在工业测量领域，往往需要长时间、大范围、多通道的数据测量系统。而在野外环境监测领域，由于环境条件的特殊情况，经常使监测系统因为电源、长距离布线等因素的存在而难以有效部署。而无线传感器网络由于其低功耗、自组织路由、无需布线等特性，特别适合于工业领域的野外测量。

　　本文将介绍一个部署在我国南部某沿海城市的无线传感器网络案例，该系统经过少量修改后可以满足许多工业测量的需求。

　　该城市存在大量山地地貌，城市居民人口众多，要求土地必须保持较高的利用率，因此大量建筑和道路都位于山区附近。该地区降雨量常年偏高，尤其在每年夏季的梅雨季节，会出现大量的降水。不稳定的山地地貌在受到雨水侵蚀后，容易发生山体滑坡，对居民生命财产安全构成巨大的威胁。

　　当地有关部门尝试部署过多套有线方式的监测网络以对山体滑坡进行监测和预警，但是由于监测区域往往为人迹罕至的山间，缺乏道路，野外布线、电源供给等都受到限制，使得有线系统部署起来非常困难。此外有线方式往往采用就近部署Datalogger的方式采集数据，需要专人定时前往监测点下载数据，系统得不到实时数据，灵活性较差。

　　对此，在与地理监测专家进行多次交流，并进行数次实地考察后，Crossbow公司提出了基于无线传感器网络的山体滑坡监测全套无线解决方案。

　　**基本测量原理**

　　山体滑坡的监测主要依靠两种传感器的作用：液位传感器和倾角传感器。在山体容易发生危险的区域，沿着山势走向竖直设置多个孔洞，如图1所示。每个孔洞都会在最下端部署一个液位传感器，在不同深度部署数个倾角传感器。由于该地区的山体滑坡现象主要是由雨水侵蚀产生的，因此地下水位深度是标识山体滑坡危险度的第一指标。该数据由部署在孔洞最下端的液位传感器采集并由无线网络发送。

　　通过倾角传感器可以监测山体的运动状况，山体往往由多层土壤或岩石组成，不同层次间由于物理构成和侵蚀程度不同，其运动速度不同。发生这种现象时部署在不同深度的倾角传感器将会返回不同的倾角数据。在无线网络获取到各个倾角传感器的数据后，通过数据融合处理，专业人员就可以据此判断出山体滑坡的趋势和强度，并判断其威胁性大小。

　　系统整体架构如图3所示，Crossbow用于此项目的产品包括新型Mote节点IRIS、MDA300数据采集板、Stargate基站；MoteWorksTM软件环境包括Xmesh协议栈（IEEE802.15.4兼容）、Xserver中间件及MoteWeb可视化管理平台。

　　传感器节点探测出的数据通过Xmesh无线多跳自组的网络传输给基站，或通过中继Mote传输给基站。Mote是无线传感器网络的基本节点，由处理器和RF芯片组成，它的体积较小，所以称之为“尘埃（Mote）”。基站则是用来沟通无线传感器网络与已有的IP网络的网关设备。

　　基站将这些数据传输到中心服务器，通过Xserver中间件解析后，用户可以通过IT系统应用软件进行监控；同时数据接口完全兼容于客户的原有信息管理系统，用户能够灵活地将新的传感器数据加入原有的信息管理系统，从而通过IP网络实时监控物理世界信息。

　　在实际部署时，Crossbow采用了分层网络的架构。每个目标监测区域内的无线传感器节点组成一个子网，子网内的节点依靠Xmesh无线多跳自组织协议，通过多跳的方式把数据传递给Stargate基站。基站在进行数据预处理后，通过GPRS网络远距离把数据发送回中心服务器。

　　每个目标监测区域大概由10～20个节点构成（依具体情况有所调整），整个项目由数个监测区域构成，由于Crossbow的Xserver中间件服务器的强大功能，系统构成灵活可调（包括子网数目和网内节点数目）。相邻节点之间的距离约为20～100m，数据采集间隔也可以由中心服务器灵活控制,在旱季可以调整为每24小时采集并传递一次数据，从而节省能量并避免大量的冗余数据。而在雨季危险期，其采集间隔可以密集至2分钟一次，从而保证实时监测预警功能。

　　系统支持双向数据传输，所有数据汇集到基站，连接至上层IT系统进行数据整合，方便管理和查询。

　　**传感器节点**

　　每个传感器节点包含液位传感器与倾角传感器元件、IRIS无线传感器网络节点、MDA300数据采集板和电池组。

　　MDA300提供8个ADC通道、8个数字通道以及I2C接口用于外接各类传感器。在本项目中倾角传感器电压输出为0~5V，通过MDA300预留的电阻分压网络很容易接至MDA300提供的0~2.5V ADC接口。液位传感器则为4~20mA电流输出，通过外接电池组模拟理想电压源，再使用电阻分压网络124?赘电阻即可将4～20mA转换为ADC可以采集的0~2.5V电压信号。

　　MDA300被配置为1个液位传感器通道和6个倾角传感器通道。

　　**中继Mote**

　　中继Mote的硬件结构和Mote完全一样，只是没有连接传感器。与普通Mote不同，中继Mote不是由电池供电，而是通过有线形式供电，始终保持在工作状态来保证全网的通信效率。中继Mote将来自节点的数据通过Mesh网络传输到基站。当一个Mote出现故障，与之相关的其他Mote会自动重新选择路由。在这个Mote的故障排除后，会重新加入到Mesh网络中继续工作。

　　**基站**

　　基站由一个Stargate网关和一个Mote组成。Stargate网关包含Intel PXA255主处理器、Intel SA1111协处理器、64MB RAM、32MB FLASH以及51针接口、PCMCIA接口、CF接口。