**压缩感知原理及简介：**

**1、现阶段综述（到2008年）**

采样定理（又称取样定理、抽样定理）是采样带限信号过程所遵循的规律， 1928年由美国电信工程师H.奈奎斯特首先提出来的，因此称为奈奎斯特采样定理。1948年信息论的创始人C.E.香农对这一定理加以明确说明并正式作为定理引用，因此在许多文献中又称为香农采样定理。该理论支配着几乎所有的信号/图像等的获取、处理、存储、传输等，即：**采样率不小于最高频率的两倍(该采样率称作Nyquist采样率)**。该理论指导下的信息获取、存储、融合、处理及传输等成为目前信息领域进一步发展的主要瓶颈之一，主要表现在两个方面：

(1)**数据获取和处理方面**。对于单个(幅)信号/图像，在许多实际应用中(例如，超宽带通信，超宽带信号处理，THz成像，核磁共振，空间探测，等等）， Nyquist采样硬件成本昂贵、获取效率低下，在某些情况甚至无法实现。为突破Nyquist采样定理的限制，已发展了一些理论，其中典型的例子为Landau理论， Papoulis等的非均匀采样理论，M. Vetterli等的 finite rate of innovation信号采样理论，等。对于多道(或多模式)数

据(例如，传感器网络，波束合成，无线通信，空间探测，等)，硬件成本昂贵、信息冗余及有效信息提取的效率低下，等等。

(2)**数据存储和传输方面**。通常的做法是先按照Nyquist方式获取数据，然后将获得的数据进行压缩，最后将压缩后的数据进行存储或传输，显然，这样的方式造成很大程度的资源浪费。另外，为保证信息的安全传输，通常的加密技术是用某种方式对信号进行编码，这给信息的安全传输和接受带来一定程度的麻烦。

综上所述：Nyquist-Shannon理论并不是唯一、最优的采样理论，研究如何突破以Nyquist-Shannon采样理论为支撑的信息获取、处理、融合、存储及传输等的方式是推动信息领域进一步往前发展的关键。众所周知：(1)Nyquist采样率是信号精确复原的充分条件，但绝不是必要条件。(2)除带宽可作为先验信息外，实际应用中的大多数信号/图像中拥有大量的structure。由贝叶斯理论可知：利用该structure信息可大大降低数据采集量。(3) Johnson-Lindenstrauss理论表明：以overwhelming性概率，K+1次测量足以精确复原N维空间的K-稀疏信号。

近年来，由D. Donoho(美国科学院院士)、E. Candes(Ridgelet, Curvelet创始人)及华裔科学家T. Tao(2006年菲尔兹奖获得者，2008年被评为世界上最聪明的科学家)等人提出了一种新的信息获取指导理论，即，**压缩感知（Compressive Sensing(CS)，或称Compressed Sensing、compressed Sampling）。**该理论指出：**对可压缩的信号可通过远低于Nyquist标准的方式进行采样数据，仍能够精确地恢复出原始信号**。该理论一经提出，就在信息论、信号/图像处理、医疗成像、模式识别、地质勘探、光学/雷达成像、无线通信等领域受到高度关注，并被美国科技评论评为2007年度十大科技进展。目前CS理论的研究尚属于起步阶段，但已表现出了强大的生命力，并已发展了分布CS理论(Baron等提出)，1-BIT CS理论(Baraniuk等提出)，Bayesian CS理论(Carin等提出)，无限维CS理论(Elad等提出)，变形CS理论(Meyer等提出)，等等，已成为数学领域和工程应用领域的一大研究热点。在美国、英国、德国、法国、瑞士、以色列等许多国家的知名大学(例如，麻省理工学院,斯坦福大学，普林斯顿大学，莱斯大学，杜克大学，慕尼黑工业大学，爱丁堡大学，等等)成立专门课题组对CS进行研究；2008年西雅图Intel，贝尔实验室，Google等知名公司也开始组织研究CS；近来美国空军实验室和杜克大学联合召开CS研讨会，与会报告的有小波专家R. Coifman教授，信号处理专家James McClellan教授，微波遥感专家Jian Li教授，理论数学专家R.DeVore教授,美国国防先期研究计划署(DARPA)和美国国家地理空间情报局(NGA)等政府部门成员，等等。

如同信号带宽对于Nyquist，信号的稀疏性是CS的必备条件；如同Nyquist采样规则对于Nyquist-Shannon采样定理，CS的关键是非相关测量（为书写方便，称该测量为测量矩阵）；如同Fourier变换对于Nyquist，非线性优化是CS重建信号的手段。CS的**三个要素**是信号的**稀疏变换**(目前的稀疏变换有DCT, wavelet, curvelet, overcomplete atom decomposition，等),**稀疏信号的非相关测量**（目前的测量方式为线性测量）及**稀疏信号的重建算法**；因此**构建硬件容易实现的测量矩阵**和**快速稳定的重建算法**是将CS推向实用化的关键，也是CS的主要研究内容。

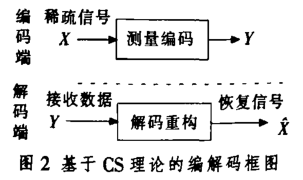
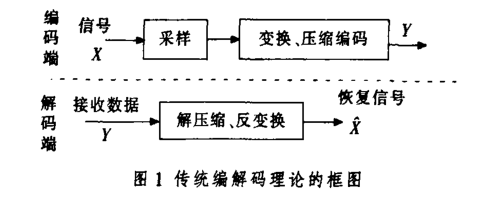
**2、对《2008-压缩感知理论简介》（——喻玲娟，谢晓春）的解读**

**第一部分：**

主要阐述了CS理论框架以及信号稀疏表示的基本原理（已完成理论推导，笔记本上）。

**CS理论框架：**

CS理论是编解码思想的一个重要突破。传统的信号采集、编解码过程如图l所示：编码端先对信号进行采样，再对所有采样值进行变换，并将其中重要系数的幅度和位置进行编码，最后将编码值进行存储或传输：信号的解码过程仅仅是编码的逆过程，接收的信号经解压缩、反变换后得到恢复信号。这种传统的编解码方法存在两个缺陷：1)由于信号的采样速率不得低于信号带宽的2倍，这使得硬件系统面临着很大的采样速率的压力；2)在压缩编码过程中，大量变换计算得到的小系数被丢弃，造成了数据计算和内存资源的浪费。



CS理论的信号编解码框架和传统的框架大不一样．如图2所示。CS理论对信号的采样、压缩编码发生在同一个步骤，利用信号的稀疏性，以远低于Nyquist采样率的速率对信号进行非自适应的测量编码。测量值并非信号本身，而是从高维到低维的投影值，从数学角度看，每个测量值是传统理论下的每个样本信号的组合函数，即一个测量值已经包含了所有样本信号的少量信息。解码过程不是编码的简单逆过程，而是在盲源分离中的求逆思想下。利用信号稀疏分解中已有的重构方法在概率意义上实现信号的精确重构或者一定误差下的近似重构。解码所需测量值的数目远小于传统理论下的样本数。

**信号稀疏表示的基本原理：（已推导在笔记本上）**

信号的稀疏表示简单来说就是：前提条件是信号首先必须具有稀疏性或可压缩性，然后选择合适的稀疏基以及非零系数，则可用该稀疏基和非零系数的乘积来表征信号，其中非零系数的个数要远远小于信号的长度（针对离散信号而言）。**信号稀疏表示的关键是寻找最合适的稀疏基（常见的稀疏基有：正弦（余弦）基、小波基、chirplet基以及curvelet基等），使得信号的稀疏系数个数尽可能少**，这样就能够最大程度地减少采样的样点个数，也能大大提高采样速率，同时减少存储和传输时的资源消耗。

**CS测量编码的模型：（已推导在笔记本上）**

**CS解码重构的模型：（已推导在笔记本上）**

**3、对《压缩感知》（——许志强，2012年1月12日作）的解读**