

一种新型机载战术网络下的内容驱动路由协议

邹鑫清, 吕 娜, 陈柯帆, 刘 创, 曹芳波

(空军工程大学 信息与导航学院, 西安 710077)

摘 要: 传统机载战术网络(ATN)紧耦合于作战应用,且未考虑到信息内容本身,导致 ATN 下的路由协议无法为不同的信息内容提供差异化的通信服务,难以满足任务需求动态多样的航空集群平台通信需求。为此,通过融合软件定义网络、信息中心网络和机载战术网络架构,提出软件定义信息中心机载战术网络架构,并以此架构为基础,设计内容驱动路由协议,为不同的信息内容提供不同等级的路由转发能力,从而为网络提供高效的差异化服务。仿真结果表明,与传统的迪杰斯特拉算法相比,内容驱动路由协议能够减少端到端时延,提高吞吐量与网络通信性能。

关键词: 航空集群; 机载战术网络; 软件定义网络; 信息中心网络; 内容驱动路由协议

中文引用格式: 邹鑫清, 吕娜, 陈柯帆, 等. 一种新型机载战术网络下的内容驱动路由协议[J]. 计算机工程, 2019, 45(8): 113-119.

英文引用格式: ZOU Xinqing, LÜ Na, CHEN Kefan, et al. A content-driven routing protocol for a new airborne tactical network[J]. Computer Engineering, 2019, 45(8): 113-119.

A Content-driven Routing Protocol for a New Airborne Tactical Network

ZOU Xinqing, LÜ Na, CHEN Kefan, LIU Chuang, CAO Fangbo

(School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

[Abstract] Due to the tight coupling of the traditional Airborne Tactical Network(ATN) in the fight application without considering the information content itself, the routing protocol for the ATN cannot provide differentiated communication services for different information content, and it is hard to meet the aviation cluster platform's communication requirements, which has dynamic and various task requirements. Therefore, this paper combines the Software Definition Network(SDN), Information Center Network(ICN) and airborne tactical network architecture, puts forward the Software Defined Information Center-Airborne Tactical Network(SDIC-ATN) architecture. Based on this architecture, the Content-driven Routing Protocol(CDRP) is designed, which can provide different levels of differentiated routing forwarding abilities for different information content, and provides efficient differentiated services for network. Simulation results show that compared with the traditional Dijkstra algorithm, CDRP can reduce the end-to-end delay to some extent, improve the throughput and improve the network communication performance.

[Key words] aviation clusters; Airborne Tactical Network(ATN); Software Defined Network(SDN); Information Center Network(ICN); Content-Driven Routing Protocol(CDRP)

DOI: 10.19678/j.issn.1000-3428.0051847

0 概述

随着当前信息化战场的动态性日益增强,催生了许多新型作战理念和模式。借鉴生物集群概念,航空作战领域的研究人员提出了航空集群作战理念。航空集群由大规模有人/无人飞机组成,集群成员通过协同工作完成复杂任务,实现平台能力最大

化。而信息交互是航空集群成员认知战场态势并产生协作的前提。因此,构建符合未来航空集群作战应用需求的通信网络,是航空集群发挥实际作战效能面临的重要挑战。

机载战术网络(Airborne Tactical Network, ATN)是指在航空平台及其与各平台间提供战术信息交互服务的通信基础设施。在 ATN 中,节点具有路

基金项目: 国家自然科学基金(61472443)。

作者简介: 邹鑫清(1995—),女,硕士研究生,主研方向为航空网络、软件定义网络;吕 娜,教授、博士生导师;陈柯帆,博士研究生;刘 创、曹芳波,硕士研究生。

收稿日期: 2018-06-19

修回日期: 2018-08-10

E-mail: 414793865@qq.com

由功能,在负责转发数据、建立多跳连接中发挥重要作用。

现有的航空网络路由协议研究主要有:文献[1]提出的多路径路由算法大大降低了平均端到端中断率;文献[2]提出优化链路状态路由(OLSR)协议,提高了网络的可靠性;文献[3]提出一种能量感知路由协议,在延长网络寿命的同时减少了平均端到端延迟。

现有路由协议解决了航空网络的问题,但对于 ATN,一方面传统的 ATN 针对具体空战场景设计,这种架构设计使得传统 ATN 提供的通信服务紧耦合于作战应用,也使得传统 ATN 下的路由协议难以支撑航空集群各成员间的灵巧作战协同^[4-5]。另一方面,传统 ATN 下的路由协议没有考虑信息内容本身^[6],导致网络在路由转发的过程中无法为不同的信息内容提供差异化的通信服务。从以上研究可以看出,紧耦合于作战应用的传统 ATN 架构和 ATN 架构下的路由协议设计思路,难以满足任务需求动态多样的航空集群平台的通信需求^[7]。因此,在对 ATN 架构进行设计改进的同时也需要研究新型架构下的路由协议,以满足航空集群战术信息交互需求。

为提升网络能力,文献[8-9]将一种全新的软件定义网络(Software Definition Network,SDN)范式应用到机载战术网中。SDN 将数控平面分离,提升网

络管控的灵活性和效率^[10],但其没有考虑到信息内容本身,导致差异化的网络服务以及高价值信息的高效传输无法实现。信息中心网络(Information Centric Network,ICN)是以信息内容为中心,根据信息的具体内容对信息进行命名的架构^[11-13],为解决网络无法为不同的信息内容提供差异化的通信服务提供了解决思路^[14]。SDN 和 ICN 从不同角度弥补了机载战术网络在航空集群作战背景下的不足。因此,本文将 SDN、ICN 融合到 ATN 中,提出软件定义信息中心机载战术网络(Software Defined Information Centric-Airborne Tactical Network,SDIC-ATN)架构,并以此架构为基础,从网络性能考虑,设计一种内容驱动的路由协议(Content-Driven Routing Protocol,CDRP),为不同的信息内容提供差异化的通信服务。

1 SDIC-ATN 架构

在传统的 ATN 架构设计中,由于数控不分离,导致网络管理较为复杂。在现阶段,从 SDN 的角度出发,在异构网络融合时将网络分为应用平面、控制平面、数据平面和管理平面。由于 SDIC-ATN 参考了 SDN 的网络范式,因此也将 SDIC-ATN 分为这 4 个平面,其中应用平面与控制平面通过北向接口连接,控制平面与数据平面通过南向接口连接,管理平面通过管理接口与应用平面、控制平面和数据平面相连。SDIC-ATN 的总体架构如图 1 所示。

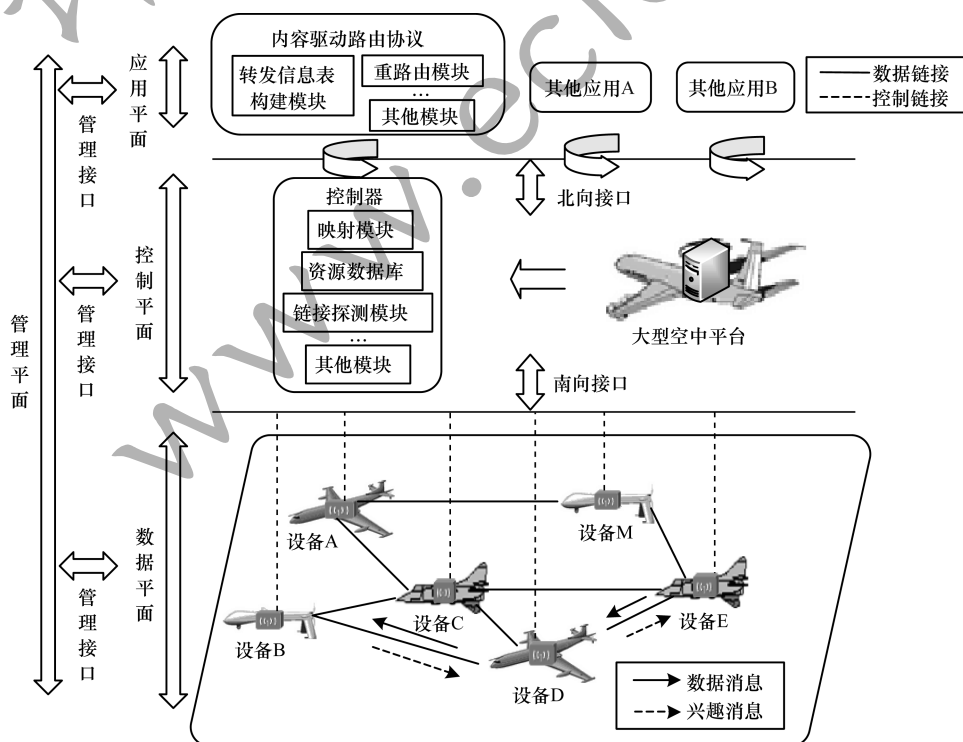


图 1 SDIC-ATN 基本网络架构

数据平面是 SDIC-ATN 的基础平面,平面由 ATN 的通信传输设备组成,在 SDIC-ATN 中将其称为网络设备,主要功能是根据控制平面下发的相关配置内容,对平面内的数据包进行传输以及收集网络拓扑等网络状态信息,并将其发送给控制平面。SDIC-ATN 参考了 ICN 的数据传输模式。假设网络设备 D 需要某个信息内容,通过发送兴趣包使得网络明确网络设备 D 对信息内容的请求,从而寻找到符合相应要求的网络设备 E,网络设备 E 将包含网络设备 D 需要的信息内容的数据包发送给网络设备 D,完成信息交互。

控制平面是 SDIC-ATN 的核心部分,由 ATN 的网络管理设备组成,在 SDIC-ATN 中将其称为控制器。一方面,控制器通过南向接口协议对底层网络设备进行集中管理、状态监测、转发决策以处理和调度数据平面的流量;另一方面,控制器通过北向接口向上层应用开放多个层次的可编程能力,允许网络用户根据特定的应用场景灵活地制定各种网络策略,将应用平面的请求映射到具体的网络设备的同时,也为应用平面提供了底层网络抽象模型。

SDIC-ATN 控制器的部署是实现控制平面构建的基础,控制器的位置直接影响到网络的时延、效率以及可靠性^[15-16]。由于大型空中平台有较高的计算能力、较强的生存能力、较好的综合信息处理能力和信息感知能力以及较强的鲁棒性,因此为了便于任务规划系统与控制器间进行快速的信息交互和协调策略计算,控制器应部署于大型空中平台上,如预警机、指通机等,便于掌握全网信息。控制平面主要有映射模块、资源数据库模块以及链路探测模块等。

应用平面由各种网络应用模块构成,实现了用户定义的高层次网络控制逻辑。这些应用模块利用控制平面提供的可编程接口,将高层次网络控制逻辑转化为数据平面可识别的底层网络控制逻辑来控制数据平面的设备,满足用户的需求。

在应用平面中,本文设计的内容驱动路由协议的实现需要调用控制器中的映射模块。映射模块完成由信息内容到地址的映射。信息内容经过南向接口传送至控制器中,控制器通过映射模块对包含信息内容的数据包进行相应处理,将信息内容转化为地址,再经过南向接口将包含地址的数据包下发给相应的底层设备,底层设备根据地址信息进行路由决策与转发。

管理平面通过管理接口对 SDIC-ATN 网络进行管理,如管理控制器的部署、网络设备初始化配置等。管理接口负责支持管理平面对整个网络进行有效的网络管理。

北向接口连接应用平面和控制平面,主要是为应用程序开发人员提供一个途径来开发网络的新功能,接口的设计需要密切考虑应用的需求,为应用提供数据平面的逻辑抽象和模型。通过将接口进行封装,并对上层应用开发者进行开放,能使开发人员根据自身的需求,灵活地配置、增加或删除业务,允许用户定制、二次开发以及集成第三方业务,实现了控制器与开发人员间的交互。由于应用平面中的路由协议需要调用控制器中的映射模块,北向接口需要支持对控制器中映射模块的调用,因此需对现有的北向接口进行开发,具体技术问题本文不再进行详细讨论。

南向接口连接数据平面和控制平面,完成控制平面与数据平面间的交互及部分管理配置功能。在 SDIC-ATN 中,控制器需要通过南向接口指导数据平面进行信息内容的传输。同时,由于 SDIC-ATN 网络的拓扑结构高速动态变化,OpenFlow 协议无法满足网络快速传输信息流的要求,因此应对现有的 OpenFlow 协议进行扩展,具体技术问题本文不再进行详细讨论。

2 内容驱动路由协议

2.1 路由建立机制

为实现数据平面中网络设备的相互通信,首先对控制器进行初始化。本文设计一个扩展后的 OpenFlow 协议来保证 SDIC-ATN 的正常运作,由于具体过程不是本文研究重点,在此不做阐述。

在 SDIC-ATN 中,将内容请求称为“兴趣”。当网络设备接收到“兴趣包”时,它会返回一个“数据包”到请求节点,数据包跟踪到请求节点的路径。后续中间节点可以对相同兴趣包进行进一步转发,而不需要通过 SDIC-ATN 服务器提供。本文假设网络设备 B 为源节点,网络设备 E 为目的节点。从网络设备 B 到网络设备 E 有 2 条路径,分别是路径 1: B—C—E 和路径 2: B—D—E。网络设备 B 收到一个数据包后,其转发信息库(FIB)缺乏相关的路由信息,数据包只能排队等待,并通过扩展后的 OpenFlow 协议向控制器发送兴趣消息(见图 2(a)),兴趣消息包含数据包的内容名称(SIAN-ID)、序列号(CSN)、网络设备 B 的地址、网络设备 E 的地址和一些其他相关数据等。本文假设控制器经过计算后得到路径 2 的路由更优,将其存储在路由信息库(RIB)中以便下一次决策。接着通过扩展后的 OpenFlow 将路由消息返回给网络设备 B 以及所得路由中的所有路径节点

(见图 2(b)),路由消息中包含信息优先级标号(Priority-ID)和各自节点的相关路由信息。网络设备 B、D、E 收到路由消息后将相关路由信息存储在各自的 FIB 中以便进行下一次查找转发。随后网络设备 B 开始按路由消息沿着路径 2 转发兴趣消息至网络设备 E,网络设备 E 收到兴趣消息后将数据消息原路返回。当转发信息表已满时,之前的条目必须被删除,并由新的条目替换。这个操作可以由控制器来辅助,也可以由节点在固定和简单规则的基础上自动执行,具体规则本文不作介绍。

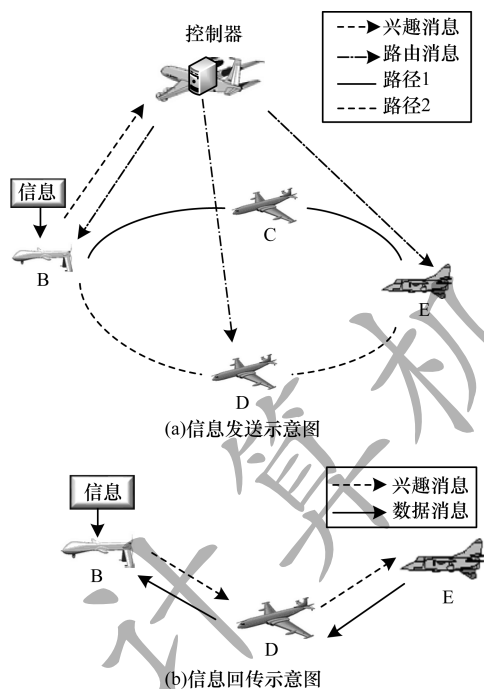


图 2 SDIC-ATN 网络中的信息交互示意图

根据所选的命名方法,SIAN-ID 可以是固定的或可变的,并且支持不同的命名模式。CSN 可以作为内容名称的一部分,或者显式地添加为可变长度可选字段,还可以识别内容的类别(如指令消息或语音消息)。兴趣消息的格式如图 3 所示。但在实际情况中,在 SDIC-ATN 的环境下根据数据包的内容来匹配任意长度的名称是相当复杂的,并且在硬件中难以实现。使用固定长度的表达式来命名内容不适用于大多数命名模式,并且可能会限制整个架构的灵活性。

Header		Payload	
SIAN-ID	CSN	Sou.addr	Des.addr
		Interest carrier packet payload	

图 3 兴趣消息格式

控制器接收到兴趣消息后,查找本地路由信息库(RIB),若 RIB 中无关于此类消息的路由信息,就通过北向接口调用上层应用平面中的内容驱动路由

协议来确定信息优先级并计算路由消息,路由消息格式如图 4 所示。

Header				Payload
Nex.addr	Des.addr	Sou.addr	Priority-ID	Data carrier packet payload

图 4 路由消息格式

SDIC-ATN 网络中的信息传输流程如图 5 所示。

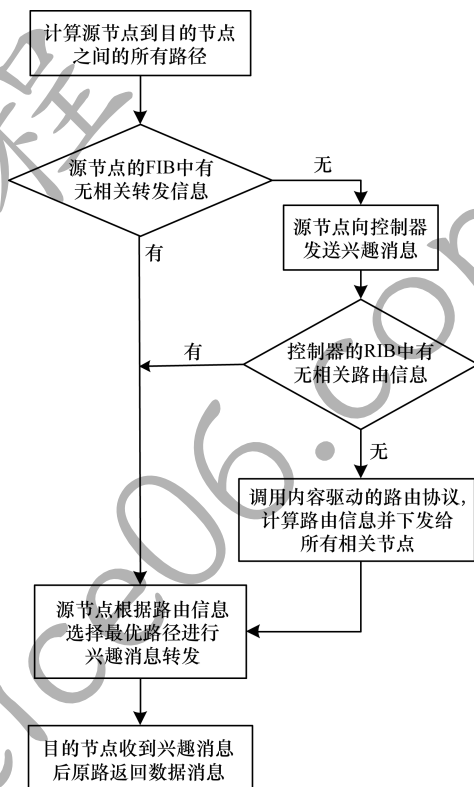


图 5 SDIC-ATN 网络中的信息传输流程

2.2 异常处理机制

当路由转发机制异常时,数据包无法找到下一目标节点,导致转发失败从而产生拥塞。此时直接调用基于多维感知的路由选取算法(Multi dimensional Perception OLSR, MPOLSR)来选择下一跳节点,如图 6 所示。MPOLSR 与 OLSR 相同,使用多点中继(MPR)节点转发消息以降低开销。MPOLSR 路由选取算法流程如图 7 所示。

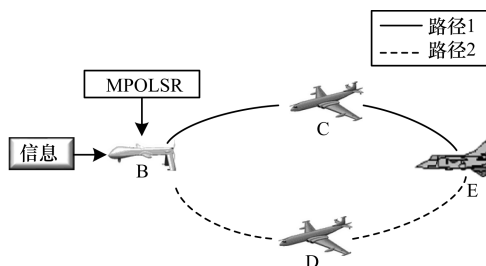


图 6 异常处理机制示意图

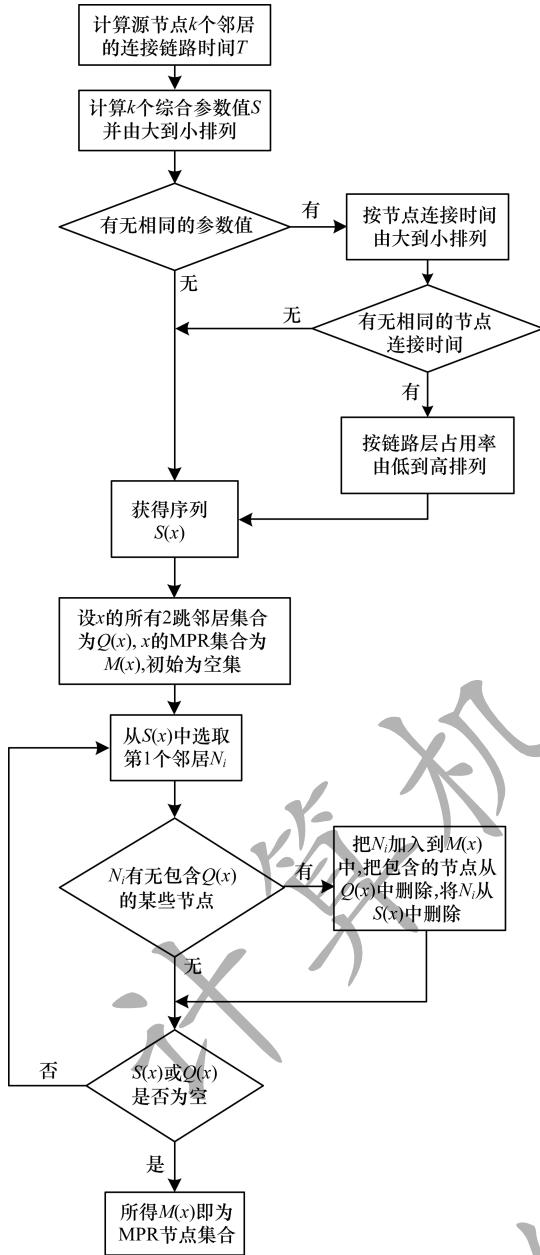


图 7 MPOLSR 路由选取算法流程

连接链路时间 T 定义为:

$$T_{ij} = \frac{\sqrt{(m^2 + o^2) \times r^2 - (m \times p - n \times o)^2} - (m \times n + o \times p)}{m^2 + o^2} \quad (1)$$

其中, $m = V_i \times \sin \theta_i - V_j \times \sin \theta_j$, $n = X_i - X_j$, $o = V_i \times \sin \theta_i - V_j \times \sin \theta_j$, $p = Y_i - Y_j$, V_i, V_j 表示节点的平均移动速度, θ_i, θ_j 为节点的移动方向, (X_i, Y_i) 和 (X_j, Y_j) 分别为节点 i, j 的坐标。

综合参数值 $S(x)$ 定义为:

$$S_i = \alpha \times T_{ij} + \beta \times \eta_i \quad (2)$$

其中, α, β 为加权参数, 满足 $\alpha + \beta = 1$, T_{ij} 为节点 i 与 j 的连接时间, 式(1)已给出定义, η_i 为节点 i 的链路层拥塞度, 定义为:

$$\eta_i = B_p(i) / B_c(i) \quad (3)$$

其中, $B_p(i)$ 为节点 i 链路层接口队列中当前缓存的分组数, $B_c(i)$ 为节点 i 链路层接口队列中缓存容量。

当使用 MPOLSR 路由选择算法仍无法进行消息转发时, 选择丢弃该数据包。

2.3 内容驱动路由选取算法设计

本文提出一种基于内容驱动的路由选取算法。在该算法中, 信息优先级根据具体的作战任务、作战阶段动态变化。例如在侦察探测阶段, 主要对多种传感器设备进行多手段、多方式的综合利用, 以期最大概率地获取敌方目标信息。因此, 在此阶段收集近距离敌机的雷达探测信息的优先级高于火力协同信息。在打击阶段主要采用编队多机火力协同方式攻击目标, 以提高目标毁伤概率, 同时降低我机损失概率。此阶段与侦察探测阶段不同的是, 火力协同信息的优先级高于雷达探测信息。将基于内容驱动的路由选取算法应用于 SDIC-ATN 网络架构中, 能够满足航空作战中各阶段差异性业务信息的按需交互, 从而满足任务需求动态多样的航空集群平台的通信需求, 提高空战效能。基于以上考虑, 本文提出内容驱动路由算法。

算法 1 内容驱动路由算法

输入 邻接矩阵 G , 源节点飞机号, 目的节点飞机号, 节点飞机数量 n

输出 最优路径 out

1. 设变量 $i = n$, 向量 $dist$ 存储源节点到本节点的最短距离, 向量 pre 存储到本节点的上一个节点的最短距离, 向量 out 用于倒序存放路径, $used$ 表示已找出最优路径的节点的集合;

2. 初始化 $dist = \infty$, $pre = s - 1$, $used = 0$;

3. for i

4. if $i \geq 1$

5. 选择源节点的相邻节点, 更新能由本节点经过一个边到达的节点距离;

6. 更新上一级节点信息;

7. 更新由本节点可以到达的未访问节点的最短路径信息;

8. $i = i - 1$;

9. end

10. end

在调用内容驱动算法前, 先按照信息内容的优先级对邻接矩阵 G 进行计算, 并将其用在内容驱动算法中。计算过程将在本节后半部分进行详细描述。在内容驱动算法中, 首先进行初始化, 将源节点到其余各节点的距离存放在 $dist$ 中。然后根据邻接矩阵 G 寻找到各个节点的距离最小的节点, 将其 $used$ 值标为 1, 通过该节点进行中继, 更新源节点到其他节点的距离, 即更新 $dist$, 每次更新完, 填充 pre 的值。循环上述内容 $n - 1$ 次即可找到所有节点的最优路径。

算法中的邻接矩阵定义为:

$$G = \begin{bmatrix} g_{1-1} & g_{1-2} & \cdots & g_{1-N} \\ g_{2-1} & g_{2-2} & \cdots & g_{2-N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ g_{N-1} & g_{N-2} & \cdots & g_{N-N} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, g_{ij} 表示节点 i 到 j 的距离, 当 i 与 j 之间有连接时, $g_{ij} = RS$, 当 i 与 j 之间无连接时, $g_{ij} = \inf$, 当 $i = j$ 时, $g_{ij} = 0$ 。 RS 定义如下:

当判定数据包为高优先级数据包时, 计算公式为:

$$RS = A \times \left(\alpha \times x + \frac{\beta \times y}{1\ 000} \right) + 50B \times \tau_{ij} + C \times \sum q_{jk} - \frac{SINR}{SINR_{\max}} \quad (5)$$

其中, α, β 为加权参数, 满足 $\alpha + \beta = 1$, A, B, C 为加权参数, 当 $A \neq 0$ 且 $B \neq 0$ 时, $A + B + C = 1$ 。具体的数值根据详细作战场景需求设置。

当判定数据包为其他优先级数据包时, 计算公式为:

$$RS = 50P \times \delta \times \tau_{ij} + Q \times \sum q_{jk} - \frac{SINR}{SINR_{\max}} \quad (6)$$

其中, P, Q 为加权参数, 满足 $P + Q = 1$ 。具体的数值根据详细作战场景需求设置。

在 RS 中:

1) k 代表从源无人机到目的无人机所有可能路径的数量。

2) x 代表优先级比自身优先级高的数据包数量。当数据包被判定为高优先级数据包时, 为避免拥塞尽快传输, 应尽量选择一条比自身优先级高的数据包数量较少的通道来提高传输的速度。

3) y 代表优先级比自身优先级高的数据包长度。当数据包被判定为高优先级数据包时, 为了避免拥塞尽快传输, 应尽量选择一条比自身优先级高的、数据包长度较短的通道来提高传输的速度。

4) $SINR$ 代表信噪比, 且:

$$SINR = \frac{P_i \times \|h_{ij}\|}{\sigma^2 + \sum I_{mj}} \quad (7)$$

其中, P_i 是源节点的传输功率, h_{ij} 是远程独立衰落接收节点的协同效率, σ 是接收节点噪声方差, I_{mj} 是从节点 m 到 j 的干扰, 即从其他节点收到的信号功率。为保证数据包的传输质量, 应使信噪比尽量大。本文假设 $SINR_{\max} = 15$ dB。

5) τ_{ij} 代表传输延迟, 且:

$$\tau_{ij} = \frac{l}{T_r} \quad (8)$$

其中, l 是数据包的长度, T_r 是传输速率。为保证数据包的传输质量, 应使传输延迟尽量小。

6) $\sum q_{jk}$ 代表一跳邻居广播干扰值, 其中, j 是一跳节点, k 是一跳节点的邻居节点。

在极端情况下, 某节点与网络其他节点均互为邻节点, 此时节点需找出 n 个节点的距离最小值和进行 n 次 $dist$ 更新, 并作 $n-1$ 次循环。因此, 算法的时间复杂度为 $O(n^2)$ 。由于该算法较为简单, 空间复杂度不随 n 的大小而改变, 可表示为 $O(1)$ 。通过分析表明, 该算法的时间、空间复杂度较低, 在实际应用中易于实现。

3 仿真与结果分析

本文设置的场景为 $600\text{ km} \times 500\text{ km}$, 飞机的通信半径为 180 km 。在仿真中, 简单实现了北向接口和南向接口的扩展。计算 2 种情况下的邻接矩阵分别是: 信息为高优先级信息时的邻接矩阵和信息为其他优先级信息时的邻接矩阵。

假设在场景中, 指挥引导信息属于高优先级信息, A 飞机接收到数据包后需要转发, 其传输队列中无信息流, 信噪比为 15 dB 。A 飞机的邻居有 B、C、P、Q 飞机。假设在 B 飞机的传输队列中有 1 个大小为 $2\ 700\text{ Byte}$ 的雷达探测信息, 信噪比为 3 dB ; 在 C 飞机的传输队列中有 1 个大小为 $2\ 500\text{ Byte}$ 的复合跟踪信息, 信噪比为 5 dB ; 在 P 飞机的传输队列中有 1 个大小为 $3\ 000\text{ Byte}$ 的侦察信息, 信噪比为 6 dB ; 在 Q 飞机的传输队列中有 4 个大小为 $1\ 000\text{ Byte}$ 的火力协同信息, 信噪比为 4 dB 。可以看出, 只有 Q 飞机的 4 个信息的优先级高于需要传输信息的优先级。

3.1 时延性能

本文利用 EXata 仿真平台对内容驱动算法的时延性能进行仿真测试。EXata 是一套用来仿真大型有线网络和无线网络的完整平台, 其创建的“虚拟网络”可以与真实物理网络中的所有组件互相通信和交换数据, 由 EXata Developer 模块、EXata 标准模型库模块、EXata 无线网络模型库模块等模块组成, 可以仿真上千个节点的大型无线网络, 特别适合集群式计算系统的复杂仿真项目。

在仿真中设置节点数为 $20, 40, 60, 80, 100$, 依次增加进行时延统计, 得到网络由低负载到高负载过程中的时延变化趋势。在仿真中将内容驱动算法与迪杰斯特拉算法相比较, 其中在内容驱动算法中将信息流按高优先级和低优先级进行区分。

端到端时延仿真结果如图 8 所示。当节点数量较少、网络流量不大时, 信息流的时延都相对较低, 其中, 高优先级信息流的时延最低, 其次是低优先级信息流。随着节点数的增加, 3 种信息流的时延也不断增加, 当节点数量超过 60 时, 一般信息流的时延迅速增加。相比之下, 高优先级信息流和低优先级信息流的时延增加相对缓慢, 其中高优先级信息流时延增加最为缓慢。当节点数量达到 100 时, 一般信息流的时延最大, 接近 1 s , 其次是低优先级信息流, 而高优先级信息流的时延最小。

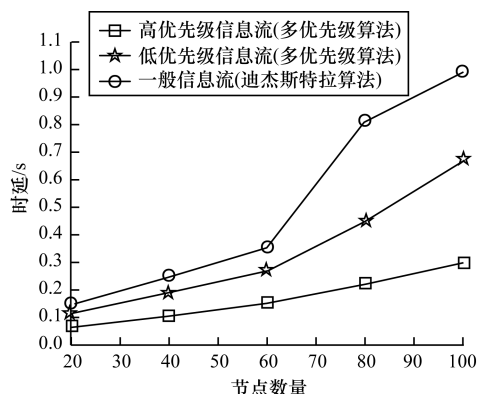


图8 不同节点数量下的端到端时延性能

3.2 吞吐量性能

本文对内容驱动算法的吞吐量性能进行仿真测试,仿真中节点数分别为20、40、60、80、100,依次增加进行统计,得到网络由低负载到高负载过程中的吞吐量变化趋势。在仿真中同样将内容驱动算法与迪杰斯特拉算法进行比较,其中在内容驱动算法中将业务按高优先级和低优先级进行区分。

吞吐量仿真结果如图9所示。当节点数量为20时,3种信息流吞吐量由大到小依次为高优先级信息流、低优先级信息流和一般信息流。当节点数量超过40时,一般信息流的吞吐量急剧下降,相比之下高优先级信息流和低优先级信息流的吞吐量仍在上升。当节点数量超过60时,一般信息流的吞吐量下降至接近0.1,高优先级信息流和低优先级信息流的吞吐量也在缓慢下降。节点数量超过80时,一般信息流的吞吐量已降至0.05,高优先级信息流的吞吐量曲线趋于平缓,低优先级信息流的吞吐量仍有下降的趋势。

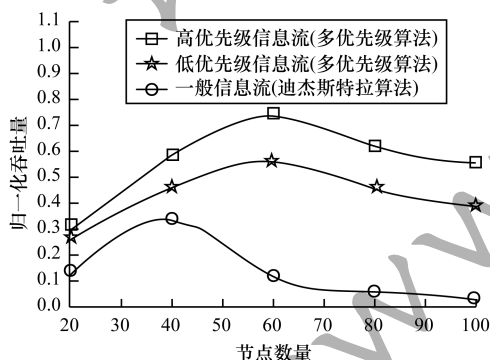


图9 不同节点数量下的吞吐量性能

由时延性能和吞吐量性能的仿真测试结果可以看出,与传统的迪杰斯特拉算法相比,内容驱动算法既保证了高优先级信息流的低时延发送,同时也降低了低优先级信息流的时延,减小了网络的平均时延,有效地维持了高优先级和低优先级信息流的较高吞吐量,提高网络的通信性能。

4 结束语

本文提出一种SDIC-ATN网络体系架构。该架构将软件定义网络、信息中心网络和机载战术网络进

行融合,提升了网络管控的灵活性和效率,为网络提供差异化的网络服务以及高价值信息的高效传输。此外,以该架构为基础,设计一种内容驱动的路由协议,为不同的信息内容提供不同等级的差异化路由转发能力,从而实现高效的差异化服务。仿真结果表明,与传统迪杰斯特拉算法相比,基于内容驱动协议的路由算法在一定程度上减少了端到端时延。

参考文献

- [1] SECINTI G. SDNs in the sky: robust end-to-end connectivity for aerial vehicular networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2018, 56(1): 16-21.
- [2] GU Chao, ZHU Qi. An energy-aware routing protocol for mobile ad hoc networks based on route energy comprehensive index [J]. Wireless Personal Communications, 2014, 79(2): 1557-1365.
- [3] ROSATI S. Speed-aware routing for UAV ad hoc networks [C] // Proceeding of IEEE GLOBECOM'13. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2013: 1367-1373.
- [4] CHENG B N, BLOCK F J, HAMILTON B R, et al. Design considerations for next-generation airborne tactical networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(5): 138-145.
- [5] AMIN R, RIPPLINGER D, MEHTA D, et al. Design considerations in applying disruption tolerant networking to tactical edge networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(10): 32-38.
- [6] CHENG B N, CHARLAND R, CHRISTENSEN P, et al. Evaluation of a multihop airborne IP backbone with heterogeneous radio technologies [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2014, 13(2): 299-310.
- [7] KWA K, JOON K, SAGDUY U, et al. Airborne network evaluation: challenges and high fidelity emulation solution [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(10): 30-36.
- [8] 赵尚弘, 陈柯帆, 吕娜, 等. 软件定义航空集群机载战术网络 [J]. 通信学报, 2017, 38(8): 140-155.
- [9] 吕娜, 刘创, 陈柯帆, 等. 一种面向航空集群的集中控制式网络部署方法 [J]. 航空学报, 2018, 38(8): 321-331.
- [10] 朝昆, 崔勇, 唐瑶祿, 等. 软件定义网络 (SDN) 研究进展 [J]. 软件学报, 2015, 26(1): 62-81.
- [11] CAROFIGLIO G, MORABITO G, MUSCARELLO L, et al. From content delivery today to information centric networking [J]. Computer Networks, 2013, 57(16): 3116-3127.
- [12] XYLOMENOS G, VERVERIDIS C N, SIRIS V A, et al. A survey of information-centric networking research [J]. Communications Surveys and Tutorials, 2014, 16(2): 1024-1049.
- [13] PAN Jie, PAUL S. A survey of the research on future Internet architectures [J]. IEEE Communications, 2011, 49(7): 26-36.
- [14] 孙彦斌, 张宇, 张宏莉. 信息中心网络体系结构研究综述 [J]. 电子学报, 2016, 44(8): 2009-2017.
- [15] LIAO Jianxin, SUN Haifeng, WANG Jingyu, et al. Density cluster based approach for controller placement problem in large-scale software defined networking [J]. Computer Networks, 2017, 112(1): 24-35.
- [16] GANIN H S, MUNADI R, EFFENDY M Z. SDN controller placement design: for large scale production network [C] // Proceedings of IEEE APWiMob'17. Washington D. C., USA: IEEE press, 2017: 74-87.