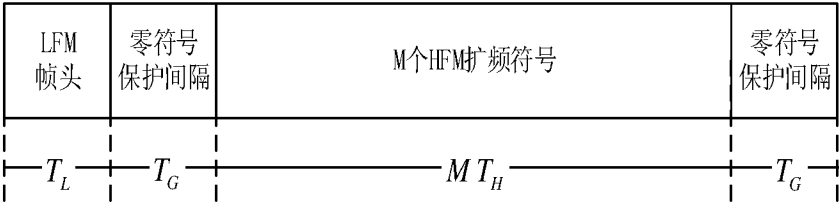


图 4

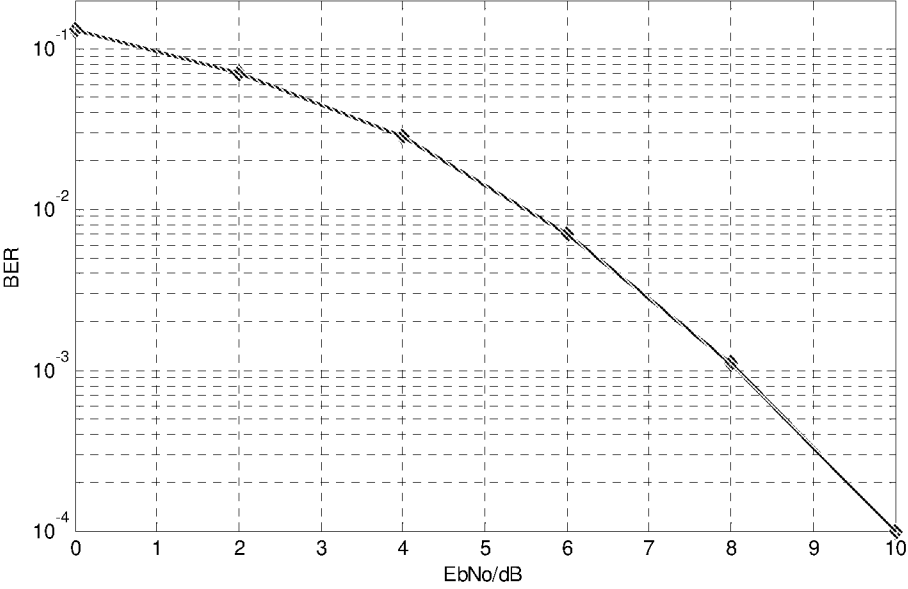


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/116144

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 13/02(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)

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, CNKI, WPI, EPODOC: 子带, 双曲调频, 水声, 通信, 扩频, 激活, sub band, hyperbolic, frequency, modulation, underwater, acoustic, spread, spectrum, activate

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 107947868 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 20 April 2018 (2018-04-20) claims 1-7	1-7
A	ZHAO, Yanbo. "宽带水声信道参数估计及应用 (Parameter Estimation and Applications for Wideband Underwater Acoustic Channels)" 中国博士学位论文全文数据库信息科技辑 (Electronic Technology & Information Science, China Doctoral Dissertations Full-Text Database), No. no. 05, 15 May 2017 (2017-05-15), chapter 5	1-7
A	CN 102170314 A (NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY) 31 August 2011 (2011-08-31) entire document	1-7
A	CN 102571677 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 11 July 2012 (2012-07-11) entire document	1-7
A	CN 103944848 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 23 July 2014 (2014-07-23) entire document	1-7



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

08 January 2019

Date of mailing of the international search report

11 February 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/116144**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105323198 A (INSTITUTE OF ACOUSTICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 10 February 2016 (2016-02-10) entire document	1-7
A	WO 2005055442 A2 (BENTHOS, INC.) 16 June 2005 (2005-06-16) entire document	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/116144

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107947868	A	20 April 2018	None			
CN	102170314	A	31 August 2011	None			
CN	102571677	A	11 July 2012	None			
CN	103944848	A	23 July 2014	None			
CN	105323198	A	10 February 2016	None			
WO	2005055442	A2	16 June 2005	US	2005111588	A1	26 May 2005

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/116144

A. 主题的分类

H04B 13/02 (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)

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, CNKI, WPI, EPDOC: 子带, 双曲调频, 水声, 通信, 扩频, 激活, sub band, hyperbolic, frequency, modulation, underwater, acoustic, spread, spectrum, activate

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
PX	CN 107947868 A (华南理工大学) 2018年 4月 20日 (2018 - 04 - 20) 权利要求1-7	1-7
A	赵砚博, “宽带水声信道参数估计及应用” 中国博士学位论文全文数据库 信息科技辑, 第05期, 2017年 5月 15日 (2017 - 05 - 15), 第5章	1-7
A	CN 102170314 A (西北工业大学) 2011年 8月 31日 (2011 - 08 - 31) 全文	1-7
A	CN 102571677 A (华南理工大学) 2012年 7月 11日 (2012 - 07 - 11) 全文	1-7
A	CN 103944848 A (华南理工大学) 2014年 7月 23日 (2014 - 07 - 23) 全文	1-7
A	CN 105323198 A (中国科学院声学研究所) 2016年 2月 10日 (2016 - 02 - 10) 全文	1-7
A	WO 2005055442 A2 (BENTHOS, INC.) 2005年 6月 16日 (2005 - 06 - 16) 全文	1-7

☐ 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

2019年 1月 8日

国际检索报告邮寄日期

2019年 2月 11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

受权官员

冯骥

传真号 (86-10) 62019451

电话号码 86-(10)-53961610

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/116144

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	107947868	A	2018年 4月 20日	无			
CN	102170314	A	2011年 8月 31日	无			
CN	102571677	A	2012年 7月 11日	无			
CN	103944848	A	2014年 7月 23日	无			
CN	105323198	A	2016年 2月 10日	无			
WO	2005055442	A2	2005年 6月 16日	US	2005111588	A1	2005年 5月 26日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)