

WBAN 中基于延时自适应的概率路由协议

李 彦 王 成 冯 贤 菊

(重庆理工大学计算机科学与工程学院 重庆 400054)

摘 要 针对无线体域网中的数据运输可靠性问题,提出了一种基于延时自适应的概率路由协议。该协议在延时自适应路由协议的基础上,综合考虑了节点的缓存,节点之间的相遇概率及连接状态对网络的影响。分析表明,该方法相比于其它路由协议,在网络的数据传输中确实能够提高可靠性。

关键词 无线体域网,可靠传输,相遇概率

Probability Routing Protocol Based on Delay Tolerant in Wireless Body Area Network

LI Yan WANG Cheng FENG Xian-ju

(College of Computer Science and Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

Abstract For data transmission reliability problem in wireless body area network, this paper presented a probability-based delay tolerant networks protocol. The delay tolerant networks protocol based on the protocol considers the nodes' cache and the impact probability of encounter between the nodes and the connection state of the network. The analysis shows that compared to other routing protocols, this method can indeed improve the reliability of data transmission in the entire network.

Keywords WBAN, Reliable transmission, Encounter probability

无线体域网^[1]作为一种新兴的技术,正在被越来越多的无线传感器网络研究者所研究,它是一种可穿戴式的便携式设备,由几个微小的传感器节点组成。这些传感器节点或许是可以植入人体内的,或许是附着在人体皮肤上的,各个传感器节点采集身体参数,并且将采集到的身体参数传输到汇聚节点,通过汇聚节点发送到便携式通信设备上,如 PDA、手机或者其他通信设备,通过这些设备将采集到的数据最终传输到医院医生的电脑上。因此它能够实时地监测人体的各种生理参数,病人不在医院时,医生也能够监测人体的各种参数,比如身体的恢复程度,病人也不用在医院做恢复疗养,这给处在恢复期的病人带来许多便利。由于无线体域网的研究还处在初级阶段^[2],因此还有很多技术没有成熟,没有统一的标准,比如身体传感器节点之间如何组网。由于无线体域网的节点的能量是很难充电或者是更换电池的,因此寿命成了体域网设计的关键问题,还有由于节点之间是短距离通信,因此身体的运动或者身体阻隔会导致节点之间的连接时断时续,这给无线体域网的数据可靠传输带来了巨大的挑战。本文为了提高无线体域网中的数据运输可靠性,在延时容忍网络中做了相应的改进,解决了延时容忍网络所面临的数据丢失和网络延时问题,使得数据传输能够更加可靠。本文第 1 节对目前的相关策略以及网络延时容忍网络进行适当描述;第 2 节介绍在延时容忍网络中的改进研究;第 3 节是相关分析。

1 相关可靠性策略研究现状

针对数据传输的可靠性问题, WBAN 研究者们提出了一

些解决办法,比如卢先领所提出的自适应路由协议,使用隐式马尔科夫模型(HMM)^[3]来提高能量的利用效率和数据传输的可靠性,将人体的运动过程看成是一个可视状态,将节点之间的链路状态视为一个隐式状态,通过不断地训练学习来提高网络连通性;延时自适应网络(DTN)^[4]协议使用节点的缓存来提高数据传输的可靠性,当体域网节点处于分割状态时,被断开的传感器节点将正在传输中的数据包缓存到当前节点中,直到网络通信恢复正常,数据包才继续发送,但该协议没考虑当节点之间不能通信时,会导致数据包丢失的问题;协同姿势概率路由(BAPR)协议^[5]使用概率来衡量节点的历史连接状况和惯性传感器来量化传感器节点的瞬时连接状况,当节点处于剧烈运动时,瞬时传感器节点所判断的下一跳节点所占比重更大,当节点运动比较平稳时,历史链路连接状况判断的下一跳节点所占的比重更大,通过遗传算法来提高数据传输的可靠性^[6],是将体域网节点中的路径看成染色体,节点看成是基因,适应值作为链路的可靠性值,通过几次交叉、变异之后,找到路径中可靠性相对较高的路径,但是遗传算法时间复杂度相当高,会耗费大量能量。彭能明提出了基于转发节点的分簇路由^[7],通过选择网络中节点能量较多的一些节点作为簇头节点,有效地提高了通信质量和网络寿命,但是难以保证数据传输的可靠性与及时性。本文在延时容忍网络中提出了一种新的改进方法,该方法相比于延时容忍网络中的数据传输具有更好的可靠性。

在延时自适应网络(Delay Tolerant Network)中源节点发送数据包到目的节点时,机会路由^[8]当且仅当这两个节点

本文受重庆市自然科学基金项目(cstc2013jcyjA0488)资助。

李彦(1977—),男,博士生,教授,主要研究方向为传感器网络;王成(1990—),男,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络;冯贤菊(1990—),女,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络。

之间存在可能的链接时才发送数据包。当节点与节点之间突然断开时,数据发送节点会将数据包缓存在发送节点中,直到发送节点与接收节点能够通信时,再将缓存中的数据包发送给接收节点,这种网络存在的问题是当两个节点之间长时间不能连接,而节点的缓存有限时,会造成数据包不能够及时发送出去而丢失。

泛洪的蔓延路由协议(epidemic routing)^[9,10]是一种典型的DTN路由协议,其中,带数据包的节点在移动过程中与其他节点相遇并发生连接而转发数据包。当两个节点相遇时,交换彼此没有的数据包,但节点的缓存空间有限,并且蔓延路由在泛洪过程中会产生大量的报文副本,易造成网络拥塞^[11],一旦发生网络拥塞,蔓延路由的报文递交率会受到很严重的影响,平均延迟也会变得很大。本文提出了一种新的解决方法,通过证明,在WBAN中这种方法能够比DTN中的机会路由协议和蔓延路由协议更能提高数据传输的可靠性。

2 基于延时自适应的概率路由协议

2.1 网络模型

在无线体域网中,采集节点采集数据包,转发节点只转发数据包。如图1所示,14个节点分布在人体身上,采集节点采集一种或多种生理数据,并将采集的数据以数据流的形式不断传送给父节点,通过多跳的方式传送到sink节点,节点选择下一跳节点时,基于节点之间相遇概率,采用一对一的数据传输方式,并在数据包中加入一个链表,当数据包经过一个节点时,把当前节点加入到链表当中,保证链表中不出现重复的节点,从而保证数据包不回传。

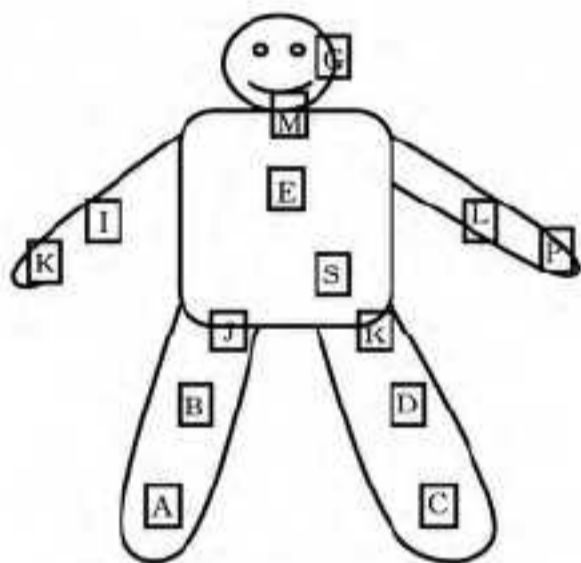


图1 WBAN中无线传感器节点的部署位置

2.2 传感器节点传输概率

PROPHET(Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity)^[12]通过节点间的历史相遇信息来估计传输概率,在该路由协议中,每个节点都各自维护一张展示该节点到网络中其他任何节点的概率表,概率表用来储存WBAN中任何两个节点相遇的概率,表是动态的,随着节点之间的相遇不断更新节点的相遇概率。通过概率表中概率的大小关系来决定是否把数据转发给相遇的节点,数据包不断地从与sink节点相遇概率小的节点转发到与sink节点相遇概率大的节点,直到遇到sink节点。该协议使用一个称为传输预测值 $p_{(a,b)}$ 的参数作为路由度量,表示将消息从节点 a 传输到节点 b 的传输概率。假设节点 a 要将消息 m 传输到目的节点 d ,若节点 a 与节点 b 相遇,则节点 a,b 交换各自的相遇概率表,仅当 $p_{(b,d)} \geq p_{(a,d)}$ 时, a 才将消息转发给节点 b 。

$p_{(a,b)}$ 的计算包括3个部分。当两个节点相遇时,彼此都更新各自的传输预测值,

$$p_{(a,b)} = p_{(a,b)old} + (1 - p_{(a,b)old}) \times p_{init}$$

其中, p_{init} 是初始化常量。

如果一段时间内,一对节点之间并没有相遇,则各自传输预测值并通过以下方式进行更新:

$$p_{(a,b)} = p_{(a,b)old} \times \gamma^k$$

其中, γ 为删减因子, k 为上次相遇后经历的时间片数。

另外,如果节点 a 与节点 b 经常相遇,而节点 b 也与节点 c 经常相遇,则:

$$p_{(a,c)} = p_{(a,c)old} + (1 - p_{(a,c)old}) \times p_{(a,b)} \times p_{(b,c)} \times \beta$$

其中, β 为传递因子。

WBAN中影响数据传输可靠性的最主要因素是身体姿势的变换会造成传感器节点之间时断时续的连接状态。假设节点 i 的邻居节点可以表示为 $N_i = \{b | d_{(a,b)} \leq R\}$,其中 $d_{(a,b)}$ 表示为节点 a 与节点 b 之间的距离, R 为节点 a 的通信半径。由于身体姿势的经常变换,因此节点之间的距离会发生变化,造成前一段时间能通信的节点在下一段时间可能无法通信,源节点采集数据后通过找到一条传输概率最大的路径来发送到sink节点,最大传输概率路径是指节点与节点之间在历史时间 T 内相遇概率最大的路径,路径构建方法是:将路径中节点能够成功发送数据包的概率最大的节点作为下一跳传输节点,每个选择下一跳节点的节点总是选择相遇概率最大的节点作为下一跳节点。子节点选择父节点基于如下方法:

$$parent(a) = \max_{i \in neighbor(a)} P_{(a,i)}$$

路径构建时,定义 a 节点到sink节点成功发送数据包概率最大的路径为 $a-b-c-sink$,那么 $p(a) = p_{(a,b)} * p_{(b,c)} * p_{(c,s)}$, $p_{(c,s)}$ 表示节点 c 与sink节点相遇的概率,显然节点 b 是节点 a 的邻居节点中与节点 a 在时间 T 相遇概率最大的节点。综合考虑路径的深度,优先选择离sink节点比较近的节点。当节点由于身体姿势变化或者是衣服阻挡等原因(对于一般的WBAN节点,通信范围为0.3米),处于断开状态时,数据包暂时缓存在被断开的节点处。

2.3 延时自适应的概率路由协议

由于无线体域网传感器节点分布在身体的不同地方,在使用概率路由协议(PROPHET)时,可能在一段时间内,节点 a 在邻居节点中找不到比自己与sink节点相遇概率更大的节点,由于无线体域网缓存有限,节点 a 不可能一直缓存数据包,因此可能导致数据包丢失。考虑到数据传输成功不仅与节点的相遇概率相关,还与节点相遇之后的连接时间的长短,节点缓存大小有关,本文提出了一种改进的路由协议。该路由协议综合考虑了节点的缓存大小、节点与节点之间的连接时间的长短,以及节点与节点之间的相遇概率大小,选择一条最优的路径来转发数据包。当相遇概率大的节点的缓存使用得差不多时,综合考虑节点的相遇概率和缓存使用情况。这时节点之间的传输预测值开始发生如下变化:

$$p_{(a,b)} = p_{(a,b)old} + [(1 - p_{(a,b)old}) \times p_{init} c^{\frac{T_{ab}}{(T_a + T_b)^2}} \times \frac{k_b - k_b'}{k_b}]$$

k_b 表示节点 b 总的缓存大小, k_b' 表示节点中缓存的数据包的长度大小, T_{ab} 表示节点 a 与节点 b 之间的连接时间的总的长度。 T_a 表示节点 a 和网络中其他节点之间连接的总和, T_b 表示节点 b 和网络中其它节点之间连接时间的总和。 $c > 1$ 并且 $P_{init} \cdot c \in (0, 1]$, P_{init} 是一个常数。

如果一段时间内,一对节点之间并没有相遇,则各自传输预测值通过以下方式进行更新:

$$p_{(a,b)} = p_{(a,b)old} \times \gamma^k$$

(下转第289页)

- community-changing resolution levels[J]. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2011, 2011(1): P01023
- [19] 刘玉华, 张翼, 徐翠, 等. 一种基于数据场的复杂网络聚类算法[J]. 计算机科学, 2013, 40(11): 70-73, 93
- [20] Sun P G, Gao L, Shan Han S. Identification of overlapping and non-overlapping community structure by fuzzy clustering in complex networks[J]. Information Sciences, 2011, 181(6): 1060-1071
- [21] 杨博, 刘大有, Liu Ji-ming, 等. 复杂网络聚类方法[J]. 软件学报, 2009, 20(1): 54-66
- [22] 陈端兵, 尚明生, 李霞. 重叠社区发现的两段策略[J]. 计算机科

- 学, 2013, 40(1): 225-228
- [23] Song Q, Wang X. Efficient routing on large road networks using hierarchical communities[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(1): 132-140
- [24] Blondel V D, Guillaume J L, Lambiotte R, et al. Fast unfolding of communities in large networks[J]. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2008, 10(10): P10008
- [25] Wang X, Jiao L, Wu J. Adjusting from disjoint to overlapping community detection of complex networks[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2009, 388(24): 5045-5056
- [26] <http://www.dis.uniroma1.it/challenge9/download.shtml>

(上接第 275 页)

其中, γ 为删减因子, k 为上次相遇后经历的时间片数。

另外, 如果节点 a 与节点 b 经常相遇, 且节点 b 也与节点 c 经常相遇, 则:

$$p_{(a,c)} = p_{(a,c)dd} + (1 - p_{(a,c)dd}) \times p_{(a,b)} \times p_{(b,c)} \times \beta \times \frac{T_{ab}}{c(T_a + T_b)^{1/2}} \times \frac{T_k}{T_b + T_c^{1/2}} \times \frac{k_b - k_b'}{k_b} \times \frac{k_c - k_c'}{k_c}$$

其中, β 为传递因子。

与 PROPHET 路由协议算法相比, 该算法在数据传输可靠性的方面主要有以下改进: (1) 无线体域网传感器节点的缓存有限, 该算法考虑了下一跳节点的使用情况, 邻居节点中剩余缓存大的被选为下一跳节点的概率大于剩余缓存小的。(2) 该算法不仅考虑了相遇概率, 还综合考虑了连接时间的长短, 连接时间长、相遇概率大的节点被选为下一跳节点的概率也大, 而相遇概率短、连接时间却很长的节点, 被选为下一跳节点的概率也大。该算法综合考虑本节点与邻居节点的相遇概率、缓存和相遇之后的连接时间, 理论上该算法能够提高无线体域网数据传输的可靠性。

3 仿真与分析

为了比较两种协议在身体姿势变化过程中数据传输可靠性方面的表现, 对这两种协议进行比较, 在 NS2 试验平台上对其进行了仿真分析, 布置了 13 个传感器节点和一个 sink 节点, 模拟人体在行走、躺着、坐着、动作变换过程之中的数据传输的可靠性, 其中节点 A 为采集节点, 其余节点为转发节点, 节点 S 为 sink 节点, 节点的通信半径为 40cm, 节点的布置如图 1 所示, 评价路由协议可靠性的标准包括 3 条:

- (1) 平均交付比: 数据包成功被接收采集的总数据包的比值。
- (2) 平均端到端时延: 数据包从采集到被 sink 节点接收所用的时间。
- (3) 平均路由跳数: 数据包从采集到 sink 节点所经过的中间节点的总和。

该算法的目标是最大化交付比, 最小化端到端时延, 尽量缩小路由跳数。为了实验顺利进行, 本文提出了如下假设: 节点之间具有相同的初始相遇概率(在通信范围内的节点); 转发节点只转发数据包不采集数据包; 采集的信号为连续信号; 转发节点的能量富余。

结束语 本文所提出的可靠性算法的核心思想是综合考虑了节点缓存大小、节点相遇概率和相遇时连接时间长短等因素, 并得到一条概率最大的路由路径。本文提出的算法能够很好地满足 WBAN 要求的低时延和数据传输高可靠性, 在

解决身体姿势变化造成的网络时断时续的问题上, 相比于现在提出的解决方法, 具有比较大的优势。

参考文献

- [1] pEhyaie A, Hashemi M, Khadivi P. Using Relay Network to Increase Lifetime in Wireless Body Area Sensor Networks[C] // Kos; Proceedings of International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2009: 1-6
- [2] 宫继兵, 王睿, 崔莉. 体域网 BSN 的研究进展及面临的挑战[J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(52): 737-753
- [3] 卢先领, 彭能明, 徐保国. 无线体域网中能量高效且可靠的自适应路由协议[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(6): 1520-1524
- [4] Spyropoulos T, Psounis C S, Raghavendra K C. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the single-copy case[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008, 16(1): 63-76
- [5] Yang Song, Lu Jia-liang, Yang Fan, et al. Behavior-Aware Probabilistic Routing For Wireless Body Area Sensor Networks[C] // Globecom 2013 Ad-Hoc and Sensor Networking Symposium, 2013
- [6] Hassanpour S, Asadi B, Vejdani-parast Y. Improving Reliability of Wireless Body Area Sensor Networks Using Genetic Algorithm[C] // 2011 IEEE. 2011: 590-593
- [7] 彭能明, 金智明. 基于转发节点的无线体域网节能策略研究[J]. 杭州电子科技大学学报, 2011, 31(6): 103-106
- [8] Spyropoulos T, Psounis C S, Raghavendra K C. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the single-copy case[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008, 16(1): 63-76
- [9] Yang Li-li, Xie Xian-zhong, Zheng Yi. A historical-information-based algorithm in dynamic spectrum allocation[C] // Proc of International Conference on Communication Software and Networks. Washington DC: IEEE Computer Society, 2009: 731-736
- [10] Ramanathan R, Hansen R, Basu P, et al. Prioritized epidemic routing for opportunistic networks[C] // Proc of the 1st International MobiSys Workshop on Mobile Opportunistic Networking. New York: ACM, 2007: 62-66
- [11] Li Yun, Chen Xin-jian, Liu Qi-lie, et al. A novel congestion control strategy in delay tolerant networks[C] // Proc of the 2nd International Conference on Future Networks. 2010: 233-237
- [12] Lindgreny A, Doria A, Schelen O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3): 19-20