

# 基于机会网络的牧场物联网数据传输方法

邓雪峰<sup>1</sup> 孙瑞志<sup>2,3</sup> 杨华<sup>1</sup> 聂娟<sup>2,4</sup> 王文狄<sup>2</sup>

(1. 山西农业大学信息科学与工程学院, 太谷 030801; 2. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083;  
3. 中国农业大学农业部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083; 4. 北京农学院计算机与信息工程学院, 北京 102206)

**摘要:** 智能化畜牧业管理需要对牧场中牲畜的行为进行检测以及对牲畜的运动路径、位置等信息进行采集, 利用牧场物联网系统可以实现对上述信息的获取。基于无线传感器网络的系统架构能够满足各个采样节点间的通信需求, 但是由于牧场所处的地理位置一般比较偏远, 网络环境复杂, 与互联网连接时经常出现连接中断、丢包等问题。采用传统的网络连接方式可能导致数据大量丢失, 为了减少在与互联网连接中断时采样数据的丢失, 提出了一种基于机会网络的牧场物联网数据传输方案, 分析了在牧场环境中传感器之间的通信状态, 总结出传感器之间通信的3种方式, 分别予以建模分析。在传感器有限存储容量的前提下, 利用机会网络的原理, 提出接入点密度的计算方法, 并总结了牲畜运动速度、传感器节点存储容量与数据传输丢包率之间的内在联系, 从而保证了系统数据丢失在设计允许的范围之内。通过评估和验证所提方法理论结果的实验, 证明了方法的正确性。

**关键词:** 牧场; 物联网; 数据采集; 机会网络; 数据传输

**中图分类号:** TP39; S24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)02-0208-07

## Data Transmission Method of Pasture Internet of Things Based on Opportunistic Network

DENG Xuefeng<sup>1</sup> SUN Ruizhi<sup>2,3</sup> YANG Hua<sup>1</sup> NIE Juan<sup>2,4</sup> WANG Wendi<sup>2</sup>

(1. College of Information Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

2. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

3. Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture, China Agricultural University, Beijing 100083, China

4. College of Computer and Information Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

**Abstract:** Behavior of livestock in a pasture needs to be detected, and motion path and location information of livestock need to be collected in the intelligent pasture management, the acquisition of the above information can be realized by using the pasture Internet of things. The system architecture based on wireless sensor network can meet the communication requirements between different sampling nodes. However, because the location of a pasture is generally remote and network environment is complex, interruption and packet loss often appear in the connection with Internet. Using the traditional network connection mode can lead to a large number of data loss. In order to reduce the loss of sampled data in connection with Internet, a data transmission scheme based on opportunistic network is presented. Moreover, the communication status of sensors in a pasture environment is analyzed and three communication ways between sensors are summed up, which are modeled and analyzed respectively. Under the premise of the sensor limited storage capacity, the calculation method of accessing point density is put forward by using the principle of opportunistic network, and the relationship between livestock movement speed, sensor node storage capacity and data transmission loss rate is summarized, so as to ensure the system data loss in the design to allow for the range. Finally, an experimental evaluation and validation of the theoretical results of the method is given to prove the correctness of this program.

**Key words:** pasture; internet of things; data acquisition; opportunistic network; data transmission

收稿日期: 2016-02-04 修回日期: 2016-08-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(31671571)和“十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAK04B01)

作者简介: 邓雪峰(1975—),男,讲师,主要从事农业信息化和物联网研究,E-mail: dx75@sohu.com

通信作者: 孙瑞志(1964—),男,教授,博士生导师,主要从事农业信息化和计算机支持的协同工作研究,E-mail: sunruizhi@cau.edu.cn

## 引言

随着物联网技术在农业中的广泛应用<sup>[1]</sup>,信息化手段也逐步用于畜牧业生产中<sup>[2]</sup>。牧场中的牲畜行为监控是畜牧业集约化、智能化管理的一个基本条件。

利用物联网技术可以有效地实现牲畜行为的监测<sup>[3-6]</sup>。一般牧场处于比较偏远的地区,牧场物联网经常处于网络服务区的边缘地带或服务区外,传感器节点通信能力有限,在牧场环境中只能通过无线公网与最近基站连接<sup>[7-11]</sup>进行信息的传输,导致连续的物联网监控数据经常无法通过网络进行传输,出现信号中断等网络异常状况。

机会网络( Opportunistic networks, ON)<sup>[12-14]</sup>是一种自组织网络,是专门针对无线网络链路经常断开,源节点与目标节点之间可能不存在完整链路的情况,利用节点的移动性,在节点进入相互通信覆盖区域进行数据交换,以完成数据通信。因此机会网络常用于解决野生动物监控<sup>[15-16]</sup>与偏远地区<sup>[17-18]</sup>的网络接入等问题。

本文分析牧场这种特殊条件下的物联网数据传输环境,利用机会网络技术的特点对畜牧业物联网进行网络数据传输设计,使牧场物联网的数据传输适应牧场环境中传感器网络经常中断的特性,为解决畜牧业牧场物联网数据传输间断问题提供有效的方案。

## 1 牧场物联网系统分析

### 1.1 牧场物联网系统结构

牧场物联网系统可以实现牲畜的行为信息采集、处理等。系统通过传感器采集物理系统信息(如牲畜位置信息、体温信息及运动状态信息等),利用网络(2G/3G/4G等无线公网)将信息传送给应用服务器处理。图1是一个牧场的牲畜信息监测物联网系统结构图。感知层中的智能传感器具有一定的存储、计算与通信能力。传感器采集的数据利用传感器网络进行短距离的数据传输,如利用 ZigBee 等协议组成的网络。同时,节点利用广域网络接入技术,一般采用无线方式,如 GPRS 网络等,将传感器采集数据传送至互联网中。这部分网络组织形式构成了牧场物联网系统的网络层。

畜牧业物联网系统在信息采集过程中传感器处于移动状态,采集节点不断的变换空间位置,这种空间拓扑结构的改变使得畜牧业物联网不同于当前广泛讨论的设施农业中的其它领域,如智能温室等的物联网系统;在网络层,传感器节点与互联网的数据

通信过程中,由于节点本身的移动性,且当节点利用无线通信方式时,节点与基站的距离经常超出基站的覆盖范围,使网络经常处于中断状态。

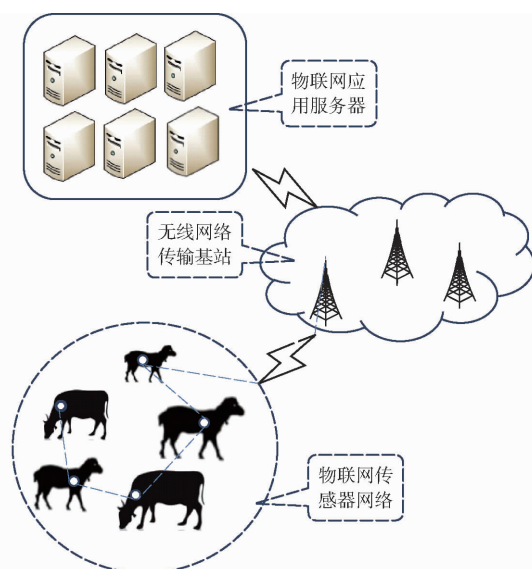


图1 牧场物联网架构结构图

Fig.1 Architecture of pasture IOT

### 1.2 牧场物联网系统通信状态分析

牧场环境中,网络传输主要利用无线网络,在基站与通信节点之间交互数据,有3种情况:传感器网络节点分布全在基站通信覆盖范围内;传感器网络节点分布部分在基站通信覆盖范围内;传感器网络节点分布均在基站通信覆盖范围以外。

用集合表示以上3种情况: $A = \{a_1, a_2, a_3\}$ 。

传感器网络通信的组织方式也有3种情况:所有传感器网络节点都可以直接与基站通信,传感器网络节点间无法通信;传感器网络节点中部分可以与基站通信,传感器网络节点之间可以相互连接通信;所有传感器网络节点都可以与基站通信并且节点间也可以相互连接。

用集合表示: $B = \{b_1, b_2, b_3\}$ 。因此,在牧场场景中,网络传输可能出现的方式为

$$C = A \times B = \{a_1, a_2, a_3\} \times \{b_1, b_2, b_3\} = \{(a_1, b_1), (a_1, b_2), (a_1, b_3), (a_2, b_1), (a_2, b_2), (a_2, b_3), (a_3, b_1), (a_3, b_2), (a_3, b_3)\}$$

其中 $(a_1, b_1)$ 、 $(a_1, b_2)$ 、 $(a_1, b_3)$ 3种情况中,传感器所有节点都可以直接将数据传输至互联网,这种情况不存在网络中断等情况,连接处理模型与互联网处理办法一致; $(a_3, b_1)$ 、 $(a_3, b_2)$ 、 $(a_3, b_3)$ 3种情况时网络完全中断;因此,本文讨论的问题集中于 $(a_2, b_1)$ 、 $(a_2, b_2)$ 、 $(a_2, b_3)$ 3种情况。

## 2 基于机会网络的牧场物联网建模

针对畜牧业环境及牧场中物联网在数据通信上

的特殊性,在对畜牧业物联网系统构架进行分析的基础上,利用机会网络的原理,提出在系统实施中采用机会网络原理设计系统的参考模型,从而解决畜牧业中物联网数据传输中连接不稳定以及传感器节点空间位置经常变换等问题。

### 2.1 机会网络概述

机会网络是针对网络节点之间通信可能不存在完整路径的一种网络组织方案,这种网络组织形式的物理架构解决方案来自于 DTN(Disruption tolerant networks)网络<sup>[19-20]</sup>。机会网络可以看成是一种无线自组织网络下的 DTN 网络,其架构的技术路线是依照存储—携带—转发的路由机制完成通信任务。机会网络的实现分组信息“携带”功能是通过在网络体系结构中增加一个 bundle 层<sup>[14]</sup>达到的,图 2 所示为一个机会网络体系结构与普通 TCP/IP 网络体系结构的对比。机会网络通过 bundle 层,可以满足延迟、网络经常中断这些特殊环境下数据的可靠传输。

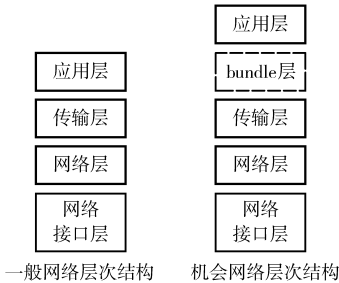


图 2 机会网络分层结构

Fig. 2 Layered structure of opportunistic network

本文基于机会网络对牧场的数据传输提出一种工程解决方案,为了满足在实际工作中具有广泛适用及系统稳定性需求,在数据转发机制上采用基于泛洪算法单副本的数据发送策略,在节点移动性方面以牧场中采食过程移动为基础。在这个条件下,计算出工程需要的设备内存、数据采样的速度、采食半径以及动物移动速度等关系,为工程实施中计算系统设计需求的内存、数据采样周期等提供理论依据及方法。

### 2.2 牧场物联网场景分析及建模

由 1.2 节分别讨论  $(a_2, b_1)$ 、 $(a_2, b_2)$ 、 $(a_2, b_3)$  3 种网络环境下数据传输情况,在图 3 中分别用场景 1、场景 2 及场景 3 表示。在此讨论这 3 种情况下牧场物联网信息传输所需机会网络组网的连接情况。

#### 2.2.1 场景 1

当连接为  $(a_2, b_1)$  时传感器网络节点与基站之间的通信关系,传感器节点中部分与基站有连接,部分没有连接,传感器节点是可以运动的,即传感器节点的运动范围一部分在基站信号覆盖范围内。此时传感器间没有通信关联,这种情况下相当于每个传感器网络节点与基站之间构成网络。

在场景 1 所示的网络构成情况,各个传感器节点只有到达基站信号覆盖范围内时才有机会与基站进行连接通信,基站信号覆盖范围与牲畜活动半径如图 4 所示,设牲畜活动范围为一圆形区域(这里为了方便问题说明,实际放牧中与草场的形状有关),牲畜的活动半径为  $r(m)$ ,即图中线段  $A_1O_2$  的长度,基站与牲畜活动中心的距离为  $D(m)$ ,即  $O_1O_2$  的长度。基站信号覆盖范围为  $R(m)$ ,即  $A_1O_1$  的长度。基站图 4 中灰色斜线区域为信号不稳定区域,传感器节点在此范围内传输信号有丢包现象,丢包规律服从函数  $\varphi$ ,函数  $\varphi$  是一个节点与基站距离及网络最大延迟上限相关的函数,此函数根据不同的系统设计需求及相应的传输方式做相应的设置即可。灰色区域宽度为  $d(m)$ 。

由图 4 中几何关系,可以计算牲畜活动中心与两圆相交交点连线所成的角为  $\angle A_1O_2A_2$ ,用  $\alpha_1$  表示为

$$\alpha_1 = 2\arccos((r^2 + D^2 - R^2)/(2rD))$$

基站中心与两圆相交交点连线夹角为  $\angle A_1O_1A_2$ ,用  $\alpha_2$  表示为

$$\alpha_2 = 2\arccos((R^2 + D^2 - r^2)/(2RD))$$

基站信号覆盖范围与牲畜活动范围相交处的面积为

$$S_1 = r^2\alpha_1/2 + R^2\alpha_2/2 - \sin(\alpha_1/2)rD$$

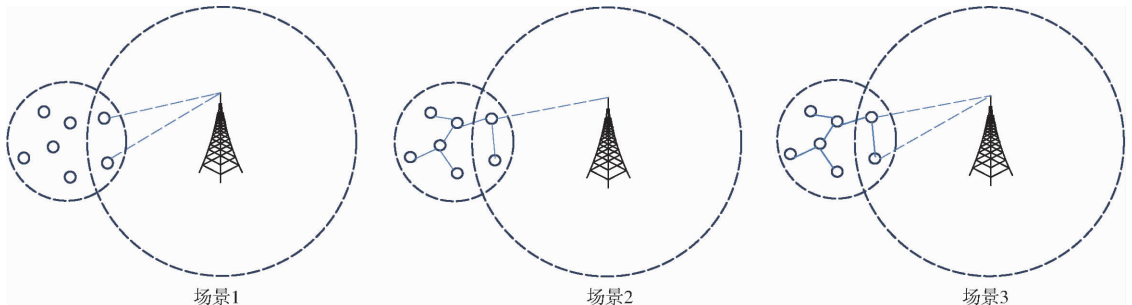


图 3 传感器网络节点与基站连接情况

Fig. 3 Connection of sensor network nodes and base station

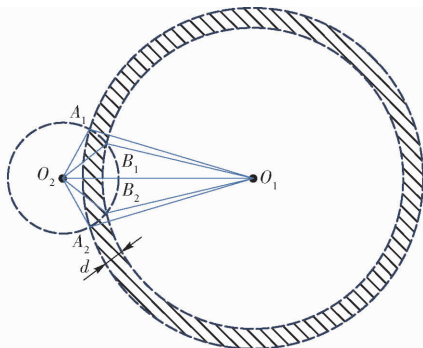


图 4 传感器节点与基站位置关系分析

Fig.4 Relationship analysis of sensor nodes and base station location

同样方法,可以计算出排除图中灰色区域,即不存在丢包现象的区域面积为

$$S_2 = r^2\beta_1/2 + (R-d)^2\beta_2/2 - \sin(\beta_1/2)rD$$

其中  $\beta_1, \beta_2$  分别为  $\angle B_1O_2B_2, \angle B_1O_1B_2$ , 即

$$\beta_1 = 2\arccos((r^2 + D^2 - (R-d)^2)/(2rD))$$

$$\beta_2 = 2\arccos(((R-d)^2 + D^2 - r^2)/(2(R-d)D))$$

在场景 1 中,由于各个传感器网络节点只有独自进入基站信号覆盖区域才有机会获得网络传输的机会,由于网络传输时间与牲畜移动速度相比可以忽略不计,牲畜移动速度为  $v$ ,那么,在特定运动规律下(例如牲畜可能服从布朗运动等规律)牲畜在某个区域出现的周期是  $v$  的函数,设这个周期为  $P_v$ ,则在一个周期内在信号覆盖区域停留的时间假设服从均匀分布,即  $P_v S_1/(\pi r^2)$ ,同理在数据传输稳定区域停留的时间为  $P_v S_2/(\pi r^2)$ 。传感器网络节点在无网络区域的停留时间为  $P_v(1 - S_1/(\pi r^2))$ ,为记录方便,设  $P_{s1} = S_1/(\pi r^2), P_{s2} = S_2/(\pi r^2)$ 。令物联网传感器信息采集周期为  $T(s)$ ,节点存储机会网络数据包包含采集信息个数为  $M$ (个)。

因此,在此时理论上由系统设计造成的丢包率  $R_{PLR}$  有如下计算公式:

当  $P_v[1 - P_{s2} - (P_{s1} - P_{s2})\phi]/T \leq M$  时(其中  $\phi$  为  $\varphi$  的函数,为传感器节点在图 4 阴影部分活动时的成功发送数据百分比)  $R_{PLR} = 0$ ,当  $P_v[1 - P_{s2} - (P_{s1} - P_{s2})\phi]/T > M$  时  $R_{PLR} = \{P_v[1 - P_{s2} - (P_{s1} - P_{s2})\phi]/T - M\}/(P_v/T)$ 。

数据延时则在 0 与  $P_v[1 - P_{s2} - (P_{s1} - P_{s2})\phi]$  之间。

### 2.2.2 场景 2

场景 2 为  $(a_2, b_2)$  的情况,图中部分节点与基站可以连接,但节点间有短距无线网络连接,图中可以与基站进行网络连接的节点数为  $n$ ,网络中总共移动节点数为  $N$ ,其它参数设置同以上参数设置。

那么,  $n$  个传感器网络节点的运动服从独立的同分布,单个传感器在信号覆盖稳定区域停留时间为  $P_v P_{s2}$ 。则  $n$  个传感器网络节点在信号覆盖稳定区域内停留的概率为

$$P_{n2} = C_n^1 P_{s2} + (-1)^1 C_n^2 P_{s2}^2 + \dots + (-1)^n C_n^n P_{s2}^n$$

同理  $n$  个传感器网络节点在信号覆盖不稳定区域内停留的概率为

$$P_{n1} = C_n^1 (P_{s1} - P_{s2}) + (-1)^1 C_n^2 (P_{s1} - P_{s2})^2 + \dots + (-1)^n C_n^n (P_{s1} - P_{s2})^n$$

因此,在此时理论上由系统设计造成的丢包率  $R_{PLR}$  有如下计算公式:

当  $P_v(1 - P_{n2} - P_{n1}\phi)/T \leq M$  时  $R_{PLR} = 0$ ,当  $P_v(1 - P_{n2} - P_{n1}\phi)/T > M$  时  $R_{PLR} = [P_v(1 - P_{n2} - P_{n1}\phi)/T - M]/(P_v/T)$ 。

数据延时则在 0 与  $P_v(1 - P_{n2} - P_{n1}\phi)$  之间。

### 2.2.3 场景 3

场景 3 为  $(a_2, b_3)$  的情况,图中所有节点与基站可以连接,但节点间有短距无线网络连接,网络中总共移动节点数为  $N$ ,其它参数设置同以上参数设置。

那么,  $N$  个传感器网络节点的运动服从独立的同分布,其它参数设置与前两种情况设置相同,则  $N$  个传感器网络节点在信号覆盖稳定区域内停留的概率为

$$P_{N2} = C_N^1 P_{s2} + (-1)^1 C_N^2 P_{s2}^2 + \dots + (-1)^N C_N^N P_{s2}^N$$

同理  $n$  个传感器网络节点在信号覆盖不稳定区域内停留的概率为

$$P_{N1} = C_N^1 (P_{s1} - P_{s2}) + (-1)^1 C_N^2 (P_{s1} - P_{s2})^2 + \dots + (-1)^N C_N^N (P_{s1} - P_{s2})^N$$

因此,在此时理论上由系统设计造成的丢包率  $R_{PLR}$  有如下计算公式:

当  $P_v(1 - P_{N2} - P_{N1}\phi)/T \leq M$  时  $R_{PLR} = 0$ ,当  $P_v(1 - P_{N2} - P_{N1}\phi)/T > M$  时  $R_{PLR} = [P_v(1 - P_{N2} - P_{N1}\phi)/T - M]/(P_v/T)$ 。

数据延时则在 0 与  $P_v(1 - P_{N2} - P_{N1}\phi)$  之间。

## 3 模型模拟验证

对利用机会网络建模的传感器网络节点的网络连接情况予以分析证明。基站覆盖范围为 30 km,放牧半径假设为 1 km,即  $D = 30$  km,  $r = 0.5$  km,  $R = 30$  km,  $d = 30$  m,对其它参数的设置分别由各种不同条件确定。根据以上提供数据,计算得(以下结论中角度的单位为弧度)  $\alpha_1 = 3.125, \alpha_2 = 0.033, \beta_1 = 1.841, \beta_2 = 0.027, S_1 = 0.241$  km<sup>2</sup>,  $S_2 = 0.2$  km<sup>2</sup>。

模拟实验设牲畜进入采食区域后以图 4 中所示的活动中心  $O_2$  为原点,随机向采食区域中其它区域移动。

对以下几个指标加以验证:传感器节点数量、传感器节点移动速度及传感器缓存容量对丢包率影响的对比分析。

### 3.1 传感器网络节点数量影响网络传输状况分析

牲畜采食移动速率为  $v = 0.5 \text{ m/s}$ , 采食宽度为  $2 \text{ m}$ , 采食过程为随机在采食区域内行动, 缓存(为讨论问题方便,  $M$  定义为缓存大小与分组数据包字节相除后得到的结果)  $M = 10$  个, 信号采样周期  $T = 10 \text{ s}$ , 图 3 场景 2 中, 设  $n: N = 1: 5$ 。经模拟实验, 在  $N$  取不同的值时, 网络丢失数据条数与时间的关系如图 5 所示。

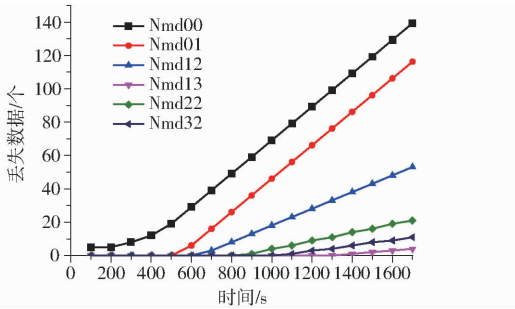


图 5 传感器网络节点数与丢包率关系曲线

Fig. 5 Relationship curves between number of sensor network nodes and packet loss rate

图 5 中 Nmd00 代表变通网络状态数据丢失情况与时间变化的关系, 此时网络中节点的数目不影响单个节点的数据丢失; Nmd01 代表场景 1 中所示的情况, 网络中节点的数目不影响单个节点的数据丢失; Nmd12、Nmd13 代表  $N = 10$  时, 场景 2 与场景 3 的数据丢失情况; Nmd22 代表  $N = 20$  时场景 2 的数据丢失情况; Nmd32 代表  $N = 30$  时场景 2 的数据丢失情况。

通过图 5 所示的模拟实验结果, 计算出在不同场景中丢包率如表 1 所示, 表中平均值指的是所有测试时间总丢失数据数与总发送数据数的比值, 而最大值指的是两次采样(如间隔  $100 \text{ s}$ )内丢失数据与共发送数据的比值中的最大值。

图 5 为数据包丢失情况, 可以看出, 场景 3 在相

表 1 节点数目影响丢包率情况对比分析表

Tab. 1 Comparative analysis of influence of number of nodes on packet loss rate

方案	丢包率/%	丢包率/%	
		平均值	最大值
未用 ON 网络方案	$N = 10$	82	100
采用 ON 网络方案	Nmd01 $N = 10$	68	100
	Nmd12 $n = 2$	31	50
	Nmd13 $N = 10$	2	10
	Nmd22 $n = 4$	12	30
	Nmd32 $n = 6$	16	20

同节点数的情况下数据丢失最少, 在节点数增加的情况下, 如 Nmd12 的数据要大于 Nmd22 及 Nmd32, 说明同等条件下, 丢包率随着节点数目增加而降低, 同样, 通过实验数据可以反解出第 2 节中讨论的丢包率公式中的  $P_v$ , 如 Nmd01 曲线丢包率平均值为  $82\%$ , 可以解出此种情况下  $P_v \approx 1429 \text{ s}$ , 可以在工程实际中利用此实验方法, 设计工程中的具体应用。

### 3.2 传感器网络节点运动影响网络传输状况分析

此时传感器网络节点与基站的中心距离一定, 基站与牲畜活动中心的距离为  $D = 30 \text{ km}$ , 缓存  $M = 10$  个, 采样周期  $T = 10 \text{ s}$ , 在图 3 场景 2 情况中,  $n: N = 1: 5$  且  $n = 2$ 。分别做 3 组模拟实验, 其中 Nmd00 ~ Nmd03 为牲畜运动速率  $v = 0.5 \text{ m/s}$  时数据丢失情况, 其中 Nmd00 为普通网络连接情况, Nmd01、Nmd02、Nmd03 分别为场景 1、2、3 情况下网络连接情况; Nmd10 ~ Nmd13 为牲畜运动速率  $v = 1 \text{ m/s}$  时数据丢失情况; Nmd20 ~ Nmd23 为牲畜运动速率  $v = 2 \text{ m/s}$  时数据丢失情况。

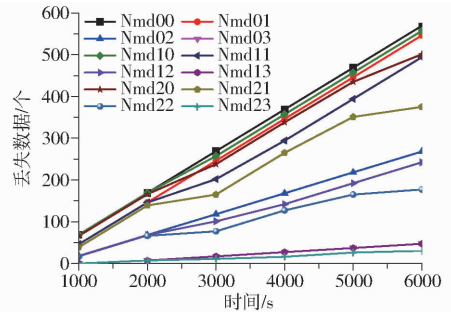


图 6 传感器网络节点运动速度与丢包率关系曲线

Fig. 6 Relationship curves of node motion speed and packet loss rate in a sensor network

利用图 6 模拟实验结果, 可以计算出各种情况下丢包率如表 2 所示。

表 2 节点运动速度影响丢包率情况对比

Tab. 2 Comparative analysis of influence of node motion speed on packet loss rate

方案	丢包率/%	丢包率/%	
		平均值	最大值
未用 ON 网络方案	Nmd00 $v = 0.5 \text{ m/s}$	95	100
未用 ON 网络方案	Nmd10 $v = 1 \text{ m/s}$	93	100
	Nmd20 $v = 2 \text{ m/s}$	84	100
	采用 ON 网络方案	Nmd01 $v = 0.5 \text{ m/s}$	91
采用 ON 网络方案	Nmd11 $v = 1 \text{ m/s}$	82	100
	Nmd21 $v = 2 \text{ m/s}$	63	100
	Nmd02 $v = 0.5 \text{ m/s}$	45	50
	Nmd12 $v = 1 \text{ m/s}$	40	50
	Nmd22 $v = 2 \text{ m/s}$	30	50
	Nmd03 $v = 0.5 \text{ m/s}$	8	10
	Nmd13 $v = 1 \text{ m/s}$	8	10
	Nmd23 $v = 2 \text{ m/s}$	5	10

图 6 中对比相同的条件下,如 Nmd01、Nmd11 及 Nmd21,可以明显得出结论,随着牲畜行动速率的增加,数据丢失降低。由表 2 中数据也可以得出随着速率增加数据丢失下降,而在同种情况下,数据丢失随着牲畜运动变化并不是很明显,说明这个因素对数据丢失影响较小,同样也可以利用表中结果反推出各公式的参数,方法同 3.1 节。

### 3.3 传感器网络节点存储容量对网络传输状况影响分析

此时传感器网络节点与基站的中心距离一定,基站与牲畜活动中心的距离为  $D = 30 \text{ km}$ ,其它参数同 3.1 节,其中在图 3 场景 2 情况中, $n: N = 1: 5$ 且  $n = 2$ 。通过实验得到缓存对数据丢失情况的影响,如图 7 所示,其中 Nmd00 为普通网络连接情况,无缓存;Nmd11 ~ Nmd13 为缓存为 10 的情况下,分别对场景 1、场景 2 及场景 3 做的数据丢失情况实验;Nmd21 ~ Nmd23 为缓存为 20 的情况下的实验。

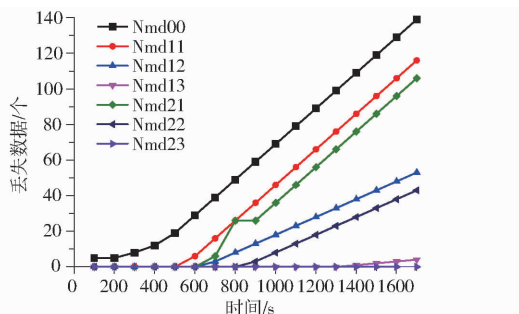


图 7 传感器缓存与丢包率关系曲线

Fig.7 Relationship curves of node storage capacity and packet loss rate in a sensor network

利用图 7 模拟实验结果,可以计算出丢包率如表 3 所示。

表 3 节点存储容量影响丢包率情况对比

Tab.3 Comparative analysis of influence of node storage capacity on packet loss rate

方案	丢包率/%			
	平均值	最大值		
未用 ON 网络方案	Nmd00	82	100	
采用 ON 网络方案	Nmd11	$M = 10$	68	100
	Nmd12	$M = 10$	31	50
	Nmd13	$M = 10$	2	10
	Nmd21	$M = 20$	62	100
	Nmd22	$M = 20$	25	50
	Nmd23	$M = 20$	0	0

由图 7 可以确定,随着缓存的增加有降低数据丢失的可能性。

### 3.4 讨论

由上述分析可知,在利用机会网络进行牧场网络架构的情况下,数据传输的丢包率有所下降,并且与以下几个因素有关:牧场中牲畜的运动速度、传感器节点用于机会网络 bundle 缓存的容量及传感器网络节点的数量,因此具体情况可以根据丢包率的要求对上述参数进行调整,以达到系统设计的要求。

## 4 结束语

利用机会网络架构牧场物联网,从而在牧场这种特殊条件下尽量利用传感器缓存以及传感器协作的特性来稳定传输数据,由于牧场环境条件复杂,数据传输不稳定,利用这种架构方式可以有效增加数据传输能力,降低系统丢包率,为在这种特殊条件下的网络架构提供了一种可行的解决方案,并给出了相应的数据计算方法。

## 参 考 文 献

- 熊本海, 杨振刚, 杨亮, 等. 中国畜牧业物联网技术应用研究进展[J/OL]. 农业工程学报, 2015, 31(增刊 1):237-246. [http://www.tcsae.org/nygcxb/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=2015z128&flag=1](http://www.tcsae.org/nygcxb/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2015z128&flag=1). DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2015.z1.028.  
XIONG Benhai, YANG Zhengang, YANG Liang, et al. Review on application of internet of things technology in animal husbandry in China[J/OL]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(Supp. 1):237-246. (in Chinese)
- 陆明洲, 沈明霞, 丁永前, 等. 畜牧信息智能监测研究进展[J/OL]. 中国农业科学, 2012, 45(14):2939-2947. <http://www.chinaagrisci.com/CN/10.3864/j.issn.0578-1752.2012.14.017>. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2012.14.017.  
LU Mingzhou, SHEN Mingxia, DING Yongqian, et al. Review on the intelligent technology for animal husbandry information monitoring [J/OL]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(14):2939-2947. (in Chinese)
- OCHIAI H, ESAKI H, ISHIZUKA H, et al. A field experience on DTN-based sensor data gathering in agricultural scenarios[C]//2010 IEEE Sensors, 2010:955-958.
- KABSHI A H, ELMIRGHANI J M H. A technical framework for designing wireless sensor networks for agricultural monitoring in developing regions[C]//International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 2008:395-401.
- KLINGBEIL L, WARK T. Demonstration of a wireless sensor network for real-time indoor localisation and motion monitoring[C]//International Conference on Information Processing in Sensor Networks, 2008. IPSN'08, 2008:543-544.
- EHSAN S, BRADFORD K, BRUGGER M, et al. Design and analysis of delay-tolerant sensor networks for monitoring and tracking free-roaming animals[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2012, 11(3):1220-1227.

- 7 马从国, 赵德安, 王建国, 等. 基于无线传感器网络的水产养殖池塘溶解氧智能监控系统[J/OL]. 农业工程学报, 2015, 31(7):193-200. [http://www.tcsae.org/nygxcb/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20150728](http://www.tcsae.org/nygxcb/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150728). DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2015.07.028.
- MA Congguo, ZHAO Dean, WANG Jianguo, et al. Intelligent monitoring system for aquaculture dissolved oxygen in pond based on wireless sensor network[J/OL]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(7):193-200. (in Chinese)
- 8 何勇, 聂鹏程, 刘飞. 农业物联网与传感仪器研究进展[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(10):216-226. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20131035&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20131035&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.10.035.
- HE Yong, NIE Pengcheng, LIU Fei. Advancement and trend of internet of things in agriculture and sensing instrument[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10):216-226. (in Chinese)
- 9 葛文杰, 赵春江. 农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(7):222-230. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20140735&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140735&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.07.035.
- GE Wenjie, ZHAO Chunjiang. State-of-the-art and developing strategies of agricultural internet of things[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7):222-230. (in Chinese)
- 10 阎晓军, 王维瑞, 梁建平. 北京市设施农业物联网应用模式构建[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4):149-154.
- YAN Xiaojun, WANG Weirui, LIANG Jianping. Application mode construction of internet of things(IOT) for facility agriculture in Beijing[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4):149-154. (in Chinese)
- 11 朱会霞, 王福林, 索瑞霞. 物联网在中国现代农业中的应用[J]. 中国农学通报, 2011, 27:310-314.
- ZHU Huixia, WANG Fulin, SUO Ruixia. The application of the internet of things in China modern agriculture [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27:310-314. (in Chinese)
- 12 马华东, 袁培燕, 赵东. 移动机会网络路由问题研究进展[J/OL]. 软件学报, 2015, 26(3):600-616. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/4741.htm>. DOI:10.13328/j.cnki.jos.004741.
- MA Huadong, YUAN Peiyan, ZHAO Dong. Research progress on routing problem in mobile opportunistic networks [J/OL]. Journal of Software, 2015, 26(3):600-616. (in Chinese)
- 13 熊永平, 孙利民, 牛建伟, 等. 机会网络[J]. 软件学报, 2009, 20(1):124-137.
- XIONG Yongping, SUN Limin, NIU Jianwei, et al. Opportunistic networks[J]. Journal of Software, 2009, 20(1):124-137. (in Chinese)
- 14 HUANG C M, LAN K, TSAI C Z. A survey of opportunistic networks [C] // 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications-Workshops, 2008. AINAW 2008, 2008:1672-1677.
- 15 JUANG P, OKI H, WANG Y, et al. Energy-efficient computing for wildlife tracking: design tradeoffs and early experiences with ZebraNet[J]. ACM Sigplan Notices, 2002, 37(10):96-107.
- 16 SMALL T, HAAS Z J. The shared wireless infostation model: a new ad hoc networking paradigm (or where there is a whale, there is a way) [C] // Proceedings of the 4th ACM International Symposium on Mobile ad Hoc Networking & Computing, 2003:233-244.
- 17 PENTLAND A S, FLETCHER R, HASSON A. Daknet: Rethinking connectivity in developing nations[J]. Computer, 2004, 37(1):78-83.
- 18 DORIA A. Providing connectivity to the saami nomadic community [C] // Proceedings of 2nd International Conference on Open Collaborative Design for Sustainable Innovation, 2002.
- 19 FALL K R. A delay-tolerant network architecture for challenged internets [C] // Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications, 2003:27-34.
- 20 FALL K, FARRELL S. DTN: an architectural retrospective[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(5):828-836.

(上接第 239 页)

- 28 LAWSON T, BLATT M R. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency [J]. Plant Physiology, 2014, 164(4):1556-1570.
- 29 刘春伟, 邱让建, 王振昌, 等. 基于液流量的苹果树蒸腾量模拟[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(2):105-112. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20160215&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160215&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.02.015.
- LIU Chunwei, QIU Rangjian, WANG Zhenchang, et al. Transpiration modeling of apple trees based on sap flow measurements[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(2):105-112. (in Chinese)
- 30 张大龙, 张中典, 李建明. 环境因子对温室甜瓜蒸腾的驱动和调控效应研究[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(11):137-144. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20151119&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20151119&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.11.019.
- ZHANG Dalong, ZHANG Zhongdian, LI Jianming. Co-ordination of environmental factors in driving and regulating transpiration rate of greenhouse grown muskmelon[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(11):137-144. (in Chinese)