

齐鲁工业大学 2021/2022 学年第 二 学期《无线传感器网络》考试
试卷（A 卷）

（适用专业班级：物联网工程 2019 级）（本试卷共 8 页）

题号	一	二	三	总分
得分				

得分	
阅卷人	

一. 分析说明题（每题 10 分，共 40 分）

1. 根据对无线传感器网络的定义和功能的理解，说明 WSN 与现代信息技术的关系。

答：无线传感器网络的标准定义是，无线传感器网络是大量的静止或移动的传感器以自组织和多跳的方式构成的无线网络，目的是协作地探测、处理和传输网络覆盖区域内感知对象的监测信息，并报告给用户（3 分）。

传感器网络负责实现数据采集、处理和传输三种功能，而这正对应着现代信息技术的三大基础技术，即传感器技术、计算机技术和通信技术，它们分别构成了信息系统的“感官”“大脑”和“神经”三部分（5 分）。因此说，无线传感器网络正是这三种技术的结合，可以构成一个独立的现代信息系统（2 分）(如图 1-2 所示)。



2. 下面给出了几种在节点不存在邻居节点的情况下，节点 i 对监测区域内目标 j

的感知概率的定义模型，根据自己的理解，分析一下每种概率模型的合理性。

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & d(i, j) \leq r \\ 0, & d(i, j) > r \end{cases} \quad \text{公式-1}$$

$$p_{ij} = e^{-\alpha d(i, j)} \quad \text{公式-2}$$

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & d(i, j) \leq r_1 \\ e^{-\alpha[d(i, j) - r_1]}, & r_1 < d(i, j) \leq r_2 \\ 0, & d(i, j) > r_2 \end{cases} \quad \text{公式-3}$$

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{[1 + \alpha d(i, j)]^\beta}, & d(i, j) \leq r \\ 0, & d(i, j) > r \end{cases} \quad \text{公式-4}$$

式中， $d(i, j)$ 为节点 i 与目标 j 之间的欧式距离， α 和 β 为与传感器物理特性有关的类型参数， p_{ij} 为节点 i 对监测区域内目标 j 的感知概率， r 称为感知半径。

答：(1) 公式-1 为布尔感知模型，节点的感知范围是一个以节点为圆心，以感知距离为半径(由节点硬件特性决定)的圆形区域，只有落在该圆形区域内的点才能被该节点覆盖。这个模型也称为 0-1 感知模型，即当监控对象处在节点的感应区域内时，它被节点监控到的概率恒为 1；而当监控对象处在节点的感应区域之外时，它被监控到的概率恒为 0。（2 分）

(2) 节点的圆形感知范围内，目标被感知到的概率并不是一个常量，而是由目标到节点间距离、节点物理特性等诸多因素决定的变量。公式 2、公式 3 和公式 4 是在节点不存在邻居节点的前提下，节点对监测区域内目标 j 的感知概率的三种定义形式，均属于概率感知模型（3 分）。从以上 3 种形式可以看出，任一点的覆盖概率是一个介于 0 和 1 之间的数，且当 i 恰好与 j 重合时 $d(i, j) = 0$ ，节点的感知概率等于 1。如果节点存在邻居节点，由于邻居节点的感应区域与节点

线

封

密

自身的感应区域存在交叠，所以如果节点 j 落在交叠区域内，则节点 j 的感知概率会受到邻居节点的影响。假设节点 i 存在 N 个邻居节点， n_1, n_2, \dots, n_N ，节点 i 及邻居节点的感知区域分别记为 $R(i), R(n_1), R(n_2), \dots, R(n_N)$ ，则这些感知区域的重叠区域为

$$M = R(i) \cap R(n_1) \cap R(n_2) \cap \dots \cap R(n_N) \quad (3 \text{ 分})$$

假设每个节点对目标的感知是独立的，根据概率计算公式， M 中任一节点 j 的感知概率有以下两种计算方式，分别为

$$G_j = \sum_{k=1}^M p_{kj} - \sum_{1 \leq i < k < j \leq N} p_{ij} p_{kj} + \sum_{1 \leq i < k < j \leq N} p_{ij} p_{kj} p_{1j} - \dots + (-1)^{N-1} p_{1j} p_{2j} p_{Nj}$$

或者

$$G_j = 1 - (1 - p_{ij}) \prod_{k=1}^N (1 - p_{n_k j}) \quad (2 \text{ 分})$$

3. 在轮换活跃/休眠节点的 Self-Scheduling 覆盖协议中会出现盲点的问题，如图 1 所示，在判断节点是否可以休眠时，如果邻居节点同时检查到自身的传感任务可由对方完成并同时进入“休眠状态”，就会出现如图 1 所示的“盲点”。请设计一种机制解决这一问题。

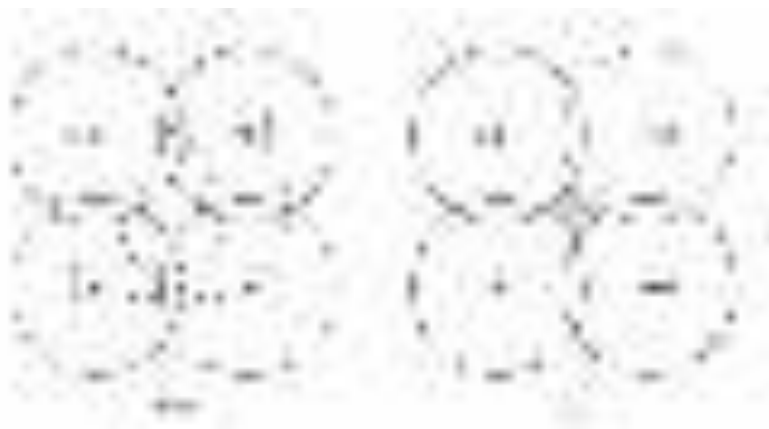


图 1 Self-Scheduling 覆盖协议盲点示意图

答：为了解决这一问题，节点在 Self-Scheduling 阶段检查之前执行一个退避机制（3 分）：每个节点在一个随机产生的时间之后再开始检查工作（2 分）。此外，退避时间还可以根据周围节点密度计算，这样就可以有效地控制网络“活跃”

节点的密度（3分）。为了进一步避免“盲点”的出现，每个节点在进入“休眠状态”之前还将等待一定的时间来监听邻居节点的状态更新（2分）。

4. 图 2 是 S-MAC 基本机制示意图，向上的箭头表示发送消息，向下的箭头表示接收消息。根据对图中通信机制的分析，从节能的角度分析这种机制如何进行改进。



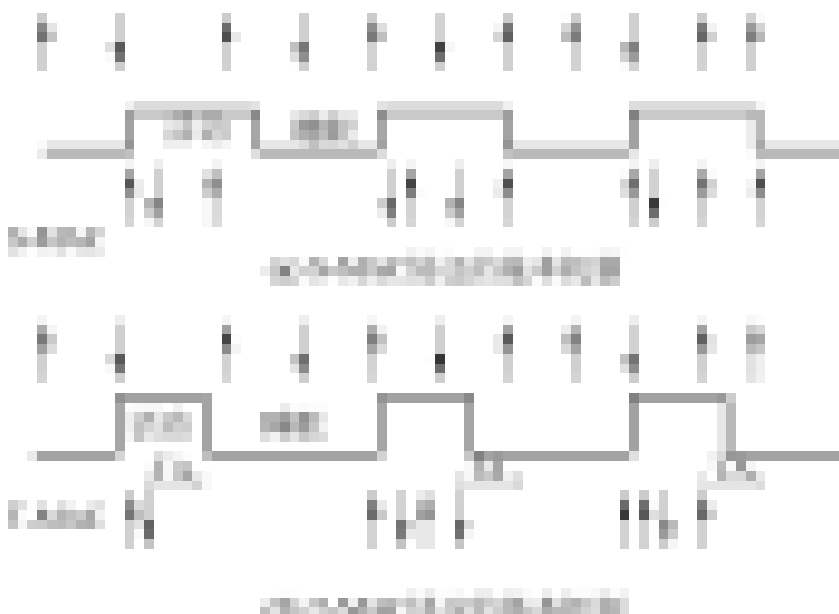
图 2 S-MAC 通信机制示意图

答：S-MAC 协议通过采用周期性侦听/睡眠工作方式来减少空闲侦听。周期长度是固定不变的，节点的侦听活动时间也是固定的。如图 2 所示，向上的箭头表示发送消息，向下的箭头表示接收消息，上面部分的信息流表示节点一直处于侦听方式下的消息收发序列，下面部分的信息流表示采用 S-MAC 协议时的消息收发序列。S-MAC 协议的周期长度受限于延迟要求和缓存大小，活动时间主要依赖于消息速率（2分）。这样就存在一个问题：延迟要求和缓存大小通常是固定的，而消息速率通常是变化的。如果要保证可靠及时的消息传输，节点的活动时间必须适应最高通信负载。当负载动态较小时，节点处于空闲侦听的时间相对增加（3分）。针对这个问题，T-MAC 协议在保持周期长度不变的基础上，根据通信流量动态地调整活动时间，用突发方式发送信息，减少空闲侦听时间（3分）。如图(b)所示，T-MAC 协议相对 SMAC 协议减少了处于活动状态的时间（2分）。

线

封

密



得分	
阅卷人	

二. 理解说明题（每题 10 分，共 40 分）

1. 根据对无线传感器网络 MAC 协议分类方式的理解，你认为最合理的分类方式是哪一种？请阐述理由。

答：MAC 协议较为主流的分类方法是按照信道分配方式来划分的，这也是最符合无线通信最本质的一种分类方法（4 分）。

(1)采用无线信道的随机竞争方式，节点在需要发送数据时随机使用无线信道，重点考虑尽量减少节点间的干扰。（2 分）

(2)采用无线信道的时分复用方式，给每个传感器节点分配固定的无线信道使用时段，从而避免节点之间的相互干扰。（2 分）

(3)其他 MAC 协议，如通过采用频分复用或者码分复用等方式，实现节点间无冲突的无线信道分配。（2 分）

2. 根据对时间同步问题的理解，从物理世界中事件之间的逻辑关系、网络协议、节点定位、能量管理等方面阐述时间同步的必要性。

答：(1) 物理世界中事件之间的逻辑关系方面：WSN 中的传感器检测物理世界对象，并将活动和事件报告给感兴趣的观察者。在传感器密集分布的网络

中,多个传感器将进行同样的活动,并发生同样的事件。这些事件之间精确的时间相关性对于解决下面的问题至关重要:检测到了多少移动的物体,物体向哪个方向移动,以及物体以怎样的速度移动。因此观察者能否为事件建立正确的逻辑顺序非常重要。为了精确地确定物体移动的速度,传感器时间标注的时间差必须与实时时间的的时间差对应。对 WSN 的数据融合而言,这是非常重要的,因为数据融合所关注的是观测相同或者相关事件的多传感器的数据集。而数据融合更深一层的目标是:消除冗余的传感器信息,缩短重要事件的响应时间以及降低对资源的需求(如能源消耗) (2 分)。

(2) 网络协议方面:对于分布式系统中各种应用程序以及算法而言,时间同步也是必需的。这些程序和算法包括:通信协议(例如最多一次消息传递)、安全(例如在基于 Kerberos 的身份验证系统中,限制使用一些特别的关键字,并协助检测重放消息)、数据一致性(缓存一致性和数据复制一致性)以及并发控制(原子性和相互排斥)等 (2 分)。

MAC 协议(例如时分复用),允许多个设备共享一个通信访问介质。将时间分为时隙。再把时隙分配给无线设备,并且每个时隙仅属于一个无线装置。基于 TDMA 方法的优点是:媒体接人可以预测(只允许每个节点在一个或者多个反复出现的时隙发送数据),而且该算法是能量高效的(当节点在一个时隙中既不是发送方也不是接收方时,就进入省电休眠模式)。然而为了实施 TDMA,各节点必须拥有统一的时间视角,也就是说,它们需要知道每个时隙确切的开始和结束时刻 (2 分)。

(3) 能量管理方面:对于能量使用方面,许多 WSN 都依赖于休眠/唤醒机制,这个协议允许一个网络选择性地关闭一些传感器节点或者让一些节点进入低功耗休眠状态。这个协议中,传感器之间的时间协调是非常重要的,因为节点需要知道它们应该何时进入休眠状态,何时被唤醒,从而确保相邻节点之间的唤醒状态相同,保证节点间能够通信 (2 分)。

(4) 节点定位方面:在 WSN 中,需要准确地定位传感器节点或者所监测的对象。许多定位技术都依赖于测量技术来估计节点间的距离。而要检测无线电或者声音信号的传播时间,同步技术是必不可少的 (2 分)。

3. 在如图 3 所示, 已知 A、B、C 三个节点的坐标分别为 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , 节点 D 到 A、B、C 的角度分别为 $\angle ADB$, $\angle ADC$, $\angle BDC$, 假设节点 D 的坐标为 (x, y) 。根据对定位算法的理解, 请说明对 D 点实现定位的过程。



图 3 节点位置示意图

答: 对于节点 A、C 和 $\angle ADC$, 确定圆心为 $O_1(x_{01}, y_{01})$ 半径为 r_1 的圆, $\alpha = \angle AOC$

$$(1 \text{ 分}), \text{ 则 } \begin{cases} \sqrt{(x_{01} - x_1)^2 + (y_{01} - y_1)^2} = r_1 \\ \sqrt{(x_{01} - x_2)^2 + (y_{01} - y_2)^2} = r_1 \\ (x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2 = 2r_1^2 - 2r_1^2 \cos \alpha \end{cases} \quad (3 \text{ 分}), \text{ 由该式能够计}$$

算得到圆心 $O_1(x_{01}, y_{01})$ 点的坐标和半径 r_1 (2 分)。同理 A、B 和 $\angle ADB$ 和 B、C 和 $\angle BDC$ 分别确定相应的圆心 $O_2(x_{02}, y_{02})$ 、圆心 $O_3(x_{03}, y_{03})$ (2 分)。最后使用三边测量法, 由点 $D(x, y)$ 、 $O_1(x_{01}, y_{01})$ 、 $O_2(x_{02}, y_{02})$ 和 $O_3(x_{03}, y_{03})$ 确定节点 D 的坐标 (2 分)。

4. 根据对 ZigBee 网络协议的理解, 分析该网络所支持的网络拓扑结构, 并说明这些拓扑结构之间的区别。

答: (1) ZigBee 网络支持两种网络拓扑结构: 星型拓扑结构和对等拓扑结构 (2 分)。

(2) 两种拓扑结构之间的区别:

星形拓扑结构的网络由一个协调器节点和若干从设备节点组成, 协调器必须为一个具有完整功能的设备, 从设备既可为完整功能设备也可简化功能设备。协调器负责网络的建立维护和数据转发, 从设备只能和协调器进行直接数据传输, 而与其他终端设备之间数据传输必须经过网络协调器转发。星形结构通常用于小范围的场合。 (4 分)

在对等拓扑网络结构中，同样也存在一个 PAN 主设备，但该网络不同于星型拓扑网络结构，该网络中的任何一个设备都可以与其通信范围内的其它设备进行通信。对等拓扑网络结构能够构成较为复杂的网络结构，例如网状拓扑网络结构。相比星型网络拓扑结构，对等网络允许网络中任意设备间进行多跳传输消息，因此对等网络拓扑结构可以大大增加网络的覆盖范围。（4 分）

得分	
阅卷人	

三. 设计应用题（每题 10 分，共 20 分）

1. 根据所学内容，选择适当的传感器和通信方式，结合实际应用场景，设计一个智能家居应用系统的无线传感器网络方案（要求包括各类感知设备、执行设备、通信方式、管理平台等内容），并画出其结构图，同时说明实施这一方案的难点和关键技术。

答：(1) 智能家居应用系统的无线传感器网络方案（5 分）：

智能家居系统可选择的网络拓扑结构有三种：星型、树状和网状。在该系统中网络协调器的通信距离可以覆盖正常的家庭居住环境，所有终端节点均可直接与协调器通信，终端节点与传感器和控制器连接，传输环境数据和控制命令，数据量都很小，采用星型网络拓扑结构完全可以满足系统要求，并且有控制简单，故障诊断容易，不涉及路由寻址等优点。在 ZigBee 网络中协调器和路由节点要求是全功能设备，信息采集和控制节点则只需是精简功能设备，它们只能与 ZigBee 网络协调器通信，相互之间不能通信，一个基于 ZigBee 技术的智能家居系统应包括以下 6 个部分。

1)网络协调器:主要负责建立和管理网络,接收从终端节点获取到的数据或向终端节点发送控制命令,以及与智能网关或上位机通信获取网关或上位机发送来的控制命令或上传终端节点采集到的数据。

2)信息采集节点:网络终端节点分为采集节点和控制节点两种，采集节点负责采集各种传感器或门磁等装置的状态变化信息。

3)控制节点:控制节点通过执行接收网络协调器发送来的命令实现对所连接的家居设备的控制。

线

封

密

4)路由节点:路由节点负责扩展网络覆盖范围及数据转发功能,可使更多的设备加入网络。

5)PC:用于扩展系统功能,PC 可以显示网络协调器接收到的信息或向网络协调器发送控制命令,同时可以通过以太网向远程 PC 传送数据。

6)智能网关:智能网关除实现上位机功能外,还可以接入短信模块,实现 ZigBee 网络与广域无线网的融合,用户可以通过手持终端接收信息或发送控制命令。

系统需要设计的功能模块包括 ZigBee 无线通信模块、温湿度采集模块、光照采集模块、可燃气体监测模块、空气质量监测模块、红外入侵监测模块、门磁模块、窗帘无线控制模电子锁无线控制模块等。

在智能家居系统中,由于终端节点数目较多,多个终端节点同时发送数据可能造成数据丢失现象。所以应根据各节点具体任务的不同设置不同的任务优先级,以保证优先级高的任务的可靠性。涉及安防监控的节点的优先级应该最高,包括红外入侵监测、门磁感应、可燃气体监测等;控制节点的优先级次之,包括窗帘无线控制和电子锁无线控制;温湿度采集、光照采集、空气质量监测等环境状态信息采集任务的优先级设置为最低。

在系统中,网络协调器通过电源直接供电,信息采集节点和控制节点大多采用两节干电池供电,所以在设计和使用中应尽量减少使用电池的节点的工作时间,以延长节点的使用。

(2) 结构图 (2 分)



(3) 方案实施的难点和关键技术包括以下四个方面（3分）：

1)集中控制技术:以单片机为核心,集成外围接口单元。但由于系统容量限制,安装完毕之后扩展增加控制回路比较困难。拓扑结构主要是星型结构。

2)现场总线技术:主要由电源供应器、双绞线和功能模块三个基本部分组成,模块只要接入总线就可以加入系统,可扩展性较强。拓扑结构主要采用星型与环型。

3)电力载波技术:将 120kHz 的编码信号加载到 50Hz 的电力线上,由发射设备将高频信号送给接收器,其优点是直接通过预设电力线进行信号传输,即插即用,使用方便。拓扑结构可以根据需求进行动态变化。

4)RF 无线射频技术:利用无线射频技术,在电器上增加无线通信等功能,使得智能家居布设简单,成本降低,使用方便。其拓扑结构和电力载波技术一样,都可以根据需求进行动态变化。

2. 根据多网融合体系结构的理解,设计一种无线传感器网络接入 Internet 的体系架构,并说明各部分的主要任务。

答: (1) 无线传感器网络接入 Internet 的体系架构如下图所示（6分）。



(2) 各部分的主要任务如下 (4 分) :

1). 接入网关设计

目前,传感器网络主要使用两种网络地址形式:节点 ID 和节点位置。Internet 主机使用 IP 地址唯一标识自己。传感器网络接入 Internet 首先必须解决网络层的接入问题。为了实现异构网络的接入,在传感器网络和 Internet 之间部署协议转换网关(称为 WSN- Internet 网关)。WSN-Internet 网关包括以下几个部分:Internet→WSN 数据包转换 WSN→Internet 数据包转换以及为服务访问提供支撑服务提供、服务注册、位置管理和服务管理。

2). Internet→WSN 数据包转换

在将 Internet 数据包转化成传感器网络数据包的过程中,存在两种地址转换类型:基于 IP 地址发现和基于数据信息发现。在基于 IP 地址发现中,WSN-Internet 网关根据 Internet 数据包的 IP 来检索 IP 映射表,确定目的传感器节点的 ID/位置。在基于数据信息发现中,WSN-Internet 网关提取数据包的数据信息,通过检索信息服务表,确定目的传感器节点 ID/位置。在将转换后的数据包发送给传感器网络之前,将原始的 Internet 数据包和转换后的数据包存储在 IP 地址-传感器节点映射记录表中。其目的是为传感器网络的响应数据包转换成 Internet 数据包提供地址映射。

3). WSN→Internet 数据包转换

当接收到来自传感器网络的响应用户的数据包时,WSN-Internet 网关使用数

据包中包 D/位置在 IP 地址传感器节点映射表中查找先前转换的传感器网络数据包, WSN-Internet 网关能够发现最初的 Internet 数据包,并得到用户 IP 地址, 然后创建一个新的 Internet 响应数据包。

4). 数据包转换表生成

在上述的数据包转换过程中,需要在网关建立三张映射表,分别为信息服务表、IP 映射表和 IP 地址-传感器节点映射表。这三张表是数据包转换的依据, 由 WSN-Internet 网关负责生成和维护。