

高阶调制 APSK 信号载波同步算法研究

胡景明¹ 郭道省¹ 王辉²

(解放军理工大学通信工程学院 南京 210007)¹ (解放军海军指挥学院 南京 210007)²

摘要 随着卫星通信业务的发展,卫星宽带高速数据通信变得越来越重要,使得高阶调制技术逐渐应用于卫星通信中,但载波频偏对诸如 APSK 等高阶调制信号的影响很大,其多个幅度也使得载波同步更加复杂。在回顾载波同步算法理论的基础上,分析了载波频率和相位偏差对 APSK 信号系统的影响,并研究了载波频率和相位偏差的估计算法。分析表明,算法可有效地解决 APSK 信号多幅度和相位模糊较大的问题,可较好地适用于 APSK 信号的载波频率和相位同步。

关键词 载波同步,APSK,相位模糊,NDA 算法,DDA 算法

中图分类号 TN927, TN76 **文献标识码** A

Carrier Synchronization Algorithm Research for High-order Modulated APSK Signal

HU Jing-ming¹ GUO Dao-sheng¹ WANG Hui²

(College of Communication Engineering, PLA UST, Nanjing 210007, China)¹

(Naval Academy of Commanding, Nanjing 210007, China)²

Abstract With the development of satellite communication services, satellite broadband high-speed data communication is becoming more and more important, higher order modulation technology is increasingly used in satellite communications, but the carrier frequency offset the impact of higher order modulation signals, such as APSK, its various amplitudes also make carrier synchronization more complicated. Review carrier synchronization algorithm theory based on the carrier frequency and phase deviation APSK signal system, and to study the carrier frequency and phase offset estimation algorithm, analysis shows that the algorithm can effectively solve the APSK signal multi-amplitude and phase Fuzzy large problems, and can be preferably applicable to the the APSK signal carrier frequency and phase synchronization.

Keywords Carrier synchronization, APSK, Phase ambiguity, NDA algorithm, DDA algorithm

1 引言

随着卫星通信业务的发展,如 APSK 等高阶调制方式在卫星通信中发挥的作用越来越明显, DVB-S2 系统已经采用 16/32-APSK 信号作为它的一种重要调制方式,然而,这些高阶调制信号受载波频差的影响更严重,由于其存在多个幅度,相位区分度也变得更加狭小,导致高阶调制信号的同步算法也较通常的同步算法复杂,高阶调制信号的载波同步技术也变得尤为重要。

卫星通信中,接收机载波频率误差主要来源于多普勒频移和接收机自身硬件高频头的低噪声模块(LNB)以及调谐器引入的载波频差,可达到几兆赫兹。研究表明, DVB-S2 广播用户接收机产生的载波频差最高可达 5MHz,对于 25Ms/s 的符号速率来说,其归一化频偏达到 0.2,这一载波频偏足以导致接收机无法正确解调相关信号。本文就是基于这种情况,研究了几种适用于高阶调制 APSK 信号载波同步的算法,并对其性能进行了分析。

2 载波同步理论概述

载波恢复算法一般应用参数估计理论,设接收信号点样

本为观测空间,被估计参数的可能取值为参数空间,根据被估计的参数性质,可分为随机参数估计和未知但确定的参数估计,广泛应用两种估计准则:最大似然准则(ML)和最大后验概率(MAP)准则。MAP 准则将信号参数看作是随机的,并且由先验概率密度来表征,ML 准则将信号参数当作未知但确定的。

载波同步可分为载波频率恢复和相位恢复两个模块。频率恢复又分为频率捕获和频率跟踪两个模块,频率捕获主要捕获并恢复较大的频差,将频差限制在一定范围内,频率跟踪则进一步降低剩余频差并实时跟踪频差变化,以保持本地载波始终与接收信号载波同步。目前广泛使用的载波同步技术主要有两类:(1)数据辅助载波恢复技术 DA-CR(Data Aided Carrier Recovery)。由于卫星通信通常具有突发性,而突发通信需要快速、可靠、有效地估计出调制信号的相关参数,因此接收机必须在短时间内完成同步。导频的引入可以辅助实现快速捕获和可靠估计。如果同步参量都从随机数据中提取,将花去系统大量的捕获时间,同时捕获期间的信息符号也会被浪费,因此导频辅助完成同步对“突发模式”是非常必要的。但辅助导频的插入会额外耗费带宽和功率,减少有用的传输效率,因此使用的导频要越短越好。数据辅助载波恢复方法

胡景明(1978—),男,硕士,讲师,主要研究方向为卫星通信、调制解调, E-mail: jingminghu@126.com; 郭道省(1972—),男,博士,教授,主要研究方向为无线通信、调制解调、抗干扰; 王辉(1982—)男,博士,工程师,主要研究方向为海军战役模拟理论、卫星通信。

大都是基于最大似然准则的,在 DVB-S2 标准中,载波同步就是通过在一帧中分段插入导频信号来完成的,导频信号采用 90 度 BPSK 调制方式,和 APSK 调制也不相关。(2)无数据辅助的载波恢复技术 NDA-CR (Non Data Aided Carrier Recovery)。由于没有原始已知数据的辅助,需要直接从接收信号估计所需参量,全盲频率扫描可以辅助捕获频偏,鉴频器也是很好的方法。类似判决引导锁相环(DD-PLL),自动频率控制(AFC)环路就使用鉴频器工作,能捕获较大范围的频偏。对 NDA-CR 技术有不少文献进行了研究,如 RDD-AFC 方法,其使用了互乘鉴相器,较 DD-PLL 有更快的收敛速度;一种极性鉴相器,能适用于任意二维星座,其突出优点是不限制星座形式,适用性广等。

相位恢复理论也大多是依据最大似然准则的,一般采用 3 种方法:(1)数据辅助(DA)方式。使用已知的训练序列来实现 ML 估计。(2)判决辅助(DDA)方式。使用已检测得到的数据估计值实现 ML 估计,其是面向判决的,它的性能接近中小噪声下的 ML 估计性能,在大噪声环境下性能较差。(3)非数据辅助(NDA)方式。通过非线性方法去除接收信号中的调制信息,或通过在所有先验概率上取平均来去除数据相关性,NDA 受调制方式限制,不同调制方式有不同的方法,由于非线性处理导致噪声增强,因此其性能接近于大噪声时的 ML 估计性能。

载波同步结构可分为前向结构(开环)和反馈结构(闭环)。其中,前向结构利用接收数据特征直接从信号中估计出同步参数来实现同步,实现简单,准确度高;反馈结构以锁相环为基础,具有良好的稳定性、自适应调整特性,但是实现复杂度比较高,并且应用锁相环进行调整需要较长的捕获时间,还可能无法入锁,出现挂起现象。

3 APSK 信号频率恢复算法及性能

一般地,载波同步算法首先是有效地去除信号中的调制信息,然后快速准确地估计信号的频率偏差,最后利用频偏估计值通过反向旋转对载波频率进行补偿。本文的频率估计假设是在系统已经实现符号定时同步的基础上进行的,并且频率偏差 f_d 与符号速率 R_s 相比有 $f_d \ll R_s$ 。

设 APSK 发送信号等效低通数学表达式为 $s_k = R_k \exp[j \cdot (\frac{2\pi}{n_k} i_k + \theta_k)]$,这里 $k=1,2,\dots,K$, K 为同心环的个数, R_k 为第 k 个圆周的半径, n_k 为第 k 个圆周上信号点的个数, i_k 为第 k 个圆周上的一个点, $i_k=0,1,\dots,n_k-1$, θ_k 为第 k 个圆周上信号点的初始相位。信号经过信道后受到实部与虚部相互独立的复加性高斯白噪声 w_k 的干扰,设 w_k 的均值为 0,方差为 σ^2 。考虑到频率偏差 f_d 的影响,设 T_s 为符号周期长度,则经过相干解调和匹配,滤波器输出的基带接收信号的第 k 个符号为:

$$r_k = s_k e^{j(2\pi f_d k T_s)} + w_k = R_k e^{j(\frac{2\pi}{n_k} i_k + \theta_k)} \cdot e^{j(2\pi f_d k T_s)} + w_k \\ = R_k \exp[j(2\pi f_d k T_s + \frac{2\pi}{n_k} i_k + \theta_k)] + w_k \quad (1)$$

3.1 频率偏差对 APSK 信号的影响

我们知道,载波频率偏差的存在会造成解调后的 APSK 接收信号星座点在复平面上发生旋转,而且这种旋转会随着接收信号的增加不断累积。

忽略信道噪声和衰落对信号的影响,则经本地载波相干解调之后的接收符号序列为:

$$r_k = R_k \exp[j(2\pi f_d k T_s + \frac{2\pi}{n_k} i_k + \theta_k)] \\ = R_k e^{j(\frac{2\pi}{n_k} i_k + \theta_k)} \cdot e^{j(2\pi f_d k T_s)} \quad (2)$$

从上式可以看出,载波残余频偏的存在会造成 APSK 星座点在相位上发生偏转,偏离标准的星座位置,相位偏转量为 $\Delta\Phi = 2\pi f_d k T_s$ 。可以看出,这一偏转量随着 k 的增大会不断增大,即使经过本地载波恢复后的残留载波频偏很小,如果不再对其进一步地估计和校正,那么随着接收符号数量的不断增多,相位偏转量 $\Delta\Phi$ 也会不断增大,迟早也会出现接收符号偏离出正确的判决区域而造成误判的情况。例如,DVB-S2 标准中规定的常帧(normal frame)为 64800 比特,假设经载波同步之后仍有残余频偏存在,即使频偏再小,经过传输一常帧后,APSK 星座点的相位偏转量也会很大。为了克服帧长较长时残余频偏所造成的巨大影响,可采用在一帧之内分段插入导频的方法等。

3.2 相关检测 DA 频偏估计算法

由于信号帧头不能对抗频偏较大的情况,因此需要在接收机前端对接收信号进行粗频偏估计,以使帧头能够检测的频偏范围。对于信噪比要求较低的 DVB-S2 系统,可以使用全盲数据估计算法,利用鉴相器跟踪系统频偏,但是在信噪比较低时估计出的频偏误差会很大,然而帧头检测所能抵抗的频偏又很小,仅为 $\pm 0.005\%$,因此全盲信号粗频偏估计的算法在信噪比较低的情况下并不能达到帧头同步所要求的性能门限。这里采用一种粗频偏估计算法——相关频率检测算法来实现。

该算法利用帧头已知的 L 个数据符号对频率做相关峰值检测,根据峰值的大小得到一定范围内的频偏,可以基本达到帧头检测的性能要求。该算法粗频偏估计的过程如下:设 θ_0 为固定频偏初始相位,本地信号 $s(k)$ 加上不同的频偏 f_d' 后,与接收信号进行相关运算,得到:

$$|v(k)| \\ = \frac{|\sum_{k=0}^L s(k) \exp[j(2\pi f_d k T_s + \theta_0)] [s(k) \exp(j2\pi f_d' k T_s)]^*|}{\sum_{k=0}^L |s(k) \exp[j(2\pi f_d k T_s + \theta_0)] [s(k) \exp(j2\pi f_d' k T_s)]^*|} \\ = \frac{|\sum_{k=0}^L s(k) s^*(k) \exp j(2\pi(f_d - f_d') k T_s + \theta_0)|}{\sum_{k=0}^L |s(k) s^*(k)|} \quad (3)$$

式中, f_d' 为搜索频率,通过得到的不同的 $|v(k)|$ 值,其中峰值位置所对应的频偏值 $f_d = f_d'$ 即为所估计的频偏 \hat{f}_d 。

一般地,采用分段插入已知导频的方法可以较好地估计长帧中存在的频偏,但是这种方法将造成资源的浪费,所以有必要研究非数据辅助(NDA)的载波残余频偏估计算法,以达到随时可对接收信号进行高精度的频偏估计和校正的目的。

3.3 基于 TD 算法的 NDA 频偏估计

频偏估计 TD 算法原理图如图 1 所示^[1]。

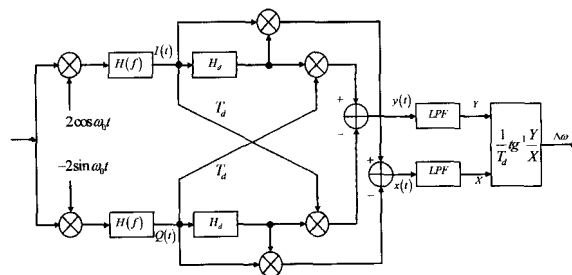


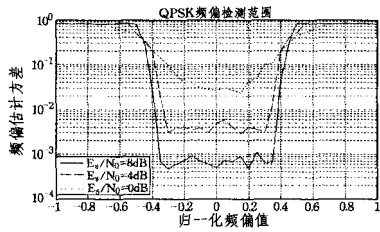
图 1 TD 算法频偏估计原理框图

由此可得,待估计的载波频偏输出值为:

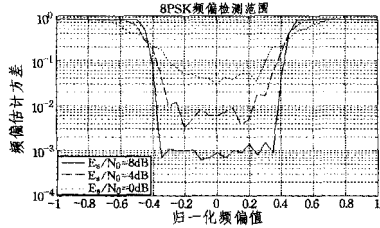
$$\begin{aligned} \hat{\omega}_d &= \frac{1}{T_d} \arctan \frac{Y}{X} \\ &= \frac{1}{T_d} \arctan \frac{E[I(t-T_d)Q(t)-Q(t-T_d)I(t)]}{E[I(t-T_d)I(t)+Q(t-T_d)Q(t)]} \\ &= 2\pi \hat{f}_d \end{aligned} \quad (4)$$

式中, H_d 为延时器, T_d 为延时长度, $I(t)$ 、 $Q(t)$ 分别为接收信号的实部(同相分量)和虚部(同相分量), Y 和 X 分别为一个周期内经过频偏估计器后信号的均值。

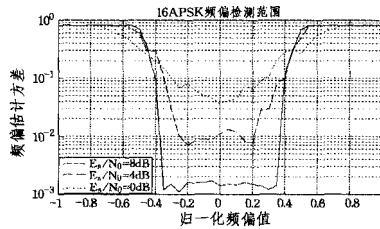
由于此算法中 Y 和 X 的比值与信息符号无关,不存在码型噪声,故使算法的实现得到简化。研究表明,当 $T_d = \frac{T_s}{2}$ (T_s 为符号周期)时,可以减小 Y 和 X 的码型抖动,使性能最好,因而取 $T_d = \frac{T_s}{2}$ 。我们发现,由于此算法中 Y 和 X 的比值与信息符号无关,因此该频偏估计算法不仅适用于 PSK 信号,同样也适用于 QAM 和 APSK 调制信号。



(a) 各调制方式下 TD 算法检测频偏范围比较



(b) 各调制方式下 TD 算法检测频偏范围比较



(c) 各调制方式下 TD 算法检测频偏范围比较

图 2

通过计算机仿真来观察频偏估计 TD 算法的性能。设置信噪比条件分别为 0、4、8dB,选择 QPSK、BPSK 和 APSK 3 种调制方式,通过仿真观察该算法在各调制方式下的频偏估计范围。同时,定义频偏的估计方差为 $\text{var} = E(\hat{f}_d - f_d)^2$,其中 $\hat{f}_d - f_d$ 为估计频偏和实际频偏的差值。所得的仿真结果如图 2 所示。可以看出,TD 算法在各种调制方式下的性能基本相同,检测范围都大致在归一化频偏范围 $|f_d T_s| \leq 0.35$ 内,而且信噪比越高,频偏估计方差越小,估计性能越好;同时也可以看出,TD 算法在具有较大检测范围的同时检测精度不高,在检测范围之内存在较大的方差抖动,且需要较多的数据进行估计,因此仍需要精度更好的相位同步算法进行补充。

4 APSK 信号相位恢复算法及性能

一般地,接收端匹配滤波器的输出都会存在一定的相位误差,这个相位误差一部分是由载波的频率偏移造成的,可以通过频偏估计去除,另一部分则是由收发双方的振荡器差异等原因造成的,但不论是哪种情况,即使是很小的相位偏差,也会对 APSK 信号解调带来严重的影响,造成系统整体的性能损失。因此,在载波同步系统中,除了要对载波频偏进行估计和校正外,还要对载波相位的偏差进行估计和校正。

4.1 相位偏差对 APSK 信号的影响

由上节介绍可知,设接收端本地载波相位为 $c_k = \exp(j\theta_e)$,其中 θ_e 即为待估计的收发信号相位偏差,则解调之后得到的信号为:

$$r_k' = \alpha_k R_k \exp[j(\frac{2\pi}{n_k} i_k + \theta_k + \theta_e + \varphi_k)] \quad (5)$$

式中, α_k 和 φ_k 分别是噪声对接收信号幅度和相位产生的影响。

不难看出,相位误差的存在不仅使信号分量功率减小了 $\cos^2(\theta_e)$,还给同相和正交分量之间带来了干扰。相位偏差对系统造成的影响有两个方面:一是增加了相位估计的均方误差;二是误差偏移会进一步扩散到解映射、译码阶段,造成系统误差。一个很小的相位偏差就能引起系统严重的性能降低,图 3 是带有不同相位偏差的 16-APSK 信号经过一次性解映射及译码后的输出误码率结果,其中编码采用码率为 4/5 的 LDPC 码。

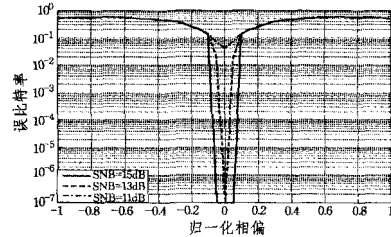


图 3 APSK 信号误码率随相位误差的关系曲线图

图中清楚地表示了不同信噪比条件下译码器输出的误码率随相位偏差变化的情况。可以看出,当归一化相位偏差较大时,系统误码率急剧恶化,导致系统无法实现解调。可见,相位偏差对译码结果的影响是不容忽视的,因此,必须采用一定的技术对载波相位偏差进行估计和校准。

4.2 M 次方 NDA 相位估计算法

M 次方法是一种最基本的相位估计算法,属于非数据辅助(NDA)载波同步技术,常被用于估计 MPSK 信号的载波相位。它的基本思想是通过非线性变换,将信号进行 M 次方运算,消除数据调制的影响,产生一个频率为输入信号 M 倍的非调制载波信号,再用锁相环对其进行滤波提纯,锁相环的输出信号经过 M 分频后就得到相干载波,再经过本地相干后,就得到需要估计的相位信息。

对于 APSK 信号,由于多个幅值的存在,每个幅值圆环上的信号初始相位还有差别,因此,单纯地进行 M 次方运算是不可取的,可以根据 APSK 发送信号星座图分布来进行个例研究。

参照式(5),不考虑噪声的影响,则接收信号为 $r_k' = R_k \exp[j(\frac{2\pi}{n_k} i_k + \theta_k + \theta_e)]$, M 次方相位估计算法的基本公式

为:

$$\hat{\theta}_e = \text{angle}(r_k')^M \quad (6)$$

我们知道,对于 16-APSK 信号, $\theta_k = \begin{cases} \pi/4, & \text{inner} \\ \pi/12, & \text{outer} \end{cases}$, 而

对于 32-APSK 信号, $\theta_k = \begin{cases} \pi/4, & \text{inner} \\ \pi/12, & \text{middle} \\ 0, & \text{outer} \end{cases}$ 。因此,对于 16/32-APSK 信号,可采用同样的算法,取 $M=12$,则不论信号点在哪个环上,都有:

$$\hat{\theta}_e = \text{angle}(r_k')^{12} = \pi + 12\theta_e \quad (7)$$

因此,可以很容易得到相位偏差的估计值。同时还可以发现,该算法中的非线性运算产生的非高斯分布相位噪声会对有用信息产生较大影响,会严重恶化系统性能,此时可采用 A. J. Viterbi 和 A. M. Viterbi 于 1983 年提出的非线性处理 V&V 算法进行数据平均,以减小噪声的影响。

同理,对于其他星座形式的 APSK 信号,可通过观察星座点分布规律,参考每个环上星座点数的最大公倍数作为 M 的取值,采用同样的方法就可以算出相位偏差的值。但是,这种方法同样具有 M 重相位模糊问题,其最佳相位估计范围应在 $[-\pi/M, \pi/M]$ 内,而且算法需要对接收信号进行 M 次方运算,计算量较大,所以这种方法在实际工程中应用较少。

4.3 模糊抑制判决反馈 DDA 相位估计算法

非数据辅助 NDA 算法通常是通过某种非线性方法去除信号中的调制信息来估计参数的,由于非线性处理导致噪声增强,因此其估计性能在高信噪比下较差。面向判决的数据辅助 DDA 算法是通过判决来获取调制数据的估计值,将其反馈给同步系统并进行滤波和提纯,由于它不进行非线性处理,因此高信噪比下其性能优于 NDA 算法,但在低信噪比下由于可能出现大量误判,会造成同步性能恶化。

这里研究一种模糊抑制判决反馈相位估计 DDA 算法,其原理框图如图 4 所示。

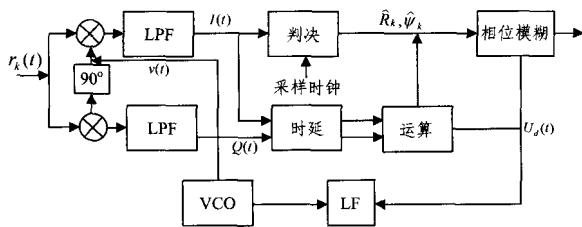


图 4 模糊抑制的判决反馈相位估计算法原理框图

如图 4 所示,设 APSK 信号相位调制信息为 $\psi_k = i_k \frac{2\pi}{n_k} + \theta_k$, VCO 输出的本地载波误差相位为 θ_e ,则在不考虑噪声影响时,有 $I(t) = R_k \cos(\theta_e + \psi_k)$, $Q(t) = R_k \sin(\theta_e + \psi_k)$ 。设处理电路根据判决得到星座点估计值 \hat{R}_k , $\hat{\psi}_k$,通过运算处理,得到:

$$\begin{aligned} U_d(t) &= Q(t) \cos \hat{\psi}_k / \hat{R}_k - I(t) \sin \hat{\psi}_k / \hat{R}_k \\ &= R_k \sin(\theta_e + \psi_k) \cos \hat{\psi}_k / \hat{R}_k - R_k \cos(\theta_e + \psi_k) \sin \hat{\psi}_k / \hat{R}_k \\ &= R_k / \hat{R}_k \sin(\theta_e + \psi_k - \hat{\psi}_k) \approx \sin(\theta_e) \end{aligned} \quad (8)$$

可以看出,运算结果仅与相位误差 θ_e 有关,因此可以用来估计载波相位误差,并通过 $U_d(t)$ 值调整 VCO 输出的本地载波 $v(t)$ 的相位,以实现载波的同步。

不难发现,该算法依然存在相位模糊的问题,而且每个环上的模糊度为 $2\pi/n_k$,即模糊重数为 n_k ,在此问题上,判决电

路对相位点的估计命中率是很关键的,当得到的相位估计值为 $\hat{\theta}_k = \theta_k + i \cdot 2\pi/n_k$ (i 为整数)时,在 $i \neq 0$ (未命中)的情况下,就产生了 $\hat{\theta}_e = \theta_e + i \cdot 2\pi/n_k$ 的相位模糊问题。

为了解决这个问题,引入了相位模糊抑制模块。我们发现,对于 APSK 信号,其较小环星座点相位估计模糊问题总小于较大环上的相位估计模糊问题(即小环上的相位模糊重数 n_k 小于大环上的模糊重数),这样就可以通过较小环星座点的相位估计来校正较大环的相位估计值。

以 16-APSK 星座加以说明,其外环相位估计模糊度数为 $2\pi/12$,假设当外环发生相位估计误差为 $2\pi/12$ 时,如果下一个处理信号的星座点发生在内环上,由于内环相位估计模糊度为 $2\pi/4$,因此相位估计电路可以轻易地发现 $2\pi/12$ 的相位误差并进行校正,同时系统将此时得到的 $U_d(t)$ 值通告给相位模糊抑制电路,并结合前后星座点的半径大小(即当前星座点半径应小于前期星座点半径)以及 $U_d(t)$ 值的大小,来调整前期已经模糊误判的相位点,减小相应的相位数,从而实现外环相位估计的校正。也就是说,较小环的信号点可以作为较大环信号点的相位估计校准点,接收信号在内外环上不停跳动的同时,也进行着相位估计的适时校准。只要外环相位模糊误差不大于内环的相位模糊度,该算法总是有效的。

同时,我们还发现,对于存在多环的 APSK 信号,其每个环上不同的相位模糊度 $2\pi/n_k$ 有利于载波相位的估计和自校准。例如 32-APSK 信号,当前处理信号点在中环上时,假设产生了 $2\pi/12$ 的相位估计误差,如果下一个信号点在外环上,则经过相位估计电路后其模糊度会下降到 $2\pi/16$ 的估计误差上,而当其信号点再一次跳到较小环上时,相位估计电路会自动地将 $2\pi/16$ 的相位误差予以校正来实现完全同步,从而实现 APSK 信号的自校准功能。也就是说,在该相位估计算法当前存在相位模糊误差的情况下,如果 APSK 信号星座点从较小环转向较大环,则算法得到的相位估计误差会减小;如果信号星座点从较大环转向较小环,则算法得到的相位估计误差会消除。

因此,该算法下系统总的相位估计模糊度等于其最小环(其上星座点最少的环)星座点的相位估计模糊度,大小为 $2\pi/\min(n_k)$,相位模糊重数为 $\min(n_k)$,这使得系统总的相位估计模糊度得到大大抑制,系统较小的模糊重数可有效提高相位误差估计的精度,提升系统的性能。

结束语 高阶调制 APSK 信号存在多个幅度,单个星座环上也存在更多的星座点,这些特点使得 APSK 信号的载波同步问题更加复杂。本文基于此,首先回顾了传统的载波同步一系列算法理论,然后根据 APSK 信号特点,分析了载波频率和相位偏差对系统性能的影响,分别采用 DA 算法和 NDA 算法对载波频率误差进行估计捕获。经过研究,其解决了 APSK 信号存在多个幅度而影响同步算法的问题,采用 NDA 算法和 DDA 算法对载波相位偏差进行估计;另外,其抑制了 APSK 信号相位模糊度较大而影响系统同步性能的问题。分析表明,算法可较好地用于 APSK 信号的载波频率和相位同步,为 APSK 信号同步技术提供了一定的参考。

参考文献

- [1] 郑大春. 一种全数字化载波频偏估计器算法[J]. 电子学报, 1999, 27(1)

(下转第 250 页)

3.4 系统功能实现

3.4.1 Android 平台集成 Paypal

(1) 将移动支付所需类库添加到 Android 应用程序中;

(2) 创建“使用贝宝支付”按钮,在 Android 的 Activity 中显示;

(3) 当用户点击“使用贝宝支付”按钮之后,将进入 Paypal 的支付流程;

(4) 当用户完成了付款,类库将向应用程序返回交易数据。

Paypal 的移动支付类库用于集成在 Android 应用程序中实现移动支付功能。移动支付类库提供了很多接口供开发者使用,开发者可以利用这些接口开发出适合多种支付功能的应用,开发过程十分灵活。移动支付类库的集成方案比较简单,大致分为以下几步:

第 1 步 在 Android 应用程序的配置文件中声明要启用的 Paypal 移动支付类库。另外,还要声明类库要求的电话状态和网络访问权限。

第 2 步 将移动支付类库的 jar 包添加到应用程序中,以便在开发过程中随时调用相关的类。

第 3 步 初始化类库。这一步主要是设置应用程序 ID 和 Paypal 的服务器类型。开发者可以根据不同的开发阶段选择相应测试环境。

第 4 步 触发类库 Activity,保证用户点击了按钮之后可以进入 Paypal 的支付流程,同时还需要在相应的实现类中定义付款货币类型、收款人邮箱、金额数、商家名称等信息。

除了以上几步之外,Paypal 移动支付类库还提供了多种可选方法,开发者可以根据需要来调用相应的方法。

3.4.2 信息交互 UI 设计



图 6 UI 效果图

系统界面是用户与系统进行信息交互的接口,要求布局合理、整体视觉良好、功能完善。本文以 Android 为基础,结合系统功能设计出交互式移动商务系统的界面,同时也展示了用户完成一次商务交易的完整过程。

结束语 电子商务基于网络而发展,而移动商务在国内外的理论研究已经日趋成熟,但是由于移动支付系统不够完善、移动网络的普及程度等诸多原因,导致移动商务在实际应用上有很多问题需要解决。本文受国内外相关文献研究的启发,采用交互移动商务模型对其进行论述,并在理论上进行了科学的设计,服务器端采用云计算平台,能够对用户的购买行为进行快速分析计算并返回结果。以 Paypal 第三方支付系统为载体,采用交互式设计,开发了一个简单的移动购物系统,并在 Android 智能手机上运行。实验证明,与传统的交易流程相比,该模型能够实现完整的交易流程,用户体验更好,交易方式更灵活,交易流程更快捷。移动商务会给人们带来一种全新的生活体验,甚至改变人们的生活方式,从这个角度来说,对移动商务进行研究具有很重要的意义。

参考文献

- [1] Muneesawang P, Guan L. An interactive video retrieval system [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Exposition. Taipei, Taiwan, 2004; 283-289
- [2] Rui Y, Huang T S. Optimizing learning in image retrieval [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Hitton Head Island, USA, 2000; 235-245
- [3] 高昂, 慕德俊, 胡延苏. Web 集群的区分服务与负载均衡策略研究 [J]. 电子与信息学报, 2011, 33: 556-560
- [4] Lysyanskaya A, Ramzon Z A. Group blind digital signature: A scalable solution to electronic cash [C]//Proceedings of 2nd Int Conference on Finance Crypto (FC'98). Anguilla, British, 1998; 182-196
- [5] Franklin M, Yung M. Secure and efficient off-line digital money [C]//Proceedings of 12th Int. Colloquium on Automata. Lund, Sweden, 1993; 260-281
- [6] 胡永利, 孙艳丰, 尹宝才. 物联网信息感知与交互技术 [J]. 计算机学报, 2012, 06: 1152-1156
- [7] 杨娜娜, 王杨, 陈付龙, 等. 基于移动 agent 的云计算身份认证机制研究 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29(10): 3813-3814
- [8] 邹杰. 基于 Android 的移动支付客户端的设计与实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2011
- [9] Cerver A. Analysis of J2ME for Developing Mobile Payment Systems [D]. Copenhagen: IT University of Copenhagen, 2002
- [10] 万仁福, 李方伟, 朱江. 一种适用于移动环境的认证和支付协议 [J]. 电子与信息学报, 2005, 27(3): 499-501

(上接第 242 页)

- [2] 李熏春, 施玉海, 等. APSK 调制及其在卫星广播中的应用 [C]//中国电子学会第十一届青年学术会议. 2005: 659-663
- [3] Gappmair W, Koudelka O, Cioni S. Exact Analysis of Different Detector Algorithms for NDA Carrier Phase Recovery of 16-APSK Signals [C]//Satellite and Space Communication, 2007, IVVSSC'07. 2007; 51-55
- [4] Gappmair W, Holzleitner J. Detector characteristic for decision-carrier phase recovery of 16/32-APSK signals [J]. ELECTRON-

ICS LETTERS, 2006, 42(25)

- [5] Gappmair W, Holzleitner J. Detector characteristic for decision-directed carrier phase recovery of 16/32-APSK signals [J]. ELECTRONICS LETTERS, 2006, 42(7): 25
- [6] 史晓锋, 陈咏恩. DVB-C 接收机中的载波恢复电路设计 [J]. 电子技术应用, 2006(11): 127-130
- [7] 汪春霖, 沈业兵, 王爱华. 一种低 SNR 下 APSK 载波相位盲同步方法 [J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(11): 1336-1339