基于智能交通系统的WSN结构研究

Mounib Khanafer, Mouhcine Guennoun, Hussein T. Mouftah  
School of Information Technology and Engineering  
University of Ottawa  
800 King Edward Ave., Ottawa, ON, Canada  
khanafer@site.uottawa.ca, mguennou@uottawa.ca, mouftah@site.uottawa.ca

摘要-伴随着软件系统的发展和高性能集成电路的出现，使制作一个体积小，质量轻，装载着嵌入式处理器，传感器和无线传输的无线节点成为了可能。通过深度广泛的部署这些节点，我们可以建立一个无线传感器网络(WSN)。在这个网络中，传感器监测物理因素或环境信息，像温度，声音，震动等等。传感器周期的向中心收集单元上报收集到的信息，中心节点分析处理这些数据，并且在必要的时候做出合理的反应。WSNs其独特的特征和功能为智能交通系统的出现成为了可能。在ITSs中，计算机的智能和信息技术支持着交通系统的基础设施，解决着紧急情况像交通堵塞，交通事故等等。在这篇文章中，我们研究了一个高效的基于智能交通系统的WSN架构要求，调查了这种应用推荐的WSN架构，强调了他的优缺点 ，并且提出了未来在这个领域的研究方向。

关键字：无线传感器网络；智能交通系统；网络结构；

# 介绍

硬件制造技术和MEMS技术的巨大优点就是使智能的传感器节点的制造成为了可能，它可以实现三个重要的功能：感知，处理和无线传输。这些传感器节点具有智能。小体积，低功耗，低成本并且容易安装和维修。这些特征为许多应用打开了一扇大门，通过大量部署传感器节点，形成一个独特的无线传感器网络。WSNs主要的功能就是监测物理或者环境现象，比如温度，声音，震动，相关湿度，环境污染物等等。他们也会把这些数据传输给一个能够处理和分析数据的中心节点，并且采取对应的措施。从具有争议的军事项目开始，比如服役战争，WSNs逐渐的进入大量的民用项目中，像运动追踪，交流监测，火警监测，地震监测，智能家居等等，这提到的只是一点点。WSNs的不同方向吸引着进一步的研究和更多人的学习。

智能交通领域证明了WSNs的高效。ITS依靠先进的计算机技术和信息技术证明了一种新的并且有效的交通系统是存在的。通过检测和定位技术，无论是城市或者郊区的交通环境都可以被持续的监测。通过这个技术，最直接的好处就是通过指导车辆远离高拥堵的地区，从而解决的交通堵塞问题。ITS甚至可以被用来解决停车场问题，报告紧急情况，错误方向，在高速上传播交通情况，提供旅行信息，避免车辆拥堵和增强驾驶者的安全等等。许多政府都实施了ITS项目，像加拿大[4]，美国[5]，欧洲[6],日本[7]，澳大利亚[8]，和其他一些国家。除此之外，许多教育机构，地方研究机构和公司正在进行不同的ITS项目研究。比如，CAPTIV [9], SAFESPOT[10][11],PATH[12],FLEETNET[13][14][15], CVIS [16],TRACKSS [17],和MORYNE [18]。

对ITS不断增长的兴趣促进了许多框架协议的发展(比如(ART-Wise [19]) 和标准(像WAVE (IEEE 802.11p) [20, 21] 和CALM[22, 23]))。ITS依靠传统的检测传感器包括感应线圈，摄像头，超声波，雷达[22]等等。但是，这些传感器都有主要的几个缺点，影响了与ITS系统的合并这一唯一的目的。特别的，这些传感器体积庞大，耗电量大，安装、维护成本高。并且与中心处理器通过有线连接。这些特性破坏了ITS的可扩展性和它主要的目的，像交通监测或避免拥堵。将WSNs与ITS合并，是一个解决传统有线传感器问题的有效方法。无线传感器节点体积小，成本低，安装简单，大规模部署，有效率有能源，并且可以有效地自己处理突然出现的错误[1]。一条WSN由很多的传感器节点组成，这可以解决传统ITS扩展困难的问题。无线传感器网络提供了更大的交通基础设施覆盖，因此可以做出更好的交通安排控制决定。

ITS中部署WSNs吸引了许多团体和调查，分析了这种创新的好处。在Tubaishat中，对ITS中的WSNs引用进行了分类，主要分为以下三种类型：1)停车场监测，2)交通监测和控制，3)交通情况评估。非常重要的强调下，这些应用包含了两种信息交流，V2v(Vehicle-to-Vehicle)和V2I(Vehicle-to-Infrastructure)。在V2V中，为了交换信息，车上装有传感器，这对于避免严重的情况比如交通拥堵来说非常重要[25][26][27]。在V2I中，信息从车辆传到装在路边基础设施的传感器上。这种交流对于交通情况的传播非常重要，特别在高速上，支持更安全的交通出行[26]。在这方面一个最有趣的研究是Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs)，VANETs是一个独特的方向，用WLAN进行V2V和V2I中的信息交流。但是，VANETs超出了这篇文章的研究范围，可以在[28]中找到更多详细信息。

利用WSNs可以有更多地方式进行V2V和V2I的信息交流。这些方式用了不同的WSN架构针对不同的目的和应用。在这篇文章中，我们回顾这些方式，并且强调他们的优势和劣势。后文按以下方式展开：在第二章，我们讨论影响WSN设计的主要因素。第三章提供了WSN系统架构的概况。第四章详细展开ITS中的WSN系统架构。第五章列举了理论上可用的WSN架构并且对比这些架构，最终得出一条他们优缺点的结论。第六章举了一个仿真的例子，来评估WSN在ITS中的实际表现。最后，在第七章总结我们的工作，并提出了一些未来基于WSN的ITS系统的发展方向。

# WSN设计要求

WSNs的系统架构从自组织网络，收集，adhoc网络的结构设计经验中产生[29]。后者强调去中心化，分布式的组织形式的需要，这与WSNs的特性是相同的。他们从实时计算技术，P2P计算技术，活动网络和手机蜂窝网技术中收益。除了刚提到的网络和计算技术，许多其他因素影响着WSN的结构设计。下面，我们列举了区分不同WSN结构的关键因素。

容错性：WSNs主要用于监测重要的情况。因此，WSN维持他的工作不被打断就非常重要，即使一些节点不能正常工作或者坏掉。通常情况下，WSNs被部署在一个很容易被破坏的环境内，环境干扰，或者不可充电或电池故障最终节点逐渐死亡。WSN节点容易出错，并可能导致对网络造成严重的中断。WSN的设计必须保证他的功能和服务不会被这些错误影响。

可扩展性：传感器节点被大量部署，从而形成了一个无线传感器网络。这个巨大的网络直接影响了方案和通讯协议在不同层的设计。比如，MAC协议应该支持每个节点公平竞争，使每个节点都可以接入链路并且减小或避免拥堵，这在有大量节点时就变得非常困难。同时，基于路由交换的路由协议可能会失效，因为节点带宽无法满足大量的流量控制。

产品成本：每个节点的成本应该最小化，因为他决定了最终网络的花费。

网络拓扑：WSN网络中的大量节点提升了网络拓扑的维护与更新的难度。这个难度在网络部署的初期就体现出来。传感器节点可以同时大量部署（比如从飞机上扔下）也可以手动的一个接一个（用人或机器人）部署在这个区域。在节点部署完成后，拓扑将因为一些节点的错误，节点位置的改变，信号无法到达，电源能量的大量减少等因素而改变。WSN需要能够适应这些突然地变化，避免任何功能的损失。

安全：在不熟的环境中，传感器节点可能部署的与要检测的因素非常近，也可能就在那个因素里面。因此，我们可以看到WSN通常没有监管。这意味着安全脆弱的WSNs很可能被入侵者破解。

QoS支持：时间敏感应用(尤其在军事上)要求实时交互要保证最大延迟，最小带宽或其他QoS因素。

能源消耗：这是任何WSN设计的主要因素。能源消耗应当最小，以保障尽可能延长网络的工作时间。事实上，“电量保持能力“是一个区分WSN和其他种类的无线网络的重要因素。后者可能考虑QoS因素(比如延时，吞吐量，公平性等等)作为设计的关键。基于这个特性，研究活动将目标放在了能量感知路由协议和算法上。能量感知应该在每个设计阶段考虑。事实上，能量感知增加了传感器节点的大小和复杂程度，硬件设计应该有效地利用能量。

# WSN架构

基于WSN留给人们的印象，许多WSN结构体系理论被提出。总之，传感器节点被散布在一个区域内。这些节点相互合作，把收集到的信息传播给SINK节点。通常，SINK节点是一个基站(BS)，是一个电量充足的工作站，把WSN和有线网络连接起来。一个BS通常比传感器节点有更多的电能，更多地通信和处理能力。我们可以从以下两点区分或者理解WSN结构和其他结构：

1. 分层结构

传感器节点被安置在和其它层具有相同跳数的一层。和BS只有一跳的节点被放在第一层；距离BS有两跳的节点被放置在第二层，以此类推。这样做的好处是，每一层的节点和他周围邻居的通信距离很短。这能有效地保存电量，这是一个很重要的设计因素，我们在后文中将会看到。这个设计结构如图1(a)。

1. 簇结构

这个结构的传感器节点如图1(b)，被分簇，每一个簇内选出一个簇头结点。在这个结构中，簇内的节点与他各自的簇头交换信息。只有簇头和BS通信。在每个簇中，簇头节点收集从簇成员发来的信息，并且消除出现的冗余。这个特征明显的可以减少与BS通信的干扰。对于基于ITSs的WSN结构设计，我们将考虑所有在这个部分提到的因素。

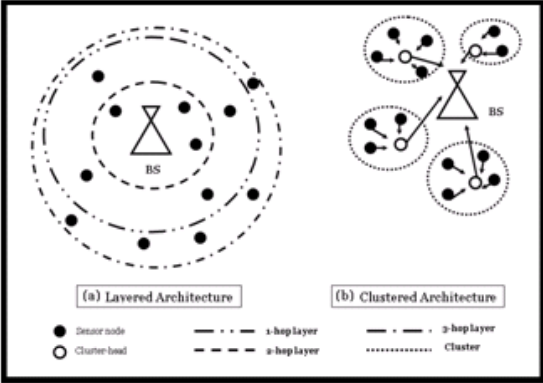


Fig.1：WSN结构总体描述

# ITSs设计要求

WSNs还有其他广泛的特征和贡献来支持不同的ITSs应用[31-39]。在第二章，我们强调了设计WSN结构的主要因素。但是这些因素是对于任何应用，我们发现，在对于ITS系统中，我们可以忽略其中一些不必要的因素。

1. 容错：

ITS可以不仅可以在城市中部署也可以在郊区部署。对于城市地区，ITS节点经常在一个稳定的环境中，因此节点时出错可以被降到最低。这对延长节点的工作时间，维护拓扑结构，设计不同的MAC协议和路由协议有着直接的影响。

1. 可扩展性和成本

虽然WSNs是一个需要部署大量节点的系统。事实上，ITS要求跨越上百个马路和地区。这导致了一个严重的问题，就是这个WSN系统需要多大才能覆盖整个地区。这一问题促使了“交通评估”的研究。通过交通研究，只有一小部分道路需要被测量和监测[24]。这些信息将被用于评估那些没有部署传感器的地区的交通情况。因此，WSN系统的大小，部署成本都将明显的下降。除此之外，交通评估加强了了WSN的可扩展性。

1. 电量消耗

在ITS系统中，传感器节点被安装在车辆上或者是道路的两边。前者可以用车上的电池给传感器提供电量，后者可以用太阳能。因此，WSNs在ITS系统中将不受电量限制。这意味着传感器节点可以支持更复杂的处理和计算，支持需要更多计算的路由协议。换言之，电量是设计MAC和路由协议的主要因素。其他QoS因素被当做次要因素看待。更宽松的电量要求可以使设计者把更多的精力放在路由和MAC协议上，使其支持更多地QoS参数，像减少时延，更高的吞吐量，准确率等等。因此，他们可以支持更复杂的应用。想一些需要快速更新的应用，比如严重的紧急情况，安全事件，天气或者是生命威胁等等一些事件敏感的应用可以更好地从ITS的QoS支持中获益。但是，传感器节点存储容量和处理能力仍然限制了其表现，者仍有待被解决。

1. 网络拓扑

传感器节点被部署在路边或者其他已知的位置，一定程度的减少了节点定位的难度。事实上，监测车辆是ITS系统的主要目的。通过掌握每个节点精确地位置信息，我们可以每个事件发生的地点。同时，在稳定的环境和充足的能源资源下，使减少拓扑孤立和减少节点出错成为了可能。因此，路由协议的设计将因为“自适应拓扑”而变得简单，这将不再是一个担忧。

1. 安全

还有另外一个因素影响着ITS的设计。破坏者人为的交换传感器节点会使测量出错或者测出一个不正确的交通事件。在满足了能源需求后，我们可以在每个节点上实施更复杂的加密算法并且支持更高的安全等级。

# ITSs中的WSN结构

在我们研究的基于无线传感器网络的ITS中，我们可以分成两种主要的结构：

1. 平面结构：在这种结构中，支持ITS的是单层WSN结构。不依赖基础设施(P2P，adhoc网络)的通信应用在V2V上，以来基础设施的通信用在V2I上。
2. 多层结构：在这类结构中，两个或更多地WSN为ITS系统提供服务。他们支持着V2V和V2I的通信，这些层可能是单类型的（只使用一个技术），或者是多类型（合并使用不同的技术在不同层上，使其能够有更好的表现）。

在接下来的两章，我们将阐明这些分类。

1. 平面结构

单层结构和在第一章说明的WSN基础机构相似。唯一的不同就是单层结构包括移动节点（安装在车上的）。这种结构的好处就是他和已经使用的“目标对象追踪”应用相似。这意味着一些将要遇到的问题都是已知的，尽管ITSs需要检测和追踪很多的目标（汽车）。另一方面，这个结构主要的弊端就是ITS节点的处理能力有限。因此，WSN支持QoS的能力有限。平面结构在[40][41][42]中使用，我们将在下文接招这个结构的好处。

1. 基于WSN的WiMAX网络导航系统

[40]介绍了这个结构。这个结构主要用来寻找到达目标的最佳路线（耗油最少，最节省时间的路线）。这种结构不需要基础设施的支持，通过V2V进行通信。汽车通过P2P来交换需要的信息。因此，移动的基站可以形成一个移动的ad-hoc无线网络（MANET）来交换信息。汽车上装有不同种类的传感器来检测速度和周围车辆的方向。更进一步，车辆上装有IEEE 802.16（WiMAX）网络接口，用来和周围的车辆交换交通信息。这个接口可以提供3-5km的通信距离，这可以使汽车收集更精确的可能需要方向的信息。同时，这个接口可以达到30Mbps，这使交换的信息量不受限制。最后，GPS设备可以收集到每个车的经纬度和海拔信息。

1. 用于智能交通系统的无线传感器网络

用于智能交通系统的无线传感器网络（WITS）通过收集和交换信息来控制十字路口的交通[41]。这种结构依赖一个固定的路边基础设施（传感器被安装在路边）和控制单元。这种通信方式支持V2I和I2V。汽车（装有传感器）发送车辆相关参数（速度，方向，位置等等）给路边的单元。路边处理单元将这些信息整合后发送给控制单元，完整最终控制系统的工作。路边的传感器需要在道路两边都安装，为了留下供备用的传感器节点。路边传感器的数据既有上行也有下行。因此，再通过汽车提供的信息的帮助下，给路边传感器定位就变得简单。这个结构的物理层和MAC层符合IEEE802.15.4（ZigBee）标准。

1. 分簇的WSN网络

分簇的WSN网络主要用来监测交通流量[42]。这个结构的簇头由安装在路边的节点组成 ，簇成员是过往的车辆。几个BSs被安装在路边用来监测过往的车辆。数据从车上发送到路边的节点上（V2I），从节点到车上（I2V），或节点之间传送。汽车上装有传感器，BSs上有一个可以存储大量信息的介质。不同的BSs使WSN网络可以更好的容错。一个BS出错不会影响整个网络的正常工作。通常情况下，每100m安装一个BS，并且每个BS可以单独的监测最多200辆汽车。这个结构最有趣的地方是他的安全。一个密钥在周围BS或车辆间定期的更新。BSs和车辆上的节点用DES加密他们之间的通讯。

1. 单层结构总结

这三个单层结构使用不同的方法，解决不同的问题。WNSW极少依赖基础设施，并且避免与固定的基础设施有过多的连接，因此定位算法，多跳路由，电量资源，安装成本和使用时间都得到了提升。节点依赖于车上的电池，因此，电源是这种结构主要的优点。但是，这种结构仍然会有P2P最原始的问题，像P2P间过多的通信，多条路由将导致延时从而降低QoS。在这个结构中，复杂的计算将导致更长的延时。

另一方面，WITS结构是计算工作转移到了路边的节点上，因此，车辆上的节点处理任务就变得简单。同时，固定的路边节点和新进入的节点可使是路由协议变得简单，也可以提前预知延时大小。

最后，分簇的WSN结构，虽然可以在把信息送到处理节点之前提供更好的数据融合和处理，但是分簇本身就消耗了很多资源。同时，使用过多的BS节点作为簇头成本也很高。总之，我们认为WNSW的结构是最适合ITS灵活性特点的结构。

1. 多层结构

对层结构使用了分级的设计为了能够提升WSN的延时和路由性能。就像前文提到的，多层结构可以是单类型的，就像[46]中说的，也可以是多类型的，像[47-54]。异步结构结合其他技术（像WLAN）可以实现更高的性能。主要目的是把一些复杂处理和计算的任务放到其他比WSN更有效的层中。因此，可以把更多的精力放在支持应用的OoS上面。多类型结构的弊端之一就是要处理更多地技术，这增加了设计的复杂程度。不同层之间的接口设计要格外的注意。在后文中，我们描述了多层结构的好处。

1. 移动的传感器网络

移动传感器网络（SNMS）在[43]中详细介绍。这个结构主要是用来支持道路交通监测的。使用了两层：低层是一个单跳的网络，主要有传感器节点和车辆组成，高层主要由汽车构成的P2P网络组成。低层支持I2V通信，高层支持V2V通信。装在路边的不同的传感器节点可以测量道不同的参数，比如湿度，温度和交通情况。装在车上的传感器节点用来收集和整合路边节点送来的信息。换句话说，汽车是低层结构中移动的SINK节点。蓝牙技术被应用在低层中实现2.4GHz，1Mb/s的短距离无线通信。在高层，车辆用两种方式通信：1)WLAN模式，汽车组成一个网络进行通信。2)多跳的ad-hoc网络，两个汽车间通过其他汽车的转发进行通信。

1. 两层的WSN实时通信

两层的WSN实时通信（TTW-RTC）主要是用来监测交通的[44]。两层分别是：1)底层由装有传感器的汽车组成。2)高层由热点（APs）发出的覆盖WLAN信号组成。这个覆盖的网络是WSN的主干网。V2V是在低层中使用的通信方式，V2I是在两层之间使用的通信方式。IEEE 805.15.4（ZigBee）协议应用在WSN网络上，IEEE 802.11（WiFi）和IEEE 802.11e扩展用在WLAN主干网上。这种结构的好处是，他把一些处理和计算复杂的任务从WSN网络转移到了资源更丰富（存储容量和电能）的高层。后者可以支持覆盖300m范围，11Mbps（与小于150m,128kbps的低层相比）速率通信。同样的，这个巨大的传感器网络的路由功能也将由AP完成。更重要的是，定位也将因为AP的固定变得简单。低层可以传输150m，高层可以传输300m。这个结构的不足是，AP为这个区域提供稳定的服务，一旦AP失效，WSN可能无法与其他部分的AP建立连接。

1. 基于传感器网络的交通信息服务系统

基于传感器网络的交通信息服务系统（SNTISS）是用来收集交通信息的[45]。它由三层簇结构组成：1)最底层，由传感器组成，负责检测和数据融合。2)中层：由簇头组成，负责将信息传送至目标的最高层。3)最高层，负责做出处理决定，由大容量存储器组成，根据收集到的信息做出合理的交通控制和服务。这个也够很重要的一点就是这是一个基于基础设施的结构，这意味着不需要再汽车上安装任何传感器。传感器节点被安装在路的两边，用来检测过往的车辆。数据终点在高层，是一个资源丰富的节点，他会给出复杂的计算结果。因为簇头节点需要比其他簇成员节点更多地电量，因此他通常有备用电源或者直接用线来提供电能，以防止能量短缺。

1. 多层结构总结

我们列出的这三种多层结构都会比单层结构有更好的效果，尽管他需要复杂的计算并且分布在不同的层次中，或者把这些计算给上层，由不同的技术，不同的设备能力。从这一方面可以看出，多层结构可以比单层结构提供更好的QoS服务。但是，就像我们提到的那样，TTW-RTC结构不稳定，因为某个区域的WSN可能会因为AP的错误而失去连接。SNTISS比SNMS更好，因为它提供了更精确和更通用的框架，并且把任务分塞给不同的层次，同时很好的支持不同层次上不同协议的应用。

# 表现

在这一章，我们将分析并展现“应用于ITS的分簇WSN”的表现[42]。在这要着重提到一点，[42]的作者提出了一个避免冲突的基于时间分层的P2P的数据链路层协议。根据这个协议，一个车辆进入这个簇首先需要请求一个没有使用的时间片，用于他在簇中的通信。在产生冲突之前安排一个空闲的时间片并且支持更好的不同信息（从汽车产生的信息或BS产生的信息（服务或紧急信息））在节点间通信的平衡。这个协议支持在汽车在不同的簇之间漫游，具有动态分配时间片的更新算法。P2P之间的通信安全也在考虑范围内。本质上，传送的信息经过DES算法加密。加密的密钥在相邻的BS之间和BS与簇内的汽车间传递，并且周期性更新。

这个结构和协议被应用在TingOS和TOSSIM仿真上[46]。仿真中假定簇头每100m放置一个。这个距离可以覆盖最大的汽车数量，并且避免簇之间的重叠。每个簇开始时与几个时速100km/小时，在2km的路上的汽车连接。他的表现与tinysec[46]和Public Key Infrastructure（PKI）[47]进行对比。图2描述了给定一定车辆下的吞吐量（bis/s）。可以很清楚的看出，提出的算法比其他算法有更好的吞吐率表现。但是，当车数量超过170时，吞吐量开始下降。这是因为使用了过多的加密算法。

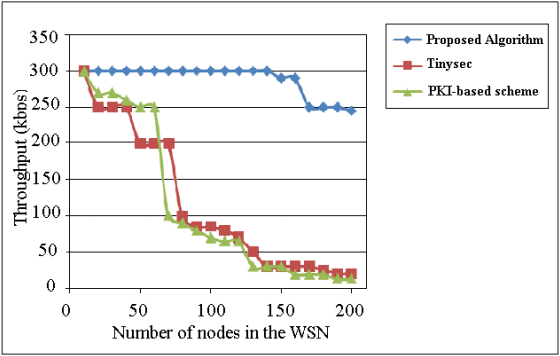


图2：算法性能：在节点以100km/小时运动时所产生的服务吞吐量对比

# 总结

在本文中，我们提供了一个关于应用于ITS的WSNs可能性的概况。我们讨论了会影响结构设计的因素，并且展现了这些因素在什么情况下的ITS中会被减弱或者简化。同时我们也列举了一些对基于WSN的ITS有效的研究成果。通过把这些结构分成单层和多层我们可以看到，不同结构的不同的优缺点。通过这个研究我们的到的主要结论是多层结构会比单层结构由更好的效果，因为它可以通过将不同层和不同技术合并，从而减弱WSN中的一些限制，比如电能和计算复杂度。

我们将继续研究基于WSN的ITS系统的安全措施。安全在ITS系统中非常重要，因为一个或一些节点失效将导致WSN给司机提供错误的道路信息。这可能会被入侵者利用，让车辆远离一个特定的区域，比如抢劫银行等等。这意味着安全应该在ITS的设计中被非常认真地对待。

参考文献：

[1] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, “Wireless Sensor Network  
Survey”, Computer Networks: The International Journal of Computer  
and Telecommunications Networking, vol. 52, no. 12, pp.: 2292-2330,  
Aug. 2008.  
[2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A  
Survey on Sensor Networks”, IEEE Communications Magazine, vol. 40,  
no. 8, pp. 104–112, 2002.  
[3] H. Benouar, “Deploying the ITS Infrastructure in California”,  
Proceedings of IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems,  
pp.: 1012-1017, Aug. 2001.  
[4] Intelligent Transportation Systems Society of Canada:  
http://www.itscanada.ca, last accessed on Aug. 20th, 2009  
[5] Research and Innovative Technology Administration (RITA), Intelligent  
Transportation Systems: www.its.dot.gov, last accessed on Aug. 20th,  
2009  
[6] ERTICO – ITS Europe: www.ertico.com, last accessed on Aug. 20th,  
2009  
[7] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism in Japan:  
www.mlit.go.jp/index\_e.html, last accessed on Aug. 20th, 2009  
[8] Intelligent Transportation Systems in Australia: www.itsaustralia.com.au, last accessed on Aug. 20th, 2009  
[9] O. Berder, P. Quemerais, O. Sentieys, J. Astier, T.D. Nguyen, J.  
Menard, G. Le Mestre, Y. Le Roux, Y. Kokar, G. Zaharia, R. Benzerga,  
X. Castel, M. Himdi, G. El Zein, S. Jegou, P. Cosquer, and M. Bernard,  
“Cooperative communications between vehicles and intelligent road  
signs”, Proceedings of the 8th International Conference on ITS  
Telecommunications (ITST’08), Thailand, vol. 1, pp. 121-126, Oct.  
2008.  
[10] SAFESPOT Integrated Project: www.safespot-eu.org, last accessed on  
Aug. 20th, 2009  
[11] R. Brignolo, “The SAFESPOT Integrated Project - Co-operative  
Systems for Road Safety”, TRA Conference Goteborg, Jun. 2006.  
[12] PATH project: www.path.berkeley.edu, last accessed on Aug. 20th, 2009  
[13] FleetNet project: www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/, last accessed on Aug.  
20th, 2009  
[14] W. Franz, R. Eberhardt, and T. Luckenbach, “FleetNet – Internet on the  
Road”, the Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent  
Transportation Systems, Sidney, Australia, 2001.  
[15] H. Hartenstein, B. Bochow, A. Ebner, M. Lott, M. Radimirsch, D.  
Vollmer, “Position-Aware Ad Hoc Wireless Networks for Inter-Vehicle  
Communications: The FleetNet Project”, the Proceedings of the ACM  
Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing (MobiHoc  
’01), Long Beach, California, 2001.  
[16] CVIS project: www.cvisproject.org, last accessed on Aug. 20th, 2009  
[17] TRACKSS project: www.trackss.net, last accessed on Aug. 20th, 2009  
[18] MORYNE project: www.fp6-moryne.org, last accessed on Aug. 20th,  
2009  
[19] ART-Wise framework: www.hurray.isep.ipp.pt/art-wise, last accessed  
on Aug. 20th, 2009  
[20] R. Uzcategui, G. Acosta-Marum, “WAVE: A Tutorial”, IEEE  
Communications Magazine, vol. 47, no. 5, pp. 126-133, May 2009.  
[21] IEEE 1609 Family Standard of Wireless Access in Vehicular  
Environments (WAVE)  
[22] CALM: www.calm.hu, last accessed on Aug. 20th, 2009  
[23] ISO/DIS 21210 Intelligent Transport Systems – Communications Access  
for Land Mobile (CALM) – Networking Protocols.  
[24] M. Tubaishat, P. Zhuang, Q. Qi, and Y. Shang, “Wireless Sensor  
Networks in Intelligent transportation Systems”, Wireless  
Communications & Mobile Computing, vol. 9, no. 3, pp. 287-302 ,  
2009.  
[25] S. Biswas, R. Tatchikou, and F. Dion, “Vehicle-to-Vehicle Wireless  
Communication Protocols for Enhancing Highway Traffic Safety,”  
IEEE Communications Magazine, vol. 44, no. 1, pp. 74–82, Jan. 2006.  
[26] P. Keeratiwintakorn, E. Thepnorarat, and A. Russameesawang,  
“Ubiquitous Communication for V2V and V2I for Thailand Intelligent  
Transportation System”, NTC International Conference, Thailand, Mar.  
2009.  
[27] A. F. Molisch, F. Tufvesson, J. Karedal, and C. Mecklenbrauker,  
"Propagation Aspects of Vehicle-to-Vehicle Communications - An  
Overview", IEEE Radio and Wireless Symposium, p. 1-4, 2009.  
[28] H. Hartenstein and K. P. Laberteaux, “A Tutorial Survey on Vehicular  
Ad Hoc Networks”, IEEE Communications Magazine, vol. 64, no. 6, pp.  
164-171, Jun. 2008.  
[29] H. Karl and A. Willig, “Protocols and Architectures for Wireless Sensor  
Networks”, John Wiley & Sons, Ltd, 2005.  
[30] C. Murthy, B. Manoj, “Ad Hoc Wireless Networks – Architectures and  
Protocols”, Prentice Hall, pp. 650-655, 2004  
[31] T. I. King, W.J. Barnes, H. H. Refai, and J. E. Fagan, “A Wireless  
Sensor Network Architecture for Highway Intersection Collision  
Prevention”, Proceedings of the 10th International IEEE Conference on  
Intelligent Transportation Systems (ITSC’07), USA, pp. 178-183, 2007  
[32] M. Shuai, K. Xie, X. Ma, and G. Song “An On-Road Wireless Sensor  
Network Approach for Urban Traffic State Monitoring”, Proceedings of  
the 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation  
Systems (ITSC’08), pp. 1195-1200, Oct. 2008  
[33] K. Faez and M. Khanjary, “UTOSPF: A Distributed Dynamic Route  
Guidance System Based on Wireless Sensor Networks and Open  
Shortest Path First Protocol”, IEEE 8th International Symposium on  
Wireless Communication Systems (ISWCS '08), pp. 558-562, Oct. 2008  
[34] D. Tacconi, I. Carreras, D. Miorandi, A. Casile, F. Chiti, and Romano  
Fantacci, “A system Architecture Supporting Mobile Applications in  
Disconnected Sensor Networks”, Proceedings of IEEE Global  
Telecommunications Conference (GLOBECOM '07), pp. 833-837, Nov.  
2007  
[35] B. Li, H. Wang, B. Yan, and C. Zhang, “The Research of Applying  
Wireless Sensor Networks to Intelligent Transportation System (ITS)  
Based on IEEE 802.15.4”, Proceedings of the 6th International  
Conference on ITS**,** pp. 939-942, Jun. 2006  
[36] L. Song and D. Hatzinakos,“Architecture of Wireless Sensor Networks  
with Mobile Sinks: Sparsely Deployed Sensors”, IEEE transactions on  
Vehicular Technology, vol. 56, no. 4, Part 1, pp. 26-1836, Jul. 2007  
[37] L. Song and D. Hatzinakos,“A Cross-Layer Architecture of Wireless  
Sensor Networks for Target Tracking”, IEEE/ACM Transactions on  
Networking (TON), vol. 15, no. 1, pp. 145-158, Feb. 2007  
[38] Y. Zhang, X. Huang, and L. Cui,“Lightweight Signal Processing in  
Sensor Node for Real-Time Traffic Monitoring”, International  
Symposium on Communications and Information Technologies  
(ISCIT’07), pp.1407-1412, Oct. 2007  
[39] K. Xing, M. Ding, X. Cheng, and S. Rotenstreich “Safety Warning  
Based on Highway Sensor Networks”, IEEE Wireless Communications  
and Networking Conference, vol. 4, pp. 2355-2361, Mar. 2005  
[40] B.-J. Chang, B.-J. Huang, and Y.-H. Liang, “Wireless Sensor Networkbased Adaptive Vehicle Navigation in Multihop-Relay WiMAX  
Networks” 22nd International Conference on Advanced Information  
Networking and Applications, pp. 56-63  
[41] W. Chen, L. Chen, Z. Chen, and S. Tu “WITS: A Wireless Sensor  
Network for Intelligent Transportation System”, 1 st International MultiSymposiums on Computer and Computational Sciences (IMSCCS '06),  
vol. 2, pp. 635-641, Jun. 2006  
[42] M. Meribout and A. Al Naamany, “A Collision Free data Link Layer  
Protocol for Wireless Sensor Networks and its Application in Intelligent  
Transportation Systems”, Wireless Telecommunications Symposium  
(WTS’09), pp. 1-6, Apr. 2009  
[43] L. Li, L. Yuan-an, and T. Bi-hua “SNMS: an intelligent transportation  
system network architecture based on WSN and P2P network”, The  
Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, vol. 14,  
no. 1, Mar. 2007  
[44] J. Leal, A. Cunha, M. Alves, and A. Koubaa, “On IEEE  
802.15.4/ZigBee to IEEE 802.11 Gateway for the ART-Wise  
Architecture”, IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory  
Automation (ETFA’07), pp. 1388-1391, Sep. 2007  
[45] M. Zhang, J. Song and Y. Zhang,“Three-Tiered Sensor Networks  
Architecture for Traffic Information Monitoring and Processing”,  
IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems  
(IROS’05), pp. 2291-2296, Aug. 2005  
[46] P. Levis, N. Lee, M. Welsh, and D. Culler, “Tossim: accurate and  
scalable simulation of entire tinyos applications”, Proceedings of the 1 st  
International Conference on Embedded Networked Sensor Systems  
(SenSys’03), pp. 126-137, New York, NY, USA, 2003. ACM Press  
[47] IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular  
Environments—Security Services for Applications and Management  
Messages, IEEE Std. 1 609.2-2006, Jul. 2006