

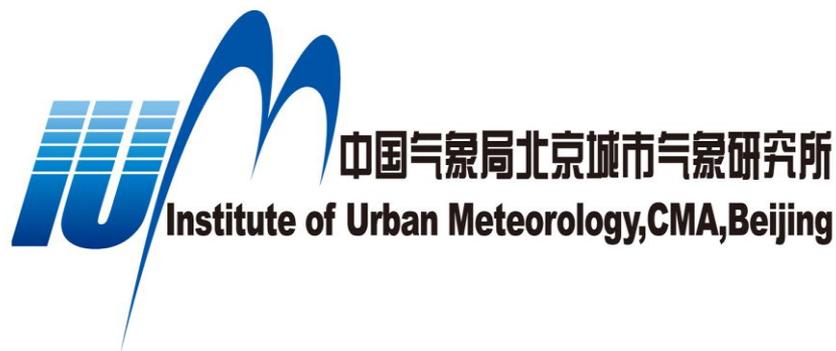
GPS信噪比特性及其用于积雪厚度监测研究



张双成 张京江

长安大学 地测学院

北京城市气象研究所

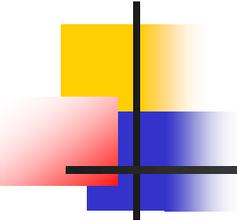


南京，江苏，2017.4.27

2017年全国气象卫星遥感应用技术交流会



长安大学是教育部、交通运输部、国土资源部、住房和城乡建设部和陕西省政府共建的国家“211工程”重点建设大学，是国家“985工程”优势学科创新平台建设高校。



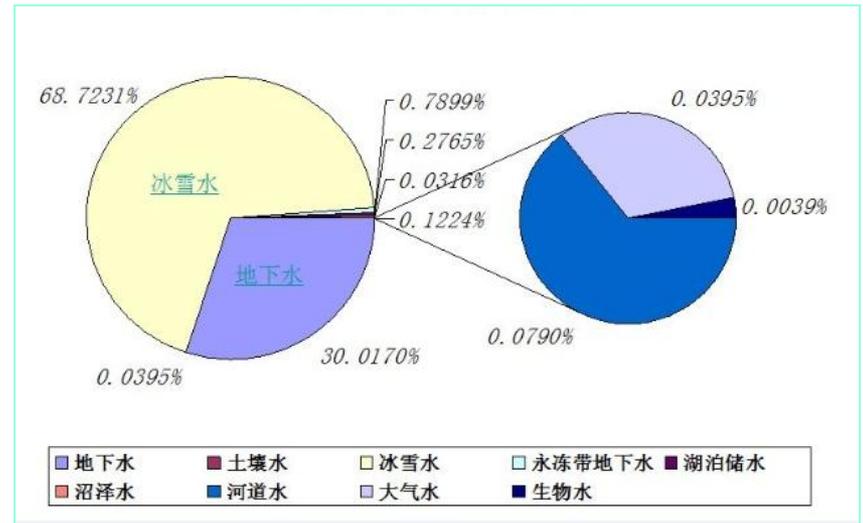
报告内容

1. 研究背景
2. 基本理论
3. 算例分析
4. 结论展望

研究背景

积雪监测的重要性：

- 重要的淡水资源储备，占全球可饮用水约68%；
- 是影响全球气候的重要因素之一；
- 对积雪的监测可以提高雪灾多发区的积雪监控能力；
-



研究背景

现有降雪厚度监测方法

传统人工监测：

- 监测精度高
- 监测站点离散、工作量大
- 精度受站点分布影响较大



自动雪深探测传感器：

- 提高了工作效率
- 测站分布不均、数量有限
- 时空分辨率较低

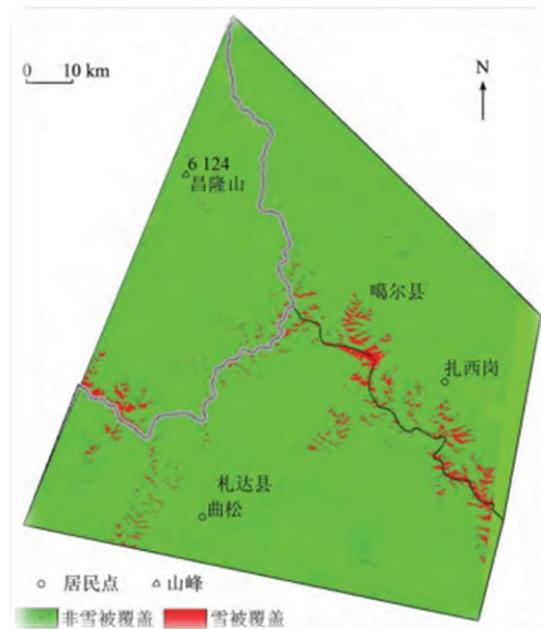
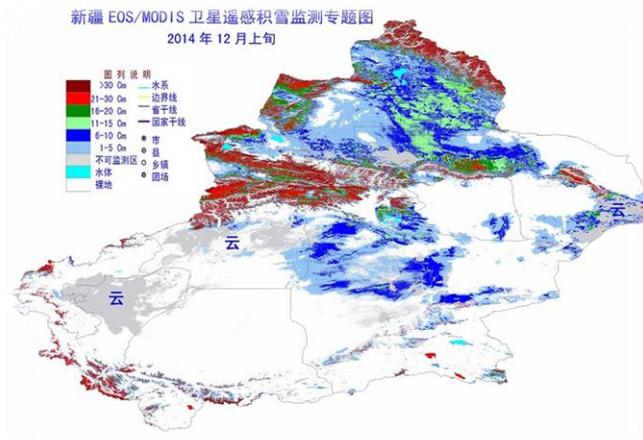
研究背景

卫星遥感监测：

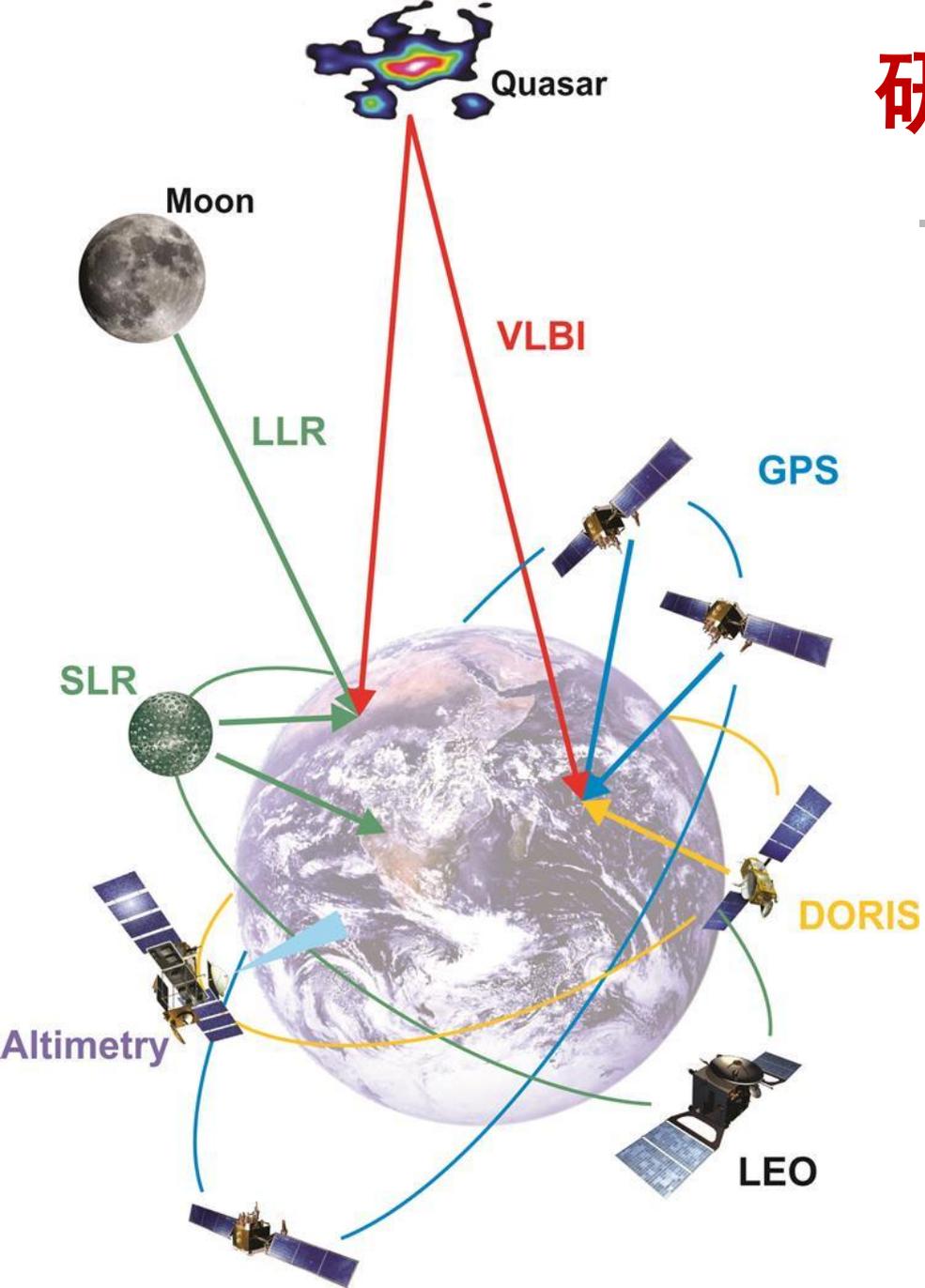
➤ 时空分辨率高

➤ 积雪信息提取受地形、云层和大气折光等因素影响较大。

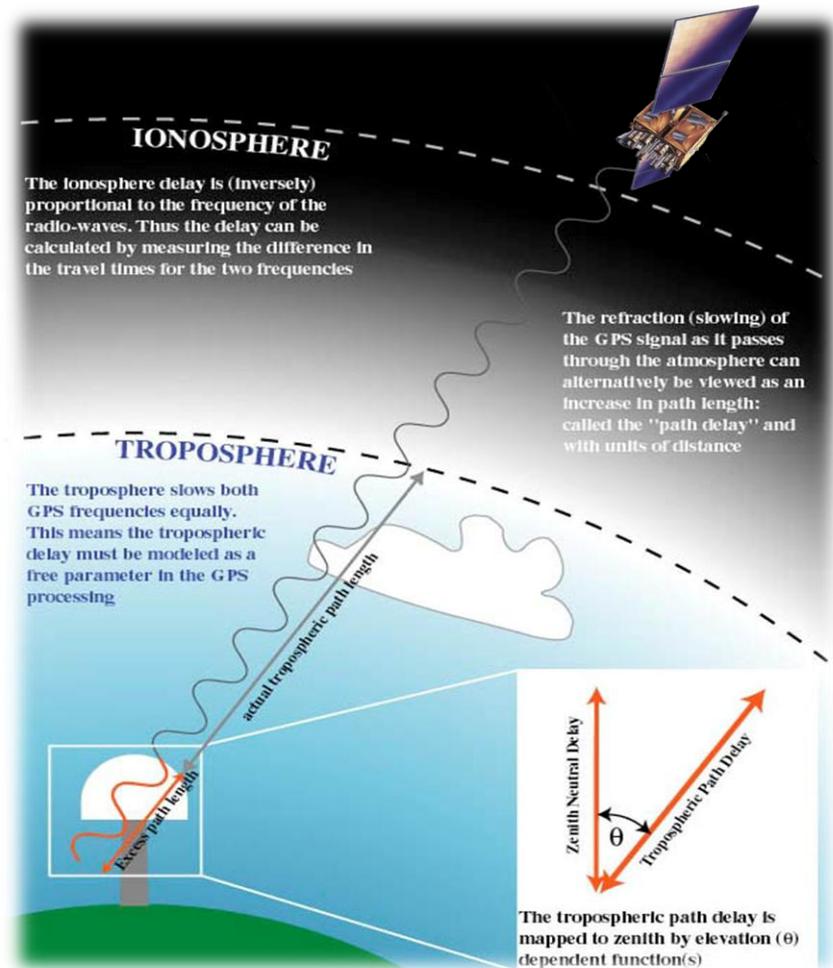
➤ 监测精度约为10-20cm。



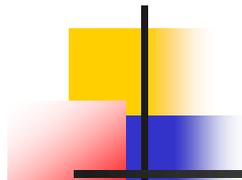
研究背景



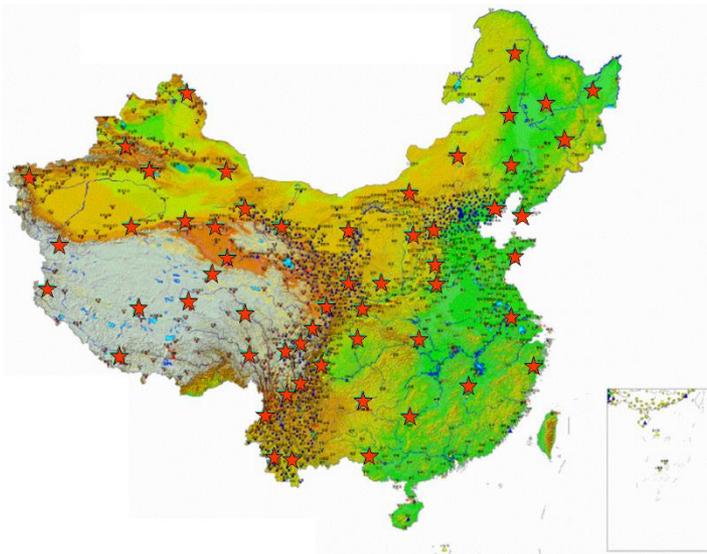
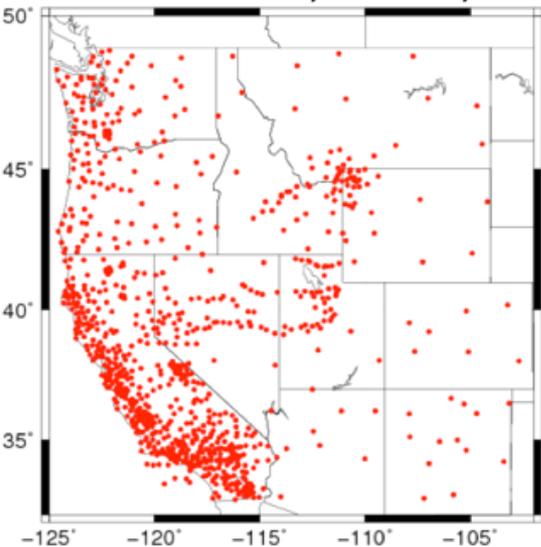
GNSS气象学



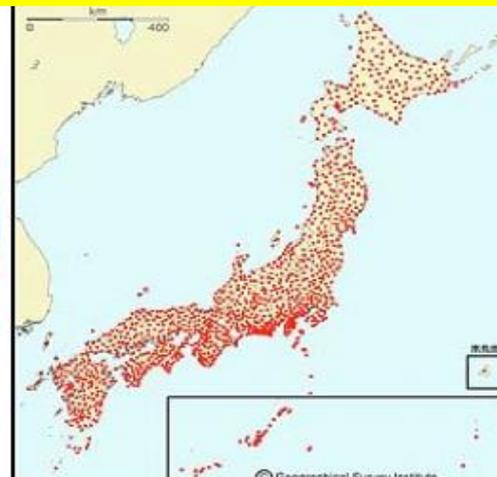
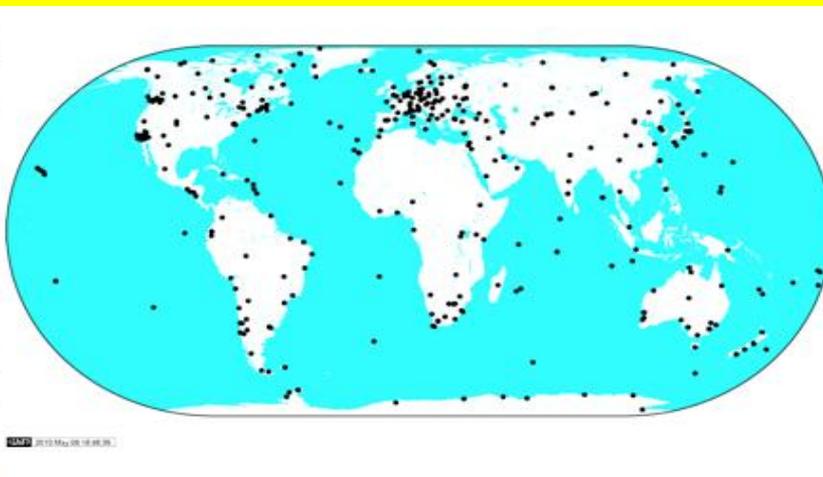
研究背景



The Plate Boundary Observatory



全球密集的GNSS跟踪站是否可用于遥感空间环境？



研究背景

Reflected signals give us information about the Earth's water cycle.

Snow Depth

GPS provides remote **snow depth** measurements in hard-to-reach areas.



Ice Height

Changing ice heights indicate **how much freshwater** is stored by or being lost from glaciers.



Sea Level

As a **tide gauge**, GPS can measure local, regional, and global changes in sea level.



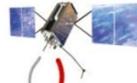
Vegetation

GPS can measure the onset of **plant growth**, plant aging, maximum vegetation growth, and the length of the growing season.



Soil Moisture

Soil moisture measured over broad regions indicates **how much precipitation** evaporated back into the atmosphere.



GPS Satellites



DIRECT GPS SIGNALS

REFLECTED GPS SIGNALS

Radome + GPS Antenna (inside)



Data travels through an underground cable

GPS signals sense information about the atmosphere.

Ionosphere

The GPS satellite signal is delayed by charged particles caused by solar storms; this layer can also be displaced by tsunamis, yielding information for **tsunami early warning**.



Troposphere

The GPS satellite signal is delayed by water vapor that can turn into rain. This informs **forecasting of flash floods and hurricanes**.



What's on the Box?

- Comms Antenna
- Meteorological Pack

What's in the Box?

- Comms (e.g.: radios)
- GPS Receiver
- Batteries

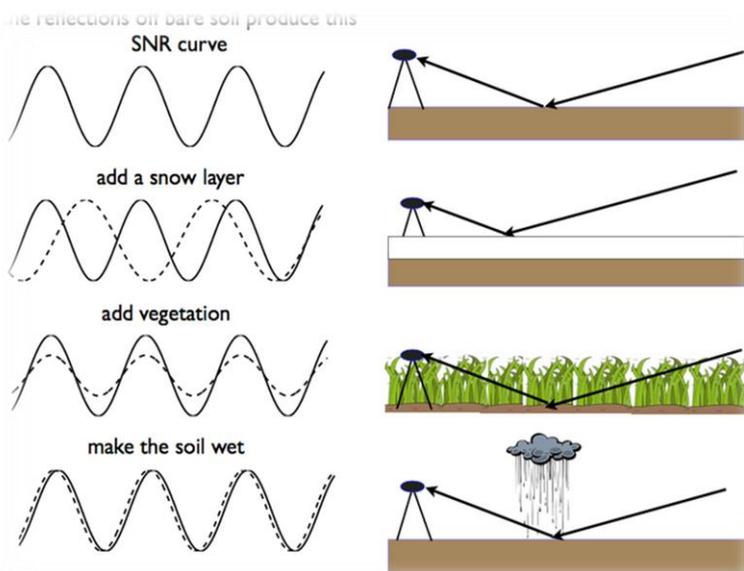
Solar Panels

GNSS气象学向GNSS遥感的拓展

研究背景

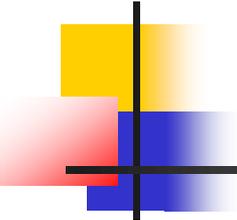
GNSS-MR (GPS Multipath Reflectometry) 技术:

GNSS信号经不同地表介质（如土壤、雪层、植被、水面等）反射后，被反射的多路径信号承载反射面的特性信息，通过对GNSS反射信号中波形、极化特性、振幅、相位和频率等参数的分析，可以有效获取地表反射面的物理参数。



GNSS-MR技术特点:

- 单站覆盖面积大、时空分辨率高;
- 全天候、实时自动化;
- 监测产品丰富（水汽含量、积雪厚度、雪密度、植被指数、土壤湿度等）
- 充分利用现有的GNSS网络（IGS、PBO、陆态网络、GNSS气象网）。



报告内容

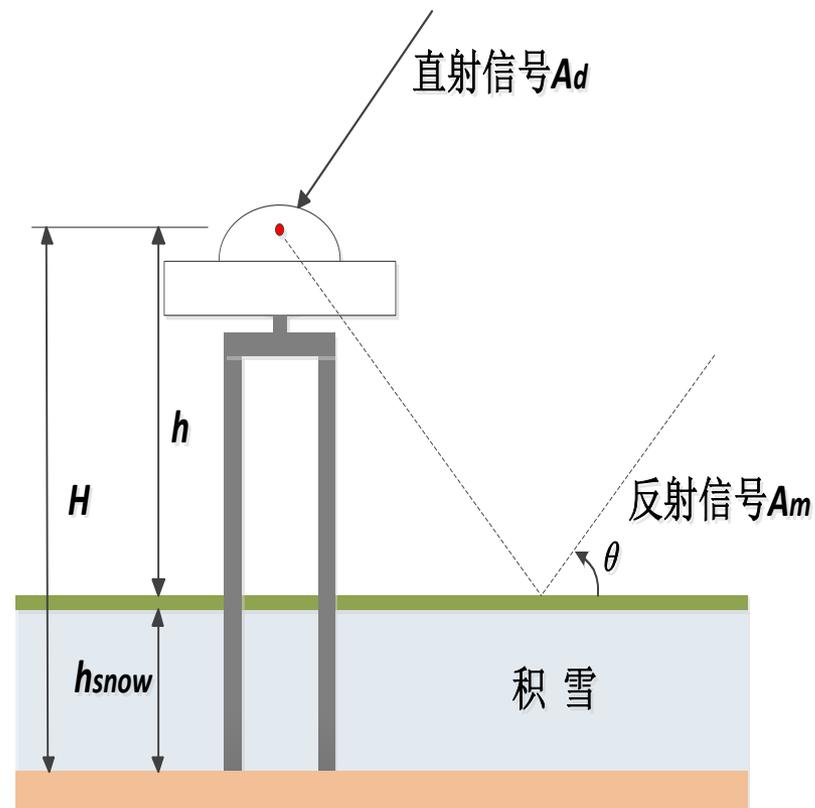
1. 研究背景

2. 基本理论

3. 算例分析

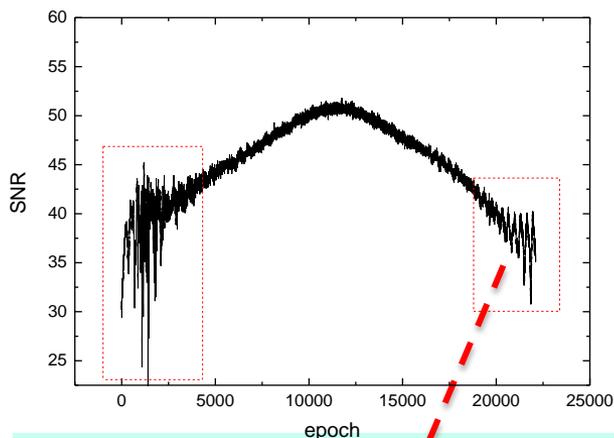
4. 结论展望

基本理论

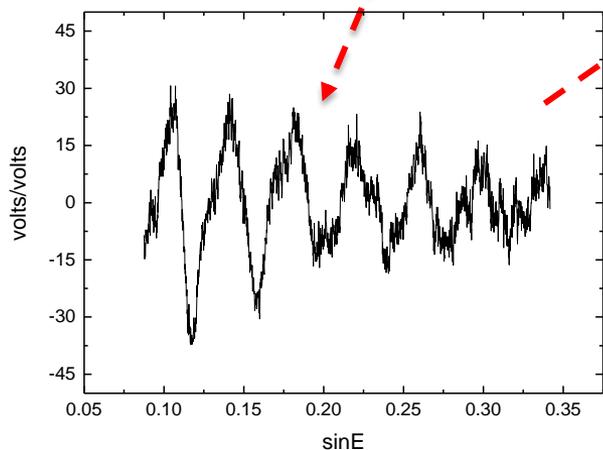


GPS-MR技术用于雪深探测示意图

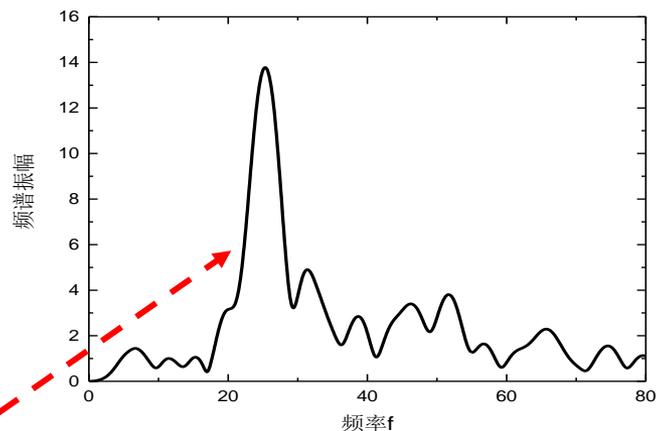
基本理论



GPS卫星信号信号的SNR变化图



去除趋势项的SNR残差序列



L-S谱分析结果

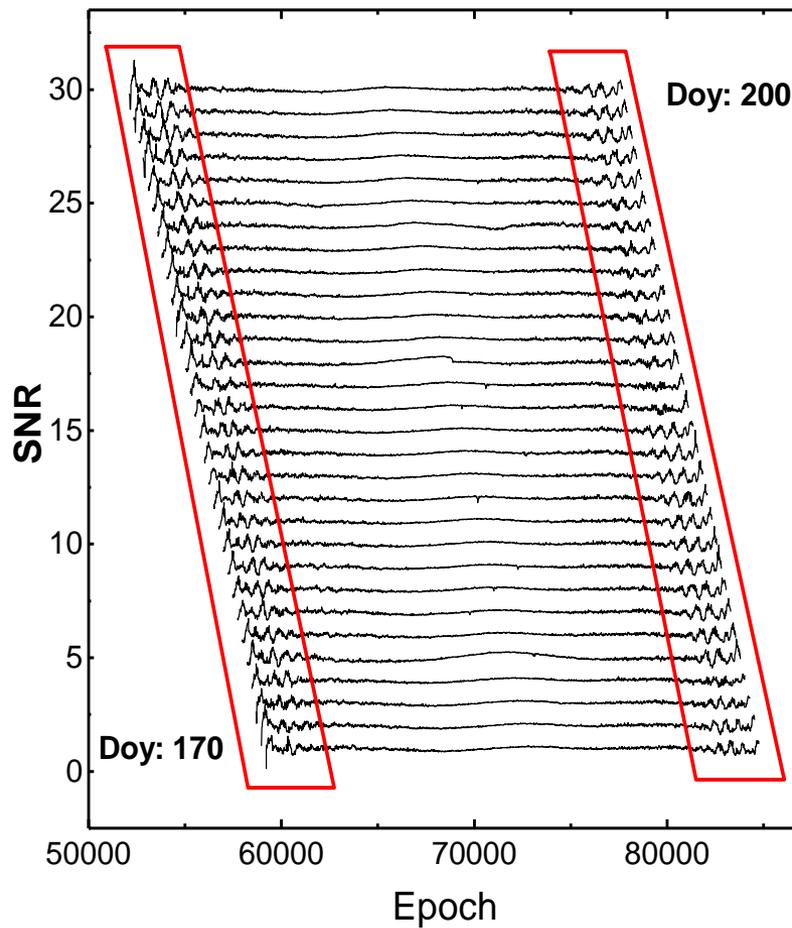
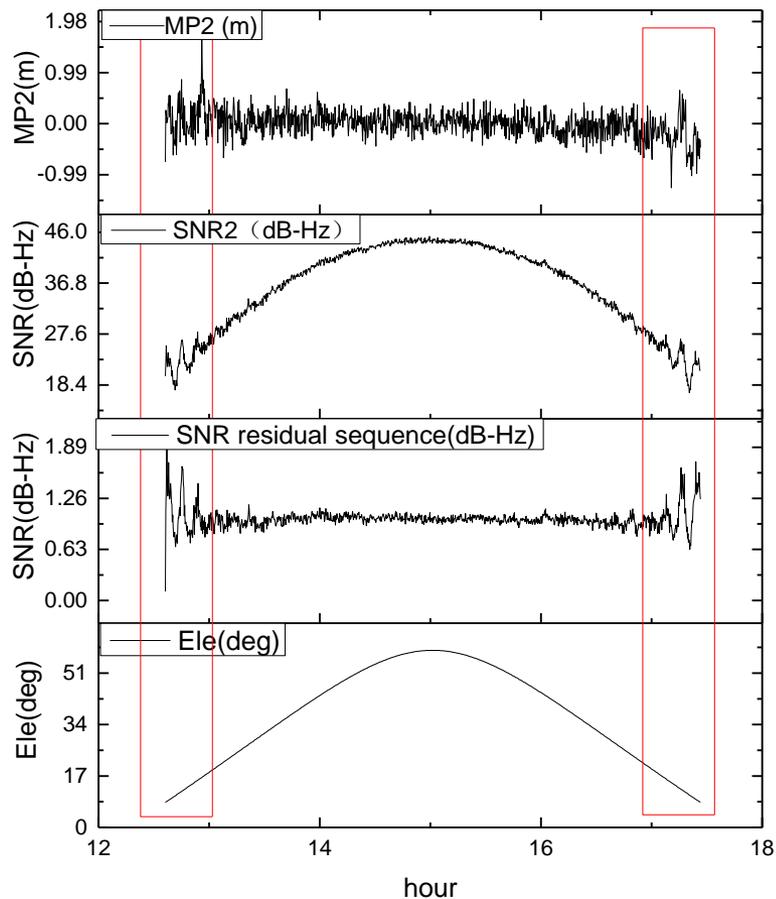
$$A_m = A \cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda} \sin E + \phi\right) \quad (1)$$

$$t = \sin E, f = \frac{2h}{\lambda}$$

$$A_m = A \cos(2\pi f t + \phi) \quad (2)$$

$$h = f \cdot \lambda / 2, h_{snow} = H - h$$

基本理论

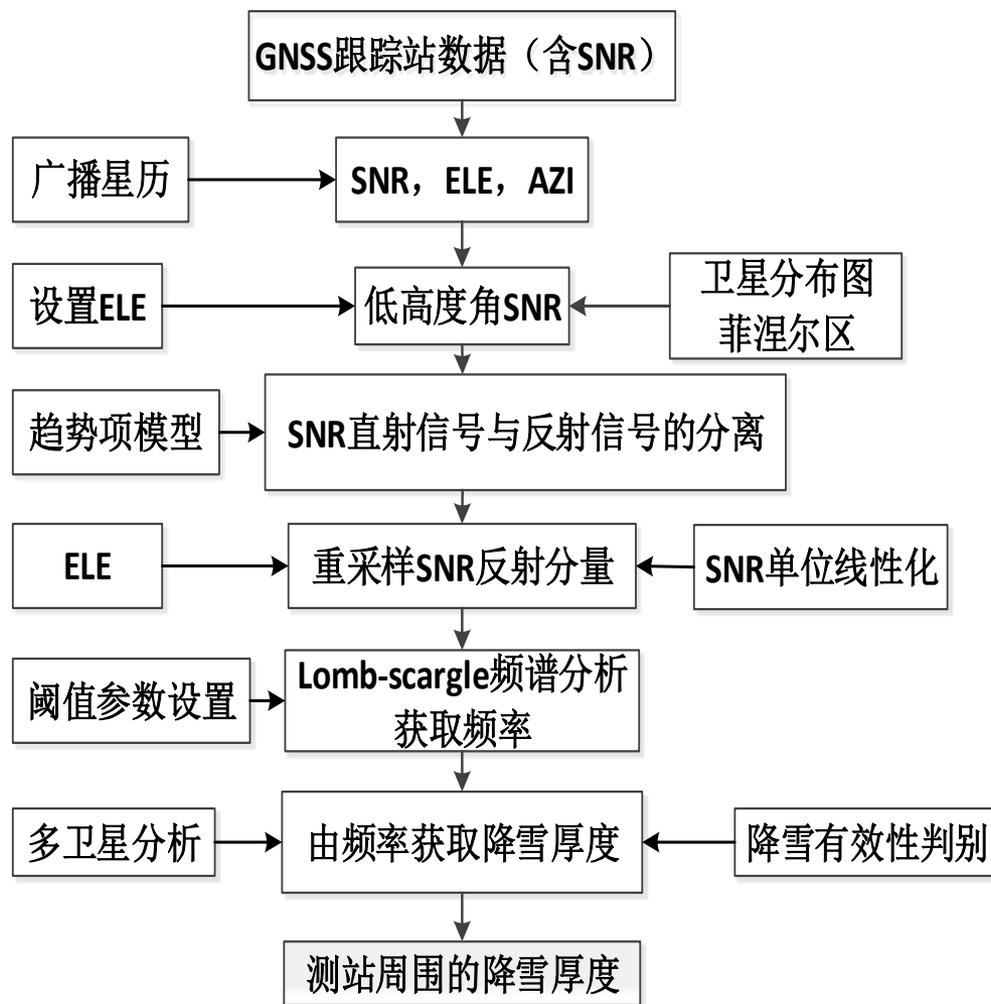


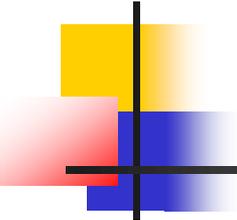
信噪比与多路径相关性分析

GPS信噪比残差时间序列

基本理论

信噪比用于积雪监测流程图





报告内容

1. 研究背景
2. 基本理论
3. 算例分析
4. 结论展望

算例分析

实验数据来源:

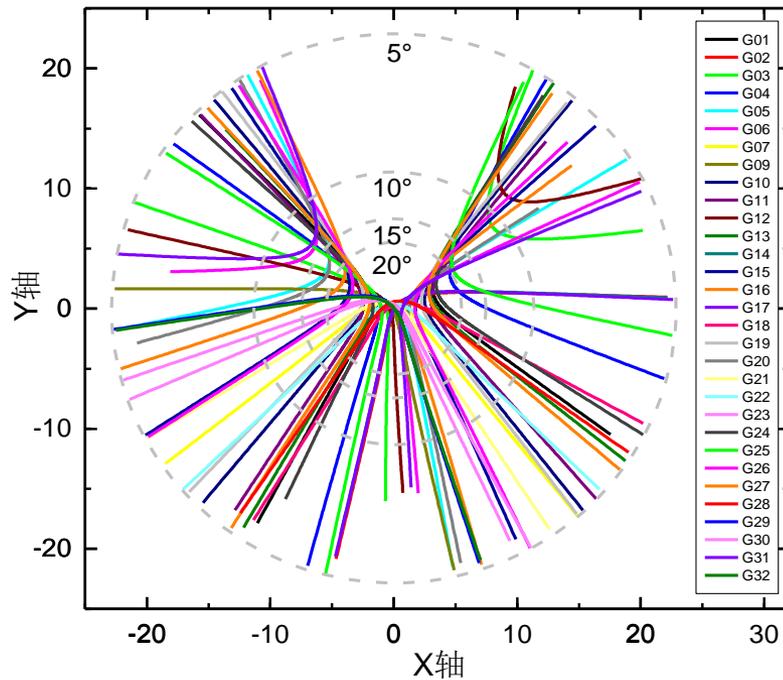


AB33测站观测环境
(冬季常被积雪覆盖)

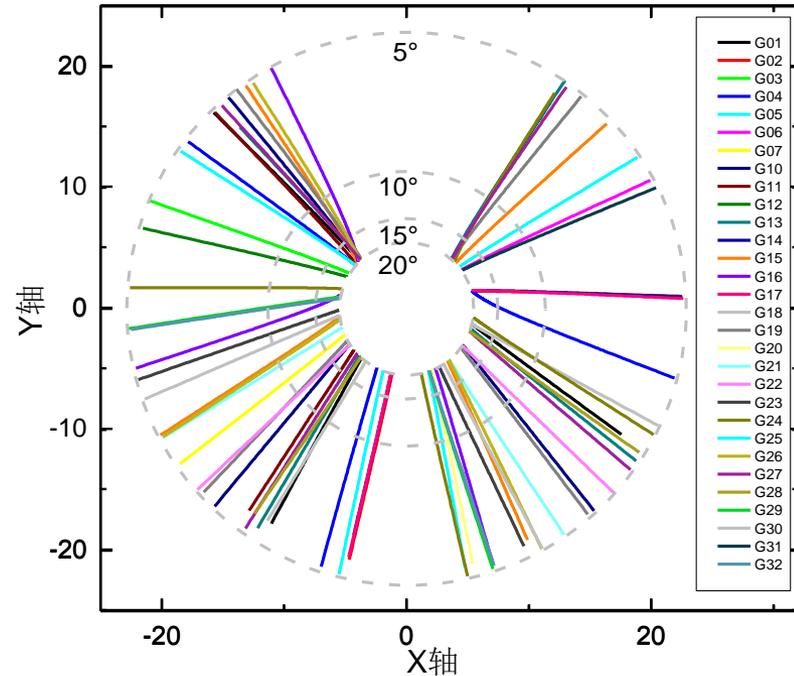
- 站点坐标： 北纬 67.25° 西经 150.17° 平均海拔335.0m
- 接收机类型： TRIMBLE NETRS
- 天线类型： TRIMBLE 29659.00 (整流罩类型为SCIT)
- GPS采样率： 15s
- 实验数据长度： 2011年到2014年
- 反演波段： L1
- 实测雪深： 自然资源保护服务组 (NRCS) SNOTEL站提供

算例分析

GNSS测站有效卫星数据选取：



全部弧段 (5° -90°)

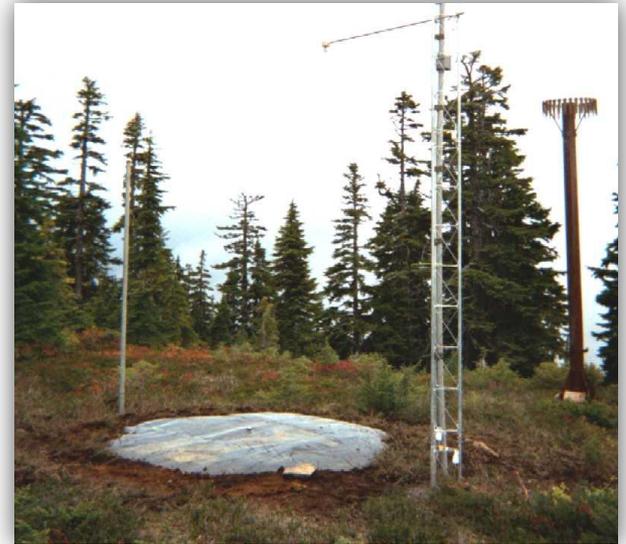
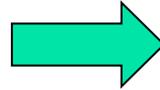


有效数据弧段 (5° -20°)

算例分析

空间分辨率对比：

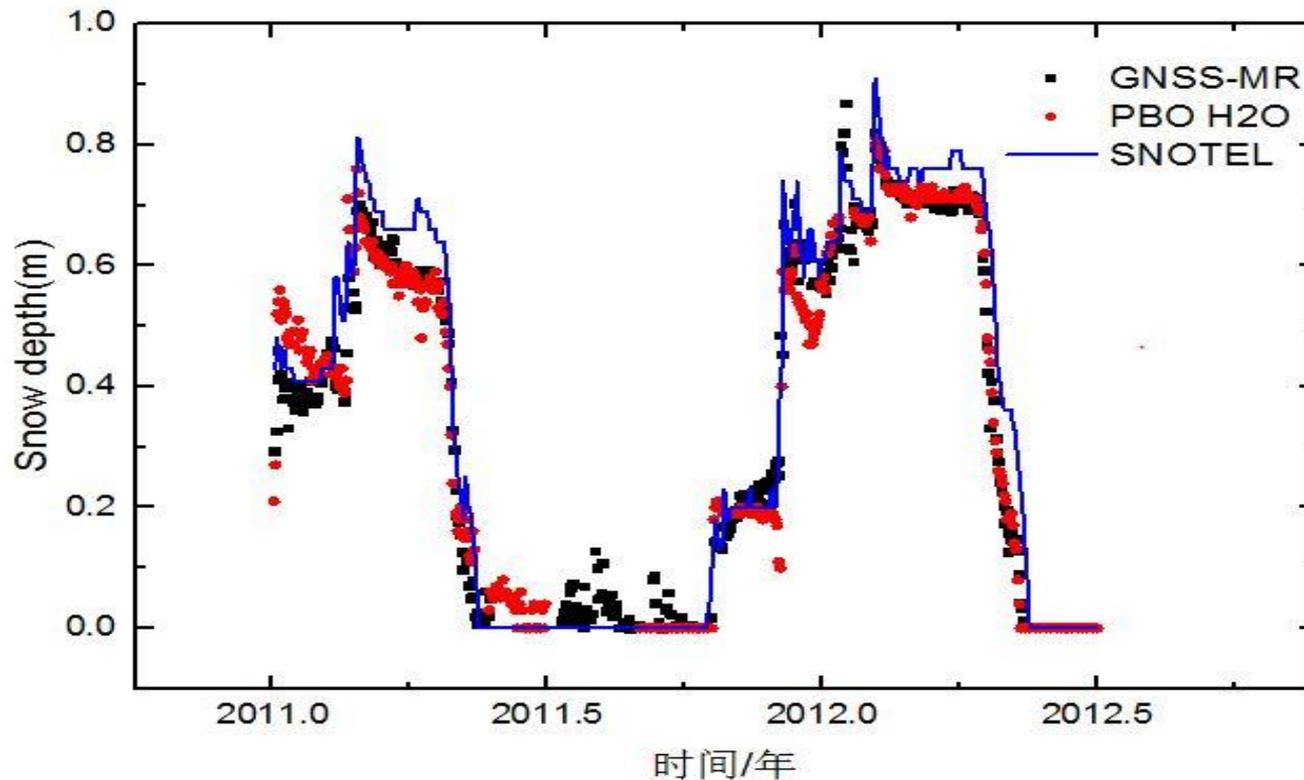
**10 m²
SNOTEL**



**1000 m²
GPS**

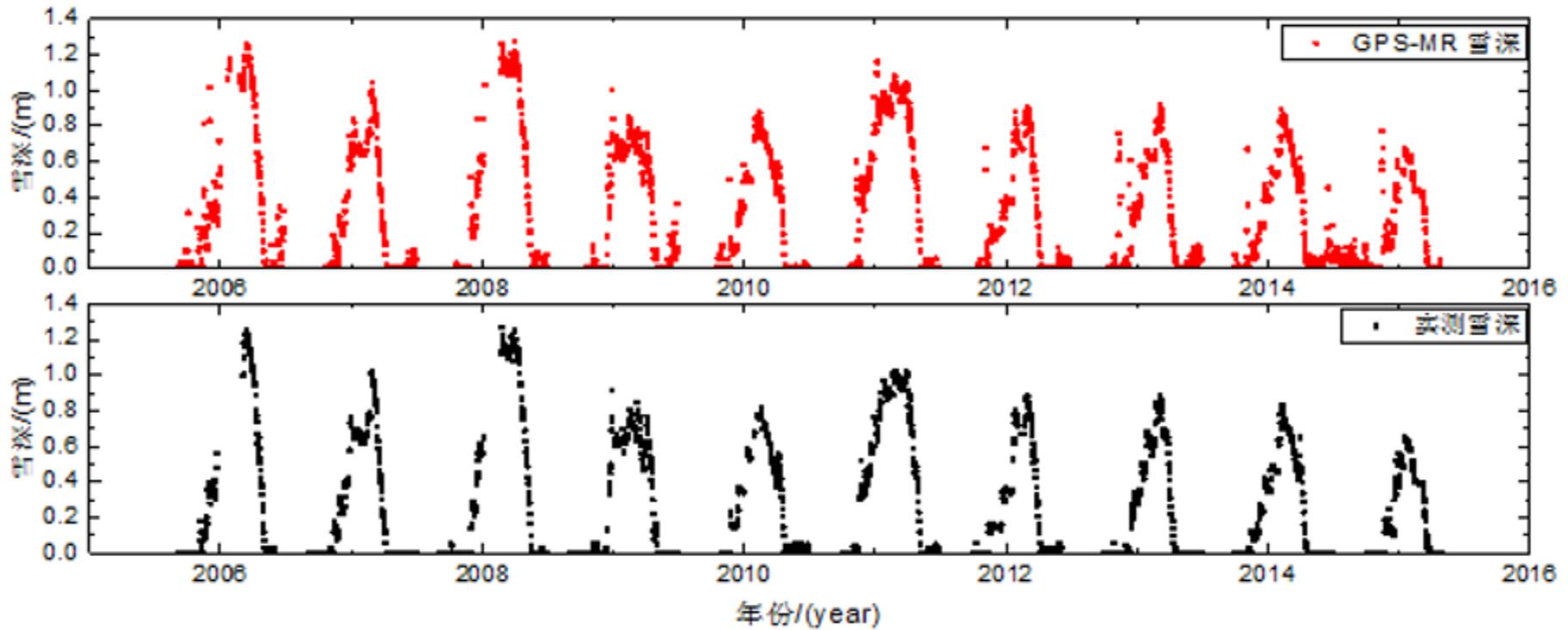
算例分析

GPS信噪比反演雪深与实测雪深对比：



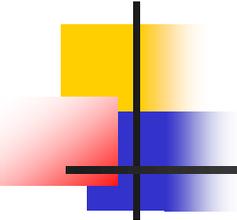
GPS-MR与SNOTEL的较差均值为0.07m，相关系数为0.98.

算例分析



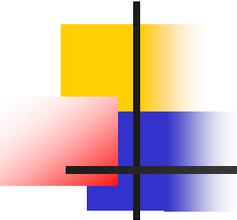
P360站雪深时间序列





报告内容

1. 研究背景
2. 基本理论
3. 算例分析
4. 结论展望



结论展望

- 基于SNR的GPS-MR算法简单，可有效地获得积雪厚度。
- GPS-MR探测积雪厚度与SNOTEL较差均值优于0.07m，实际精度可进一步提高（AB33站与SNOTEL站距离较远）。
- GNSS-MR可以高时间分辨率提供积雪产品（积雪厚度、积雪密度等），该技术可作为积雪监测手段的一种有效补充。
- GNSS-MR技术可充分发挥地基GNSS气象网的探测领域。

敬请各位代表批评指正，谢谢！



邮箱：shuangcheng369@chd.edu.cn

电话：18802955412