

多天线 GPS 接收机分集算法研究

冀常鹏

(辽宁工程技术大学电子与信息工程系, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 由于多径衰落严重影响了 GPS 信号传输的质量, 抗多径衰落技术的研究一直倍受关注。分集技术用来减小衰落的影响, 在不增加发射机功率或信道带宽的情况下提高系统的可靠性。并以空间分集为例, 讨论在多天线 GPS 接收机中应用最大信噪比准则, 进行信号选择性合并, 提高合并处理增益, 进而改善 GPS 接收机的性能。

关键词: 多径衰落; 空间分集; GPS; 选择性合并

中图分类号: P245 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2004)76-0019-03

1 GPS 定位原理

GPS 的基本定位原理是: 卫星不间断地发送自身的星历参数和时间参数, 用户接收到这些信息后, 经过计算求出接收机的三维位置、三维速度和时间信息。每一颗卫星连续不断地向 GPS 接收机发送可跟踪的惟一编码序列, GPS 接收机可根据编码辨认相关的卫星, 进而计算出接收机的正确位置和准确时间。一般情况下, GPS 接收机接收到 1 颗卫星的信号, 便能确定出时间; 若接收到 3 颗卫星的信号, 便能确定出二维信息(经度和纬度); 而接收到 4 颗卫星信号, 便能实现三维定位(经度、纬度和高程)。因此, 联立 4 个方程即可求出结果, 每个方程都可在三维空间内确定某颗卫星到用户的距离。

这四个方程为:

$$\begin{cases} (x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2 = (R_1 - C_E)^2 \\ (x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2 = (R_2 - C_E)^2 \\ (x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2 = (R_3 - C_E)^2 \\ (x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2 = (R_4 - C_E)^2 \end{cases}$$

式中 R_i 是伪距离($i = 1, 2, 3, 4$; x_i, y_i, z_i 是卫星位置($i = 1, 2, 3, 4$)); x_u, y_u, z_u 是用户位置; C_E 是时钟偏差。

由方程可知, 要求输入的参量是: 伪距离, 伪时间和卫星位置坐标。伪距离是接收机测得的到卫星的距离, 伪时间是接收机时钟相对于卫星时钟的偏差量, 卫星的位置坐标则是根据控制部分测出并加在信号中的卫星天文数历推算出来的。

2 常用的抗多径衰落技术

由于多径衰落严重影响了 GPS 信号传输的质量, 对抗多径衰落技术的研究一直倍受关注, 已经有很多研究成果, 主要包括: 自适应均衡、交织和分集技术等。其中主要且行之有效的一项技术是分集技术。分集接收技术是将接收到的多径信号分离成不相关的多路信号, 然后将这些信号的按

一定规则合并起来, 使接收的有用信号能量最大, 从而提高接收端的信噪比, 对数字信号而言, 使误码率最小。分集技术用来减小衰落的影响, 在不增加发射机功率或信道带宽的情况下提高系统的可靠性。分集接收的基本思想, 如果对同一信号做 2 个或多个采样, 这些样本的衰落是互不相关的。这意味着所有样本同时低于一个给定电平的概率比任何一个样本低于该值的概率要小得多。如果其中单个样本低于给定值的概率是 P , 则 L 个样本同时低于该值的概率是 P^L , 因此, 在接收端将不同样本适当合并而成的信号比任何一个单个样本的衰落要小得多, 从而改善了传输的可靠性。

3 多径信号的空间分集

由于在接收端获得相互独立的路径, 可以通过空间分集方法来实现。空间分集, 也称天线分集, 其原理如图 1 所示。发射端采用一副发射天线, 接收端采用多副接收天线。接收端天线之间的间隔 d 应足够大, 以保证各接收天线输出信号的衰落特性是相互独立的。在理想情况下, 接收天线的间隔 $d = \lambda/2$ 就可以保证各支路接收的信号是不相关的, 但在实际系统中, 接收天线之间的间隔要根据地形、地物等具体情况而定。

空间分集也可以是多个天线发射, 比如在每个站都使用多个天线。由于多径的影响, 在移动台很难得到直线到达的信号, 通过基站天线的空间分集, 可以减少支路间的相关性。基站天线之间的距离一般在几十个波长。当然也可以在移动台使用多个天线以达到空间分集的目的, 当然, 随着天线数量的增加, 移动台的体积也得增加。对于空间分集而言, 分集的支路数 L 越大, 分集效果越好, 但当 $L > 3$ 时, 分集的复杂性增加, 分集增益的增加随着 L 的增大而变得缓慢。

4 最大信噪比准则下的信号选择性合并方法

信噪比是衡量系统性能的重要指标之一。最大信噪比准则, 就是使接收信号的平均信噪比最大。选择性合并是选择接收功率最大的支路输出; 对于最大比合并, 每一路有一

收稿日期: 2004-07-25 修订日期: 2004-08-21

作者简介: 冀常鹏(1970~), 男(汉族), 黑龙江人; 副教授, 主要研究方向: 计算机通信与网络技术, 工业过程控制等。

个权重, 权重根据各个支路的信噪比来分配, 信噪比大的支路权重大, 信噪比小的支路权重小。

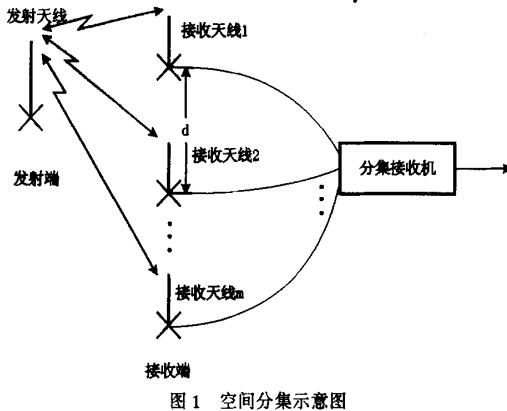


图 1 空间分集示意图

在接收端获得 L 条相互独立的支路信号以后, 必须通过合并技术来得到分集增益, 达到抗多径的目的。选择性合并是所有合并方法中最简单的。一个理想的选择性合并器选择具有最高瞬时 SNR 的信号, 故输出 SNR 等于最好输入信号的 SNR。在实际系统中, 系统不能在瞬时的基础上操作, 但是要求选择系统内部的时间常数比信号衰落速率的倒数要小得多。选择性合并的原理如图 2 所示。

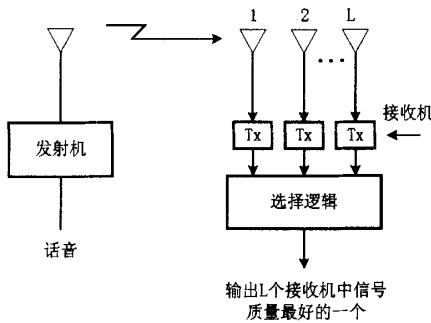


图 2 选择性合并原理图

选择性合并法是在接收的各支路信号中选择信噪比大于某一门限的支路信号作为检测的输入信号。为了分析选择性合并的性能, 需要得到它的 SNR。为此, 我们先求得一条接收支路的 SNR 小于规定门限, 亦即接收失败概率。然后, 根据一条支路的失败概率的密度, 计算一用户全部接收支路的失败概率密度。最后, 根据失败概率密度可以计算用户接收失败的边际平均 SNR。

在下面的分析中, 我们没有考虑多址干扰。同时, 不失一般性, 我们考虑用户 1 的接收情况。我们假设用户 1 每个支路接收到的信号独立于其他支路信号, 统计服从 Rayleigh 分布, 具有相同的平均信号功率 P_0 , 支路 j 的功率密度函数为: $p(r_j) = \frac{r_j}{P_0} \exp(-\frac{r_j^2}{2P_0})$, $r_j \geq 0$ 其中, $2P_0 = E[r_j]$ 是每支路信号功率的平方根, r_j^2 是支路 j 的瞬时功率。

设支路 j 的信噪比为 $r_j = \frac{r_j^2}{2N_j}$, 而其平均信噪比为 $\Gamma =$

$\frac{P_0}{N_0}$, N_0 是噪声功率。 r_j 的概率分布密度是 $p(r_j) = \frac{1}{\Gamma} e^{-\frac{r_j}{\Gamma}}$,

$r_j \geq 0$ 根据概率分布密度, 接收支路 j 的 SNR r_j 小于规定 SNR 门限 r 的概率应是 $\Pr[r_j \leq r] = \int_0^r p(r_j) =$

$\int_0^r \frac{1}{\Gamma} e^{-\frac{r_j}{\Gamma}} dr_j = 1 - e^{-r/\Gamma}$ 由此求得用户 1 的全部 L_1 条分集支路的信号都小于 SNR 门限 r 的概率为: $P_{L_1} = \Pr[r_1 \cdots r_{L_1} \leq r] = [1 - \exp(-r/\Gamma)]^{L_1}$ 这样, 它的概率密度应是 $P_{L_1}(r) = \frac{d}{dr} P_{L_1}(r) = \frac{L_1}{\Gamma} [1 - \exp(-r/\Gamma)]^{L_1-1} \exp(-r/\Gamma)$ 根据上式可求得平均 SNR。它可表示为

$$\bar{r} = \int_0^{\infty} r P_{L_1}(r) dr = \int_0^{\infty} r \frac{L_1}{\Gamma} [1 - \exp(-r/\Gamma)]^{L_1-1} \exp(-r/\Gamma) r dr = \Gamma \int_0^{\infty} L_1 x (1 - e^{-x})^{L_1-1} e^{-x} dx \quad (1)$$

式中, 为方便令 $x = r/\Gamma$ 。展开积分号后面的因子如下:

$$L_1 x (1 - e^{-x})^{L_1-1} e^{-x} dx = x d(1 - e^{-x})^{L_1} =$$

$$x d \left(\sum_0^{L_1} (-1)^k C_{L_1}^k e^{-kx} \right) = x \left(\sum_1^{L_1} (-1)^{k+1} k C_{L_1}^k e^{-kx} \right) \quad (2)$$

代入(1), 得到

$$\bar{r} = \Gamma \int_0^{\infty} L_1 x (1 - e^{-x})^{L_1-1} e^{-x} dx = \Gamma \left[\sum_1^{L_1} (-1)^k \frac{1}{k} C_{L_1}^k e^{-kx} (1 + kx) \right]_0^{\infty} = \Gamma \left[\sum_1^{L_1} \frac{(-1)^{k+1}}{k} C_{L_1}^k \right] \quad (3)$$

(3) 在 $L_1 = 1$ 和 2 的值分别为

$$\bar{r} = \Gamma \left[\sum_1^{L_1} \frac{(-1)^{k+1}}{k} C_{L_1}^k \right] = 1 = \Gamma \sum_{k=1}^1 \frac{1}{k}$$

$$\bar{r} = \Gamma \left[\sum_1^{L_1} \frac{(-1)^{k+1}}{k} C_{L_1}^k \right] = \frac{3}{2} = \Gamma \sum_{k=1}^2 \frac{1}{k}$$

假定 $L_1 = L$ 时下式成立:

$$\bar{r} = \Gamma \left[\sum_1^L \frac{(-1)^{k+1}}{k} C_k^L \right] = \Gamma \sum_{k=1}^L \frac{1}{k} \quad (4)$$

则 $L_1 = L+1$ 时可有关系

$$\begin{aligned} \bar{r} &= \Gamma \left[\sum_1^{L_1} \frac{(-1)^{k+1}}{k} C_k^{L_1} \right] = \Gamma \left[\sum_1^{L+1} \frac{(-1)^{k+1}}{k} C_k^{L_1} \right] \\ &= \Gamma \left[\frac{(-1)^{L+2}}{L+1} C_{L+1}^{L+1} + \sum_1^L \frac{(-1)^{k+1}}{k} C_k^L \right] \quad (5) \\ &= \Gamma \left[\frac{(-1)^{L+2}}{L+1} C_{L+1}^{L+1} + \sum_1^L \frac{1}{k} \right] = \Gamma \sum_{k=1}^{L+1} \frac{1}{k} \end{aligned}$$

这说明, 只要 $L_1 = L$ 时, 关系 $\bar{r} = \Gamma \sum_{j=1}^{L_1} \frac{1}{j}$ 成立。 (6)

因此可得出结论, 经过选择合并后, 检测器平均输入信噪比有式(6)的关系, 其中 L_1 是用户 1 的路径数目, 即分集度。由此可知, 经过选择合并, 可以获得合并处理增益为:

$$G_s = \bar{r}_s / \bar{r} = \sum_{j=1}^{L_1} \frac{1}{j}$$

5 结束语

综上所述,在 GPS 接收机中应用多天线,依据空间分集的最大信噪比准则,进行信号选择性合并,可提高合并处理

增益,进而改善 GPS 接收机的性能,显著提高了 GPS 定位精度。对于空间分集而言,分集的支路数 L 越大,分集效果越好,但当 $L > 3$ 时,分集的复杂性增加,分集增益的增加随着 L 的增大而变得缓慢。

参考文献

- 1 Jichangpeng. The researches of GPS/GSM supervise and control system of vehicle[J]. 微计算机信息 2003(9).
- 2 刘建,等译. 无线通信网络原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- 3 罗和平,等. GPS 多天线测姿系统的历元连续模糊度解算[J]. 导航, 1999(4).
- 4 张其善,等. 智能车辆定位导航系统及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

Study of Divide-collecting Algorithm on Multi-antenna GPS Receiver

Ji Chang-peng

(Department of Electronic and Information Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: Because multi-path decline seriously influences quality of GPS signal transmission, study of decline resisting has been paid close attention all the time. The technology of divide-collecting is used for reducing decline, which improves system dependability while do not increase transmitter power or channel width. Taking space divide-collecting for an example, the paper discusses that it uses greatest SNR criterion in Multi-antennae GPS receiving set, to alternative amalgamate signal, improving the amalgamating gain, and thus improving the performance of GPS receiver.

Key words: multi-path decline; the space divide-collect; GPS; alternative amalgamate

国际卫星对地观测委员会(CEOS) 18 届全会、CEOS

20 周年庆典及国际对地观测技术与应用研讨会和展览会在北京隆重举行

11月16日,由中国科技部、国家航天局主办,国家遥感中心、中国空间技术研究院、中国科技交流中心和 CEOS 中国秘书处共同承办的 CEOS18 届全会、CEOS 20 周年庆典及国际对地观测技术与应用研讨会和展览会在北京中国国际贸易中心隆重开幕。世界各国负责对地观测的相关机构、国际科技组织的官员和专家学者 600 余人汇集北京,共同交流全球对地观测技术及其应用的最新进展,探讨对地观测技术的发展前景。国际卫星对地观测委员会是国际上对地观测领域权威的非政府组织。在 2000 年巴西举办的 CEOS14 届全会上,确定由中国主办 CEOS18 届全会并主持本届 CEOS 工作。

本届 CEOS 全会主席、科技部部长徐冠华在开幕式致辞中指出:目前,世界上许多国家和国际组织都在积极推动建立一个全球性的、综合协调的对地观测系统,共同提高对地观测的能力和效率,为全球的可持续发展提供服务,这是对地观测领域发展的必然趋势。中国政府在大力开展经济建设的同时,也十分注重对环境的保护和治理,提出了坚持以人为本,树立全面、协调、可持续的科学发展观,促进经济社会的全面发展的要求。落实科学发展观,我们就要加强对资源、能源和生存环境的监测,加快建设中国综合性的对地观测系统,提高我国对地观测领域的技术和应用水平,为各级政府正确的决策提供有力的客观科学依据。

今年恰逢 CEOS 成立 20 周年,CEOS 各成员单位的官员和代表,以及对 CEOS 做出突出贡献的人士聚集在北京中国

国际贸易中心共同庆祝 CEOS 20 岁生日。来自世界气象组织(WMO)、美国航空航天管理局(NASA)、欧洲空间局(ESA)、美国地质调查局(USGS)、日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)、欧洲气象卫星组织(EUMESAT)、美国大气和海洋管理局(NOAA)等机构或组织的官员和专家,针对空间部分、数据和信息管理、定标和真实性检验、教育培训、发展战略等不同主题进行了精彩演讲,共同展望对地观测领域技术及应用发展的未来。

在开幕式和庆典活动举办的同时,由中国对地观测成就展、CEOS 20 周年成就展、CEOS 成员单位技术成果展、国内外地理空间信息技术与应用展组成的国际对地观测技术与应用展览也隆重开幕。本次展览全面展示了遥感、地理信息系统、全球定位系统、伽利略计划、空间科学、空间应用等对地观测技术领域已经取得的成果。

来自国内外的专家学者 300 余人出席了主题为“全球对地观测领域应用与发展战略”的国际研讨会,围绕对地观测技术与计划、用对地观测技术研究水资源与水循环、灾害监测与管理和对地观测的社会经济效应等四项议题进行了探讨。全球分布式对地观测系统(GEOSS)的提出,开拓了国际对地观测工作的新局面,对地观测技术在经济建设和社会发展等方面的应用也日益广泛和深入。

国家遥感中心供稿

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>