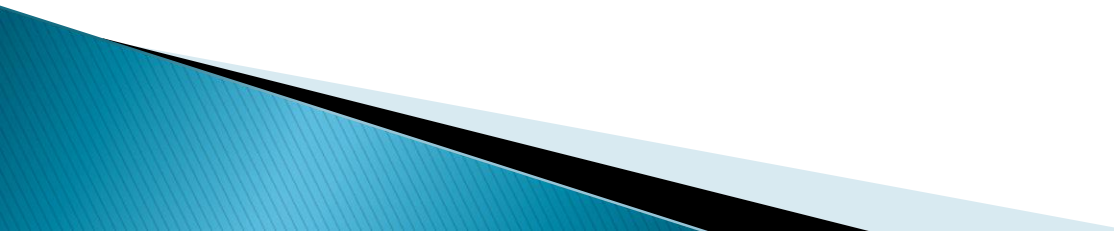


# 复杂网络的混沌与律动

陈国荣 博士

2015.1.26

# 目录

- ▶ 开场白
  - ▶ 个人和团队介绍
  - ▶ 复杂系统中的关系网络
  - ▶ 应用场景及前景
- 

# 1、开场白

- ▶ 2014年11月12日，是一个需要我永远铭记的日子，王东博士一行亲自前往重庆科技学院传经送宝，让我和我的团队受益匪浅，在此再次表示感谢。
- ▶ 这次来的核心任务是带着虔诚的心继续向王老师及在座各位学习、取经。
- ▶ 王老师要我谈一下我的研究方向，我感觉是诚惶诚恐，但王老师交代了，我只好硬着头皮上了，希望大家指教和拍砖。

## 2、个人介绍

- ▶ 陈国荣，1974年9月生，博士/教授/博士生导师
- ▶ University of Ottawa访问学者
- ▶ 流程工业在线分析与控制重庆市高校重点实验室常务副主任
- ▶ 重庆市科技创新领军人才
- ▶ 重庆市政府特聘安全生产专家
- ▶ 重庆市“十二五”制造业信息化专家组专家
- ▶ 国家标委会技术创新专家库成员
- ▶ 国家中小企业创新发展委员会专家
- ▶ 全国高校制造自动化研究会理事
- ▶ 中国石油天然气行业专家库专业研究员

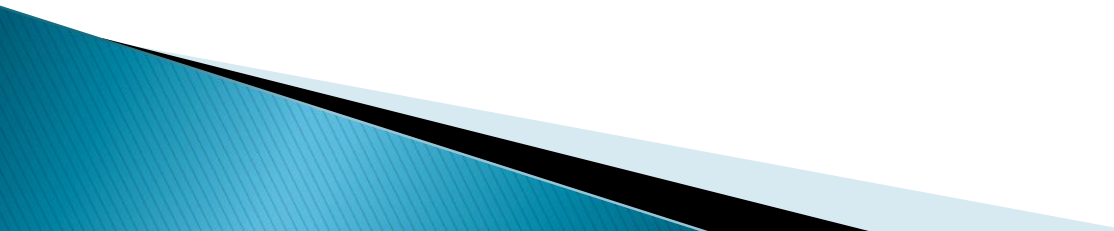
- ▶ 主要研究方向为复杂网络、生产安全信息化
- ▶ 近5年：
  - 发表SCI/EI收录论文30篇，其中SCI 3篇
  - 申报专利7项，其中发明专利3项
  - 获重庆市科技进步奖二等奖等3项
  - 承担国家自然科学基金、国家安监总局重大项目、重庆市发改委重大产业化前期项目等12项。

# 研究团队主要成员

- ▶ 方向：生产安全信息化
  - 利节博士：生产安全物联技术
  - 胡刚博士：安全生产与故障诊断
  - 李忠硕士：软件工程师
  - 冯骊骁硕士：嵌入式系统开发
  - 何兰老师：财务管理

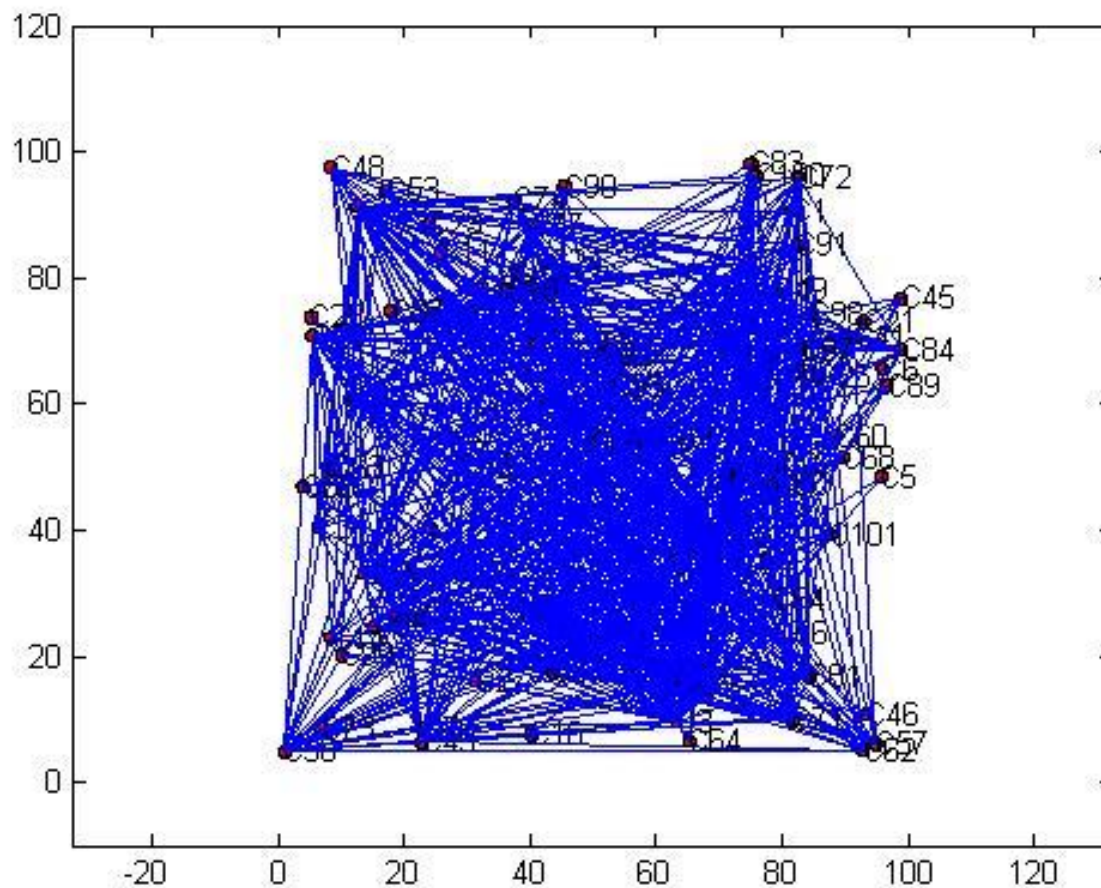
# 3、复杂系统的例子

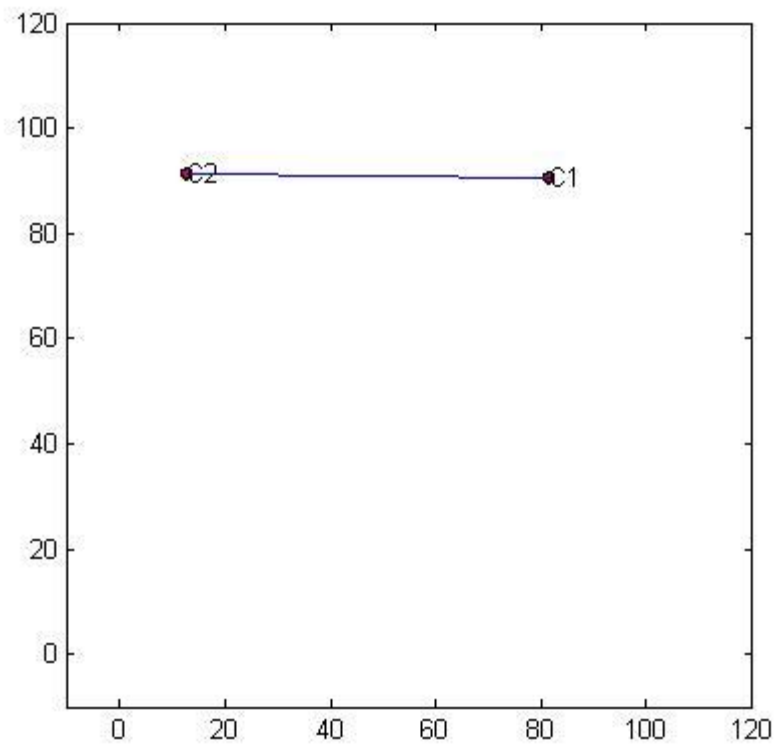
- ▶ Case1：年终了，某单位给员工发奖金，可以选择的方案有2种，一是给每个人发一样多，另一种方案是按劳分配，大家觉得那种方案好呢？
- ▶ Case2：在一个大型的物流网络中，对资源进行配置，是各个物流中心同样配置好呢还是区分重点呢？
- ▶ Case3：在一个制造系统中，对各台机器加工任务的分配，是均分好呢还是有一定区分度分配好？
- ▶ Case4：26个英文字母的使用频率是相同的吗，语音分析研究重点字母应是哪些？

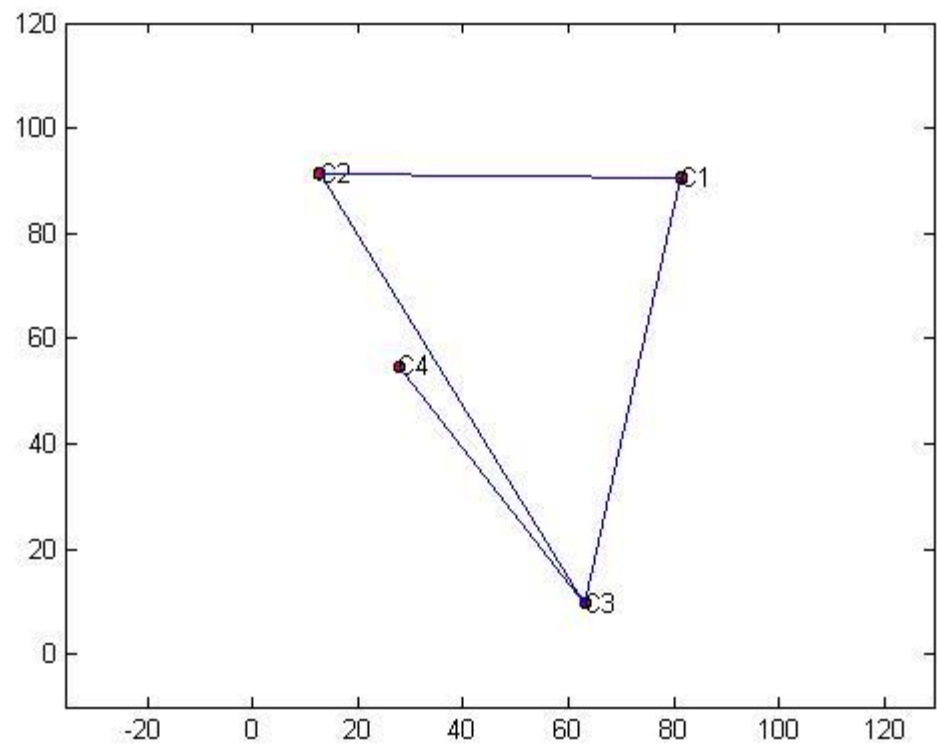
- ▶ 上面的四个cases在大样本的时候，看起来非常复杂，但有一个共同点：均匀分布和非均匀分布的决策问题，
  - ▶ 用拓扑学术语叫均匀网络和非均匀网络的问题。
  - ▶ 下面以物流网络的建模为例，看看它的发展过程：
- 

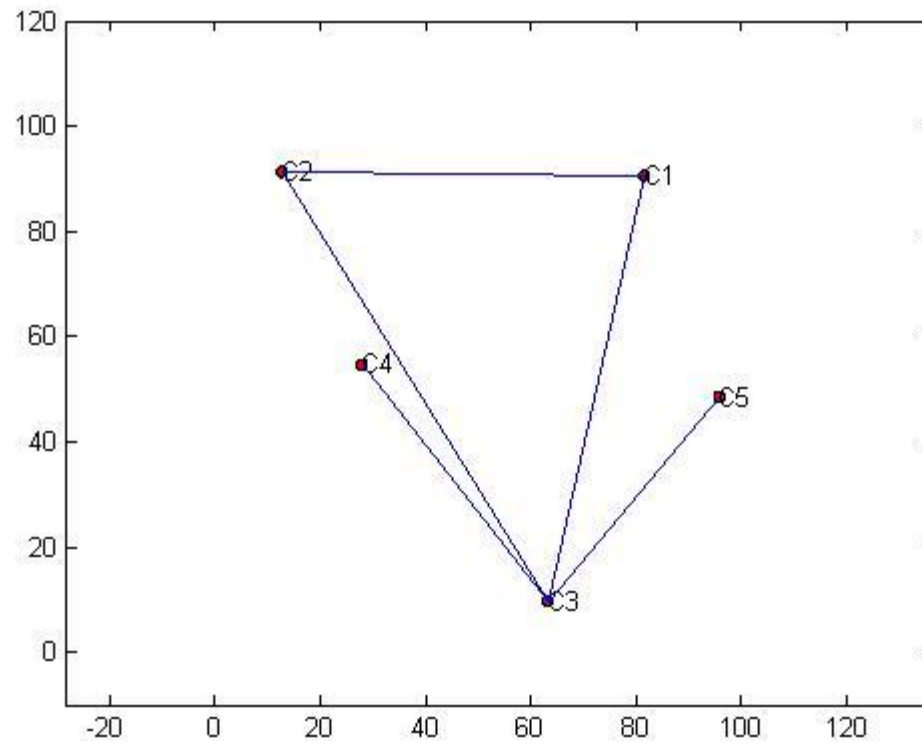


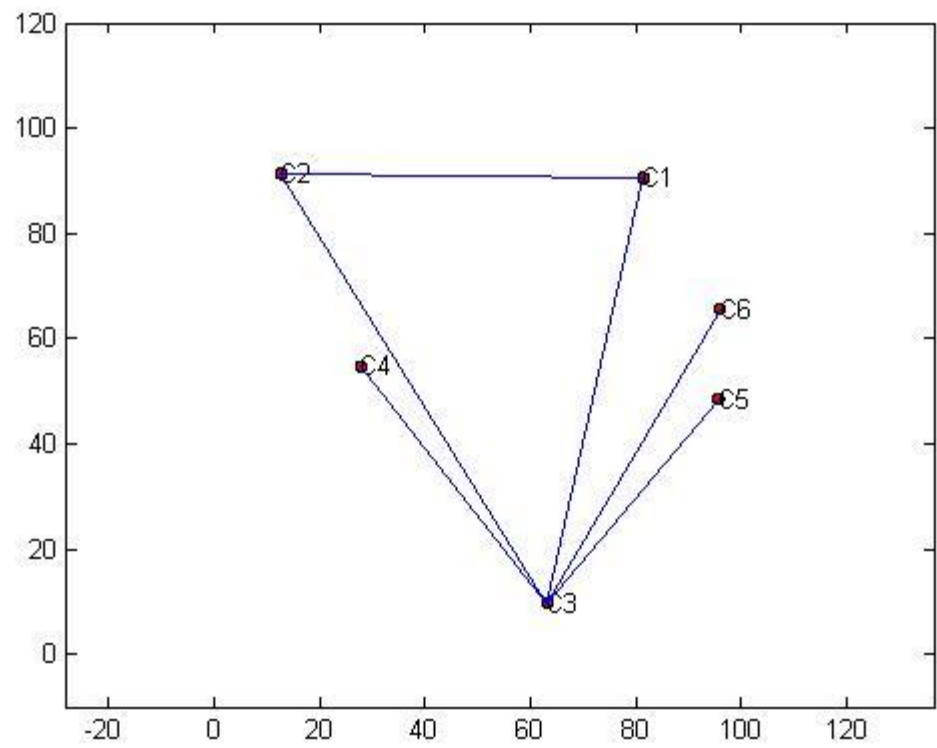
# 混沌or律动？

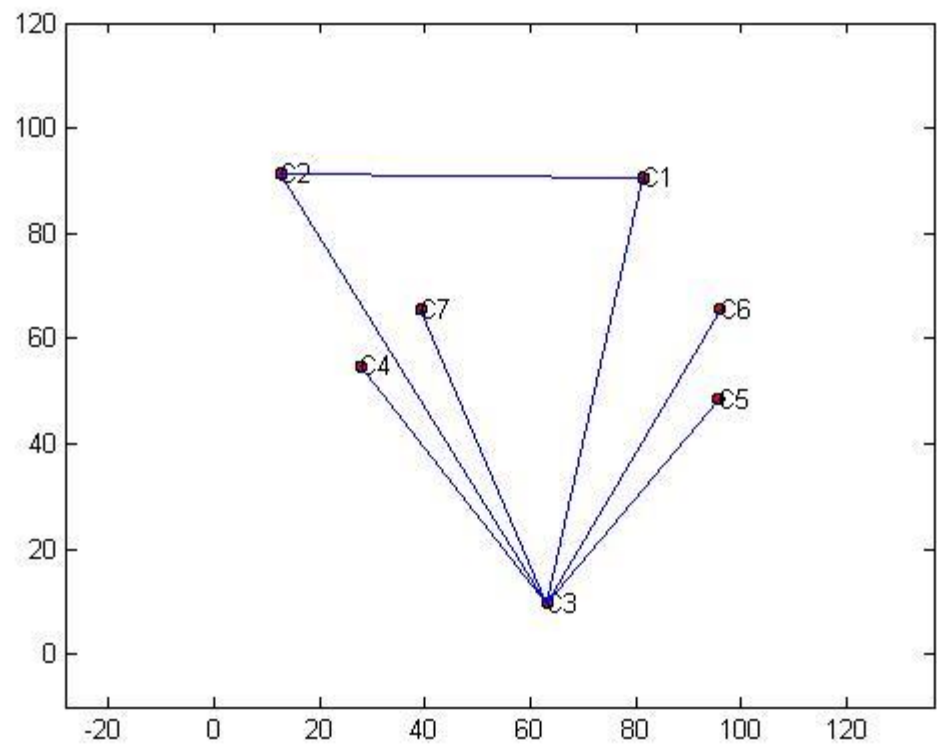


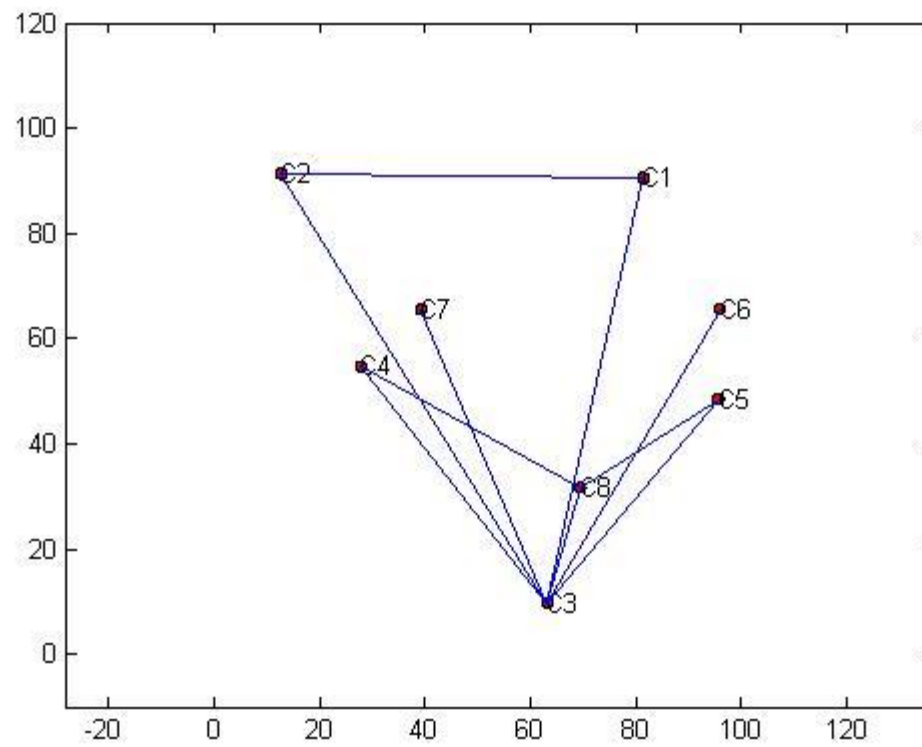


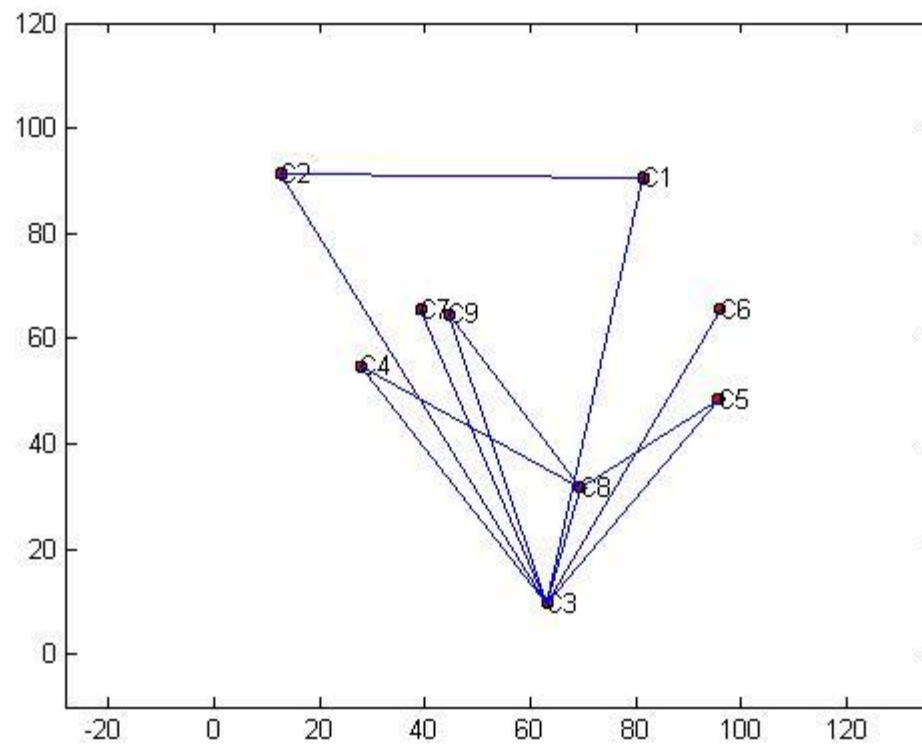




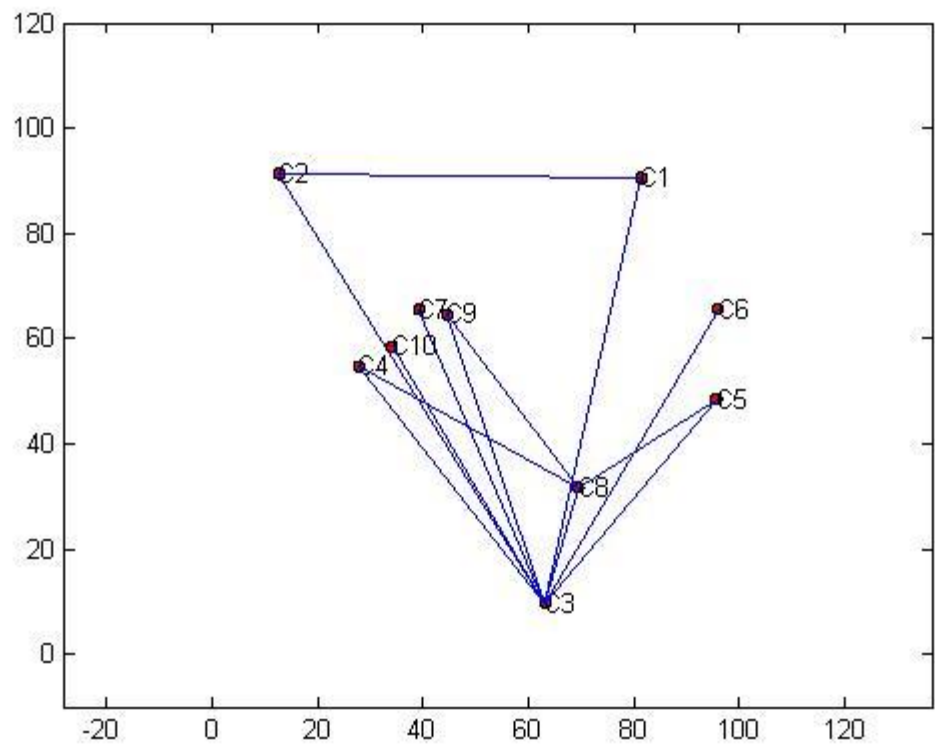


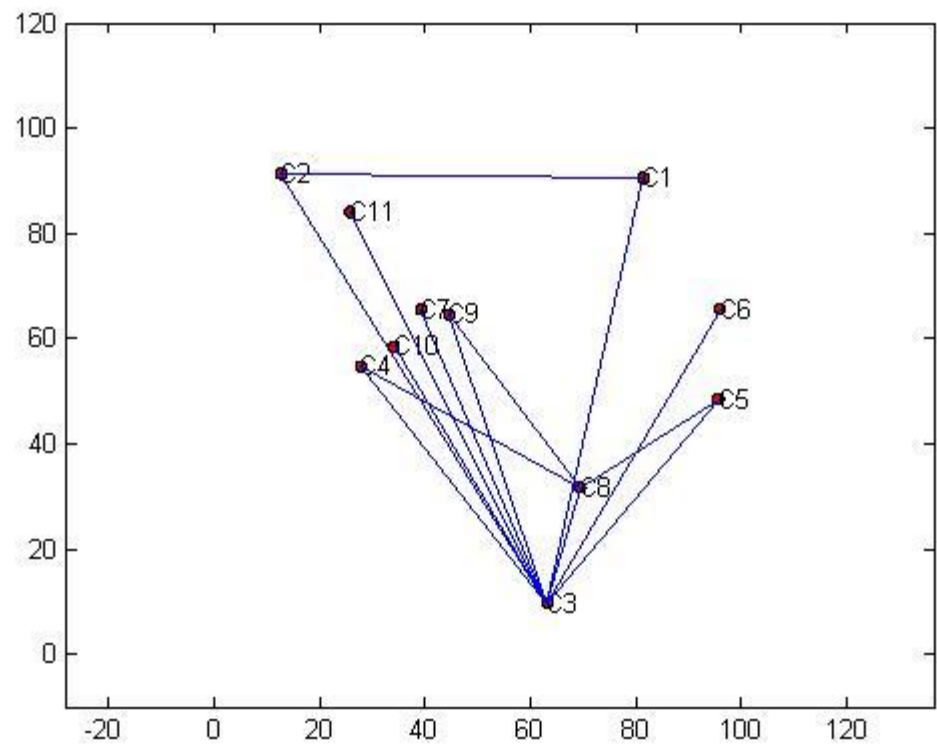


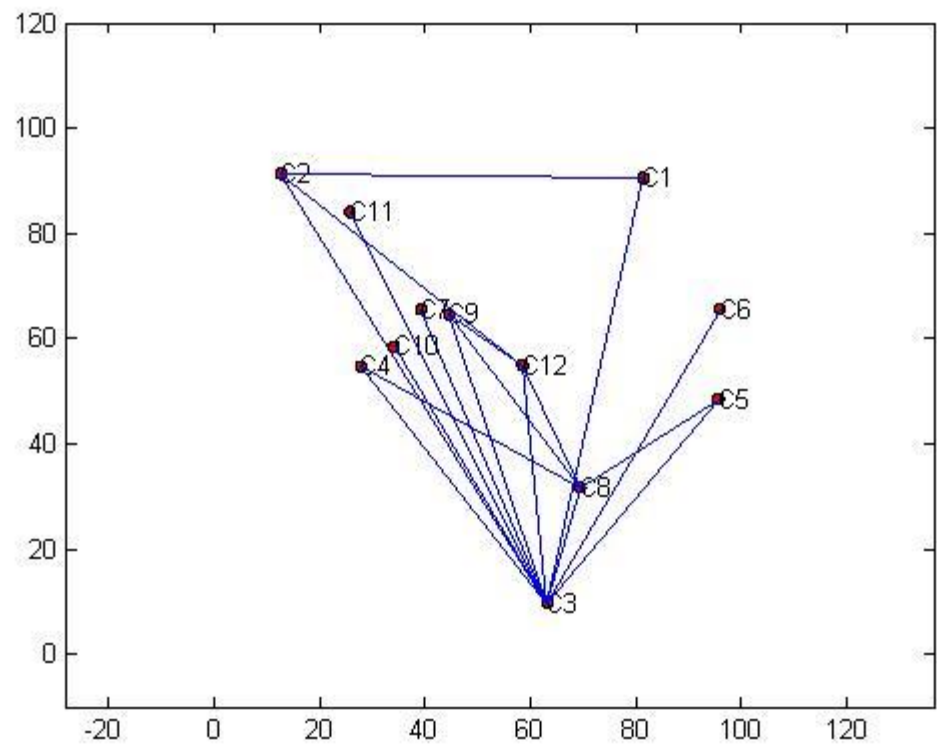


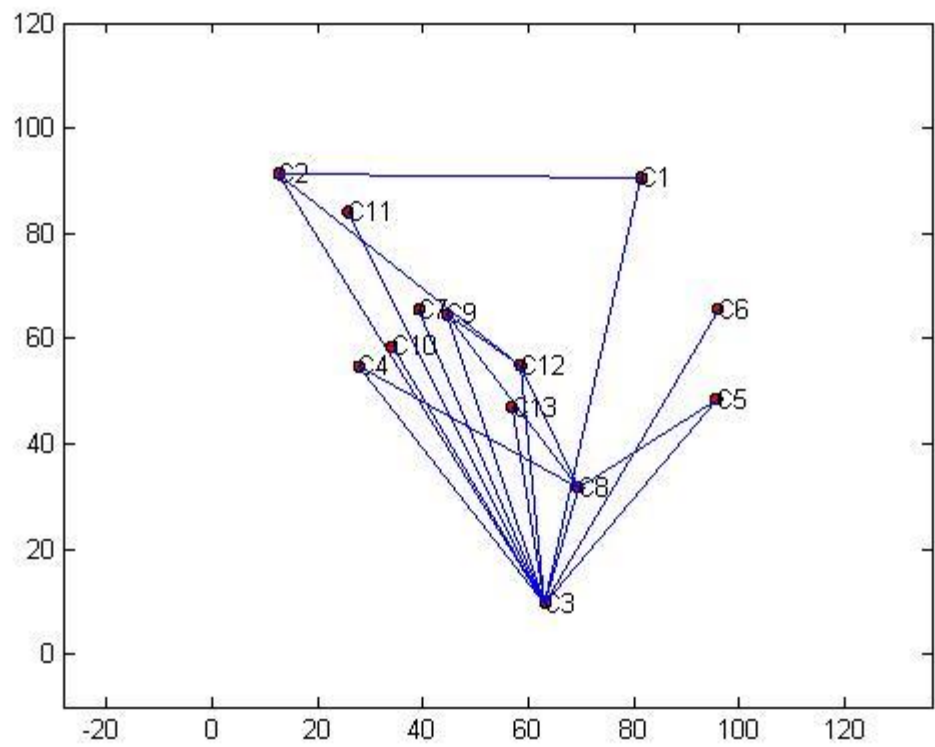


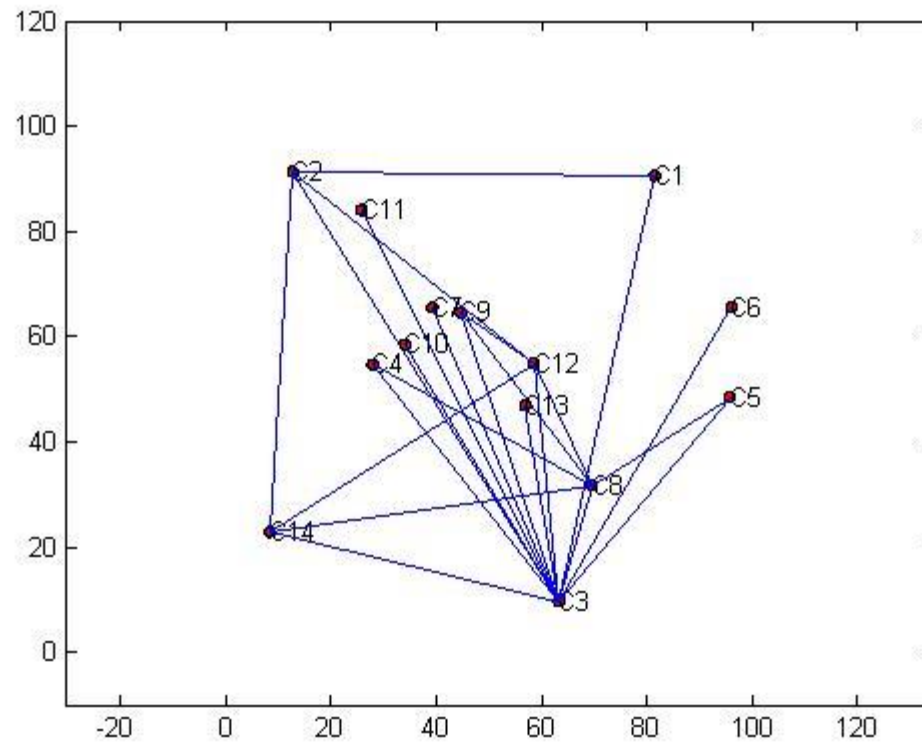


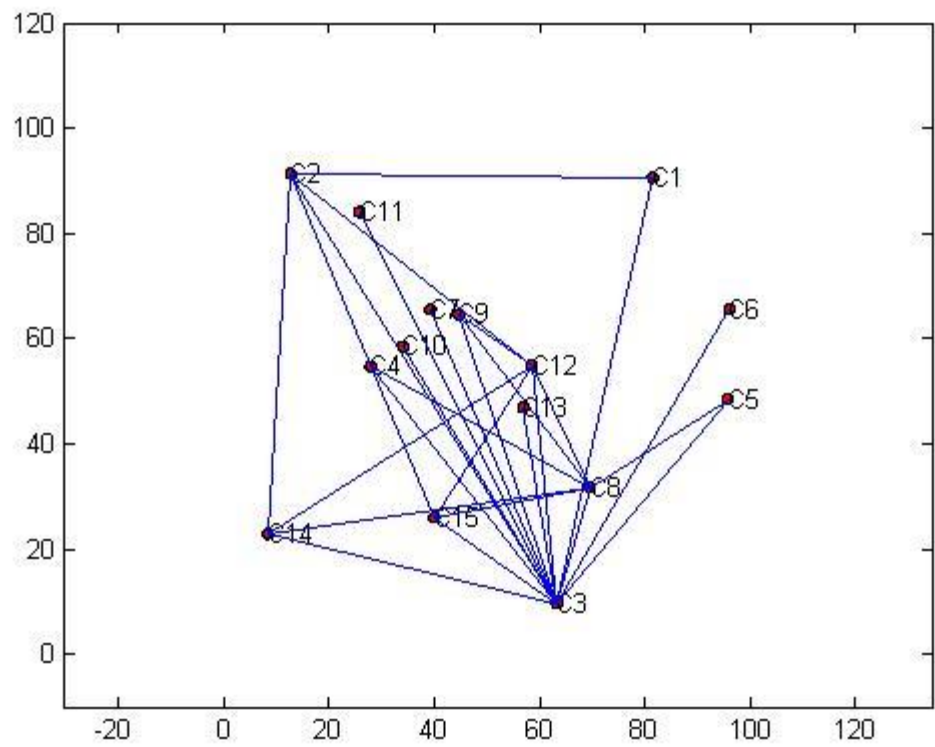


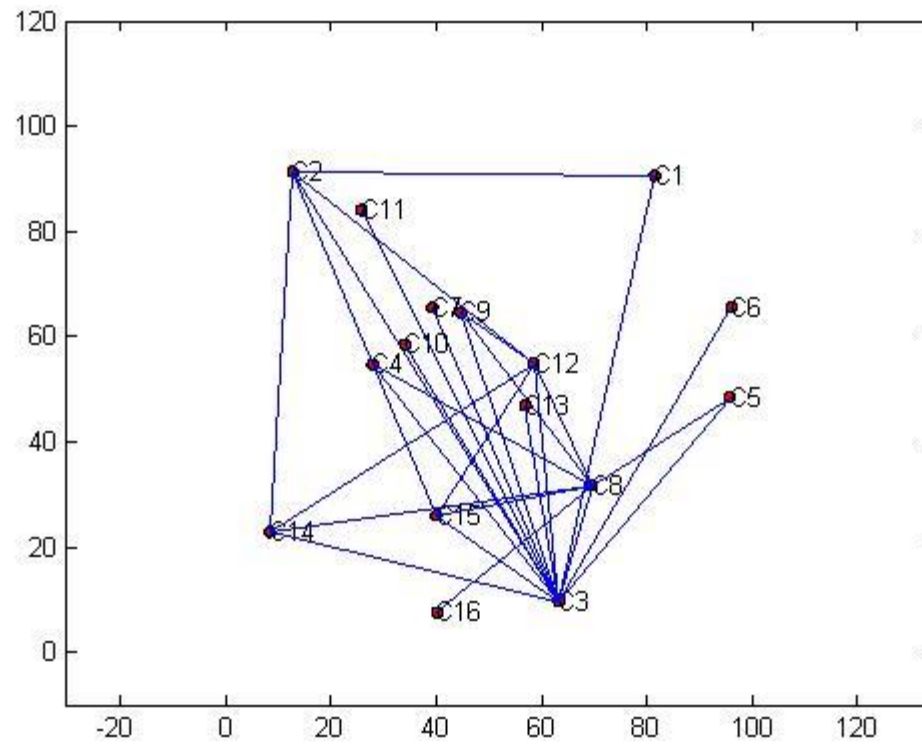


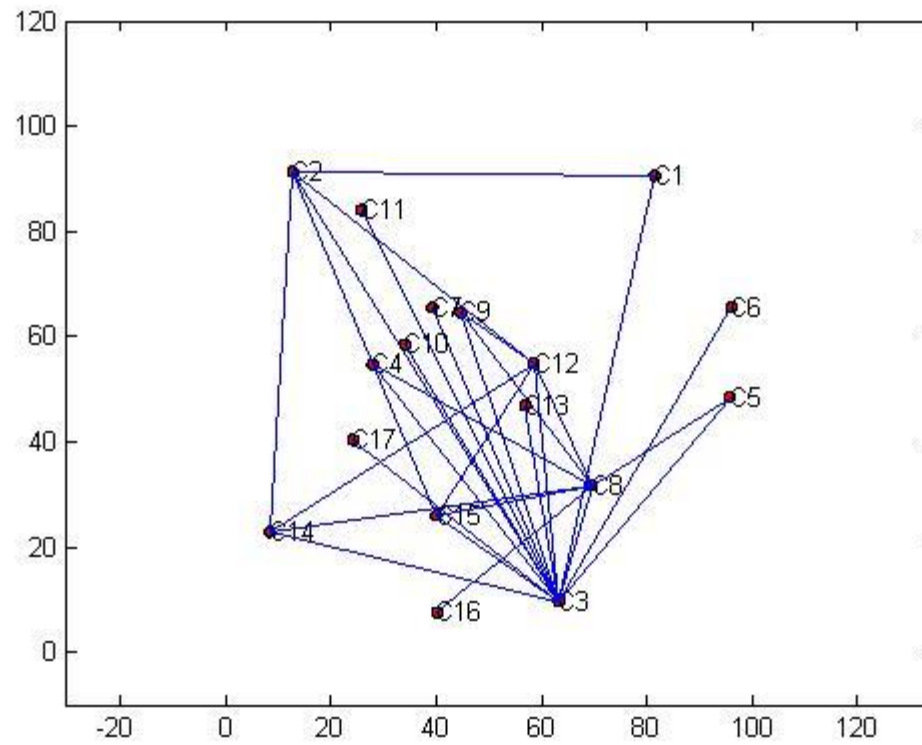




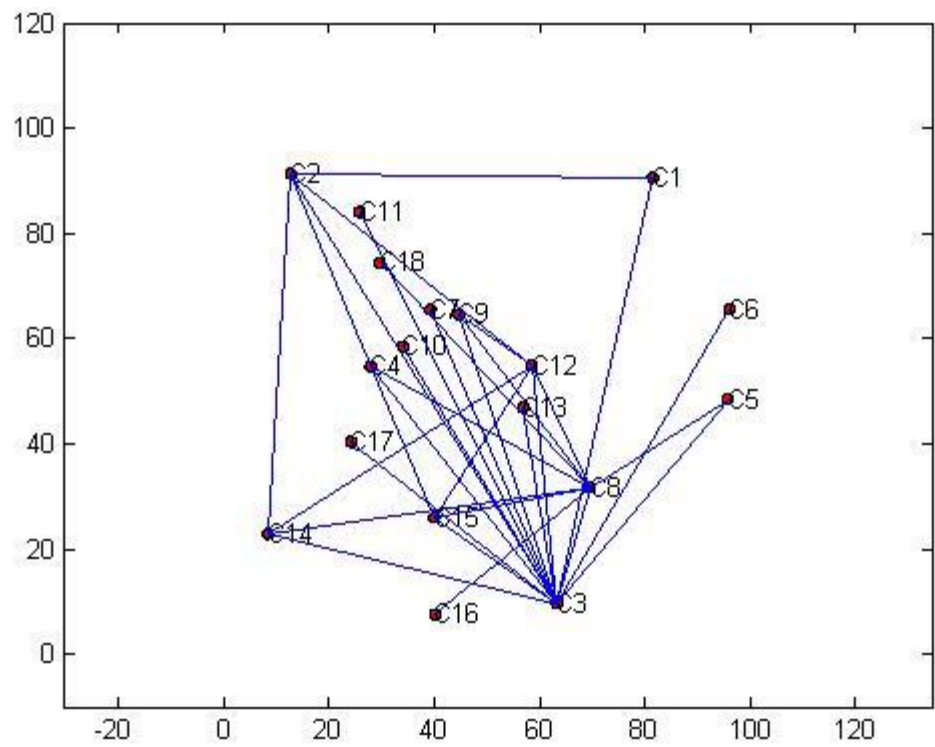


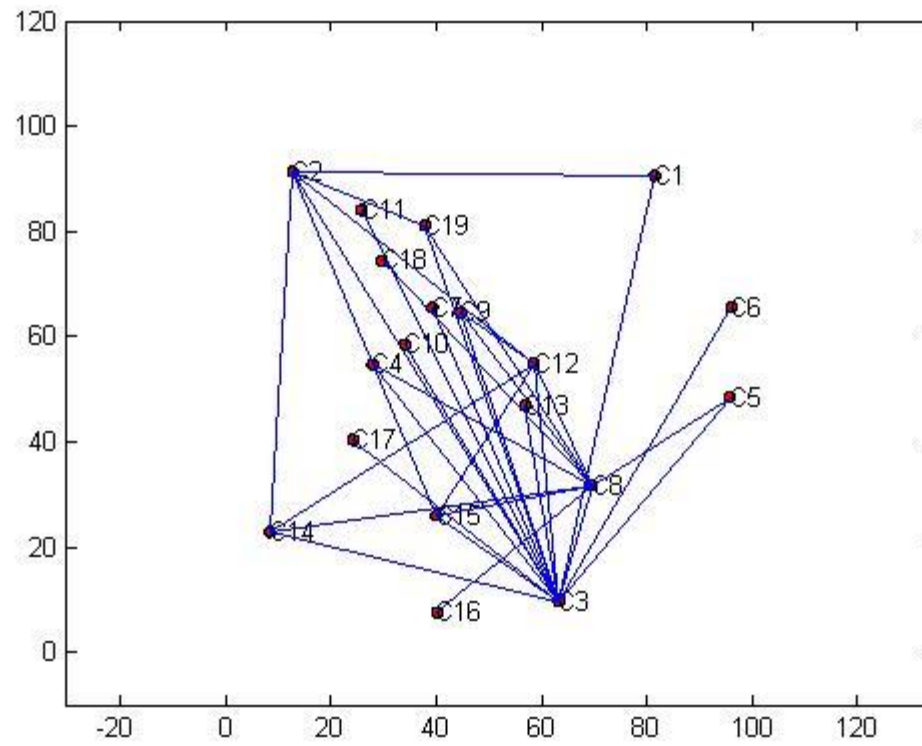


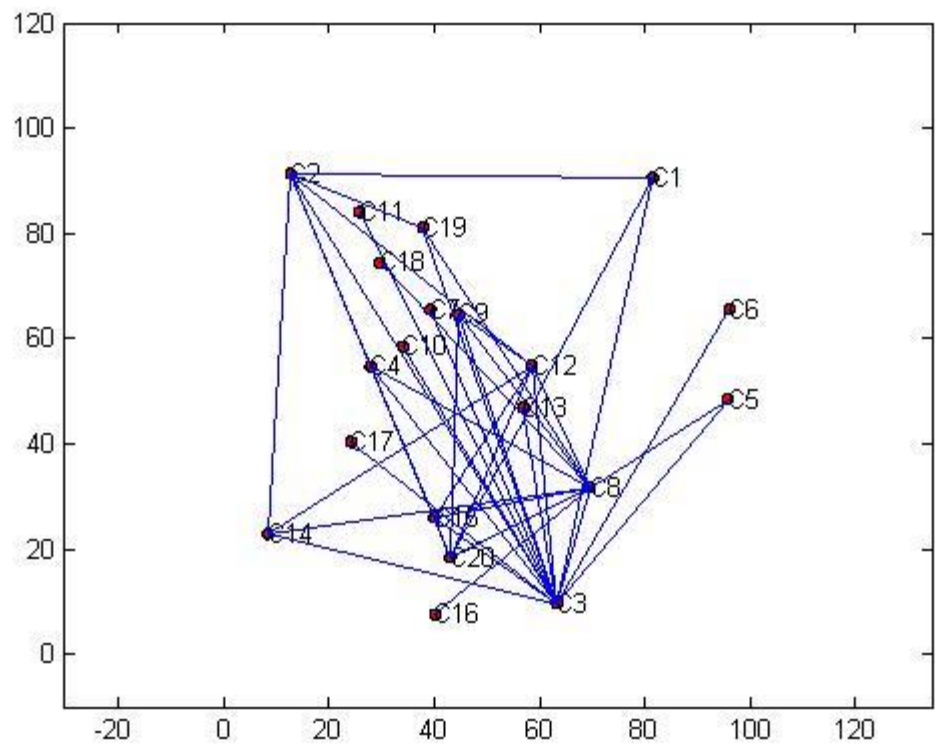


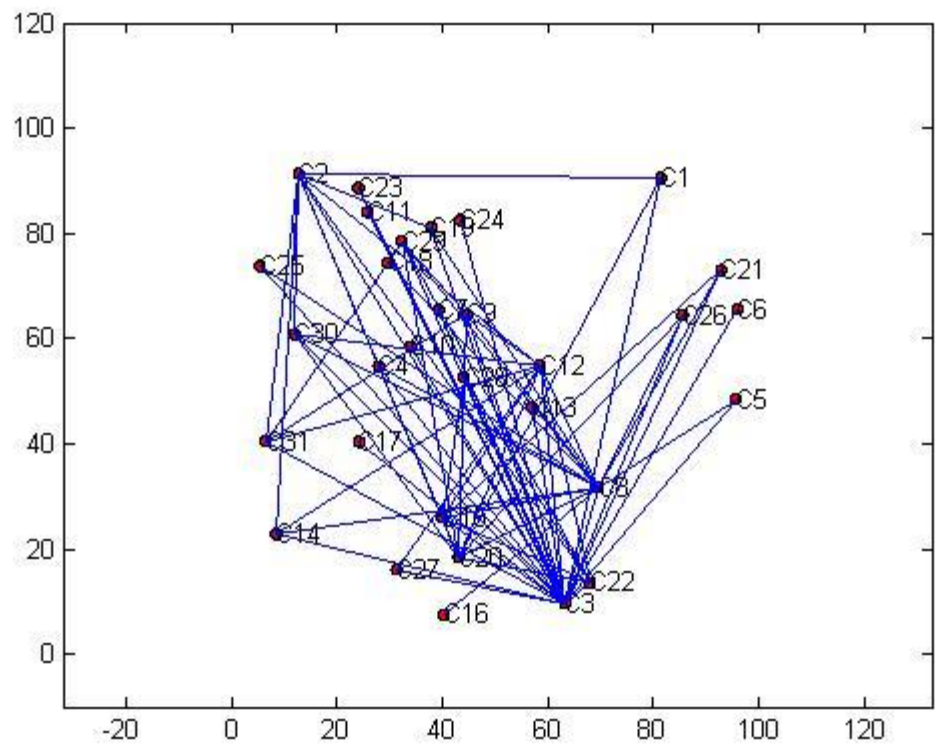


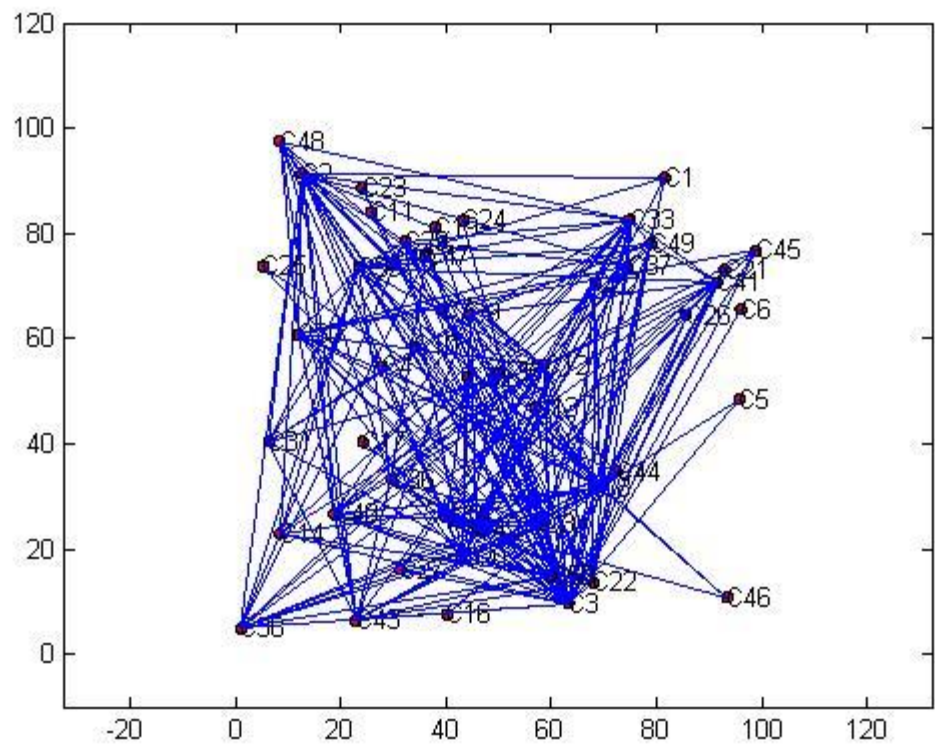


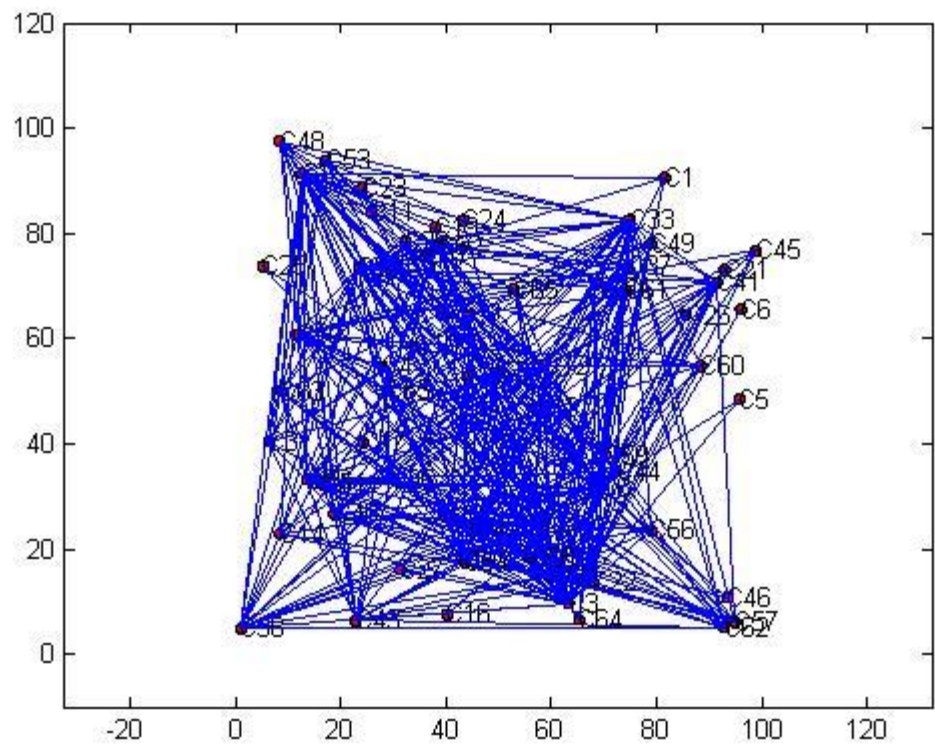




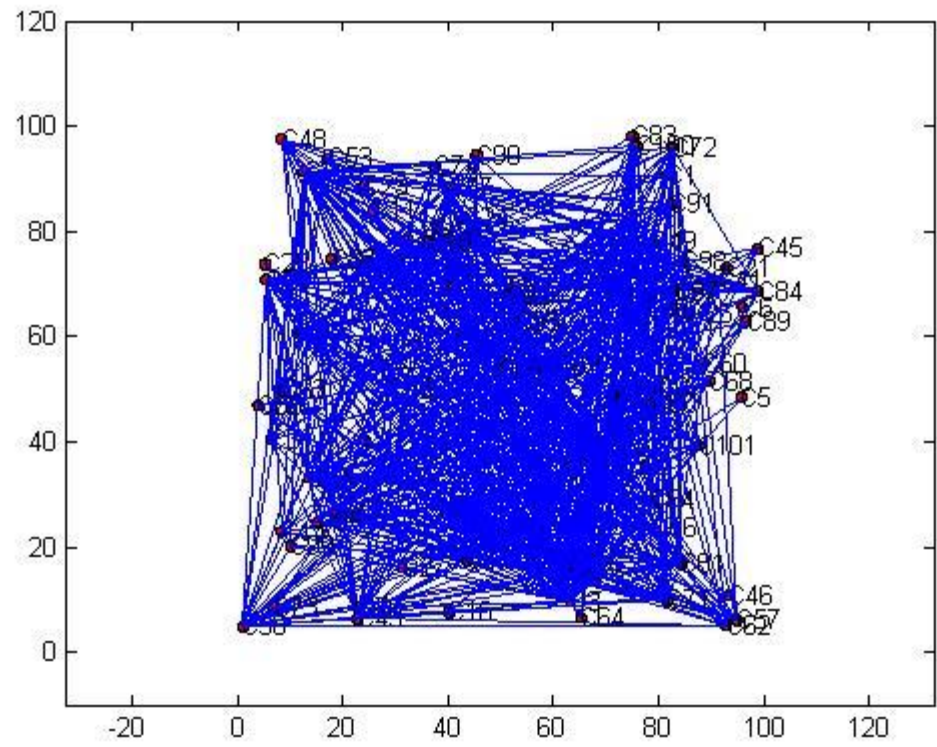




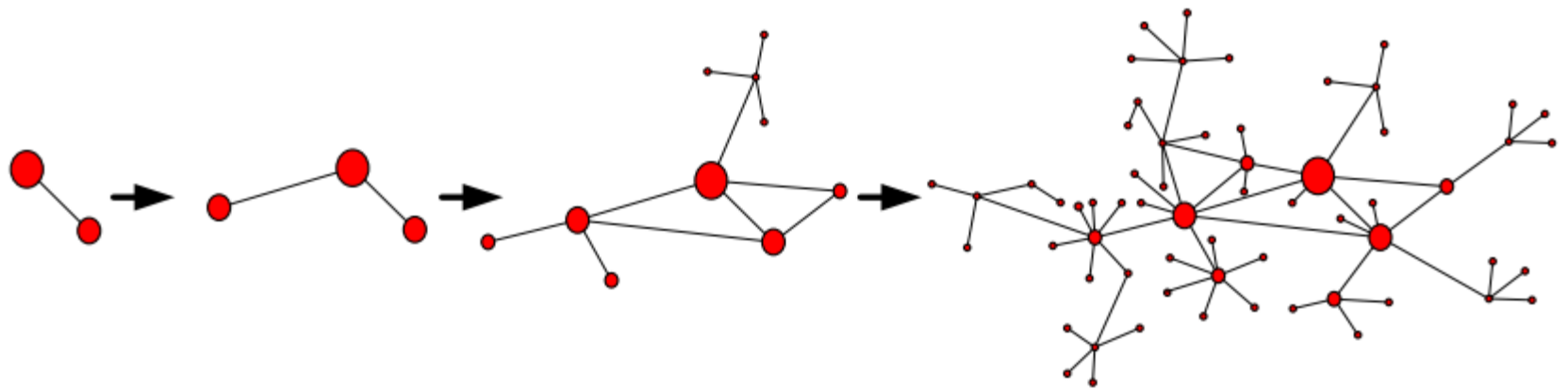












# 能否找到规律？

- ▶ 分析1：假定网络中现有  $N$  个结点，一新结点欲加入该网络，如果  $p_i$  为新结点与原有结点  $i$  的连接概率，则有：

$$p_i = \frac{k_i}{\sum_{j=1}^N k_j}$$

- ▶ 其中， $\sum_{j=1}^N p_j = 1$

## ▶ 问题1：

- 在连接的过程中，原来结点度（连接边数）最大的结点和新结点连接的概率一定会最大，由此会形成一种单峰图，但实际的情况不是这样的。

## ▶ 进一步分析和改进：

- 在新结点加入网络时，决定连接优先序的除了结点度外，还有边的权重，例如物流网络中的距离、成本什么的，也起到重要作用。

- ▶ 分析2：加入边权重后，新的概率计算公式为：

$$p_i = \frac{k_i^\lambda e_i^{1-\lambda}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N k_{ij}^\lambda e_{ij}^{1-\lambda}}$$

- ▶ 满足：
$$\sum_{j=1}^N p_j = 1 \quad , \quad 0 \leq \lambda \leq 1$$

- ▶ 其中， $k_i$  为结点  $i$  的度， $e_{ij}$  为边的权重， $\lambda$  为调节参数。

- ▶ 上述公式变成一个双参数决定的概率计算函数，
- ▶ 为简化计算，假定物流网络起源于互连的2个结点，每隔单位时间增加一个新的结点，该结点需要和1个现有结点相连，则经过时间 $t$ 后，结点的数量增长为 $t+1$ ，边的数量为 $t$ ，网络总的度为 $2t$ ，如果按照结点的生成时间对结点进行编号，则：

$$p(k, x, t + 1) = \frac{1}{t + 1} p(k - 1, x, t) + \left(1 - \frac{1}{t + 1}\right) p(k, x, t)$$

- ▶  $p(k, x, t)$  表示结点  $x$  在时刻  $t$  的度为  $k$ ，上式意味着新结点加入后，结点度增加 1 的概率为  $\frac{1}{t + 1}$ ，保持不变的概率为

$$1 - \frac{1}{t + 1}$$

- ▶ 其中：  $p(k; x = 0; 1; t = 1) = \psi_{k,1}$
- ▶  $p(k; x = t; t \geq 1) = \psi_{k,1}$

- ▶ 整个网络的度为各结点度之和,

$$P(k, t) = \frac{1}{t+1} \sum_{s=1}^N p(k, x, t)$$

- ▶ 展开有:

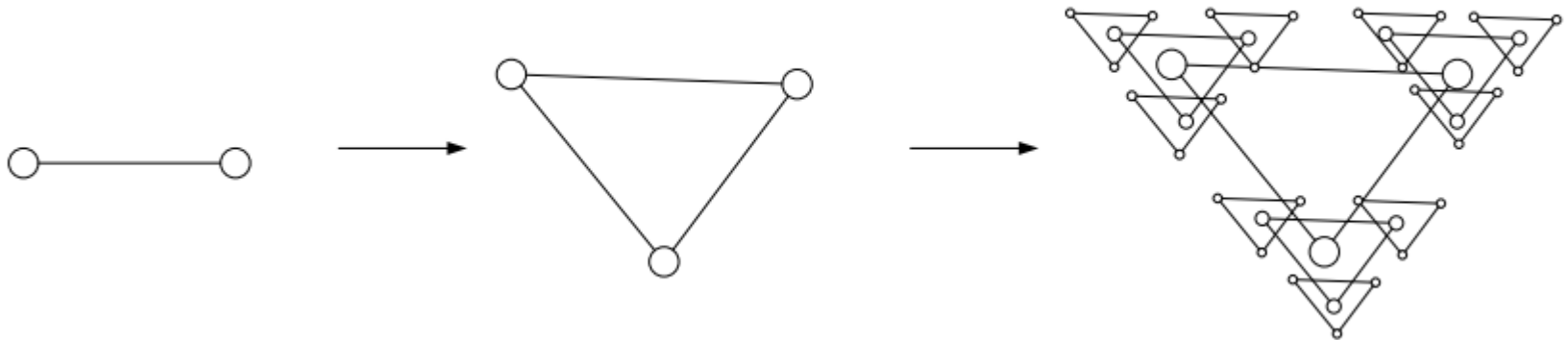
$$(t+1)P(k, t+1) = P(k-1, t) - (t-1)P(k, t) + \psi_{k,1}$$

- ▶ 当  $t \rightarrow \infty$

- ▶ 有:  $2P(k) = P(k-1) + \psi_{k,1}$

- ▶ 即:  $P(k) = 2^{-k}$

- ▶ 上式表明：这个模型构造出来的网络属于一种幂律网络（指数网络），网络中结点度的分布并不均匀，某些结点具有较大的度，大多数结点却只有很少的连接，具有马太效应特点，与传统的均匀网络或泊松分布网络完全不一样。
- ▶ 进一步的分析可得到：该物流网络还具有层次结构和局域聚类特性：





# 复杂网络 (Complex Network)

## ▶ 定义:

- 钱学森认为: 具有自组织、自相似、吸引子、小世界、无标度中部分或全部性质的网络称为复杂网络。

## ▶ 表现

- 复杂网络简而言之即呈现高度复杂性的网络。其复杂性主要表现在以下几个方面:
- 1) 结构复杂, 表现在节点数目巨大, 网络结构呈现多种不同特征。
- 2) 网络进化: 表现在节点或连接的产生与消失。例如world-wide network, 网页或链接随时可能出现或断开, 导致网络结构不断发生变化。
- 3) 连接多样性: 节点之间的连接权重存在差异, 且有可能存在方向性。
- 4) 动力学复杂性: 节点集可能属于非线性动力学系统, 例如节点状态随时间发生复杂变化。
- 5) 节点多样性: 复杂网络中的节点可以代表任何事物, 例如, 人际关系构成的复杂网络节点代表单独个体, 万维网组成的复杂网络节点可以表示不同网页。
- 6) 多重复杂性融合: 即以上多重复杂性相互影响, 导致更为难以预料的结果。例如, 设计一个电力供应网络需要考虑此网络的进化过程, 其进化过程决定网络的拓扑结构。当两个节点之间频繁进行能量传输时, 他们之间的连接权重会随之增加, 通过不断的学习与记忆逐步改善网络性能。

## ▶ 内容

- 网络的几何性质
- 网络的形成机制
- 网络演化的统计规律
- 网络上的模型性质
- 网络的结构稳定性
- 网络的演化动力学机制等。

- ▶ 基本测度
  - ▶ 度 (degree) 及其分布特征
  - ▶ 度的相关性
  - ▶ 集聚程度及其分布特征
  - ▶ 最短距离及其分布特征
  - ▶ 介数(betweenness)及其分布特征
  - ▶ 连通集团的规模分布

## ▶ 特性

- 第一，**小世界**。它以简单的措辞描述了大多数网络尽管规模很大但是任意两个节（顶）点间却有一条相当短的路径的事实。以日常语言看，它反映的是相互关系的数目可以很小但却能够连接世界的事实，例如，在社会网络中，人与人相互认识的关系很少，但是却可以找到很远的无关系的其他人。正如**麦克卢汉**所说，地球变得越来越小，变成一个**地球村**，也就是说，变成一个小世界。
- 第二，**集群**即集聚程度(clustering coefficient)的概念。例如，社会网络中总是存在熟人圈或朋友圈，其中每个成员都认识其他成员。集聚程度的意义是网络集团化的程度；这是一种网络的内聚倾向。连通集团概念反映的是一个大网络中各集聚的小网络分布和相互联系的状况。例如，它可以反映这个朋友圈与另一个朋友圈的相互关系。
- 第三，**幂律**（power law）的度分布概念。度指的是网络中某个顶（节）点（相当于一个个体）与其它顶点关系（用网络中的边表达）的数量；度的相关性指顶点之间关系的联系紧密性；介数是一个重要的全局几何量。顶点u的介数含义为网络中所有的最短路径之中，经过u的数量。它反映了顶点u（即网络中有关联的个体）的影响力。无标度网络（Scale-free network）的特征主要集中反映了集聚的集中性。

# 4、应用场景及前景

- ▶ 产业规划
- ▶ 网络分析
- ▶ 合作网络
- ▶ 智能电网
- ▶ 交通网络
- ▶ 生产系统
- ▶ 生产系统分析与瓶颈分析



## ▶ 应用场景2：制造企业的管理结构分析

**谢谢，请指教。**