



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102204380 A

(43) 申请公布日 2011. 09. 28

(21) 申请号 200980134596. 1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009. 08. 27

H04W 72/04 (2006. 01)

H04W 16/14 (2006. 01)

(30) 优先权数据

08163653. 2 2008. 09. 04 EP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 03. 04

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IB2009/053753 2009. 08. 27

(87) PCT申请的公布数据

W02010/026514 EN 2010. 03. 11

(71) 申请人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

申请人 NXP 有限公司

(72) 发明人 Y. 王 A. V. 潘达里潘德

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 李亚非 刘鹏

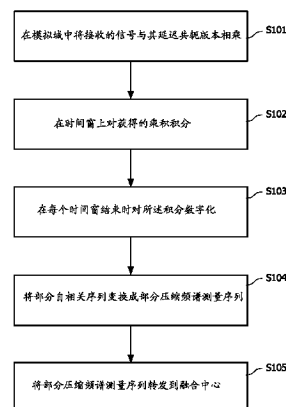
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

分布式频谱感测

(57) 摘要

本发明涉及用于无线网络的频谱感测方案。所提出的方法涉及以分布式方式应用感测以便获得信号频谱的估计。多感测节点(200-1 至 200-J)的网络获得这种频谱估计,而无需高速模数转换器适应大的感兴趣带宽。



1. 一种用于感测无线网络的频谱的装置,所述装置包括:
  - a) 相关器(10-1 至 10-N<sub>j</sub>, 20, 30, 40, 50),其用于针对至少一个特定延迟测量接收的信号的部分自相关并且进一步将所述部分自相关变换成部分压缩测量序列;以及
  - b) 转发器,其用于转发所述部分压缩测量序列以便在融合中心(70)处收集。
2. 一种用于感测无线网络的频谱的装置,所述装置包括:
  - a) 接收器,其用于接收无线电信号的部分压缩测量序列的集合;以及
  - b) 变换处理器(601,602),其用于根据所述接收的部分压缩测量序列集合复原所述无线电信号的总频谱。
3. 依照权利要求 1 或 2 的装置,其中所述部分压缩测量序列通过相干加性传输信道(60)传输。
4. 依照权利要求 1 的装置,其中所述相关器包括至少一个分支,所述分支具有:乘法器(20),其用于将所述接收的信号与其所述特定延迟的共轭版本相乘;积分器(30),其用于在预定的时间窗上对获得的乘积积分;以及模数转换器(40),其用于对所述预定的时间窗结束时获得的积分输出数字化。
5. 依照权利要求 4 的装置,其中所述相关器进一步包括压缩感测处理器,该压缩感测处理器用于接收所述至少一个分支的所述数字化积分输出并且用于将部分压缩感测测量应用于所述数字化积分输出。
6. 依照权利要求 2 的装置,其中所述变换处理器包括:复原部分(601),其用于根据所述部分压缩测量序列集合复原所述总频谱的导数;以及积分部分(602),其用于近似对于所述导数的积分操作。
7. 依照权利要求 6 的装置,其中所述复原部分(601)适于应用压缩感测复原处理。
8. 依照权利要求 6 的装置,其中所述积分部分(602)适于对所述导数计算累加和。
9. 一种感测无线网络的频谱的方法,所述方法包括:
  - a) 测量接收的信号在特定延迟下的部分自相关并且进一步将所述部分自相关变换成部分压缩测量序列;以及
  - b) 转发所述部分压缩测量序列以便在融合中心处收集。
10. 一种感测无线网络的频谱的方法,所述方法包括:
  - a) 接收无线电信号的部分压缩测量序列的集合;以及
  - b) 根据所述接收的部分压缩测量序列集合复原所述无线电信号的总频谱。
11. 一种用于感测无线网络的频谱的系统,所述系统包括至少两个具有依照权利要求 1 的装置的网络节点以及至少一个具有依照权利要求 2 的装置的网络节点,其中所述依照权利要求 2 的装置包括所述融合中心。
12. 依照权利要求 11 的系统,其中所述依照权利要求 1 的装置中提供的用于测量所述部分自相关的处理分支的数量根据对应网络节点的处理能力而变化,并且其中所述系统的所有依照权利要求 1 的装置中提供的所有处理分支的总和对应于所述总频谱的频率分辨率。
13. 一种计算机程序产品,包括用于在计算机设备上运行时产生权利要求 9 或 10 的步骤的代码装置。

## 分布式频谱感测

### 技术领域

[0001] 本发明总体上涉及用于感测无线网络的频谱的装置、方法、计算机程序产品和系统。

### 背景技术

[0002] 广泛认识到的是，未来的无线系统将是认知性的并且能够按照机会使用无线电频谱。存在若干定义这样的系统的技术要求的标准机构(例如电气和电子工程师协会(IEEE)802.22)和监管机构(例如联邦通信委员会(FCC06,FCCM06))。这样的系统中的中心问题是获得感兴趣宽带频谱区域中的频谱占用率。例如，FCC正在为这样的认知网络考虑从54MHz到862MHz的区域内的频谱。在从2GHz到5GHz的区域内的频谱方面引起了类似的兴趣。

[0003] 在频谱估计领域，近来已经开发了称为“压缩感测”的技术。为了估计频谱，需要长度为 $N$ 的自相关序列

$$\mathbf{r} = [r(1) \dots r(N)]^T \quad (1)$$

其中每一项

$$r(n) = E\{x(t)x^*(t - \tau_n)\}, n = 1, \dots, N \quad (2)$$

对应于接收的信号 $x(t)$ 在特定时延 $\tau_n = (n-1)\Delta t$ 下的自相关。采样时间 $\Delta t$ 对应于要感测的频带的总带宽的倒数。该自相关序列的长度 $N$ 对应于频率分辨率，即 $N$ 越大，那么估计的频谱的频率分辨率越佳。频谱可以估计为等式(1)中的自相关序列 $\mathbf{r}$ 的傅立叶变换。在矩阵形式下，估计的频谱矢量为：

$$\mathbf{r}_f = \mathbf{F}\mathbf{r} \quad (3)$$

其中 $\mathbf{F}$ 表示大小为 $N \times N$ 的离散傅立叶变换(DFT)矩阵。

[0004] D. Donoho, “Compressed sensing”, IEEE Transactions on Information Theory, pp 1289-1306, April 2006 中描述了一种示例性压缩感测(CS)框架。假设 $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^N$ 为信号，并且 $\mathbf{\Psi} = [\boldsymbol{\psi}_1 \dots \boldsymbol{\psi}_N]$ 为张成 $\mathbb{R}^N$ 的矢量基，如果 $\mathbf{x}$ 可以由来自 $\mathbf{\Psi}$ 的 $K \ll N$ 个矢量的线性组合很好地近似，那么可以说 $\mathbf{x}$ 在 $\mathbf{\Psi}$ 中是 $K$ 稀疏的。在矩阵形式下，即：

$$\mathbf{x} = \mathbf{\Psi}\boldsymbol{\theta} \quad (4)$$

其中 $\boldsymbol{\theta}$ 为包含 $K$ 个非零项的稀疏矢量。CS理论说明，有可能使用其中 $M \ll N$ 的 $M \times N$ 测量矩阵 $\mathbf{\Phi}$ ，而测量 $\mathbf{y} = \mathbf{\Phi}\mathbf{x}$ 仍然保留关于 $K$ 稀疏信号 $\mathbf{x}$ 的必要信息。测量矩阵 $\mathbf{\Phi}$ 的一个实例是具有独立同分布高斯项的随机矩阵。使用与基矢量矩阵 $\mathbf{\Psi}$ 不相干(incoherent)的任何矩阵 $\mathbf{\Phi}$ ，有可能从CS测量 $\mathbf{y}$ 复原 $K$ 稀疏信号 $\mathbf{x}$ 。CS复原问题的典范公式求解 $L_1$ 最小化问题：

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} \|\theta\|_1 \quad \text{s.t.} \quad \mathbf{y} = \Phi \mathbf{x} = \Phi \Psi \theta \quad (5)$$

[0005] 该问题需要  $M=cK$  个测量, 其中  $c$  为某个常数。例如 J. Tropp 和 A. Gilbert, “Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit”, IEEE Transactions on Information Theory, pp 4655-4666, Dec 2007 中所描述的迭代贪心追踪算法经常用于 CS 复原, 例如正交匹配追踪 (OMP) 算法。

[0006] 为频谱感测估计的信号是等式 (1) 中的自相关序列  $r$ , 或者等效地为其频域版本, 等式 (3) 中的  $r_f$ 。为了将 CS 应用于频谱估计, 可以在基矩阵  $\Psi$  上利用稀疏矢量  $z$  使用  $r$  的稀疏表示, 使得  $r = \Psi z$ , 并且  $z$  包含大量零项或者接近零的项。

[0007] Z. Tian 和 G. B. Giannakis, “Compressed Sensing for Wideband Cognitive Radios”, ICASSP, pp 1357-1360, 2007 描述了作为  $r$  的稀疏表示的边缘频谱  $z$ 。边缘频谱可以定义为原始信号频谱的平滑版本的导数:

$$\mathbf{z} = \frac{d}{df} (r(f) * w(f)) = \frac{d}{df} FFT\{r(t)w(t)\} \quad (6)$$

其中  $*$  表示卷积,  $w(f)$  为平滑函数, 并且  $w(t)$  为  $w(f)$  的逆傅立叶变换。频域中执行的信号频谱  $r(f)$  与  $w(f)$  的卷积可以在时域中通过自相关序列  $r(t)$  与  $w(t)$  的乘积以及之后的傅立叶变换来实现。在矩阵形式下, 边缘频谱矢量  $z$  为:

$$\mathbf{z} = \mathbf{DFW}\mathbf{r} \quad (7)$$

其中

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 1 & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

为近似导数操作的矩阵,  $\mathbf{W} = \text{diag}\{w(t)\}$  为  $w(t)$  在其对角线上的对角矩阵, 矩阵  $\mathbf{D}$ 、 $\mathbf{F}$  和  $\mathbf{W}$  大小为  $N \times N$ , 矢量  $\mathbf{r}$  和  $\mathbf{z}$  大小为  $N \times 1$ 。边缘频谱矢量  $\mathbf{z}$  为带有少数非零项的稀疏矢量, 这些稀疏矢量与其中频谱水平具有某些锐利变化的频带边缘对应。

[0008] 图 1 示出了信号频谱  $r(f)$  (顶部) 和相应的边缘频谱  $z(f)$  (底部)。显然可推断的是, 边缘频谱在频域中是稀疏的, 具有少量尖峰, 其中正的尖峰指示频谱水平的增加并且负的尖峰指示减小。

[0009] 基于等式 (7), 自相关序列矢量  $\mathbf{r}$  可以按照  $\mathbf{z}$  表示:

$$\mathbf{r} = (\mathbf{DFW})^{-1} \mathbf{z} = \Psi \mathbf{z} \quad (8)$$

其表明  $\mathbf{r}$  在基  $\Psi = (\mathbf{DFW})^{-1}$  中具有稀疏表示  $\mathbf{z}$ 。

[0010] 宽带频谱感测可以通过一次一个地对每个窄带频道执行窄带感测来实现。然而, 这要求具有可调谐窄带带通滤波器的昂贵且不利的射频 (RF) 前端, 并且也需要信道化的知识, 即感兴趣宽带上每个窄带信道的中心频率和带宽。

[0011] 另一种方法基于同时感测包含多个窄带频道的宽带。如果总的感兴趣带宽为数百 MHz, 那么这需要高速以及因而运行在例如吉比特 / 秒的耗电模数转换器 (ADC)。

[0012] Z. Tian 和 G. B. Giannakis, “Compressed Sensing for Wideband Cognitive Radios”, ICASSP, pp 1357-1360, 2007 提出了一种应用压缩感测以执行宽带频谱感测的思想。然而,压缩应用于自相关序列  $r(t)$  并且  $r(t)$  的计算要求在奈奎斯特速率以上采样原始宽带信号  $x(t)$ , 并且因而高速 ADC 的负担没有降低。

[0013] 此外, US20080129560 公开了一种用于分布式压缩感测的方法, 其中利用了完全 CS 矩阵或者其子矩阵, 并且重点在于基于多传感器节点处的测量之间的联合稀疏性的复原算法的算法效率。

## 发明内容

[0014] 本发明的目的是提供一种在传感器节点处具有降低的处理要求的灵活的频谱感测方法。

[0015] 这个目的是在感测端通过如权利要求 1 所述的装置和如权利要求 9 所述的方法、在测量或处理端通过如权利要求 2 所述的装置和如权利要求 10 所述的方法以及通过如权利要求 13 所述的计算机程序产品来实现的。

[0016] 相应地, 频谱估计可以通过分布式多传感器节点网络来执行, 而无需高速模数转换器(ADC)适应大的感兴趣带宽。每个传感器节点在模拟域中测量接收的信号在若干特定延下的部分自相关(partial autocorrelation)。该模拟自相关因而减轻了 ADC 的负担。每个传感器节点在数字域中进一步通过压缩感测处理器将部分自相关变换成部分压缩测量序列。融合中心获取所有传感器节点收集的部分压缩测量序列, 基于所述部分压缩测量序列估计总的频带或频谱上的信号频谱。融合可以在与传感器节点不同的节点处执行, 或者在每个感测节点处通过收集来自其他传感器节点的测量而执行。所提出的分布式感测方法对于其中能量效率关键的分布式网络是特别有利的。

[0017] 所提出的装置可以实现为网络节点或网络站中提供的处理器设备、模块、芯片、芯片组或者电路。处理器可以由计算机程序产品控制, 该计算机程序产品包括用于在计算机或处理器设备上运行时执行要求保护的方法的步骤的代码装置。

[0018] 依照第一方面, 所述部分压缩测量序列可以通过相干加性传输信道传输。因此, 该传输信道自动地聚集(aggregate)分布式传感器节点传输的各个部分压缩测量序列。

[0019] 依照可以与上面的第一方面结合的第二方面, 相关器可以包括至少一个分支, 所述分支具有: 乘法器, 其用于将接收的信号与其特定延迟的共轭版本相乘; 积分器, 其用于在预定的时间窗上对获得的乘积积分; 以及模数转换器, 其用于对预定的时间窗结束时获得的积分输出数字化。该分支类型处理结构允许实现所述装置的基于处理能力的简单可伸缩结构。

[0020] 依照可以与第二方面结合的第三方面, 相关器可以进一步包括压缩感测处理器, 该压缩感测处理器用于接收所述至少一个分支的数字化积分输出并且用于将部分压缩感测测量应用于该数字化积分输出。压缩感测测量由于要处理的信号投影数量更小而提供了处理要求降低的优点。

[0021] 依照可以与第一至第三方面中的任何一方面结合的第四方面, 变换处理器可以包括: 复原部分, 其用于根据部分压缩测量序列的集合(collection)复原总频谱的导数; 以及积分部分, 其用于近似对于该导数的积分操作。因此, 总频谱的估计可以通过简单的积分

操作直接地从复原的导数获得。

[0022] 依照可以与第一至第四方面中的任何一方面结合的第五方面,复原部分可以适于应用压缩感测复原处理。因此,可用的复原算法可以用于该复原处理。

[0023] 依照可以与第四或第五方面结合的第六方面,积分部分可以适于对导数计算累加和。这允许实现简单且直接的获得积分操作的近似的方法。

[0024] 依照可以与第一至第六方面中的任何一方面结合的第七方面,依照权利要求 1 的装置中提供的用于测量部分自相关的处理分支的数量根据对应网络节点的处理能力而变化,并且其中所述系统的所有依照权利要求 1 的装置中提供的所有处理分支的总和对应于总频谱的频率分辨率。因此,测量总频谱的自相关序列的共有的负担可以适应每个单独的感测节点的处理能力。

[0025] 从属权利要求中限定了另外的有利发展。

## 附图说明

[0026] 现在,将基于各个不同的实施例参照附图描述本发明,在附图中:

图 1 示出了信号频谱和相应的边缘频谱;

图 2 示出了依照第一实施例的传感器节点处理器的示意性框图;

图 3 示出了依照第二实施例的频谱感测过程的流程图;

图 4 示出了依照第三实施例的分布式频谱感测系统的示意性框图;以及

图 5 示出了依照第四实施例的融合中心处理器的示意性框图。

## 具体实施方式

[0027] 在下文中,基于示例性分布式压缩宽带感测系统描述本发明的实施例。

[0028] 依照这些实施例,包含多窄带信道的宽带频道的所提出的频谱估计由分布式多传感器节点网络执行并且无需高速 ADC 以适应大的感兴趣带宽。

[0029] 每个传感器节点在模拟域中例如依照该传感器节点的处理能力测量接收的信号在若干特定时延下的部分自相关。该模拟自相关减轻了 ADC 的负担。每个传感器节点在数字域中进一步将部分自相关变换成部分压缩测量序列。融合中心(FC)获取所有传感器节点收集的部分压缩测量序列,基于所述部分压缩测量序列可以通过压缩感测(CS)复原算法估计所述宽带上的信号频谱。融合可以在与传感器节点不同的节点处执行,或者在每个感测节点处通过收集来自所有其他传感器节点的测量而执行。

[0030] 因此,所提出的频谱估计涉及网络中每个传感器节点处的特定信号处理,将感测的信息从每个传感器节点传送到 FC 的特定方式,以及融合中心处为获得频谱估计而进行的特定处理。

[0031] 图 2 示出了标号为  $j$  的传感器节点处的处理器或处理元件的示意性框图。接收的信号  $x(t)$  的自相关在至少一个处理分支中在模拟域通过在对乘法器 20 处将接收的信号  $x(t)$  与其从对应的延迟元件 10-1 至 10- $N_j$  获得的延迟共轭版本相乘而测量。乘法器 20 的输出端的乘积提供给对应的积分器 30,其中它们在预定的时间窗  $T$  上积分。在每个处理分支的末端,该模拟积分输出提供给对应的 ADC 40 以便在每个时间窗  $T$  结束时加以数字化。如果信号占用也为建议的奈奎斯特采样率的  $B$  Hz 带宽,那么所提出的方案中的 ADC 采样率

变为  $(B/T)$  Hz。因此,图 2 的第  $j$  个传感器节点包括  $N_j$  个并行的处理分支,每个处理分支产生特定时延的测量的自相关。来自所有分支的测量的自相关可以写成长度为  $N_j$  的列矢量  $\mathbf{r}_j$  :

$$\mathbf{r}_j = [r(n_1) \dots r(n_{N_j})]^T \quad (9)$$

[0032] 其被设计成使得  $\mathbf{r}_j$  为取自等式(1)中表达的完全自相关序列  $\mathbf{r}$  的部分自相关序列,并且来自所有  $J$  个传感器节点的测量的  $\mathbf{r}_j$  构成长度为  $N$  的完全自相关序列,即 :

$$\mathbf{r} = [\mathbf{r}_1^T \dots \mathbf{r}_J^T]^T \quad (10)$$

[0033] 分支的数量  $N_j$  可以取决于每个传感器节点的处理能力(例如硬件和功率限制),并且不一定对于所有传感器节点相同,只要 :

$$\sum_{j=1}^J N_j = N \quad (11)$$

[0034] 事实上,所提出的频谱感测方案通过让每个传感器节点测量长度为  $N_j$  的部分自相关序列而在  $J$  个传感器节点之间分配测量长度为  $N$  的自相关序列的负担。例如,如果感测节点的数量等于要估计的希望的自相关序列的长度,即  $J=N$ ,那么每个传感器节点只需要一个处理分支测量一个单时延的自相关,其为单个系数,即  $r_j=r(j)$ ,  $j=1, \dots, N$ 。

[0035] 部分自相关序列  $\mathbf{r}_j$  在变换单元 50 中通过应用部分 CS 测量矩阵  $\Phi_j$  而被变换成部分压缩测量序列  $\mathbf{y}_j$ 。在矩阵形式下,这可以表示如下 :

$$\mathbf{y}_j = \Phi_j \mathbf{r}_j \quad (12)$$

其中  $\mathbf{y}_j$  是大小为  $M \times 1$  的矢量,并且  $\Phi_j$  是大小为  $M \times N_j$  的矩阵。部分 CS 测量矩阵  $\Phi_j$  可以在变换单元 50 处通过从包含随机元素(例如高斯或  $\pm 1$  伯努利)的大小为  $M \times N$  的预定义的 CS 测量矩阵 :

$$\Phi = [\Phi_1 \dots \Phi_J] \quad (13)$$

中取出  $N_j$  列而获得。

[0036] 最后,该传感器节点将部分压缩测量序列  $\mathbf{y}_j$  传输到无线网络中分开地提供的或者某传感器节点处的融合中心(FC)。

[0037] 图 3 示出了依照第二实施例的频谱感测过程的流程图,其可以实现为控制传感器节点处提供的处理器或计算机的软件例程。

[0038] 在步骤 S101 中,接收的信号在模拟域与对应特定延迟的至少一个延迟的共轭版本相乘。然后,在步骤 S102 中,在预定的时间窗上对这些乘法结果积分,并且在步骤 S103 中对积分输出进行模数转换或者数字化。在后续的步骤 S104 中,例如通过使用 CS 测量矩阵将从所有数字化积分输出获得的部分自相关序列变换成部分压缩测量序列。最后,在步骤 S105 中,将该部分压缩测量序列转发到融合中心。

[0039] 图 4 示出了依照第三实施例的分布式频谱感测系统的框图。单独的且部分的压缩测量序列  $\mathbf{y}_j$  从传感器节点 200-1 至 200-J 传输到 FC 70。所有  $J$  个传感器节点 200-1 至 200-J 可以以未编码的模拟且同步的方式在某个载波频率  $f_c \gg W_c$  下通过带宽为  $W_c$  的窄带无线传输信道 60 将其各自的压缩测量序列  $\mathbf{y}_j$  传输到 FC 70。因此,传输信道 60 构成如例

如 W. Bajwa, J. Haupt, A. Sayeed 和 R. Nowak, “Compressive Wireless Sensing”, International Conference on Information Processing in Sensor Networks, April 2006 中描述的相干加性信道。传输信道 60 在同步传输期间自动地聚集(即相干地加上)部分压缩测量序列  $y_j$ , 并且 FC 70 接收等于所有部分压缩测量序列  $y_j$  的总和的矢量  $y$ 。这可以表示如下:

$$\mathbf{y} = \sum_{j=1}^J \mathbf{y}_j = \sum_{j=1}^J \boldsymbol{\Phi}_j \mathbf{r}_j = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Phi}_1 & \boldsymbol{\Phi}_2 & \dots & \boldsymbol{\Phi}_J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \mathbf{r}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{r}_J \end{bmatrix} = \boldsymbol{\Phi} \mathbf{r} \quad (14)。$$

[0040] 图 5 示出了依照第四实施例的 FC 处理器的示意性框图。该处理器被配置成在复原块或部分 601 和积分块或部分 602 中执行 FC 处的分布式压缩宽带感测方案的处理, 所述复原部分和积分部分可以实现为分立的处理块或者控制 FC 处理器的软件例程。

[0041] 给定如等式(8)中所定义的  $\mathbf{r}$  的稀疏表示, CS 复原问题可以用  $\mathbf{y} = \boldsymbol{\Phi} \mathbf{r} = \boldsymbol{\Phi} \boldsymbol{\Psi} \mathbf{z}$  表示。传感器节点  $j$  使用矩阵  $\boldsymbol{\Phi}$  的哪  $N_j$  个列是预先设计的并且为 FC 所知。因此, FC 的复原部分 601 可以使用 CS 复原算法(例如, 如例如 J. Tropp 和 A. Gilbert, “Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit”, IEEE Transactions on Information Theory, pp 4655-4666, Dec 2007 中所描述的 OMP)根据接收的收集的测量估计边缘频谱  $\mathbf{z}$  (或者自相关序列  $\mathbf{r}$ )。最终, 估计总的增强或完全信号频谱  $\mathbf{r}_f$ , 其可以在积分部分 602 处通过取自相关序列  $\mathbf{r}$  的傅立叶变换而获得。在依照第四实施例的特定实现实例中, 假定边缘频谱  $\mathbf{z}$  定义为总的频谱  $\mathbf{r}_f$  的平滑版本的导数, 那么总的信号频谱  $\mathbf{r}_f$  的估计可以在积分块 602 中通过近似积分操作的在  $\mathbf{z}$  上求累加和而直接从复原的边缘频谱  $\mathbf{z}$  获得。

[0042] 总而言之, 描述了用于无线网络的频谱感测方案。所提出的方法涉及以分布式方式应用感测以便获得信号频谱的估计。多感测节点的网络获得这种频谱估计, 而无需高速模数转换器适应大的感兴趣带宽。

[0043] 应当指出的是, 本发明并不限于上面的实施例并且可以应用于各种各样的信号检测和估计问题, 其中目标是例如在无线电环境监控中获得粗略的频谱占用率以便在无线医院、身体传感器网络、便携式设备、移动终端等等中进行干扰检测。此外, 所提出的为了获得部分压缩测量序列而对部分自相关序列的进一步处理或压缩可以应用于数字或模拟域。

[0044] 本领域技术人员根据对于所述附图、本公开内容以及所附权利要求书的研究, 应当能够理解和实现所公开实施例的变型。在权利要求书中, 措词“包括/包含”并没有排除其他的元件或步骤, 并且不定冠词“一”并没有排除多个元件或步骤。单个处理器或其他单元可以实现权利要求中列举的若干项的功能。在相互不同的从属权利要求中陈述特定技术措施这一事实并不意味着这些技术措施的组合不可以加以利用。用于控制处理器执行要求保护的特征的计算机程序可以存储/分布于适当的介质上, 例如存储/分布于与其他硬件一起提供或者作为其他硬件的一部分而提供的固态介质或者光学存储介质上, 但是也可以以其他的形式分发, 例如通过因特网或者其他有线或无线电信系统分发。权利要求书中的任何附图标记都不应当被视为对其范围的限制。



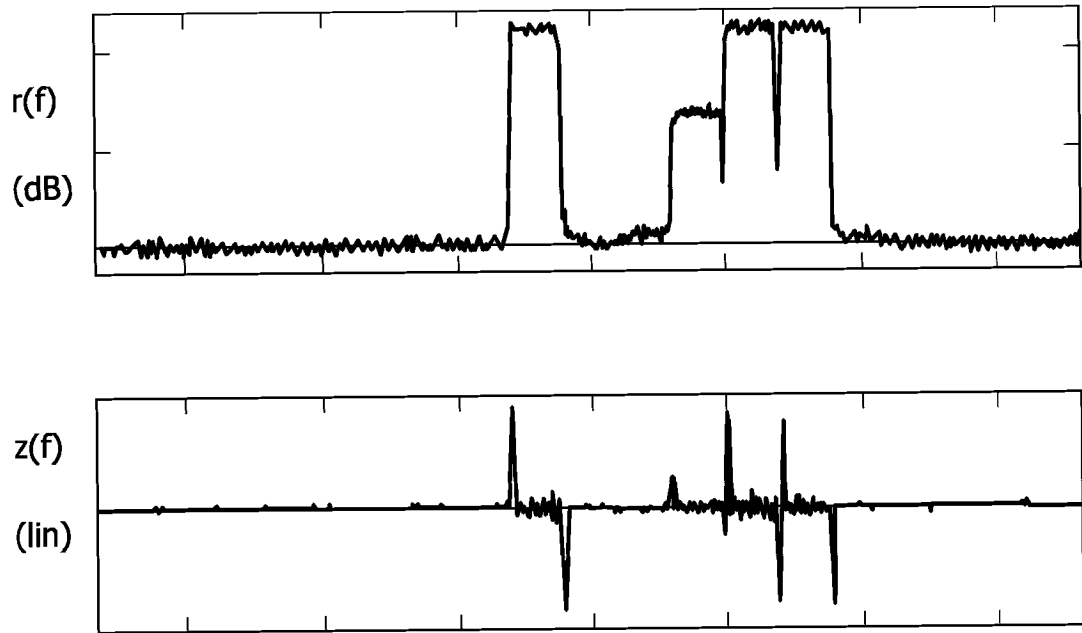


图 1

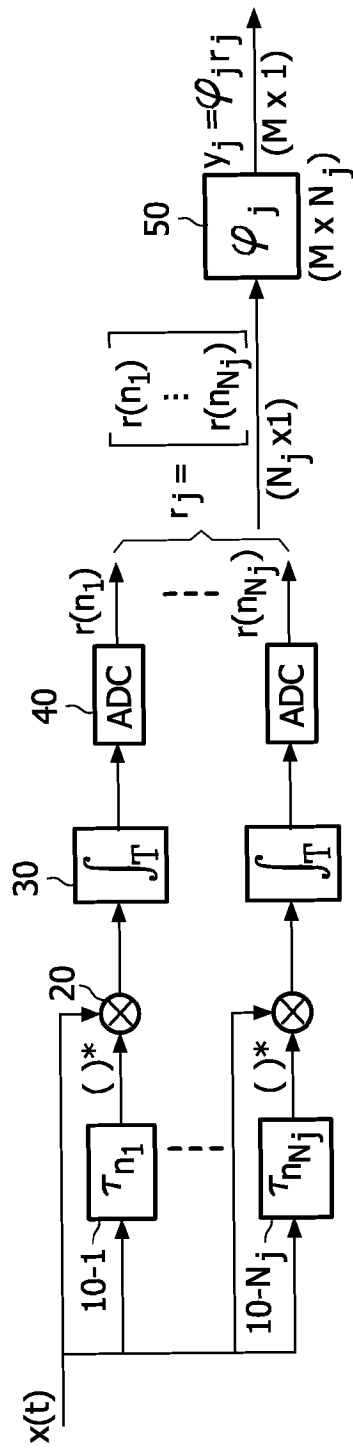


图 2

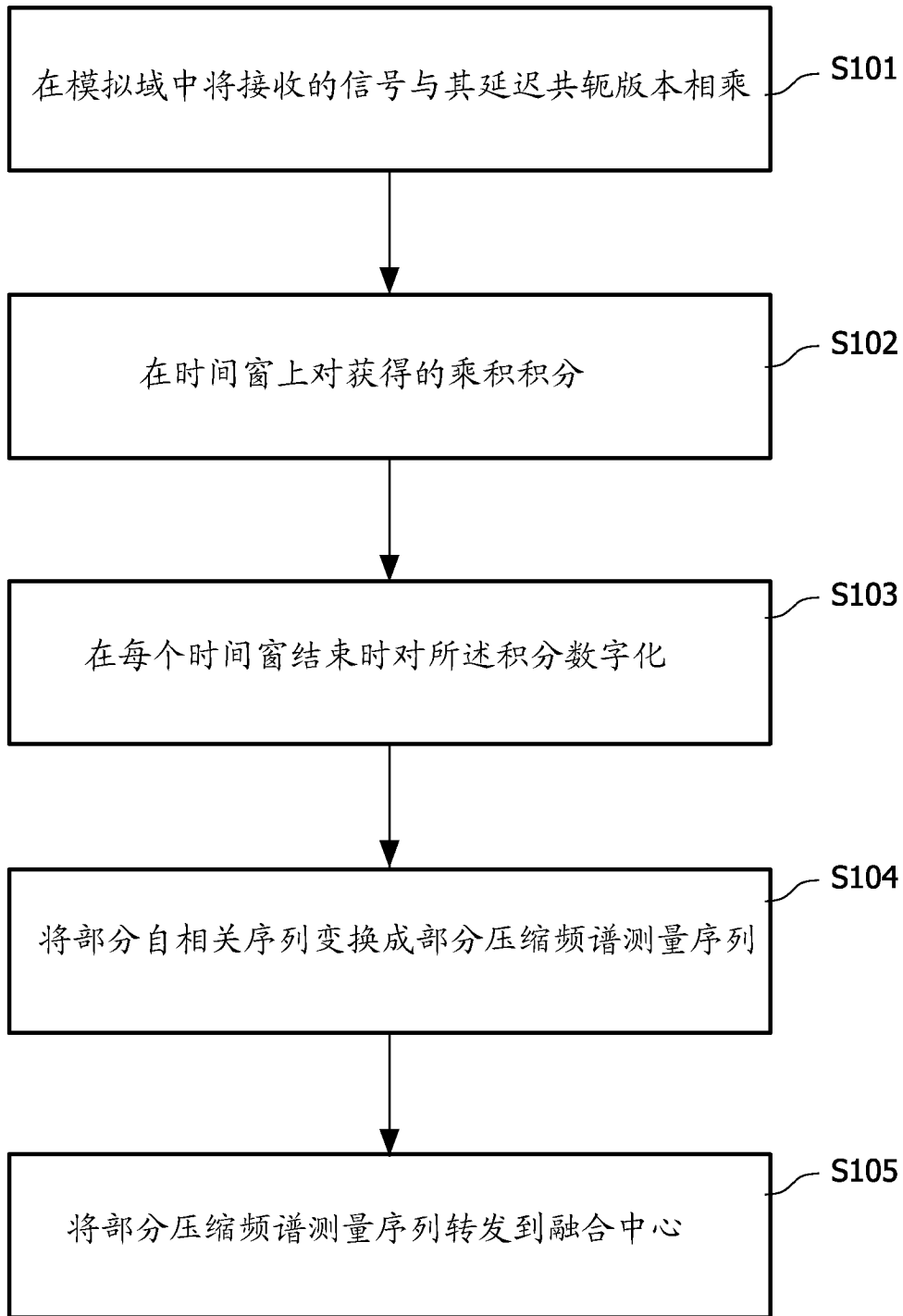


图 3

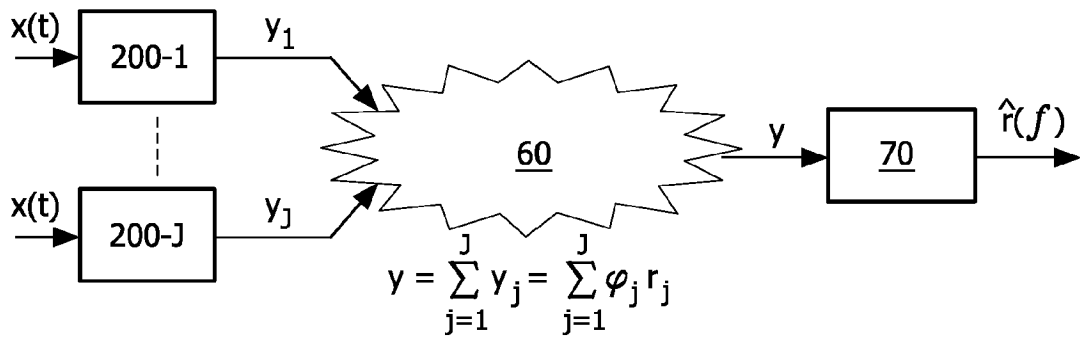


图 4

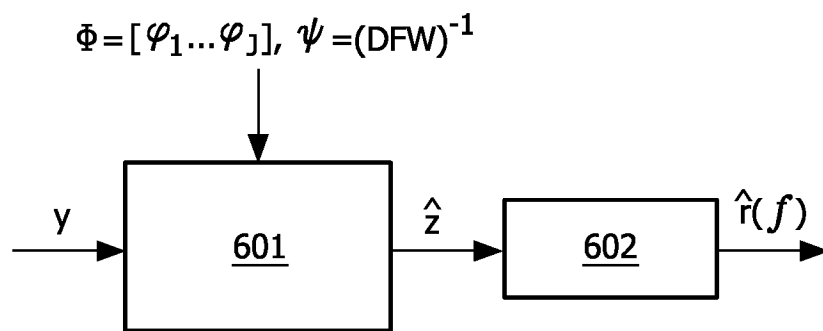


图 5