

结果为这 100 次计算结果的平均值。对于每次实验，先从网络中随机选择给定数目的节点作为传播的初始源节点，然后利用 SIR 模型来模拟传播，模拟传播的具体过程如图 4.5。在传播过程持续一段时间后，根据已知的网络结构信息和感染节点状态信息运用权值传播算法检测网络中的恢复节点。

(2) 评价指标

我们采用机器学习领域中常用的几个评价指标来度量权值传播算法检测出来的扩展感染网络与真实扩展感染网络之间的差距，以此来反映权值传播算法恢复扩展感染网络的性能。在机器学习、数据挖掘领域中，常常会用一些指标来评判算法的优劣，其中最常用的就是准确率(*Accuracy*)，简单来说就是

$$Accuracy = N_{pre} / N_{total} \quad (4-5)$$

上式中， N_{pre} 表示准确预测的样本数， N_{total} 表示测试集总的样本数。准确率有的时候过于简单，不能全面反应算法的性能，除了准确率，还有一些常用的指标，包括 F1 分数(*F1-score*)，召回率(*Recall*)和精确率(*Precision*)。

首先来看一个二分类问题，当我们将预测结果与实际结果比较时，会出现以下四种可能的情况：

表4.2 混淆矩阵

		预测		合计
		T	F	
实 际	P	True Positive (TP)	False Negative (FN)	Actual Positive(TP+FN)
	N	False Positive (FP)	True Negative (TN)	Actual Negative(FP+TN)
合计		Predicted Positive (TP+FP=P)	Predicted Negative (FN+TN=N)	TP+FP+FN+TN

第一种：事实为正例，也被判定为正例：True Positive(TP)，正确划分为正类；

第二种：事实为正例，却被判定为负例：False Negative(FN)，错误划分为负类；

第三种：事实为负例，也被判定为负例：True Negative(TN)，正确划分为负类；

第四种：事实为负例，却被判定为正例：False Positive(FP)，错误划分为正类；

根据这四种情况，我们可以定义：

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4-6)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{TP}{P} \quad (4-7)$$

$$F1-score = \frac{2TP}{2TP + FN + FP} = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (4-8)$$

可以看到，*Precision* 就是预测正确的正例数占预测为正例数据的比例，体现了模型

对负样本的区分能力，*Precision* 越高，说明预测算法对负样本的区分能力越强；*Recall* 就是预测为正例的数据占实际为正例数据的比例，体现了分类模型对正样本的识别能力，*Recall* 越高，说明对正样本的识别能力越强；*F1-score* 则是精确率和召回率的调和平均值，可以看作是准确率和召回率的一种权衡，它的最大值是 1，表示模型是完美的模型，最小值是 0，表示模型是完全相反的模型，*F1-score* 越高说明预测算法越好，分类越准确。*F1-score* 的值同时受到准确率、召回率的影响，单纯地追求准确率或召回率的提升没有太大意义。

(3) 实验结果与分析

表 4.3 给出了 SIR 模型下权值传播算法在 Power Grid 以及两个 PPI 网络上的检测结果，其中 *Precision* 值表示由权值传播算法检测出来的扩展感染网络中属于真实扩展感染网络的节点个数与检测出来的扩展感染网络的总节点数的比值，相应的，*Recall* 值表示由权值传播算法检测出来的扩展感染网络中属于真实扩展感染网络的节点数与真实扩展感染网络的总节点数的比值。*F1-score* 则是这两个比值的调和平均值，反映算法的综合性能，我们主要以 *F1-score* 为主要评价指标。

表4.3 权值传播算法检测结果

实验设置		<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-score</i>
网络	源点个数			
Power Grid	K=2	0.9429	0.8240	0.8743
	K=3	0.9366	0.8614	0.8951
	K=4	0.9279	0.8478	0.8837
	K=5	0.9328	0.8256	0.8732
PPI-1	K=2	0.8672	0.8356	0.8432
	K=3	0.8611	0.8516	0.8526
	K=4	0.8552	0.8600	0.8552
	K=5	0.8614	0.8636	0.8606
PPI-2	K=2	0.6452	0.9233	0.7463
	K=3	0.7131	0.9312	0.7987
	K=4	0.7575	0.9366	0.8302
	K=5	0.7992	0.9314	0.8564

从表 4.3 来看，权值传播算法在三种网络上都可以取得很好的检测结果。以 Power Grid 网络为例，源点个数从 2 到 5，算法的 *Precision* 值都在 0.9 以上，说明检测出来