

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102726107 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 10

(21) 申请号 201180005595. 4

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 01. 11

H04W 56/00(2006. 01)

H04W 84/18(2006. 01)

(30) 优先权数据

61/293, 948 2010. 01. 11 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 07. 09

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/020886 2011. 01. 11

(87) PCT申请的公布数据

W02011/085394 EN 2011. 07. 14

(71) 申请人 微设备有限公司

地址 美国佛蒙特州

(72) 发明人 史蒂芬·J·蒂斯塔斯

克里斯多夫·P·汤森

雅各布·H·加尔布雷斯

史蒂文·W·埃姆斯

(74) 专利代理机构 北京青松知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 11384

代理人 郑青松

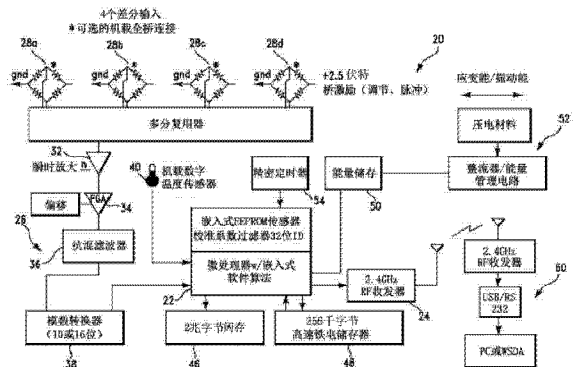
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 5 页

(54) 发明名称

无线传感器同步方法

(57) 摘要

一种数据采样方法,包括:提供多个无线节点,其中,每一所述无线节点包括接收器、实时时钟和计数器。由所述计数器对所述实时时钟的滴答进行计数。所述方法还包括:广播常用信标,由每一所述无线节点的接收器接收;以及,当接收到所述常用信标后,将每一计数器设为第一预设值。



1. 一种数据采集方法,包括:
 - a. 提供多个无线节点,其中每一所述无线节点包括接收器、实时时钟和计数器,其中由所述计数器对所述实时时钟的滴答进行计数;
 - b. 广播常用信标,以由每一所述无线节点的接收器接收;以及
 - c. 接收到所述常用信标后,将每一所述计数器设为第一预设值。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其中每一所述无线节点包括处理器,其中所述处理器包括所述计数器。
3. 如权利要求 2 所述的方法,其中所述处理器包括睡眠模式和唤醒模式,所述方法还包括:同时将所述多个无线节点中的每一无线节点的所述处理器从所述睡眠模式唤醒。
4. 如权利要求 1 所述的方法,其中每一所述无线传感器节点包括传感器,所述方法还包括:当所述计数器达到预设的传感器-计数器值时,使用所述传感器进行数据采集。
5. 如权利要求 1 所述的方法,其中每一所述无线节点包括传感器,所述方法还包括:同时使用所述多个无线节点中的每一无线节点的所述传感器进行数据采集。
6. 如权利要求 5 所述的方法,其中所述传感器包括来自以下所构成的组中的至少一个:应力传感器、振动传感器、称重传感器、扭矩传感器、压力传感器和加速计。
7. 如权利要求 1 所述的方法,其中每一所述无线节点包括收发器,用于传输传感器数据和接收所述常用信标。
8. 如权利要求 7 所述的方法,还包括:当所述计数器的值达到预设的传输-计数器值时,从每一所述无线节点传输,其中每一所述无线传感器节点具有不同的预设的传输-计数器值。
9. 如权利要求 8 所述的方法,其中所述无线节点传输使用时分复用传输调度。
10. 如权利要求 8 所述的方法,其中每一所述无线节点包括能量采集装置,所述方法还包括:使用所述能量采集装置提供用于操作所述传输器的能量。
11. 如权利要求 7 所述的方法,其中所述收发器包括来自以下所构成的组中的至少一个:蓝牙、Wifi、Zigbee、Nanotron、以太网、Nordic、蜂窝链,和超宽带(UWB)。
12. 如权利要求 1 所述的方法,还包括:对每一所述传输使用误差校正。
13. 如权利要求 1 所述的方法,还包括:提供动作计数器;以及,当所述动作计数器达到预设的动作-计数器值时,执行动作。
14. 如权利要求 13 所述的方法,其中每一所述无线节点包括传感器,其中所述动作包括使用所述传感器进行数据采集。
15. 如权利要求 1 所述的方法,其中每一所述无线节点还包括次级定时器,所述方法还包括:使用所述次级定时器来确定各无线节点之间的同步误差的大小。
16. 如权利要求 15 所述的方法,其中所述实时时钟具有可调频率,所述方法还包括:使用所述次级定时器来调节所述实时时钟的所述频率。
17. 一种用于执行动作的方法,包括:
 - a. 提供多个无线节点,其中每一所述无线节点包括接收器和实时时钟;
 - b. 广播常用信标,并基于所述信标对每一所述无线节点中的所述实时时钟进行同步;以及,
 - c. 由每一所述无线节点同时执行动作,其中通过所述同步的实时时钟来确定每一无线

节点中的时序。

无线传感器同步方法

[0001] 优先权

[0002] 本申请请求 2010 年 1 月 11 日提交的、名为“无线传感器同步方法”的、序号为 61/293,948 的美国临时专利申请的权益,其以引用方式并入于此。

[0003] 相关论文

[0004] 本申请与以下公开物有关,所有这些公开物以引用方式并入于此:

[0005] 1. Arms, S. W., Townsend, CP., Galbreath, J. H., Churchill, D. L., Phan, N., 2009 年 5 月 29 日-5 月 31 日,德州葡萄藤市,美国直升机协会第 65 届年会,“用于无线传感、RFID、数据整合 & 远程报告的同步系统(Synchronized System for Wireless Sensing, RFID, Data Aggregation, & Remote Reporting)”;

[0006] 2. Arms, S. W., Townsend, CP., Churchill, D. L., Galbreath, J. H., Corneau, B, Ketcham, R. P., Phan, R., 2008 年 12 月 2 日-12 月 4 日,墨尔本,第二届亚太结构健康监测研讨会,“能量采集、无线、结构健康监测及报告系统(Energy Harvesting, Wireless, Structural Health Monitoring and Reporting System)”;

[0007] 3. S. W. Arms, J. H. Galbreath, CP. Townsend, D. L. Churchill, B. Corneau, R. P. Ketcham, Nam Phan, 2009 年 5 月 17 日-5 月 20 日,丹麦奥尔堡,奥尔堡国会及文化中心,关于无线通信、车载技术、信息理论以及航空宇宙 & 电子系统技术(无线 VITAE)的第一次国际会议,会议论文集,“用于航空结构监测的能量采集无线传感器和网络定时同步 (Energy Harvesting Wireless Sensors and Networked Timing Synchronization for Aircraft Structural Health Monitoring)”;

[0008] 4. Williston Vermont, MicroStrain, Inc., 2010 年,“基于 WSDA® 的 mXRS™ 无线基站技术产品综述(WSDA® -Base-mXRS™ Wireless Base Station Technical Product Overview)”;

[0009] 5. Williston Vermont, MicroStrain, Inc., 2010 年 12 月 6 日,“范围扩展的 (mXRS™) 无线传感系统常见问题解答 (Extended Range Synchronized (mXRS™) Wireless Sensing System FAQs)”。

[0010] 相关专利及专利申请

[0011] 本申请还与以下专利及专利申请有关,其全部以引用方式并入于此:

[0012] 1. 3,695,096 应力检测称重传感器 (Strain detecting load cell);

[0013] 2. 4,283,941 双剪切梁式应变仪称重传感器 (Double shear beam strain gauge load cell);

[0014] 3. 4,364,280 双剪切梁式应变仪称重传感器 (Double shear beam strain gauge load cell);

[0015] 4. 7,188,535 具有任意位置的应变仪的称重传感器 (Load cell having strain gauges of arbitrary location);

[0016] 5. 6,629,446 用于多坐标称重传感器的单一向量校准系统以及多坐标称重传感器的校准方法 (Single vector calibration system for multi-axis load cells and

method for calibrating a multi-axis load cell);

[0017] 6. 7, 170, 201 用于无线传感器操作和数据传输的能量采集(Energy harvesting for wireless sensor operation and data transmission);

[0018] 7. 7, 081, 693 用于无线传感器操作和数据传输的能量采集(Energy harvesting for wireless sensor operation and data transmission);

[0019] 8. 7, 143, 004 具有 360 度测量能力的方向传感器(Solid state orientation sensor with 360degree measurement capability);

[0020] 9. 6, 871, 413 用于角度测量的带有精确测量指示器的小型化倾角仪(Miniaturized inclinometer for angle measurement with accurate measurement indicator);

[0021] 10. 6, 529, 127 用于远程驱动具有可寻址的多通道传感模块的网络并与其通信的系统(System for remote powering and communication with a network of addressable, multichannel sensing modules);

[0022] 11. 5, 887, 351 斜板 360 度绝对角度传感器(Inclined plate 360degree absolute angle sensor);

[0023] 12. 20050146220 用于无线传感器操作和数据传输的能量采集(Energy harvesting for wireless sensor operation and data transmission);

[0024] 13. 20050140212 用于无线传感器操作和数据传输的能量采集(Energy harvesting for wireless sensor operation and data transmission);

[0025] 14. 20050116545 用于无线传感器操作和数据传输的能量采集(Energy harvesting for wireless sensor operation and data transmission);

[0026] 15. 20050116544 用于无线传感器操作和数据传输的能量采集(Energy harvesting for wireless sensor operation and data transmission);

[0027] 16. 20050105231 用于无线传感器操作和数据传输的能量采集(Energy harvesting for wireless sensor operation and data transmission);

[0028] 17. 20040078662 用于无线传感器操作和数据传输的能量采集(Energy harvesting for wireless sensor operation and data transmission);

[0029] 18. 20060103534 识别无线传感器网络中的大致相关对象(Identifying substantially related objects in a wireless sensor network);

[0030] 19. 09/731, 066 数据收集和存储装置(Data Collection and Storage Device) (律师案号 1024-034)

[0031] 20. 09/768, 858 & 10/215, 752(临时) 微功率差分传感器测量(Micropower Differential Sensor Measurement) (律师案号 1024-037);

[0032] 21. 7, 256, 505 用于无线传感器操作和数据传输的轴装式能量采集(energy harvesting for wireless sensor operation and data transmission) (律师案号 115-014), (" ' 505 申请");

[0033] 22. 11/084, 541 无线传感器系统(Wireless Sensor System) (律师案号 115-016);

[0034] 23. 11/091, 244 带防潮层和自测试电路的应变仪 Strain Gauge with Moisture

Barrier and Self-Testing Circuit(律师案号 115-017), (“ 244 申请 ”);

[0035] 24. 11/260, 837 识别无线传感器网络中的大致相关对象(Identifying substantially related objects in a wireless sensor network)(律师案号 115-018);

[0036] 25. 11/368, 731 和 60/659, 338, 微型声激励及传感系统(Miniature Acoustic Stimulating and Sensing System), (律师案号 115-019&115-028);

[0037] 26. 11/604, 117, 开槽梁式压电复合结构(Slotted Beam Piezoelectric Composite Structure), (律师案号 115-022), (‘ 117 申请 ”);

[0038] 27. 11/585, 059, 结构损伤检测及分析系统(Structural damage detection and analysis system) (律师案号 115-036);

[0039] 28. 11/518, 777, 能量采集无线结构健康监测系统(Energy Harvesting Wireless Structural Health Monitoring System) (律师案号 115-030);

[0040] 29. 60/898, 160 宽频能量采集器(Wideband Energy Harvester), (律师案号 115-052);

[0041] 30. 60/497, 171 一种电容性放电能量采集转换器(A Capacitive Discharge Energy Harvesting Converter) (律师案号 115-051);

[0042] 31. 12/360, 111, 2009 年 1 月 16 日提交的“独立校准无线结构称重传感器”(Independently Calibrated Wireless Structural Load Sensor)案号 115-059, (‘ 111 申请 ”);

[0043] 32. 61/169, 309, 2009 年 4 月 15 日提交的“风力涡轮机和其他旋转结构”(Wind Turbines and Other Rotating Structures) (律师案号 115-067);

[0044] 33. 61/179, 336, 2009 年 5 月 18 日提交的“具有组件使用的非易失性显示的组件射频识别标签”(Component RFID Tag with Non-Volatile Display of Component Use) (律师案号 115-068)。

[0045] 参考文献

[0046] 本申请还涉及以下参考公开物,其全部以引用方式并入于此。

[0047] 1. Selvam, K., 2007 年 7 月 25 日, ECN-E-07-053, 荷兰, 代尔夫特理工大学(TU Delft), 能源研究中心, 硕士论文, “用于大型风力涡轮机的独立节距控制、多变量控制方法(Individual Pitch Control for Large Scale Wind Turbines, Multivariable Control Approach)”;

[0048] 2. van der Hooft, E., P. Schaak 和 van Engelen, T., ECN, 2003 年, ECNC-03-1 1 1, 报告, “风力涡轮机控制算法(Wind turbine control algorithm)”;

[0049] 3. van Engelen, T., 2006 年, 希腊, 雅典, 欧洲风力能源会议, “用于多旋转模式单独节距控制(较高谐波控制)的设计模型和负荷折减评估”, “Design Model and Load Reduction Assessment for Multi-rotational Mode Individual Pitch Control(Higher Harmonics Control)”;

[0050] 4. van Engelen, T., 2007 年, 意大利, 米兰, 欧洲风力能源会议, “基于来自 TURBU 的航空-水力-伺服-弹性线性模型的控制设计(Control design based on aero-hydro-servo-elastic linear models from TURBU)”;

[0051] 5. van Engelen, T. 和 Van der Hooft, E., 2003 年, ECN, ECN-C-03-138, 报告, “单

独节距控制详细目录(Individual Pitch Control Inventory)”

技术领域

[0052] 本专利申请一般涉及一种用于监测无线节点的系统。还涉及一种具有传感器装置的系统 and 具有带无线通信链接的传感器装置的网络。更具体地,涉及一种用于监测传感器节点以及提供传感器采样时间的系统,其中所述传感器节点用于以无线方式传输数据。

背景技术

[0053] 无线传感器节点已被用于监测网络上的传感器。然而,难以精确确定和控制传感器的采样时间。这一问题通过以下说明得以解决。

发明内容

[0054] 一方面,本专利申请是一种数据采样方法。所述方法包括:提供多个无线节点,其中每一所述无线节点包括接收器、实时时钟和计数器。由所述计数器对所述实时时钟的滴答声进行计数。所述方法还包括:广播常用信标,以由每一所述无线节点的接收器接收;以及,当接收到所述常用信标后,将每一所述计数器设为第一预设值。

[0055] 另一方面,本专利申请是一种用于执行动作的方法。所述方法包括:提供多个无线节点,其中每一所述无线节点包括接收器和实时时钟。所述方法还包括:广播常用信标;以及,基于所述信标,对每一所述无线节点中的实时时钟进行同步。所述方法还包括:由每一所述无线节点同时执行动作,其中由所述同步的实时时钟来确定每一所述无线节点中的时序。

附图说明

[0056] 图 1 为例示了无线传感器节点中的组件和连接的框图;

[0057] 图 2 例示了时序图,该时序图示出了具有同步的采样的三个无线传感器节点,其中,脉冲表示用于传感器测量的时间;

[0058] 图 3 例示了示波器迹线,该迹线示出了三个无线传感器节点,其标记了所述三个传感器中的每一个传感器的采样的开始;

[0059] 图 4 例示了示波器迹线,该迹线示出了三个无线传感器节点,其标记了来自所述三个传感器中的每一个传感器的采样脉冲的开始,该迹线是使用多通道示波器的持久绘图模式在一个小时内收集到的,由此创建偏移包络线;以及,

[0060] 图 5 例示了示波器迹线,该迹线示出了在同步的网络中运行的三个传感器,其同时利用了 TDMA 传输方案,在该方案中,较短的持续波尖表示传感器在 256Hz 处发生采样,而较长的持续脉冲表示传输。

具体实施方式

[0061] 本申请发现了一种由多个无线节点同时执行动作的方法,所述动作例如使用传感器收集数据,其中,每一所述无线节点包括接收器、实时时钟和计数器。所述实时时钟的输出为波形图,例如方波图。所述实时时钟的每一次滴答声为一个完整的方波,由计数器对

这些滴答声进行计数。广播常用的信标,以用于由每一所述无线节点的接收器进行接收。当接收到所述常用信标后,将每一所述计数器重设为第一预设值。这有效地同步了实时时钟,使得当计数器达到所述动作的预设值时,由所有无线传感器节点在同一时间执行所述动作。

[0062] 无线传感器节点

[0063] 在某一实验中,每一无线传感器节点 20 包括微控制器 22,其连接到 2.4GHz 收发芯片 24 和传感器信号链 26,如图 1 中框图所示。一个或多个传感器 28a-28d 被连接到该传感器信号链 26,该传感器信号链包括诸如多路复用器 30、测量放大器 32、具有偏移修正的增益放大器 34、抗混滤波器 36 和 16 位模数转换器 38。机载数字温度传感器 40 被连接到该微控制器 22。诸如 2MB 非易失性存储器 46、48 的存储器也被连接到该微控制器 22。诸如电池 50 或能量采集装置 52 的电源被连接,以用于为所有组件供电。精密定时器 54 也被连接到该微控制器 22。

[0064] 使用了来自微芯公司(Microchip, Inc.)的 PIC 18F4620 微控制器、来自德州仪器公司(Texas Instruments, Inc.)的收发芯片 CC2420 以及来自美信集成产品公司(Maxim Integrated Products)的 RTC DS3234。

[0065] 对嵌入每一节点内的固件进行编程,以支持以下特征:

[0066] - 无线数据传输

[0067] - 对非易失性存储器的数据写入

[0068] - 多达四个的多路复用传感器通道,其支持广泛的惠斯通桥式传感器阵列

[0069] -10、12 或 16 位模数转换器

[0070] -+/-30 微秒内的同步采样(理论上,最差情况为使用 20 秒同步速率时的 +/-30us)

[0071] -32-512Hz 的可编程采样速率

[0072] - 用于能量储存的缓冲传输;

[0073] - 使用确认消息的基站响应

[0074] - 下跌数据包的自动重传

[0075] -TDMA 传输调度

[0076] 传感器定时

[0077] 在一实施例中,每一无线传感器节点包括高精度的温度补偿定时器,例如实时时钟(RTC),以及微控制器,包括计数器。该 RTC 的输出被直接链接到该微控制器的输入端。RTC 以规律间隙发出滴答声,且由微控制器中的计数器对每一 RTC 滴答声进行计数,使得该计数器可能以特定预设值执行各动作。通过这种方式,可在受控的预设时间或时间间隙下执行各动作,例如,将微控制器从睡眠模式唤醒、对传感器采样以及使用传输器传输数据,如图 2 中的流程图所示。

[0078] 在运行中,RTC 向计数器 1、2、3 提供滴答声,计数器 1 确定用于传感器测量的时间,计数器 2 确定用于传输数据的时间,且计数器 3 将无线电设为先于信标的接收模式。当这些计数器中的一个计数器达到预设值时,发送中断信号,该中断信号将微控制器 22 从睡眠模式唤醒,并唤醒采样和记录或传输所需的组件,以及重设各个计数器,如方框 100 所示。

[0079] 如果计数器 1 提供了中断,则微控制器 22 引导执行传感器测量和对非易失性存储器的数据写入,如方框 101-103 所示。然后,微控制器 22 将传感器信号链和存储芯片导向

睡眠模式,如方框 104 所示。

[0080] 如果计数器 2 提供了中断,则微控制器 22 引导由被写入的传感器数据而在非易失性存储器中建立数据包,并引起收发器 24 传输数据,如方框 105-107 所示。然后,微控制器 22 将收发器 24 导向睡眠模式,如方框 108 所示。

[0081] 如果计数器 3 提供了中断,则微控制器 22 将收发器 24 设为先于信标的接收模式,并在接收到该信标时重设所有计数器的值,如方框 109-111 所示。然后,微控制器 22 将收发器 24 导向睡眠模式,如方框 112 所示。

[0082] 然后,微控制器 22 进入睡眠模式,直到下一个计数器的中断信号到来,如方框 113 所示。

[0083] 在本实验中,RTC 在 32kHz 下发出滴答声,且本申请在 256Hz 处对传感器采样。这一采样速率要求传感器在 RTC 的每 $32,768/256=128$ 次滴答声时采样。由此,该微控制器中用于该计数器的预设值为 128 次滴答声,大于其初始值。

[0084] 可以使用在较高频率下运行的 RTC,这将提供更大的时间分辨率,并允许由无线传感器节点执行的动作具有更高的同步,例如,来自给定的广播起始信号。然而,以更高速度运行时钟会使用更多的功率,并且因此对于一些期望使功率损耗最小化的应用来说,较慢的 RTC 可能是合意的。

[0085] 本专利申请还提供了提高给定的 RTC 频率的同步的方式。例如,允许改进不同无线节点上的动作的同步,其中,每个无线节点运行较慢的 RTC,且在每一无线传感器节点中使用次级时钟来提供偏移补偿,将在下文中对其进行进一步描述。

[0086] 传感器采样、数据传输以及其他动作通常以不同的速率发生。例如,使用传感器进行的数据采样可能比该数据的传输频繁得多。通过记录 RTC 滴答声的数量的迹线并将其与预设值进行比较,实现对执行诸如从传感器采集数据这样的动作的定时,该滴答声的数量由计数器收集。当执行多于一个的动作,例如收集数据并传输时,可使用多于一个的预设值。

[0087] 例如,在上述传感器节点中,当我们希望每秒采样 256 次时,用户可能想要每秒仅进行 4 次数据传输。在这种情况下,我们将设置采样 - 计数器来重设 RTC 的每 128 次滴答声,由此以每秒 256 次的速率提供采样。在一实施例中,我们将设置传输 - 计数器,以在每次记录 64 次数据采样后,提供传输。

[0088] 也可以使用其他计数器,从而以其他速率调度其他动作。

[0089] 信标和传感器同步

[0090] 使用常用信标来同步传感器采样并调度离散的传感器节点之间的传输。在一实施例中,由诸如基站单元 60 的装置每隔一秒广播一次该信标,如图 1 所示,或由指定的无线传感器节点进行广播。该信标在指定的计数器值处出现,且当接收到该信标时,所有的无线传感器节点都将自己的计数器调整为与该指定的值相等。例如,该指定的值可以为计数器值 =20。无线传感器节点将监听信标广播,且当发现信标广播时,每一无线传感器节点将其自己的计数器值调整为 20。

[0091] 由此,当接收到该信标时,将每一无线传感器节点中的计数器存储位置调整为同一指定值,由一单元使用该节点中的 RTC 的每一次滴答声来更新该计数器的存储器位置,并由一单元使用每一随后的滴答声继续对其进行更新。因为该信标已经同步了所有的计数

器,且因为所有的 RTC 都以大致相同的速率发出滴答声,每一无线传感器节点的基于其自己的 RTC 及其自己的计数器的动作将与所有其他无线传感器节点中的动作同步。当接收到下一个信标时,由 RTC 的速率差异所产生的任何偏移都被再次矫正。

[0092] 偏移

[0093] 每一传感器节点上存在的 RTC 具有给定的公差,该公差表示该传感器节点的时钟相对于其他传感器节点上的时钟的最大偏移。例如,具有 \pm 百万分之三的公差的 RTC 将展现出最大 $\pm 3\mu\text{s}/\text{s}$ 的偏移。

[0094] 例示了在没有频繁的定期同步下的偏移的大小。执行测试,仅在两个小时的长期试验的初始阶段发送时间同步信标,并暴露于 -40 至 $+50$ 度的温度下,发现该系统的定时精度为大约 5 毫秒。

[0095] 为了防止不同无线传感器节点的传感器采样发生太大的偏移,本专利申请的一实施例提出将所有的无线传感器节点都重新同步到该信标。可以根据用户的需要改变信标的重新同步速率。减少信标间的时间可改进同步,且增加信标间的时间可节省功率。

[0096] 同步精度

[0097] 如果传感器节点的计数器已经偏移了一个或多个 RTC 滴答声,则各传感器仅能调整其时序。这为其提供了滴答声间的最佳同步分辨率或 $\pm 1/(\text{RTC 输出频率})$ 的情况。

[0098] 执行测试以确保:通过使用所描述的方法,多个不同的无线传感器可以在延长的时间周期内维持同步采样。在本测试中,三个传感器节点被连接到不同的应变仪,并被设置为 256Hz 同步采样模式。使用示波器来捕捉方波脉冲,如图 3 所示,在三个传感器中的每一传感器上标记采样的开始。

[0099] 使用这一设置执行额外的同步测试,从而获得相对时间偏移的更精确的效果。在本测试中,使用多通道示波器的持久绘图模式,在一个小时内收集来自三个节点中的每一节点的采样起始脉冲,从而创建如图 4 所示的偏移包络线。在 256 次采样/秒的数据获取速率下,产生每一传感器总共 921,600 次采样。由这一测试产生了 ± 30 微秒的相对时间偏移,如图 4 中的截屏显示的采样脉冲的起始包络线所示出的,这与在 20 秒的间隙处重复的信标同步的期待曲线一致。

[0100] 用于微调同步的次级时钟

[0101] 在上述情况下,传感器节点使用了 32kHz 的 RTC 作为唤醒和采样定时器。如之前的章节所描述的,这允许 $\pm 1/32\text{kHz}$ 或大约 $\pm 30\mu\text{s}$ 的最佳同步精度的情况。

[0102] 我们可以使用更快的次级时钟来“微调”采样同步,由此增加这一精度。这以如下方式起作用:当接收到信标时,将 RTC 计数器设为指定值,且启动次级时钟。该次级时钟以高速运行,例如 20MHz。该次级时钟允许测量该信标和 RTC 的下一个 32kHz 滴答声之间的时间。将所测得的偏差的值存储在节点上,这允许调整每一随后的采样数据的时间戳。该次级定时器的分辨率可以是次微秒级的。在本实例中,这一分辨率为 1/20 微秒。使用所述方法,可使采样时间戳的分辨率远大于唤醒定时器的分辨率。微处理器的系统时钟可以提供次级时钟。使用该次级时钟不会负面地影响功率损耗,因为已唤醒微处理器并获取了该信标,且因此无论如何其系统时钟都处于运行中。

[0103] 在另一实施例中,对于频率可调的 RTC,例如来自英特希尔(Intersil)的 ISL12020M,通过测量次级时钟来测量信标的到达与 RTC 计数器的下一个滴答声之间的延

迟。然后,根据测得的时间来调整该 RTC 计数器的频率。当在每一无线传感器节点中都完成这一步后,所有无线传感器节点中的 RTC 的频率都将同步到该次级时钟的分辨率内,且在那一刻这些传感器节点被更新。

[0104] 每一 RTC 具有车载存储器或寄存器,其含有用于确定 RTC 的运行模式的值,包括 RTC 的频率。通过改变这些值,可以调整该频率。基于对期望的频率变化测量的校准来确定这些值。

[0105] 当不同的无线传感器节点中的 RTC 随着时间而逐渐偏离时,使用每一信标重复进行 RTC 的同步。例如,如果以每秒一次的频率提供信标,则将同步周期恢复为每秒一次。对于具有 $\pm 3\text{ppm}$ 的频率精度的时钟,在信标间,两个节点最多偏移 6 微秒。

[0106] 通过使用所述方法,将同步精度仅限于 RTC 的公差和重新同步的速率。给定具有 $\pm 3\text{ppm}$ 的 RTC 和 1 秒的信标更新速率,则离散的传感器节点将对 ± 3 微秒内的信标展现出的同步的采样。

[0107] 在一实施例中,为了便于从传感器节点阵列收集数据和时间同步,开发了数据整合节点,例如 **WSDA**® Wireless Sensor Data Aggregator™ 或称为 **WSDA**® -Base-mXRS™ Wireless Base Station 的基站,这两者都可从微应变公司 (MicroStrain Inc., Williston, Vermont) 获得,其能够从有线及无线传感器网络收集数据。包括应变传感器的传感器节点阵列被安装到 Bell M412 直升机中。通过从 WSDA 向所有网络节点广播定时参考,对每一节点内的精密定时器进行同步。WSDA 使用全球定位系统 (GPS) 作为其定时参考。

[0108] WSDA 负责无线传感器网络内的数据收集和定时管理。WSDA 的特征为 GPS 接收器、定时引擎、运行 Linux 2.6 的微处理器核、CAN 总线控制器以及无线控制器。其提供了大型机载数据存储以及用于将数据传到在线数据库的以太网、蓝牙或单元链接。

[0109] 虽然能够将每一无线节点同步到 GPS,与使用单个基站或无线传感器数据整合器来接收 GPS 信号然后传输信标相比,这将耗费更多的功率。在本实施例中,无线传感器节点不需要其自己的 GPS 无线电。

[0110] 无线节点包括应变仪、加速计、称重 / 扭矩传感器、热电偶和射频识别 RFID。以多个采样速率收集数据,并对数据打上时间戳,然后将其整合到 WSDA 上的单个 SQL 数据库内。

[0111] 由此,除了提供用于收集数据的中心位置之外,WSDA 还提供了发信标的能力,以对每一传感器节点的嵌入式精密定时器进行同步。无线节点网络响应于中央广播网络指令而进行初始同步,例如进行初始节点采样或对节点定时器进行同步,测得的该初始同步为 ± 4 微秒。

[0112] 传输调度

[0113] 对数据打上时间戳,并在传输之前缓冲一小段时间。与在每一次采样之后传输数据相反,通过缓冲,我们允许传感器节省无线电启动和封包负担的功率。此外,我们赋予了网络在组织传输时间上的通用性,使得大量无线传感器节点可以在同一无线电频道上传输数据而不会彼此干扰。

[0114] 时分多址 (TDMA) 被用于避免传输冲突并用于使由一个基站支持的无线传感器的数量最大化。该方法为网络中的每一传感器分配唯一时隙。该传感器可仅仅在其时隙周期内传输数据,这确保了不会发生冲突。

[0115] 执行测试以校验在延长的时间周期内的时分稳定性。图 5 中的示波器截图显示了在同步的网络中运行的三个传感器,其同时利用了 TDMA 传输方案。在这种情况下,较短的持续波尖表示发生在 256Hz 处的传感器采样,而较长的持续脉冲表示传输。这些传感器被设置为将 TDMA 位置维持为彼此间隔两个采样周期(或两个时隙)的距离。

[0116] 对于我们的网络,已确定应将时隙保持为固定大小,而传输频率将基于采样速率和活动中的传感器频道而变化。以这种方式,可简单地将使用不同配置将传感器节点支撑在同一网络中。时隙大小选为 1/256 或约 3.9ms。这种大小的时隙为传输的持续性提供了足够的时间,且在下一时隙之前提供了足够的用于确认消息的缓存。

[0117] 误差校正

[0118] 在一实施例中,基站被配置为通过这些值中的任一值的不精确性来自动识别已损坏的数据或丢失的数据。该基站快速响应其接收到的每一数据包,要么发送成功传送的确认消息,要么发送对重新传输的数据的请求。

[0119] 除了专用于数据传输的时隙之外,每一传感器还分配有用于重新传输的时隙。在丢失数据或坏数据的情况下,该无线节点暂时将数据存储在缓存中,直到允许进行重新传输。

[0120] 可扩展性

[0121] 基于每一传感器节点所要求的带宽,每一基站可支持可变数量的传感器。节点的带宽依赖于其采样速率和所利用的传感器通道的数量,该数量确定了其每秒需要多少时隙来使其所有的数据通过。当所有的节点都通过重新传输而利用了误差校正时,其每一节点所需的带宽加倍。下面的表格给定了每一节点的实际相关的带宽占总带宽的百分比,其将误差校正考虑在内。例如,该模型显示出网络中的 3 通道无线传感器节点在 256Hz 处采样,且支持的误差校正当前可支持 32 个无线传感器节点或 96 个独立的应变仪。

[0122] 频分复用(FDMA)允许本地网络具有整合能力,从而线性地扩展额外的频率通道。可通过同一资源对多个基站进行同步,且每一基站在唯一频率通道(FDMA)上运行一组传感器。例如,扩展该网络,仅将 8 个基站并入各频率通道上,这将该网络的性能扩展到 256 个同步传感器节点,每一节点在 256Hz 处采样 3 个应变仪。

[0123] 能量采集

[0124] 开发了一种具有同步的能量采集无线传感器的网络,以用于记录飞机结构负载迹线。测试揭示了这些传感器成功地对采样和传输定时进行了同步,且同时执行了实时误差校正。该系统证明了其是可扩展的,从而支持若干有区别的传感器节点,这些节点利用了可变配置的传感器和采样速率。此外,在典型的直升机运行条件下,传感器节点将采样速率提高到 512Hz,同时其消耗的功率仍少于所采集的能量的量。

[0125] 虽然已经结合示例性实施例示出并描述了所公开的方法和系统,在不脱离由随附权利要求书所限定的本发明的精神和范围的情况下,可对其进行多种修改。

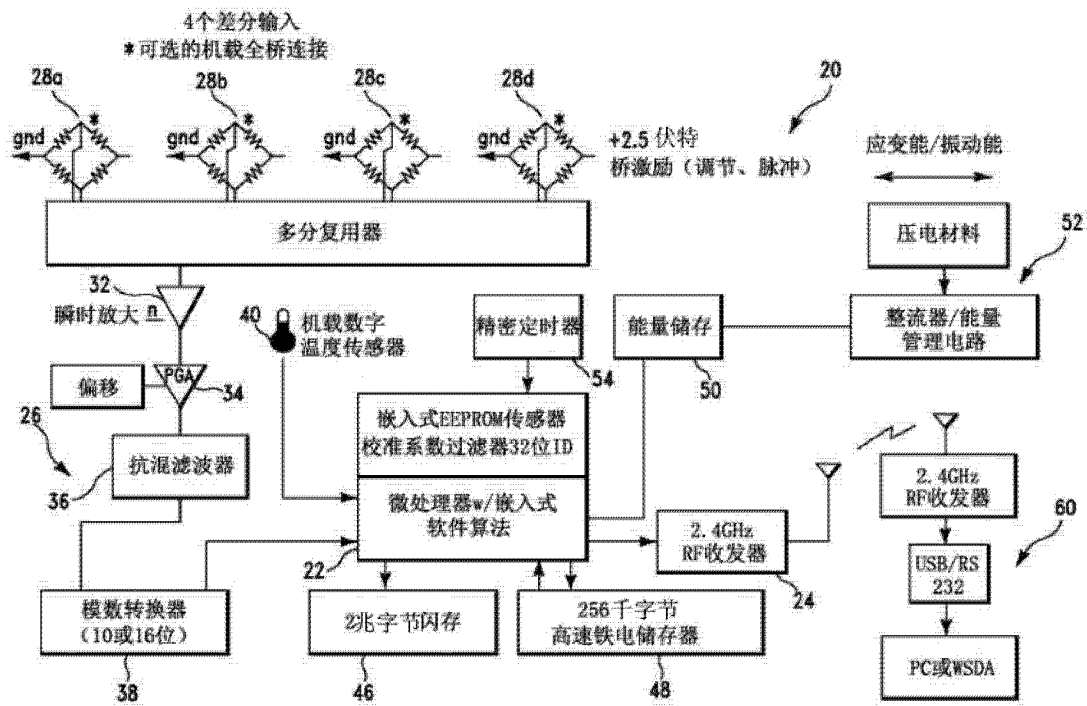


图 1

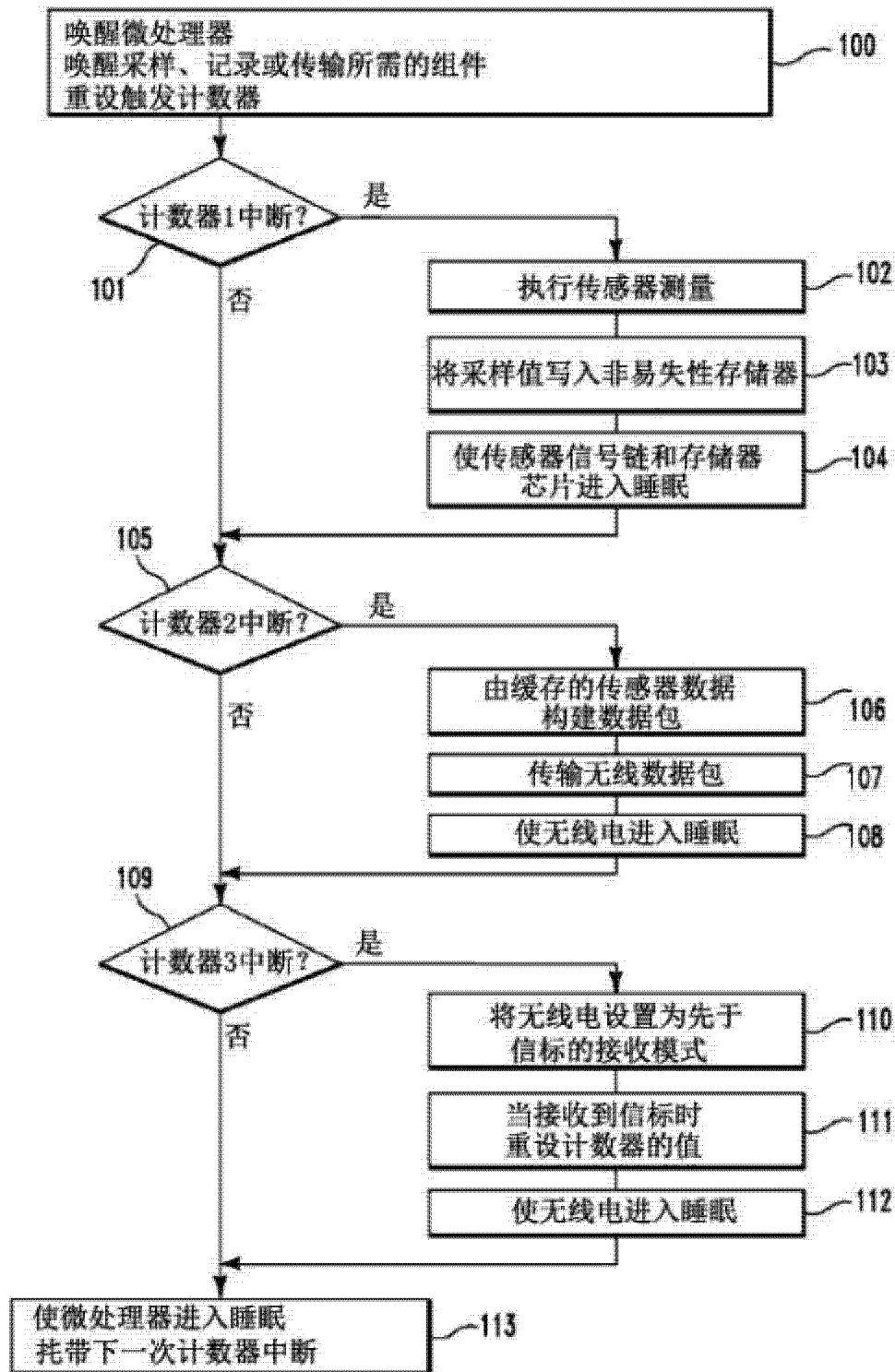


图 2

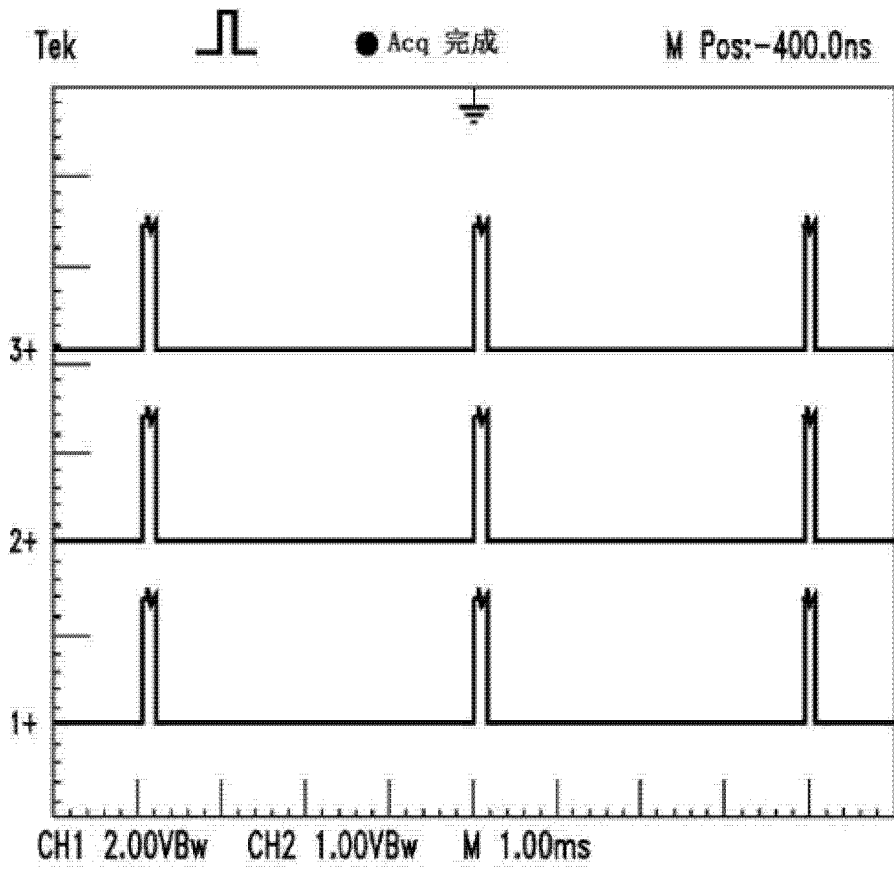


图 3

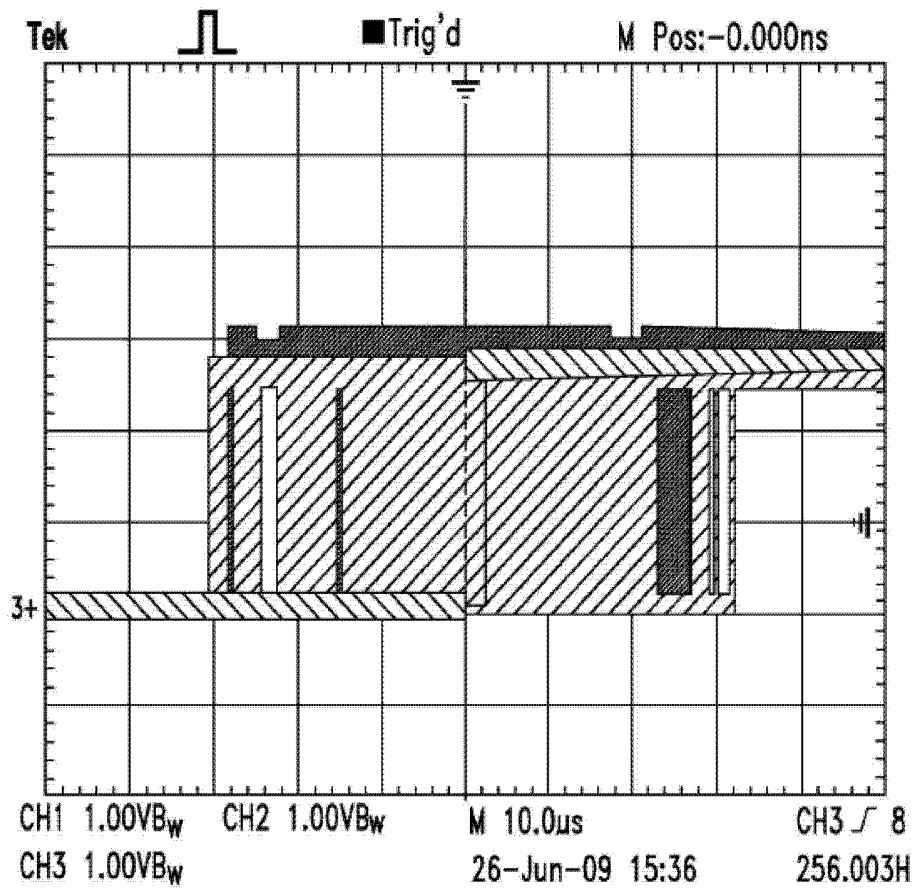


图 4

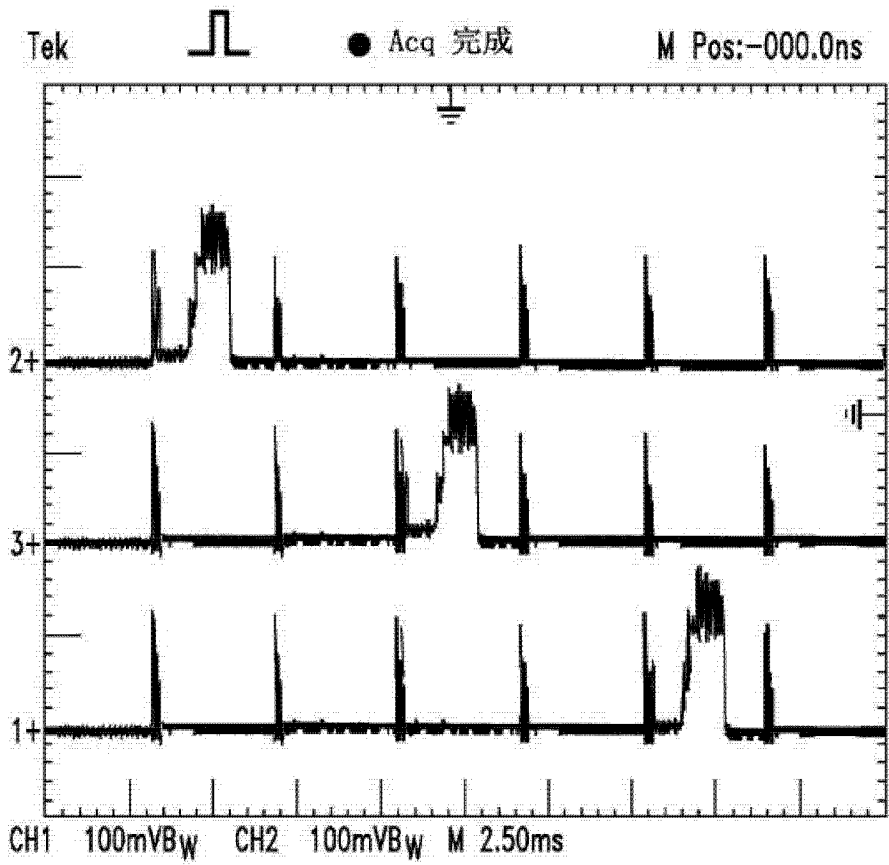


图 5