

通过区域映射实现诱导的 GPS 干扰系统

杨景曙, 曾芳玲, 盛 琥, 朱立新

(解放军电子工程学院科研部研究所, 安徽合肥 230037)

摘 要: 本文提出的 GPS(Global Position System) 诱导系统, 是一种以区域映射为手段、诱导为目的的转发式干扰系统. 该系统通过对分布式转发器的干扰信号的时延控制, 诱偏 GPS 制导的武器, 如巡航导弹、精确制导炸弹等, 使其偏离原有的目标而运动到一个特定的地域, 从而实现对重要目标的保护. 该方法的主要优点是可以控制被干扰目标的落点, 防止其它干扰方法因落点不可控制而造成对重要设施和人员的毁伤. 本文在给出 GPS 诱导系统的实现原理及其几何描述的基础上, 分析了区域映射解的存在性和系统的可行性, 并提出了今后需要进一步探讨的理论及工程问题.

关键词: GPS (Global Position System) 诱导系统; 欺骗式干扰; 转发式干扰; 时延参数

中图分类号: TN972+ . 31 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372 2112 (2005) 06-1036 03

A Jamming System Through Section Mapping for GPS Navigation

YANG Jing-shu, ZENG Fang-ling, SHENG Hu, ZHU Li-xin

(Research Lab of Electronic Jamming Technology Electronic Engineering Institute, Hefei, Anhui 230037, China)

Abstract: This paper gives a new jamming method to GPS navigation user, which could induce GPS user away its aim toward the given wrong section by forming false GPS constellation. This is accomplished through the control of the time delay of distributed transmitter's jamming signal. By this means, it can induce GPS navigating system, like cruise missile or precisely navigating bomb to drift away from their destination to protect important target from damage. Its main advantage is that it can control the falling point of the jammed target to prevent the unpredictable case. This paper also analyzes the existence of area mapping solution and the possibility to construct a practical system. In the end, it puts forward some theoretic and engineering problems left to be resolved in the future.

Key words: GPS inducing system; deceiving jamming; transmittable jamming; time delay parameter

1 引言

GPS 卫星导航全球定位系统具有全球、全天候、七维高精度导航定位能力, 有其它导航系统不可比拟的优越性能, 卫星导航已是火力打击武器系统中一个不可缺少的组成部分. 卫星导航对抗已成为电子战的一个十分重要领域.

目前针对 GPS 导航系统主要有两种干扰方式: 阻塞式和转发式干扰. 阻塞式干扰是在 GPS 的工作频率上发射有一定带宽和较高功率的噪声信号, 从而使 GPS 接收机的信噪比下降, 不能正常工作; 转发式干扰则是通过将某一 GPS 接收机接收的信号再转发出去, 从而干扰其它 GPS 接收机的正常工作, 其特点是对接收到的几颗 GPS 卫星的信号不加区分地转发. 这两种干扰方式对具有空间自适应滤波功能的新型抗干扰接收机将无能为力^[3,4,6].

本课题通过形成虚假 GPS 星座的方法, 实现控制制导武器运动轨迹和落地点, 使被干扰武器偏离到目标点以外的若干确定地域, 从而避免用一般干扰方法因无法控制 GPS 制导武器的落区, 可能造成附近其它目标毁坏及平民伤亡的情况.

2 形成虚拟星座的基本原理和系统组成

2.1 基本原理

GPS 系统的 21 颗工作卫星和 3 颗在轨备用卫星, 分布在

6 个轨道面上, 在地球上任意地方, 至少同时可观察到 5 颗以上卫星. 各卫星都工作在相同的频段上, 其中导航信号工作在 L 频段的两个频率, 即 $f_1=1575.42\text{MHz}$, $f_2=1227.60\text{MHz}$ 的两个频率上, f_1 频率上的信号由 C/A 码和 P 码同时调制, f_2 频率上的信号由 P 码调制, 调制方式为 BPSK. 不同卫星的认证用扩频码分多址, 接收机通过接收多个卫星信号获取各卫星的实时位置信息和测定各个卫星和用户间的距离, 来确定用户的三维位置、三维速度和时间信息^[1,2,5].

形成虚拟星座的原理是, 在固定或悬浮在一定高度的平台上安放多颗延迟转发式干扰器, 通过空间滤波的方法, 每颗干扰器分别转发一颗 GPS 信号, 根据适当的算法确定转发的时延. 在 GPS 接收机上得到的信号是卫星信号和转发信号的矢量和. GPS 卫星分布在距地面 20200km 的轨道上, 信号到达地面接收目标时已很微弱. 当转发式干扰机悬浮在距地面 20km 以内时, 二者的距离比为 1000 倍以上, 干扰信号的场强大大大于 GPS 卫星信号, 又由于信号是相关的, 合成信号的场强大小和方向将主要取决于转发干扰器, 因此可以等效地形成一个虚拟的 GPS 星座.

2.2 系统组成

系统由转发式干扰器、运载平台、地面控制站等三部分组成. 运载平台可以是飞机、气球或飞艇, 转发式干扰器产生

干扰信号,地面控制站控制运载平台的位置以及发送给转发器的指令,控制它转发的卫星的序号和转发信号产生时延的大小.系统的工作方式是采用智能天线和空间滤波技术,对卫星信号进行分选,每颗干扰器分别转发一颗 GPS 卫星信号,每颗干扰器在转发时根据适当的算法进行时延.多颗转发式干扰器固定在高山或悬浮在空中,如果使用飞艇,干扰器离地面的距离可达到 20km.基本原理如图 1 所示.

通过该方法实现对干扰目标的可控引导干扰,即能使飞行器上的定位系统错误定位到预想的地域.

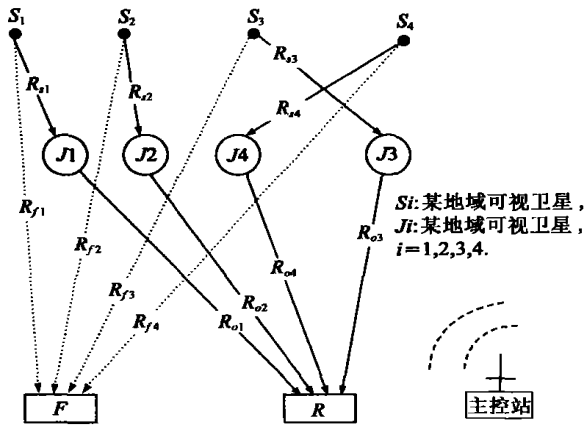


图 1 GPS 诱导系统工作原理示意图

3 可行性分析

3.1 虚拟点的形成

讨论的目的是引导 GPS 制导的武器离开打击目标也就是欲保护的点 R , 运动到一个没有重要价值或人员的地点; 为了实现这一干扰目的, 设 R 点经干扰后, 被错误映射到我们指定的某一点 F , 该地点称为虚拟点.

飞行器的定位导航采用的是测量“伪距”来定位的, 其基本原理是 GPS 接收机同时接收四颗或四颗以上的卫星信号, 通过测量各个卫星信号到接收机的时间差, 计算出卫星与接收机的距离, 由于时间差或距离的测量值有误差, 因此称之为“伪距”.“伪距”经过误差修正后就可以得到真实的距离(见式(1)).

$$\rho_j = [(X_j - X)^2 + (Y_j - Y)^2 + (Z_j - Z)^2]^{1/2} + c\Delta t_R \quad (1)$$

$X_j, Y_j, Z_j, j = 1, 2, 3, 4$ 是各卫星在地心坐标系中的坐标, 它是由卫星信号以导航电文的形式传给用户接收机的, 对接收机来说它是已知的. Δt_R 是用户钟与卫星钟之间的时差, 是一个待定的参数. 在公式中共包含有 4 个待定参数, 即用户接收机的坐标 (X, Y, Z) 和 Δt_R . 对四颗或四颗以上的卫星测得的伪距方程联立求解, 就可以求出接收机的具体位置^[1, 2, 5]. 现以四元方程组为例, 得到 GPS 伪距测量导航定位的基本方程组(见式(2)).

$$\begin{cases} \rho_1 = [(X_1 - X)^2 + (Y_1 - Y)^2 + (Z_1 - Z)^2]^{1/2} + c\Delta t_R \\ \rho_2 = [(X_2 - X)^2 + (Y_2 - Y)^2 + (Z_2 - Z)^2]^{1/2} + c\Delta t_R \\ \rho_3 = [(X_3 - X)^2 + (Y_3 - Y)^2 + (Z_3 - Z)^2]^{1/2} + c\Delta t_R \\ \rho_4 = [(X_4 - X)^2 + (Y_4 - Y)^2 + (Z_4 - Z)^2]^{1/2} + c\Delta t_R \end{cases} \quad (2)$$

在有 GPS 诱导装置的情况下(由图 1 所示), 目标或接收

机接收到的信号并非仅仅来自卫星, 其中经由空中的转发干扰机转发的干扰信号场强至少大于 GPS 卫星信号场强的 1000 倍以上, 占据主导作用, 因此可以忽略卫星信号的影响. 信号传输路径如图中实折线所示的长度. 此时, 接收机测定的对卫星 j 的伪距为 $R_j + R_{0j} + c\Delta t, j = 1, 2, 3, 4, c\Delta t$ 是误差修正值. 式(2)变成:

$$\begin{cases} R_{s1} + R_{o1} + c\Delta t = [(X_1 - X)^2 + (Y_1 - Y)^2 + (Z_1 - Z)^2]^{1/2} + c\Delta t_R \\ R_{s2} + R_{o2} + c\Delta t = [(X_2 - X)^2 + (Y_2 - Y)^2 + (Z_2 - Z)^2]^{1/2} + c\Delta t_R \\ R_{s3} + R_{o3} + c\Delta t = [(X_3 - X)^2 + (Y_3 - Y)^2 + (Z_3 - Z)^2]^{1/2} + c\Delta t_R \\ R_{s4} + R_{o4} + c\Delta t = [(X_4 - X)^2 + (Y_4 - Y)^2 + (Z_4 - Z)^2]^{1/2} + c\Delta t_R \end{cases} \quad (3)$$

根据此错误的伪距定位方程组, GPS 接收机就会得到错误的定位信息.

从式(2)中消去 $c\Delta t_R$, 只保留定位参数, 可得

$$\begin{cases} \rho_1 - \rho_2 = [(X_1 - X)^2 + (Y_1 - Y)^2 + (Z_1 - Z)^2]^{1/2} \\ \quad - [(X_2 - X)^2 + (Y_2 - Y)^2 + (Z_2 - Z)^2]^{1/2} \\ \rho_2 - \rho_3 = [(X_2 - X)^2 + (Y_2 - Y)^2 + (Z_2 - Z)^2]^{1/2} \\ \quad - [(X_3 - X)^2 + (Y_3 - Y)^2 + (Z_3 - Z)^2]^{1/2} \\ \rho_3 - \rho_4 = [(X_3 - X)^2 + (Y_3 - Y)^2 + (Z_3 - Z)^2]^{1/2} \\ \quad - [(X_4 - X)^2 + (Y_4 - Y)^2 + (Z_4 - Z)^2]^{1/2} \end{cases} \quad (4)$$

从式(4)可以看出, 接收机测定的对两颗卫星的伪距差就是信号传输的真实距离差. 因此如图 1, 若干扰机的布阵位置和时延满足如下方程组:

$$\begin{cases} R_{j1} - R_{j2} = (R_{s1} + R_{o1}) - (R_{s2} + R_{o2}) \\ R_{j2} - R_{j3} = (R_{s2} + R_{o2}) - (R_{s3} + R_{o3}) \\ R_{j3} - R_{j4} = (R_{s3} + R_{o3}) - (R_{s4} + R_{o4}) \end{cases} \quad (5)$$

就能使被干扰者依据式(3)错误地定位于我们预想的 F 处, 其中, $R_{j1}, R_{j2}, R_{j3}, R_{j4}$ 为虚拟点 F 距离各卫星的真实距离. 通过合理调整干扰机位置和设定干扰机的时延, 使它满足式(5), 可以使被干扰的 GPS 制导武器错误定位到特定的区域即 F 处, F 和 R 构成了一组映射.

当卫星位置变化时, 显然不能通过改变转发器的位置来满足式(5), 根据“伪距测量是靠卫星信号传输时间差获得”的原理, 我们可以在每个干扰机上加上适当的时间延迟, 在使接收机满足测定的伪距条件的同时, 不必要改变干扰机位置, 从而保证了系统反应的实时性. 地面主控站的作用就是通过对卫星位置变化的各种数据连续监测, 计算 $R_{j1}, R_{j2}, R_{j3}, R_{j4}$, 根据式(5)需要满足的条件, 控制各个转发干扰机上加上适当的延迟, 从而实现虚假目标点 F 的位置不变. 假设四颗卫星的延迟各为 $\Delta t_j, j = 1, 2, 3, 4$, 则最终式(5)变为:

$$\begin{cases} R_{j1} - R_{j2} = (R_{s1} + R_{o1} + c\Delta t_1) - (R_{s2} + R_{o2} + c\Delta t_2) \\ R_{j2} - R_{j3} = (R_{s2} + R_{o2} + c\Delta t_2) - (R_{s3} + R_{o3} + c\Delta t_3) \\ R_{j3} - R_{j4} = (R_{s3} + R_{o3} + c\Delta t_3) - (R_{s4} + R_{o4} + c\Delta t_4) \end{cases} \quad (6)$$

3.2 解的存在性及示例

式(6)中 $R_{j1} \sim R_{j4}$ 以及 $R_{s1} \sim R_{s4}, R_{o1} \sim R_{o4}$ 都可以由地面控制站根据对卫星的监测和转发器的位置计算得到, 要满足

式(6), 需要调整 $\partial t_j, j=1, 2, 3, 4$. 共有三个方程, 四个可变量, 因此式(6)一定有解. 当然还要满足物理可实现条件 $\partial t_j \geq 0, j=1, 2, 3, 4$, 因为可变量数比方程数多, 总是可以满足的. 工作过程归纳如下:

- (1) 确定欲保护点和虚拟点的坐标位置.
- (2) 获取转发器的坐标位置, 同时不间断地获取 GPS 导航卫星的空间坐标; 计算 $R_{j1} \sim R_{j4}$ 以及 $R_{S1} \sim R_{S4}, R_{O1} \sim R_{O4}$.
- (3) 根据式(6)计算 $\partial t_j, j=1, 2, 3, 4$.
- (4) 将 $\partial t_j, j=1, 2, 3, 4$ 通过无线传输注入转发器, 控制各个转发器的时延.
- (5) 重复以上过程, 每隔 1s 左右改变一次.

下面是一个计算示例. 已知地球平均半径为 6370km; 卫星分布在以地心为球心, 半径 26570km 的球面上. 假设已知四颗星的坐标分别为

- S1(9393.9km, 9393.9km, 23010km)
 S2(11505km, 19928km, 13285km)
 S3(9393.9km, 16271km, 18788km)
 S4(13285km, 13285km, 18788km)

接收机在地心坐标系的坐标为(2992.9km, 2095.7km, 5218km). 要使接收机错误定位在(2758.3km, 1592.5km, 5516.6km)处, 算出一组虚拟距离值

$$R_{j1} = 2.0271e+004 \text{ km}, R_{j2} = 2.1749e+004 \text{ km}$$

$$R_{j3} = 2.0871e+004 \text{ km}, R_{j4} = 2.0583e+004 \text{ km}$$

假设 $\partial t_j, j=1, 2, 3, 4$ 都为 0, 据此算出干扰机位置为:

- J1(3007.9km, 2106.2km, 5229.6km)
 J2(2915.5km, 1893.4km, 5361.6km)
 J3(2947.1km, 1950.6km, 5323.7km)
 J4(2934.4km, 1968.9km, 5324.0km)

当卫星位置坐标发生了变化, 变为:

- S1(9396.75km, 9396.75km, 23007.97km)
 S2(11506.3km, 19929.5km, 13280.98km)
 S3(9395.55km, 16273.5km, 18784.55km)
 S4(13287.3km, 13287.3km, 18784.50km)

此时如果接收机位置不变, 我们要在干扰机不动的情况下使接收机仍旧错误定位到(2758.3km, 1592.5km, 5516.6km)处, 就要在每部干扰机转发时都加上一定时延, 经计算,

$$\partial t_1 = 7.2089 \times 10^{-8}, \partial t_2 = 2.4156 \times 10^{-6}$$

$$\partial t_3 = 1.4449 \times 10^{-6}, \partial t_4 = 1.2962 \times 10^{-6}$$

主控站把时延值注入干扰机, 干扰机对卫星信号各延迟 $\partial t_j, j=1, 2, 3, 4$ 后转发, 就能不改变自身位置实现对目标的成功诱导. 计算机仿真实验和理论分析结果十分吻合.

3.3 区域映射关系

真实点和假点相互的关系可以看作是一个映射, 这个映射, 会自然的反映到周围的区域. 不难证明, 该映射关系是连续的, 因此在真实点周围的一个闭合的区域必然会映射到假点周围的一个闭合区域. 以一个平面为例, 真实点附近的一个圆域, 经过虚拟星座变换后, 在假点附近形成一个几何形态几乎不变的一个虚拟圆域, 如图 2 所示(图中较小

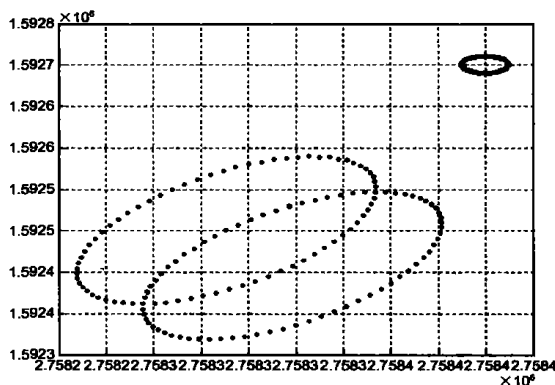


图 2 区域映射关系(单位: 米)

的圆域是在真实点 R 附近所取的邻域, 两个较大区域为两组不同卫星位置下通过转发干扰映射在虚拟点附近的区域).

当然, 该映射会带来尺度上比例的变化, 而该比例和转发器的位置、真实点和假点关系、GPS 卫星的轨迹都是有关系的, 详细分析将另文说明.

4 结论

从以上分析中, 我们证明了利用该系统可以把一个被保护点及它的邻域“搬移”到另一个没有重要目标的点及邻域上去, 即实现了点对点的映射, 从理论上证明了了解的存在性和物理的可实现性. 在工程实现中的一些问题和解决问题的方法, 今后将继续加以讨论.

参考文献:

- [1] 袁建平, 罗建军, 岳晓奎, 方群. 卫星导航原理与应用[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2003, 9.
- [2] 刘基余. GPS 卫星导航原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003, 8.
- [3] Hohman D, Murdock T, Westerfield E, Hattox T, Kusterer T. GPS road-side integrated precision positioning system[A]. Position Location and Navigation Symposium[C]. USA: IEEE, 2000, 221-230.
- [4] Ornedo R S, Farnsworth K A, Sandhoo G S. GPS and radar aided inertial navigation system for missile system applications[A]. Position Location and Navigation Symposium[C]. USA: IEEE, 1998, 614-621.
- [5] 干国强, 丘致和. 导航与定位——现代战争的北斗星[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000, 2.
- [6] 陈靓影, 汪国有, 张天序, 陈丹. GPS 与惯性导航系统融合的精确定位连续定位算法[J]. 通信学报, 1999, 20(8): 32-35.

作者简介:



杨景曜 男, 1950年2月生于安徽巢湖, 教授, 博士生导师, 1982年毕业于复旦大学物理系, 主要研究领域有: 电子对抗, 多目标跟踪与干扰, 测向与定位, 模式识别, 电路与系统, 检测理论及应用等. 在各类电子技术领域的核心期刊上发表学术论文三十多篇, 获省部级科技进步奖一等奖一项、二等奖两项, 以及安徽省自然科学优秀成果二等奖, 主持完成了12项省部级以上重点科研项目.