

文章编号:1001-9081(2007)10-2398-03

无人机多跳自组网实时视频传输性能评估

刘思伟,赵玉亭,慕德俊

(西北工业大学 自动化学院,西安 710072)

(demingyang@163.com)

摘要:基于当前无人机广泛采用的 M-JPEG 与 MPEG-2 视频编解码器,构建了实时半实物仿真环境,并基于此对无人机多跳自组网实时视频传输进行了性能评估。结果表明,实时条件下的 M-JPEG 编解码器无法支持多跳实时视频传输,而 MPEG-2 能够支持 2 跳至 3 跳的实时视频传输;在 1~10 跳的实时传输条件下,MPEG-2 较之 M-JPEG 在分组投送成功率和解码率意义下的视频质量平均分别提高了 55.69% 和 205.64%。相对于传统的单飞单控方式,无人机多跳自组网在将无人机系统的作用范围扩大 4~9 倍的同时能够支持实时视频传输。

关键词:无人机;自组网;实时;视频

中图分类号: TP393.03;TP311.05 **文献标志码:** A

Performance evaluation of real-time video transport over UAV multi-hop Ad Hoc networks

LIU Si-wei, ZHAO Yu-ting, MU De-jun

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China)

Abstract: The performance of real-time video transport over Unmanned Aviation Vehicle (UAV) multi-hop Ad Hoc networks (UMAN) was evaluated on a novel hardware in the loop simulation platform. The test video was encoded in the Motion JPEG or the MPEG-2 format with the frame rate of 25fps. Tests show that the MPEG-2 codec can provide real-time video service within 3 hops, while the Motion JPEG codec cannot support multi-hop real-time video transport. The packet delivery ratio (PDR) and the decoded block ratio (DBR) got with the MPEG-2 codec has an average increase of 55.688% and 205.643%, compared with the results got with the Motion JPEG codec, respectively. The UMAN can extend the operational range of the UAV system to 4~9 times of the range offered by one UAV with the capability of supporting real-time video transport at the same time.

Key words: Unmanned Aviation Vehicle (UAV); Ad Hoc networks; real-time; Video

0 引言

无人机(Unmanned Aviation Vehicle, UAV)相对于有人机来说具有结构简单、造价低廉、减少人员伤亡等许多优点,可以完成很多有人机难以完成的任务,近年来引起了各个国家的关注。无人机若要成为未来战场的主角,不仅要有战斗能力,还要有协同作战能力,这就要求无人机系统要从目前的单飞单控变为多飞单控或者多飞多控,组成无人机自组网,增强无人机系统的作用范围与抗毁伤能力。许多情况下,无人机需要将远程侦查信息实时地传输到后方指挥中心,完成远程目标协同精确打击的任务,这就要求无人机自组网要具有实时传输视频的能力。

当前国内外对于无人机自组网的研究还处于起步阶段。文献[1,2]进行了相关理论研究。文献[3]通过固定在小型无人机上的 IEEE 802.11b 自组网设备,通过实测验证了 3 跳以内的语音传输质量能够接受的,提供相同的吞吐量的条件下,无人机多跳自组网能够将作用距离由原来的 1~2 km 提高到 2~4 km。国内也提出了相关的概念和框架模

型^[4-6]。对于后方的决策支持起着至关重要的作用的实时视频传输,其性能在无人机自组网中的传输和传统单飞单控方式有很大的不同。基于此,本文对无人机自组网中实时视频传输进行了仿真与性能评估,评估结果对于建立无人机多跳自组网远程实时侦查系统具有重要指导作用和参考价值。

1 无人机多跳自组网

目前研究的无人机多跳自组网主要用于扩大无人机系统的作用范围和提高地面设备的连接性^[1-3]。对于无人机远程侦查来说,纵深方向的延伸需要多架无人机进行空中中继,其拓扑如图 1 所示。

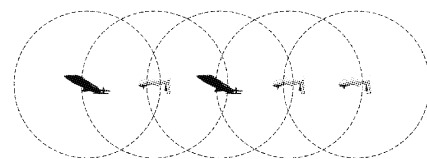


图 1 无人机多跳自组网

该拓扑与科罗拉多大学进行的无人机空地自组网拓扑相

收稿日期:2007-04-02。 **基金项目:**航空科学基金资助项目(01F53029);西北工业大学科技创新基金资助项目(M450211)。

作者简介:刘思伟(1976-),男,陕西西安人,博士研究生,主要研究方向:控制理论与控制工程、信息安全;赵玉亭(1977-),男,陕西咸阳人,博士研究生,主要研究方向:移动自组网理论与工程;慕德俊(1963-),男,山东荣成人,教授,博士,主要研究方向:控制理论与控制工程、信息安全等。

同,目的是增加无人机系统的作用距离^[3]。多架无人机一字排开,最左端的无人机进行信息的获取工作,将采集到的图像实时传递给右方紧邻的无人机,经过多架无人机的接力中继,到达后方控制中心。

2 实时视频传输的半实物仿真

为了对无人机自组网实时视频传输进行有效的评估,本文构建了一个半实物自组网实时视频仿真平台。此平台基于 QualNet 网络仿真器,能够进行视频的模拟实时传输,通过改变网络配置,可直接观察自组网实时视频流的接收质量,进行主观评估。同时通过记录的参数文件进行定量比较与客观评估。

2.1 实时视频传输半实物仿真的原理

实时视频传输半实物仿真的原理如图 2 所示。



该平台包括三台连接在同一个局域网内的计算机。左端的计算机将视频源进行指定类型的编码,然后将打包后的视频码流通过局域网接口传输给中间的计算机,该计算机将收到的视频码流数据包经过抓取,导入网络仿真器当中,经过模拟的自组网实时传输后,在接收端节点将码流通过局域网接口导出至右端的计算机,完成视频码流的实时接收、解码和回放工作。

2.2 视频编码器的选择

目前广泛用于无人机视频采集的编解码器有 M-JPEG 和 MPEG-2。借助 VideoLAN 组织开发的开源跨平台的网络视频播放器 VLC 进行转码来实现转码和实时传输播放。VLC 能够支持多种音频和视频的播放、转码、网络实时接收播放,能够满足实时视频传输性能评估的要求。

3 仿真实验

为了使实验结果具有可比性,本文采用了文献[3]的网络设置。物理层、介质访问控制(MAC)子层都采用 IEEE 802.11b 的无线传输标准,网络拓扑采用如图 1 所示的多跳自组网拓扑。天线采用全向天线,信道传播损失模型采用双径模型。通过改变无人机系统的作用距离,即中继跳数,视频编解码分别采用 M-JPEG 和 MPEG-2 标准,基于以前的研究结果^[7],为避免某一种路由协议的偏好性,采用了 AODV、Bellmanford、DSR、LAR1、OLSR、RIP 和 ZRP 这 7 种路由协议进行综合评估。

测试视频为一个经过 WMV 编码的视频片段,分辨率 320×240,长度 102 s,帧速率 30 fps。模拟网络中只有发送的实时视频流,没有任何其他背景流量。

完成了 1~10 跳网络拓扑的实时传输仿真,记录了每次实验的接收视频文件,以便于后续分析。实验共计 700 次,结果取 5 组上述实验数据的平均值。

4 性能评估

4.1 主观评估

实验结果的主观性能评估得到了多个视频序列,从中可以直接观察视频。运行 DSR 路由协议条件下的 1~3 跳对应

的视频截图列于表 1 当中。

表 1 M-JPEG 和 MPEG-2 的视频截图

跳数	1	2	3
M-JPEG			
MPEG-2			

可以看到,经过多跳传输后的 M-JPEG 视频失真急剧增大,2 跳时已无法获得可接受图像质量,图像有大片的错位,视频在一段时间内甚至保持静止。2 跳时 MPEG-2 视频质量与其 1 跳时区别不大,3 跳时会明显看到图像上有大量“马赛克”出现,但仍能辨别图像中的运动物体。3 跳以上的实时传输中,两种编解码器都无法提供可接受的视频质量。

4.2 客观评估

一般的视频质量的客观评价是基于视频序列的峰值信噪比(Peak Signal Noise Ratio, PSNR)指标进行的^[8]。实验只需进行视频传输质量的相对比较,计算 PSNR 是不必要的,因而提出了一种新的视频传输质量客观评估指标——解码率(Decoded Block Ratio, DBR),记为 R 。

原始视频序列经某种编码器编码后,其所有的编码块数记为 M ,经过第 i 次传输后,递交给解码器的编码块数记为 N_i ,此次传输对应的解码率记为 R_i ,其定义为:

$$R_i = \frac{N_i}{M_i} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)表明,解码器能够解码的块数越多,解码率就越大,视频质量就越好,反之视频质量就越差。

实验中,解码率参数是通过 VLC 输出的解码块数计算得到的。实验结果证明解码率对于评估视频传输的相对质量是客观、有效的,同时避免了大量的视频转换和计算。

综合 7 种路由协议得到的数据,采用两种视频编解码标准时不同跳数情况下的分组成功投递率(Packet Delivery Ratio, PDR)和解码率 DBR 的平均数据如图 3、4 所示。

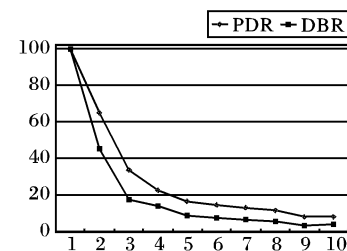


图 3 M-JPEG 时 PDR 和 DBR 随跳数的变化

可以看出,采用 M-JPEG 编码时,PDR 和 DBR 都随着跳数的增大而迅速下降;视频质量随跳数的增大下降得更快;在第 2 跳时,PDR 降至 64.9%,视频失真达到 54.8%。

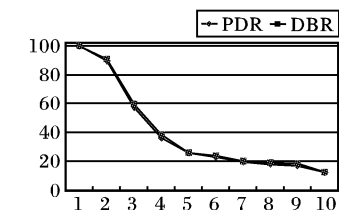


图 4 MPEG-2 时 PDR 和 DBR 随跳数的变化

采用 MPEG-2 编码时的 PDR 和 DBR 也都随着跳数的增大而下降;但 PDR 和 DBR 随跳数增大的下降速率几乎相同;第 2 跳时 PDR 和 DBR 仍在 90% 左右,第 3 跳时 PDR 和 DBR

降至 60%。

同样条件下,较之 M-JPEG 编码器,采用 MPEG-2 能够支持多跳实时视频传输,在提供可接受视频质量的条件下将无人机的作用范围扩大了 4~9 倍。

5 结果分析

相同的自组网环境下,传送同样长度的编码数据(实验中经过 VLC 不同编码器转码输出的数据包长度由 UDP 封装后的长度皆为 1358 字节,小于以太网的最大传输单元 1500 字节),在接收端递交给不同解码器的数据包数量也有所不同,而解码器输出后的视频质量也有显著差异。

由于 M-JPEG 采用完全帧内编码方式,没有帧间预测,压缩率只有几分之一,数据量较大;而采用帧间预测编码的 MPEG-2 的数据量很小,压缩率能够达到几分之一。同一长度的数据包内,MPEG-2 能包含更多的图像信息;发生数据包丢失的时候,M-JPEG 显现出大块的图像数据的丢失、错位、甚至图像持续静止;而 MPEG-2 只会出现“马赛克”现象,整个视频还在随着时间发生变化,画面中运动对象还是能够辨别的。

平均 1~10 跳下采用各种路由协议得到的数据,MPEG-2 较之 M-JPEG 的 PDR 增大了 55.69%,DBR 增大了 205.64%。

6 结语

传统无人机所采用的单飞单控方式扩展到无人机多跳自组网以后,对当前无人机广泛采用的 M-JPEG 和 MPEG-2 两种视频编码方式进行了 1~10 跳、多种路由协议条件下实时视频传输性能的评估。本文的特色和创新之处在于:

1)得到了 M-JPEG 编码器无法有效支持无人机多跳自组网的结论,这对于正在使用 M-JPEG 编码器的无人机来说,若要组建无人机自组网,就需改变其视频编码器;

2)即使采用更为先进的视频编解码器,无人机多跳自组

网实时视频传输的跳数也有一定上限,一般考虑在 3 跳以内完成无人机自组网实时视频侦查的任务。

3)提出了解码率这个新的评估实时视频传输相对质量的指标。实验证明,较之 PSNR,解码率的运算量大大降低,而且对视频传输性能评估同样有效。

4)无人机自组网的研究刚刚起步,本文得到的实验结果对于组建无人机自组网远程侦查系统有着重要的参考价值。

参考文献:

- [1] GU D L, PEI G, LY H, *et al.* UAV Aided Intelligent Routing for Ad-hoc Wireless Network In Single-area Theater[C]// Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Chicago: IEEE Press, 2000, 3: 1220 - 1225.
- [2] CHANDRASHEKAR K, DEKHORDI M R, BARAS J S. Providing Full Connectivity in Large Ad-Hoc Networks by Dynamic Placement of Aerial Platforms[R]. Technical Reports of Center for Satellite and Hybrid Communication Networks, University of Maryland. 2004.
- [3] BROWN T X, ARGROW B, DIXON C, *et al.* Ad Hoc UAV - Ground network (AUGNet) [C]// Proceedings of AIAA 3rd "Unmanned Unlimited" Technical Conference. Chicago: Workshop and Exhibit, 2004: 20 - 23.
- [4] 朱战霞, 袁建平. 无人机编队飞行问题初探[J]. 飞行力学, 2003, 21(2): 5 - 7.
- [5] 罗卫兵, 王永生. 无人机平台的超视距多链路中继遥测遥控[J]. 遥测遥控, 2003, 24(2): 32 - 33.
- [6] 陈明辉. 无人机组网及网络信息共享的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2005.
- [7] 赵玉亭, 戴冠中, 徐浩, 等. 基于 QualNet 仿真器的 Ad Hoc 路由协议比较研究[C]//05 全国仿真技术学术会议论文集. 北京: «计算机仿真»杂志社, 2005, 326 - 329.
- [8] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准——H. 264/AVC[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [9] GONG L G, SUN X-H, WATSON E F. Performance modeling and prediction of non-dedicated network computing[J]. IEEE Transactions on Computers, 2002, 51(9): 1041 - 1055.
- [10] SOLDATOS J, VAYIAS E, POLYMENAKOS L. Grid Donors Resources Utilization Analysis towards Optimal Job Scheduling[C]// Proceedings of the DPSN'04, Workshop, held in the Scope of IFIP Networking. Athens: [s. n.], 2004.
- [11] KONDO D, FEDAK G, CAPPELLO F. Resource Availability in Enterprise Desktop Grids[EB/OL]. [2006 - 01 - 11]. <http://hal.inria.fr/inria-00000994/en/>.
- [12] MUTKA M W. Sharing in a Privately Owned Workstation Environment[D]. Ph. D. dissertation, University of Wisconsin-Madison, 1988.
- [13] DINDA P A. The Statistical Properties of Host Load[C]// Proceedings of the Fourth Workshop on Languages, Compilers, and Runtime Systems for Scalable Computers (LCR98). Pittsburgh: IEEE Computer Society, 1998: 319 - 334.
- [14] DINDA P A, O'HALLARON D R. An Evaluation of Linear Models for Host Load Prediction[C]// Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC-8). Redondo Beach: IEEE Computer Society, 1999: 10.
- [15] DINDA P A. Design, implementation, and performance of an extensible toolkit for resource prediction in distributed systems[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2006, 17(2): 160 - 173.
- [16] ESWARADASS A, SUN X-H, WU M. A Neural Network Based Predictive Mechanism for Available Bandwidth[C]// Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'05). Denver: IEEE Computer Society, 2005: 33a.
- [17] WU M, SUN X-H. Grid harvest service: a performance system of grid computing[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2006, 66(10): 1322 - 1337.
- [18] MUTKA M W, LIVNY M. The available capacity of a privately owned workstation environment[J]. Performance Evaluation, 1991, 12(4): 269 - 284.
- [19] SODHI S, SUBHLOK J. Automatic Construction and Evaluation of Performance Skeletons[C]// Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'05). Denver: IEEE Computer Society, 2005: 88a.
- [20] CICOTTI P, TAUFER M, CHIEN A. DGMonitor: a Performance Monitoring Tool for Sandbox-based Desktop Grid Platforms[C]// Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'04). Santa Fe: IEEE Computer Society, 2004: 246b.

(上接第 2394 页)

参考文献: