

基于认知的多频段传输自优化技术研究

杨仕平¹；顾庆峰¹

(1. 广州海格通信集团股份有限公司 广州 510663; 2. 海军驻广州地区通信军事代表室 广州 510663)

摘要: 随着通信干扰技术的不断发展,海面通信可应用的无线通信手段也越来越多,但复杂海战场环境下可用的频谱也越来越少,本文针对海战场认知能力模型,着重研究了基于认知的多频段传输自由化技术,以提升 HF、VHF、UHF 频段通信装备的作战效能。

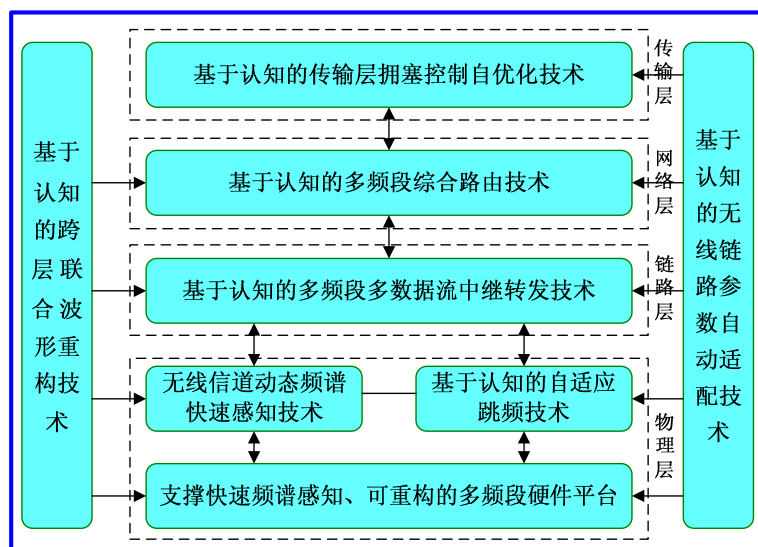
关键词: 认知无线电; 软件无线电; 多径 TCP 代理; 主动队列管理; 传输自优化

0. 引言

目前,我国的国家防卫战略正从“被动防御”到“主动防御”、“近海防御”向“近海作战、远海防卫”国家防卫战略的转变。我国东海、南海局势紧张等迫使我国军事斗争策略要顺应新军事变革而积极调整与变化,要革命性地应用信息新技术,增强武器装备性能,提高海军的作战效能。无线通信以其设备简单、便于携带、易于操作、架设方便等特点在现代通信中占据极其重要的位置,是海军不可或缺的重要通信手段。但如果不能解决无线频谱短缺、海战场电磁环境恶劣的问题,难以在现代战争中赢得主动权。军用认知无线电技术(CR, Cognitive Radio)的出现为上述问题的解决提供了有效途径,通过对战场态势、周围电磁环境参数(如信号调制方式、频谱空穴、环境温度等)的快速感知,理解和学习,实时调整其内部配置,如对通信波形进行快速动态重构,对通信参数进行快速调整,自适应外部复杂多变的战场环境^[1]。为保障其在电磁环境高度复杂密集的现代海战场上执行任务和机动作战,无线通信系统具体传输手段包括 HF、VHF、UHF 等,因此研究基于认知的多频段传输自优化技术具有重要的现实意义。

1. 海战场认知能力模型分析

针对复杂的海战场电磁环境,需要研究基于认知的无线传输设计实现方法,突破动态频谱快速感知、认知决策、基于认知的多波形传输、链路频谱管理与高效切换、多频段综合路由等关键技术,通过波形自适应重构通信、链路参数自优化,使得服务质量、频谱效率、功率效率达到最优化。最后,结合研究基于 SCA 的可重构硬件平台和波形快速生成技术,实现认知无线电台与软件无线电的整合。



物理层: 通过能量检测、谱相关检测、合作检测以及基于神经网络和遗传算法的学习决策技术等突破

无线信道动态频谱快速感知，同时与跳频结合，实现基于频谱认知的实现自适应跳频^[2]；

链路层：以突破基于活跃频段的中继技术为目标，支撑网络节点实现多频段多数据流的高效中继转发^[3]；

网络层：立足于各网络节点频谱认知的差异性、多频段频谱的异构性、控制频段选择的复杂性、节点间所见频谱的差异性，综合考虑路由跳数、传输延迟、频段切换次数等因素，突破基于频谱分配与按需选路的多频段多跳路由技术；

传输层：考虑到 HF、VHF、UHF 信道的传输特性，立足于端到端传输的可靠性、高效性，突破传输层的自拥塞控制自由化技术。

由于篇幅有限，本文重点探讨多频段条件下的传输层自由化技术。

2. 基于认知的多频段传输自优化技术

传输层拥塞控制自优化技术是认知无线网络系统确保高可靠应用业务传输质量的重要保障。在普通网络传输中，当由高带宽链路切换到低带宽链路（如 UHF 链路至 HF 链路）时^[4]，很容易引起瓶颈链路的拥塞，从而严重降低原有业务连接的传输速度，甚至阻塞网络传输，无法保障网络的连通性。而当由低带宽链路切换至高带宽链路时，并不能及时地充分利用网络资源，影响网络传输速度，并且造成网络资源浪费。在认知无线网络系统中应用传输层拥塞控制自优化技术就是重点解决异构网络间相互切换时产生的连通性中断、资源浪费等问题。

针对传输层拥塞控制自优化技术的研究，拟从两个方向入手，分别为多径 TCP 代理（MTCP）技术和主动队列管理（AQM）技术。多径 TCP 协议是一种新的利用多路径并发传输的传输层协议，本研究旨在从可靠性、适应性出发，设计并实现一种多径 TCP 代理，增强网络的适应性和抗毁性。主动队列管理技术，则是一种在路由器中实现的拥塞控制机制。将它用于链路参数自动适配和拥塞控制自优化的研究，主要是因为主动队列管理具有强适应性和高自主性，可以适应异构链路的切换并通过优先级设置，保证高优先级连接得到保证^[5]。

下面，分别介绍在认知无线网络系统中部署 MTCP 代理技术和主动队列技术的研究思路，最后介绍二者结合的研究思想。

2.1. MTCP 代理技术

多径 TCP 协议是一种基于多接口技术，为了充分利用网络的空闲资源，使多条路径协同工作的传输层协议，它可以提高端到端传输吞吐率，增加网络资源利用率。

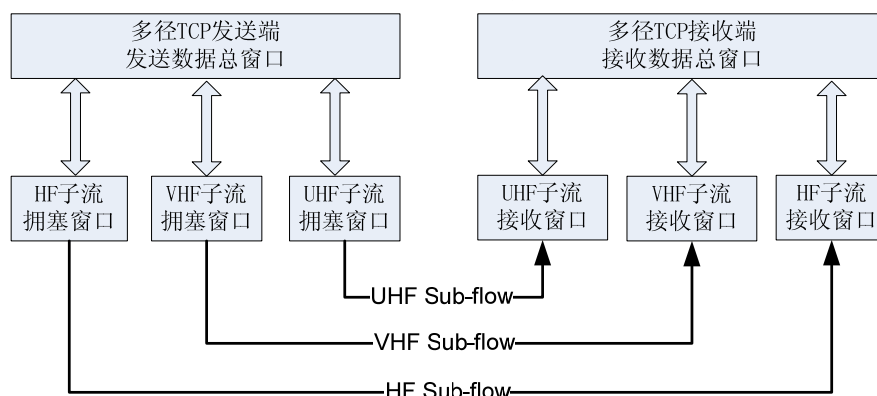


图1 多径 TCP 协议简化模型

图1描述了多径TCP协议的一个简化模型，它突出了与拥塞控制有关的操作流程，具体如下：

1) 多径TCP协议的发送端，在MPTCP层有统一的发送窗口，负责数据包的分发。目前协议设计中，发送端总窗口向各路径按轮询的方式发送数据包。此抽象模型中，假设多径TCP协议的发送端发送的数据包数量不限。

2) 由多径TCP协议创建的每条子流有独立的拥塞控制窗口和接收窗口，有独立的拥塞控制机制和流控

机制，符合传统 TCP 协议。

3) 多径 TCP 协议的接收端，在 MPTCP 层有统一的接收窗口，负责对接收的乱序包进行缓存排序，只有正常顺序的数据包才会发送给上层。

4) 对于每个数据包而言，都有两个序列号。在 MPTCP 层，数据包会有一个用于标识其在多径 TCP 数据流中位置的数据序列号；在子流层，数据包会有一个用于标识其在子流（TCP 流）中位置的子流序列号。

5) 每条子流的接收窗口收到数据包后，先按子流序列号对数据包进行传统 TCP 协议的处理，然后将数据包存储于自己的接收窗口，只有当数据包的数据序列号在多径 TCP 协议的总接收窗口接收序列号范围之内时，才将数据包传送给总接收窗口。

6) 每条子流回复的 ACK 通告中，接收窗口大小为对应子流的接收窗口大小，多径 TCP 协议的流控机制主要通过子流的流控来完成。

通过研究分析可以发现，多径 TCP 协议相对于传统 TCP 协议做了很多改进，多径 TCP 协议更适合在 HF/VHF/UHF 认知无线网络系统中部署实施。虽然多径 TCP 是端到端的协议，但是可以在认知电台网络路由模块中部署多径 TCP 代理，通过截获相同连接的数据包、转发、接收等方法，实现对主机端透明的多径 TCP。因此，本文主要研究如何在认知电台网络路由模块中部署实现多径 TCP 代理。具体的研究内容主要有：一是与路由层协同的多路径管理方案；二是多流并发传输调度方案；三是异构网络的自适应性方案。

与路由层协同的多路径管理方案

HF/VHF/UHF 认知无线网络系统中多径 TCP 代理的首要问题就是多路径的建立与管理，即认知电台网络路由模块创建并使用多条路径并发传输数据。这就需要传输层与路由层进行交互。由于电台路由模块自身存储了网络中的路由信息，所以路由层很容易实现多路径的创建和管理。路由层与传输层的协调同步，是多径 TCP 代理能否部署的关键基础。

多流并发传输调度方案

HF/VHF/UHF 认知无线网络系统的多径 TCP 还需要解决多路径间协同调度问题。多流并发传输调度方案应当支持基于网络状况和用户策略的路径间流调度。网络状况包括每种连接的带宽、延迟、费用等信息。不同种类的业务适合不同特性的网络类型。用户的策略则是由感知控制中心配置和指定的，对于何种应用使用何种路径进行传输。支持感知和监测网络状况的变化，及时进行策略的调整。

多流并发传输调度方案的技术要点包括流调度策略的管理。流调度策略的管理包括对感知控制中心要求的形式化描述，流调度规则的生成和维护，流调度规则的执行等。多流并发传输调度方案是多径 TCP 代理广泛应用的重要保障。

异构网络的适应性问题解决方案

多径 TCP 协议在 HF/VHF/UHF 认知无线网络系统中的应用面临的最关键问题就是在 HF、VHF、UHF 等异构网络中的适应性问题。由于 HF/VHF/UHF 多频段综合网络中包括各种传输带宽的无线通信网，多径 TCP 代理在创建多路径时，可能会分布在多个不同的网络中，这就造成了多径间性能的差异性。而性能的差异会引起多径 TCP 的整体吞吐率下降，不能达到各条路径最佳性能的适应性问题。目前，虽然基于对多径 TCP 性能模型的研究设计了一种简便易行的适应性解决方案，但是，适应性问题仍需进一步深入研究，以求得到最优的解决方案。

异构无线网络的适应性问题解决方案的技术要点主要包括多路径选择、差异性处理、适应性算法设计等。适应性问题的解决方案是多径 TCP 代理能否应用于 HF/VHF/UHF 认知无线网络系统的前提条件。

2.2 主动队列管理技术

主动队列管理（AQM）是电台网络路由模块中支持拥塞控制的主要机制，也是无线网络拥塞控制的研究热点。虽然 TCP 中基于窗口的端到端拥塞控制算法已经成为保证网络稳定性的重要因素，但仅依靠源端的控制机制很难提供可靠的 QoS 保证，增强网络中的各电台网络节点的功能是实现高可靠 QoS 的有效途径。因此，主动队列管理成为认知电台网络路由模块实现拥塞控制的一项关键技术。AQM 机制的主要思想是在认知电台路由模块中的缓冲区没有溢出之前，根据网络的拥塞状况，以一定的概率丢弃报文。图 2 描述了 AQM 在网络协议中的主要作用。

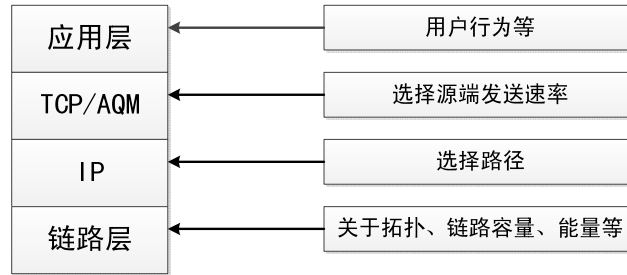


图2 AQM在认知无线网络系统中的作用

AQM主要有四个优势：a) 减少了路由模块中的丢包数量。AQM通过保持较小的平均队列长度，能够提供更大的容量吸收突发数据包，从而大大减少了丢包数。b) 对交互式服务提供更低的延迟。AQM通过保持较小的平均队列长度，能够减少包的排队延迟，从而大大降低了端到端延迟。c) 具有较强的鲁棒性，即对环境变化不敏感。AQM对网络状态的变化具有很好的适应能力，在网络负载、传输时延等因素发生变化时，仍可实现较好的传输性能。d) 可以设定优先级，保证重要连接的带宽。在危机时刻，可以为优先级高的连接分配更高的带宽，降低甚至阻塞的优先级连接，确保“要事先办”。

2.3 .MTCP与主动队列管理的结合技术

同时在认知无线网络系统中采用多径TCP代理和主动队列管理技术可以相辅相成，相互促进。主动队列管理技术可以通过反馈信号为多径TCP子流的拥塞控制部分提供依据，从而保证各子流具有高吞吐率。而多径TCP可以为主动队列管理分担流量，降低队列长度，从而为主动队列管理提供了新的拥塞控制方法。

3. 结束语

认知无线电通信技术在未来的海战场具有广阔的应用前景，为了充分发挥其作战效能，做好物理层的快速频谱感知、链路层的高效数据流中继转发、网络层的综合路由都十分重要，同时认知无线电也只有和软件无线点紧密结合，充分体现波形重构、参数自适应的特点，才能体现认知无线电在现代海战场中的技术优势。

参考文献：

- [1] 向晓, 基于认知无线电的频谱感知技术的研究[D].吉林:吉林大学, 2009.
- [2] ZHI Q, CUI S G, et al . Optimal linear cooperation for spectrum sensing in cognitive radio networks [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing ,2008,2(1):28-40.
- [3] 余晶晶. 无线链路自适应技术研究[D]. 北京交通大学硕士学位论文, 2007.6.
- [4] 刘光发, 孙剑平. 基于认知无线电的舰艇短波频谱管理研究[J].船舶电子工程, 2010, 30(1):94-97.
- [5] 朱佳, 郑宝玉, 邹玉龙. 基于最佳中继选择的协作频谱感知方案研究[J].电子学报, 2010, 38(1):92-98.