****

研 究 生 选 题 报 告

**题目：**基于压缩感知的高效ICF实验辐射对称性分析

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **学号** | **：** | **M201270303** |
| **姓名** | **：** | **易 海 涛** |
| **专业** | **：** | **机械工程** |
| **指导教师** | **：** | **黄运保 王启富** |
| **院（系、所）** | **：** | **机械学院** |

**华中科技大学研究生院制**

## 课题的来源、目的、意义

### 课题来源

根据CAD中心目前的发展方向，以纵向课题为驱动，结合国内外相关领域的发展趋势，确定本人研究题目为“基于压缩感知的高效ICF实验辐射对称性分析”，具体研究利用压缩感知方法快速地、高效地求解ICF实验中的非线性时变能量平衡模型，获得靶丸表面的辐射能流。

课题现有来源如下：

* 国家自然科学基金

复杂产品基于非自适应压缩采样的响应面仿真优化方法

* 中国工程物理研究院项目

ICF内爆靶表面辐射驱动对称性分析及三维可视化软件

### 课题目的

本课题的目的是对当前国际热点问题之一的ICF实验中的辐射对称性进行研究

* 分析ICF实验中靶丸表面的辐射对称性，为ICF实验的靶模型设计以及三维激光的排布设计提供指导数据支持；
* 运用压缩感知方法快速地、高效地求解时变能量平衡方程，缩减IRad-3D软件的仿真运行时间。

### 课题意义

本课题意义在于：

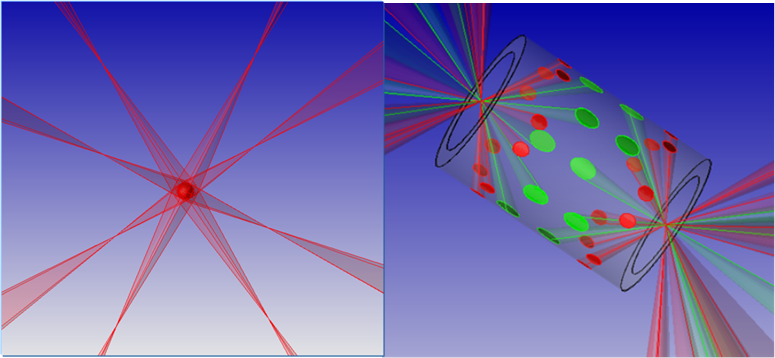
* ICF实验运行成本昂贵，耗费时间长，实验失败的风险大，通过仿真实验可以对实验结果进行预测，排除那些不合理的实验参数组合，进而提高实验效率，降低运行成本；
* 通过IRad-3D软件仿真，根据对称性分析结果选择实验参数的合理范围，为ICF实验设计提供指导性意见；
* 在仿真优化领域应用压缩感知理论，得到ICF实验辐射对称性分析的一种新方法。

## 相关领域国内外研究现状

下面我们将对惯性约束聚变（Inertial Confinement Fusion，简称ICF）和压缩感知（Compressive Sensing，Compressive Sensing或compressive sample，简称CS）的国内外研究现状进行综述，并总结以进一步指出目前存在的问题和可能的发展方向。

### 2.1 惯性约束聚变的研究现状

热核聚变能释放巨人干净的能量，获得聚变能主要有三种方式。太阳是个天然的热核反应装置，属于非可控热核聚变；磁约束聚变(Magnetic Confinement Fusion,简称MCF)和惯性约束聚变(ICF)是在地球上可以控制的热核聚变。在地球上实现受控热核聚变反应，将可能为人类提供丰富、经济、安全的能源[1]。ICF领域研究工作的开展无论对国民经济、军事应用，还是对于基础研究探索都有着重要而特殊的意义。国际上也掀起了惯性约束聚变的热潮，美国建造了国家点火装置(National Ignition Facility，简称NIF)[2]，法国正在建设的兆焦耳激光器(Laser Mega Joule,简称LMJ) [3]。

图1 直接驱动（左）和间接驱动（右）

实现激光聚变有直接驱动和间接驱动两种途径[7]，前者要求足够多的激光束尽量均匀地福照靶丸，后者则要求先将激光能量转换为X射线，再由X射线烧烛靶丸，因此乂称为福射驱动。惯性约束聚变中的一个重要问题是靶丸接受辐射能量的对称性[4]。在直接驱动方式中，由于激光数量有限，靶丸表面能量分布会有较大的各向异性，很难满足靶丸驱动对称性的要求。间接驱动方式由于黑腔的约束，黑腔内壁吸收能量并向各个方向辐射X光，这种辐射近似于朗伯黑体辐射，所以能量趋于各向同性，少数的激光也能够均匀地驱动靶丸，满足对称性的要求。

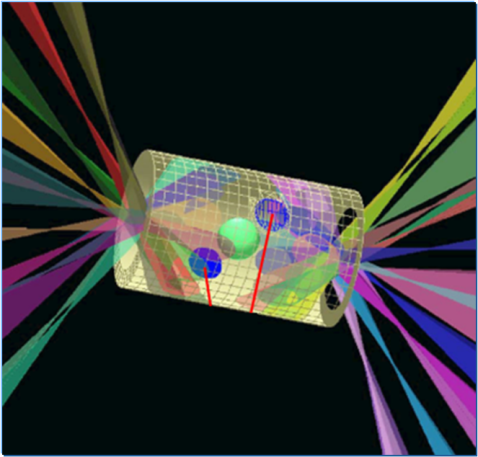
为了便于数值计算，需要对靶腔和靶丸表面进行网格剖分。美国威斯康辛大学的MacFarlane等人基于离散视角因子方法开发了VisRad惯性约束聚变三维仿真计算软件[5]。该软件把黑腔内壁与靶丸划分成细小面元，利用热波近似方法计算面元间的辐射关系，对每个面元建立平衡方程，通过求解非线性方程组或者迭代的方法计算黑腔内部的辐射能量分布。该软件对每个面元建立能量平衡方程，通过解大规模的非线性方程组的方式计算能量辐射，而本文采用黄天提出的黑腔内部能量平衡模型[6]计算黑腔内的能量辐射，能量平衡模型针对稳态情况，计算量相对较小。

图2 网格剖分

能量平衡模型中，对于靶球和靶腔上的每个网格，能量是守恒的，即接收的能量与辐射的能量是相等的。对靶腔和靶丸上的每个网格，都满足上述平衡方程，因此对所有的n个网格可建立n个能量平衡方程。对于上述平衡方程的求解，国内外许多学者做了不同的探索。Srivastava[7]等采用Newton-Raphson数值方法求解黑腔内表面的辐射能流强度空间分布随时间变化的问题。但是众所周知，牛顿法虽然收敛速度快，但是需要计算和存储函数的Hessian矩阵（），并且计算hessian矩阵的逆，当网格规模很时，需要大量的内存，计算量巨大。黄天晅[6]等采用迭代法求解，但收敛次数较多，并且受迭代初值影响很大，当方程规模较大时，收敛耗时比较长。江少恩[9]等提出了用梯度法来求解上述方程，但梯度法在开始阶段收敛较快，接近最优解时收敛较慢，并且与初值有关。

由于本课题所求解的时变能量平衡模型的结果，与数字图像极为类似，因此可通过压缩感知的方法缩减方程的维度规模，提高仿真优化的速度效，可以大大节省内存和计算耗时。

### 2.2 压缩感知理论的研究现状

压缩感知的概念在2006年有Donoho提出[10]，随即就在全球带来了一股研究热潮。在图像处理，地理勘探，雷达探测，医学图像处理等众多领域里都可以发现压缩传感的可用之地。压缩感知的本质问题是L1范数最小化问题。最早的L1范数最小化方法出现在B.Logan的博士论文中，他发现可以从信号的欠采样中精确地恢复频域稀疏的原信号。其后Donoho与Logan一起发表了一篇论文对使用L1范数最小化方法进行稀疏信号还原进行了理论分析[11]。早在二十世纪七八十年代，地球物理学家就发现L1范数最小化方法在反射地震学中的良好作用，他们通过一个稀疏函数来表达子版块之间的相互作用。在90年代，L1范数最小化方法首次应用于核磁共振检测，用于从欠采样中恢复稀疏傅里叶谱[12]。不同于奈奎斯特采样，压缩传感方法指出，对于稀疏的信号，可用较低的采样速率获取信号中的关键信息，并精确地重构待测信号[13]。

E.J.Candès,J.Romberg和T.Tao的论文[14]对压缩传感的快速发展具有深远的意义。虽然压缩传感的主体内容在之前已经基本展现出来了，但是这篇论文的重要贡献在于把L1范数最小化方法和随机矩阵结合起来，充分挖掘了L1范数最小化方法在恢复稀疏向量的问题中快速寻找最优解的能力，而且明确指出该方法在众多领域的强大应用前景。T.Tao等给出了压缩传感矩阵的关键性质——约束等距性条件(RIP)，证明了伯努利矩阵、高斯矩阵和部分傅里叶矩阵都具有该性质[13]。满足约束等距性条件是对压缩传感采样矩阵的根本要求，为通过少量的随机线性测量方法进行信号重构提供了坚实的理论保证。

目前压缩感知方法研究主要集中在信号的稀疏表示、非自适应采样规划、以及信号重建等几个方面。

信号稀疏表示就是建立与其分布特征相适应的稀疏表示基，如傅立叶、离散余弦、以及小波等，信号经过特定的变换后可以表示为少量基函数的线性组合。研究信号的稀疏表示是为了寻找一种合适的变换空间，在这种空间中，信号具有更本质更简洁的表示。对于一般的自然信号(光滑信号)，其傅里叶变换系数或者小波变换系数一般是稀疏的。文章[15]把压缩传感理论用于研究表面测量问题，发现边界不连续信号在Curvelet变换下的稀疏性；文章[16]给出了自适应寻找最优正交基的方法，通过构造正交字典，得到信号的最稀疏基。Mallet等提出了应用匹配追踪算法从冗余字典中寻找信号稀疏表示的方法[17]。由于工程信号不仅具有复合特性且常具有多变性特征，仅依靠先验信息确定稀疏表示基可能与其固有特性不完全匹配，使表示稀疏性不足，往往需要更多采样才能重建信号。为此，一些学者提出基于Bayes 的统计学习方法[18]，从已有采样数据中通过匹配得到与图像分布特征相适应的混合稀疏表示基。

在稀疏表示基础上，为准确恢复待测信号，需规划采样方法及采样数量。采样方法本质上是设计观测矩阵，建立外部观测值与内部稀疏表示之间的数学方程模型，使其能准确重建稀疏表示系数。为此，文献[19-20]指出观测矩阵设计应与稀疏表示基相关性应比较低，即满足约束等距(Restricted Isometry Property, RIP)条件；在此基础上，采样数量满足一定条件即可准确重建稀疏表示系数，并证明在较大概率条件下，具有非自适应性的均匀随机、高斯随机等观测矩阵与绝大多数稀疏表示基矩阵的相关度较低。论文[21, 22]指出测量矩阵与稀疏基无关切测量次数大于阀值则感知矩阵以很大的概率满足约束等距性条件。论文[16, 23]指出了高斯随机矩阵、伯努利随机矩阵和部分傅里叶矩阵都满足此条件。对于随机测量矩阵，约束等距性条件转化为对采样个数的要求。Rauhut提出了结构化随机矩阵测量的概念[24]，把部分傅里叶矩阵、Toeplitz矩阵等统一定义为有界正交矩阵，给出了这类矩阵满足约束等距性的测量次数要求。约束等距性是测量矩阵的关键性质，是有效重构的保证。

基于观测系统方程模型重建稀疏表示系数本质上是以方程模型为约束，寻找稀疏表示系数最为简单解的优化问题。通常观测系统模型中方程的数量较少，远小于稀疏表示的维度，是典型欠定方程优化求解问题。目前该问题主要l0范数，l1范数以及lp范数等数学意义下的优化求解方法。其中，l0范数优化清晰表达了稀疏表示系数重建的数学内含，但属于非凸优化的NP 难问题，数值稳定性较差，很难利用现有优化算法进行有效求解，较大规模数据时往往无法进行求解[25-26]。Chatrand[27]及 Donoho[28]等提出直接用l*p*范数（0 *p* 1）（如 p=0.5）意义下的非凸规划实现稀疏表示系数重建，较大程度地减少数据冗余，缩减了信号重构所需抽样数量，但其本质上仍是非凸优化方法，理论分析及求解仍比较困难。为使重建问题求解可行，Chen[29]等采用l1范数代替l0范数作为目标，将稀疏表示系数重建非凸优化转化为凸优化问题，且Baraniuk [30]等证明了当观测矩阵满足严格的 RIP条件时，l1范数意义下的稀疏解与l0范数意义下的解完全等价，可通过l1范数精确重建稀疏表示系数，此方法现已成为稀疏表示系数优化重建的主流方法，并有基追踪[31]、贪婪[32]以及迭代阈值[33]等优化求解算法。

信号的重构问题可以转化为一个L1范数最小化问题[34]，这是一个凸优化问题，可以使用线性规划方法求解，即为基追踪方法，但复杂度很高。对于凸优化问题，文章[35]提出了内点法求解，文章[36]提出了梯度投影法，梯度投影算法被认为是一种快速精确重构的方法。J.A.Tropp等提出了使用正交匹配追踪算法(OMP)的重构算法[37]。追踪算法是一种贪婪算法，它的优点在于实现较为容易而且速度快，J.A.Tropp的文章理论上证明了该方法的有效性。Needell等对正交匹配追踪算法进行了改进，提出了正则正交匹配追踪(ROMP)[38]，对于所有满足约束等距性条件的测量矩阵，该方法可以精确重构稀疏信号。Needell又针对压缩传感理论设计了专门的压缩感知匹配追踪算法[39]，该方法提供了更加完全的重构理论保证。

近年来，压缩传感方法在许多技术领域有良好的应用。Waheed Bajwa等把压缩传感理论用于无线传感网络，显著减少了所需传感器的个数[40]。美国RICE大学的Marco Durate等利用压缩床理论设计了一台单像素相机[41]，通过一个感光元件多次测量就能重构图像。斯坦福大学的Michael Lustig等把压缩传感理论用于从欠采样的核磁感知数据中恢复成像[42]，实验证明，即使采样显著减少，恢复的图像质量也令人满意。Mona Sheikh等人在DNA测序中应用了压缩传感理论[43]，压缩传感理论在其他方面的应用还包括雷达成像[44]、计算机图像渲染等[45]。压缩采样理论方法因其采样数量少且具有较高重建精度，同样也引起了国内学者较大的关注，纷纷从信号稀疏表示、规划采样、以及表示系数重建等进行算法及应用研究[46-48]。

### 2.3 目前存在的问题

现有的ICF实验时变能量平衡模型求解方法普遍存在着效率低下，收敛情况受初值影响较大，并且需要大量的存储空间和计算量，因此有必要找到一种快速高效地求解方法来缩短仿真运行时间。

压缩感知理论的实现包含三个关键要素，分别是稀疏性、非相关测量、非线性优化重建，其中信号的稀疏性是压缩感知理论的必备条件，非相关测量是压缩感知的关键，非线性优化是压缩感知重建的手段。这三个要素分别也是压缩感知需要解决的问题，如何找到更好的稀疏基、采用何种采样方式和采用什么样的恢复算法。

### 2.4 今后发展趋势

惯性约束聚变主要关注一下几个问题：

* 提高能量的利用率（转换效率、内爆效率）；
* 提高压缩的有效性（对称性、等熵压缩）；
* 降低内爆的有害性（腔内激光等离子体、流体力学不稳定性与混合）。

压缩感知理论利用了信号的稀疏特性，将原来基于内奎斯特采样定理的信号采样过程转化为基于优化计算恢复信号的观测过程。尽管目前关于压缩感知的研究非常多，但有如下几点内容可能会是比较好的研究方向。

1）在稀疏表示方面，低秩表示和流形结构域稀疏性有着密切联系，将其引入信号的稀疏表示有望得到更好的结果；

2）在压缩观测方面，目前的做法大都数采用线性观测的方式，如果能考虑实际环境中的可能噪声，在观测时引入某些局部的非线性操作，将有望得到更好的鲁棒的观测；

3）在优化重建方面，如果能联合信号的先验和稀疏性先验求解优化问题，将有望得到更好的恢复效果。

### 2.5 参考文献

[1] [美]JRoth，李中兴译，聚变能引论，清华大学出版社，1993年.

[2] Lindl J D, Amendt P, Berger R L, et al. The physics basis for ignition using indirect-drive targets on the National Ignition Facility [J]. Physics Of Plasmas. 2004, 11(2): 339-491.

[3] Jacquinot J. Fifty years in fusion and the way forward[J]. NUCLEAR FUSION. 2010, 50

[4] Nuckolls J, Wood L, Thiessen A, et al. Laser compression of matter to super-high densities: Thermonuclear (CTR) applications[J]. Nature. 1972, 239(5368): 139-142.

[5] Macfarlane J J. Development of a Time-dependent View Factor Code for Studying Radiation Symmetry in ICF Hohlraum[R]. 1998.

[6] 2001.(In Chinese)黄天晅. 黑腔X光辐射的模型分析及辐射温度的实验研究[D]. 2001.

[7] M，C．Richardson，Direct Drive Fusion Studies，in Physics ofLaser Plasma，V01．5，ed．A．Rubenchik and S．Witkowski，199(1991)

[8] M. K. Srivastava, SVG Menon. Analytical axial view factors and thermal radiation distribution inside a cylindrical hohlraum. PHYSICS OF PLASMAS，2000，7（6）：2616-2621

[9] 江少恩. 软X光谱及图象复原研究[D].中国工程物理研究院博士论文，1999年

[10] Donoho D L. Compressed sensing[J]. Information Theory, IEEE Transactions on. 2006, 52(4): 1289-1306.

[11] Donoho D, Logan B. Signal recovery and the large sieve[J]. Siam J Appl Math. 1992, 52(2): 577-591.

[12] Schmieder P, Stern A S, Wagner G, et al. Application of nonlinear sampling schemes to COSY-type spectra[J]. Journal Of Biomolecular Nmr. 1993, 3: 569-576.

[13] Candès E J, Tao T. Near-Optimal Signal Recovery From Random Projections: Universal Encoding Strategies?[J]. Information Theory, IEEE Transactions on. 2006, 52(12): 5406-5425.

[14] Candès E J, Romberg J, Tao T. Robust uncertainty principles: exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information[J]. Information Theory, IEEE Transactions on. 2006, 52(2): 489-509.

[15] Jianwei M. Compressed Sensing for Surface Characterization and Metrology[J]. Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on. 2010, 59(6): 1600-1615.

[16] Peyre G. Best Basis Compressed Sensing[J]. Signal Processing, IEEE Transactions on. 2010, 58(5): 2613-2622.

[17] Mallat S G, Zhifeng Z. Matching pursuits with time-frequency dictionaries[J]. Signal Processing, IEEE Transactions on. 1993, 41(12): 3397-3415.

[18] Elad M., and Aharon M., Image denoising via sparse and redundant representations over learned

dictionaries, IEEE Transactions on Image Processing, Vol.15(12), pp.3736-3745, 2006.

[19] Candès E. and Wakin M., An introduction to compressive sampling. IEEE Signal Processing

Magazine,Vol. 25(2), pp. 21-30, 2008.

[20] Donoho, D. L., Compressed Sensing. Journal of IEEE Transactions on Information Theory, Vol.52(4),pp.1289-1306, 2006.

[21] Candes E J, Wakin M B. An Introduction To Compressive Sampling[J]. Signal Processing Magazine, IEEE. 2008, 25(2): 21-30.

[22] Candes E, Romberg J. Sparsity and incoherence in compressive sampling[J]. Inverse Probl. 2007, 23(3): 969-985.

[23] Bobin J, Candes E J. A fast and accurate first-order algorithm for compressed sensing[C]. 2009.

[24] Rauhut H. Compressive Sensing and Structured Random Matrices[J]. Radon Series Comp.Appl.Math. 2011: 1-94.

[25]. Baraniuk R. A Lecture on compressive sensing, IEEE signal Processing Magazine, Vol.24(4),pp.118-121,2007.

[26]. Candès E. , Wakin M., and Boyd S. P., Enhancing sparsity by reweighted l1 minimization, Journal of Fourier analysis and applications, Vol.14(5), pp.877-905, 2008.

[27]. Chartrand R., Exact reconstruction of sparse signals via non-covex minimization, IEEE signal process Letters, Vol.14(10), pp.707-710, 2007.

[28]. Donoho D., Jonstone I. Maleki A., and Montanari A., Compressed sensing over lp balls: minimax mean square error, Proceedings of IEEE International symposium on Information Theory, pp.129-133, 2011.

[29]Chen S., Donoho D. and Saurders M., Atomic decomposition by basis pursuit, SIAM Review, Vol.43(1),pp.129-159, 2001.

[30]. Baraniuk R. A Lecture on compressive sensing, IEEE signal Processing Magazine, Vol.24(4),pp.118-121,2007.

[31]. Chen S., Donoho D. and Saurders M., Atomic decomposition by basis pursuit, SIAM Review, Vol.43(1),pp.129-159, 2001.

[32]. Tropp J.A., and Gilbert A.C., Signal recovery from random measurement via orthogonal matching pursuit, IEEE Transactions on Information Theory, Vol.53(12), pp.4655-4666, 2007.

[33]. Daubechies I, Defrise M., and Demol C., An iterative thresholding algorithm for linear inverse problems with a sparsity constraint, Journal of Communications on pure and applied mathematics, Vol.57 (11),pp.1413-1457, 2004.

[34] Donoho D, Chen S S. Atomic decomposition by basis pursuit[J]. Siam Rev. 2001: 129-159.

[35] Seung-Jean K, Koh K, Lustig M, et al. An Interior-Point Method for Large-Scale *l*1-Regularized Least Squares[J]. Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of. 2007, 1(4): 606-617.

[36] Figueiredo M A T, Nowak R D, Wright S J. Gradient Projection for Sparse Reconstruction: Application to Compressed Sensing and Other Inverse Problems[J]. Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of. 2007, 1(4): 586-597.

[37] 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.

[38] Needll D, Vershynin R. Greedy signal recovery and uncertainty principles[C]. Bellingham: 2008.

[39] Needell D, Tropp J A. Iterative signal recovery from incomplete and inaccurate samples[Z]. 2008301-321.

[40] Bajwa W, Haupt J, Sayeed A, et al. Compressive wireless sensing[C]. 2006.

[41] Duarte M F, Davenport M A, Takhar D, et al. Single-Pixel Imaging via Compressive Sampling[J]. Signal Processing Magazine, IEEE. 2008, 25(2): 83-91.

[42] Lustig M, Donoho D, John M P. Sparse MRI:The Application of Compressed Sensing for Rapid MR Imaging[J]. Magnetic Resonance In Medicine. 2007, 58(6): 1182-1195.

[43] Sheikh M A, Milenkovic O, Baraniuk R G. Designing Compressive Sensing DNA Microarrays[C]. 2007.

[44] Bhattacharya S, Blumensath T, Mulgrew B, et al. Fast Encoding of Synthetic Aperture Radar Raw Data using Compressed Sensing[C]. 2007.

[45] Sen P, Darabi S. Compressive Rendering: A Rendering Application of Compressed Sensing[J]. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on. 2011, 17(4): 487-499.

[46]. 杨海蓉，张成，丁大为，韦穗，压缩传感理论与重构算法，电子学报，Vol.39(1), pp.142-148，2011.

[47]. 戴琼海，付长军，季向阳，压缩感知研究，计算机学报，Vol.34(3)， pp.425-433，2011.

[48]. 焦李成，杨淑媛，刘芳等，压缩感知回顾与展望，电子学报，Vol.39(7), pp.1651-1662，2011.

## 研究目标、研究内容以及关键技术

**3.1 预期目标**

论文将在已有的IRad-3D软件的基础上研究压缩感知理论在ICF实验时变能量平衡模型求解中的应用，找到一种计算量小、速度快的求解方法，大大缩短仿真时间，提高仿真效率，并且获得与真实ICF实验一致的结果，具体目标如下：

* 寻找一组稀疏的基，使得能流在该基上具有稀疏表达，并且能够预知其稀疏度K；
* 将压缩感知运用到平衡模型中，能够准确快速地计算辐射能流。

**3.2 主要研究内容**

本课题“基于压缩感知方法的ICF实验时变能量平衡模型求解”将基于ICF实验时变平衡模型，采样压缩感知方法，对其进行快速求解，主要研究内容如下：

* 针对单一靶模型结构参数的优化，利用压缩传感方法，避免扫描参数的低效率低采样求解，采用某种采样方式，计算恢复和扫描参数得到相同的求解曲线，再求解曲线的极值
* 针对多个靶模型结构参数的优化，利用压缩传感方法，采用某种采样方式，恢复高维数据，求解数据的最值。

**3.3 技术关键**

本课题技术关键在于：

* 网格上辐射能流的稀疏变换

压缩感知的一个关键点就是信号的稀疏性，网格（曲面）上的辐射能流不是一个稀疏信号，所以需要寻找到一个合适的变换基，使得辐射能流变换后是稀疏的，并且稀疏度越高，优化的效率就会越高。因此，辐射能流是否可进行稀疏变换是使用压缩感知方法的关键所在，也是本课题的一个技术难点。

* 压缩感知采用的采样方法

压缩传感的另一个关键点就是采用什么样的采样方式，采样矩阵和变换矩阵之间需要满足不相干性，或者是测量矩阵满足约束等距条件。

* 稀疏信号的恢复算法

压缩感知的一个核心问题是如果根据得到的采样点恢复原信号，这是一个欠定方程组的求解问题。由于信号稀疏这个先验条件，使得这个欠定方程组有特定解。目前，已经有相关算法，主要是追踪算法、贪婪算法、凸优化算法、组合算法和迭代算法，这里我们主要是利用现有的算法实现信号的恢复。

## 研究方法以及技术路线

**4.1 采用压缩感知技术**

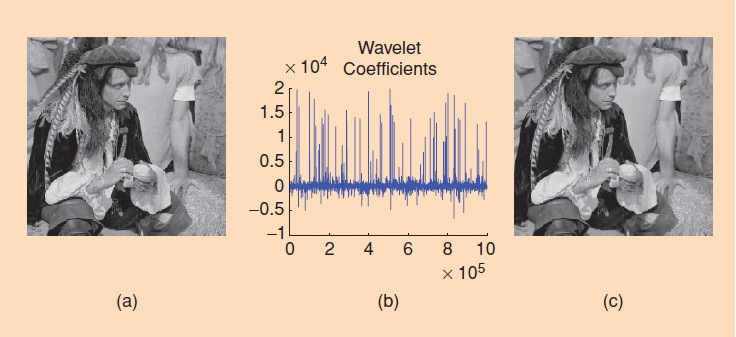
目前压缩感知方法针对普遍采用均匀采样的方法（很少采用非均匀方法），在时变能量平衡模型方程求解时采用均匀采样方式进行采样。由于大部分自然信号在傅里叶基和小波基函数上都有稀疏表示，因此拟采用傅里叶基函数和离散余弦基函数或小波基作为变换基，恢复算法采用正交匹配追踪算法（OMP）。

图4 压缩感知方法用于图像压缩

对时变能量平衡模型的求解，先学习图像的压缩方法，以及利用压缩感知进行图像处理的各种方法，进一歩过渡到图形的处理，然后将压缩感知运用到平衡方程求解中，将平衡方程转化为关于压缩感知稀疏系数的方程，大大地缩减方程的规模，最后求解缩减规模后的方程，恢复出原信号，并且与真实ICF实验进行比较，验证其正确性。

**4.2系统实现技术**

采用压缩感知对ICF实验时变能量平衡模型求解的目的是为了大大加快IRad-3D软件仿真的计算时间。本课题采用MATLAB语言进行开发，然后用C++实现，并且在IRad-3D中渲染显示计算结果。

**4.3实验验证方案**

本课题所设计的优化算法完成后，通过以下试验验证其正确性：

* 和IRad-3D采用Netwon-Raphson方法求解得到的优化结果进行比照，验证本文方法的正确性；
* 应用于ICF实验，将所得到的结果与本文得到的结果进行比照，验证其正确性以及准确性。

## 预期成果以及可能的创新点

**预期成果如下：**

通过本文研究，建立具有完全自主知识产权的ICF实验仿真平台，压缩感知求解与显示模块；所开发的平台支持各种类型靶模型（如柱腔、椭球腔和球腔）的辐射能流计算以及数值显示。

以上述研究为基础，发表论文一篇。

**可能创新点有：**

* 压缩感知求解平衡方程方法

目前，有很多种解非线性方程组的方法，本课题拟采用的压缩感知是一种全新的方法，能够将大规模的非线性方程组缩减至几百甚至更小规模，在合适的系数变换基的基础上只需要较少的采样点就能找到压缩系数，进而求解平衡方程。

## 人员配备、实验条件以及计划进度安排

**人员配备**

指导教师：黄运保

指导小组成员：王启富

研究小组成员：易海涛，陆科惠，汪超，范材彬，孙宇航

**实验条件**

相关硬件：计算机5台：Daul\_Core 2.7G CPU，2G内存，500G硬盘相关软件：Microsoft Visual C++6.0，5套

Matlab 2013， 5套

**计划进度安排**

* 2012.09 – 2013.10 基础理论学习，资料查阅，完成文献综述；
* 2013.11 – 2014.02 找到合适的稀疏基，使得辐射能流在该基上有稀疏表示；
* 2014.03—2014.05 编程实现算法思想，并验证算法正确性；
* 2014.06 – 2014.08 论文撰写.

## 可行性分析

**研究基础**

压缩感知方法自提出以来，就引起了科学和工程界广泛的注意。压缩感知方法充分利用了大部分信号在一组预知的变换基上可以稀疏表示这一先验信息，利用随机投影实现了在远低于奈奎斯特频率的采样频率下对压缩数据的直接采样。通常的变换矩阵有离散余弦变换基、快速傅里叶变换基、离散小波变换基、Curvelet基、Gabor基以及冗余字典等等，为了确保信号的线性投影能够保证信号的原始结构，投影矩阵必须满足约束等距性条件，目前提出的投影矩阵包括高斯随机矩阵、伯努利随机矩阵，均匀随机矩阵和部分傅里叶矩阵。最后需要通过求解非线性优化恢复信号，目前已经有一些算法如基追踪（BP），匹配追踪（MP），正交匹配追踪（OMP），正则正交匹配追踪（ROMP），硬阈值（IHT）等等。这些理论基础为压缩传感的利用提高了工程背景。

**潜在的问题及解决的思路**

本课题目前存在的问题主要是如何进行非自适应采样、采用什么样的稀疏变换基及在该基上的稀疏度是多少，将从下面几个方面解决以上问题

* 学习已有的压缩感知的基函数，熟悉他们各自的适用范围以及操作难易度；
* 将压缩感知运用至时变能量平衡方程中，将方程改写为关于压缩感知系数的方程；
* 学习压缩感知的各种恢复算法，找到一种适合本问题的恢复算法。

## 目前研究进展

1）前期调研已完成，完成了文献查阅，并提交调研报告

2）软件总体技术框架已形成，已经编程实现了Netwon-Raphson方法

3）正在继续阅读压缩感知基方面的知识

## 导师评语

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **研究生签字** |  |  |
| **指导教师签字** |  |  |
| **院（系、所）领导签字** |  |  |

**年 月 日**