

文章编号: 1001 - 893X(2010)09 - 0033 - 03

基于多个引导序列实现超宽带系统脉冲同步的方法^{*}

王勤果

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

摘 要:超宽带(Ultra Wideband, UWB)通信系统的脉冲宽度很窄(纳秒量级), 单个脉冲能量非常小, 若单纯在接收端做同步, 则很难实现。因此收发两端联合设计, 通过数据帧前置导频同步码是比较理想的选择, 一方面能辅助系统快速捕获实现同步, 另一方面为后续均衡提供训练序列。插入导频序列后会带来一定的功率和效率损失, 但从全局来看, 是值得的。

关键词:DS - UWB; 脉冲同步; 时延扩展; 相关

中图分类号: TN911 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001 - 893x.2010.09.008

A Pulse Synchronization Method Based on Multi-guide Sequence for Ultra Wideband(UWB) System

WANG Qing-guo

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: The pulse width is very narrow and the monopulse energy is very low for ultra wideband(UWB) communication system, so it is difficult to realize synchronization in receiver terminal. An ideal selection is to insert guide code before data frame through codesigning receiver and transmitter. It can help system to realize synchronization quickly, on the other hand it also provides train sequence for subsequent balance. The guide sequence inserting may bring some loss in power and efficiency, but it is worthy for the full system.

Key words: DS - UWB; pulse synchronization; time delay expanding; correlation

1 引 言

超宽带(Ultra Wideband, UWB)通信技术以其独有的优势已受到各国科研人员的高度关注。不同于传统的通信方式, UWB 系统采用宽度极窄的脉冲传递信息, 因此具有带宽大、传输速率高、穿透力强、抗干扰、抗多径等先天优势, 非常适合于军事应用^[1]。但正是基于这些特点, 对超宽带信号的相关接收提出了挑战, 尤其是信号的同步, 更是超宽带无线通信的一大难点。就其同步实现过程来看, 可以分为脉冲同步和扩频序列同步, 其中脉冲同步又是序列同步的前提和基础^[2], 也是 UWB 通信技术的难点所

在。本文提出了一种基于收发两端联合设计, 通过多个重复导频伪随机序列前后相关的方法实现脉冲同步。插入伪随机序列后会带来一定的功率和效率损失, 但从全局来看, 是值得的。

2 信号模型

UWB 系统有多种扩频方式, 本文以直接序列扩频超宽带(DS - UWB)技术为例, 给出其信号模型^[3]:

$$S_{DS}^k(t) = \sqrt{P_k} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N_c-1} d_j^k P_n^k w_{tr}(t - jT_f - nT_c) \quad (1)$$

式中, $S_{DS}^k(t)$ 是第 k 个用户的发射信号; P_k 表示第 k

^{*} 收稿日期: 2010 - 03 - 19; 修回日期: 2010 - 07 - 26

个用户的发送功率; d_j^k 表示数据符号, 下标“ j ”表示第 j 个数据符号, 上标“ k ”表示第 k 个用户; $P_n^k \in \{-1, +1\}$ 表示第 k 个用户的伪随机序列, 用于多址通信, 下标“ n ”表示第 n 个码片; $w_{tr}(t)$ 表示传输的单周期脉冲; T_f 为信息周期; T_c 是周期伪随机序列的码片周期, 每个用户 PN 序列的周期用 N_c 表示, 即 $T_f = N_c T_c$, 一个符号周期内有 N_c 个码片, 每个码片用一个窄脉冲表示。

3 脉冲同步的基本思想

脉冲同步的基本方法是提高脉冲相关函数 $R_p(\tau)$ 的分辨间隔^[4], 将码片周期 T_c 分成 M 份, 每份间隔 $\Delta = T_c/M$, 然后取本地脉冲 $p_i(t) = p(t - i\Delta)$, $0 \leq i < M$ 和接收信号积分判决, 得到不同延迟下的匹配滤波输出:

$$r_i[n] = \int_{T_c} r(t - \xi) p_i(t - nT_c) dt = \int_{T_c} r(t - \xi) p(t - nT_c - i\Delta) dt \tag{2}$$

同步时, 有:

$$r_i[n] = \int_{T_c} r(t - \xi) p(t - nT_c - i\Delta) dt = \sqrt{\epsilon} d_{pre}[n] * h[n] \cdot R_p(\xi + i\Delta) + n[n] \tag{3}$$

式中, $0 \leq i < M$, d_{pre} 为本地序列。可见, 在相同的 n 处, 相关输出 $r_i[n]$ 的幅度主要受接收脉冲和本地脉冲 $p_i(t)$ 的相关系数 $R_p(\xi + i\Delta)$ 影响, 因此根据单个脉冲的相关输出幅度大小可以判断脉冲同步位置, 其原理如图 1 所示。

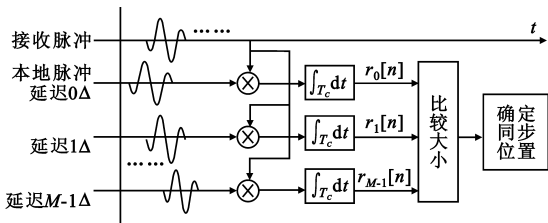


图 1 不同时延本地脉冲和接收脉冲相关积分
Fig.1 Correlation integral of different lock time-delay pulse and receiving pulse

对于扩频系统, 信号能量分散在多个码片上, 需要合并多个码片提高信噪比, 因此还需要将不同时延下匹配滤波的输出和本地序列滑动相关, 根据滑动相关的最大值确定脉冲同步位置。不同本地脉冲

$p_i(t)$ 对应的最大滑动相关值 γ_i 为

$$\gamma_i = \max_{0 \leq m < N_{pre}} \{ |\rho_i[m]| \} = \max \left\{ \left| \sum_{n=0}^{N_{pre}-1} r_i[n] d_{pre}[n - m] \right| \right\} \tag{4}$$

式中, $0 \leq i < M$ 。比较 γ_i 最大值对应的脉冲延迟就是脉冲同步的位置: $\tau = \arg \max_{0 \leq i < M} \{ \gamma_i \} \times \Delta$, $\arg$ 表示取出 i 值。这种和不同时延脉冲匹配滤波, 然后和本地序列滑动相关的方法本质就是提高滑动步长 ($T_c \rightarrow T_c/M$), 增加搜索空间 $N_{pre} \rightarrow M \cdot N_{pre}$, 获得更精确的同步位置。

但是对于 UWB 系统, 超大的扩频增益和极窄的脉冲分辨间隔使得直接使用这种方法计算量过大, 难以实现。特别是长距离通信的 UWB 系统, 由于多径时延扩展非常大, 同步序列往往较长, 则更为困难^[5]。为了降低脉冲同步的复杂度, 本文提出一种利用多个前导同步序列前后相关实现脉冲同步的方法。

4 前后相关实现脉冲同步

为实现前后相关的脉冲同步方法, 需要在通信数据包前设计多个重复的前导伪随机序列, 如图 2 所示。

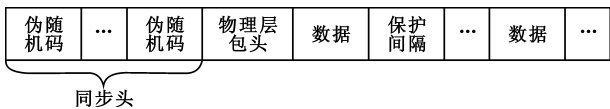


图 2 插入多个前导序列的数据帧
Fig.2 Data frame after inserting multi-guide sequence

对于伪随机序列的长度选择, 应根据多径时延扩展的情况进行设计^[6], 这里不作专门论述。

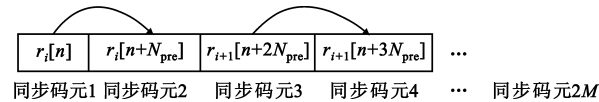


图 3 前后相关实现脉冲同步示意图
Fig.3 Pulse synchronization before-and-after correlation

将两个接收到的同步码元信号与本地脉冲 $p_0(t) = p(t)$ 匹配滤波, 将滤波输出前后相关, 如图 3 所示, 得到 $p_0(t)$ 对应的相关输出结果 γ_0 。然后调整本地脉冲 $p_1(t) = p(t - \Delta)$, 与下一组连续两个接收同步码元信号匹配滤波、前后相关得到 γ_1 。依此类推, 得到 γ_i 为

$$\gamma_i = \sum_{n=2iN_{pre}}^{(2i+1)N_{pre}-1} r_i[n] r_i^*[n + N_{pre}], 0 \leq i < M \tag{5}$$

M 次相关后得到 $\{\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{M-1}\}$ 。根据

$\tau = \arg \max_{0 \leq i < M} \{ \gamma_i \} \cdot \Delta$ 可以判断脉冲同步的位置。

这种前后相关的算法利用同步序列的周期重复性,因此在不知道序列同步的位置时,可以较好地合并信号能量,改善同步性能。主要存在的问题是使用的同步头资源较多。如图 3 所示,实现脉冲同步需要使用 $2M$ 个同步码元。为了降低同步头资源,可以分段实现前后相关。

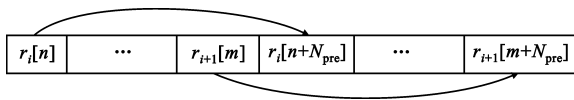


图 4 分段前后相关实现脉冲同步

Fig.4 Pulse synchronization before – and – after subsection correlation

所谓分段进行前后相关就是将接收到的两个同步码元都等分成 M 段,每段包含 $N_{pre,M} = \lceil N_{pre}/M \rceil$ ($\lceil \cdot \rceil$ 表示向下取整)个码片。每一段分别和本地脉冲 $p_i(t) = p(t - i\Delta)$ 匹配滤波,然后将两个同步码元的对应段前后相关,如图 4 所示。

$$\gamma_i = \sum_{n=iN_{pre,M}}^{(i+1)N_{pre,M}-1} r_i[n] r_i^*[n + N_{pre}], 0 \leq i < M \quad (6)$$

这样将 M 个相关值 $\{\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_{M-1}\}$ 比较大小可以确定脉冲同步的位置。这种方法缩短了前后相关的长度,从而减少了所需同步头码元的个数。

M 越大, $N_{pre,M} = \lceil N_{pre}/M \rceil$ 越小,前后相关的长度越小,相关值的输出信噪比就会相应降低。为了保证脉冲同步的性能,在固定 N_{pre} 的情况下,分段相关长度缩小的程度是有限的,不能随着 M 的增加而无限地缩小,所以分段前后相关能够减少所需同步头码元的个数也是有限的。因此在进一步增加 M 的情况下,采用分段前后相关仍可能也需要增加同步头的资源。

脉冲同步时相关的步长 Δ 与信号带宽有关,信号带宽越大,脉冲同步时的步长越短,需要的分辨精度越高。

下面给出脉冲同步的实现流程:

- (1) 将两个接收的同步码元信号 $r(t)$ 、 $r(t + N_{pre} \cdot T_c)$ 分成 M 段,每段长度为 $\lceil N_{pre}/M \rceil T_c$,每一段分别和本地脉冲 $p_i(t) = p(t - i\Delta)$ 匹配滤波并采样,得到 $r_i[n]$ 和 $r_i[n + N_{pre}]$, $iN_{pre,M} < n \leq (i + 1)N_{pre,M}$;
- (2) 将两个码元和相同脉冲匹配输出的对应段 $r_i[n]$ 和 $r_i[n + N_{pre}]$ 进行前后相关,得到 M 个前后相关值 $\{\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_M\}$,其中 γ_i 见式(6);
- (3) 比较相关值的大小,根据最大相关值对应的

位置确定脉冲同步的位置 $I = \arg \max_i \{ |\gamma_i| \}$,根据 $I\Delta$ 调整本地脉冲的延迟位置,即完成脉冲同步。

5 结束语

信号同步迄今为止仍然是超宽带通信系统的一大难点,还需要进行大量的理论研究和探索。本文在传统滑动相关的基础上,提出了一种可用于超宽带通信系统,利用多个引导伪随机序列前后相关实现脉冲同步的方法,不失为一种值得探讨借鉴的思路。

参考文献:

- [1] FONTANA R J, AMETI A, RICHLEY E, et al. Recent applications of ultra wideband radar and communications system [C]//Proceedings of IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies. Baltimore: IEEE, 2002: 225 – 234.
- [2] YE G R, GE L J, LI S Q. Analysis of Ultra Wideband Impulse Radio Signal Interference to Direct Sequence Spread Spcetrum Receiver [C]//Proceedings of IEEE SPAWC2003. [S. l.]: IEEE, 2003: 229 – 233.
- [3] 王金龙,王呈贵,阚春荣,等. 无线超宽带(UWB)通信原理与应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.
WANG Jin-long, WANG Cheng-gui, KAN Chun-rong, et al. Wireless UWB communication theory and application [M]. Beijing: People's Posts & Telecom Press, 2005. (in Chinese)
- [4] Somayazulu V S, Foerster J R, Roy S. Design Challenges for very High Data Rate UWB Systems [C]//Proceedings of the Thirty-Sixth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove, CA: IEEE, 2002: 717 – 721.
- [5] GE Li-jia, YUE Guan-gong, Sofiene Affes. On the ber performance of Puls-Position-Modulation UWB radio in multipath channels [C]//Proceedings of 2002 IEEE Conference on Ultral Wideband Systems and Technologies. [S. l.]: IEEE, 2002: 231 – 234.
- [6] McKinstry D R, Buehrer R M. LMS analog and digital narrowband rejection system for UWB communications [C]//Proceedings of 2003 IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies (UWBST2003). [S. l.]: IEEE, 2003: 91 – 95.

作者简介:

王勤果(1976-),男,四川内江人,工程师,主要研究方向为通信系统及软件无线电技术等。

WANG Qin-guo was born in Neijiang, Sichuan Province, in 1976. He is now an engineer. His research interests include communication system and software radio, etc.

Email: gaochui@yeah.net