

网络瞄准下空空导弹允许发射区模拟仿真分析

寇英信¹, 付昭旺¹, 冯国强¹, 张平¹, 王琳²

(1. 空军工程大学工程学院, 陕西西安, 710038; 2. 总参陆航研究所, 北京, 101121)

摘要 网络瞄准是为适应网络中心战而发展的一项新技术。针对网络化探测、网络化跟踪和网络化攻击的作战特点, 分析了网络瞄准下空空导弹发射方式, 给出了导弹允许发射区的计算方法; 在所建立的导弹和目标运动学模型的基础上, 利用一维黄金分割法搜索了导弹允许发射区包络; 结合网络瞄准下6种典型的编队形式, 仿真计算了空空导弹允许发射区, 将其与平台瞄准的发射区相比较, 并总结出导弹允许发射区变化趋势。

关键词 网络瞄准; 空空导弹; 允许发射区

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.02.006

中图分类号 TH76.273 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)02-0024-05

航空武器的瞄准是指为实现武器投放, 战斗机从目标探测到武器发射过程中的飞行控制行为。随着武器装备和作战模式的发展, 瞄准的概念不断发生演变, 大致可以分为2个阶段: 平台瞄准、网络瞄准。

网络瞄准指网络体系中, 通过一体化的传感器指挥控制使地域分散的多个传感器协同工作, 生成精确的目标瞄准信息, 然后将信息直接发送给网络化武器, 武器作为瞄准网络中的一个节点, 在飞行过程中通过战术数据链实时更新活动目标和瞄准的数据, 从而确保对目标的精确打击^[1]。

网络瞄准主要解决“快速瞄准”与“精确打击”2大问题^[2], 它不是简单地从传感器到射手的连接, 而是地理上分散, 但是依托网络互联的所有平台(传感器或射手)间的恰当连接而产生的最佳作战方式。网络瞄准是网络中心战在实际作战中的深层次体现, 与“网络中心制导”的概念不同, 网络瞄准属于有效利用战场情报信息和加强作战实体相互作用等方面。

1 网络瞄准下空空导弹发射方式

网络瞄准下战斗机的攻击方式与平台瞄准有很大差别, 这种差别反映在导弹形成发射条件和导弹的发射/制导方式2个方面。

1) 导弹形成发射条件。根据摧毁目标的任务, 导弹发射的基本条件可以归结为“知道目标位置”和“导弹有能力攻击到目标位置”。这样, 导弹能否形成发射条件由“载机是否稳定跟踪并截获目标”和“目标是否进入导弹允许发射区”共同决定。以往导弹攻击要求载机本身稳定跟踪目标之后才能形成发射条件; 而在“网络瞄准”环境下, 目标信息由各网络节点和数据链提供, 这样即使载机雷达不开机也能通过数据链获取精确的目标信息。可以看出, 网络瞄准下导弹发射条件得到松弛, 这不仅增大了导弹的发射机会, 而且减少了载机火控系统从发现到截获目标的时间, 有利于实现“先敌发射、先敌摧毁”。

2) 导弹发射/制导方式。按照控制信息的传输流程, 网络瞄准下导弹发射/制导有2种方式^[3]: ① 本机发射、网络传递的攻击方式。即本机在发射导弹前, 目标信息由网络节点提供; 本机发射导弹后, 网络节点负责将本机的控制指令通过数据链转发给导弹, 在此期间导弹的实际控制权仍由本机掌握。为了实现网络传递制导, 需要网络节点先完成时空对准, 将目标信息同步到相同的基准坐标和基准时钟下。这种方式改变了传统的导弹发射条件, 各网络节点在此过程中可发挥通信中继和功能互补的作用。② 本机发射、网络接力

* 收稿日期: 2011-07-20

基金项目: 航空科学基金资助项目(20095196012)

作者简介: 寇英信(1965-), 男, 陕西铜川人, 教授, 主要从事航空武器系统总体、仿真与控制、光电探测与对抗等研究。

E-mail: Kyx@hotmail.com

的攻击方式。即,本机发射导弹后,在中制导过程中把导弹控制权交给其它网络节点,并由其它节点继续引导导弹攻击目标。为了实现网络接力制导,在网络节点完成时空对准条件下,发射节点在交接过程中需要将导弹中继信号频率以及编码调谐信息传递给接力制导节点,使其建立同步的雷达频率与编码信号,从而保证接力制导的有效性。这种方式一方面改变了传统的导弹投放后策略,另一方面,在受到目标威胁时,它可以使本机在发射导弹后立即脱离,从而提高了战斗机在攻击目标过程中的生存力。

2 网络瞄准下导弹允许发射区计算方法

空空导弹允许发射区,也称允许投放区、发射包线。它是对应于一定的目标毁伤概率,在载机周围空间允许发射空空导弹的空间范围^[4]。

空空导弹允许发射区以攻击机为中心,由远边界、近边界和两侧边界围成,两侧边界由空空导弹最大离轴角确定。允许发射区直观地表示了不同离轴角条件下的最大、最小发射距离。通常受导弹最大离轴角限制,允许发射区大多呈现为攻击机前方的一个扇形区域。这种允许发射区用最大离轴角作为侧边界,能直观地反映空空导弹导引头能截获目标的范围。

实际作战中,导弹发射区由允许发射区和目标探测区共同决定,它是导弹最大允许发射范围和探测设备最大感知范围的重叠区域。其中,允许发射区只与导弹本身和发射环境等有关,影响着“导弹是否有能力攻击到目标位置”;目标探测区影响着“载机能否知道目标位置”。平台瞄准下,受到单平台探测能力的限制,可能由于“不能够知道目标位置”,而使导弹允许发射区不能充分发挥。网络瞄准下,依靠强大网络信息的支持,各节点能够实现空间态势信息的近实时共享,从而可以充分发挥各自导弹的射程优势,导弹发射的角度和距离约束条件得到松弛。这样,导弹发射区就有可能因为目标探测区的扩大而扩大。这种情况下,平台瞄准与网络瞄准下导弹发射区对比见图1。

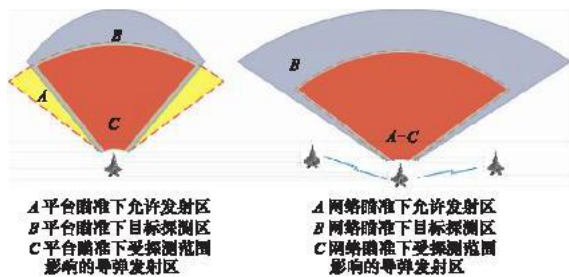


图1 平台瞄准与网络瞄准导弹发射区对比示意

Fig. 1 Launch acceptability region contrast of flat targeting and networked targeting

通常,空空导弹允许发射区的大小和形状,与导弹性能、载机飞行高度、速度、离轴角、进入角、目标速度、目标高度差、机动能力、方位角、攻击航向相对太阳夹角、气象条件等因素有关,是一个多维函数^[5]。目前,常用的计算导弹理论允许发射区的方法是计算机模拟仿真法、快速模拟法^[5]。

空空导弹允许发射区的多项式拟合模型^[6-7]如下:

$$R_{\max} = \sum_{i=1}^n a_i f_i(v_t, v_f, h_t, h_f, \theta) \quad (1) \quad R_{\min} = \sum_{i=1}^n b_i g_i(v_t, v_f, h_t, h_f, \theta) \quad (2)$$

式中: R_{\max} 、 R_{\min} 分别为导弹的最大允许发射距离和最小允许发射距离; v_t 、 v_f 、 h_t 、 h_f 、 θ 分别为目标的速度、本机的速度、目标的高度、本机的速度和目标的进入角; $f_i(\cdot)$ 和 $g_i(\cdot)$ 为非线性函数, $i=1,2,\dots,n$ 。

为求解多项式拟合模型中的具体参数(a_i 、 b_i 及非线性函数 f_i 和 g_i),需建立导弹与目标的运动学模型,通过仿真计算出离散数值点,并采用数值拟合的方法得到导弹的最大允许发射距离和最小允许发射距离。

导弹在惯性坐标系下的运动方程见式(3),导弹的三自由度动力学方程见式(4)。

式(3)中: x_m 、 y_m 、 z_m 为导弹在惯性坐标系的位置; v_m 、 θ_m 、 ϕ_m 分别为导弹的速度、航迹倾角和航迹偏转角。式中: F_{Pm} 、 F_{Zm} 为导弹的推力和空气阻力; G_m 为导弹的重量; n_y 、 n_z 为导弹在俯仰方向和偏航方向的转弯控制过载。

$$\begin{cases} \dot{x}_m = v_m \cos\theta_m \cos\phi_m \\ \dot{y}_m = v_m \sin\theta_m \\ \dot{z}_m = -v_m \cos\theta_m \sin\phi_m \end{cases} \quad (3) \quad \begin{cases} \dot{v}_m = (F_{Pm} - F_{Zm})g/G_m - \sin\theta_m \\ \dot{\theta}_m = (n_y - \cos\theta_m)g/v_m \\ \dot{\phi}_m = -n_zg/(v_m \cos\theta_m) \end{cases} \quad (4)$$

F_{Pm} 、 F_{Zm} 和 m_m 的变化规律为:

$$F_{Pm} = \begin{cases} \bar{F} & t \leq t_0 \\ 0 & t > t_0 \end{cases} \quad (5) \quad F_{Zm} = \frac{1}{2} \rho v_m^2 S_m C_{xm} \quad (6) \quad m_m = \begin{cases} m_0 - q_m t & t \leq t_0 \\ m_0 - q_m t_0 & t > t_0 \end{cases} \quad (7)$$

式中: \bar{F} 为平均推力; q_m 为燃料秒流量; m_0 为导弹初始发射质量; m_m 为导弹当前发射质量; C_{xm} 为导弹阻力系数; ρ 为大气密度; t_0 为发动机工作时间; S_m 为弹体有效面积。

目标在惯性坐标系下的运动方程为:

$$\begin{cases} \dot{x}_t = v_t \cos \theta_t \cos \phi_t \\ \dot{y}_t = v_t \sin \theta_t \\ \dot{z}_t = -v_t \cos \theta_t \sin \phi_t \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \dot{v}_t = n_{ix} g \\ \dot{\theta}_t = n_{iy} g / v_t \\ \dot{\phi}_t = n_{iz} g / (v_t \cos \theta_t) \end{cases} \quad (9)$$

式中: x_t, y_t, z_t 为目标在惯性坐标系的位置; v_t, θ_t, ϕ_t 分别为目标的速度、航迹俯仰角和航迹偏转角; n_{ix} 为目标的纵向控制过载; n_{iy}, n_{iz} 为目标偏航和俯仰方向的转弯控制过载。

根据所建立导弹和目标运动学模型,对网络瞄准下空空导弹允许发射区包络线进行搜索,具体过程是:首先确定极坐标系的原点位置、编队组网形式、目标的 RCS 模型和目标的机动方式;然后,通过方位、俯仰角确定极坐标系中的目标方向,并在该方向上采用一维黄金分割法^[8-9]对目标距离进行搜索,直至整个圆周搜索完毕;最后记录的导弹攻击远距离边界就是允许发射区包络。详细的导弹允许发射区搜索过程见图 2。

图 2 中,参数 R_g 表示黄金分割点,满足 $R_g = a_i + 0.618(b_i - a_i)$; a_i 和 b_i 表示黄金分割法中区间的端点, a_0 和 b_0 为黄金分割法中区间的初始端点。

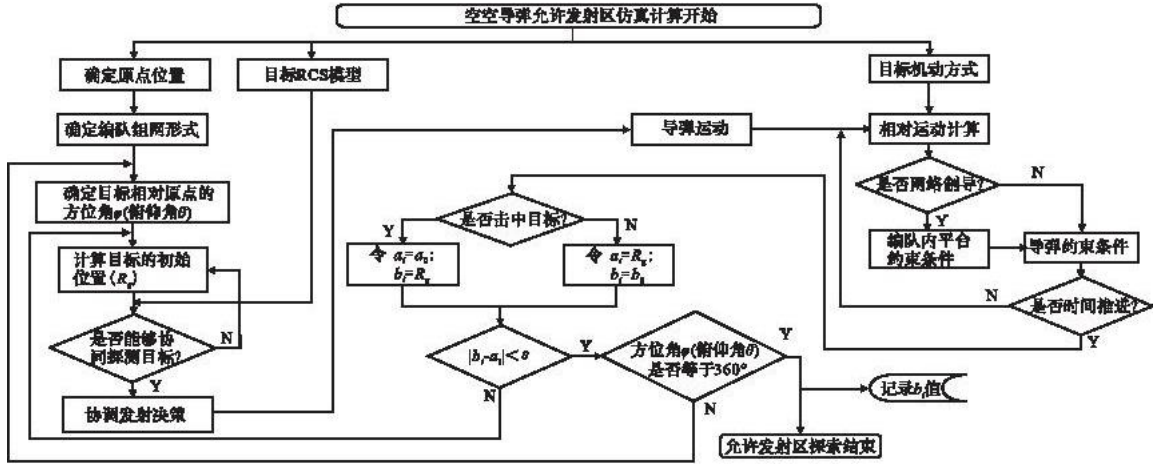


图 2 导弹允许发射区搜索过程

Fig. 2 Missile launch acceptability region search process

3 网络瞄准下导弹允许发射区仿真分析

为了反映网络瞄准下信息优势对空空导弹允许发射区的影响,分别对 4 架战斗机在 6 种不同编队组网形式下的允许发射区进行仿真计算。编队组网形式见图 3,编队组网与目标的运动参数见表 1-6。仿真中假设目标为常规目标, RCS = 5 m², 并设目标做匀速直线运动。

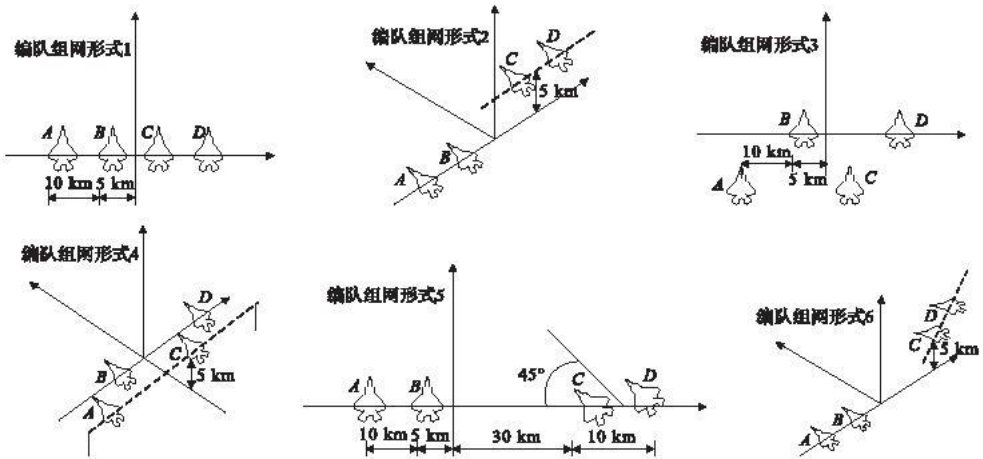


图 3 4 架战斗机的 6 种编队组网形式

Fig. 3 Six netted formation for four fighters

表 1 组网形式 1 的参数设置

Tab. 1 Parameters setting of the 1st netted formation

编号	X/km	Y/km	高度/km	速度/(km·h ⁻¹)	航向/(°)
节点 A	0	-15	10	900	0
节点 B	0	-5	10	900	0
节点 C	0	5	10	900	0
节点 D	0	15	10	900	0
目标 T		10		1 000	180

表 2 组网形式 2 的参数设置

Tab. 1 Parameters setting of the 2nd netted formation

编号	X/km	Y/km	高度/km	速度/(km·h ⁻¹)	航向/(°)
节点 A	0	-15	10	900	0
节点 B	0	-5	10	900	0
节点 C	0	5	15	900	0
节点 D	0	15	15	900	0
目标 T		10		1 000	180

表 3 组网形式 3 的参数设置

Tab. 3 Parameters setting of the 3rd netted formation

编号	X/km	Y/km	高度/km	速度/(km·h ⁻¹)	航向/(°)
节点 A	-10	-15	10	900	0
节点 B	0	-5	10	900	0
节点 C	-10	5	10	900	0
节点 D	0	15	10	900	0
目标 T		10		1 000	180

表 4 组网形式 4 的参数设置

Tab. 4 Parameters setting of the 4th netted formation

编号	X/km	Y/km	高度/km	速度/(km·h ⁻¹)	航向/(°)
节点 A	-10	-15	10	900	0
节点 B	0	-5	10	900	0
节点 C	-10	5	15	900	0
节点 D	0	15	10	900	0
目标 T		10		1 000	180

表 5 组网形式 5 的参数设置

Tab. 5 Parameters setting of the 5th netted formation

编号	X/km	Y/km	高度/km	速度/(km·h ⁻¹)	航向/(°)
节点 A	0	-15	10	900	0
节点 B	0	-5	10	900	0
节点 C	0	30	10	900	0
节点 D	0	40	10	900	0
目标 T		10		1 000	180

表 6 组网形式 6 的参数设置

Tab. 6 Parameters setting of the 6th netted formation

编号	X/km	Y/km	高度/km	速度/(km·h ⁻¹)	航向/(°)
节点 A	0	-15	10	900	0
节点 B	0	-5	10	900	0
节点 C	0	30	10	900	0
节点 D	0	40	10	900	0
目标 T		10		1 000	180

上述编队组网的导弹允许发射区仿真结果见图 4-9。其中虚线“--”为平台瞄准下导弹允许发射区,实线“—”为网络瞄准下导弹允许发射区,“填充部分”为网络瞄准相对于平台瞄准增大的导弹允许发射区域。

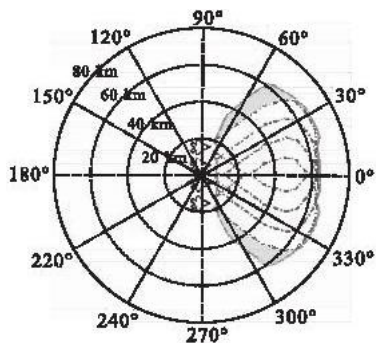


图 4 组网形式 1

Fig. 4 The 1st netted formation

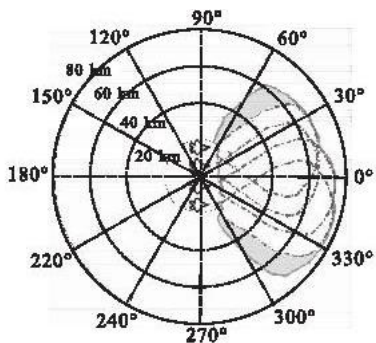


图 5 组网形式 2

Fig. 5 The 2nd netted formation

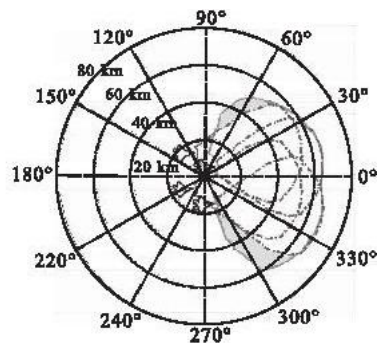


图 6 组网形式 3

Fig. 6 The 3rd netted formation

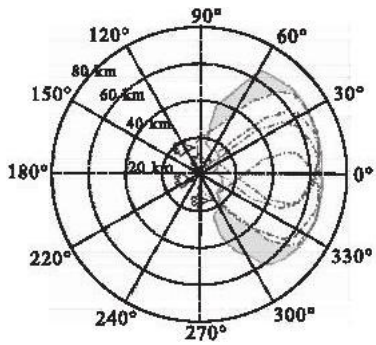


图 7 组网形式 4

Fig. 7 The 4th netted formation

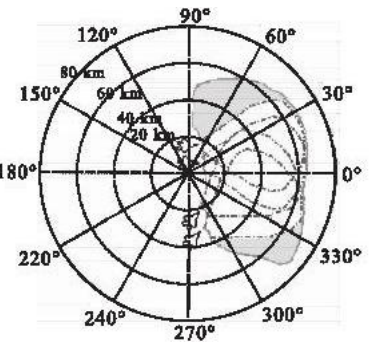


图 8 组网形式 5

Fig. 8 The 5th netted formation

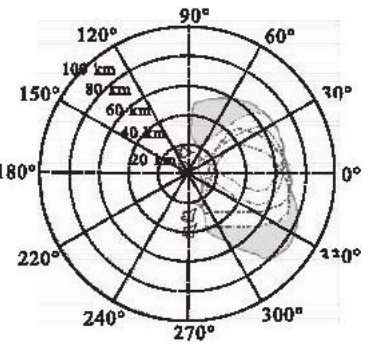


图 9 组网形式 6

Fig. 9 The 6th netted formation

4 结束语

分析导弹允许发射区的仿真结果可知,在网络瞄准下战斗机通过信息数据共享技术,增大了对目标的探测范围;灵活的协同制导方式减小了导弹因定向接受天线而受到的角度约束,从而使导弹的攻击范围增大,允许发射区方位角度也随之增大。特别是当编队高低协同时,高空发射导弹利用导弹俯冲的势能优势,有效地扩大了允许发射区的远界;而当编队采用高低协同和角度互补协同时,编队整体允许发射区面积较非协同制导情况有所增加。

参考文献(References):

- [1] 孙隆和. 网络瞄准及相关技术——瞄准和打击活动目标[J]. 电光与控制,2005,12(3):1-5.
SUN Longhe. Networked targeting and the relative technologies——targeting and striking of moving targets[J]. Electronics optics & control,2005,12(3):1-5. (in Chinese)
- [2] 谷宏志,张学庆. 基于空间信息的网络瞄准技术[J]. 无线电工程,2007,37(6):1-2.
GU Hongzhi,ZHANG Xueqing. Networked targeting technology based on spatial information[J]. Radio engineering, 2007,37(6):1-2. (in Chinese)
- [3] 张斌,黄俊,寇英信,等. 双机合作下的远程空空导弹攻击技术[J]. 火力与指挥控制,2009,34(5):92-94.
ZHANG Bing HUNG Jun,KOU Yinxing,et al. Long-range air-to-air missile attack technology under the cooperative of two-fighter formation[J]. Fire control & command control,2009,34(5):92-94. (in Chinese)
- [4] 焦珂,皮亦鸣,陆继珍. 空空导弹发射包线的快速计算方法[J]. 火力与指挥控制,2010,35(6):100-102.
JIAO Ke,PI Yiming,LU Jizhen. Fast computing method of launch envelopes for Air to air missile [J]. Fire control & command control,2010,35(6):100-102. (in Chinese)
- [5] 杨晓红,姜玉宪. 远程空空导弹发射问题的研究[J]. 电光与控制,2005,12(1):12-17.
YANG Xiaohong,JIANG Yuxian. Study on launching of long-range air-to-air missile[J]. Electronics optics & control, 2005,12(1):12-17. (in Chinese)
- [6] 王军. 导引头搜索扫描捕获域分析[J]. 弹箭与制导学报,2005,25(1):50-52.
WANG Jun. Seekers scan capture region analysis[J]. Journal of projectiles rockets missiles and guidance,2005,25(1):50-52. (in Chinese)
- [7] 吕长起. 中远程空空导弹不可逃逸区远界的一种计算方法[J]. 航空兵器,2008,10(5):12-15.
LÜ Changqi. A calculation method for the far boundary of non-escaped zone of medium range and long-range air to air missile[J]. Aviation weaponry,2008,10(5):12-15. (in Chinese)
- [8] 杜昌平,周德云,江爱伟. 一种空空导弹可攻击区快速算法[J]. 西北工业大学学报,2006,24(6):682-685.
DU Changping,ZHOU Deyun,JIANG Aiwei. A better method for computing air-to-air missile trajectory[J]. Journal of northwest industry university, 2006,24(6):682-685. (in Chinese)
- [9] Janne Karelaiti. Near-optimal missile avoidance trajectories via receding horizon control[J]. Journal of guidance,control and dynamics,2007,30(5):1287-1298.

(编辑:田新华)

Air to Air Missile Launch Acceptability Region Simulation and Analysis under Networked Targeting Environment

KOU Ying-xin¹, FU Zhao-wang¹, FENG Guo-qiang¹, ZHANG Ping¹, WANG Lin²

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Army Aviation Institute, Beijing 101121, China)

Abstract: Networked targeting (NT) is a new combat concept and technology with respect to satisfying the Network Central War. According to the character of the networked targeting, the air to air missile launch manner is analyzed and the method of calculating the missile launch acceptability region is given. The one-dimensional golden section is used to search the missile launch acceptability region based on the missile and target moving model. The air to air missile launch acceptability region is calculated in a simulation which combines six typical formations under NT. The launching areas of NT are compared with that of platform targeting, and the variation trend of missile launch acceptability region is summarized.

Key words: networked targeting; air to air missile; launch acceptability region