

机会网络中消息冗余度动态估计的缓存管理策略

吴大鹏* 周建二 王汝言 张普宁

(重庆邮电大学光互联网及无线信息网络研究中心 重庆 400065)

摘要: 机会网络以存储-携带-转发的方式实现节点间通信, 高效的节点缓存管理策略能够充分利用有限的缓存空间。该文提出了一种基于消息冗余度动态估计的自适应缓存管理机制, 利用消息携带节点的活跃程度和当前网络状态下消息副本数量, 预测给定消息的投递状态, 节点以消息冗余程度为参数确定消息的转发以及携带优先级。结果表明, 所提出的节点活跃度和消息副本数的估计方法比较准确, 同时所提出的缓存管理策略能有效提高消息成功投递率, 降低网络平均时延和网络负载率。

关键词: 机会网络; 缓存管理; 消息冗余度; 节点活跃度

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2012)01-0101-07

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2011.00039

Message-redundancy Estimating Adaptive Buffer Management Mechanism for Opportunistic Network

Wu Da-peng Zhou Jian-er Wang Ru-yan Zhang Pu-ning

(*Special Research Centre for Optical Internet and Wireless Information Networks, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China*)

Abstract: With the manner of storing-carrying-forwarding, nodes can communicate with each other in opportunistic network, but the limited buffer should be used reasonably. Based on message redundancy estimating, an adaptive buffer management mechanism is proposed in this paper. According to the node's activity degree and the number of message copies, the status of message transmitting in the network can be predicted; moreover, with the parameter of message redundancy, the decision on message receiving and forwarding can be made dynamically. Numerical results show that the methods to evaluate node's activity degree and number of message copies are accurate; furthermore, comparing with other buffer management mechanisms, the proposed mechanism can improve message delivery rate effectively, reduce latency and overhead ratio.

Key words: Opportunistic network; Buffer management; Message redundancy; Node activity

1 引言

移动自组织网(Mobile Ad hoc NETWORKS, MANETS)以分布式的方式实现节点之间通信, 但是需要采用相应的路由协议预先建立确定的端到端路径^[1,2], 然而, 在复杂多变的移动网络中, 多种因素将导致网络连通性不能得到有效保证, 进而使得节点之间无法正常通信, 为了解决这一问题, 人们提出了具有“存储-携带-转发”特性的机会网络^[1]。机会网络中, 节点在缓存中存储需要发送的消息, 利用随机运动过程中与其他节点的相遇机会, 将消息副本转发给合适的节点, 重复这样的动作, 直到将消息成功传递给目标节点。可见, 机会网络中的消

息不仅要存储在节点缓存中, 而且为了保证传输成功率, 往往要产生多个副本。与MANET类似, 机会网络中的节点资源有限, 多余的消息副本将导致节点的存储空间被迅速填满, 无法携带后续到达的数据, 使得网络性能下降, 显然, 对于机会网络来说, 研究高效的节点缓存管理方法对提高网络传输性能、充分利用网络资源十分关键。

研究表明, 消息的传输状态与携带节点的活动能力直接相关, 节点活动能力越强, 即该节点与其他节点相遇的机会较多, 通过此种类型节点携带的消息成功投递概率越大^[3]。由此易知, 节点的活跃程度直接反映了其所携带消息的成功投递概率; 另外, 根据机会网络消息转发的基本原理可知, 若某个消息在网络中的副本数越多, 其成功投递的概率也随之增大^[4]。可见, 在机会网络中, 消息携带节点的活跃程度以及副本数量是影响消息成功投递的两个关

2011-01-14 收到, 2011-08-22 改回

国家自然科学基金(61001105)和重庆市教委科学技术项目(KJ100521)资助课题

*通信作者: 吴大鹏 wudapengphd@gmail.com

键因素,且过多地对成功投递概率较高的消息进行存储、携带并转发将严重浪费有限的网络资源。因此,在机会网络的缓存管理策略中,需要充分地考虑携带节点活跃程度以及当前消息副本数,以有效地管理节点缓存中的消息,达到合理利用网络资源的目的。

目前,研究人员根据机会网络特性,提出了多种缓存管理方法。文献[5]中,作者按照消息的重要程度,给每个消息分配一个“重要因子”,在取舍两个消息时,将删除重要因子较小者。但由于“重要因子”是预先分配的,不能动态反应消息重要程度的变化,因此,在网络状态时变性较强的机会网络中,此方法适应性较差。文献[6]中,作者认为存活时间越长的消息,其已成功投递的概率越高。因此,在取舍两个消息时,将删除存活时间较长者。但消息是否能够成功投递由多个因素决定,单独地使用存活时间参数无法准确反映消息状态。文献[7]根据消息副本数量,在理论上推导出满足最大消息传输率和最小延迟时,需要删除的消息的条件。由于此方法中满足最大消息传输率和最小延迟的条件是独立的,作者没有给出同时满足两者的折中条件。且只考虑消息副本数量,没有考虑节点活动能力对网络性能的影响。结合人类移动模式理论,即大多数人平时总是频繁往返于几个特定地点。文献[8]认为若数据项的目标地址在节点频繁往返的若干个地点的范围之内,则表明节点与数据项的相关度高,进而,将此数据项称为该节点的匹配项,在数据替换时优先保留这样的数据项。但此方法的优势在野生动物追踪等非人类社区模型下无法体现,适用范围有限。

针对文献[5-8]中的局限性,本文提出适用于机会网络的节点活跃度和消息副本数感知方法,并利用节点活跃程度和消息在网络中的副本数,估计当前网络状态下的消息冗余度。进而,提出一种基于消息冗余度动态估计的自适应缓存管理机制(Message Redundancy estimated Adaptive Cache Management mechanism, MRACM),此方法能够有效利用节点存储空间,且提高了消息传输率,降低了网络延迟。

2 节点活跃度和消息副本估计方法

文中所提出的消息冗余度动态估计方法中,需要根据当前网络状态,预测消息携带节点的活跃度以及消息在网络中的副本数量,进而判定给定消息的传输状态及其冗余程度。本节将分别对两个参数的预测方法进行描述。

2.1 节点活跃程度估计方法

如前所述,给定节点与网络中其他节点的相遇次数越多,则通过给定节点所携带的消息成功投递概率越高。因此,给定节点与网络中其他节点的相遇次数是评估节点活跃程度的关键参数。本文将给定节点与网络中其他节点的相遇次数称为该节点的相遇次数,定义为 M ,其大小在 $[M_{\min}, M_{\max}]$ 内。各个节点进入其他节点通信范围的总次数定义为节点相遇总次数 M_{total} ,各个节点进入其他节点通信范围的平均次数定义为节点平均相遇次数 M_{avr} 。显然,若获得节点与网络中其他节点的相遇次数和节点平均相遇次数,则可以通过与其他节点活跃状态进行比较,从而衡量其活跃程度。给定节点与网络中其他节点的相遇次数由本地记录信息获知,因此,根据上述节点活跃度估计原理,首先需要估计在 T 时间段内,网络中各个节点的总体相遇状态。

令节点相遇间隔(Node Meeting Interval, NM)参数表示从节点 i 离开某一节点的通信范围到节点 i 再次进入任一节点通信范围的时间间隔。节点首次相遇时间(Node First Meeting Time, NFM)参数表示两个节点从静止开始到第1次相遇(各自进入通信范围)经过的时间^[9]。

对于广泛应用的Random Way Point (RWP)移动模型^[10]来说,NFM的期望(Expected Node First Meeting Time, ENFM)可由式(1)进行估计。

$$\text{ENFM}_{\text{rwp}} = \frac{1}{p_m \hat{v}_{\text{rwp}} + 2(1 - p_m)} \times \frac{N}{2K\bar{L}} (\bar{T} + \bar{T}_{\text{stop}}) \quad (1)$$

其中 $\hat{v} \approx 1.75$ 为RWP模型的节点运动相对速度。 L 为节点到目标节点的距离, \bar{L} 为 L 的预计平均值,在一个 $\sqrt{N} \times \sqrt{N}$ 大小的RWP网络模型中 $\bar{L} = 0.5214\sqrt{N}$ 。 \bar{T}_{stop} 为平均停留时间, $\bar{T} = \bar{L}/\bar{v}$, \bar{v} 为节点的平均速度, K 为节点传输范围。 $p_m = \bar{T}/(\bar{T} + \bar{T}_{\text{stop}})$,表示节点在单位时间内处于运动状态的时间^[11]。

机会网络中的节点采用存储-携带-转发的方式进行通信,同一个消息可能在网络中存在多个副本。若当前网络中某个消息有 B 个副本,且消息的路由方式为直接投递,即节点只有遇到目标节点才转发消息。由此可知,消息成功传递到目的节点的延迟(Expected Delay, ED)为 B 个携带有消息副本的节点与目的节点首次相遇时间的最小值。为了计算首次相遇时间的最小值,利用指数分布和次序统计量的性质^[12]:若随机变量 Y 服从期望为 θ 的指数分布, $Y(j)$ 是其容量为 n 的样本的第 j 个次序统计量(从小到大排列,第 j 个统计量),则 $E[Y(j)] =$

$\theta \sum_{k=1}^j \frac{1}{n-k+1}$ 。当 j 为 1 时, 随机变量 Y 的最小值为 $E[Y(1)] = \theta/n$ 。NFM 是服从独立指数分布的随机变量^[9], 且其期望为 ENFM, 因此, ED 可由式(2)获得

$$ED = \frac{ENFM_{\text{rwp}}}{B} \quad (2)$$

若当 n 个节点组成的网络中有 $n-1$ 个副本, 则此消息到目的节点的延迟即为节点访问间隔 NM, 如式(3)所示。

$$NM = ED = \frac{ENFM_{\text{rwp}}}{n-1} \quad (3)$$

可见, T 时间段内, 节点访问间隔 NM 与时间 T 的比值即为某个节点与其他节点相遇的平均次数, 那么所有节点之间总相遇次数如式(4)所示。

$$M_{\text{total}} = \frac{T \times n \times (n-1)}{ENFM_{\text{rwp}}} \quad (4)$$

进而, 可以获得节点在 T 时间段内与其他节点的平均相遇次数如式(5)所示。

$$M_{\text{avr}} = \frac{M_{\text{total}}}{n} = \frac{T \times (n-1)}{ENFM_{\text{rwp}}} \quad (5)$$

根据节点活跃程度估计原理, 不同节点之间的差异无法通过单个节点的相遇状态体现, 本文采用均匀量化的方法衡量网络中的节点活跃度。

令 $X \in [X_{\min}, X_{\max}]$ 表示节点活跃程度的权值, 若当前网络状态下, 中等活跃程度的节点相遇次数为 M_{med} , 则可根据 M_{med} 和给定节点的相遇次数, 获知节点活跃程度之间的差异, 进而计算权重数值。可见, M_{med} 数值的准确程度与节点活跃程度估计方法的有效性直接相关。机会网络以分布式方式运行, 节点无法获取整个网络范围内其他节点的状态信息, 文中采用 M_{avr} 的估计数值作为 M_{med} 的近似数值, 即 $M_{\text{med}} \approx M_{\text{avr}}$, 仿真结果表明两者的误差不超过 5%, 因此, 可将 M_{avr} 近似地作为 M_{med} 的数值。

显然, 若给定节点的相遇次数等于 M_{avr} , 那么此节点的权值 X 也应该是 $[X_{\min}, X_{\max}]$ 的中间值 X_{med} 。如果某个节点的相遇次数大于 M_{med} , 那么其权值需要相应地增加, 反之降低。

为了更合理有效地反映相遇状态差异与权重差值之间的映射关系, 文中选取 X 的范围 $[X_{\min}, X_{\max}]$ 为 $[0, 10]$, 针对节点活跃程度的均匀量化计算方法如式(6)所示。

$$X_i = X_{\text{med}} + (M_i - M_{\text{med}})\Delta \quad (6)$$

其中 Δ 为量化间隔, $\Delta = X_{\text{med}} / M_{\text{max}} - M_{\text{med}}$ 。

2.2 消息副本数量估计方法

消息副本数量估计方法中所需要使用的变量定义如表 1 所示。

表 1 变量定义

名称	意义
T_m	消息在网络中的存活时间, 该参数小于消息生存时间(Time To Live, TTL)
$C_i(T_m)$	当消息存活时间为 T_m 时, 消息 i 被保存过的次数
$C(T_m)$	网络中所有存活时间为 T_m 的消息被保存过的次数 ($C_i(T_m)$) 的数据分布
$M_i(T_m)$	$C_i(T_m)$ 的估计值
$B_i(T_m)$	消息存活时间为 T_m 时, 消息 i 在网络中的副本数

本文所提出的消息副本数量估计方法中, 每个节点在本地需要建立消息携带历史信息表, 其具体格式如表 2 所示。

表 2 消息携带历史信息

消息在存活时间内的携带次数						
T_1		T_2		T_m		
ID ₁	$C_1(T_1)$	ID ₁	$C_1(T_2)$...	ID ₁	$C_1(T_m)$
ID ₂	$C_2(T_1)$	ID ₂	$C_2(T_2)$...	ID ₂	$C_2(T_m)$
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮
ID _{i}	$C_i(T_1)$	ID _{i}	$C_i(T_2)$...	ID _{i}	$C_i(T_m)$

机会网络中, 节点随机运动过程中将会与其他节点相遇并交换彼此缓存状态, 当节点获得新消息或与其他节点相遇, 则更新信息表 2 中的信息。经过收敛时间, 节点可获知各个消息在不同存活时间 T_m 内被保存过的次数, 即 $C(T_m)$ 。通过理论推导可知, $C(T_m)$ 服从正态分布, 文中 5.2 节对此结论进行了详细的验证。由正态分布性质可知, 其参数数值绝大部分都分布在均值附近, 可用其均值估计其分布中的各个数据的大小, 即 $C_i(T_m) \approx E[C(T_m)]$ 。因此, 若获知各个 T_m 所对应的 $C(T_m)$, 就可估计出其被保存过的次数, 即 $M_i(T_m) \approx C_i(T_m) \approx E[C(T_m)]$ 。进而, 存活时间为 T_m 的消息在网络中的副本数等于其曾被保存过的次数, 如式(7)所示。

$$B_i(T_m) = C_i(T_m) \approx M_i(T_m) \quad (7)$$

3 消息冗余度动态估计方法

当消息存活时间为 T_m 时, 存储过给定消息的所有节点活跃程度权值总和为 $A(T_m)$ 。

$$A(T_m) = \sum X_i \quad (8)$$

网络实际运行过程中, 消息被节点存储的状态动态改变, 即 $A(T_m) \in [A_{\min}, A_{\max}]$, 显然, 若给定消息的 $A(T_m)$ 为 A_{\max} , 则表明此消息已经成功投递, 网络中其他节点保存的消息副本则为冗余数据。由

此,可根据节点活跃程度估计消息已成功投递的概率 $P_a(T_m)$,如式(9)所示。

$$P_a(T_m) = \frac{A(T_m)}{A_{\max}} \quad (9)$$

其中 $A(T_m)$ 数值可由节点本地记录信息得到。本文所提出的机制中,节点相遇之后需要比较彼此的 A 参数数值,网络运行稳定之后,各个节点均可获得当前网络中的 A_{\max} 。

由机会网络的传输原理可知,消息在网络中的副本数越多,其被成功投递的概率越大。因此,存活时间为 T_m 的消息副本数量 $B(T_m)$ 越接近网络中消息副本数的最大值 B_{\max} ,则此消息已成功投递的概率越大。由此,也可根据消息的副本数估计消息已成功投递的概率 $P_b(T_m)$,如式(10)所示。

$$P_b(T_m) = \frac{B(T_m)}{B_{\max}} \quad (10)$$

如前所述,节点相遇时需要更新彼此的信息表,所以当网络运行稳定之后,各个节点均可获得不同消息在不同 T_m 时刻的副本数量 $B(T_m)$ 以及当前网络的 B_{\max} 。

通常,机会网络中,节点相遇之后,需要按照相关的路由算法判定是否接收新的消息。若判定准则较为严格,则除非遇到合适节点,否则即使活跃节点与其他节点相遇也不会产生新的消息副本。若判定准则较为宽松,比如泛洪算法,由于每次节点相遇都交换大量信息,所以活跃程度较高的节点需要存储的新消息也较多,其缓存很容易饱和。此后,与其他节点相遇时,若要接收新消息,必然要将旧消息删除。由于缓存容量有限,接收的新消息和删除的旧消息在数量上基本相等,总体消息数量维持恒定。因此,虽然节点越活跃,与其他节点相遇的次数较多,但其携带过的消息并不一定有更多的副本。

例如,消息 i 被节点活跃度分别为 0.1, 0.16, 0.15, 0.15, 0.14 的 5 个节点保存过,则 $A_i(T_m)=0.7$;消息 j 被节点活跃度分别为 0.7 和 0.8 的两个节点保存过,则 $A_j(T_m)=1.5$ 。可见,节点活跃程度与消息的副本数量之间并不存在严格的相关性。

单独考虑节点活跃程度或消息副本数,消息成功投递概率的估计方法并不全面,进而影响消息冗余度判定的准确性。为了解决这个问题,本文采用带有权重因子的消息冗余度估计方法,如式(11)所示,其中 α 和 β 分别为两个因素的影响因子。

$$P(T_m) = \alpha P_a(T_m) + \beta P_b(T_m) \quad (11)$$

如式(11)中所示,节点可以根据当前网络状态动态估计 $A(T_m)$, A_{\max} , $B(T_m)$ 和 B_{\max} 的数值,因此,

对于网络状态时变性较强的机会网络来说,所提出的方法能够自适应地反映消息成功投递状态和冗余程度,进而用于设计高效的缓存管理策略。

4 MRACM 基本原理

基于消息冗余度的自适应缓存管理策略主要包括出缓存操作和入缓存操作两个方面。

出缓存操作主要解决缓存内部消息优先级问题。机会网络中,两个节点相遇之后,需要彼此交换缓存状态以及缓存中所保存的消息。根据消息冗余程度,节点将其在缓存中按照由小到大进行排列。冗余度较小者位于缓存头部,当节点相遇并传输消息时,头部消息获得优先发送权。图 1 中缓存保存了 n 个消息,其成功投递率满足:

$$P_n(T_m) > P_{n-1}(T_m) > P_{n-2}(T_m) > \dots > P_2(T_m) > P_1(T_m)$$

Message _n	Message _{n-1}	...	Message ₂	Message ₁
----------------------	------------------------	-----	----------------------	----------------------

队尾 \rightarrow 队头

图 1 消息在缓存中的排队方式

入缓存操作主要解决数据携带决策问题。当缓存中有足够空闲空间,则节点正常地接收并存储来自其他节点的消息,否则,比较消息冗余度,从冗余度最大的消息开始执行删除操作,直到为需要接收的消息留出足够的缓存空间,否则拒绝此消息。算法伪代码如表 3 所示,其中 S 表示节点的空闲存储空间, S_i 表示要接收的消息 i 的大小, S_z 表示缓存中第 z 个消息的大小, $P_i(T_m)$ 表示当前网络状态下消息 i 已成功投递的概率。

表 3 消息接收算法伪代码

```

Message  $i$  //要接收的消息  $i$ 
for( $j = n$ ;  $j > 0$ ;  $j--$ ){//从队列末尾消息开始
    if( $j = n$ )
         $S_{\text{total}} = S$  //空闲空间  $S$  的大小
    else
        for( $z = n$ ;  $z <= j$ ;  $z--$ ) {
             $S_{\text{total}} = S_{\text{total}} + S_z$  //空闲空间  $S$  及最后一个到第  $j$  个消息大小
            的总和
        }
    if( $S_{\text{total}} > S_i$ ) {
        delete message  $n$  to message  $j$ 
        //删除队列中最后一个到第  $j$  个消息
        receive message  $i$ , break
        //接收消息  $i$ , 结束本次消息接收过程
    }
}
else {
    if( $P_i(T) > P_j(T)$ )

```

```

//若消息 i 的冗余度比当前比较的消息大
Break//拒绝消息 i，结束本次消息接收
}
}

```

5 仿真验证及结果分析

本节首先验证所提出的节点活跃度估计方法的准确程度，然后证明消息携带次数的统计分布 $C(T_m)$ 为正态分布，最后验证分析基于消息冗余度估计的自适应缓存管理机制(MRACM)的性能。

本文采用 ONE(Opportunistic Network Environment)仿真平台^[13]对相关性能进行验证，路由协议为基于免疫的传染病路由算法^[14](epidemic immunity)，各个节点在本地维护一张向量表，保存已到达目的节点的消息序号。当两节点相遇时，交换彼此缓存中没有的消息，并更新各自的向量表，若节点存储有向量表中对应的消息，则将其删除。仿真参数如表 4。

表 4 仿真参数设置

参数	数值
仿真时间(s)	9600
网络大小(m×m)	800×800
节点运动模型	Random Way Point
节点个数	150
节点通信方式	Bluetooth
节点运动速度(m/s)	0.5-1.5
传输范围(m)	10
传输速率(Mbps)	2
消息大小(kB)	250-500
消息产生间隔(s)	5-15
消息产生时间(s)	0-7200
消息生存时间(TTL)(s)	2400

5.1 节点活跃度估计方法的准确性

根据网络大小和节点通信能力等数据，运用 2.1

节的节点活跃度估计方法可计算节点相遇总次数 M_{total} 和节点相遇次数中间值 M_{med} 的估计值，而通过仿真，又可得到两者的实际数值。节点活跃程度的估计值和实际数值的差别如图 2 和图 3 所示。

从图中可知，采用所提出的节点相遇总次数估计方法得到的数值与仿真中获得的实际数值基本吻合，总体误差为 5%，特别是在网络规模较大时，估计误差将会进一步降低，如当网络边长超过 600 m 后，误差降低为 1%。另外，采用节点平均相遇次数估计数值 M_{avr} 作为节点相遇次数中间值 M_{med} 的近似值比较合理。

5.2 $C(T_m)$ 服从正态分布的验证

通过网络中各个节点保存的信息表，如表 2 所示，可获得当消息生存时间为 $T_m=25\%TTL$, $T_m=50\%TTL$, $T_m=75\%TTL$ 时 $C(T_m)$ 的数据分布。运用传统的偏度-峰度检验法^[15]，可证明这些数据都来自正态分布的总体。其中 $T_m=75\%TTL$ 时， $C(T_m)$ 的数据分布如表 5 所示。

表 5 中的数据分布状态如图 4 所示。从图可看出，直方图的形状和正态分布函数的曲线的走向基本一致，由此也可证明，表 5 中的数据来自正态分布的总体。

5.3 MRACM 性能

在节点缓存容量不同的情况下，本节将 MRACM 方法与传统的 Tail-delete, Front-delete 以及文献[4]中提出的 Oldest_delete 缓存管理方法进行了比较。令 $\alpha = \beta = 0.5$ 。为了保证 A_{max} 和 B_{max} 收敛，实验数据在消息的一个生存周期(TTL=2400 s)后开始统计。实验结果均为 20 次独立实验结果的均值。

消息成功传输率如图 5 所示。从结果中可以发现，与其他 3 种算法相比，MRACM 的总体消息成功投递率有 23%-48% 的提高。而且，当缓存容量大于 12.5 MB 时，其他 3 种算法的提高幅度趋于稳定，而 MRACM 的提高幅度却不断攀升。这是因为节点

表 5 $T_m=75\%TTL$ 时， $C(T_m)$ 的数据分布

29	5	10	31	26	19	30	26	23	30	18	34	32	7	21	35	13	35	35
34	12	10	26	7	16	54	24	10	32	29	48	37	24	31	15	24	36	
26	43	22	45	25	20	30	26	21	29	40	36	11	24	16	34	28	41	
15	35	32	24	32	22	31	17	13	14	45	37	28	39	26	25	23	25	
10	10	35	4	25	34	35	29	11	22	29	20	46	14	27	34	28	36	
26	31	45	21	38	49	26	47	18	12	28	29	45	38	18	36	35	21	
22	21	13	19	37	40	52	34	18	28	20	19	31	25	28	43	22	42	
19	60	7	48	31	27	49	42	22	19	13	33	8	35	39	25	39	20	

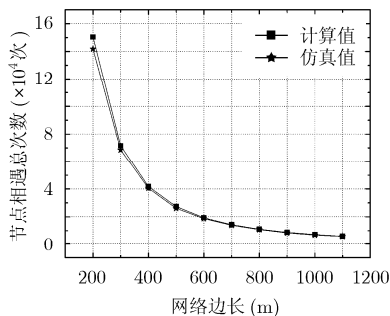


图2 节点相遇总次数估计误差

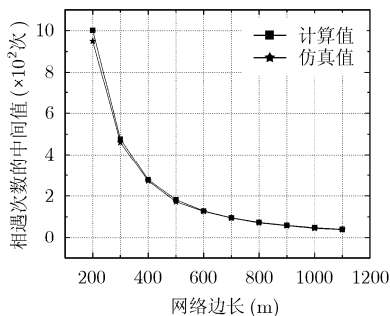
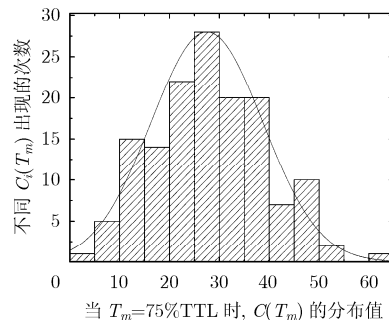


图3 节点平均相遇次数估计误差

图4 $T_m=75\%TTL$ 时 $C(T_m)$ 的直方图

存储的消息越多,就更需要高效的缓存策略来管理这些信息,否则缓存容量的提高与消息成功投递率的提高将不成正比。

网络平均时延的比较见图6。从图可看出,在缓存容量小于7MB时,MRACM的时延并没有优势,但缓存容量大于7MB后,其他3种算法的时延迅速增长,而MRACM时延变化幅度较小,比其他3种算法降低了12%左右。由此可看出MRACM在缓存较大的情况下,对优化消息的携带策略和提高网络性能的效果更明显。

网络负载率定义为:(转发的消息数-成功投递的消息数)/成功投递的消息数。不同算法的网络负载率比较见图7。从图中可知,在缓存容量小于10MB时,MRACM的网络负载率要远优于其他3种算法。当缓存大于10MB时,节点可以携带的消息更多,需要丢弃的消息较少,所以成功投递的信息

占转发信息的比重增大,4种算法的网络负载率趋于平稳。但由于MRACM算法保留了更有用的信息,避免了无效传递,网络负载率还是要优于其他3种算法,大约降低了13%。

6 结束语

为了更有效地利用网络资源,提高网络性能,本文首先提出了节点活跃程度和消息副本数的估计方法,进而根据节点活跃程度和消息副本数量估计消息已成功投递的可能性,最后设计一种基于消息冗余度的自适应缓存管理机制。仿真结果表明,和传统缓存管理方法相比,这种机制能有效改进消息成功投递率、网络平均时延和网络负载率等方面性能。同时,这种机制能根据网络当前状况,自适应地估计节点活跃程度和消息副本数,具有较强的适应性。

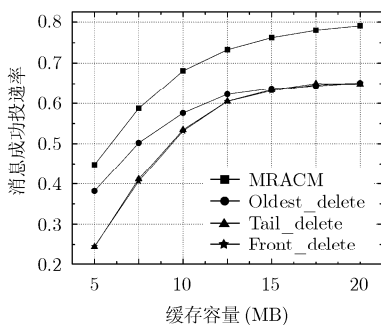


图5 消息成功投递率

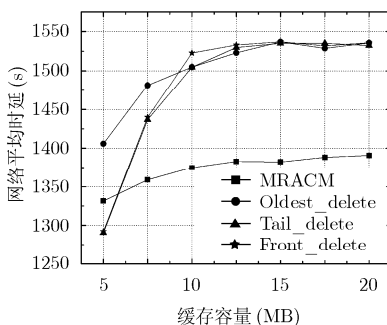


图6 网络平均时延

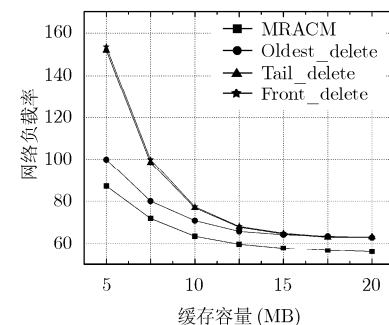


图7 网络负载率

参考文献

- [1] 熊永平, 孙利民, 牛建伟, 等. 机会网络[J]. 软件学报, 2009, 20(1): 124-137.
Xiong Yong-ping, Shun Li-min, Niu Jian-wei, et al. Opportunistic networks [J]. *Journal of Software*, 2009, 20(1): 124-137.
- [2] 田敏, 刘占军, 李云, 等. 一种基于节点度数的Ad hoc网络稳定路由协议[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2007, 19(5): 558-561.
- [3] Hyytia E, Lassila P, and Virtama J. Spatial node distribution of the random waypoint mobility model with applications [J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2006, 5(6): 680-694.

558-561.

Tian Min, Liu Zhan-jun, Li Yun, et al. A stable Ad hoc routing protocol based on node degree[J]. *Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Nature Science Edition)*, 2007, 19(5): 558-561.

[3] Hyytia E, Lassila P, and Virtama J. Spatial node distribution of the random waypoint mobility model with applications [J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2006, 5(6): 680-694.

- [4] Zhang Z S. Routing in intermittently connected mobile Ad hoc networks and delay tolerant networks Overview and challenges [J]. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 2006, 8(1): 24–37.
- [5] 孙利民, 熊永平, 马建. 机会移动传感网络中的自适应数据收集机制[J]. *通信学报*, 2008, 29(11): 186–193.
Shun Li-ming, Xiong Yong-ping, and Ma Jian. Adaptive data gathering mechanism in opportunistic mobile sensor networks [J]. *Journal on Communications*, 2008, 29(11): 186–193.
- [6] 朱金奇, 刘明, 龚海刚, 等. 延迟容忍移动传感器网络中基于选择复制的数据传输[J]. *软件学报*, 2009, 20(8): 2227–2240.
Zhu Jin-qi, Liu Ming, Gong Hai-gang, et al. Selective replication-based data delivery for delay tolerant mobile sensor networks [J]. *Journal of Software*, 2009, 20(8): 2227–2240.
- [7] Krifa A, Barakat C, and Spyropoulos T. Optimal buffer management policies for delay tolerant networks [C]. The 5th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad hoc Communications and Networks, San Francisco, CA, 2008: 260–268.
- [8] 叶辉, 陈志刚, 赵明. ON-CRP: 机会网络缓存替换策略研究[J]. *通信学报*, 2010, 31(5): 98–107.
Ye Hui, Chen Zhi-gang, and Zhao Ming. ON-CRP: cache replacement policy for opportunistic networks [J]. *Journal on Communications*, 2010, 31(5): 98–107.
- [9] Spyropoulos T, Psounis K, and Raghavendra C S. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case [J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2008, 16(1): 77–81.
- [10] Bettstetter C, Resta G, and Santi P. The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless Ad hoc networks[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2003, 2(3): 257–269.
- [11] Spyropoulos T, Psounis K, and Raghavendra C S. Performance analysis of mobility assisted routing [C]. The 7th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Florence, Italy, 2006: 49–60.
- [12] Mahmoud M and Al-Nagar H. On generalized order statistics form linear exponential distribution and its characterization [J]. *Statistical Papers*, 2009, 50(2): 407–418.
- [13] Keränen A, Ott J, and Kärkkäinen T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation [C]. The 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques, Rome, Italy, 2009: 1–10.
- [14] Mundur P, Seligman M, and Lee G. Epidemic routing with immunity in delay tolerant networks [C]. The IEEE Military Communications Conference, San Diego, CA, 2008: 1–7.
- [15] 陈广雷, 崔恒建. 带有误差变量的偏度和峰度正态性检验[J]. *应用数学*, 2004, 17(1): 16–21.
Chen Guang-lei and Cui Heng-jian. The testing for normality based on PP-Skewness and PP-Kurtosis in EV model[J]. *Acta Mathematicae Applicatae Sinica*, 2004, 17(1): 16–21.
- 吴大鹏: 男, 1979 年生, 副教授, 研究方向为宽带无线网络、互联网服务质量控制。
- 周建二: 男, 1986 年生, 硕士, 研究方向为机会网络、普适计算。