

一种基于分类的虚拟网络映射方法及系统

技术领域

本发明涉及网络虚拟化技术，具体地说，涉及一种基于分类的虚拟网络映射方法及系统。

背景技术

网络虚拟化技术是未来互联网的核心技术，它允许在一个共享的底层网络资源上支持多个虚拟网络，这些虚拟网络之间可以有不同的网络架构，也可以承载不同类型的服务。

网络虚拟化技术的一个关键问题是虚拟网络映射问题。通过将虚拟网络请求中的虚拟节点和虚拟链路映射到底层网络资源上，以满足虚拟网络请求的节点和链路需求。虚拟网络映射问题被证明是很难解决的技术问题，其计算复杂度较高。现有的方法没有提出有效的措施以降低计算复杂度，使得映射处理时间较长，底层网络资源的利用率较低。

发明内容

本发明的目的在于，为了克服上述问题，本发明提供了一种基于分类的虚拟网络映射方法及系统。

为了实现上述目的，本发明提供了一种基于分类的虚拟网络映射方法，所述的方法包含：

步骤 101) 当收到虚拟网络请求时，对虚拟网络请求所涉及的虚拟节点按照分类标准进行分类，将属于不同类别的虚拟节点分割至不同的虚拟网络子请求中；

其中，所述的分类标准即依据虚拟节点对地理位置的需求信息将虚拟节点分类到离它最近区域的底层物理网络中；同一个虚拟网络子请求中的所有虚拟节点属于同一个分类，该分类即是该虚拟网络子请求中的任意一个虚拟节点所属的分类；

步骤 102) 将各个虚拟网络子请求发送至它所属的底层物理网络中的某个区域；

步骤 103) 根据虚拟网络子请求中各个节点的均衡负载需求与区域中各个节点的均衡负载能力，将虚拟网络子请求映射到区域内底层物理层网络上；其中，

所述均衡负载需求表示在负载均衡的情况下，各个虚拟节点的负载需求；所述负载需求定义为虚拟节点请求的资源与连接到所述虚拟节点的所有链路请求的资源的乘积；

所述均衡负载能力表示在负载均衡的情况下，区域内各个物理节点的负载能力；所述负载能力定义为物理节点的可用资源与连接到所述物理节点的所有链路的可用资源的乘积。

对虚拟网络请求中的虚拟节点进行分类分析时依据虚拟节点的地理位置需求信息将虚拟节点分类到离它要求的地理位置最近的区域的底层物理网络中。

上述步骤 103) 进一步包含：

步骤 103-1) 检测虚拟网络子请求中当前未映射的具有最大均衡负载需求的虚拟节点 n^v ；

步骤 103-2) 在该区域中寻找虚拟节点 n^v 的 k 个候选底层物理节点，所述的 k 个候选节点是该区域内当前还未映射的并且能满足所述虚拟节点 n^v 的需求的前 k 个最大均衡负载能力的底层物理节点；

步骤 103-3) 对每个候选底层物理节点，计算该候选底层物理节点与已映射的各个虚拟节点所对应的底层物理节点之间的路径长度之和，将所述的虚拟节点 n^v 映射到具有最短路径长度的候选节点上，并对已经映射的虚拟节点之间的虚拟链路进行映射。

上述均衡负载能力采用如下获得：

步骤 201) 对底层物理网络包含的各个区域的物理节点和物理链路的资源分别进行归一化处理；

其中，物理节点的归一化处理与节点的存储容量、磁盘 I/O、CPU 数量和内存大小相关；物理链路的归一化处理与链路的带宽、延迟和延迟抖动相关；

步骤 202) 计算底层物理网络中各个区域内的节点的负载能力；

其中，所述负载能力定义为物理节点的可用资源与连接到所述物理节点的所有链路的可用资源的乘积；

步骤 203) 计算底层物理网络中各个区域的均衡负载矩阵；

其中，所述均衡负载矩阵中的各元素为：某个区域内的各个物理节点之间的负载均衡能力的相互贡献的权重值，所述负载均衡能力的相互贡献的权重值具体为：当物理节点 n^s 就是物理节点 m^s 本身，即 $n^s = m^s$ ，或物理节点 n^s 和物理节点 m^s 之间有物理链路连接时，物理节点 n^s 对物理节点 m^s 的均衡负载能力有贡献，此时

权重值为一非零的正数；否则，物理节点 n^s 对物理节点 m^s 的均衡负载能力的贡献权重为 0； n^s 表示矩阵的第 n^s 行， m^s 表示矩阵的第 m^s 列，矩阵的行数和列数都是物理节点的总个数，角标 s 表示的是底层物理网络；

步骤 204) 根据均衡负载矩阵，迭代计算出区域内各个物理节点的均衡负载能力，即物理节点 n^s 的负载均衡能力为该区域内所有物理节点的均衡负载能力的贡献之和。

上述均衡负载需求采用如下方法获得：

步骤 301) 对各个虚拟网络子请求中的虚拟节点和虚拟链路的需求分别进行归一化处理；

其中，虚拟节点的归一化处理与节点的存储容量、磁盘 I/O、CPU 数量和内存大小需求相关；虚拟链路的归一化处理与链路的带宽、延迟和延迟抖动需求相关；

步骤 302) 计算各个虚拟网络子请求中各个虚拟节点的负载需求；

其中，所述负载需求定义为虚拟节点的需求与连接到所述虚拟节点的所有链路的需求的乘积；

步骤 303) 计算各个虚拟网络子请求的均衡负载矩阵；

其中，所述均衡负载矩阵中的各元素为：虚拟网络子请求内的各个虚拟节点之间的均衡负载需求的相互影响的权重值，该权重值具体为：当虚拟节点 n^v 就是虚拟节点 m^v 本身，即 $n^v = m^v$ ，或虚拟节点 n^v 和虚拟节点 m^v 之间有虚拟链路连接时，定义权重值为一非零的数值；否则 n^v 对 m^v 的均衡负载需求的影响权重为 0；

n^v 表示矩阵的第 n^v 行， m^v 表示矩阵的第 m^v 列，矩阵的行数和列数都是虚拟节点的总个数，角标 v 表示的是虚拟网络请求；

步骤 304) 根据均衡负载矩阵，迭代计算出区域内各个虚拟节点的均衡负载需求，即虚拟节点 n^v 的负载均衡需求为该虚拟网络子请求中所有虚拟节点的均衡负载需求的影响之和。

为了实现上述方法，本发明提供了一种基于分类的虚拟网络映射系统，所述的系统包含：

全局管理模块，用于接收到虚拟网络请求时，对虚拟网络请求所涉及的虚拟节点按照分类标准进行分类，将属于不同类别的虚拟节点分割至不同的虚拟网络子请求中，所述的分类标准是指一个虚拟节点将属于底层物理网络中离它最近的区域所在的分类；并将各个虚拟子网络请求发送至它所属的底层物理网络中的某

个区域；和

区域管理模块，用于根据虚拟网络子请求中各个节点的均衡负载需求与区域中各个节点的均衡负载能力，将虚拟网络子请求映射到区域内底层物理层网络上；

其中，所述均衡负载需求表示在负载均衡的情况下，各个虚拟节点的负载需求；所述负载需求定义为虚拟节点请求的资源与连接到所述虚拟节点的所有链路请求的资源的乘积；

所述均衡负载能力表示在负载均衡的情况下，区域内各个物理节点的负载能力；所述负载能力定义为物理节点的可用资源与连接到所述物理节点的所有链路的可用资源的乘积。

对虚拟网络请求中的虚拟节点进行分类分析时依据虚拟节点的地理位置需求信息将虚拟节点分类到离它要求的地理位置最近的区域底层物理网络中。

上述区域管理模块进一步包含：

均衡负载能力或均衡负载需求获得子模块，用于获得底层物理网络各区域中各节点的均衡负载能力值并获得各虚拟网络子请求的各虚拟节点的均衡负载需求值；

检测子模块，用于检测虚拟网络子请求中当前未映射的具有最大均衡负载需求的虚拟节点 n^v ；

候选底层物理节点选择子模块，用于在某个区域中寻找虚拟节点 n^v 的 k 个候选底层物理节点，所述的 k 个候选节点是该区域内当前还未映射的并且能满足所述虚拟节点 n^v 的需求的前 k 个最大均衡负载能力的底层物理节点；和

节点和链路映射子模块，用于对每个候选底层物理节点，计算该候选底层物理节点与已映射的各个虚拟节点所对应的底层物理节点之间的路径长度之和，将所述的虚拟节点 n^v 映射到具有最短路径长度的候选节点上，并对已经映射的虚拟节点之间的虚拟链路进行映射。

上述均衡负载能力获得子模块进一步包含：

第一归一化处理模块，用于对底层物理网络包含的各个区域的物理节点和物理链路的资源分别进行归一化处理；

其中，物理节点的归一化处理与节点的存储容量、磁盘 I/O、CPU 数量和内存大小相关；物理链路的归一化处理与链路的带宽、延迟和延迟抖动相关；

第一节点负载能力获取模块，用于计算底层物理网络中各个区域内的节点的负载能力；

其中，所述负载能力定义为物理节点的可用资源与连接到所述物理节点的所有链路的可用资源的乘积；

均衡负载矩阵获取模块，用于计算底层物理网络中各个区域的均衡负载矩阵；

其中，所述均衡负载矩阵定义了底层物理网络的区域内的各个物理节点之间的均衡负载能力的相互贡献权重值，当且仅当物理节点 n^s 就是物理节点 m^s 本身，即 $n^s = m^s$ ，或 n^s 和 m^s 之间有物理链路连接，此时权重值为一非零的正数；否则物理节点 n^s 对物理节点 m^s 的均衡负载能力的贡献权重为 0；和

均衡负载能力计算模块，用于根据均衡负载矩阵，迭代计算出区域内各个物理节点的均衡负载能力，即物理节点 n^s 的负载均衡能力为该区域内所有物理节点的均衡负载能力的贡献之和。

上述均衡负载需求获得子模块进一步包含：

第二归一化处理模块，用于对各个虚拟网络子请求中的虚拟节点和虚拟链路的需求分别进行归一化处理；

其中，虚拟节点的归一化处理与节点的存储容量、磁盘 I/O、CPU 数量和内存大小需求相关；虚拟链路的归一化处理与链路的带宽、延迟和延迟抖动需求相关；

第二负载需求计算模块，用于计算各个虚拟网络子请求中各个虚拟节点的负载需求；

其中，所述负载需求定义为虚拟节点的需求与连接到所述虚拟节点的所有链路的需求的乘积；

第二均衡负载矩阵，用于计算各个虚拟网络子请求的均衡负载矩阵；

其中，所述均衡负载矩阵定义了虚拟网络子请求内的各个虚拟节点之间的均衡负载需求的相互影响的权重值，当且仅当虚拟节点 n^v 就是虚拟节点 m^v 本身，即 $n^v = m^v$ ，或虚拟节点 n^v 和虚拟节点 m^v 之间有虚拟链路连接，此时的权重值为一非零的正数；否则虚拟节点 n^v 对虚拟节点 m^v 的均衡负载需求的影响权重为 0；和

均衡负载需求获取模块，用于根据均衡负载矩阵，迭代计算出区域内各个虚拟节点的均衡负载需求，即虚拟节点 n^v 的负载均衡需求为该虚拟网络子请求中所有虚拟节点的均衡负载需求的影响之和。

总之，本发明提供一种基于分类的虚拟网络映射方法，所述的方法包括：根据各区域的网络拓扑信息，对虚拟网络请求中的虚拟节点进行分类分析，根据分类结果将请求的虚拟网络分割成规模较小的虚拟网络子请求，将虚拟网络子请求分派给各区域的管理实体进行并行的映射处理；各区域的管理实体在映射虚拟网

络子请求时，引入了资源均衡机制，分别对虚拟网络子请求的需求限制和区域底层物理网络的可用资源进行均衡处理，同时协调整合虚拟节点的映射和虚拟链路的映射；在所有区域的管理实体都完成映射之后，由全局的管理实体整合各区域的管理实体的映射结果并反馈给用户。所述的虚拟网络映射方法在全局的管理实体上分布式地处理虚拟网络请求的映射，在区域的管理实体上集中式地处理虚拟网络请求映射。所述的分类主要利用虚拟网络请求中各虚拟节点的地理位置等需求限制信息，计算各虚拟节点与所述各区域的管理实体之间的距离，并根据所述的距离进行分类分析以确定虚拟节点所属的区域。所述的分割将属于相同分类的虚拟节点分割到相同的虚拟网络子请求中，各虚拟网络子请求之间的虚拟链路被简化为一条虚拟链路。所述的虚拟网络映射方法在各区域的管理实体进行虚拟网络子请求的映射时，引入了资源均衡机制。所述的虚拟网络映射方法在各区域的管理实体进行虚拟网络子请求的映射时，协调整合了虚拟节点的映射和虚拟链路的映射。所述的资源均衡机制通过融合节点自身的资源负载和其邻居节点的资源负载对该节点的影响来实现。所述的节点的负载能力与节点的资源 and 连接到该节点的链路资源相关。

与现有技术相比，本发明的技术优势在于：

通过上述技术方案，虚拟网络请求将被分割为规模较小的子请求，并由各个区域管理实体并发地进行映射，从而降低计算复杂度，减少映射时间。各个区域的管理实体在映射虚拟网络子请求时，通过引入资源均衡机制，以实现底层网络资源的负载均衡。虚拟节点映射和虚拟链路映射的协调整合避免了节点映射的广泛分布，减少了链路映射的底层物理路径长度。

附图说明

图 1 是本发明提供的基于分类的虚拟网络映射方法中全局管理实体的工作流程图；

图 2 是本发明提供的基于分类的虚拟网络映射方法中区域管理实体的工作流程图；

图 3 是本发明提供的基于分类的虚拟网络映射方法的实施例的底层物理网络架构示意图；

图 4 是本发明提供的基于分类的虚拟网络映射方法的实施例中全局管理实体的虚拟网络映射的示意图；

图 5 是本发明提供的基于分类的虚拟网络映射方法的实施例中的负载均衡机制示意图；该图中各节点附近的小方框内的数字表示归一化的节点资源，受存储容量，磁盘 I/O，CPU，内存等影响；该图中线条上的数字表示归一化的链路资源，受带宽、延迟、抖动的影响；

图 6-1 是本发明实施例提供的虚拟网络子请求示意图；

图 6-2 是本发明实施例提供的区域内的底层物理网络映射前的示意图；

图 6-3 是本发明实施例提供的区域内底层物理网络映射后的示意图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的技术方案进行详细说明。

本发明一种基于分类的虚拟网络映射方法包括：

根据各区域的网络拓扑信息，对虚拟网络请求中的虚拟节点进行分类分析，根据分类结果将请求的虚拟网络分割成规模较小的虚拟网络子请求，将虚拟网络子请求分派给各区域的管理实体进行并行的映射处理；各区域的管理实体在映射虚拟网络子请求时，引入了资源均衡机制，分别对虚拟网络子请求的需求限制和区域底层物理网络的可用资源进行均衡处理，同时协调整合虚拟节点的映射和虚拟链路的映射；在所有区域的管理实体都完成映射之后，由全局的管理实体整合各区域的管理实体的映射结果并反馈给用户。

为了清晰地阐述本发明的内容，本发明对虚拟网络映射的说明如下：

A. 底层物理网络

定义底层物理网络为一个无向图集合 $G^s(N^s, E^s)$ ，底层物理网络的第 i 个区域表示为无向图 $G_i^s(N_i^s, E_i^s)$ ，其中 N_i^s 表示区域 i 内的节点集合， E_i^s 表示区域 i 内的链路集合。定义节点 n^s 的邻居节点集合为 $N^s(n^s)$ ，定义连接到节点 n^s 的链路集合为 $E^s(n^s)$ 。底层物理网络中的节点和链路都和它们的资源限制相关联。我们定义底层物理网络中，节点资源限制信息包括地理位置 L^s 、存储容量 S^s 、磁盘 I/O 速率 I^s 、

CPU 能力 C^s 和内存大小 M^s ，链路资源限制包括带宽 B^s 、延迟 D^s 和延迟抖动 J^s （如，物理节点 n^s 的节点资源限制信息：地理位置表示位置坐标 $L^s(n^s) = (10, 20)$ ，存储容量 $S^s(n^s) = 500MB$ 、磁盘 I/O 速率 $I^s(n^s) = 100bps$ 、CPU 能力 $C^s(n^s) = 4$ 核和内存大小 $M^s(n^s) = 2GB$ ，链路资源限制：带宽 $B^s(n^s) = 100MB$ 、延迟 $D^s(n^s) = 200ms$ 和延迟抖动 $J^s(n^s) = 20ms$ ）。表 1 详细列举出了本发明中底层物理网络的资源限制，并为各个资源限制定义权重影响因子，以计算节点和链路的归一化资源限制。因此，底层物理网络节点 n^s 的归一化资源表示为： $R_N^s(n^s) = S^s(n^s) * w_S^n + I^s(n^s) * w_I^n + C^s(n^s) * w_C^n + M^s(n^s) * w_M^n$ ；链路 e^s 的归一化资源表示为： $R_E^s(e^s) = B^s(e^s) * w_B^e + D^s(e^s) * w_D^e + J^s(e^s) * w_J^e$ 。其中地理位置主要用于分类分析，不用考虑在节点资源的归一化表示中。

表 1 底层物理网络的资源限制

节点资源限制			链路资源限制		
因素	符号表示	权重因子	因素	符号表示	权重因子
地理位置	L^s		带宽	B^s	w_B^e
存储容量	S^s	w_S^n	延迟	D^s	w_D^e
磁盘 I/O	I^s	w_I^n	延迟抖动	J^s	w_J^e
CPU 数量	C^s	w_C^n			
内存大小	M^s	w_M^n			
归一化资源	R_N^s		归一化资源	R_E^s	
$w_S^n + w_I^n + w_C^n + w_M^n = 1$			$w_B^e + w_D^e + w_J^e = 1$		

B. 虚拟网络请求

本发明定义虚拟网络请求为一个无向图 $G^v(N^v, E^v)$ ，虚拟网络请求的第 i 个子请求表示为无向图 $G_i^v(N_i^v, E_i^v)$ ，其中 N_i^v 表示第 i 个虚拟网络子请求的节点集合， E_i^v

表示第 i 个虚拟网络子请求的链路集合。定义节点 n^v 的邻居节点集合为 $N^v(n^v)$ ，定义连接到节点 n^v 的链路集合为 $E^v(n^v)$ 。虚拟网络请求中的节点和链路都和他们的需求限制相关联。我们定义虚拟网络请求中，虚拟节点提出的需求限制信息包括：地理位置 L^v 、存储容量 S^v 、磁盘 I/O 速率 I^v 、CPU 数量 C^v 和内存大小 M^v ，虚拟链路的需求限制包括带宽 B^v 、延迟 D^v 和延迟抖动 J^v （如，虚拟节点 n^v 的节点资源限制信息：地理位置表示位置坐标 $L^v(n^v)=(30,20)$ ，存储容量 $S^v(n^v)=5MB$ 、磁盘 I/O 速率 $I^v(n^v)=50bps$ 、CPU 能力 $C^v(n^v)=2$ 核和内存大小 $M^v(n^v)=200MB$ ，链路资源限制：带宽 $B^v(n^v)=10MB$ 、延迟 $D^v(n^v)=200ms$ 和延迟抖动 $J^v(n^v)=20ms$ ）。表 2 是本发明中虚拟网络请求的需求限制，其中各个需求限制的权重影响因子与底层物理网络中资源限制的权重影响因子相同。因此，虚拟网络请求中虚拟节点 n^v 的归一化资源表示为： $R_N^v(n^v)=S^v(n^v)*w_S^n+I^v(n^v)*w_I^n+C^v(n^v)*w_C^n+M^v(n^v)*w_M^n$ ；虚拟链路 e^v 的归一化资源表示为： $R_E^v(e^v)=B^v(e^v)*w_B^e+D^v(e^v)*w_D^e+J^v(e^v)*w_J^e$ 。其中地理位置主要用于分类分析，不用考虑在节点资源需求的归一化表示中。

表 2 虚拟网络请求的需求限制

虚拟节点需求限制			虚拟链路需求限制		
因素	符号表示	权重因子	因素	符号表示	权重因子
地理位置	L^v		带宽	B^v	w_B^e
存储容量	S^v	w_S^n	延迟	D^v	w_D^e
磁盘 I/O	I^v	w_I^n	延迟抖动	J^v	w_J^e
CPU 数量	C^v	w_C^n			
内存大小	M^v	w_M^n			
归一化资源	R_N^v		归一化资源	R_E^v	

$w_S^n + w_I^n + w_C^n + w_M^n = 1$	$w_B^e + w_D^e + w_J^e = 1$
-------------------------------------	-----------------------------

C.区域底层物理网络的位置中心

为了更好地将虚拟网络请求映射到底层物理网络中,本发明充分利用虚拟网络请求的拓扑信息,根据虚拟节点的地理位置需求限制,对虚拟网络请求中的虚拟节点进行分类分析,以便将虚拟节点映射到离它最近的区域底层物理网络中。定义底层物理网络中各个区域的位置中心集合为 O^s ,其中 O_i^s 为区域 i 的位置中心,它被定义为区域 i 内的所有节点的几何中心,即

$$O_i^s = \frac{1}{|N_i^s|} \sum_{\forall n^s \in N_i^s} L^s(n^s)$$

其中, $|N_i^s|$ 表示区域 i 内的节点个数。

D.负载均衡机制

为了提高底层物理网络的资源利用率和负载均衡,本发明采用负载均衡机制充分利用节点自身的资源及其邻居节点的资源。在底层物理网络中,节点的负载能力与节点资源和连接到节点的链路资源有关,且链路资源是由它的两个端点共享的。因此,定义底层物理网络中节点 n^s 的负载能力 $R^s(n^s)$ 如下:

$$R^s(n^s) = R_N^s(n^s) \cdot \sum_{e^s \in E^s(n^s)} \frac{1}{2} R_E^s(e^s)$$

在此基础上,定义底层物理网络中节点 n^s 的均衡负载能力 $\overline{R^s(n^s)}$ 如下:

$$\overline{R^s(n^s)} = w_1 \cdot \overline{R^s(n^s)} + w_2 \cdot \sum_{m^s \in N^s(n^s)} \frac{R^s(n^s)}{\sum_{h^s \in N^s(m^s)} R^s(h^s)} \cdot \overline{R^s(m^s)}$$

即,节点的均衡负载能力与节点自身的均衡负载能力和节点的邻居节点的均衡负载能力有关,其中 w_1, w_2 是相关的权重影响因子,满足 $w_1 + w_2 = 1$, $R^s(n^s) / \sum_{h^s \in N^s(m^s)} R^s(h^s)$ 为节点 m^s 对节点 n^s 的影响。由此,可定义区域 i 的均衡负载矩阵 A_i^s 如下:

$$A_i^s(m^s, n^s) = \begin{cases} w_1 & \text{if } m^s = n^s, m^s \in N_i^s \\ \frac{w_2 \cdot R^s(n^s)}{\sum_{h^s \in N^s(m^s)} R^s(h^s)} & \text{if } (m^s, n^s) \in E_i^s \\ 0 & \text{other} \end{cases}$$

区域*i*内节点的均衡负载能力表述如下： $\overline{R}_i^s = \overline{R}_i^s \cdot A_i^s$ 。

同理，可定义虚拟网络请求中的节点的均衡负载需求 $\overline{R}^v$ ： $\overline{R}^v = \overline{R}^v \cdot A^v$ ，其中虚拟网络请求中虚拟节点的负载需求 $R^v(n^v)$ 满足：

$$R^v(n^v) = R_N^v(n^v) \cdot \sum_{e^v \in E^v(n^v)} \frac{1}{2} R_E^v(e^v)$$

虚拟节点 n^v 的均衡负载需求 $\overline{R}^v(n^v)$ 满足：

$$\overline{R}^v(n^v) = w_1 \cdot \overline{R}^v(n^v) + w_2 \cdot \sum_{m^v \in N^v(n^v)} \frac{R^v(n^v)}{\sum_{h^v \in N^v(m^v)} R^v(h^v)} \cdot \overline{R}^v(m^v)$$

即，虚拟节点的均衡负载需求与节点自身的均衡负载需求和节点的邻居节点的均衡负载需求有关，其中， $R^v(n^v) / \sum_{h^v \in N^v(m^v)} R^v(h^v)$ 为节点 m^v 对节点 n^v 的影响。

虚拟网络请求的均衡负载矩阵 A^v 定义如下：

$$A^v(m^v, n^v) = \begin{cases} w_1 & \text{if } m^v = n^v, m^v \in N^v \\ \frac{w_2 \cdot R^v(n^v)}{\sum_{h^v \in N^v(m^v)} R^v(h^v)} & \text{if } (m^v, n^v) \in E^v \\ 0 & \text{other} \end{cases}$$

由此，可定义第*i*个虚拟网络子请求中节点的均衡负载需求 $\overline{R}_i^v$ ： $\overline{R}_i^v = \overline{R}_i^v \cdot A_i^v$ 。

为了更清晰地阐述本发明的目的、技术方案和优点，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明的一部分实施例，而不是全部的实施例。

如图 1 所示，本发明提供一种基于分类的虚拟网络映射方法中全局管理实体的工作流程如下：1) 开始时，全局管理实体等待虚拟网络请求的到达；2) 当虚

拟网络请求到达时，所述的全局管理实体对虚拟网络请求中的虚拟节点进行分类分析，确定各虚拟节点所属的分类和区域；3）根据所述的分类结果，将虚拟网络请求分割为多个虚拟子请求；4）将所述的各个虚拟网络子请求分配给各个区域的管理实体进行分别处理；5）当各个区域的管理实体都处理完成时，合并各个区域的管理实体的处理结果并反馈给用户。

在对虚拟网络请求中的虚拟节点进行分类分析时，主要考虑虚拟节点的地理位置等需求限制，将虚拟节点分类到离它要求的地理位置最近的区域底层物理网络中，因此，可定义虚拟节点 n^v 所属的类别 $\phi(n^v) = \arg \min_{i \in [0, |O^s|)} \{dist(L^v(n^v), O_i^s)\}$ 。

根据虚拟网络请求的分类结果，将属于不同分类的虚拟节点分割到不同的虚拟网络子请求中，并简化各个子请求之间的链路。属于第 i 个虚拟网络子请求 $G_i^v(N_i^v, E_i^v)$ 的虚拟节点 n^v 满足 $\phi(n^v) = i$ ，所有跨越虚拟网络子请求 i 和虚拟网络子请求 j 之间的虚拟链路被简化为一条链路 $e(i, j)$ ，它满足条件：

$R_E^v(e(i, j)) = \max_{m^v \in N_i^v, n^v \in N_j^v} \{R_E^v(m^v, n^v)\}$ ，即该简化的虚拟链路的归一化需求是跨越虚拟网络子请求 i 和虚拟网络子请求 j 的所有链路归一化需求中的最大值，如果虚拟网络映射的结果能满足简化链路 $e(i, j)$ 的需求，则对于跨越虚拟网络子请求 i 和虚拟网络子请求 j 的所有虚拟链路需求都将得到满足。将虚拟网络请求分割为多个虚拟网络子请求后，将每个虚拟网络子请求分配到合适的区域底层物理网络中，对于虚拟网络子请求 i ，即 $G_i^v(N_i^v, E_i^v)$ ，将被分配到第 i 个底层物理网络中进行进一步的映射处理。

图 3 是本发明一种基于分类的虚拟网络映射方法实施例的底层物理网络架构示意图，如图 3 所示，本实施例中的底层物理网络为两层结构，即管理层和服务层。其中，管理层包括全局管理实体和区域管理实体。区域管理实体收集该区域内的节点信息和链路状态，并计算该区域的位置中心和区域内节点的逻辑拓扑，然后将更新计算的结果传送给全局管理实体。全局管理实体直接和区域管理实体通信，保持整个物理网络的最新状态。其中，区域管理实体定期收集区域内各节点和链路的信息，只有当区域内的网络状态发生变化时，区域管理实体主动向全局管理实体传送更新信息，以减少通信开销。另外，全局管理实体一般情况下属

于被动接收区域网络状态信息，但仍可主动询问区域管理实体，并索取相关信息。

图 4 是本发明一种基于分类的虚拟网络映射方法的实施例中全局管理实体的虚拟网络映射的示意图。如图 4 所示，当虚拟网络请求 VNR 到达时，全局管理实体首先对虚拟网络请求的拓扑进行分类分析，并根据分类的结果将该虚拟网络请求分割为规模较小的虚拟网络子请求 VNR_{sub1} 和 VNR_{sub2} 。根据各个虚拟网络子请求所属的类别，将它们分派到合适的区域底层物理中进行并行的集中式的虚拟网络映射。如图 4 所示，虚拟网络子请求 VNR_{sub1} 被分配到区域 1 进行映射，虚拟网络子请求 VNR_{sub2} 被分配到区域 3 进行映射。

如图 2 所示，本发明提供一种基于分类的虚拟网络映射方法中区域管理实体的工作流程如下：1) 开始时，区域管理实体计算区域内的底层网络节点中各节点的均衡负载能力；2) 等待虚拟网络子请求的到达；3) 当虚拟网络子请求到达时，计算虚拟网络子请求中各虚拟节点的均衡负载需求；4) 将虚拟网络子请求映射到区域内的底层物理网络上。

在计算区域内底层物理网络节点的均衡负载能力和虚拟网络子请求的均衡负载需求时，将利用前述提到的均衡负载机制进行计算。对于区域 i 内的底层物理网络节点，其均衡负载能力表示为 $\overline{R}_i^s = \overline{R}_i^s \cdot A_i^s$ ，其算法伪代码如下：

算法 1 区域内底层网络节点的均衡负载能力 $\overline{R}_i^s = RBlance(A_i^s, \lambda, \delta)$

输入：

A_i^s : 区域 i 的均衡负载矩阵

λ : 最大迭代计算次数

δ : 当两次迭代结果的误差小于 δ 时，停止迭代

输出：

$\overline{R}_i^s$: 区域 i 内底层物理网络各节点的均衡负载能力

1:	$\overline{R}_i^s = RBlance(A_i^s, \lambda, \delta)$
----	--

2:	$k \leftarrow 0, \overline{R}_i^0 \leftarrow R_i^s(n^s)$
3:	while $k < \lambda$ do
4:	$\overline{R}_i^{k+1} \leftarrow \overline{R}_i^k \cdot A_i^s$
5:	if $\ \overline{R}_i^{k+1} - \overline{R}_i^k\ < \delta$ then break
6:	$k \leftarrow k + 1$
7:	end while

本发明用同样的算法计算第 i 个虚拟网络子请求的均衡负载需求 $\overline{R}_i^v = \overline{R}_i^v \cdot A_i^v$ 。

图 5 是本发明提供的一种基于分类的虚拟网络映射方法的实施例中的负载均衡机制示意图，本发明对虚拟网络子请求和区域内底层物理网络分别计算均衡负载需求和均衡负载能力。如图 5 所示，本发明对底层物理网络运用负载均衡机制计算均衡负载能力，对虚拟网络子请求的均衡负载需求的计算是类似的。均衡负载需求和均衡负载能力的计算依赖于各个网络拓扑的均衡负载矩阵（如表 4 所示）和各个节点的负载能力（如表 3 所示）。从如表 5 的计算结果可以看出，该区域内的节点 B 具有最大的均衡负载能力，节点 G 具有最小的负载均衡能力。

表 3，各节点的负载能力

A	B	C	D	E	F	G
175	387	85	247.5	90	160	72

表 4，均衡负载矩阵

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.70	0.17	0	0	0	0.09	0.04
B	0.09	0.70	0.04	0.12	0.05	0	0
C	0	0.16	0.70	0.14	0	0	0
D	0	0.19	0.06	0.70	0.06	0	0
E	0	0.12	0	0.11	0.70	0.07	0
F	0.16	0	0	0	0.08	0.70	0.06

G	0.16	0	0	0	0	0.14	0.70
---	------	---	---	---	---	------	------

表 5, 各节点的负载均衡能力

A	B	C	D	E	F	G
182.5	344.3	91.19	229.5	125.5	108.4	48.48

本发明中, 区域管理实体根据虚拟网络子请求中各个节点的均衡负载需求和区域内底层物理网络中各个节点的均衡负载能力, 采用贪心策略将虚拟网络子请求映射到区域内底层物理网络上。本发明在映射的过程中, 虚拟节点和虚拟链路的映射是同时进行的, 即在对虚拟节点进行映射时, 结合虚拟链路的需求特征以避免底层物理网络中较长路径的开销。在映射时, 首先检测虚拟网络子请求中当前未映射的具有最大均衡负载需求的虚拟节点 n^v , 然后在该区域中寻找虚拟节点 n^v 的 k 个候选底层物理节点, 所述的 k 个候选节点是该区域内当前还未映射的并且能满足所述虚拟节点 n^v 的需求的前 k 个最大均衡负载能力的底层物理节点。对每个候选底层物理节点, 计算该候选底层物理节点与已映射的各个虚拟节点所对应的底层物理节点之间的路径长度之和, 将所述的虚拟节点 n^v 映射到具有最短路径长度的候选节点上, 并对已经映射的虚拟节点之间的虚拟链路进行映射。

区域管理实体对虚拟网络子请求的映射算法伪代码描述如下:

算 法 2 区 域 内 虚 拟 网 络 子 请 求 的 映 射 算 法

$success = CoordinateMap(\overline{R_i^s}, \overline{R_i^v}, k)$

输入:

$\overline{R_i^s}$: 区域 i 内底层物理网络中各节点的均衡负载能力

$\overline{R_i^v}$: 第 i 个虚拟网络子请求中各节点的均衡负载需求

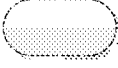
k : 候选底层物理节点的个数

输出:

$success$: 映射结果成功与否

1:	$success = CoordinateMap(\overline{R_i^s}, \overline{R_i^v}, k)$
2:	Q_{mapped}^s stores substrate nodes that host virtual nodes in N_i^v with unmapped links
3:	sort virtual and substrate nodes in N_i^v and N_i^s according to $\overline{R_i^v}$ and R_i^s
4:	for $m = 0$ to $ N_i^v $ do
5:	if $Q_{mapped}^s.size == 0$ then
6:	$n_{target}^s = findCandidate(N_i^v[m], 1)$
7:	else
8:	$Q_{candidate}^s \leftarrow findCandidate(N_i^v[m], k)$
9:	$P_{candidate}^s \leftarrow computePath(Q_{candidate}^s, Q_{mapped}^s)$
10:	$n_{target}^s \leftarrow findNodeWithShortestPath(P_{candidate}^s)$
11:	end if
12:	if $mapNode(n_{target}^s, N_i^v[m])$ then
13:	map path between mapped nodes
14:	$push(Q_{mapped}^s, n_{target}^s)$
15:	else
16:	return false
17:	end if
18:	end for

图 6-1,6-2 和 6-3 是本发明一种基于分类的虚拟网络映射方法的实施例中区域管理实体的虚拟网络映射的示意图，在上述三幅图中的小方框内的数值表示节点的归一化资源，受存储容量，磁盘 I/O，CPU 和内存的影响；线条上的数值表示链路的归一化资源，受带宽，延迟，抖动的影响；波浪线上的时刻（t1, t2, ……）

表示所指向的节点或链路在映射中被处理的时间顺序；“”图标内的数值

表示节点的均衡负载能力/均衡负载需求。在本实施例中，取候选节点的个数 $k=3$ 。如图 6-2 所示，在开始映射前，虚拟网络子请求中具有最大的均衡负载需求的节点是 a，同时，区域内底层物理网络中具有最大的均衡负载能力的节点是 B，其中，节点 a 的资源需求是 12，节点 B 的可用资源是 14，因此节点 B 能满足节点 a 的需求，将节点 a 映射到节点 B 中。此时，虚拟网络子请求中未映射的具有最大均衡负载需求的节点是虚拟节点 c，虚拟节点 c 在底层物理网络中的候选节点为 D, A, E（理由为：取候选节点的个数 $k=3$ ，除去已经映射的底层物理节点 B 后，剩余的 $k=3$ 个均衡负载能力最大的 3 个候选节点为 D, A, E）。其中，D, A, E 三个节点到已经映射的节点 B 的路径长度均为 1，而 D 的均衡负载能力最大，因此将虚拟节点 c 映射到 D 上，再将已经映射的虚拟节点 a, c 之间的虚拟链路 $\langle a, c \rangle$ 映射到物理链路 $\langle B, D \rangle$ 上。此时，待映射的虚拟节点为 b，虚拟节点 b 的候选节点为 A, E, F。其中，候选节点 A 到已经映射的节点的路径长度之和为 4，候选节点 E 到已经映射的节点的路径长度为 2，候选节点 F 到已经映射的节点的路径长度为 4，因此，将虚拟节点 b 映射到候选节点 E 上，以减少较长路径映射的开销，然后再将虚拟链路 $\langle a, b \rangle$ 映射到底层物理路径 $\langle B, E \rangle$ ，将虚拟链路 $\langle c, b \rangle$ 映射到底层物理路径 $\langle D, E \rangle$ 。

本发明一种基于分类的虚拟网络映射方法中，当所有的虚拟网络子请求都成功映射到各区域内的底层物理网络时，整个虚拟网络请求映射就被成功映射了。否则，将拒绝映射和资源分配，并将结果返回给用户。

综上所述，本发明一种基于分类的虚拟网络映射方法通过对虚拟网络请求中的虚拟节点进行分类分析，根据分类结果将请求的虚拟网络分割成规模较小的虚拟网络子请求并分派给各区域的管理实体进行并行的映射处理，从而降低了计算复杂度，减少了映射时间。各个区域的管理实体在映射虚拟网络子请求时，通过引入资源均衡机制计算虚拟网络子请求的均衡负载需求和底层物理网络的均衡负载能力来辅助映射，从而实现了底层网络资源的负载均衡。在区域管理实体中，虚拟节点映射和虚拟链路映射的协调整合避免了节点映射的广泛分布，减少了链路映射的底层物理路径长度。

最后所应说明的是，以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制。尽管参照实施例对本发明进行了详细说明，本领域的普通技术人员应当理解，对本

发明的技术方案进行修改或者等同替换，都不脱离本发明技术方案的精神和范围，其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

权利要求

1、一种基于分类的虚拟网络映射方法，所述的方法包含：

步骤 101) 当收到虚拟网络请求时，对虚拟网络请求所涉及的虚拟节点按照分类标准进行分类，将属于不同类别的虚拟节点分割至不同的虚拟网络子请求中；

其中，所述的分类标准即依据虚拟节点对地理位置的需求信息将虚拟节点分类到离它最近区域的底层物理网络中；同一个虚拟网络子请求中的所有虚拟节点属于同一个分类，该分类即是该虚拟网络子请求中的任意一个虚拟节点所属的分类；

步骤 102) 将各个虚拟网络子请求发送至它所属的底层物理网络中的某个区域；

步骤 103) 根据虚拟网络子请求中各个节点的均衡负载需求与区域中各个节点的均衡负载能力，将虚拟网络子请求映射到区域内底层物理层网络上；其中，

所述均衡负载需求表示在负载均衡的情况下，各个虚拟节点的负载需求；所述负载需求定义为虚拟节点请求的资源与连接到所述虚拟节点的所有链路请求的资源的乘积；

所述均衡负载能力表示在负载均衡的情况下，区域内各个物理节点的负载能力；所述负载能力定义为物理节点的可用资源与连接到所述物理节点的所有链路的可用资源的乘积。

2、根据权利要求 1 所述的基于分类的虚拟网络映射方法，其特征在于，所述步骤 103) 进一步包含：

步骤 103-1) 检测虚拟网络子请求中当前未映射的具有最大均衡负载需求的虚拟节点 n^v ；

步骤 103-2) 在该区域中寻找虚拟节点 n^v 的 k 个候选底层物理节点，所述的 k 个候选节点是该区域内当前还未映射的并且能满足所述虚拟节点 n^v 的需求的前 k 个最大均衡负载能力的底层物理节点；

步骤 103-3) 对每个候选底层物理节点，计算该候选底层物理节点与已映射的各个虚拟节点所对应的底层物理节点之间的路径长度之和，将所述的虚拟节点 n^v 映射到具有最短路径长度的候选节点上，并对已经映射的虚拟节点之间的虚拟链路进行映射。

3、根据权利要求 1 或 2 所述的基于分类的虚拟网络映射方法，其特征在于，所述均衡负载能力采用如下获得：

步骤 201) 对底层物理网络包含的各个区域的物理节点和物理链路的资源分别进行归一化处理;

其中, 物理节点的归一化处理与节点的存储容量、磁盘 I/O、CPU 数量和内存大小相关; 物理链路的归一化处理与链路的带宽、延迟和延迟抖动相关;

步骤 202) 计算底层物理网络中各个区域内的节点的负载能力;

其中, 所述负载能力定义为物理节点的可用资源与连接到所述物理节点的所有链路的可用资源的乘积;

步骤 203) 计算底层物理网络中各个区域的均衡负载矩阵;

其中, 所述均衡负载矩阵中的各元素为: 某个区域内的各个物理节点之间的负载均衡能力的相互贡献的权重值, 所述负载均衡能力的相互贡献的权重值具体为: 当物理节点 n^s 就是物理节点 m^s 本身, 即 $n^s = m^s$, 或物理节点 n^s 和物理节点 m^s 之间有物理链路连接时, 物理节点 n^s 对物理节点 m^s 的均衡负载能力有贡献, 此时权重值为一非零的正数; 否则, 物理节点 n^s 对物理节点 m^s 的均衡负载能力的贡献权重为 0; n^s 表示矩阵的第 n^s 行, m^s 表示矩阵的第 m^s 列, 矩阵的行数和列数都是物理节点的总个数, 角标 s 表示的是底层物理网络;

步骤 204) 根据均衡负载矩阵, 迭代计算出区域内各个物理节点的均衡负载能力, 即物理节点 n^s 的负载均衡能力为该区域内所有物理节点的均衡负载能力的贡献之和。

4、根据权利要求 1 或 4 所述的基于分类的虚拟网络映射方法, 其特征在于, 所述均衡负载需求采用如下方法获得:

步骤 301) 对各个虚拟网络子请求中的虚拟节点和虚拟链路的需求分别进行归一化处理;

其中, 虚拟节点的归一化处理与节点的存储容量、磁盘 I/O、CPU 数量和内存大小需求相关; 虚拟链路的归一化处理与链路的带宽、延迟和延迟抖动需求相关;

步骤 302) 计算各个虚拟网络子请求中各个虚拟节点的负载需求;

其中, 所述负载需求定义为虚拟节点的需求与连接到所述虚拟节点的所有链路的需求的乘积;

步骤 303) 计算各个虚拟网络子请求的均衡负载矩阵;

其中, 所述均衡负载矩阵中的各元素为: 虚拟网络子请求内的各个虚拟节点之间的均衡负载需求的相互影响的权重值, 该权重值具体为: 当虚拟节点 n^v 就是虚拟节点 m^v 本身, 即 $n^v = m^v$, 或虚拟节点 n^v 和虚拟节点 m^v 之间有虚拟链路连接时,

定义权重值为一非零的数值；否则 n^v 对 m^v 的均衡负载需求的影响权重为 0；

n^v 表示矩阵的第 n^v 行， m^v 表示矩阵的第 m^v 列，矩阵的行数和列数都是虚拟节点的总个数，角标 v 表示的是虚拟网络请求；

步骤 304) 根据均衡负载矩阵，迭代计算出区域内各个虚拟节点的均衡负载需求，即虚拟节点 n^v 的负载均衡需求为该虚拟网络子请求中所有虚拟节点的均衡负载需求的影响之和。

5、一种基于分类的虚拟网络映射系统，其特征在于，所述的系统包含：

全局管理模块，用于接收到虚拟网络请求时，对虚拟网络请求所涉及的虚拟节点按照分类标准进行分类，将属于不同类别的虚拟节点分割至不同的虚拟网络子请求中，所述的分类标准是指一个虚拟节点将属于底层物理网络中离它最近的区域所在的分类；并将各个虚拟子网络请求发送至它所属的底层物理网络中的某个区域；和

区域管理模块，用于根据虚拟网络子请求中各个节点的均衡负载需求与区域中各个节点的均衡负载能力，将虚拟网络子请求映射到区域内底层物理层网络上；

其中，所述均衡负载需求表示在负载均衡的情况下，各个虚拟节点的负载需求；所述负载需求定义为虚拟节点请求的资源与连接到所述虚拟节点的所有链路请求的资源的乘积；

所述均衡负载能力表示在负载均衡的情况下，区域内各个物理节点的负载能力；所述负载能力定义为物理节点的可用资源与连接到所述物理节点的所有链路的可用资源的乘积。

6、根据权利要求 5 所述的基于分类的虚拟网络映射系统，其特征在于，所述区域管理模块进一步包含：

均衡负载能力或均衡负载需求获得子模块，用于获得底层物理网络各区域中各节点的均衡负载能力值并获得各虚拟网络子请求的各虚拟节点的均衡负载需求值；

检测子模块，用于检测虚拟网络子请求中当前未映射的具有最大均衡负载需求的虚拟节点 n^v ；

候选底层物理节点选择子模块，用于在某个区域中寻找虚拟节点 n^v 的 k 个候选底层物理节点，所述的 k 个候选节点是该区域内当前还未映射的并且能满足所述虚拟节点 n^v 的需求的前 k 个最大均衡负载能力的底层物理节点；和

节点和链路映射子模块，用于对每个候选底层物理节点，计算该候选底层物

理节点与已映射的各个虚拟节点所对应的底层物理节点之间的路径长度之和，将所述的虚拟节点 n^v 映射到具有最短路径长度的候选节点上，并对已经映射的虚拟节点之间的虚拟链路进行映射。

7、根据权利要求 6 所述的基于分类的虚拟网络映射系统，其特征在于，所述均衡负载能力获得子模块进一步包含：

第一归一化处理模块，用于对底层物理网络包含的各个区域的物理节点和物理链路的资源分别进行归一化处理；

其中，物理节点的归一化处理与节点的存储容量、磁盘 I/O、CPU 数量和内存大小相关；物理链路的归一化处理与链路的带宽、延迟和延迟抖动相关；

第一节点负载能力获取模块，用于计算底层物理网络中各个区域内的节点的负载能力；

其中，所述负载能力定义为物理节点的可用资源与连接到所述物理节点的所有链路的可用资源的乘积；

均衡负载矩阵获取模块，用于计算底层物理网络中各个区域的均衡负载矩阵；

其中，所述均衡负载矩阵定义了底层物理网络的区域内的各个物理节点之间的均衡负载能力的相互贡献权重值，当且仅当物理节点 n^s 就是物理节点 m^s 本身，即 $n^s = m^s$ ，或 n^s 和 m^s 之间有物理链路连接，此时权重值为一非零的正数；否则物理节点 n^s 对物理节点 m^s 的均衡负载能力的贡献权重为 0；和

均衡负载能力计算模块，用于根据均衡负载矩阵，迭代计算出区域内各个物理节点的均衡负载能力，即物理节点 n^s 的负载均衡能力为该区域内所有物理节点的均衡负载能力的贡献之和。

8、根据权利要求 6 所述的基于分类的虚拟网络映射系统，其特征在于，所述均衡负载需求获得子模块进一步包含：

第二归一化处理模块，用于对各个虚拟网络子请求中的虚拟节点和虚拟链路的需求分别进行归一化处理；

其中，虚拟节点的归一化处理与节点的存储容量、磁盘 I/O、CPU 数量和内存大小需求相关；虚拟链路的归一化处理与链路的带宽、延迟和延迟抖动需求相关；

第二负载需求计算模块，用于计算各个虚拟网络子请求中各个虚拟节点的负载需求；

其中，所述负载需求定义为虚拟节点的需求与连接到所述虚拟节点的所有链路的需求的乘积；

第二均衡负载矩阵，用于计算各个虚拟网络子请求的均衡负载矩阵；

其中，所述均衡负载矩阵定义了虚拟网络子请求内的各个虚拟节点之间的均衡负载需求的相互影响的权重值，当且仅当虚拟节点 n^v 就是虚拟节点 m^v 本身，即 $n^v = m^v$ ，或虚拟节点 n^v 和虚拟节点 m^v 之间有虚拟链路连接，此时的权重值为一非零的正数；否则虚拟节点 n^v 对虚拟节点 m^v 的均衡负载需求的影响权重为 0；和

均衡负载需求获取模块，用于根据均衡负载矩阵，迭代计算出区域内各个虚拟节点的均衡负载需求，即虚拟节点 n^v 的负载均衡需求为该虚拟网络子请求中所有虚拟节点的均衡负载需求的影响之和。