可重构数据采集网络路由协议分析

基于微功率无线传输网络特征，针对数据采集网络框架下实现可重构无线网络路由创建与维护需求，分析了一种集自适应、低开销和多路由算法为一体的区域路由算法。

吴小林　李海涛　宋　威　史迪新　冯国铮/国网北京市电力公司电力科学研究院计量中心

吴小林/高级工程师

关键词/Keywords

无线通信·
微功率无线网络·
网络协议·
路由算法·

在传统数据采集网络（Data Acquisition Network，DAN）中，因网络节点传输路由高度依赖网关及链路固定连接性，所以对路由的创建与维护大多采用主动式路由算法或反应式路由算法来实现节点之间传输路由的创建及路由的维护。

可重构数据采集网络（Reconfigurable Data Acquisition Network，RDAN）是一种能够不需要过度依赖现有网关基础而迅速展开的一种网络拓扑结构形式。为此，可重构数据采集网络体系中的网络节点，是可以动态、频繁且不提供任何事先说明和预约地进行离网或入网操作，以适应数据采集网络的工程化需求。因此，这种网络操作特性造就了网络节点群拓扑结构变化迅速，节点间传输链路快速消失或重建现象。

因RDAN的特殊拓扑模型，其传统的多级多跳路由创建与维护的算法受到了挑战，这是因为传统多级多跳泛区域网络的路由创建与维护是不能满足RDAN的应用需求。特别是，在构成泛区域路由协议的各个子算法中，其各个路由子算法将会根据它所涉及的路由区域面积的增大而引起泛区域信息通信量的快速增加，从而导致网络中每个网络节点的成本也快速上升，这个结果与RDAN主体构思完全相悖而行。所以，针对这种应用环境的RDAN，为实现其路由创建与维护的可靠性和有效性，必须另辟网络拓扑构思蹊径和算法思路。

本文分析并阐述的RDAN是一种将传统泛区域网络拓扑结构微缩成多个独立微区域网络拓扑，每个独立微区域仅采用最多2～3跳的有限管控面积。微区域内所有节点具有相应的簇聚性和发布权限公平性，即微区域内每个节点都可以在基于2至多跳的有限微面积管控范围内形成传输区域的正交叠加，而且每个微区域网络中的网络节点又以2至多跳形成自己的微管控面积并逐步延伸和覆盖整个网络全局，RDAN网络拓扑如图1所示。

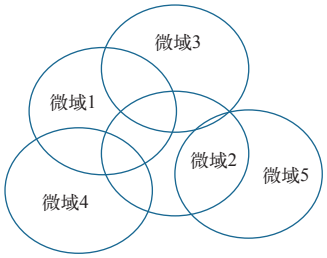

图1　微区域网络拓扑结构

RDAN模型与通信需求

在RDAN中，因网络节点采用可充电便携式无线传输装置，且电池的使用寿命有限，为此，网络需要对无线传输装置的传输距离、RF发射功率以及收/发信息时间需要加以一些限制和约束。

因RDAN是一种对等网络结构，只要当网络中任何两个节点之间的无线通信覆盖范围能重叠，而且其两节点完全符合RDAN的节点传输规范，那么这两个节点就可以进行点对点通信。若需要

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

进行分组传输的节点对之间不存在相邻或直接链路，那么其网络拓扑和路由协议将可以通过微区域有限中继多跳路由来实现分组传输。

RDAN中的每个网络节点都必须具有一个唯一的身份识别码ID，即这些节点都可以通过该身份识别码被网络中其他节点所识别。本文阐述的节点身份识别码可以重叠，这是因为每个节点除了自己唯一的节点识别码外还需要一个微域码来共同标注，其目的是为了杜绝鸽巢现象对节点识别码的设置限制。

在RDAN中不存在传输链路的传递性关系。也就是说，在这种网络拓扑中，两节点之间传输链路的存在并不一定能延伸到第三方节点，正是这种非延伸性结果导致了三节点之间可能存在隐含终端问题，这是RDAN的一个体系瑕疵。

因RDAN中的各个网络节点具有相同的处理和计算能力，所以这些节点又因处于各自相对独立的微区域内，因此，它们可以不需要在一个相同时间段内一定要执行相同的处理和计算。即在同一时间段内，各个节点可以根据网管中心分派的不同任务实施并发性处理。

由于RDAN是不过度依赖网关的一种网络路由计算行为模型，所以，它不再具有类似于标准蜂窝无线网络中的基站、归属位置登记和来访者登记等实体，因此较为方便的集中式功能协调算法就不能在这种网络中得以使用，取而代之的是相对复杂的分布式算法来完成网络协调功能。

此外，因网络实体之间的分组传输都基于无线通信环境，其通信带宽常常是受限的，所以对RDAN带宽的使用一定要最小化，信道通常采用空间复用等技术。由于这种网络节点的传输半径跨距相对较小，节点之间的分组传输通常需要中继节点来协助完成，即大量使用多跳路由。

RDAN路由协议规划

基于RDAN的特殊应用环境，对这种网络路由规划设计作了如下考虑：

1）要求路由协议中的路由算法因其鲁棒性和动态管理模型可以用来提高网络的可靠性和实用性。

2）考虑到网络中存在频繁变化的拓扑结构以及微域通信量受限条件，要求其路由协议算法必须是自适应和可动态调整性。

3）因网络中无线通信带宽有限，而且可能采用空间复用和频率复用等合成技术来保护通信资源的浪费，但要求路由协议算法必须具有低开销特性。

4）因节点之间数据分组传输需高可靠性、高安全性以及高实时性的保障，因此，传输节点之间的传输路由将呈现多路由形式，为此路由协议算法需要体现出多路由特征，从而减少网络传输堵塞并提高网络的抗毁性。

5）摒弃路由协议层次化设计基准思路，采用了平面路由协议设计来降低网络开销等高层网络故障算法结果带来的影响。

为满足上述路由协议规划需求，RDAN路由协议实际上是一种混合路由协议设计技术。该路由协议分成了两大计算模型：一个是微域传输路径节点搜索模型；另一个是跨域传输路径节点搜索模型。由于微域搜索是针对域内节点搜索，一旦搜索结束，其合理的传输路径就驻留在各个相关域内节点的路由表中，即链路连接模型。当执行跨域搜索算法时，这种搜索模型是随传输需求而临时创建的，即链路无链接模型，其搜索的传输路由是否需要实施跨域驻留将取决于该传输路由的使用寿命和呈现概率。若网络处于频繁移动及节点入/离网高概率时，跨域路由就不需要长期保留，以降低路由维护的开销。值得注意的是，对于一个高效率路由算法来说，网络拓扑的变化通过算法必须被限制在发生拓扑变化的有限区域中，而不应像传统路由算法那样，把网络拓扑的局部变化状况分发到整个网络中，结果导致网络维护成本大大增加。

RDAN路由的实现

传统的DAN中，每个网络节点都有一张需要占用较多网络资源的本地路由表，一旦发现路由中断时，它立即对其进行标注并向源节点回送路由故障。这种回送可能引起回送分组在网络中发

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

生碰撞，不立即回送将出现路由故障反应迟钝。另外，路由维护是周期性地进行，且维护区域可能会在整个网络中蔓延，所以网络维护成本很高。而且在路由创建时，路由请求分组中需要携带目的节点、寿命和选项等传输控制信息，使其传输分组长度增加，这也不利于传输路由安全性的提高。

在RDAN路由协议中，它秉承了主动式路由协议算法并通过FPRP MAC协议，建立起一个个微域且域内节点都具有各自存储器来存放这些节点之间的互连路由。一个基于2跳的微域与跨域网络拓扑结构如图2所示。协议中把这些微域命名为路由选择域，处于各个微域内的节点命名为微域节点。微域内呈现相邻关系之节点处于固定链接状态，呈现与其他微域节点相邻的微域节点称为跨域节点。由于微域节点是固定链接，一旦发生分组传输，微域内立即呈现相关传输路由。若发生微域网络拓扑改变，其变化将被限制在微域内而不会发生泛域网蔓延效应。在RDAN中，微域节点将路由选择半径d_{xmit}定义为微域节点发送的信息能够被无误接收的最大距离。这是因为RF传输覆盖范围包括源微域节点以及一跳范围内的所有微域节点。所以，一个微域节点的路由选择域内成员越多，将导致该微域节点的路由选择域半径d_{xmit}越大，这样要求更新信息通信量也就越多。需要注意的是，路由选择域不是物理距离的描述，而是节点间连接（跳数）的描述。另外，在路由维护中每个微域节点只维护到达其路由选择域内的所有微域节点的路由信息。因此，尽管RDAN网络可能非常大，但更新信息只在局部范围内传播。

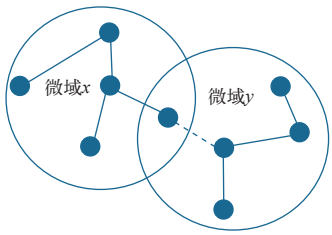

图2　微域与跨域网络拓扑结构

RDAN路由协议由微域相邻节点搜索协议、微域路由协议和跨域路由协议三个部分组成。微域相邻节点搜索协议是各个微域节点周期性地广播HELLO信标来表示自己的存在。当某相邻微域节点接收到HELLO信标后，它将接收信标中的发送微域源节点地址记录在本地的相邻节点列表中。由于每个微域节点是周期性地扫描本地相邻节点列表，若某相邻节点在最大等待时间都没收到该相邻节点的信标，那么则认为该相邻节点已丢失。若接收到本地相邻节点列表中没标记的相邻节点信标，那么接收节点就认为在路由选择域内发现了一个新入网节点。当某微域节点发现一个新相邻节点和丢失一个相邻节点时，它都认为本地所管辖路由选择域内出现了新链路状态，则要使用微域相邻节点搜索协议对本地相邻节点列表信息进行更新，并以中断方式提请上层的微域路由协议提取新链路状态信息，微域相邻节点搜索协议宏算法如图3所示。

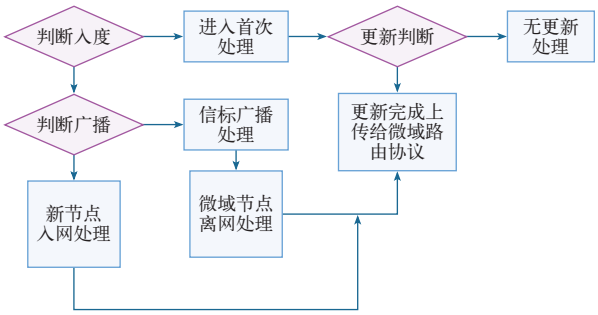

图3　微域相邻节点搜索协议宏算法

RDAN路由协议中的微域路由协议采用了基本链路状态算法来实施，它只是在路由选择域半径确定的范围内对链路状态进行更新。准确地说，该协议是一种在有限区域内进行链路计算的技术。所以，执行该协议的微域节点将根据路由选择域内每个微域节点的链路状态进行路由选择域内的路由计算。

当域内节点原始拓扑发生改变后，其域内各个节点在本地存储的链路状态表也发生改变。而在通过最小生成树算法后所重新建立的域内拓扑，原始域内节点可能会出现一些变化，比如某些原微域节点现在变成了跨域节点，而这些新的跨域节点所构成的链路就必须要删除，理由是微

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

域路由协议是微域内路由选择协议，它与微域外路由选择协议无关，微域路由协议宏算法如图4所示。

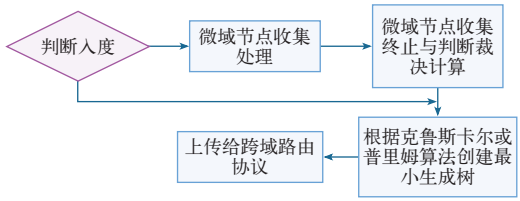

图4 微域路由协议宏算法

RDAN路由协议中的跨域路由是用来寻找与其他微域节点形成传输路径的目的节点路由，该跨域路由算法采用路由选择域结构不同于洪泛查询/应答算法。在该路由算法中，它提高了节点正确响应路由请求的概率,且有利于相邻位置节点的传输。当需要把消息从某微域节点广播到其他跨域节点时，该协议采用跨域广播分组服务来实施。跨域广播可以通过多目标传输来实现，这个多目标传输就是源节点对跨域节点进行洪泛广播，并由找到目标节点的跨域节点回送一条传输路由给源节点。

跨域路由协议算法基本思路是路由寻找发起微域节点,首先检查需要传输数据分组的目的节点是否在本地微域内，若目的节点在本地微域内，那么说明到达目的节点的传输路由已经形成，它就不需要再进行对传输路由的寻找。如果目的节点不在本地微域内，那么发起路由寻找的微域节点就需要广播一个跨域路由请求给微域内所有跨域节点。当处于各个微域边上的跨域节点收到跨域广播路由请求后，它们也执行这种跨域搜索目的节点的操作。若目的节点在某个跨域节点微域内，那么该跨域节点就在本地创建一个能到达目的节点的路由应答分组并回送给发起寻找之节点。若目的节点不在跨域节点微域内，那么跨域节点又将路由请求转发给本微域内所有跨域节点，它们再次重复此处理过程，直到所需路由形成为止，跨域路由协议宏算法如图5所示。

跨域路由协议中的跨域路由创建过程在协议中称为路由延伸与扩充过程，该过程将本地地

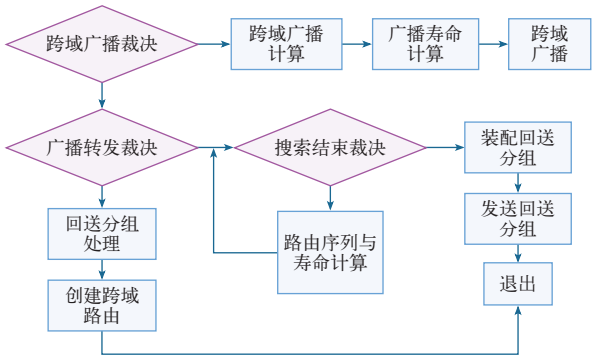

图5 跨域路由协议宏算法

址添加到接收路由请求分组中，通过这种添加操作到达目的节点的上行跨域节点的地址序列就是从源节点到目的节点的路由。在回送分组的装配过程中，由目的节点的上行跨域节点将该地址序列进行反转操作，它就可以获得一条源路由。若RDAN的节点资源可以提供存储路由信息的有限存储资源，那么就有利于减少请求分组长度并提高响应速度。

基于分布式路由算法的RDAN路由协议可经过一次路由查询就能够得到多个路由应答，发起路由创建的源节点根据回送的路由QoS参数，就可以从中选出一条最佳路由。针对RDAN用途将微域半径选为2跳的理由是它与FPRP MAC协议可实施无缝连接，因为FPRPMAC协议正好实现2跳区域互连。另外，跨域路由协议中要实现全网路由搜索是只有网络拓扑发生真正变化的时候，因为局部变化只需相关节点做出相应调整即可，这就能大幅度地降低路由寻找成本。

结束语

由于RDAN是一个复杂网络系统，目前采用的各种路由算法要能达到其完美性是不可能的，因为某种路由算法可能解决RDAN某些路由问题，但它又可能引发一些其他路由瑕疵，即使将多种算法融为一体也难以做到完全消除这些计算漏洞。所以，本文仅对这种可用于RDAN的路由协议作了一些分析，还期待更多完美路由协议算法能涌现，并有效解决RDAN应用环境的各种需求。

（收稿日期：2015－07－10）EA

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net