

克尔斯博无线传感器网络应用

船只机械监控的预测与维护系统

2004年，BP开始接触一种名为‘尘埃’（Mote）的无线网络技术。这个2 x 2英寸大小的装置包括一个处理器、一块永久非易失的储存器、一个无线通讯模块和一个能与传感器相连的I/O板。Mote可以将传感器连接到无线网络中，并将数据传输至终端设备。这些Mote通常被学术界或实验室用于研究机构，但工业界仍对此持有观望的态度。当时，并未有任何一家公司生产无线传感器网络的商业产品。



图 1、图 2 BP Loch Rannoch 油船

BP 数字通讯技术部门总监 Harry Cassar 说：“当我们初次接触这项新技术时就在考虑它是否能工作在我们的环境中。这些 Mote 看起来是设计精密且几乎没有保护外壳的电路板。我们想知道它是否能被放置在如精炼场这样的金属设备遍布且高温、高频震动的环境中；Mote 在包装后能不能在这样的环境中正常运行。验证这种想法的唯一途径就是测试。于是，Loch Rannoch 的工程就这样诞生了。

工程介绍

Loch Rannoch 工程起始于对 Mote 的测试和评估，但是并没有停滞在这个阶段。事实上这个工程的目的是开发一个能够应用在 BP 全球工业生产中的一套商用无线传感器网络系统。在这个工程的每个阶段我们都会遇到一些困难，但我们都已一一将其克服。

BP 的第一个困难是决定在什么地方实施这个工程。BP 的大多工程实施的都要求使用安全的设备。为测试这种没有认证的无线网络技术，BP 需要找到一个安全需求较低的苛刻环境。于是，公司选定了一艘 1000 英尺长、132,000 吨重，往返于 Schiehallion 储油船和位于 Shetland 岛 Sullom Voe 地区的石油处理站的油船——Loch Rannoch。

这艘油轮的金属设备比精炼厂的金属设备还多，因此这里的射频环境更加恶劣和复杂。不仅如此，油船的船舱都是通过金属水密门封闭。此外，来自发动机、发电机和推进机的强烈震动以及引擎室内 80°F 到 100°F 的高温，都将是 Mote 正常工作的不良因素。

BP 的主要技术部门与 BP 运输部门都对这个试验计划非常关注。“如果要在 Loch Rannoch 油船上做试验，我希望能获得更多的实际价值，而不仅仅是一次测试 Mote 能否互相通讯的试验。” Cassar 还指出：“BP 运输部门非常希望能够采集到引擎室搅拌机的震动数据。”

系统介绍

此项 BP 的计划是建立一套预测维护系统用来监视如马达、泵之类具有强烈震动的机器。这些机器被放置于 Loch Rannoch 油船的引擎室内。通过震动信息来监测系统的工作状态，当磨损或撕裂现象出现时则通过无线通信发送警告。

“震动信息可以帮助预测机器的磨损状况并预知何时需要进行维护，” Cassar 指出“该系统可以告诉你主轴发生弯曲或是哪台机器失去平衡。它能把你从每 500 小时一次的定期维护工作中解脱出来，只有在需要的时候才做必要的维护。”

基于 150 个 Rochwell 的加速度计，我们构建了整个测量系统。每台机器安装有 6 个传感器，3 个轴的方向各一个，两个辅助测量点以及一个监测机器转动和提供角度相位的转速计。传感器用金属外壳封装放置于离机器 2 英寸处，通过有线的形式连接到 Mote 上。每个 Mote 一次可以驱动 10 个传感器，尽管 BP 没有全都用到。



图表 3 Loch Rannoch 工程的预测维护系统监测引擎室内的泵和马达的工作状态。这些机械设备被安装了大约 150 个加速度器。加速度器探测出的震动数据用于评估当前的操作环境。当磨损或撕裂现象出现时，则无线传感器网络中的 Mote 和网关通过无线通信发送警告。

数个 Mote 构成了一个由网关控制的子网。Mote 通过 IEEE 802.15.4 的直接扩频调制技术将采集到的数据转发给网关。由于英国政府的限制，工作频段被调整到英国标准的 868MHz。然而系统的工作频段是可调的，但对于工作于国际环境极为重要。因为各国的许可标准往往不尽相同。

网关之间通过 IEEE 802.11 构建了一个 mesh 网络，将所有数据传递给主控网关。该网关将数据传递给后台的数据存储服务器。每个网关都有 2GB 的内存，这确保在网关与船上的网络失去连接时，仍能够采集并暂时储存来自 Mote 的数据。

问题与解决方案

多方面因素

在 Loch Rannoch 工程中，BP、Crossbow 和 Intel 公司都遇到了许多问题，这些问题都需要在工程实施前解决。船体的金属构架和密集的机械设备使引擎室射频传输的可能性微乎其微。“金属是射频能量的一个强大的反射体，”Crossbow 科技公司高级应用工程师 John Suh 指出。“金属对射频信号产生种不良影响，因此就没有办法通过发送接收装置得到信息。

解决这个问题就是建立一个 mesh 网络。在这种网络中，每个节点都能与其相邻节点通讯。节点上的数据将被相邻节点一次次的转发直到这些数据到达一个控制器或采集站。这样的数据传输的多重路径使得这个网络十分可靠。一旦一个节点失效，其他节点仍能够直接的，或通过一个或几个中继节点相互通信。

“不同于传统的点对点连接，mesh 网络提供大量的不同路由，”BP 公司的 Cassar 说。“每个节点协同其他节点都能探测到任何角落的信息，这种功能是点对点网络所无法做到的。而 mesh 网络的灵活性能解决这样的问题。”

设备安全性

另外一个与环境相关的问题是设计一个能装载 Mote 和电池的安全性较高的外壳。Crossbow 在这个阶段的另一个任务是开发一套适合 BP 设备的商用系统。“我们充分学习了封装技术，并且设计出了一款高安全系数且适合工程应用和环境的特殊外壳。”Suh 说。

如何处理所有数据

在项目的最后阶段，项目组又面临一个严峻的问题，那就是要想准确地确定机械问题的所在，必须获取大量的震动数据并对之进行分析。而挑战在于如何协调大数据量传感器监控数据的采集和低速率网络传输协议（IEEE 802.15.4）用于 Mote 和网关之间的通信之间的关系。

具体的解决方案是通过在 Mote 上处理大批的数据，来减少传输给网关的数据量。刚开始时，Mote 用的是 8 位的处理器，然而这被证明满足不了大量数据处理需要的。所以 Intel 和 Crossbow 采用了 Intel 32 位的 X-Scale 处理器代替原有的 8 位处理器。

“当你着眼于传感器网络应用时，你会发现不同的传感器会有不同的数据带宽范围要求。”Crossbow 的 Suh 说，“在一些实际应用中，你可能需要通过一个的温度传感器采集温度，要获得数据并不需要太多的处理量。但在这个项目中，我们使用了高带宽的震动传感器。我们决定采用比 8 位处理器能力更强的微处理器。所以我们采用了 32 位微处理器。”

Intel 进一步通过软件增强了 Mote 的处理性能。“最典型的是你可以在 Mote 上作 FFT 和其它计算来提取出数据中的频率特征。”Intel 的传感器网络系统总监 Ralph Kling 这样说，

“为了做一些更高级的处理，我们从 Rockwell 获得了使用其接口 IP 知识产权核的许可，并将其在本领域的许多经验算法移植到 Mote 上，使 Mote 更好地实施监控。我们的目的是要在网络边界内进行大量的数据处理，而不像先前那样把数据都传输回后端的服务器。”

Intel 还在网关上加入了可将数据解析为 XML 格式的软件。“我们有一套可对数据进行抽象和检索的基于 XML 的数据系统。”Kling 说，“XML 是一种通用中间件格式，用在网关和后端服务器的数据交换。网关还提供一个连接后端 Rockwell 服务器的接口并将数据处理成为服务器可以接受的格式。”

能量供应

在 BP 开发无线传感器网络商用系统的过程中，如何获得能量，如何利用能量，以及如何确保有足够的能量等一系列能耗问题越来越被关注。为了解决这些问题，研究小组采用了低功率无线电 IEEE 802.15.4 标准，并在 Mote 上实施能量的安全管理模式。

此外，对数据的预处理工作减少了数据传输量，这也节省了电能的消耗。“我们减少无线传输量，”Cassar 说，“射频组件会消耗大部分的电能，而新处理器惊人的处理能力减少了数据量，从而大大提高电池寿命。”

另一项任务是电能的获取。“我们在 Loch Rannoch 上测试的另一项技术是获取机械的振动产生的能量，从而把动能转化为电能，”Cassar 先生，“我们尝试了两种方式，一种是用可充电锂电池检验是否可以完全支持 Mote 工作。另一种是用可充电的大容量电容器作为储存媒介。我们认识 Mote 的能量获取方式在这个项目中扮演着重要角色。”

试验结果

Loch Rannoch 项目实现了一套用于系统监测和预测维修的高效自动数据采集系统。而这些工作以前大都由人来完成。“操作人员通过手持设备，如 PDA，就能直接获得各种转动机器的状态监测数据，并同时检测一个加速度读数。”Cassar 说，“以前对于每台机器，操作员记录测量仪器的位置并测量几秒钟的数据。这是一个非常乏味的工作，但必须每六到八周，做一次，有时会更久些。然而他们每次采集到的数据其实是十分少的，因为一年才几次采集数据。我们现在将网络设定为每 18 小时采集一次数据。再以不用像以前拿着手持设备每 8 周去检测设备，而是每 18 小时自动采集一次数据。”

从 Loch Rannoch 项目中获得的其它经验：

- 传感器网络可以在恶劣的环境中很好地工作。
- 射频和网络结构的选择是十分重要的。这两者都可以提高通信的可靠性。
- 先进的平台能很好地配合这种特殊的应用，因为通过在网络边界内的预处理大幅度降低了数据的传输量。