



# 多通道信号采集与分析

DSP工程师 倪斌



# 议程

- 多通道信号的采集
  - 多通道信号的同步
- 多通道信号的分析
  - 多通道信号的联合分析



# 多通道信号采集的应用

- 东海大桥健康度监测
  - 30+公里长度
  - 需监测结构变形，结构应力，索力，位移，结构温度，结构沉降
  - 传感器种类多，分布广，数量庞大



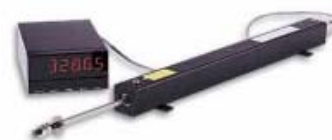
风速仪



温度传感器



加速度传感器



位移传感器



# 多通道信号采集的要素

- 通道同步A/D转换
- 通道与通道间无相位误差以保证相位匹配
- 日后的可扩展性



# 多通道信号采集的同步

- 集中式数据采集系统:
  - 主从同步模式（单机箱 / 多机箱）
- 分布式数据采集系统:
  - IEEE 1588 (以太网)
  - GPS信号同步



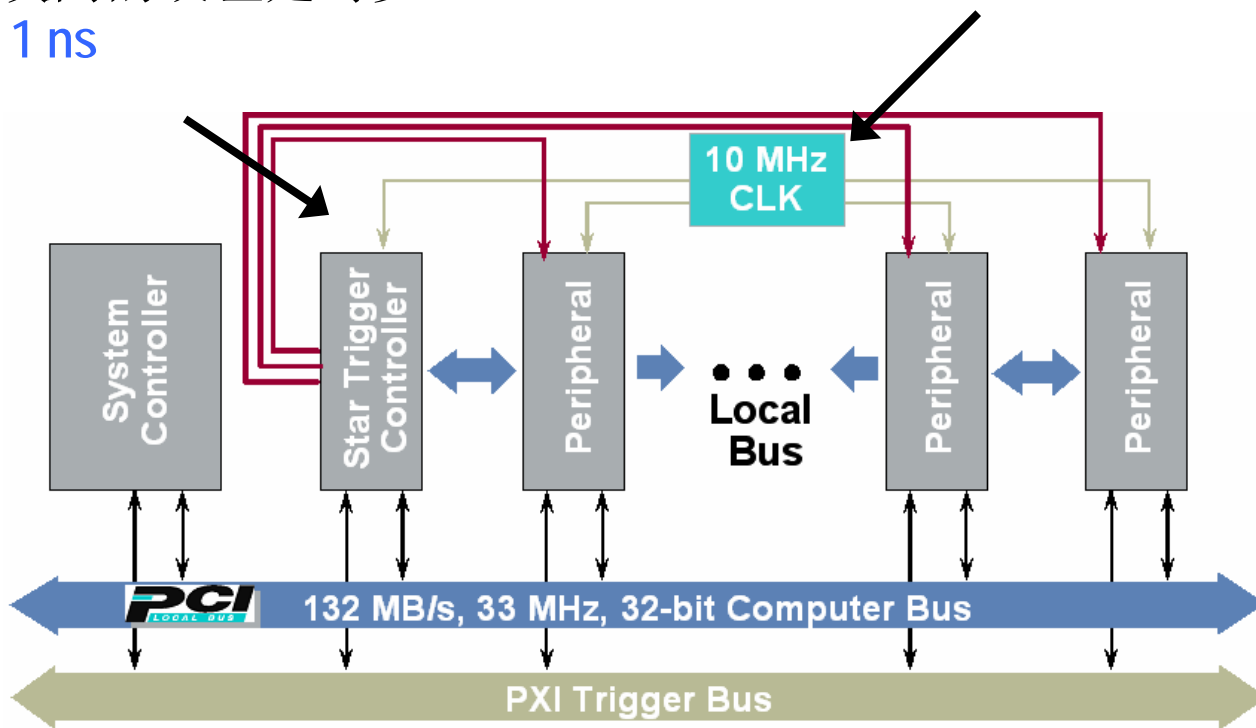
# PXI 系统定时和同步

开始触发

- 传输延时少于 **5 ns**
- 模块间的误差延时少于 **1 ns**

系统参考时钟 (CLK10)

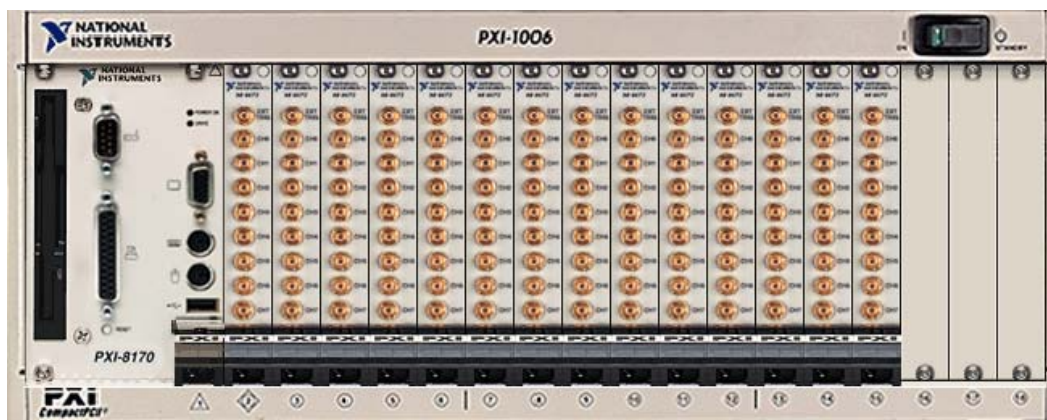
- 少于 **1 ns** 误差





# 集中式采集的主从同步

- 总共14个模块，112个通道
- 机箱的任意两个通道在1 kHz时相位误差小于 $0.1^\circ$

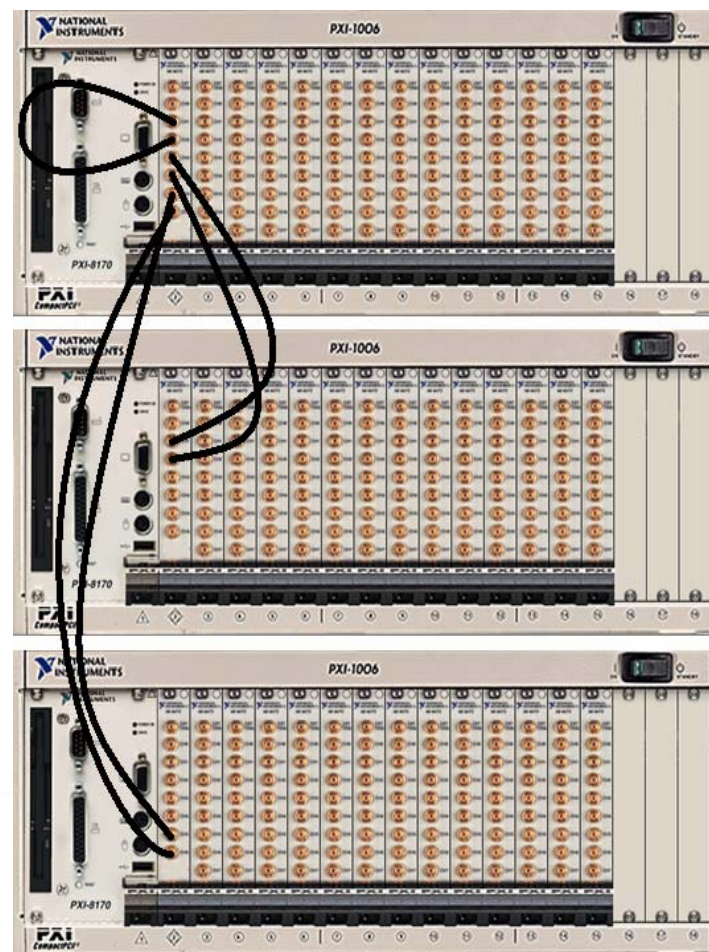






# 集中式采集的主从同步

- 在插槽2使用NI PXI-6653，共享机箱间的时钟和触发
- 任意机箱的任意两个通道在1 kHz时相位误差小于 $0.1^\circ$
- 最高 5,000个通道!







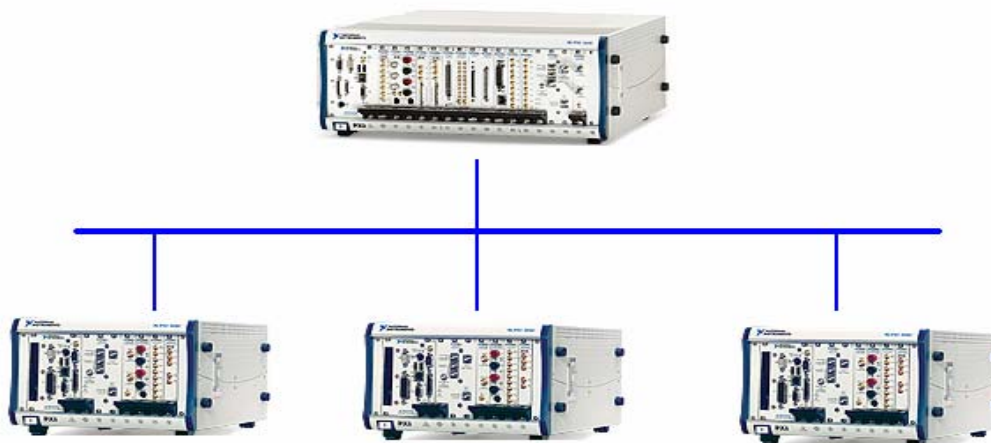
# 集中式采集的主从同步

- 波音公司的麦克风阵列
  - 数百个麦克风分布在250英尺宽的范围内





# 波音公司的解决方案 - 主从同步



500通道, 采样率93KHz, 1度的同步精度  
主模块控制时钟和触发信息



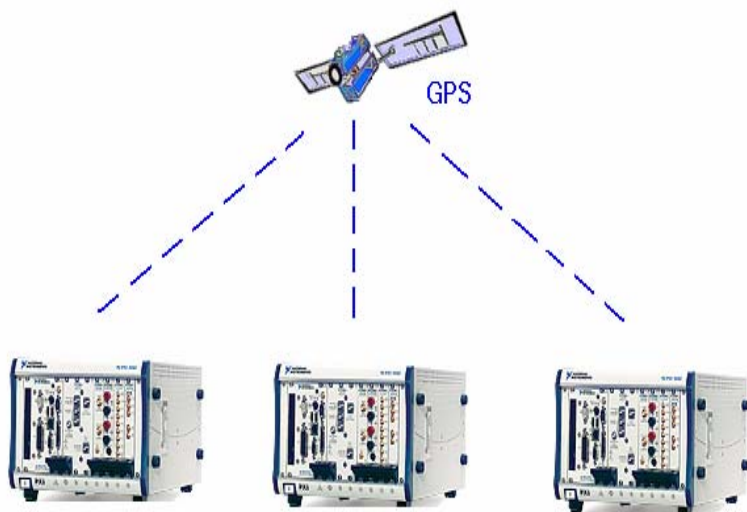
# 分布式采集的GPS同步

- 东海大桥的健康监测
  - 桥长30+公里长度
  - 传感器种类多, 分布广,
  - 分14个工作站同时控制采集





# 东海大桥解决方案- GPS同步模式



PXI机箱上安装GPS接收装置。  
GPS以10Hz的频率发送脉冲信号触发同步。



# 小结

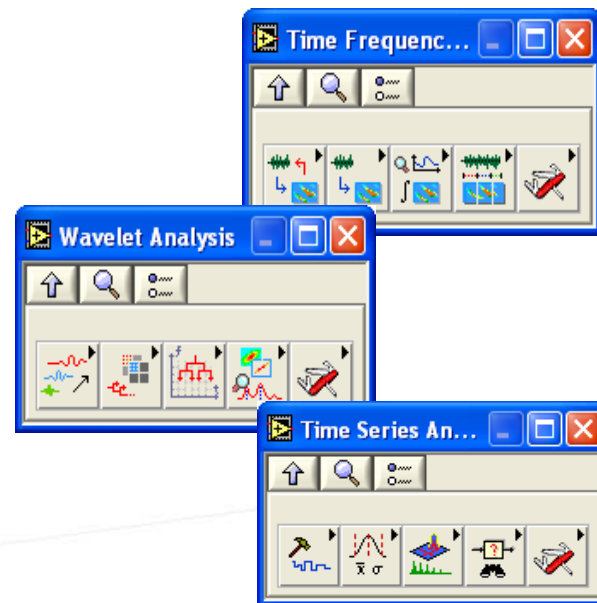
- 多通道信号的采集
  - 多通道信号间无相位误差
- 多通道信号的分析
  - 多通道信号的联合分析





# 多通道信号分析 —— 联合分析

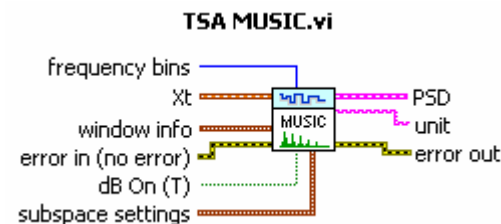
- 统计量计算：均值、方差、熵、Skewness and Kurtosis
- 多通道谱分析与特征参数提取
  - MUSIC
  - Matrix Pencil
- 盲信号分析：
  - 主分量分析 PCA
  - 独立分量分析 ICA







# 多通道信号谱分析



- MUSIC (Multiple Signal Classification)
- 将多个通道的频峰集中到一个频谱图上，同时可以观测到全部频峰
- 极点谱,更有利于准确的找到固有频率点

$$S(f) = \frac{1}{df} \cdot \frac{1}{e^{T(2\pi f)} \left( \sum_{k=M+1}^p w_k V_k V_k^T \right) e^{(2\pi f)}}$$



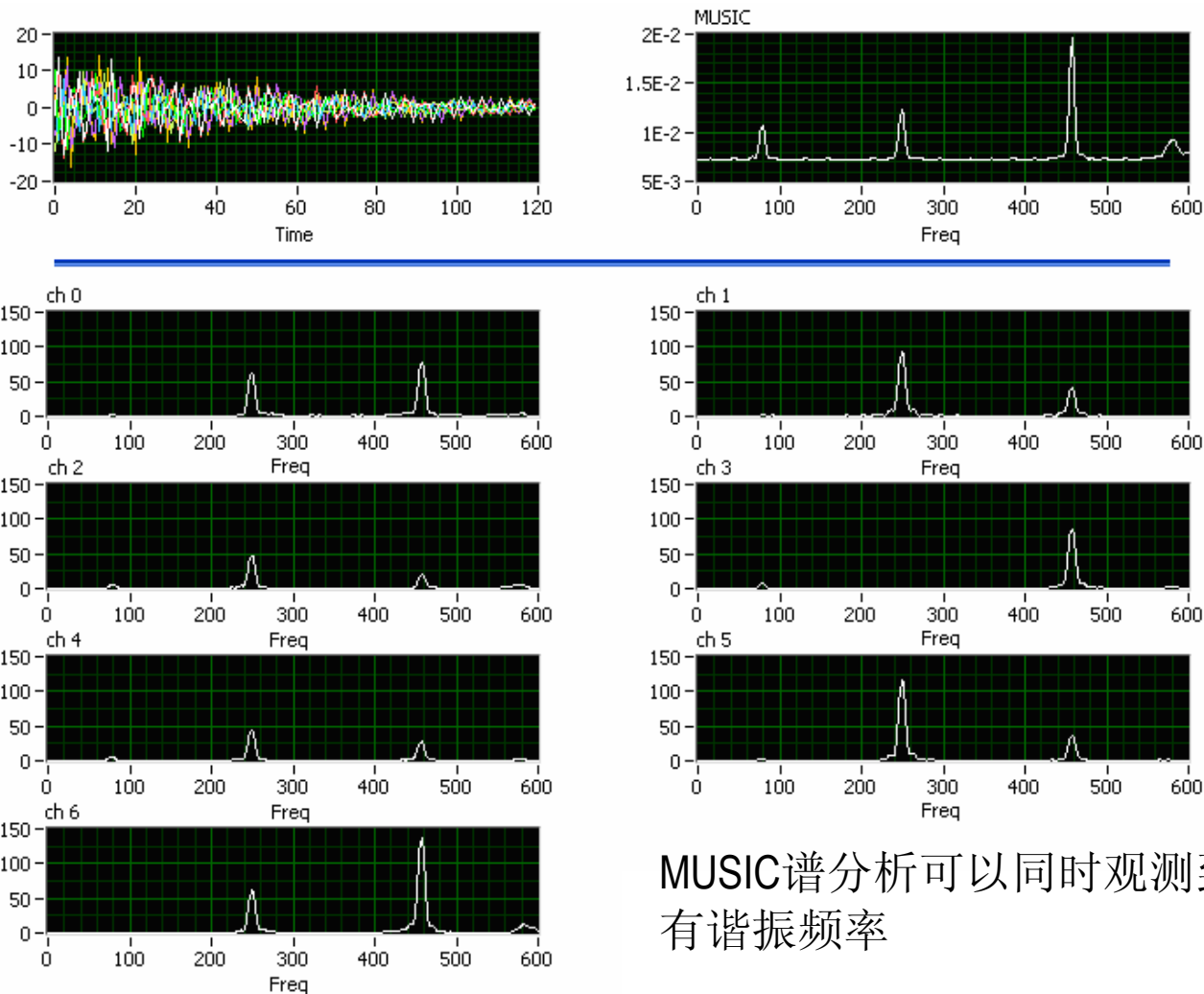
# MUSIC 用于多通道信号谱分析



- 钢梁谐振频率测量
- 7个加速度传感器



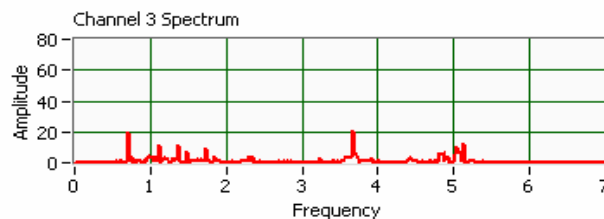
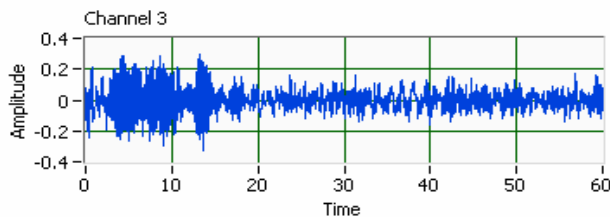
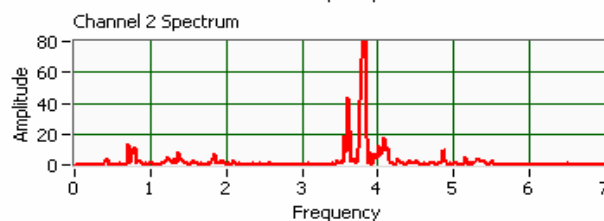
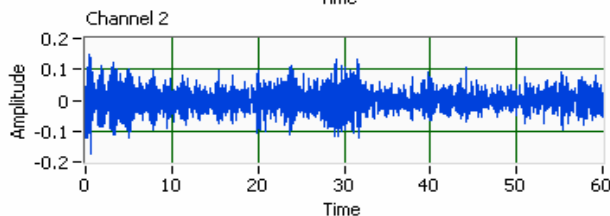
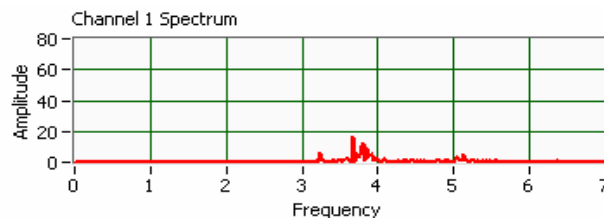
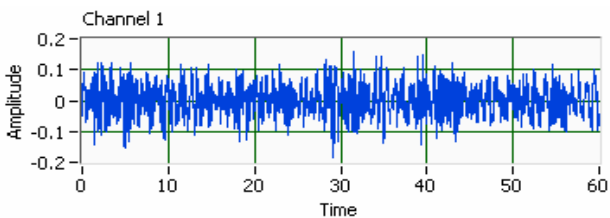
# MUSIC 用于多通道信号谱分析



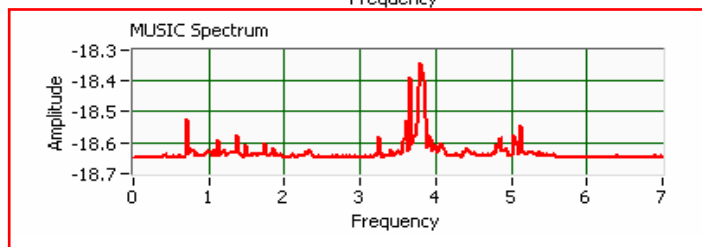
MUSIC谱分析可以同时观测到所有谐振频率



# MUSIC 用于东海大桥振动信号的谱分析



MUSIC谱分析可以帮助我们同时看到三个通道的谱图

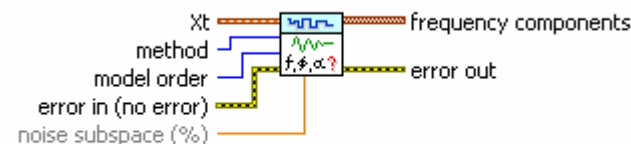




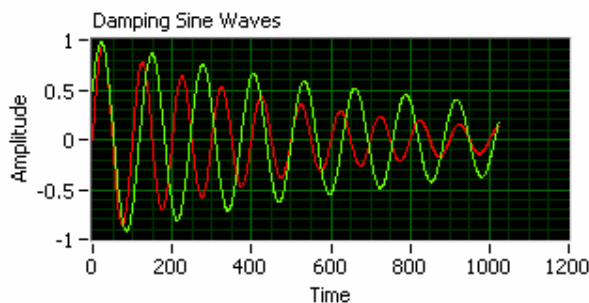
# 模态参数提取

- Prony方法
  - 基于LS的exp拟合
- Matrix Pencil方法
  - 基于SVD分解提取特征向量
  - 比PRONY方法能更好的抑止噪声的影响

TSA Modal Parametric Modeling.vi



Estimates the modal parametric model of an input univariate or multivariate (vector) time series. The modal parameters include magnitude, phase, damping factor, and natural frequency.

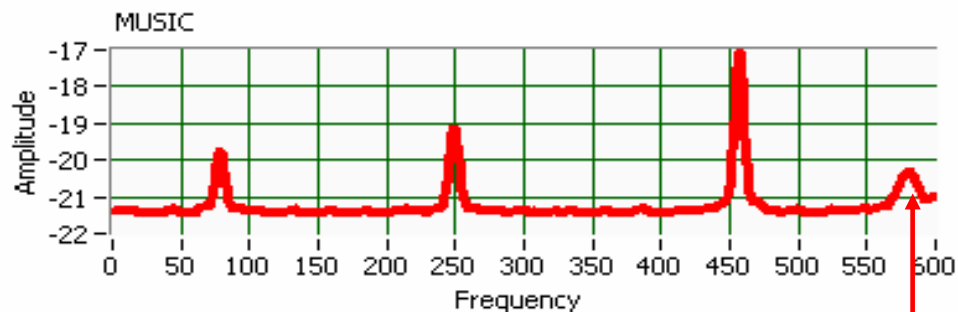


$$\Rightarrow f, \phi, \alpha$$





# Matrix Pencil 方法提取模态参数



Frequency Components (Matrix Pencil)

frequency	frequency	frequency	frequency
78.649	249.575	457.24	579.978
damping factor	damping factor	damping factor	damping factor
-0.0178665	-0.0157068	-0.0184319	-0.0581256

Frequency Components (Prony)

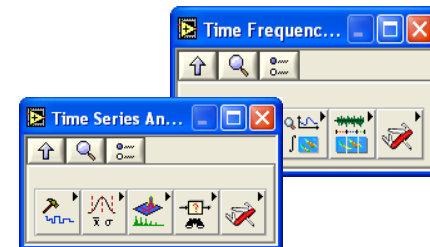
frequency	frequency	frequency	frequency
80.529	249.879	456.912	600
damping factor	damping factor	damping factor	damping factor
-0.0746388	-0.0186821	-0.0245986	-0.0623032





# 多通道谱分析与特征参数提取

- 多通道谱分析
  - MUSIC方法能将所有通道的频谱集中到一张谱图上
- 多通道特征参数提取
  - Matrix Pencil方法比Prony方法更能消除噪声对信号的影响





# 盲信号分析 —— 独立分量分析 (Independent Component Analysis)

$$X_{L \times m} = S_{L \times n} A_{n \times m}$$

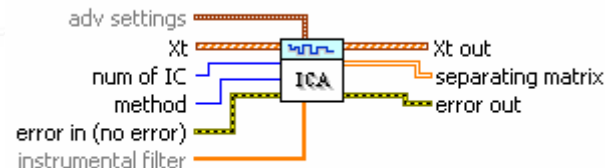
X 指测量到的数据, m 个通道, L个观测点

S 指**互相独立**的未知信号源

ICA分离出互相独立的未知信号源

鸡尾酒会问题

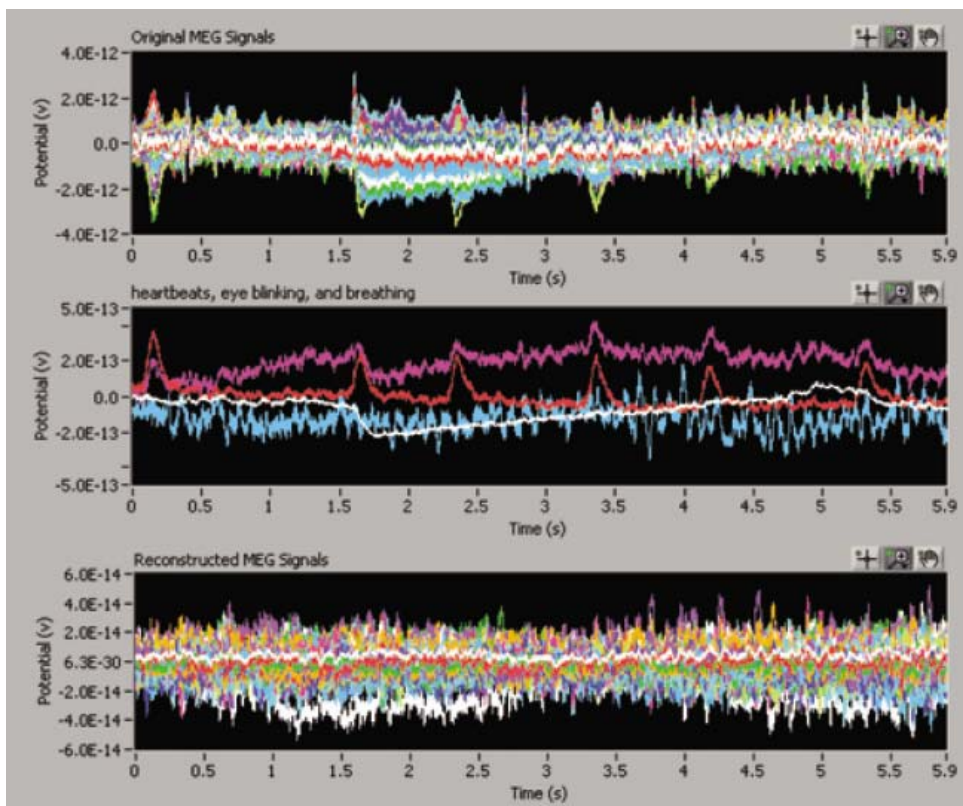
TSA Independent Component Analysis.vi



Performs independent component analysis (ICA) on an input multivariate (vector) time series.



# 用独立分量分析分离脑磁信号



- 148个传感器测量大脑中的脑磁信号
- 思维会产生脑波信号，心跳等生理机能也会产生脑波信号



# 盲信号分析 —— 主分量分析 (Principle Component Analysis)

$$X_{L \times m} = S_{L \times n} A_{n \times m}$$

TSA Principal Component Analysis.vi

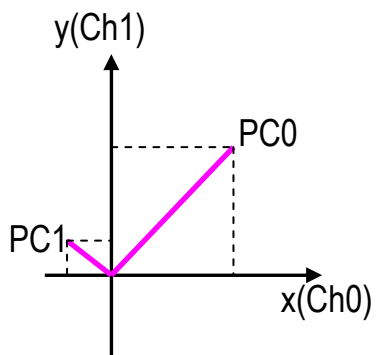


Performs principal component analysis (PCA) on an input multivariate (vector) time series.

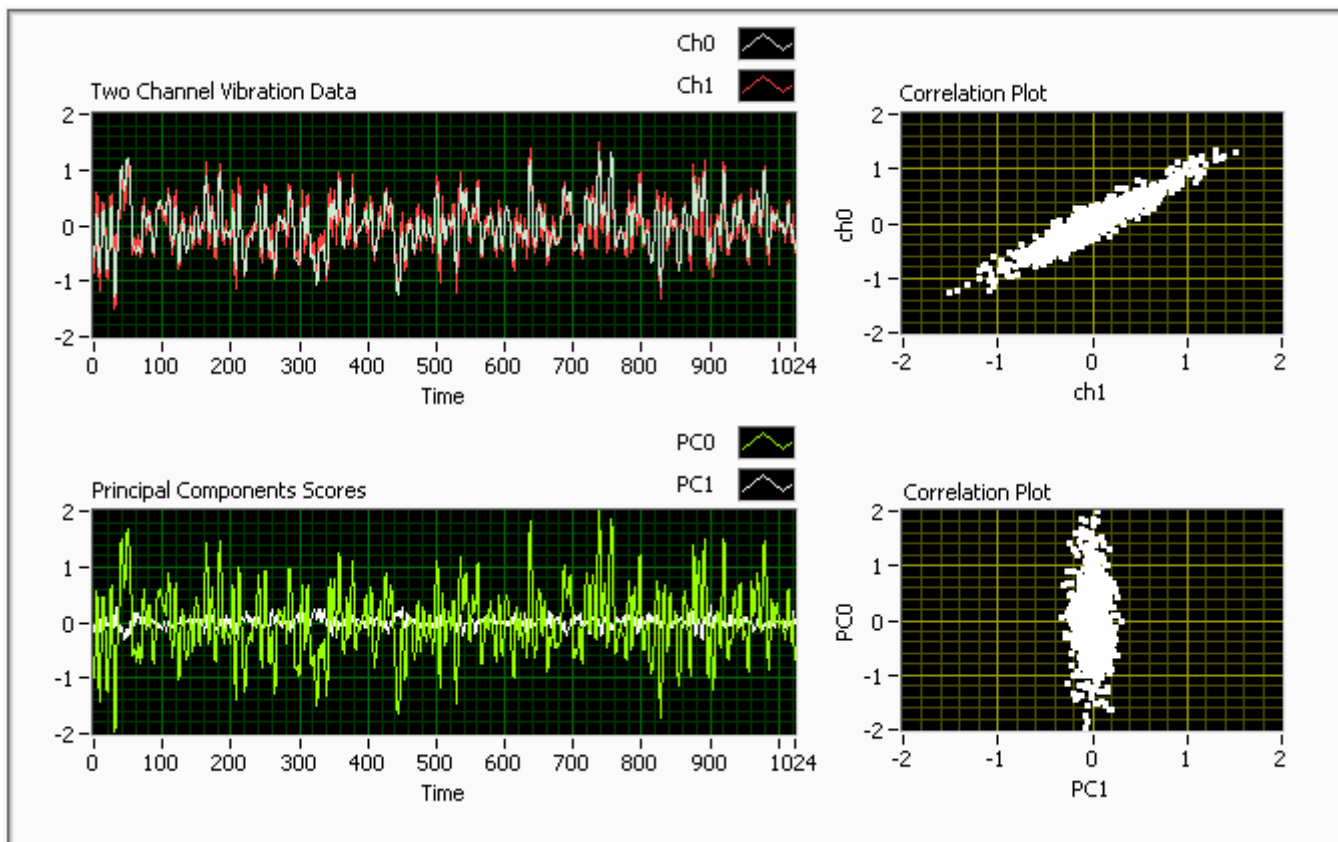
X 指测量到的数据, m 个通道, L个观测点  
S 指**互不相关**的未知信号源  
PCA提取最能表达X特征的正交基



# 主分量分析应用 —— 主振源提取



PC0: 主振方向  
PC1: 系统噪声





# 总结

- 采集：同步无相位差
- 分析：多通道联合分析
- 从硬件到软件的完整结合
- 从采集到分析的统一平台实现



提问

