

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.04.004

引用格式:刘震,曾斌,李建森,等.航空信号情报传感器组网侦测技术[J].电讯技术,2014,54(4):397-401.[LIU Zhen,ZENG Bin,LI Jian-sen, et al. Airborne Signal Intelligence Sensor Network Reconnaissance and Direction Finding Technology[J]. Telecommunication Engineering, 2014,54(4):397-401.]

航空信号情报传感器组网侦测技术*

刘震**,曾斌,李建森,王自江

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:信号情报传感器组网侦测技术对于无源探测系统提高传感器侦测能力和在对高速运动目标的瞬时定位方面有非常显著的意义。在对国外传感器组网发展状态进行介绍的基础上详细阐述了航空信号情报传感器利用卫通链路和通用战术数据链进行机器-机器组网的关键技术以及多平台目标关联模型,最后给出了航空信号情报传感器利用通用战术数据链进行机器-机器组网的应用效果。

关键词:信号情报传感器;机器-机器组网;战术数据链;目标关联

中图分类号:TN97 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)04-0397-05

Airborne Signal Intelligence Sensor Network Reconnaissance and Direction Finding Technology

LIU Zhen,ZENG Bin,LI Jian-sen,WANG Zi-jiang

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036,China)

Abstract:Signal intelligence sensor network reconnaissance and direction finding technology is observably significant for enhancing the sensor reconnaissance and direction finding capabilities of passive detection system and instantaneous location to high-speed motion targets. Based on the introduction to the development of foreign sensor network, the key techniques concerning that the airborne signal intelligence sensor utilizes satellite communication data link and tactical data link to achieve machine-machine network and multi-platforms targets association model are described in detail, respectively. Finally, the application effect of airborne intelligence sensor utilizing tactical data link to achieve machine-machine network is given.

Key words:signal intelligence sensor;machine-machine networking;tactical data link;target association

1 引言

信号情报传感器包括通信信号情报系统和电子信号情报系统,信号情报侦察的本质是作战双方在电磁频谱领域中广泛进行的一种对抗性军事行动。在电磁频谱的对抗中,信号情报侦察由于其无源探测、作用距离远、属性识别能力强的特点已成为情报侦察的重要手段。现代军事辐射源出于其反侦察、抗截获的设计考虑,往往采用了可控发射功率、针状

天线波束以及短时突发、跳频、射频隐身等技术手段,使得对目标辐射源的截获、测向、定位和属性识别变得愈来愈困难,对信号侦察系统提出了更高的要求^[1]。

为了应对这一挑战,现代信号情报侦察系统提出了组网侦察的概念,如美空军的 NCCT 网(网络中心协同目标定位)、美海军的 CEC 网络(协同交战能力)等,其实质都是综合不同传感器对目标不同特

* 收稿日期:2013-11-28;修回日期:2014-03-19 Received date:2013-11-28;Revised date:2014-03-19
** 通讯作者:lz640102@sina.com Corresponding author: lz640102@sina.com

性的侦察结果来实现对目标属性的综合判证,同时利用传感器的不同地理位置来实现对辐射源的三角定位并形成统一共享的战场态势。

另外,随着电子技术的发展,许多传统意义上的战术飞机也有了较强的情报能力。一类是以美军 F-22、F-35 为代表的先进战机,与传统战斗机配备的联合式电子战设备不同,这两种战斗机均配备了完全综合化的电子系统,使其成为了具有相当电子情报能力的快速 ISR 平台。另一类是指加挂电子侦察吊舱的战术飞机,如美军的 F-16、F-18 等,具备一定的战场侦察监视能力^[2]。美军现在已把对这种能力的称谓从过去的 NTISR(非传统情报、监视与侦察)变成了 AO(武装监视),这种称谓的改变也预示着一种新的作战观念的建立。利用专用信号情报平台、AO 类平台、战术飞机等的组网,可以大大提高战术飞机的“发现即打击”能力以及“侦-控-打-评”的一体化能力。

本文结合美军航空信号情报传感器组网技术的发展现状,给出了航空信号情报传感器组网的关键技术及其实现途径,通过实际的工程试验验证了这些技术在传感器组网侦测中的实际效果。

2 美军传感器组网的发展现状

单个传感器的侦察监视能力有限,只能在一定的时间内对一定的区域实施侦察监视。而网络化的侦察监视系统可将布置在不同地方的、不同类型的侦察监视装备联接起来,使其为完成同一个作战任务而同时与多个不同手段进行协调一致侦察,使分散的各个侦察监视力量有效联接,产生综合效果。因此,世界各国都在加大航空侦察系统组网侦察的研发。最为典型的是美军的 NCCT 系统^[3],它允许机载处理器把彼此相隔数十公里的信号情报侦察飞机以及其他 ISR 飞机联接起来,自动进行“机器-机器”的交互,以数字化的形式交互各自所获得的侦察数据和识别信息。

NCCT 先进的软件算法把来自多种 ISR 平台的传感器数据进行相关,可在几分钟内迅速降低目标定位误差。最后融合形成的目标定位信息将通过现有的通信链路,自动发送给联合空战中心的目标定位部门或是分布式通用地面系统(DCGS)基站。与其他定位手段相比,传感器组网定位时间更短,精度更高。

NCCT 目前已能将确定目标位置所需的时间减

少到不超过 2 min,这对时敏目标的侦察和打击来说是至关重要的。美空军的 RC-135 是集成新型 NCCT 能力的第一种侦察飞机,后来的“高级侦察员”、RC-12 等侦察机也在验证和升级该项能力。

美国海军也是 NCCT 技术的坚定拥护者,正按计划把该项能力装备到海军 EP-3E“白羊座 II”信号情报侦察飞机上。可以推断,美军今后发展的侦察机都会装备 NCCT 系统,以加入联合的传感器网络中。

除 NCCT 技术外,美海军的 CEC 系统在实质上也是个多平台组网侦察的概念^[4],其共享的情报数据以雷达数据为主。美军已在验证 NCCT 系统与 CEC 系统综合的可能性,当 CEC 系统和 NCCT 系统综合在一起,提供一个公共的空海目标指示图像时,这两个系统就组成了一个称作为 CNN(CEC and NCCT Network)的网络,为今后的“空海一体战”提供了统一共享的战场空间态势感知能力。

NCCT 技术的实质是通过机器-机器的高速数据链联接,将空间、空中和地面的多个侦察平台形成一个情报数据交换网络,通过将多个侦察平台送来的各种侦察数据进行融合,得到高度准确和实时的目标情报信息,以产生一幅供各个侦察平台共用的通用战场目标态势图,准确快速地实现对时敏目标的侦察定位,将原来的“数十分钟”的目标探测识别时间缩短到“数秒”内,及时地为武器打击系统产生目标指示信息。

3 航空信号情报传感器组网关键技术

航空信号情报传感器机器-机器组网涉及到许多关键技术,特别是在利用相对带宽比较窄的战术数据链进行组网时一些相关因素就显得尤其重要。

3.1 信号情报数据预处理技术

在空中侦察平台对运动目标的测向过程中,在一个短时间内可以认为运动目标和侦察平台都是匀速直线运动,而测向值也是一个线性变化过程,因此可以采用分段矢量 Kalman 滤波算法实现对测向值的滤波估计。

在短时间内,认为测向值是线性变化的,设目标方位角为 $\varphi(n)$,方位角的变化率为 $\dot{\varphi}(n)$,而方位测量值为 $x(n)$,测向间隔时间为 T ,由此建立状态方程为

$$\begin{pmatrix} \varphi(n+1) \\ \dot{\varphi}(n+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varphi(n) \\ \dot{\varphi}(n) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ u(n) \end{pmatrix} \quad (1)$$

而测量方程为

$$x(n)=(1\quad 0)\begin{pmatrix}\varphi(n)\\\dot{\varphi}(n)\end{pmatrix}+n(n)\tag{2}$$

其中, $u(n)$ 表示方位角变化的噪声, $n(n)$ 为测向值的观测噪声,它们均为零均值白噪声。设 $s(n)=\begin{pmatrix}\varphi(n)\\\dot{\varphi}(n)\end{pmatrix}$ 表示状态, $A=\begin{pmatrix}1&T\\0&1\end{pmatrix}$, $C=(1\quad 0)$ 。

由上面两式组成的一阶自回归模型,用矢量 Kalman 滤波可以得到测向滤波值:

预测方程

$$\hat{s}_{i/i-1}=A\hat{s}_i\tag{3}$$

预测协方差

$$P_{i/i-1}=AP_iA^T\tag{4}$$

Kalman 增益为

$$G_i=P_{i/i-1}C_i^T[C_iP_{i/i-1}C_i^T+R_i]^{-1}\tag{5}$$

滤波方程为

$$\hat{s}_i=\hat{s}_{i/i-1}+G_i(x_i-\hat{C}_i\hat{s}_{i/i-1})\tag{6}$$

滤波协方差矩阵为

$$P_i=(I-C_iG_i)P_{i/i-1}(I-C_iG_i)^T+G_iR_iG_i^T\tag{7}$$

其中, R 表示观测噪声的协方差矩阵。

因此,通过开始两次的观测值确定初始值,通过递推可以求出精度较高的测向值及其变化率,然后通过数据聚类 and 寻找聚类中心的算法实现满足数据传输带宽要求和三角定位精度要求的数据。

3.2 卫星通信机器-机器信息交换技术

两个传感器平台如果采用数据链进行组网往往要受到数据链传输视距限制,而采用卫星通信组网则可以实现不受地域限制的组网侦察,这对于两个机动传感器的机动灵活部署和扩大侦察监视范围无疑具有现实意义。现有的卫星通信的网络结构通常为星型,如图 1 所示,即各通信终端之间的信息交换必须通过地面的处理转发采用二跳的方式完成,路径传输时延,再加上地面系统的处理时间,则信息的传输时延将达到秒级,这个时延对于高速运动的空中目标的定位将变得不可容忍。

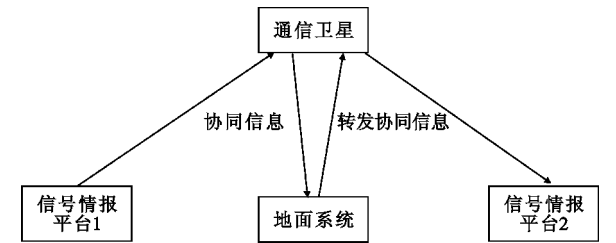


图 1 星型卫星通信系统

Fig. 1 Star-satellite communication system

对于空中高速运动目标的实时定位必须采用侦察平台之间机器-机器的信息交换方式以减少空中传输时延,如图 2 所示。由于机载卫星通信天线的口径一般要比地面卫通站天线口径小,因此在实际应用时需要综合机载卫通天线的 G/T 值、所处卫星覆盖区的 EIRP 值、信道编解码方式以及所用调制方式的门限值等因素,通过地面网管站利用信令信道设置卫星通信的结构和信道参数,或者由侦察平台操作人员直接设置卫星通信的结构和信道参数来实现双机之间机器-机器信息直接交换。

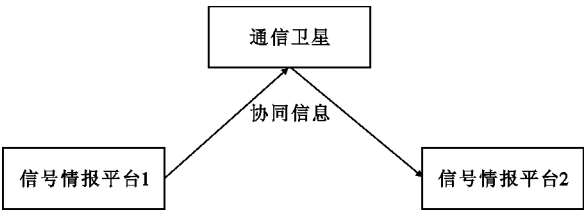


图 2 侦察平台之间机器-机器的一跳卫星通信方式

Fig. 2 One-hop satellite communication model between the machine and machine of different reconnaissance platforms

某工程在试飞过程中利用两架侦察飞机进行了双机之间机器-机器的传输验证,利用卫星通信天线,传输速率及传输时延完全可以满足对高速运动目标的实时定位。

3.3 战术数据链信息流量自适应调整

信号情报传感器的协同侦察信息一般为100 B 左右。由于侦察区域的不同,这些传感器有可能同时都接收到被侦察的信号,甚至是多个信号,也有可能都收不到信号,因此在信号情报传感器组网传输方面的传输业务量极为不平衡。而通用战术数据链的传输速率一般为 kb/s 数量级,同时还有链路编码、组网等额外的带宽开销,如果采用传输带宽平均分配或预分配的方式,在某些情况下势必会出现传输链路阻塞或者传输链路利用率不高的情况。

在采用战术数据链进行传感器组网时必须在通信管理器的控制下建立信息流量自适应调整机制,既保证传输链路的有效利用、避免了链路阻塞,同时又能够最大限度地满足信号情报传感器联网需求^[5]。

流量自适应调整的关键是待发消息的选取规则,分以下几种情况:当消息数量小于链路传输能力时,按照时间顺序,依次发送;当消息数量大于各链路总传输能力时,通信管理器采用按传感器类型顺序轮询的方式确定协同信息的优先级,平滑各传感器协同信息的发送频率,保证各情报传感器的协同

信息均得到及时的传输。

当发送时刻到来时,通信管理器检测消息池,根据消息缓存数量、信号类型、发送策略和历史传输情况优选待发送的消息。选取完毕后,按照数据链标准格式进行封装,再通过数据链发送。

通过链路流量和传感器类型两种自适应调整手段,既保证每种传感器协同信息均得到及时的传输,又保证了传输信道的利用率,提高了协同信息在战术数据链上的传输效率。

3.4 基于传感器侦测能力、定位误差模型的多平台信号区域关联准则

协同信息中有关目标关联的内容一般包括目标的频域、时域、调制域、信息域特征以及脉冲信号的脉内细微特征等信息,一般可以依据这些信息进行目标关联,但有时关联的结果并不具备唯一性,或者某些信号情报平台(如 AO 类平台)不具备较强的信号、信息层的分析能力。因此,在信号传感器组网方面需要建立基于传感器侦测能力、定位误差模型的多平台信号区域关联准则,从空间上对疑似关联目标进行进一步的稀释来保证关联的唯一性,其关联模型如图 3 所示。

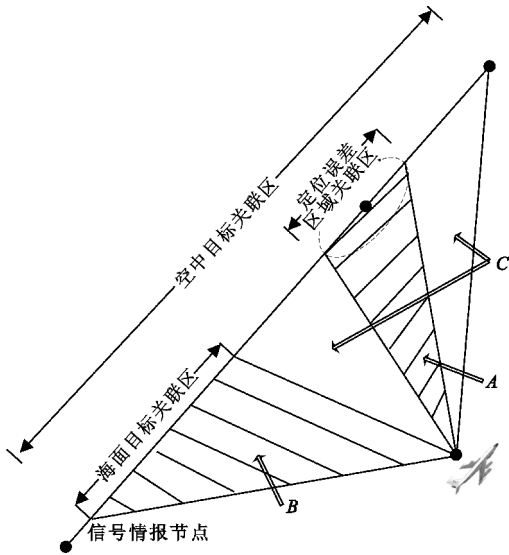


图 3 多平台信号区域关联模型

Fig. 3 Area associated model with multi-platform signal

在实际应用中,航空侦察平台需要根据信号情报节点发送协同侦察信息中的位置或方位信息选择基于传感器定位误差或侦测能力进行空间的区域信号关联。

基于传感器定位误差的区域信号关联模型如图 4 所示。

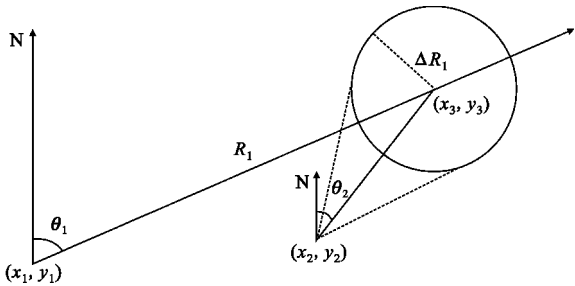


图 4 基于传感器定位误差模型的目标关联模型

Fig. 4 Target associated model based on sensor localization error model

航空侦察平台对目标的关联角度为

$$\theta_2 = \arctg \frac{\tan x_3 \cos x_2 - \sin x_2 \cos(y_3 - y_2)}{\sin(y_3 - y_2)} \tag{8}$$

关联范围为

$$\Delta \theta_2 = \arctg \frac{\Delta R_1}{R_2} \tag{9}$$

式中, $\Delta R_1 = \Phi 1 \times (\frac{\pi r}{190}) \sqrt{(y_3 - y_1)^2 + (x_3 - x_1)^2 \cos^2 y_3}$, $\Phi 1$ 为位于 (x_1, y_1) 点传感器的定位精度; $R_2 = (\frac{\pi r}{190}) \sqrt{(y_3 - y_2)^2 + (x_3 - x_2)^2 \cos^2 y_3}$, r 为地球半径。

基于传感器侦测能力的区域信号关联模型如图 5 所示。

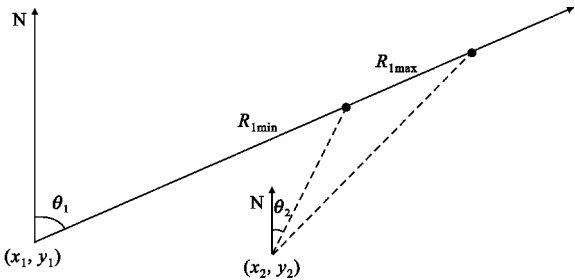


图 5 基于传感器侦测能力的目标关联模型

Fig. 5 Target associated model based on reconnaissance and direction finding capability of sensors

通过式(10)~(11)根据传感器侦测能力 R_{1min} 、 R_{1max} 计算目标在位于 θ_1 方位线上的目标位置范围 (x_{3min}, y_{3min}) 、 (x_{3max}, y_{3max}) :

$$x_3 = x_1 + \arctg \frac{\sin \theta_1}{\ctg R_1 \cos y_1 - \sin y_1 \cos \theta_1} \tag{10}$$

$$y_3 = \arctg \frac{\sin \theta_1 \cos(x_3 - x_1) + \ctg \theta_1 \sin(x_3 - x_1)}{\cos y_1} \tag{11}$$

再通过式(12)计算航空侦察平台的目标关联范围 $(\theta_{2min}, \theta_{2max})$:

$$\theta_2 = \arctg \frac{\tan x_3 \cos x_2 - \sin x_2 \cos(y_3 - y_2)}{\sin(y_3 - y_2)} \quad (12)$$

4 应用分析

某工程利用通用战术数据链在实际试飞过程中实现了传感器机器-机器的组网。采用本文所介绍的传感器组网技术,通过数据预处理、目标关联实现了不同类型电子辐射源的同时高精度实时定位。图 6 为双机的飞行航线,图 7 为对雷达辐射源和通信辐射源的实时定位效果。

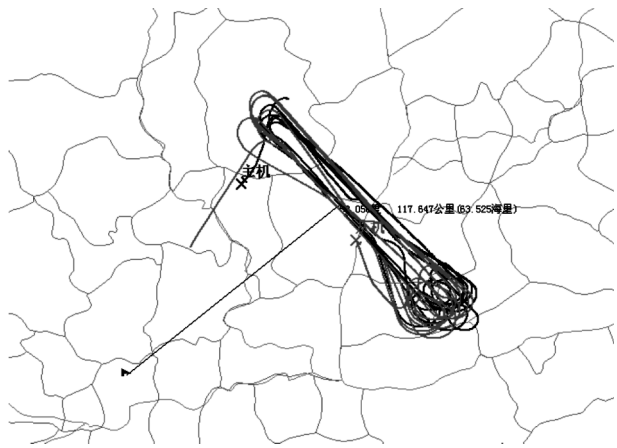


图 6 双机组网航线

Fig. 6 Flight course of double planes networking localization

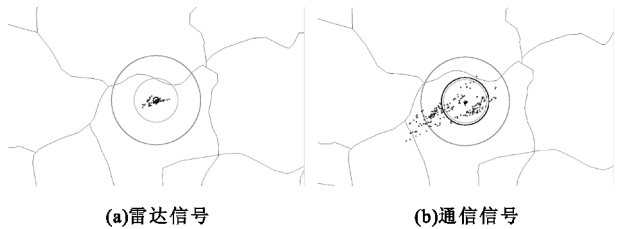


图 7 不同信号组网定位精度

Fig. 7 The localization precision of different signal networking

5 结束语

采用传感器机器-机器的组网侦测可以大大提高信号情报系统对高速运动目标的实时高精度定位能力。本文结合美军航空信号情报传感器组网技术的发展现状,提出了航空信号情报传感器组网的关

键技术及其实现思路,通过工程试验验证了这些关键技术的可行性。同类平台之间的传感器组网可以有效提高作战效能,在此基础上进一步研究信号情报飞机与预警机、目标监视飞机、AO 能力战术飞机等异类平台的组网协同机制,各种传感器在能力上取长补短、有源探测与无源探测相结合,可以极大地提高对战场目标的侦察监视能力。这对于战场目标引导指示、提升战术飞机的“发现即打击”能力以及拓展信号情报飞机的战术应用都有十分重要的意义。

参考文献:

[1] 雷厉. 侦察与监视[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
LEI Li. Reconnaissance and surveillance[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008. (in Chinese)

[2] 吴技. 国外航空侦察系统的现状与发展趋势[J]. 电讯技术,2009, 49(6):107-112.
WU Ji. Current status and developing trend of foreign airborne reconnaissance systems[J]. Telecommunication Engineering, 2009, 49(6): 107-112. (in Chinese)

[3] 姚红星,温柏华. 美军网络战研究[M]. 北京:国防大学出版社,2010.
YAO Hong-xing, WEN Bo-hua. Investigation on US Armed force cyber war[M]. Beijing: National University of Defense Technology Press, 2010. (in Chinese)

[4] 李军. 海军协同交战能力(CEC)分析[J]. 舰船电子工程,2011(5):25-28, 37.
LI Jun. Analysis of navy cooperative engagement capability[J]. Ship Electronic Engineering, 2011(5): 25-28, 37. (in Chinese)

[5] 孙义明,杨丽萍. 信息化战争中的战术数据链[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2005.
KONG Yi-ming, YANG Li-ping. Tactical data link in Information Warfare[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications press, 2005. (in Chinese)

作者简介:



刘 震(1964—),男,四川成都人,研究员,主要从事系统总体设计。
LIU Zhen was born in Chengdu, Sichuan Province, in 1964. He is now a senior engineer of professor. His research concerns system design.
Email: lz640102@ sina. com