

从时间角度看作战决策同步

邹志刚, 刘付显, 夏璐

(空军工程大学防空反导学院, 陕西 三原 713800)

摘要: 针对作战决策同步难以定量化研究问题, 提出从时间角度来定量研究作战决策同步。首先, 从时间消耗角度分析作战决策同步过程, 提出作战沟通的时效性指标; 其次, 建立具有时滞耦合效应的作战决策同步模型; 最后, 通过实例分析可知, 该模型克服了由群体沟通意见模式造成沟通后决策水平不一致的缺点。提出采用调整网络联接和转移决策目标节点的方法, 可提升作战决策同步性能, 为作战决策同步定量研究提供一种新思路。

关键词: 作战决策同步; 时间角度; 时滞耦合

中图分类号: V271.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)03-0025-05

Operational Decision-Making Synchronization from Viewpoint of Time

ZOU Zhigang, LIU Fuxian, XIA Lu

(College of Air and Missile Defense, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

Abstract: Considering that it is difficult to study quantitatively the operational decision-making synchronization, we proposed a method on operational decision-making synchronization from time viewpoint. Firstly, the process of operational decision-making synchronization was analyzed from the viewpoint of time, and time-consuming measure indexes of operation communication were proposed. Secondly, the time lag coupling model of operational decision-making synchronization was established. Finally, the case analysis showed that the shortcomings that the opinion of the operation systems can not reach unification could be solved with the proposed model. Some methods, such as adjusting links in network and shifting the target decision node, were given to improve the capability of decision-making synchronization, which supplied a new way for quantitative study on decision-making synchronization.

Key words: operational decision-making synchronization; time viewpoint; time lag coupling

0 引言

作战同步最初在网络中心战 (Network Centric Warfare, NCW) 概念中提出, 重点是指自同步^[1]; 而在新的网络中心战 (Network Centric Operations, NCO) 概念框架中则更加注重作为结果的同步, 包括认知域中的作战决策同步和物理域中的作战行动同步^[2]。由于难以保证作战体系中各作战单元在相同时间内形成一致的作战意图^[3], 即难以做出一致的决策, 故决策同步不是一种自同步, 必须要通过沟通实现; 而行动同步是

在决策同步的前提下, 使作战行动在共享时间中实现空间上精确的协同配合, 所追求的目标是以作战决策同步带动作战行动同步。因此, 研究定量作战同步过程, 首要解决的就是作战决策同步问题。

目前, 大部分文献对作战决策同步的研究处于定性阶段^[1-2,4-5], 对于作战决策同步定量化研究的文献很少。文献[6-7]利用群体沟通意见模式研究该问题, 但采用的随机沟通策略, 以及以沟通次数作为沟通衡量指标均不适用于实际作战情况。本文从时间角度出发, 根据实际作战需求, 采用追随沟通策略研究作战决策同步, 提出基于沟通时间的定量指标, 建立面向时间的作战决策同步模型, 并以实例分析验证模型的可行性、有效性。

1 作战决策同步分析

由于不同层次的作战单位、同层次的不同作战单

收稿日期: 2012-02-22 修回日期: 2012-03-19

基金项目: 国家安全重大基础研究项目(九七三项目)(613900201); 全军军事学研究生课题(2010JY0809-486)

作者简介: 邹志刚(1988—), 男, 江西抚州人, 博士生, 研究方向为防空反导体系优化。

元对于战场态势都可能形成各自的判断,为了形成与上级一致、清晰明确的作战设想和决心,需通过一定沟通策略和规则快速领悟上级作战意图,其中不同沟通方式将消耗不同的沟通时间。因此,将作战单元看成节点,各作战单元之间的沟通联系看成边,把整个作战体系抽象成一个作战指挥网络^[8],则作战决策同步是网络节点之间时滞耦合的作战沟通过程。

1.1 作战沟通策略

实际作战过程中,由于时间和资源的限制,各作战节点不可能与其他所有节点沟通讨论之后再作决策,一般是采用追随沟通策略,以某个作战节点(如上级指挥所)的决策水平作为目标,快速调整自身决策水平与其保持一致。由此给出如下定义。

定义1 决策水平:反映作战节点形成作战意图的明确程度,记 $x_i \in [0,1]$,表示作战单元 i 的决策水平。 $x_i=0$,表明作战单元未形成作战意图; $x_i=1$,则表示形成完全明确的作战意图; $x_i \in (0,1)$,表示正在形成作战意图。

定义2 决策目标:一个作战节点 i 在沟通过程中追随沟通作战节点 o ,则作战节点 i 为追随节点,作战节点 o 为目标节点,其决策水平 x_o 为决策目标。

1.2 作战沟通指标

以网络拓扑结构为索引,在一个沟通环节中,设节点 i 追随节点 j ,则沟通方向为 j 到 i ,记为 $j \rightarrow i$ 。从时间消耗角度来描述作战沟通过程,提出以下作战沟通的衡量指标。

定义3 自身决策能力:在作战沟通前,作战节点 i 自身形成作战意图的能力,记为 v_i 。随着作战节点对态势分析判断的时间增加,控制越多的网络资源,自身决策能力也越强^[9],量化自身决策能力为

$$v_i = e^\alpha \cdot k_i^{(k)} t_i' \quad (1)$$

式中: k_i 为节点重要度; $\langle k \rangle$ 为作战指挥网络平均度值; t_i' 为自身决策时间; $\alpha \in \{0,1\}$ 为环境诱导因子; $\alpha=1$,则作战节点被诱导成为目标节点, $\alpha=0$,则作战节点为追随节点。

定义4 沟通理解能力:对于沟通节点 i 和 j ,耦合程度不同,则相互沟通理解的速度不同,记为 v_{ij} 。节点重要度越大,沟通越频繁,故节点之间的沟通理解能力越强,则

$$v_{ij} = \beta \cdot \frac{k_i + k_j}{2} \quad (2)$$

式中: k_i, k_j 分别为节点 i, j 的重要度; β 为环境影响因子。

定义5 节点沟通时间:相邻两个节点 i 和 j 达到决策同步所需的沟通时间 t_{ij} 。决策水平差异越大,即

沟通时间越长;节点之间的沟通理解能力越强,则沟通时间越短,即

$$t_{ij} = \frac{\Delta x_{ij}}{v_{ij}} = \frac{x_i - x_j}{v_{ij}} \quad (3)$$

定义6 作战决策同步时间:整个作战网络实现决策同步所需的沟通时间 T 。

$$T = \sum_i \sum_j t_{ij} \quad (4)$$

定义7 沟通理解程度:两个作战节点 i 和 j 沟通效果的衡量,即理解目标节点作战意图的程度,记为 u_{ij} 。沟通时间越长,沟通理解程度增大;当时间超过某一时刻,沟通理解程度达到最大并维持不变,即完全理解目标节点作战意图。设 $u_{ij} \in [0,1]$,则

$$\begin{cases} u_{ij} = 0, & t = 0 \\ u_{ij} \in (0,1), & 0 < t < t^* \\ u_{ij} = 1, & t^* \leq t \end{cases} \quad (5)$$

根据沟通节点的重要度、沟通方向不同,提出如图1所示的3种沟通方式,并定义相应的沟通理解函数 $u = f(k_i, k_j, t)$ 。

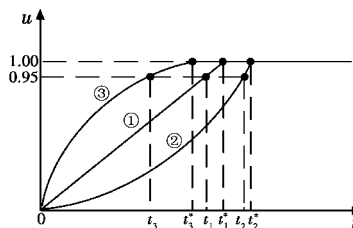


图1 沟通理解过程

Fig.1 Communicating process

如图1所示:①为两个重要程度相同的节点之间的匀速平等沟通;②为重要度大的节点追随重要度小的节点的谨慎沟通,即前期对目标节点缓慢的分析和判断,沟通速度缓慢,一旦认为决策合理,便迅速追随达到决策同步;③为重要度小的节点追随重要度大的节点的放心沟通,即前期不考虑目标节点决策是否合理,直接快速追随重要节点的决策水平,达到一定理解程度后分析其作战意图,随后缓慢达到决策同步。

设3种沟通方式的沟通理解能力分别为 $v_{ij,1}, v_{ij,2}, v_{ij,3}$,由式(2)得

$$\begin{cases} v_{ij,1} = \beta \cdot k_i, & k_i = k_j \\ v_{ij,3} > \beta \cdot k_i, & k_i > k_j \Rightarrow v_{ij,2} < v_{ij,1} < v_{ij,3} \\ v_{ij,2} < \beta \cdot k_i, & k_i < k_j \end{cases} \quad (6)$$

设3种沟通方式的节点沟通时间为 t_1^*, t_2^*, t_3^* ,由式(3)得: $t_3^* < t_1^* < t_2^*$,并得相对沟通速度 $v_{ij}' = \frac{v_{ij}}{\Delta x_{ij}}$,则

$t^* = \frac{1}{v_{ij}'} = t_{ij}(0 < t \leq t^*)$,3种不同沟通方式的沟通理解函数通式如表1所示。

表1 $j \rightarrow i$ 沟通理解函数

Table 1 Comprehending functions in communication with direction of $j \rightarrow i$

沟通方式	节点重要度	沟通理解函数
① 平等沟通	$k_i = k_j$	$u = v_{ij}'t$
② 谨慎沟通	$k_i > k_j$	$u = (v_{ij}')^2 t^2$
③ 放心沟通	$k_i < k_j$	$u = \sqrt{v_{ij}'t}$

定义8 沟通耦合函数:描述相邻节点之间的沟通耦合过程。若节点 i 追随沟通节点 j , 则 x_i 以 x_j 为目标沟通靠拢, 从两个节点开始沟通时刻起, 经过时间 t_i 后, 节点 i 的决策水平为

$$x_i(t_i + \Delta t) = x_i(t_i) - u_{ij}(t_i) \cdot [x_i(t_i) - x_j^*] \quad (7)$$

式中, $x_j^* = x_j(t_j^*)$, 表示作战节点 j 沟通后的决策水平。 $u_{ij} = 0$, 则未实现沟通; $u_{ij} \in (0, 1)$, 完成一定程度的沟通; $u_{ij} = 1$ 则实现完全沟通。

定义9 同步效率: 整个作战网络在单位时间内与决策目标达成同步的节点数量或同步程度, 记为 σ , 则

$$\sigma = \frac{N_s}{T} \quad (8)$$

式中, N_s 为在时间 T 内作战网络中达到决策同步的节点数量, 一般 $N_s = N_0$ 。

2 面向时间的作战决策同步模型

2.1 初始化作战网络

将作战指挥网络用一个三元组 $\{G_N, K_N, X_N\}$ 表示, 其中: G_N 表示由 N 个节点构成作战指挥网络的邻接矩阵; X_N 为各节点初始决策水平 $x_{i0} \geq 0$; K_N 为网络中各节点的重要度 (Node Importance Degree, NID), 反映节点对网络资源的控制能力, 取决于两个因素: 节点的介数和节点的度^[10]。因此, 本文采用的求取节点重要度方法为^[9]

$$H_K = \begin{bmatrix} B_1 & \frac{B_2 \delta_{12}}{D_2} & \dots & \frac{B_N \delta_{1N}}{D_N} \\ \frac{B_1 \delta_{21}}{D_1} & B_2 & \dots & \frac{B_N \delta_{2N}}{D_N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{B_1 \delta_{N1}}{D_1} & \frac{B_2 \delta_{N2}}{D_2} & \dots & B_N \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中: $\delta_{ij} \in \{0, 1\}$, 则 $\delta_{ij} = 1$, 表示节点 i, j 相互关联, 否则取值为 0; D_i 表示节点 i 的度; B_i 表示节点 i 的介数, 将第 i 行所有数据相加, 可得出节点 i 的重要度 k_i 。

2.2 建立作战决策同步模型

包括沟通开始前和沟通开始后两个阶段。

1) 第一阶段。在作战节点沟通开始前, 在初始决策水平基础上, 各作战节点随着对态势分析判断的时

间增加, 决策水平有所提升。当环境资源诱导某节点 (如作战指挥所) 在短时间内快速形成明确作战意图, 则式(1)中 $\alpha = 1$ 标记该节点为目标节点, 驱动其他节点追随沟通。根据式(1)建立模型

$$\begin{cases} x_i(0) = x_{i0} \\ \dot{x}_i(t_i') = v_i t_i' \end{cases}, \quad i \in N \quad (10)$$

式中, t_i' 为节点 i 在作战沟通之前的自身决策时间。

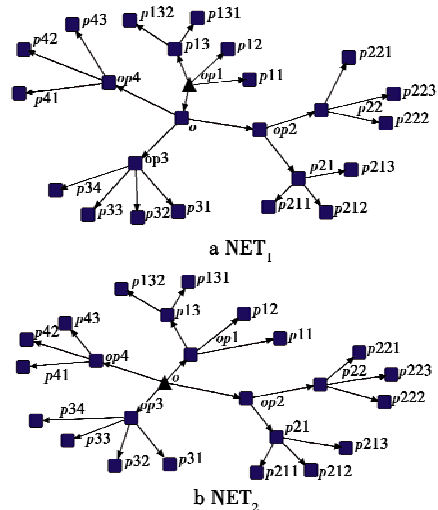
2) 第二阶段。在作战节点沟通开始后, 根据沟通节点重要度不同采用相应方式进行追随沟通, 最终使整个作战网络达到作战决策同步。将式(7)两边同时除以 Δt 并取极限, 建立模型

$$\begin{cases} x_i(t_i) = f(x_i, t_i + t_i^*) \\ \begin{cases} \dot{x}_i(t) = -v_{ij}' [x_i(t_i) - x_j^*], & k_i = k_j \\ \dot{x}_i(t) = -2(v_{ij}')^2 t \cdot [x_i(t_i) - x_j^*], & k_i > k_j \\ \dot{x}_i(t) = -\frac{1}{2} \sqrt{\frac{v_{ij}'}{t}} \cdot [x_i(t_i) - x_j^*], & k_i < k_j \end{cases} \\ \langle j, i \rangle \in \Lambda = \{ (j, i) \mid j \rightarrow i \}, t \in [0, t_i] \wedge t_i \in (0, t_i^*] \end{cases} \quad (11)$$

式中: x_j^* 表示节点 j 沟通后的决策水平; x_j 表示节点 j 沟通前的初始水平; $x_j(t_j)$ 表示节点 j 在沟通开始时刻起, 经过时间 t_j 后的决策水平。

3 实例分析

本文以文献[11]中渡海登岛联合作战指挥组织关系为例, 将一个作战编队视为一个作战节点, 采用 Ucinet 6 生成作战指挥网络拓扑结构。如图2所示, 上三角代表决策目标节点, 方形代表决策追随节点, 取 $\beta = 1$, 且分别以节点 o 和节点 $op1$ 作为目标节点分析作战指挥网络的决策同步性能。网络初始化决策水平均匀分布在 $[0, 0.1]$ 之间, 如表2所示, 其中 $NID_i (i = 1, 2, 3)$ 表示 NET_i (第 i 个网络) 中各节点重要度, 并以下划线标记目标节点。



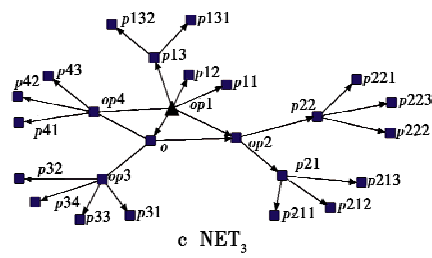


图2 作战指挥网络

Fig. 2 Operational command networks

表2 初始化作战指挥组织网络

Table 2 Initialization in operational command networks

No.	ID	x_i	NID ₁	NID ₂	NID ₃
1	o	0.0203	0.3550	0.3550	0.1950
2	op1	0.0199	0.2621	0.2621	0.2857
3	op2	0.0604	0.3304	0.3304	0.3238
4	op3	0.0272	0.2371	0.2371	0.1971
5	op4	0.0199	0.2021	0.2021	0.1957
6	p11	0.0015	0.0425	0.0425	0.0333
7	p12	0.0747	0.0425	0.0425	0.0333
8	p13	0.0445	0.1208	0.1208	0.1118
9	p131	0.0932	0.0250	0.0250	0.0250
10	p132	0.0466	0.0250	0.0250	0.0250
11	p21	0.0419	0.1950	0.1950	0.1750
12	p211	0.0846	0.0275	0.0275	0.0275
13	p212	0.0525	0.0275	0.0275	0.0275
14	p213	0.0203	0.0275	0.0275	0.0275
15	p22	0.0672	0.1950	0.1950	0.1750
16	p221	0.0838	0.0275	0.0275	0.0275
17	p222	0.0020	0.0275	0.0275	0.0275
18	p223	0.0681	0.0275	0.0275	0.0275
19	p31	0.0379	0.0287	0.0287	0.0287
20	p32	0.0832	0.0287	0.0287	0.0287
21	p33	0.0503	0.0287	0.0287	0.0287
22	p34	0.0709	0.0287	0.0287	0.0287
23	p41	0.0429	0.0275	0.0275	0.0220
24	p42	0.0305	0.0275	0.0275	0.0220
25	p43	0.0190	0.0275	0.0275	0.0220

作战指挥网络以通信网络为基础,通过通信链路的链接切换以及中枢通信节点的转移,可实现指挥网络的调整^[12]。假设调整网络联接所消耗时间为 T_A ,作战允许调整时间限制为 T_L 。若 $T_A > T_L$,则不允许调节网络连接结构,由图2a、图2b可知,目标节点由 $op1$ 转移到 o ;若 $T_A \leq T_L$,则允许调节网络连接结构,由图2a、图2c可知, $op1$ 的联接关系改变,其同步性能也改变。图3所示为各网络的决策同步过程,相应的同步时间 $T_i (i=1,2,3)$ 和网络平均度 $\langle k_i \rangle (i=1,2,3)$ 统计于表3。

从图3a和图3b可知,在保持现有网络结构条件下,虽然网络平均度 $\langle k_1 \rangle = \langle k_2 \rangle$,但通过将 NET_1 的目标节点由 $op1$ 转移到 NET_2 中目标节点 o ,使目标节点

成为作战指挥网络中最重要的节点,则在 NET_1 中节点由主要采用谨慎沟通方式转变为在 NET_2 中主要采用放心沟通方式进行决策同步,故 NET_2 同步性能明显优于 NET_1 ,故同步时间: $T_1 > T_2$ 。

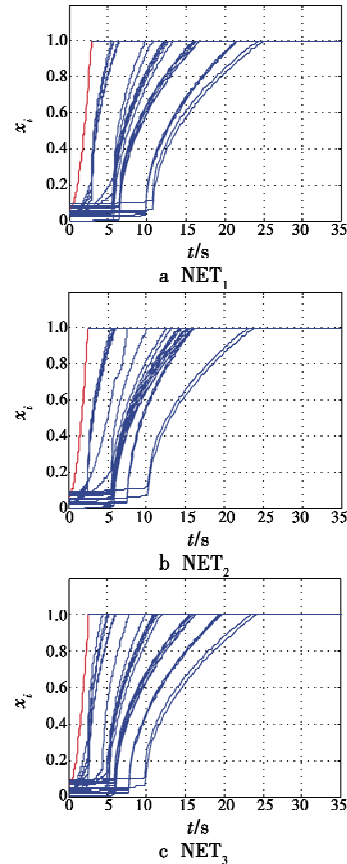


图3 作战决策同步过程

Fig. 3 Process of operational decision-making synchronization

表3 作战决策同步时间

Table 3 Time in operational decision-making synchronization

NET	$\langle k \rangle$	T
1	1.9200	24.9890
2	1.9200	23.6653
3	2.0300	24.1313

从图3a和图3c可知, NET_3 以 NET_1 为基础,目标节点不变,调整节点连接关系,使网络平均度 $\langle k_3 \rangle > \langle k_1 \rangle$,且 $op1$ 在该网络中的重要度得以提升,则 NET_3 中采用放心沟通方式的节点增多, NET_3 的同步性能也优于 NET_1 ,故同步时间: $T_1 > T_3$ 。

而从图3b和图3c可知,虽然通过调整网络结构,使网络平均度 $\langle k_3 \rangle > \langle k_2 \rangle$,但 NET_3 网络中最重要节点为 $op2$,并非节点 $op1$;而在 NET_2 的目标节点 o 却为该网络中最重要节点,则 NET_2 中采用放心沟通方式的节点多于 NET_3 中采用放心沟通方式的节点,故同步时间: $T_3 > T_2$ 。

因此,各网络同步时间: $T_1 > T_3 > T_2$ 。对 NET_1 , NET_2 , NET_3 的同步效率综合分析如图4所示,在现有作战指挥网络情况下,在作战允许调整时间的约束下,网络迅速调整联接关系或转移决策目标,将决策目标节点促成网络中最重要节点,提高目标节点对网络资源的控制能力,有利于提升作战决策同步性能,这便是网络中心作战的本质所在。

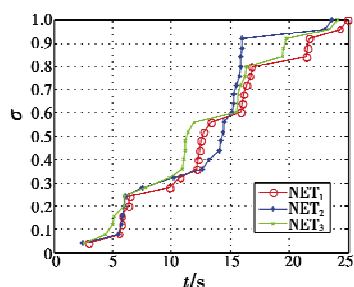


图4 作战决策同步效率

Fig. 4 Efficiency of decision-making synchronization

4 总结

本文从时间角度考虑,在分析和理解作战决策同步的基础上,建立面向时间的时滞耦合决策同步模型。通过模型的分析与验证可知,该模型较好地解决了沟通策略不合理和沟通指标不明确的问题,并在作战允许调整时间约束下,提出改变网络结构或转移目标节点来加速同步时间,更加符合作战需求。但对实例作战允许调整时间和网络联接所消耗时间的确定,以及对于存在一定沟通误差的不完全同步(如 $x_i \in [0.95, 1]$)策略研究将是下一步研究工作。

参考文献

- [1] BUTLER J R. Network Centric Warfare (NCW): The mechanism for change [R]. Marine Corps Univ, 2003.
 - [2] CARSKA J, AIBERTS D. Network centric operations conceptual framework (Version 2.0) [R]. Washington D C, 2004.
 - [3] 解放军军事科学院. 中国人民解放军军语 [M]. 北京: 军事科学出版社, 1997.
 - [4] 贾华杰, 鲜明, 陈永光. 网络中心战及其新技术 [J]. 国防科技, 2011, 32(4): 44-49.
 - [5] 李德毅, 王新政, 胡钢锋. 网络化战争与复杂网络 [J]. 中国军事科学, 2006, 3(19): 111-119.
 - [6] 王斌. 基于复杂网络的作战同步建模研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2007.
 - [7] 鲍鲜鲲. 基于复杂网络的作战同步建模与分析 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009.
 - [8] 王林, 张婧婧. 复杂网络的中心化 [J]. 复杂系统与复杂性科学, 2006, 1(3): 13-20.
 - [9] 赵毅寰, 王祖林, 郑晶, 等. 利用重要性贡献矩阵确定通信网中最重要节点 [J]. 北京航空航天大学学报, 2009, 9(35): 1076-1079.
 - [10] WU J, TANT Yuejin. Finding the most vital node by node contraction in communication network [J]. IEEE Trans on Communications, Circuits and Systems, 2005, 2: 1282-1286.
 - [11] 姜军. 可执行体系结构及 DoDAF 的可执行化方法研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008.
 - [12] 王欣, 姚佩阳, 周翔翔, 等. 指挥信息系统网络信息传输能力评估 [J]. 计算机应用, 2011, 31(8): 2033-2036.
-
- (上接第24页)
- [5] VIRTANEN K, KARELAHII J, RAIPIO T. Modeling air combat by a moving horizon influence diagram game [J]. Journal of guidance, Control, and Dynamics, 2006, 29(5): 9-10.
 - [6] 雍恩米, 陈磊, 唐国金. 飞行器轨迹优化数值方法综述 [J]. 宇航学报, 2008, 29(2): 396-406.
 - [7] XU B, KURDILA A, STILWELL D J. Hybrid receding horizon control method for path planning in uncertain environments [C] // The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems October 11-15, 2009: 4887-4892.
 - [8] 吴海文, 刁军, 沈春林, 等. 时间最优飞机追踪导引律研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(9): 1268-1271.
 - [9] 王凯, 李望西, 轩永波. 基于 BP 神经网络的空空攻击区解算及其仿真 [J]. 弹箭与制导学报, 2010, 30(1): 75-78.
 - [10] 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): 682-686.
 - [11] 张平, 方洋旺, 金冲, 等. 空空导弹攻击区实时解算的新方法 [J]. 弹道学报, 2010, 22(4): 11-15.
 - [12] YOSHIOKA Y, HASHIMOTO T, OHTSUKA T. A numerical solution method to receding horizon control for nonlinear diffusion systems [C] // SICE Annual Conference 2010, August 18-21, 2010: 1092-1095.