

(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
2014 年 12 月 11 日 (11.12.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/194485 A1

(51) 国际专利分类号:
H03M 7/30 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2013/076762

(22) 国际申请日: 2013 年 6 月 5 日 (05.06.2013)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 中国科学院微电子研究所 (INSTITUTE OF MICROELECTRONICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国北京市朝阳区北土城西路 3 号, Beijing 100029 (CN)。

(72) 发明人: 李冬梅 (LI, Dongmei); 中国北京市朝阳区北土城西路 3 号, Beijing 100029 (CN)。 李小静 (LI, Xiaojing); 中国北京市朝阳区北土城西路 3 号, Beijing 100029 (CN)。 梁圣法 (LIANG, Shengfa); 中国北京市朝阳区北土城西路 3 号, Beijing 100029 (CN)。 张浩 (ZHANG, Hao); 中国北京市朝阳区北土城西路 3 号, Beijing 100029 (CN)。 罗庆 (LUO, Qing); 中国北京市朝阳区北土城西路 3 号, Beijing 100029 (CN)。 谢常青 (XIE, Changqing); 中国北京市朝阳区北土城西路 3 号, Beijing 100029 (CN)。 刘

明 (LIU, Ming); 中国北京市朝阳区北土城西路 3 号, Beijing 100029 (CN)。

(74) 代理人: 中科专利商标代理有限责任公司 (CHINA SCIENCE PATENT & TRADEMARK AGENT LTD.); 中国北京市海淀区西三环北路 87 号国际财经中心 D 座 11 层, Beijing 100089 (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, 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, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, 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, HU, IE,

[见续页]

(54) Title: METHOD FOR COLLECTING SIGNAL WITH SAMPLING FREQUENCY LOWER THAN NYQUIST FREQUENCY

(54) 发明名称: 一种以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法

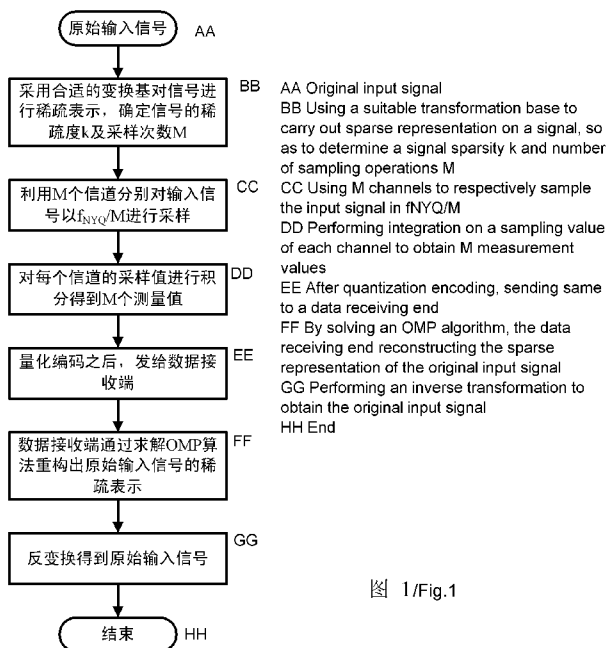


图 1/ Fig.1

(57) Abstract: Disclosed is a method for collecting a signal lower than a Nyquist frequency: firstly selecting a suitable transformation base matrix for an input signal, using the transformation basis matrix to carry out sparse representation on the signal, so as to determine a signal sparsity k, then calculating the number M of compressive sampling operations by means of the sparsity, then respectively sampling the signal in f_{NYQ}/M with M channels, next performing integration on a sampling value of each channel, thereby obtaining M measurement values, and then a reconstruction end reconstructs an original signal by solving an optimization problem. Based on the compressive perception theory, the present invention can perform compressive sampling on a sparse signal or a signal which can be represented sparsely with a frequency far lower than the Nyquist frequency, and breaks through the limitations of the typical Nyquist sampling theorem on a sampling frequency, and at the same time, the method is simple in implementation and decreases the pressure of data acquisition, storage, transmission and processing.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2014/194485 A1



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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

本发明公开了一种低于 Nyquist 频率的信号采集方法，首先针对输入信号选择合适的变换基矩阵，用该变换基矩阵对信号进行稀疏表示以确定信号的稀疏度 k ，然后由稀疏度计算出压缩采样的采样次数 M ，然后分 M 个信道分别对信号以 f_{Nyq}/M 进行采样，接着对每个信道的采样值进行积分，即得到 M 个测量值，然后重构端通过求解优化问题重构出原始信号。本发明以压缩感知理论为基础，能够以远低于 Nyquist 频率的频率对稀疏信号或者可稀疏表示的信号进行压缩采样，突破了经典的 Nyquist 采样定理对采样频率的限制，同时该方法实施简单，降低了数据采集、存储、传输以及处理的压力。

一种以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法

技术领域

本发明涉及一种以低于奈奎斯特（Nyquist）频率的采样频率进行信号采集方法，能够以远低于 Nyquist 频率的采样频率对稀疏信号或者可稀疏表示的信号进行压缩采样，并重构出原始信号。

背景技术

Nyquist 采样定理是现代通讯与信号处理的基础，该定理指出在进行模拟/数字信号转换过程中，当采样频率大于等于信号最高频率 2 倍时，采样之后的数字信号完整地保留了原始信号中的信息，一般实际应用中保证采样频率为信号最高频率的 5~10 倍。

对于宽带信号，由于其本身频率比较高，如果采用 Nyquist 采样定理直接对信号进行采样，则需要的采样频率就非常高，现有的模数转换器件的最高频率为 1GHz，所以很难满足高频率的要求。另外信号经模数转换器之后，一般先要存储，然后再进行数据通信和处理，高速采样就对存储器的存储速度、数字信号处理器的处理速度要求很高，所以宽带信号采用 Nyquist 采样定理进行采样将给宽带信号的采集、存储、传输以及处理带来巨大的压力。

另外，由于 Nyquist 采样定理只开发利用了被采集信号的最少的先验信息，即信号的带宽，并没有利用信号本身具有的一些结构特点，如冗余等。

通常所处理的信号，虽然信号本身并不稀疏，但是在某些变换基下可以稀疏表示。压缩感知作为一个新兴理论，就是利用信号的这种稀疏特性以远低于 Nyquist 频率对信号进行采样。压缩感知理论指出，只要信号可以在某个变换域下稀疏表示，就可以用一个与该变换基矩阵不相

关的观测矩阵将高维信号投影到一个低维空间，然后通过求解优化问题来从这些少量的投影中重构出原始高维信号。

发明内容

（一）要解决的技术问题

有鉴于此，本发明的目的是提供一种以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法，能够以远低于 Nyquist 频率的采样频率对信号进行采样和重构，突破经典 Nyquist 采样定理对采样频率的限制，降低给宽带信号的采集、存储、传输以及处理带来的压力。

（二）技术方案

为达到上述目的，本发明提供了一种以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法，包括：数据发送端确定原始输入信号 x 的稀疏度 k ，根据该稀疏度 k 计算出压缩采样的采样次数 M ，利用 M 个信道分别对原始输入信号 x 以频率 f_{NYQ}/M 进行采样，其中 f_{NYQ} 为原始输入信号 x 的奈奎斯特频率，并对每个信道的采样值进行积分得到 M 个测量值 y ，然后将这 M 个测量值 y 发送到数据接收端；以及数据接收端对这 M 个测量值 y 进行正交匹配追踪算法求解，将接收到的测量值 y 恢复为原始输入信号 x 的稀疏表示，再通过反变换得到原始输入信号 x 。

上述方案中，所述数据发送端确定原始输入信号 x 的稀疏度 k ，包括：数据发送端根据原始输入信号 x 的特征选择变换基矩阵，用该变换基矩阵对原始输入信号 x 进行稀疏表示，然后求出该原始输入信号 x 在该变换基矩阵下的稀疏度 k 。

上述方案中，所述数据发送端根据原始输入信号 x 的特征选择变换基矩阵的步骤中，对于光滑的原始输入信号，采用傅里叶变换基矩阵；对于单一点状的奇异信号，采用小波变换基矩阵。所述光滑的原始输入信号包括信号是连续变化的正弦信号、余弦信号、指数信号或抽样脉冲；所述单一点状的奇异信号包括信号是非连续变化的冲激信号、矩形脉冲

或尖峰信号。

上述方案中，所述数据发送端根据稀疏度 k 计算出压缩采样的采样次数 M 的步骤中，压缩采样的采样次数 M 满足以下两个条件：

a、 $M \geq k \cdot \ln(N/k)$ ，其中 N 为高维的原始输入信号的维数， k 为原始输入信号在相关变换基下的稀疏度；

b、 $N=A \times M$ ， A 为大于等于 1 的整数，即高维的原始输入信号的维数是压缩采样的采样次数 M 的整数倍。

上述方案中，所述数据发送端对每个信道的采样值进行积分得到 M 个测量值 y 的步骤中，积分周期是每个信道采样周期的 A 倍。

上述方案中，所述数据接收端对 M 个测量值 y 进行正交匹配追踪算法求解，将接收到的测量值 y 恢复为原始输入信号 x 的稀疏表示，包括：根据数学运算式 $y = \Phi x$ ，由原始输入信号 x 求解得到的测量值 y ，其中原始输入信号 x 是一个 $N \times 1$ 的向量，测量值 y 是一个 $M \times 1$ 的向量，观测矩阵 Φ 是一个 $M \times N$ 的托普利兹矩阵，该矩阵由 $A=N/M$ 个 $M \times M$ 的单位矩阵按行的方向合并而成；已知测量值 y 和观测矩阵 Φ ，要求解原始输入信号 x ，由于原始输入信号 x 是稀疏的，所以能够通过求解最优化 l_1 -范数来得到原始输入信号 x ，正交匹配追踪算法就是一种通过多次迭代由测量值 y 和观测矩阵 Φ 求解得到原始输入信号 x 的方法。

上述方案中，所述数据接收端通过反变换得到原始输入信号 x ，包括：根据对原始输入信号 x 稀疏表示时选择的变换基矩阵，对求解正交匹配追踪算法得到的原始信号稀疏表示进行反变化，若对原始输入信号 x 稀疏表示时选择的变换基矩阵是傅里叶变换基矩阵，则反变换为离散傅里叶变换，若对原始输入信号 x 稀疏表示时选择的变换基矩阵是小波变换基矩阵，则反变换为离散小波变换。

（三）有益效果

本发明提供的这种以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法，以压缩感知理论为基础，充分利用信号在变换域的稀疏特性，能够以远低于 Nyquist 频率的频率对稀疏信号或者可稀疏表示的信号进行

压缩采样，突破了经典的 Nyquist 采样定理对采样频率的限制，同时该方法只用低速采样和积分两个步骤，实施简单，降低了数据采集、存储、传输以及处理的压力。

附图说明

为了更进一步说明本发明的内容，以下结合附图及实施例子，对本发明做详细描述，其中：

图 1 是本发明提供的以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集的方法流程图；

图 2 是依照本发明实施例进行信号采集的示意图；

图 3 是依照本发明实施例进行信号重构的示意图；

图 4 是依照本发明实施例 50Hz、100Hz、150Hz 和 200Hz 的正弦信号及其频域表示，其中左边为原始信号图，右边为傅里叶变换后的稀疏表示图；

图 5 是依照本发明实施例信号的采样及重构效果图，(a)为原始信号、(b)采样值、(c)重构信号、(d)重构信号与原始信号的误差。

具体实施方式

为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白，以下结合具体实施例，并参照附图，对本发明进一步详细说明。

如图 1 所示，图 1 是本发明提供的以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集的方法流程图，该方法在压缩感知理论上，以远低于 Nyquist 频率的频率高概率的实现信号的采集，包括以下步骤：

数据发送端确定原始输入信号 x 的稀疏度 k ，根据该稀疏度 k 计算出压缩采样的采样次数 M ，利用 M 个信道分别对原始输入信号 x 以频率 f_{NYQ}/M 进行采样，其中 f_{NYQ} 为原始输入信号 x 的奈奎斯特频率，并对每个信道的采样值进行积分得到 M 个测量值 y ，然后将这 M 个测量

值 y 发送到数据接收端；以及

数据接收端对这 M 个测量值 y 进行正交匹配追踪算法求解，将接收到的测量值 y 恢复为原始输入信号 x 的稀疏表示，再通过反变换得到原始输入信号 x 。

其中，所述数据发送端确定原始输入信号 x 的稀疏度 k ，包括：数据发送端根据原始输入信号 x 的特征选择变换基矩阵，用该变换基矩阵对原始输入信号 x 进行稀疏表示，然后求出该原始输入信号 x 在该变换基矩阵下的稀疏度 k 。所述数据发送端根据原始输入信号 x 的特征选择变换基矩阵的步骤中，对于光滑的原始输入信号，采用傅里叶变换基矩阵；对于单一点状的奇异信号，采用小波变换基矩阵。所述光滑的原始输入信号包括正弦信号、余弦信号、指数信号或抽样脉冲等连续变化的信号；所述单一点状的奇异信号包括冲激信号、矩形脉冲或尖峰信号等非连续变化的信号。

所述数据发送端根据稀疏度 k 计算出压缩采样的采样次数 M 的步骤中，压缩采样的采样次数 M 满足以下两个条件： a 、 $M \geq k \cdot \ln(N/k)$ ，其中 N 为高维的原始输入信号的维数， k 为原始输入信号在相关变换基下的稀疏度； b 、 $N=A \times M$ ， A 为大于等于 1 的整数，即高维的原始输入信号的维数是压缩采样的采样次数 M 的整数倍。所述数据发送端对每个信道的采样值进行积分得到 M 个测量值 y 的步骤中，积分周期是每个信道采样周期的 A 倍。

所述数据接收端对 M 个测量值 y 进行正交匹配追踪算法求解，将接收到的测量值 y 恢复为原始输入信号 x 的稀疏表示，是根据数学表达式 $y = \Phi x$ ，由测量值 y 和观测矩阵 Φ 通过多次迭代求解原始输入信号 x 的过程，包括：根据数学运算式 $y = \Phi x$ ，由原始输入信号 x 求解得到的测量值 y ，其中原始输入信号 x 是一个 $N \times 1$ 的向量，测量值 y 是一个 $M \times 1$ 的向量，观测矩阵 Φ 是一个 $M \times N$ 的托普利兹矩阵，该矩阵由 $A=N/M$ 个 $M \times M$ 的单位矩阵按行的方向合并而成；已知测量值 y 和观测矩阵 Φ ，要求解原始输入信号 x ，由于原始输入信号 x 是稀疏的，所以能够通过求解最优化 l_1 -范数来得到原始输入信号 x ，正交匹配追踪算法就是一种

通过多次迭代由测量值 y 和观测矩阵 Φ 求解得到原始输入信号 x 的方法。

所述数据接收端通过反变换得到原始输入信号 x ，包括：根据对原始输入信号 x 稀疏表示时选择的变换基矩阵，对求解正交匹配追踪算法得到的原始信号稀疏表示进行反变化，若对原始输入信号 x 稀疏表示时选择的变换基矩阵是傅里叶变换基矩阵，则反变换为离散傅里叶变换，若对原始输入信号 x 稀疏表示时选择的变换基矩阵是小波变换基矩阵，则反变换为离散小波变换。

基于图 1 所示的本发明提供的以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集的方法流程图，图 2 至图 5 以频率为 50Hz、100Hz、150Hz 和 200Hz 的正弦信号（信号长度为 $N=256$ ）为例，对本发明进一步详细说明。其中，图 2 是依照本发明实施例进行信号采集的示意图，图 3 是依照本发明实施例进行信号重构的示意图，具体分为以下三个步骤：

步骤 1：数据发送端对原始输入信号 x 进行稀疏表示；

由于是正弦信号，所以数据发送端采用傅里叶变换基矩阵对原始输入信号进行稀疏表示，如图 4 所示，左边为原始输入信号图，右边为信号傅里叶变换后的稀疏表示图，可以发现，该原始输入信号只有 8 个非零值，其他值都为零，即该信号的稀疏度 $k=8$ ；

步骤 2：数据发送端对原始输入信号 x 在 f_{NYQ}/M 的采样频率下进行采样；

首先确定压缩采样的采样次数 M 的值，由于 M 要满足两个条件：
(a) $M \geq k \cdot \ln(N/k)$ ，其中 N 为原始高维信号的维数， k 为信号在相关变换基下的稀疏度；(b) $N=A \times M$ ， A 为大于等于 1 的整数，所以这里取 $M=32$ ， $A=8$ ；接着分 32 个信道分别对原始输入信号 x 在 $f_{\text{NYQ}}/32$ ($f_{\text{NYQ}}=400\text{Hz}$) 采样频率下进行采样，每个信道得到的采样值为 8 个，并对每个信道的 8 个采样值进行积分，积分周期是每个信道采样周期的 A 倍，这样就可以得到 32 个测量值 y ，直接把这个 32 个测量值 y 发送到数据接收端；如图 5 (a) 所示，为原始信号图；如图 5 (b) 所示，为得到的 32 个采样值。

步骤 3：数据接收端重构出原始输入信号 x ；

数据接收端利用正交匹配追踪算法，将接收到的低维数据（即测量值 y ）重构为原始高维数据，经过步骤 1 和 2 之后得到的测量值 y 等价于如下数学运算式 $y = \Phi x$ ，由原始输入信号 x 求解得到的测量值 y ，其中原始输入信号 x 是一个 $N \times 1$ 的向量，测量值 y 是一个 $M \times 1$ 的向量，观测矩阵 Φ 是一个 $M \times N$ 的托普利兹矩阵，该矩阵由 $A=N/M$ 个 $M \times M$ 的单位矩阵按行的方向合并而成；已知测量值 y 和观测矩阵 Φ ，要求解原始输入信号 x ，由于原始输入信号 x 是稀疏的，所以能够通过求解最优化 l_1 -范数来得到原始输入信号 x ，正交匹配追踪算法就是一种通过多次迭代由测量值 y 和观测矩阵 Φ 求解得到原始输入信号 x 的方法。

如图 5 的 (c) 所示为重构出的信号，误差为 10^{-14} 数量级，非常小，图 5 (d) 所示为重构出的信号与原始信号的差值，量级为 10^{-13} ，可见该方法可以以远低于 Nyquist 频率的频率实现信号的压缩采样，并能非常好的由极少采样值恢复出原始高维信号。

以上所述的具体实施例，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施例而已，并不用于限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求

1、一种以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法，其特征在于，包括：

数据发送端确定原始输入信号 x 的稀疏度 k ，根据该稀疏度 k 计算出压缩采样的采样次数 M ，利用 M 个信道分别对原始输入信号 x 以频率 f_{NYQ}/M 进行采样，其中 f_{NYQ} 为原始输入信号 x 的奈奎斯特频率，并对每个信道的采样值进行积分得到 M 个测量值 y ，然后将这 M 个测量值 y 发送到数据接收端；以及

数据接收端对这 M 个测量值 y 进行正交匹配追踪算法求解，将接收到的测量值 y 恢复为原始输入信号 x 的稀疏表示，再通过反变换得到原始输入信号 x 。

2、根据权利要求 1 所述的以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法，其特征在于，所述数据发送端确定原始输入信号 x 的稀疏度 k ，包括：

数据发送端根据原始输入信号 x 的特征选择变换基矩阵，用该变换基矩阵对原始输入信号 x 进行稀疏表示，然后求出该原始输入信号 x 在该变换基矩阵下的稀疏度 k 。

3、根据权利要求 2 所述的以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法，其特征在于，所述数据发送端根据原始输入信号 x 的特征选择变换基矩阵的步骤中，对于光滑的原始输入信号，采用傅里叶变换基矩阵；对于单一点状的奇异信号，采用小波变换基矩阵。

4、根据权利要求 3 所述的以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法，其特征在于，所述光滑的原始输入信号包括信号是连续变化的正弦信号、余弦信号、指数信号或抽样脉冲；所述单一点状的奇异信号包括信号是非连续变化的冲激信号、矩形脉冲或尖峰信号。

5、根据权利要求 1 所述的以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法，其特征在于，所述数据发送端根据稀疏度 k 计算出压缩采样的采样次数 M 的步骤中，压缩采样的采样次数 M 满足以下两个条件：

a、 $M \geq k \cdot \ln(N/k)$ ，其中 N 为高维的原始输入信号的维数， k 为原始输入信号在相关变换基下的稀疏度；

b、 $N=A \times M$ ， A 为大于等于 1 的整数，即高维的原始输入信号的维数是压缩采样的采样次数 M 的整数倍。

6、根据权利要求 5 所述的以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法，其特征在于，所述数据发送端对每个信道的采样值进行积分得到 M 个测量值 y 的步骤中，积分周期是每个信道采样周期的 A 倍。

7、根据权利要求 1 所述的以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法，其特征在于，所述数据接收端对 M 个测量值 y 进行正交匹配追踪算法求解，将接收到的测量值 y 恢复为原始输入信号 x 的稀疏表示，包括：

根据数学运算式 $y = \Phi x$ ，由原始输入信号 x 求解得到的测量值 y ，其中原始输入信号 x 是一个 $N \times 1$ 的向量，测量值 y 是一个 $M \times 1$ 的向量，观测矩阵 Φ 是一个 $M \times N$ 的托普利兹矩阵，该矩阵由 $A=N/M$ 个 $M \times M$ 的单位矩阵按行的方向合并而成；已知测量值 y 和观测矩阵 Φ ，要求解原始输入信号 x ，由于原始输入信号 x 是稀疏的，所以能够通过求解最优化 l_1 -范数来得到原始输入信号 x ，正交匹配追踪算法就是一种通过多次迭代由测量值 y 和观测矩阵 Φ 求解得到原始输入信号 x 的方法。

8、根据权利要求 7 所述的以低于奈奎斯特频率的采样频率进行信号采集方法，其特征在于，所述数据接收端通过反变换得到原始输入信号 x ，包括：

根据对原始输入信号 x 稀疏表示时选择的变换基矩阵，对求解正交匹配追踪算法得到的原始信号稀疏表示进行反变化，若对原始输入信号 x 稀疏表示时选择的变换基矩阵是傅里叶变换基矩阵，则反变换为离散傅里叶变换，若对原始输入信号 x 稀疏表示时选择的变换基矩阵是小波变换基矩阵，则反变换为离散小波变换。

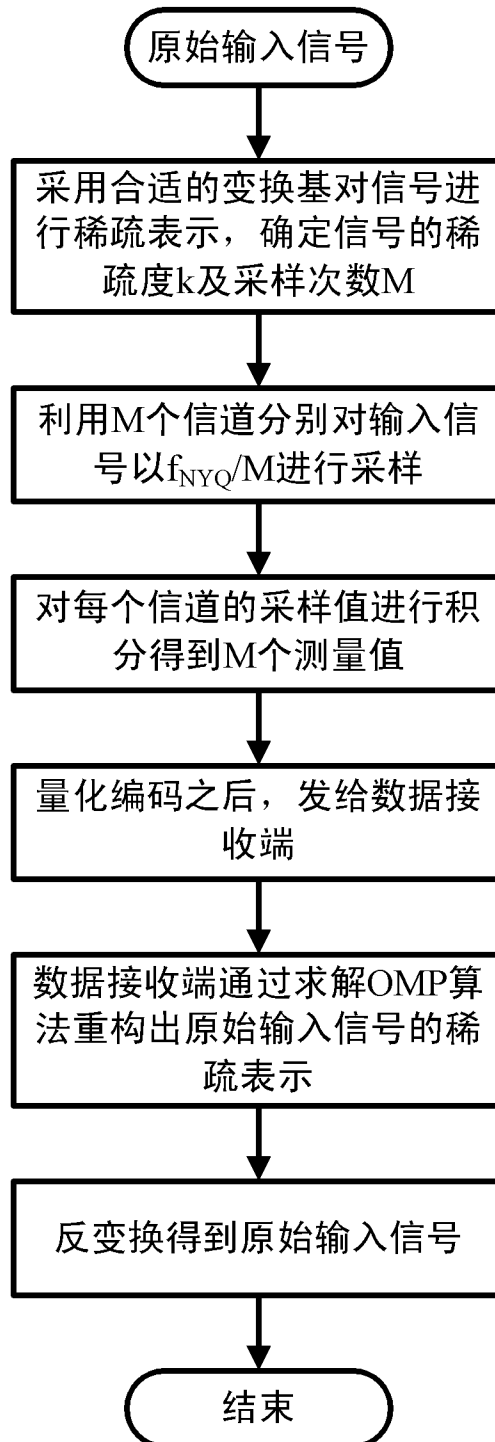


图 1

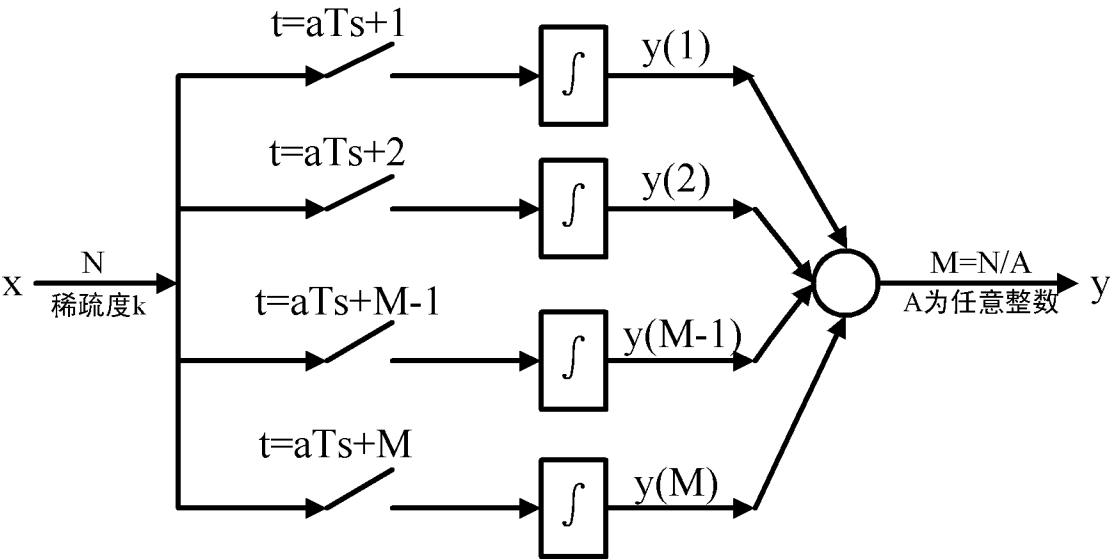


图 2

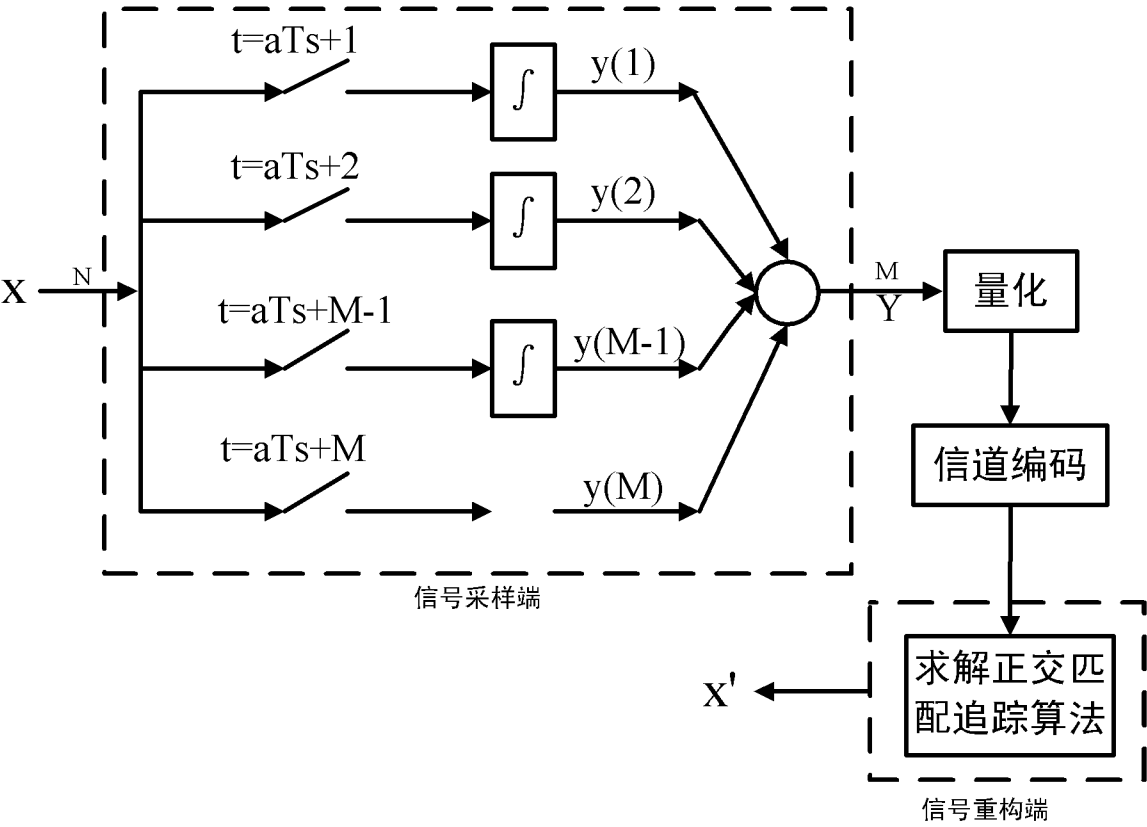


图 3

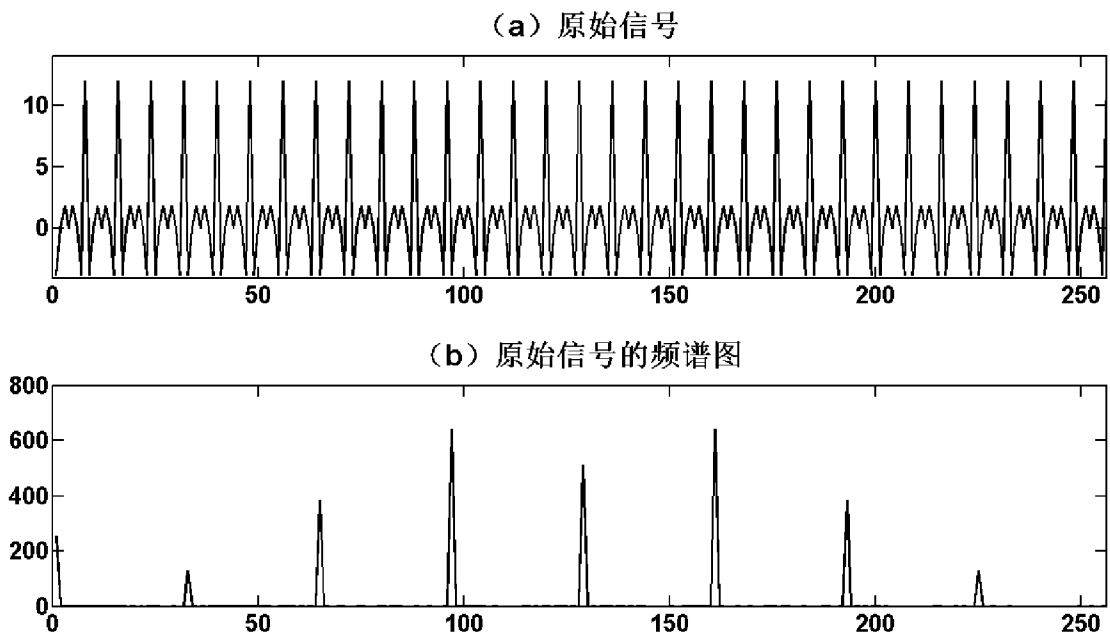


图 4

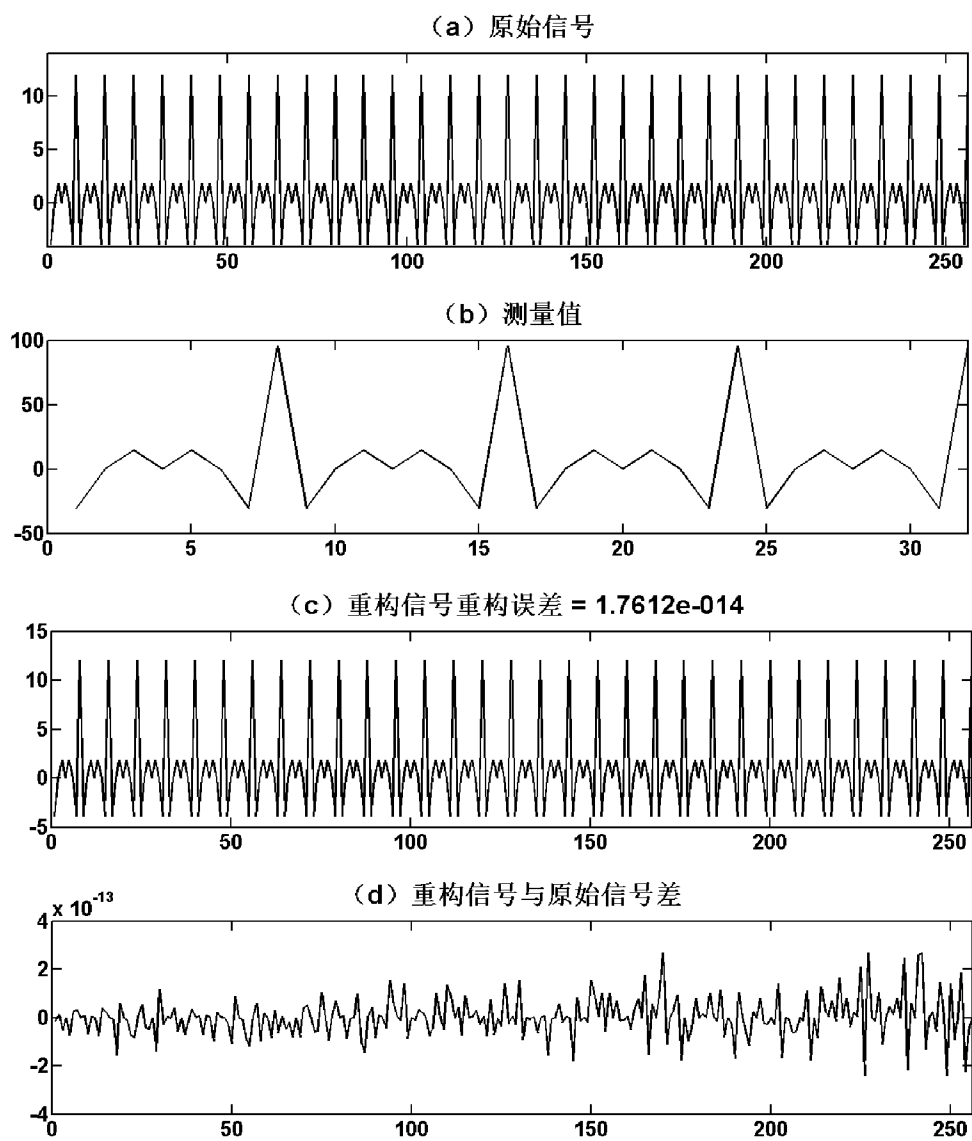


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/076762

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03M 7/30 (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)

IPC: H03M, H04W

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, CNTXT, WPI, EPODOC, CNKI, GOOGLE: LI, Dongmei or LI, Xiaojing or LIANG, Shengfa or ZHANG, Hao or LUO, Qing or XIE, Changqing or LIU, Ming; sparse 1w (degree or nature or parameter or factor), sample s (time or channel or dimension), measure or observe, compressed 1w sensing, less or low or small, nyquist, sample s (frequency or frequency), sparsity, number or time or degree, MATRIX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 103346798 A (INSTITUTE OF MICROELECTRONICS OF CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 09 October 2013 (09.10.2013), claims 1-8	1-8
Y	CN 102253117 A (ZHEJIANG UNIVERSITY), 23 November 2011 (23.11.2011), abstract, and description, paragraphs [0017] and [0019]-[0024]	1-8
Y	CN 101895297 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY), 24 November 2010 (24.11.2010), abstract, and description, paragraph [0004]	1-8
Y	WANG, Tianjing et al., Filter-Based Compressed Sensing Signal Collection Scheme, CHINESE JOURNAL OF SCIENTIFIC INSTRUMENT, March 2013, volume 34, number 3, pages 573-581	7
A	US 7289049 B1 (L3 COMMUNICATIONS INTEGRATED SYSTEMS L.P.), 30 October 2007 (30.10.2007), the whole document	1-8

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

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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 23 February 2014 (23.02.2014)	Date of mailing of the international search report 13 March 2014 (13.03.2014)
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 NING, Bo Telephone No.: (86-10) 62413288

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2013/076762

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103346798 A	09.10.2013	None	
CN 102253117 A	23.11.2011	None	
CN 101895297 A	24.11.2010	None	
US 7289049 B1	30.10.2007	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2013/076762

A. 主题的分类

H03M 7/30 (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)

IPC: H03M, H04W

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, CNTXT, WPI, EPODOC, CNKI, GOOGLE: 李冬梅 or 李小静 or 梁圣法 or 张浩 or 罗庆 or 谢常青 or 刘明, 奈奎斯特 or NYQUIST, 采样频率, 小 or 低 or 少, 采样 s 频率, 压缩感知, 稀疏 1w (度 or 性 or 参数 or 因子), 采样 s (次数 or 信道 or 维数), 测量 or 观测, 矩阵, compressed 1w sensing, less or low or small, nyquist, sample s (frequency or frequency), sparsity, number or time or degree, MATRIX

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
E	CN103346798A (中国科学院微电子研究所) 09.10 月 2013 (09.10. 2013) 权利要求 1-8	1-8
Y	CN102253117A (浙江大学) 23.11 月 2011 (23.11.2011) 摘要, 说明书第 [0017]、[0019]-[0024]段	1-8
Y	CN101895297A (哈尔滨工业大学) 24.11 月 2010 (24.11.2010) 摘要、说明书第[0004]段	1-8
Y	王天荆等, 基于滤波的压缩感知信号采集方案, 仪器仪表学报, 3 月 2013 年, 第 34 卷, 第 3 期, 第 573—581 页	7
A	US7289049B1 (L3 COMMUNICATIONS INTEGRATED SYSTEMS L.P.) 30.10 月 2007 (30.10.2007) 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

23.2 月 2014 (23.02.2014)

国际检索报告邮寄日期

13.3 月 2014 (13.03.2014)

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

宁波

电话号码: (86-10) **62413288**

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/076762

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN103346798A	09.10. 2013	无	
CN102253117A	23.11.2011	无	
CN101895297A	24.11.2010	无	
US7289049B1	30.10.2007	无	