

基于 MCN 和 WSN 的融合技术研究

王文凡¹, 申杰²

(1. 郑州升达经贸管理学院 信息工程系, 郑州 451191;

2. 华北水利水电大学 机械学院, 郑州 450045)

摘要: 近年来, 为了满足以数据为中心的无线服务和应用程序等业务快速增长的需求, 不需要人类参与的 M2M 通信得到了迅猛发展; 为了支持 M2M 通信, 移动蜂窝网络 (MCN) 和无线传感网络 (WSN) 正逐渐从独立的网络走向融合; 这里讨论了 MCN 和 WSN 融合所面临的技术难题; 提出在融合网络中, 可以使 MCN 中的移动终端扮演传感器节点和 WSN 中网关的角色; 评估了这种方法的性能, 仿真表明采用与 MCN 交互式优化的方法能够提高 WSN 的吞吐量、延时、网络寿命等性能。

关键词: M2M 通信; 移动蜂窝网络; 无线传感网络; 交互式优化

Research of Convergence of MCN and WSN

Wang Wenfan¹, Shen Jie²

(1. Department of Information Engineering, Shengda Trade Economics & Management College of Zhengzhou, Zhengzhou 451191, China; 2. Mechanical School, North China University of water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: In recent years, machine-to-machine (M2M) communications, which do not need direct interactions from human beings, are booming to meet the fast-increasing requirements of data centric wireless services and applications. Mobile cellular networks (MCN) and wireless sensor networks (WSN) are evolving from heterogeneous networks to converged networks, in order to support M2M communications. In this article, we investigate and discuss key technical challenges and opportunities for the convergence of MCN and WSN. We propose that the mobile terminals in MCN act as both sensor nodes and gateways for WSN in the converged networks. We evaluated the performance gain, and our simulation results show that better system performance, in terms of throughput, delay, and network lifetime, can be achieved in WSN by using interactive optimization with MCN.

Key words: M2M; MCN; WSN; interactive optimization

0 引言

M2M 通信正逐渐发展为一种与传统的人与人通信模式不一样的新的通信模式^[1]。M2M 通信与应用强相关, 在许多不同的领域得到了广泛的应用, 比如医疗和环境监测等。由于其高度依赖于特定的市场模式, 且具有各种不同的优化目标, 因此不同的 M2M 通信需要不同的技术。然而, 总体来说, M2M 通信中的终端具有更少的移动性。除此之外, 在部分情况下, 对于一些固定的终端或者是在固定区域缓慢移动的终端, 可以通过安装多天线系统, 从而具有更大的通信能力。

M2M 通信可以在不同的无线网络中独立实现, 比如 MCN、WLAN、WSN 等。在 MCN 中, 3GPP 正在制定包含机器通信标准的 UMTS 和 LTE 系统^[2]。除此之外, 在 WLAN 中, M2M 通信可以作为一种连接智能化住宅的村庄和大厦的回程^[3]。由 WSN 发展而来的物联网 (IoT) 也正越来越受欢迎^[4]。WSN 可以灵活的布局以满足各种不同的智能应用, 其主要缺点包括对移动的敏感性、覆盖范围小、弱终端等。相反, MCN 具有很强的移动性, 覆盖范围广, 终端功能强大等性能, 但是其布局和管理费用都非常高, 而且复杂。因此, 一种直观的感觉就是可以将 MCN 和 WSN 融合起来以满足 M2M 通信的需求。

MCN 和 WSN 的融合网络能够获得两种网络的优点。对 WSN 来说, MCN 能够延长网络寿命、提高 WSN 系统性能、提高 WSN 的服务质量。对 MCN 来说, WSN 能够提高蜂窝系统的认知能力和智能性。可以设想, MCN 和 WSN 的融合网络能够获得更好的无线服务和更多的以数据为中心的应用^[5]。比如, MCN 能够控制和管理对应的 WSN, 从而使得 WSN 更加高效。同时, WSN 能够扩展移动应用和提供实时网络性能测量数据和服务覆盖范围优化。在分布式资产的遥测和远程管理中, MCN 和 WSN 的融合网络能够用作监督控制和数据采集系统。在这种应用中, WSN 需要通过 MCN 来进行管理和优化。因此需要研究 MCN 和 WSN 的融合网络的联合优化和交互式控制技术。

在本文中我们首先研究了 MCN 和 WSN 融合进程中所面临的技术难题; 然后给出了关于系统结构、空中接口、网络协议的广泛的技术分析和讨论; 通过分析我们提出可以让 MCN 中的移动终端在融合网络中扮演 WSN 的传感器节点和网关的角色; 最后我们评估了这种方法的性能。仿真表明采用交互式优化的方法能够有效的提高融合网络的性能。

1 MCN 和 WSN 融合的技术难题

未来的 M2M 网络应该是以服务为导向的^[6]。不同的 M2M 网络能够在许多不同的领域得到广泛的应用, 比如, 电力监控、智能运输、自动化工业控制、远程医疗、水资源和环境监控等。在基于 MCN 和 WSN 融合的 M2M 通信模式中, 远程传感器收集数据并传递给网关。网关同时是 MCN 中的移

收稿日期: 2013-12-30; 修回日期: 2014-02-28。

作者简介: 王文凡 (1981-), 女, 河南禹州人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事计算机应用及网络技术方向的研究。

动终端，并且直接与 MCN 连接。就这一点来说，这种网络是一种由 MCN 和 WSN 融合的分层混合网络。为了实现 MCN 和 WSN 的全融合，需要克服如下一些技术难题。

首先是网络结构的融合问题。传统的 MCN 和 WSN 融合网络是一种分级网络，如图 1 左半部分所示。所有的网关都是双模的，具有 WSN 和 MCN 两个接口。一组无线传感器节点组成数据检测面，而网关和基站 (BS) 组成系统控制面。WSN 由 BS 通过网关间接控制。网关能够提供 WSN 节点的接口，且能够将检测数据传递给回程网络服务器。MCN 和 WSN 的通信时通过网关的一条数据通道实现的，这会降低网络的效率。

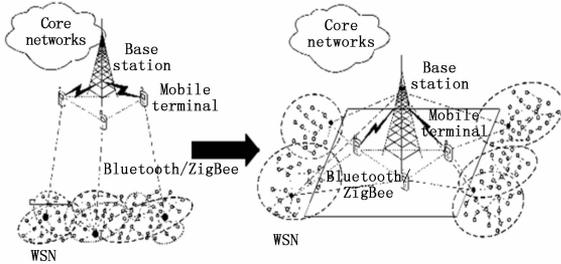


图 1 MCN 和 WSN 的融合网络结构

在新的 MCN 和 WSN 的融合网络中，MCN 和 WSN 的结构由分级结构变为平级结构，从而降低了不同级之间的信号交换，如图 1 右半部分所示。在融合网络中，传感器节点具有监听 BS 到 MCN 的下行链路中信号的能力。网络结构变为平级结构。因此 MCN 能够直接控制和管理 WSN，从而使得 WSN 更高效。比如，BS 能够帮助传感器节点选择最优的路径进行数据传递，从而降低了交通拥塞。在上行链路中，由于传感器节点传递数据范围的有限性，数据仍然由网关确定传递路径。

在传统结构中，需要评估 MCN 的作用以及传感器节点所增加的复杂度，从而得到一个可以接受的消耗和性能提升的折中。需要研究 MCN 中传感器节点的授权。授权信息可以通过 WSN 网关传递，WSN 网关已经获得了 MCN 的授权。除此之外，在融合网络中需要设计新的时间同步系统。因为 WSN 中不同的接入结构是基于竞争的，而在 MCN 中是基于时间规划的，融合网络中的两种网络的计时系统是独立的。因此需要设计一种联合的同步系统，从而使得传感器节点在能量消耗和系统性能之间达到好的折中。

其次是空中接口的融合问题。当前，窄带技术和扩频收发器是主要的解决 WSN 空中接口的方法，而 MCN 采用不同的技术，比如 UMTS、LTE 等。如何为 WSN 和 MCN 设计一个共同的空中接口是实现融合网络优势的一个关键问题。

双模移动终端的引入是一个简单的解决方案，如图 2 左边所示。这种方法的主要缺点就是终端需要频繁转换模式以实现 WSN 和 BS 之间的数据传递。在 MCN 中，OFDM 和 OFDMA 正成为主要的空中接口解决方案。现实应用已经表明 OFDM 和 OFDMA 是一种有效的具有不同带宽的系统共享射频的方法^[7]。由于在将来在 WSN 中将会出现更高数据率的应用，基于 OFDM 的空中接口成为 WSN 的一种可选方案，因此，数据接口的全融合成为可能，比如图 2 所示的基于 NC-OFDM 的空中接口解决方案。每一 WSN 族共享 MCN 中 OFDM 载波的一部分。在载波的子集中，采用了传感器节点的多接入。

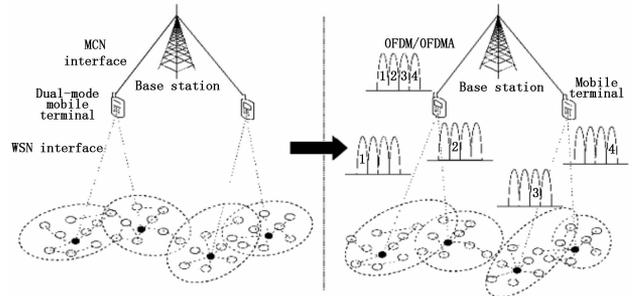


图 2 WSN 和 MCN 的空中接口融合

然而设计一个融合的天空接口方案是非常困难的。比如，由于 MCN 和 WSN 的覆盖范围和信道条件差异很大，两个系统的循环前缀需要联合设计。除此之外，两个系统具有不同的信号处理能力，两个网络的带宽分配也不同，MCN 的带宽大而 WSN 的带宽小。如果两个系统工作在不同的频率下，需要设计一些自适应滤波器，从而将不同数量的子载波综合起来。相反，如果两个系统具有相同的频带，融合的射频帧需要做特殊的设计以减小移动终端和传感器节点以及移动终端和 BS 的多接入接口。

还有就是协议的融合问题。在 MCN 和 WSN 的融合网络中，由传感器节点收集的数据可以通过网关传递给 BS。当前，两个协议栈之间的数据信道通常应用在网关，如图 3 左半部分所示。在这种情况下，两个独立栈之间的数据信道被用来进行信息交换。由于 MCN 和 WSN 的融合网络的网络结构和空中接口都是高度融合的，因此协议可控制信令也应该高度融合才能实现真正融合的 MCN 和 WSN 网络。在这样一个融合网络中，两个栈之间的 MAC 协议和网络层协议应该进行联合优化以使得要么提高 WSN 的性能，要么扩展 MCN 的应用，如图 3 右半部分所示。在这种结构中，两个协议栈不是相互独立的，数据和算法在两个栈之间共享。

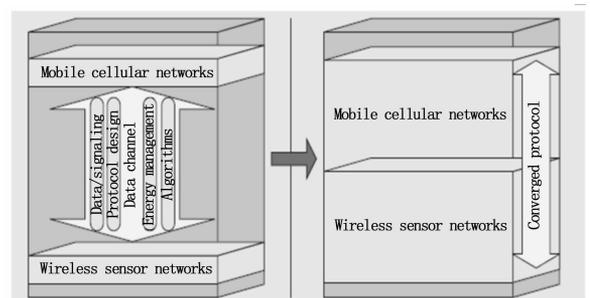


图 3 WSN 和 MCN 的协议融合

在融合网络中，需要设计上行和下行控制信令以及应用在网关的一些交叉 MAC。新的信令也许会影响到当前的 WSN 和 MCN 标准。对于下行，需要通过 BS 控制 WSN 节点和网关的进入和出去；对于上行，来自 WSN 的信令，比如数据传输请求，同样由 BS 协同。除此之外，在物理层和 MAC 层，网关需要与 BS 之间传递控制信息以实现融合优化^[8]。网关需要由 BS 分配资源以实现上行和下行数据的传递，同时传递一些系统信息给传感器节点。

在物理层，需要考虑一个两级资源分配方案，特别是在拥有大量 WSN 节点的网络中。比如，网关能够将传感器节点的

数据和资源请求与 MCN 对应起来, 并且报告给 BS; 然后 BS 会根据来自不同网关的请求信息为每个网关分配不同的 WSN 信道组用于 WSN 内部通讯。

在网络层, 当一个移动网关进入 WSN 的覆盖范围时, 可能会导致网关的重选甚至是无线网络节点的重新组合。如何在复杂度、性能资源消耗以及稳健性之间找到一个平衡点是值得以后深入研究的问题。

2 性能评估

如前面所提到的一样, 在融合网络中, MCN 和 WSN 能够相互受益。然而, 对于 MCN 来说, 由 WSN 带来的益处主要在于应用的扩展。MCN 的性能评价标准仍然保持不变, 除了会带来一定的信令开销之外。相反, 对于 WSN 来说, 由 MCN 带来的益处主要在于性能的提升, 比如将移动终端作为冗余网关, 数据能够更有效的传递到核心网。因此, 在这里我们只评估融合模式下的 WSN 的性能。需要澄清的是上一节中介绍的技术难题不会被评估, 因为具体的技术还需要进一步的研究。

融合网络的性能需要通过大量的计算机仿真并且与普通的单独的 WSN 模式进行比较。为了验证网络规模对性能的影响, 我们采用了两种网络, 分别包含 50 和 100 个传感器节点。在两种情况下, 节点都随机的分布在 $100 \times 100 \text{ m}^2$ 的正方形范围内, 也就是说传感器节点的 x 和 y 坐标独立随机的分布在 $(0, 100)$ 的范围内。WSN 的默认网关位于 $x = 0, y = 0$ 处。所有常规节点具有相同的初始能量 1 J , 同时具有调整发射功率的能力以使得干扰最小, 并且保证无失真传输。在融合网络中, 随机的选择一部分传感器节点作为增强的移动终端。这些移动终端在自身的作为传感器节点的基本功能之外还具有作为 WSN 网关的能力。也就是说这类节点能够直接将其数据传递给网络, 并且每一个节点具有 10 J 的初始能量。

在我们的仿真中, 每一个节点在第一轮传输中具有一个数据包。作为传输数据包的源节点是随机选择的。源节点不只有一个数据包, 且其当前能量大于 0 。源节点一次只传递一个数据包。所有达到网关的数据包都被当作有效的数据包, 且网络的吞吐量由有效数据包计算得到。每一数据包都具有相同的大小, 2000 比特, 并且采用一阶模型来计算接收和传递一个数据包所消耗的能量^[9]。在一阶模型中, 一个节点接收一个 k 比特数据包所消耗的能量为 $E_{R_r}(k) = \xi_{\text{elec}} \cdot k$, 而传递 k 比特数据包给距离为 d 的节点所消耗的能量为 $E_{T_r}(k) = \xi_{\text{elec}} \cdot k + \xi_{\text{amp}} \cdot k \cdot d^2$ 。在我们的仿真中, 我们假设 $\xi_{\text{elec}} = 50 \text{ nJ/bit}$, $\xi_{\text{amp}} = 100 \text{ pJ/bit/m}^2$ 。除此之外, 在我们的仿真中采用了最近的路径, 比如, 如果网关在其传输范围之类, 节点就会将其数据包传递给这个网关, 否则节点就会选择最近的节点传递其数据包以节省能量消耗。在我们的仿真中不允许并行传输。

3 仿真结果

图 4 和图 5 所示为不同模式下, 网络寿命随死亡节点数量变化的关系图。为了准确性和通用性, 所有仿真结果都是 30 次相同仿真的平均结果, 只是每一仿真都选择不同的随机种子。如图 1 和图 2 所示, 当移动终端网关的数量增加时, 网络的寿命就会得到延长。由于移动终端网关的初始能量比普通节点的初始能量大, 我们同样仿真了将 5 个随机选择的传感器节点的能量设置为 10 J , 而不设置移动终端网关, 在图中我们称

之为能量增强。在这种模式下, 最后一个节点的寿命明显比其它节点大很多。因为与具有相同能量的移动终端网关相比, 普通节点的寿命会更长。移动终端网关需要传递其它节点的数据包到网络, 因此其寿命会比具有相同能量的节点更短。然而, 在实际应用中, 当大多数 WSN 节点死掉以后, 网络可能就无法正常工作了。文献 [10] 认为 WSN 的寿命应该定义为网络中传感器节点的歌伎所发生时对应的的时间。在我们的仿真中, 我们将 WSN 的寿命定义为一半节点死掉所对应的的时间。仿真结果表明, 具有 3 个移动终端网关的融合网络的寿命与具有 5 个能量增强节点模式的网络的寿命相近甚至更长。

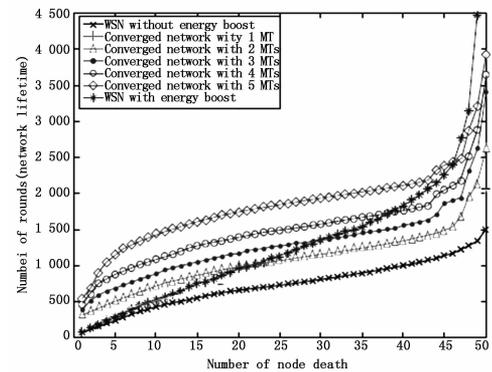


图 4 具有 50 个节点的融合网络寿命随死亡节点的变化关系图

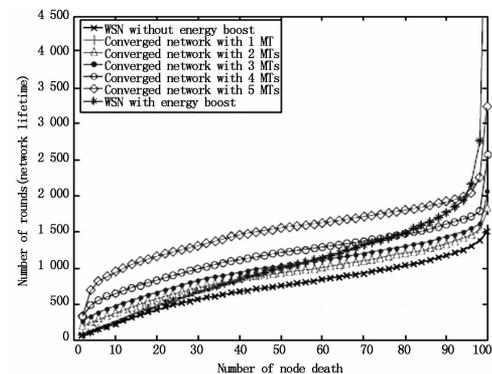


图 5 具有 100 个节点的融合网络寿命随死亡节点的变化关系图

不同的性能评价标准所对应的结果如表 1 所示。平均能量消耗和吞吐量所对应的性能变化趋势与网络寿命所对应的结果相近。这是因为吞吐量与节点死亡速度强相关。我们只考虑了最初 500 个循环的吞吐量和延迟数据, 在这种情况下只有很少的节点死掉了。因此将融合网络的结果与 WSN 相比, 性能的提高并不是很明显。由于在融合网络中具有多个网关, 其平均延迟比传统的 WSN 更小, 当移动终端网关的数量增加时, 平均延迟会进一步减小。

对比不同规模的融合网络所得到的结果可以看出, 具有 100 个节点的网络具有更多的资源和更多的数据传递通道。尽管在这种网络中, 平均通信距离更短, 每一循环的能量消耗会增加 $75\% \sim 90\%$ 。除此之外, 移动终端网关所起到的作用在具有 100 个节点的网络中也更小。如图 5 所示, 在具有 100 个节点的网络中, 当具有 4 个移动终端网关时, 网络寿命明显延

长；然而只有两个移动终端网关能具有在只有 50 个节点的网络中的移动终端网关相同的功能。然而，如果采用并行传递，采用更有效的路由算法，在稠密网络中传递每一个数据包所消耗的能量会降低，因为移动终端网关能够扮演更重要的作用。

表 1 不同网络模式下的性能比较

Performance metrics		(a) A network of 50 sensor nodes					(b) A network of 100 sensor nodes				
		WSN w/o EB	WSN w/EB	CN w/ 1 MT	CN w/ 3 MTs	CN w/ 5 MTs	WSN w/o EB	WSN w/EB	CN w/ 1 MT	CN w/ 3 MTs	CN w/ 5 MTs
Network Lifetime (rounds)	FND	76.0	76.6	147.1	392.4	533.3	43.7	46.7	80.0	190.9	254.3
	HND	726.5	1 125.4	854.2	1 272.3	1 842.2	750.5	996.1	818.4	1 031.1	1 548.1
	LND	1 502.8	9 392.6	2 060.4	3 414.0	3 921.9	1 517.1	7 300.8	1 658.5	2 066.3	3 221.1
Energy Consumption (*10 ⁻³ J/round)		56.8	54.1	54.9	52.3	46.5	98.9	98.2	97.3	92.4	89.2
Delay (slots/round)		51.5	28.0	21.4	13.8	11.1	103.0	61.4	49.6	31.2	28.6
Throughput (packets/round)		42.3	45.3	43.2	45.7	46.7	71.3	83.2	73.9	83.9	86.4

4 结论

为了满足日益增长的 M2M 网络的需求，MCN 和 WSN 正逐渐走向融合。尽管在融合网络的演化过程中会面临许多的技术难题，比如网络结构的融合问题、空中接口的融合问题、协议的融合问题，融合已经成为一种必然的发展趋势，并且会带来许多优势。通过计算机仿真，我们知道在融合网络中，WSN 的平均延迟性能、吞吐量、网络寿命等都得到了明显的提高。

参考文献:

[1] 詹杰, 刘宏立, 刘大为, 等. 无线传感器网络中 DPC 安全定位算法研究 [J]. 通信学报, 2011, 32 (12): 8-17.

[2] Martusevicius V, Kazanavicius E. Self-localization system for wireless sensor network [J]. Elektronika Ir Elektrotechnika, 2010, 16 (10): 17-20.

[3] Feng W J, Bi X W, Jiang R. A novel adaptive cooperative location algorithm for wireless sensor networks [J]. International Journal of Automation and Computing, 2012, 9 (5): 539-544.

[4] Lin C, Xiong N, Park J H, et al. Dynamic power management in new architecture of wireless sensor networks [J]. International Journal of Communication Systems, 2009, 22 (6): 671-693.

[5] 何风行, 余志军, 刘海涛. 基于压缩感知的无线传感器网络多目标定位算法 [J]. 电子与信息学报, 2012, 34 (3): 716-721.

[6] 刘瑜, 衣晓, 何友. 高密度无线传感器网络分簇定位算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34 (8): 1581-1586.

[7] Yedavalli K, Krishnamachari B. Sequence-based localization in wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7 (1): 81-94.

[8] Blumenthal J, Grossmann R, Golatowski F, et al. Weighted centroid localization in Zigbee-Based sensor networks [A]. IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing [C], Madrid, 2007: 1-6.

[9] 刘影, 钱志鸿, 孙大洋. 基于参考点序列的无线传感器网络节点定位算法 [J]. 吉林大学学报: 工学版, 2012, 42 (2): 489-493.

(上接第 1554 页)

表 1 验证测试记录

序号	规则	转换功能	技术时延 (ms)	转换时延 (ms)
1	AFDX->A429 参数	正确	2	8
2	AFDX->A429 四发一收	正确	4	11
3	AFDX->A429 块	正确	5	17
4	AFDX->A429 四发选择	正确	3	9
5	AFDX->A825 参数	正确	2	7
6	AFDX->A825 块	正确	6	15
7	AFDX->模拟量离散量	正确	2	6
8	A429->AFDX 参数	正确	3	10
9	A429->AFDX 块	正确	1	数据更新率 +5
10	A825->AFDX 参数	正确	3	10
11	A825->AFDX 块	正确	1	数据更新率 +5
12	模拟量离散量->AFDX	正确	2	5

延。在表 1 中，远程数据采集器的技术时延基本在 3 ms 左右，而规则 2、3 和 6 技术时延较大，分析原因在规则 2 转换过程中，需要对 4 个 AFDX 端口的数据进行接收，并依次进行发送，需要占用较多的时间；规则 3 中，需要对 AFDX 数据进行拆分，并按照 ARINC429 格式进行多条 ARINC429 数据的发送；规则 6 同规则 3 类似，需要占用拆分并组合多条 ARINC825 数据的时间。转换时延加入了测试设备驱动层、物理层和采集器的驱

动层、物理层时延，因而时延较大，由于 ARINC429 和 ARINC825 总线底层数据的接收和发送采用查询的方式，因而查询过程需要耗费一定的时间，所以其转换时延较大。

表 1 中测试结果为在 12 条规则，每条规则 1 条消息，每条消息发送 100 条消息的情况下测得，可以分析出，当在复杂的应用环境中，随着规则数目的增加，每条规则消息数目的增加，远程数据采集器的技术时延会因为调度时延而增大，而转换时延相对固定，仅由于技术时延的增大而线性增大。

5 结论

文章针对先进飞机的航电系统架构，结合远程数据采集器的设计需求，基于模块化思想提出一种基于 PCI 总线的航电网络远程数据采集器设计，从接口设计、配置引脚和配置驱动 3 个方面保证了远程数据采集器的灵活性和可维护性，并通过试验的方法对采集器的功能、时延等参数进行了测试验证和分析，结果表明，文章提出的设计能够满足远程数据采集器的功能需求，并具备较小的时延。

参考文献:

[1] 熊华钢, 周贵荣, 李峭. 机载总线网络及其发展 [J]. 航空学报, 2006, 27 (6): 1135-1144.

[2] 孙欢庆. 民用飞机综合航电系统技术发展研究 [J]. 航空科学技术, 2010, (3): 6-8.

[3] 赵永库, 李贞, 唐来胜. AFDX 网络协议研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (12): 3137-3142.