

doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2013.03.004

# 基于 ITS 软件的短波频率管理系统设计\*

杨青彬<sup>1,\*\*</sup>, 余毅敏<sup>1</sup>, 余 奇<sup>1</sup>, 李 鹏<sup>2</sup>

(1. 国防信息学院, 武汉 430010; 2. 解放军 96225 部队, 昆明 650000)

**摘要:** 美国 ITS (Institute for Telecommunication Sciences) 组织开发的短波中长期频率预测软件在全球范围内应用非常广泛。通过学习该预测软件的工作原理和模式, 结合大区域网络化应急短波通信的频率管理需求, 设计开发了具有 MUF (Maximum Usable Frequency) 频率预测、ALE (Automatic Link Establishment) 扫描频率预测、频率覆盖预测、台站选址预测、工作频率性能预测等 5 种功能的短波频率管理系统, 该系统可结合各种探测数据进行频率规划和动态调整。实际应用表明, 该系统可极大改善和提高短波通信链路的选频质量。

**关键词:** 应急短波通信; 频率管理; 频率预测; ITS 软件

中图分类号: TN929 文献标志码: A 文章编号: 1001-893X(2013)03-0249-05

## Design of an HF Frequency Management System Based on ITS Software

YANG Qing-bin<sup>1</sup>, YU Yi-min<sup>1</sup>, YU Qi<sup>1</sup>, LI Peng<sup>2</sup>

(1. Academy of National Defense Information, Wuhan 430010, China; 2. Unit 96225 of PLA, Kunming 650000, China)

**Abstract:** The HF medium-and long-term frequency prediction software developed by the Institute for Telecommunication Sciences (ITS) of the USA has been widely used all over the world. By studying the working principle and working model of the software, combined with the large regional networked emergency HF communication frequency management requirements, an HF communication frequency management system with five functions based on the ITS software is designed such as MUF (Maximum Usable Frequency) frequency forecast, ALE (Automatic Link Establishment) scanning frequency forecast, frequency coverage forecast, station location forecast, work frequency performance forecast. This system can combine all sorts of detection data to plan the frequency and realize the dynamic adjustment. Application demonstrates it can greatly improve and enhance the quality of HF communication link when choosing frequency.

**Key words:** emergency HF communication; frequency management; frequency forecast; ITS software

## 1 引言

频率选择问题一直是制约短波通信质量的重要因素, 依据电离层模型进行长期预测, 并结合实时探测数据进行优质短波频率选择, 可极大提高短波通信的质量和效率。由于大区域网络化应急短波通信采用大区制组网, 在优质频率的使用上要求能够统管共控, 在区域中心站的布设上要求充分考虑其覆盖要求, 而基于场强或可靠性的频率覆盖预测可以对区域中心站的选取进行初步的理论验证, 能够对

已有区域中心站计算其覆盖能力, 实现其保障地域的初步规划和优质频率的初步选择。对此, 在大区域网络化应急短波通信中, 通过频率预测软件, 对频率进行粗选或预选, 为整个网络的频率规划提供初始的频率集, 在此基础上使用频率探测数据对可用频段进行更新和调整, 校正剔除预测频率集中的不可用频率, 提供给网络管理系统中的频率规划软件, 根据不同的需求在全网进行统一的规划和合理分配。

当前, 电离层的实时探测技术已经发展得较为成熟, 并广泛应用于实践之中, 而对中长期预测模型

\* 收稿日期: 2012-11-05; 修回日期: 2013-01-24 Received date: 2012-11-05; Revised date: 2013-01-24

\*\* 通讯作者: gefsse@sina.com Corresponding author: gefsse@sina.com

和计算核心的选择成为实现频率预测与探测相结合进行选频的关键。在国内各种短波中长期频率预测软件中,美国 ITS (Institute for Telecommunication Sciences) 组织开发的频率预测软件包在全球范围内广泛使用,这是因为早在 1957 年,无线电传播机构就开始着手为美国陆军通信兵开发自动化的短波路径预测工具,并在其后的使用过程中进行修改,由于长期应用及数据的积累和修正,该模型的计算核心已经非常完善和可靠。目前,国际上很多短波频率中长期预测管理系统都是直接使用该软件包的计算核心进行预测,只是对界面重新进行封装,如 Ham-Cap 和 ARRL 等。由于对短波频率预测的实质都是基于电离层的月中值模型进行的,因此,采用具有广泛应用基础且对电离层模型进行持续不断修正的 ITS 软件包进行短波频率管理系统的再开发成为很多用户的选择,在国内,国家广电总局无线局为短波广播而开发的“HFCC 短波频率协调软件”就通过集成 ITU 的 REC533 预测模块并结合 GIS 来实现的<sup>[1]</sup>,因此鉴于 ITS 软件的成熟性和其计算功能的强大,借鉴文献[2-5]的做法,基于已有的成熟计算模块设计实现大区域网络化应急短波通信的频率管理系统是可行和可靠的。设计开发的短波频率管理系统能够对可用频率进行预测;能够进行区域中心站基于场强或可靠性的频率覆盖预测;能够进行特定链路的性能预测,为融合利用 Chirp 探测数据和 Modem 探测数据进行优质稀缺频率资源的指配和调整奠定基础。

## 2 基于 ITS 开发的基本思路

由于该频率管理系统是以 ITS 模型为计算内核,因此其实现重点是结合大区域网络化应急短波通信在特定应用场合进行频率预测的需求,把 ITS 模型的计算功能用良好的界面提供给特定用户使用,其本质是如何简单高效地把 ITS 系列软件的计算功能匹配到大区域网络化应急短波通信的频率预测需求中去,其基本思路如下。

(1) 利用良好的可视化界面输入相关的预测参数,并格式化成 ITS 软件特定的输入文件,调用 ITS 相关程序进行计算,从其产生的输出文件中获取必要的结果信息,经过特定算法处理后返回人机界面。

(2) 为了快捷地输入大区域网络化应急短波通信区域中心站的信息,在软件中需要建立短波台站数据库,在实施预测功能时可以直接从库中查询和选择。

(3) 直接利用 ITS 模型计算出的轮廓数据,通过格式化处理后可在全国地图上显示,避免较烦琐的等值线计算,实现覆盖区域的显示。

(4) 使用 ITS 软件中的各种计算模型和结果数据,不涉及二次计算,以保证预测的准确性。

基于以上考虑,设计出大区域网络化应急短波通信的频率管理系统总体架构如图 1 所示。

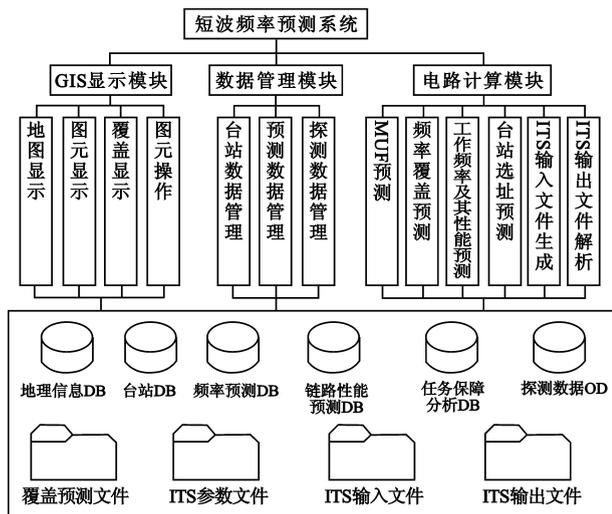


图 1 频率预测与管理系统的总体结构图

Fig. 1 Integrated framework graph of frequency prediction and management system

## 3 基于 ITS 的设计实现

短波频率管理系统中的电路计算模块是整个软件的核心模块,根据实际需要,目前共设计有 MUF (Maximum Usable Frequency) 预测、ALE (Automatic Link Establishment) 电台扫描频率预测、频率覆盖预测、工作频率及其性能预测和台站选址预测共 5 种预测计算功能,这 5 种功能均基于 ITS 软模型中点对点计算和点对区域计算,其实现的关键在于将预测的各种输入参数格式化成 ITS 模型的输入文件格式,以及对 ITS 软件计算后产生的输出结果进行针对性的提取。因此,ITS 输入文件生成和输出文件解析是 5 种功能实现的基础。

对每一种预测功能都应包括以下几个步骤才能完成一次计算:

(1) 通过人机界面输入或选择预测所需参数,所有参数经校验后即传递给输入文件生成子模块;

(2) 调用输入文件生成子模块,根据不同的输入参数和计算功能生成不同的输入文件;

(3) 调用 ITS 软件中的执行程序进行计算,得到输出文件;

(4)调用输出文件解析子模块,根据相应的功能从输出文件中得到相应的计算结果;

(5)如果一次计算不能完成该预测功能,则重复执行第 2~4 步直至获取所有的计算结果;

(6)对得到的计算结果进行适当的处理和转换,形成最终的预测数据;

(7)将预测数据显示给用户,预测数据既可以用表格的形式显示也可以直接显示在地图上。

### 3.1 基础数据支撑

基础的数据支撑主要是为整个软件提供必要的数据存储、查询服务,包括台站数据管理、预测数据管理和探测数据管理,其基本组成如图 2 所示。

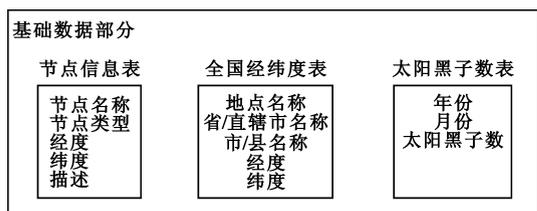


图 2 基础数据构成  
Fig.2 Basic data formation

其中,台站数据管理负责对大区域网络化应急短波通信中台站相关信息的录入、编辑和管理,台站数据可以提供给电路计算模块使用,也作为图元数据在地图上自动显示<sup>[6]</sup>;预测数据管理负责对电路计算的结果数据进行保存和显示,可提供 API 给电路计算模块以方便预测数据的保存,同时也可进行预测数据的查询。

### 3.2 MUF 预测和 ALE 电台扫描频率预测

MUF 是静态的月中平均统计值,它描述了在两点之间进行短波通信时电离层的反射能力情况,并不是具体链路的规划使用频率,只是提供一个频率上限的参考值。MUF 的预测只需两点的坐标、时间和对应的太阳黑子数即可得出,在本系统中 MUF 的预测是最基本的功能。

通过对 ITS 软件的分析并结合其他相关的资料,目前较为实用的工作频段一般是在 FOT (Frequency of Optimum traffic) 值附近,特别是采用了 ALE 技术的短波自适应电台,ITS 提出了一种新的预测方法,即对某一天预测结果中 HPF (Highest Possible Frequency) 的最大值和 FOT 的最小值来定义其预置扫描频率的变化范围,其中日频和夜频分开计算,日频范围是 (HPFmax, FOTmin),夜频范围是 (HPFmax, FOTmin)<sup>[7]</sup>。

基于以上分析,在 MUF 预测中提供两种预测功

能:一是 MUF 数据的预测,可提供某个月 24 h 的 MUF 预测,并对 MUF、FOT、LUF (Lowest Usable Frequency)、HPF 值以表格形式呈现;二是短波自适应电台指定时间段的预置扫描频率表上下限预测,通常是日频和夜频的扫描范围预测,其具体的数据构成如图 3 所示。

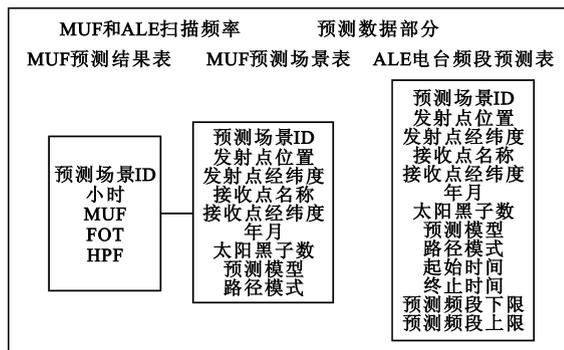


图 3 MUF 预测数据构成  
Fig.3 MUF prediction data formation

### 3.3 工作频率与性能预测

结合短波链路的实际预测需要,系统提供了工作频率及其性能预测功能。

(1)对于区域中心站和机动用户之间链路,根据指定的工作频点和时间,给出链路性能的推测和估算。预测性能指标有 SNR (信噪比)、SNRXX (信噪比百分比)、REL (链路可靠性)、DBU 等,根据不同的需要选用不同的指标。如果同时指定多个频点,则在计算出所有频点性能的同时给出频点的排序,从而使用户能够在多个频点中选择较好的工作频率。

(2)对于特定的链路,指定时间、天线等相关参数,系统自动推荐通信质量好的频率,其通信质量的评价标准是指定链路在该频点的 SNR 和 SNRXX 的大小<sup>[8]</sup>。具体实现思路如下:一是根据用户指定的信噪比 (Req. SNR),找出符合条件的所有频率并进行排序;二是计算的频率范围是整个短波频段 2~30 MHz,计算精度为 0.1 MHz;三是通过对整个频率范围的 SNR 和 SNRXX 进行分析,在数据分析和处理时应注意以下几个方面。

1)存在频率其  $SNR_{90\%} \geq Req. SNR$ ,此时将找出所有满足条件的频点,对这些频点其提供给用户的形式有两种。

第一种是这些频点不用排序,满足条件的相邻频点进行合并,且频点是由小到大排列的。

例如,某条件下 ITS 软件对 11~14 MHz 频率性能的计算结果如图 4 所示。

11.0	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	0.0	FREQ
73	74	74	74	74	74	74	75	75	75	-	SNR
54	55	55	55	54	54	54	54	54	54	-	SNR <sub>xx</sub>
12.0	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	12.9	0.0	FREQ
75	72	72	71	71	71	71	74	74	74	-	SNR
54	52	52	53	53	53	53	56	56	56	-	SNR <sub>xx</sub>
13.0	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	13.9	0.0	FREQ
74	74	74	74	74	73	73	73	73	71	-	SNR
56	56	56	56	55	55	55	55	55	54	-	SNR <sub>xx</sub>
14.0	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5	14.6	14.7	14.8	14.9	0.0	FREQ
69	69	69	69	69	68	68	68	68	68	-	SNR
54	54	54	54	53	53	53	53	53	52	-	SNR <sub>xx</sub>

图4 某条件下11~14 MHz的频率性能

Fig.4 Frequency performance of 11~14 MHz under some condition

假设  $Req. SNR = 55$  dB, 则不排序的频率输出结果是(11.1, 11.3)、(12.7, 13.8)。

第二种是对所有满足该条件的频率进行排序, 依据  $SNR_{90\%}$  从大到小排序, 在排序之前进行相邻频率的合并, 此时  $SNR_{90\%}$  相等的相邻频率才能合并, 排序后的频率输出结果是(12.7, 13.3)、(11.1, 11.3)、(13.4, 13.8)。如果两个频段的  $SNR_{90\%}$  相等, 则  $SNR$  大者排前, 如果两者相等则频率高者排前。

2) 在整个短波频带范围内没有任何频率其  $SNR_{90\%} \geq Req. SNR$ , 但存在频率其  $SNR \geq Req. SNR$ , 此时将找出所有满足  $SNR \geq Req. SNR$  的频率, 这些频率依据  $SNR$  排序后提供给用户, 在排序前需对  $SNR$  相等的相邻频率合并。但满足该条件的频段有可能会比较多, 则提供最接近该通信质量的3~5个频段, 频段个数由用户指定。

假设  $Req. SNR = 63$  dB, 但在预测结果中没有任何频率其  $SNR_{90\%} \geq 63$ , 则推荐5个最接近所需通信质量的频段:(11.7, 12.0), (12.7, 13.4), (11.1, 11.6), (13.5, 13.8), 11.0。

如果两个频段的  $SNR$  相等, 则  $SNR_{90\%}$  大者排前, 如果两者都相等则频率高者排前。

3) 在整个短波频带范围内没有任何频率其  $SNR_{90\%}$  或  $SNR \geq Req. SNR$ , 说明没有任何频率满足指定的通信质量, 如果确实需要推荐, 则与(2)中推荐的结果一样。

假设  $Req. SNR = 78$  dB, 则推荐可能通信频段为(11.7, 12.0), (12.7, 13.4), (11.1, 11.6), (13.5, 13.8), 11.0(默认推荐5个)。

对于自适应电台只用对  $SNR$ (即  $SNR_{50\%}$ ) 进行分析, 因此只存在两种可能情况, 即存在满足  $SNR \geq Req. SNR$  的频率和不存在满足条件的频率, 前者提供所有满足条件的频率(排序或不排序), 后者提供经过排序的指定个数的频率。排序的依据是  $SNR$  大小, 如果  $SNR$  相等则频率高者在先。

4) 如果满足条件(1)则找出所有满足条件的频

率, 如果满足条件的频率少于指定的推荐频率或频段数, 则继续转入(2)中处理。如果不满足(1), 但满足(2), 则直接转入(2)中处理, 此时即使满足(2)的频率但不能满足推荐数目的要求也停止执行。

(3) 多次调用自动频率推荐功能, 可提供24 h的可用频段建议。共分为1 h换频、2 h换频、4 h换频和6 h换频4种方案。工作频率预测的数据构成如图5所示。

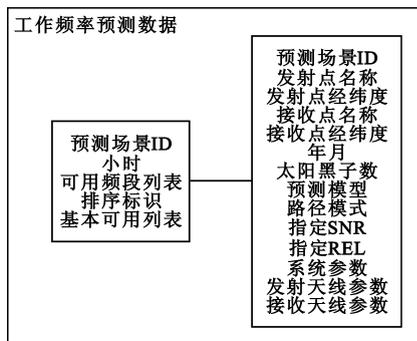


图5 工作频率预测数据构成

Fig.5 Work-frequency prediction data formation

### 3.4 频率覆盖预测

频率覆盖预测主要为接入节点提供基于场强或可靠性(REL)的覆盖预测, 该功能的重点在于对覆盖轮廓数据的提取、转换、显示和保存上, 其具体实现方法是通过ITS软件计算产生的轮廓数据, 对这些轮廓数据处理后在地图上用轮廓线以及不同的颜色表示覆盖效果<sup>[9]</sup>。频率覆盖预测数据构成如图6所示。

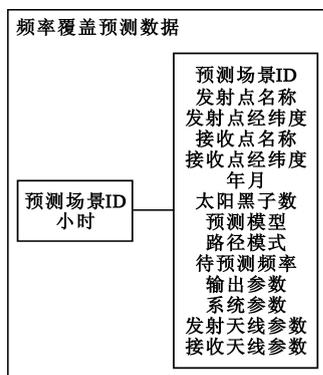


图6 频率覆盖预测数据构成

Fig.6 Frequency coverage prediction data formation

### 3.5 台站选址预测

台站选址预测是针对确定保障地域在不同时段的性能进行预测和排序。该功能的具体实现方法是依次计算所有候选区域中心站与保障地域的最佳链路性能, 即在各自最佳工作频率上获得的信噪比, 并

依据链路性能大小对候选台站排序,最后输出的结果包括台站的保障能力排序及相应的最佳工作频率和性能指标,以作为频率和区域中心站规划时的参考。

由于中、远距离短波通信对台站位置小幅度变化(100 km以内)敏感度不高,而保障区域太大则预测又失去意义,因此对于半径在50 km以内的区域转换为对该区域中心点的预测,这就对保障区域的范围作了基本的限定,其数据构成如图7表所示。

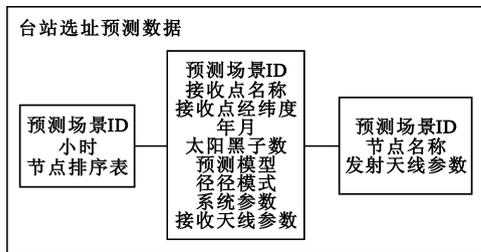


图7 台站选址预测数据构成

Fig.7 Station choosing prediction data formation

(1)从人机界面获得所有候选台站的相关参数,包括其天线参数、发射功率等,形成多条完整的链路信息,以方便进行完整的性能预测。

(2)对于每条链路,在整个短波2~30 MHz频段进行性能预测计算,计算精度为1 MHz,在输出的计算结果中找出最大的SNR90%。

(3)计算出每条链路的最大的SNR90%后,按由大到小排序,该排序就是台站选址排序。

## 4 结束语

本文通过学习研究美国ITS软件的工作原理和模式,采用二次封装的方法,利用界面编程语言设计开发了适用于大区域网络化应急短波通信需求的频率管理系统,实践证明该短波频率管理系统能有效实现对短波可用频率的预选,是融合利用各种实时探测数据优选各种频率集并进行动态调整的基础,特别是可以对各种优选频率进行覆盖效果预测和显示,可极大地改善和提高短波通信链路的选频质量。

## 参考文献:

- [1] 杨敏敏,郭毅,石庆云,等.短波广播传输预测模块的应用设计与实现[J].广播电视信息,2008(7):1-8. YANG Min-min, GUO Yi, SHI Qing-yun, et al. The application design and realize of the prediction model of HF radio transmission [J]. Radio & Television Information, 2008(7): 1-8. (in Chinese)
- [2] 邹浪,张广利,常勇.短波广播覆盖预测管理软件的开发[J].广播电视信息,2008(1):1-3. ZOU Lang, ZHANG Guang-li, CHANG Yong. The development of HF radio coverage prediction management software[J]. Radio

- & Television Information, 2008(1): 1-3. (in Chinese)
- [3] 陈印杰,孙剑平.基于MapInfo软件平台的海战场无线电频率管理系统设计[J].现代防御技术,2005,33(3):57-60. CHEN Yin-jie, SUN Jian-ping. The design of marine battlefield radio frequency management system based on MapInfo software platform [J]. Modern Defence Technology, 2005, 33(3): 57-60. (in Chinese)
- [4] 王林志,谢绍斌.基于ITS的短波链路频率指配与电磁计算[J].空军工程大学学报(自然科学版),2006,7(3):77-81. WANG Lin-zhi, XIE Shao-bin. Frequency Assignment and Electromagnetism Calculation in Short-wave Link Calculation Based on ITS [J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2006, 7(3): 77-81. (in Chinese)
- [5] 李丽华,杨路刚,谢慧.基于ICEPAC的消耗型短波通信浮标选频[J].海军工程大学学报,2007,19(4):38-41. LI Li-hua, YANG Lu-gang, XIE Hui. Frequency selection of short2wave expendable communications buoy based on ICECAP [J]. Journal of Naval University of Engineer, 2007, 19(4): 38-41. (in Chinese)
- [6] 张跟全,马飞,李大艳.国家频谱管理系统的分析与设计[J].无线电工程,2006,36(10):14-16. ZHANG Gen-quan, MA Fei, LI Da-yan. Analysis and Design of National Spectrum Management System [J]. Radio Engineering, 2006, 36(10): 14-16. (in Chinese)
- [7] 陈兆海.应急通信系统[M].北京:电子工业出版社,2012. CHEN Zhao-hai. Emergency Communication Systems [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012. (in Chinese)
- [8] Ndao P M, Erhel Y, Lemur D, et al. Design of a high-frequency multiple-input multiple-output system resorting to polarization diversity [J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2011(5): 1310-1318.
- [9] 邹浪,崔志民,孙伟.短波传输预测中的等值线算法及应用[J].广播电视信息,2007(7):44-46. ZOU Lang, CUI Zhi-min, SUN Wei. Theisocline algorithms and application in the HF transmission prediction [J]. Radio & Television Information, 2007(7): 44-46. (in Chinese)

## 作者简介:



杨青彬(1982—),男,河南南阳人,博士研究生,主要研究方向为短波通信和网络工程;

YANG Qing-bin was born in Nanyang, Henan Province, in 1982. He is currently working toward the Ph. D. degree. His research concerns HF communication and network engineering.

Email: gefsse@sina.com

余毅敏(1971—),男,湖北武汉人,副教授,主要研究方向为通信系统与工程;

YU Yi-min was born in Wuhan, Hubei Province, in 1971. He is now an associate professor. His research direction is communication system and engineering.

余奇(1978—),男,湖北黄梅人,讲师,博士研究生,主要研究方向为通信系统与工程;

YU Qi was born in Huangmei, Hubei Province, in 1978. He is now a lecturer and also currently working toward the Ph. D. degree. His research concerns communication system and engineering.

李鹏(1983—),男,湖北武汉人,工程师,主要研究方向为通信系统与工程。

LI Peng was born in Wuhan, Hubei Province, in 1983. He is now an engineer. His research direction is communication system and engineering.