

doi: 10.7690/bgzd.2013.03.007

## 元网络分析武器采购若干特征

孙祯祯, 陈侃, 朱培栋

(国防科学技术大学计算机学院, 长沙 410073)

**摘要:** 武器贸易中涉及武器类型、生产商、出口国、交易额等多属性异质节点集, 节点集内部及节点集之间多样而复杂的关系体现出系统不对称等特征, 为此提出应用元网络理论进行武器采购关系分析。武器贸易元网络模型将多元素、多丛关系集中在一个框架下, 将节点特征与关系数据结合, 通过要素之间的关联关系、聚类关系等, 对各节点集以及节点集之间进行综合指标评价, 得到武器采购中重要实体、子网结构和核心关系等特征。该研究比较全面地描述和刻画了武器贸易的社会网络构成, 更加系统地了解武器贸易网络的内在信息。

**关键词:** 元网络; 社会网络分析; 武器贸易模型; 聚类分析

**中图分类号:** TJ04 **文献标志码:** A

## Analysis of Weapons Trade Characteristics Based on Meta-Network

Sun Zhenzhen, Chen Kan, Zhu Peidong

(School of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Weapons trade is related to multi attribute heterogeneity aggregate such as the types, technologies, manufacturers, exporter country, trading volume and some other elements. The variety and complex relationships among nodes and clusters show many system characteristics such as asymmetric. The meta-network theory is proposed and applied to the weapons trade relationship analysis. Weapon trade meta-network model integrates multi-element and multi-cluster relationship into one frame. Combine node characteristics and relationship data, through associate relationship and cluster relationship, carry out comprehensive index evaluation of each node aggregate and among node aggregates. Acquire characteristics of important entity, subnet structure and core relationship. It describes all aspects of weapon trade social network, and makes us systematically understanding the internal information of weapon trade network.

**Key words:** meta-network; social network analysis; weapons trade model; clustering analysis

## 0 引言

传统的社会网络分析只能分析相对单一的关系, 并且容易受到噪声和属性缺失的影响。而元网络包含多个属性相异的节点集, 反映的关系相对全面和复杂, 在疾病的传播和预防网络、恐怖分子间联系的网络、国家之间的国际关系网络等特殊网络中, 元网络针对节点间发生的各种关联, 能挖掘出一般社会网络所不能够揭示的节点间的关系, 还可以分析出缺失的连接和网络中的核心节点。

D.M.Akbar Hussain 于 2007 年通过对人物的多种属性进行分析, 如年龄、教育、工作、经历等方面, 构建人物的元网络属性, 并将该方法应用于“911”事件中的恐怖组织, 发现了恐怖网络中的关键人物, 并对恐怖网络的脆弱性和易毁性进行了分析<sup>[1]</sup>; Breiger 利用元网络的方法研究了重要的原油输出国之间的贸易伙伴关系<sup>[2]</sup>; 卡内基·梅隆大学的 Kathleen M. Carley 教授同 u-Sung Lee 和 David Krackhardt 利用社会网络分析方法和元网络模型相

结合, 探讨了破坏网络稳定性的方法<sup>[3]</sup>; 通过对元网络模型动态性的研究, Carley 指出使用各种细节网络数据构建恐怖分子元网络模型, 可以弥补恐怖分子人际关系网络模型的局限性<sup>[4]</sup>。

武器采购网络表现为节点类型多, 节点数目多, 节点要素可能受一种或几种不同要素的影响而发生改变, 要素之间也可能存在相互影响等。目前贸易网络常采用单矩阵分析形式, 以贸易参与方为节点, 参与方之间的贸易关系为连边, 只能分析“谁(国家或生产商)”在网络中的问题, 这种方法漏掉许多需要考量的重要信息。而元网络模型将多元素、多重关系集中在一个框架下, 不仅可以分析“谁”在网络中, 还能分析在什么时间发生了什么, 例如武器生产商的地位, 出口武器类型的竞争与调整, 各应用领域武器的规模, 都能在元网络模型下进行分析。

因此, 笔者以 2008 年中国台湾武器采购情况为数据样本, 对包含武器类型、生产商、出口国及交易额等多种属性的网络数据进行分析, 获得武器

收稿日期: 2012-09-29; 修回日期: 2012-10-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(61170285)

作者简介: 孙祯祯(1983—), 女, 黑龙江人, 硕士, 从事社会网络分析研究。

生产商与武器类型之间、出口国与武器类型之间以及典型采购武器之间的特征, 通过元网络的相关理论发现该地区主要武器采购特点, 与武器贸易国之间的关系等, 这些信息是分析单一属性所不能实现的。

## 1 武器贸易元网络模型

### 1.1 数据采集与处理

Python 是一种功能强大的编程语言, 有高效率的高层数据结构。Python 的标准库庞大, 可以处理包括数据库、网页浏览器、电子邮件、XML、HTML 和其他与系统有关的操作。笔者应用 Python 的数据获取功能, 利用 Python 模块内置的 urllib2 库来爬取军事环球网<sup>[5]</sup>、亚东军事网<sup>[6]</sup>及瑞典的斯德哥尔摩国际和平研究所<sup>[7]</sup>等网页数据。通过 Python<sup>[8]</sup>从国际互联网上公开收集 2008 年中国台湾武器采购数据, 并将提取的数据内容保存成分析软件可以处理的格式, 根据数据段中的信息构造采购武器的关系矩阵。

针对从国际互联网上公开采集的中国台湾 2008 年与各武器出口国、生产商、交易额度的多属性数据进行分析, 研究各生产商之间的竞争实力, 各出口国之间的优势武器和份额比重情况。笔者使用的样本数据包括飞机、导弹、雷达无线电、海军舰艇、卫星空间系统、信息电子系统和空中防御系统 7 类典型武器; 泰雷兹(Thales)、L-3 通信、芬梅卡尼卡(Finmeccanica)、欧洲宇航防务集团(EADS)、雷神(Raytheon)、通用电力公司(GE)、诺斯罗普格鲁曼(NOC)、波音公司(Boeing)、洛克希德马丁公司(LMT)、BAE 系统公司 10 家武器生产商; 法国、美国、意大利、荷兰、英国 5 个武器出口国。

### 1.2 武器贸易元网络建模

元网络由多个属性相异的节点集构成, 与通常分析的 1-模网络和 2-模网络存在较大差异, 相对于 1-模网络和 2-模网络, 元网络中的关系相对全面和复杂。1-模网络中节点之间的关系只存在于同一类型的节点之间, 虽然关系的类型可以多种多样, 但是节点的类型相同; 2-模网络中虽然关系存在于不同类型的节点之间, 但是关系的类型却相对单一; 而元网络能够描述多类型节点、及节点之间的多模式关系, 且节点要素规模较大的网络群或超矩阵<sup>[9]</sup>。

以武器、生产商和出口国 3 种要素及其相互关系构成的元网络为研究对象, 该元网络的结构如表 1 所示。

从表 1 可以看出, 以上 3 种要素分别构成了 6

种关系网, 不仅包括武器与武器之间的 1-模关系, 而且包括需求网、资源能力网等 2-模关系。从诸多的关系网络中, 笔者可以更加全面地了解网络的信息, 比如从需求网、资源网和替代网可以知道不同主体间拥有的需求、资源和竞争等关系。

表 1 多武器属性的元网络模型框架

要素	武器	生产商	出口国
武器	资源网	供应网	能力网
生产商		资源替代网	供应能力网
出口国			能力替代网

在下面的表述中, W 代表武器结点集, P 代表生产商节点集, E 代表出口国结点集, 节点与节点之间的关系网络包括:

#### 1) 武器资源网络 GW。

以武器类型作为节点, 在具有相关用途的武器类型之间连边, 建立由武器类型节点组成的 1-模网络, 其形式为  $GW=(W, EW-W)$ , 其中  $EW-W$  代表边集合。

#### 2) 生产商供应网络 GWP。

以武器类型和生产商为节点, 生产商拥有或有能力生产某种武器作为武器同生产商之间的连边建立 2-模网络, 其形式为  $GWP=(W, P, EW-P)$ , 其中  $EW-P$  代表边集合。

#### 3) 出口国能力网络 GWE。

以武器类型和出口国为节点, 出口国拥有或有能力出口某种武器作为武器同出口国之间连边建立 2-模网络, 其形式为  $GWE=(W, E, EW-E)$ , 其中  $EW-E$  代表边集合。

#### 4) 资源替代网络 GP。

以生产商作为节点, 拥有或有能力生产同种类型武器的生产商之间连边组成 1-模网络, 其形式为  $GP=(P, EP-P)$ 。其中 P 为生产商集合、 $EP-P$  代表边集合。

#### 5) 供应能力网络 GPE。

以生产商和出口国为节点, 生产商与出口国之间的隶属关系连边建立 2-模网络, 其形式为  $GPE=(P, E, EP-E)$ , 其中  $EP-E$  代表边集合。

以上武器元网络模型框架可以根据研究问题的要求和角度做相应的扩展或收缩, 如增加或减少节点类型、增加或减少节点之间的交互关系网络等。

## 2 武器贸易元网络分析

### 2.1 元网络的多矩阵表示

武器贸易元网络模型将不同类型要素之间的关系放到“元矩阵”单元的“格子”中, 包含了表征

同类要素之间关系的 1-模网络和两类要素之间关系的 2-模网络,所有单元格集合在一起成为“元矩阵” [7]。

2-模网络可以拆分为 2 个 1-模网络,这样同类要素之间的关系就从 2-模网络剖析出来,这样元网络的很多问题都可以降维到 1-模网络的相应方法上。例如根据武器和生产商之间的供应网络,可以投影产生 2 个 1-模网:一个表征武器采购来源的竞争网络  $PP=WP^T \cdot WP$ ; 一个表征生产商生产武器类型的资源网络  $WW=WP \cdot WP^T$ 。而将武器种类矩阵乘以一个类别矩阵,可以得出各类别中武器的构成情况。

### 2.2 武器贸易元网络中心化分析

在规模庞大、结构复杂的网络中对节点进行中心化分析<sup>[10-11]</sup>可以准确而迅速地发现中心节点。不同类型的复杂网络通常需要使用不同的中心化指标来进行中心化,针对文中的武器贸易网络选择节点度进行衡量。

度指标体现了该节点与其周围节点之间建立直接联系的能力,其值为与该节点直接相连的节点数。设网络具有  $n$  个节点,则节点  $x$  的度指标定义为

$$C_n(x)=m(x) \tag{1}$$

其中  $m(x)$  表示与节点  $x$  直接相连的节点数。

为了根据度指标比较不同规模网络中节点的中心化程度,需要对度指标进行归一化处理。归一化的度指标定义为

$$C_D(x)=C_d(x)/(n-1) \tag{2}$$

### 2.3 武器贸易元网络的聚类分析

在武器贸易中,交易种类、贸易额度等不是“1”和“0”这样的二值数据,而是多值的。在一个多值网络中,聚类分析是为了找到相互联系比较紧密,具有凝聚力的节点集。

在包含多种类型子网络的模型中,聚类分析的核心问题是计算点与点、类与类之间的距离。

定义点与点间距离:

$$d_{ij}=\begin{cases} 1 & \text{两点间有直接边两连} \\ \infty & \text{两点间无直接边两连} \end{cases} \tag{3}$$

类与类之间距离定义为

$$D_{mn}=\max_{i \in m, j \in n} d_{ij} \tag{4}$$

其中  $p, q$  代表元网络中 2 种类型的节点。权重是影响聚类结果的重要参考量之一,权重对网络结构影响应进一步考虑。

## 3 武器采购元网络模型特征与评价

### 3.1 武器贸易元网络的描述

笔者采用XML语言格式定义包括多种类型节点和多个节点之间的武器贸易网络,XML语言能够描述由多种节点及多重关系构成的多层次网络<sup>[12]</sup>,适合武器贸易复杂元网络表达的需要。

定义 2008 年中国台湾武器采购元网络:

```

-<MetaNetwork id="Bimport2008" >
- <nodes> 节点
- <nodeclass type="Weapon" id=" Weapon"> (武器类型节点)
<node id=" aircraft " />
<node id=" missiles " />
.....
</nodeclass>
- <nodeclass type="producer" id=" producer"> (生产商节点)
<node id=" Thales" />
<node id=" EADS" />
.....
</nodeclass>
- <nodeclass type="export" id=" export"> (出口国节点)
<node id="USA" />
<node id="UK" />
.....
</nodeclass>
</nodes>
- <networks>定义 P-E 加权网(出口国与生产商贸易额网络)
-<network sourceType="producer" source="producer"
targetType="export" target="export" id=" producer -
export -weight">
<link source="L-3" target="USA" value="12.16" />
<link source="BAE" target="UK" value="32.42" />
.....
</network>定义 P-E 布尔网络(生产商-出口国隶属网络)
-<network sourceType="producer" source="producer"
targetType="export" target="export" id="producer-
export">
<link source="EADS" target="Finland" />
<link source="Finmeccanica" target="Italy" />
.....
</network>

```

上面定义的元网络可视化结构模型如图 1。

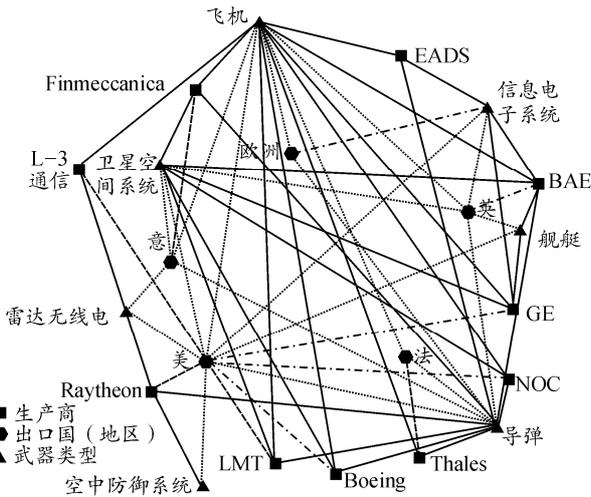


图 1 2008 年中国台湾武器采购网络模型

由武器采购元网络模型图中各节点的连线情况可以形象地看出它们在网络中的多维关系, 连接的紧密程度, 比如雷达无线电, 可以从美国进口, 也可以从意大利进口, 可以从生产商 L-3 通信购买, 也可以从雷神公司购买; 图中的出口国美国, 与各种类型的武器之间均存在连线, 表明它具有的出口能力最强; 图中飞机和导弹 2 个节点的连线相较其他类型的武器稠密, 每一个出口国(地区)和大部分生产商都可以提供这 2 种类型的武器, 所以在这 2 种武器的采购上生产商与生产商之间的竞争最大, 需要出口国的政策能力进行干预。

武器采购元网络模型在一个架构下反映了多种属性节点的多重关系, 这是传统的 1-模网络和 2-模网络不能实现的。

### 3.2 武器贸易网络中节点度

笔者根据节点度<sup>[13-14]</sup>分析关键的采购武器类型、生产商和出口国等, 以反映中国台湾 2008 年采购武器的来源及市场分布情况。

从图 2 中可见, 英国的 BAE 公司的节点度最高, 从获取的数据看, 该公司可生产各种类型的武器, 且该公司 95% 以上的收入来自军售。美国 L-3 通信公司和法国 Thales 公司的节点度最低, 这与这两家公司主营航空航天类产品相关。

从图 3 中可见, 向中国台湾销售武器的美国生产商最多, 英国次之, 这不仅跟武器生产商生产武器的能力有关, 还与各个国家对中国台湾的政治态度相关。笔者在元网络模型中没有加入 Role 类型的节点, 通过拓展出国口政策子网能够反映出向中国台湾销售武器国家的更多信息。

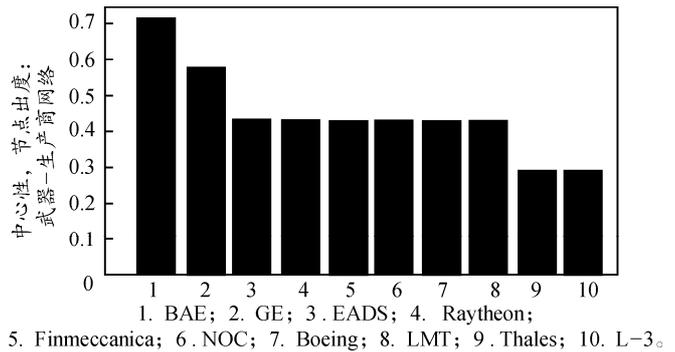


图 2 武器-生产商子网节点度

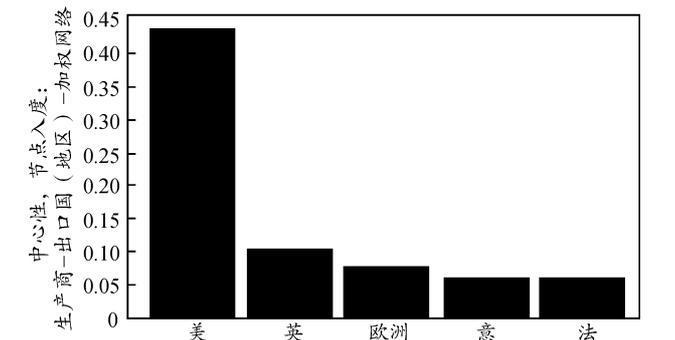


图 3 生产商-出口国(地区)子网节点度

### 3.3 武器贸易元网络的特征分析

笔者从以下几方面分析中国台湾采购武器的特征:

1) 出口规模, 即出口国节点权, 综合了出口国的节点度和贸易权重的指标。如果出口国的出口贸易额越大, 其拥有向中国台湾销售武器的生产商能力越大, 其地位就越重要。生产商洛克希德·马丁公司的节点度虽然不是最高, 但是同贸易权重一起考量, 它的地位在生产商中最重。

2) 竞争能力。该指标综合了元矩阵中生产商-生产商(P-P)子矩阵和出口国-出口国(E-E)子矩阵节点度和聚类指标, 来表征能生产同种武器类型的生产商数或出口国数。该指标值越大, 说明生产商或出口国在武器销售领域内存在出口武器同质现象越明显。从分析结果看: 航空类和导弹类武器的竞争最大, 大部分的生产商和出口国都有能力提供; 空中防御系统的竞争最弱, 只有美国的雷神公司有提供。

### 4 结束语

根据中国台湾武器采购多属性异质节点集的特点, 笔者采用元网络模型, 将多要素及要素间多重关系纳入到元网络模型框架, 比较全面地描述和刻画了武器贸易的社会网络构成, 突破了传统模型的局限。将节点特征与关系数据结合, 识别不同类型节点之间的关联关系和差异, 并通过节点综合评价指标, 采用节点度对节点异质性进行评价。