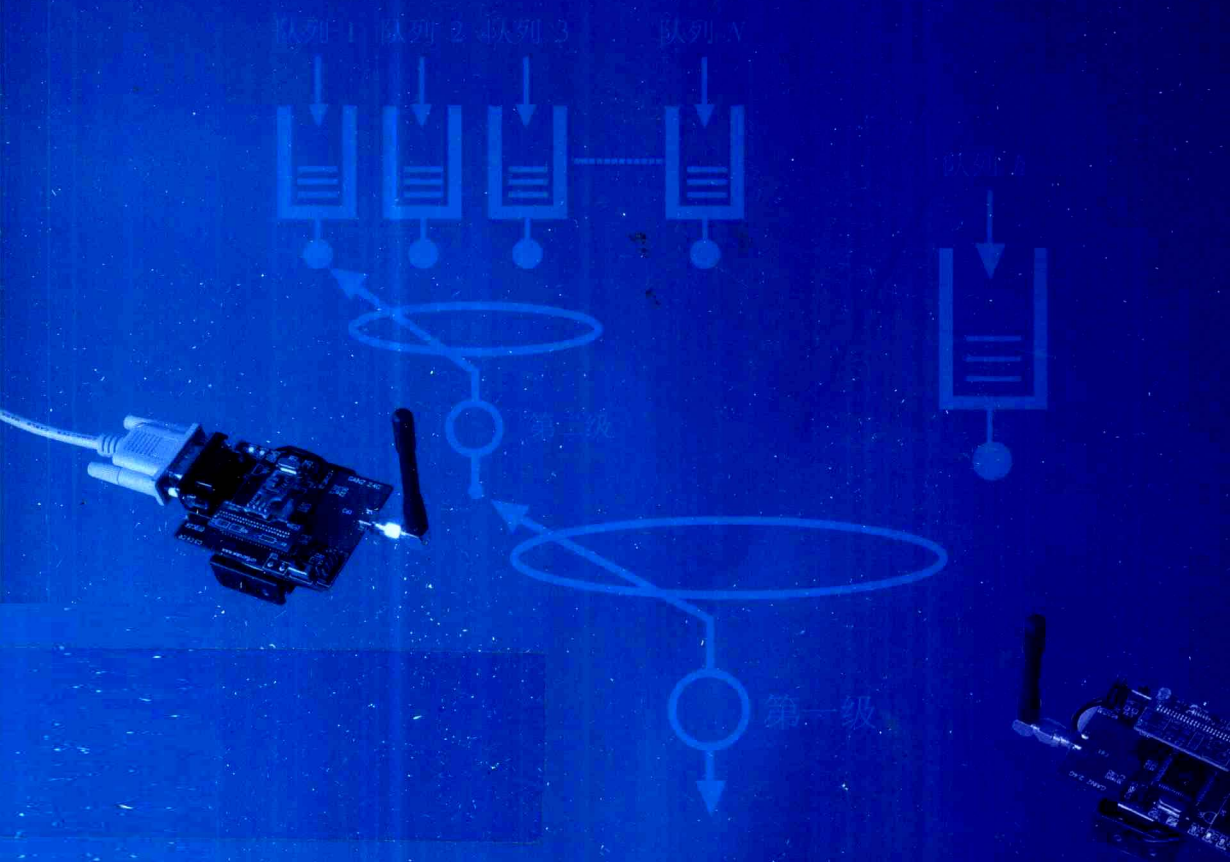


两级优先级控制轮询系统 理论及应用研究

杨志军◎著



两级优先级控制轮询 系统理论及应用研究

杨志军 著

 云南大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

两级优先级控制轮询系统理论及应用研究/杨志军
著. —昆明: 云南大学出版社, 2010
ISBN 978 - 7 - 5482 - 0091 - 8

I. ①两… II. ①杨 III. ①控制系统—系统模型
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 079763 号

两级优先级控制轮询系统理论及应用研究

杨志军 著

责任编辑: 叶枫红

封面设计: 周 旻

出版发行: 云南大学出版社

印 装: 云南国浩印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 9.5

字 数: 163 千

版 次: 2010 年 4 月第 1 版

印 次: 2010 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5482 - 0091 - 8

定 价: 22.00 元

社 址: 云南省昆明市一二一大街 182 号

云南大学英华园内 (邮编: 650091)

发行电话: (0871) 5033244, 5031071

网 址: <http://www.ynup.com>

E - mail: market@ynup.com

摘 要

轮询系统作为一类重要的控制模型在工业控制、计算机时分复用、通信系统和计算机网络等领域得到了广泛应用。近几十年来,研究者们对轮询系统的模型进行了大量的分析和研究,并不断拓展其应用空间。轮询系统已成为一个有力的工具,作为实际应用分析和研究的一类模型。尤其在通信和计算机网络中,介质接入的控制方式通常分为轮询和随机多址两种方式。

轮询系统的模型由一个服务器和 N 个队列组成,控制结构包括队列中信息的到达过程、队列间的转换查询过程和服务器的服务过程,可分为门限、完全和限定服务三类基本系统。轮询系统的优化与改进主要从查询顺序、服务策略和队列内的服务顺序三个基本要素入手。平均等待时间、查询周期和平均排队队长等轮询系统特性是分析系统的重要指标。随着实际应用需求的日趋复杂,系统的复杂性在增加,分析和研究的难度也在加大。在实际应用中,针对不同的业务提供优先级服务具有普遍的需求,基于优先级服务的轮询系统研究一直是研究的热点问题。

轮询系统的精确解析是理论和应用的基础。本文以嵌入式马尔可夫链和概率母函数的分析方法系统阐述了离散时间的门限、完全和限定服务轮询系统的模型,在模型的基础上精确解析了三类系统的平均排队队长、查询周期和平均等待时间等特性参数,并对三类系统做了深入的比较分析,在此基础上拓展了连续时间的并行调度控制轮询系统分析。模型、解析方法和结果都为以后轮询系统的研究和应用奠定了基础。

轮询系统基于优先级控制的问题因其广泛的应用价值而得到不断的研究。基于对门限、完全和限定服务轮询系统的深入分析,本文提出了两级优先级控制轮询系统的模型,以混合服务策略的方式实现了基于优先级的控制。然后,采用嵌入马尔可夫链和概率母函数的方法建立了系统的数学模型,精确解析了系统的平均排队队长和信息分组平均时延等关键特性,理论计算和仿真实验对比分析的结果说明了理论分析与实验的一致性。并且,新

的轮询系统模型中实现了优先级的控制并提高了系统性能,以满足基于业务优先级控制的实际需求,并为基于优先级控制的轮询系统分析和研究奠定了基础。

在两级优先级控制轮询系统模型的基础上,本文研究了无线计算机网络和无线传感器网络媒体接入控制 MAC 协议的控制策略,结合 MAC 协议提出了基于优先级提供时延 QoS 保障的轮询控制方式,建立了协议模型,进行了实验和分析。

无线计算机网络的发展,使人们获取信息和进行交流更加方便和灵活。无线城域网、无线局域网和无线个域网作为覆盖范围及功能各不相同的三种无线计算机网络互相补充、融合,为人们提供了无处不在的网络连接。但是,随着人们业务需求的多样化,如何在无线网络有限的带宽资源上基于优先级满足不同业务的需求、提高服务效率是需要解决的问题。

无线局域网的 IEEE 802.11 MAC 协议定义了轮询控制的机制,并用于时延敏感的语音、视频等业务,由接入点依次轮询各站点发送数据,但没有实现业务优先级的控制。本文在分析已有的无线局域网 QoS 保障机制研究基础上,提出基于业务优先级的轮询调度 MAC 协议 PPSTD,对不同优先级的业务采用不同的接入控制策略,实现了基于业务优先级控制的目标。通过实验和理论计算对新系统的平均时延、吞吐量等性能进行了分析和比较,结果表明新的协议控制以一种简单而有效的方式实现了基于业务优先级的 QoS 机制。

无线局域网的发展促进了人们对更大范围的无线城域网的需求。无线城域网 MAC 协议 IEEE802.16 定义了四种业务调度类型:UGS、rtPS、nrtPS 和 BE。在分析以上四种业务的基础上本文提出了进一步基于优先级的轮询调度策略,理论分析和实验结果都证明了新的调度策略能更好地基于业务流的优先级提供服务,以适应不同的情形。

无线个域网中具有代表性的蓝牙技术应用于微小范围如家庭内的无线设备通信,解决众多无线设备之间连接的“最后 10 米”问题。在蓝牙技术的 MAC 层中采用了主设备轮询从设备的调度方式,但蓝牙标准建议的简单轮询调度策略 RR 无法区分业务服务。本文提出了面向 QoS 保障的轮询调度算法,在原有调度策略基础上改进为基于设备业务类型优先级的调度策略,通过实验验证了改进的调度算法,实现了时延 QoS 支持的目标。

作为不同覆盖范围的无线局域网、无线城域网和无线个域网基于优先级的轮询机制研究为无线计算机网络满足不同业务优先级的需求奠定了基础。

无线传感器网络作为 21 世纪最重要的技术之一,其关键技术的研究受到普遍的关注。无线传感器网络因其规模大、自组织性、动态性和能量有限等特性而使得媒体接入控制的研究具有挑战性。针对这些特性本文提出了一种基于分簇的轮询控制算法。分簇是无线传感器网络常见的实施分层控制所采用的重要方法。通过分簇把传感器网的动态结构变为相对固定的结构,多跳通信变为簇内单跳通信的方式。在本文的算法中,簇首节点建立轮询表以控制需要轮询的活跃节点和各节点业务优先级值,并依次轮询表中各成员节点来传输信息,进一步区分不同节点业务优先级实施 QoS 控制。轮询控制的方式避免了碰撞,并只对活跃节点服务,减少了能量损耗。基于节点业务优先级的服务,最大限度地节约了能量。最后,选择中国科学院具有自主知识产权的 GAINZ 节点构建无线传感器网络,并在此平台上开发实现了以上轮询控制算法。

轮询系统的研究随着应用的发展而不断深入,新的模型研究和理论成果又推动了应用的提升。无线计算机网络、无线传感器网络作为新的网络技术发展迅速,而轮询系统在这些网络中的广泛应用使得其研究成果解决了实际应用中的难点问题,系统能更好地满足需求。

关键词: 轮询系统; 优先级控制; 无线计算机网络; 无线传感器网络; MAC 协议

Abstract

As an important model, polling systems were introduced to a wide range of applications including industrial control, time-sharing computer system, communications and computer networks. In recent decades, researches and analyses on polling models have been developed to continuously extend their application space. Now polling systems offers both practitioners and researchers powerful tools suitable for modeling and analyzing a wide variety of applications, especially in computer communications and networks, in which the medium access controls are mainly divided into polling system and random multiple access.

A polling model is a system of N queues accessed in cyclic order by a single server. The processing of the polling system consists of message arrival process at each queue, switching process between queues and serving process by the server for each queue. Polling systems can be sorted into Gated, Exhaustive and Limited service systems. Improvement and optimization of polling systems are mainly based on three basic aspects: the order in which the queues are served, the serving strategy during each visit to a queue and the order in which customers within each queue are served. Message delay, cyclic time and queue length are the important performance measures used in analysis of polling system. Analysis and research become more difficult by the increasing complexity of applications and corresponding systems. For applications priority-based service demand is ubiquitous and study on priority-based polling system is the focus at all times.

Exact analyses of polling systems form the basis of theory and application. Based on the method of imbedded Markov chain theory and generation function this dissertation first sets up the models of Gated, Exhaustive and Limited service systems and then gives exact analyses and comparisons of mean queue length, cyclic time, message delay, etc. for all three systems. Moreover, an ex-

tended system, namely parallel schedule polling system for continuous time is analyzed too. Models, analytical methods and results build up the theoretical foundation of research and application in polling system field.

Study on priority-based scheme for polling systems puts emphasis on its ubiquitous application value. Based on the deep analyses of Gated, Exhaustive and Limited service systems this dissertation proposes a new model of two-class priority polling system, in which a mixed services policy is used to realize the priority-based scheme. Then the mathematical model of the new system is set up by method of imbedded Markov chain theory and generation function and the key system performance characteristics such as mean queue length and message delay are explicitly analyzed. Theoretical and simulation results are identical and show that the new model efficiently differentiates priorities and meets the practical demands of priority-based applications well. The new model lays an analytical and researching foundation of priority-based polling systems.

Based on the above two-class priority polling system this dissertation studies on the polling scheme for the medium access control (MAC) protocols of Wireless Computer Networks and Wireless Sensor Network (WSN), then provides priority-based polling MAC protocols for the networks. Experiments and theoretical analyses are done after setting up new network model.

Development of Wireless Computer Networks makes people convenient and flexible to obtain information and communicate. Joint and makeup of Wireless Metropolitan Area Network (WMAN), Wireless Local Area Network (WLAN) and Wireless Personal Area Network (WPAN) provide ubiquitous broadband access as three covering ranges and functions. However, with the increasing diversity of application demands how to meet the requirements of various applications and perform more efficiently on the limited bandwidth of wireless networks becomes a key problem.

IEEE 802.11 MAC protocol of WLAN defines a polling scheme especially for delay sensitive traffic such as audio and video, in which an Access Point (AP) polls each station and initiates transmissions, but it can not differentiate priorities. Based on analyses of existing quality of service (QoS) schemes in WLANs this dissertation develops a Priority-based Polling Scheme for Traffic Differentiation (PPSTD) MAC protocol and the traffic priorities are differentiated by two different

access policies. Comparisons and analyses of experiments and theoretical calculations on mean information packet delay, throughput, etc. show that the new MAC protocol provides a simply and reliable guarantee for priority-based QoS mechanism.

Development of WLAN promotes the demands for WMAN as a wider covering range. IEEE 802.16 MAC protocol of WMAN defines four access categories UGS, rtPS, nrtPS and BE for different traffic. Furthermore, this dissertation proposes a priority-based polling scheme for the four traffic categories. Theoretical and simulating results address that the new scheme supports priority-based traffic flows for required situations.

As a main technology of WPAN's, Bluetooth is applied to communication between wireless devices within a small range of "last 10 meters" access. In Bluetooth MAC protocol a classic polling scheme Round Robin (RR) is suggested for master device to poll slave devices but the scheme can not differentiate traffic priorities. In this dissertation, a new algorithm of polling scheme to guarantee QoS is proposed which improves the original policy to a priority-based scheme. Simulation results prove the new scheme efficiently to support delay QoS.

The above researches on priority-based polling MAC protocols for Wireless Computer Networks including WLAN, WMAN and WPAN as different covering ranges give a mechanism to meet the demands of various traffic priorities.

Wireless Sensor Network (WSN), as one of the most important techniques in the 21st century, calls a popular attention to the research on its key techniques. The characteristics such as large scale, self-organization, dynamic architecture and limited energy make the research on medium access control of WSN a big challenge. Corresponding to these characteristics this dissertation proposes an algorithm for polling scheme based on clustering. Usually clustering is an important method for hierarchy control in WSNs and maps the dynamic topology onto a relatively fixed architecture with multi-hop to single-hop communication in a cluster. In the suggested algorithm Cluster Header (CH) polls the active nodes in a polling table which is used to register node addresses and priorities in a cluster to guarantee a QoS scheme of differentiated traffic priorities. The polling scheme not only avoids collisions but also reduces energy consumption for the only services to active nodes. Furthermore, priority-based services can save energy to a large ex-

tent. Finally GAINZ nodes with self-owned intellectual property rights developed by Chinese Academy Sciences are selected to organize a WSN and the above algorithm for priority-based polling scheme is transplanted on the platform.

Further researches on polling systems including new models and theoretical results with development of applications promote the applications. As the new network techniques Wireless Computer Network and WSN develop fast, and due to the ubiquitous applications of polling systems in these networks the research achievements have resolved the key problems and made polling systems meet the network demands more efficiently.

Key words: Polling System, Priority-based Scheme, Wireless Computer Network, Wireless Sensor Network, Medium Access Control (MAC) protocol

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 轮询系统的发展概论	(1)
1.1.1 轮询系统的研究历史	(1)
1.1.2 轮询系统的发展	(4)
1.1.3 研究的主要问题及意义	(10)
1.2 工作内容及基础	(11)
1.2.1 研究基础	(11)
1.2.2 工作内容	(12)
1.2.3 本文的章节安排	(13)
第二章 轮询系统	(14)
2.1 引 言	(14)
2.2 门限服务轮询系统	(15)
2.2.1 数学模型	(15)
2.2.2 一阶特性	(16)
2.2.3 二阶特性	(17)
2.2.4 平均等待时间	(17)
2.3 完全服务轮询系统	(18)
2.3.1 数学模型	(18)
2.3.2 一阶特性	(19)
2.3.3 二阶特性	(20)
2.3.4 平均等待时间	(20)
2.4 限定 ($k=1$) 服务轮询系统	(21)
2.4.1 数学模型	(21)
2.4.2 一阶特性	(21)

2.4.3	二阶特性	(22)
2.4.4	平均等待时间	(22)
2.5	三种轮询系统的性能比较	(23)
2.6	并行调度控制的轮询系统分析	(25)
2.6.1	概率母函数	(25)
2.6.2	平均排队队长	(26)
2.6.3	平均等待时间	(27)
2.6.4	并行调度控制系统和原系统比较分析	(28)
2.7	小 结	(30)
第三章	两级优先级控制轮询系统分析	(31)
3.1	引 言	(31)
3.2	系统模型	(31)
3.2.1	模型定义	(31)
3.2.2	工作条件	(33)
3.2.3	概率母函数	(33)
3.3	平均排队队长的分析	(35)
3.4	信息分组的平均等待时间	(36)
3.4.1	计算 $g_i(k)$	(36)
3.4.2	计算 $g_i(i, i)$ 和 $g_{in}(h, h)$	(37)
3.4.3	平均等待时间	(41)
3.5	数值分析与系统仿真实验	(41)
3.6	小 结	(49)
第四章	优先级业务控制时延 QoS 保障的无线网络 MAC 协议研究 ...	(51)
4.1	引 言	(51)
4.2	无线计算机网络概述	(52)
4.3	无线计算机网络 MAC 协议研究	(59)
4.3.1	IEEE 802.11 MAC 协议分析	(59)
4.3.2	基于业务优先级控制的无线局域网轮询调度协议	(66)
4.3.3	IEEE 802.16 MAC 协议分析	(67)
4.3.4	无线城域网基于业务优先级的轮询服务策略	(68)
4.3.5	无线个域网蓝牙技术 MAC 协议分析	(69)

4.3.6 改进的蓝牙技术调度算法	(71)
4.4 基于业务优先级的无线计算机网络 MAC 协议模型分析	(72)
4.4.1 协议模型	(72)
4.4.2 信息分组的平均时延	(74)
4.4.3 计算 $g_i(i, i)$ 和 $g_{ih}(h, h)$	(75)
4.4.4 平均时延	(76)
4.4.5 系统查询周期及吞吐量	(76)
4.5 网络实验分析与性能评估	(76)
4.5.1 无线局域网分析与评估	(77)
4.5.2 无线城域网分析与评估	(80)
4.5.3 无线个域网分析与评估	(81)
4.6 小 结	(83)
第五章 无线传感器网络中 MAC 协议设计与实现	(85)
5.1 无线传感器网络概述	(85)
5.1.1 无线传感器网络结构	(86)
5.1.2 无线传感器网络特点	(87)
5.1.3 无线传感器网络的应用	(89)
5.1.4 无线传感器网络主要研究内容	(90)
5.2 无线传感器网络轮询控制算法	(92)
5.2.1 无线传感器网络分簇算法	(92)
5.2.2 无线传感器网络的轮询控制	(96)
5.3 无线传感器网络轮询控制实现	(98)
5.3.1 传感器节点的选择与结构	(98)
5.3.2 软件设计与分析	(103)
5.4 小 结	(114)
第六章 全文总结与展望	(116)
参考文献	(121)
攻读博士学位期间发表论文及参与项目	(132)
致 谢	(134)

第一章 绪 论

1.1 轮询系统的发展概论

1.1.1 轮询系统的研究历史

自 20 世纪 50 年代对轮询系统开始应用和研究以来, 研究者发现, 在不同的领域尤其是工程领域, 轮询系统已成为一个有力的工具, 代表了广泛的实际应用的模型。在工业控制、计算机时分复用、通信系统协议和计算机网络协议等领域, 轮询系统的控制方式因其公平性和实用性而得到了普遍的应用, 对轮询系统的分析和研究也在不断发展, 随着研究的深入, 轮询系统的应用也得到了进一步的拓展。

轮询系统的基本模型为: 由一个服务器和 N 个队列组成, 服务器依据一定的规则按一个方向的次序对每一个队列操作, 最后一个队列操作完成后返回第一个队列 (如图 1.1 所示)。即由个 N 队列共享一个或多个资源, 应用时由一个或多个逻辑上的中心按照一定的周期顺序对各个队列进行查询, 对有服务需求的队列提供资源的使用权。

轮询系统的控制结构包括队列的到达过程、队列间的转换查询过程和服务器的服务过程。按服务策略轮询系统可分为门限 (Gated)、完全 (Exhaustive) 和限定 (Limited- k) 服务三种; 按分析方法轮询系统可分为连续时间系统和离散时间系统; 按缓冲区大小可分为每个队列只有单个队员的容量和容量无限的系统; 按转换时间是否为零可分为有转换时间和无转换时间的系统; 按照各队列相应参数所遵从的概率分布相同与否分为对称系统和非对称系统; 根据各队列享有服务优先级的情况又可分为区分优先级和不区分优先级的系统, 即系统可以是严格意义上依次查询的, 也可以根据优先级在此基础上调整访问顺序; 按系统可分析的情况可分为精确解析的系统和近似

解析的系统。

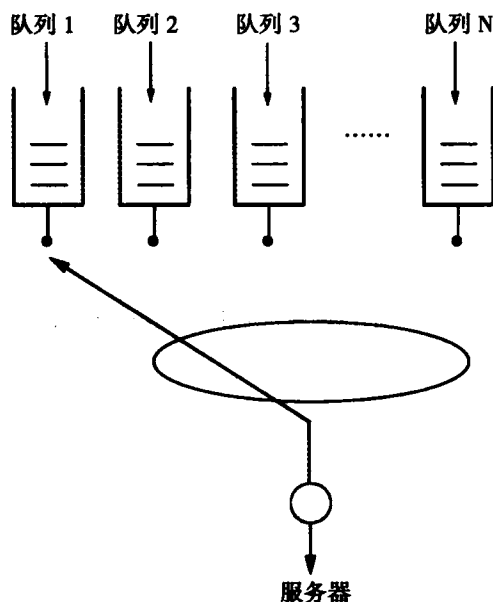


图 1.1 轮询系统模型图

轮询的模式最早产生于 20 世纪 50 年代的工业控制中，文献^[1]和文献^[2]分析了一个检修台对 N 台机器依次查询检修的轮询系统，检修台按一个顺序方向巡视每一台机器，当发现某一台机器坏了就停下来维修。文献^[1]分析了转移查询时间和维修时间都为固定值时的系统效率，文献^[2]分析了转移查询时间和维修时间都为变量且维修时间满足一定概率分布时的系统效率。

20 世纪 60 年代两队列的轮询系统模型也被用于交通信号控制中^[3]。文献^[4]给出了两队列交替服务和区分优先级服务队列平均等待时间分布的拉普拉斯变换，其中假定每个队列的到达过程满足泊松过程，并且服务时间和转换时间满足统一的分布。文献^[5]应用拉普拉斯变换分析了多队列情况下每个队列到达过程为泊松过程、服务时间为任意分布的队列长度，随着队列增加，系统描述的参数增加，系统状态表示的难度也增加。

20 世纪 70 年代，随着计算机通信网络的出现，轮询调度策略被用于多个终端站共享一台中央主机的数据传输中^[6]。文献^[7]分析了个终端站共用

一个信道访问主站点的轮询系统, 各个终端站依次轮流使用信道, 信道即为逻辑服务器, 基于连续时间系统计算了各终端站的平均排队队长和 m 个信息分组 (按 m 个分组批到达和批处理服务) 的平均等待周期数。文献^[8]按照到达过程、离开过程和转换过程给出了多个终端共享处理器 (CPU) 和缓存的系统模型, 分析了复用信道的特点和类型, 给出了各终端站队列平均长度的计算式。文献^[9]也分析了多个终端复用信道共享中央处理器的情形, 并比较了随机多址系统和轮询系统的信息分组平均时延。

从 20 世纪 80 年代早期, 随着令牌环 (Token Ring) 协议在局域网中的应用^[10], 通过令牌 (Token) 的循环传递来实现轮询调度的策略, 获得令牌的站点即获得了控制信道发送信息的权利。对轮询系统的研究也进一步深入, 文献^[10]对完全服务进行了研究, 文献^[11]和^[12]对门限服务与完全服务系统进行了分析, 文献^[13]对限定 ($k=1$)、完全和门限三种服务策略进行了分析, 文献^[37]对令牌网络中的非对称问题进行了研究。

20 世纪 90 年代, 轮询调度策略开始用于新出现的异步传输模式 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 网络中, 通过轮询方式达到信道等资源共亨。并因其时延保证的特性在多处理器计算机系统和工业制造中得到进一步应用。文献^[39]、文献^[40]和文献^[43]对轮询系统在 ATM 网络中的应用进行了分析, 文献^[38]分析了轮询系统在物流加工控制中的应用。

20 世纪 90 年代至今, 随着无线网络的迅猛发展, 轮询模式在无线网络中的应用得到研究。无线局域网通常所使用的 IEEE802.11 协议定义了点协调功能 PCF (Point Coordination Function) 的轮询方式^[14], PCF 应用于音频、视频等时延敏感业务。文献^[15]对无线局域网中的轮询系统进行了分析, 并基于门限服务策略分析了信息分组的平均等待时间和平均周期长度。文献^[16]改进了无线局域网中的轮询调度策略, 提高了网络效率。文献^[41]和文献^[42]基于限定 ($k=1$) 服务对无线网络中多媒体信息传输的轮询调度策略进行了改进与分析。伴随着无线技术的迅速发展, 轮询策略被用于蓝牙网络、无线城域网、Ad Hoc 网络和无线传感器网络中, 同时, 在计算机网络通信和工业控制等领域的应用得到进一步拓展。

从轮询系统的应用和发展历史可以总结出:

- (1) 轮询系统应用的发展促使对轮询系统模型的研究不断深入;
- (2) 应用需求的日趋复杂提出对轮询系统模型的不断改进和拓展的要求; 随之而来的分析和研究难度也加大;
- (3) 对轮询系统新模型的设计与分析将更好地满足应用需求并改变应

用的现状和解决难题。

从系统设计的角度而言,即使没有增加额外的资源,有效的调度机制也将提高系统运行效率。轮询系统自出现以来因其控制的有效性,在计算机、通信、工业制造、交通和维修等领域得到广泛的应用,尤其在通信领域,调度方式主要有随机多址和轮询两种方式,轮询系统的研究也长期以来受到普遍关注,在排队论领域展开了大量研究。轮询系统模型在不同领域的应用,促使研究者不断改进轮询系统的分析方法,分析的精确度不断提高,并改进和拓展系统以提高效率,随着研究的深入,系统的应用也得到进一步加强。虽然轮询系统有广泛的应用需求,但对其分析却有一定难度,尤其是对系统的精确分析。研究者们一直在探索结合应用的不同研究方法对轮询系统进行分析与改进。

1.1.2 轮询系统的发展

轮询系统的广泛应用激发了研究人员长期以来对该系统的深入研究与分析,对系统性能的分析显得尤为重要。

一个轮询系统的性能通常由以下几个基本要素来决定:

- (1) 查询各队列的顺序;
- (2) 服务器每访问一个队列时服务的顾客数;
- (3) 同一队列中顾客的服务顺序。

第一个要素可以决定轮询系统是静态的或动态的,对静态系统,服务器查询各队列的顺序保持固定不变^{[17][18]},对动态系统,服务器查询的顺序随时间而变化^{[19][20]}。第二个要素由不同的服务策略来决定,目前主要的策略有完全服务、门限服务和限定服务。第三个要素中同一队列顾客的服务顺序也有先进先出(FCFS)和后进先出(LCFS)等原则。

基于以上要素可建立不同的轮询系统模型,而对轮询系统模型分析和研究的目标首先是信息等待时间,定义为自信息到达至信息开始接受服务的时间。平均等待时间加平均服务时间即为信息的平均响应时间,是衡量计算机通信等应用系统性能最重要的指标。还有信息查询周期(服务器相继两次访问同一站点间的时间)和平均排队队长(队列的平均长度)也是分析的重要参数。

轮询系统的研究,主要是从基本轮询系统的结构出发,包括对各站点队列信息的到达过程、每个队列的服务时间、队列间的转换查询时间(switchover)以及队列数、查询队列的次序等参数,在这些参数构成的系统模型