

面向流水线型模式的 MANET 嵌入式可靠性分析研究

赵志峰^{1,2} 田立新² 赵曦滨^{3,4} 钟 诚¹

(镇江船艇学院计算机教研室 镇江 212003)¹ (江苏大学控制科学与工程博士后流动站 镇江 212013)²

(清华大学软件学院 北京 100084)³ (教育部信息安全实验室 北京 100084)⁴

摘 要 随着大型离散制造业的竞争日益激烈,提高生产效率变得越来越重要。实施 MES(Manufacturing Execution System)是提高竞争力的一个比较好的解决方案,而网络通信畅通是实施 MES 的关键基础。针对大型离散制造业车间的行业特点和实际环境,引入了移动自组织网络(MANET, Mobile Ad hoc Network)作为通信的网络。由于 MANET 是不依赖固定基础设施、无中心控制、动态拓扑的动态无线通讯网络,研究基于实际环境的 MANET 的可靠性对于网络的部署和调整就显得非常有现实意义。基于实际制造业车间环境,给出了面向作业型制造业生产模式的 MANET 可靠性分析模型(ERMWT, Embedded Reliability Model on Working Table)。

关键词 MANET, 可靠性, 制造业, 嵌入式

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Embedded Reliability Modeling of Assembly-line Production Oriented MANET

ZHAO Zhi-feng^{1,2} TIAN Li-xin² ZHAO Xi-bin^{3,4} ZHONG Cheng¹

(Computer Department of Zhenjiang Watercraft College, Zhenjiang 12003, China)¹

(The Post Doctoral Station of Control Science & Engineering of Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)²

(School of Software, Tsinghua University, Beijing 100084, China)³

(Key Laboratory for Information System Security of Ministry of Education, Beijing 100084, China)⁴

Abstract Since the market competition of manufacturing becomes intense, improving the productive efficient is of importance. Manufacturing Execution System(MES) is considered to be good solution, but the communication network is basic of MES. With the serious environment of the shop in manufacturing, MANET(mobile ad hoc network) is introduced into our scheme. MANET is a kind of dynamic wireless communication network that does not rely on a fixed infrastructure and is lack of any centralized control. Based on a deep analysis of the application and real work environment, this paper proposed a ERMWT(Embedded Reliability Model on Working Table) for a work table production oriented MANET.

Keywords MANET, Reliability, Production, Embedded

1 引言

大型离散制造业车间通讯的信息化是实施 MES(Manufacturing Execution System)为代表的整个制造业信息化的重要环节。传统车间内通讯的方案就是部署有线网络,这种方案存在很大问题,最为主要的因素就是场地的限制。大型离散制造业车间通常环境非常复杂,各种零部件和物料的频繁搬运及堆放,将会导致地面裸露线缆的损坏;其次,有线网络的部署不能很好地应对通讯人员的移动性;再次,固定有线网络的部署并不能很好应对车间中生产线的适度调整。随着无线网络的不断发展,越来越多的企业尝试通过无线 AP 的解决方案来保障车间内的通讯,但该方案也存在不少的问题。首先,由于工作环境复杂,AP 只能通过悬空的方式部署在车间上方,很多企业的车间环境并不具备这一条件,需要对车间进行改造;其次,车间内大型金属机械设备、车床、零部件及物

料都会对无线信号有所干扰,所以要实现全范围的无线覆盖就需要大量的 AP,且在实际部署过程中发现即使有大量的 AP 部署还是存在很多盲点;同时,大量使用 AP 也带来了开销较大的问题。

鉴于大型离散制造车间中通常噪音巨大,环境复杂,本文认为 MANET(Mobile Ad Hoc Network)^[1] 是一种较合理的实施制造业信息化的解决方案。MANET 是由一组无线移动的主机构成,并且动态地建立连接,而不依赖中心式的管理。

在车间内应用 MANET 既不需要受到有线网络的束缚,也不需要改造车间环境,同时也是最为经济的方案。但是 MANET 无中心、动态拓扑和资源受限等特性导致其在通讯可靠性方面存在一定的局限性^[2]。所以针对 MANET 的可靠性建模分析及如何提高 MANET 的可靠性上已经进行了很多深入的研究^[3-8]。但是传统的可靠性研究都是针对普适的 MANET 环境,对实际应用并没有很好的指导意义。而对

于大型离散制造业的车间 MANET 应用,要保证通讯的可靠性,就必须针对应用的环境特点对可靠性进行建模分析,并在此基础上提出影响可靠性的关键因素,从而指导 MANET 网络在车间环境中的部署及协议的设计。

2 相关研究

在传统有线网络领域中,针对网络可靠性已经做了长时间的研究,并获得了许多成熟的研究成果。但 MANET 具有不同于有线网络的自身特性,影响其可靠性的因素及其可靠性的评价指标也与传统的有线网络有所不同。MANET 服务访问受节点移动的影响很大,网络连接的可靠性是保障其网络服务的基础。国内外针对 MANET 可靠性的相关研究刚刚起步,关注点主要集中于局部静态 MANET 单元的可靠性度量、建模和分析。

Hosam 等人使用概率图^[5]的方法对可靠性进行建模,他们将这种可靠性定义为通信节点和目标簇之间存在着活动通信路径的概率,但该度量模型的计算量已经超出了多项式时间复杂度,仅在一些特殊情况下,模型的计算效率较高。

Jason 等人在研究 MANET 网络可靠性^[6]时,将节点的移动和网络连接的连续变化也考虑进来,建立了无线 MANET 网络中基于不同网络配置下的两个节点之间的可靠性模型。该模型提供了 MANET 网络可靠性的度量方法,同时还具有识别影响可靠性主要因素的能力。

Jose 等^[7]提出一种基于混合进化优化的方法,以解决全终端网络中可靠性需求下的最小开销问题,但其仅考虑了节点的移动性问题,且假设基础是所有的节点均相同。

Trajanov 等人基于统计基础提出了 MANET 网络中的链路可靠性模型^[8],但该方法仅就当前的网络状态进行可靠性计算,并没有考虑 MANET 的拓扑时序演化。

综合当前关于 MANET 可靠性的研究结果,可以发现大部分的工作都只集中于 MANET 的部分特性。实际上,可靠性的研究需要进一步考虑更多的 MANET 特性,因为真实的 MANET 环境是复杂和多维的^[2,9,11]。特别是由于节点的自主移动性导致网络的拓扑结构动态化,而拓扑结构的变化对整个网络的可靠性有着极大的影响,因此要研究网络的可靠性,就要考虑节点的运动模式。因此,一个真正适合 MANET 的可靠性模型应当既充分考虑可靠性的多维特征及全局稳定性,又要能够支持网络拓扑的时序演化,同时还要考虑实际的应用环境。

文献[10]从两个方面来研究基于 MANET 的网络可靠性分析:1)基于制造业领域的移动模型的建立和分析;2)在建立移动模型的基础上,研究 MANE 的网络可靠性,从而分析 MANET 网络中节点的连通性、链路的生存时间等情况。

本文在文献[10]的基础上,提出了 MANET 的嵌入式可靠性分析模型,以此来提高网络的可靠性并缩短调整和部署时间,从而更好地接近生产实际情况。

3 建立基于制造业领域的 MNAET 服务访问的移动模型

3.1 生产模式分析

要建立面向大型离散制造业车间的 MANET 移动模型,首先需要分析大型制造业车间的生产模式。当前主流的离散

制造系统概括起来可以分为两种类型:流水线型制造和作业型制造,而其工作人员的移动模型也有相应的不同之处。

流水线型生产的主要特点是生产产品的步骤是固定的,也就是每一步工序都是确定的。

生产过程中,根据员工职责不同,所有员工分为两类,即普通员工和物流人员或巡检人员,他们的移动方式也各不相同:如图 1 所示,工人在各自工位范围内沿着流水线随机运动,物流人员或巡检人员沿着流水线随机运动。所以基本上可以把节点的移动都假设限定在直线之内,不过是多条直线(也可以只考虑一条直线),然后移动的节点分为两类,即工人(小范围内随机运动)、巡检及物料人员(随机运动)。

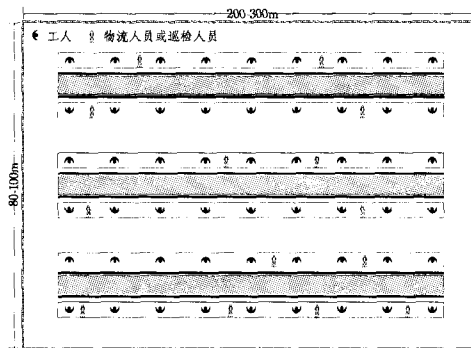


图1 流水线型的生产模式

尽管生产线不同,但生产线上的员工的移动规律是相同的,因此我们就以一条生产线上为例来建议员工的移动模型。

单个节点移动模型假设:

1. 生产线上有 m 个普通操作工和 n 个管理和检查员工,他们的运动是相互独立的,每个员工可以看作是一个移动节点,每个节点的移动速度可以取平均速度;
2. 由于岗位的不同,每名普通操作工的移动或工作区域比较短,设其移动距离均为 l 米;管理和检查员工的移动范围较大,设管理和检查员工的移动距离均为 k 米;
3. 所有员工的运动服从一维的随机运动,且带有两个反射壁;
4. 每个员工的移动是无记忆性的,即每位员工的下一个方向以一定的概率左右移动。

流水型生产方式移动模型的建立的算法(FA)如下:

Step1 设 $W=\{w_0, w_1, \dots, w_{m-1}\}$ 是所有普通员工的集合, $G=\{g_0, g_2, \dots, g_{n-1}\}$ 是所有物流人员或巡检人员组成的集合。由模型假设 2,在实际生产中由于工人巡检或工作的地点基本上是固定的,可把每名工人的固定工作区域划分为若干个固定点。

Step2 w_i 或 g_j 在自己的工作区域内来回移动,在每个工作点还有可能短暂停留,根据实际工作需要和实际情况,可以确定 m_i 或 g_j 确定左右移动的概率 p_{ij} 。

Step3 移动模型假设(3)和 Step2 得到转移概率矩阵 P 。

Step4 利用遍历性得到极限分布 π 。

Step5 由于大部分流水线型的车间之间的距离都是等距的,其纵坐标可以看作是定值,则每位员工在 x 轴的坐标系的位移可由如下公式得到:

$$b(t+\tau)=b(t)+av\tau \quad (1)$$

式中, $b(t)$ 为上一时刻的节点的位移, a 是一个和极限分布有关的表示方向的参数, v 表示平均速度, τ 表示时间间隔。

α 和 v 的定义如下:

$$\alpha = \begin{cases} -1, & p_{ij} < \alpha_s \\ 1, & p_{ij} \geq \alpha_s \end{cases} \quad (2)$$

式中, α_s 表示转移概率的门限值。

$$v = \begin{cases} 0 \\ v_0 \end{cases} \quad (3)$$

式中, 0 表示速度为零, 工人停留; v_0 表示平均速度。由此就建立了流水线型的移动模型。

4 设计基于特定行业领域的 MANET 服务访问可靠性模型建模

4.1 定义 1

设 $n_i(t)$ 表示节点能否正常工作的函数, 即 $n_i(t)=1$ 表示节点能够正常工作, 否则 $n_i(t)=0$ 。

由式(1)我们可计算任意两节点 i 和 j 的距离 d_{ij} , 即

$$d_{ij}(t) = |b_i(t) - b_j(t)| \quad (4)$$

无线信号在无线信道传输要达到一定的门限值, 到达节点时才能从信号中分拣出所要传输的信号。设两节点 i 和 j 的信道的门限值为 $c_d(t)$, 由式(4)可得在时刻 t 的源节点 i 和宿节点 j 之间的链路传输的性能 $c_{ij}(t)$, 则在源节点 i 和宿节点 j 之间能够正确传输的条件是:

$$c_{ij}(t) \geq c_d(t) \quad (5)$$

由此可以得到传输矩阵 $L(t) = l_{ij}(t)$, 其中 $l_{ij}(t)$ 的定义为:

$$l_{ij}(t) = \begin{cases} 1, & c_{ij}(t) \geq c_d(t) \\ 0, & c_{ij}(t) < c_d(t) \end{cases} \quad (6)$$

4.2 定义 2

MANET 服务访问可靠性 (SAR, Service Access Reliability) 是指在 t 时间内网络中任意用户成功向 r 个服务器发起服务请求并获得服务应答的概率, 其中 $r=1, 2, \dots, s$, s 为服务器数量, 本文简记为 R 。

$$R = P_{req}(t_0 \rightarrow t') \times P_{res}(t' \rightarrow t_0 + t)$$

$$t_0 < t' < t_0 + \Delta t \quad (7)$$

式中, P_{req} 表示在 t 到 $t+t_0$ 时间内服务请求成功发送的概率, P_{res} 表示在 t' 到 t_0+t 时间段内服务应答成功的概率。假设服务器数量为 1, 即考虑 $k=1$ 的情况。由定义可得到如下的计算可靠性的公式:

$$R = P_{req}(t_0 \rightarrow t') \times P_{res}(t' \rightarrow t_0 + t) \quad (8)$$

$$P_{req}(t \rightarrow t') = l_{k0} l_{k1} \dots l_{km-1} \quad (9)$$

$$P_{res}(t' \rightarrow t' + \Delta t) = l_{j0} l_{j1} \dots l_{js-1} \quad (10)$$

式中, l_{ij} 由式(6)得到。 t 为定义的超时时间, R 为在 t 到 $t+t_0$ 时间内服务请求成功发送的概率。

由此 R 可由如下的算法 (FSAR) 得到。

- Step1 由算法 FA 得到每一个节点的位置;
- Step2 计算相邻两节点的距离 d_{ij} ;
- Step3 由 d_{ij} 和节点的发射半径得到 $P_{req}(t_0 \rightarrow t')$;
- Step4 继而得到 $P_{res}(t' \rightarrow t_0 + t)$;
- Step5 计算 R 。

4.3 嵌入式可靠性模型

嵌入式模型是指在一个短期内描述连续变化的微分方程模型嵌入到一个长期的描述离散变化规律的离散差分方程中。描述连续变化的微分方程在定性上是相同的, 由于参数和初始条件不同, 导致在定量上有所不同。由第 3 节可知, 可

靠性在小段时间内是连续的和稳定的, 可用微分方程来表示, 而长期是一个离散的差分方程, 因此可以用嵌入式模型来描述可靠性的演变。

由式(8)得到的可靠性计算值是对过去一小段时间内的可靠性的计算, 我们的目的是推断下一个时间间隔节点 i 对节点 j 的可靠性, 以此判断网络安全, 调整网络部署。由前所述, 可靠性是由通信距离决定的, 在下一个时间间隔内的可靠性的判断不仅和当前的距离有直接的关系, 和上一时间内的可靠性本身也有关系, 即可以得到

$$R_{ij}(t+\tau) = \epsilon R_{ij}(t) + (1-\epsilon) R_{ij}^s(\tau) \quad (11)$$

由此可得到如下的嵌入式可靠性模型:

$$\begin{cases} R_{ij}(t) = P_{req}(t_0 \rightarrow t') \times P_{res}(t' \rightarrow t_0 + t) \\ \frac{R_{ij}'(\tau)}{R_{ij}(\tau)} = -d_{ij}(\tau) \\ R_{ij}(t+\tau) = \epsilon R_{ij}(t) + (1-\epsilon) R_{ij}(\tau) \end{cases} \quad (12)$$

4.4 系统应用架构

可靠性模型的应用架构如图 2 所示。通过提取可靠性, 可以为 MANET 的可靠性管理提供有效的定量支持, 并可在此基础上进一步提供访问控制和可靠性安全路由等高层安全服务。

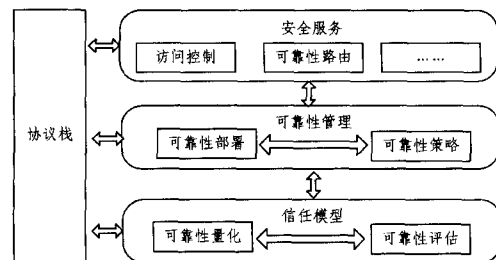


图 2

5 仿真实验

按照模型条件, 设置实验条件, 如表 1 所列。

表 1

m	n	k	l	τ	s
30	2	15	190m	1s	10000

本文模型的实验主要是检验随着节点通信距离的增大整个网络的连接可靠性。其试验结果如图 3 所示。

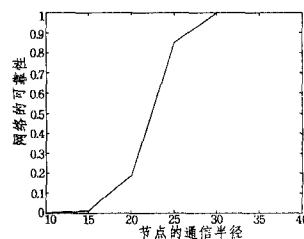


图 3

从图 3 可以看到, 随着节点通信距离的增大, 可靠性也在增大, 在 30m 到 40m 时, 其可靠性已达到了 100%。试验结果对预采用 MANET 体系的网络的实际部署有着重要的指导意义。

同文献[10]相比, 网络的可靠性大约提高 10% 左右, 而且部署和调整时间约为原来调整部署时间的 80%。

(下转第 386 页)

义,可将其推广到城市交通的情况,两者具有一定的相关性,即对学校中交通堵塞程度的判断可以在一定程度上反映出识别城市交通堵塞程度的特征量。因此,上述4个道路堵塞特征量与道路的堵塞状况有着密切的关系。

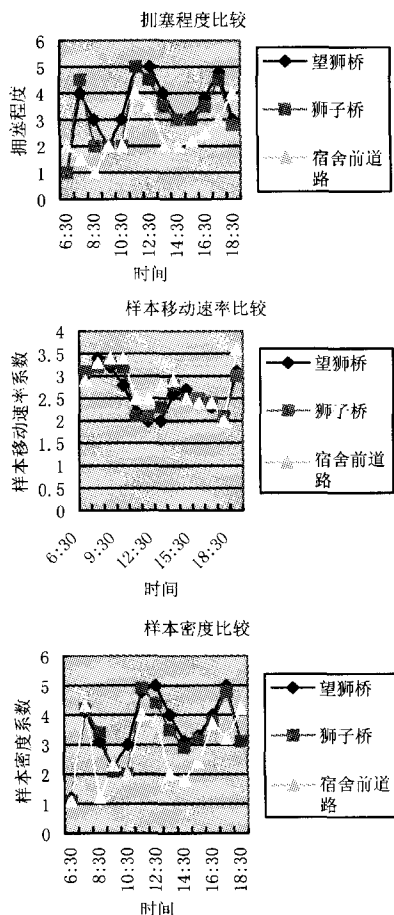


图1 道路拥堵特征量有效性分析

结束语 道路拥堵特征量与实际的拟合程度将随实际大

量数据的收集整理而变得更加准确。通过道路拥堵特征量系统可迅速地判断出相关道路上的实时道路状况,再通过 Web 系统及时地向相关的车辆驾驶者反映出其行驶的道路的堵塞情况,并且通过相关的算法,可以为驾驶者规划出合适的路径。同时,建立在道路拥堵特征量基础上的系统^[9,10]也可以为有关交通管理部门提出参考性的帮助,为交通管理做出贡献。

参考文献

- [1] 董俊,黄传河.改进 Dijkstra 算法在 GIS 导航应用中最短路径搜索研究[J]. 计算机科学,2012(6):1164-1174
- [2] 陈小红,钱大琳.城市道路交叉路口的拥堵预测[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2010(7):72-77
- [3] Camp T, Boleng J, Davies V. A survey of mobility models for ad hoc network research[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2002, 2(5):483-502
- [4] Sommer C, Dressler F. Progressing towards realistic mobility models in VANET simulations[J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 46-48(11):132-137
- [5] Hartenstein H, Laberteaux K P. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 164(6):46-48
- [6] Mahajan A, Potnis N, Gopalan K, et al. Urban mobility models for VANETs[C]// Proceedings of the 2nd Workshop on Next Generation Wireless Networks. Bangalore, India, 2006:1-8
- [7] 安健,桂小林,张文东,等.物联网移动感知中的社会关系认知模型[J]. 计算机学报,2012(6):1164-1174
- [8] 燕科,董雷宏.全国公路交通阻断信息数据统计与分析[J]. 公路交通科技,2009(3):121-125
- [9] 马跃,何小卫,欧阳铁磊.基于 Google Maps 的车辆监控管理系统设计与实现[J]. 计算机与现代化,2010(2):191-196
- [10] 耿庆斋,缪纶,段媛媛,等.基于 Google Maps API 的 Web 地图服务系统研究及应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2009(3):62-66

(上接第 376 页)

参考文献

- [1] Bai F, Sadagopan N, Krishnamachari B, et al. Modelling Path Duration Distributions in MANETS and Their Impact on Reactive Routing Protocols[J]. IEEE J. on Selected Areas in Communications, 2004, 22(7):1357-1373
- [2] Colbourn C H. The combinatorics of network reliability[M]. New York: Oxford University Press, 1987
- [3] Fratta L, Montanari U G. A Boolean algebra method for computing terminal reliability in a communication network[J]. IEEE Trans Circuit Theory, 1973, 20(3):203-11
- [4] Fratta L, Montanari U G. A recursive method based on case analysis for computing Network terminal reliability[J]. IEEE Trans Commun, 1978, 26(8)
- [5] Elfotouh H A, Iyengar S S, Chakrabarty K. Computing reliability and message delay for cooperative wireless distributed sensor networks subject to random failures[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2005, 54(1):145-155
- [6] Cook J L, Ramirez-Marquez J E. Two-terminal reliability analy-

- ses for a mobile ad hoc wireless network[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2007, 92(6):821-829
- [7] Ramirez-Marquez J E, Rocco C M. All-terminal network reliability optimization via probabilistic solution discovery[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2008, 93:1689-1697
- [8] Dimitar T, Sonja F, Bekim C, et al. Link reliability analysis in ad hoc networks [C]// XII Telekomunikacioni forum TELFOR 2004. Beograd, Sava Centar, 2004:23-25
- [9] 赵志峰,赵曦滨,陈丹宁.多维 MANET 可靠性建模研究[J]. 计算机科学,2011,38(5)
- [10] You Zhi-yang, Zhao Xi-bin, Zhao Zhi-feng, et al. Reliability Modeling of Assembly-line Production Oriented MANET[C]// International Conference on Computer Application and System Modeling. 2010
- [11] Padmavathy N, Chaturvedi S K. Evaluation of mobile ad hoc network reliability using propagation-based link reliability model[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2003, 115:1-9
- [12] Chen Bin-chao, Phillips A, Matis T I. Two-terminal reliability of a mobile ad hoc network under the asymptotic spatial distribution of the random waypoint model[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2012, 106:72-79