doi:10.14132/j.cnki.1673-5439.2020.06.013

命名数据网络中考虑节点能量的转发策略研究

胡 涛,江凌云

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

摘要:命名数据网络(Named Data Networking,NDN),作为未来网络发展方向之一,取代了传统TCP/IP 的基于 IP 地址路由转发方式,而采用基于名称路由的网络架构。近年来,许多学者研究将NDN 应用于无线传感器网络中,来提高无线环境中数据获取效率。但目前的大多数研究都忽略了无线环境的资源受限情况,文中从无线环境中路由节点资源出发,提出了一种基于节点剩余能量和节点间距离的转发策略 ECF(Energy Considered Forwarding),通过把节点能量融入节点转发等待时间的计算中,一方面可以用于均衡网络流量的分发,改善网络数据转发效率,同时考虑节点间距离的转发决策又可以保证数据获取。最后通过仿真实验,和近年的多种转发策略相比较,结果表明该方案在网络时延基本保持不变的情况下,可以明显提高网络的生命周期。

关键词:命名数据网络;无线传感器网络;转发策略;流量均衡

中图分类号:TP393 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-5439(2020)06-0085-07

Forwarding strategy considering node energy in named data networking

HU Tao, JIANG Lingyun

(College of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: The named data networking (NDN), as a new future Internet architecture, inherits the hourglass shape of the IP but replaces the IP end-to-end packet delivery model by a data retrieval model. In recent years, the potentialities and advantages of NDN in wireless sensor networks have been illustrated in several studies. However, most of the current researches ignore the resource limitation in the wireless environment. To perform better load balancing and provide high reliability of data acquisition, an energy considered forwarding (ECF) strategy considering the node energy and the distance between nodes is proposed. The performance evaluation is carried out by means of ndnSIM and the official NDN simulator. Simulation results show that compared with the several other forwarding strategies, the proposal can maintain longer life cycle of the network while the average delay of acquiring data message remains unchanged.

Keywords: named data networking (NDN); wireless sensor network; forwarding strategy; load balancing

收稿日期:2020-02-10;**修回日期**:2020-04-12 **本刊网址**:http://nyzr.njupt.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(61871446)资助项目

作者简介:胡涛,男,硕士研究生;江凌云(通信作者),女,副教授,jiangly@njupt.edu.cn

引用本文:胡涛,江凌云. 命名数据网络中考虑节点能量的转发策略研究[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版),2020,40(6):85-91.

目前的互联网体系架构是为了让两台电脑主机互相通信,获取网络资源,本质上是端到端通信模式,但随着互联网的发展,网络的通信环境已经发生了很大的变化,互联网业务的蓬勃发展,已经让互联网从最初的互相通信,获取简单的资源,转变成了从互联网海量内容中获取信息。为了更好地适应这种需求,命名数据网络(Named Data Networking,NDN)由此产生。

NDN 从信息中心网络(Information Centric Networking,ICN)发展而来,摒弃了原来基于 IP 地址的通信方式,取而代之的是名称路由[1-3]。NDN 中的数据报文主要分为两种,兴趣包和数据包,如图 1 所示,信息的消费者发送感兴趣内容的名称,也就是兴趣包,由信息的提供者(可能是信息的生产者,也可能是含有缓存数据的中间节点)返回数据包。此外,NDN 内容传输模型还维护了三种重要的数据结构,分别是转发信息表(Forwarding Information Base,FIB)、待定请求表(Pending Interest Table,PIT)和内容仓库(Content Store,CS)。FIB 存储名称前缀,用来指导兴趣包的转发路径。PIT 存储已转发的兴趣包,但还没有获取到数据包的相应请求信息。CS 是 NDN 对数据的缓存,NDN 中任何一个节点都可以缓存数据,由不同的缓存策略决定,可以提高网络的性能,降低网络负载。

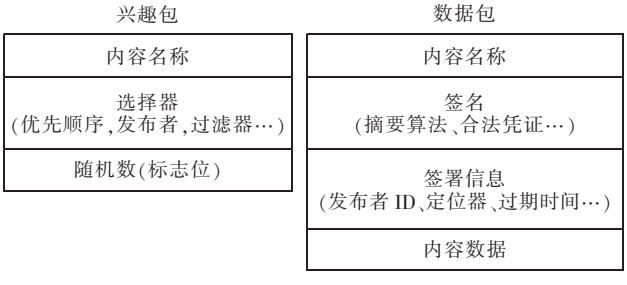


图 1 NDN 兴趣包和数据包结构

近年来,随着物联网应用的发展,也有学者研究将 NDN 获取数据的思想引入到无线传感器网络(Wireless Sensor Networking,WSN)中[4-6]。NDN 这种从网络中主动发现内容的思想和 WSN 的以内容为中心的功能相契合。文献[7]已经详细描述了 NDN 应用到 WSN 带来的优势,包括简化内容获取、扩展性强和便于业务开发等。

在 WSN 中,为了发现内容的生产者,目前方法基本都是,首先洪泛式地发送兴趣包,当找到内容源时,内容源按照原路径返回,返回路径经过的节点都会把能量、距离、跳数等信息记录到对应的 FIB 表中,之后的兴趣包就可以根据此 FIB 表信息定向地寻找内容源。目前的研究大多针对提高转发效率更快地获取内容,忽略了在 WSN 环境中节点的能量都是有限的。在本文中,考虑 WSN 的整体生命周期,在进行转发时考虑节点的剩余能量来均衡网络流量,提出了一种节点等待转发时间计算方法(Energy Considered Forwarding,ECF),来提高网络的整体生命周期。最后通过仿真实验和现有的多种转发策略进行比较,结果表明当网络规模达到一定程度时,该方案可以显著提高网络的生命周期,同时没有带来太多的时延,可以很高效地完成转发。

1 研究现状

文献[4]中针对基于 NDN 的无线传感器网络提出了一种基于地理位置的转发方案 GIF(Geographic Interest Forwarding),增加了数据生产者主动推送数据的功能,同时在转发方法中通过利用节点的地理位置作为判决因素,来避免广播风暴,平衡整个网络的能量消耗。

文献[5]中将 NDN 应用于无线 ad-hoc 网络中,文中提出了两种不同的转发策略,针对无法知道数据源的盲转发方案和预先知道数据源位置的定向转发。盲转发方法中依靠数据包的监听和延迟时间来减少广播风暴,而在某些特定的场景中,事先知道数据提供者的位置的情况下,利用中间节点的缓存信息来定向转发。

文献[7]总结了 NDN 在无线传感器网络中的优势,并给出了简单的名称策略和数据检索方案。命名策略采用不同属性命名方式,包括数据类型、地点和时间等。如/humidity/location1/t,表示在 t 时间位置 1 处的湿度。为了减少广播风暴,作者采用延迟窗口转发策略,所有节点在准备转发数据时都延迟一定时间,如果在等待时间里监听到其他节点完成本次转发的副本,那么就取消这次转发。

文献[8]中分析了 ICN-IoT 环境中不同缓存和转发策略的性能,分析了不同转发和缓存策略在物联网场景的使用性,同时转发数据包时也采用延迟窗口的转发方式,但是延迟时间的计算考虑了多个因素。文献[9]中提出了一种改进文献[1]的方法(Best PIT Forwarding,BPF),考虑文献[1]的转发方式可能会降低数据包的搜索区域。文献[9]方案中,节点在转发兴趣包时排除之前兴趣包发送者的地址,这样可以提高数据包的搜索区域,提高数据副本的获取概率。

为了提高缓存命中率,文献[10]中提出了一种

将相似的缓存数据,集中在给定路径的方法,给出了相似数据的相似度计算方法,仿真结果也表明该方法可以明显提高网络中数据的缓存命中率。

文献[11]中提出了一种应用于物联网环境的多数据源信息搜索框架。通过兴趣包限制内容生产者的数量和内容,同时限制兴趣包的转发区域,来降低碰撞概率和网络负载。

文献[12]中考虑无线环境中由于广播特性而可能导致的网络拥塞和资源浪费,提出了一种兴趣包抑制算法(AIF),该算法考虑了兴趣包的转发者和接收者之间的距离、角度以及数据消费者和数据转发者之间的空间直线距离,从而避免不必要的广播。该方案的仿真结果与最新的转发方案相比可以有效地降低网络的负载,本文也将该方案作为对比对象。

目前大多数将 NDN 应用到无线环境的研究都忽略了无线环境的资源受限情况,此外,节点的资源和网络的生命周期也应该是无线环境下转发策略需要考虑的问题。

2　转发方案

2.1　NDN 转发流程

为了获取指定的内容,如图 2 所示,消费者首先发送一个兴趣包,包含内容名称、唯一标识和鉴权码等信息,中间节点收到兴趣包后先检查内容仓库 CS 中是否包含该请求数据的缓存。如果存在,那么立即返回;如果不存在,再查看待定请求表 PIT 中是否有相同的请求已经转发出去。如果有,那么在相应条目下增加本次请求的端口号;如果没有,那么查询转发信息表 FIB,找到下一跳的端口并将该信息加入 PIT 表中。如果 FIB 表格中没有,那么兴趣包的去留由具体转发策略决定,可以直接丢弃也可以广播到所有端口,可以根据应用场景需求选择合适的方式[1]。

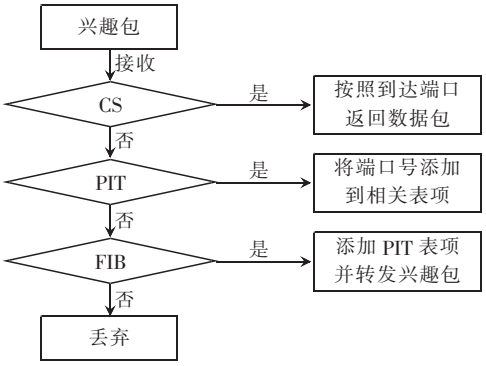


图 2　NDN 转发流程

2.2　无线环境下的转发方案

2.2.1　WSN 环境下基于 NDN 的数据获取方法

在命名数据网络中,和传统的基于 IP 寻址方式不同,这里所有的转发和路由都是通过名称来完成。本文中的名称策略采用分层分类方式,不同域之间用"/"分割,如/TaskType/Location/Time,表示某时间某地点检测的数值,所有节点存储了剩余能量和初始能量信息。

如图 3 所示,S 表示 Sink 节点,即数据的请求者,发送一个兴趣包,请求 19 日下午 13:30 房间 1 的湿度情况,该兴趣包会在网络中转发,节点 1、2、3 收到兴趣包后,都会在等待一定时间后进行下一次转发,直到找到最终的数据源 P。

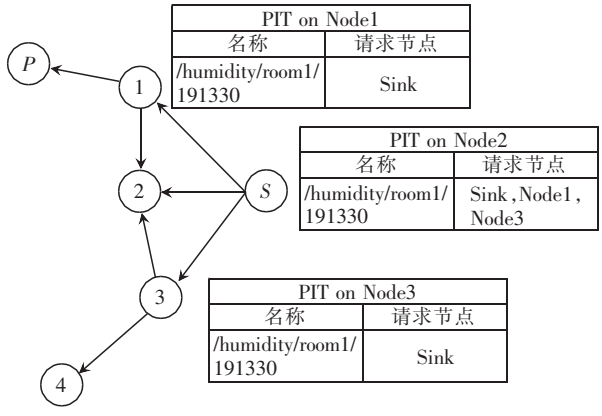


图 3　数据请求转发过程示意图

2.2.2　转发等待时间计算

原始 NDN 转发策略中,节点接收的兴趣包会转发到除了接收端口外的其他所有端口,在无线环境中,所有节点共用一个空中接口,为了抑制广播风暴,采用延迟窗口方法[7]。在传统的延迟等待时间,核心都是采用随机数的计算方法,并没有考虑节点能量受限性。文献[7-9]中节点的延迟等待时间计算公式有:

$$T_{\text{Data}} = rand(0, DW) * DeferSlotTime \tag{1}$$

$$T_{\text{interest}} = (DW + rand(0, DW)) * DeferSlotTime \tag{2}$$

其中不管是兴趣包的等待时间还是数据包的转发等待时间都是基于随机数的方式,没有考虑节点的资源问题。

这里综合考虑节点的资源受限问题,改进转发方式。如图 4 所示,其中 C 表示数据请求者,P 表示数据生产者或者含有指定数据副本的中间节点。节点 C 的广播区域可以到达 a 和 b 点,为了完成转发,a 和 b 节点需要完成中继转发,延迟时间计算如下:

$$T_{\text{Data}} = rand(0, DW) * \left(-\log\left(\frac{E_{\text{remain}}}{E_{\text{init}}}\right)\right) * DeferSlotTime \quad (3)$$

$$T_{\text{interest}} = (DW + rand(0, DW)) * \left(-\log\frac{E_{\text{remain}}}{E_{\text{init}}}\right) * DeferSlotTime \quad (4)$$

其中,DW 表示延迟窗口,$DeferSlotTime$ 表示延迟时间片,E_{remain}表示节点的剩余能量,E_{init}表示节点的初始能量,$rand$ 是随机数产生函数。其中考虑节点的剩余能量,这里采用负对数函数的形式,当节点能量越低时,延迟时间的值也就越大,这样该节点被作为中继节点的概率就越低。极限情况下,当节点能量为 0 时,或者低于可以转发数据的最低能量要求时,等待时间就是无穷大,此时相当于节点死亡。

在延迟等待时间里,节点监听无线信道,如果在等待时间里监听到其他节点的转发,那么可以停止本节点的转发流程。

此外,和数据包相比,在兴趣包的延迟时间增加了一个 DW 时间,表示给数据包更高的优先级进行传输。而 $rand$ 随机函数让不同节点都有一定概率完成转发,达到负载均衡目的。所有节点在转发完数据包的一定等待时间里不会再次转发相同的兴趣包。

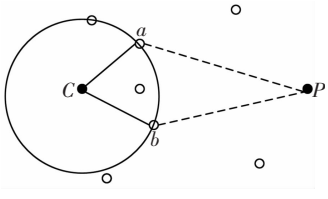


图 4 节点转发示意图

2.2.3 考虑节点间距离的转发决策

上述转发方案中,对于延迟时间内收到相似数据包的节点采用放弃本次转发的方案可能存在问题,如图 5 所示,如果在节点 1 和节点 2 的等待时间里收到了来自节点 3 的转发请求,那么节点 1 和 2 停止转发,由节点 3 完成中继转发,但是因为数据源 P 不在节点 3 的广播区域内,那么如果网络中没有其他节点存在,此次请求可能会无法到达数据源 P 节点。这种情况显然是不合理的,这里根据接收的信号强度或者其他信息,计算出信号源节点和自己的相对距离,将距离作为一个决策变量,当距离大于一定阈值的时候就继续中继转发,这样可以扩大搜索区域,提高获取数据的概率,同时因为转发数据节点之间相对较远,对网络的负载增加也是很少的。其中节点与节点之间的距离也有很多种方式可以获得,计算距离的方法,不同的环境中可以根据实际情况采用不同的方法。

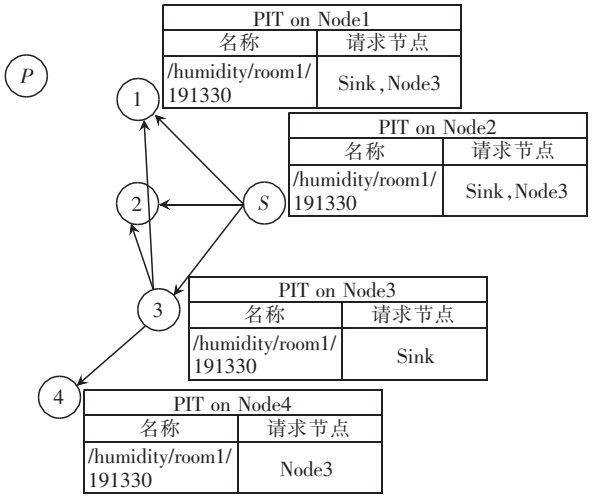


图 5 节点转发示意图

这里针对网络中节点移动性不高或者基本静态的网络,可以采用预先测量生成指纹数据的方式。即每个节点都存储一个距离矩阵 $\boldsymbol{D}$,如表 1 所示。表中数据 D_{ij}表示节点 i 和节点 j 之间的距离。

$$D_{ij} = \begin{cases} 0, & i = j \\ \text{dis}(i,j), & i \neq j \end{cases} \quad (5)$$

表 1 节点间距离矩阵

	Sink	Node1	Node2	Node3	Node4	P
Sink	0	5	3	5	10	9
Node1	5	0	4	6	8	2
Node2	3	4	0	2	5	3
Node3	5	6	2	0	3	9
Node4	10	8	5	3	0	10
P	9	2	3	9	10	0

转发决策时当节点在等待时间内接收到了来自其他节点的信号,会通过上述方式首先获取与该节点的距离 d,当距离 d 小于一定阈值时才放弃此次中继转发。转发流程如图 6 所示。当中间节点收到兴趣包后首先会检查自己的缓存仓库 CS,如果 CS 中存在请求的数据,那么直接返回;如果不存在,继续查看待定兴趣表 PIT。如果待定兴趣包中存在相同的数据请求项,那么放弃此次转发,等待数据到达即可;如果 PIT 中不存在,那么就进入转发阶段,转发阶段中首先根据式(3)计算延迟等待时间。在等待时间段里如果没有监听到其他节点的转发消息,那么该节点将继续完成转发;如果监听到其他节点的转发,那么再次计算两个节点之间的距离。如果两个节点之间的距离大于指定的阈值,那么该节

点将继续完成转发,如果小于或者等于指定的阈值,那么该节点将放弃这次转发。

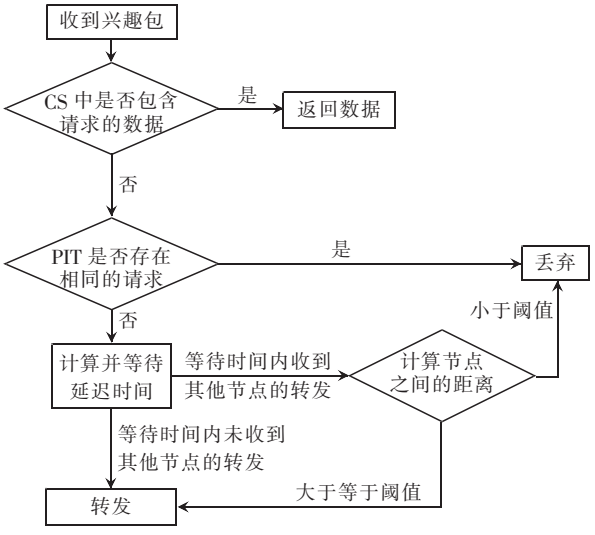


图 6 节点转发决策流程图

2.2.4　距离阈值计算

在距离决策中,距离阈值的取值也很重要,阈值太大,会降低搜索区域从而使兴趣包重传率增大,阈值太小会提高网络的负载,冗余数据过多,网络容易产生拥塞。这里采用重传率负反馈的计算方式来计算和动态调整距离阈值 $\zeta \propto \frac{\tau}{\varphi}$,其中,$\zeta$ 表示距离阈值,φ 表示网络中兴趣包平均重传率,τ 表示网络的平均时延,用来衡量网络的拥塞程度。

$$\zeta = \begin{cases} \zeta_0, & t = 0 \\ f_{\tau,\varphi}(t), & t = nT(n = 1,2,3,\cdots) \end{cases} \tag{6}$$

当系统开始时,会给定一个初始值,该值大小和具体的网络规模和节点间距离有关,一般取节点信号覆盖区域的直径大小。

如图 7 所示,其中 dis(a,b) 表示网络拓扑中节点间距离的平均值,刚开始采用两倍的距离平均值作为初始值,系统开始时,定时检测网络的平均重传率和时延,如果重传率大于指定阈值,那么距离阈值需要减小一定值,反之如果时延大于指定值,那么距离阈值需要增加一定值,其中 0.25 为降低系数,每次迭代减少或者提高四分之一的距离平均值,这个系数可以根据情况修改。通过此方式来维持网络状态的平衡。

$$\zeta(n+1) = \begin{cases} \zeta(n) + \zeta_{\Delta 0}, & \tau > \tau_t \\ \zeta(n) - \zeta_{\Delta 1}, & \varphi > \varphi_t \end{cases} \tag{7}$$

式(7)给出了距离阈值的动态调整过程 ,其中 ζ_Δ 表示变化的梯度大小。

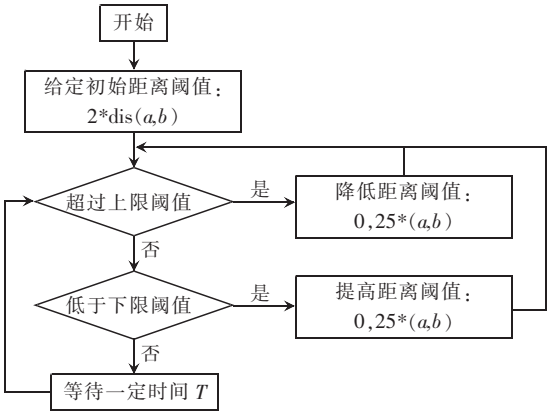


图 7　阈值控制流程图

3　仿真实验

3.1　仿真环境

采用开源仿真软件 ndnSIM 模拟无线环境,无线通信协议采用 802.15.4,拓扑规模采用多种大小($N = q * q$),其中 $q = 5,7,9,11$,表 2 中给出了具体的仿真参数。图 8 给出了仿真的拓扑结构。

表 2　仿真参数设置

参数	设置
接口	IEEE802.15.4
数据包大小/bytes	100
兴趣包大小/bytes	50
DeferSlotTime	20 usec
节点个数 N	25,49,81,121
比特消耗能量/μJ	0.5
节点初始能量/J	10
仿真时间/s	100

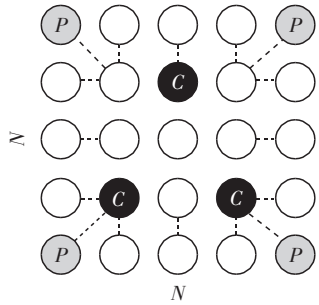


图 8　仿真拓扑结构($N * N$)

3.2　仿真结果

通过 ndn SIM 仿真软件,对所有仿真场景都进行 5 次独立的实验,最终数据结果采取多次结果的平均值。

首先考虑网络中剩余节点个数随时间变化趋势,如图 9 所示,从图中可以看出随着时间的增加,

本文提出的 ECF 转发方案在相同时间下存活的节点个数明显多于其他方案,最简单的 flooding 方法存活节点最少。这是因为,根据式(3)和式(4),将能量考虑在节点转发延迟等待时间里,节点能量越低,延迟等待时间就越长,那么节点能量高的转发的概率就更大,从而可以达到流量均衡。而采用洪泛广播方式存活节点下降得最快,在同一时间里网络中所有节点都选择转发的方案对网络资源消耗是很大的。

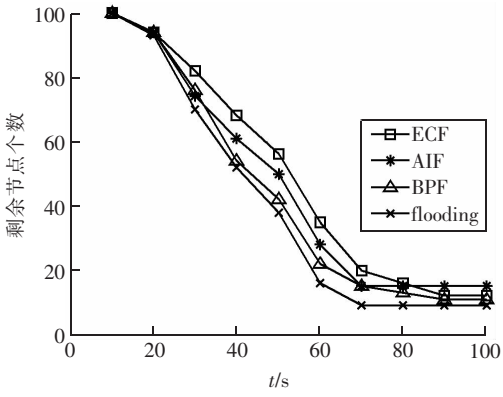


图 9 生存节点个数随时间变化

图 10 是考虑不同方案下网络的生存周期,不同网络的生存周期定义根据实际情况可能有所不同。这里生存周期分别定义为网络中剩余节点个数为总个数的 30%、50% 和 70%,从图中可以看出,不管是哪种生存周期的定义方式,考虑剩余能量方案网络的生存周期都大于其他几种方案。因为网络的生存周期和节点的存活率密切相关,考虑节点能量的转发方案可以有效地平衡网络流量分配,让节点的存活时间更久。同时随着网络连接度的增加,即网络中存在的节点越多,文中提出的方案优势越明显。

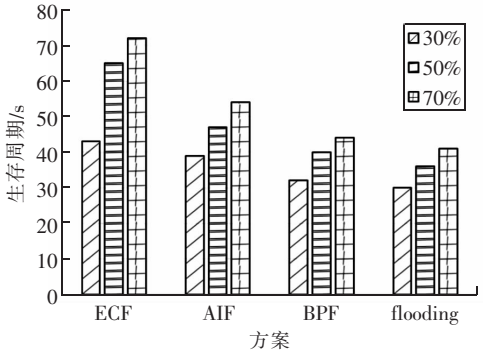


图 10 不同方案生存周期比较

考虑节点剩余能量可以有效地提高网络的生命周期,但是可能对于某些请求获取数据不是最优路径,所以网络的平均时延会略有提高。但是只要网络结构一般合理情况下,这种时延的增加是可以减少的。从图 11 结果可以看出,AIF 采用抑制广播风暴的方案可以有效降低网络负载,在资源受限情况下相比于 BPF 可以有效降低网络的平均时延。本文提出方案的时延大小相比于其他两种方案提高 1% 左右。在时延要求不是很高的场景中,该方法还是很有效的。

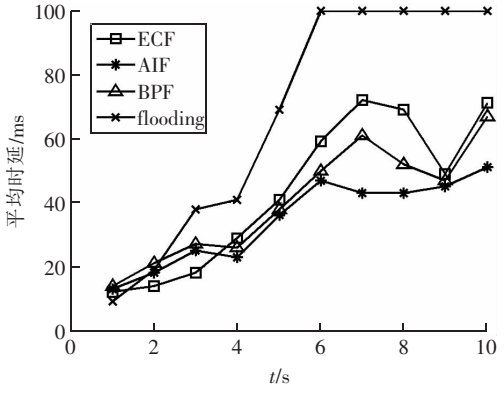


图 11 不同转发策略下耗时比较

4 结束语

为了提高命名数据网络在无线环境的生命周期,本文提出了一种考虑无线环境中路由节点能量的转发策略,通过把节点的剩余能量融合到延迟时间计算中,可以达到负载网络流量,提高网络整体的生命周期,同时考虑节点间距离的转发决策可以有效保证数据的搜索范围。最后通过仿真和多种其他转发策略进行比较,结果可以看出考虑节点能量的转发策略可以明显提高网络的生命周期。

参考文献:

[1] ZHANG L, ESTRIN D, BURKE J, et al. Named data networking (NDN) project: NDN-0001 [EB/OL]. (2010-10-31) [2020-01-10]. https: named-data. net/techreport/TRoolndn-proj. pdf.

[2] XYLOMENOS G, VERVERIDIS C N, SIRIS V A, et al. A survey of information-centric networking research [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(2): 1024 - 1049.

[3] JACOBSON V, SMETTERS D K, THORNTON J D, et al. Networking named content[C]//Proceedings of the 5th international Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies. 2009: 1 - 12.

[4] ABOUD A, TOUATI H. Geographic interest forwarding in NDN-based wireless sensor networks [C] // IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA). 2016: 1 - 8.

[5] AMADEO M, CAMPOLO C, MOLINARO A. Forwarding

strategies in named data wireless ad hoc networks: design and evaluation[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2015, 50: 148 – 158.

[6] MEISEL M, PAPPAS V, ZHANG L. Listen first, broadcast later: topology-agnostic forwarding under high dynamics [C]// Annual Conference of International Technology Alliance in Network and Information Science. 2010: 8.

[7] AMADEO M, CAMPOLO C, MOLINARO A, et al. Named data networking: a natural design for data collection in wireless sensor networks[C]// IFIP Wireless Days (WD). 2013: 1 – 6.

[8] HAIL M A M, AMADEO M, MOLINARO A, et al. On the performance of caching and forwarding in information-centric networking for the IoT[M]// Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2015: 313 – 326.

[9] TETSURO K, TETSUYA S. A study on implementation of NDN to WSN[C]// IEEE 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA). 2017: 392 – 398.

[10] KUNIYASU T, SHIGEYASU T. A new contents centric interest forwarding according to user preference on NDN [C]// IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA). 2018: 221 – 227.

[11] AMADEO M, CAMPOLO C, MOLINARO A. Multi-source data retrieval in IoT via named data networking[C]// Proceedings of the 1st International Conference on Information-Centric Networking. 2014: 67 – 76.

[12] BOUK S H, AHMED S H, PARK K J, et al. Interest broadcast suppression scheme for named data wireless sensor networks [J]. IEEE Access, 2019, 7: 51799 – 51809.