# CO:

非侵入式设备负载监控器根据在电源接口测量的总负载电流和电压的详细分析，确定单个设备在负载中开启和关闭的能源消耗。该方法已被开发出来，以简化公用事业公司收集能源消耗数据，但也有其他应用。与以前收集设备负载数据的技术相比，这种技术被称为非侵入性的，它需要在单个设备上放置传感器，从而入侵能源消费者的财产。这项研究的一个有趣的方面是跨学科的方式，它结合了电力系统理论和通信理论-电力消耗解码为信息传递的行为。介绍了非侵入式设备负荷监测的理论和实践，包括目标、应用、负荷模型、设备特征、算法、原型、现场测试结果、目前的研究方向，以及该方法相对于侵入式监测的优缺点。由于非侵入性技术有许多优点，我们希望在各种负载监视应用程序中，非侵入性技术将取代传统的侵入性技术。

非侵入性设备负载监视器(NALM)被设计用来监视包含多个独立开关[1]-[20]的设备(设备)的电路。通过对总负荷的电流和电压波形的复杂分析，NALM估计了单个负荷的数量和性质，它们各自的能源消耗，以及其他相关的统计数据，如每天的时间变化。安装传感器或进行测量时，不需要进入单个组件。与传统的将传感器放置在载荷的每个单独部件上的方法相比，这可以提供一种非常方便和有效的收集载荷数据的方法。最终使用负载数据对于消费者、公用事业公司、公共决策者和家电制造商来说非常有价值，而且用途广泛。

**Calculate Normalized Power**：以1秒为间隔，使用(4)计算每个分支的标准化总负载功率。注意，在边缘检测之前，在这一点上进行归一化是很重要的，即不能切换图8中的B块和C块。由于输电线路和分接变压器中负载相关的电压下降等因素，公用事业电压通常包括渐进和阶跃变化。我们不希望测量功率的随之变化被输入到步进检测器，因为它是一个非常不像步进的信号，其中少数感兴趣的实际步骤被模糊了。

**Edge Detection**：归一化的功率被输入到边缘检测算法中，该算法可以找到所有步进式变化的时间和大小。许多众所周知的信号处理技术，如滤波、微分和峰值检测，可以用来找出信号快速变化的时间。视觉图像处理[21]的“弱字符串”方法和[7]的基于信息的方法也适用于此问题。这里的一个关键要求是，程序必须不受经常伴随步骤的启动瞬变的影响。我们的瞬态通过阶跃检测器第一段。归一化后的功率值分为功率稳定的周期和功率变化的周期，如图9中的一维功率信号所示。一个稳定周期被定义为一个特定的最小长度(我们在原型中使用了三个样本)，其中输入在任何组件中不超过指定的公差(15w或VAR)。在稳定时期之间的剩余时期被定义为变化时期。在每个稳定时期的样本被平均以使噪声最小化，并且在每个变化时期的平均值之间的差异给出了步长。每个变更期间的第一个样本的时间提供了一个时间戳。输出是一个有时间戳的阶跃p向量序列。该算法易于递归实现。它使用最小的存储空间通过一次数据。完整的过程在[ll]中描述。作为一个实际问题，所有小于大小阈值的输出也被丢弃(1)以节省存储，(2)因为公用事业公司对小家电不感兴趣，(3)因为我们不期望能够识别和区分非常小的家电。这个阈值可以是特定于站点的，如果我们只对一些特定的主要设备感兴趣，例如热水器，那么这个阈值会相对较大，从而简化了下面的计算。

大多数进一步的处理只使用有时间戳的边缘作为数据，所以1秒的测量值可以被丢弃。一些电压和总功率数据可能会被保留，以“不归一化”功率，计算“剩余能量”(见IX-G小节)，而且因为总负载数据本身也被保留为目的，但以较低的时间分辨率，例如15分钟的平均值。

**Cluster Analysis：**忽略此时的时间戳，观察到的变化定义了p空间中的散点图。然后将它们分组到集群中，即在所有组件中几乎相同的事件集，如图6所示。理想情况下，每个集群代表一个设备的一种状态更改。小型集群是由非常一致的电器，特别是电阻加热器造成的。我们在现场测试中发现，最大的集群来自带有压缩机的设备，由于温度或制冷剂背压的变化，这些设备的启动负荷可能变化很大。将多维散点图分组成簇的算法有很多。在[31]中可以发现最近的一项出色的调查。如果我们知道要寻找多少个不同的星系团，其中许多可能就足够了。聚类分析最困难的方面是自动确定聚类的数量。基于信息的标准在[7]和[43]中给出。我们开发的特定算法一次性处理数据，并在处理过程中确定适当的簇数。它涉及到“分割”和“合并”操作，这些操作可以根据包含许多特定于此问题域的参数的统计测试来划分和/或合并集群。该算法似乎运行良好，但过于复杂，无法在这里展示。详细信息可以在[ll]和[20]中找到。

**Build Appliance Models：**对于步骤更改的集群，我们需要自动生成负载中每个设备的ON/OFF或FSM模型。构建FSMs在上面第8节中讨论。为了构建一个开/关模型，我们所需要的是找到一对对称放置在p空间集群图的原点的集群;也就是说，一个的质心近似为另一个质心的负值。两个质心然后在图4(a)中标记出开、关弧，ZLSC通过构造得到满足。我们为构建开/关模型而开发的集群配对过程在[20]中有详细介绍。它涉及许多匹配centroids8和集群中事件数量的容忍标准。它还检查两个集群中的事件的时间戳在很大程度上交替进行开/关/开/关。

。序列。这个过程还会将在原点一侧发现的一对邻近星团合并，根据这些标准，它们的结合与原点另一侧的单个星团更匹配。因此，它可以纠正上述聚类过程中偶尔出现的过度分裂。

**Track Behavior：**一旦设备的ON/OFF或FSM模型可用，就可以使用第VII节中的解码方法直接跟踪它们。在[13]中给出了一个例子。然而，当前的原型使用了一种更原始的方法。每个有时间戳的签名事件都对应于一个设备更改状态，我们可以确定该事件位于哪个集群中，因为这些集群标记了FSM弧。对于开/关设备，这通常给出交替开/关事件的序列，偶尔会出现连续出现两个开或两个关的“异常”。造成这种异常的最有可能的原因是，由于另一个设备同时发生事件，导致中间的互补事件没有正确聚集。要撤消同时发生的事件，需要寻找在重叠时间段内具有异常的另一个设备，以及两个丢失事件之和的异常事件。在我们的原型中，“蛮力”方法似乎很管用。[20]

**Tabulate Statistics：**给定功率级别和每次状态变化的确切时间，可以为每种设备列出任何可能的统计数据。公用事业负荷预报员最感兴趣的是运行功率、总能量、按一天或工作日/周末时间分解的能量，以及能量和温度之间的相关因素。“在这一点上，如果由特定供电电压决定的实际功耗是值得关注的数量，则可能有必要将标准化功率转换回测量功率。这是可与常规监测结果相比较的数据。然而，对于许多用途来说，规范化的功率是足够的，有时是首选的。一个特殊的能量统计量是“剩余功率”，定义为家庭总功率减去所有已识别的个人电器消费的总和，类似于(1)中的e(t)。它是对NALM结果完整性和准确性的度量。如果残差的实部在任何时候都是负的，这就表明误差很大。最常见的严重的错误跟踪设备的行为,当一个事件和im -间接地后的设备上都是错过了,或许是由于同步事件的其他电器、后续的算法连接之前。虽然罕见,但由此产生的周期可以跨天如果设备已经很长一段时期,带有明显的实际总能耗相形见绌。这些错误可以通过长周期和长时间的特殊检查来纠正，当残余为负数时。除了电力和能源统计，我们还将每个FSM状态访问时间的样本统计制成表格。对于开/关模型，这相当于一个概率分布，当它打开时，设备保持多久，当它关闭时，它保持多久。这些将被视为非常有用的下面。

**Appliance Naming：**以上步骤都是在不知道每个设备的使用者名称的情况下进行的。AS-NALM的最后一个任务是根据收集到的数据命名每个设备。对于这一决策，最具信息量的数据是工作功率级别、120v与240v的特性以及持续时间统计。检测理论的标准技术——贝叶斯或最大似然多重假设方法[41]——基于我们迄今遇到的设备范围[18]，似乎已经完全足够了。然而，我们需要更多的现场经验，才能确信任何特定的决策程序都能适应现有设备库存的全部多样性。为了说明持续时间统计值，考虑图10，图10显示了一系列被监控设备的典型开和关持续时间。每个点的横坐标和纵坐标是开关态样品保持时间分布的峰(模态)。数据来自[ll];从下面第十一节给出的图表中可以确定五个点。尺度是准对数的，在整数边界之间粗略量化。电器控制的监管机构,如恒温器或水泵压力开关,出现在主对角线乐队,例如,四个冰箱靠近中间的图与通常十分钟和20分钟。加热器对较小的热质量在左下角,打开和关闭时间较短。顶部是一系列由人类控制的电器。它们开启的时间因功能而异，但关闭的时间很长，因为人们不会在连续短时间后返回来打开设备。