

1-2-2019

Channel Modeling and Simulation of Wireless Underground Sensor Networks Based on Magnetic Induction Technology

Zhouzhou Liu

1.School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; ;2.School of Electronic Engineering, Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China;;

Shen Liang

2.School of Electronic Engineering, Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China;;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Channel Modeling and Simulation of Wireless Underground Sensor Networks Based on Magnetic Induction Technology

Abstract

Abstract: Aiming at the problem of high path loss, huge dynamic changes of channel conditions and large antenna size of the electromagnetic wave communication channel in wireless underground sensor networks (WUSN), the channel characteristics of magnetic induction (MI) in the process of WUSN transmission are studied and the transmission principle of harmonic source in soil strata is analyzed. The influence of the polarization direction of the coil and the eddy current loss coefficient on the channel model is analyzed by the transmission equivalent circuit diagram, and the influence of the change of the frequency and the distance on the channel characteristics is considered. Finally the devices that are in favor of the underground transmission are selected and underground receiving and dispatching experiment is carried out. By comparing the measured results with the theoretical channel model, the theoretical model of the low frequency magnetic induction technique is consistent with the experimental results.

Keywords

wireless underground sensor networks, magnetic induction technology, channel model, modeling

Recommended Citation

Liu Zhouzhou, Shen Liang. Channel Modeling and Simulation of Wireless Underground Sensor Networks Based on Magnetic Induction Technology[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(3): 1102-1108.

基于磁感应技术的地下传感网信道建模仿真

刘洲洲^{1,2}, 申良²

(1. 西北工业大学计算机学院, 西安 陕西 710072; 2. 西安航空学院电子工程学院, 西安 陕西 710077)

摘要: 针对无线地下传感网(Wireless Underground Sensor Network, WUSN)电磁波通信中的信道高路径损耗、信道条件动态变化大和天线尺寸过大等问题, 研究了磁感应线圈(Magnetic Induction, MI)在WUSN传输过程的信道特性影响, 分析了谐波次偶源在土壤地层中的传输原理, 通过传输等效电路图分析了土壤中线圈的极化方向与涡流损耗系数对信道模型的影响, 考虑频率与距离的变化对信道特性的影响。通过选择有利于地下传输的器件, 进行地下收发实验, 对比实验所测得的结果与理论信道模型, 分析并确定低频磁感应技术的系统理论模型与线圈在地下收发实验的结果是一致的。

关键词: 无线地下传感网; 磁感应技术; 信道模型; 建模

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X(2018)03-1102-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201803042

Channel Modeling and Simulation of Wireless Underground Sensor Networks Based on Magnetic Induction Technology

Liu Zhouzhou^{1,2}, Shen Liang²

(1.School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

(2.School of Electronic Engineering, Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China)

Abstract: Aiming at the problem of high path loss, huge dynamic changes of channel conditions and large antenna size of the electromagnetic wave communication channel in wireless underground sensor networks (WUSN), the channel characteristics of magnetic induction (MI) in the process of WUSN transmission are studied and the transmission principle of harmonic source in soil strata is analyzed. The influence of the polarization direction of the coil and the eddy current loss coefficient on the channel model is analyzed by the transmission equivalent circuit diagram, and the influence of the change of the frequency and the distance on the channel characteristics is considered. Finally the devices that are in favor of the underground transmission are selected and underground receiving and dispatching experiment is carried out. By comparing the measured results with the theoretical channel model, the theoretical model of the low frequency magnetic induction technique is consistent with the experimental results.

Keywords: wireless underground sensor networks; magnetic induction technology; channel model; modeling

引言

无线地下传感网(WUSN)^[1]是由工作在地下



收稿日期: 2016-03-23 修回日期: 2016-06-24;
基金项目: 陕西省教育厅科研计划(16JK1395);
作者简介: 刘洲洲(1981-), 男, 陕西, 博士, 教授, 研究方向为智能优化算法和无线传感器网络;
申良(1982-), 男, 陕西, 硕士, 讲师, 研究方向为系统仿真。

无线设备组成的, 这些设备可能被完全埋入致密的土壤中, 也可能被放置在如矿井、地铁、隧道等有限开放的地下空间内。与现代地下传感网络相比, 无线地下传感网具有隐蔽性好、易于部署、可实时数据传输以及高覆盖密度等显著优势^[2]。

目前国内外对无线通信网络的研究目前主要还是集中在对地上和水下的研究, 针对地下的无线

通信研究比较少。关于地下环境信息的无线地下传感器网络的监测研究近几年才开始, 正处于提出与基础试验性的研究阶段^[3-6], 关于 WUSN 主要研究的绝大部分都是电磁波(EM)技术在土壤中传输的信道因素, 包括土壤性质、土壤含水量、节点距离、土壤磁导率以及频率范围等因素^[7-8]。这些影响因素造成了电磁波信号在信道传输过程中的多路径损耗、误码率、反射以及折射等其它问题。磁感应(MI)技术有效的解决了电磁波技术在土壤传输下的信道条件动态变化不稳定以及天线尺寸大的问题。特别是如土壤与水这样的密集介质, 两者的磁导率近似相等, 磁场内的衰减率相对于空气中传播仅有微小的变化。因此, 在土壤介质中的磁感应信道条件基本上是稳定的^[9-11]。

文献[12]研究磁感应(MI)技术在土壤中传输的理论方向, MI 作为第二种分析电磁波信号传输的方法被提出, MI 方法在无线地下传输研究中针对以前电磁波(EM)动态不稳定模型能得到一个常数表示的信道模型, 因为在这种分析方法中, 默认发送和接收的波源是小线圈(即磁偶极子)。使用这种波源, 磁场能量衰减很大, 所以磁感应一般不用于地上无线通信系统的建立。文献[13]与另外的电磁解析方法比较, 由于土壤吸收引起的路径损耗在磁感应技术中比较小, 但是总的路径损耗还是很大的衰减值, 不能忽略, 所以磁感应一般不用于地上无线通信系统的建立。目前对无线地下传输的研究正向磁感应(MI)技术理论发展, 其中对于磁感应技术在土壤中传输的影响因素研究较少, 当前还没有成熟的理论体系和技术体系可供直接使用。只是初步的提出设想, 没有进一步的去进行理论仿真与实地实验。

针对上述问题, 本文基于谐变磁偶源在地下信道中的传输模型, 研究磁感应技术在地下信道中的传输特性, 并建立模型, 同时研究各影响因素的变化对信道模型的影响。最后通过进行地下收发实验, 对比理论模型的可行性。

1 谐变磁偶源土壤中的传输特性

土壤环境信息监测的无线地下传感器网络应用研究的重点是探索一定频率范围的磁感应技术在土壤中的传输特性、信道模型以及路径损耗。在磁感应通信中只需一个小小的线圈即可完成发送和接收数据任务, 如图 1 所示。

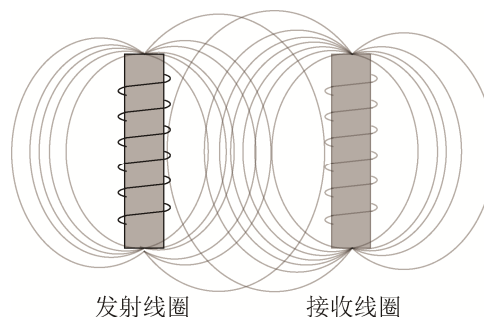


图 1 磁感应通信模式图

Fig. 1 Magnetic induction communication pattern

通常把具有等值异号的两个点磁荷构成的系统称为磁偶极子, 磁偶极子是磁场研究的最基本单元, 自然界的大多数磁现象均可等效为一个磁偶极子磁场的叠加, 磁偶极子又可称为磁偶源^[14]。在无线通信中, 信号发送时的发射源作为谐变磁偶源, 其在周围空间所产生载有角频率为 ω 的谐变磁偶源时谐电流 i 为:

$$i = I \cos(\omega t) \quad (1)$$

谐变磁偶源在土壤中传输时要考虑衰减问题, 对于非磁性介质来说, 它的磁导率与真空中的磁导率($\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$)基本差不多; 而对于磁性介质来说, 由于其对衰减影响比较大, 则要根据土壤中的不同特性而定。土壤中的介电常数是以复介电常数 ϵ_r 形式给出, 主要依赖于土壤的体积含水量。土壤中的电导率要根据土壤的构成、湿度、温度以及极化场强度等因素来确定, 其对衰减的影响也很大。

经过以上分析, 可得到谐变磁偶源的电磁场近场区分布, 为谐变磁偶源以及磁感应线圈在土壤介质中的传输提供了理论性的依据。

2 信道建模

本文中所建立的信道模型,是在基于考虑介质非均匀性的前提下,可以得到比所研究的电磁波信道更准确与简化的模型。事实上,一个具有恒定特性且完全均匀的介质信道不通常总是有效的应用于类似农作物灌溉与土壤环境监测中。非均匀分布的土壤含水量非常直观的影响到地下土壤介质中的电导率,而基于MI传输的路径损耗严重地依赖于电导率。所以土壤介质(含水量)的变化可以显著地改变它的传输信道与整个系统的性能。因此,设计一个精确的通信系统,地下信道的精确建模是至关重要的。本文研究并建立了基于介质特性变化的直接MI系统信道模型。

首先建立了磁感应线圈耦合的简化模型,然后等效为电路模型,继而讨论模型中所考虑的互感效应因素。特别的,MI发射线圈与接收线圈被建模为变压器的初级线圈和次级线圈。分析模型中的多种因素,包括土壤性质,线圈尺寸,线圈匝数回路,线圈电阻,工作频率等等。分析表明,磁感应系统具有较大的传输范围,但带宽比电磁波系统要低。通过这一事实的启发,可以扩大MI的线圈尺寸以及匝数来增大通信范围。在实际的WUSN应用中磁感应系统要比电磁波系统更能够提供较远的通信距离^[15]。

系统信道模型:在磁感应通信中,发射和接收的实现是基于两个感应线圈,如图2,发送线圈和接收线圈进行耦合,分别表示为距离发射器和接收器感应。假设发射线圈中的信号是脉冲信号,电流 $I=I_0 \cdot e^{-j\omega t}$,公式中的 ω 为发射信号的角频率, $\omega=2\pi f$ 中 f 为系统工作频率。此电流可引起在接收端完成该通信的另一个正弦电流变化。

如图2所示, M 为接收线圈和发射线圈的互感。 U_1 是发射线圈的电池电压, L_1 和 L_2 是两个线圈的自感, R_1 和 R_2 是线圈的电阻, Z 是接收器的负载阻抗,本文使用变压器原理来分析它的等效电路。根据传输线路理论,除非线路是由它的匹

配阻抗终止才会产生反射。如图2中等效电路模型。对于最大限度地接收功率,负载阻抗可以被设计成等于次级回路输出阻抗的复数共轭。在考虑两个线圈的极化方向(各自的角度与水平面所成角度)以及涡流损耗系数后,根据电磁场理论中的斯托克斯公式求的在极地坐标下的磁偶极矩,得到磁感应公式。磁感应公式中包含线圈的尺寸、线圈半径、线圈距离、频率以及各介质参数,同时要考虑两者极化方向和涡流损耗系数。

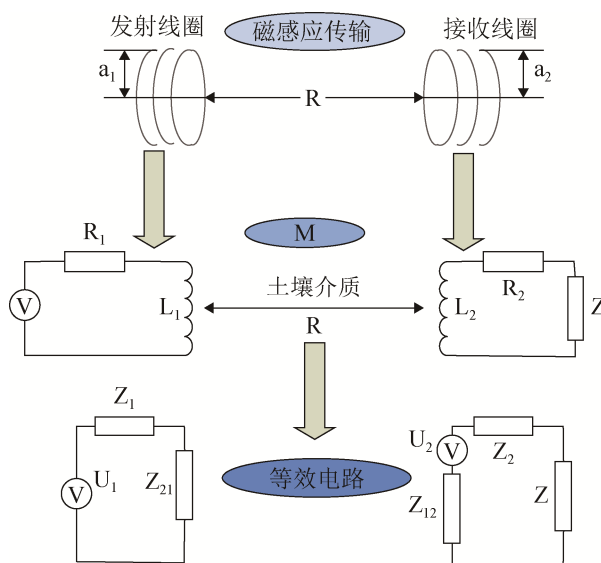


图2 磁感应传输等效图

Fig. 2 Magnetic induction transmission equivalent diagram

3 信道特征的影响因素分析

3.1 极化方向与涡流损耗系数对信道模型的影响

极化方向是指发射线圈和接收线圈与水平面所成角度的变化,如果两线圈的极化方向不同,则线圈接收到的磁感应强度误差比较大^[16]。极化因子取决于线圈极化方向的对准,下面是极化因子公式,仅是在两个耦合线圈感应时的表达式:

$$J_2 = 2 \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) + \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \quad (2)$$

在上式(2)中, θ_1 表示为发射线圈与水平面的夹角, θ_2 表示为接收线圈与水平面的夹角。由上式可以看出,发送线圈角度的变化对于接收线圈磁感应的变化影响是比较大的。

涡流损耗系数是指由于涡流引起的额外损耗因子。在现有的理论研究中, 要考虑选择哪一种载波频率最好, 这是基于载波频率最优化参数的选择。因此, 本文引入了一个缩放因子 G , 其表示磁场和磁通量与互感的衰减。这种衰减因子取决于趋肤深度 δ 的导电材料。下面给出趋肤深度 δ 的公式:

$$\delta = \frac{1}{2\pi f \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{(2\pi f)^2 \epsilon^2}} - 1 \right)}} \quad (3)$$

公式中 ϵ 和 σ 分别表示为土壤的介电常数和导电率, 相应的 f 是信号的工作频率。本文要考虑的是一个宽的频带范围, 鉴于土壤是不良导体, 随着传输距离的变化, 使得磁场强度随着传输距离产生指数衰减, 这就等同于在线圈中的趋肤效应。因此所有涉及 MI 基础传输的信道模型是线性映射模型的结果。

基于 MI 的传输, 线圈之间的耦合强弱由线圈之间的距离变化可得。因此, 假设该磁场强度很低, 由于在土壤媒介中造成的损失比较强, 根据 $e^{-\frac{\Delta r_j}{\delta_j}}$ 和超过一段距离 Δr_j 的趋肤深度 δ_j , 表达式就等同于 $\sum_j \Delta r_j = d$ 。在土壤中涡流损耗的衰减表示为

$$G = \prod_j e^{-\frac{\Delta r_j}{\delta_j}} = e^{-\sum_j \frac{\Delta r_j}{\delta_j}} \quad (4)$$

对于传输距离 d , 当 $\Delta r_j \rightarrow 0$ 时可得到

$$G = e^{-\int_0^d \frac{1}{\delta(r)} dr} \quad (5)$$

δ 代表的是发射信号的趋肤深度, 则总共的 δ_z 表示为

$$\delta_z = \frac{1}{\frac{1}{d} \int_0^d \frac{1}{\delta} dr} \quad (6)$$

在传输与接收端的谐波变化取决于当地介质中电导率 δ 的值。上面表达式的结果是相当直观的, 因此谐波的值相当于当地趋肤深度的最小值。

3.2 频率与距离对信道模型的影响

在频率越低的情况下, 信号所得到的强度值越

大(仅限于在土壤中传输的低频), 信号传输的越远。根据以上对比, 可以得出结论, 在地下土壤中用磁感应技术传输时选择甚低频频率可以使信号传输的更远。通过分析地下磁感应通信信道的模型和路径损耗, 可知, 在磁感应技术中需要考虑多种因素: 土壤性质(电导率)、线圈尺寸、线圈匝数以及工作频率。在无线地下通信中, 磁感应技术在土壤中传输具备三大优势: 精心设计参数可以大大减小路径损耗; 构成磁感应技术的继电器线圈不消耗能量并且成本较低; 磁感应线圈相对灵活且易于部署和维护。

4 实验与仿真分析

综合考虑到系统的整体性能与可扩展性, 由于在地下磁感应通信中, 随着发射线圈发射的信号频率升高, 信号的路径损耗会随着频率的增大而减小。频率的升高使的衰减速率降低, 路径损耗变小, 但是电磁波相反, 工作频率的升高反而会导致更大的路径损耗, 所以本文激励信号频率设定为 125 KHz。运用 PREMO 公司射频线圈电感 3DC15-1000J 来接收射频 125 KHz 激励信号。该线圈是专为低频发射而设计, 线圈的外壳塑料底座可以使湿度, 液体或复杂环境下的极端条件不被侵蚀。实物图如图 3 所示。



图 3 射频线圈电感 3DC15-1000J
Fig. 3 Rf coil inductance 3dc15-1000j

经过对硬件的选型后, 搭载硬件平台, 并进行地下信号收发实验, 此实验是在室内场所进行, 先准备了两个同深度的圆桶, 在两个圆桶里装满沙土(沙和土壤的混合物), 把发射线圈放到一个圆桶

里, 另一个圆桶里放置接收线圈, 以两个圆桶的中心为最初两者相距的距离, 然后在发射圆桶中发射线圈发出 125 kHz 信号, 在同一水平方向使发射圆桶不动而接收圆桶移动, 接收端每移动小段距离观察接收线圈的指示灯是否闪烁, 如果闪烁则说明两个线圈正在进行通信, 如果不闪烁则表明线圈由于距离以及噪声干扰问题未进行通信。记下信号最强时的电压值以及最弱时的电压值, 同时记下在 125 kHz 信号时发射线圈与接收线圈相距的最远距离。经过以上实验得到实验数据如表 1 所示。

表 1 在土壤中传输时距离与电压的关系

Tab. 1 The relationship between distance and voltage in soil

距离/cm	电压/V	距离/cm	电压/V
0	9.84	50	0.032
5	7.24	55	0.024
10	4.89	60	0.023
15	2.8	65	0.023
20	2	70	0.002
25	1.41	75	0.002
30	1.18	80	0.002
35	1	85	0.002
40	0.92	90	0.002
45	0.84	95	0.002

本文在 MATLAB 平台仿真出工作频率分别在 125 kHz 信号时的磁感应强度。鉴于磁导率、电导率以及介电常数的不确定, 分析当地土壤的大致情况, 可给定各参数的取值。同时也确定发射线圈与接收线圈的尺寸与匝数。设置极化方向在水平面 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之间变化。下面是按照磁感应强度公式仿真出各频率信号强度的三维图以及等高线图, 观察随距离与频率的变化磁感应强度值的变化。

对比图 4 与图 5 可以看出在 125 kHz 时信号随距离变化的衰减是相当大的。然后对比在地下 1 m 处时 125 kHz 所得到的强度值, 可知在 3 m 处发送信号时的磁感应强度值要比 1 m 时的磁感应强度值大。表明了低频信号的情况下, 信号所得到的强度值越大(仅限于在土壤中传输的低频), 信号传输的越远。根据以上对比, 可以得出结论, 在地下

土壤中用磁感应技术传输时选择甚低频频率可以使信号传输的更远。

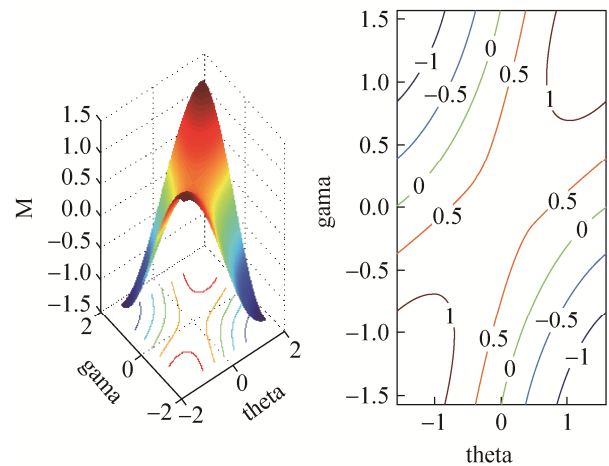


图 4 地下 1 m 处的磁感强度

Fig. 4 Magnetic intensity at 1 m underground

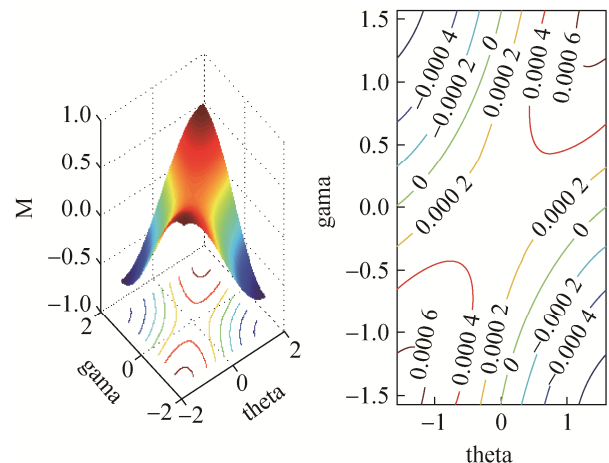


图 5 地下 3 m 处的磁感强度

Fig. 5 Magnetic intensity at 3 m underground

图 6 中很容易看出当距离较近时, 电压值变化很快, 而当距离慢慢变远时, 电压值的变化趋势缓慢, 到某一零界点时, 信号的电压值基本上没有了。这个原因一方面是因为距离较远, 另一方面是因为土壤中的路径损耗比较大, 对信号造成了干扰。

基于实验后进行理论仿真, 下面在系统理论模型上仿真出 125 kHz 信号在不考虑极化方向的情况下, 介质参数均设置好的磁感应强度二维图。

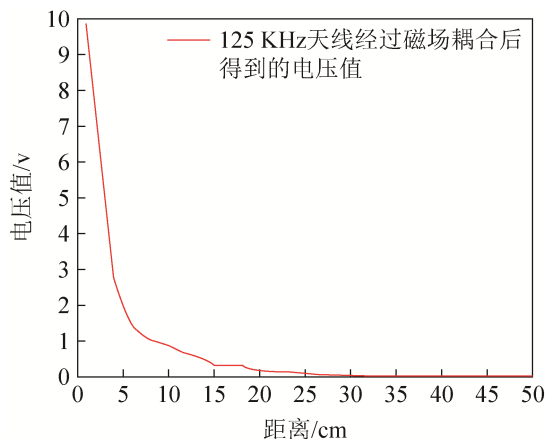


图6 实验数据仿真图

Fig. 6 Experimental data simulation diagram

分析图7, 信号强度在短距离内(0~0.6 m)衰减很大, 随着距离的增加, 衰减减小, 直到大约在1.5 m时磁感应强度和电压值都趋近于零。通过对图6与图7进行对比, 可看出理论上的信道模型与实验中的数据模型很相近。同时可得到信号随着传输距离的增加, 实验数据所得到的电压值与理论上的磁感应强度值大致成正比。它们的差别在于因为地下土壤信道中传输的情况更为复杂, 此实验可看作是一个假设在地下土壤中传输信号(实验中间有空气成分)的过程, 虽然本实验与地下情况存在一定的误差, 但是也反映了利用磁感应技术信号在土壤中传输的规律。因此, 可说明我们利用低频磁感应技术所建立的系统理论模型适合于线圈在土壤中所做的实验。

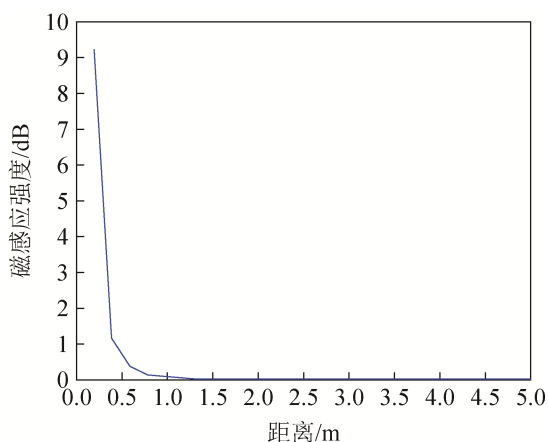


图7 磁感应强度仿真图

Fig. 7 Magnetic induction intensity simulation diagram

5 结论

分析了谐变磁偶源在土壤地层中的传输原理, 研究并确定了磁感应线圈在土壤中传输的等效电路图, 建立了信号随土壤各介质变化的磁感应强度模型。其次分析频率与距离的变化对信道模型的影响, 同时考虑了土壤中线圈的极化方向与涡流损耗系数对信道特性的影响。最终通过选择有利于地下传输的低功耗、低频率器件, 进行地下收发实验, 对比实验所测得的结果与理论信道模型, 分析并确定了低频磁感应技术的系统理论模型是适合于线圈在地下土壤中所做的实验。

参考文献:

- [1] 李莉. 无线地下传感器网络关键技术的研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2008: 1-121.
Li Li. Research on key technologies of wireless underground sensor networks [D]. Beijing: Beijing university of posts and telecommunications, 2008: 1-121.
- [2] Cardei M, Du D Z. Improving wireless sensor network lifetime through power aware organization [J]. *Wireless Networks*(S1022-0038), 2005, 11(3): 333-340.
- [3] Syms R R A, Young I R, Solymar L. Low-loss magneto-inductive wave guides [J]. *Journal of Physics D: Applied Physics* (S1367-2630), 2006, 39(18): 3938-3945.
- [4] 郑盼龙, 迟冬祥. 一种小型磁谐振式无线电能传输系统的实验研究[J]. *机电工程*, 2014, 31(10): 1333-1338.
Zheng Panlong, Chi Dongxiang. Experimental study on a small magnetic resonance radio transmission system [J]. *Mechanical and electrical engineering*, 2014, 31(10): 1333-1338.
- [5] Akyildiz I F, Stuntebeck E P. Wireless underground sensor networks: Research challenges [J]. *Ad Hoc Networks*(S1570-8705), 2006, 4(6): 669-686.
- [6] 付超. 测量技术在地质灾害监测中的应用[J]. *价值工程*, 2015, 40(8): 265-266.
Fu Chao. Application of measurement technology in geological hazard monitoring [J]. *Value engineering*, 2015, 40(8): 265-266.
- [7] 李良福. 气象因素与土壤性质耦合效应对土壤电导的影响[D]. 成都: 西南大学, 2010: 1-48.
Li Liangfu. Influences of meteorological factors and soil property coupling effect on soil conductance [D]. Chengdu: Southwest University, 2010: 1-48.

- [8] 依艳丽, 刘孝义. 磁场对土壤理化和机械物理性状影响的研究[J]. 植物营养与肥科学报, 2000, 30(1): 84-89.
Yi Yanli, Liu Xiaoyi. Research on the influence of magnetic field on soil physicochemical and mechanical physical properties [J]. Journal of plant nutrition and fertilizer, 2000, 30(1): 84-89.
- [9] 李卓, 刘永红, 杨勤. 土壤水分入渗影响机制研究综述[J]. 灌溉排水学报, 2011, 28(5): 124-130.
Li zhuo, Liu yonghong, Yang qin. A review on the mechanism of soil moisture infiltration [J]. Journal of irrigation and drainage, 2011, 28(5): 124-130.
- [10] Ian F Akyildiz, Zhi Sun, Mehmet C. Vuran. Signal propagation techniques for wireless underground communication networks [J]. Physical Communication (S1874-4907), 2009, 2(3): 167-183.
- [11] Xu Tao. Horizontal directional drilling with drilling measuring method and positioning technical research [D]. Changsha: National University of Defense Techonology, 2006.
- [12] Sun Z, Akyildiz I F. Magnetic induction communications for wireless underground sensor networks [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation Magazine (S0018-926x), 2010, 58(7): 2426-2435.
- [13] Bansal R. Near-field magnetic communication [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation Magazine (S0018-926x), 2004, 46(2): 114-115.
- [14] Vuran M C, Akyildiz I F. Channel model and analysis for wireless underground sensor networks in soil medium [J]. Physical Communication(S1874-4907), 2010, 3(4): 245-254.
- [15] Agbinya J I, Masihpour M. Power equations and capacity performance of magnetic induction communication systems [J]. Wireless Personal Communications (S0929-6212), 2012, 64(4): 831-845.
- [16] Masihpour M, Franklin D, Abolhasan M. Multihop relay techniques for communication range extension in near-field magnetic induction communication systems [J]. Journal of Networks (S1550-1329), 2013, 8(5): 999-1011.

《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”证书

由中国学术期刊（光盘版）电子杂志社与清华大学图书馆联合成立的中国学术文献国际评价研究中心，发布了 2017 版《中国学术期刊国际引证年报》，《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”。

《年报》（2017 版）采用的统计源期刊为 20192 种，涵盖 WoS 收录的 SCI 期刊 8874 种、SSCI 和 A&HCI 期刊 4645 种，ESCI 期刊 5578 种；增补期刊 1762 种。参照中外文学术期刊总被引频次、影响因子、半衰期等各项国际引证指标，计算期刊影响力指数(CI)，对国内 6210 种学术期刊排序，遴选了人文社科、自然科学与工程技术两个类别的 TOP10%为国际影响力品牌学术期刊。TOP5%以内的期刊为“最具国际影响力学术期刊”、TOP5-10%之间的为“国际影响力优秀学术期刊”。