

一种具备网内存储能力的数据传输系统

相关申请

本申请要求名称为“一种具备网内存储能力的数据传输系统”、于2020年12月15日提交的中国专利申请号为202011473017.0的优先权，在此通过引用包括该件申请。

技术领域

本发明涉及计算机网络技术，具体涉及一种具备网内存储能力的数据传输系统。

背景技术

随着物联网、移动互联网的高速发展，现有IP标识与地址合一的IP网络技术体系逐渐显露出在移动性、扩展性、数据分发效率等方面的固有缺陷。以标识与地址分离为特征的信息中心网络（Information Centric Network , ICN）技术基于网内缓存实现内容就近服务，为5G新型移动网络应对eMBB, URLLC 和 mMTC场景下的巨量数据处理提供了高效、灵活的数据获取模式。ICN网络中，中间的传输节点也可以作为内容请求的响应节点，因此基于传统的端到端传输层协议的传输系统不能适用ICN网络。

命名数据网络（Named Data Network, NDN）或内容中心网络（Content Centric Network, CCN）作为一种ICN网络，基于名字逐跳路由寻址，是一种寻址与路由耦合的颠覆性架构，难以在现有网络中部署和演进；另一种寻址与路由解耦的方式，如MobilityFirst等架构，将网络实体和数据名字映射到一个标识（ID, Identifier）, 并将ID与其所附着的网络地址（NA, Network Address）绑定，ID用于寻址，NA用于路由，可兼容现有的网络架构，如IP网络，具备现网可实施性。因此，如何在兼容现有网络路由机制的前提下，充分利用网络中间传输节点的存储与计算能力，提供一种具备网内存储能力的数据传输系统急需解决的问题。

发明内容

本发明的目的在于针对上述问题，提出一种具备网内存储能力的数据传输系

统,所述数据传输系统包括数据请求节点、数据源服务节点和中间传输节点,每个节点都有一个全网唯一的标识(ID),至少拥有一个网络地址(NA),且都具备处理基于ID的传输层协议报文的单元,所述数据传输系统的传输对象是具有全网唯一ID标识的数据块;

所述数据请求节点,用于生成和发送数据请求报文,并接收数据响应报文;

所述数据源服务节点,用于响应数据请求,当该节点存有ID标识的数据块时提供该数据块内容的发送服务,生成并发送数据响应报文;

所述中间传输节点,用于处理基于ID的传输层协议报文,且具备自决策数据存储功能,可以从报文获取的信息和该节点的网络状态决策后续的处理行为,还可以响应数据请求,并当该节点存有ID标识的数据块时提供该数据块内容的发送服务,生成并发送数据响应报文。

作为上述系统的一种改进,所述基于ID的传输层协议报文的头部字段包含但不限于数据块ID、数据请求节点ID、源地址、目的地址、报文类型和决策处理指示字段;数据块ID与数据请求节点ID在传输过程中保持不变,报文类型包括但不限于数据请求报文和数据响应报文,决策处理指示字段包括但不限于偏好指示字段、缓存指示字段、QoS指示字段及其组合;所述决策处理指示字段包含的相应指示信息不限于通过报文字段传递,也可以通过报文载荷传递。

作为上述系统的一种改进,所述数据请求报文中的源地址是数据请求节点ID对应的数据请求节点的网络地址,目的地址是存有数据块ID标识的数据块、且能提供该数据块内容发送服务的节点的地址,该目的地址在传输中根据提供发送服务的节点及其网络地址的变化而变化。

作为上述系统的一种改进,所述数据响应报文的源地址是存有数据块ID标识的数据块、且能提供该数据块内容发送服务的节点的地址;目的地址是数据请求节点ID对应的数据请求节点的地址,其中,源地址在传输中根据提供发送服务的节点及其网络地址的变化而变化。

作为上述系统的一种改进,所述偏好指示字段的数值表达了缓存或存储数据块的最佳网络位置指示信息,包括但不限于靠近数据请求节点、靠近数据源、靠近网络核心及组合;

所述缓存指示字段的数值表达了字段所属报文中的数据块内容在传输路径上的缓存行为指示信息,包括但不限于数据块在传输路径上已缓存的次数和还需缓存的次数;

所述 QoS 指示字段的数值表达了数据块内容在传输、缓存、存储时的 QoS 需求指示信息,包括但不限于时延、吞吐和可靠性。

作为上述系统的一种改进,所述中间传输节点具备决策单元,其输入是传输处理信息集合与该节点的网络状态集合,其输出用于决策是否执行相应的后处理动作。

作为上述系统的一种改进,所述传输处理信息集合由中间传输节点通过解析报文获取的信息组成,包括但不限于报文头部字段信息和报文载荷中传递的指示信息;所述网络状态集合包含中间传输节点的自身状态和邻近节点状态;所述自身状态用于指示当前中间传输节点自身的资源提供能力,包括但不限于可用缓存空间、可用存储空间和可用带宽;所述邻近节点状态用于指示当前中间传输节点邻近的其它中间传输节点的相关状态信息,包括但不限于邻近的中间传输节点的网络地址、可用存储空间、以及与本节点的网络距离;邻近的其它中间传输节点不限于 1 个,其状态通过主动或被动探测的方式获得。

作为上述系统的一种改进,所述决策单元可以用一组决策函数的计算来表征,一组决策函数对应一组后处理动作,决策函数的值用于决策是否执行相应的后处理动作,每个决策函数采用不同的函数形式;一个决策函数对应一个或多个后处理动作;

假设后处理动作有 N 个,对于前者,第 n 个后处理动作的决策函数 $\mathcal{D}_n(X)$ 的表达式如下:

$$\mathcal{D}_n(X) = d_n, \text{ 其中, } n = 1, 2, \dots, N$$

函数的输入 $X \in (PV \cup NV)$, PV 是传输处理信息集合, NV 是网络状态集合, n 是后处理动作的标号,决策函数 $\mathcal{D}_n(X)$ 的值 d_n 用于决策是否执行标号为 n 的后处理动作;

对于后者,后处理动作分为 M 个子组, $1 \leq M < N$, 一个决策函数对应一个子组,每个子组包含 k_l 个后处理动作,即:

$$\sum_{l=1}^M k_l = N, \text{ 其中, } 1 \leq k_l \leq N,$$

决策函数 $\mathcal{D}_l(X)$ 的表达式如下:

$$\mathcal{D}_l(X) = [d_{l1}, d_{l2}, \dots, d_{lk_l}], \text{ 其中, } l = 1, 2, \dots, M$$

其中, $d_{l1}, d_{l2}, \dots, d_{lk_l}$ 是第 l 个决策函数 $\mathcal{D}_l(X)$ 的输出值,每个值分别对应第 l 个子组中的一个后处理动作。

作为上述系统的一种改进,所述后处理动作规定了中间传输节点对所接收传

输层协议报文的转发处理行为，包括但不限于直接转发、缓存、存储、邻近转发和修改转发。

作为上述系统的一种改进，所述邻近转发动作包括：将报文中的目的地址修改为邻近节点的地址后转发，同时可以将原报文转发，或修改报文中相关指示信息后转发；所述邻近节点是根据与当前节点的距离选择的其它中间传输节点；所述距离包括但不限于网络距离或者地理距离。

作为上述系统的一种改进，所述邻近节点的地址依据邻近节点选择函数 $SN(Y)$ 的输出值填写，该函数的表达式为：

$$SN(Y) = \{NA_i, i = 1, \dots, I\}$$

该函数根据邻近节点状态从当前中间传输节点邻近的其它中间传输节点中选择合适的邻近节点，函数形式不限，其输入 Y 是邻近节点状态，输出值 NA_i 是符合选择函数选择条件的第 i 个邻近节点的网络地址， I 为符合选择函数选择条件的邻近节点的总数。

作为上述系统的一种改进，所述数据传输系统的外部配置一个名字解析系统，用于管理和维护所述数据传输系统每个节点的 ID 与网络地址之间、数据块 ID 与存有该数据块的节点的网络地址之间的映射关系，一个数据块 ID 可以对应多个网络地址；由此提供 ID 到 NA 的解析服务；所述存有该数据块的节点是存有该 ID 标识的数据块、且能提供该数据块内容发送服务的数据源服务节点或中间传输节点。

作为上述系统的一种改进，所述修改转发为修改报文中的目的地址后转发，其修改的相应地址通过选择函数 $G(CNA)$ 的输出值填写，该选择函数的表达式为：

$$G(CNA) = \{NA_j, NA_j \in CNA, j = 1, \dots, J\},$$

其中， CNA 是存有标识为 ID 的数据块的节点的网络地址集合，或数据请求节点 ID 对应的数据请求节点网络地址集合，该集合可以但不限于向名字解析系统查询获取， $G(CNA)$ 可基于应用和网络需求定义一个或者多个；输出值 NA_j 是存有标识为 ID 的数据块的第 j 个节点的网络地址， J 为存有标识为 ID 的数据块的节点总数。

本发明的优势在于：

通过本发明的系统，基于不变的数据块 ID 和数据请求节点 ID，实现数据块在数据请求节点与中间传输节点或数据源服务节点间的传输，通过中间传输节点对报文字段的决策和处理，实现传输过程中数据块的缓存、存储。

附图说明

图 1 是本发明提出的具备网内存储能力的数据传输系统的组成示意图；

图 2 是一种报文字段包含决策处理指示信息的报文示意图；

图 3 是一种报文载荷包含决策处理指示信息的报文示意图；

图 4 是中间传输节点的一种功能模块图；

图 5 是数据请求与响应流程的示意图 A；

图 6 是数据请求与响应流程的示意图 B。

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的说明。

如图 1 所示，本发明提出的具备网内存储能力的数据传输系统由数据请求节点、数据源服务节点、能够处理传输层报文且具备自决策数据存储功能的中间传输节点等节点组成，每个节点都有一个全网唯一的标识（ID），并至少拥有一个网络地址（NA）；该系统的传输对象是具有全网唯一 ID 的数据块（如图中的 ID-c），该系统的中间传输节点和数据源服务节点都能够响应数据请求节点发起的请求，该系统的所有节点都包含一个处理基于 ID 的传输层协议报文的单元模块。

该系统的数据请求节点具备生成和发送数据请求报文、接收数据响应报文的功能；该系统的数据源服务节点具备响应数据请求报文，生成和发送数据响应报文的功能。

该系统外部由一个名字解析系统负责管理和维护所述数据传输系统各节点 ID 与该节点网络地址之间、数据块 ID 与存有该数据块的节点网络地址之间的映射关系，提供 ID 到 NA 的解析服务；其中的映射关系可以是一个数据块 ID 对应多个网络地址，如图中的数据块 ID-c 对应两个网络地址 NA-s、NA-t3。

本发明提出的传输层协议报文头部字段可以包含但不限于数据块 ID、数据请求节点 ID、源地址、目的地址、报文类型和决策处理指示字段，图 2 所示的是该报文在 IPv6 网络中的一种示意图。

其中，数据块 ID 与数据请求节点 ID 在传输过程中保持不变，报文类型包括但不限于数据请求报文和数据响应报文，决策处理指示字段包括但不限于偏好指示、缓存指示和 QoS 指示，并可以进行组合。数据请求报文的源地址是数据请求

节点 ID 对应的数据请求节点的网络地址，目的地址是存有标识为 ID 的数据块、且能提供该数据块内容发送服务的节点的地址，该目的地址在传输中可以根据提供发送服务的节点及其网络地址的变化而变化。

数据响应报文的源地址是存有标识为 ID 的数据块、且能提供该数据块内容发送服务的节点的地址，目的地址是数据请求节点 ID 对应的数据请求节点的地址，其中，源地址在传输中可以根据提供发送服务的节点及其网络地址的变化而变化。

决策处理指示字段中，偏好指示字段的数值表达了缓存或存储数据块的优选网络位置指示信息，包括但不限于靠近数据请求节点、靠近数据源、靠近网络核心、及其组合等；缓存指示字段的数值表达了字段所属报文中的数据块内容在传输路径上的缓存行为指示信息，包括但不限于数据块在传输路径上已缓存的次数，还需缓存的次数等；QoS 指示字段的数值表达了数据块内容在传输、缓存、存储时的 QoS 需求指示信息，包括但不限于时延、吞吐、可靠性等需求。

报文字段中的决策处理指示信息也可以通过报文载荷传递，图 3 所示的是通过报文载荷传递该信息的一种报文示意图，采用 TLV (Tag, Length, Value) 编码格式，其中，标签 1、2、3 分别对应 QoS 指示、偏好指示、缓存指示等信息。

中间传输节点的一种功能模块图如图 4 所示，包含传输层协议报文处理模块，决策模块和后处理模块，其中：

传输层协议报文处理模块负责接收、识别基于 ID 的传输层协议报文，并对该报文进行解析，获取传输层协议报文头部字段或载荷中包含的数据块 ID、数据请求节点 ID、源地址、目的地址、报文类型、决策处理指示等信息，同时基于此构建传输处理信息集合传递给决策模块。也负责将经后处理模块处理的报文传递给网络层发送出去。

决策模块的输入是传输层协议报文处理模块传递来的传输处理信息集合与当前节点的网络状态集合，其输出结果传递给后处理模块，用于决策是否执行相应的后处理动作。

决策模块可以用一组决策函数的计算来表征，一组决策函数对应一组后处理动作，决策函数的值用于决策是否执行相应的后处理动作，每个决策函数可以采用不同的函数形式。一个决策函数可以对应一个后处理动作，也可以对应多个后

处理动作。不失一般性, 假设后处理动作有 N 个 ($N \geq 1$), 对于前者, 第 n 个后处理动作的决策函数 $\mathcal{D}_n(X)$ 的表达式如下:

$$\mathcal{D}_n(X) = d_n, \text{ 其中, } n = 1, 2, \dots, N$$

函数的输入 $X \in (PV \cup NV)$, PV 是传输处理信息集合, NV 是网络状态集合, n 是后处理动作的标号, 决策函数 $\mathcal{D}_n(X)$ 的值 d_n 用于决策是否执行标号为 n 的后处理动作。

对于后者, 后处理动作分为 M 个子组 ($1 \leq M < N$), 一个决策函数对应一个子组, 每个子组包含 k_l 个后处理动作, 即:

$$\sum_{l=1}^M k_l = N, \text{ 其中, } 1 \leq k_l \leq N,$$

决策函数的表达式如下:

$$\mathcal{D}_l(X) = [d_{l1}, d_{l2}, \dots, d_{lk_l}], \text{ 其中, } l = 1, 2, \dots, M,$$

其中, $d_{l1}, d_{l2}, \dots, d_{lk_l}$ 是第 l 个决策函数 $\mathcal{D}_l(X)$ 的输出值, 每个值分别对应第 l 个子组的一个后处理动作。

后处理模块基于决策模块的输出决定是否执行直接转发、缓存、存储、邻近转发和修改转发等后处理动作。其中,

直接转发不对报文进行修改处理, 直接转发报文。

缓存是将报文中的数据块内容存储在中间传输节点本地, 同时将原报文转发, 或修改报文中相关指示信息后转发。

存储是将报文中的数据块内容存储在中间传输节点本地。

邻近转发是将报文中的目的地址后修改为邻近节点的地址后转发, 同时可以将原报文转发, 或修改报文中相关指示信息后转发。当前节点的邻近节点是根据与当前节点的距离选择的其他中间传输节点, 其距离可以但不限于用网络距离或者地理距离来度量。邻近转发修改的目的地址地址可以依据邻近节点选择函数 $SN(Y)$ 的输出值填写,

$$SN(Y) = \{NA_i, i = 1, \dots, I\}$$

该函数根据邻近节点状态从当前中间传输节点邻近的传输节点中选择合适的其他传输节点, 函数形式不限, 其输入 Y 是邻近节点状态, 输出值 NA_i 是符合

选择函数选择条件的邻近中间传输节点的网络地址。

修改转发是修改报文中的目的地址后转发，其修改的相应地址通过选择函数 $G(CNA)$ 的输出值填写，该选择函数的表达式为：

$$G(CNA) = \{NA_j, NA_j \in CNA, j = 1, \dots, J\}$$

其中， CNA 是数据块 ID 对应的存有标识为该 ID 的数据块的节点网络地址集合，或数据请求节点 ID 对应的数据请求节点网络地址集合，该集合可以但不限于向名字解析系统查询获取， $G(CNA)$ 可基于应用和网络需求定义一个或者多个。

决策函数 $\mathcal{D}_n(X)$ 可以采用两步决策的方式，先对数据块缓存/存储需求、当前节点缓存/存储能力、邻近节点的选择及缓存能力等一些相对独立的决策事项先判定一次，再基于判定的结果进行联合决策，即该决策函数可以表达为对一系列决策事项判定函数输出值的联合决策函数：

$$\mathcal{D}_n(X) = J\mathcal{D}_n[\mathcal{F}_1(X), \mathcal{F}_2(X), \dots, \mathcal{F}_i(X), \dots]$$

其中， $J\mathcal{D}_n(\cdot)$ 是针对第 n 个后处理动作的联合决策函数，其输入是触发第 n 个后处理动作相关决策事项的判定函数 $\mathcal{F}_1(X), \mathcal{F}_2(X), \dots, \mathcal{F}_i(X), \dots$ 的输出值， $J\mathcal{D}_n(\cdot)$ 与 $\mathcal{F}_i(X)$ 的形式不限。

相关决策事项的判定函数可以表达为：

$\mathcal{F}_C(X)$ 表示缓存判定函数，用于判定是否需要在当前中间传输节点缓存报文中的数据块内容，其输出值可以但不限于用布尔值表征：

$$\mathcal{F}_C(X) = \begin{cases} Y, & \text{需要在当前节点缓存} \\ N, & \text{不需要在当前节点缓存} \end{cases}。$$

$\mathcal{F}_{CA}(X)$ 表示缓存能力判定函数，用于判定当前中间传输节点是否有能力缓存数据块，其输出值可以但不限于用布尔值表征：

$$\mathcal{F}_{CA}(X) = \begin{cases} Y, & \text{当前节点有能力缓存} \\ N, & \text{当前节点没有能力缓存} \end{cases}。$$

$\mathcal{F}_{CN}(X)$ 表示邻近缓存判定函数，用于判定当前中间传输节点是否能将报文转发邻近的中间传输节点进行缓存，其输出值可以但不限于用布尔值表征：

$$\mathcal{F}_{CN}(X) = \begin{cases} Y, & \text{能转发邻近的中间传输节点缓存} \\ N, & \text{不能转发邻近的中间传输节点缓存} \end{cases}。$$

$\mathcal{F}_S(X)$ 表示存储判定函数，用于判定是否需要在当前中间传输节点存储报文

中的数据块内容，其输出值可以但不限于用布尔值表征：

$$\mathcal{F}_S(X) = \begin{cases} Y, & \text{需要在当前节点存储} \\ N, & \text{不需要在当前节点存储} \end{cases}。$$

$\mathcal{F}_{SA}(X)$ 表示存储能力判定函数，用于判定当前中间传输节点是否有能力存储数据块，其输出值可以但不限于用布尔值表征：

$$\mathcal{F}_{SA}(X) = \begin{cases} Y, & \text{当前节点有能力存储} \\ N, & \text{当前节点没有能力存储} \end{cases}。$$

$\mathcal{F}_{MD}(X)$ 表示目的地址判定函数，用于判定是否修改目的地址，其输出值可以但不限于用布尔值表征：：

$$\mathcal{F}_{MD}(X) = \begin{cases} Y, & \text{修改目的地址} \\ N, & \text{不修改目的地址} \end{cases}。$$

$\mathcal{F}_{MS}(X)$ 表示源地址判定函数，用于判定是否修改源地址，其输出值可以但不限于用布尔值表征：：

$$\mathcal{F}_{MS}(X) = \begin{cases} Y, & \text{修改源地址} \\ N, & \text{不修改源地址} \end{cases}。$$

$\mathcal{F}_i(X)$ 是根据应用或网络需求所涉及的其他判定函数。

这样，针对直接转发、缓存、存储、邻近转发和修改转发等后处理动作的联合决策函数可以是：

(1) 针对直接转发动作

$$\mathcal{JD}_1(X) = [(\mathcal{F}_C(X) == N) \cap (\mathcal{F}_S(X) == N)] \cup [(\mathcal{F}_C(X) == Y) \cap (\mathcal{F}_{CA}(X) == N) \cap (\mathcal{F}_{CN}(X) == N)]；$$

(2) 针对缓存动作

$$\mathcal{JD}_2(X) = (\mathcal{F}_C(X) == Y) \cap (\mathcal{F}_{CA}(X) == Y)；$$

(3) 针对存储动作

$$\mathcal{JD}_3(X) = (\mathcal{F}_C(X) == Y) \cap (\mathcal{F}_{CA}(X) == N) \cap (\mathcal{F}_{CN}(X) == Y)；$$

(4) 针对邻近转发动作

$$\mathcal{JD}_4(X) = [(\mathcal{F}_C(X) == Y) \cap (\mathcal{F}_{CA}(X) == N) \cap (\mathcal{F}_{CN}(X) == Y)] \cup [(\mathcal{F}_S(X) == Y) \cap (\mathcal{F}_{SA}(X) == N)]；$$

(5) 针对修改转发动作

$$\mathcal{JD}_5(X) = (\mathcal{F}_{MD}(X) == Y) \cup (\mathcal{F}_{MS}(X) == Y)。$$

当联合决策函数的输出值为“真”时，执行相应的后处理动作，其输出也可以是连续值，通过与阈值的比较决策是否执行相应的后处理动作。

本发明提出的传输系统的一种数据请求与响应流程的具体实施如图 5、图 6 所示。

对于图 5，不失一般性，假设初始化时每个中间传输节点都未缓存或存储任何数据块；数据源服务节点具备网络地址 NA-s，存有 ID-c 标识的数据块，并已经在名字解析系统注册了 ID-c 与数据源服务节点地址 NA-s 的映射关系；数据请求节点 1 具备全网唯一的标识 ID-r1，并拥有网络地址 NA-r1；中间传输节点 1、2、3 分别具备网络地址 NA-t1、NA-t2、NA-t3，其决策模块中的决策函数采用两步决策方式，其中，缓存判定函数 $\mathcal{F}_c(X)$ 假设都是 $\mathcal{F}_c(X) = Y$ ，即当前节点始终需要缓存；传输层协议报文头部字段中，报文类型字段取值设为 0 和 1，0 表示是数据请求报文，1 表示是数据响应报文。

(101) 数据请求节点 1 向名字解析系统发送解析请求，请求中携带数据块 ID-c，名字解析系统返回存有数据块 ID-c 的数据源服务节点地址 NA-s；

(102) 数据请求节点 1 的传输层协议报文处理模块生成并发送数据请求报文，发起对数据块的请求，其中，报文类型置为 0，数据块 ID 置为 ID-c、数据请求节点 ID 置为 ID-r1，目的地址置为 NA-s，源地址置为 NA-r1，该报文按照所在网络本身的路由机制被转发至中间传输节点 1；

(103) 中间传输节点 1 的传输层协议报文处理模块接收数据请求报文，识别并解析该报文，读取报文类型为 0，为数据请求报文，然后读取目的地址，其目的地址不是本节点地址，直接转发该报文，该报文按照所在网络本身的路由机制转发至中间传输节点 2；

(104) 中间传输节点 2 的传输层协议报文处理模块接收数据请求报文，识别并解析该报文，读取报文类型为 0，为数据请求报文，然后读取目的地址，其目的地址不是本节点地址，直接转发该报文，该报文按照所在网络本身的路由机制转发至数据源服务节点；

(105) 数据源服务节点的传输层协议报文处理模块接收数据请求报文，识别并解析该报文，读取报文类型为 0，为数据请求报文，然后读取目的地址，其

目的地址 NA-s 为本节点的网络地址,因此响应数据请求,生成数据响应报文,报文类型置为 1,数据块 ID 置为 ID-c、数据请求节点 ID 置为 ID-r1、目的地址置为 NA-r1、源地址置为 NA-s、决策处理指示字段信息至少包含缓存指示、然后封装 ID-c 对应的数据块内容,发送该报文,该报文按照所在网络本身的路由机制被转发至中间传输节点 3。

(106) 中间传输节点 3 的传输层协议报文处理模块接收数据响应报文,识别并解析该报文,读取报文类型为 1,为数据响应报文,读取决策处理指示信息,传递给决策模块;决策模块计算 $\mathcal{F}_c(X)$ 和 $\mathcal{F}_{cA}(X)$, $\mathcal{F}_c(X) = Y$,需要缓存,且因当前节点未缓存和存储任何数据块,有能力缓存, $\mathcal{F}_{cA}(X) = Y$,基于此,计算针对缓存动作的联合决策函数 $\mathcal{JD}_2(X) = Y$,即决策结果是执行缓存处理,因此后处理模块执行缓存动作,将数据块内容进行缓存,成功后执行步骤(107),同时转发原报文,也可以修改报文中的缓存指示信息再转发,该报文按照所在网络本身的路由机制被转发至中间传输节点 1。

(107) 中间传输节点 3,将数据块 ID 与中间传输节点 3 的网络地址 NA-t3 的映射关系向名字解析系统注册。

(108) 中间传输节点 1 的传输层协议报文处理模块接收数据响应报文,识别并解析该报文,读取报文类型为 1,为数据响应报文,读取决策处理指示信息,传递给决策模块;决策模块计算 $\mathcal{F}_c(X)$ 和 $\mathcal{F}_{cA}(X)$, $\mathcal{F}_c(X) = Y$,需要缓存,且因当前节点未缓存和存储任何数据块,有能力缓存, $\mathcal{F}_{cA}(X) = Y$,基于此,计算针对缓存动作的联合决策函数 $\mathcal{JD}_2(X) = Y$,即决策结果是执行缓存处理,因此后处理模块执行缓存动作,将数据块内容进行缓存,成功后执行步骤(109),同时转发原报文,也可以修改报文中的缓存指示信息再转发,该报文按照所在网络本身的路由机制被转发至数据请求节点 1。

(109) 中间传输节点 1 将数据块 ID 与中间传输节点 1 的网络地址 NA-t1 的映射关系向名字解析系统注册。

(110) 数据请求节点 1 的传输层协议报文处理模块接收数据响应报文,识别并解析该报文,读取报文类型为 1,为数据响应报文,读取目的地址,其目的地址 NA-r1 是本节点的网络地址,因此读取数据块内容,并将读取完成的数据块内容提供给上层应用。

上述步骤（105）在执行过程中，可以先执行步骤（105a）更新目的地址，再发送报文。

（105a）数据源服务节点向名字解析系统发送解析请求，请求中携带数据请求节点 1 标识 ID-r1，名字解析系统返回 ID-r1 对应的地址 NA-r1，更新目的地址；

上述步骤（106）在执行过程中，可以先执行步骤（106a）更新目的地址，再转发报文。

（106a）中间传输节点 3 向名字解析系统发送解析请求，请求中携带数据请求节点 1 标识 ID-r1，名字解析系统返回 ID-r1 对应的地址 NA-r1，更新目的地址；

上述步骤（108）中间传输节点 1 在执行过程中，可以先更新目的地址，再转发报文，步骤与（106a）类似，不再赘述。

上述流程的步骤（105）开始，数据响应报文按照所在网络本身的路由机制被依次传输至中间传输节点 3、1 和数据请求节点 1，按照网络本身的路由机制也可能沿着中间传输节点 2、1 和数据请求节点 1 的路径传输。

上述流程的步骤（105），数据源服务节点传输层协议报文处理模块封装数据响应报文时，数据块的大小可能大于网络层报文最大长度，可以将 ID-c 对应的数据块切分为更小的数据片，封装为多个数据包发送，发送的时间可以但不限于连续发送、或者根据数据请求节点的请求情况发送。

对于图 6，是在图 5 的基础上增加一个数据请求节点 2，具备全网唯一的标识 ID-r2，并拥有网络地址 NA-r2。此外，假设数据请求节点 1 已经按照图 5 的流程请求并获得了 ID-c 标识的数据块，该数据块也已经在中间传输节点 3、1 中成功缓存和注册；数据请求节点 2 请求 ID-c 标识的数据块的具体实施流程如下：

（201）数据请求节点 2 的向名字解析系统发送解析请求，请求中携带数据块 ID-c，名字解析系统返回存有数据块 ID-c 的网络地址集合 CNA，包括数据源服务节点地址 NA-s、中间传输节点 3 和 1 的地址 NA-r3 和 NA-r1，假设选择 NA-r3；名字解析系统也可能选择一个地址返回，选择的方法不限，假设返回 NA-r3；

（202）数据请求节点 2 的传输层协议报文处理模块生成并发送数据请求报

文，发起对数据块的请求，其中，报文类型置为 0，数据块 ID 置为 ID-c、数据请求节点 ID 置为 ID-r2，源地址置为 NA-r1，目的地址置为 NA-r3；该报文按照所在网络本身的路由机制被转发至中间传输节点 1；

(203) 中间传输节点 1 的传输层协议报文处理模块接收数据请求报文，其识别并解析该报文，读取报文类型为 0，为数据请求报文，然后读取目的地址，其目的地址不是本节点地址，直接转发该报文，该报文按照所在网络本身的路由机制转发至中间传输节点 3；

(204) 中间传输节点 3 的传输层协议报文处理模块接收数据请求报文，识别并解析该报文，读取报文类型为 0，为数据请求报文，然后读取目的地址，其目的地址是本节点地址，因此响应数据请求，生成数据响应报文，报文类型置为 1，数据块 ID 置为 ID-c、数据请求节点 ID 置为 ID-r2、目的地址置为 NA-r2、源地址置为 NA-t3、决策处理指示字段信息至少包含缓存指示、然后封装 ID-c 对应的数据块内容，发送该报文，该报文按照所在网络本身的路由机制被转发至中间传输节点 1。

(205) 中间传输节点 1 的传输层协议报文处理模块接收数据响应报文，识别并解析该报文，读取报文类型为 1，为数据响应报文，读取决策处理指示信息，传递给决策模块；决策模块计算 $\mathcal{F}_C(X)$ 和 $\mathcal{F}_{CA}(X)$ ， $\mathcal{F}_C(X) = Y$ ，需要缓存，假设当前节点当前有能力缓存， $\mathcal{F}_{CA}(X) = Y$ ，基于此，计算针对缓存动作的联合决策函数 $\mathcal{JD}_2(X) = Y$ ，即决策结果是执行缓存处理，因此后处理模块执行缓存动作，将数据块内容进行缓存，因本节点已经缓存了该数据块，无需再缓存，同时转发原报文，也可以修改报文中的缓存指示信息再转发，该报文按照所在网络本身的路由机制被转发至数据请求节点 2。

(206) 数据请求节点 2 的传输层协议报文处理模块接收数据响应报文，识别并解析该报文，读取报文类型为 1，为数据响应报文，读取目的地址，其目的地址 NA-r2 是本节点的网络地址，因此读取数据块内容，并将读取完成的数据块内容提供给上层应用。

上述步骤 (204)、(205) 在执行过程中，可以先更新目的地址，再转发报文，步骤与 (106a) 类似，不再赘述。

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、一种具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述数据传输系统包括数据请求节点、数据源服务节点和中间传输节点，每个节点都有一个全网唯一的标识（ID），至少拥有一个网络地址（NA），且都具备处理基于 ID 的传输层协议报文的单元，所述数据传输系统的传输对象是具有全网唯一 ID 标识的数据块；

所述数据请求节点，用于生成和发送数据请求报文，并接收数据响应报文；

所述数据源服务节点，用于响应数据请求，当该节点存有 ID 标识的数据块时提供该数据块内容的发送服务，生成并发送数据响应报文；

所述中间传输节点，用于处理基于 ID 的传输层协议报文，且具备自决策数据存储功能，可以从报文获取的信息和该节点的网络状态决策后续的处理行为，还可以响应数据请求，并当该节点存有 ID 标识的数据块时提供该数据块内容的发送服务，生成并发送数据响应报文。

2、根据权利要求 1 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述基于 ID 的传输层协议报文的头部字段包含但不限于数据块 ID、数据请求节点 ID、源地址、目的地址、报文类型和决策处理指示字段；数据块 ID 与数据请求节点 ID 在传输过程中保持不变，报文类型包括但不限于数据请求报文和数据响应报文，决策处理指示字段包括但不限于偏好指示字段、缓存指示字段、QoS 指示字段及其组合；所述决策处理指示字段包含的相应指示信息不限于通过报文字段传递，也可以通过报文载荷传递。

3、根据权利要求 2 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述数据请求报文中的源地址是数据请求节点 ID 对应的数据请求节点的网络地址，目的地址是存有数据块 ID 标识的数据块、且能提供该数据块内容发送服务的节点的地址，该目的地址在传输中根据提供发送服务的节点及其网络地址的变化而变化。

4、根据权利要求 2 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述数据响应报文的源地址是存有数据块 ID 标识的数据块、且能提供该数据块内容发送服务的节点的地址；目的地址是数据请求节点 ID 对应的数据请求节点的地址，其中，源地址在传输中根据提供发送服务的节点及其网络地址的变化而变化。

5、根据权利要求 2 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述偏好指示字段的数值表达了缓存或存储数据块的最佳网络位置指示信息，包括但不限于靠近数据请求节点、靠近数据源、靠近网络核心及组合；

所述缓存指示字段的数值表达了字段所属报文中的数据块内容在传输路径上的缓存行为指示信息，包括但不限于数据块在传输路径上已缓存的次数和还需缓存的次数；

所述 QoS 指示字段的数值表达了数据块内容在传输、缓存、存储时的 QoS 需求指示信息，包括但不限于时延、吞吐和可靠性。

6、根据权利要求 1 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述中间传输节点具备决策单元，其输入是传输处理信息集合与该节点的网络状态集合，其输出用于决策是否执行相应的后处理动作。

7、根据权利要求 6 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述传输处理信息集合由中间传输节点通过解析报文获取的信息组成，包括但不限于报文头部字段信息和报文载荷中传递的指示信息；所述网络状态集合包含中间传输节点的自身状态和邻近节点状态；所述自身状态用于指示当前中间传输节点自身的资源提供能力，包括但不限于可用缓存空间、可用存储空间和可用带宽；所述邻近节点状态用于指示当前中间传输节点邻近的其它中间传输节点的相关状态信息，包括但不限于邻近的中间传输节点的网络地址、可用存储空间、以及与本节点的网络距离；邻近的其它中间传输节点不限于 1 个，其状态通过主动或被动探测的方式获得。

8、根据权利要求 6 或 7 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述决策单元可以用一组决策函数的计算来表征，一组决策函数对应一组后处理动作，决策函数的值用于决策是否执行相应的后处理动作，每个决策函数采用不同的函数形式；一个决策函数对应一个或多个后处理动作；

假设后处理动作有 N 个，对于前者，第 n 个后处理动作的决策函数 $\mathcal{D}_n(X)$ 的表达式如下：

$$\mathcal{D}_n(X) = d_n, \text{ 其中, } n = 1, 2, \dots, N$$

函数的输入 $X \in (PV \cup NV)$ ， PV 是传输处理信息集合， NV 是网络状态集合， n 是后处理动作的标号，决策函数 $\mathcal{D}_n(X)$ 的值 d_n 用于决策是否执行标号为 n

的后处理动作；

对于后者，后处理动作分为 M 个子组， $1 \leq M < N$ ，一个决策函数对应一个子组，每个子组包含 k_l 个后处理动作，即：

$$\sum_{l=1}^M k_l = N, \quad \text{其中, } 1 \leq k_l \leq N,$$

决策函数 $\mathcal{D}_l(X)$ 的表达式如下：

$$\mathcal{D}_l(X) = [d_{l1}, d_{l2}, \dots, d_{lk_l}], \quad \text{其中, } l = 1, 2, \dots, M$$

其中， $d_{l1}, d_{l2}, \dots, d_{lk_l}$ 是第 l 个决策函数 $\mathcal{D}_l(X)$ 的输出值，每个值分别对应第 l 个子组中的一个后处理动作。

9、根据权利要求 6 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述后处理动作规定了中间传输节点对所接收传输层协议报文的转发处理行为，包括但不限于直接转发、缓存、存储、邻近转发和修改转发。

10、根据权利要求 9 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述邻近转发动作包括：将报文中的目的地址修改为邻近节点的地址后转发，同时可以将原报文转发，或修改报文中相关指示信息后转发；所述邻近节点是根据与当前节点的距离选择的其它中间传输节点；所述距离包括但不限于网络距离或者地理距离。

11、根据权利要求 10 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述邻近节点的地址依据邻近节点选择函数 $SN(Y)$ 的输出值填写，该函数的表达式为：

$$SN(Y) = \{NA_i, i = 1, \dots, I\}$$

该函数根据邻近节点状态从当前中间传输节点邻近的其它中间传输节点中选择合适的邻近节点，函数形式不限，其输入 Y 是邻近节点状态，输出值 NA_i 是符合选择函数选择条件的第 i 个邻近节点的网络地址， I 为符合选择函数选择条件的邻近节点的总数。

12、根据权利要求 9 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述数据传输系统的外部配置一个名字解析系统，用于管理和维护所述数据传输系统每个节点的 ID 与网络地址之间、数据块 ID 与存有该数据块的节点的网络地址之间的映射关系，一个数据块 ID 可以对应多个网络地址；由此提供 ID 到 NA

的解析服务；所述存有该数据块的节点是存有该 ID 标识的数据块、且能提供该数据块内容发送服务的数据源服务节点或中间传输节点。

13、根据权利要求 12 所述的具有网内存储能力的数据传输系统，其特征在于，所述修改转发为修改报文中的目的地址后转发，其修改的相应地址通过选择函数 $G(CNA)$ 的输出值填写，该选择函数的表达式为：

$$G(CNA) = \{NA_j, NA_j \in CNA, j = 1, \dots, J\},$$

其中，CNA 是存有标识为 ID 的数据块的节点的网络地址集合，或数据请求节点 ID 对应的数据请求节点网络地址集合，该集合可以但不限于向名字解析系统查询获取， $G(CNA)$ 可基于应用和网络需求定义一个或者多个；输出值 NA_j 是存有标识为 ID 的数据块的第 j 个节点的网络地址， J 为存有标识为 ID 的数据块的节点总数。