中国科学: 物理学 力学 天文学 2010 年 第 40 卷 第 5 期: 546 ~ 553
SCIENTIA SINICA Phys, Mech & Astron www.scichina.com phys.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

第一届中国卫星导航学术年会(CSNC2010)专题

卫星导航系统监测站覆盖性能分析

李作虎[①*], 郝金明[①], 李建文[①②], 赵齐乐[②], 张成军[①]

① 信息工程大学测绘学院, 郑州 450052;
② 武汉大学卫星导航定位技术研究中心, 武汉 430079
* E-mail: ahu.1981@163.com

收稿日期: 2010-04-07; 接受日期: 2010-04-12
卫星导航与定位教育部重点实验室(B 类)开放基金资助项目(批准号: GRC-2009005)

摘要 监测站作为卫星导航系统控制段的重要组成部分之一, 对系统基本服务功能的提供和各项性能指标的保持都具有重要意义. 研究了一种用于监测站覆盖性能评估的模型; 基于该模型以 GPS 为例对单个监测站覆盖性能、站际重叠覆盖性能以及监测网整体覆盖性能进行了实验分析, 结果表明该模型可以用于监测站性能评估和布网设计及优化; 采用模拟仿真的方法对 GPS 地面监测站的故障敏感性进行了分析, 确定了在整个监测网络中具有重要影响以及能够导致较大完好性风险产生的监测站; 最后提出了一种基于监测站网覆盖性能的系统完好性增强设计, 并探讨了监测站的布设原则, 给出了一种基于覆盖性能的分期分级布设方案.

关键词 卫星导航系统, 监测站, 覆盖性能, 完好性, 故障分析

PACS: 91.10.Fc, 91.10.Sp, 91.10.Pa, 91.10.Jf

监测站作为卫星导航系统地面控制段的重要组成部分之一, 承担着重要而关键的任务. 监测站的作用可以概括为两点: 一是辅助主控站完成维持系统基本功能的任务, 包括求取定轨、卫星钟差等关系到卫星导航系统导航、定位以及授时的基本功能的重要参数; 二是实时监控整个系统的运行状况, 从而提高整个系统的精度、完好性、连续性和可用性. 由于监测站与卫星导航系统的服务性能密切相关, 因此, 监测站的可靠性和布设的合理性对于卫星导航用户, 特别是航空等关系到生命安全的用户而言, 具有重要意义.

美国具有得天独厚的条件, 全球定位系统(GPS)监测站得以在全球布设. 然而由于监测站的限制, 诸如监测站的地理位置分布, 设备的可靠性以及通信链路的可靠性等因素, 即使到目前, GPS 地面监测网还不能够对每一颗卫星的监测做到 100%. 不过, 这种状况正在通过目前进行的精度改进计划(Accuracy Improvement Initiative, AII)得以改善. 由于这种状况的存在, 文献[1]认为, 尽管非常不可能, 但是在地面控制部分发现并进行干涉之前, 完好性故障存在时间达到 6.67 h 的现象还是有一定的发生概率. 在 2001 年 7 月 28 日, 当时处于南太平洋区域上空的 22 号卫星的时钟发生了故障, 结果导致用户测距误差(URE)超过 200000 m. 在半个小时内, GPS 控制段都没有检测到这个问题, 因为当时对于控制段的任意监测站而言, 该卫星都是不可见的[2]. 正在建设之中的欧洲 Galileo 卫星导航系统拟建设一个共有 30 个监测站(Galileo Sensor Stations, GSS)组成的、世界范围分布的监测站网, 用来永久地监测 Galileo 空间信号, 为系统定轨, 时间同步以及完好性监测提供服务.

引用格式: 李作虎, 郝金明, 李建文, 等. 卫星导航系统监测站覆盖性能分析. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2010, 40: 546 ~ 553

Galileo 系统在全球布设如此大规模监测站网的计划与其所计划提供高质量的完好性性能具有密切关系, 这充分体现了监测站网在提升系统完好性方面的作用和发展潜力. 目前我国的卫星导航系统还处在建设阶段, 必然会涉及到地面监测网络的布设和建设. 本文主要从监测站覆盖性能的角度为监测站的布设和优化提供一定的参考依据.

1 监测站的覆盖性能评估模型

1.1 评估参数定义及模型介绍

卫星导航系统监测站的覆盖性能指的是在一个特定的时刻或时间段内可以同时对一颗卫星进行观测的监测站的数目.

进行监测站的覆盖性能评估, 需要首先确定卫星的飞行区域, 这是一个与星座内所有卫星的轨道参数相关的参数[3]. 对于同构星座而言, 由于采用的卫星轨道类型相同, 所以其飞行区域主要由卫星轨道倾角决定, 以 GPS 为例, 即南纬 55°至北纬 55°之间的区域; 对于异构星座而言, 由于采用的卫星轨道类型不相同, 导致其飞行区域不是很规则. 通常, 对于由中轨道(MEO)、地球静止轨道(GEO)和倾斜地球同步轨道(IGSO)构成的混合星座而言, 可以对 MEO 和 IGSO 的飞行区域分别进行研究. 其次, 该区域还与卫星的平均飞行高度有关系. 卫星的飞行区域是监测站监测的目标区域; 通常情况下, 只要是在目标区域内, 则卫星就一定会被监测到的.

其次, 需要将卫星的飞行区域划分为有限个格网. 根据每个格网点的坐标以及所有需要评估的监测站的坐标计算对应的夹角, 判断格网点是否在监测站的可视范围内; 并遍历所有的格网点, 统计所有格网点被所有监测站覆盖的情况.

为了评估卫星在飞行区域内被所有监测站覆盖的程度, 在不考虑重叠覆盖的条件下定义一个衡量标准 C, 如下式:

$$C=\sum_{i=1}^{N}k_i, \tag{1}$$

其中, k_i 为第 i 个格网中可以看到的监测站的数目. N 为格网点数目. 本文的分析中 N 等于 10136. (1)式反映了所有监测站对于飞行区域的整体覆盖性能. 在(1)式的基础上定义 $\bar{C}$ 来表征平均每个格网点有几个监测站可以看到, 可以称 $\bar{C}$ 为平均覆盖程度:

$$\bar{C}=\frac{C}{N}. \tag{2}$$

另外, 在 Galileo 系统中还给出了一个专门计算监测站对某一空域的重叠覆盖重数来衡量该空域内监测站的覆盖性能, 即覆盖深度(Depth of Coverage, DOC)[3], 如下式:

$$\mathrm{DOC}_i=k_i, \tag{3}$$

其中, DOC_i 表示第 i 个格网的覆盖深度, k_i 的定义同上. 通常采用一个评估周期内整个服务空域内 DOC 的最小值来表示监测站网的覆盖性能, 即最小覆盖深度.

1.2 影响因素实验分析

1.2.1 单站覆盖性能

以全部由 MEO 组成的同构星座为研究对象, 假设其平均飞行高度为 20000 km, 飞行区域为南纬 55° 至北纬 55°, 出于分析精度和计算复杂度的折中考虑, 选择 2°的格网划分方案, 共划分格网 10136 个. 由于飞行区域是环状的, 所以单个监测站的地理经度对覆盖范围没有影响, 决定其覆盖范围的主要因素是纬度. 如图 1 所示, 位于同一经度不同纬度(分别为 0°, 5°, 10°, 15°, …, 50°)的 11 个监测站的覆盖性能图, 其监测站接收机的卫星截止角设为 10°. 图 2 为 11 个监测站在不同截止高度角时的服务空域覆盖率.

综合图 1 和 2 可知, 单个监测站的覆盖性能与地理纬度和截止高度角都有密切关系. 在截止高度角一定的条件下, 位于赤道上的监测站的覆盖性能最大; 10°以后由于覆盖区域逐渐向北平移, 部分覆盖范围超出了飞行区域, 导致覆盖性能随着纬度的增加迅速下降. 该结论对于南半球有相同的结果. 在纬度一定的条件下, 截止高度角越低, 覆盖性能越大. 但截止角过低, 会带来其他问题. 目前一般采用 10°; 对于位于高纬度的监测站, 可能会采用较大的截止角.

1.2.2 站际重叠覆盖性能

从图 1 可知, 地理纬度在南北纬 10°以内的单个监测站, 在截止角为 10°时, 可以覆盖大约三分之一的飞行区域. 因此, 理论上只需要赤道附近设 3 个监测站即可基本覆盖整个飞行区域. 然而, 地面监测网络对飞行区域的一重覆盖不能完全满足系统部分性能指标的要求, 必要时需要达到二重甚至多重覆盖, 这就需要对监测站站际重叠覆盖进行分析.

基于图 1 的分析计算, 在赤道附近的监测站其覆

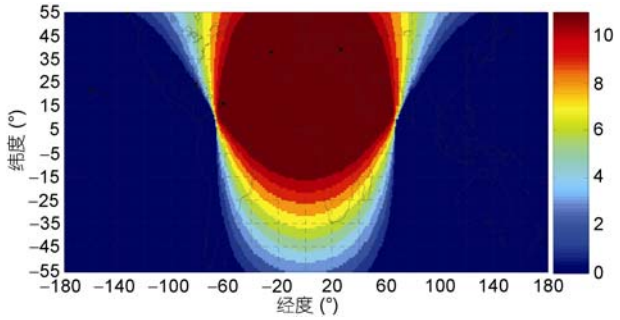

图 1　同一经度不同纬度的监测站覆盖性能变化图

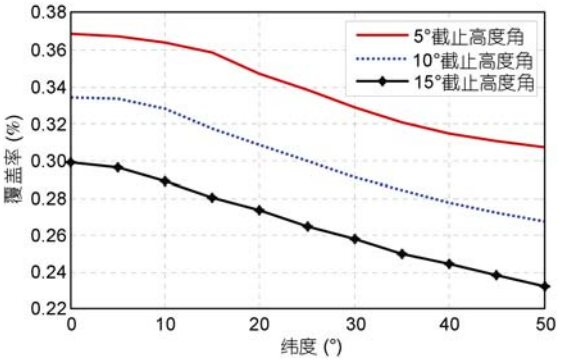

图 2　监测站覆盖性能与纬度和截止高度角的关系

盖的经度范围最大为 134°, 也就是说, 在赤道附近的两个监测站之间的经度只要小于这个值, 就会产生一定的重叠覆盖区域. 赤道附近监测站之间的经度与重叠覆盖区之间的关系如图 3 所示, 测站之间的经度和覆盖重叠率之间几乎是线性关系, 且随着截止角增大 5°而整体有大约 3%的下降. 另外, 站际重叠覆盖性能与站间纬度也有相似的关系.

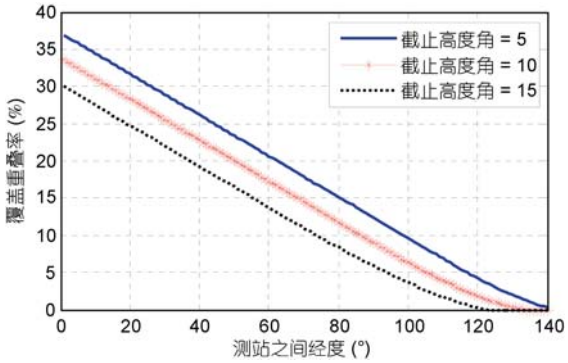

图 3　站际重叠覆盖性能与站间经度的关系

1.2.3　监测站网的整体覆盖性能分析

以 GPS 为例分析监测站网的整体覆盖性能. GPS 系统最初只有 6 个空军监测站(Air Force Monitor Statios, AFMS), 分别是阿森松岛(Ascension)、迪戈加西亚(Diego Garcia)、夸贾林(Kwajalein)、夏威夷(Hawaii)、科罗拉多泉城(Colorado Springs)和卡纳维拉尔角(Cape Canaveral), 均分布在赤道附近. 采用前文中的飞行区域设置, 在卫星截止角为 10°时计算可得在飞行区域内卫星被这 6 个监测站构成的监测网的覆盖程度为: $C_{6MS} = 19139$; 另外, 每个格网点可以被监测到的平均覆盖程度为: $C_{6MS_mean} = 1.888$. 图 4 是 6 个空军监测站网的覆盖性能.

图 4 中, 绝大部分飞行区域被至少 1 个监测站可视, 有部分区域可视的监测站数目甚至达到 4 个. 但是, 还有一定的区域, 主要是南太平洋区域, 存在监测空白区, 即最小 DOC 为 0. 这也是导致 2001 年 7 月 28 日 22 号卫星长时间出现故障的主要原因. 从完

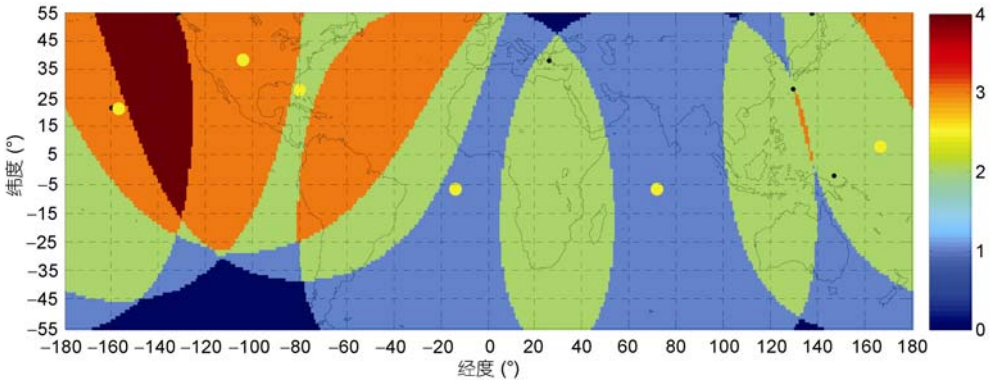

图 4　GPS 6 个 AFMS 的覆盖性能

好性的角度出发, 监测空白区内卫星一旦出现故障, 系统不会及时发现并进行相应的处理, 并向用户告警, 即产生较大的完好性风险(Integrity Risk). 图 4 中的监测空白区占所有飞行区域的 4.02%.

从 1996 年开始, 美军开始了旨在改善和提高 GPS 精度的 AII 计划, 其中一项重要内容是把美国国家地球空间情报局(NGA)的 11 个 GPS 卫星监测站纳入 GPS 的卫星地面监测网络中, 使监测站数量成倍增加, 提高单颗卫星的覆盖冗余度, 从而提高系统的各项性能指标. 截止 2005 年 9 月, 已经有 6 个 NGA 监测站并入到 GPS 卫星地面监测网络中. 并入的 6 个监测站分别为阿根廷、巴林、英国、厄瓜多尔、美国海军天文台和澳大利亚. 图 5 是加入这 6 个 NGA 站后的覆盖性能, 图 6 是加入后续建设的 5 个监测站(新西兰、南非、韩国、阿拉斯加和塔希提岛)后的覆盖性能, 其中仍采用 10°作为截止角[4,5]. 与图 5 和 6 方案相对应的飞行区域覆盖性能与监测站数目的统计关系如图 7 所示.

图 5 所示, 在加入 6 个 NGA 后, 12 个监测站对飞行区域的覆盖达到了 100%, 最小 DOC 为 1, 最大 DOC 为 7; 飞行区域内监测网的覆盖程度 $C_{6\mathrm{AFMS+6NGA}}$ = 36968, 平均覆盖程度 $C_{6\mathrm{AFMS+6NGA_mean}}$ = 3.647. 图 6 中, 17 个监测站使得飞行区域内最小 DOC 为 2, 最大 DOC 为 9; 监测网的覆盖程度 $C_{6\mathrm{AFMS+11NGA}}$ = 51712, 平均覆盖程度 $C_{6\mathrm{AFMS+11NGA_mean}}$ = 5.102. 图 7 对比了两种监测站方案不同最小 DOC 条件下的服务空域覆盖率. 随着监测站数目的大幅增加, 服务空域内的最小 DOC 得到了大幅改善, 监测站网的整体覆盖性能也得到了大幅提升.

2　监测站的故障敏感性分析

性能分析可以采用历史经验数据, 亦可利用模拟仿真的方法. 仍以 GPS 为例, 从模拟仿真的角度进

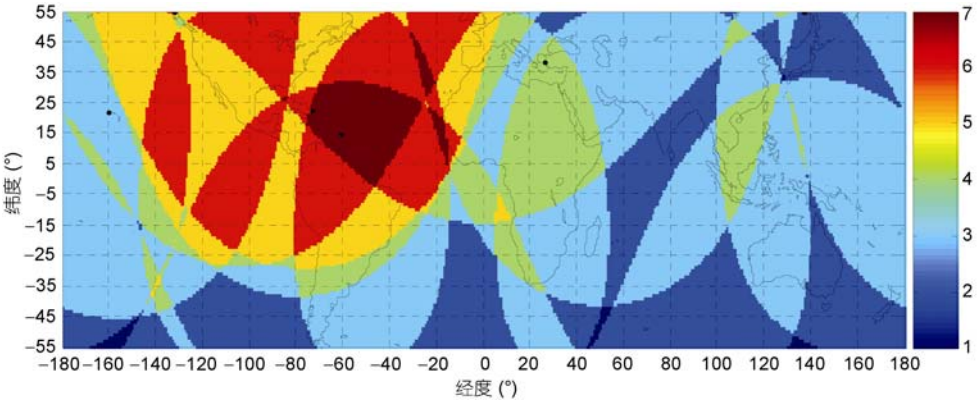

图 5　6AFMS + 6 NGA 的覆盖性能

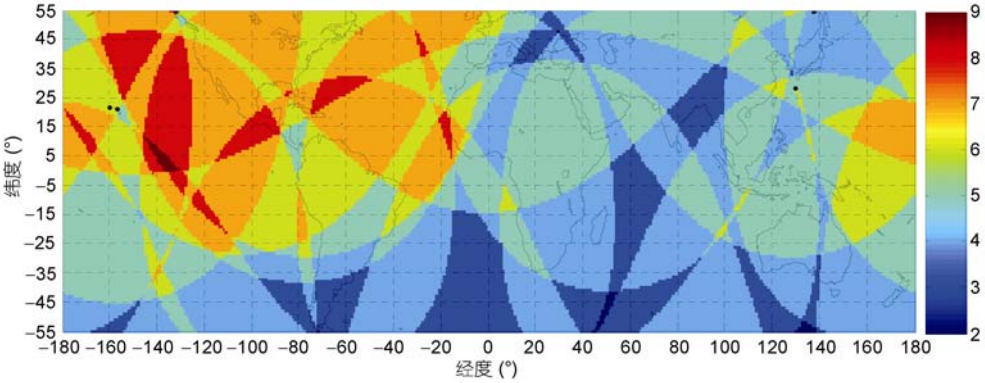

图 6　6AFMS + 11 NGA 的覆盖性能

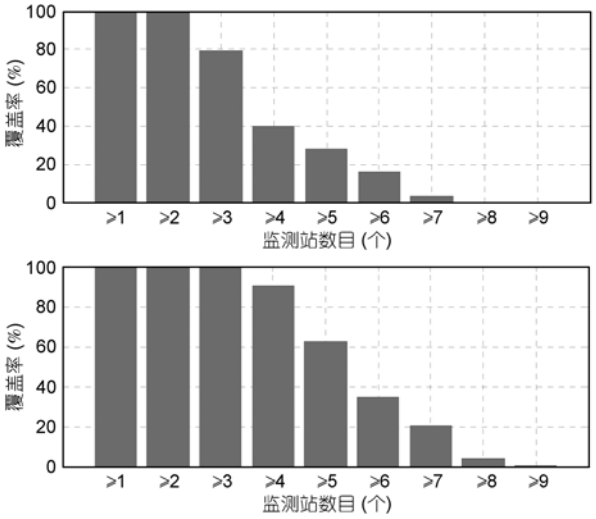

图 7　覆盖性能与监测站数目的统计关系

行监测站的故障敏感性分析, 确定每个监测站对整个监测站网的贡献程度和重要性. 由于监测站本身的故障以及监测站与主控站数据处理单元之间的通信链路故障(如停电、自然灾害等)都可能使一个或数个监测站停止服务, 从而对地面监测站网的覆盖性能产生影响, 严重时可能产生对卫星飞行区域的监测空白[4]. 因此, 监测站故障敏感性可以采取去掉一个或数个监测站, 计算其对整体覆盖性能的影响, 故定义用来表征单站对整体覆盖性能影响的因子:

$$F_j = \frac{C_n - C_{(n-1)j}}{C_n} \times 100,\ \ 1 \le j \le n, \tag{4}$$

其中, C_n 即为 n 个站的整体覆盖性能, 而 $C_{(n-1)j}$ 表示监测站 j 失效后 n–1 个站的整体覆盖性能.

同时, 为了表征失效单站是否产生监测空白及其大小, 定义失效单站监测空白风险因子 R_j, 可采用测站 j 失效后产生的监测空白区域与整个飞行区域的比率百分数来表示. 表 1 为 6AFMS + 6 NGA 方案下单站故障敏感性分析.

单站分析结果表明, 对于 6AFMS + 6NGA 的方案, 其影响因子基本上随着监测站地理纬度的增大而降低. 另外, 大多数监测站的风险因子都为 0, 而迪戈加西亚、夸贾林和澳大利亚都不为 0, 而且澳大利亚最大.

同理可以定义用来表征两个监测站失效对整体覆盖性能的影响因子 F_{ij} 和风险因子 R_{ij}. 由于两个监测站同时失效, 对于 6AFMS + 6NGA 的方案 12 个监测站可能有 66 种情况. 具体计算结果见附录.

双站分析结果表明, 影响因子最大的六个组合包括阿森松岛、迪戈加西亚、夸贾林和厄瓜多尔四个监测站; 风险因子最大的 6 个组合包括阿森松岛、阿根廷、迪戈加西亚、巴林、澳大利亚、夸贾林、夏威夷和厄瓜多尔. 从这些分析可以看出这些监测站在整个监测网络中具有重要影响. 另外, 66 个组合中有 32 个组合的风险因子不为 0, 这表明从监测站覆盖性能的角度出发, 6AFMS+6NGA 方案中监测站之间具有很强的依赖性. 一旦有两个监测站同时出现故障, 整个地面监测网络产生监测空白风险的概率可以达到 48.5%.

3　基于监测站网覆盖性能的系统完好性增强设计

在监测站网正常运行的条件下, 卫星导航系统服务空域格网内的 DOC 是确定的, 如图 4~6 所示. 空域不同的 DOC 可以代表卫星发生故障被及时有效

表 1　6 AFMS + 6 NGA 单站故障敏感性分析

监测站	影响因子 F_j	风险因子 R_j
阿森松岛	9.07	0
迪戈加西亚	9.09	0.06
夸贾林	9.20	0.01
夏威夷	8.55	0
科罗拉多泉城	7.72	0
卡纳维拉尔角	8.09	0
厄瓜多尔	9.18	0
阿根廷	7.83	0
美国海军天文台	7.73	0
英国	7.31	0
巴林	8.23	0
澳大利亚	8.01	0.33

监测到的概率大小, 这是因为从概率的角度讲, 两个或两个监测站同时发生故障属于小概率事件. 据此, 可以将服务空域格网内有效的监测站网 DOC 作为系统完好性的一种可靠性衡量指标. 基于以上认识, 笔者提出了一种提高系统完好性的设计.

导航系统地面控制段根据监测站传回数据的有效性确定不同空域内监测站网的有效 DOC, 类似于导航电文中的精度指标, 只是这种 DOC 是空域格网的函数; 并将该信息作为系统完好性的一种可靠性衡量指标写入导航电文并通过卫星发播给用户, 或是通过差分数据通讯链路发播给用户. 用户可以根据该指标获得自己可视空域内完好性的可靠性信息, 从而确定获得的导航信息是否安全可用, 同时还可以选择 DOC 较大的格网内的卫星参与导航解算, 以提高导航应用的完好性和可靠性. 这对于完好性要求较高的用户, 特别是涉及生命安全的用户而言具有积极意义.

4 基于覆盖性能的监测站布设方法

4.1 监测站布设的原则

监测站布设需要从监测站的用途、对整网功能的影响程度、布设成本等因素综合考虑, 选择最优方案.

监测站的用途之一是辅助主控站精化卫星轨道位置和卫星钟差, 因此, 原则之一就是寻找最大程度上提高定轨精度和卫星钟差精度的布设方案. 具体来说, 需要分析比较不同可选方案条件下监测站所能提供的定轨精度和卫星钟差确定精度. 当然, 理论上在全球分布越均匀, 数量越多, 所提供的参数精度越高, 但这在实际情况下是不可能的. 不能单纯依靠站数的增加, 而要依靠监测站的合理分布, 从而获得较优方案.

监测站的用途之二是实时监测系统的运行状况, 特别是每颗卫星的运行状况, 保证并提高系统的完好性、连续性和可用性. 最直接的就是完好性, 故监测站布设的最基本要求之一是无缝覆盖, 在此基础上可以增加最小 DOC, 提高覆盖冗余度, 增强监测站网的可靠性.

4.2 基于覆盖性能的分期分级布设方案

基于上述监测站布设的原则, 覆盖性能是监测站布设时需要考虑的重要依据之一. 根据本文所研究的监测站覆盖性能以及故障敏感性分析的结果, 可以在考虑监测站影响因子和风险因子的基础上, 对监测站的布设采取分期分级的方法.

卫星导航系统在建设初期可以建设满足必要覆盖性能的监测站. 为此, 主要考虑监测站影响因子, 选择对监测站网覆盖性能贡献大的监测站先期布设. 在系统逐步运行期间可以逐步增加监测站的数目, 从而在必要覆盖性能的基础上增加覆盖的冗余度, 从而为系统性能的逐步改善和提高提供基础条件. 此时, 就需要考虑风险因子, 对于风险因子较大的监测站要优先考虑. 另外, 考虑到地面监测系统的运行成本, 可以将监测站进行分级建设. 对于影响因子较大的监测站可赋予其多项任务并配备高性能设备(如原子钟), 此类监测站可定为一级; 而对于影响因子较小的监测站只需要完成最基本的监测任务并配备一般性能的监测设备, 此类监测站可定为二级或三级; 对于级别较低的监测站, 就可以考虑无人值守. 对于不同级别的监测站, 其采取的设备备份方案也可以有所差别, 从而在保证一定可靠性的基础上最大程度降低监测运行成本, 获得较大的效率成本比.

5 结论

本文研究了一种监测站覆盖性能评估模型, 该模型可以从不同层面对卫星导航监测站网的性能进行衡量比较. 基于该模型以 GPS 为例对单个监测站覆盖性能、站际重叠覆盖性能以及监测网整体覆盖性能进行了实验分析, 证明了该评估模型的有效性, 并得出: 监测站地理纬度对其覆盖性能有重要影响; 监测站地理经度在满足一定条件下即可获得站际重叠覆盖性能; 监测站数目的增加可以大幅提升整网的覆盖性能, 并可有效减少监测空白风险区域. 采用模拟仿真的方法对 GPS 地面监测站 6AFMS+6NGA 方案的故障敏感性进行了分析, 比较了只有一个和两个监测站同时失效时对整网覆盖性能的影响, 结果显示: 单站失效对整网覆盖性能的影响具有较大差异, 部分监测站的失效还会产生监测空白风险区域; 双站同时失效对整网覆盖性能的影响也不同, 并且有近一半的双站失效组合会产生监测空白风险区域, 表明监测站之间具有很强的依赖性. 根据以上认识和结论提出了一种基于监测站网覆盖性能的系统完好性增强设计; 探讨了监测站的布设方法, 给出了一

种基于覆盖性能的分期分级布设方案. 本文的分析方法和结论既可以用于我国卫星导航系统监测站网的布设和优化, 也可为我国建立其他卫星系统的地面跟踪和监测站网提供一定参考依据.

附录

表 a1　6 AFMS + 6 NGA 双站故障敏感性分析

监测站	影响因子 F_{ij}	风险因子 R_{ij}
阿森松岛、迪戈加西亚	18.17	0.64
阿森松岛、夸贾林	18.27	0.01
阿森松岛、夏威夷	17.62	0
阿森松岛、科罗拉多泉城	16.79	0
阿森松岛、卡纳维拉尔角	17.16	0
阿森松岛、厄瓜多尔	18.25	0
阿森松岛、阿根廷	16.90	2.74
阿森松岛、美国海军天文台	16.80	0
阿森松岛、英国	16.38	0
阿森松岛、巴林	17.30	0
阿森松岛、澳大利亚	17.08	0.33
迪戈加西亚、夸贾林	18.29	0.07
迪戈加西亚、夏威夷	17.64	0.06
迪戈加西亚、科罗拉多泉城	16.81	0.06
迪戈加西亚、卡纳维拉尔角	17.18	0.06
迪戈加西亚、厄瓜多尔	18.27	0.06
迪戈加西亚、阿根廷	16.91	0.06
迪戈加西亚、美国海军天台	16.82	0.06
迪戈加西亚、英国	16.40	0.06
迪戈加西亚、巴林	17.32	3.47
迪戈加西亚、澳大利亚	17.10	4.74
夸贾林、夏威夷	17.75	1.93
夸贾林、科罗拉多泉城	16.92	0.01
夸贾林、卡纳维拉尔角	17.29	0.01
夸贾林、厄瓜多尔	18.38	0.01
夸贾林、阿根廷	17.02	0.01
夸贾林、美国海军天文台	16.93	0.01
夸贾林、英国	16.51	0.01
夸贾林、巴林	17.43	0.26

续表 1

监测站	影响因子 F_{ij}	风险因子 R_{ij}
夸贾林、澳大利亚	17.21	3.96
夏威夷、科罗拉多泉城	16.26	0
夏威夷、卡纳维拉尔角	16.63	0
夏威夷、厄瓜多尔	17.73	0
夏威夷、阿根廷	16.37	0
夏威夷、美国海军天文台	16.28	0
夏威夷、英国	15.86	0
夏威夷、巴林	16.78	0
夏威夷、澳大利亚	16.55	0.34
科罗拉多泉城、卡纳维拉尔角	15.81	0
科罗拉多泉城、厄瓜多尔	16.89	0
科罗拉多泉城、阿根廷	15.54	0
科罗拉多泉城、美国海军天文台	15.45	0
科罗拉多泉城、英国	15.03	0
科罗拉多泉城、巴林	15.95	0
科罗拉多泉城、澳大利亚	15.73	0
卡纳维拉尔角、厄瓜多尔	17.27	0
卡纳维拉尔角、阿根廷	15.92	0
卡纳维拉尔角、美国海军天文台	15.82	0
卡纳维拉尔角、英国	15.40	0
卡纳维拉尔角、巴林	16.32	0
卡纳维拉尔角、澳大利亚	16.10	0.33
厄瓜多尔、阿根廷	17.01	2.59
厄瓜多尔、美国海军天文台	16.91	0
厄瓜多尔、英国	16.49	0
厄瓜多尔、巴林	17.41	0
厄瓜多尔、澳大利亚	17.19	0.33
阿根廷、美国海军天文台	15.56	0
阿根廷、英国	15.14	0
阿根廷、巴林	16.06	0
阿根廷、澳大利亚	15.83	0.79
美国海军天文台、英国	15.04	0
美国海军天文台、巴林	15.96	0
美国海军天文台、澳大利亚	15.74	0.33
英国、巴林	15.54	0.36
英国、澳大利亚	15.32	0.33
巴林、澳大利亚	16.24	0.33

参考文献

1 Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard. 4th ed. Washington DC: DoD, 2008

2 Kaplan E. Understanding GPS: Principles and Applications. 2nd ed. Norwood, MA: Artech House Publishers, 2006. 250—260

3 Blomenhofer H, Ehret W, Su H, et al. Sensitivity analysis of the Galileo integrity performance dependent on the Ground Sensor Station Network. In: Proceedings of ION GNSS 18th International Technical Meeting. Long Beach, CA: Institute of Navigation, 2005. 1361—1373

4 Langer J V, Feess W A, Haddad R N, et al. Near-term integrity improvements for the GPS operational control segment. In: Proceedings of ION GPS-2002. Portland, OR: Institute of Navigation, 2002. 1511—1518

5 Wiley B, Craig D, Manning D, et al. NGA's role in GPS. In: Proceedings of ION GNSS-2006. Fort Worth, TX: Institute of Navigation, 2006. 2111—2119

Analysis on the coverage of satellite navigation system Monitor Stations

LI ZuoHu[1*], HAO JinMing[1], LI JianWen[1,2], ZHAO QiLe[2] & ZHANG ChengJun[1]

[1] *Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China;*
[2] *GNSS Research Center, Wuhan University, Wuhan 430079, China*

As one of the important components of satellite navigation system control segment, Monitor Stations are of great significance for the provision of system basic service function and the maintenance of all performance indexes of the system. A model used for the assessment of Monitor Stations coverage is given, which can be used as the basis to carry out tests and analysis on three aspects including the coverage of single station, the overlap of two stations and the whole coverage of Monitor Station net, taking GPS for instance. The results show that this model is effective to evaluate the Monitor Station coverage and design the net and optimize it. Then the sensitivity analysis of GPS ground station outages is carried out, which determines the stations that are of great influence and can be resulted in larger integrity risks. A design of the integrity augmentation based on the coverage of Monitor Station net is given. And the distributing method of Monitor Stations is discussed with a scheme by stages and classification based on the coverage.

satellite navigation system, Monitor Station, coverage, integrity, outage analysis

PACS: 91.10.Fc, 91.10.Sp, 91.10.Pa, 91.10.Jf