码移参考超宽带收发机及其在 WSN 环境中的性能分析

许志猛 钱 慧 余 轮

(福州大学物理与信息工程学院 福州 350108)

摘 要 介绍了一种新型的基于码移参考技术的超宽带收发机,通过在 MATLAB上建模仿真,分析比较了在无线传感器网络应用环境下码移参考超宽带系统的误比特性能。仿真结果表明,采用码移参考技术的超宽带接收机具有比 传统的传输参考接收机更好的抗窄带干扰性能,并具有较低的实现复杂度,更适合于无线传感器网络的应用。此外, 偏移码字的选择对系统的抗窄带干扰性能有较大影响,采用持续时间短或者随机化特性好的码字,系统的抗窄带干扰 能力较强。这些结论为码字的优化设计和系统性能的改进提供了依据。

关键词 无线传感器网,超宽带,传输参考,码移参考,窄带干扰

中图法分类号 TN911.4 文献标识码 A

Code-shifted Reference UWB Transceiver and its Performance Analysis in WSN Environment

XU Zhi-meng QIAN Hui YU Lun

(College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract A novel ultra-wideband(UWB) transceiver based on code-shifted reference(CSR) was introduced. By modeling and simulation on MATLAB, the bit error performance of the system was analyzed and compared under wireless sensor network environment. It shows that the CSR receiver is more robust to narrowband interference than the conventional transmitted reference(TR) receiver and with a lower complexity. Moreover, simulation results reveal the relation between the shifting codes and the NBI mitigation capacity of CSR-UWB receiver, the shorter or the more random code used, the better NBI mitigation capacity will be achieve, which provides guidelines for optimization shifting codes and improving performance for CSR transceiver.

Keywords Wireless sensor networks, Ultra wideband, Transmitted reference, Code-shifted reference, Narrowband interference

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks,WSN)是由 大量低成本传感器节点通过无线通信方式形成的一个自组网 络,是物联网的关键技术之一^[1]。在许多应用中,传感器节点 需要满足低功耗和小体积的要求,并具有精确的定位功能。 脉冲超宽带(Ultra wideband,UWB)技术通过时域上的窄脉 冲信号来传输信息,具有功耗低、结构简单和时间分辨率高等 优点^[2],可以很好地满足 WSN 节点的上述要求。相对于 Zigbee 和蓝牙等其他 WSN 物理层通信技术,脉冲 UWB 技术 具有很强的竞争力并已成为低速高密度无线传感器网络 (IEEE 802.15.4a)的主要获选方案之一^[3]。

在多径信道中, 窄脉冲信号经过信道传播后会出现许多 可分辨的多径分量。采用传统的 RAKE 接收方案设计 UWB 接收机需要设置和多径分量相当的分支以收集这些脉冲信号 分量, 考虑到每个分支需要分别进行信道估计,其实现复杂度 将非常高^[4], 显然不适合在 WSN 中应用。为了降低系统的 实现复杂度, 文献[5]提出了传输参考(Transmitted Reference,TR)UWB方案,通过在发射端发射参考脉冲,接收机可 以直接采用参考脉冲解调信号而无需进行信道估计。然而, TR-UWB方案的主要缺陷在于接收端需要对超宽带信号进 行精确的延时才能提取参考脉冲,这将使 UWB 接收机射频 前端的设计变得困难。为此,文献[6]提出了码移参考(Codeshifted reference,CSR)UWB 方案。CSR-UWB 使用数字编 码区分数据脉冲和参考脉冲,和 TR-UWB 相比,同样无需对 信道参数进行估计,并且由于不需要射频延时单元,接收机的 实现复杂度更低,能够很好地满足 WSN 节点的通信需求。

UWB系统采用与其他系统共享频谱资源的工作方式, 其发射功率必须保持在较低水平,因此UWB系统很容易受 到其他窄带系统的干扰。考虑到WSN的工作环境较为复 杂,有必要对CSR-UWB系统在窄带干扰影响下的性能进行 分析。此外,CSR-UWB系统可以选用多种不同的偏移码字, 研究不同的偏移码对系统性能的影响也是很有必要的。本文 分析了CSR-UWB系统的工作原理,通过计算机仿真得出了 不同偏移码参数设置下CSR-UWB系统的误码率(Bit error rate,BER)性能,进而分析了偏移码参数对CSR-UWB系统性

本文受国家自然科学基金(60672146),福建省教育厅科技项目(JA10040)资助。

能的影响,为 WSN 应用环境下 CSR-UWB 系统的设计和优化提供参考准则。

2 码移参考 UWB 技术

码移参考(CSR)方案是由传统的传输参考(TR)方案发展而来的。TR-UWB方案是一种基于自相关的具有较低实现复杂度的UWB接收方案,一个典型的TR-UWB发射信号为:

$$u(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \left[p(t-jT_f) + d_j p(t-jT_f-T_d) \right]$$
(1)

式中,p(t)表示脉冲波形,i表示发送的第i个脉冲, T_t 表示 脉冲重复周期,即脉冲帧宽度,d; ∈ {-1,1}为调制信息序列, T_a 为参考脉冲与数据脉冲之间的间隔。即发射信号时,先后 发送2个脉冲,1个携带数据信息,另一个脉冲作为解调时的 模板;接收时只需要将 UWB 信号分成 2 路,一路延迟 Ta 后 再与另一路做相关运算即可把传输的数据信息提取出来。与 传统的 RAKE 接收方案相比, TR-UWB 无需信道估计即可 捕获大部分的多径能量。然而,考虑到在接收端需要对 UWB 模拟信号执行精确延迟 T_a 的操作,由于对模拟宽带信号的 精确延时操作的实现比较困难,这增加了系统实现复杂度,使 得 TR-UWB 方案的在 WSN 环境的应用受到限制^[7]。针对 此问题,文献[8]提出了频移参考(Frequency-Shifted Reference,FSR)方案,参考脉冲和数据脉冲的区分通过载波频移 实现。FSR-UWB方案无需模拟延时单元,但增加的载波恢 复和频谱搬移单元使得接收机的实现复杂度仍然较高。不仅 如此,由于使用了模拟载波而带来的一些负面影响,如较低的 比特/脉冲调制率、积分时间固定和多径相位误差等,使 FSR-UWB的传输性能相对于 TR-UWB 方案不具优势[7]。为了 解决上述问题,一种新的思路是利用正交码字区分参考脉冲 和数据脉冲^[6,9]。文献[9]提出了基于正交码参考(Code-Orthogonalized Transmitted Reference, COTR)的方案, 使用一 组正交码字替代 FSR 中的载波频移单元,进一步降低了接收 机的实现复杂度。然而,COTR 方案仍然具有较低的比特/脉 冲调制率,传输性能低于 TR-UWB 方案^[7,9]。

有别于 COTR 方案,CSR 方案接收端先对 UWB 信号进 行平方自相关运算后再利用正交码字提取传输的数据,在和 COTR 方案实现复杂度相当的情况下,其传输性能优于 CO-TR 方案^[7]。CSR-UWB 发射机的实现结构如图 1 所示。



图 1 CSR-UWB 发射机模型

图中,M个信息比特可以由 N_f 个连续的 UWB 脉冲进 行传输,发送脉冲的幅度由信息比特和偏移码字的乘积之和 控制,偏移码字长度为 N_f ,通常称之为帧长。经过偏移码字 的处理,参考脉冲的信息分散到 N_f 个脉冲信号中。相应地, CSR-UWB 发射信号可表示为:

$$x(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N_f - 1} p[t - (jN_f + i)T_f] |\sqrt{M}c_{i0} + \sum_{k=1}^{M} b_{jk}c_{ik}|$$
(2)

式中,p(t)表示 UWB 脉冲波形, T_f 表示 UWB 脉冲的重复时 间, $b_j = [b_{j1}, \dots, b_{jk}, \dots, b_{jM}]$ 且 $b_{jk} \in \{-1, 1\}$ 表示的是在同一 帧内被传输的 M个信息比特,而 $c_k \in \{-1, 1\}$ 是 M +1 个传 输码字,其中 c_0 携带的是参考脉冲信号。 c_k 可表示为:

$$\begin{bmatrix} c_{0} \\ \vdots \\ c_{k} \\ \vdots \\ c_{M} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{00} & \cdots & c_{i0} & \cdots & c_{(N_{f}-1)0} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{0k} & \cdots & c_{ik} & \cdots & c_{(N_{f}-1)k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{0M} & \cdots & c_{iM} & \cdots & c_{(N_{f}-1)M} \end{bmatrix}$$
(3)

CSR-UWB 接收机的实现结构如图 2 所示。首先让信号 通过一个冲击响应为 h(t) 的带通滤波器滤除带外噪声,接着 将信号通过一个平方器,然后对平方器的输出求积分,得到 T_f 时间内的信号能量 r_{ij} 。积分时间 T_M 的取值可以在脉冲 的持续时间 T_p 到 T_f 之间选取。最后,将 r_{ij} 分别和 M 个检 测码字 \tilde{c}_k 做相关运算,可以得到 M 个判决变量 r_{jk}^{\wedge} ,对其进行 简单的符号判决就可以得到发送的 M 个比特信息。检测码 字 \tilde{c}_k 和偏移码字 c_k 可从表 1 中选择 [7]。



图 2 CSR-UWB 接收机模型

表1 偏移码字和检测码字

长度	偏移码字	检测码字
N _f =4	c ₀ =[1,1,1,1]	$\tilde{c}_1 = [1, -1, 1, -1]$
	$c_1 = [1, -1, 1, -1]$	$\tilde{c}_2 = [1, 1, -1, -1]$
	$c_2 = [1, 1, -1, -1]$	
	$c_0 = [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]$	$\tilde{c}_1 = [1, -1, 1, -1, 1, -1, 1],$
$N_f = 8$		-1]
	$c_1 = [1, -1, 1, -1, 1, -1, 1], -1, 1],$	$\tilde{c}_2 = [1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, $
	-1]	—1]
	$c_2 = [1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, $	$\tilde{c}_3 = [1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, $
	-1]	-1]
	$c_3 = [1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, $	$\tilde{c}_4 = [1, -1, -1, 1, -1, 1, 1],$
	-1]	-1]
		$c_4 = [1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, 1],$
		-17

由图 2 可知, CSR-UWB 方案中接收机模拟部分包含 1 个滤波器、1 个乘法器和 1 个积分单元, 其实现复杂度和 CO-TR 方案相当, 相比 TR-UWB 方案可以省去模拟延时单元; 而与码字处理相关的运算则在数字部分完成, 对整个接收机 的实现复杂度影响不大。因此 CSR-UWB 相对于 TR-UWB 方案更加适合在低成本的 WSN 网络中应用。

3 WSN 应用环境下 CSR-UWB 性能分析

为了对 CSR-UWB 技术在 WSN 环境下的性能进行分析,通过在 MATLAB上建立模型进行仿真。本文考虑的是一个单用户的 CSR-UWB 系统,仿真系统框图如图 3 所示。



图 3 仿真模型

3.1 信道模型及接收信号分析

仿真信道采用 IEEE 802. 15. 4a 工业视距传播环境^[10] (CM7),这是一典型的 WSN 多径信道模型。其信道脉冲响 应可以表示为:

$$h_{c}(t) = \sum_{l=1}^{L} a_{l} \delta(t - \tau_{l}) \tag{4}$$

式中, α_l 和 τ_l 分别表示第l个多径分量的幅度和时延,其中第 一个时延 $\tau_l = 0$ 表示视距传播路径。

图 3 仿真模型中,n(t)为加性高斯白噪声,具有双边功率 谱密度 $N_0/2$ 。i(t)为一零均值的高斯随机过程,用来表示信 道中的窄带干扰,其功率谱密度为:

$$S_{i}(f) = \begin{cases} J_{0}/2, & |f - f_{I}| \leq BW_{I}/2 \\ 0, & \notin M \end{cases}$$
(5)

在此信道环境中,根据图 2 的接收机结构,每一个分支的 输出判决分量 $_{r_{*}}^{h}$ 可表示为:

$$\tilde{r}_{jk} = s_{jk} + \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} (i_{jk} + n_{jk})$$
(6)

其中,

$$s_{jk} = \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} \int_{(jN_f + i)T_f}^{(jN_f + i)T_f + T_M} [x(t) \otimes h_c(t) \otimes h(t)]^2 dt$$
(7)

$$i_{jk} = \int_{(jN_f+i)T_f} \int_{[i(t)\otimes h(t)]^2} \left\{ 2[x(t)\otimes h_c(t)\otimes h(t)][i(t)\otimes h(t)] + \int_{[i(t)\otimes h(t)]^2} \right\} dt$$
(8)

$$n_{jk} = \int_{(jN_f+b)T_f}^{(jN_f+b)T_f+T_M} \{2[x(t) \otimes h_c(t) \otimes h(t)][n(t) \otimes h(t)]\}$$

$$+ [n(t) \otimes h(t)]^{2} dt + \int_{(N_{f}+t)T_{f}}^{(N_{f}+t)T_{f}+T_{M}} 2[n(t) \otimes$$

$$h(t)][i(t) \otimes h(t)]dt \tag{9}$$

分别为信号分量、干扰分量和噪声分量。为了简化分析, 假设没有发生脉冲间干扰,即 $\tau_l + T_p < T_f$,将式(2)代入式 (7),可得:

$$s_{jk} = g(M \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} + 2\sqrt{M} \sum_{l=1}^{M} b_{jl} \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} c_{i0} c_{il} + \sum_{l=1,n=1}^{M} \sum_{jl}^{M} b_{jl} b_{jn} \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} c_{il} c_{in} c_{il} + \sum_{l=1,n=1}^{M} \sum_{j=0}^{M} b_{jl} b_{jn} \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} c_{il} c_{in} c_{il} + \sum_{l=1,n=1}^{M} \sum_{j=0}^{M} b_{jl} b_{jn} \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} c_{in} c_{il} + \sum_{l=1,n=1}^{M} b_{jl} b_{jn} \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} c_{in} c_{il} + \sum_{l=1,n=1}^{M} b_{jl} b_{jn} \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} c_{in} c_{il} + \sum_{l=1,n=1}^{M} b_{jl} b_{jn} \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} c_{in} c_{il} + \sum_{l=1,n=1}^{M} b_{jl} b_{jn} \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} c_{in} c_{il} + \sum_{l=1,n=1}^{M} b_{jl} b_{jn} \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} c_{in} c_{il} + \sum_{l=1,n=1}^{M} b_{jl} b_{jn} \sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} c_{in} c$$

其中,

$$g = \int_{0}^{T_{M}} [p(t) \otimes h_{c}(t) \otimes h(t)]^{2} dt$$
(11)

是脉冲信号经过信号和接收机前端滤波器之后在积分时间 *T*_M 内的能量。

为了提取传输信息 b_{jk},当偏移码和检测码选择 Walsh 码时,码字之间满足以下关系:

$$\sum_{i=0}^{N_f - 1} \tilde{c}_{ik} = 0, \forall k \in \{1, 2, \cdots, M\}$$
(12)

$$\sum_{i=0}^{N_f-1} \tilde{c}_{ik} c_{i0} c_{il} = \begin{cases} N_f, & k=l\\ 0, & k\neq l \end{cases}, \forall k, l \in \{1, 2, \cdots, M\}$$
(13)

$$\sum_{i=0}^{q_f-1} \tilde{c}_{ik} c_{il} c_{in} = 0, \forall k, l, n \in \{1, 2, \cdots, M\}$$

$$(14)$$

此时,式(10)可以简化为:

 $s_{jk} = 2g \sqrt{M} N_f b_{jk}$

考虑到 b_# ∈ {-1,1},通过判决符号即可得到传输的信息。此外,由式(6)和式(12)可知,干扰分量 i_#和噪声分量 n_# 在 Walsh 码的作用下会被削弱,因此 CSR 应该具有较好的抗 窄带干扰能力。

(15)

3.2 仿真结果与分析

根据上述系统模型,选择系统仿真参数如表2 所列。仿 真中,脉冲波形采用 sinc 函数,具有近似矩形的频谱特征。

表 2 CSR-UWB 系统基本参数的设置

	数值
	4,8
每帧传输的比特数 M	1,2,3,4
脉冲持续时间 Tp	8 ns
脉冲重复周期 Tf	60 ns
积分时间 TM	60 ns
UWB 系统使用频带	3.1 GHz~5.6 GHz
多径信道模型	IEEE802, 15, 4a CM7
窄带干扰中心频率 fi	4. 3 GHz
窄带带宽 BW1	2 MHz

采用蒙特卡罗(Monte Carlo)法对 CSR-UWB 系统的误比特率(BER)性能进行仿真。作为对比,加入了 TR-UWB 方案的仿真结果,TR-UWB 中参考脉冲和数据脉冲的偏移设置为 *T_f*,数据脉冲的重复时间设定为 2*T_f*。

首先,对没有窄带干扰的工作环境进行分析,仿真结果如 图 4 所示。从仿真结果可见,当选择较高的比特/脉冲调制 率,如 $M/N_f = 1/2$ 时,CSR-UWB 在 WSN 多径工作环境下, 可以达到和传统的 TR-UWB 系统相同的 BER 性能。此外, 随着比特/脉冲调制率的减小,CSR-UWB 的 BER 性能相应 下降。为此,在实际应用中应选择 M/N_f 较高的设置参数, 需要注意的是在 CSR-UWB 系统中,受限于式(12)-式(14), 当 $N_f = 2^N$ 时,M的最大值为 2^{N-1} 。



图 4 CSR-UWB 在多径信道下的误比特率性能

在图 4 的基础上,进一步分析 $M/N_f = 1/2$ 时,CSR-UWB和 TR-UWB加入窄带干扰之后的 BER 性能。设定信 号比特能量与窄带干扰功率谱密度的比值 $E_b/J_0 = 0$ dB,仿真 结果如图 5 所示。

从仿真结果可以看出,CSR-UWB系统比 TR-UWB系统 具有更好的抗窄带干扰性能。信道中加入窄带干扰后,CSR-UWB系统 BER 性能恶化较小;而由于窄带信号在参考脉冲 和数据脉冲的延迟时间 T_d 之内的相关性较强,TR-UWB 受 到窄带干扰的影响较大,性能会急剧恶化。

• 284 •



图 5 加入窄带干扰后的误比特率性能

4 偏移码字对系统性能的影响分析

为了分析偏移码参数对系统性能的影响,通过计算机仿 真得出采用不同偏移码时 CSR-UWB 系统的 BER 性能。

4.1 码字长度对系统性能的影响

从图 5 可见,当 N_f/M 的比值相同时,选择偏移码长度 $N_f=4$ 比 $N_f=8$ 的 CSR-UWB 系统具有更好的抵抗窄带干 扰性能;而在图 4 中,两种不同偏移码长度的 CSR 系统在仅 有噪声影响的信道环境中 BER 性能是一致的。综合图 4 和 图 5 的结果,CSR-UWB 中选择持续时间较短的码字,不仅不 会影响系统在多径信道下的性能,而且在信道中出现窄带干 扰时具有更好的 BER 性能,同时,由于码字长度的减小,系统 实现的复杂度也会较低。

4.2 不同偏移码对系统性能的影响

图 6 是当 M=1 时,码字长度 $N_f=8$ 和 $N_f=4$ 两种情况 下 CSR-UWB 在 CM7 信道中的误比特率性能。



图 6 M=1时多径信道中 CSR-UWB 的误比特率性能

从图 6 可以看出,在码字长度固定的情况下,选择不同的 偏移码,系统在没有窄带干扰的多径信道下具有基本一致的 性能。进一步,取 E_b/N_0 =19dB,加入窄带干扰,用计算机仿 真得出采用不同偏移码的 CSR-UWB 系统的 BER 性能,仿真 结果如图 7 所示。

从仿真结果可以看出,对于 $N_f = 8 \ \pi N_f = 4 \$ 两种情况, 采用码字 c_1 的系统具有较好的性能。由表 1 可知 c_1 码字中 "1"和"一1"交替变化,是采用的偏移码中变化最快的码型,可 见采用随机化特性好的偏移码可使 CSR-UWB 具有更好的抗 窄带干扰能力。

(上接第 278 页)

- [12] 张德干,班晓娟,曾广平.无缝迁移机制中的资源调度策略[J]. 计算机学报,2006,11:2026-2037
- [13] 张德干,徐光祐,史元春. 面向普适计算的扩展的证据理论方法 [J]. 计算机学报,2004,7:918-927



图 7 M=1时加入窄带干扰后的误比特率性能

结束语 本文通过计算机仿真分析了 CSR-UWB 系统中 偏移码参数的选择对系统性能的影响。仿真结果表明,在多 径信道下,CSR 系统的性能取决于 *M*/*N_f* 的比值,即当 *M*/ *N_f* 的比值为 1/2 时,CSR-UWB 系统和 TR-UWB 系统具有 基本一致的 BER 性能,但是前者比后者具有更好的抵抗窄带 干扰的能力并且其抗窄带干扰能力随着码字持续时间的缩短 而增强。此外,在码字长度固定的情况下,采用随机化特性好 的偏移码可以获得更好的抗窄带干扰能力。这些结论为 CSR-UWB 系统在 WSN 应用环境下的优化设计提供了参考 准则。

参考文献

- [1] 邬贺铨.物联网的应用与挑战综述[J].重庆邮电大学学报:自然 科学版,2010,22(5):526-531
- [2] Witrisal K, Leus G, Janssen G, et al. Noncoherent ultra-wideband systems [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2009, 26 (4):48-66
- [3] IEEE 802. 15. 4a. Low rate alternative PHY task group(TG4a) for wireless personal area networks [EB/OL]. http://ieee802. org/15,June,2007
- [4] 张林,王殊.一种基于振幅比较的 UWB 信号解调方法[J]. 计算 机科学,2010,37(10):68-70
- [5] Hoctor R, Tomlinson H. Delay hopped transmitted reference RF communications[C]//Proceedings of IEEE UWBST. Baltimore, USA,2002:265-270
- [6] Nie H, Chen Z. Code-Shifted Reference Ultra-Wideband(UWB) Radio[C] // Proceedings of CNSR' 2008. Halifax, NS, Canada, May 2008, 385-389
- [7] Nie H, Chen Z. Code-shifted reference transceiver for impulse radio ultra-wideband systems [J]. Physical Communication, 2009,2(4):274-284
- [8] Goeckel D L, Zhang Q. Slightly frequency-shifted reference Ultra-Wideband(UWB) radio [J]. IEEE Transactions on Communications, 2007, 55(3): 508-519
- [9] Zhang J, Hu H Y, Liu L K, et al. Code-orthogonalized transmitted-reference Ultra-Wideband (UWB) wireless communication system [C] // Proceedings of WICOM' 2007. Shanghai, China, 2007:528-532
- [10] 解武,曹家年,刘世航,等. IEEE802.15.4a 信道对 UWB 功率谱 影响分析 [J]. 深圳大学学报:理工版,2010,27(1):43-48
- [14] 张德干, 班晓娟. 移动多媒体技术及其应用[J]. 国防工业出版 社, 2006, 2
- [15] 王凤. 基于视频源端的拥塞控制算法研究[D]. 暨南大学, 2008.6
- [16] 章森,吴建平,林闯.互联网端到端拥塞控制研究综述[J]. 软件 学报,2002(3):23-28