

<http://www.phei.com.cn>



现代通信网实用丛书

GPS软件接收机基础 (第2版)

Fundamentals of Global Positioning
System Receivers A Software Approach
(Second Edition)

[美] JAMES BAO-YEN TSUI 著

陈军 潘高峰 等译 杨小牛 审校



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

现代通信网实用丛书

GPS 软件接收机基础 (第2版)

**Fundamentals of Global Positioning
System Receivers
A Software Approach**

(Second Edition)

[美] JAMES BAO-YEN TSUI 著

陈 军 潘高峰 李 飞 余金峰 黄静华 译

杨小牛 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书采用软件接收机的观点, 详细介绍了 GPS 接收机原理, 涉及软件无线电和 GPS 两个热门领域。GPS 接收机包括直接序列扩频信号接收技术和导航处理两个学科内容, 涉及卫星星座及 GPS 信号的影响、信号捕获跟踪、导航电文解扩接收、伪距测量、定位和导航计算处理等内容。本书第 2 版增加了 3 章新的内容, 主要涉及微弱信号和强干扰环境下, GPS 接收机的处理方法。本书还附列了许多用 Matlab 编写的计算机程序, 帮助阐明某些思想, 一些可直接用于接收机的设计。

Fundamentals of Global Positioning System Receivers
A Software Approach, Second Edition
JAMES BAO-YEN TSUI

All rights reserved. This translation published under license.
Authorized Translation of the Edition Published by JOHN WILEY & SONS, Inc.

No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of
John Wiley & Sons, Inc.

本书中文简体中文字版专有翻译出版权由美国 John Wiley & Sons, Inc. 公司授予电子工业出版社。未经许可, 不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2007-1367

图书在版编目 (CIP) 数据

GPS 软件接收机基础: 第 2 版 / (美) 崔保延 (TSUI BAO-YEN J.) 著; 陈军等译. —北京: 电子工业出版社, 2007.9
(现代通信网实用丛书)

书名原文: Fundamentals of Global Positioning System Receivers A Software Approach (Second Edition)
ISBN 978-7-121-04929-3

I. G… II. ① 崔… ② 陈… III. 全球定位系统 (GPS) — 接收机 IV. P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 133178 号

责任编辑: 宋 梅

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 19.5 字数: 434 千字

印 次: 2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

出版前言

通信行业正处在一个新的转折时期，无论是技术、网络、业务，还是运营模式都在经历着一场前所未有的深刻变革。从技术的角度来看，电路交换技术与分组交换技术趋于融合，主要体现为话音技术与数据技术的融合、电路交换与分组交换的融合、传输与交换的融合、电与光的融合。这将不仅使话音、数据和图像这三大基本业务的界限逐渐消失，也将使网络层和业务层的界限在网络边缘处变得模糊，网络边缘的各种业务层和网络层正走向功能上乃至物理上的融合，整个网络将向下一代融合网络演进，终将导致传统电信网、计算机网和有线电视网在技术、业务、市场、终端、网络乃至行业运营管理和政策方面的融合。从市场的角度来看，通信业务的竞争已达到了白热化的程度，各个通信运营商都在互相窥视着对方的传统市场。从用户的角度来看，各种新业务应运而生，从而使用户有了更多、更大的选择空间。但无论从哪个角度，在下一代的网络中，我们将看到三个世界：从服务层面上，看到一个 IP 的世界；从传送层面上，看到一个光的世界；从接入层面上，看到一个无线的世界。

在 IT 技术一日千里的信息时代，为了推进中国通信业的快速、健康发展，传播最新通信网络技术，推广通信网络技术与应用实践之经典案例，我们组织了一些当今正站在 IT 业前沿的通信专家和相关技术人员，以实用技术为主线，注重实际经验的总结与提炼，理论联系实际，策划出版了这套面向 21 世纪的《现代通信网实用丛书》。该丛书凝聚了他们在理论研究和实践工作中的大量经验和体会，以及电子工业出版社编书人的心血和汗水。丛书立足于现代通信中所涉及的最新技术和成熟技术，以实用性、可读性强为其自身独有特色，注重读者最关心的内容，结合一些源于通信网络技术实践的经典案例，就现行通信网络的结构、技术应用、网络优化及通信网络运营管理方面的问题进行了深入浅出的翔实论述。其宗旨是将通信业最实用的知识、最经典的技术应用案例奉献给业界的广大读者，使读者通过阅读本套丛书得到某种启示，在日常工作中有所借鉴。

本套丛书的读者群定位于 IT 业的工程技术人员、技术管理人员、高等院校相关专业的高年级学生、研究生，以及所有对通信网络运营感兴趣的人士。

在本套丛书的编辑出版过程中，我们受到了业界许多专家、学者的鼎力相助，丛书的作者们为之付出了大量的心血，对此，我们表示衷心的感谢！同时，也热切欢迎广大读者对本套丛书提出宝贵意见和建议，或推荐其他好的选题（E-mail: mariams@phei.com.cn），以帮助我们在未来的日子里，为广大读者及时推出更多、更好的通信网络技术类图书。

电子工业出版社

2005 年 1 月

译者序

与众多的 GPS 书籍相比，本书有两个明显的特点：第一，这是一本详细介绍 GPS 接收机原理的书；第二，采用了软件接收机的观点。

正如作者所言：“尽管 GPS 接收机已广泛应用于我们的日常生活当中，但想在一本书中找到它们的工作原理是很难的。”大部分的书籍，关注的重点是 GPS 接收机输出信息的应用，而不关心 GPS 接收机本身，当然，对于 GPS 的初级应用者来说，这就够了，但毕竟还有许多人需要对 GPS 做深入的研究和应用，恰好译者是这样的一群人，因此，对此书倍感珍惜，也愿意斗斗胆子，把该书翻译出来介绍给大家。

本书另一个特点，也是最重要的特点，是采用了软件无线电的概念来表述主题内容。在软件接收机中，信号被数字化后，可以通过数字信号处理得到必要的信息，也就是说，可以用软件进行信号处理。这样的表述方式非常有意义。首先，相对来说，GPS 接收机属于窄带接收机，在现有技术下已经可以用软件方式来实现；其次，用软件接收机的方法对系统的工作流程进行解释效果更佳，更容易阐明信号捕获和跟踪的概念，可以提供一个更清晰的思路。而且，作者指出：“一旦很好地理解了软件无线电的概念，读者就能够自己提出一些解决问题的新方法，比如能够提高效率和其他捕获和跟踪方法”。“因为软件方法还处于初级阶段，人们可能探究出许多潜在的方法”。

基于以上的原因，我们在翻译时对原著的书名做了修改，直接称为“GPS 软件接收机基础”，期望能够获得读者的认同。

另外，本书的结构安排也很有特色。本书以系统设计者的视角，从 GPS 的基本概念开始，从基本需求出发，一步一步导出需要解决的问题，介绍和比较了各种解决方案，一环紧扣一环，引人入胜。本书共有 12 章。第 2 章导入决定用户位置的必要条件，从而导出 GPS 所应包含的参数。有关在卫星位置已知情况下，如何得到用户位置的基本概念也包含在第 2 章。第 3 章讨论卫星星座及其对 GPS 信号的影响，从而又如何影响到 GPS 接收机的设计。第 4 章讨论地心地球固连坐标系。采用该坐标系，如何计算出用户位置，和日常使用的地图相吻合。在第 5 章中详细讨论了 GPS 信号结构。第 6 章讨论了收集数据的硬件，即常规 GPS 接收机的前端部分，另外还介绍了数据格式的变化。第 7 章介绍几种捕获方法。它们中的一些适用于硬件设计，另一些适合于软件应用。第 8 章讨论两种跟踪方法，一种采用常规锁相环；而另一种更适合于软件无线电方法。第 9 章是对前面章节的总结，提炼了前面 8 章的所有内容并按 GPS 接收机信号流程的顺序进行介绍。前 9 章是本书第 1 版的内容，在第 2 版中改动很小，第 2 版只是增加了 3 章新的内容，主要涉及微弱信号和强干扰环境下，GPS 接收机的处理方法，这些都是 GPS 用户和 GPS 设备研发者日益感兴趣的课题。第 12 章还讨论了与 GPS 接收机相关的一些其他内容。

本书的某几个章节的后面列出了用 Matlab 编写的计算机程序,一些程序仅是阐明某些思想的,一些可用于接收机的设计。最后一章列出了所有和接收机设计有关的程序,这些程序没有经过优化,仅作为示范例子。

本书对于那些研究或想了解 GPS 接收机详细工作原理的工程师或科技人员非常有帮助,是一本很值得向有关工程技术人员和高等院校推荐的专业书籍和教学参考书。

在本书的出版过程中,徐义军和许宝民同志对本书提出了指导性意见,并给予了大力支持。张先志、贺世民和芦秀伟等同志参加了本书第 1 版的翻译;梁高波和王大明等同志参加了本书的校对,在此一一致谢。

本书是由陈军、潘高峰、李飞、余金峰和黄静华等翻译,杨小牛对全书进行了仔细审校。由于译者水平有限,对书中的有些技术术语难免把握不准,译著中肯定会存在一些错误,敬请读者批评指正。

译 者

2007 年 08 月

前言（第2版）

在本书的新版内容中，对原来的9章内容改动很小，但是，增加的3章新内容所讨论的都是GPS用户和GPS设备研发者日益感兴趣的课题。其中一个主题是，提高GPS接收机灵敏度，使它们能在建筑物内工作，这在紧急救援和市区作战等应用领域已变得越来越重要了。因此，第10章和第11章的重点是弱信号的处理问题，以及自主GPS接收机的局限性。这些处理同样可以用于噪声环境和干扰条件下的GPS接收机。在第12章中，讨论了其他一些主题，比如用历书数据来简化信号捕获；确定GPS接收机在强干扰条件下工作所要求的模/数转换器的位数；以及用地面反射的GPS信号作为高度计等。

我和我在AFRL的同事D. Lin先生和L. L. Liou博士，以及迈阿密大学的Y. T. Morton博士对技术问题的讨论一直没有间断过。他们和我紧密合作，对本版图书作出了巨大贡献，我非常感激他们的帮助。迈阿密大学的J. Morton和T. Y. Morton博士，以及Purdue大学的J. Garrison博士为我审阅了书稿，在此表示由衷的感谢。

AFRL/SNR的管理人员一如既往地提供了指导和帮助。在此要特别感谢W. Moore, K. Loree, M. Longbrake, B. Holsapple和S. Hary博士。我还要感谢我的新同事M. Berarducci, J. Buck, J. Coker, J. C. Ha, Dr. M. Miller, S. Moore, T. Nguyen, H. Noffke, N. Wilkins, J. McCartney, T. Niedzwiecki, M. Thompson和C. Tolle，他们对我帮助很大。

JAMES BAO-YEN TSUI

前言（第1版）

本书的目的是详细地介绍关于全球定位系统（GPS）接收机的基本原理。尽管 GPS 接收机已广泛应用于我们的日常生活当中，但想在一本书中找到它们的工作原理是很难的。大部分其他类型的接收机，如调幅（AM）和调频（FM）接收机，对输入信号进行处理便很容易得到最终信息。GPS 接收机对接收的信号进行处理获得必要的信息后，继而将该信息用来计算用户的位置。GPS 接收机至少应用了两个学科领域的内容，即接收机技术和导航设计，本书就包括这两部分内容。

在 GPS 信号中有两类信息：民用码，称为粗 / 捕获（C/A）码；保密的军用码，称为 P(Y)码。本书主要介绍民用的 C/A 码。利用 C/A 码信息可使商用的 GPS 接收机得到用户位置。

本书的内容是以软件接收机的观点介绍的，原因有两点：首先，窄带接收机，如 GPS 接收机将来都能用软件来实现；其次，用软件接收机的方法可以更清楚地说明系统的工作流程，本书使用了一些关键的计算机程序来进一步说明这些观点。

本书对于那些研究或想了解 GPS 接收机详细工作原理的工程师或科技人员非常有帮助，它还适合于高等院校或研究生院作为教材使用。有几章的后面列出了几个用 Matlab 编写的程序，以帮助读者更容易地理解书中涉及的一些内容。

编写本书的过程中得到了许多人的支持，在此深表谢意。尤其要感谢这 3 位工程师：Stanford 大学的 D. M. Akos 博士、Rockwell Collins 公司的 M. Stockmaster 和 Veridian 公司的 J. Schamus，他们和我一同在赖特·帕特森空军基地的空军研究实验室进行 GPS 软件接收机的设计工作，有了他们的帮助才使本书得以顺利出版。Akos 博士审核了原稿。我还参考了几本关于 GPS 接收机教程中的内容，它们是由在空军技术研究院工作的 Lt. Col. B. Riggins 博士和 Capt. J. Requet 博士提供的。同俄亥俄大学的 Drs. F. VanGraas 和 M. Braasch 的讨论也对我帮助极大。我与同事 D. M. Lin 和 V. D. Chakravarthy 之间关于 GPS 话题的讨论一直都没有间断过。

空军技术研究院高级组的管理人员为 GPS 软件接收机研究提供了很好的指导和支持。我要对 Dr. P. S. Hadorn, E. R. Martinsek, A. W. White 和 N. A. Pequignot 表示由衷的感谢。我还要感谢我的同事 R. L. Davis, S. M. Rodrigue, K. M. Graves, J. R. McCall, J. A. Tenbarga, Dr. S. W. Schneider, J. N. Hedge Jr., J. Caschera, J. Mudd, J. P. Stephens, Capt. R. S. Parks, P. G. Howe, D. L. Howell, Dr. L. L. Liou, D. R. Meeks 和 D. Jones，感谢他们为我做了很多咨询和协助工作。

最后，我要感谢我妻子 Susan 对我的鼓励和理解。

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 GPS 的发展史	(1)
1.3 GPS 接收机基本原理	(2)
1.4 内容的组织方法	(2)
1.5 软件方式	(3)
1.6 软件方式潜在的优势	(3)
1.7 本书的结构	(4)
参考文献	(4)
第 2 章 GPS 的基本概念	(6)
2.1 引言	(6)
2.2 GPS 的性能要求	(6)
2.3 GPS 的基本概念	(6)
2.4 确定用户位置的基本方程	(8)
2.5 伪距测量	(9)
2.6 根据伪距求用户位置	(9)
2.7 多于 4 颗卫星的位置计算方法	(11)
2.8 球坐标系中的用户位置	(12)
2.9 地球几何学	(13)
2.10 椭圆中的基本关系	(14)
2.11 高度的计算	(15)
2.12 大地纬度的计算	(16)
2.13 地球表面任一点的计算	(18)
2.14 卫星选择	(19)
2.15 误差放大因子	(20)
2.16 小结	(21)
参考文献	(22)
附录 A 程序 1	(24)

第 3 章 卫星星座	(26)
3.1 引言	(26)
3.2 GPS 系统的控制区段	(26)
3.3 卫星星座	(27)
3.4 来自不同卫星的最大功率电平差值	(28)
3.5 恒星日	(28)
3.6 多普勒频移	(29)
3.7 多普勒频率的平均变化速率	(32)
3.8 多普勒频率的最大变化速率	(33)
3.9 用户加速度产生的多普勒频率的变化速率	(34)
3.10 开普勒定律	(34)
3.11 开普勒方程式	(35)
3.12 真近点角和平近点角	(37)
3.13 用户位置处的信号强度	(39)
3.14 小结	(41)
参考文献	(41)
第 4 章 地心地固坐标系	(43)
4.1 引言	(43)
4.2 方向余弦矩阵	(43)
4.3 卫星轨道参照系向赤道参照系的转换	(45)
4.4 春分	(47)
4.5 地球的自转	(48)
4.6 从轨道参照系到地心地固参照系之间的全部变换	(49)
4.7 摄动	(51)
4.8 发射时刻 GPS 系统时间的修正	(52)
4.9 卫星位置计算	(53)
4.10 卫星坐标调整	(54)
4.11 星历数据	(55)
4.12 小结	(56)
参考文献	(56)
第 5 章 GPS C/A 码信号结构	(58)
5.1 引言	(58)
5.2 传输频率	(58)

5.3	码分多址 (CDMA) 信号	(60)
5.4	P 码	(60)
5.5	C/A 码及数据格式	(61)
5.6	C/A 码的产生	(63)
5.7	C/A 码的相关性	(66)
5.8	导航数据位	(68)
5.9	遥测 (TLM) 字和交接字 (HOW)	(68)
5.10	GPS 时间和卫星 Z 计数	(69)
5.11	奇偶校验算法	(70)
5.12	子帧 1 的导航数据	(74)
5.13	子帧 2 和子帧 3 的导航数据	(75)
5.14	子帧 4 和子帧 5 的导航数据——辅助数据	(77)
5.15	电离层模型	(81)
5.16	对流层的模型	(83)
5.17	选择可用性 (SA) 及典型的定位误差	(83)
5.18	小结	(84)
	参考文献	(84)
	附录 A 程序 1	(86)
第 6 章 接收机硬件设计		(88)
6.1	引言	(88)
6.2	天线	(88)
6.3	放大倍数研究	(91)
6.4	由频率划分的两种数字化方案	(91)
6.5	天线前端	(92)
6.6	依据 C/A 码码元速率选择采样频率	(93)
6.7	实数数据的采样频率和频带折叠	(94)
6.8	实数数据采集的下变频射频前端	(95)
6.9	实数数据采集时的直接数字化	(97)
6.10	同相 (I) 和正交 (Q) 下变频	(98)
6.11	将两个或更多的输入波段折叠到基带中	(100)
6.12	量化电平	(101)
6.13	希尔伯特变换	(102)
6.14	复数数据到实数数据的变换	(104)
6.15	采样频率精度的影响	(105)

6.16 小结	(105)
参考文献	(106)
第7章 GPS C/A 码信号的捕获	(108)
7.1 引言	(108)
7.2 捕获方法	(108)
7.3 捕获所用的最大数据长度	(109)
7.4 捕获中的频率步进	(110)
7.5 C/A 码的相乘和快速傅里叶变换 (FFT)	(110)
7.6 时域相关	(112)
7.7 循环卷积和循环相关	(113)
7.8 采用循环相关的捕获	(115)
7.9 改进的循环相关捕获法	(116)
7.10 时延相乘法	(117)
7.11 非相干积分	(119)
7.12 长数据记录的相干处理	(120)
7.13 精细频率估计的基本概念	(121)
7.14 精细频率测量中的分辨模糊	(121)
7.15 一个捕获例子	(124)
7.16 小结	(128)
参考文献	(128)
附录 A 程序 1	(129)
第8章 GPS 信号跟踪	(134)
8.1 引言	(134)
8.2 基本锁相环	(134)
8.3 一阶锁相环	(136)
8.4 二阶锁相环	(137)
8.5 连续系统到离散系统的转换	(138)
8.6 载波和码跟踪	(139)
8.7 利用锁相环跟踪 GPS 信号	(141)
8.8 同步信号块调整法 (BASS) 中的载频更新	(142)
8.9 核函数中的不连续性	(143)
8.10 C/A 码起始位置的测量精度	(146)
8.11 通过理想相关输出得到的精细时间分辨率	(147)
8.12 通过曲线拟合得到的精细时间分辨率	(149)

8.13	BASS 跟踪程序的输出	(151)
8.14	RF 和 C/A 码的复合	(152)
8.15	长数据的跟踪和第一次相位跳变	(153)
8.16	小结	(153)
	参考文献	(153)
	附录 A 公式 1	(155)
第 9 章	GPS 软件接收机	(156)
9.1	引言	(156)
9.2	从跟踪结果得到的数据	(156)
9.3	将跟踪输出转换为导航数据	(159)
9.4	子帧匹配和奇偶校验	(160)
9.5	从子帧 1 获得星历数据	(161)
9.6	从子帧 2 获得星历数据	(162)
9.7	从子帧 3 获得星历数据	(162)
9.8	星历数据的典型值	(163)
9.9	求伪距	(164)
9.10	经传输时间修正后的发射时刻的 GPS 系统时 (t_c)	(170)
9.11	卫星位置的计算	(170)
9.12	笛卡儿坐标系中用户位置的计算	(172)
9.13	卫星坐标系的调整	(173)
9.14	将用户位置转换到地球坐标系	(173)
9.15	从捕获到跟踪程序的转换	(174)
9.16	小结	(176)
	附录 A 程序 1	(177)
	附录 B 程序 2	(179)
	附录 C 程序 3	(180)
	附录 D 程序 4	(181)
	附录 E 程序 5	(182)
	附录 F 程序 6	(184)
	附录 G 程序 7	(187)
第 10 章	弱信号的捕获	(192)
10.1	引言	(192)
10.2	信噪比 (S/N)	(193)
10.3	接收机灵敏度的限值	(193)

10.4	检测概率和虚警率	(196)
10.5	相干积分增益	(197)
10.6	非相干积分	(198)
10.7	非相干积分损耗与增益	(198)
10.8	弱信号的捕获研究	(201)
10.9	输出采样频率	(202)
10.10	周期信号的相干积分	(202)
10.11	频率分量间损耗的恢复	(204)
10.12	非相干积分中的时间频率调整	(209)
10.13	高斯噪声的门限确定	(211)
10.14	仿真信号的检测概率	(216)
10.15	实际数据的门限确定	(218)
10.16	精确频率计算	(222)
10.17	第一个导航相位跳变的确定	(224)
	参考文献	(227)
第 11 章	弱信号的跟踪	(229)
11.1	引言	(229)
11.2	本地 C/A 码的再生频率	(229)
11.3	载波频率测量要求	(230)
11.4	对 1 ms 数据的处理和输入数据选择	(231)
11.5	C/A 码的产生	(232)
11.6	本地码的产生以及与 1 ms 输入信号的相互关系	(235)
11.7	获得导航数据并寻找载波频率	(236)
11.8	信噪比 (S/N) 的计算	(238)
11.9	伪距测量的基本思想	(239)
11.10	超前和延迟峰相关输出 (y_{es} 和 y_{ls}) 的求和	(240)
11.11	跟踪中的实际时移	(242)
11.12	每秒重新产生 C/A 码的跟踪程序 ^[3]	(244)
11.13	在非整数采样频率下信号的跟踪	(246)
11.14	初始 C/A 码点与 1 ms 选取数据相匹配的情况	(249)
11.15	弱信号跟踪的实验结果	(250)
	参考文献	(252)
	附录 A 程序 1	(254)
	附录 B 程序 2	(255)

第 12 章 GPS 接收机相关的一些内容	(258)
12.1 引言	(258)
12.2 由历书数据获取的信息	(258)
12.3 已知精确载频信息情况下的捕获	(261)
12.4 采用分割法的循环相关	(262)
12.5 通过广域增强系统 (WAAS) 信号对采样频率进行修正	(267)
12.6 强信号和弱信号的情况	(273)
12.7 GPS 信号仿真	(277)
12.8 ADC 前端滤波器带宽对捕获的影响	(278)
12.9 存在干扰时所需 ADC 的位数	(280)
12.10 软件接收机的实时操作	(283)
12.11 无源高度计	(283)
12.12 卫星位置和历书数据中的多普勒频率	(287)
12.13 利用蜂窝电话进行紧急事件的地理定位	(290)
参考文献	(291)

第1章 概述

1.1 引言^[1~13]

本书以紧凑的形式，详细介绍了全球定位系统（GPS）粗 / 捕获（C/A）码接收机。利用 C/A 码获取用户的位置信息称为标准定位服务（SPS）。虽然大部分内容可以在参考文献[1~13]中找到，但是，参考文献中除了有 GPS 接收机基本知识外，还包含了其他更多的知识内容。因此，读者必须从中选择适当的内容，并加以综合，这是一件乏味而繁重的任务，本书为读者完成了这项工作。

本书不仅仅是介绍参考书中的知识，而主要是强调它的应用。书中提供了一些软件程序以帮助理解一些概念，这些程序也可以用于 GPS 接收机的设计。另外，本书还包括各种各样的 GPS 信号捕获和跟踪技术。

本书集中对 C/A 码 GPS 接收机的基本概念进行了介绍。本书不包含和基本接收机不直接相关的内容（即使是大家普遍感兴趣的，例如，差分 GPS 接收机和具有载波辅助跟踪能力的 GPS 接收机），这些内容可在参考文献[1]中找到。

1.2 GPS 的发展史^[1,5,12]

在人类历史中，似乎很早就发明了导航技术，根据中国人的传说，在有历史记录以前，指南针就已用于浓雾天气条件下的战争中。有许多不同的导航技术用于海洋和空中运输。导航卫星产生于 20 世纪 70 年代早期。在 GPS 计划之前就开发了 3 个卫星系统：美国海军导航卫星系统（也称做子午仪，即 Transit）、美国海军的 Timation 和美国空军 621B 计划。子午仪采用连续波（cw）信号，通过测量最大的多普勒频移，能得到卫星的临近点。Timation 使用原子钟改进卫星轨道的预测并减少地面控制更新率。空军 621B 计划采用伪噪声（PRN）信号调制载波频率。

GPS 计划在 1973 年 12 月才被认可。1978 年发射了第一颗卫星。1993 年 8 月，GPS 有 24 颗在轨卫星，同年 12 月，具备了基本的工作性能。1994 年 2 月，联邦航空局（FAA）宣布 GPS 准备投入航空使用。

1.3 GPS 接收机基本原理

本书讨论的 GPS 接收机如图 1.1 所示。GPS 卫星发射的信号被天线接收，通过射频（RF）链将输入信号放大到合适的幅度并将频率转换到需要的输出频率上，再通过模 / 数转换器（ADC）将输出信号变成数字信号。天线、RF 链和 ADC 都是接收机中所用的硬件装置。

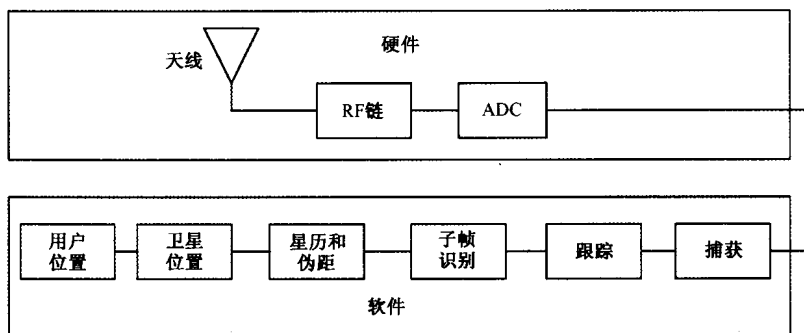


图 1.1 GPS 接收机的基本原理图

在信号数字化之后，就可以用软件进行信号处理了，这也是本书采取软件方法的原因。捕获是指发现某一个卫星的信号。跟踪过程得到导航数据的相位变化。在常规接收机中，捕获和跟踪是由硬件来完成的。根据导航数据的相位跳变，能得到子帧和导航数据，从导航数据里就可得到星历数据和伪距。星历数据用来获取卫星的位置。最后，通过卫星的位置和伪距能计算出用户的位置。本书中讨论了用于收集数字数据的硬件和得到用户位置的软件。

1.4 内容的组织方法

撰写本书可以采用两种方式。一种是直接方法，根据图 1.1 中的信号流程来介绍，采用这种方式，本书应该从 GPS 系统的信号结构和处理信号的方法，讨论如何获取一些必要的信息。这些信息用来计算卫星的位置和伪距，通过卫星的位置和伪距计算出用户的位置。在这种方式中，从一个环节到另一个环节，介绍的流程会非常流畅，然而，这种方式的缺点是读者会对为什么需要这些步骤没有一个清晰的思路。只有读完整本书后，读者才能理解 GPS 工作的概念。

另一种方式是从系统设计者的观点，从介绍 GPS 的基本概念开始。这种方法是从由卫星的位置得到用户位置的基本概念开始，这时卫星星座的状况得到介绍。GPS 数据中包含卫星轨道的详细信息，为了获得这些数据必须跟踪 GPS 信号，于是 GPS 信号的 C/A 码被引入。每个卫星都有一个独特的 C/A 码，接收机对 C/A 码进行捕获来发现信号，一旦发现