

摘 要

容错是 WSN 中的主要问题之一，因为它在实际部署的环境中变得至关重要，在该环境中，网络稳定性和减少的不可访问时间非常重要。因为无线传感器网络通常应用于恶劣的环境，传感器的易损性和无线通信容易受到环境影响导致了无线传感器网络的不稳定性。如果在数据在多节点传输的过程中其中一个节点故障则会引发链接故障无法传输数据。本文中，提出在 WSN 中使用的 Ad hoc 按需距离矢量(AODV)路由协议设计一种容错的多径 AODV 算法，即基于多径的 MD-AODV 路由协议，来解决可靠性问题与效率问题。本文为网络中的每个节点创建备份路径来设计和实现备份路由方案。本协议分为一跳最短路径和次短路径同时传输数据包，当节点无法通过最短路径传送数据包时，备用路由立即成为下一个数据包传送的新主路径没有任何中断时间，使得发生节点故障时减少丢包率和减少重新开始路由发现的次数。此外，该提议的路由协议提高了吞吐量和平均端到端延迟，还有后期的网络开销优化。所以，实现了网络的可靠性，可用性和可维护性。仿真表明，所提出的路由方案优于 AODV 路由。

关键词：AODV 算法；无线传感器网络；网络仿真；路由算法

Abstract

Fault tolerance is one of the main problems in WSN, because it becomes very important in the actual deployment environment, in which network stability and reduced inaccessible time are very important. Because wireless sensor networks are usually used in harsh environments, the vulnerability of sensors and wireless communication are easily affected by the environment, which leads to the instability of wireless sensor networks. If one of the nodes fails in the process of data transmission, it will lead to link failure and unable to transmit data. In this paper, a fault-tolerant multipath AODV algorithm, md-aodv routing protocol based on multipath, is proposed to solve the reliability and efficiency problems. This paper creates a backup path for each node in the network to design and implement the backup routing scheme. This protocol is divided into one hop shortest path and sub short path to transmit data packets at the same time. When a node cannot transmit data packets through the shortest path, the standby route immediately becomes the new main path for the next packet transmission without any interruption time, so as to reduce the packet loss rate and the number of restart route discovery in case of node failure. In addition, the proposed routing protocol improves the throughput and average end-to-end delay, as well as the later network overhead optimization.

Key words: AODV algorithm; Wireless sensor network; Network simulation; Routing protocol

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 课题背景和意义.....	1
1.2 无线传感器网络 AODV 路由算法.....	2
1.3 无线传感器发展现状.....	2
1.4 章节安排.....	3
第二章 路由算法和网络仿真软件相关知识.....	4
2.1 无线传感器中的通信网络.....	4
2.2 无线传感器中的通信网络.....	4
2.3 AODV 协议概述.....	4
2.4 无线传感器网络的容错问题.....	7
2.5 OPNET 简介.....	7
第三章 MD-AODV 路由算法无线传感器网络中的设计.....	8
3.1 MD-AODV 算法介绍.....	8
3.1.1 MD-AODV 概述.....	8
3.1.2 MD-AODV 分组设计和更新机制.....	9
3.1.3 路由发现.....	10
3.1.4 路由维护.....	10
第四章 路由算法性能评估.....	11
4.1 网络节点和环境仿真设计.....	11
4.1.1 网络模型.....	11
4.1.2 节点模型.....	12

4.1.3 进程模型	13
4.2 仿真结果评估.....	13
4.2.1 端对端时延	14
4.2.2 网络开销	14
4.2.3 网络吞吐量	15
4.2.4 路由平均平均跳数	16
4.2.5 分组成功投递率	17
4.2.6 仿真结果分析	17
第五章 总结与展望.....	18
5.1 总结.....	18
5.2 展望.....	18
参 考 文 献.....	19
致 谢.....	20
附 录.....	21

第一章 绪论

1.1 课题背景和意义

对于无线传感器网络来说，其属于高新技术产物，在新时代发展过程中它有着十分重要的作用。对于无线传感器来说，它源于军事现今以应用广泛例如矿井下下的有毒有害气体依靠传感器的检测，草原森林的野生动物监控，自动驾驶等。

对于无线传感器网络来说，它和 ADHOC 是完全不一样的，后者以点对点通信为主，无线传感器需要采用广播的通讯方式；在实际的应用场景中无线传感器的电源需要尽可能的微型化；传感器网络要随时应对因各种情况网络变化，如节点损坏，节点无电，节点无法通信等。本文将根据无线传感器网络的特点介绍适用的路由协议，并选择 AODV 路由算法进行设计和仿真。

对于无线传感器来说，其节点在检测环境中，其中有收入模块，很多的节点通过自发的形式使无线网络形成，从而将传感器获取的信息进行传输。所以 AODV（自组网按需平面距离向量路由协议）路由协议非常适合使用在无线传感器网络中来维护路由。对于 AODV 来说，其是分组路由协议，其在节点数量多的网络中应用。只是在目的节点路由缺失的情况下，方可将 AODV 路由协议激活，将请求发出，这就是按需路由协议。本文将 OPNET 应用实施仿真试验，这一建模方法是以面向对象为主的，能够反映实际网络和网络组件的各种结构。OPNET 可以帮助直观地解释传感器网络的基本概念和工作方式，它还可能支持科学家测试其无线拓扑，协议等。

1.2 论文的主要工作和研究内容

（1）无线传感器网络选用的路由算法

无线传感器网络是多个移动节点的集合，它的数据通信同一个节点传输到另一个节点，在这个传输过程中不需要任何集中式的基站也就是去中心化。要实现这种数据传输就需要用到路由算法，AODV 算法是传感器广泛使用的路由协议之一。但是 AODV 的缺点是 AODV 是单径路由，在多节点传输过程中发生节点故障则会发生丢包，网络延迟等故障。本文提出将 AODV 路由算法设计成多径路由在每个节点创建备份路由来提高网络的收敛速度和容错性。而且通过吞吐量比较发现，多径路由能够优化能量的分配，从而提高网络的稳定性^[1]。

（2）无线传感器网络的故障源

在无线传感器网络中导致节点出现通信故障有许多原因包括：物理损坏，通信链接错误，环境干扰，软件错误，恶意攻击等等。此外，传感器节点，传感单元和无线收发器，通常与环境的各种物理，化学和生物学因素相关联。它导致传感器节点的性能可靠性低降低应将损坏的几率变大。即使硬件条件良好，传感器节点之间的通信受以下因素影响许多因素，例如衰落，信号强度，障碍物，天气情况，干扰等等。

（3）AODV 路由算法概述

对于 AODV 来说，这属于数据包路由协议，主要针对移动自组网的，对于节点很多的无线自主网络是十分适宜的。这一算法是结合路由机制来优化表驱动路由。对于目的节点序列号放环来说，其是 DSDV 协议的结果。对于 AODV 协议来说，其属于逐跳路由，并非原路由。对于这一路由协议来说，其有三组，一是路由请求 RREQ，二是路由应答 RREP，三是路由错误 RERR。在分组过程中将标组 IP 头应用，此外还将 654 通信端口应用。这一协议以按需路由协议为主，仅在目的节点路由缺失的情况下，方可将这一协议激活，将请求发出，将节点序列号机制应用，从而使环路出现得以规避，对于传输层来说，其以 UDP 协议为主，不同节点将 IP 地址应用，任意一个节点，对路由表进行维护，这一路由表中将很多的节点路由信息包括在内。

（4）增强容错的 AODV 路由算法设计

在本文中，提出了 MD-AODV 路由协议处理容错性和稳定性的问题通过增强故障在无线传感器网络中 AODV 的容错机制（距离矢量）路由协议。本文通过为所有对象创建备用路由来实现容错机制数据传递主要路径上的节点。当节点无法通过主路由传递数据包，则它立即利用其备用路由来传输下一个即将到来的数据包，而不是先前断开的路由没有任何数据传输中断，以减少由于路径故障而丢弃的数据包的数量并保持数据包传送的连续性在数据传输的主要路径上存在故障。

1.3 无线传感器网络发展现状

无线网络的出现很好的解决了日益增长的服务需求，特别是在检测范围广大的传感器网络，目前传感器网络的研发已经完全从有线网络转移到无线网络。但是无线传感器网络的局限性使得一些产品投入市场仍不成熟有较大的改进空间。近年来无线传感器网络发展迅速，国内外纷纷发表研发成果加快了无线传感器网络的发展。世界上许多发达国家高度重视这项技术，纷纷加入支持 WSN 的资助研究，除了发达国家，其他国家也积极开展科研工作在这项技术，无线传感器网络将成为一个推动人类发展的重要项目。

（1）国外无线传感器发展

外国学者已提出多种基于 AODV 路由协议设计实现在无线传感器网络中，如 AODVJR，是 AODV 的简化版本，经过仿真实验 AODVJR 的性能与 AODV 相同，并说明了简化协议积极影响^[2]。在 IEEE 发表的文章中 AODB-BR 在无线传感器网络中通过创建网格和多路径来实现对 AODV 算法进行优化设计^[3]。

（2）国内无线传感器发展现状

我国对无线传感器网络的研究起步较晚。国家“十五计划”将无线传感器网络作为国家重大攻关项目，我国许多高校和科研机构也纷纷开展了对无线传感器网络的开发与研究。我国有研究提出基于 AODV 的一种有效的节能途径，通过引入基于节能的 AODVM 路由算法 MANET（EAODV），这可以使网络寿命的增加，是此类网络中最重要的参数之一。这个 EAODV 协议，以找出基于能源效率的多路径路由供应以实现负载平衡，并降低数据包的功耗传输并延长 MANET 中的网络寿命。^[4]即使是已发表的 AODVJR 算法也不是完全能适用于无线传感器网络，有研究提出 AODVJR 容易产生大量 RREQ 冗余，在小型网络中还能适用，但随着节点数增加 RREQ 分组数量会以集合倍数增加，影响效率，通过抑制 RREQ 分组冗余的方法提高效率^[5]。

1.4 研究内容

本文有五个部分，每个部分的内容是：

第 1 章对本文的研究背景等进行论述，对无线传感器的产生、发展进行介绍，同时对 AODV 路由算法在国内外的研究成果进行论述，最后给出了本文的结构。

第 2 章介绍了路由算法和网络仿真软件的相关知识 AODV 路由算法概述，IEEE802.11 标准，OPNET 网络仿真工具介绍。

第 3 章介绍了增强容错 AODV 路由算法，主路由发现的设计，备用路径的建立，路由维护。

第 4 章对路由算法性能进行仿真对比，建立仿真环境，端对端时延分析，网络开销分析，吞吐率分析，分组成功成功投递率分析，。

第 5 章对本文的研究工作进行总结和致谢。

第二章 路由算法和网络仿真软件相关知识

2.1 专业名词说明

表 2-1 专业名词说明

术语	说明
AdHoc 网络	自组织对等式多跳移动通信网络
AODV 协议	无线自组织按需距离矢量路由协议
RREQ 帧	路由请求帧
RREP 帧	路由应答帧
RERR 帧	路由错误帧
HELLO 帧	活跃路由链路检测帧

2.2 无线传感器网络中的通信网络

无线传感器网络是移动自组网 Ad Hoc 的一种，不过在本文中的研究中假设节点不带有移动性。无线传感器网络技术主要完成信息的感知和数据的传输。无线传感器网络通常由称为节点的移动设备组成，每个节点都有无线电发射机、接收机和具有感知能力的木块组成。无线传感器网络通常使用无线网通过一个基站（网关）将检测区域的传感器组与管理节点（客户端）连接^[7]节点间节点传输能直接使用路由算法进行通信，不需要经过网关。传感器接受到任务，并感知数据，处理数据后需要把数据发送到客户端进行更高级别的计算时直接或者通过其他传感器节点到达网关。传感器节点通常分布在检测范围中如图 2-1 所示。节点具有收集数据和路由数据的能力。数据通过以下方式路由回接收器通过接收器实现多跳无基础架构。接收器可以与汇聚节点通信通过 Internet 进行通信使得用户可以远程获取监测区域的传感器数据，如图 2-1 所示。

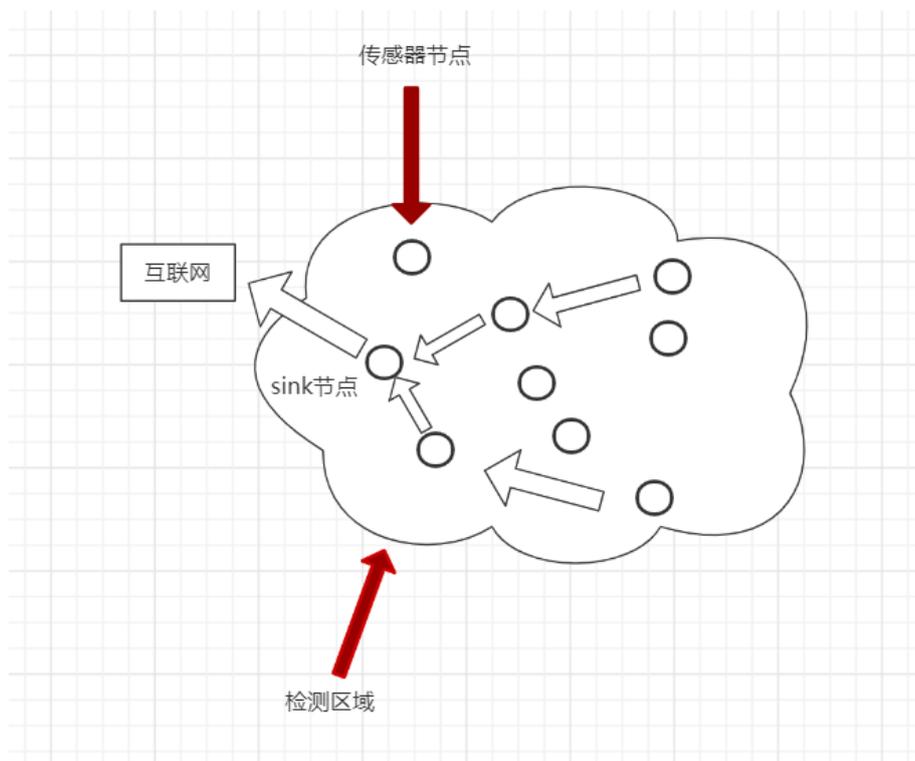


图 2-1 无线传感器网络结构

2.3 AODV 协议

这一协议属于反应式路由协议，就是我们所说的按需路由协议，仅有在目的节点缺失的情况下，方可将这一协议激活，同时将请求发出。这一路由的发起请求图见下图。

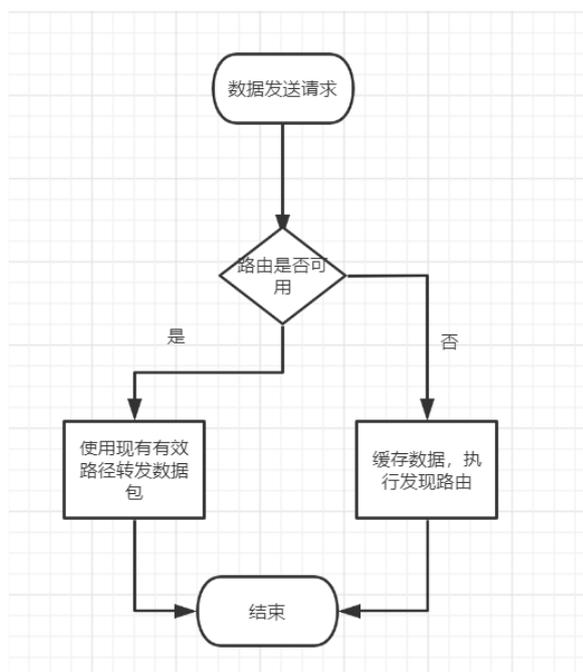


图 2-2 AODV 路由请求流程图

在两个节点之间的路由有效，通信正常的情况下，AODV 路由协议不起任何作用。倘若 A 点中有数据向未知节点 D 进行传输，其可用路由表不存在，便会将路由请求节点进行传播。倘若中间节点将 RREQ 接收的情况下，就会将源路由建立。倘若节点未将 RREQ 接收过，那么其并非目的地，同时目的地路由表缺失，它将重新广播 RREQ^[8]。如图 2-3。

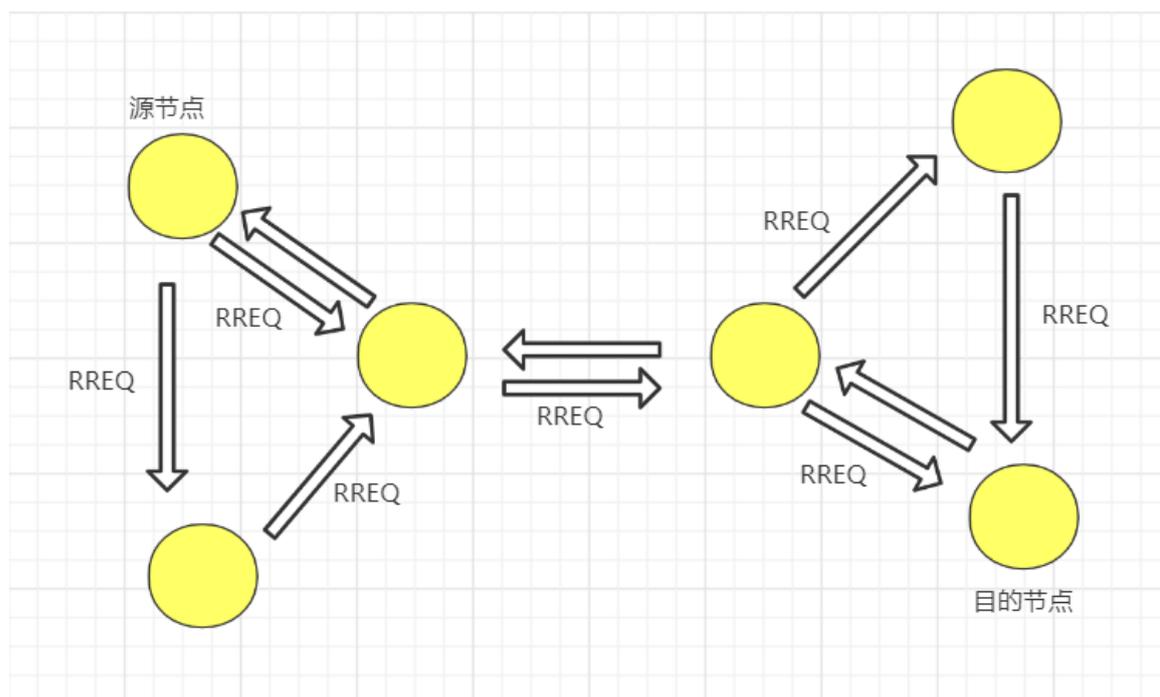


图 2-3 RREQ 请求传播

如果接收节点是目的地或当前节点路由到目的地，对于目的节点来说，使得路由回复形成，就是我们所说的 RREP。其是通过逐跳的形式向源头传播的。在传播过程中，中间节点能够将单独的目的地路由建立。倘若源将 RREP 接收，在目的地路由中记录下来，同时将数据进行传输。如果多个源收到 RREP，将跳数最短的路由选择出来。节点仅对首次获取 RREQ 将应答帧传输，不考虑后来到达的 RREQ。当数据从源流向目的地时，路由上的每个节点都会更新与到源和目标的路由相关联的计时器，从而在路由表中维护路由。如果某个路由在一段时间内未被应用，那么节点就不能对路由的有效性进行确定；这一节点会自路由表中将这一路由删除^[9]。如图 2-4 RREP 应答帧传播。

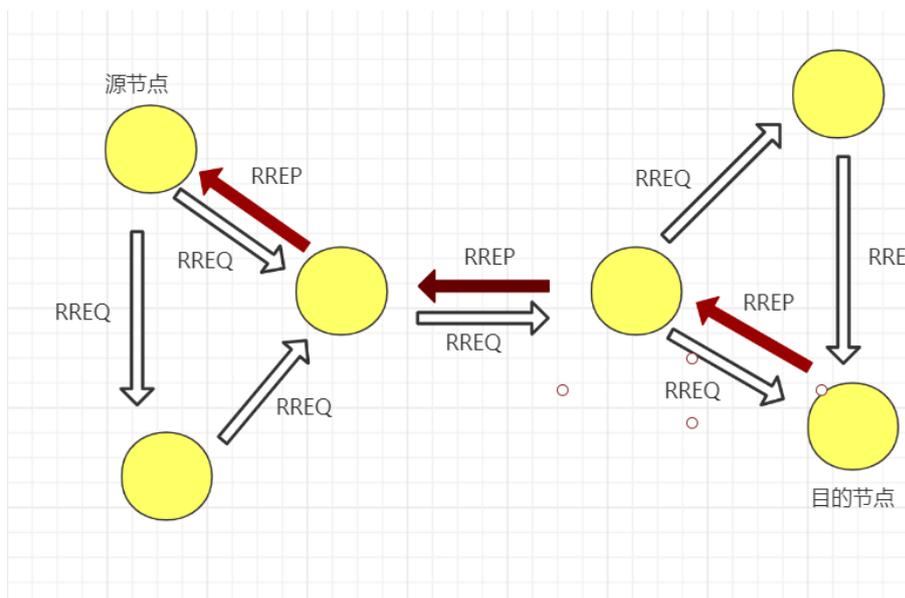


图 2-4 RREP 应答帧传播

2.4 无线传感器网络的容错问题

在 WSN 中传感器节点发生故障非常常见通常是由于电量不足，物理损坏或环境干扰。一小部分传感器节点的故障不应影响整体传感器网络的通信能力和数据处理能力。容错能力指的是网络系统继续提供通信的情况下能够减少故障节点的影响的能力。这主要是通过故障检测和故障恢复。由于传感器节点较为脆弱十分容易出现故障，所以无线传感器网络的可靠性，可用性，容错能力变得十分重要。

2.4.1 无线传感器网络的故障源

一般来说，无线传感器网络在极端的环境中布置，会在不同层中产生不同的问题^[10]。比如，节点电源问题会使节点宕掉情况出现。如果此节点位于路由路径上，则数据传输依赖此路由路径的其他节点将会使得数据丢失，连接中断直至到路由路径收敛。

(1) 节点故障：一个节点包含了多个硬件模块，来自环境的压力和容易损坏的外壳，传感器节点长期暴露于环境之中，阳光直射或水接触会导致短路。

(2) 链路故障：在无线传感器网络中，节点之间的通信链路并不能保证稳定，节点间链路不稳定导致了路由路径的不断变化。路由路径变化需要等待路由路径的收敛，如此一来大大影响了无线传感器的通信效率和能量损耗。

(3) 接收器故障：在更高级别的网络中，收集在设备中生成的所有数据的设备（接收器）网络并将其传播到后端系统受到其组件故障的影响。

2.5 OPNET 简介

在 1986 年，麻省理工的博立建立了 OPNET，这是仿真工具，在很多领域得到深入推广，例如国防等。一直到现在，OPNET 在很多领域得到深入应用，例如军事以及教育等。国内的华为与中内等也开始将 OPNET 应用，将其当成是仿真软件，来对网络性能进行优化，从而使通信网络的有效性全面提升^[6] OPNET14.5 建模仿真软件能够从三个层面上进行模拟仿真，分别是网络域、节点域进程域。该软件适用于新的网络技术研发；其主要在测试网络过程中应用。这一软件具有易于操作的图像化界面，构建网络配置并测试其性能只需要简单鼠标的操作。OPNET 也包括了很多的模型库，能够模拟大多数的硬件设备和通讯协议。OPNET 是一个离散事件模拟器，它在易用性、可扩展性和可模拟场景的能力之间进行权衡。此外，OPNET 相对于其他的网络仿真工具来说，OPNET 有着更短的学习曲线更方便新手进行网络仿真实验。

第三章 MD-AODV 路由算法无线传感器网络中的设计

3.1 MD-AODV 算法

在这一章会提到 MD-AODV 路由算法的设计思路。本论文的研究题目是增强无线传感器网络中 AODV 中路由协议的容错机制，所以本协议的设计是基于 AODV 路由算法的。本文将改进后的 AODV 路算法成为 MD-AODV 或 MDAODV。

3.1.1 MD-AODV 概述

在无线传感器网络中，无线通信的不稳定性和节点的易损性导致了网络维护变得十分困难，使得单路径的 AODV 路由算法的性能受到了很大限制。由于多路径能够很好的提高稳定性和网络资源利用率，所以在将 AODV 优化成多路径的路由算法。增强容错型 AODV 路由协议能够在建立和维护无线传感器网络的节点之间实现容错、自启动、多跳路由。MD-AODV 算法能够快速建立需要通信的节点之间的路由表，针对容易发生节点故障的无线针对传感器网络。本算法可以允许传递数据的主路径上的节点获取备份路由。

这一算法的路由请求帧 RREQ，它与应答帧 RREP 是一样的，和 AODV 的路由帧也是一样的。想要使备份路由得以实现，将 backup”标志字段在 RREP 控制包中加入了。这些控制包信息通过 UDP 协议传输，和常规的 IP 头处理。但是本算法需要将路由请求包泛洪于网络之中，IP 包头中的 TTL 限制了请求包的传播范围。

当数据在主路径传输到目的节点时，就是源节点运行主路径发现过程。在目的节点发送 RREP 包回源节点期间，RREP 包经过的节点都会创建一条已知可用的备份路径指向目的节点（这里是源节点）。这就是运行备份路径发现的过程。这就是容错 AODV 的主要修改的内容。此算法在数据包传输期间，两条路径同时传输数据包，与原有的 AODV 相比提高了可用性。AODV 使用距离矢量算法所以容错 AODV 也一样使用距离矢量算法。节点不需要也不会知道数据包真正的目的地，节点只会知道数据包的下一跳应该去的方向。因此每个节点需要自己管理路由表，也就是说每个节点都是一个路由。在这个使用 MD-AODV 算法的传感器网络中，每个节点都有多份独立的路由表。对于 MD-AODV 来说，其将 AODV 路由表中的信息有效应用，不必将新的分组加入进来，仅以原来的分组为依托，将 backup 字段加入进来，就能够对多路径进行计算。

3.1.2 MD-AODV 分组设计和更新机制

(1) MD-AODV 主要有 4 种分组：HELLO 分组（图 3-1）、RREQ 分组（图 3-2）、RREP 分组（图 3-3）、RRER 分组（图 3-4）。

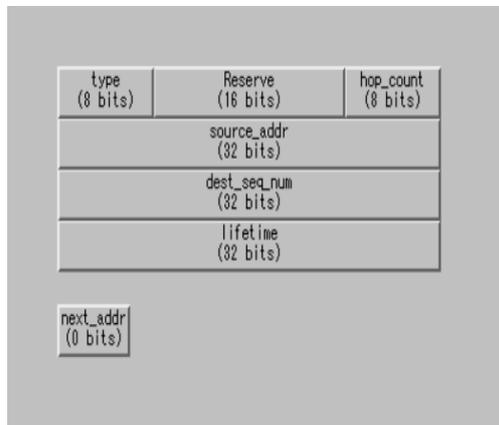


图 3-1 HELLO 分组

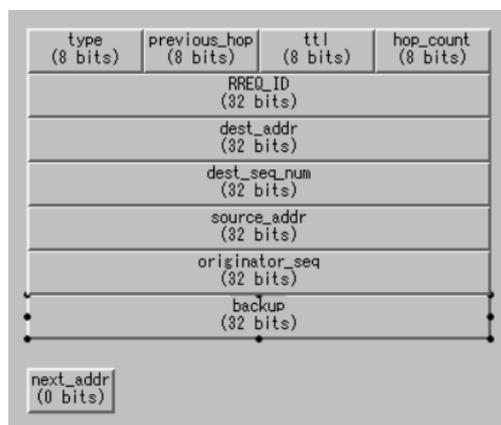


图 3-2 RREQ 分组

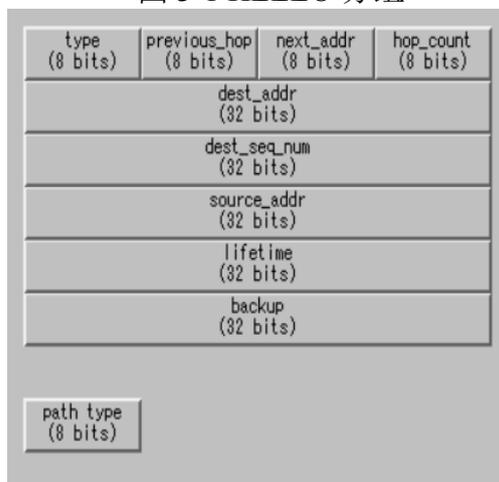


图 3-3 RREP 分组

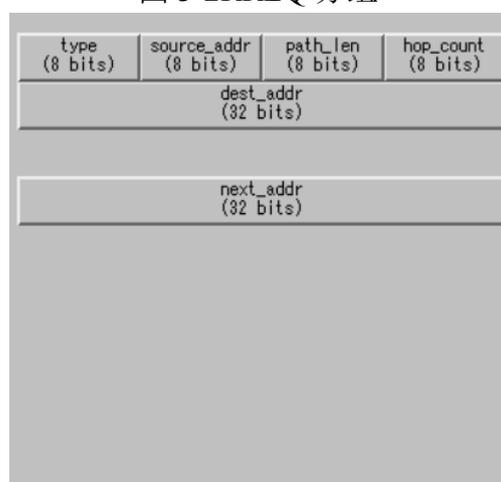


图 3-4 RRER 分组

(2) 更新机制

AD-AODV 与 AODV 一样将目的序列号应用，从而将路由表的更新情况体现出来，使路径无环得以确保。任意一次路由更新均会将目的序列号和原序列值进行对比。倘若新的序列号与原节点序列号进行比较前者大一些，这一路由表的目的序列号的跳数是无限大，同时将地址当成是下一跳的地址；倘若序列号一样，那么将跳数小一些的地址当成是下一跳地址。

3.1.3 路由发现

对于 MD-AODV 路由来说，发现阶段与原 AODV 相似，在源节点没有到目的节点的可用路由时，源节点向所有邻居节点发送 RREQ 分组。与 AODV 不同的是 MD-AODV 在 RREQ 分组和 RREP 分组中加入了“backup”字段来记录第一跳节点和最后一跳节点。MD-AODV 会对 RREQ 广播进行重复性检测，即使发现了重复的 RREQ 报文也不会马上

丢弃也不会转发，而是保留下来做多径发现。

在发现路径的过程中，为了保证链路独立，将判断保留的广播包的第一跳是否与源节点的第一跳相同，如果不同则保留 RREQ 信息作为节点的独立路径。实现代码如图 3-5:

```

else if(dest_seq_num == RT[dest_addr].dest_seq_num)
{
//查看本路径与路由表原有路径是否链路不相交或节点不相交
path_size = op_prg_list_size(RT[dest_addr].path);
for(j = 0; j < path_size; j++)
{
path_info = op_prg_list_access(RT[dest_addr].path,j);
if(first_next == path_info->final_addr)
{
cross_flag = OPC_TRUE;
break;
}
}
}

if(!cross_flag)
{
for(j = 0; j < path_size; j++)
{
path_info = op_prg_list_access(RT[dest_addr].path,j);
if(hop_count < path_info->hop_num)
{
path_info1 = (Path_Info *)malloc(sizeof(Path_Info));
path_info1->next_addr = previous_hop;
path_info1->final_addr = first_next;
path_info1->hop_num = hop_count;
path_info1->lifetime = op_sim_time() + ACTIVE_ROUTE_TIMEOUT;
path_info1->status = 1;
op_prg_list_insert(RT[dest_addr].path,path_info1,j);
}
}
if(j == path_size)
{
path_info1 = (Path_Info *)malloc(sizeof(Path_Info));
path_info1->next_addr = previous_hop;
path_info1->final_addr = first_next;
path_info1->hop_num = hop_count;
path_info1->lifetime = op_sim_time() + ACTIVE_ROUTE_TIMEOUT;
path_info1->status = 1;
op_prg_list_insert(RT[dest_addr].path,path_info1,OPC_LISTPOS_TAIL);
}
}
}
else
{
op_pk_destroy(pkptr);
FOUT;
}
}

```

图 3-5 实现独立路径代码

3.1.4 路由维护

MD-AODV 的路由维护过程与 AODV 十分相似，同样使用了 RRER 分组，不同的是当某个节点传输数据包的过程中所有路径都失效时才会触发 RRER 路由出错分组。节点发出 RRER 分组重新进行路由发现。

第四章 路由算法性能评估

4.1 网络节点和环境的仿真设计

4.1.1 网络模型

在 1km*1km 的仿真区域内分布着 100 个传感器节点，其中 0 号节点为 sink 节点（汇聚节点），其余节点每秒向 0 号节点发送一个数据包，RxGroup Config 模块用于配置节点的单跳通信距离，仿真场景见图 4-1 所示。

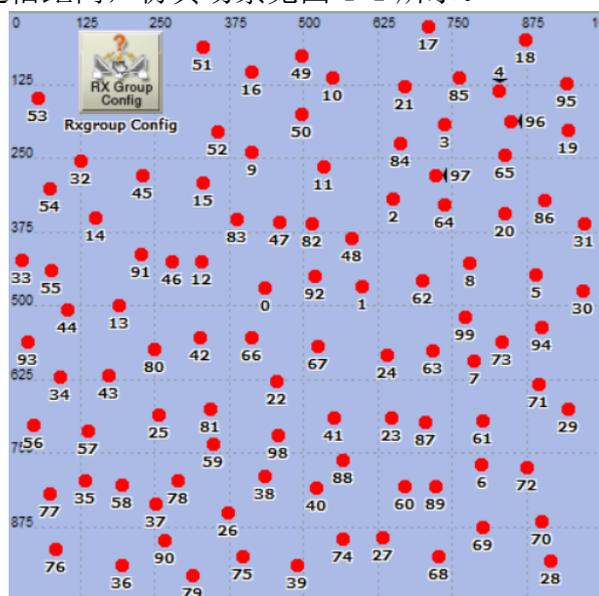


图 4-1 仿真场景

4.1.2 节点模型

对于节点模型来说，其在节点行为定义过程中应用，对于节点来说，它是通过很模块构成的，任意一个模块将节点的这些行为控制着。对于传感器网络来说，上述节点将同样的节点模型应用。在这一节点中，其模块有六个，对于 source 模块来说，其是通过业务形成的，结合泊松分布使数据分组形成；对于 sink 模块来说，其属于业务销毁分组，将目的节点数据分组销毁，上述模块以 OPNET 自带模块为主。对于 route 模块来说，使得多径 AODV 协议和 AODV 协议得以实现，保证分组经过多跳转发传递到目的节点；mac 模块：实现抽象化的 MAC 层，模拟包在 MAC 层排队发送和丢包率等功能；rt_0/rr_0 模块；节点模型见下图。

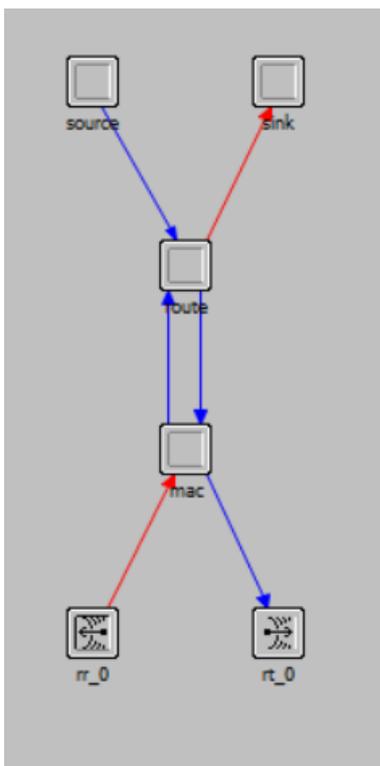


图 4-2 节点模型

4.1.3 进程模型

对于节点模型来说，节点进程模型控制着它的行为，任意一个进程模块，均结合相应的方案将相应的状态机模型选择。对于进程模块来说，其是使算法得以实现的媒介。本文的主要研究内容是增强型的 AODV 算法所以重点在于 route 模块的进程模型。进程模型如图 4-3。

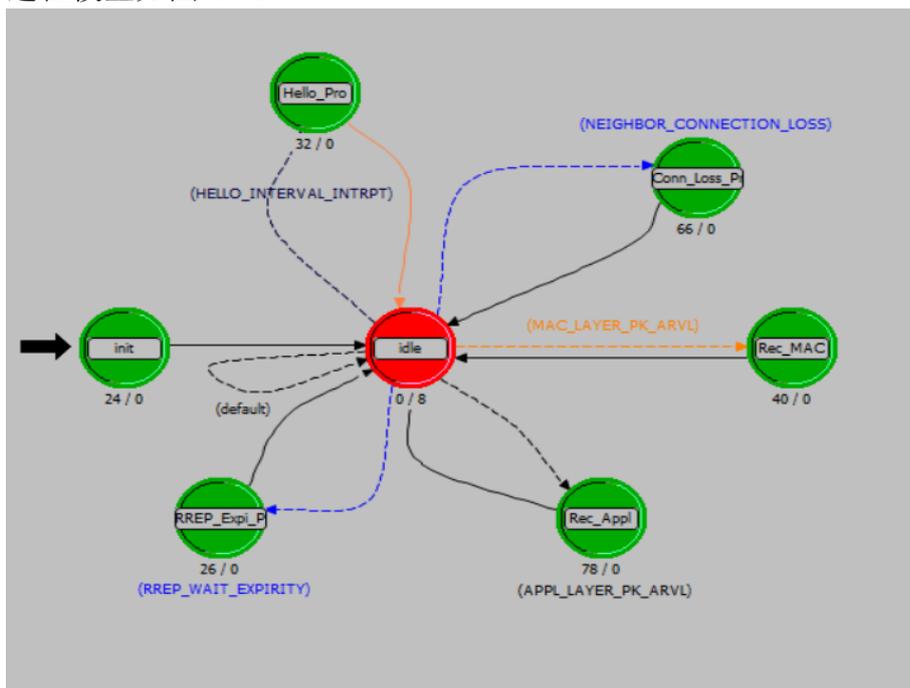


图 4-3 进程模型

对于进程模型来说，其内容就是七个状态机，具体是：

一是 init 状态，就是进程初始化状态，先将 `route_process_sv_init()` 函数调用，从而将状态变量初始化，并对网络统计量进行注册。

二是 Idle 状态，就是空闲状态，在进程初始化结束后，向本状态进入，其事件有很多，例如 HELLO 分组事件以及接收下层分组事件等。

三是 Hello Pro 状态，将 HELLO 分组建立，将分组域填充，同时广播分组。

四是 Rec_Appl 状态，将上层数据分组接收，对路由表进行检查，倘若存在目的节点路由，那么分组向下一跳节点传输，反过来，把分组在缓存队列中插入进来，同时将 `generate_RREQ_pro(dest_addr)` 函数调用，将 RREQ 分组广播出去，将寻路过程发出。

五是 RREP_Expi_Pro 状态：倘若节点 RREQ 分组传播完，将定时器进行设置，对 RREP 分组等待，倘若定时器出现超时的情况，就代表在既定的时间里，未将 RREP 分组接收到，就向本状态进入，在这一状态中对其是不是实施最大重试次数进行判定，倘若无，那么将 `generate_RREQ_pro(dest_addr)` 函数调用，倘若处于最大重试次数，就要将 `delete_queued_data_no_route(dest_addr)` 调用，在缓存队列中无法查找的分组销毁。

六是 Rec_MAC 状态：将 MAC 接口层传输的分组进行接收，那么就向本状态进入，同时对分组类型进行检测，结合不同分组类型，将不同分组进行调用，同时将处理函数进程进行接收。

七是 Conn_Loss_Pro 状态：倘若节点将节点移出后有效检测，那么这一状态进入，从而修复链路。

4.2 仿真结果评估

本次仿真在于比较 MD-AODV 在 AODV 路由协议的分组中加入 backup 标志字段以实现多径路由的网络性能表现。本次的仿真场景为在 1km*1km 的仿真区域内分布着 100 个传感器节点，其中 0 号节点为 sink 节点（汇聚节点）。本次仿真需要比较的数据有端对端时延，网络开销，网络吞吐量，平均路由跳数和分组成功投递率。

4.2.1 端对端时延

它能够将路由有效性体现出来，其主要有三个方面的内容：传输延迟、封装延迟、排队延迟，在 OPNET 仿真中我们可以选择端对端时延的平均数。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/108074143137006051>