

DOI: 10.3979/j.issn.1673-825X.2013.02.022

## FM-DCSK UWB 技术在无线体域网中的性能分析

孔 龙<sup>1</sup>,陈平平<sup>1</sup>,徐位凯<sup>1</sup>,陈志雄<sup>1,2</sup>

(1. 厦门大学 宽带无线通信系统实验室 福建 厦门 361005; 2. 中国人民解放军 73687 部队 福建 福州 350101)

**摘 要:**超宽带(ultra wide band, UWB)技术具有低功耗、抗多径能力强等特点,已被无线体域网(wireless body area network, WBAN)作为一种候选传输技术,而调频差分混沌位移键控超宽带(frequency-modulated differential chaos shift keying ultra wideband, FM-DCSK UWB)实现简单,在接收机端不需要信道估计、信道均衡和 rake 接收,也得到了广泛的研究。主要对 FM-DCSK UWB 技术在 WBAN 的体内到体表、体表到体表和体表到体外 3 种信道模式下的性能进行了计算机仿真,并对影响其系统性能积分时间和保护间隔 2 个参数进行了分析,仿真结果表明,FM-DCSK UWB 技术用于 WBAN 信息传输是可行的。

**关键词:**调频差分混沌位移键控超宽带(FM-DCSK UWB);无线体域网(WBAN);积分间隔;保护间隔

中图分类号:TN914.3

文献标识码:A

文章编号:1673-825X(2013)02-0265-05

## Performance of FM-DCSK UWB for wireless body area network

KONG Long<sup>1</sup>, CHEN Pingping<sup>1</sup>, XU Weikai<sup>1</sup>, CHEN Zhixiong<sup>1,2</sup>

(1. Lab of Wideband Wireless Communication System, Xiamen University, Xiamen 361005, P. R. China;

2. Unit 73687 of the Chinese PLA, Fuzhou 350101, P. R. China)

**Abstract:** Ultra wideband (UWB) technique is adopted by the wireless body area networks (WBAN) as one of the most promising candidates due to its low power spectral density and high robustness against multipath fading. FM-DCSK UWB has gained much attention for its merits of no requiring channel estimation, channel equalization and rake reception in the receiver side. In this paper, the feasibility of FM-DCSK UWB over different WBAN channels, including implant to body surface, body surface to body surface and body surface to external, is investigated. Two system parameters directly affecting the system performance, i. e., integration interval and guard interval, are carefully investigated respectively. Simulation results show that FM-DCSK UWB can be used as a feasible transmission technology for WBAN.

**Key words:** FM-DCSK UWB; wireless body area network (WBAN); integration interval; guard interval

## 0 引 言

全球人口老龄化问题日益严重,病人护理水平的有效化和医院管理能力的提升急需信息通信技术(information communication technology, ICT)的支持。在 2007 年,致力于无线体域网规范化和标准化研究的 IEEE802.15.6(TG6)工作组正式成立,提出并起草了一份关于无线体域网的建议—用于人体体内或者附近的(不仅仅局限于人体)小范围内的无线通信技术<sup>[1]</sup>。现有的小范围无线通信技术,超宽带

(ultra wide band, UWB)、蓝牙(bluetooth)、Wimax 和 Zigbee 都得到了广泛关注。UWB 技术因其低功耗、超宽带特性,使其信号无论是在体内或者体外环境下,都能够与人体组织器官实现良好的共存,另外,由于 UWB 信号优良的穿透性,使其在医疗成像方面得到了应用。因此, UWB 技术成为了无线体域网(wireless body area network, WBAN)物理层传输最有潜力的候选技术之一。

基于现有的研究成果,不难发现脉冲超宽带(impulse radio ultra wideband, IR-UWB)和调频超宽

收稿日期:2012-06-22 修订日期:2013-01-05

基金项目:国家自然科学基金(61001073,60972053)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61001073,60972053)

带(frequency modulation ultra wideband, FM-UWB)技术在 WBAN 环境下均已有深入的研究<sup>[2-4]</sup>。并且根据文献[2],TG6 工作组已将二者列为候选技术,同时,混沌脉冲信号作为可行的传输信号也位列其中。FM-DCSK 技术因其具有较宽的功率谱密度,对抗多径能力强,以及接收机端不需要信道估计、信道均衡和 Rake 接收等优势,基于 FM-DCSK 的混沌超宽带在无线通信中的应用得到了广泛的研究<sup>[5-7]</sup>。基于此,本文着力于 FM-DCSK UWB 技术在 WBAN 环境下的信息传输可行性讨论。

## 1 FM-DCSK UWB 系统框架和 WBAN 信道模型

### 1.1 系统框架

如图 1 所示的 FM-DCSK UWB 系统框架几乎和 FM-DCSK 一样,唯一的区别在于传输信号在发送之前须将其转化为符合 UWB 要求的混沌脉冲。

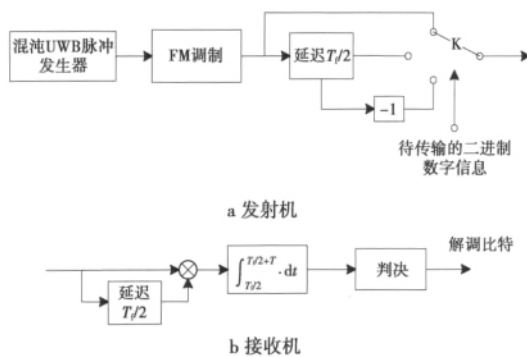


图 1 二进制 FM-DCSK UWB 系统结构图

Fig. 1 Binary FM-DCSK UWB system architecture

在 FM-DCSK UWB 发射机端,发送信号可表示为

$$s_m(t) = \sqrt{\frac{E_b}{2}} \left[ c(t) + a_m c\left(t - \frac{T_f}{2}\right) \right] \quad (1)$$

(1) 式中:  $E_b$  为每比特能量;  $c(\cdot)$  为调频超宽带混沌信号,混沌信号由 logistic 数字映射方式产生,具有良好的自相关和互相关性;  $a_m \in \{-1, +1\}$  为二进制信号;  $T_f$  为比特持续时间。由(1)式可以看出,已调信号由两部分组成:混沌参考载波片段和紧随其后的该混沌参考载波的重复片段或相反片段,分别与待调制的数字信号值“1”或“-1”对应。

在 UWB 多径环境下传播时,系统的参考脉冲因遭到多径时延会对其后的信息脉冲产生干扰。因此,我们在参考脉冲和信息脉冲中间插入一段保护

时间间隔  $T_g$  如图 2 所示,  $T_g = \frac{(T_f - 2T_s)}{2}$  其中,  $T_s$  为脉冲持续时间,那么相应的数据速率为  $R = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{2(T_s + T_g)}$ 。

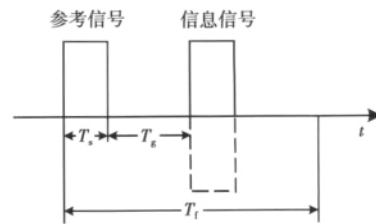


图 2 FM-DCSK UWB 系统脉冲信号形式

Fig. 2 Signal structure of the FM-DCSK UWB

在接收机端,接收信号可表示为

$$r(t) = s_m(t) \otimes h(t) + n(t) \quad (2)$$

(2) 式中:  $\otimes$  表示卷积操作;  $h(t)$  为 WBAN 的冲激响应,将在 1.2 节详细介绍;  $n(t)$  为 0 均值,方差为  $N_0/2$  的加性高斯白噪声。FM-DCSK UWB 接收机原理框图如图 1b 所示,根据系统原理,采用差分相干接收,具体的解调过程为:接收信号  $r(t)$  和接收信号延迟半个比特时间  $r(t - T_f/2)$  相关,得到判决统计量  $Z_m$  为

$$Z_m = \int_{\frac{T_f}{2}}^{T_f} r(t) r\left(t - \frac{T_f}{2}\right) dt \quad (3)$$

对  $Z_m$  根据(4)式做门限判决,可得到传输符号的估计为

$$\hat{a}_m = \begin{cases} 1, & Z_m \geq 0 \\ -1, & Z_m < 0 \end{cases} \quad (4)$$

然而,根据文献[6]可知,由于保护间隔的存在,可以通过优化积分时间来得到更好的传输性能。

### 1.2 WBAN 信道模型

根据 IEEE802.15.6 规定的医疗设备的安装位置, WBAN 传输环境被归类为如表 1 所示的 7 种情况。又依据传输位置的不同,被分为 4 种类型: 1) 体内到体内(CM1); 2) 体内到体表(CM2); 3) 体表到体表(CM3); 4) 体表到体外(CM4)。

由表 1 可知, CM1 和 CM2 信道模式并没有包含 UWB 频段,而且根据文献[2],TG6 工作组也没有任何关于这一问题的标准,幸运的是,文献[8-9]中已经对这一问题做了一些研究。

表 1 无线体域网信道类别  
Tab. 1 List of scenarios of WBAN channel

情形	描述	频段	信道模型
S1	体内到体内 /MHz	402 ~ 405	CM1
S2	体内到体表 /MHz	402 ~ 405	CM2
S3	体表到体外 /MHz	402 ~ 405	CM2
S4	体表到体表( LOS) /GHz	0.013 5 0.05 0.4 0.6 0.9 2.4 3.1 ~ 10.6	CM3
S5	体表到体表( NLOS) /GHz	0.013 5 0.05 0.4 0.6 0.9 2.4 3.1 ~ 10.6	CM3
S6	体表到体外( LOS) /GHz	0.9 2.4 3.1 ~ 10.6	CM4
S7	体表到体外( NLOS) /GHz	0.9 2.4 3.1 ~ 10.6	CM4

以下给出 CM2 ,CM3 ,CM4 这 3 种情况下的超宽带信道模型。在 UWB 频段 ,路径损耗和功率延迟谱( power delay profile ,PDP) 是表征信道特征的两大重要参数。这里 ,我们主要就 PDP 进行讨论。假设多径信道的 PDP 是复增益为单一簇模型 ,表示为

$$h(\tau) = \sum_{l=1}^L \alpha_l \delta(\tau - \tau_l) \quad (5)$$

(5) 式中:  $L$  为多径总数目;  $\alpha_l$  和  $\tau_l$  分别为第  $l$  条径的复增益和延时;  $\delta(\cdot)$  为 Dirac delta 函数。

对于体内到体表传输的信道模式 CM2 , KHALEGHI A 在文献 [9] 中提出多径增益和时延在深度  $d$  处分别服从均值为  $\mu_l(d)$  和  $\mu'_l(d)$  ,方差为  $\sigma_l(d)$  和  $\sigma'_l(d)$  的线性高斯分布。其中 , $\mu_l(d)$  可写为

$$\mu_l(d) = \Omega_0(d) e^{-(l-1)\lambda(d)} \quad (6)$$

(6) 式中:  $\Omega_0(d)$  为第一径的峰值平均功率;  $\lambda(d)$  为峰值功率的指数衰减因子。

对于给定的深度  $d$  , $\mu'_l(d)$  始终是常数 ,同样 , $\sigma'_l(d)$  可写为

$$\sigma'_l(d) = \Theta_0(d) e^{-(l-1)\Lambda(d)} \quad (7)$$

(7) 式中:  $\Theta_0(d)$  为第一径的峰值平均功率;  $\Lambda(d)$  为峰值功率的指数衰减因子。

对于 CM3 和 CM4 2 种情形 ,每簇的幅度分布是参数为  $K$  的莱斯分布 ,而且均服从零均值 ,方差为  $\sigma$  的对数正态分布。在 CM3 信道模式下 ,多径增益服从衰减因子为  $\Gamma$  的指数分布 ,可写为

$$10 \cdot \lg |\alpha_l|^2 = \begin{cases} 0, & l = 0 \\ \gamma_0 + 10 \cdot \lg \left( \exp \left( -\frac{\tau_l}{\Gamma} \right) \right) + S, & l \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

(8) 式中:  $S$  为零均值 ,方差为  $\sigma_s$  的正态分布随机变量;  $\gamma_0$  为莱斯分布因子 ,单位为 dB。

同样 ,对于 CM4 信道模式 ,多径增益可表示为

$$|\alpha_l|^2 = \exp \left( -\frac{\tau_l}{\Gamma} - k [1 - \delta(l)] \right) \beta \quad (9)$$

(9) 式中:  $k$  为受到莱斯因子  $K$  影响的参数 , $\beta$  是零均值 ,方差为  $\sigma_\beta$  的对数正态分布随机变量。

多径分量的到达时间服从速率为  $\lambda$  的泊松过程

$$p(\tau_l | \tau_{l-1}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_l - \tau_{l-1})] l > 0 \quad (10)$$

这里平均多径到达数  $L$  服从均值为  $\bar{L}$  的泊松分布

$$p(L) = \frac{(\bar{L})^L \exp(-\bar{L})}{L!} \quad (11)$$

最后 ,假定多径增益的相位为  $[0, 2\pi]$  上均匀分布的随机变量。

## 2 仿真结果及分析

综上所述 ,影响 FM-DCSK UWB 系统在 WBAN 环境( CM2 ,CM3 和 CM4) 下性能的因素主要有信噪比、保护间隔和积分时间 ,因此 ,这里主要讨论三者之间的制衡关系。

### 2.1 积分时间

选取不同的积分时间对系统性能的影响进行仿真分析。从图 3 可知 ,在固定  $T_g = 195 \text{ ns}$  , $T_s = 5 \text{ ns}$  时 ,对于给定的 SNR ,系统的 BER 性能是积分时间的函数 ,最佳积分时间并非为  $T_f/2$ 。根据仿真结果可知 ,对于 CM2 ,CM3 和 CM4 3 种信道模式 ,最佳积分时间分别为 10 ns ,20 ns 和 56 ns ,即  $T_f/40$  , $T_f/20$  和  $7 T_f/50$ 。

### 2.2 保护间隔

由 2.1 节可知 ,为了得到一个最优的系统 BER 性能 ,在 CM2 ,CM3 和 CM4 3 种信道模式下 ,我们选取了最佳积分时间分别为  $T_f/40$  , $T_f/20$  和  $7 T_f/50$ 。图 4 给出了最佳积分时间情况下 ,不同保护间隔下的系统 BER 曲线。

从图 4 可以得到如下结论:无论是在 CM2 体内信道模式下 ,还是 CM3 和 CM4 体外信道模式下 ,随着保护间隔的增大(数据速率变低) ,系统 BER 性能均呈现出先变好再变差的趋势 ,其最优性能均出现在  $T_g = 195 \text{ ns}$ 。究其原因:随着  $T_g$  增大 ,一方面 ,脉冲间干扰的减少会使性能改善;另一方面 ,随着  $T_g$  增大 ,积分时间也相对变长 ,相关器捕获到的有

效信号能量和噪声能量均增加。一旦  $T_g$  过大,其增加的噪声能量部分超过有效信号能量增加部分,就会使性能恶化。

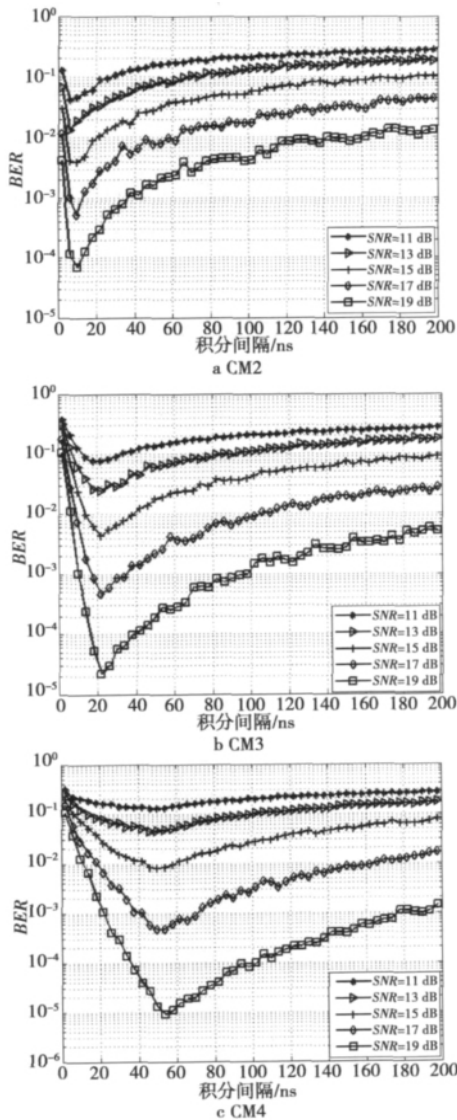


图 3 FM-DCSK UWB 系统在 WBAN 环境下 BER 性能与积分时间的关系

Fig. 3 FM-DCSK UWB system BER performance under WBAN environments against the integration interval  
结合图 3 和图 4,可以得到如下结论。

1) 当数据传输速率一定时,可以通过调整积分时间令系统的 BER 性能达到最优。

2) 当积分时间最优,系统的 BER 性能与保护间隔又有直接的关系 随着保护间隔的增大,系统的 BER 性能先变好后变劣。因此,对于不同的 WBAN 信道,应该设置相应的保护间隔。

目前商业化的 WBAN 医疗体内植入设备,就胶囊内窥镜而言,该产品支持 2 ~ 3 Mbit/s 的数据率,

误比特率要求为  $10^{-5} \sim 10^{-10}$ [10],而文献 [11] 给出了在医学图像传输环境下需要同步设备的 IR-UWB 的 BER 性能曲线,其误码性能也在  $10^{-5} \sim 10^{-6}$ ,由此可见,FM-DCSK UWB 技术在 WBAN 环境下可以进行良好的信息传输。

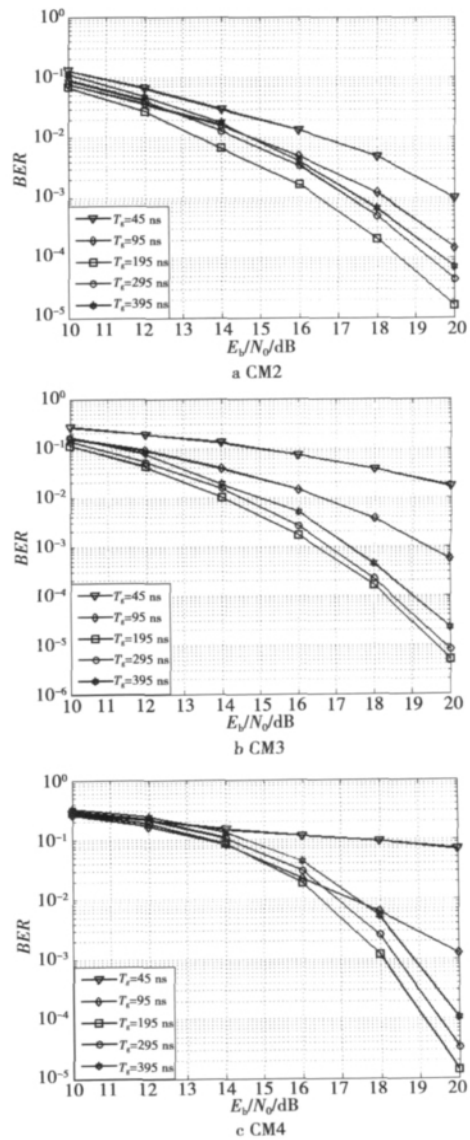


图 4 FM-DCSK UWB 系统 BER 性能和保护间隔的关系

Fig. 4 Performance of FM-DCSK UWB system against the guard interval

而在下一代 WBAN 图像传输中,针对医用图像的特殊性和医疗诊断环境的高 QoS 要求,联合信源信道编码技术、自适应传输以及超宽带混沌传输技术将从根本上满足医学图像高质量、高速率传输的要求[12]。

### 3 结束语

本文对影响 FM-DCSK UWB 性能的 2 个重要参数(积分时间和保护间隔)在 WBAN 3 种信道模式 (CM2, CM3 和 CM4) 下的性能进行仿真与分析,结果显示,为了在不同无线体域网信道模式下得到更好的传输性能,最佳积分时间、数据传输速率与 BER 性能的折中是在所难免的,而且也说明了 FM-DCSK UWB 技术在 WBAN 环境下进行信息传输是可行的。

#### 参考文献:

- [1] IEEE. Terms & Conditions. Privacy & Security. IEEE 802.15 WPAN™ TASK Group 6 (TG6) Body Area Network [EB/OL]. (2011-06-09) [2012-07-27]. <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>.
- [2] ASTRIN A, TG6 team. TG6 Draft, IEEE P802.15-40-0245-06-0006 [EB/OL]. (2012-04-18) [2012-07-27]. [https://mentor.ieee.org/802.15/documents?n=4&is\\_group=0006](https://mentor.ieee.org/802.15/documents?n=4&is_group=0006).
- [3] MATTI H, VILLE N, JARI I, et al. Performance comparison of the different IR-UWB receivers in wireless body area networks [C]//IEEE. 2011 IEEE International Conference on Ultra-wideband. Bologna, Italy: IEEE Press, 2011: 230-234.
- [4] BHARAT G, ERNESTINA C, MARINA R, et al. A novel FM-UWB system for vital sign monitoring and its comparison with IR-UWB [C]//IEEE. 2009 2nd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technology. Bratislava, Slovak Republic: IEEE Press, 2009: 1-4.
- [5] WANG L, MIN X, CHEN G. Performance of SIMO FM-DCSK UWB system based on chaotic pulse cluster signals [J]. IEEE Transactions on Circuits and System, 2011, 58(9), 2259-2268.
- [6] MIN X, XU W K, WANG L, et al. Promising performance of a frequency-modulated differential chaos shift keying ultra-wideband system under indoor environments [J]. IET Communications, 2010, 4(2): 125-134.
- [7] FANG Y, CHEN P P, WANG L. Performance analysis and optimization of a cooperative frequency-modulated differential chaos shift keying ultra-wideband system under indoor environments [J]. IET Communications, 2012, 1(2): 58-65.
- [8] YAZDANDOOST, SAYRAFIAN. Channel Model for Body Area Network (BAN): IEEE P802.15-08-0780-12-0006 [EB/OL]. (2010-11-10) (2012-07-27). [https://mentor.ieee.org/802.15/documents?n=4&is\\_group=0006](https://mentor.ieee.org/802.15/documents?n=4&is_group=0006).
- [9] KHALEGHI A, CHAVEZ Santiago R, LIANG X, et al. On ultra wideband channel modeling for in-body communications [C]//IEEE International Symposium On Wireless Pervasive Computing. Modena, Italy: IEEE Press, 2010: 140-145.
- [10] SANG H, JAEBOK L, YOUNG J, et al. A wideband spiral antenna for ingestible capsule endoscope systems: experimental results in a human phantom and a pig [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2011, 58(6): 1734-1741.
- [11] KHALEGHI A, CHAVEZ-SANTIAGO R, BALASINGHAM I. Ultra-wideband pulse-based data communications for medical implants [J]. IET Communications, 2010, 4(15): 1889-1897.
- [12] WU H, HE J, XU L, et al. Joint Source-Channel Coding Based P-LDPC Codes for Radiography Images Transmission [C]//IEEE. 2012 11<sup>th</sup> International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications. Liverpool: IEEE Press, 2012: 2035-2039.

#### 作者简介:



孔 龙(1988-),男,陕西商洛人,硕士研究生,研究方向为宽带无线通信系统。  
E-mail: terrykong@yahoo.cn。

(编辑:王敏琦)