

文章编号:1671-251X(2016)08-0021-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2016.08.006

满忠诚,刘晓明,赵端. 共信道下微波输能与数据通信干扰机制研究[J]. 工矿自动化,2016,42(8):21-24.

共信道下微波输能与数据通信干扰机制研究

满忠诚¹, 刘晓明^{1,2}, 赵端^{1,2}

(1. 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008;

2. 中国矿业大学 物联网(感知矿山)研究中心, 江苏 徐州 221008)

摘要:研究了间歇共信道机制下,微波输能与传感器节点通信之间的影响关系;建立了丢帧率模型表达式,分析了丢帧率与输能持续时间、间歇时间和数据传输速率之间的关系。仿真结果表明,输能持续时间和间歇时间的比值越大,丢帧率越高;在数据传输速率小于100 kbit/s时,数据传输速率越小,丢帧率越低。实测结果证明了丢帧率模型的有效性。

关键词:传感器节点;微波输能;数据通信;通信干扰;共信道;丢帧率

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:2016-08-03 10:00

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20160803.1000.006.html>

Research on interference mechanism between microwave power transmission and data communication in co-channel

MAN Zhongcheng¹, LIU Xiaoming^{1,2}, ZHAO Duan^{1,2}

(1. School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Internet of Things (Perception Mine) Research Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Influence relationship between microwave power transmission and sensor node communication was researched in intermittent co-channel mechanism. A frame loss rate model was established, and the relationship among frame loss rate, power transmission time, power suspension time and data transmission rate was analyzed. The simulation results show that the frame loss rate raises along with the ratio of power transmission time and power suspension time; when the data transmission rate is below 100 kbit/s, the frame loss rate declines with decreasing of the data transmission rate. The real measurement result proves the validity of the frame loss rate model.

Key words: sensor node; microwave power transmission; data communication; communication interference; co-channel; frame loss rate

0 引言

无线传感器网络在煤矿安全生产中担任着重要角色,尤其是在灾变环境下,无线传感器网络能提供第一手救援信息。传统的无线传感器节点大多采用电池供电,电池电量的有限性制约了网络生命周期。

在发生灾难时,保持传感器节点电量的充足性尤为关键。无线微波输能(Microwave Power Transmission, MPT)技术的发展^[1-4]为解决无线传感器节点电量有限问题提供了新方法。

无线传感器网络设计之初是为了以无线形式进行数据通信,并没有考虑通过无线输能给传感器节

收稿日期:2016-04-01;修回日期:2016-06-06;责任编辑:李明。

基金项目:中国矿业大学大学生创新训练计划资助项目(X1029015058)。

作者简介:满忠诚(1993—),男,山东滕州人,本科在读,研究方向为无线电能传输技术,E-mail:mzc0779@163.com。通信作者:赵端(1983—),男,河北承德人,讲师,博士,研究方向为无线传感器网络、无线电能传输、井下人员定位技术,E-mail:zhaoduan1027@163.com。

点供电的问题。在数据通信基础上引入能量传输机制,必然会产生相互干扰。目前研究无线 MPT 技术的文献有很多,但很少涉及无线 MPT 对数据通信的影响问题。针对该问题,参考文献[5-6]提出并分析了 2 种解决方法:间歇共信道机制和相邻信道机制。这 2 种机制的目的是充分利用有限的频谱资源。假设传感器节点天线带宽为 2.4~2.5 GHz, MPT 系统的工作频点为 2.45 GHz,当输能和数据通信工作同时进行,为相邻信道机制;当输能工作间歇进行时,为间歇共信道机制。

参考文献[5]在微波暗室中通过实验方式探索了 2 种机制的特点。在相邻信道机制下,当传感器节点的数据接收功率不大于 $0.6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 时, MPT 对数据通信没有影响;当接收功率超过 $0.6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 时,数据通信工作停止。这是因为通信天线侦测到数据发送功率时,其带通滤波器无法完全衰减掉接收到的输能功率,导致通信天线在能量接收与数据发送之间发生冲突。一般情况下,传感器节点的接收功率最小为 mW/cm^2 级别,因此相邻信道机制不太适用。间歇共信道机制可利用现有的商业设备轻松实现,通过间歇控制输能的持续时间来降低对数据通信的影响,是解决共信道机制下输能与通信共存问题的有效途径。本文针对间歇共信道机制,通过分析丢帧率来探索微波输能与数据通信之间的干扰机制,由此寻找最优输能策略。

1 共信道 MPT 与数据通信下的丢帧率模型

在间歇共信道机制下, MPT 系统间歇性地传输能量。设其能量发送持续时间为 T_{PT} , 停歇时间为 T_{PS} 。在 T_{PT} 内, 传感器节点探测到 MPT 系统发射能量, 此时传感器节点将停止数据通信工作, 并将传输数据暂存在一个有限大小的缓冲区; 在 T_{PS} 内, 传感器节点将继续传输缓冲区内的数据。因缓冲区大小有限, 所以会出现数据溢出现象, 导致数据丢帧。

参考文献[5]采用理论推导方式, 得出丢帧率 R_{loss} 与 T_{PT} , T_{PS} 的关系:

$$R_{\text{loss}} = \frac{N_{\text{total}} - N_{\text{received}}}{N_{\text{total}}} \quad (1)$$

式中: N_{total} 为发送数据的总帧数; N_{received} 为接收到的数据帧数。

定义缓冲区大小为 Z , 数据传输速率为 G , 则 GT_{PT} 为 T_{PT} 内暂存在缓冲区待发送的数据帧数, 为

了保证不丢帧, 在 T_{PT} 内产生的数据应不超过缓冲区大小, 即 $GT_{\text{PT}} \leq Z$, 此时令 $T_{\text{PT}} \leq Z/G = A$ 。

同时要保证在 T_{PS} 内, 将缓冲区内数据和 T_{PS} 内产生的数据发送完毕, 即

$$\frac{G(T_{\text{PT}} + T_{\text{PS}})}{L} \leq \frac{T_{\text{PS}}}{\tau} \quad (2)$$

式中: L 为所采用的数据通信协议中 1 帧数据大小, 不同的传输协议 (如 UDP, TCP 等) 具有不同的 L 值; τ 为传感器节点 2 次数据传输的时间间隔。

令 $T_{\text{PS}} \geq GT_{\text{PT}}/(L/\tau - G) = B$ 。如果 T_{PS} 太短, 则无法将缓冲区中和 T_{PS} 内产生的数据发送完毕, 也会发生丢帧现象。此时所丢帧数为

$$N_{\text{loss}} = \frac{G(T_{\text{PT}} + T_{\text{PS}}) - LT_{\text{PS}}/\tau}{L} \quad (3)$$

$$\text{由 } N_{\text{loss}} < 0 \text{ 可得 } T_{\text{PS}} < \frac{Z}{L/\tau - G} = C。$$

当 $GT_{\text{PT}} > Z$, 即 $T_{\text{PT}} > A$ 时, 开始出现丢帧现象。 $T_{\text{PS}} \geq B$ 时, 所丢帧数为

$$N_{\text{loss}} = \frac{GT_{\text{PT}} - Z}{L} \quad (4)$$

当 $T_{\text{PT}} > A$ 且 $T_{\text{PS}} < B$ 时, N_{loss} 计算公式为式(3)。

由式(1)~式(4)及 $N_{\text{total}} = G(T_{\text{PT}} + T_{\text{PS}})/L$, 可得出总的丢帧率为

$$R_{\text{loss}} = \begin{cases} \frac{GT_{\text{PT}} - Z}{G(T_{\text{PT}} + T_{\text{PS}})}, & T_{\text{PT}} > A \text{ 且 } T_{\text{PS}} \geq B \\ \frac{G(T_{\text{PT}} + T_{\text{PS}}) - LT_{\text{PS}}/\tau}{G(T_{\text{PT}} + T_{\text{PS}})}, & T_{\text{PS}} < C \text{ 或 } T_{\text{PS}} < B \\ 0, & T_{\text{PT}} \leq A \text{ 且 } T_{\text{PS}} \geq B \end{cases} \quad (5)$$

$A, B, C, T_{\text{PT}}, T_{\text{PS}}$ 在 1 个输能周期的示意如图 1 所示。

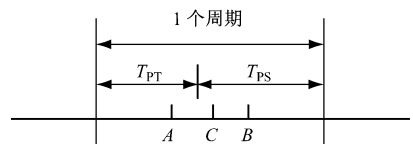


图 1 $A, B, C, T_{\text{PT}}, T_{\text{PS}}$ 在 1 个输能周期的示意

R_{loss} 随 T_{PT} 的减小而减小, 随 T_{PT} 的增大而增大。假设 1 个输能周期 ($T_{\text{PS}} + T_{\text{PT}}$) 内的能量发送功率为 P_{PT} , 平均能量传输功率为 P_e , 则有

$$P_e \leq \frac{P_{\text{PT}} T_{\text{PT}}}{T_{\text{PT}} + T_{\text{PS}}} = \frac{P_{\text{PT}}}{1 + T_{\text{PS}}/T_{\text{PT}}} \leq (1 - G\tau/L) P_{\text{PT}} \quad (6)$$

式(6)揭示了 MPT 系统发送功率与传感器节点数据传输速率之间的关系。数据传输速率 G 值越大, 意味着平均能量传输功率 P_e 越低。 $\tau = 0.6 \text{ ms}$, $L = 1470 \text{ B}$ (UDP 协议) 时, P_e/P_{PT} 与 G 之间的关系如图 2 所示。可看出, P_e/P_{PT} 随 G 值增大不断下降, 也就是说, 为了给传感器节点提供更多的能量, 必须降低传感器节点的数据传输速率。

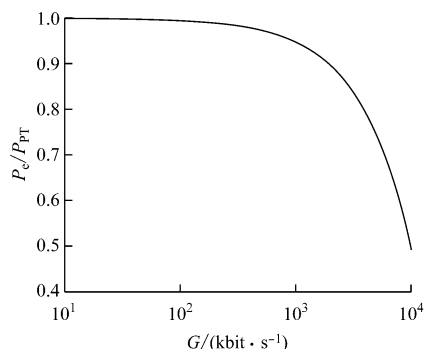


图2 P_e/P_{PT} 与 G 的关系

2 丢帧率模型仿真

在巷道中应用 MPT 系统时, 根据无线传感器的工作方式, 有 2 种输能方式。

(1) 如果设定传感器节点在 MPT 期间不传输数据, 那么 MPT 系统对传感器节点的数据通信没有任何影响。但是需要一种机制来协调 MPT 系统和传感器节点, 使二者互不影响。

(2) 如果传感器节点始终在传输数据, 为了控制丢帧率 R_{loss} , 需要根据式(5)控制好各项参数之间的关系。以煤矿井下常用的 ZigBee 无线网络为例, 缓冲区大小 $Z \approx 256 \text{ B}$, 1 帧数据大小 $L \approx 127 \text{ B}$, 1 帧数据的发送时间间隔 τ 根据需要进行设置, 最大数据传输速率 $G_{\text{max}} = 250 \text{ kbit/s}$ 。此时 $A = Z/G = 0.0082$, 很难通过控制 $T_{PT} < A$ 来实现无丢帧数据传输。图 3 为 R_{loss} 在不同 T_{PT} 下随 T_{PS} 的变化曲线。

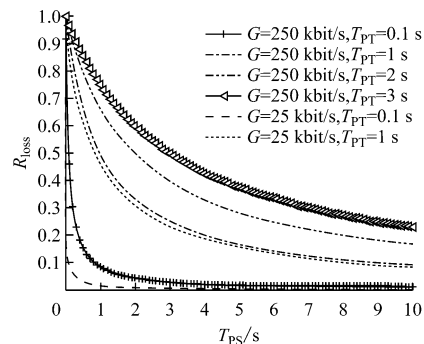


图3 R_{loss} 在不同 T_{PT} 下随 T_{PS} 的变化曲线

从图 3 可看出, 随着 T_{PS} 增大, 在高速率 $G =$

250 kbit/s 下, 输能间隔 T_{PT} 越小, R_{loss} 越小。对比 $G=25 \text{ kbit/s}$ 和 $G=250 \text{ kbit/s}$ 时的曲线可知, T_{PT} 越小, G 对 R_{loss} 的影响越大; $T_{PT}=1 \text{ s}$ 时, R_{loss} 在 2 种速率下的差距不大。

图 4 为 R_{loss} 在不同 G 下随 T_{PS} 的变化曲线。可看出 G 小于 100 kbit/s 时, G 越小, 则 R_{loss} 越小; G 大于 100 kbit/s 时, R_{loss} 差别不大。因此根据需要, 适当控制 G 在 100 kbit/s 以下, 即可在一定程度上降低 P_{loss} 。

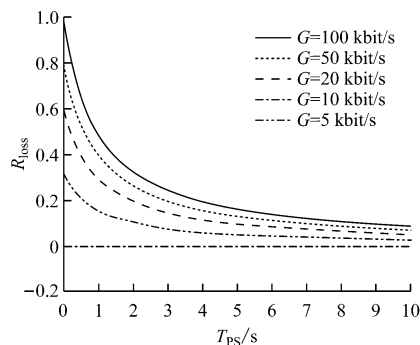


图4 R_{loss} 在不同 G 下随 T_{PS} 的变化曲线

3 实验测量

为了验证理论模型的有效性, 通过井下常用的 ZigBee 网络在实验室环境进行了测试。实验平台如图 5 所示。在一个 7 m 长的实验桌两端各放置 1 个 ZigBee 天线 (芯片型号为 CC2530, 工作频率为 2.4 GHz), 一个作为传感器节点来发送数据, 另一个作为 AP 节点来接收数据。采用数据连续发送模式, 每 2 次数据传输的时间间隔 $\tau = 300 \text{ ms}$, 这样可保证 ZigBee 天线在无干扰条件下不丢帧。2 个 ZigBee 天线各连接 1 台电脑, 用串口发送数据, 波特率为 115 200 bit/s, 便于统计数据发射和接收帧数。2 个 ZigBee 天线间距约为 5 m。

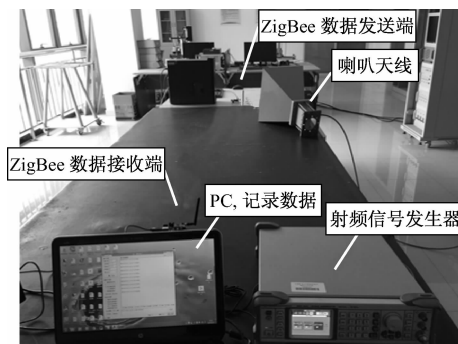


图5 MPT 与通信干扰机制实验平台

在实验平台右侧放置 1 个喇叭天线, 作为 MPT 输能端, 用于干扰 ZigBee 数据发送端, 距离 ZigBee

数据发送端约为 1 m。喇叭天线连接射频信号发生器(型号为 Rohde&Schwarz SMB100A),用于提供稳定的 2.4 GHz 射频信号。考虑辐射安全因素,输能端没有加功率放大器,但为了清晰地观测输能端对 ZigBee 通信的影响,将 ZigBee 发送功率设为 $-22\text{ dB}\cdot\text{m}$,射频信号发生器功率设为 $16\text{ dB}\cdot\text{m}$ 。由于技术指标限制,射频信号发生器的射频开关最小间隔只能达到 1 s,即 T_{PT} 最小为 1 s。

图 6 为 $T_{\text{PT}}=1,3,10\text{ s}$ 时 R_{loss} 实测值与理论值对比。可看出 R_{loss} 实测值与理论值趋势一致,但实测值更大,这可能是由测量误差和 ZigBee 通信时的意外丢帧造成的。

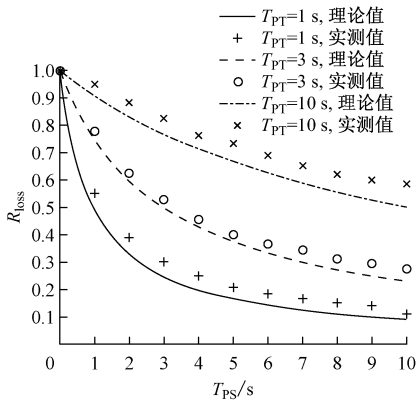


图 6 R_{loss} 实测值与理论值对比

在煤矿井下应用 MPT 技术时,应处理好 MPT 与数据传输之间的关系。对一些间歇传输数据的节点进行输能时,只需设计好一种协调机制,避免输能和数据发送同时进行,就能有效避免数据丢帧;对持续进行数据传输的节点进行输能时,应根据实际需求(数据的重要程度、节点功耗及剩余能量等),控制好 T_{PT} 与 T_{PS} 之间的关系,来控制 R_{loss} 在可接受范围内。

4 结语

分析了间歇共信道下,MPT 与传感器节点通信

的影响关系,得出了数据丢帧率表达式。仿真分析认为,在井下利用 MPT 技术为传感器节点供电时,为了降低丢帧率,应尽可能减小输能持续时间,增大输能间歇时间,同时根据需要适当降低通信的数据传输速率。若要保证数据传输无丢帧,只能采用 MPT 与数据通信交替进行的策略。

参考文献:

[1] SHINOHARA N, GOTO H, MITANI T, et al. Experimental study on sensors in a car engine compartment driven by microwave power transfer [C]//IEEE European Conference on Antennas and Propagation, Lisbon, 2015: 1-4.

[2] HUANG K, ZHOU X. Cutting the last wires for mobile communications by microwave power transfer [J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(6): 86-93.

[3] XIE L, SHI Y, HOU Y T, et al. Wireless power transfer and applications to sensor networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2013, 20(4): 140-145.

[4] YANG Y, WANG C, LI J. Power sensor networks by wireless energy-current status and future trends[C]// IEEE International Conference on Computing, Networking and Communications, Anaheim, 2015: 648-652.

[5] IMOTO N, YAMASHITA S, ICHIHARA T, et al. Experimental investigation of co-channel and adjacent channel operations of microwave power and IEEE 802.11 g data transmissions[J]. IEICE Transactions on Communications, 2014, E97. B(9): 1835-1842.

[6] YAMASHITA S, IMOTO N, ICHIHARA T, et al. Implementation and feasibility study of co-channel operation system of microwave power transmissions to IEEE 802.11-based batteryless sensor [J]. IEICE Transactions on Communications, 2014, E97. B(9): 1843-1852.