

无线局域网中基于信号强度的室内定位^{*})

张明华 张申生 曹健

(上海交通大学 计算机科学与工程系 上海 200240)

摘要 确定用户的位置信息有利于向用户提供方便高效的服务,基于接收信号强度的无线局域网室内定位是定位领域的一个新的研究热点。研究的难点在如何克服随机因素对信号的干扰,使定位方法具有健壮性、适应性。本文基于 IEEE 802.11b/g 协议的无线局域网环境下定位问题的难点,分析了如何评价定位算法的性能问题,介绍目前定位方法的基本原理、优缺点及其分类,详细综述利用接收信号强度的室内定位算法,最后指出未来定位算法研究的几个方向。

关键词 IEEE 802.11, 无线局域网, 室内定位, 接收信号强度

Received-Signal-Strength-Based Indoor Location in Wireless LANs

ZHANG Ming-Hua ZHANG Shen-Sheng CAO Jian

(Department of Computer Science & Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240)

Abstract Locating user's physical position is crucial of providing convenient and efficient services for the user. Received-signal-strength based indoor location in WLAN is a hot research topic in the field of location estimation. The difficulties are how to mitigate disturbance of random factors to signals, and make location estimation methods more robust and adaptable. After analyzing the difficulties of location estimation problem in IEEE 802.11 b/g WLAN, how to evaluate the performance of location estimation algorithms, current principles of location methods, their advantages and disadvantages and classifications are introduced. Then received-signal-strength based indoor location algorithms are surveyed in detail. Future research directions in indoor location estimation problem are pointed out at the end.

Keywords IEEE 802.11, Wireless local area network, Indoor location estimation, Received signal strength

1 引言

随着无线网络、移动通信和普及计算技术应用的不断扩大和深入,位置感知计算^[1](Location-aware Computing)、基于位置的服务(LBS, Location-based Services)显得越来越重要,典型的例子有资源查找、旅游导航、会议指南、寻找老人儿童等。如何确定用户的位置是实现 LBS 的核心问题。全球定位系统(GPS, Global Positioning System)是应用比较成功的定位技术,它通过 GPS 接收器测量来自 5~24 个卫星信号的到达时间差估算位置,可以提供接近全球的定位覆盖范围。但是, GPS 在室内和高楼密布的城市由于感测不到卫星信号而无法定位。从 20 世纪 90 年代末期起,许多高校和研究机构开始了室内定位技术的研究,具有代表性的有 AT&T Cambridge 主持的 Active Badges 项目^[2],之后进一步改进为 Active Bats^[3], Cricket^[4],微软的 Easy Living 项目^[5]以及 Georgia Tech 公司的 Smart Floor 项目^[6]等。上述项目虽然取得了一定的效果,有的还可以达到毫米级的精度^[7],但这些定位系统需要添加新的硬件,系统部署复杂,维护成本高,可扩展性差。

另一方面,基于 802.11b/g 协议的无线局域网(WLAN)已广泛分布在校园、办公大楼和家庭,PDA、笔记本等移动设备中也都内置了无线网卡。基于接收信号强度的 WLAN 定位是根据接收信号强度随距离变化而变化的规律进行定位,

与基于信号到达时间(TOA)和信号到达角度(AOA)的 WLAN 定位相比,它不需要添加额外的硬件设备来进行精确的时间同步和角度测量,能充分利用现有的无线网设施,将定位系统的应用范围扩大到楼群和室内,降低成本,因此成为室内定位技术的研究热点。国内在这方面的研究主要集中在军队的科研机构,中国香港、台湾地区的高校有香港科技大学^[8],台湾新竹大学。国外的高校和研究机构有微软、IBM、Intel、CMU、匹兹堡大学、马里兰大学等。

室内定位的难点在于如何克服随机因素对信号的干扰,对静止和移动用户进行准确、快速定位,使定位方法具有健壮性、适应性,因此对其研究涉及到随机信号处理、跟踪与导航、人工智能、计算机技术等众多交叉领域,目前国内外对定位算法的研究主要集中在提高算法的精度和实用性。本文首先分析基于 IEEE 802.11b/g 协议的无线局域网环境下定位问题的难点,如何评价定位算法的性能。在此基础上,介绍目前定位方法的基本原理、优缺点及其分类,然后详细综述利用接收信号强度的室内定位算法,最后指出未来定位算法研究的几个方向。

2 基于无线局域网室内定位的难点

利用信号强度定位的重要前提是用户收到的信号强度随着与 AP 间距离的增大而减小。这一基本规律在 RADAR 系统^[9]的实验中已经得到了验证,但是这种变化只是近似的线

^{*} 本课题研究得国家自然科学基金项目(60503041)和上海市科委项目(03DZ19320)资助。张明华 博士生,主要研究领域为普及计算、无线局域网定位;张申生 教授,博士生导师,主要研究领域为普及计算、分布式虚拟现实、分布计算与智能代理等;曹健 副教授,CCF 会员,主要研究领域为协同信息系统、智能决策支持系统、网络计算等。

性变化,在室内距离近、结构相对复杂的环境下,障碍物的影响难以忽略。各种噪声的干扰是室内定位的困难之一。干扰因素可以归纳为以下几个方面:

(1)IEEE 802.11b/g 协议已成为无线局域网应用的主流,它们工作在 2.4GHz 的公共频段上,这使得信号在传播过程中会受到其他使用该频段的设备(如手机、微波炉、采用 Bluetooth 协议通讯的设备)的干扰。

(2)人体 90%的成分是水,水的共振频率为 2.4GHz,因此人体也是干扰无线信号的因素之一。Bahl^[9] 和 Kaemarungsi^[13] 的实验都说明,同一地点测量的信号强度会随着用户站立方向的不同而发生显著的变化。当用户面朝 AP 时,AP 的信号到达网卡为视距传播(LOS, Line of Sight),信号强度很强;而当用户背朝 AP 时,用户的身体遮挡了信号,信号强度下降,两者之间的差别可达 5~10dBm。

(3)由于室内建筑布局复杂,信号传播中会受到家具、门窗、墙壁、天花板的阻挡,引起无线电信号的反射、折射、衍射现象,发射信号往往经过多条不同路径,以不同的时间到达用户,造成传播信号在时延扩展、信号幅度、频率和相位的改变,从而导致多径传播(Multipath)效应。多径传播是基于到达角度、信号强度、到达时间或时间差测量系统定位误差的主要来源。

在无线局域网中,基于接收信号强度定位的另外一个难点是如何使定位方法具有良好的环境可适应性。所谓可适应性是指当定位系统应用的环境发生改变后,定位算法也能利用某种机制探测出来并自动地进行修正,以保证算法的正确性。环境中可能的变化有:

①AP 数量的变化。比如有的 AP 发生故障,部署新的 AP。

②室内布局的变化。如房间进行了新的装修,布置了家具,或者原有家具进行大范围的调整。

可以看出,上述两个定位难点将直接影响定位算法的准确性和定位系统能否进入实际应用。

3 定位算法的性能度量

为提高定位的准确度和定位算法的性能,研究者们提出了许多不同的方法并通过实验加以验证。但是,不同的实验都是针对不同的定位环境,使用的硬件也有所不同。目前国际上在定位领域还没有一套标准的测试数据,因此定位算法的性能度量指标是比较和分析不同方法的重要依据。文[30]给出了比较完整的无线定位系统的性能评价标准。无线环境下定位算法的性能度量可以分为 4 个方面:

(1)定位准确性。即定位的误差。

(2)定位速度。即用户发出定位请求与给出定位结果之间的延时。

(3)接收定位请求的能力。即在单位时间内可以处理的定位请求数。

(4)定位范围。即可定位的区域。

实际上,随着 LBS 应用背景的不同,对定位精度的要求也不同。如查找最近的打印机,定位到某个房间就可以满足要求。但对于走失儿童、老人的寻找,则需要尽可能的准确。对于定位准确度的表示目前还不太统一,有的用精度和误差范围共同表示,如 Maryland 大学研究的 JC 和 IT 系统^[10,12];还有的则给出结果的误差累积分布函数(CDF),如 CMU 大学研究的定位服务^[11]。

现有的研究中对定位速度的讨论较少,一方面因为研究关注的重点在定位精度,另一方面已有的定位方法还没有复杂到影响定位速度。但是当需要对移动用户进行定位和跟踪时,定位速度将显得非常重要。实验发现,由于环境中各种干扰因素的存在,覆盖某位置的 AP 信号的个数会随着时间而变化^[10];在不同的地点,网卡可感知到的接入点信号的个数也不同;在墙壁死角、拐弯等处,信号数量少而且微弱。定位范围越大,说明定位算法的健壮性越好,应对干扰的能力越强。

4 基于信号强度定位算法的原理及其分类

近似法、三角测量法和场景分析法是 3 种基本的位置感知技术^[7]。近似法即当物体靠近某一已知位置时,由该位置来定位物体。三角测量法采用三角形的几何特性计算物体的位置。场景分析法则利用从某一优势位置观察到的场景中的特征信息,来估计观测者的位置或者场景中某一物体的位置。在基于信号强度的室内定位方法中,相应的分别是最强基站法、传播模型法和位置指纹法,如图 1 所示。

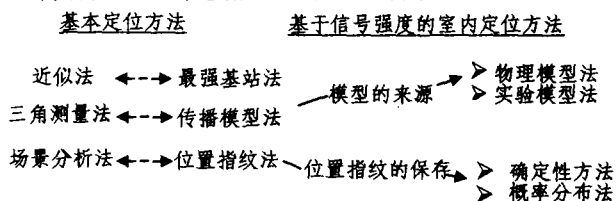


图 1 室内定位方法分类

在无线局域网中,最简单的定位方法是将无线终端用于数据通信的访问点(AP)的位置,近似地作为估计的位置,称为最强基站法。它不需要复杂的算法和任何的参数估计,也不需要客户端添加新的软件。但是该方法定位的精度局限在 AP 的信号覆盖范围,不能进行精确定位。

传播模型法利用信号在室内的传播衰减变化规律,将信号强度转换成信号传播的距离,根据已知的 AP 位置和三角测量原理计算出用户的位置。这类方法简单,计算效率高,但它的定位准确性主要依赖于传播衰减模型是否正确,是否能够适合定位区域复杂的建筑和平面布局环境。根据传播衰减模型的来源又分为物理模型法和实验模型法,即一种由信号传播衰减的物理特性得到,另一种由大量实验数据拟合出来。实验模型法得到的传播模型更适合待定位环境,但它普遍性不好,使这类定位系统难以推广。

位置指纹法完全在实验的基础上进行,分为离线勘测和在线定位两个阶段。离线勘测是在待定位区域里按照一定的间隔距离确定若干采样点,形成一个采样点的网格,并将每个点测得的信号强度连同其位置信息一同保存到数据库里,这些信息被称为位置指纹(Location Fingerprints)或射电天图(Radio Map)。在线定位时,将实时测量的信号强度信息与数据库中的信息比较,取信号强度最接近的点的位置作为估计的位置。换个角度,位置指纹法也可以被看作是让计算机先学习信号强度与位置间的内在规律,然后再推理的过程,因此神经网络、机器学习、统计学习理论也被越来越多地应用进来。根据位置指纹在数据库中的保存形式,又可以分为确定性方法和概率分布法。确定性方法保存一定采样时间内接收信号强度的平均值;概率分布法保存的是一定时间内信号强度的概率分布,如直方图。相应地,在匹配时确定性方法多采用欧式距离衡量两个信号强度之间的相似性;概率分布法多使用贝叶斯公式来判断。确定性方法比概率分布法更简单,

实现更方便;而概率分布法对信号中噪声的抗干扰性较好,因此准确度较高。

目前位置指纹法研究得较多,传播模型法的瓶颈在于研究信号传播模型。还有的研究将传播模型法和位置指纹法结合起来。

5 典型的定位算法

基于对无线局域网中的室内定位技术的研究,下面针对每种方法分别介绍一些具体的实例,并从性能上对比和分析典型的定位算法。

5.1 传播模型法

RADAR^[9]是较早利用无线局域网中的接收信号强度开发出的室内定位系统,其中为了减轻采样的工作量,他们研究了无线信号在室内的传播衰减模型。通过对常用模型的适用条件和优缺点的比较,RADAR提出了考虑墙壁影响因素的室内无线信号传播衰减模型:

$$P(d) = P(d_0) - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) - \begin{cases} nW * WAF & nW < C \\ C * WAF & nW \geq C \end{cases}$$

其中 n 表示信号强度随距离的衰减速度, $P(d_0)$ 表示在参考距离 d_0 处的信号强度, d 表示信号发送方和接收方之间的距离。 C 表示衰减因子能够分辨出的最大墙壁数, nW 表示信号发送方和接收方之间的墙壁数, WAF 指信号经过墙壁的衰减因子。他们研究的模型没有直接用于估计用户的位置,只是用来生成定位区域的射电天图(radio map)。

Robinson 等人^[16]在 RADAR 的基础上提出了概率形式的室内信号传播衰减模型,以此计算 AP 与网卡间的距离。用户端网卡上的接收信号功率的概率分布函数表示为

$$f(p_i; m_i, d_i) = g(p_i; P_i - L_0 - 10\gamma \log(d_i) - mL_w, \sigma^2)$$

其中函数 $g(x; \mu, \sigma^2)$ 表示平均值为 μ 、方差为 σ^2 的高斯分布随机变量的概率分布函数。 p_i 为用户接收的来自第 i 个 AP 的接收功率, P_i 为第 i 个 AP 的发射功率, L_0 表示距发射端 $1m$ 处的路径损失, γ 代表路径损耗系数, m 为用户与 AP 间的墙壁个数, L_w 表示一面墙对信号的衰减。利用该模型,Robinson 等人计算出用户与 AP 间的最大似然距离,结合 AP 的位置坐标,用三角测量推算用户的位置。对定位误差要求不高的情况下,这种方法相对简单、高效。

文[17]用信号传播模型估计用户与 AP 间的距离,然后利用扩展卡尔曼滤波器(EKF)技术将距离的估计转化为对用户位置的估计。在文[18]中,作者发现如果对定位精度要求很高,开放空间里的信号传播模型难以适用在室内的现实环境中,因此不再考虑多径传播和干扰,而直接从试验数据中求出最佳的回归模型,形式如下:

$$d = 0.000198 * S^3 - 0.025 * S^2 + 1.14 * S - 14.8$$

其中 S 表示信号强度,单位为 dBm。 d 表示接收端与 AP 间的距离,单位为米。为提高系统定位的精度,降低环境对信号的干扰,他们在文[20]里进而提出两种性能改进算法。通过增加基准参考测量点,用以校正测量信号中共同存在的系统误差;同时,以 5s 为间隔,取其中最强的信号强度值为这段时间的信号强度,忽略微弱的干扰信号。

从目前的研究可以看出,传播模型法主要使用在两个方面:①当用户或应用对定位精度的要求不高时;②与其他方法、技术结合起来,提高定位的精度。

5.2 位置指纹法

确定性方法是一种比较简单的位置指纹法,它最早出现

在 RADAR^[9]定位系统中。每个采样点处的位置指纹保存来自 AP 的信号强度的平均值。通过采用欧几里得几何距离或其他距离(如曼哈顿距离)度量测量值与位置指纹之间的差异,并取差异值最小的位置指纹的位置作为估计的位置。用数学公式表示为

$$\min(D), D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (RSS_i - \overline{RSS})^2}$$

其中 n 表示 AP 的个数, RSS_i 表示实时收到的来自第 i 个 AP 的信号强度, \overline{RSS} 表示数据库中的信号强度平均值。RADAR 称为最近邻居法。此外,考虑到相邻采样点的相似性,他们还提出了 K 个最近邻居法和加权 K 个最近邻居法,并分析了它们适用的场合和效果。Kaemarungsi 等人^[19]提出了两种选择权值的方案,即分别以采样点处样本的个数和样本的标准偏差为权值。文[21]也采用了确定性的位置指纹法,不同之处表现在他们根据接收信号强度的信息,首先确定可能所属的位置集合,减少计算的次数。Battiti 等人^[22]则从神经网络的角度考虑,以多个 AP 的信号强度为输入,位置坐标为输出,训练多层感知机(MLP),达到推理位置信息的目的,他们的最终定位精度与 K 个最近邻居法接近。在文[23]中,他们又将统计学习理论应用到无线局域网定位问题中,采用支持向量机推理用户所在的位置。

基于概率分布的位置指纹法是目前研究定位算法的热点,是继确定性方法之后由 Petri Myllymaki 等人^[24]首先提出,他们将位置估计问题看作机器学习的问题,即基于在已知区域收集的样本建立信号强度在不同地理区域上的分布模型,并提出了一个概率性的框架解决定位问题。Bayes 规则是基于概率分布法的理论基础,其中的关键在于如何确定每个采样点处信号强度分布的先验概率。Myllymaki 等人提出了核方法和直方图方法。Youssef 等人^[10]的联合聚类(JC, Joint Clustering)定位系统同样基于概率分布的方法,并提出了研究定位算法复杂性问题,使定位系统能够适应用户端资源有限的移动设备。他们提出利用联合聚类技术(Joint Clustering Technique)加以解决,即引入聚类技术,减小需要匹配的样本量,由各 AP 信号强度的联合概率分布确定定位区域各点处的先验概率。之后,他们又进一步从信号强度的时间^[25]和空间^[26]特性上着手,利用时间序列分析等技术提高定位算法的性能。IBM 研究院的 Z. Xiang 等人^[27]为了减轻收集样本的工作量,设计了平滑过滤器和加尾过滤器,使得利用少量的样本就可以构造信号强度长期变化的规律。同时,他们利用图论技术表示出室内的拓扑结构,结合前一时间对用户位置的估计,来大致判断用户下一时刻可能的位置,比如用户不可能穿墙而过,必须沿走廊行走等。另外一种基于概率分布的位置指纹法是基于贝叶斯网络技术,最早由 UCLA 大学 Castro 等人提出,应用在 Nibble 组件中,以提供 Wi-Fi 网络环境下的房间内定位服务^[28]。贝叶斯网络是一个联合概率分布的图形化表示,可以清楚地说明分布中各随机变量间的依赖关系。文[29]也基于贝叶斯网络进行了相关的研究。

以上从两个大的方面对一些有代表性的定位系统或定位算法进行了分析和研究。总的来说,传播模型法的精度稍差一些,一般情况下为 5~10m。位置指纹法因为获取的样本信息更多,更加结合实际环境,所以精度稍好一些,平均 80%~90%的情况下可以达到 3m 以内。表 1 对上述提到的典型的定位算法进行了对比。

表1 典型定位算法的对比

实例对比项	RADAR	RADAR	Nibble	JC
对象	静止用户、移动用户	静止用户	移动用户	静止用户
方法	确定性位置指纹	模型法+确定性位置指纹	贝叶斯网络	基于概率分布的位置指纹
范围	三层楼的第二层, 43.5米*22.5米	三层楼的第二层, 43.5米*22.5米	Boelter 大楼中的走廊和 FX Palo Alto 实验室 224 英尺*96 英尺	224 英尺*85.1 英尺, 计算机系大楼中四层的南翼
精度	静止用户:75%,4.69米 移动用户:50%,3.5米	50%,4.3米	除15%的地点无法识别, 剩余的97%的地点能识别	90%,7英尺
速度	未讨论	未讨论	每2秒更新一次位置的概率	未讨论
环境可适应性	未来的工作	未考虑	未考虑	未考虑

总结与展望 基于位置的服务实现的一个关键是如何准确获取用户所在的位置,利用 LBS 可以为用户提供更加方便、高效的服务,进而预测用户的行为。室内定位,特别是基于无线局域网的室内定位技术,已成为一个非常活跃的研究领域,在普及计算、移动计算、无线局域网方面的重大国际会议,如 UbiComp、InfoCom 和国际期刊,如 IEEE Pervasive Computing 上都有相关的研究内容发表。本文首先分析无线局域网中利用信号强度定位的难点,无线定位系统的性能评价标准。在介绍定位方法基本原理和优缺点的基础上,综述和对比了典型的定位算法。

目前许多定位算法的研究集中在如何减小环境里的各种干扰因素对定位误差的影响,提高定位精度。可以看出,为使定位系统能较好的应用于实际,还需要进一步提高定位算法的易用性,环境可适应性等性能。不仅能够对静止用户定位,而且能对移动用户位置做出及时的判断。基于定位算法的研究现状,本文提出未来的定位算法的研究重点将集中在:

(1)借鉴数据融合的思想,不仅使用用户端的接收信号强度,而且结合定位环境中的室内布局信息,用户经常的行动路径,研究如何提高定位的准确性,同时减少定位算法对前期环境勘测工作的依赖^[14,15],使定位系统可以快速应用到不同的场合。

(2)提高定位算法的效率,使得占用的资源更少,定位速度更快。移动通信技术、嵌入式系统的发展使终端设备便携性不断提高,体积越来越小,同时便携式设备可用的存储资源、能量也很有限,研究和改善定位算法的运算时间复杂度,空间复杂度也具有一定的现实意义。

(3)提高定位系统的适应性,使之能够根据环境中网络环境的变化,如 AP 的增加、减少、位置的变动或室内布局的调整。文^{[15][20][31]}中都采用引入参照物的方法对采集的样本或定位结果进行校正和调整。另外一种思路是结合机器人学、现代控制理论、卡尔曼滤波器,在移动用户的定位中发现环境中可能的变化。对移动用户的定位也是本文的重点工作之一。

参 考 文 献

- 1 Hazas M, Scott J, Krumm J. Location-aware computing comes of age. *Computer*, 2004, 37(2):95~97
- 2 Want R, Hopper A, Falcao V, et al. The active badge location system. *ACM Transactions on Office Information Systems (TOIS)*, 1992, 10(1):91~102
- 3 Ward A, Jones A, Harper A. A new location technique for the active office. *IEEE Personal Communications*, 1997, 4(5):42~47
- 4 Priyantha N B, Chakraborty A, Balakrishnan H. The cricket location-support system. In: *Proceedings of MOBICOM 2000*, Boston, MA, ACM, ACM Press, August 2000. 32~43

- 5 Microsoft Research. Easy living. Website, 2001. <http://www.research.microsoft.com/easyliving/>
- 6 Orr R J, Abowd G D. The smart floor: A mechanism for natural user identification and tracking. In: *Proceedings of the 2000 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*, The Hague, Netherlands, April 2000
- 7 Hightower J, Borriello G. A Survey and Taxonomy of Location Sensing Systems for Ubiquitous Computing. UW CSE 01-08-03, Seattle, WA; University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Aug. 2001
- 8 <http://ihome.ust.hk/~yinjie/index.html>
- 9 Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: An In-building RF-Based User Location and Tracking System. *INFOCOM*, 2000, 2775~784
- 10 Youssef M, Agrawala A, Shankar A U. WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions. In: *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)2003*, Fort Worth, Texas, March, 2003
- 11 Smailagic A, Siewiorek D P, Anhalt J, et al. Wang, Y. Location Sensing and Privacy in a Context Aware Computing Environment. *Pervasive Computing*, 2001
- 12 Youssef M, Agrawala A. Small-scale Compensation for WLAN Location Determination Systems. In: *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) 2003* New Orleans, Louisiana, March, 2003
- 13 Kaemarungsi K, Krishnamurthy P. Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting. *MobiQ-uitous*, 2004. 14~23
- 14 Yin J, Yang Q, Ni L M. Adaptive Temporal Radio Maps for Indoor Location Estimation. In: *Proceedings of the Third Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 05)*, Kauai Island, Hawaii, March 2005. 85~94
- 15 Chai Xiaoyong, Yang Qiang. Reducing the Calibration Effort for Location Estimation Using Unlabeled Samples. *Pervasive Computing and Communications*, 2005. In: *PerCom 2005. Third IEEE International Conference on March 2005*. 95~104
- 16 Robinson M, Psaromiligkos I. Received Signal Strength-based Location Estimation of a Wireless LAN Client. *IEEE Communications Society/WCNC*, 2005
- 17 Kotanen A, Hannikainen M, Leppakoski H, et al. Positioning with IEEE 802.11b wireless lan. In: *14th IEEE Proceedings on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2003)*, Sept. 2003. 2218~2222
- 18 Wang Y, Jia X, Lee H K. An Indoors Wireless Positioning System Based on Wireless Local Area Network Infrastructure. In: *The 6th International Symposium on Satellite Navigation (SatNav 2003)*, Melbourne, Australia, July 2003
- 19 Prasithsangaree P, Krishnamurthy P, Chrysanthis P K. On Indoor Position Location with Wireless LANs. *PIMRC*, 2002
- 20 WANG Y, JIA X, RIZOS C. Two new algorithms for indoor Wireless Positioning System (WPS). In: *17th Int Tech Meeting of the Satellite Division of the U. S. Institute of Navigation*, Long Beach, California, September, 2004. 1988~1997
- 21 Jan Rong-Hong, Lee Yung Rong. An indoor geolocation system for wireless LANs. In: *Proceedings of the International Conference on Parallel Processing Workshops (ICPPW'03)*, 2003

新。准确地说,更新的表项数是 2^{24-FM2} ($17 \leq FM2 \leq 24$), 可见更新的表项数最大值是 128。相似地, SegH 中一次性更新的表项数是 2^{16-FH1} ($8 \leq FH1 \leq 16$), 更新的表项数最大值是 256; SegL 中一次性更新的表项数是 2^{32-FL1} ($25 \leq FL1 \leq 32$), 更新的表项数最大值是 128。大多数情况下, 需要更新的是对应于前缀长度介于 16 到 24 的表项, 因此需要的时间只是一个 DDR II 读周期。最差的情况是一次需要更新 256 个表项, 假设我们转发表存储在是读写周期为 2ns 的 DDRII 中, 此时更新操作所需要的时间也仅仅是 512ns, 这个值大约是文[3]中获得的平均更新时间的 25%。

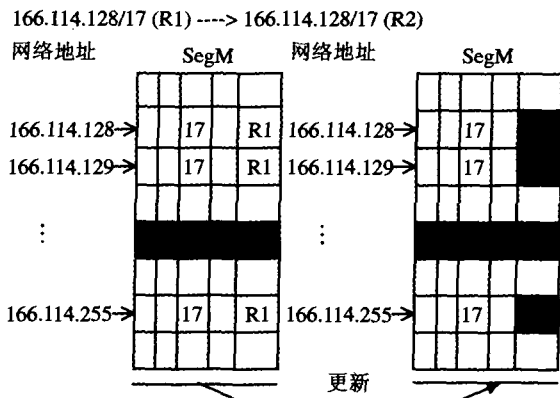


图 7 更新 SegM 中的表项

7 性能

转发表的逻辑框图见图 2, 假设该图中的 SegH、SegM 以及 SegL 采用的是读写周期为 2 ns 的 DDR II。根据前面的分析, 当 IP 地址的前缀长度介于 8 到 16 时, 相应的表项位于 SegH 中, 此时搜索下一跳只需要一个 DDR II 读写周期, 即 2ns; 当前缀长度介于 17 到 24 时, 可确定表项位于 SegM 中, 此时搜索下一跳仍然只需要一个 DDR II 读写周期, 2ns; 当前缀长度介于 25 到 32 时, 可确定表项位于 SegL 中, 这时需要分别读取 SegM 和 SegL, 即搜索过程包括两次 DDR II 读周期, 需要 $2 \times 2 \text{ ns} = 4\text{ns}$ 。将上述结果用搜索时间~前缀长度的曲线来表示, 参见图 8。

结论 本文提出了一种新颖的基于最长前缀匹配的分段式 IP 查表方法。利用这种方法可以获得高达 2.5×10^8 /秒的吞吐量, 可满足具有 40Gbps 高速光纤链路的骨干路由器的要求。此外, 利用这种方法更新转发表, 可以使得更新时间最多不大于 512 ns, 能极大程度满足骨干路由对更新时间的要求。

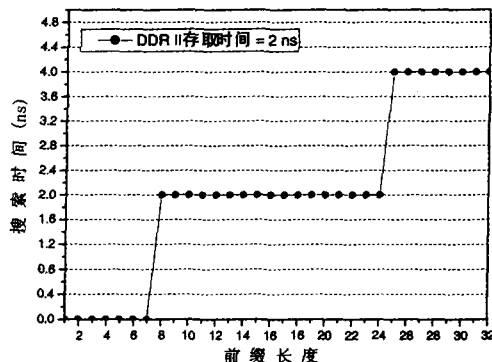


图 8 不同前缀长度需要的搜索时间

参考文献

- 1 Al-Khaffaf B A, karuppiah E K, Abdulah R. Efficient partition based IPv6 lookup algorithm for packet forwarding. In: Proc. of the 9th Asia-Pacific Conference on Communications, Penang, Malaysia, Vol. 1, Sep. 2003. 238~242
- 2 Berger M. IP lookup with low memory requirement and fast update. In: Workshop on High Performance Switching and Routing, Torino, Italy, Jul. 2003. 287~291
- 3 Jean S, Chung S H, et al. Scalable IP lookup scheme with small forwarding table for gigabit routers. Electronics Letters, 2002, 38 (6): 298~230
- 4 MAE-West routing database. The Internet performance Measurement and Analysis (IPMA) Project. <http://www.merit.edu/impa/routing-table>, Oct. 2002
- 5 Sundstron M, Larzon L A. High-performance longest prefix matching supporting high-speed incremental updates and guaranteed compression. In: Proc. of 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Miami, FL, USA, 2005, 3: 1641~1652

(上接第 71 页)

- 22 Battiti R, Villani A, Le Nhat T. Neural network model for intelligent networks; deriving the location from signal patterns. In: Proceedings of The First Annual Symposium on Autonomous Intelligent Networks and Systems UCLA, May, 2002
- 23 Brunato M, Battiti R. Statistical Learning Theory for Location Fingerprinting in Wireless LANs. Computer Networks, 2005, 47 (6): 825~845
- 24 Roos T, Myllymäki P, Tirri H, et al. A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation. Int Journal of Wireless Information Networks, 2002, 9(3): 155~164
- 25 Youssef M, Agrawala A K. Handling Samples Correlation in the Horus System. IEEE Infocom, Hong Kong, March 2004
- 26 Youssef N, Agrawala A. On the Optimality of WLAN Location Determination Systems. In: Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference, San Diego, California, January 2004

- 27 Xiang Z, Song S, Chen J, et al. A Wireless LAN-based Indoor Positioning Technology. IBM Journal of Research and Development, 2004, 48(5-6): 617~626
- 28 Castro P, Chiu P, Kremenek T, et al. A Probabilistic Location Service for Wireless Network Environments. In: Proceedings of Ubicomp 2001, Springer Verlag, September 2001. 18~24
- 29 Madigan D, Elnahrawy E, Martin R P, et al. Bayesian Indoor Positioning Systems. In: Proceedings of the 24 th Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies (INFOCOM 2005), Miami, FL, March 2005
- 30 Tekinay S, Chao E, Richton B. Performance Benchmarking for Wireless Location Systems. IEEE Communications Magazine, April 1998
- 31 Krishnan P, Krishnakumar A S, Ju Wen-Hua, et al. A System for LEASE: Location Estimation Assisted by Stationary Emitters for Indoor RF Wireless Networks. INFOCOM, 2004