随任务驱动的无人机网络服务部署建模

## 系统模型

本文面向无人机网络，研究网络功能虚拟化(Network Function Virtualization, NFV)架构下的多服务协同部署问题。在NFV网络架构下，多个 VNF按照特定顺序组合起来构成服务功能链（Service Function Chain, SFC），实现端到端的网络服务。所考虑的的矩形区域的无人机网络场景包括：各个服务请求的地面入口节点集合；通用无人机节点集合 ，集合*P*中的每个无人机节点均具有数据转发和计算能力；链路集合；考虑无人机在固定高度的平面上飞行。具体流程为：当入口感知到服务请求时，中央控制器改变无人机网络的拓扑同时在通用的无人机上部署网络功能，待拓扑稳定以及网络功能部署完成后，服务功能链开始对数据进行传输和处理，不考虑数据处理完成后回传地面的过程。本文所研究问题为，联合考虑无人机网络的拓扑可控特性以及SFC请求的动态到达特性，将各SFC请求的VNF在通用无人机节点上进行合理/优化部署，使得成功部署（满足QoS需求）的SFC数量尽可能多。

**1.1服务模型**

本文中入口节点的服务请求用SFC来表征，SFC由一组预先设定好的VNF序列组成，因此其SFC可以表示为：。在时间范围*T*内，每个*t*时间间隔后将会有服务请求到达。对于每一个服务请求包含以下属性：任务起始节点和目标节点分别为，，服务功能链，数据量的大小为，时延容忍为。所以任务可表示为，用表示服务请求集合。

**1.2信道模型：**

地面服务入口节点到无人机的距离：

 （1）

其中地面服务入口节点的位置，表示无人机节点的位置

无人机到无人机之间的距离：

 （2）

假设无人机与地面服务入口节点和无人机与无人机之间的通信信道均为视距信道空-空通信链路(A2A)和地-空通信链路(G2A)的带宽均为B且均采用正交频分多址，避免干扰，同时本文中不考虑资源分配等问题，因此本文模型中每个地面服务入口以及无人机对于不同的服务功能连所分配的带宽资源以及发射功率均相同且为定值，不随服务的变化而改变。因此地面服务入口到无人机之间的信道功率增益为:

 （3）

其中表示参考距离为1米的信道功率增益。地面服务入口节点向无人机之间的传输速率为（单位为比特/秒）：

 （4）

其中表示地面服务入口节点的发射功率，。表示接收方高斯噪声功率。同样的无人机与无人机之间传输功率：

 （5）

**1.3约束条件：**

基于上述，定义0-1决策变量，当服务请求在前往第个VNF处理时经过链路时，则，否则，其中。定义0-1决策变量，当服务请求的第个VNF部署到无人机节点上时，，否则，其中，定义0-1决策变量，当服务请求部署成功时，，否则。定义决策变量表示无人机节点最终位置，表示无人机节点就位的时间，其中。表示服务请求开始处理的时间。

1.VNF部署约束：任务的每一个VNF部署只能部署到唯一的无人机上

 （6）

2.无人机节点计算资源约束：部署到无人机节点上的所有VNF的计算资源不能超过无人机节点上的总的计算资源：

 （7）

其中表示请求中第个VNF所需要的计算资源，表示无人机节点*u*上总的计算资源。

3.SFC链路流守恒以及VNF顺序依赖约束：流守恒约束用于选择从起始节点到目标节点的路由，确保流量在各节点上的进出平衡。VNF顺序依赖约束保证VNF按照服务请求定义的顺序依次执行。

起始节点约束：

 （8）

 （9）

目的节点约束：

 （10）

 （11）

中间非功能节点约束（）：

 （12）

中间功能节点约束（）：

（13）

将上述两个合并,变成了非线性约束：

 （14）

4.无人机节点位置可达性约束（非线性约束）：

服务区域限制：

 （15）

无人机节点之间的安全距离与两无人机之间的服务最大距离约束：

（16）

无人机最大移动范围约束：

 （17）

5.任务开始与就位时间关系（非线性约束）：

对于参与服务请求的所有无人机（执行VNF或中继无人机）在前必须就位：

 （18）

其中，为服务请求所涉及的无人机节点集合

6.时延约束（非线性约束）：

 （19）

时延要求：

 （20）

其中是一个足够大的常数，当时，满足时延容忍要求，即部署成功。

## 2.非线性处理：

1.SFC链路流守恒以及VNF顺序依赖约束：

原约束中包含形式表达式，其中为0-1变量，例如：



线性化方法：引入一个0-1变量表示,为了保证等式成立，需要添加以下约束：

（21）

 （22）  （23）

2.任务开始与就位时间约束，表达式中含有max，例如：



为服务请求任务所涉及的无人机节点集合，其中包含两种情况一种：

 部署VNF：若，则无人机节点为服务请求功能节点。

 中继节点：若在路由中和链路  使得或并且，则为中继节点。

引入0-1辅助变量用于表示是否参与服务请求的数据传输或处理：

 （24）

 （25）

 （26）

 （27）

通过大M法将原约束写成：

 （28）

 （29）

上述约束中（16）（17）（19）（29）均为是非凸的二次型约束，主要由平方项导致非凸性。为了解决这一问题，我们采用 SCA（顺序凸逼近） 方法，将当前迭代点附近的非凸约束用凸近似替代，设当前的迭代参考点为 和进行一阶泰勒展开近似。

在约束（16）处理中，对距离平方项线性化如下：

 (30)

记线性近似结果为，从而：

 （31）

该式现为关于的线性函数，已经去除非凸性。类似的对于约束（17）和（29）的处理如下：

（32）

记：

 （33）

 （34）

处理之后表达式均关于的线性形式。

对于约束（19）其中具体包含两种形式，与。

非线性分析：

1. 的对数函数形式为是非线性的。

2. 距离项也是非线性的。

3. 分式形式进一步引入非线性。

**距离项的线性化在上述已进行处理：**

**对数函数线性化处理（以为例）：**

传输速率中的对数函数在参考点出进行一阶泰勒展开，定义：

 （35）

在参考点处，计算和导数。利用一阶近似：

 （36）

其中已知，且通过前述距离近似已经是线性表达式。由于是线性项，所以在迭代中也变成线性近似。

**分式形式线性化处理：**

已得：

 （37）

其中表示对坐标的偏移系数。

现在对进行线性近似。在参考点：

 （38）

将替换为上一步的线性表示，即：

 （39）

这样，的近似已变成对坐标参数的线性函数。故每次迭代过程中，约束可由上述线性近似代替。当收敛时，得到得解将逼近原问题的最优解。

因为相对于为单调递减函数，因此可用速率约束代替无人机之间的距离约束。由无人机之间的距离约束可知，可计算出的范围，令分别表示计算出的最小值与最大值。令，其中。为了线性化引入辅助变量，其满足约束：

 （40）

 （41）

原约束写成：

 （42）

由此，网络功能虚拟化架构下的多服务协同部署模型如下：

 (43)

 （44）

经过上述多次放缩以及转换后，公式（44）的所有约束均为线性约束，上述问题为线性混合整数型问题。