

基于大功率消息广播的 DTMSN 路由机制

杨奎武

(数学工程与先进计算国家重点实验室 郑州 450001)

摘要 提出一种基于基站大功率信号广播的延迟容忍移动传感器网络消息路由机制 (High-power Broadcasting based Routing scheme, HBR)。该机制使用两个通信频率 f_1 和 f_2 , 基站以恒定大功率在频率 f_1 上广播已经接收到的消息, 网络中传感器节点根据基站广播信息计算自身转发概率并清理冗余消息副本, 节点间利用频率 f_2 进行通信。为进一步提升网络性能, HBR 优先传输转发阈值 (M) 小且生存时间短的消息, 并合理进行消息队列管理。仿真结果表明, 与几种经典的路由机制相比, HBR 在消息传输成功率、传输延迟方面有着一定的优势。

关键词 延迟容忍网络, 传感器网络, 随机路点模型, 消息副本

中图分类号 TP393 文献标识码 A

High-power Broadcasting Based Routing Scheme for Delay Tolerant Mobile Sensor Networks

YANG Kui-wu

(State Key Lab of Mathematic Engineering & Advanced Computing, Zhengzhou 450001, China)

Abstract This paper proposed a high-power broadcasting based routing scheme (HBR) for delay tolerant mobile sensor networks. Using broadcasting information of base station on the frequency of f_1 , sensor nodes not only can remove the redundant messages, but also can compute their own delivery probabilities which are the basis for messages forwarding between nodes on the frequency of f_2 . In buffer management, HBR employs the message with short survival time and forwarding domain M to manage the message queues. Simulation results show that HBR scheme has a higher message delivery ratio and less delivery delay than some classic DTMSN routing schemes and its overhead of communicating is reasonable.

Keywords Delay tolerant networks, Wireless sensor networks, Random waypoint model, Message copy

1 引言

延迟容忍移动传感器网络^[1] (Delay Tolerant Mobile Sensor Network, DTMSN) 是延迟容忍网络^[2] 与移动传感器网络相结合的产物。其网络通常有基站 (Base Station, BS) 和传感器节点两种设备。由于网络中节点间没有稳定的通信链路, 因此 DTMSN 通常采用“存储_携带_转发”的数据传输模式完成感知消息的上传, 即节点通常把感知的消息复制给其在运动过程中相遇的邻居节点, 利用邻居节点的协助转发来提高数据到达基站的可能性。

DTMSN 本质上仍是一种延迟容忍网络, 主要有节点静止和节点运动 (即 DTMSN) 两种网络形式^[3]。针对节点静止的网络可以利用数据骡子^[4] 或摆渡节点^[5] 为其他传感器节点提供消息转发服务; 对于拓扑变化快、网络连通性差的网络, 除了直接传递机制 (direct transmission, DT)^[3] 外, 通常采用“存储_携带_转发”的消息复制路由机制。

消息复制的路由机制又可被进一步划分为洪泛路由和副本限制路由。典型的适用于 DTMSN 网络的洪泛路由有 Epidemic^[6]、Prophet^[7]、RED^[8]、FAD^[9]、SRAD^[10]、MTAD^[11] 等; 副本限制路由有 Spray and Wait^[12,13]、Spray and Focus^[13] 等。

基于洪泛的路由机制虽然有着消息投递成功率高的优势, 但由于消息转发过程中常常需要大量地进行消息复制, 因此通信开销较大, 而副本限制路由机制虽然限制了副本数量, 降低了通信开销, 但却直接导致了消息传输时延的加大。因此如何在合理的通信开销下提升网络消息投递成功率并降低消息传输延迟, 就成为 DTMSN 网络路由机制研究的重点。

本文提出一种基于基站大功率消息广播的路由机制 HBR, 其基本思想是, BS 将已经接收且生存时间 (Survive Time, ST) 还未过期的消息 ID 在频率 f_1 上进行大功率广播, 传感器节点根据广播将自身消息队列中的这些消息删除, 以节省存储空间和降低通信开销; 同时, 为了提高消息投递成功率, HBR 中的传感器节点会根据 BS 广播信号强度判断自身的运动状态, 并计算传输概率。而节点间的消息转发则在频率 f_2 上依据传输概率进行, 节点只将消息机会性转发给传输概率更高的邻居节点。仿真结果表明, HBR 与经典的 Epidemic^[6]、Spray and wait^[12] 路由机制相比有着更好的性能。

2 HBR 网络模型

如图 1 所示, 假设 M 个节点随机分布在一个 $N \times N$ 的正方形监测区域 A 内 (箭头表示运动方向)。传感器节点间采

本文受国家自然科学基金、物联网感知层攻击检测技术(61101108)资助。

杨奎武(1978-), 男, 博士, 主要研究方向为无线网络安全, E-mail: yangkw@aliyun.com。

用“存储-携带-转发”的数据传输方式将消息最终传递给 BS。同时,假设网络具有如下性质:

1. 网络使用两个通信频率 f_1 和 f_2 。在频率 f_1 上,基站用恒定大功率信号进行消息广播,广播覆盖半径为 C 。网络中节点和基站在频率 f_2 上进行通信,通信半径大小为 R ,通常 $C > R$ 。

2. 节点的移动符合随机路点运动模型^[14]。虽然实际中往往节点仅是附着在载体上或在运动介质中,无法直接获取自身的速度,但假定每个节点都知道网络中节点运动的最大速度 v_{max} 。

3. 基站位于区域中心,能量充足。实际网络部署时,基站可配置两个同样的射频芯片并使其工作在两个频率上,这样可以保证基站在广播消息的时候还能够进行通信且彼此不干扰。传感器节点内部有定时器,在程序控制下节点可以进行信道切换。

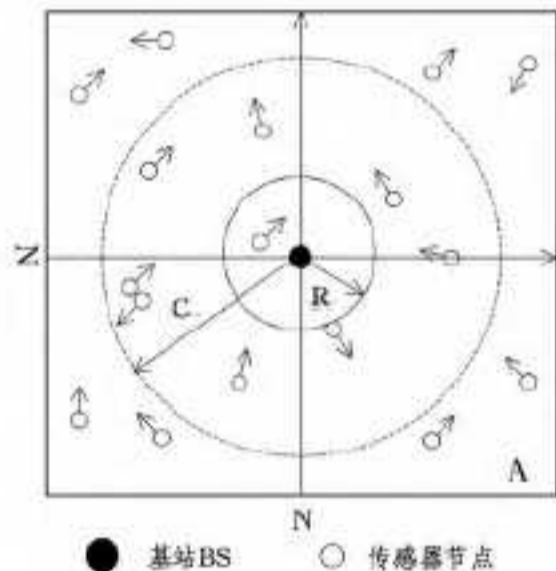


图1 DTMSN模型

3 HBR 路由机制

3.1 基站消息广播

3.1.1 消息生存时间计算

DTMSN 中节点存储资源受限,消息无法长期存储,因此需要将生存时间超过网络延迟容忍限度(Delay Tolerant Value,DTV)的消息及时清除以节省空间,同时也可以防止其继续转发而浪费能量。 ST 计算方法如下:首先假设消息内部均有一个生存时间域用来存放 ST 值,消息生成时刻该域的值为 0,此后每当节点定时器计时超时, ST 的值就会自动加 1;消息在转发过程中由于时间很短, ST 值不变。

3.1.2 基站消息广播

BS 实时统计所有接收到的消息的 ST 值,将 ST 值小于 DTV 的消息的 ID 以恒定的大功率在频率 f_1 上进行高密度周期性广播,广播报文格式的主要内容如图 2 所示。Broadcast-ID 代表本次广播报文的序号;Mes-ID-Num 代表广播报文中包含的消息 ID 数量;New-Mes-Num 代表和上一次广播相比本次广播中出现的新的消息 ID 的数量;Mes-ID $_n$ 是消息的 ID, n 越小代表基站接收到该消息的时间越短。当广播报文内有新的 ID 出现时,Broadcast-ID 进行加 1 更新。

Broadcast_ID	Mes_ID_Num	New_Mes_Num	Mes_ID1	Mes_ID2	……	Mes_IDn
--------------	------------	-------------	---------	---------	----	---------

图2 广播消息格式

3.2 消息转发

DTWSN 中节点的传输概率代表传感器节点未来与基站发生连接的概率,HBR 中节点间消息的相互转发是根据节点的传输概率进行的。在图 1 区域 A 中,节点将根据接收的基站广播报文清除自身的冗余消息副本,并根据信号强度的变化计算自身的传输概率。

3.2.1 消息副本消除

传感器接收到 BS 广播报文后,节点如果发现广播消息的 Broadcast-ID 与上一次接收的相同,则说明 BS 最近没有收到新的消息,也就没有副本可以消除;相反,如果节点发现广播消息的 Broadcast-ID 与上一次接收的不同,则可直接查看前 New-Mes-Num 个消息 ID 是否在自身的消息队列中,如果有相同 ID 的消息,则直接删除,以节省存储空间,并防止不必要的转发,降低通信开销。

3.2.2 节点运动速度计算和运动趋势分析

如图 3 所示,节点在沿直线 SD 从源点 S 以匀速 v 向目的地 D 运动过程中,假定节点运动到 P_1, P_2, P_3 处时,时间间隔均为 τ 。节点根据在这 3 个位置接收到的广播信号强度及信号传播衰减规律可计算出各位置与 BS 的距离分别为 l_1, l_2, l_3 ,另外点 P_1, P_3 和点 P_2, P_3 间的距离相等,为 $v\tau$,参考文献^[15],可计算得出节点速度 v 和直线 SD 到基站的距离 d ,其中

$$v = \sqrt{(l_1^2 + l_2^2 - l_3^2) / (2\tau^2)} \quad (1)$$

$$d = \sqrt{l_1^2 - \left(\frac{(v\tau)^2 + l_1^2 - l_3^2}{2(v\tau)}\right)^2} \quad (2)$$

当距离 d 大于通信半径 R 时,说明节点本次运动不可能与 BS 通信;相反,当距离 d 小于半径 R 时,则表明节点可能与 BS 通信,但还要看节点运行的距离。

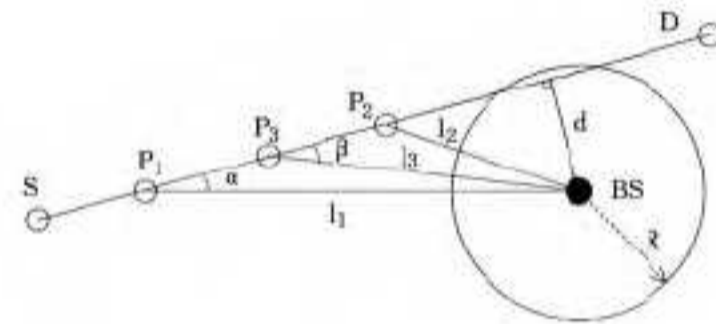


图3 节点移动速度的计算

3.2.3 节点传输概率确定

基于移动模型的特点,我们认为传感器节点与 BS 的距离、连通状态,以及节点相对于 BS 的运动趋势和方向对节点传输概率影响最大。假设某节点与 BS 的距离为 l ,给出节点的状态及传输概率 P 的计算方法。具体如下:

· 连通态: $P=1, l < R$, 节点在 BS 通信半径内。

· 自由态: $P = \frac{R}{2C} \cdot \frac{T}{T+\epsilon}, l > C$, 此时节点不在广播覆盖范围内。其中 T 代表节点处于广播范围外的时间,一旦节点重新进入广播覆盖范围后,就设定 $T=0$,这里的 ϵ 为一个正常数。

· 背离态: $P = \frac{R}{2l} \cdot \frac{d}{l} \cdot \frac{R}{l} = \frac{R^2 d}{2l^3}, C > l > R$, 此时节点朝远离 BS 方向运动。

· 趋向态: $P = \frac{R+l}{2l}, C > l > R$ 且 $d < R$, 此时节点朝 BS 运动且有可能与 BS 通信。

· 趋近态: $P = \frac{R}{2l} \cdot \frac{R}{d} = \frac{R^2}{2ld}, C > l > R$ 且 $d > R$, 此时节点虽然趋近 BS,但不可能与 BS 通信。

· 静止态: $P=0, C > l > R$ 且节点速度为 0, 则节点处于静止态。这种状态下,节点内消息的传输延迟将会由于节点的静止而加大,为了不使其他节点的消息延迟也加大,设定此时节点的传输概率为 0,不为其他节点转发消息。

· 静止态: $P=0, C > l > R$ 且节点速度为 0, 则节点处于静止态。这种状态下,节点内消息的传输延迟将会由于节点的静止而加大,为了不使其他节点的消息延迟也加大,设定此时节点的传输概率为 0,不为其他节点转发消息。

· 静止态: $P=0, C > l > R$ 且节点速度为 0, 则节点处于静止态。这种状态下,节点内消息的传输延迟将会由于节点的静止而加大,为了不使其他节点的消息延迟也加大,设定此时节点的传输概率为 0,不为其他节点转发消息。

3.2.4 消息转发

为了提高消息传输成功率并降低通信开销,网络中节点

只将消息转发给传输概率比自身更低的节点。假设节点在转发消息前已经获得了邻居节点的传输概率、消息队列剩余空间大小 n 及其存储的消息 ID; 根据这些信息, 节点将传输概率大于自身的邻居节点按照传输概率由高到低进行排队, 并依次确定能够转发给其邻居节点的消息数量 m , 然后再将消息分别转发。向某一邻居节点转发消息的数量为 $\min(m, n)$ 。

3.3 消息队列管理

延迟容忍环境下, 消息队列管理对于消息传输成功率、传输延时及通信开销都有着非常大的影响。设定 HBR 中每个消息都包含一个转发域 M , 该域用于存放消息的转发次数, 并随消息一同转发。当消息刚生成时 $M=1$, 此后消息每转发一次, 发送者都将该位进行一次乘 2 操作。 M 越大, 表明该消息被转发的次数越多。HBR 综合利用消息生存时间 ST 和 M 值对消息队列进行管理。

3.3.1 消息丢弃方法

消息的丢弃包括以下 4 种情况。

1. 当消息生存时间 ST 大于 DTV 时, 表明消息已经超过时效, 予以删除。
2. 当消息生存时间 ST 满足式(3)时, 则要及时将该消息删除。公式说明, 在当前位置没有任何一个节点能够在延迟容忍时间内将消息转发给基站。

$$(DTV - ST) \cdot v_{max} > l \quad (3)$$

2. 当本地消息队列已满, 且节点自身又生成了新的消息时, 节点会将 ST 值最大的消息删除, 为新消息准备空间。
3. 如 3.2.1 节所述, 根据广播信息已知某一消息已经被 BS 接收, 则将该消息删除。

3.3.2 消息传输优先顺序

HBR 在消息传输先后顺序的判定上利用 ST 和 M 值来完成。传感器节点首先根据 M 值对消息进行排序, 优先转发 M 小的消息, 在 M 相同的情况下, 优先转发 ST 小的消息。优先转发 M 值小的消息是为了确保网络中的消息都有均等的转发机会, 而在此基础上优先转发 ST 小的消息则有利于减小消息的传输时延。

4 性能分析

本文利用 Netlogo4.1.3 软件对 HBR、Binary Spray and Wait(BS&W)、Epidemic 3 种路由机制进行了仿真, 并从数据传输成功率、节点平均传输消息数量和消息平均传输延时 3 个方面对以上路由机制进行了比较分析。

仿真设定节点在 $200m \times 200m$ 的方形区域运动, BS 位于区域中心, 广播频率 f_1 半径为 $100m$ 。节点新消息的生成符合平均到达时间为 $10s$ 的泊松过程, 网络信道良好, 区域内无

干扰, 网络带宽为 $250kbps$; 仿真时间为 $1000s$ 。其他具体参数见表 1。

表 1 仿真实验参数

Parameter	Default value
Network size(m^2)	200×200
Run time(s)	1000
Number of sensor node	100
ϵ of CRD(s)	10
Frequency f_2 Transmission radii $R(m)$	6
Frequency f_1 Transmission radii $C(m)$	100
speed of sensor node v (m/s)	0~10
Pause time $T_{pause}(s)$	0~40
Queue length of sensor node	100 message
Length of message(Byte)	128
Message generation rate	0.1/s
Position of base station	(100,100)
Maximum delay tolerant value (s)	200
Parameter L of BS&W scheme	16 and 8

默认参数下, 3 种传输机制的具体性能参见表 2。

表 2 默认参数下仿真实验结果

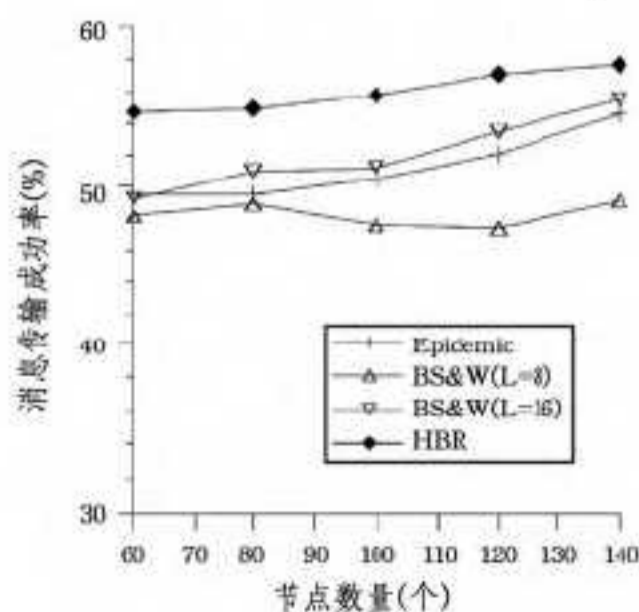
	HBR	BS&W(L=16)	Epidemic
传输成功率(%)	54.86	51.29	51.15
平均消息传输数量	1216	773	1839
平均延迟(s)	89.8	113.1	121.4

4.1 性能比较及分析

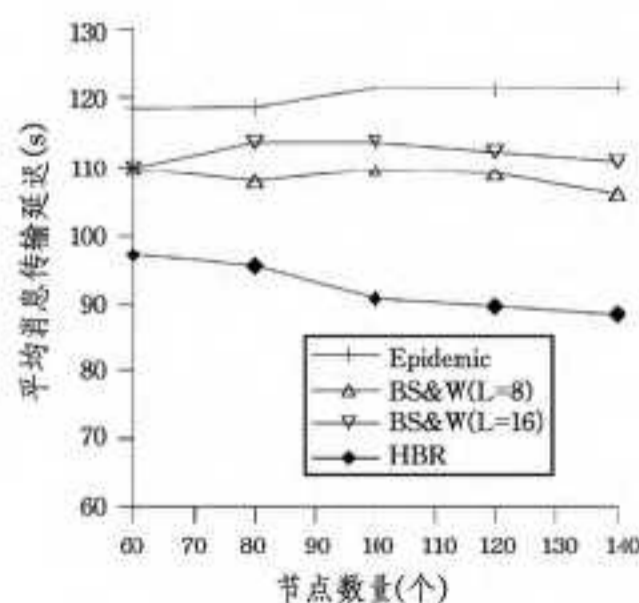
从表 2 中可以看出, Epidemic 传染路由机制试图利用大量的消息复制来提升网络性能, 但由于消息被盲目转发, 使得在传输成功率和消息传输延迟方面都不够理想, 而且通信开销非常大。而 BS&W 机制在 spray 阶段既能够快速散播消息, 又限制了节点转发消息的数量, 因此能够以较低的通信开销获取不错的网络性能。HBR 机制在数据传输成功率、平均传输时延方面相对于其他两种机制优势比较明显, 尤其是在延迟方面, 这主要是得益于 HBR 路由中及时的冗余副本删除、准确的转发概率计算方法和合理的队列管理机制。

4.2 传感器节点密度对性能的影响

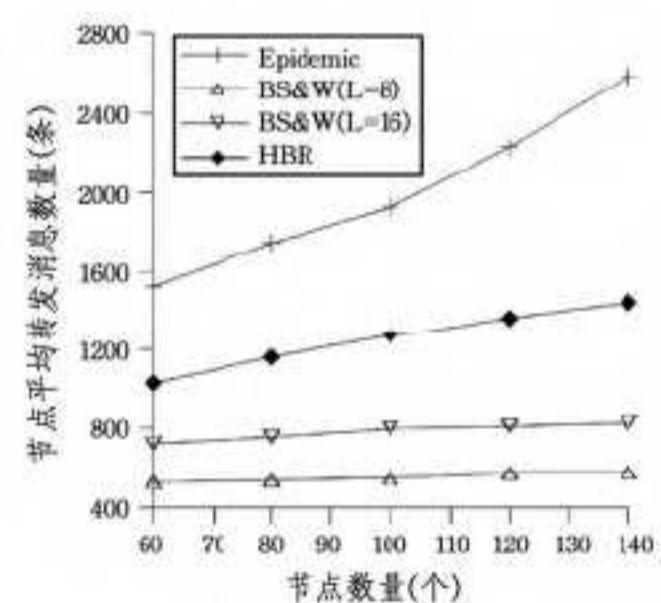
在节点密度发生变化时, 3 种路由机制的实验结果如图 6 所示。从图中可以看出, 随着节点密度的加大, 整体数据传输成功率有所提升但增幅不大, 主要是因为消息队列空间有限且平均每个节点到达 BS 通信范围内的传输时延下降得最为明显。在通信开销上, BS&W 机制频率没有变化, 但总体上消息的传输时延有所下降, 其中 HBR 机制由于可以选择的转发节点数量大大增加, 因此限制了消息副本的数量, 所以通信开销基本上没变, 但 Epidemic 和 HBR 机制的通信开销明显提升。



(a) 节点密度变化时的消息传输成功率



(b) 节点密度变化时的消息传输延迟



(c) 节点密度变化时的平均消息传递数量

图 6 节点密度变化时的仿真结果

4.3 传感器节点通信半径对性能的影响

当通信半径在 $3\sim 7\text{m}$ 内变化时, 3 种路由机制的仿真结果如图 7 所示。随着通信半径的增加, 节点与基站单位时间内相遇的频率也大大提升, 直接促使了消息传输成功率的提高。同时由于单个消息有可能在较短的时间内就转发给多个

相遇节点, 也直接减小了消息传输时延, 但由于 Epidemic 路由机制盲目进行消息转发, 导致消息队列很快被填满, 从而降低了延迟性能, 通信开销急剧增加。HBR 机制虽然通信开销也较高, 但由于有着准确的转发概率计算方法和合理的队列管理机制, 传输延时性能最佳。

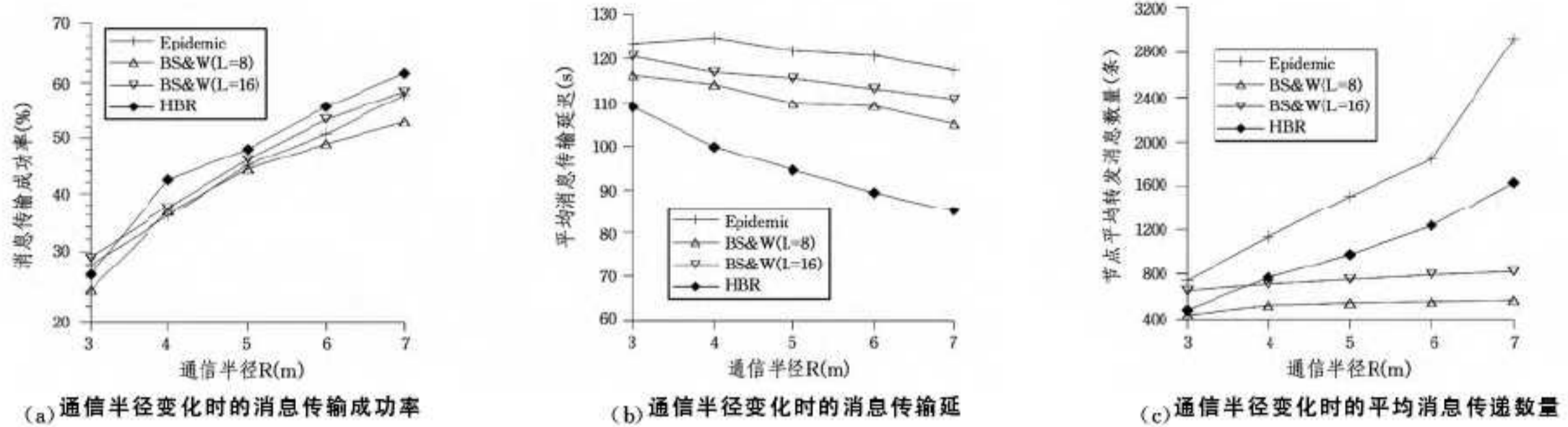


图 7 通信半径变化时的仿真结果

4.4 传感器节点速度对性能的影响

节点速度变化时的仿真结果如图 8 所示。 v_{\max} 越大, 节点平均速度就越高, 单位时间内所遇到的邻居节点数量就会提升, 与基站发生连接的可能性也会增加。因此随着节点运动速度的增加, 3 种机制的数据传输成功率都有不同程度的

升高, 消息传输延迟也总体趋向下降, 但不是非常明显。虽然节点速度增加了, 但是由于受到副本数量限制, BS&W 机制的通信开销基本上没有变化, 而 Epidemic 和 HBR 机制在通信开销上却明显增加。

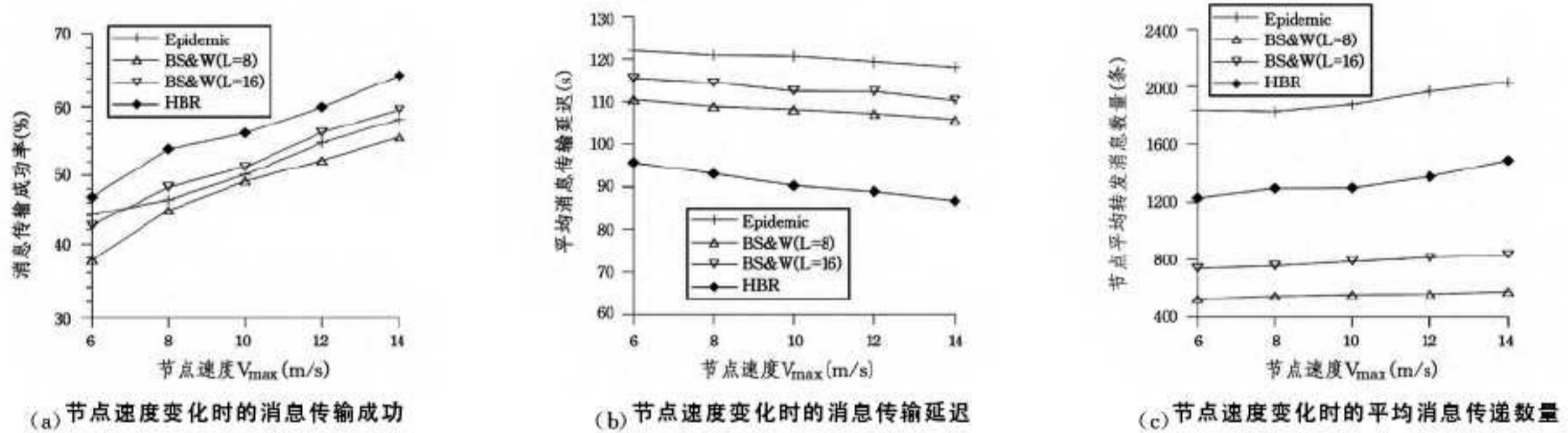


图 8 节点速度变化时的仿真结果

4.5 传感器节点消息队列长度对性能的影响

在消息队列发生变化时, 3 路由机制的仿真结果如图 9 所示。队列长度越长, 表明节点能够存储的消息越多, 能够存储的消息副本也越多, 消息就有更大几率传输到基站, 其中 HBR 性能最好。另外, 由于网络中消息副本的增加使得消息

更有可能在短时间内传输到基站, 因此传输延迟会明显减小。不过, 队列越大, 节点每次能够交换的消息就越多, 因此 Epidemic 和 HBR 机制的开销明显增加, 但 BS&W 机制由于受到副本限制, 通信开销变化不大。

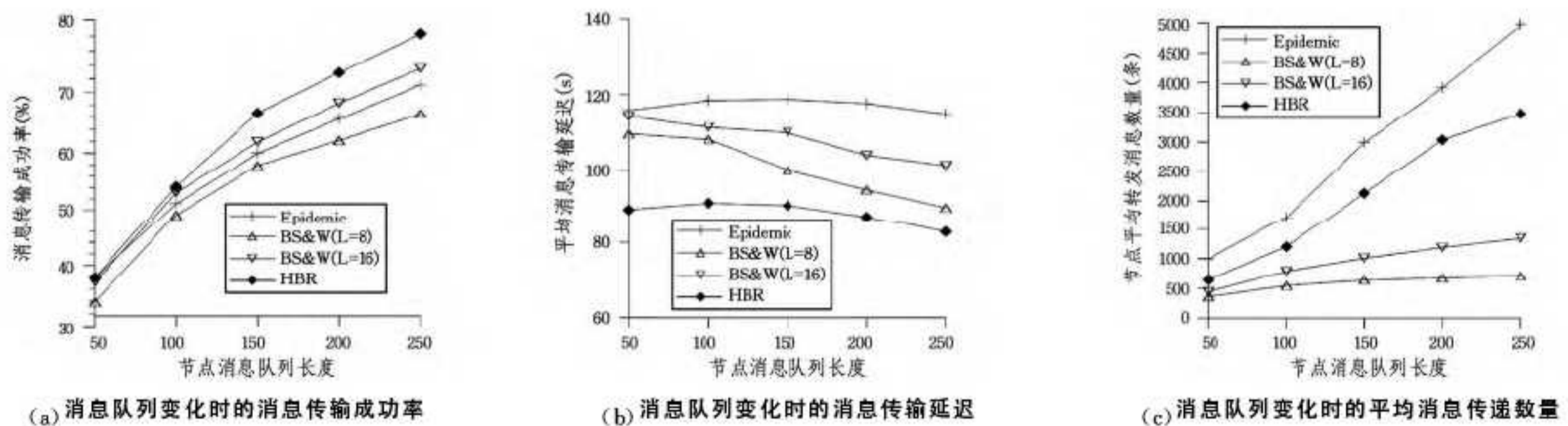


图 9 消息队列变化时的仿真结果

结束语 本文提出的基于多频通信和大功率广播副本消除的 HBR 路由机制在数据传输成功率和时延方面能够取得较好的效果, 同时其通信开销也相对合理, 能够比较有效地应用于延迟容忍传感器网络中, 但该路由机制也存在频率占用多、对信号环境依赖较高的缺点, 需要进一步完善。

参考文献

[1] Leguay J, Friedman T, Conan V. DTN routing in a mobility pattern space[C] // Guerin R, ed. Proc. of the ACM Workshop on Delay Tolerant Networking and Related Topics (SIGCOMM

2005). New York: ACM Press, 2005; 276-283

- [2] Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets [C]//Proc of Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications. New York: ACM Press, 2003; 27-34
- [3] Wang Y, Wu H Y. Delay/Fault-Tolerant mobile sensor network (DFT-MSN): A new paradigm for pervasive information gathering[J]. IEEE Tran. on Mobile Computing, 2006, 6(8): 1021-1034
- [4] Shah R C, Roy S, Jain S, et al. Data Mules; Modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks [C]//Ekici E, ed. Proc. of the 1st Int'l Workshop on Sensor Network Protocols and Applications. Anchorage: IEEE Computer Society Press, 2003; 30-41
- [5] Zhao W, Ammar M, Zegura E. A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile Ad hoc networks[C]// Proc. of the ACM Mobihoc 2004. Roppongi: ACM Press, 2004; 187-198
- [6] Vahdat A, Becker D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks; Technical Report, CS-200006[R]. Durham: Duke University, 2000
- [7] Lindgren A, Doria A, Schelén O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. SIGMOBILE Mobile Computing Communications Review, 2003, 7(3): 19-20
- [8] Wang Y, Wu H Y. Replication-Based efficient data delivery scheme (RED) for delay/fault-tolerant mobile sensor network (DFT-MSN)[C]//Gregori E, ed. Proc. of the 4th Annual IEEE

Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications Workshops. Washington: IEEE Computer Society Press, 2006; 485-489

- [9] Wang Y, Wu H Y, Dang H, et al. Analytic, simulation, and empirical evaluation of delay/fault-tolerant mobile sensor networks [J]. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2007, 1(11): 3287-3296
- [10] 朱金奇, 刘明, 龚海刚, 等. 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
- [11] Xu Fu-long, Liu Ming, Cao Jian-nong, et al. A motion tendency-based adaptive data delivery scheme for delay tolerant mobile sensor networks[C]//The 51st Annual IEEE Global Telecommunications Conference(GLOBECOM'09). Hawaii, USA, 2009; 1-5
- [12] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra CS. Efficient routing in intermittently connected mobile networks; The single-copy case [J]. IEEE/ACM Trans. on Network, 2008, 16(1): 63-76
- [13] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Efficient routing in intermittently connected mobile networks; The multiple-copy case[J]. IEEE/ACM Trans. on Network, 2008, 16(1): 77-90
- [14] Johnson DMaltz D. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks [M]//Imelinsky T, Korth H, eds. Mobile Computing. Kluwer Academic Publishers, 1996; 153-181
- [15] 杨奎武, 郑康锋, 杨义先, 等. 基于运动状态的延迟容忍移动传感器网络数据传输策略[J]. 通信学报, 2010, 31(11): 138-146

(上接第 218 页)



图3 水体提取

为了避免基于图像空间的样本选择产生特征相近目标的错分, 将图像空间和特征空间结合起来。由于在面向对象方法中, 图像分割后每个对象都有各自的属性特征值, 从而可以选择与兴趣类别光谱特征相似的非兴趣类别训练样本。如图 4(a)所示, 增加图像下方的阴影区域作为非兴趣类别样本, 图 4(b)为分类结果。可以看出, 这种特征空间和图像空间样本选择相结合的方法可以克服单一方法的不足, 错分区域明显减少, 本实验中水体的单类提取生产精度和用户精度分别为 99.0% 和 98.0%, 分类效果好。



图4 水体提取

结束语 本文基于最近邻方法, 研究了遥感影像单类信息提取问题。根据最近邻方法的特点, 将类别划分为兴趣类

别和非兴趣类别即可, 并根据图像空间和特征空间邻近性选择非兴趣类别的部分训练样本, 简化了分类过程。在实验中对两幅 TM 遥感影像进行了单类信息提取, 结果表明该方法是有用的。遥感影像单类信息提取与多类分类问题既有区别也有联系, 随着研究的不断深入, 单类信息提取方法会更加完善并得到广泛应用。

参考文献

- [1] 宫鹏, 牛振国, 程晓, 等. 中国 1990 和 2000 基准年湿地变化遥感 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2010, 40(6): 768-775
- [2] Tooke T R, Coops N C, Goodwin N R, et al. Extracting Urban Vegetation Characteristics Using Spectral Mixture Analysis and Decision Tree Classifications [J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(2): 398-407
- [3] 张友水, 原立峰, 姚永慧. 多时相 MODIS 影像水田信息提取研究 [J]. 遥感学报, 2007, 11(2): 282-288
- [4] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数 (MNDWI) 提取水体信息的研究 [J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595
- [5] 闫柏琨, 王润生, 甘甫平, 等. 热红外遥感岩矿信息提取研究进展 [J]. 地球科学进展, 2005, 20(10): 1116-1126
- [6] Schölkopf B, Platt J C, Shawe-Taylor J, et al. Estimating the Support of a High-dimensional Distribution [J]. Neural Computation, 2001, 13(7): 1443-1471
- [7] Li W K, Guo Q H. A Maximum Entropy Approach to One-class Classification of Remote Sensing Imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(8): 2227-2235
- [8] Li W K, Guo Q H, Elkan C. A Positive and Unlabeled Learning Algorithm for One-class Classification of Remote-sensing Data [J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2011, 49(2): 717-725