

---

## 边 (Edge)

### 定义

在网络科学中，**边 (Edge)** 是连接图中两个节点 (Node) 的线，代表实体之间的相互作用或关系。边可以是有向的，也可以是无向的，这取决于实体间的相互作用是否具有方向性。边还可以带有权重，表示关系的强度或频率。

- **数学定义**

在图论中，边是图的基本组成部分之一。图是由节点和边组成的，其中节点表示图中的实体，边表示实体之间的关系。对于一个无向图  $G = (V, E)$ ，其中  $V$  是节点集， $E$  是边集。边  $e$  可以表示为一个二元组  $(u, v)$ ，其中  $u, v \in V$  表示边  $e$  连接的两个节点。对于一个有向图  $G = (V, E, A)$ ，其中  $V$  是节点集， $E$  是边集， $A$  是边权重矩阵。边  $e$  可以表示为一个三元组  $(u, v, w)$ ，其中  $u, v \in V$  表示边  $e$  连接的两个节点， $w \in A$  表示边  $e$  的权重。<sup>[1]</sup>

### 类型

边可以根据不同的属性进行分类，例如：

- **方向**: 边可以是有向的或无向的。有向边表示关系具有方向性，例如从节点  $A$  指向节点  $B$ ；无向边表示关系没有方向性，例如节点  $A$  和节点  $B$  之间的友情关系。
- **权重**: 边可以具有权重，表示关系的强度或重要性。例如，在社交网络中，边可以表示朋友关系的强度，权重越高表示关系越强。
- **关系**: 边可以根据其表示的关系类型进行分类，例如朋友关系、合作关系、信息传递关系等。

---

## 属性

边可以具有各种属性，例如：

- **名称**: 边的名称可以是唯一的标识符，也可以是描述边特征的文本。
- **属性**: 边可以具有各种属性，例如时间、距离、成本等。
- **状态**: 边可以具有不同的状态，例如激活、休眠、删除等。

## 相关应用

### 链路预测

链路预测是网络科学中的一项关键任务，旨在预测网络中哪些节点之间可能会形成新的连接。这一任务对于理解网络的演化、推荐系统、社交网络分析、生物网络等领域都具有重要意义，它有助于揭示网络中的潜在关系和动态变化。链路预测的方法主要基于网络的拓扑结构和节点属性，可以分为两大类：基于相似度的方法和基于模型的方法。

- **基于相似度的方法**

- **共同邻居**: 两个节点的共同邻居数量越多，它们之间形成连接的可能性越大。
- **Jaccard 系数**: 两个节点的共同邻居数与它们各自邻居数之和的比值。
- **Katz 指数**: 通过所有路径（不仅仅是最短路径）来衡量节点间的相似性。

- **基于模型的方法**

- **优先连接模型**: 节点间形成连接的概率与节点的度或其他属性有关。
- **资源分配模型**: 模拟资源如何在网络中分配。
- **随机图模型**: 基于随机过程生成网络，如 ER 模型<sup>[2]</sup>、WS 模型等<sup>[3]</sup>。

- 
- **指数随机图模型 (ERGM)**：通过最大化网络的似然函数来估计网络参数。
  - **基于机器学习的模型**：使用机器学习算法来预测链路，可以处理复杂的非线性关系。

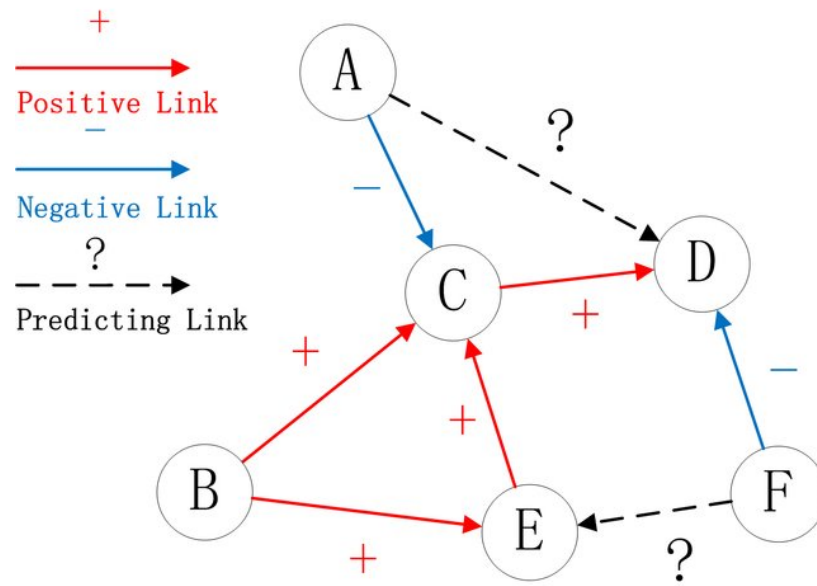


Figure 1: 链路预测<sup>[4]</sup>

---

## References

- [1] E.A.B.S.G. Williamson. *Lists, Decisions and Graphs*. S. Gill Williamson. URL: [https://books.google.com/books?id=vaXv\\_yhefG8C](https://books.google.com/books?id=vaXv_yhefG8C).
- [2] P ERDdS and A R&wi. “On random graphs I”. In: *Publ. math. debrecen* 6.290-297 (1959), p. 18.
- [3] Duncan J Watts and Steven H Strogatz. “Collective dynamics of ‘small-world’ networks”. In: *nature* 393.6684 (1998), pp. 440–442.
- [4] Feng Liu et al. “Deep Belief Network-Based Approaches for Link Prediction in Signed Social Networks”. In: *Entropy* 17 (Apr. 2015), pp. 2140–2169. DOI: 10.3390/e17042140.