文章编号:1671-251X(2018)06-0021-06　　DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018020051

露天煤矿临近车辆检测 ad hoc 协议测试与选择

王茵[1,2]，　施燕峰[1]，　胡圣波[1]

(1.贵州师范大学 智能信息处理研究所，贵州 贵阳　550001；
2.贵州交通职业技术学院 机械与电子工程系，贵州 贵阳　550001)

摘要:通过分析目前临近车辆检测技术,即超声波传感技术、脉冲雷达和激光探测技术、计算机视觉技术、RFID 和电子标签技术、GPS 技术,指出 GPS 集成无线通信技术最适合应用在露天煤矿临近车辆检测中;提出一种 GPS 集成 ad hoc 的临近车辆检测无线通信系统:只要相邻车辆处于通信距离范围内,车辆间便可采用 IEEE 802.11 协议,以单跳或多跳的方式交换 GPS 定位数据。以该系统为研究对象,模拟真实的露天煤矿场景,测试分析了 IEEE 802.11a/b/p 三种版本的通信协议在视距传输、非视距传输、接收机在斜坡底部和接收机在斜坡顶部 4 种不同场景下的信号接收强度和有效通信距离。测试结果表明,在以上 4 种不同场景下,IEEE 802.11b 协议的数据包接收率更高、有效通信距离更远,优于 IEEE 802.11a 协议和 IEEE 802.11p 协议,更适合露天煤矿临近车辆检测。

关键词:露天煤矿;矿车安全;临近车辆检测;GPS 集成 ad hoc;定位精度

中图分类号:TD655　　文献标志码:A

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180518.1657.004.html

Testing and selection of ad hoc protocol for proximity vehicle test in open-pit coal mine

WANG Yin[1,2],　SHI Yanfeng[1],　HU Shengbo[1]

(1. Intelligent Information Processing Institute , Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;
2. Department of Mechanical and Electronic Engineering, Guizhou Jiaotong College,
Guiyang 550001, China)

Abstract: The paper pointed out that GPS integrated wireless communication technology is most suitable for application of proximity vehicle detection in open-pit coal mine on the basis of analyzing existing proximity vehicle testing technologies, such as ultrasonic sensing technology, pulse radar and laser detection technology, computer vision technology, RFID and electronic tag technology, GPS technology. It put forward a wireless communication system for proximity vehicle testing with GPS integrating ad hoc in open-pit coal mine: as long as the proximity vehicles are in communication distance range, it can adopt IEEE 802.11 agreement between vehicles, and exchange GPS positioning data by single-hop or multiple-hop method. Taking the system as research object, the real scene of open-pit coal mine was simulated, the received signal strength and the effective communication distance for IEEE 802.11a/b/p were tested and analyzed under the following conditions of line of sight, non line of sight, the receiver at bottom of slope, and receiver at top of slope. The testing results show that protocol packet reception rate of IEEE 802.11b is higher, effective communication distance is farther compared with IEEE

收稿日期:2018-02-28;**修回日期**:2018-05-09;**责任编辑**:张强。

基金项目:贵州省科技基金项目(黔科合 J 字 LKS[2013]25 号)。

作者简介:王茵(1966—),女,贵州贵阳人,副教授,长期从事汽车电子研究工作,E-mail:1352940125@qq.com。

引用格式:王茵,施燕峰,胡圣波.露天煤矿临近车辆检测 ad hoc 协议测试与选择[J].工矿自动化,2018,44(6):21-26.
WANG Yin,SHI Yanfeng,HU Shengbo. Testing and selection of ad hoc protocol for proximity vehicle test in open-pit coal mine[J]. Industry and Mine Automation,2018,44(6):21-26.

802.11a/p , and is more suitable for proximity vehicle testing in open-pit coal mine.

Key words: open-pit coal mine; vehicle safety; proximity vehicle test; GPS integrating ad hoc; positioning accuracy

0 引言

近年来,国内外露天煤矿车辆采取了许多临近检测技术手段和措施,如超声波传感技术、雷达技术、GPS 技术等,有效地减少了由于矿用卡车、工程车辆碰撞造成的致命和非致命事故[1-4]。然而,这类事故依然不可避免,特别是死亡事故时有发生。究其原因,除存在生产企业重生产、轻安全、安全管理意识薄弱、主体责任不落实、安全监管不到位等突出问题外[2],从技术上看,主要有 2 个方面的原因:一是矿用卡车、工程车辆体量大,司机视觉存在严重盲区;二是矿用卡车、工程车辆机动性差,避免碰撞响应时间过长。因此,露天煤矿临近车辆检测成为研究热点。其中,基于 GPS 的许多临近车辆检测技术因成本低、覆盖范围广、精度高受到密切关注[5-6]。基于 GPS 的临近车辆检测技术要求每辆车或每台装备均装备 GPS 设备,能同时给出临近车辆或装备的相对位置信息,并能发送自己的位置信息。从上述要求可看出,临近车辆或装备需要采用合适的无线通信技术实现定位数据的发送。如果采用固定基站或者长距离多跳的无线通信技术,首先要将临近车辆或装备的 GPS 数据发送到中央处理单元,然后,中央处理单元再向临近车辆或装备广播 GPS 数据,这既不满足临近车辆或装备的相对位置信息实时性高的要求,也不适合露天煤矿环境。而基于 IEEE 802.11(WiFi)的短距离多跳无线技术,即 ad hoc 是很好的选择。

近年来许多重要的临近检测技术也受到关注,文献[7]研究了基于临近自适应 HTTP 的 WiFi 检测技术,文献[8]研究了基于双频带 WiFi 信号强度(RSS)的室内临近用户检测技术。但针对露天煤矿临近车辆检测应用及合适协议版本选择的研究并不多见。本文在分析现有临近车辆检测技术的基础上,结合露天煤矿现场实际,提出了一种基于 IEEE 802.11 协议的 GPS 集成 ad hoc 的露天煤矿临近车辆检测无线通信系统,以该系统为研究对象,通过模拟真实的露天煤矿场景和现场测试分析,优化选择适用于露天煤矿临近车辆检测的 IEEE 802.11 协议。

1 现有临近车辆检测技术

1.1 超声波传感技术

超声波传感技术工作频率为 40～250 kHz。超声波碰到障碍物或分界面会产生显著反射,形成反射回波。通过测量回波时间,可估计障碍物的相对距离。但超声波衍射小,只能直视传播,工作距离不到 10 m,并不适合大面积的露天煤矿临近车辆检测[9]。

1.2 脉冲雷达和激光探测技术

脉冲雷达和激光探测技术都是很有希望的临近车辆检测技术,其工作原理类似于超声波传感技术,但其测量距离更远、精度更高。然而这 2 种技术易受到检测路径中其他障碍物的影响,虚警概率大。例如,当碰到车辆轮胎或大型岩石时会出现虚警,而碰到路过的行人时,会出现漏检。此外,采用这些技术成本较高。露天煤矿临近车辆检测采用这 2 种技术将面临如何提高检测概率、降低虚警概率和漏检概率等许多难题[10-11]。

1.3 计算机视觉技术

先进的计算机视觉技术同样是非常有希望的临近车辆检测技术和目标识别技术。但是计算机视觉技术要求照相机要有足够的光源,在雾、尘埃等恶劣环境下,使用效果并不好。此外,当采用多个照相机时,要求可靠的模式识别技术。这些问题,使得只采用计算机视觉技术进行露天煤矿临近车辆检测同样面临许多挑战[12]。

1.4 RFID 和电子标签技术

采用 RFID 和电子标签技术需要在车辆或装备上嵌入 RFID 和电子标签,需要周期发射电磁波。同时,这些嵌入设备还需感应接收其他车辆或设备发送的电磁信号。当车辆或设备靠近,感应到的信号强度足够大时,才能提示车辆或设备的临近。RFID 和电子标签技术安装简单,部署容易,工作距离为 12～18 m,但只能实现目标临近感知,不能精确定位和定向[13]。

1.5 GPS 技术

GPS 技术定位精度为 3～4 m,所以,集成 GPS 和无线通信技术越来越广泛应用于车辆的临近检测[5,14]。但是,随着车辆越来越靠近,GPS 技术的定

位精度并不能满足要求,需要结合无线通信技术进一步提高定位精度。

2　GPS 集成 ad hoc 的临近车辆检测无线通信系统

从第 1 节分析可见,目前临近车辆检测技术中,GPS 集成无线通信技术是最合适的选择,可应用在露天煤矿车辆碰撞避免和重型卡车检测领域。

GPS 集成无线通信技术基本思想:利用 GPS 接收机不断更新车辆或设备位置信息,并通过无线通信的手段将更新的位置信息发送给其他车辆。无线通信方式主要有 2 种:第 1 种是采用集中式通信基站或长距离通信方式将车辆定位数据发送给处理中心,再由处理中心将车辆定位数据以广播的方式发送给其他车辆;第 2 种是以 p2p、分布式的方式将车辆 GPS 定位数据发送给周边车辆。第 1 种方式构建复杂,成本高,不适合露天煤矿应用环境。因此,本文将采用 ad hoc 的模式,构建一种 GPS 集成 ad hoc 的临近车辆检测无线通信系统,如图 1 所示。

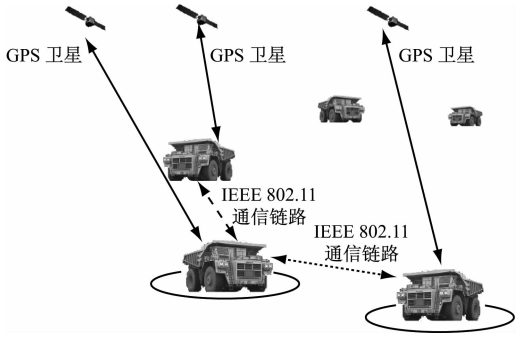


图 1　GPS 集成 ad hoc 的临近车辆检测无线通信系统

Fig. 1　Wireless communication system of proximity vehicle testing with GPS integrating ad hoc

只要相邻车辆处于通信距离范围内,车辆间便可以采用 IEEE 802.11 协议,以单跳或多跳的方式交换 GPS 定位数据。

3　IEEE 802.11 协议选择

3.1　IEEE 802.11 协议

IEEE 802.11 协议是一系列、多版本的 MAC 层和物理层的技术规范,定义了不同的调制方式,是定义了 ad hoc 无线网络标准的无线局域网协议,规定了 2.4,5,60 GHz 等 3 个工作频段。结合露天煤矿临近车辆检测需要,本文主要分析 IEEE 802.11a/b/p 三个版本的协议,通过系统测试,以选择适合露天煤矿临近车辆检测的 IEEE 802.11 协议。

(1) IEEE 802.11a 协议。是对最初的 IEEE 802.11 协议的修正,帧格式和链路层协议与最初的 IEEE 802.11 协议一样,但采用正交频分复用(OFDM)的调制方式,工作频段为 5.8 GHz,避开了拥挤的 2.4 GHz 的 ISM 频段,具有较好的电磁兼容环境。

(2) IEEE 802.11b 协议。也是对最初的 IEEE 802.11 协议的修正,帧格式和链路层协议与最初的 IEEE 802.11 协议一样,采用直接序列扩频方式,传输速率包括 5.5,11 Mbit/s,工作频段为 2.4 GHz 的 ISM 频段。

(3) IEEE 802.11p 协议。是由 IEEE 802.11 标准扩充的通信协议,主要用于车载电子无线通信,符合智能交通系统的相关应用。采用 5.9 GHz 的工作频率和成熟的 OFDM 技术支持 ITS(智能交通系统)路边基础设施。MAC 层稍作修改,以支持专用短程通信系统。

3.2　有效通信距离测试

一般地,设计 GPS 集成 ad hoc 的无线通信系统时,关注更多的是信号接收强度。对于临近车辆检测来说,除要关注信号接收强度外,还要关注有效通信距离。有效通信距离可定义为数据包接收率大过某个阈值时所对应的通信距离,反映的是数据包接收率与传输距离的关系,与无线电波传输距离、传输环境、调制方式、接入方式等相关。

为测量有效通信距离,在贵州贵安新区某施工现场实地模拟露天煤矿环境,建立了有效通信距离测试场景,研究 IEEE 802.11a/b/p 三个版本的协议。模拟场景和测试系统组成分别如图 2 和图 3 所示。

图 2　露天煤矿模拟场景

Fig. 2　Simulation scene of open-pit coal mine

(1) BU353 GPS 模块。采用 SiRF Star III 芯片组加上内建的主动型陶瓷天线,使得定位更为精准,防滑底部容易运用在各种车辆上,差分定位精度

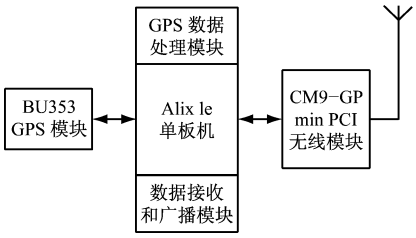


图 3 有效通信距离测试系统组成

Fig. 3 Composition of testing system of effective communication distance

为 1～10 m。

(2) Alix 1e 单板机。采用 500 MHz 的 AMD CPU 和 256 MB 的 SDRAM,具有支持包括 GPS 模块等在内的无线板卡所需的迷你型 PCI 插槽。

(3) CM9-GP min PCI 无线模块。是迷你型 PCI 无线网卡,普遍用于工业级无线网桥,支持 IEEE 802.11a/b/p 等版本协议。

(4) 天线。CM9-GP min PCI 无线模块采用 2.4/5 GHz天线,天线增益为 9 dBi。

(5) GPS 数据处理模块。按 5 Hz 的频率周期读取 GPS 坐标数据,并采用套接字的编程方法,将 GPS 坐标数据发送给 Alix 1e 单板机。

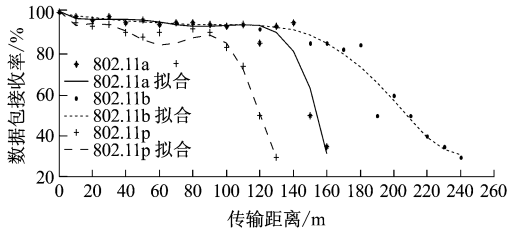
(6) 数据接收和广播模块。该模块利用 ad hoc 通信方式,在有效通信距离范围内接收其他车辆的 GPS 数据,广播自己的 GPS 数据。每个数据包都有自己的序列号和时戳,接收数据用来计算数据包的接收率和接收信号强度。

3.3 测试结果

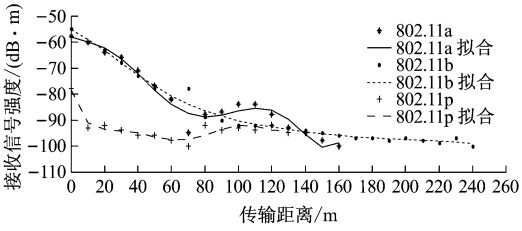
露天煤矿地理环境十分复杂,既可能存在斜坡,又可能存在急转弯,导致车辆间无线电波不能直视。无线电波收发测试环境主要考虑如下 4 种情况:视距传输、非视距传输、接收机在斜坡底部和接收机在斜坡顶部。测试时,收发机距离按 10 m 间隔步进增加,发射数据频率为 5 Hz,数据包大小为 100 byte。此外,为保证测试结果的准确性,每个位置均测量 10 次,并取平均值计算。

在上述测试环境下,IEEE 802.11a/b/p 三个版本协议的数据包接收率和接收信号强度测试结果如图 4—图 7 所示,其中,点为测试平均值,线为测试平均值的拟合曲线。

从图 4 可看出,IEEE 802.11a/b/p 三个版本协议随着传输距离的增加,数据包接收率和接收信号强度都下降;尽管 IEEE 802.11a/b 协议接收信号强度差不多,但是 IEEE 802.11b 协议比 IEEE 802.11a/p 协议下降得更慢,即有效传输距离更长些。



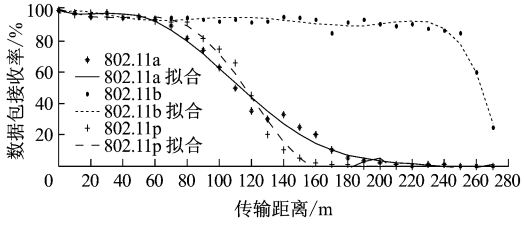
(a) 数据包接收率与传输距离之间的关系曲线



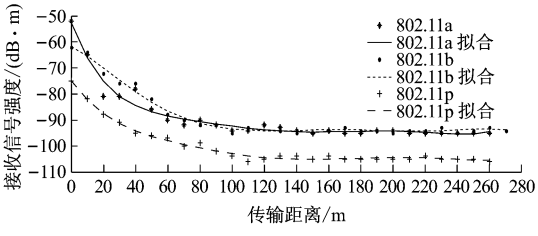
(b) 接收信号强度与传输距离之间的关系曲线

图 4 视距场景下 IEEE 802.11a/b/p 协议的传输性能和传输距离之间的关系曲线

Fig. 4 Relation curve between transmission performance and distance of IEEE 802.11a/b/p protocol under scene of line of sight



(a) 数据包接收率与传输距离之间的关系曲线



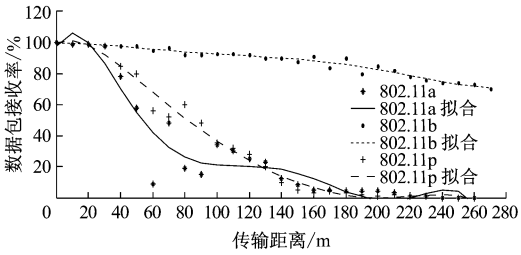
(b) 接收信号强度与传输距离之间的关系曲线

图 5 接收机在斜坡顶部场景下 IEEE 802.11a/b/p 协议的传输性能和传输距离之间的关系曲线

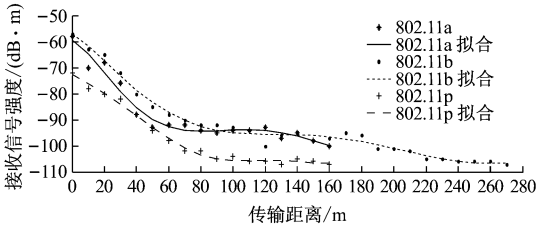
Fig. 5 Relation curve between transmission performance and distance of IEEE 802.11a/b/p protocol under scene of receiver being at top of slope

从图 5 和图 6 可看出,随着传输距离的增加,IEEE 802.11b 协议的数据包接收率比 IEEE 802.11a/p 协议下降慢得多,而 IEEE 802.11a 协议和 IEEE 802.11p 协议则差不多。

从图 7 可看出,非视距场景下,由于岩石或其他障碍物的遮挡,随着传输距离的增加,与前述 3 种场景相比,数据包接收率和接收信号强度下降得更快,但 IEEE 802.11b 协议相对要好一些。



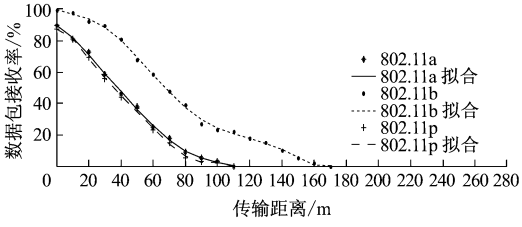
(a) 数据包接收率与传输距离之间的关系曲线



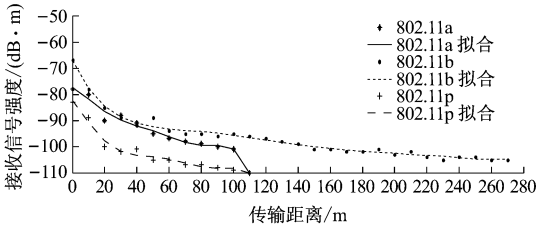
(b) 接收信号强度与传输距离之间的关系曲线

图 6　接收机在斜坡底部场景下 IEEE 802.11a/b/p 协议的传输性能和传输距离之间的关系曲线

Fig. 6　Relation curve between transmission performance and distance of IEEE 802.11a/b/p protocol under scene of receiver being at bottom of slope



(a) 数据包接收率与传输距离之间的关系曲线



(b) 接收信号强度与传输距离之间的关系曲线

图 7　非视距场景下 IEEE 802.11a/b/p 协议的传输性能和传输距离之间的关系曲线

Fig. 7　Relation curve between transmission performance and distance of IEEE 802.11a/b/p protocol under scene of non-line of sight

根据以上测试结果,给定数据包接收率阈值为 75%,则 4 种场景下,3 个版本的通信协议对应的有效通信距离见表 1。从表 1 可看出,尽管 IEEE 802.11p 协议是为车联网推出的,但有效通信距离短,并不适合露天煤矿应用,而 IEEE 802.11b 协议更适合,因为更长的有效通信距离将有助于提高临近车辆检测的反应速度,并且 IEEE 802.11b 协议采用的 2.4 GHz 频率不会对矿山其他设备造成严重的电磁干扰。

表 1　4 种场景下 IEEE 802.11a/b/p 协议对应的有效通信距离

Table 1　Effective communication distance of IEEE 802.11a/b/p under the four conditions

场景	有效通信距离/m		
	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b	IEEE 802.11p
视距传输	150	180	110
非视距传输	21	53	19
接收机在斜坡底部	43	265	58
接收机在斜坡顶部	95	255	8

4　结语

结合露天煤矿现场实际,提出了一种基于 IEEE 802.11 协议的 GPS 集成 ad hoc 的露天煤矿临近车辆检测无线通信系统框架。从提高临近车辆检测的反应速度的角度出发,通过引入有效通信距离的概念,测试分析了 IEEE 802.11a/b/p 协议在视距传输、非视距传输、接收机在斜坡底部和接收机在斜坡顶部 4 种不同场景下接收信号强度和数据包接收率。分析测试结果表明,IEEE 802.11b 协议的数据包接收率、有效通信距离等性能更好,优于专用于车联网的 IEEE 802.11p 协议和 IEEE 802.11a 协议,更适合用于露天煤矿临近车辆检测,为 GPS 集成 ad hoc 的露天煤矿临近车辆检测无线通信系统的设计和优化提供了重要依据。

参考文献(References):

[1] 赵立厂.露天矿山卡车防碰撞预警系统设计[J].工矿自动化,2015,41(2):100-102.
ZHAO Lichang. Design of collision warning system of truck for open pit mine [J]. Industry and Mine Automation, 2015,41(2):100-102.

[2] 杨凯.露天煤矿机动车辆事故分析及预防措施[J].露天采矿技术,2017,32(12):85-87.
YANG Kai. Accident analysis and preventive measures of motor vehicle in open-pit coal mine [J]. Opencast Mining Technology,2017,32(12):85-87.

[3] MD-NOR Z A, KECOJEVIC V, KOMLJENOVIC D, et al. Risk assessment for haul truck-related fatalities in mining [J]. Mining Engineering, 2008, 60:43-49.

[4] SUN E J, NIETO A, LI Z X, et al. An integrated information technology assisted driving system to improve mine trucks-related safety [J]. Safety Science, 2010,48 (10):1490-1497.

[5] NIETO A, MILLER S. GPS proximity warning system for at-rest large mobile equipment [J]. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 2005,19(1):75-84.

[6] NIETO A, DAGDELEN K. Accuracy testing of a vehicle proximity warning system based on GPS and wireless network [J]. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment,2003,17(3):156-170.

[7] KLOKMOSE C, KORN M, BLUNCK H. WiFi proximity detection in mobile web applications [C]// Proceedings of the 2014 ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems, Room, 2014:123-128.

[8] AGATA Y, HONG J, OHTSUKI T. Room-level proximity detection based on RSS of dual-band Wi-Fi signals [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Communications, Kuala Lumpur, 2016:1-6.

[9] MASSA D P. Choosing an ultrasonic sensor for proximity or distance measurement part 1: acoustic consideration [J]. Sensors, 1999,16:34-37.

[10] RUFF T M. Evaluation of a radar-based proximity warning system for off-highway dump trucks [J]. Accid Anal Prev, 2006,38(1):92-98.

[11] DUCARME J, CARR J. Smart sensing: the next generation [J]. Mining Magazine, 2013,8:58-66.

[12] RUFF T M, STEELE J. Recent advances in proximity warning technology for surface mining equipment [J]. International Journal of Mining Engineering,2004,316(1):68-72.

[13] MARKS E, TEIZER J. Proximity sensing and warning technology for heavy construction equipment operation [C]// Construction Research Congress, West Lafayette,2012:981-990.

[14] HOLDEN T, RUFF T. GPS-based proximity warning system for mining and construction equipment [C]//Proceedings of the 14th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Salt Lake City, 2001:517-525.