

基于稀疏表示的MRI研究简介

厦门大学通信工程系 林 涛

【摘要】磁共振成像技术(MRI)是一种方便快捷的医学诊断技术,本文对稀疏表示在MRI领域的应用研究进行了介绍。先介绍了稀疏表示的基本原理及解稀疏系数的一个匹配追踪算法。然后阐述了在MRI重构中两种主要的构造稀疏字典的方式:解析字典和训练字典,并分别介绍了这两种构造稀疏字典方式的MRI重构模型。

【关键词】稀疏表示; MRI; 图像处理

1. 引言

磁共振成像技术(Magnetic Resonance Imaging, MRI)是一种利用图像进行医疗诊断的检查技术。它没有电离辐射伤害,能够直接扫描出器官各个体层的图像,避免了开颅、开胸、开腹探查等手术。MRI技术可以给医生带来清晰实用的人体内部结构图像,在临床检查上得到普遍的应用。但是MRI有一个缺点,它的成像过程太过漫长,一次成像过程要10分钟到30分钟。因此如何快速地获取MRI图像就成为一个热点问题,而压缩感知^[1]和稀疏表示理论在MRI上的应用使得在不改变现有MRI系统硬件的条件下减少成像时间成为可能。

2007年Lustig和Donoho等人发表了Sparse-MRI^[2],首次将压缩感知理论应用到MRI中。在SparseMRI方法中作者应用了MR图像在小波域的稀疏性,对下采样的K空间数据进行重建,取得较好的重建效果。此后MR图像的不同稀疏特性不断被挖掘,MRI重构的效果得到很大的提升。

2. 稀疏表示理论

令信号 $x \in R^N$,稀疏字典 $D \in R^{N \times M}$,稀疏系数 $\alpha \in R^M$ 。则信号可以表示为 $x = D\alpha$,其中 $D = [d_1, d_2, \dots, d_M]$ 是字典原子。 α 是信号在字典域的稀疏系数,如果 α 仅有K个非零项,或者 α 中仅有K个大系数,其它都是接近0的小系数,则我们称 α 是稀疏度为K。由于实际中 $K \ll N$,所以我们只要记住这K个项的位置及值我们就可以精确重构信号x。稀疏度K越小,则系数越稀疏,重构信号x所需要保存的数据量就越少。字典D可以是解析字典,例如DCT基底、小波基底,也可以是自适应训练字典或随机字典。如图1是一维信号稀疏表示的示意图,白的方格表示0,不同的灰度表示不同的值。

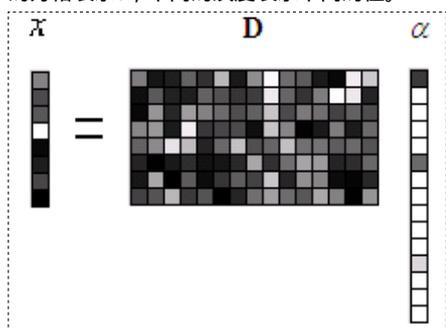


图1 一维信号在随机字典投影下的2稀疏表示
实际应用中我们通常是观测到有噪声的信号x,为了恢复原始信号我们建立如下的目标函数:

$$\min_{\alpha} \lambda \|\alpha\|_0 + \|D\alpha - x\|_2^2 \quad (1)$$

4. 结论

ZedGraph控件简单、易用、功能全面,并提供丰富的属性供开发者设置简化开发过程;其开源性使开发者可以根据具体情况修改源码以满足特定需求。在煤矿安全监控系统中使用ZedGraph控件进行图表模块的开发,将大量的数据信息快速、直观地展示出来,有利于用户及时掌握井下情况以及分析蕴含在历史数据中

但是这个目标函数的求解是NP难问题,目前解该问题的方法主要有两种:

一种是贪婪算法,如匹配追踪(MP)^[3]、正交匹配追踪(OMP)算法^[4];一种是松弛算法,比如基追踪算法(BP)^[5]。

匹配追踪算法(Matching Pursuit,MP)是一种贪婪迭代算法,其基本思想在每一次的迭代过程中,从完备原子库中选择与残差信号最匹配的原子来进行信号表达,同时从残差信号中剔除其投影,获得新的残差信号。当迭代次数达到设定值,或者重构残差小于设定阈值时,迭代停止。其算法流程如下:

输入:字典D,观测信号x,稀疏度L

输出: α 的L稀疏逼近 α^*

初始化:残差 $r_0 = x$,索引集 $\Omega_0 = \emptyset$,迭代次数 $t = 1$;

循环执行步骤1-5

步骤1:找出残差 r_0 与字典D中最相似列 d_k 的角标 λ ,所谓最相似,即:

$$\lambda_t = \arg \max_{k=1,2,\dots,K} | \langle r_{t-1}, d_k \rangle |$$

步骤2:更新索引集 $\Omega_t = \Omega_{t-1} \cup \{\lambda_t\}$,纪录找到的重建信号字典原子集合(也称为支撑集) $D_t = [D_{\lambda_1}, \dots, D_{\lambda_t}]$

步骤3:由最小二乘法得到 $\alpha_t = \arg \min_{\alpha} \|x - D_t \alpha\|_2$

步骤4:更新残差 $r_t = x - D_t \alpha_t$, $t = t + 1$

步骤5:判断迭代次数是否满足 $t > K$,若满足则停止迭代,否则继续执行步骤1。

由于MP算法中信号在已选定的原子上的投影并非正交的,MP算法每一次迭代结果有可能是次优,为获得收敛需要经过多次的迭代。

3. 稀疏表示在MRI领域的应用

信号的稀疏性是压缩感知理论的一个重要前提,在压缩感知MRI系统的设计中稀疏表示问题可以归结为稀疏字典的设计^[6]。我们可以从不同的角度,对不同的字典进行分类,因此基于稀疏表示的MRI重构问题也会有不同的重构模型。例如我们可以把字典分为解析字典和训练字典两大类:一是解析字典,解析字典是由具有明确的数学理论推导直接产生的基底的集合,常用的如DCT基底组成的DCT字典以及小波基底组成的小波字典。二是训练字典,训练字典是根据实际数据自适应的学习字典,这种字典在实际中已经证明了可以对信号有更好的稀疏表示,但是自适应训练的字典耗时较长,应用没有解析字典方便。

当我们采用解析字典对下采样的MRI数据进行重构时,重构模型可以写成:

$$\arg \min_{\alpha} \|D\alpha\|_1 + \lambda \|F_0 x - y\|_2^2 \quad (2)$$

其中D是稀疏表示字典,在参考文献[2]中

采用小波基组成字典D。 y 是部分K空间数据,即下采样后的K空间数据。 F_0 表示部分傅里叶变换, x 是我们重构的MR图像。对 x 进行小波变换后的系数满足稀疏条件,解这个目标函数就可以得到精确重构的MR图像。在文献[2]中,作者采用非线性共轭梯度下降算法解这个目标函数。

当采用自适应训练学习稀疏字典时,一般是对图像块进行训练得到字典,影响较大的有KSVD^[7]训练模型,基于自适应字典学习的MRI重构模型可以写为:

$$\min_{R, \alpha} \sum_i \|R_i x - D \alpha_i\|_2^2 + \nu \|F_0 x - y\|_2^2, \quad s.t. \|\alpha_i\|_0 \leq T_0, \forall i. \quad (3)$$

其中 R_i 是取图像块操作, α_i 是MR图像x在字典域的稀疏系数。这种采用自适应训练学习稀疏字典的MRI重构方法影响较大的有文献[8]。在文献[8]中,作者把这个约束函数分成两个子问题:字典训练问题和最小二乘问题。字典训练子问题可以写为:

$$\min_{D, \alpha} \sum_i \|R_i x - D \alpha_i\|_2^2 \quad s.t. \|\alpha_i\|_0 \leq T_0, \forall i. \quad (4)$$

解这个子问题的时候先固定x,对上一次的重构的x进行字典训练,字典训练过程和文献[7]KSVD算法的过程一样,利用迭代训练字典D。最小二乘子问题目标函数可以写为:

$$\min_{\alpha} \sum_i \|R_i x - D \alpha_i\|_2^2 + \nu \|F_0 x - y\|_2^2 \quad (5)$$

在这个子问题中利用字典训练子问题训练出来的字典D和稀疏系数 α ,更新MR图像x。由于这个子问题是一个非约束的2范数形式,所以可以用最小二乘来解决这个问题。图2是文献[2]和文献[8]在10%随机下采样时的重构结果。文献[2]重构结果PSNR值为29.55dB,文献[8]的重构PSNR值为39.67dB。从PSNR值上来看,文献[8]的重建结果比文献[2]有了较大的提高,这说明了自适应训练的字典在对MR图像的稀疏表示上有着比解析字典更好的效果。

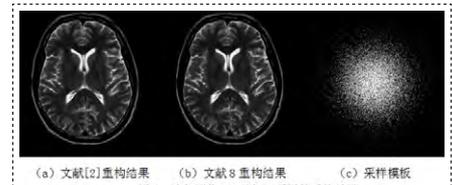


图2 脑部图像10%随机下采样的重构结果

4. 总结与展望

稀疏表示理论挖掘信号的稀疏特性,利用MR图像稀疏性构建目标函数重构MR图像,在降低K空间数据采样率的同时不降低MR图像品质,大大降低了MRI成像过程的时间。本文介

的规律并依此制定正确的生产决策。

参考文献

- [1] 孙继平.煤矿监控系统手册[K].北京:煤炭工业出版社,2007.
- [2] 于国卿,李越越,赵雨森.ZedGraph控件在水闸监测系统开发中的应用研究[J].南水北调与水利科技,2008,6(3):43-45.

- [3] 孙吉,方明,顾燕伟.多维数据图形显示中ZedGraph控件的应用[J].电脑开发与应用,2008,21(3):55-56.

作者简介:奚冬芹(1985—),女,江苏东台人,2009年毕业于合肥工业大学信息管理与信息系统专业,硕士,主要从事煤矿监控类软件的开发工作。

DF100A型发射机谐波滤波器工作原理及故障分析

国家新闻出版广电总局724台 牛博辉

【摘要】本文针对DF100A型短波发射机加装谐波滤波器的必要性进行论述，并对其工作原理及调试方法进行说明，分析探讨谐波滤波器的故障现象及处理方法。

【关键词】DF100A型发射机；谐波输出；滤波

1. 引言

DF100A型PSM短波发射机属于大功率、高效率、高稳定、高质量、自动化、固态化、数字化发射机，其输出的各次谐波对电视信号和其他频道信号干扰很严重，所以针对解决此问题我们在此介绍发射机的谐波滤波器工作原理以及调试维护方法。

2. 加入谐波滤波器的原因

通常大功率短波发射机输出的接口要加装一个谐波滤波器，其原因有如下几点：发射机的调配匹配网络有时滤波效果不够好，无法达到国际电联CCIR规定要小于-60dB(50mW)的谐波输出的指标要求；另一方面，VHF波段有越来越多的电台、电视台在工作，尤其是电视发射台的1-5频道，其频率为48.5-92MHz，很容易受到3.9-26.1MHz短波广播发射台的谐波干扰，从而严重影响电视图像和声音的接收效果，有时甚至无法接受，因此在短波发射机高末级输出端加装一个谐波滤波器就显得十分必要了。

3. 谐波滤波器工作原理

原理图如图1所示：

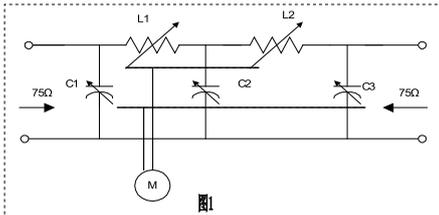


图1 原理图

DF-100A型PSM发射机的谐波滤波器采用两节输入和输出阻抗均为75Ω的90°相移网络串联组成。滤波器的中间电容C2是一组网络的输入电容与另一网络的输出电容的合并电容。如图1所示。图中： $|Xc3|=|Xc1|=|XL2|=|XL1|=75$ ， $|Xc2|=37.5$ ， $C2=2C3=2C1$ 。L1、L2为盘香电感，三只可变真空电容采用同一种可变真空电容，容量为35至1000pF，盘香电感与三只可变真空电容是联动的，由马达来驱动，便于统调。由于 $C2=2C1=2C3$ ，因此要求C2与C1(C3)之间转速比为2:1。网络使基波通过而滤除谐波，且具有选频和阻抗变换功能。该滤波器的另一特点是点频式窄带滤波器，即随着不同的工作频率，该滤波器具有不同的工作点，保证在3.2-26.1MHz的频率范围内，始终保证其基波阻抗等于或接近75Ω，使其Vswr<1.1，使残余辐射达到要求。

4. 谐波滤波器元件的调试

谐波滤波器的元件更换和调试，按下步骤进行：

(1) 松开耦合链条，使电感器的两个短路臂能自由的移动，调节短路臂，使他们在一条线上并且使它们接触滚轮指向同一方向，再重新拧紧耦合链条，确保短路臂不能移动。

(2) 移去滤波器顶盖，脱开随动电位器和计数器。

(3) 脱开电容与机械传动部分。将三只电容旋至容量最小处，为防止电容顶死，将电容倒回七至八圈。

(4) 确定20MHz时的电感位置离最小点1/2圈，用矢量阻抗仪(调谐在20MHz)测量C1、C2、C3、L1、L2的阻抗，调节C1、C2、C3、L1、L2分别从最小点旋转使 $Xc3=Xc1=XL2=XL1=68$ ， $|Xc2|=34$ 。

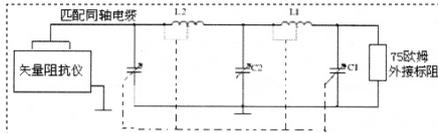


图2 测试连接图

(5) 盖上顶盖，按图2接好矢量阻抗仪及标阻。

(6) 用矢量阻抗仪观察 $f=3.2 \sim 26.1$ MHz时滤波器输入阻抗的变化，微调C1、C2、C3值，使输入阻抗在 75 ± 5 ， $\pm j3$ 范围内，且使 $Vswr < 1.1$ 。如果高端或低端不符合要求，转回20MHz位置，脱开机械传动微调三个电容，注意C2电容圈数，以免C2顶死，如果还不符合要求，再微调一下L1、L2电感。

(7) 恢复连接发射机输出到滤波滤波器的输入。

(8) 连接机械传动部分，给电机送电，往高端慢慢转动，并注意C2圈数，防止电容顶死，26.1MHz时确定高端限位点。

(9) 将谐波滤波器调至低频端 $f=3.2$ MHz，当L1和L2的接触滚轴位于它们相应的线圈端断头的75mm时，确定低端限位。

(10) 测 $f=20$ MHz时总容值，在20MHz位置脱开机械传动，将C3电容转到容值最小，记录圈数并计算出C3在20MHz时的容值，再依次计算出C2和C1在20MHz时的容值和圈数。

(11) 设定 $f=20$ MHz时机械计数器为‘1000’，连接机械传动，记录全频段各频点计数器数值。在高频点时，使随动电位器1、2之间阻抗值为1.4K。并列表贴于过滤器上，根据使用频率的变化，按着列表上的计数器位置，设置滤波器的位置。这里需要提醒大家注意的是，调整过程中不要让L1和L2的接触滚轴走到它们相应的线圈端断头的75mm以内。还要注意电容的圈数，避免

顶死。否则，可能导致设备损坏。

5. 谐波滤波器的日常维护方法及常见故障

5.1 谐波滤波器检修操作规程

a. 准备工具：毛巾、内六角、机油、耐压试验器、汽油等；做好安全措施：断4CB2；在通地开关上挂牌。b. 谐波滤波器的检查：检查马达装置与三个电容的连接情况，顶丝如松动，用内六角扳手紧固；清洁检查盘香电感，并检查滚轮的压力是否正常，如果压力不够应紧固；清洁绝缘板和机箱中的灰尘；检查输入输出卡子的连接情况。检查马达装置的各端子引线，焊点，以及随动电位器的顶丝，输出插头。电容和盘香电感是否打火，重点查看滚轮接点有无打火，轴轮保持清洁并适当上润滑油，绝缘板及机内必须保持清洁。c. 检修完后，拆除安全铭牌，复查，试机时呼应。

5.2 谐波滤波器盘香电感滚轮脱轨故障现象、原因分析、如何处理

(1) 故障现象：倒频后发现反射功率很大，调整平转，反射功率降不下来。反射功率切断指示灯变红，有时会掉高压。

(2) 原因分析：谐波滤波器是高末屏网络后的一个VHF低通滤波器，两个盘香电感及三个真空电容是同调的，正常情况下输入阻抗为75Ω。若高末输出网络匹配良好，反射功率是较小的。当短路轮脱轨或机械原因，使某一元件不同调时，其输入输出阻抗就可能偏离75Ω纯阻太远，产生反射功率，当反射功率超过反射功率表和1A17的设定值后，将引起反射功率切断，过荷掉高压。

(3) 故障处理：a当反射功率与原先的值偏离较大，但又不引起过荷时，可维持播音，停机后再处理。b当有过荷发生时，要及时寻找代播，断高压进行处理。处理时要夹短路线以防灼伤。将脱轨的滚轮拆下后进行打磨清洁，涂上凡士林，参照另一个盘香电感短路轮的位置安装上，检查谐波滤波器调至20MHz时电感位置和计数器读数，并检查其运行情况，确保无误。

6. 结束语

结合自己的工作经验，此文阐述了DF100A短波发射机中谐波滤波器的工作原理、调试方法、维护方法及常见故障处理。希望对大家的维护有所借鉴，不足之处还期待和同行们更进一步的探讨。

参考文献

[1] 黄晓兵. DF-100A型短波发射机维护手册[M]. 中国书籍出版社.
[2] 刘洪才. 广播发送新技术[M]. 中国广播电视出版社.

介绍了两种主要的基于稀疏表示的MRI重构的模型，同时越来越多的人对于低秩矩阵的特性与稀疏性的联系进行了研究，相信这些研究会进一步的推动稀疏表示在MRI重构领域的应用。

参考文献

[1] Donoho D L. Compressed sensing[J]. Information Theory, IEEE Transactions on, 2006, 52(4): 1289-1306.
[2] Lustig M, Donoho D, Pauly J M. Sparse MRI: The application of compressed sensing for rapid MR imaging[J]. Magnetic resonance in medicine, 2007, 58(6): 1182-1195.

[3] Mallat S G, Zhang Z. Matching pursuits with time-frequency dictionaries[J]. Signal Processing, IEEE Transactions on, 1993, 41(12): 3397-3415.
[4] Tropp J A, Gilbert A C. Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit[J]. Information Theory, IEEE Transactions on, 2007, 53(12): 4655-4666.
[5] Chen S S, Donoho D L, Saunders M A. Atomic decomposition by basis pursuit[J]. SIAM journal on scientific computing, 1998, 20(1): 33-61.
[6] 焦李成, 杨淑媛, 刘芳, 等. 压缩感知回顾与展望[J]. 电子

学报, 2011, 39(7): 1651-1662.
[7] Aharon M, Elad M, Bruckstein A. svd: An algorithm for designing overcomplete dictionaries for sparse representation[J]. Signal Processing, IEEE Transactions on, 2006, 54(11): 4311-4322.
[8] S. Ravishanker and Y. Bresler, "MR image reconstruction from highly undersampled k-space data by dictionary learning," IEEE Trans. Med. Imag., vol. 30, no. 5, pp. 1028-1041, 2011.