

PHS 无线通信系统智能天线 DSP 硬件仿真平台*

谢 宁^{1,2}, 周渊平³, 李未科², 王伟权²

(1. 深圳大学 信息工程学院, 广东 深圳 518060;
2. 中山大学电子与通信工程系, 广东 广州 510275;
3. 四川大学电子信息工程学院, 四川 成都 610064)

摘 要: PHS 系统由于其体积小, 功耗低等优点, 在很多大城市得到了广泛应用。但同时由于其覆盖范围小等缺陷, 限制了 PHS 系统进一步的应用。由于智能天线技术具有很高的覆盖范围, 所以提出了一种在 PHS 无线通信系统中实现智能天线接收技术的方法, 并建立了一套完整 DSP 硬件仿真平台。同时基于上述硬件仿真平台对智能天线接收技术中的自适应算法的接收性能及实时性进行了分析比较, 并给出了实验结果。

关键词: 智能天线接收; PHS 系统; DSP 仿真平台; 自适应算法

中图分类号: TN911.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 02-0050-05

近年来, PHS 系统由于其诸多优点而逐渐在越来越多的城市被采用^[1-2]。PHS 系统物美价廉, 拨打电话按照市话标准收费、而且接听免费。同时 PHS 手机的体积小、重量轻、价格低, 发射功率小, 平均发射功率只有 GSM 手机的几十分之一。但是 PHS 系统也有其固有的缺陷, 因为基站发射功率低, 导致其覆盖范围小, 对于一些用户较为密集、通信距离较远的区域, 需要安装大量基站, 这给实际的布网带来了很大的难度。

智能天线技术是近 30 年中最先进的通信技术之一^[3-8], 它能产生空间定向波束, 使天线主波束, 即最大增益点对准期望用户信号到达方向, 旁瓣或零陷对准干扰信号到达方向, 从而给有用信号带来最大增益, 有效的减少多径效应所带来的影响, 同时达到对干扰信号抑制的目的。

随着 PHS 用户数量的大幅增加, 现有系统的缺陷逐渐显露了出来, 比如单个基站覆盖范围小、跟踪速度低等。而智能天线技术则正好可以弥补目前 PHS 基站的上述缺点, 使其性能得到极大提升。而且 PHS 系统工作在时分双工 (TDD) 模式, 收发共用一个频点, 上行与下行链路无线传播环境差异不大, 可以使用与上行接收基本相同的权值进行下行发射, 更加有利于智能天线技术的应用^[1]。同时, 由于对无线移动通信需求的快速增长, 信号的处理速度要求越来越快, 相应地对硬件的要求也

越来越高。对于研究人员而言, 构造一个完整的无线通信系统的成本将变得非常昂贵。这样, 就会严重阻碍研究工作的顺利进行, 尤其对于一些小型的研究机构。本文论述了在 PHS 系统下, 智能天线技术的一种实现方案及各种自适应算法的性能分析。同时提出了一种基于 DSP 开发系统的低成本硬件仿真平台, 并给出了自适应算法在该仿真平台上的实验结果。

1 PHS 系统结合智能天线实现方案及分析

PHS 系统空中接口采用 TDMA 的多址接入方式, 空中接口的物理信道以帧为基本单位, 每帧的长度为 5 ms, 包含 8 个时隙, 下行通道占用其中连续的 4 个时隙, 另外 4 个时隙保留给上行通道^[2]。PHS 的帧根据其不同的功能可以分为两类: 控制时隙和通信时隙。每个 PHS 帧中有一对是控制时隙, 用于信令传输; 其余三对是通信时隙, 用于业务传输。以通信时隙为例, 其具体结构如图 1 所示^[2]:

R	SS	PR	UW	I	CRC	GT
4	2	6	16	16	16	16

图 1 PHS 系统的通信时隙结构

Fig. 1 Frame structure of PHS system

* 收稿日期: 2007-05-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60672020); 广东省科技计划重点引导资助项目 (2005B10101046); 中山大学与西安海天天线科技股份有限公司合作项目

作者简介: 谢宁 (1979 年生), 男, 博士, 讲师; E-mail: kensouren@yahoo.com.cn

图1中数字代表长度(bit), R: 应答, SS: 帧同步码字, PR: 位同步码字, UW: 通信时隙识别字, I: 信息码, CRC: 循环冗余校验, GT: 保护时间。控制时隙也有类似的结构, 在此不再累述。

下面给出 PHS 系统结合智能天线的信号模型, 其中的天线阵列采用均匀线阵, 间隔为半波长。假设均匀线阵在 θ 方向上的阵列响应向量为 $V(\theta)$, 则天线阵列接收到的信号向量可以表示为:

$$X(t) = \sum_{l=0}^L \sqrt{P_l} \alpha_l V(\theta_l) s_l(t - \tau_l) + n(t) \quad (1)$$

式中, P_l 是第 l 个移动台的发射功率, α_l 是第 l 个移动台与基站间的信道衰落, 基站覆盖区内共有 $L+1$ 个移动台, $s_l(t)$ 是移动台 l 发送的信息, τ_l 是对应的延时, $n(t)$ 是一组相互独立的高斯白噪声向量, 假设移动台 0 是基站的期望用户。

智能天线技术要解决的就是如何在保证对期望信号正常接收的前提下, 最大程度地抑制干扰和噪声, 使接收信号的信干噪比 (SINR) 最大。智能天线技术的核心是波束成形算法。由于 PHS 系统时隙中的 SS、PR、UW 字段是移动台与基站共同知道的, 在接收端经过采样后可以用作波束成形自适应算法中的参考信号 $d(n)$ 。利用这些参考信号, 本文将采用 LMS (最小均方) 算法、NLMS (归一化 LMS) 算法和 RLS (递归最小二乘) 算法作为波束成形自适应算法^[9-10]。

LMS 算法的递推公式为:

$$w = (n+1) = w(n) + 2\mu e^*(n)X(n) \quad (2)$$

其中 $e(n) = d(n) - w^H(n)X(n)$, $\mu = 0.001$ 。上标 * 号代表共轭运算。

NLMS 算法的递推公式为:

$$X(n+1) = w(n) + \frac{\mu'}{X^H(n)X(n) + 1} e^*(n)X(n) \quad (3)$$

其中 $\mu' = 0.01$ 。

RLS 算法的递推公式为:

$$w(n) = w(n-1) + g(n)e^*(n) \quad (4)$$

其中 $g(n) = \frac{C(n-1)x(n)}{\lambda + x^H(n)C(n-1)x(n)}$, $e(n) = d(n) - w^H(n-1)x(n)$, $0.995 < \lambda < 0.999$, $C(n) = \frac{1}{\lambda} [C(n-1) - g(n)x^H(n)C(n-1)]$, $C(0) = \delta^{-1}I$, $\delta = 100$ 。

2 DSP 硬件仿真平台

DSP 硬件仿真平台主要由两块 600 MHz 主频

的 TI 6416DSP 评估板及对应的两台计机构成。图2是 DSP 硬件仿真平台的结构框图。DSP 通过 JTAG 仿真器与计算机连接, DSP 之间的通信则通过 6416DSP 上的 McBSP (Multi-channel Buffered Serial Port, 多通道缓冲串口) 进行高速串行通信^[11], 物理链路采用 LVDS (Low Voltage Differential Signaling, 低电压差分信令) 接口技术, LVDS 接口是 20 世纪 90 年代出现的一种数据传输和接口技术。这种技术的核心是采用极低的电压摆幅高速差分传输数据, 可以实现点对点或点对多点的连接, 具有低功耗、低误码率、低串扰和低辐射等特点, 其传输介质可以是铜质的 PCB 连线, 也可以是平衡电缆, 且具有几十米的传输距离。目前, LVDS 已经在对信号完整性、低抖动及共模特性要求较高的系统中得到了越来越广泛的应用。由于两块 DSP 板之间需要较高的通信速率, 又有一定的距离, 故适合采用 LVDS 技术来实现。LVDS 接口芯片采用 Texas Instruments 的四通道收发芯片 SN65LVDS31 和 SN65LVDS32 实现。

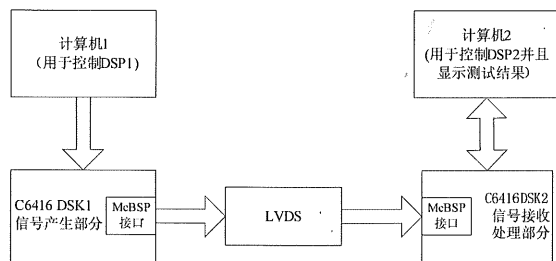


图2 DSP 硬件仿真平台框图

Fig. 2 Architecture of DSP simulation platform

通信用的 LVDS 子卡设计充分考虑高速信号传输的需要, 连接线尽量短, 各条高速信号均采用串联终端匹配技术以尽可能符合信号完整性要求^[12]。尽管 LVDS 要求用 4 层以上 PCB 板设计电路, 但是由于实际信号线数量较少, 且数据率也相对较低 (约 60 Mbps), 最后决定采用双层 PCB, 顶层和底层均大面积铺铜, 实测效果基本满意。

DSP 板 1 需要实现的功能如下: a. 产生用户信号; b. 信道编码及成帧, 其中 CRC 处理按 ITU-T 定义的 16bit CRC 算法; 信道扰码采用 10 级 m 序列; c. $\pi/4$ DQPSK 调制, 把串行信号分成两路并行信号, 然后对信号作差分转换和电平转换, 进行 $\pi/4$ DQPSK 基带映射使信号成为 I、Q 两路双极性差分码; d. 发送成形滤波; e. 模拟无线传输信道; f. 接收端的天线阵列响应; g. 接收成形滤波。如图3所示。

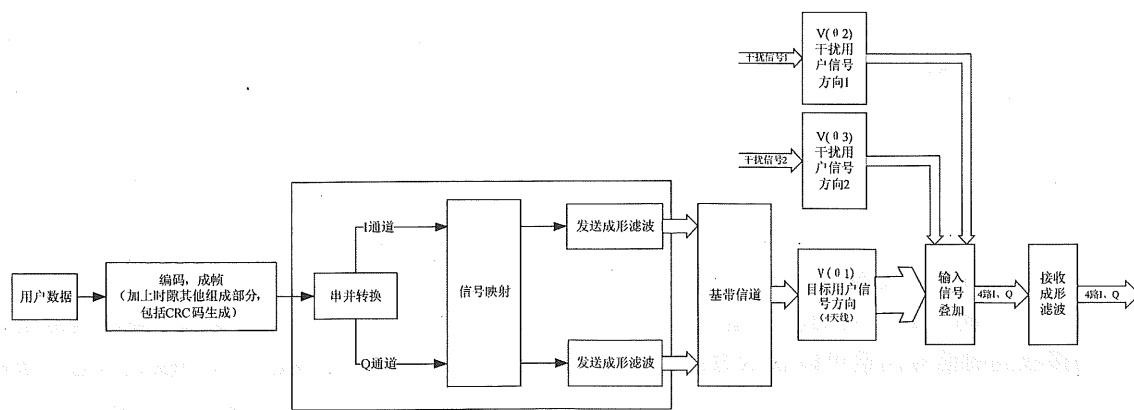


图3 DSP平台信号产生框图

Fig. 3 Diagram of generating signals in DSP platform

DSP板2实现如下功能: a. 解调信号及成形滤波; b. 使用自适应算法计算最优权值; c. 信号的判决; d. 检测识别字 UW 及 CRC; e. 统计误码误帧率。如图4所示。

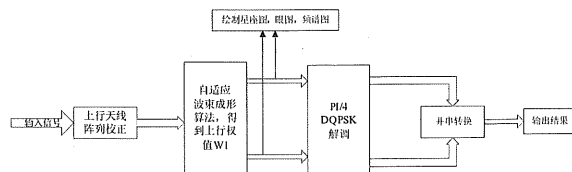


图4 DSP信号接收处理框图

Fig. 4 Diagram of processing received signals in DSP platform

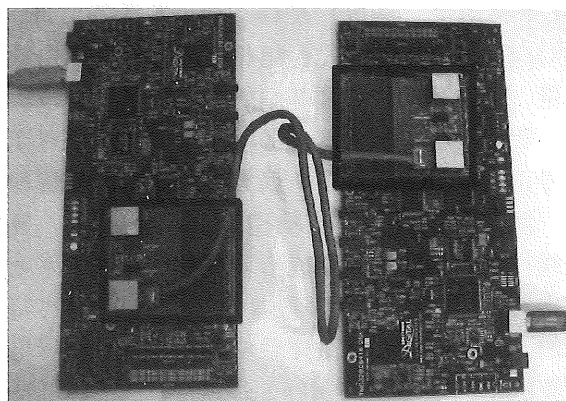


图5 硬件仿真平台实物图

Fig. 5 Real photo of DSP platform

图5是具体实物图, 图中的两个黑线框是通信子卡, 加在DSP板上, 通过DSP板的扩展口相连。通信子卡采用LVDS接口技术, 同时具有收发功能, 子卡之间采用普通五类双绞线连接。由于该硬件仿真平台只需要两台计算机、两块DSP及其相应的连接部件, 降低了实验成本。用简单的设备就可完成复杂的仿真研究, 大大加快了科研进程。而且由于上述的子卡同时具有收发功能, 整个仿真平台具有很好的灵活性和可扩展性, 如果DSP运算资源不足, 可以将图3扩展为多块DSP硬件仿真平台, 也就使得该平台可以采用更多更复杂的算法进行仿真试验。

3 实验结果

在DSP硬件仿真平台基础上, 我们验证了各种自适应算法(2)、(3)、(4)的误帧率、学习曲线和实时性。智能天线采用4阵元的均匀线性阵列, 阵元间隔为半波长。信道模型采用瑞利衰落信道。发送和接收的成形滤波器采用平方根升余滚降滤波器, 滚降系数 $\alpha = 0.5$ 。接收部分每个信息

位采用8倍采样。同一时刻, 存在一个期望信号和两个干扰信号, 期望信号入射角度 0° , 干扰信号入射角度分别为 40° 和 120° 。

图6为自适应算法LMS、NLMS、RLS的学习曲线, 其中横坐标 n 为迭代次数, 在这里等同于参考信号经过8倍采样的后第 n 个采样值 $d(n)$ 。如图6所示, RLS的收敛速度明显快于另外两种算法, 在不到第150次迭代就已经收敛。而NLMS和LMS却分别要到第200次、第250次迭代才逐渐趋近于收敛。图7给出了各种算法在信干噪比SINR从0 dB变化到6 dB的误帧率图, 具体误帧率的数值通过每次发送12 000帧后取均值得到。从图7可以明显看到各种自适应算法的误帧率远远低于传统PHS系统的全向天线接收的误帧率, 其中RLS算法又略微优于LMS和NLMS。NLMS收敛速度快于LMS, 但是在误帧率性能方面相差不大。

本文在DSP硬件仿真平台上不仅验证了各种自适应算法误帧率等特性的同时还对实时性进行了分析研究, 也就是对自适应算法对于硬件仿真平台的资源消耗进行分析研究。如表1所示, RLS算法

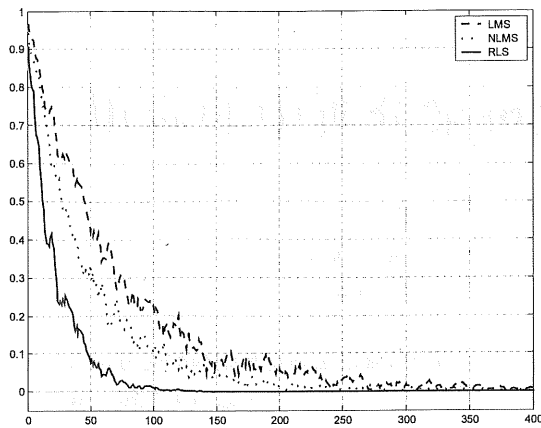


图6 自适应算法的学习曲线

Fig. 6 Learning curves of adaptive algorithms

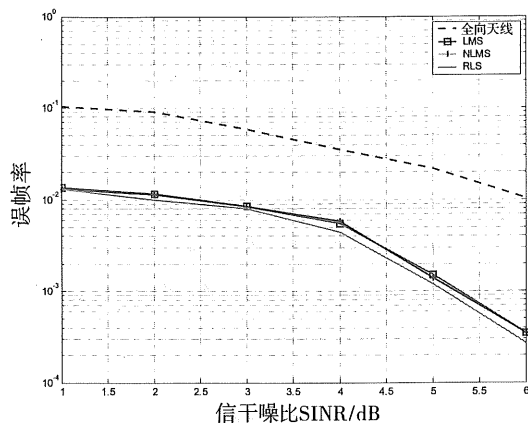


图7 自适应算法的误帧率

Fig. 7 BER performances of adaptive algorithms

表1 自适应算法在 DSP 仿真平台上的实时性
(600 MHz 工作频率)Tab. 1 Real-time performances of adaptive algorithms
in DSP platform

	执行时间 (clock)	执行时间/ μ s
LMS	7148	11.913
NLMS	10540	17.567
RLS	102976	171.627
LMS _{fp} (定点优化)	157	0.262
NLMS _{fp} (定点优化)	502	0.837
RLS _{fp} (定点优化)	14474	24.123

虽然在收敛速度和误帧率方面明显好于 LMS 算法和 NLMS 算法,但是在实时性方面却远远落后。从执行时间方面就可以明显看出,RLS 算法需要 LMS 算法和 NLMS 算法几乎 10 倍的时间才能完成一次迭代,而 NLMS 算法在收敛速度方面比 LMS 算法有所提高,但是在资源消耗上却略微大于 LMS 算法。本文在针对 6416DSP 是定点型处理芯片基础

上,对上述自适应算法进行了定点优化后可以看出算法对硬件资源消耗的情况也大为改观。综合考虑各种算法性能与复杂性的关系,在两者之间作一个权衡,在大部分通信环境下 NLMS 算法是一个比较好的选择。

4 结 论

本文在 PHS 系统模型下提出了一种智能天线技术的实现方案,明显改善了 PHS 的系统性能,对于加强 PHS 系统在无线通信领域中的自身竞争力具有很好的工程指导意义。同时本文还提出了一种基于 DSP、低成本的硬件仿真平台,并给出了自适应算法在该仿真平台上的实验结果。该硬件仿真平台具有较好的灵活性和扩展性,对于一些小型的研究机构具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 王衍文. PHS 系统中的智能基站[J]. 中兴通讯技术, 2004, 1:27-30.
WANG Y W. Smart PHS base station[J]. Zhongxing Telecom Technology, 2004, 1:27-30.
- [2] 万晓榆, 杨丰瑞, 管文明. 小灵通原理与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [3] SEUNGWON C, DONGHEE S. A novel adaptive beamforming algorithm for a smart antenna system in a CDMA mobile communication environment[J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2000, 49(5): 1793-1806.
- [4] DONGHEE S, SEUNGWON C. A new blind adaptive algorithm based on Lagrange's formula for a smart antenna system in CDMA mobile communications[C]. Vehicular Technology Conference, 1998 VTC 98 48th IEEE, 1998, 3:660-1664.
- [5] NGUYEN T, BERANGI R, FAULKNER M. Null depth control for downlink adaptive array. Signal Processing and Its Applications[C]. 1999 ISSPA 99 Proceedings of the Fifth International Symposium on, 1999, 2:523-526.
- [6] MESTRE X, NAJAR M, ANTON C, et al. Adaptive beamforming for high bit rate services in the FDD mode of UTRA[C]. Vehicular Technology Conference, 1999 VTC 1999 - Fall IEEE VTS 50th, 1999, 4:1951-1955.
- [7] JINHO C, PERREAU S, YONG UP L. Semi-blind method for transmit antenna array in CDMA systems[C]. Vehicular Technology Conference, 2000 IEEE VTS-Fall VTC 2000 52nd, 2000, 1:189-194.
- [8] HEFNAWI M, DELISLE G Y. Impact of wideband CDMA signals on smart antenna systems[C]. Personal Wireless Communications, 2000 IEEE International Conference on, 2000, 5-8.

(下转第 61 页)

- of $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ support and evaluation of catalytic activity of Ru-K/ Fe_2O_3 catalyst for ammonia synthesis [J]. Chinese J Catalysis, 2007, 28(1): 62-66.
- [14] CHANG Yang-chuang, CHEN Dong-hang. Preparation and adsorption properties of monodisperse chitosan-bound Fe_3O_4 magnetic nanoparticles for removal of Cu(II) ions [J]. J Colloid and Interface Science, 2005, 283: 446-451.
- [15] 杨霞, 李建, 白浪. 自形成 MnFe_2O_4 磁性液体的磁性研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(1): 9-14.
- YANG Xia, LI Jian, BAI Lang. Studies of magnetic properties of MnFe_2O_4 self-formed ferrofluids [J]. J Southwest University: Natural Science, 2007, 29(1): 9-14.

Core-shell Structure and Magnetic Properties of Magnetic Nanoparticles Modified by Citric Acid

ZHANG Wei^{1,2}, SHEN Hui¹, XIE Min-qiang³, ZHU Yan-juan², HU Sun-lin¹, DENG Ying-yu², LI Xian-jing¹

(1. Institute for Solar Energy Systems, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. School of Physics & Optoelectronic Engineering,

Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

3. The Third Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China)

Abstract: A magnetic nanoparticles modified with citric acid was prepared by means of the two-steps co-precipitation method. The absorption properties of samples were investigated by TEM, FTIR, TG, zeta potential and vibration magnetometer. The average grain size of citric-acid-modified magnetite cores is about 30 nm and the saturation magnetization is 38.9 emu/g, respectively. The result shows that the magnetic nanoparticle can be used as a medical carrier of biomedical.

Key words: nanoparticles; surface treatment; adsorption

(上接第53页)

- [9] HAYKIN S. Adaptive filter theory [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1991.
- [10] DOUGLAS S C. A family of normalized LMS algorithms [J]. IEEE Signal Processing Letters, 1994, 3: 49-50.
- [11] ANJANAIAH S. Using the TMS320C6x McBSP as a high speed communication port [C]. Texas Instruments Incorporated, 2003
- [12] 刘元安, 李书芳. 电磁兼容和印刷电路板理论、设计和布线 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002.

Smart Antenna and its DSP Simulation for PHS Wireless Communication Systems

XIE Ning^{1,2}, ZHOU Yuan-ping³, LI Wei-ke², WANG Wei-quan²

(1. College of Information Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

2. Department of Electronic & Communication Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

3. School of Electronics & Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: PHS system is used in many big cities for such as small size and low power, but the cover ranges of PHS system are too small to be popularized further. Because smart antenna technique can obviously overcome this shortcoming, a smart antennas receiver for PHS wireless Communication system and a complete set of DSP hardware simulation platform are set up. Then an analysis and comparison of the performance of the receiver, including the performance of the real-time adaptive algorithm of smart antennas receiver based on simulation platform are presented. Also, the results of the experiment are given.

Key words: smart antenna receiver; PHS system; DSP platform; adaptive algorithm