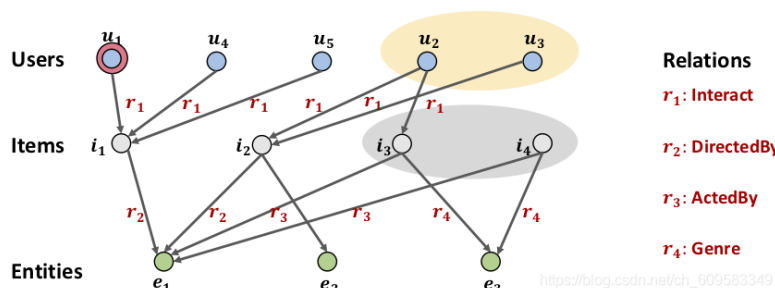


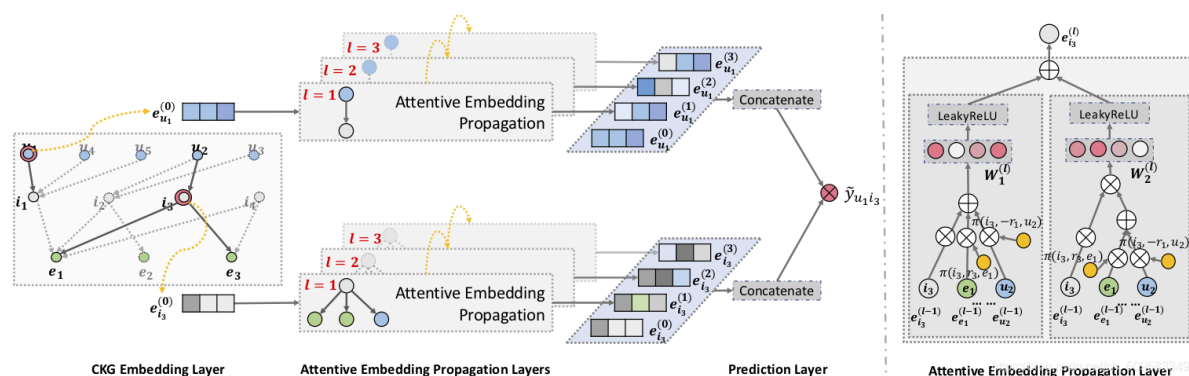
解决的问题

在推荐系统中，如何将用户-物品交互信息与物品自身的属性相结合以做出更好的推荐，从另一个角度来说，即如何融合用户-物品交互图与知识图谱



以上面的图为例，在电影推荐场景中，用户对应于观众，物品对应于电影，实体Entities可以有多种含义，例如导演、演员、电影类别等，对应的就会有多种关系，对应图中的 $r_1 - r_4$ 。对于用户 u_1 ，协同过滤更关注于他的相似用户，即同样看过 i_1 的 u_4 与 u_5 ；而有监督学习方法例如因子分解机等会更关注物品之间的联系，例如 i_1 与 i_2 同样有着属性 e_1 ，但它无法进一步建模更高阶的关系，例如图中黄色圈内的用户 u_2 与 u_3 观看了同一个导演 e_1 的电影 i_2 ，而这名导演 e_1 又作为演员参演了灰色圈内的电影 i_3 与 i_4 。图中上半部分对应于用户-物品交互图，下半部分对应于知识图谱。

做法及创新



CKG Embedding Layer

知识图谱的一般形式可以表示为三元组的集合 $\{(h, r, t)\}$ ，表示头实体 h 与尾实体 t 之间有关系 r ，例如(Hugh Jackman, ActorOf, Logan)表示狼叔是电影罗根的演员，这是一种主动的关系，自然就有逆向的被动关系。而对于用户-物品交互信息来说，通常的表示形式为一个矩阵 R ， R_{ui} 表示用户 u 与物品 i 的关系，有交互则值为1，否则为0。因此，为了统一两种表示形式，论文中将用户-物品交互信息同样改成三元组的集合 $\{(u, \text{Interact}, i)\}$ ，这样一来得到的统一后的新图称之为Collaborative Knowledge Graph (CKG)。

第一个步骤是对CKG做embedding，得到图中顶点和边的向量表示形式。论文使用了知识图谱中常用的一个方法TransR，即对于一个三元组 (h, r, t) ，目标为：

$$e_h^r + e_r \approx e_t^r$$

其中 $e_h, e_t \in \mathbb{R}^d$ 、 $e_r \in \mathbb{R}^k$ 分别为 h 、 t 、 r 的embedding，而 e_h^r, e_t^r 为 e_h 、 e_t 在 r 所处空间中的投影，损失函数定义为：

$$g(h, r, t) = \|W_r e_h + e_r - W_r e_t\|_2^2$$

值越小说明该三元组在知识图谱中更可能存在，即头实体 h 与尾实体 t 之间更可能有关系 r 。经过这一步骤之后，CKG中所有的顶点及边我们都得到了它们的embedding。

Attentive Embedding Propagation Layers

第二个步骤直接用的GCN与GAT的想法，在一层embedding propagation layer中，利用图卷积网络在邻域中进行信息传播，利用注意力机制来衡量邻域中各邻居顶点的重要程度。再通过堆叠 l 层来聚合 l 阶邻居顶点的信息。

在每一层中，首先将顶点 h 的邻域以向量形式表示，系数 $\pi(h, r, t)$ 还会进行softmax归一化：

$$e_{N_h} = \sum_{(h,r,t) \in N_h} \pi(h, r, t) e_t$$

$$\pi(h, r, t) = (W_r e_t)^T \tanh(W_r e_h + e_r)$$

通过堆叠 l 层来聚合 l 阶邻居顶点的信息：

$$e_h^{(l)} = f(e_h^{(l-1)}, e_{N_h}^{(l-1)})$$

$$= \text{LeakyReLU}(W_1(e_h + e_{N_h})) + \text{LeakyReLU}(W_2(e_h \odot e_{N_h}))$$

论文中所使用的聚合函数 f 在GCN与GraphSage的基础上，还额外地引入了第二项中 e_h 与 e_{N_h} 的交互，这使得聚合的过程对于两者之间的相近程度更为敏感，会在更相似的顶点中传播更多的信息。

Model Prediction

在得到 L 层embedding propagation layer的表示后，使用JK-Net中的LSTM-attention进行聚合，在通过点积的形式给出预测分数：

$$e_u^* = \text{LSTM-attention}(e_u^{(0)}, e_u^{(L)})$$

$$e_i^* = \text{LSTM-attention}() e_i^{(0)} || \dots || e_i^{(L)}$$

$$\hat{y}(u, i) = e_u^{*T} e_i^*$$

数据集

Amazon-book、Last-FM、Yelp2018