

文章编号 1004-924X(2008)02-0325-08

基于无线传感网扩频通信的跨层 CSMA 多用户接入

付耀先, 姜 华, 刘海涛

(中国科学院 上海微系统与信息技术研究所 无线传感网与通信重点实验室, 上海 200050)

摘要:给出了支持扩频环境下多用户接入的简单的节点实现方案。对异步扩频通信系统中的载波侦听多址接入(CSMA)碰撞机制进行了改进,通过建立协议层和物理层的联系减小碰撞概率,实现了多用户基本同时的信息交互。其基本思想是:根据侦听到的信号的扩频码相位,调整自身扩频码的移位相位,使不同信息发送节点到达同一接收节点的扩频码相位不同,从而使接收节点可基于同一扩频码来实现多用户分辨接收。该方案使系统在复杂程度增加不大的情况下,具有多用户接入能力。

关 键 词:传感网;跨层协议;多用户

中图分类号:TN915 **文献标识码:**A

Cross-layer CSMA multi-user access based on spreading communication system in wireless sensor network

FU Yao-xian, JIANG Hua, LIU Hai-tao

(Key Laboratory of Wireless Sensor Network & Communication, Shanghai Institute of Micro-system and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract: Wireless Sensor Network (WSN) is an asynchronous communication network based on limited energy nodes working in a bad communication circumstance. An improved Carrier Sense Multiple Access(CSMA) in a spread communication WSN system is discussed, and the collision probability is reduced by connecting MAC layer and physical layer, so the multi-user access with little increase of system complexity is realized. The basic idea of the scheme is to adjust the phase of sending signal according to the phase of listened signal so that the received signals from different users have different phases for distinguishing different signals. Thus the system has the capability of multi-user access without much increasing system complexity.

Key words: Wireless Sensor Network(WSN); cross-layer MAC; multi-user

1 引 言

无线传感网(Wireless Sensor Network,

WSN)由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成,每个传感节点都具有信息感知能力(通过传感器感知不同的信息)和无线通信能力(无线收发模块),能对监测区域内的信息进行采

集和基本的处理,并通过无线通信方式进行信息的交互和融合,形成一个具有信息收集、融合能力的自组织网络系统。传感器网络具有十分广阔的应用前景,在军事国防、工农业、城市管理、生物医疗、环境监测、抢险救灾、反恐反恐、危险区域远程控制等许多重要领域都有潜在的实用价值,已经引起了许多国家学术界和工业界的高度重视,被认为是 21 世纪产生巨大影响力的技术之一。

WSN 由于应用领域广泛且大规模散布,因此存在着传输环境恶劣多变且存在内部干扰的问题,扩频通信体制是 WSN 中常用的传输手段。目前被广泛接受的 802.15.4 中扩频的主要目的是在系统复杂程度增加不多的情况下减少多径影响,所有节点采用相同的短码扩频,以减少系统设计复杂程度为基本设计准则。但实际上,单纯的物理层设计简化并不代表整体系统的简化和能耗最低。传感网的整体能耗是和协议层密切相关的。传感器节点无效功耗主要有以下 4 个来源:(1)空闲侦听:节点不知道邻居节点何时向自己发送数据,射频模块必须一直处于接收状态,消耗大量的能源,这是无效功耗的最主要来源;(2)冲突:同时向同一节点发送多个数据帧,信号相互干扰,接收方无法准确接收,重发造成能量浪费;(3)串扰:接收和处理发往其他节点的数据属于无效功耗;(4)控制开销:控制报文不传送有效数据,消耗的能量对用户来说是无效的。因此在某些环境中,允许系统复杂度在一定程度上提升,以获得整体系统中其它性能的提升。Bao Hua Li 等人考虑了无线传感器网络在低数据率应用场景下的问题,提出了 CSMAC 协议,采用 CDMA 作为多用户接入的主要方式并采用频分来避免功率控制的 MAI 问题,以减小碰撞,起到了较好的避免冲突和减小串扰的效果。但在该方案中,所有节点均需了解邻居节点的扩频码字,并针对这些扩频码字进行捕获接收。在移动环境下,特别在周围的邻居节点不断变换的情况下,将会造成协议上的较多开销,同时对多个扩频码字的捕获也较大地增加了系统的复杂程度和空闲侦听时间。

本文考虑无线传感器网络在高扩频增益低数据率应用场景下,以简单的节点实现方案减小碰撞的问题,该方案中,所有节点均采用同一扩频码字进行通信,通过对异步扩频通信系统中的载波侦听多址接入(CSMA)碰撞机制进行改进,建立协

议层和物理层的联系来减小碰撞概率,实现多用户基本同时的信息交互。通过该方式可减小在邻居节点扩频码问题上的协议开销和扩频接收机的复杂程度,同时可缩短空闲侦听的时间。

本文给出协议的基本思想,分析物理层的可实现性,并给出系统的实现方案和结果。

2 系统设计原理

2.1 跨层协议与系统框架

CSMA 是一类典型的异步无线接入协议,其基本思想是在信息发送之前,先进行对信道占用的检测来减少分组传输中的冲突,根据不同的监听策略,CSMA 分为非坚持、1 坚持和 P 坚持三种,其中非坚持在吞吐量、时延和实现难度等方面具有较好的综合表现,因此得到了广泛应用。将 CSMA 协议思想和扩频通信的物理层结合,通过侦听到的信号的相位调整发送信号的相位,使不同信息发送节点到达同一接收节点的扩频码的相位不同,从而使接收节点可实现多用户分辨接收。

协议的基本思想为:

if 节点有信息发送

 信息帧听(进行扩频信号捕获);

 if 无信号

 发送;

 else if 有信号(捕获到信号,出现相关峰值)

 根据相关峰出现位置确认捕获到信号相位 p ;

 延迟本机发送信号相位,使其和接收到信号相位存在相位差 Δp ,即发送信号为 $p + \Delta p$;

 end

end

下面说明协议思想在系统中的实现。图 1 描述了基于伪随机码扩频的异步通信方式,示意了 4 个节点。图中所示时刻,节点 0 为接收节点,节点 1~3 为随机触发的信息发送节点,均向节点 0 发送信息。所有节点均采用相同伪随机码进行扩频。

在系统中,节点采用的伪随机码由多个短伪随机码构成,如图 1(b)所示。

通信方式如下(为描述方便,假设节点 1,2,3

顺次向节点 0 发送信息,如图 1(a)所示):

在时刻 0,节点 1 有信息待发送,它首先进行信息侦听,侦听结果如图 1(c)中 1 处所示(图中带箭头的实线表示侦听到存在信号的相关峰位置,带虚线的箭头表示节点发送信号的情况)。节点 1 未侦听到空间中存在任何信息,因此可随机挑选发送时刻,设其在时刻 0 开始发送信息,如图 1(b)所示。

此时,节点 2 被触发唤醒,开始发送信号。与节点 1 相同,节点 2 首先进行信息侦听。由于节点 1 此时正处于信息发送阶段,其相关峰被节点 2 侦听获得,侦听结果如图 1(c)中 2 处所示。节点 2 根据侦听结果,选择其后保护间隔外的相位延时进行信息发送,如图中虚线所示。

而节点 3 被触发唤醒时,将侦听到节点 1 和节点 2 信息发送的情况,同理选择最后一个相关峰位置(此时为节点 2 的相关峰位置)后的保护间隔外的相位延时进行信息发送。如图 1(c)中 3 处所示。

则此时对于节点 1,将收到三个扩频码相同,而扩频码相位不同的信号,接收端可根据相位的不同区分扩频码,从而实现用户信息区分。

通过该方式,可建立多个基本同时进行信息传输的节点。在不超过最大用户数限制的情况下,用户容量可根据长伪码周期和保护间隔来进行设置。

2.2 物理层可行性分析

下面分析上述接收方式在物理层的可实现性。

2.2.1 发送端信号

直接序列扩频系统发送的电波中包含了快速变化的伪随机序列(Pseudo Noise, PN)信息及待传送的信息码元,设扩频通信系统中单个用户发送的扩频信号为:

$$S(t) = D(T)C(t), \quad (1)$$

$D(T)$ 为二进制的待传送信息(为 0 时映射为 -1,为 1 时映射为 1),且存在 $T = mt$,其中 m 为扩频因子。

$C(t)$ 为扩频的伪随机序列映射后的结果,和传送信息一样,映射为随机出现的 1 和 -1,但信息切换频率远高于待传送信息:

$$C(t) = \begin{cases} 1 & t = \text{rand} \\ -1 & \text{其它} \end{cases}, \quad (2)$$

其中,rand 表示根据一定规律随机出现。

适应扩频通信的伪随机序列应具有良好的自相关特性,而互相关函数应接近于 0。

2.2.2 单个用户到达接收端的信号

考虑到系统频偏及多普勒频移的影响。

系统接收到的信号为:

$$R(t) = D(T)C(t)\cos(\omega t + \tau), \quad (3)$$

本地载波为:

$$I_c(t) = \cos[(\omega + \Delta\omega)t], \quad (4)$$

$$Q_c(t) = \sin[(\omega + \Delta\omega)t], \quad (5)$$

则

$$I(t) = \text{LFP}[R(t)I_c(t)] = D(T)C(t)\cos(\Delta\omega t + \tau), \quad (6)$$

$$Q(t) = \text{LPF}[R(t)Q_c(t)] = D(T)C(t)\sin(\Delta\omega t + \tau). \quad (7)$$

2.2.3 多个用户到达接收端的信号

多个用户时,设每个用户的相位起始位置均不一样,且到达频率偏差一致,则

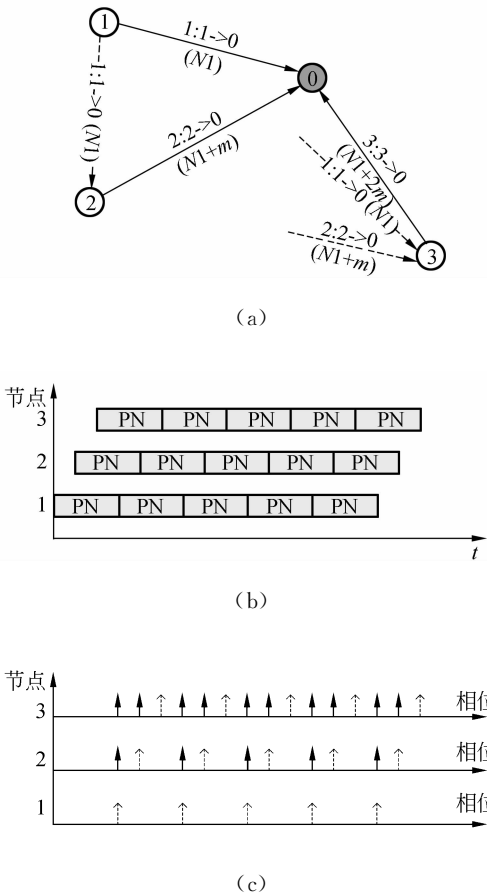


图 1 改进的 CSMA 与系统实现示意图

Fig. 1 Improved CSMA and system realization

$$I(t) = \text{LPF}[R(t)I_c(t)] = \sum_{i=1}^M A_i D_i(T) C(t - n_i) \cos(\Delta\omega_i t + \tau_i), \quad (8)$$

$$Q(t) = \text{LPF}[R(t)Q_c(t)] = \sum_{i=1}^M A_i D_i(T) C(t - n_i) \sin(\Delta\omega_i t + \tau_i). \quad (9)$$

2.2.4 相关处理及分析

以与本地码进行相关处理为例。

为本地相关伪随机码为 $L(t) = C(t+n)$ ，其中， n 与接收信号中包含的伪随机码间的相位差。

将接收到信号和本地伪随机码进行相关处理：

$$R_i(T, m) = \int_{kT}^{(k+1)T} I(t)L(t-m) dt \quad k = 0, 1, \dots, \quad (10)$$

$$R_Q(T, m) = \int_{kT}^{(k+1)T} Q(t)L(t-m) dt \quad k = 0, 1, \dots, \quad (11)$$

其中， T 为信息码元持续时间。

$$R_i(T, m) = D_i(T) \sum_{i=1}^M A_i \int_{kT}^{(k+1)T} C(t - n_i) C(t + n - m) \cos(\Delta\omega_i t + \tau_i) dt, \quad (12)$$

$$R_Q(T, m) = D_i(T) \sum_{i=1}^M A_i \int_{kT}^{(k+1)T} C(t - n_i) C(t + n - m) \sin(\Delta\omega_i t + \tau_i) dt. \quad (13)$$

当 $n = m - n_p$ 时，

$$R_i(T, n) = A_n D_p(T) T \int_{kT}^{(k+1)T} \cos(\Delta\omega_n t) dt + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^M A_i D_i(T) \int_{kT}^{(k+1)T} C(t - n_i) C(t + n - m) \cos(\Delta\omega_i t) dt, \quad (14)$$

$$R_Q(T, n) = A_n D_p(T) T \int_{kT}^{(k+1)T} \sin(\Delta\omega_n t) dt + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^M A_i D_i(T) \int_{kT}^{(k+1)T} C(t - n_i) C(t + n - m) \sin(\Delta\omega_i t) dt. \quad (15)$$

2.2.5 信号捕获处理分析

在 T 相对 $\Delta\omega_n$ 足够小时，有

$$\int_{kT}^{(k+1)T} \sin(\Delta\omega_n t) dt \approx \sin(\Delta\omega_n kT), \quad (16)$$

$$\int_{kT}^{(k+1)T} \cos(\Delta\omega_n t) dt \approx \cos(\Delta\omega_n kT). \quad (17)$$

根据伪随机码的特性，其互相关值趋向于 0，

可得：

$$R = \sqrt{R_i^2 + R_Q^2} \approx \left| A_n D_p(T) T + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^M A_i D_i(T) \Delta\sigma \right|, \quad (18)$$

其中， M 为用户数， $D_i(T)$ 为每个用户的待传送信息， n_i 为码片延迟时间。

当用户数较少时， $R(T, n) \approx |D_p(T) T|$ ，可得到与信号无关的相关的值。

但当用户数较多时，多个 $\Delta\sigma_i$ 的累加结果会逐渐增大，该累加值为多用户干扰，不能忽略其影响，特别在累加值与 T 相当时，易产生误判。

考虑进行超过 1 个码元信息长度的相关处理，设进行 N 个码元的相关，此时相关值为：

$$R(T, n) \approx A_p |D_p(T) | NT|. \quad (19)$$

当 N 足够大时，多用户干扰的影响变小，可获得较好的相关峰均比。

3 系统实现方案

3.1 多用户检测系统框架

系统由发射和接收两部分组成。

发射部分主要进行扩频调制，其控制器参数受接收端影响，根据接收端捕获到信号的相关峰值来设置 PN 码发生器的初始相位。扩频后的信号送至射频进行调制发送。

接收部分接收通过射频接收并解调后的数据，主要进行捕获和同步解扩。接收部分由捕获器和多个同步信道构成，如图 2 所示。

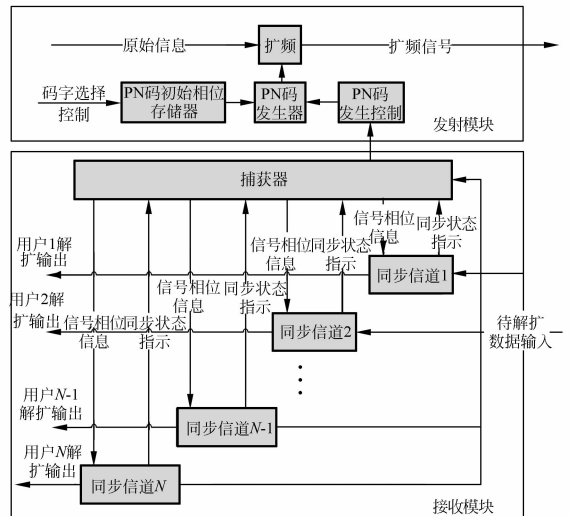


图 2 系统收发框图

Fig. 2 Block diagram of system realization

捕获器用于对输入的信号进行长码相关处理,并根据相关处理结果判决是否存在用户捕获帧头信息,如果存在用户帧头信息,判定该信息出现相位,并将该相位信息传递给空闲的同步信道。

同步信道根据捕获器设定的相位信息对信号进行同步跟踪,并随时监控信号是否仍然存在,当得到信号不存在的判决后,给出空闲指示。

待解扩数据同时送给捕获器和同步信道,系统启动后,首先对各个状态置位,将同步信道置为空闲,并执行设置初始码字等操作,然后开启捕获器,捕获器检测到信号后,检测同步信道的空闲状态,并调用空闲的同步信道来执行同步跟踪操作。同步信道被启用后,设置自身的相关码字初始值,并开始对解扩数据进行同步跟踪处理,当同步跟踪失锁后,再次将自身设置为空闲状态,等待捕获器的下次调用。

3.2 PN 码发生控制

发射端的 PN 码产生受接收端的捕获情况影响。在系统准备发射前,首先调用接收端进行信息捕获侦听,接收端开启捕获器进行信息侦听,并将捕获到的信号相关峰值位置传送给发射段的 PN 码发生控制器。控制器接收到该位置情况后,根据估计的系统处理延迟时间进行相关峰位置校正,并确认发射端需要的相关峰位置(比接收到的信号延迟 N 个码片)。然后根据该信息查找相应的初始相位表,将该初始相位信息送给 PN 码发生器产生 PN 码信号。

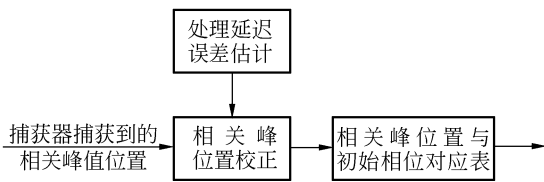


图 3 PN 码发生控制组成结构图

Fig. 3 Block diagram of PN code generation control

通过该方式产生的 PN 码,将与探测到信号的 PN 码具有一定的相位差,该相位差为 N 个码片并加上一定的误差,而就整个系统而言,要求相位差在一定范围内即可。

3.3 捕获器

为尽量地减小捕获时间,捕获器采用匹配滤波器进行设计,如图 4 所示。

捕获器由匹配滤波相关器、功率计算、相关峰

值搜索、相关位置判决及同步信道启动等几个部分组成。捕获器的输入数据为 I,Q 两路信号。

匹配滤波相关器用于对输入的数据信号和伪随机序列进行相关处理,输入数据进行逐次延时后,和伪随机码进行乘加,输入数据每移位一次,相关器输出一个乘加结果,保留该结果于 I,Q 相关信号暂存器中。在捕获阶段,匹配滤波相关器对应长度较长的伪随机码。该相关器可以时分复用,即可对多段数据和多个不同的伪随机码进行相关处理,只需将相关的寄存器清零,并配置相应的数据和伪随机码即可。例如,在进行完 I 路数据的相关后,需要进行 Q 路数据相关时,首先对各个寄存器进行清零,将数据置换为 Q 路数据对应的伪随机序列,输入 Q 路数据,重新进行逐次延时,与伪随机序列相乘相加,并将乘加结果保存到 I,Q 相关信号暂存器中。

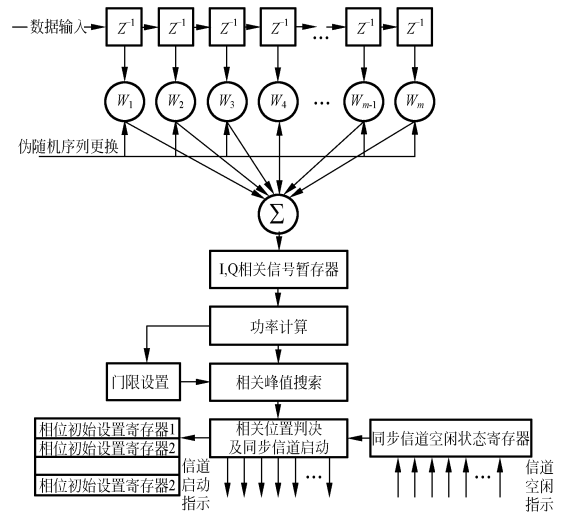


图 4 捕获器组成结构图

Fig. 4 Block diagram of catch unit

功率计算部分对 I,Q 信号暂存器的值进行处理,求其功率值。即对 I 路相关输出平方后与 Q 路相关输出平方相加。通过该运算,能够减小因为 I,Q 两路携带的未完全消除的正余弦包络的影响,更有利于进行相关峰值搜索判断。

进行完一次相关运算后,进行相关峰值搜索,相关峰值搜索的主要工作是根据门限设置进行信号判断,对超过门限的信号进行分析,判定其是否为相关捕获信号。在所有用户均采用不同伪随机码进行扩频发送时,不考虑信道因素,针对某一伪随机码的匹配滤波相关器输出仅有一个最大相关

值,此时首先搜索一次相关后的最大值,然后判定该最大值是否超过门限,如果超过,认为该值为相关捕获信号。在用户采用相同伪随机码但相位不同的情况下,可能会出现多个相关峰值,且出现的个数未知。此时将超过门限且峰值距离超过最大多径延迟的值判定为相关捕获信号。从上述分析可知门限值设定的重要性,门限值的设定采用对相关输出进行加权平均的方法。一般情况下,当信号超过噪声 6 dB 时,认为该信号存在。为保证捕获到信号的准确性,应将门限设置的较高。

捕获到相关峰值后,相关峰的位置也可以同时确定,此时观察同步信道空闲状态寄存器,从中挑选状态空闲的同步信道,在对应的相位初始设置寄存器中写入相位初始值,并同时给出相应的同步信道中断指示。

3.4 同步信道

同步信道用于对已基本确定相位初始值的用户信号进行同步跟踪,监测该信号的有无并给出指示。其结构如图 5 所示。

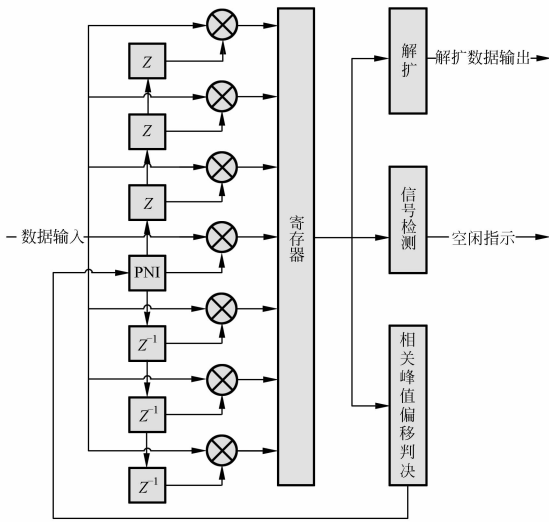


图 5 同步信道组成结构图

Fig. 5 Block diagram of synchronous channel

由于已知本地伪随机码的初始位置,只需要对输入数据进行相应的相乘累加便可实现解扩。在实际系统中,由于收发双方的时钟不完全一样,会发生伪随机码相位的偏移,在偏移量达到一定程度时会导致解扩的失败。因此必须时刻跟踪伪随机码的偏移情况,保证接收端伪随机码和发射端的一致。

本地伪随机码分别进行采样点的超前滞后移

位,如图 5 所示。一般在考虑系统复杂度和保证较优性能的情况下,本地伪随机码和输入数据均为 2 倍采样。即在对本地 PN 码进行 1 位延迟时,实际上偏移了 1/2 个码片。每个移位结果和输入数据进行乘加,其结果分别存放于对应的寄存器中。

用相关峰偏移判决模块对寄存器中的数据进行处理,寻找寄存器中的最大值,并映射对应的寄存器位置,以确认该最大值对应位置和本地伪随机码的偏移量。如经多次确认该寄存器对应值始终为最大值,则认为该相关峰已发生偏移,则控制相应的 PN 码移位至最大值位置。

信号检测是对本地伪随机码与输入数据乘加后的值进行门限判决,如果输出值大于门限,则认为信号仍然存在,反之,当信号低于门限,且该状况始终持续,则过一段时间后认为无信号,停止数据处理,并给出空闲指示。

4 系统方案处理结果

根据上述过程进行仿真,分别给出 64 位扩频系数和 1 024 位扩频系数的处理情况,并给出频偏对相关峰值的影响情况。

图 6 为扩频系数为 64 时的信号处理情况。此时接收信号中包括 3 个信号,每个信号相位间隔 10~20 个码片,发射和接收间存在着 1 kHz 的频差,且每个信号的初始相位不一致。图中分别显示了 I 路信号相关情况, Q 路信号相关情况和根据 I, Q 两路求得的功率峰值情况。可见,根据 I, Q 两路求得的功率峰值较明显,能够较好地区分信号。

图 7 为扩频系数为 1 024 时的信号处理情况。接收信号中仍包括 3 个信号,每个信号相位间隔 150~300 个码片,其他情况同上。可见,此时信号相当明显。

频率偏移对相关峰值的影响如图 8 所示。从图中可知,正常情况下,随着频率偏移的增大,信号相关峰值呈变小趋势。

通常意义下,空闲侦听是传感网的最大开销。以 S-MAC 为例,帧内分为工作阶段和休眠阶段,协议定期地唤醒物理层进行信息侦听。当采用文献[3]所述方式时,需要对多个扩频码分别进行侦

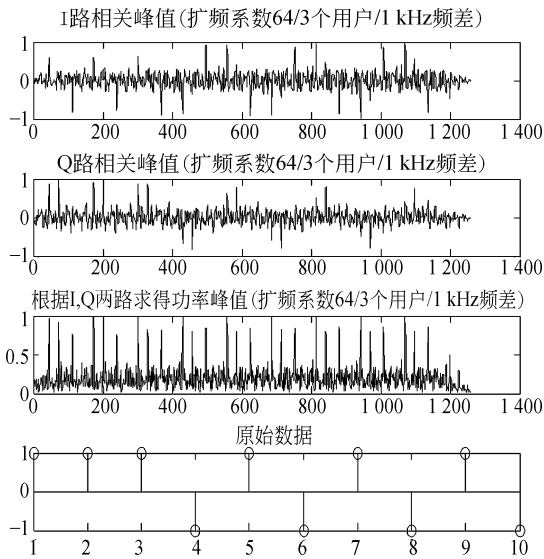


图 6 扩频系数为 64 时的信号处理情况
(3 个信号,信号间隔 10~20 个码片)

Fig. 6 Signal processing when spreading num. is 64

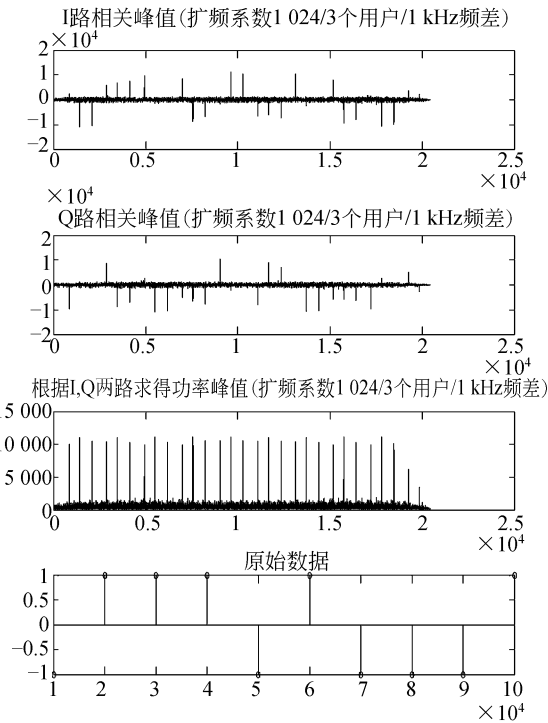


图 7 扩频系数为 1 024 时的信号处理情况
(信号间隔 150~300 个码片)

Fig. 7 Signal processing when spreading num. is 1 024

听确认,设捕获时间为 T ,当邻居节点数为 N 时,所需的空闲侦听时间至少为 NT ,而采用本文所

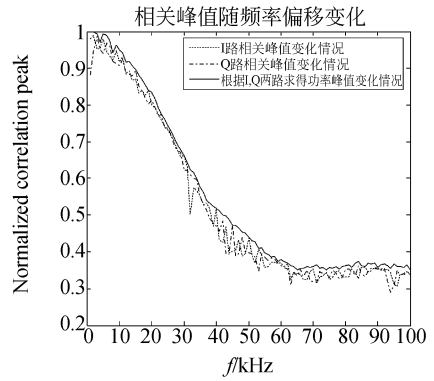


图 8 相关峰值随频率偏移变化情况

Fig. 8 Relationship between frequency and correlation peak

述方法时,空闲侦听时间只要 $> T$ 即可。从而可节省侦听能耗。

当码片速率为 2 Mb/s,扩频码捕获长度为 1 024,确认次数为 3 次,邻居节点数为 8 时,所需的最短空闲侦听时间如图 9 所示。

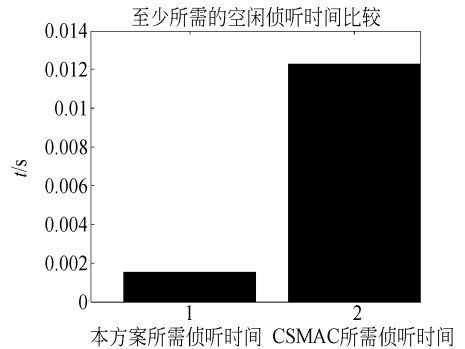


图 9 捕获耗费时间比较

Fig. 9 Comparison of catching time

可见,采用本方案有效地节省了空闲侦听能耗。

5 结 论

通过本文所述方法,可以实现基于同一码字的多用户复用。多个用户在以相同的伪随机码相隔超过最大多径时延的相位发送信息时,能将不同用户的信号分离出来,解出各个用户的原始信息。在扩频码周期持续时间足够长时,和 CSMA 协议相比,在具有类同效果的降低信息冲撞概率的情况下,减小了 N 倍(邻居节点数)的空

闲等待时间,并降低了接收系统的复杂程度和功耗。

参考文献:

- [1] 崔莉,鞠海玲,苗勇,等.无线传感器网络研究进展[J].计算机研究与发展,2005,42(1):163-174.
CUI L, JU H L, MIAO Y, *et al.*. Overview of wireless sensor networks[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2005, 42(1): 163-174. (in Chinese)
- [2] IEEE Computer Society. Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low rate wireless personal area networks (LR-WPANs)[P]. *IEEE Std 802.15.4TM-2003*.
- [3] LIU B H, CHO CH T, JUSTIN L, *et al.*. Using frequency division to reduce MAI in DS-CDMA wireless sensor networks[J]. *IEEE Communications Society*, 2005, 2: 657-663.
- [4] 王昭诚,杨知行.直扩码分多址个人通信系统在衰落信道中的多用户信号检测[J].通信学报,1995,16(1):33-39.
WANG ZH CH, YANG ZH X. Multiuser signal detection for multipath fading channels in DS-CDMA PCN system [J]. *Journal of Communications*, 1995, 16(1): 33-39. (in Chinese)
- [5] HOLMES J K, CHEN CH C. Acquisition time performance of PN spread-spectrum systems[J]. *IEEE Transactions On Communications*, 1977, 25(8): 778-784.
- [6] LINATTI J H J. On the threshold setting principles in code acquisition of DS-SS signals[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000, 18(1): 62-72.
- [7] 钟先信,李晓毅,巫正中,等.无线网络化微传感器及其嵌入式系统[J].光学精密工程,2003,13(3):227-233.
ZHONG X X, LI X Y, WU ZH ZH, *et al.*. Wireless networked microsensor and its embedding system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003, 13(3): 227-233. (in Chinese)
- [8] 田社平,赵阳,韦红雨,等.基于神经网络模型的传感器非线性校正[J].光学精密工程,2006,14(5):896-903.
TIAN SH P, ZHAO Y, WEI H Y, *et al.*. Nonlinear correction of sensors based on neural network model[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(5): 896-903. (in Chinese)

作者简介:付耀先(1978—),女,重庆人,博士研究生,主要研究方向为传感网和通信信息处理。E-mail:xf_luck@163.com

刘海涛(1968—),男,新疆人,博士,研究员,博士生导师,主要研究方向为无线传感器网络。

●下期预告

基于旋转主成份分析的颜色组份预测研究

许法强¹,万晓霞¹,朱元泓²

(1. 武汉大学 遥感信息工程学院,湖北 武汉 430079;

2. 深圳职业技术学院 媒体与传播学院,广东 深圳 518055)

针对传统主成份分析法在建立光谱色彩空间时的“负指标”问题,提出了一种基于旋转主成份分析的颜色组份预测方法。该方法在最大程度保持重要主成份对原始多光谱空间信息累积方差贡献率的同时,将初始特征向量旋转变换为一组可作为实际基础颜色组份的全正向量,这些特征向量中的元素应按列向 0 或 1 分化。采用 Munsell Matte Collection I 光谱数据库中的数据进行了实验,其中 96% 以上色块的光谱重构误差均控制在可容许的 3 个色差单位内。实验结果表明:这种新的预测方法不仅能很好地揭示目标图像的真实颜色成份,还具有较高的光谱数据重构精度。