**1.项目的立项根据**

**国内外研究现状及发展动态分析：**

（1）物联网流量建模与分析

近年来，物联网发展迅猛，在很多领域中应用广泛。由于M2M业务种类繁多，具有终端数量庞大、传输数据量小、会话持续时间短以及上行流量占主导等典型特征，明显区别于研究较为成熟的H2H业务，因此需要基于物流网的业务流特性对不同应用场景下的业务流统计建模，并基于此分析具体网络架构下的网络性能。

目前，已有相关文献提出了具有指导意义的流量模型与分析方法，文献[1]提出将自动售货机、遥感监测等这类M2M小数据业务建模为IPP模型,基于排队理论构建了IEEE802.11DCF网络分析模型，建立了IPP/G/1/K离散时间排队系统模型。文献[2]在文献[1]的基础上进一步使用串联排队理论，为模拟802.11接入网和IP承载网络传输M2M业务的通信场景建立了多节点串联队列模型。文献[3]从M2M小数据业务的行为特性和流量特性出发，将业务到达过程建模为IBP模型，且业务是以批量的形式到达，采用具有不同突发度的数学模型表征M2M业务每批到达业务的数量，基于排队理论得到了系统的吞吐量和时延等性能指标。文献[4]提出采用贝塔分布对具有激增和锐减特性的事件驱动M2M业务进行建模，同时针对该类业务流分析改进的流量控制随机接入协议的系统性能。文献[5]根据M2M终端数据传输所处状态建立离散时间马尔科夫列仿真模型，首先分析了该队列模型下的平均队列长度以及平均传输时延等性能，接着分析了M2M和H2H共存情景下基于竞争接入的队列模型。不同于H2H通信业务流具有自相似性，3GPP TR 37.868提案[6]提出了到达过程分别服从均匀分布和贝塔分布的用于描述非同步入网和同步入网场景时的两类模型。基于该3GPP业务模型，文献[7]为承载M2M业务的GSM/GPRS 网络建立接入强度受 Beta 分布调制的复合泊松过程，文献[8]设计了M2M终端到达速率受Beta调制的MMPP2仿真模型，两者均在一定程度上体现了M2M业务建模的精确性，成为较为通用的仿真模型。文献[9]更详细地讨论了流量传输所处状态，建立了输入为半马尔科夫过程的模型，实验证明仿真生成的数据流基本与物联网流量特性一致。文献[10]建立了Beta/M/1队列模型，研究了海量M2M终端同步入网时对网络造成的影响，结果表明M2M终端的接入必然会增加系统平均逗留时间和平均等待时间，鉴于此特点提出了分段均匀随机退避算法以解决过载问题。

存在的问题：

（1）目前在对M2M业务建模与分析的领域中，仿真分析多于理论分析，且现有的分析模型局限于利用传统排队论建立用于网络性能评估及系统优化设计的队列模型。然而，对于当前日益复杂的网络形态和业务流特征来说，通过网络演算建立具有QoS保障的界模型更为适用。物联网环境下的流量特性不同于常规的H2H业务特性，针对承载数据传输的无线接入网和回程网络中传输物联网业务的应用场景，亟待研究该环境下的流量模型以及各种网络单元提供数据传输服务的多节点服务模型，并在此基础上，推导便于实时网络分析的QoS性能模型。

**主要参考文献目录：**

[1] 王雅辉,迟学芬, M2M小数据业务的IEEE802.11WLAN分析模型. 通信学报, 2011. 32(12): 122-130.

[2] 迟学芬等, 针对M2M业务的IEEE 802.11优化及其性能评价. 吉林大学学报(工), 2014. 44(5): 1488-1497.

[3] 张嘉盛等, M2M业务批量到达排队系统性能分析. 吉林大学学报信息科学版, 2012. 30(4): 335-340.

[4] 杨柳, 范平志, 郝莉. LTE系统中事件驱动M2M业务的流量控制随机接入协议[J]. 通信学报, 2014, 35(12):53-61.

[5] Performance Modeling and Analysis of Heterogeneous Machine Type Communications

[6] 3GPP.Study on RAN Improvements for Machine-type communications. Technical report, TR 37.868, 2012.

[7] Paiva, R.C.D., Random Access Capacity Evaluation with Synchronized MTC Users over Wireless Networks. 2011: p. 1-5.

[8] Laner, M., et al. Traffic Models for Machine Type Communications. in Tenth International Symposium on Wireless Communication Systems. 2013.

[9] Nikaein N, Laner M, Zhou K, et al. Simple Traffic Modeling Framework for Machine Type Communication[C]// Iswcs. 2013:1-5.

[10] Jian X, Zeng X, Jia Y, et al. Beta/M/1 Model for Machine Type Communication[J]. IEEE Communications Letters, 2013, 17(3):584-587.

1. **项目的研究内容、研究目标，以及拟解决的关键科学问题：**

**研究目标：**

本申请总的研究目标是：老师写。

具体目标为：①利用网络演算理论分析物联网环境下多节点传输的端到端性能，将数据流流经无线接入网侧和回程网侧的通信系统构造成网络演算系统，在实际网络的节点单元与网络演算的数学符号之间建立映射关系，从而实现对整个系统进行网络建模，并获得端到端性能边界；同时针对流量传输过程中可能出现的多种流量场景，分别对其进行分析。②。。③。。

**研究内容：**

**（老师写）**

各部分具体研究内容如下：

（1）基于随机网络演算的物联网流量建模与分析

传输网络的端到端性能是影响软件定义网络中做出最优路由决策需要考虑的重要因素，分析该性能是为了在发送分组前，预先计算出实际端到端性能，约束路径规划的条件，最优化路径规划的结果。基于本申请所提的SDN控制器集中控制管理整个网络系统的特性，控制器可以根据网络的全局信息，通过将网络状态信息和输入流的特性作为输入，利用性能分析工具计算每条流的端到端性能，实现网络的动态监测。

本子课题选用网络演算理论作为流量建模与分析工具，考虑到实际网络应用常常并不需要确定性QoS，因此为网络演算引入随机性，即随机网络演算（Stochastic Network Calculus，SNC）。其中，数据流抵达服务系统的过程、系统为数据流提供服务的过程以及数据流被服务后离开的过程分别由、和描述，它们都表示的是到t时刻为止数据的累积量。研究SNC的流量模型和服务模型是该理论的核心内容。目前随机流量模型常使用以数据量为中心(traffic-amount-centric,t.a.c)的模型，满足,其一般形式为



其中，表示累积到达数据量的上边界，一般考虑线性函数，为其概率上界函数。另一方面，用来描述网元服务能力随机下界的服务模型，通常用弱随机服务曲线来表示



其中，分别对应于服务模型的随机服务曲线和概率上界函数。基于上述定义，显然，t时刻数据流在节点上的流量积压是和之间的垂直距离，传输延迟为和之间的水平距离，即，，SNC相关概念的直观解释如图1所示。



图 随机网络演算的直观解释

本子课题所提的端到端性能分析方法拟基于随机网络演算理论，通过建立当前数据流和网络节点分别对应的流量模型和服务模型，并结合最小加代数运算，在系统稳定等前提下优化结果得到足够接近实际情况的性能边界，基于随机网络演算的物联网流量建模与分析流程如图所示。



图2 基于随机网络演算的物联网流量建模与分析流程图

具体子问题研究如下:

①基于流量模型和服务模型的QoS分析

由于业务多样化和网络动态变化的特征，需要分别求解不同的流量模型和服务模型在不同组合下的性能分析结果。一方面，针对网络中种类繁多的业务流量体现出的不同特性，需要提取数据流的重要参数，如分组长度、分组速率和突发性等，在此基础上对流量精确建模，对应为SNC中到达曲线的求解。另一方面，将研究系统的物理层和链路层参数映射到随机网络演算中的服务曲线也是计算网络性能的重点之一。本申请拟从具体网络场景出发，预先确定1）网络通信链路（包括有线和无线）的信道容量C；2）网络节点的调度策略，综合流量模型和服务模型，再利用网络演算提供的区别于传统代数结构的运算代数——最小加代数进行性能分析，简化非线性问题的求解。

②面向一般拓扑网络的端到端性能分析

端到端性能分析涉及网络拓扑和端到端路由，但当前文献的分析主要是针对串联的线性拓扑，然而在实际网络中路由是动态变化的，拓扑结构也会随时变化。因此，不仅需要考虑数据流经多节点直接传输的场景，还要考虑多个数据流流入同一节点竞争使用该节点提供的服务以及一个数据流经过节点后分裂为多个数据流的场景。本子课题将从节点为单个流提供的服务量与节点提供的总服务量之间的关系确定单流的服务模型，进而分析更多复杂情况下的网络性能。

**拟解决的关键科学问题：**

对上述研究内容中拟解决的关键科学问题说明如下。

1. **网络演算理论分析**

这是子课题1必须解决的关键问题，具体包括如下两个问题：

①在不同业务流和网络节点模型下，随机网络演算的到达曲线和服务曲线并不是唯一的，此外他们比确定网络演算还多了一个描述随机特性的概率上界函数。因此，如何选取合适的到达曲线和服务曲线，并优化性能边界，以得到更加准确的性能分析结果，是本子课题必须解决的关键问题之一；

②在分析多跳网络传输数据的性能时，需要全面考虑不同流量场景的特性。因此，如何将网络演算现有的串联特性推广到复杂拓扑网络结构中，突破原先只能分析简单点到点单流性能的局限性，是本子课题必须解决的另一关键问题。

1. **拟采取的研究方案及可行性分析**

。。。。具体说明如下。

（1）基于随机网络演算的端到端QoS性能分析

对于“基于网络演算的端到端QoS性能分析”这一研究内容，本申请将在所提出的软件定义物联网架构中，利用网络演算理论能够灵活描述流量模型和服务模型的特性，以及其独有的最小加代数运算能够使复杂问题可解的优势，对物联网流量进行实时QoS分析。本子课题拟采用的研究方案由如下两部分组成：一是通过研究不同应用场景下流量特性满足的流量模型以及传输流量的网络节点提供不同服务的服务模型，寻求贴近实际的性能参数边界值；二是通过将研究场景更加一般化，选择非串联网络作为流量传输场景，求解该场景下的端到端性能。

具体研究方案如下：

①基于流量模型和服务模型的QoS分析

本方法拟首先依据物联网中流量的特性，对整个系统的输入流进行建模。目前广泛使用的流量模型可以归为3个版本，包含常用的t.a.c流量模型。t.a.c流量模型已可以描述很多类型的数据流，包括马尔科夫调制的通断模型、周期模型、分形布朗运动模型等。无论使用何种流量模型作为参考模型，都可以利用矩母函数构造对应的随机到达曲线，从而分析许多业务流的各种网络性能。将到达流的矩母函数定义为，是大于0的自由参数，对于受限于的到达流，只要满足的都是随机到达曲线，且利用Chernoff不等式能够得到区别于用常数表示的更加精确的概率上界函数。综合本子课题的要求，只要求得物联网环境下业物流累积到达量的矩母函数，就可以获得随机到达曲线，并得到较为精确的概率上界函数。

接着，同样需要对服务模型进行数学描述，即随机服务曲线的求解。服务曲线是对系统提供服务给数据流的抽象，采用一定时间间隔内提供给业务流的服务能力下界来描述网络的服务过程，其过程类似于系统理论中线性系统的激励响应。在本申请的应用场景下，如蜂窝网基站、回程网和因特网之间通过有线链路传输，其服务能力可以用简单的速率-延迟服务模型描述，其表达形式为,其中为服务速率项，为延迟项，具体取值依赖于特定的调度算法，如严格优先级（Strict Priority，SP）、通用处理器共享（Generalized Processor Sharing，GPS）、加权公平队列（Weighted Fair Queuing,WFQ）调度算法等。而针对终端通过无线信道接入网络的情况，可以用马尔科夫信道等模型来描述，类似到达流的矩母函数法求得服务过程的矩母函数，进而得到随机服务曲线。

以上过程都是为了选取合适的到达曲线和服务曲线以得到更准确的性能分析结果。但是在求解过程中，到达曲线和服务曲线总是包含了自由参数，实质上得到的是一族曲线，因此为了求解最优的性能界，还需要对自由参数进行优化，这就需要综合考虑到达曲线（服务曲线）及其概率边界函数值的大小变化。

②面向一般拓扑网络的端到端性能分析

网络演算中基于单个节点的分析可以实现规模化、系统化。如图3所示，单节点可以扩展为多个节点的串联形式，网络演算的串联特性可以将多节点虚拟为一个单节点为数据流提供服务，即H个节点提供的总服务过程S(t)是每个节点提供的服务过程的最小加卷积，满足



图3 串联网络拓扑

在数据流经由多网元传输的流量场景中，网元可以是终端、路由器和接入设备等，它们分别对应一个节点。任意两个节点间的通信可以是单跳或是多跳的，路由节点有多个邻居节点，只要在传输范围内，均可以选择跟其邻居节点进行通信。在这种情况下，只考虑节点间直接传输的场景具有一定的局限性，因此需要全面地考虑更多复杂的场景。本课题拟在对简单串联网络拓扑进行分析的基础上，运用随机网络演算推导不同流量场景下的随机性能边界，研究场景如图4所示。



图4 一般网络拓扑下数据传输结构

本子课题主要是研究1）多条数据流在节点汇聚后输出一条数据流；2）单条数据流经过节点后分裂为多条数据流；3）以上两种情况结合的场景下流量性能的分析。将当下研究的某个贯穿整个传输路径的业务流称为贯穿流，贯穿流之外的数据流记为交叉流，两者是相对的概念。余留服曲线概念的提出有助于解决贯穿流和交叉流共同竞争同一节点服务的问题，如两条输入流，流入同一节点，该节点提供弱服务曲线，则节点对提供弱服务曲线，数据流获得的服务同理可得到。通过对上述串联特性和余留服务的应用，可以使得对贯穿流的研究不受交叉流的影响，将节点为某个流提供的服务量使用与节点提供的总服务量同一类型的服务模型来描述，该服务模型可以从理论上推导出来，利于进一步的性能分析。

本子课题提出的流量建模和分析方法利用SDN架构下控制器能够知晓网络全局信息的特性，综合考虑流量特征和网络状态信息，通过随机网络演算理论寻求快速地将数据流匹配到相应的流量模型，结合网络能够提供的实时服务过程，有效解决了数据流从源节点和目的节点间端到端和复杂拓扑下性能边界的分析问题。

1. **本项目的特色与创新之处**

项目组对本申请研究区领域的国内外文献进行了尽可能全面的检索，对国内外研究现状进行了尽可能广泛的调研，经分析比较，归纳出本申请的特色和创新之处如下：

（2）拟采用基于随机网络演算的流量建模与分析方法。该方法的特点是利用矩母函数能够构造多种数据流的到达曲线，同时将该方法也引入到了对服务模型的建立，好处是无论输入流和网元提供的服务是否独立，都可以将性能的分析单独分为流量模型和服务模型来讨论。鉴于网络演算通常只用于单节点和串联情形下多节点的性能分析，无法全面考虑更多的传输场景，本申请拟考虑多个数据流流入同一节点竞争使用该节点提供的服务以及一个数据流经过节点后分裂为多个数据流的场景，综合全局解决数据流从源节点和目的节点间端到端和复杂拓扑下性能边界的分析问题。