

非水平转弯轰炸新方法

谢奇峰

(空军空降兵学院,广西 桂林 541003)

摘要: 攻击机执行轰炸任务时,面临多种地面威胁源,其安全受到极大威胁,实施低空机动可有效提高载机生存力。首先提出虚拟瞄准点的概念,在此基础上设计了一种适合攻击机进行非水平转弯轰炸的瞄准方法,解算过程采用迭代算法,最后对算法进行了仿真。仿真结果表明,迭代算法收敛速度快,理论轰炸误差小。该轰炸方式能够满足攻击机低空机动轰炸要求。

关键词: 对地攻击; 非水平转弯轰炸; 迭代反馈

中图分类号: V271.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)02-0008-03

A New Method of Non-Level-Turn Bombing

XIE Qifeng

(Air Force Paratrooper College, Guilin 541003, China)

Abstract: The airplanes taking bombing mission are faced with multifarious threat sources from ground. Bombing at low altitude in maneuvering is an effective means for increasing their survivability. Firstly, based on virtual aiming point concept, an aiming theory for bombing in turning with high overload was presented. An iteration algorithm was used for calculating the control variable. Simulations were made on computer. The simulation result showed that the iteration algorithm has fast convergence speed and small theoretic bombing error. The non-level-turn bombing method is adaptable to low-altitude bombing in maneuvering.

Key words: air-to-ground attacking; non-level-turn bombing; iterative feedback

0 引言

攻击机深入敌后执行对地作战任务时,面临敌方强大的防空力量威胁,为了完成攻击任务,其机动往往受限,处境危险。对地攻击时,攻击机实施机动可以显著提高生存力,但是如果控制不好,会影响到打击精度。为了既能提高生存力,又能保证足够的打击精度,国内外学者就此问题开展了相关研究。据有关文献报道,北约组织成员国在这方面研究居于领先地位,已进入一系列验证和试飞测试阶段^[1-5]。而我国在此方面研究较少,为了满足攻击机机动攻击要求,本文提出了飞机进行非水平转弯轰炸的瞄准原理。

1 非水平转弯轰炸原理

1.1 虚拟瞄准点

非水平转弯轰炸过程可分3部分进行:首先,飞机

使用规避机动超低空进入目标区域;然后,在目标区域内大过载转弯并在选定的距离上投放武器弹药;最后低空退出。非水平转弯轰炸过程如图1所示。

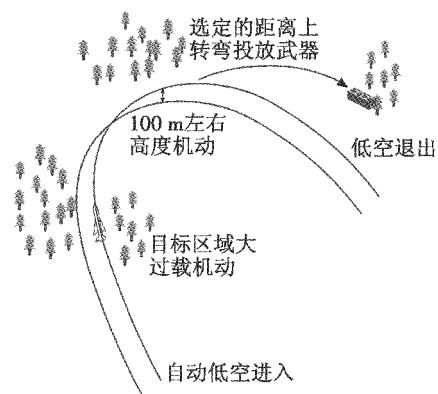


图1 非水平转弯轰炸过程

Fig.1 Non-level-turn bombing process

从瞄准原理角度考虑,非控武器轰炸方式主要有连续计算命中点和连续计算投放点。飞行员依据命中点和目标之间的差值或投放点和飞机之间的差值来操纵飞机完成瞄准任务。为研究需要,提出了虚拟瞄准点概念。虚拟瞄准点不是武器的命中点,也不是武器

收稿日期:2011-03-11 修回日期:2012-03-03

基金项目:“八六三”基金项目(2009AAJ205)

作者简介:谢奇峰(1978—),男,湖南湘乡人,博士,讲师,研究方向为武器系统的控制、仿真。

的投放点。虚拟瞄准点定义为目标上方某点,炸弹的投放初始速度矢量通过该点,在不考虑风的影响下,距离目标为重力和空气阻力作用下的下降量。虚拟瞄准点不断修正和实时变化,其随弹药降落时间 t_f 值变化而变化, $t_f = (H, \Theta, V_{BF} \dots)$, 其中, Θ 表示阻力系数。

根据路径矢量合成的平行四边形法则,轰炸解集(武器的投放点)是以虚拟瞄准点为圆心、投放距离为半径的圆面。如图2所示,虚拟瞄准点 A 距目标 T 的距离为重力和空气阻力作用下的下降量 H , 投弹瞬间飞机速度矢量 V_{BF} 必须指向虚拟瞄准点,这意味着投弹瞬间投放点 R 到虚拟瞄准点的半径必须与飞行路径相切。

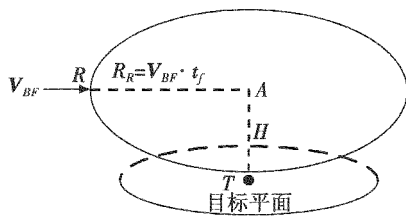


图2 虚拟瞄准点解集

Fig.2 Virtual aiming point congregation

1.2 瞄准原理

飞机从起始点 $O(x_o, y_o, z_o)$ 以大大过载机动到投放点 $R(x_r, y_r, z_r)$ 时投放武器,在投放点飞机速度矢量 V_{BF} 必须指向虚拟瞄准点 $A(x_a, y_a, z_a)$, 以便投放的武器在初始速度、重力以及空气作用下落在目标点 T 。飞机的机动平面由瞄准矢量 R_A (飞机质心到虚拟瞄准点矢量) 和飞机速度矢量 $V(v_x, v_y, v_z)$ 共同确定,这里称为平面 β 。在机动平面 β 内,轰炸瞄准关系如图3所示。

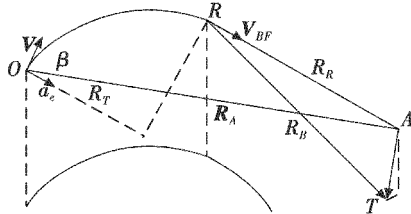


图3 轰炸瞄准图

Fig.3 Bomb sighting diagram

根据空间解析几何有关定理,当已知 O 点、 A 点和平面内向量 V 时,可以唯一确定该平面。再根据投弹瞬间飞机速度矢量必须指向虚拟瞄准点的条件,在已知投放距离 R_R 时,可以唯一确定出飞机的转弯半径 R_T 和投弹点 R 。

轰炸投放解集 (x_r, y_r, z_r) 满足

$$\begin{cases} \sqrt{(x_r - x_a)^2 + (y_r - y_a)^2 + (z_r - z_a)^2} = R_R \\ \sqrt{(x_r - x_o)^2 + (y_r - y_o)^2 + (z_r - z_o)^2} = 2\sin \frac{\varphi_t}{2} \cdot R_T \\ F_x \cdot (x_r - x_o, y_r - y_o, z_r - z_o) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: φ_t 为从 O 到 R 的转弯角; F_x 为 β 平面的法向

向量。

机动需要加速度矢量方向为

$$(V \times R_A) \times V \quad (2)$$

式中, \times 表示向量差乘,加速度大小是 $\|V\|^2 / R_T$ 。

炸弹降落弹道的水平射程为

$$A_{sc} = \frac{V_{BF}^*}{\sqrt{C \cdot g}} \arccos(e^{-C \cdot H^*}) \quad (3)$$

式中, C 表示弹道系数,加 * 表示参数取解算瞬间的值。

虚拟瞄准点修正为

$$A_{n+1} = A_n + (A_{sc} - \sqrt{R_B(x)^2 + R_B(z)^2}) \cdot V_B / \|V_{BF}\| \quad (4)$$

式中: $R_B(x)$ 表示投放点到目标向量的 x 坐标值; V_B 表示投放点的投弹速度矢量。

2 迭代过程

瞄准算法是迭代处理进行的。该算法输入量有飞机速度矢量、飞机当前加速度矢量、瞄准矢量等。算法起始位置从计算出初始的下降时间和虚拟瞄准点开始。根据已知量和已求出的量,可解算出当前时刻飞机完成机动所需控制量。

采用自然坐标系质心弹道方程^[6],从已知量和飞机状态解算武器弹道程序,得出预计碰撞点和武器下落时间。把预计碰撞点和目标之间误差作为瞄准误差,修正虚拟瞄准点,新的虚拟瞄准点和下落时间进入下一轮解算,迭代解算的输出量是飞机所需加速度,用预计加速度控制飞机的姿态。把新的加速度作为输入信号,在自动驾驶仪的控制下,调整飞机姿态完成控制过程。整个循环过程中,武器下落时间、虚拟瞄准点、所需加速度值是不断修正的量。多次仿真结果证明:迭代过程收敛、解存在且唯一。迭代过程如图4所示。

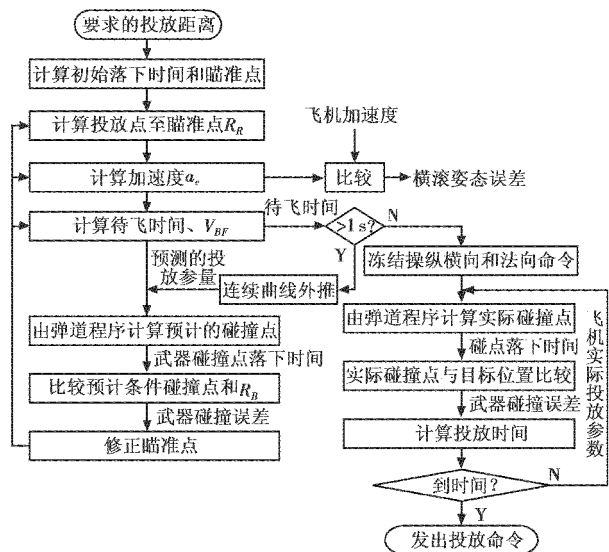


图4 解算流程

Fig.4 Flow chart of iteration

3 仿真结果

仿真计算在地面坐标系^[7]中进行,仿真结果如表 1~表 6 所示。表中: t 为仿真时间,单位为 s;距离单位为 m;投弹误差 W_e 是指武器弹着点与目标之间的误差。

表 1 虚拟瞄准点

Table 1 Virtual aiming points

m			
t/s	$A(x)$	$A(y)$	$A(z)$
0	5000	108.89	2000
2	4995.7	108.91	1989.8
4	4996.7	108.91	1992.1
6	4997.7	108.9	1994.6
8	4998.7	108.9	1996.8

表 2 投放点结果

Table 2 Releasing points

m			
t/s	$R(x)$	$R(y)$	$R(z)$
0	4536.5	111.38	893.15
2	4528.9	111.41	884.31
4	4530.6	111.4	886.36
6	4532.3	111.4	888.48
8	4533.9	111.39	890.46

表 3 飞机需要加速度

Table 3 Needed acceleration

m/s^2			
t/s	$a_e(x)$	$a_e(y)$	$a_e(z)$
0	16.459	-0.05225	16.459
2	13.205	-0.05143	19.197
4	9.4869	-0.04883	21.275
6	5.4548	-0.04459	22.639
8	1.2444	-0.03887	23.245

表 4 飞行速度矢量

Table 4 Velocity of flight

m/s			
t/s	$V(x)$	$V(y)$	$V(z)$
0	180	0	-180
2	209.73	-0.10392	-144.26
4	232.49	-0.20447	-103.67
6	247.48	-0.29817	-59.63
8	254.19	-0.38188	-13.609

表 5 飞行时间、炸弹落下时间、投弹误差

Table 5 Flight time, bomb falling time and releasing error

t/s	T_g/s	t_f/s	W_e/m
0	21.431	4.7779	-11.063
2	19.379	4.7679	2.5477
4	17.39	4.7575	2.6129
6	15.402	4.7479	2.4192
8	13.413	4.7393	2.1473

表 6 飞机质心坐标

Table 6 Barycentric coordinates of attacker

m			
t/s	$O_f(x)$	$O_f(y)$	$O_f(z)$
0	0	120	0
2	390.82	119.9	-325.17
4	834.28	119.59	-573.8
6	1315.6	119.08	-737.56
8	1818.7	118.4	-811.01

仿真结果中, t_0 时刻结果与其他时刻的相差较大,不满足线性递减关系, t_0 时刻之外,即其他时刻的仿真结果基本上是线性递减的。投弹误差 W_e 随着飞行控制时间的增加迅速减小,在 t_{18} 时刻,也就是 18 s 后误差达到 0.05 m。仿真结果是在假定飞机的机动性好、过渡时间短、而且认为飞机的速度大小变化很小的条件下得出的,而且与初始设定的投放距离有一定关系。仿真结果表明,该种轰炸方式有较好的精度和可操作性,能够满足飞机在低空机动方式下完成轰炸任务的要求。

4 结束语

非水平转弯轰炸方法有较好的精度和可操作性,适合攻击机低空轰炸任务。由于轰炸过程在低空完成,其对飞行操纵系统和传感器系统有较高的要求,需要目标状态估值、武器投放解算和飞行路径控制等功能单元形成一个伴有稳定性、准确性和传输响应问题的闭环动态系统。当然,武器的准确投放涉及到自动进入操纵、实时目标截获和跟踪,武器投放和退出等多个阶段^[8-10],这些问题需要进一步的研究。

参考文献

- [1] 张怡哲. 火力/飞行/推进控制系统综合研究[D]. 西安:西北工业大学,2003.
- [2] 谢奇峰. 机群对地作战效能分析及运用决策[M]. 西安:空军工程大学,2003.
- [3] 张海. 对地攻击的路线规划方法[J]. 电光与控制,1999(1):37-42.
- [4] Euro Fighter, the NATO Solution for Air Defense[R]. Military Technology Special Issue, 1997.
- [5] DELOACH S A, WOOD M. Multi-agent systems engineering[J]. International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, 2001(11):231-258.
- [6] 魏喧菘,刘昌礼,黄长强. 导弹/弹丸飞行力学[M]. 西安:空军工程学院出版社,2006.
- [7] 周志刚. 航空综合火力控制原理[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
- [8] 常勇,吴庆宪,张立珍,等. 基于 MAS 的无人机纵向飞行控制[J]. 电光与控制,2011,18(3):21-24.
- [9] 孙勇,章卫国,章萌. 命令滤波回推递推自适应大机动飞行控制[J]. 电光与控制,2011,18(6):61-65.
- [10] BAJODAH A H. Generalized dynamic inversion spacecraft control design methodologies[J]. IET Control Theory Appl, 2009, 3(2):239-251.