

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R SM.2304-0 报告
(06/2014)

**对特定数字信号进行技术
识别与分析的应用**

**SM 系列
频谱管理**

15 
1865-2015



国际电信联盟

前言

无线电通信部门的作用是确保所有无线电通信业务，包括卫星业务，合理、公平、有效和经济地使用无线电频谱，并开展没有频率范围限制的研究，在此基础上通过建议书。

无线电通信部门制定规章制度和政策的职能由世界和区域无线电通信大会以及无线电通信全会完成，并得到各研究组的支持。

知识产权政策（IPR）

ITU-R的知识产权政策在ITU-R第1号决议附件1引用的“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策”中做了说明。专利持有者提交专利和许可声明所需表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，该网址也提供了“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策实施指南”以及ITU-R专利信息数据库。

ITU-R 系列建议书

（也可在以下网址获得：<http://www.itu.int/publ/R-REP/en>）

系列	标题
BO	卫星传输
BR	用于制作、存档和播放的记录：用于电视的胶片
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
SM	频谱管理

注：本ITU-R报告英文版已由研究组按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版物
2015年，日内瓦

© 国际电联 2015

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段翻印本出版物的任何部分。

ITU-R SM.2304-0 报告

对特定数字信号进行技术识别与分析的应用

(2014年)

1 引言

本报告的目的是要对在ITU-R SM.1600建议书《数字信号的技术识别》及在频谱监视手册第4.6和4.8节中所得到的信息进行补充。其重点是在解决与信号识别相关的特殊问题与事务上，并且意图使频谱管理者及他们的监管业务得到实际受益。

在下面的附件1中可以看到本报告的内容。它包括以下方面：

- 信号（或信号分类）描述与使用
- 定义与缩写列表（一旦需要）
- 背景与问题陈述
- 对在解算中所采用工具、技术和方法的描述
- 结果
- 结论

可以预期进一步研究将会添加到此报告以增加其他的实例；每个补充的附件将是自成一体的，遵循以上格式并涉及与信号识别相关的一个特定实例。

附件1

对DVB-T单频网络中的发射机进行识别

引言

本应用案例是在意大利进行的，应用于一个已经被确认为属于一个单频网络（SFN）DVB-T的信号，为了在一个特定接收位置识别所有可检测到的发射机：它让使用者能够在识别过程中更进一步。

DVB-T频率分配区/发射机识别

在对一个DVB-T信号进行识别的过程中通常要进行以下步骤：

- 步骤1：自相关来识别保护间隔（GI）的存在，考虑符号持续时长可以选择为2倍（DVB-T）或3倍（DVB-H）值；
- 步骤2：通道评估；
- 步骤3：I/Q记录；
- 步骤4：发射参数信令（TPS）分析和Cell ID评估。

所描述的方法注重于后面的步骤，对DVB-T频率分配区/发射机识别的TPS分析。

DVB-T信号是正交频分复用（OFDM）类型，由三个载频类型构成：连续与离散导频、TPS载频和数据载频。导频被用于通道评估，并被称为“x轴定相载频”；可以得到对于它们的一个先验了解。TPS载频包含所采用调制参数的信息以及一个被称为Cell ID的特定字段（ETSI EN 300 744 V1.6.1（2009-01），第4.6节）。对TPS所采用的调制机制是DBPSK。数据载频调制是在QPSK到64 QAM的数字调制范围内选择。

采用一个矢量信号分析仪（VSA）或监视接收机，Cell ID读数使用户可以识别出在一个多频网络（MFN）中的接收机，或在一个标准k-SFN中的频率分配区（亦见ITU-R SM.1875建议书，第3.1.3.2节）。此外，它适用于 $k=1$ 且每个频率分配区仅仅包含一个发射机的情况。在此情况下，每个发射机具有一个明确的标识（Cell ID）。

背景：SFN架构

以下的所有信息/图片摘自来自RRC-04和GE06的ITU文件。

SFN定义为：

a) 由在相同射频通道中发射相同信号的同步发射站所组成的网络。

其他被类似地如下定义：

大范围SFN：一个包含多于一个高功率站并与任何辅助中低功率站一起的SFN，通常具有大于10 000 km²的综合覆盖面积。

微型SFN：与至少一个（很可能是多个）辅助中低功率站一起的一个高功率站。

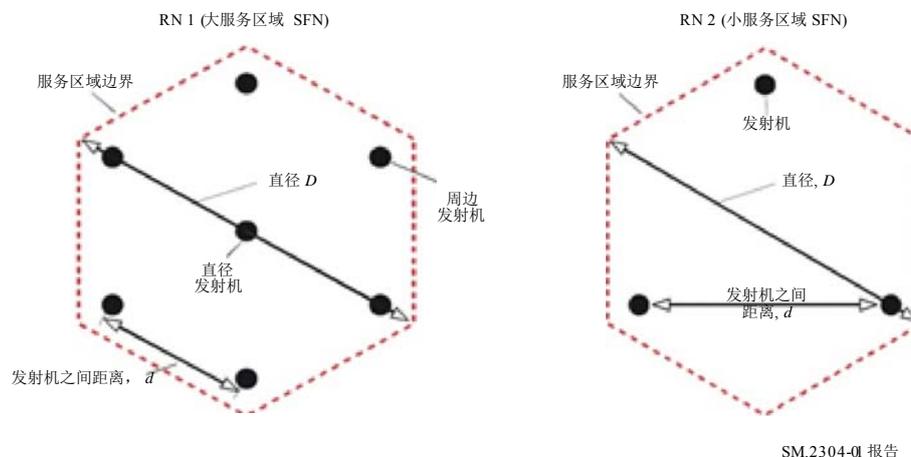
参考网络（RN）：出于通用性分析的目的，用于表示仍未知的真实网络的一般网络。主要目的是要确定对典型数字广播网络干扰的潜在可能或对其的敏感度。

应该考虑二种RN（图1）：

- 1) 由分别位于一个六边形格子的中心和顶点的7个发射机所组成的大服务区域SFN；
- 2) 由位于一个等边三角形顶点的三个发射机所组成的小服务区域SFN、密集SFN。

假设服务区域也是一个六边形。

图 1
参考网络的实例



每个六边形可以被视为一个频率分配区，并且，通常相邻的频率分配区应采用不同的频率。不同频率分配区之间的距离被称为“频率重用距离”。完整的频段被细分为由多个频率分配区组成的簇。在一个簇中的频率分配区数量由公式 $N = i^2 + ij + j^2$ 给出，其中 i 和 j 是整数。 N 被称作“频率重用因子”（FRF）。通常，FRF 的值是 3、4 和 7。对在整个服务区域上可用的那些频率，可以假设 FRF 为 1（1-SFN）。

k-SFN 特性

采用相同频率的频率分配区可以携带相同或不同的内容。在第一种情况下，在整个服务区域上有一个 SFN；否则，我们有一个区域性的 SFN。在二种情况中，在特定传播条件下，由位于一个特定频率分配区中的一个发射机所发射的信号可以到达任何其他工作于相同频率的频率分配区，引起干扰。如果每个频率分配区是由一个唯一代码所标识，就变得很容易在任何时间任何地点确认任何干扰源。如果标识码是在一个发射机级别上实施，对任何干扰源的确认将更加精确。

不管采用什么网络配置，对在一个 SFN 中的每个发射机采用一个唯一代码是可能的，这使得在任何情况下可以对网络进行极好的管理。

大规模 1-SFN

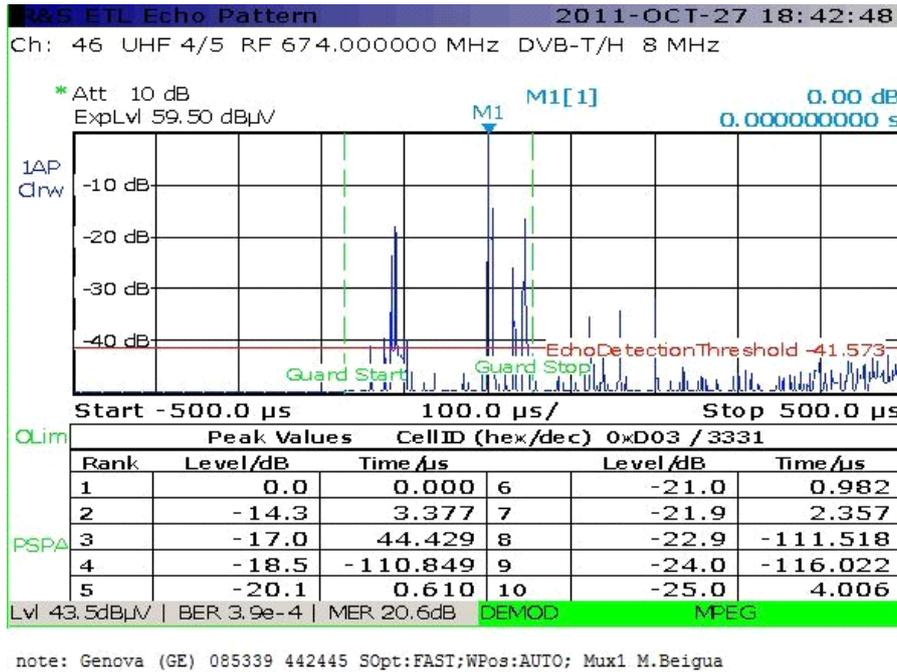
大规模 1-SFN 在频谱使用上得到最佳的效率，但是可能会引起一些缺点。影响大规模 1-SFN 的最严重问题是在用户端的相当多数量的回波，其中，可以检测出天然和人工这二种回波。回波中的第一类是源自附近障碍物所产生的发射和散射，而第二类是源自工作在相同频率网络中的其他发射机。传播的影响在热的海所环绕的地区中使接收更加复杂化。

回波可以落到保护间隔之内或之外；它们其中一些先于主信号到达，而其他则落后于它（图 2）。

运营商对准确部署并检查一个大 SFN 特性的需求都很了解，他们中有一些因此正采用发射参数 Cell ID 来标识每个发射机。

图2

在接收机端回波展宽的实例



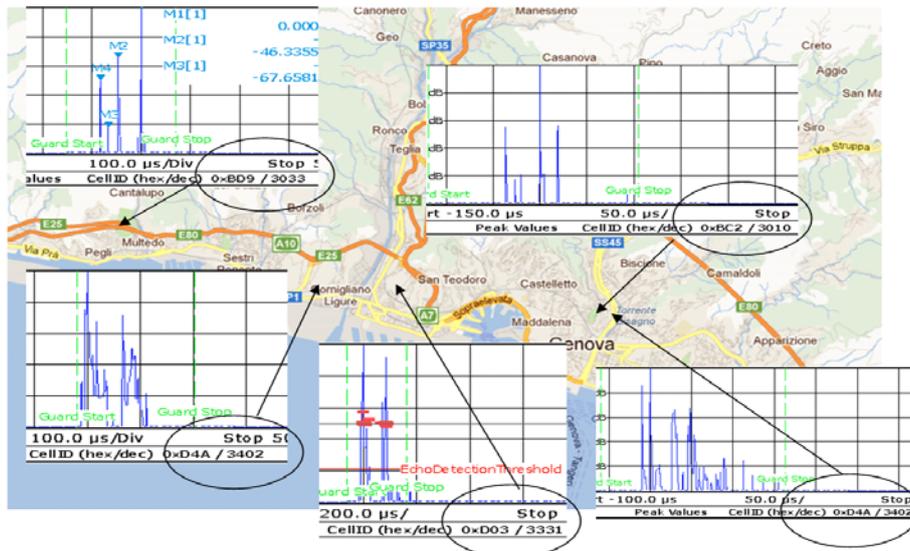
SM.2304-02 报告

按照ETSI TR 101 190 V1.3.2 (2011-05) 第5.2.4节, 对每个接收机采用一个不同的Cell ID使使用者简化了测量及现场监视工作。

以这样的方式, 有可能识别在一个测量/监视点所接收到的所有接收机, 并为进一步的比较分析记录下它们的通道脉冲响应 (CIR) (图3)。

图3

通过Cell ID识别最高接收到的发射机



SM.2304-03 报告

在后面几节中所描述的方法使得使用者能够识别所接收的主要信号以及具有相对于主信号超过-30 dB电平的所有回波。

此外，这些方法让使用者能够区分属于具有相同网络时延并且在超级帧级别上同步的二个不同SFN（具有不同内容）的信号，它们在CIR之中被视为是相同网络的一部分。

通过将测量时延与规划时延数据库相匹配进行识别

对在SFN中每个发射机采用一个不同的Cell ID使得能够迅速识别具有最高接收电平的发射机并计算与之相关的所有回波的时延。

事实上，有可能对在一个给定测量点所接收到的每个信号做出二个总时延表：

- **总计算时延表：**由发射机规划时延表所产生（本地时延），考虑了发射机和接收点的坐标（图4）。
- **总测量时延表：**来自VSA或监视接收机的读数。

通过将测量时延与其期望时延相比较，有可能识别属于相同网络并在一个给定测量点所接收到的所有发射机。

图4
Cell ID及总时延计算

Channel	Transmitter	Cell ID		Distance (Km)	Azimut	Delays (µsec.)			
		Dec	Hex			Tx	Path	Tot	Rel
<input type="radio"/>	30 BUSALLA	3003	BBB	18,587	35	720	62	782	-22,7
<input type="radio"/>	30 GENOVA CAMALDOLI	3035	BDB	9,857	86	760	32,9	792,9	-11,8
<input type="radio"/>	30 M.BEIGUA	3331	D03	24,028	274	720	80,1	800,1	-4,6
<input checked="" type="radio"/>	30 M.FASCE	3402	D4A	13,399	93	760	44,7	804,7	0
<input type="radio"/>	30 GENOVA RIGHI	3010	8C2	5,875	86	800	19,6	819,6	14,9
<input type="radio"/>	30 COGORNO	3019	BCB	41,65	104	720	138,8	858,8	54,1
<input type="radio"/>	30 SESTRI PONENTE	3041	8E1	2,713	316	860	9	869	64,3
<input type="radio"/>	30 OREGINA	3043	8E3	3,254	113	860	10,8	870,8	66,1
<input type="radio"/>	30 GENOVA BRANEGA	3011	8C3	6,89	282	860	23	883	78,3
<input type="radio"/>	30 GENOVA PORTOFINO	3033	BD9	25,971	111	800	86,6	886,6	81,9
<input type="radio"/>	30 POLCEVERA	3009	8C1	8,007	357	860	26,7	886,7	82
<input type="radio"/>	30 QUEZZI	3085	C0D	8,295	90	860	27,7	887,7	83
<input type="radio"/>	30 CAMPOMORONE	3092	C14	8,796	24	860	29,3	889,3	84,6

SM 2304-04报告

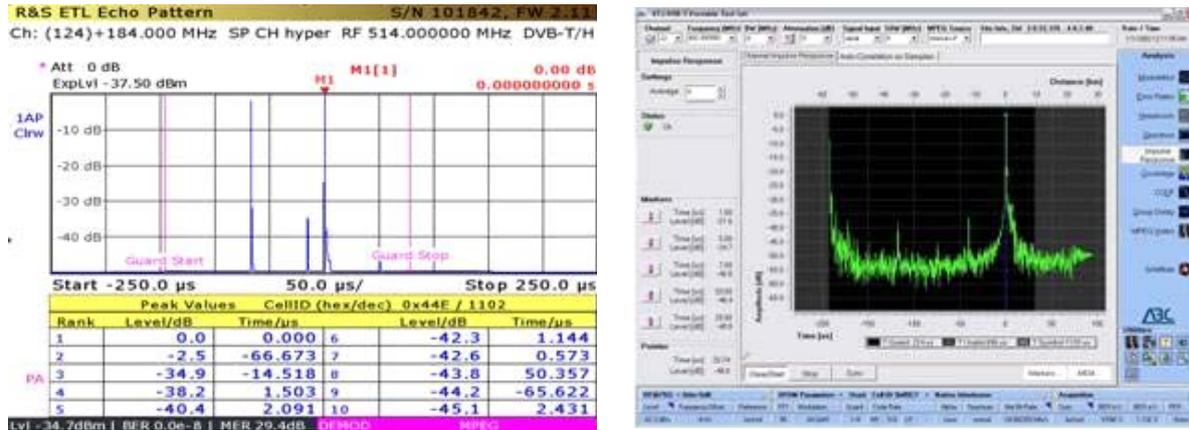
采用VSA软件包进行识别

已经开发出一种新的DVB-T发射机识别方法，适合于在一个典型测量接收机或在一个VSA中作为升级来实现。通过采用这种方法，使用者能够在一个接收点有效地识别接收到的来自一个DVB-T SFN的所有发射机的信号。

当前可用的测量仪表无法使一个使用者得到关于一个SFN所有信号来源的信息。例如，在图5中，所示的Cell ID值0x44E是相对于最强信号的（时间 = 0，电平 = 0 dB）。

图5

对最强信号进行Cell ID识别



a)

b)

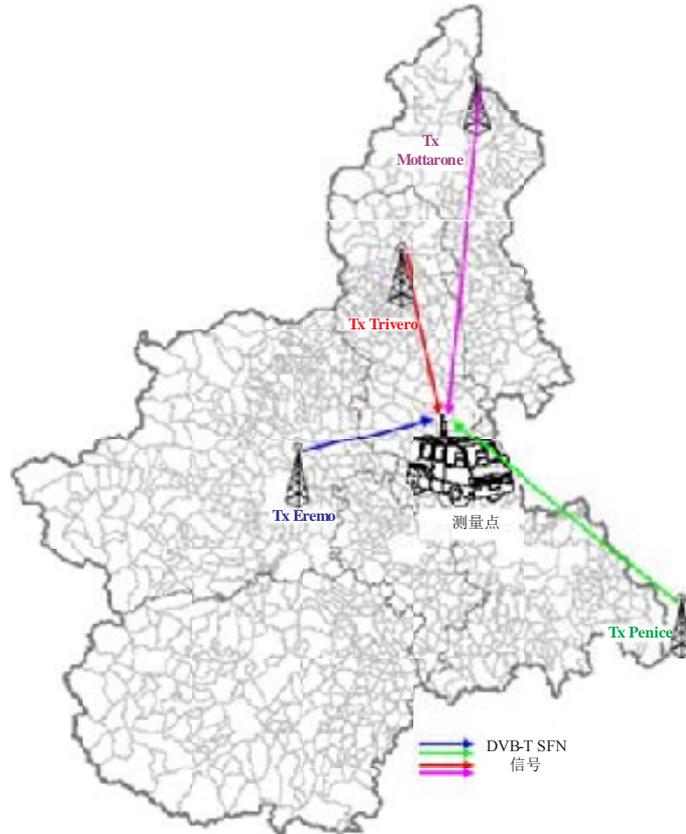
SM.2304-05报告

如上所解释，该方法假设在TPS载频中在Cell ID字段中插入一个唯一的发射机标识码。

事实上，在给定的时间-频率位置，从不同发射机发射的不同信号可以从二个关心的方面被观测到。一方面，这可以被视为是一个“冲突”，一种具有负面含义的现象。另一方面，这类似于在具有多重天线系统中所发生的，像MISO（多输入单输出）（ETSI EN 302 755 V1.2.1（2010-10），第9.1节），其中，有可能通过从多个天线在相同的频率上对不同的信号进行传输来实现频段重用。借助于空间分集，可以估算各个通道的频率响应，此处，“通道”被视为是每个发射机和接收机之间的传播路径。

在一个特定的接收点，可以令人满意地知道所有检测到信号的强度。例如，在图6中显示了由一组DVB-T SFN发射机所覆盖的一个地理区域。

图6
在覆盖区域中测量的实例



SM.2304-06报告

在该图中，发射机被称呼为“Mottarone”、“Trivero”、“Eremo”和“Penice”。知道在接收点处每个发射机的贡献是有用的。

所采用的标识码Cell ID被在TPS载频的S40-S47符号中发送。

从该SFN的每个发射机逐位等同地发送符号S0-S39，因此接收到的OFDM信号是完全相关的（无冲突）。然而，Cell ID符号S40-S47携带不同的代码标识符；与不同的发射机相关联，因此接收信号可能仅仅在TPS载频上包含冲突。由于采用差分编码系统，相同的情形也发生在比特S48-S67，它包含了字段“留待将来使用”和“错误保护”。

但是，如已经提到的，OFDM信号在携带导频和负载数据（视频、音频等）的信元中总是完全相关的，因而保证了正确的接收。

让我们考虑放置于一个特定接收点的一个测量接收机，它接收来自服务区域中发射机的信号。设 $x(t)$ 和 $y(t)$ 分别是由一个普通发射机所发射的信号和所接收的信号，以时域表示。通过应用傅里叶变换， $x(t)$ 和 $y(t)$ 信号可以在频域中分别表示为 $X(\omega)$ 和 $Y(\omega)$ 。

因为信号 $x(t)$ 从普通发射机传播到接收机的传输通道受到多径传播的影响，可以由自己的CIR $h(t)$ 表示，或者由后者的傅里叶变换 $H(\omega)$ 描述，亦被称为通道频率响应（CFR）。

这适用于 N 个发射机中的每一个。以这种方式，有可能定义每个发射机和接收机之间的 N 个不同“传输通道”（ $H_1(\omega)$, $H_2(\omega)$, ... $H_n(\omega)$ ），每一个都因为各自的特定多径传播而受自己的参数所影响。

每个“传输通道”将具有一个不同的时延、相移和衰减。通常，传输路径具有以下关系：

$$Y_i(\omega) = X_i(\omega) \cdot H_i(\omega)$$

此处，变量 X_i 、 Y_i 和 H_i 都是复数量，而运算符“ \cdot ”是复数积。

此外，因为在OFDM调制中采用了取样数据处理，在解调器中采用了一个快速傅里叶变换（FFT），而在调制器中采用了其逆运算（IFFT），以上所提到的变量是将指数 n 用于符号在帧中的位置和将指数 k 用于频率位置来表示的。

因此，对一个OFDM信号，前面的公式可以被写为：

$$Y_i(n, k) = X_i(n, k) \cdot H_i(n, k)$$

此外，由于叠加效应，总的接收信号 $Y(n, k)$ 是所有 N 个部分信号 $Y_i(n, k)$ 之和， $i=1, \dots, N$ 。

由于与该SFN中覆盖该接收区域的 N 个发射机相关的所有信号的叠加，“总”信号 $Y(40, k) \dots Y(47, k)$ 是在符号S40-S47期间在指数 k 的TPS小区上所接收信号的总和。

来自每个发射机的信号与其通道频率响应相乘。因此，得到如下数学表达式：

$$\begin{cases} Y(40, k) = X_1(40, k) \cdot H_1(40, k) + X_2(40, k) \cdot H_2(40, k) + \dots + X_8(40, k) \cdot H_8(40, k) \\ Y(41, k) = X_1(41, k) \cdot H_1(41, k) + X_2(41, k) \cdot H_2(41, k) + \dots + X_8(41, k) \cdot H_8(41, k) \\ \dots \\ Y(47, k) = X_1(47, k) \cdot H_1(47, k) + X_2(47, k) \cdot H_2(47, k) + \dots + X_8(47, k) \cdot H_8(47, k) \end{cases}$$

对于每个 k 值，以上方程式定义了一个线性系统：

$$\underline{Y} = \underline{X} \cdot \underline{H}$$

此处：

- Y:** 8元素矢量，其中元素 Y_j 表示由该接收机获取并与DVB-T帧信号的第 j 个符号（ $j=40, \dots, 47$ ）相关的信号；
- X:** 大小为 8×8 的矩阵，其中一个 $X_{j,i}$ 元素表示如果第 i 个发射机是唯一一个在一个理想传输通道上广播第 j 个符号信号的发射机时，该接收机将接收到的信号贡献；
- H:** 未知数，是一个8元素矢量，其中 H_i 元素表示与第 i 个发射机相关的“传输通道”的频率响应。

只要 \underline{X} 矩阵的行列式不为零，线性系统 $\underline{Y} = \underline{X} \cdot \underline{H}$ 就产生一个唯一解；在实际中，这几乎总是被证实。否则，可以通过适当选择指定给该接收机的标识码值来容易地变通解决。

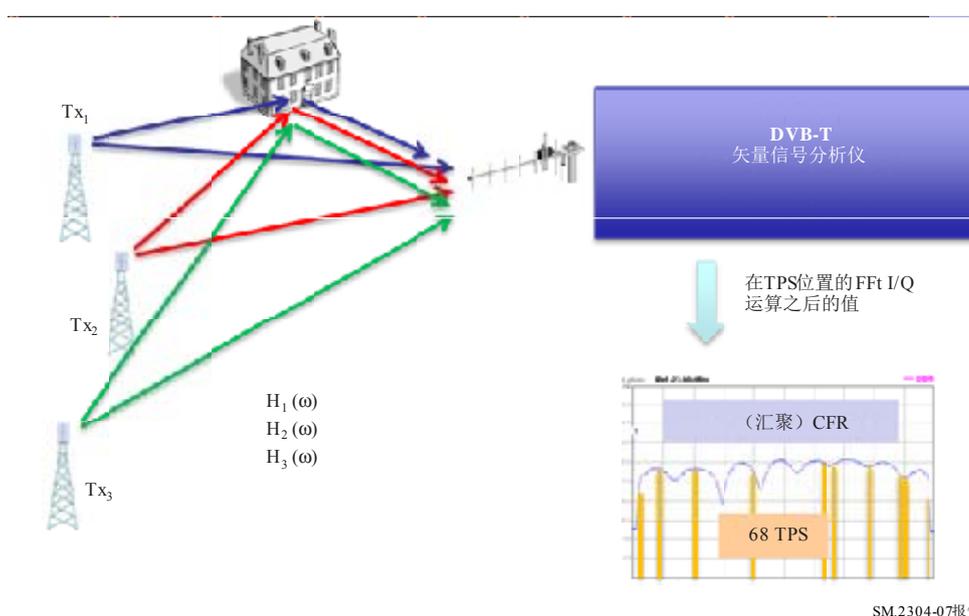
一旦以上线性系统得到解决，我们得到矢量 \underline{H} ，它表示 N 个传输通道中每一个的频率响应。对于最强信号进行归一化的矢量 \underline{H} 的每个分量值给出了从每个发射机接收到的信号电平信息。

如上所表示，该线性系统是由具有8个未知数的8个方程式所组成。当解出这样的系统后，就有可能通过适当的标识码识别覆盖所选定地理点的高达8个发射机。但是，对于实际使用，该线性系统将被扩展来包括与携带由每个发射机标识码所组成16比特中的其他8比特的帧符号相关的方程式。这样，有可能将在单独一个矩阵运算中所解出的发射机代码数量扩展到16个。此外，因为Cell ID包括一个16位的二进制字，并且产生65535个值和零，有可能通过尝试来继续：在每次尝试中建立 X 矩阵，采用以上所描述的方法，假设每次是新一组16个不同值的标识码，与前一次的情况不一样。

因为对每次尝试的计算总是在相同的 Y 矢量上计算，因此不必要每次重复信号捕获，因此该算法的速度就可以非常高。

图7

在接收天线处的信号叠加。每个发射机到接收机的（多）路径
确定一个具有相应通道频率响应的“通道”



SM.2304-07报告

以上所描述的运算仅仅在TPS载频上进行。原则上，因为在一个给定的DVB-T OFDM符号中，所有TPS载频是采用*相同*比特来进行调制的，将有可能仅仅采用一个TPS载频来应用此方法。但是，在存在多径传播的情况下，基于单独一个TPS位置的估算将是相当不准确的。因此，该过程是对所有TPS位置进行重复的。换句话说，要解68个线性方程式系统。假设对一组68个 16×16 线性方程式系统进行解算，我们得到16个68个值的阵列。每个阵列表示16个所涉及发射机中每一个的CFR。这样的CFR阵列仅仅是由68个值所组成：它们是在TPS频率位置进行取样的（各个发射机到接收机通道）频率响应。

对这16个阵列（即，16个发射机）中的每一个进行二个运算：

- 1) 对68个频率值的幅度进行平均：这消除了多径频率选择效应，并进一步增加了该方法对高斯噪声的（已经很高的）抗干扰性。所得到的值是从相关发射机接收到信号的归一化电平。

- 2) 通过IFFT, 得到各个CIR。目前的步骤比一个简单IFFT更为复杂, 因为TPS密度非常低, 大约是总OFDM活跃载频的1%。在标准周期性取样系统中, 这将导致一个非常强的时间混淆现象, 它将有效时间段减少100倍, 因而导致对CIR的一个无用估算。幸好, 通过设计, TPS的频率位置不是周期性的, 因此不涉及混淆效应。作为确实是一个“稀疏取样”的情况, 已经应用了压缩感知的概念。该算法是反复的并且提供了对由主要峰值重构的CIR的估值。

以上**运算1**让使用者能够建立一个表, 其中, 从相关发射机接收到信号的归一化电平可以按序排列在一个表中, 并与从一个预先定义的表中得到的发射机代码标识符 (Cell ID) 相关联, 这个预先定义表将每个Cell ID与该发射机的名称 (或地理站点) 相关联。

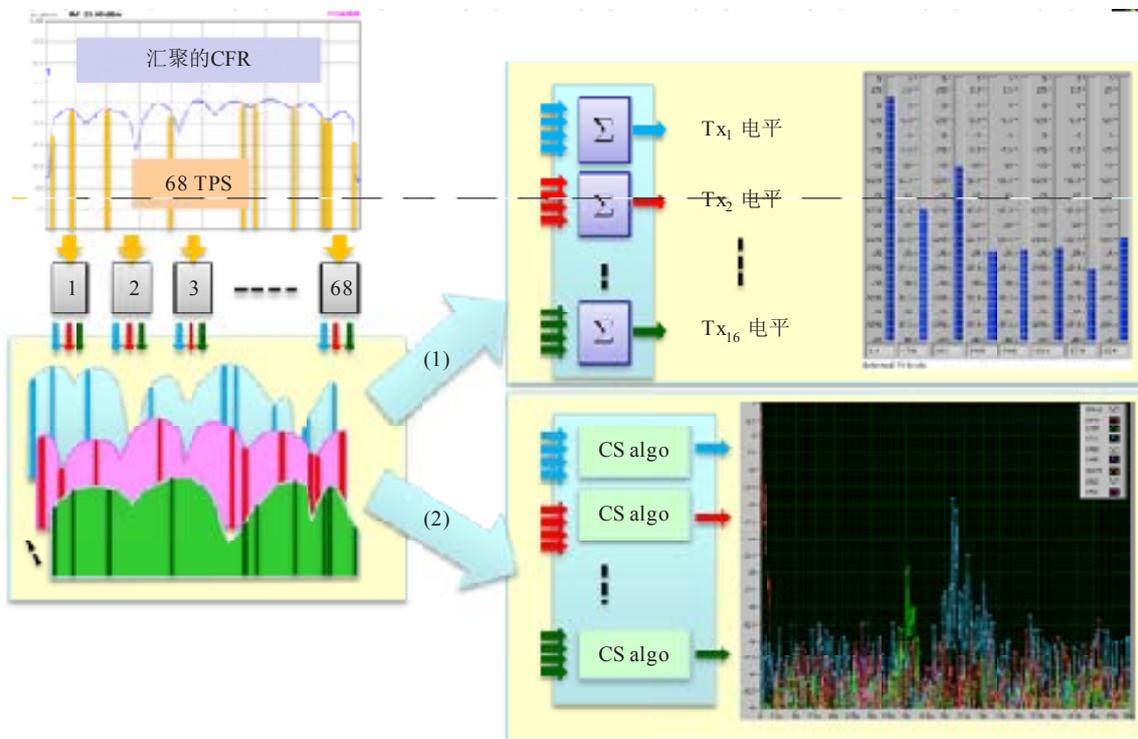
以上**运算2**让使用者能够得到全球CIR的时间分量, 分解为与每个发射机相关的各个CIR。

确认

实现以上方法的软件包使测量接收机或VSA能够添加一个高数值功能, 它能够在当前图形视频格式上显示各种分量的标签。早期在实验室中采用真实SFN信号进行的测量显示该系统能够估算发射机各自的电平, 并将CIR分解到各自的CIR。尽管精度比基于散射导频音的传统方法差, 但是已经证明CIR分解方法对具有差分延时高达保护间隔2倍以上的信号分量进行可视化是有用的。

图 8

采用解算68个 16×16 线性方程式系统的类似MISO技术进行分解。得到16个分解的CFR。对这样的CFR在TPS频率位置进行取样。结果使得能够进行 (1) 各个发射机级别的计算;



结果

对在大规模1-SFN中每个发射机采用不同Cell ID的缺点

已经在几个老一代消费者接收机上检测到因为对每个发射机采用不同Cell ID所引起的较小问题。为了研究真实的影响，已经由不同的机构进行了实验室测试。

该方法可以轻易地在测量接收机或VSA中实现，要求有限的处理能力。该方法和测试设备（“SFN Scope”）已经由RAI研究与技术创新中心取得了专利。任何使用由《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策》及相关的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 共同专利政策实施导则》¹所规定。

¹ 可以在http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/04/04/T04040000010003PDFE.pdf找到《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC公共专利政策实施导则》。要使用该专利，请在<http://www.crit.rai.it/IT/contatti/contatti.htm>联系研究中心RAI（RAI-CRIT），并申请使用许可。