

现代 Ad hoc 网的移动 IP 路由技术^{*}

Mobile IP Routing Technology for Modern Ad Hoc Network

石 坚 董天临 石冰心 王征应

(华中理工大学电子与信息工程系 武汉430074)

Abstract The paper places emphasis on principles of routing technologies for ad hoc networks by table-driven and on-demand routing based on when and how the routes are discovered. Then it concludes the characteristics of all types of these routing technologies and their suitable conditions. At last the paper presents that supporting QoS guarantee is one of trends in the field of mobile IP routing technologies.

Keywords Ad hoc networks, Table-driven routing protocols, On-demand routing protocols

1. 引言

随着 Internet 和通信技术的不断发展,网络的接入方式多样化,笔记本电脑、个人数字助理(PAD)、移动手机、智能化移动终端的实现和使用,使用户可在任何时候、任何地点访问网络信息成为可能,Internet 移动接入并进行多媒体通信是未来发展的趋势。目前,通常将无线网络的结构分为两种类型:基础结构网络(infrastructure network)和非基础结构网络(infrastructureless network)。在基础结构无线网络中,网络的连接由固定网关和有线网关两部分组成,固定网关基站为其管辖的移动主机提供无线接入访问,移动单元通过基站间的越区切换(handoff/hand over)可任意移动而不会终止通信,基站则通过有线网关与主干网连接。实际上这种无线接入方式只适合最后一跳是移动用户,而在非基础结构无线网络中,每个站点都是移动的且可以任意的方式动态地连接,因此采用的是多跳的无线接入方式,每个接点都可作为路由器用于发现和维持网络的路由。Ad hoc 网络就是非基础结构无线网络的典型代表,它起源于 DARPA 分组无线电通讯网络^[2],比较适合于紧急的查询与援救工作、会议,使用户在荒凉地带可快速共享信息,进行数据查询操作^[1],它是未来移动 Internet 采用的重要网络结构之一。由于动态的网络结构特性,现存的有线路由技术已不再适合 Ad hoc 网络,如何开发新的移动 IP 路由技术是解决移动 Internet 接入的关键技术之一。

目前,国际上根据网络路由生成的时间和方法的不同,通常将 ad hoc 网的路由协议分为两大类:表驱动路由协议(Table Driven Routing Protocols)和需求路由协议(On-demand Routing Protocols),前者每个站点都保留着整个网络的最新路由信息,后者则在网络站点有分组发送时,才在源站点生成源-目的路由,本文分别从表驱动和需求路由两种类型重点阐述了 Ad hoc 网路由技术的工作原理,总结了各种路由技术的特点,最后根据目前国际上的研究热点揭示移动 IP 路由技术发展的趋势。

2. 表驱动路由协议(TDRP)

在 TDRP 路由协议中,由于每个站点在本地都必须保留反映整个网络最新变化的路由表,因此当网络拓扑变化时,必须将包含路由变化的报文传播给各站点,以便获得一致的最新网络路由。根据传播网络拓扑变化信息的方法和所需的相关路由表数目的不同常将 TDRP 路由协议分为:动态目的序列距离矢量法(DSDV)、无线路由协议(WRP)、全局状态路由协议(GSR)、鱼眼状态路由法(FSR)、分层状态法(HSR)、区域分层链路状态路由协议(ZHLS)和聚类顶点网关交换路由协议(CGSR)等多种路由协议。本节重点描述它们的特点。

2.1 动态目的序列距离矢量法(DSDV)

DSDV 是基于经典的 Bell-Ford 路由算法,并作了一些改进^[3],采用时间驱动和事件驱动技术控制路由

^{*} 高等学校骨干教师资助计划,石 坚 博士生,从事数据通信与高速网技术方面的研究,董天临 博士生导师,教授,从事无线通信与计算机网络的研究,石冰心 博士生导师,教授,从事现代计算机网络技术与优化的研究,王征应 博士生,从事网络路由技术方面的研究。

表的传送,即每个移动站点在本地都保留一张路由表,其中包括所有有效信宿点、路由跳数、信宿路由序列号等信息,信宿路由序列号用于区别新旧路由,因此可避免回路的产生,每个站点周期性地将其路由表传送给邻近站点,当其路由表发生变化时,站点也会将其路由信息传给邻近点。

DSDV 修改的路由表信息在向邻近的网络站点传送中,采用“全倾倒入”(full dump)或“追加修改”(incremental update)两种方法,其主要区别如表1所示。

表1 “全倾倒入”与“追加修改”的比较

	传送信息内容	占用分组数	适合场所
全倾倒入方式	整个路由表	占用分组数多	网络变化频繁
追加修改方式	改变的路由制式和信宿路由序列号	占用分组数少	网络相对稳定

当邻近站点收到包含修改的路由表信息后,先比较信源-信宿路由由序列号的大小,信宿路由序列号大的路由将采用,而信宿路由序列号小的路由则淘汰,若相同,则采用最佳制式的路由(如最短路径),为了消除最佳路由的频繁变化,站点首先根据历史记录,估计产生路由所需的停留时间 T(settling time),推迟一个 T 再发送修改的路由信息。

2.2 无线路由协议(WRP)

WRP 是一种表距离-矢量路由协议^[4],每个站点都包含一个距离表、路由表、链路开销表和一个报文重传表。

当网络路由表没有任何变化时,接收站点需回传一个空闲“Hello”报文以示连接,否则,修改距离表,寻找更优路径。新的路由信息需反馈给原始站点以便其修改路由表。这种算法的特点是当检测到任意邻近点变化时,则检查所有邻近点的坚固性以消除回路,具有较快的收敛性。

2.3 全局状态路由协议(GSR)^[5]

其工作原理与 DSDV 类似,采用链路状态路由法,但避免了路由报文的泛洪。它包括一个邻近点表、拓扑表、下一跳路由表和距离表。当链路的状态发生变化时,通过比较报文与本地路由表中的信宿路由序列号大小,决定拓扑表的修改,若路由表发生变化则广播给其它站点。

2.4 鱼眼状态路由法(FSR)

在 GSR 中,较长的路由修改报文会浪费相当大的网络带宽,针对这一缺陷,FSR 对 GSR 进行了改进^[6],在路由修改报文中,它并不包含所有站点的信息,因此可大大缩短报文的大小;与中心站点的距离越近,信息交换越频繁,反之则交换频率越小,使得每个站点都可获得其邻近点准确且详尽的信息,而随着与中心站点

的距离加大,超过站点的鱼眼范围时,信息的准确性降低,但并不影响路由的正确选择,这是因为,即使网络站点没有远距离站点的准确信息,当分组的传送离目的站点越近,路由信息就越准确。通过这种算法,可大大降低路由修改信息对网络的负荷,比较适合大规模的网络。

2.5 分层状态法(HSR)

HSR 协议的特点是将移动站点进行逻辑划分并多层次聚类(cluster),即整个网络由聚类组和聚类顶点(cluster-head)组成^[4]。物理聚类中的各个站点相互广播其链路信息,聚类顶点负责对聚类组的信息进行总结并通过网关向邻近聚类顶点发送信息。如图1所示,这些聚类顶点又是高层次聚类组的成员,它们彼此交换链路信息和有关低层聚类组的信息,算法完成后,每一层的站点又向其低层传送相关信息,因此低层次具有网络拓扑信息;每个站点有一个分层地址,可采用从根开始到此站点所经过的聚类号的分配方法,网关具有多个分层地址,以保证网络站点间的通信,每个站点又具有逻辑地址,并在逻辑子网的本地管理服务器(LMS)上注册,LMS 则向高层通告其分层地址进而传给所有的 LMS,当分组进行网络传输时,先通过本地 LMS 查到目的站点的 LMS 分层地址,将分组发送到目的站点的 LMS,再通过目的站点的 LMS 转发给目的地。一旦信源和信宿站点彼此获得对方的分层地址,则后续的分组可进行直接传输而无须通过 LMS。由于采用网络的逻辑地址与分层地址进行路由选择,因此可适应网络的变化。

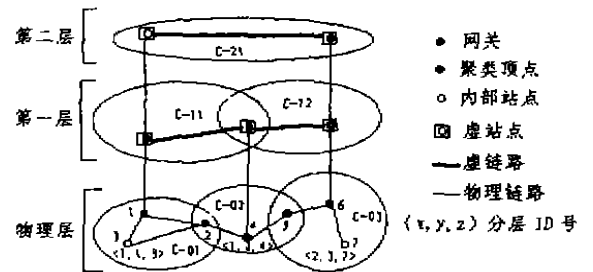


图1 HSR 聚类示意图

2.6 区域分层链路状态路由协议(ZHLS)

在 ZHLS^[7]协议中,将网络分为非重叠区域拓扑,节点层和区域层,并没有区域顶点。通过节点层,能够获得区域内各站点的物理连接情况,若两个区域内的站点之间有物理上的连接,则此两个区域间就存在虚链路。区域层拓扑则描述区域间的连接状况。而且,ZHLS 中具有两种链路状态分组(LSP):节点 LSP 和区域 LSP,前者含有邻近站点信息并在本区域中传播,后者则包括区域信息并全局传播,这样网络中的每个

站点都可获得本区域站点的连接状况和区域间的连接信息,因此只要给出目的站点的区域ID和节点ID号,信息分组就可以通过路由从基本区域到达目的区域,再通过目的站点的ID,传送到目的站点。ZHSLS也比较适合拓扑经常变化的网络。

2.7 聚类顶点网关交换路由协议(CGSR)

CGSR^[8]以DSDV算法为基础,将网络分为多个聚类,每个聚类拥有一个聚类顶点,所有属于聚类顶点通信范围的站点都属于此聚类,因此网关属于两个或多个聚类。在动态网络中,为克服频繁地选择聚类顶点所造成的网络性能下降,CGSR采用最小聚类变换算法(LCC),即当网络的变化造成两个聚类顶点合并或有一个站点移出所有聚类区域时,才进行新的聚类顶点的选择。

一般该算法按如下方式工作:每个站点在本地都有一个聚类号码表以映射每个站点和聚类顶点,该聚类号码表周期性地广播给整个网络,当站点收到其它站点的广播信息后,采用DSDV算法修改本地聚类号码表,并且每个站点都有一个路由表,其分组信息转发过程如图2所示:当源站点有信息要发送时,先将分组传送给本区域的聚类顶点,再由聚类顶点转发给网关,然后由网关转发给下一个聚类顶点,直至目的站点的聚类顶点,最后由此聚类顶点发送给目的站点。

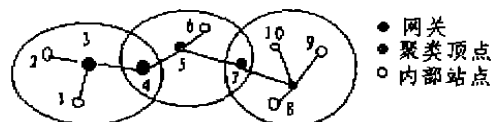


图2 CGSR路由示意图,站点1、9分别为源、目的站点

3. 需求路由协议

上述表驱动路由协议的共同点是在每个站点都保留一个最新路由表,而在需求路由协议中,只有当站点需要发送数据信息时才启动路由发现机制,创建路由表,当到达目的站点或路由不再需要时,则本地路由表无效。目前国际上也有一些常用的需求路由协议。

3.1 聚类路由协议(CBRP)

在这种协议中,网络站点被分成多个聚类,当站点出现于网络时,标为“非确定”状态,同时启动定时器,广播握手信息,聚类顶点获得握手信息后,立即回应一个握手触发报文;当非确定站点收到此报文,则修改为“会员”状态,若超时,它又有双工链路与其它邻近点相连,则它就被选为聚类顶点,否则,站点状态不变,如此往复。

每个站点又保留一个邻近站点表,它指出链路的状态(单工或双工)和邻近点的状态(聚类顶点或为成

员),聚类顶点保留本聚类区域中所有成员信息以及邻近聚类表,邻近聚类表用来描述邻近聚类组的相关信息,如与邻近聚类组相连的网关、聚类顶点等。

当站点有数据发送时,它向邻近聚类顶点广播路由请求分组,邻近聚类顶点收到此请求后,查看目的站点是否在本聚类组内,若是则它直接将请求发送给目的站点,否则转发给邻近聚类顶点。当目的站点收到此分组后,则沿着请求分组中存储的路径返回给源点一个回应包,若源在一定时间内未收到回应,则按指数后退一个时间段再发送路由请求分组。

CBRP^[9]的特点是采用源路由算法和路由缩短法,即当收到一个路由请求分组的同时,网络的拓扑又发生了变化,则站点沿着该路由向最近的邻近点发送分组信息以减少路由的跳数。当检测到链路断开后,就向源点发送一个出错报文,采用本地修复机制进行恢复,分组就可通过修复的路径抵达目的站点。

3.2 Ad hoc 需求距离矢量法(AODV)

AODV^[10]是DSDV的改进,它根据需要创建路由,以减少广播数。当有信息包需要传送时,为了寻找路径,源节点广播路由请求分组,邻近点收到广播后再向其它邻近点广播(但丢弃收到的重复路由请求分组),直到到达目的地或者到达已有最新路由的中间站点。路由请求分组采用序列号方式以避免回路,并保证中间站点只回应最新的信息。

当站点转发一个路由请求分组到其邻近点时,在本地只对第一次出现的请求分组进行复制,以便为后续的路由回应分组构造反向路径,但它只适合对称链路的网络。

若源节点移动时,路由表必须重新初始化;若中间站点移动,其邻近点会发现链路的失效,并将链路失效的信息通告给其上行邻近点,直到源点收到该信息,然后根据需要重新构造路由。

3.3 动态源路由协议(DSRP)

DSRP^[11]也是一种源路由需求协议,它采用路由缓存技术,用于存储源路由信息,当学习到新的路由时则修改路由缓存内容。

在此协议运行过程中,包括非常重要的两个方面:路由发现机制和路由维护机制。

当有信息包要发送时,源站点先检查缓存中是否有到达信宿的路由信息,若有一个非过期的路由,则可直接采用,否则就广播一个路由请求分组进行路由初始化;路由请求分组中含有源/目的地址和一个唯一的标识符,中间站点收到后,判断其是否有到目的站点的路由,若没有,则将其地址附加到分组的记录中,再转发给邻近点。为了限制路由请求分组的传播数目,只有当收到的分组信息是最新的且路由记录中没有站

点地址时,站点才处理之,在收到的路由请求分组的路由记录中已包含源点到此站点的跳数序列,当目的站点进行应答时,它将路由记录信息从路由请求分组中复制到应答分组中;若是中间站点的应答,则将缓存中到目的站点的路由附加到路由请求分组后,再放入应答分组中,在返回应答过程中,先检查路由缓存中是否有到源站点的路由,若网络链路是对称的,则可采用反向解析获得,否则,站点必须初始化到信源的路由,依托新的路由请求进行路由应答。

在路由维护机制中,DSRP 采用两种分组:路由差错分组和路由的确认^[12]。当数据链路出现致命的传输问题时,会产生一个路由差错分组,站点收到此分组

后,从其路由缓存中删除出错的路由跳数,所有包括此出错跳数的路由都将被截去此段,确认分组用于识别路由链路的正确运行。

3.4 临时预定路由算法(TORA)

TORA^[13]是一种源初始化需求路由协议,它采用链路反向的分布式路由算法,具有高度自适应、高效率 and 较好的扩充性,比较适合高度动态移动、多跳的无线网络,其主要特点是控制报文定位在最靠近拓扑变化的一小部分站点处,因此站点只保留邻近点的路由信息。TORA 包括三个基本模块:路由的创建、路由的维护和路由的删除。

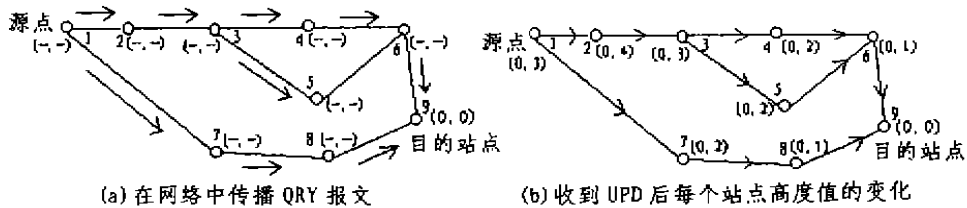


图3 TORA 的路由创建过程,括号内的数值分别表示参考层和站点的高度

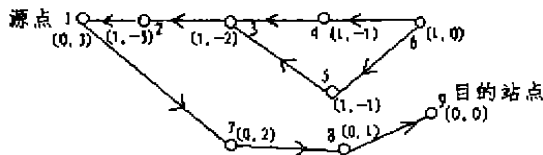


图4 当站点6,9间的链路失效时,以站点6为新的参考层重新建立路由

路由的创建采用 QRY 和 UPD 分组,首先将目的站点的高度(用于在此五部分中传递预定参数)初始化为0,其后的各站点为 Null,源点广播一个 QRY 分组,具有非空高度值的站点响应一个 UPD 分组,收到 UPD 的站点,将高度设为高于产生 UPD 的站点高度。具有较大高度的站点为路由的上行,具有较低高度值的站点被认为处在下行,这样就构成一个定向无循环图,图3为 TORA 路由的创建过程:图3(a)描述了 QRY 报文在网络中的传播,图中站点6没有传播站点5的 QRY 是因为它已事先传播了站点4的 QRY;在图3(b)中,源点可接收站点2,7的 UPD,但由于站点7的 UPD 中所给出的高度值最小,因此源点只根据站点7发来的 UPD 高度值进行修改。

当站点的移动导致 DAG 路由断开时,路由维护模块就重新产生一个源/目的 DAG,当站点的最后下行链路失效或没有下行链路时,则产生新的参考值,由邻近点负责传播,如图4所示,当站点6与9之间的链路失效时,在站点6产生新的参考层,重新建立新的路由,

此时一些链路进行反向传输以适应新的参考层。TORA 还可传播一个广播路由清除分组以删除无效链路。

但在 TORA 中,特别是当一组相互协调的站点同时进行分区检测、删除路由和建立新路由时,容易引起震荡,这是因为 TORA 采用站点间的协调方式,它与距离-矢量法中无限计数问题类似,除非这种振荡是临时的且是收敛的。

3.5 联合路由(ABR)

ABR^[14,15]采用新的方法解决无线路由问题,避免了回路、死锁和重复分组等缺陷,它定义了一种新的路由制式,称为联合稳定度,用于描述两个站点在时间和空间的连接稳定性,站点的联合稳定度高,说明站点处于低移动状态,反之处于较高移动状态,ABR 的实质就是发现长期有效的路由。

在 ABR 中,根据站点的联合稳定度选择路由,每个站点周期性地产生信号(beacon)以表示它的存在,当邻近点收到一个 beacon,就修改它的相关表,若收到来自相同站点的信号,则增加与此站点的相关度。

ABR 协议由三部分组成:路由发现、路由重构(RRC)和路由删除。路由发现采用广播查询和等待应答的循环方式(BQ-REPLY),源首先广播一个 BQ 报文,各站点只转发一次 BQ 包,当中间站点收到 BQ 报文后,将其地址和相关标记值附加到此报文中,后续站点删除其上行站点的邻近点联合稳定标记实体,只保

留与其自身和上行站点有关的实体,到达目的站点的每个分组包含有各路径站点的联合稳定标记值,这样目的站点通过检查各站点的联合稳定标记值,选择最佳路由。当多条路由有相同联合稳定标记值时,则选择具有最小跳数的路径。一旦路径选定,目的站点沿着被选定的各路径发送一个应答分组。有应答分组经过的路径为有效路径,其它路径保持非激活状态,因此可避免重复分组到达目的站点,RRC 包括局部路由发现、无效路由的删除、有效路径的修改和新路由的发现等,它视不同站点的移动而定。若是源点移动,将引起一个新的 BQ-REPLY 处理,因为 ABR 是源路由协议,路由通知报文(RN)用于删除与下行站点相关的路由实体。当目的站点移动时,其直接上行站点删除此路由。本地查询处理(LQ(H)),H 为上行站点到目的站点的跳数)用于初始确定该站点是否仍然可达。若目的站点收到 LQ 分组,则选择最佳局部路由并应答;否则初始站点超时并返回到下一个上行站点。RN 报文发送给下一个上行站点去删除无效路由并通知它进行 LQ(H)处理,当这样的处理导致路径回退超过一半时,则 LQ 处理不再继续,源站点初始化一个新的 BQ 处理。

当所发现的路由不再需要时,源节点发送广播一个路由删除(RD)报文通知各站点从路由表中删除此路由实体。这里,RD 报文采用全广播方式而非直接广播方式,主要考虑到源站点还没有意识到在 RRC 中已发生的站点的变化。

3.6 信号稳定度路由协议(SSR)

SSR^[1]是根据站点间的信号强度和站点定位稳定性来选择路由的。它由两部分协议组成:动态路由协议(DRP)和静态路由协议(SRP)。DRP 用于保留一张信号稳定表(SST)和一个路由表(RT)。SST 存储着邻近站点的信号强度,它可强可弱,这可通过邻近站点间链路层上周期性传送的信号加以判断。所有的传输由 DRP 接收并处理,修改后的分组由 DRP 传给 SRP。SRP 对接收的分组进行判别,若是接收站点,则将分组压入堆栈,否则寻找 RT 中可到达目的站点的路由再转发,若 RT 中没有到目的站点路由,就启动路由搜索处理去发现路由。如果这些路由请求分组是通过信号较强的通道转发到下一跳,并且还未被处理过,目的站点选择首先到达的路由搜索分组并将它返回,因此分组的传送很可能选择的是最短和最小拥塞的路径,因此 DRP 将路由由回应报文沿着反向路径发送给路由请求者,并相应地修改沿路各站点的 RT 表。

路由搜索分组的传送必须选择信号非常稳定的路径,选择弱信道会导致中途将分组丢失。当源点收到应答前已超时,则改变报头中的 PREF 值以表示选择了一个弱信道,这是因为此链路很可能是分组进行传送

的唯一路径。

当检测到一个失效链路时,中间站点向源点发送一个差错报文以表明出错的信道,源收到差错报文后,向网络发送一个删除报文通知所有站点,并启动一个新的路由搜索处理模块去发现新的路由。

4. 基于 Ad Hoc 网的 QoS 保证路由技术

在 Internet 上为不同业务提供 QoS 保证一直是国际上研究的热点之一,其内容主要包括:QoS 的结构体系、路由技术、资源预留和准入控制等技术,而如何实现移动 IP 的 QoS 则是一个非常棘手的问题,这也是移动 IP 路由技术发展的方向之一。虽然国际上已研究了适合 Ad hoc 网的多种路由技术,正如第 2、3 节所述,但它们的研究重点在于如何为频繁变化的移动网络提供高速有效的最短路由,对网络的流量只能做到“尽力”传输,而不能为多媒体业务提供 QoS 保证。

尽管在有线网络中已研究出多种支持 QoS 的路由技术^[17,18],但不能直接应用于移动 Internet 中,这是因为:(1)大部分有线网络的路由算法依赖于有效的精确网络状态,而在移动 IP 网络特别是在 Ad hoc 网中,由于所有站点都是可移动的,使网络拓扑变化较大,因此所获得的网络状态都是不精确的,文[19,20]虽然研究了基于非精确信息的路由算法,但它要求必须获得网络拓扑的精确信息,而这在 Ad hoc 网中是十分困难的。(2)在 Ad hoc 网中,由于各站点可在任何时间、任何地点自由加入、离开和重新加入网络,这将导致已建立的路径可能在任何时候被中断,因此如何维护和动态重建路由对于保证 QoS 传输同样是至关重要的,任务也显得十分艰巨。

近几年来,有关 Ad hoc 网的 QoS 保证的研究才刚刚开始,而在路由技术方面已涉及到组播路由技术、分布式路由技术、启发式搜索技术、非精确路由算法、RSVP、准入控制等方面,这也是未来移动 Internet 路由技术的重点研究内容。

总结 随着移动通信和计算机网络的不断发展,为用户提供“无缝”连接、实现多媒体通信已提到日程上来。由于移动的特性,以往用于有线网络的各种路由协议已不再适应于移动/无线网络,必须发展新的路由技术以满足移动的要求,本文主要阐述了非基础结构网络中 Ad hoc 网的路由协议,根据路由生成的时间和方法的不同,重点描述了表驱动路由和需求路由中几种典型的路由协议的工作原理和特点,同时阐述了支持 QoS 保证的路由技术是移动 Internet 发展的方向之一。

(下转第 33 页)

(data)和关于数据的信息(属性(properties)或元数据(metadata))。

4.2 动态聚合能力

完整的数字对象定义,特别是依赖于数字对象中的高阶信息标引,使结构化圆圈节点具备了动态聚合的能力。搜索引擎、聚类软件可以充分利用这种能力,动态、高效、准确地按照用户查询要求,即时组织信息资源并提交。图7给出了面向对象的链接信息系统响应用户查询请求、动态聚合后的效果。

类似于门户站点的 WWW 信息管理结构,图7中也存在两类链接:依赖1阶信息建立的动态链接,以及0阶信息内部固化的链接。在分布式网络环境中,面向对象链接信息系统的好处在于,能够将内容节点的结构化数据直接复制到搜索引擎,避免搜索引擎盲目索引,从而提高了索引的水准。在本地海量信息资源的应用环境,只有结构化的内容,才可能在智能软件帮助下,

聚合形成品质良好的“我的读物”。比较而言,简单的圆圈节点虽然也可在全文智能检索软件帮助下,形成“我的读物”,但其品质完全依赖软件的智能水平,而软件智能必将面临模糊语义识别等方面的巨大困难。

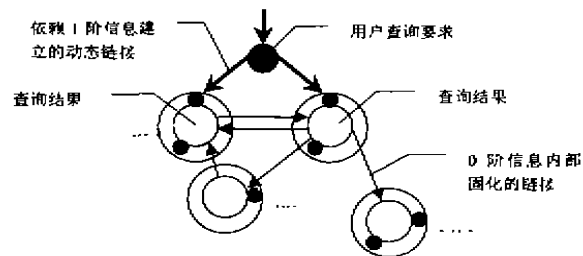


图7 面向对象链接信息系统的动态自组织

(下转第24页)

(上接第41页)

参考文献

- 1 Rover E M, Toh C-K. A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks. *IEEE Personal Communications*, 1999, 6(2): 46~55
- 2 Jubin J, Tornow J D. The DARPA Packet Radio Network Protocols. In: *Proc. of IEEE*, 1987, 75(1): 21~32
- 3 Perkins C E, Bhagwat P. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. *Comp. Comm. Review*, 1994(Oct.): 234~244
- 4 Murthy S, Garcia-Luna-Aceves J J. An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks. *ACM Mobile Networks and App. J., Special Issue on Routing in Mobile Communication Networks*, 1996(Oct.), 183~197
- 5 Chen Tsu-Wei, Gerla M. Global State Routing: A New Routing Scheme for Ad-hoc Wireless Networks. In: *Proc. IEEE ICC' 98*
- 6 Iwata A, et al. Scalable Routing Strategy for Ad Hoc Wireless Networks. In: *Proc. IEEE ICC' 98*
- 7 Joa-Ng M, Lu I-T. A Peer-to-peer zone-based Two-Level Link State Routing for Mobile Ad Hoc Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Special Issue on Ad Hoc Networks*, 1999(Aug.) 1415~1425
- 8 Chiang C-C. Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel. In: *Proc. IEEE SICON' 97-1997*, 197~211
- 9 Jiang Mingliang, Li Jinyang, Tay Y C. Cluster Based Routing Protocol, IETF Draft, August 1999
- 10 Perkins C E, et al. Ad Hoc On-demand Distance Vector Routing, IETF Draft, October 1999
- 11 Johnson D B, Maltz D A. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, IETF Draft October, 1999
- 12 Johnson D B, Maltz D A. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Network Mobile Computing, T. Imielinski and H. Korth, Eds., Lulwer, 1996. 152~181
- 13 Park V D, Corson M S. A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithms for Mobile Wireless Networks. In: *Proc. INFOCOM' 97*, Apr. 1997
- 14 Toh C-K. A Novel Distributed Routing Protocol to Support Ad hoc Mobile Computing. In: *Proc. 1996 IEEE 15th Annual Int'l. Phoenix Conf. Comp. And Comm.*, Mar. 1999. 480~486
- 15 Toh C-K. Long-lived Ad Hoc Routing Based on the Concept of Associativity. IETF Draft, May 1999
- 16 Dube R, et al. Signal Stability Based Adaptive Routing for Ad Hoc Mobile Network. *IEEE Personal Communications*, 1997(Feb.): 36~45
- 17 石坚, 邹玲, 董天临, 等. 遗传算法在组播路由选择中的应用. *电子学报*, 2000, 5(128): 88~89
- 18 石坚, 董天临, 石冰心. 网络路由算法的研究. *计算机工程与应用*, 2000, 9
- 19 Guerin R, Orda A. QoS-based Routing in Networks with Inaccurate Information. *Theory and Algorithms. Infocom' 97, Japan*, April 1997
- 20 Lorenz D H, Orda A. QoS Routing in Networks with Uncertain Parameters. *Infocom' 98, March 1998*