

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（B 卷）

（适用专业年级：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. 根据对传感器网络和无线自组网的理解，说明二者之间的主要不同之处。

答：传感器网络虽然与无线自组网有相似之处，但同时也存在很大的差别，主要表现在如下三个方面：

(1)传感器网络是集成了监测、控制以及无线通信的网络系统，节点数目更为庞大(上千甚至上万)，节点分布更为密集。（3 分）

(2)由于环境影响和能量耗尽,节点更容易出现故障,环境干扰和节点故障易造成网络拓扑结构的变化，通常情况下,大多数传感器节点是固定不动的。（3 分）

(3)传感器节点具有的能量、处理能力、存储能力和通信能力等都十分有限。传统无线网络的首要设计目标是提供高服务质量和高效带宽利用，其次才考虑节约能源;而传感器网络的首要设计目标是能源的高效使用,这也是传感器网络 and 传统网络最重要的区别之一。（4 分）

2. T-MAC 的通信机制示意图如图 1 所示,假设数据传输方向是 A→B→C→D,如果节点 A 通过竞争首先获得发送数据到节点 B 的通信机会,节点 A 就发送 RTS 消息给节点 B,节点 B 应答 CTS 消息。节点 C 收到节点 B 发出的 CTS 消息而转入睡眠状态,并在节点 B 在接收完数据后醒来,以便接收节点 B 发送给它的数据。而节点 D 不知道节点 A 和 B 的通信存在,在节点 A→B 的通信结束后已经处于睡眠状态,这样,节点 C 只有等到下一个周期才能传输数据到节点 D。请分

析这种通信方式带来的问题，并提出解决问题的方法。

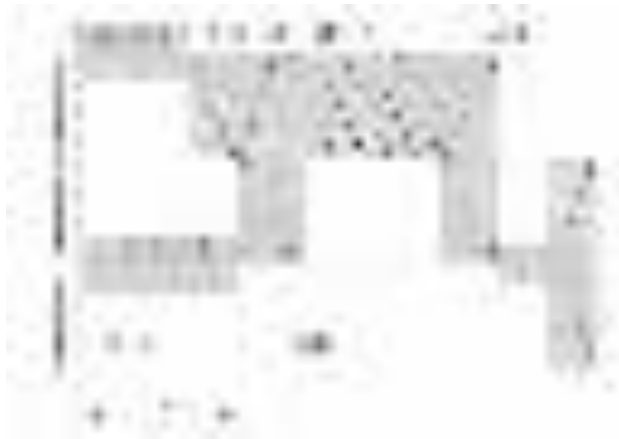


图 1 T-MAC 通信协议示意图

答：这种通信延迟称为早睡问题（3 分）。T-MAC 协议提出两种方法解决早睡问题（说出一种方法即可）。

第一种方法称为未来请求发送(Future Request-To-Send, FRTS)（2 分）。当节点 C 收到 B 发送给 A 的 CTS 分组后,刻向下一跳的接收者 D 发出 FRTS 分组。FRTS 分组包含节点 D 接收数据前需要等待时间长度,节点在睡眠相应时间后醒来接收数据。由于节点 C 发送的 FRTS 分组可干扰节点 A 发送的数据,所以节点需推迟发送数据的时间。节点 A 通在接收到 CTS 分组后发送一个与 FRTS 分组长度相同的 DS(Data Send)分组实现对信道的占用。DS 分组不包含有用信息。节点 A 在 DS 分组之后开始发送正常的的数据信息。FRTS 方法可以提高吞吐量,但 DS 分组和 FRTS 分组带来了额外的通信开销（5 分）。

另一种方法称作满缓冲区优先(Full Buffer Priority)（2 分）。当节点的缓冲区接近占满时,对收到的 RTS 不作应答,而是立即向目标接收者发送 RTS 消息,并传输数据给目标节点,节点 B 向节点 C 发送 RTS 分组,节点 C 对其缓冲区不发送 CTS。而是向节点 D 发送 RTS,将它的数据发送给节点 D。这个方法的优点是减少了早睡问题发生的可能性,并起到一定的网络流量控制作用,带来的问题是增加了冲突的可能性（5 分）。

3. 社会经济主体对社会经济资源存在竞争行为，从这一观点出发，分析这种竞争行为对无线传感器网络覆盖控制的启示意义。

线

封

密

答：基于市场竞争行为的无线传感器网络连接与覆盖算法就是通过研究人类社会市场竞争行为提出的用于无线传感器网络连接与覆盖问题的控制算法(3分)。该方法把传感器网络中的节点类比为市场竞争中的经济主体，把目标监测区域类比为经济资源，把对传感器网络所做的优化配置类比为市场竞争行为对经济资源优化配置(3分)。将人类社会经济活动中通过市场竞争实现资源优化配置的方法应用到无线传感器网络的节点部署，降低节点的计算量、移动距离及信息复杂度，以提高无线传感器的行动效率，并间接达到省电的目的(4分)。

4. 图2中A、B、C分别为三个无线节点，A和C都在B的覆盖范围内，因此A与B、C与B之间均可互相通信，但同时A和C互相不在对方的覆盖范围之内，分析节点A和C与B通信时可能产生的问题，并提出解决这一问题的方法。

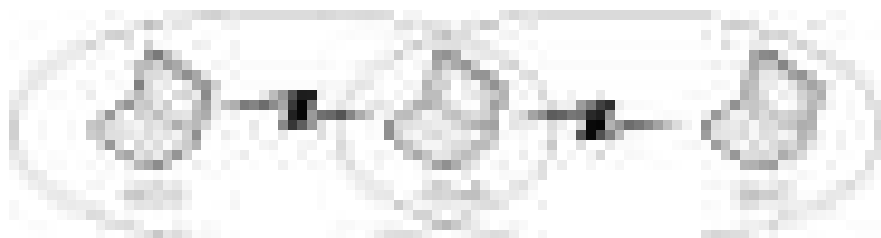


图2 节点位置示意图

答：A和C互相不在对方的覆盖范围之内，即A与C不可直接通信。当A同时监测到信道空闲时，会同时发送数据，从而在B处引起冲突，这就是隐蔽终端问题。(3分)

为了解决这种隐蔽终端问题，DCF可利用RTS和CTS两个控制帧来进行信道预约。这种机制是可选的，但是每个IEEE 802.11协议网络中的节点都必须支持此功能，以保有相应的RTS/CTS控制帧。(2分)

在等待一个DIFS及退避计数器指向零时，发送站首先发送一个RTS帧，RTS帧的优先级与其他数据帧相同。RTS帧中包含数据帧的接收站地址和整个数据传输的持续时间。在这里持续时间指的是传输整个数据帧和其应答帧的所有时间。收到这个RTS帧的节点都根据其持续时间域(Duration Field)来更新自己的NAV。接收站在收到RTS帧之后，等待一个SIFS，再用一个CTS帧进行应答。CTS帧内也包含持续时间域。所有接收到CTS帧的节点必须再次更新各自的NAV。

收到 RTS 和 CTS 的节点集合不一定完全重叠，那么在所有发送站和接收站覆盖范围内的节点都会收到通知，在发送信息之前必须等待一段时间，即信道在这段时间内被唯一地分配给了抢占到信道的发送站及其接收站。（3 分）

在发送站和接收站进行了 RTS/CTS 握手之后，经过一个 SIFS，发送站开始传输数据帧。接收站在收到数据帧之后等待一个 SIFS，用 ACK 帧进行应答。此时传输过程已经完成，发送站及接收站覆盖范围内的节点中的 NAV 值指向零，各节点进入下一轮信道争用。（2 分）

得分	
阅卷人	

二. 理解说明题（每题 10 分，共 40 分）

1. 下面图 3 是 IEEE802. 11 的两种网络拓扑结构，其中（a）图是 AhHoc 的网络组成结构，（b）图是基础结构网络，根据对两种网络形式的理解，说明二者的特点和主要区别。



（a）AdHoc 网络



（b）基础结构网络

图 3 IEEE802. 11 的两种网络拓扑结构

答：AdHoc 网络的具体含义就是由若干带无线收发装置的移动终端组成的一个多跳的临时自治网络系统，如图 3(a)所示。移动终端(节点)既是主机也是路由器,具有路由功能,可以通过无线连接形成多种网络拓扑。同时，一个移动终端与另一个移动终端或多个移动终端进行直接通信而不需要访问有线网络中的资源，是最简单的无线局域网络结构。组成 AdHoc 网络的节点通常是具有移动性的，它们可能是以任意的移动速度和模式运动，也可能随时开机或者关机，也可能使用不同的发射功率进行通信。同时，随着节点运动到的地理位置的不同，无线信道受到的干扰和信号衰减也会改变。这些因素都可能成为 AdHoc 网络拓扑发生改变的原因,对 AdHoc 网络拓扑形成影响。（5 分）

线

封

密

基础结构网络形式又称有中心的网络，它要求一个无线接入点(AP)充当中心站点,负责移动终端的管理以及协调无线与有线网络之间的通信，如图 3(b)所示。AP 应该自动在数据链路层对有线和无线局域网的帧进行重新格式化并进行新的差错检验计算，无须管理人员装入参数以及路径表，然后送至物理层，并通过物理介质转发到另一个局域网。另外，当网络中增加或删除节点时，AP 可以自适应地调整其内部逻辑结构。（5 分）

2. 最简单的两两时间同步是在两个节点之间同步时只用一个消息，也就是一个节点发送一个时间戳给另一节点。如下图 4 所示， t_1 时刻，节点 i 向节点 j 发送一个同步消息，将时间 t_1 作为时间戳嵌入其中，当 j 收到消息时，从本地时钟取得一个时间戳 t_2 。以 t_1 和 t_2 两个时间戳的差作为 i 和 j 之间的时钟偏移的一个量度，但这种同步方式存在一个明显的缺点，请指出这个缺点，并给出一种两两同步的改进措施。



图 4 两两同步示意图

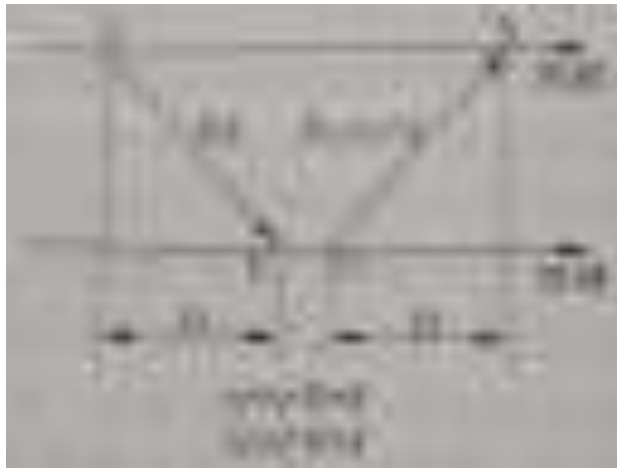
答：

(1)缺点（4 分）：

单向消息不能够确定传播延时，在频偏中无法准确消除频偏的影响，一般把它忽略或把它作为一个特定值处理，影响了频偏的准确性。

(2)改进措施（6 分）：

另一种更加准确的方式是采用两个同步消息，如下图所示。



在 t_3 时刻, j 给 i 一个包含时间戳 t_1 、 t_2 、 t_3 的回复消息。在 t_4 时刻, i 接收到第二个消息时, 在假定传播延时为固定值时, 两个节点都能确定频偏。然而, 节点 i 能更准确地确定传播延时和频偏 (3 分)。

$$D = \frac{(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3)}{2}$$

$$\text{offset} = \frac{(t_2 - t_1) - (t_4 - t_3)}{2}$$

需要注意的是, 这里假设传播延时在两个方向上都是相同的, 并且在时间的量度尺度上, 时钟漂移并不改变(因为时间单位的跨度很短, 所以认为频偏是一致的)。尽管只有 i 有足够的信息确定频偏, 但是它可以在第三个消息中与节点 j 共享 (3 分)。

3. 无线传感器网络的能量管理主要体现在传感器节点电源管理和有效的节能通信协议设计上, 根据节能策略的理解, 在采取休眠机制的基础上, 还可以采取什么策略进行节能?

答: 相对于计算所消耗的能量, 无线通信所消耗的能量要更多。通常传感器节点采集的原始数据的数据量非常大, 同一区域内的节点所采集的信息具有很大的冗余性 (3 分)。通过本地计算和融合, 原始数据可以在多跳数据传输过程中进行处理, 仅发送有用信息, 有效地减少通信量 (3 分)。数据融合的节能效果主要体现在路由协议的实现上。路由过程的中间节点并不是简单地转发所收到的数据, 由于同一区域内的节点发送的数据具有很大的冗余性, 中间节点需要对这些数据进行数据融合, 将经过本地融合处理后的数据路由到汇聚点, 只转发有用的

信息。数据融合有效地降低了整个网络的数据流量，从而可以实现节能的目的（4分）。

4. 在自由空间中，距发射机 d 处的天线接收到的信号强度为：

$$p_r(d) = \frac{p_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 l}$$

式中， p_t 为发射机功率， $p_r(d)$ 为发射机功率为在距离 d 处的接收功率； G_t 、 G_r 分别为发射天线和接收天线的增益； d 为距离； l 为与传播无关的系统损耗因子； λ 为波长。

从接收到的信号强度的公式分析无线通信的能量消耗与距离的关系以及传感器网络数据传输的特点。

答：根据信号传播理论，由无线信号发射功率和接收功率之间的关系式可计算得到距离 d 值的估计值。已知发射功率，在接收节点测量接收功率，计算传播损耗，使用理论或经验的信号传播模型将传播损耗转化为距离。由接收信号强度的公式可知，在自由空间中，接收机功率随发射机与接收机距离的平方衰减。通过测量接收信号的强度，就能计算出收发节点间的估计距离。（5分）

传感器网络数据传输的特点：实际应用中的情况要复杂得多，尤其是在分布密集的无线传感器网络中。反射、多径传播、非视距(NLOS)、天线增益等问题都会对相同距离产生显著不同的传播损耗。（5分）

得分	
阅卷人	

三. 设计应用题（每题 10 分，共 20 分）

1. 根据蔬菜大棚应用场景需求，选择适当的传感器和通信方式，设计一个智慧蔬菜大棚的物联网应用解决方案（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) 基于 ZigBee 的智能大棚控制无线传感器网络方案 (5 分) :

可选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大棚种植环境,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 技术的智能大棚控制系统应包括以下 8 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大棚环境调控设备的实时控制。

4) 嵌入式 Linux 处理器:用于扩展系统功能,嵌入式 Linux 处理器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,同时可以通过网关向远程用户传送数据。

5) 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。

6) 数据可视化模块:嵌入式 Linux 处理器在本地图形用户界面实时显示上述环境信息,并将上述环境信息通过网关一方面上传至服务器供用户通过浏览器实现远程访问,一方面通过 GSM 短信收发模块供用户通过短信指令进行查询。

7) 数据异常报警模块:当环境信息参数超出正常范围时,通过本地和远程用户界面显示报警信息,并向用户发送报警短信。

8) 专家系统模块:将温室大棚环境信息和大棚内农作物的生长信息以适当频

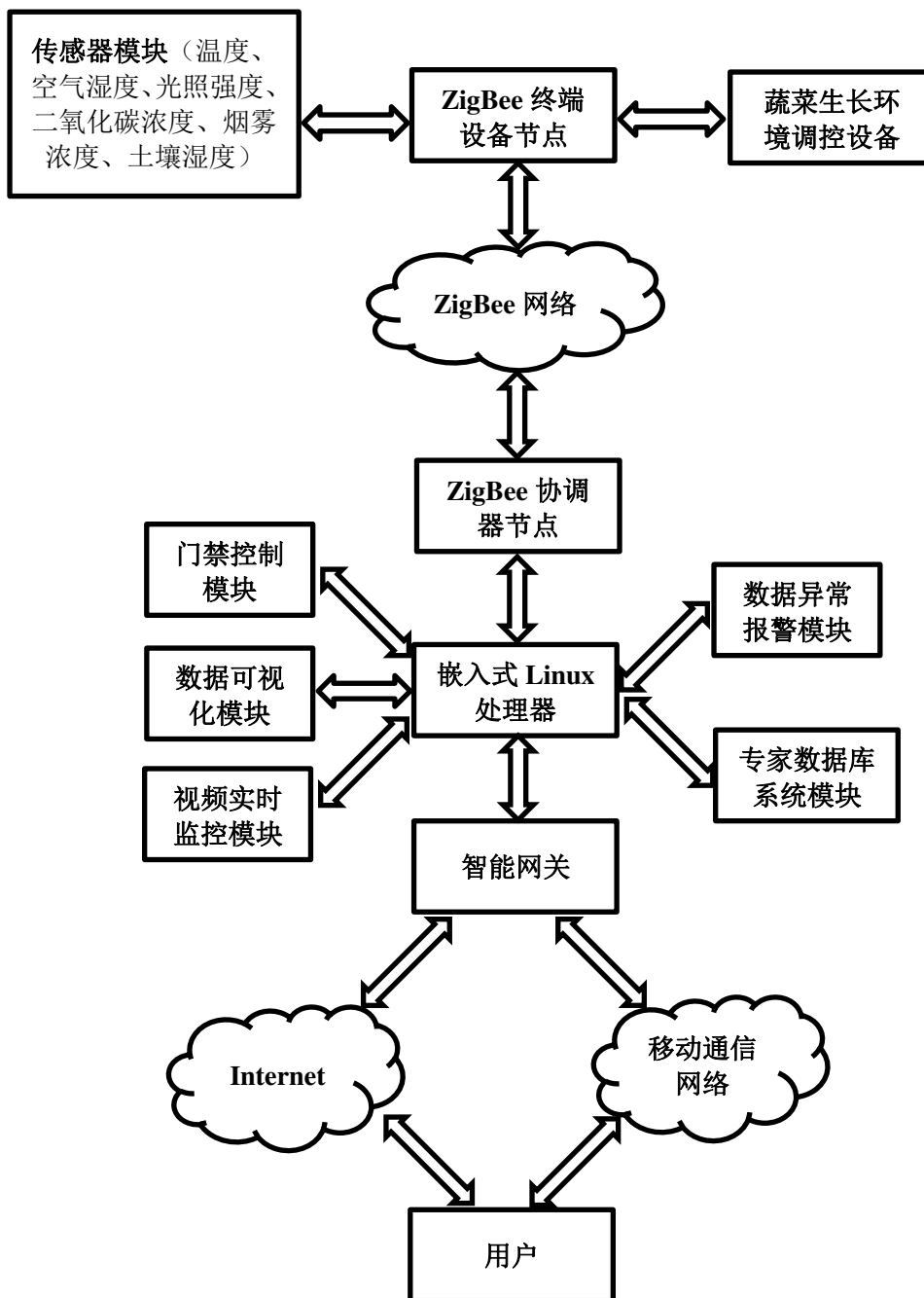
率存储至数据库，建立专家知识库，挖掘环境数据和作物生长数据之间的关联，总结历史经验，提高温室大棚控制系统服务效率，进而提高农作物产量和质量。

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、光照强度采集模块、可燃气体监测模块、空气质量监测模块、土壤湿度监测模块、红外入侵监测模块、智能灌溉模块、智能调温调光模块、专家数据库系统模块、门禁控制模块、数据可视化模块、实时视频监控模块、智能网关模块、数据异常报警模块等。

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。

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。

线

封

密

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. 如图 5 所示,未知节点 D 到三个锚节点 A、B、C 的距离已经过测量得到,三个锚节点的坐标已知,请设计算法,计算 D 节点的坐标(各种参数自行设置并说明)。

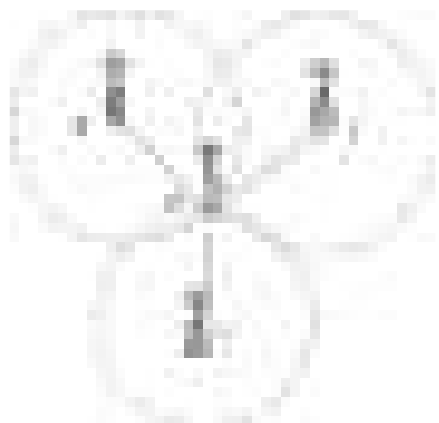


图 5 坐标位置示意图

答: 假设 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) , 它们到未知节点 D 的距离分别为 d_1 、 d_2 、 d_3 , 假设节点 D 的坐标为 (x, y) (3 分), 那么存在下列公式 (3 分):

$$\begin{cases} \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} = d_1 \\ \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} = d_2 \\ \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} = d_3 \end{cases}$$

由上式得到节点 D 的坐标为 (4 分)

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_3)2(y_1 - y_3) \\ 2(x_2 - x_3)2(y_2 - y_3) \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_3^2 + y_1^2 - y_3^2 + d_3^2 - d_1^2 \\ x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 + d_3^2 - d_2^2 \end{bmatrix}$$