

社会计算视角下的多武器系统协同态势感知

牛彦杰, 王智学, 张东戈, 牛小星

摘要: 作战体系是由多种武器系统组成的, 随着武器智能化和信息技术的发展, 各武器系统均具有多种功能, 集感知、决策和行动于一体。为了应对快速变化的战场环境和复杂多变的作战任务, 各武器系统之间必须进行协同, 决策和行动的协同依赖于一致的态势感知, 各武器系统之间的协同感知关系在逻辑上构成了协同态势感知网络。本文基于社会计算的角度, 探讨了协同态势感知的特点, 在此基础上研究了协同态势感知网络的实体关系模型和行为演化模型, 从协同控制算法、网络演化方式和协作支持模式三个方面讨论了协同态势感知社会计算要研究的问题。

关键词: 社会计算; 态势感知; 协同; 多武器系统

0 引言

基于信息系统的体系作战是未来的主要作战样式, 在作战体系中包含着多种武器系统, 其中每个武器系统都具有感知、决策和行动的能力, 这些具有社会行为的武器系统之间必然产生相互作用, 主要是各武器系统之间的合作和协同。感知是决策和行动的基础, 因此, 各武器系统之间首先要实现协同的态势感知。

在协作态势感知方面, 近年来国内外各相关机构开展了一些基础性研究。Houghton (2008) 等人用社会网络分析方法对指挥控制系统包括态势感知在内的各个方面进行了分析计算^[1], Rebecca Stewart (2008) 等人研究了由特定 Agent 组成的指挥控制网络的态势感知问题^[2], 但是只停留在一些简单静态社会网络参数的计算, 未能给出处于动态变化网络的态势感知特性。国内主要由解放军理工大学、中电集团第二十八研究所、国防科学技术大学等单位, 就具有军事领域背景特点的态势感知基础理论开展研究, 但都未能在定量研究方面有所突破, 而且在网络化层次上的态势感知方面更是知之甚少。因此网络化的协同态势感知问题迫切需要得到进一步深入研究。

对于群体协作支持, 社会计算可以提供有力的工具和方法。在社会协作问题解决方面, Farenzena 等人 (2011) 基于信息的自然选择提出了新的社会协作模型, 该模型可以提供关于社会网络中用户如何交互的信息^[3]; Greene 等人 (2011) 则对大型协作问题的解决进行了研究^[4]; 微软、IBM、Inter、HP、Google 等诸多大公司和研究机构, 也都集中力量设立专门的小组着力在该领域进行社会计算的研究^[5]。因此, 本文借鉴社会计算在群体协作支持领域的研究成果, 探讨如何解决多武器系统呈现出的网络化协同态势感知问题。

1 社会计算环境下协同态势感知特点

协同意味着让两个或两个以上分散于不同地点的个体聚集在一起工作: 共享和交换数据、信息、知识和行为。在信息系统的支持下, 多武器系统可以通过网络连接成为一个物理上跨地域分布的整体; 同时依据作战任务的牵引, 多武器系统通过指挥控制关系网连接成具有逻辑关系的整体。各武器系统之间的协同态势感知在物理上依赖于信息栅格网, 在逻辑上构成协同态势感知网, 其协同关系依作战任务的不同而动态演化。

社会计算是计算技术与社会科学相结合的交叉学科, 它研究利用计算技术帮助人们认识社会规律, 相互沟通与协作, 是利用群体智慧解决问题的原理和方法^[6]。社会计算的研究源自哈佛大学 David Lazer 等人 (2009) 在《Science》上发表的“Computational Social Science”^[7], 随着智能科学和认知科学的发展, 对复杂系统的深入研究, 还有包括网格计算、对等计算和代理计算等先进计算方法的出现, 对社会计算的研究起着极大的促进作用。经过研究发现, 协同态势感知过程具有社会计算的特点, 具体表现为无中心的组织方式、群体智慧、动态演化和自适应性等。

2.1 无中心的组织方式

正如 Albert 在《Power to the Edge》一书中提出的观点, 协同态势感知网的结构也呈现出无中心的组织

方式, 权力正逐渐地迁移到网络中的边界。对于协同态势感知网的每个节点而言, 具有日益增大的感知和计算能力, 网络中可用于感知和计算的资源在不断增多, 各节点可以通过越来越多简单的操作连接到边缘网络的计算中去, 使态势感知一步步向着边界转移。从组织形式方面来看, 传统的以主要节点为核心的态势感知模式正在向社会计算模式下不同程度的去中心化发展, 在很大程度上反映出网络边界的态势感知能力在不断增强。可以看出, 态势感知在向边界转移, 将来边界会在协同态势感知中扮演极为重要的角色。

2.2 自下而上的结构

以往, 只有一小部分顶层的指挥控制节点能够决定信息的产生和发布方式, 信息的流向往往是单向的, 从感知节点将信息逐层传递给指挥控制节点, 再从指挥控制节点将命令传递给作战节点, 组织协作的方式是自顶向下。在社会计算支持下, 协同态势感知网中态势感知信息的产生和分发是双向的, 末端节点可能既具有感知能力, 也具有决策和作战能力, 除此之外, 网络化的信息基础设施和先转发后感知的处理模式使得态势感知信息的流向除了纵向之外, 还有大量横向传递的信息。社会计算支持下的社会化合作, 使得网络中提供的态势感知信息是非集中式的、分布式的以及供人分享的, 节点之间的协作方式呈现自下而上。

2.3 群体智慧

群体智慧 (Wisdom of Crowds) 通过大规模用户参与计算, 以计算机为辅助, 利用群体协作的方式解决问题。移动计算和普适计算 (Ubiquitous Computing) 等技术的出现, 使得协同态势感知网中每个节点都具有感知计算能力, 改变了传统的态势感知信息的生成方式。每个节点能够与一个连接了所有节点的巨大信息网保持不断联系, 在接受态势感知信息的同时, 各个节点协同工作, 可以处理大量的态势信息, 并将形成的态势感知结果上传至网络, 达成态势感知一致性, 即通过分布式的态势感知形成群体智慧。

2.4 动态演化和自适应性

协同态势感知网随作战任务的改变和时间的推移发生动态演化。一方面, 在一定任务环境下, 多余节点的参与、感知时间的时延和不必要的网络连接会对整个网络系统的态势感知能力造成负面影响, 对于协同态势感知网而言, 不同的作战任务, 其参与协同的节点应该动态选取, 节点之间的协同关系也会随着任务不断发生变化; 另一方面, 网络的结构、状态、特性、行为、功能等随时间的推移而发生变化。从宏观的角度来看, 协同态势感知网的组成节点和网络结构呈现出自适应性的特点, 能够根据作战任务的变化不断调整。

3 协同态势感知社会计算模型

3.1 节点关系模型

协同态势感知网的核心是在作战任务下, 节点和节点之间的协同关系。多武器系统的协同态势感知就是在共同的全局目标或作战任务的约束下, 各武器系统制定与全局目标相一致的局部目标, 依据网络结构和协同策略相互协作完成全局目标。

态势感知 (Situation Awareness) 的表示由目标、实体和关系组成, 协同态势感知社会计算模型形式化表述为 $C = (G, A, R)$ 。其中 C 为协同态势感知社会计算, 由三元组构成; G 为目标集, 表示作战任务; A 为实体集, 代表各武器系统, 即网络中的节点; R 为关系集, 表示节点之间的关系。

$G = \langle \text{goal}, \text{resource}, \text{event} \rangle$: goal 代表系统的全局目标, 可以增加、删除或动态修改; resource 表示可分配的资源; event 表示会影响全局目标的战场事件。

$A = \langle a_goal, a_ability, a_act \rangle$: a_goal 表示各个节点的局部目标, 可以动态修改; $a_ability$ 表示节点的能力; a_act 表示节点的行为, 表示节点所采取的活动。

$R = \langle \text{relation}, \text{rule} \rangle$: relation 表示各个节点之间的协同关系, 可以增加、删除或动态修改; rule 表示编制体制等约束条件。

3.2 行为演化模型

作战任务或目标仅仅依靠单个武器系统是不可能实现的, 任务的完成必须依赖于整个系统的协作行为, 其中每个武器系统的行为构成了协作的基础, 因此有必要研究网络中各个节点的行为演化模型。

节点的行为 a_{act} 表示一系列活动, 是各节点在协同态势感知过程中的基本动作, 可以形式化表述为一个六元组, 即 $a_{act} = \langle a_{join}, a_{observe}, a_{compute}, a_{decide}, a_{share}, a_{quit} \rangle$ 。

a_{join} : 加入到某个协同态势感知网;

$a_{observe}$: 获取全局目标和态势信息;

$a_{compute}$: 利用推理和计算能力, 形成当前的态势感知信息;

a_{decide} : 根据全局目标、节点自身的能力和资源的约束条件, 形成该节点的局部目标;

a_{share} : 分发局部目标, 共享理解的态势感知信息;

a_{quit} : 退出某个协同态势感知网。

4 协同态势感知社会计算研究的主要问题

4.1 协同控制算法

鱼群和蜂群经常因为食物来源的变化而到处迁移, 鱼群中只有很少的个体知道目标在哪里, 但它们就能影响到整个鱼群的觅食迁徙; 蜂群中约 5% 的个体就能引导整个群体飞到新的巢穴^[8]。因此, 通过控制少量个体便可以达到控制整个网络或群体的目的。Liu 等人 (2011)^[9]发现可以通过驱动其中少数的节点来对网络加以控制, 并给出了最小驱动节点数的解析公式。

Rebecca Stewart 等人 (2008)^[2]指出系统层次的态势感知对整个系统的性能表现至关重要。对于协同态势感知网来说, 并不需要所有的节点都加入到协同态势感知网中, 多余的网络连接可能会造成态势感知能力的下降。因此, 有必要研究协同控制算法, 重点回答以下问题: 对于一个给定的群体, 要实现共同的态势感知, 到底需要选择多少个节点进行协同? 选取哪些节点? 节点之间的结构关系又是怎样的?

4.2 网络演化方式

多武器系统的协同态势感知网络是高度动态的, 根据作战任务的不同, 新的节点可能通过建立新的连接, 加入一个网络, 同时, 该网络中的某些节点可能通过断开已有的连接, 离开一个网络, 即协同态势感知网络的结构随着作战任务不断发生演化。研究多武器系统协同态势感知时, 需要了解呈现动态变化的态势感知网络中新的连接是如何建立起来的, 以及网络结构是如何变化的。

Asur 等人 (2007)^[10]研究了社会网络的动态演化方式, 并提出了一个通用的方法, 即: 对一个网络按时间取一系列的快照, 通过社区发现方法得到社区结构, 然后通过事件检测和行为分析方法挖掘社区演化的模式。

可以利用社会计算的理论和方法, 研究协同态势感知网络的演化方式, 分析网络中各个节点的行为, 记录并分析不同作战任务下各个节点间的协同关系, 从而找出网络结构, 挖掘网络演化模式。

4.3 群体协作支持

多武器系统的协同态势感知离不开群体协作支持, 社会计算环境下的群体协作是将复杂问题分解成不同的部分, 由多个具有不同技能和经验的人共同解决, 然后将多个分布式个体的微小贡献结合在一起, 激励深层推理。

协同的态势感知基于物理上的信息网络, 目前各国都在建设或完善通用态势图 (COP), 在此基础上, 节点之间的协作尚需回答以下问题: 共同目标如何分解? 共同目标和局部目标之间是否能保持一致? 局部目标之间是否存在冲突? 资源、能力和目标之间是否能匹配? 分布式的态势感知如何形成一致的共同态势感知?

5 总结与展望

感知是决策和协同的基础, 对于快速变化的战场态势, 需要多个实体进行协作, 才可能实现共同的态势感知。应重点研究“群体感知理论”, 即一个群体在进行协同时, 态势感知一致是群体对态势形成一致性感知的过程。社会计算理论和方法为解决协同态势感知提供了途径, 但是尚需研究其内部机理和运行模式,

从而通过群体协作支持完成协同态势感知，提高态势感知质量和决策效率。

参考文献:

- [1] Houghton RJ, Baber C, Cowton M, Stanton NA. WESTT (Workload, Error, Situational Awareness, Time and Teamwork): An analytical prototyping system for command and control[J]. *Cogn Tech Work* 2008, (10):199-207.
- [2] Rebecca Stewart, Neville A. Stanton, Don Harris, Chris Baber, Paul Salmon, Mel Mock, Kerry Tatlock, Linda Wells, Alison Kay. Distributed situation awareness in an Airborne Warning and Control System: application of novel ergonomics methodology [J]. *Cogn Tech Work* 2008, (10):221-229.
- [3] Farenzena, D. S. , Araujo, R. M. , & Lamb, L. C. Collaboration emergence in social networks with informational natural selection [C]. 2011 IEEE Third International Conference on Social Computing (SocialCom).
- [4] Greene, K. , Thomsen, D. , & Michelucci, P. (2011) . Exploration in massively collaborative problem solving [C]. 2011 IEEE Third International Conference on Social Computing (Social Com).
- [5] Wang Feiyue, Daniel Zeng(2007). Social computing: From social informatics to social intelligence [J]. *IEEE Intelligent Systems*, 7(4) :79—83.
- [6] Wikipedia(2012). Social computing[DB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/Social_computing.
- [7] Lazer D, Pentland A et al. Computational social science, *Science*,2009,323(5915):721-723.
- [8] 陈关荣. 复杂动态网络环境下控制理论遇到的问题与挑战 [J] . *自动化学报*. 2013, Vol.39, No.4:312-321.
- [9] Liu Y Y, Slotine J J, Barabási A L. Controllability of complex networks. *Nature*, 2011, 473(7346): 167-173.
- [10] S.Asur, S.Parthasarathy, D.Ucar. An event-based framework for characterizing the evolutionary behavior of interaction graphs. In *KDD '07:Proceeding of the 12th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*[C].2007,New York,913-921.