



基于合并的 DTN 订阅查询传输协议^{*}

曹 佩, 钱江波, 陈叶芳, 陈华辉

(宁波大学信息科学与工程学院 宁波 315211)

摘 要: DTN 是从自组织无线网络中抽象出来的网络模型, 它不要求网络的全连通, 因此更适合实际自组网的需求。大部分 DTN 传输协议研究的是如何把数据高效、无区分地传给汇聚点。本文提出的基于合并的 DTN 订阅查询传输协议(如 SMR), 充分利用 DTN 节点自身的处理能力, 能够在有限的时间内利用节点间的每一次相遇机会尽可能多且有效地传输有用信息。实验结果显示, 随着传输时间的延长, SMR 在 DTN 广播式订阅查询系统和洪泛式订阅查询系统中都显示了良好的性能, 增强了 DTN 订阅查询系统的实时性需求。

关键词: 延迟容忍网络; 订阅查询处理; 信息合并

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.03.013

Merger-Based Subscription Query Transport Protocol in DTN

Cao Pei, Qian Jiangbo, Chen Yefang, Chen Huahui

(College of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: DTN is a network model derived from self-organizing wireless networks. It is suitable for actual needs of self-organizing networks because it does not require network's full connectivity. How to efficiently transport data to sink node without distinction is being considered in most studies of DTN transport protocols. A DTN's merger-based subscription query transport protocol was presented, called SMR, which fully utilizes the processing capacity of the nodes themselves in the system. Experiment results show that the SMR protocol performs better than ER and SWR protocols in both DTN broadcast subscription query system and DTN flooding subscription query system. SMR could be a good candidate to enhance the real-time demand of DTN subscription query system.

Key words: delay tolerant network, subscribe query processing, message merger

1 引言

无线网络技术的发展促使许多新型无线网络诞生, 如车载网络、外太空网络、野生动物追踪网络和稀疏传感器网络等。这些网络有一些共同的特点: 间歇连接、长时延、不对称数据速率、低信噪比、端到端的链接很多时候都是不存在的。DTN(delay tolerant network, 延迟容忍网络)就是

从上述新型网络中抽象出来的网络模型。这类网络利用节点移动带来的相遇机会实现通信, 按照“存储—移动—转发”的方式传输数据。传输方法如图 1 所示: ①试图把数据传送给⑤, 但是由于通信距离有限, ①无法直接与⑤通信, 由于节点的移动, 某一时刻①可以与②通信, 然后②可以把数据传给④, ④再传给⑤, 从而完成数据的传输。

目前, DTN 中数据传输协议的绝大部分研究是考虑如

^{*} 国家自然科学基金资助项目(No.60973047), 浙江省自然科学基金资助项目(No.Y109118), 浙江省科技厅基金资助项目(No.2011C21076), 浙江省教育厅基金资助项目(No.Y201120729), 宁波市自然科学基金资助项目(No.2012A610065)

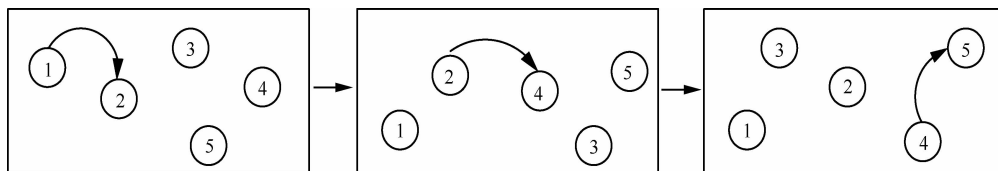


图1 存储—移动—转发的数据传输

何把节点携带的数据没有区分地、尽量地传送到汇聚节点。但实际应用中单个节点收集的信息种类多,信息接收者可能只想接收某类信息,同时也为减少网络中传送的无用数据,此时需配置一种灵活的动态信息分发和处理系统,这样的系统称之为发布/订阅系统。一个传统网络的发布/订阅系统模型由3部分组成:代理节点(broker node)、事件发布者(publisher)、事件订阅者(subscriber)。发布者以“事件”的形式将信息发布到系统中;订阅者定义订阅条件,表示对系统中某特定的事件感兴趣。通常发布者首先发布信息给某些信息代理(中间的节点),然后订阅者向该信息代理注册订阅,由信息代理进行过滤。

2 DTN 中订阅查询处理的相关研究

由于 DTN 的间断连通性,传统的发布/订阅路由技术在 DTN 环境下并不适用,目前有关 DTN 的查询处理和发布/订阅系统的研究较少。参考文献[1]根据 DTN 的特点给出了 DTSN(delay tolerant sensor network)中发布/订阅系统的网络模型,进而提出了一种基于团体的发布/订阅系统事件传输协议——CET 协议 (community-based event transmitting protocol)。参考文献[2]提出了一个 DTN 中发布/订阅通信的社会感知覆盖。参考文献[3]提出了一种新的传输协议 SPF(short-pass-feedback),它是一种基于时间数据收集、复制、分发的两阶段协议,能够收集和分析与地理轨道有关的时间开销。参考文献[4]中使用 DTN 绑定协议,目标是使用户查询网络中任意位置上其他节点存储的内容,并评估节点获得寻求信息的机会。参考文献[5]研究了移动系统怎样利用人们的社会交互性来改善系统性能和查询命中率,建立了一个跟踪驱动模拟器,使得人们能够在社会环境下重建移动系统。参考文献[6]用数据扩散减少 DTN 中的查询时延,利用社会网络追踪分类以及研究社会网络中以同质性现象为基础的4种扩散方法。参考文献[7]提出了一种新颖的方法支持 DTN 中的协同缓存,该方法以概率选择为度量来协调多个缓存节点响应用户查询,优化平衡了数据访问和缓存开销。本文的订阅查询处理是指订阅者发布的订阅信息(以下简称为查询信息)中

包含了某些查询条件,系统节点之间在进行信息传输的过程中要根据订阅信息进行查询处理。与原有的发布/订阅系统相比,本文的订阅查询处理系统侧重于如何依据订阅者发布的查询信息进行信息传输。

大多数 DTN 的数据传输协议都要用到复本,利用复本进行传输又分为两类:不限制复本的传输,典型代表就是 ER(epidemic routing)^[8];限制复本的传输,典型代表是 SWR(spray and wait routing)^[9]。ER 本质上是一种洪泛算法,每两个节点相遇时都会交换对方没有的信息。每个节点都会把携带的信息转发给遇到的所有邻居节点,让网络中尽可能多的节点存储信息的复本,目的是提高信息的投递概率,最终把信息传输给汇聚节点。如图1中①把某一条信息传给②后,下一时刻①、③相遇,③如果没有收到此条信息,①可以继续把该信息传给③。SWR 传输每条信息分为两个阶段:第一阶段是 spray 阶段,节点将信息分发到 N (N 为一条信息的最大拷贝数) 个不同的、没有存储该信息的代理节点;第二阶段是 wait 阶段, N 个不同的代理节点负责等待,直到把该信息转发给目的节点。SWR 的数据传输方式如图2所示:源节点 S 想把某一信息传给目的节点 D ,但它不能直接与 D 通信。假定复本数为3,第一阶段 S 把信息转发给没有存储该信息的前3个节点 R ,第二段由这3个 R 节点负责转发该信息给 D 。

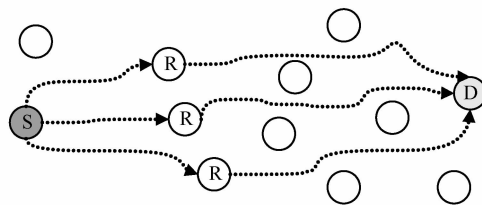


图2 SWR 数据传输协议示意

与原有的研究成果相比,本文的贡献主要体现在以下两方面。

- 提出了 DTN 订阅查询传输协议 SMR, 该协议充分利用了节点自身的信息处理能力,能够有效地降低传输时延,提高传输效率。



- 模拟实现了广播式订阅查询处理模型和洪泛式订阅查询处理模型。在这两种模型下,SMR 与传统的 DTN 传输协议做了比较,实验结果显示,SMR 性能明显优于传统的 DTN 传输协议。

3 网络模型

假设网络系统为一个二维区域,网络模型如图 3 所示。其中,灰色的节点为订阅节点(subscribe node),在系统中充当订阅者,也是发布信息的目的节点,主要用来发布查询信息和收集自身感兴趣的信息,当它需要某些特定信息时,就会生成查询信息发布到系统中;黑色节点是信息发布节点(publish node),发布某些特定的信息,而且能够生成符合查询条件的信息;透明节点为代理节点,在系统中充当代理,主要是在保存自身事件信息的同时,负责协助查询信息和发布信息的传输。

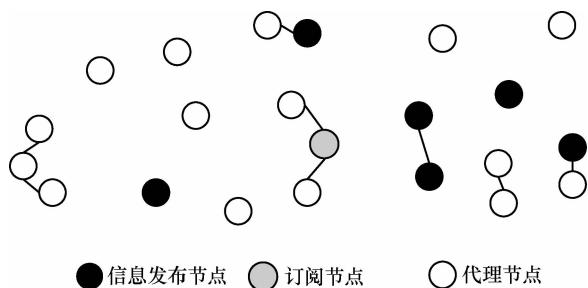


图 3 网络模型示意

系统中每个节点都有一个信息队列,用来存储自身信息,每种信息都包含 5 个域,信息产生节点 From,表示信息由哪个节点产生;信息目的节点 To,表示一条信息最终应被传送给哪个节点;信息产生的 Id,表示一条信息区分其他信息的编号;信息字段 MegField,表示信息域;信息的 Size,表示信息大小。一条信息的结构如图 4 所示。

From	To	Id	MegField	Size
------	----	----	----------	------

图 4 信息的结构

根据订阅节点传输信息距离的长短,订阅查询处理可以分为两类:广播式订阅查询处理和洪泛式订阅查询处理。广播式订阅查询处理中,订阅节点能够传输查询信息的距离很长;洪泛式订阅查询处理中,订阅节点传输查询信息的距离较短。

广播式订阅查询处理的过程主要分为以下 3 个步骤。

- (1) 订阅节点广播查询信息,代理节点和信息发布节点都可以收到此查询信息。

(2) 信息发布节点收到查询信息后,如果自身能够与订阅节点通信,则直接把发布信息传送给订阅节点,否则先把发布信息传送给代理节点,通过代理节点的帮助按照一定的数据传输协议(如 SWR、ER)把发布信息反馈给订阅节点。

(3) 代理节点在接收一条信息之前,首先根据所接收查询信息的查询条件,判断是不是订阅节点所要接收的发布信息。如果是则接收,不是则丢弃。

洪泛式订阅查询处理的过程主要分为以下两个步骤。

(1) 订阅节点生成查询信息后,通过洪泛方式向其他节点发送,其他节点收到查询信息后,亦通过洪泛方式向邻居节点传输。

(2) 每个节点准备接收一条信息时,首先检测是不是查询信息(检测的依据为信息是否包含查询条件),检测过程分为以下两种情况。

- 如果是则接收,然后检测其信息队列中有没有符合查询条件的信息。如果没有,保存此查询信息;如果有而节点又能够直接与订阅节点通信,就直接把信息传送给订阅节点,否则通过其他节点按照一定的数据传输协议寻找合适的机会传送。
- 如果不是,则检测其信息队列中是否保存有查询信息。如果没有,丢弃;如果有,需要与队列中现存的查询信息的查询条件进行比对,判断此信息是不是符合查询条件的信息。如不符合则丢弃;如符合则先保存,等待合适的机会按照一定的数据传输协议进行传送。

DTN 的订阅查询系统要解决的关键问题是如何使订阅者通过发布查询高效、可靠地收集自己感兴趣的信息。订阅事件的收集成功率是最主要的设计目标,同时还要考虑事件信息的平均传输时延。

4 基于合并的 DTN 订阅查询传输协议 SMR

因为 DTN 中节点间的相遇机会及通信时间都非常有限,所以要想在 DTN 中实现实时性比较难。如果想提高 DTN 中节点的数据信息传输效率、降低传输时延、增强实时性,可以充分利用节点自身处理能力,而以往 DTN 中的数据传输协议较少涉及 DTN 系统中的这些处理能力。

下面以 A、B 两个节点之间的传输过程(节点 A 与节点 B 建立连接,节点 B 向节点 A 传送数据)为例,讲述 SMR 的具体传输过程。其中,Id 表示一个节点信息队列中

某一信息的编号, ID 表示一个节点信息队列中所有信息编号的集合, S 表示某一集合, $AddTo(Id, S)$ 表示把某一编号对应的信息加入相应的集合, $Delete(Id, S)$ 表示从相应的集合中删除某一编号对应的信息, $Merger(I_d, I_d)$ 表示合并两个编号对应的信息, S_T 表示信息传输集合, S_M 为合并信息集合, S_Q 表示一个节点信息队列中存储的信息集合。具体的传输过程如下所述。

(1) 节点 A 与节点 B 建立连接后, 节点 A 检测 $B.ID$ 中的每一个 $B.ID$, 如果它不在 $A.ID$ 中, 节点 B 执行 $AddTo(B.ID, B.S_T)$ 。

(2) 传输开始后, 节点 B 传输 $B.S_T$ 中的信息到节点 A。

(3) 如果 $B.S_T$ 中某一 $B.ID$ 对应信息的目的节点恰好为节点 A, 则在传输完成之后节点 B 执行 $Delete(B.ID, B.S_Q)$, 并且节点 B 会通知其他信息监听节点此信息已被传送到目的节点。整个数据传输过程如图 5 所示。

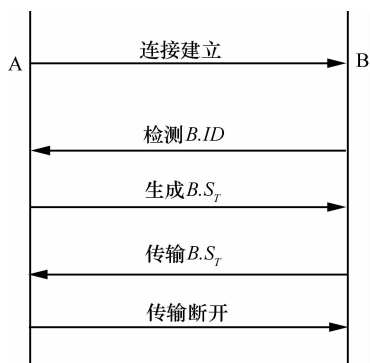


图 5 SMR 传输信息过程

(4) 在节点 A 与节点 B 的传输结束, 而节点 A 的下次传输开始之前: 如果节点 A 的信息队列中没有存储订阅者发布的查询信息, 则节点 A 直接等待下次信息传输, 否则节点 A 需要对部分信息进行合并操作。合并过程分为信息查找和信息合并两个步骤。

信息查找: 节点 A 根据其信息队列中存储的查询信息的查询条件, 对于每一个 $A.ID$ 对应的信息, 如果它符合查询条件, 则节点 A 执行 $AddTo(A.ID, A.S_M)$ 。信息查找过程如图 6 第一阶段所示。

信息合并: 节点 A 对 $A.S_M$ 中的信息按照加入集合的先后顺序进行合并, 合并操作如图 6 第二阶段所示。合并操作分为以下 5 个步骤。

① 节点 A 执行 $Merger(A.S_M.Id_1, A.S_M.Id_2)$ 后, 判断合并后信息的 Size 是否小于系统中信息的最大 Size (目的是为了防止合并信息过长, 一次相遇无法传输完而导致合并信息在传输过程中被丢弃, 不能够被接收节点接收)。

② 如果小于信息的最大 Size, 节点 A 执行 $Delete(A.S_M.Id_1, A.S_M)$ 、 $Delete(A.S_M.Id_1, A.S_Q)$ 、 $Delete(A.S_M.Id_2, A.S_M)$ 、 $Delete(A.S_M.Id_2, A.S_Q)$ 后继续合并上次合并后的信息与 $A.S_M$ 中的下一条信息。

③ 如果等于信息的最大 Size, 节点 A 停止合并, 并把合并后的信息插入其信息队列中, 同时节点 A 执行 $Delete(A.S_M.Id_1, A.S_M)$ 、 $Delete(A.S_M.Id_1, A.S_Q)$ 、 $Delete(A.S_M.Id_2, A.S_M)$ 、 $Delete(A.S_M.Id_2, A.S_Q)$, 其余信息返回步骤①继续合并。

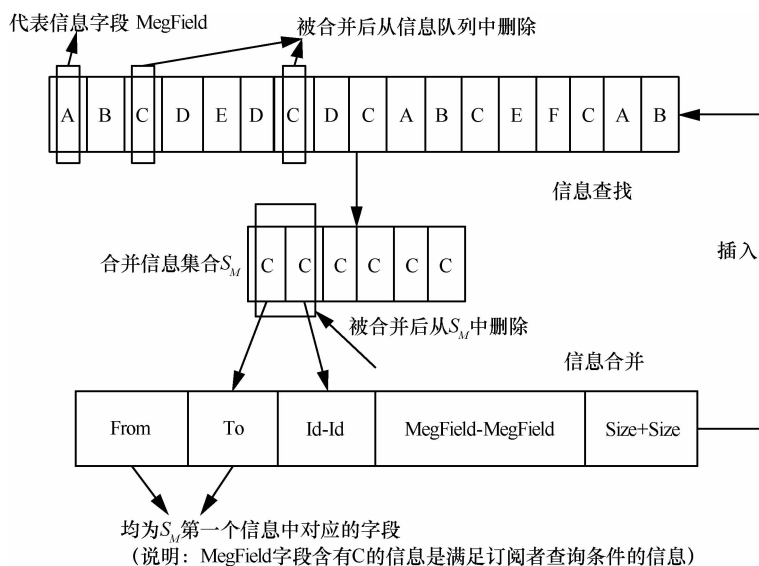


图 6 信息合并过程



④如果大于信息的最大 Size,则节点 A 会返回上一次合并后的信息,并把该信息插入其信息队列中,其余信息返回步骤①继续合并。

⑤重复步骤①、②、③、④、⑤,直至 $A.S_M$ 为空。

(5)如果节点 A 为订阅节点,收到一条满足其查询条件的合并信息后,节点 A 需对此合并信息进行分割还原,获取原信息。

通过对队列中的信息进行合并操作,同时利用信息传输过程的代理节点及目的节点的自身处理能力,可以充分利用每次传输机会,使得一次能够传输多条信息,从而缩短传输时延。

5 模拟实验

利用第 3 节的网络模型,笔者模拟采用 ER、SWR、SMR 3 种数据传输协议实现 DTN 中的广播式订阅查询及洪泛式订阅查询,主要是查询具有某个字段(MegField)的信息。从以下 3 个方面对实验结果及性能进行分析。

- 从整个系统订阅节点成功订阅信息的数目(即同等情况下事件的查询结果)方面进行性能的比较。
- 从系统中成功订阅信息的平均传输延迟方面进行性能比较。
- SMR 最大合并信息数目对其系统性能的影响。

5.1 实验环境

实验的软件环境为 Windows XP+JDK1.60+ONE+Eclipse-SDK-3.7.2-Win32。ONE^[10]是一款专门针对 DTN 的模拟器,它是基于离散事件模拟引擎的,每一步模拟时引擎都会更新许多模块,从而实现整个模拟的功能。硬件环境为 Intel Core2 Quad Q8400 @ 2.66 GHz (4CPU),3 GB RAM 的计算机。

实验系统的区域面积为 4 500 m×3 400 m,总共有 31 个节点,其中订阅节点个数为 1,代理节点个数为 10。订阅节点移动方式为 random walk (节点持续选择一个随机的方向和速度移动),其余节点移动方式为 random way point,即节点的移动重复 3 个步骤:首先,节点在网络中随机选取一个点;接着,节点随机选择一个速度朝着选取的方向移动;最后,节点在选取的点的位置上随机停留一段时间。队列的管理按照先进先出原则,广播式订阅查询的广播宽度覆盖整个系统区域,其他实验参数见表 1,其中,预热时间为仿真正式开始前系统中节点移动的时间。

表 1 实验参数

参数	预设值
节点传输距离	20 m
节点传输速率	500 kbit/s
信息产生时间间隔	5~10 min
信息生存时间	5 h
各组节点缓存大小	20 MB,40 MB,20 MB
信息大小	500 KB
节点停留时间	2~5 min
节点移动速度	0.5~1.5 km/h
信息最大 Size	2 000 KB
spray and wait 复本数	6
预热时间	1 000 s

5.2 实验结果

在同等网络环境及配置下,改变仿真时间,利用 ER、SWR、SMR 3 种数据传输协议实现的广播式订阅查询处理及洪泛式订阅查询处理,得到不同的实验结果。尽管采用不同的订阅查询处理方式,但相同时间内系统中信息发布节点生成的符合查询条件的总信息数目都是一样的,因此,各个仿真时间与系统中生成的符合查询条件的总信息数见表 2。

表 2 仿真时间与符合查询条件的总信息数

仿真时间(h)	信息总数(条)
12	94
14	111
16	127
18	142
20	160
22	175

成功订阅信息数目为一定仿真时间内,订阅节点成功接收到的符合其查询条件的不同信息的数目。从图 7 中可以看出,系统利用 3 种传输协议实现的 2 种订阅查询处理中,订阅节点成功订阅的信息数目均随着仿真时间的延长而增加,但是在同样的时间内同一种订阅查询处理中,采用 SMR 时订阅节点成功订阅的信息,比采用前两种数据传输协议时订阅节点成功订阅的信息要多。这是因为 SMR 能够有效地利用节点自身及节点间处理能力,根据订阅查询要求对有效信息进行合并操作,充分利用了节点之间的每次相遇机会增加有效信息传输量。对比分析图 7(a)和图 7(b),可以发现,同等情况下采用 3 种传输协议实现的洪泛式订阅查询处理中,SMR

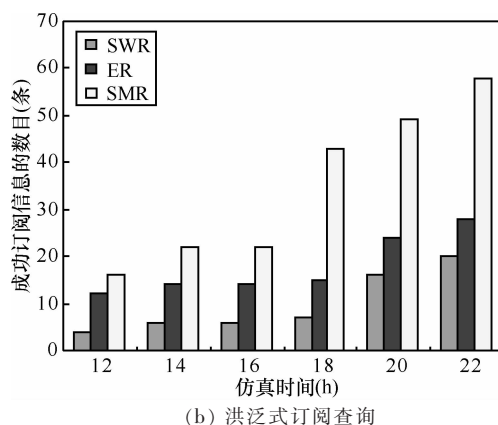
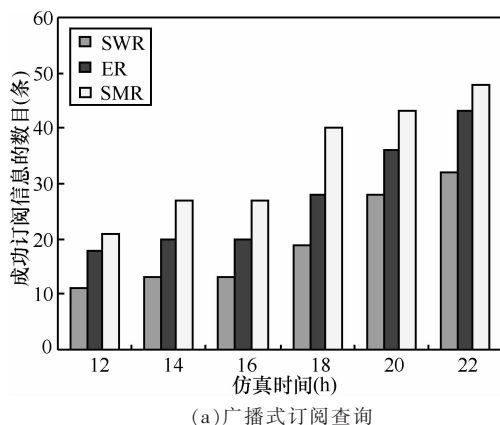


图 7 成功订阅信息数

的性能优势更加明显。这是因为洪泛式订阅查询处理中,订阅节点发布的查询信息也需要借助其他节点进行传输,使系统中有效信息的传输条件更加苛刻,节点之间相遇且能够传输有效信息的机会更加少,从而突出了 SMR 能够充分利用节点间的每次相遇机会传输更多有效信息量这一特点。

成功订阅信息的时延均值为成功订阅的所有信息被订阅节点接收的平均时延,如订阅节点总共收到 10 条符合其查询条件的不同信息,接收最后一条信息的时间距离系统开始仿真的时间为 2 h,那么平均时延为 0.2 h。由图 8 可以看出,采用 ER 和 SMR 实现的两种订阅查询处理中,成功订阅信息的时延均值均随着仿真时间的延长而缩短。这是因为仿真时间短时有些符合查询条件的信息没有被订阅节点成功接收。采用 SWR 实现的两种订阅查询处理中,成功订阅信息的时延均值都呈现了一定的波动。这是因为 SWR 中每条信息的复本数目有限,节点自身也没有对信息进行处理,同等情况下系统中订阅节点成功接收到的订阅信息数目有限,信息到达的时间会有不定的时延。

对比分析图 8(a)和图 8(b),可以看出,SMR 实现的两种订阅查询处理中,成功订阅信息的延迟均值都是最短的,这还是因为 SMR 能够有效利用每次传输机会增加有效信息的传输量。

通过分析订阅节点成功订阅的信息数和成功订阅信息的时延均值,可以得出,在订阅查询传输条件越严格的情况下,订阅查询时间越长,SMR 性能越突出。

在本文提出的 DTN 中信息大小为 500 KB、采用 SMR 仿真,仿真时间为 22 h、网络中信息的最大 Size 超过系统中最大信息传输量(500 kbit/s)时,不断改变最大信息合并数所得的订阅结果如图 9(a)所示。从图中可以看出,当网络中信息的最大 Size 超过系统中最大信息传输量,两种订阅查询处理中信息最大合并数都为 3 时,同样的时间内订阅节点成功订阅的信息数最大;当信息最大合并数大于 3 时,同样的时间内订阅节点成功订阅的信息数明显降低。这说明上述系统中当网络中信息的最大 Size 超过系统中最大信息传输量时,把信息的最大 Size 定为信息 Size 的 3~4 倍时,能体现 SMR 的最佳性能。由此可以看出,并不是

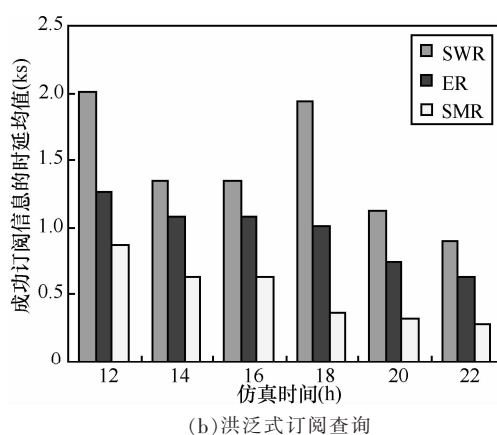
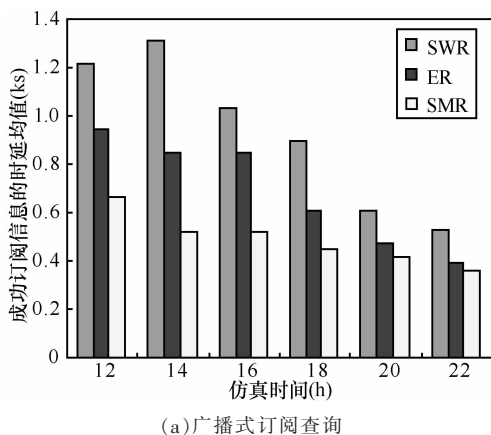


图 8 成功订阅信息的延迟均值

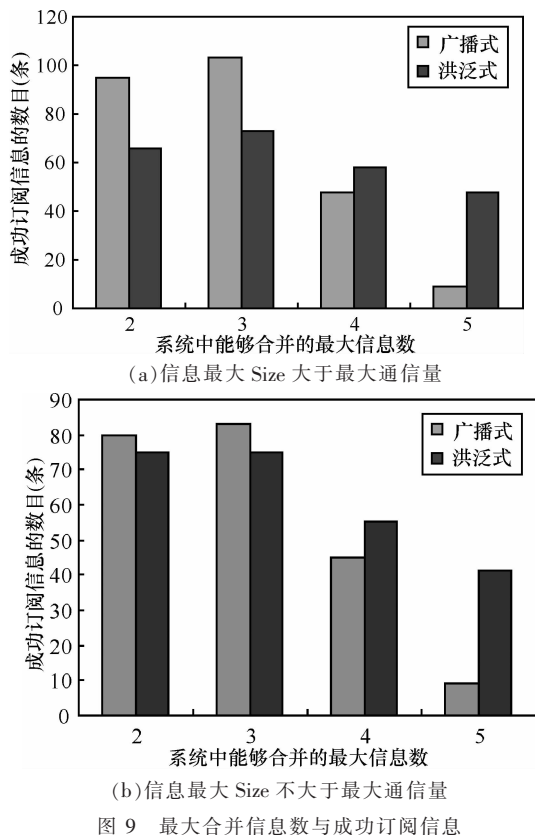


图9 最大合并信息数与成功订阅信息

网络节点每次传输的信息量越大,SMR 的性能越佳。

信息大小为 100 KB,采用 SMR 仿真,仿真时间为 22 h,限制网络中信息的最大 Size 超过系统中最大信息传输量时,不断改变信息合并数所得的订阅结果如图 9(b)所示。从图中可以看出,当网络中信息的最大 Size 不超过系统中最大信息传输量,广播式订阅查询处理中信息的最大合并数为 3 时,订阅节点成功订阅的信息数最大;在洪泛式订阅查询处理中信息的最大合并数为 2 或 3 时,订阅节点成功订阅的信息数都是最大的。由此可以看出,并不是网络中节点每次传输的信息量都达到系统中最大信息传输量时,才能使 SMR 体现最佳性能。之所以出现上述各种现象,是因为在 DTN 中采用 SMR 实现订阅查询处理时,最佳信息合并数目(取得最佳订阅结果的信息合并数)与 DTN 中节点缓存的大小、节点的数据传输率、节点的移动速度、节点的移动模式以及系统中信息本身大小等网络参数都密切相关。

通过上述分析可以看出,在 DTN 中采用 SMR 进行信息传输时,存在一个信息最佳合并数值 K ,本文提出的 DTN 模型中,笔者通过反复实验,得出 K 值为 3,但在实际的网络模型中,需要根据不同的实际情况调整 K 值,获取

最佳通信效果。

6 结束语

与传统的无线网络相比,DTN 具有的独特特性使得传统的各种无线网络中的数据传输协议不能适用于 DTN,为了有目的、高效地进行 DTN 中的信息收集,本文提出了一种新的数据传输协议 SMR,同时实现了两种适用于 DTN 的订阅查询处理协议。但是,由于 SMR 没有考虑能量方面的消耗,未来可考虑适合在能量敏感的 DTN 中进行信息收集的协议,同时考虑在复杂 DTN 环境下的订阅查询的实现。

参考文献

- 1 朱金奇,刘明,龚海刚等. 延迟容忍传感器网络中面向发布/订阅系统的事件传输. 软件学报, 2010, 21 (8)
- 2 Eiko Yoneki, Pan H, Chan S Y, *et al.* A socio-aware overlay for publish/subscribe communication in delay tolerant networks. Proceedings of the 2007 ACM MSWiM, Chania, Greece, 2007
- 3 Rudi Ball, Naranker Dulay. Approximating travel times using opportunistic networking. Proceedings of International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, London, United Kingdom, 2009
- 4 Pitkanen M, Karkkainen T, Greifengberg J, *et al.* Searching for content in mobile DTNs. Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, Galveston, Texas, USA, 2009
- 5 Andrew G M, Kiran K G, Kelvin K W C, *et al.* Exploiting social interactions in mobile systems. Proceedings of the 9th International Conference on Ubiquitous Computing, Innsbruck, Austria, 2007
- 6 Zhang Y, Zhao J. Social network analysis on data diffusion in delay tolerant networks. Proceedings of the Tenth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Louisiana, USA, 2009
- 7 Gao W, Cao G H, Arun Iyengar, *et al.* Supporting cooperative caching in disruption tolerant networks. Proceedings of 31st International Conference on Distributed Computing Systems, PA, USA, 2011:151~161
- 8 Becker V D. Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks. Technique Report, CS-2000-06, Department of Computer Science, Duke University, Durham, NC, 2000
- 9 Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking, Philadelphia, USA, 2005
- 10 Ari Keranen, Jorg Ott, Teemu Karkkainen. The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. SIMTools, 2009

(下转第 80 页)



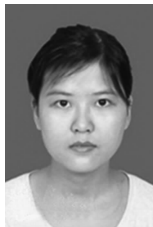
参考文献

- 1 ITU TD562. Advanced Multimedia Subsystem (AMS) Project Description, 2007
- 2 Gu T, Pung H K. Toward an OSGi-based infrastructure for context-aware applications. IEEE Pervasive Computer, 2004,42(4): 66~74
- 3 Jang S, Woo W. Ubi-UCAM: a unified context-aware application model. Proceedings of CONTEXT '03, LNAI, 2003 ,41(1): 89~178
- 4 Salber D, Dey A, Abowd G. The context toolkit: aiding the development of context-aware applications. Proceedings of ACM Conference on Human Factors Computer System, 1999: 41~434
- 5 Zhu Jian, Keng Pung Hung, Oliya Mohammad, *et al.* A context realization framework for ubiquitous application with runtime support. IEEE Communicate Magazine, 2011,49(9): 132~146
- 6 Baladron Carlos, Aguiar Javier M, Carro Belen, *et al.* Framework for intelligent service adaptation to user's context in next generation networks . IEEE Communicate Magazine, 2012,50(3): 18~25
- 7 Oh Yoosoo, Han Jonghyun, Woo Woontack. A context management architecture for large-scale smart environments. IEEE Communicate Magazine, 2010,48(3): 118~126
- 8 Huebscher Markus C, McCann Julie A. Adaptive middleware for context-aware application in smart-homes. Toronto:2nd Workshop on Middleware for Pervasive and Ad-Hoc Computing, 2004
- 9 Wang X H. Ontology based context modeling and reasoning using OWL. Proceedings of 2nd IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops, 2004(3):18~22
- 10 秦永元,张洪钺,汪叔华.卡尔曼滤波与组合导航原理. 北京:西北工业大学出版社, 1998
- 11 Baldo Nicola, Zorzi Michele. Fuzzy logic for cross-layer

optimization in cognitive radio networks. IEEE Communications Magazine, 2008, 46(4): 64~71

- 12 李军.异构无线网络融合理论与技术实现. 北京:电子工业出版社, 2009

[作者简介]



徐玉,女,南京邮电大学硕士研究生,主要研究方向为异构融合网络的垂直切换技术。



徐名海,男,博士,南京邮电大学副教授,主要研究方向为网络经济学。

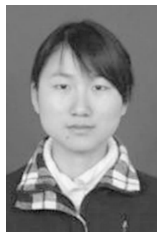


苏喜娟,女,南京邮电大学硕士研究生,主要研究方向为自组织网络。

(收稿日期:2013-01-16)

(上接第 72 页)

[作者简介]



曹佩,女,宁波大学信息科学与工程学院硕士研究生,主要研究方向为延迟容忍网络的查询处理等。



陈叶芳,女,宁波大学信息科学与工程学院讲师,主要研究方向为数据流处理等。



钱江波,男,博士,宁波大学信息科学与工程学院教授,主要研究方向为数据库、数据流、逻辑电路设计等。



陈华辉,男,博士,宁波大学信息科学与工程学院教授,主要研究方向为数据流处理和数据挖掘等。

(收稿日期:2013-01-27)