(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2020 年 3 月 26 日 (26.03.2020)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2020/056927 A1

(51) 国际专利分类号:
H04J 3/16 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/119066

(22) 国际申请日: 2018 年 12 月 4 日 (04.12.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201811110527.4 2018年9月21日 (21.09.2018) CN

(71) 申请人: 烽火通信科技股份有限公司 (**FIBERHOME TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES CO., LTD**) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路6号, Hubei 430000 (CN)。

(72) 发明人: 刘福 (**LIU, Fu**); 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路6号, Hubei 430000 (CN)。 施泓昊 (**SHI, Honghao**); 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路6号, Hubei 430000 (CN)。 钟永波 (**ZHONG, Yongbo**); 中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区高新四路6号, Hubei 430000 (CN)。

(74) 代理人: 武汉智权专利代理事务所（特殊普通合伙） (**WUHAN ZHI QUAN PATENT AGENCY**); 中国湖北省武汉市东湖新技术开发区珞喻路727号星光无限4栋21层2103室, Hubei 430000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

(54) **Title:** METHOD AND SYSTEM FOR PERFORMING LOW-LATENCY GMP MAPPING USING ADAPTIVE CONTROL OF STATE MACHINE

(54) 发明名称: 基于状态机自适应控制的低时延GMP映射方法及系统

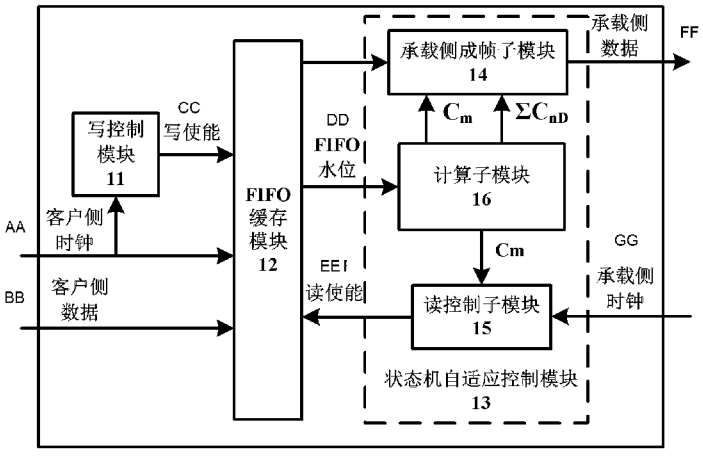


图 2

11 WRITE CONTROL MODULE
12 FIFO BUFFER MODULE
13 ADAPTIVE CONTROL MODULE OF STATE MACHINE
14 FRAMING SUBMODULE AT SERVER SIDE
15 READ CONTROL SUBMODULE
16 COMPUTATION SUBMODULE
AA CLIENT-SIDE CLOCK
BB CLIENT-SIDE DATA
CC WRITE ENABLEMENT
DD FIFO THRESHOLD
EE READ ENABLEMENT
FF SERVER-SIDE DATA
GG SERVER-SIDE CLOCK

(57) **Abstract:** The present invention relates to the field of GMP mapping. Disclosed are a method and system for performing low-latency GMP mapping using adaptive control of a state machine. The method comprises the following steps: automatically sensing, on the basis of an adaptive mechanism of a GMP mapping state machine, frequency offsets of services at input and output sides of a GMP mapping, so as to perform switching between GMP mapping states and control of a FIFO threshold. The invention can minimize the depth of a FIFO, thereby maximally meeting requirements for low latency performance.

WO 2020/056927 A1

[见续页]

GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：本发明公开了一种基于状态机自适应控制的低时延GMP映射方法及系统，涉及GMP映射领域。该方法包括以下步骤：根据GMP映射状态机的自适应机制，自动感知GMP映射的输入和输出两侧业务频偏情况，完成GMP映射状态的切换和FIFO水位控制。本发明能最小化FIFO的深度，最大限度满足低时延性能。

基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法及系统

技术领域

本发明涉及 GMP 映射领域，具体是涉及一种基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法及系统。

背景技术

近年来，人们对移动通信需求的不断增长，推动着移动互联网技术的飞速发展。移动网络进入 4G 时代后，虽在用户接入速率上较 3G 网络而言有了本质的提升，但人们对更高性能移动通信的追求从未停止。为了应对未来爆炸性的移动数据流量增长、海量的设备连接、不断涌现的各类新业务和应用场景，第五代移动通信（5G）系统应运而生。

未来 5G 网络，不仅对数据接入速率有更高的要求，同时也对时延提出了“无感知”的苛刻要求。5G 网络对端到端提出了毫秒级的时延要求。端到端时延包含接入网时延和传输网时延，OTN（Optical Transport Network，光传送网）传输网时延又分为信息传送时延和设备内部处理时延，而 OTN 设备处理时延主要包含 FEC（Forward Error Correction，前向纠错）编译码时延和数据流映射处理时延等。

在 OTN 光传送网各种业务颗粒映射场景中，GMP（Generic Mapping Procedure，通用映射规程）映射被广泛采用。GMP 映射是一种通用异步映射规程，主要通过插入填充字节，完成异步数据流的转换。按照 OTN G.709 协议，GMP 异步映射既可在 OTN 网络内部实现低速 OTN 业务流到高速 OTN 业务流的汇聚，也可以完成对 OTN 网络外部固定比特速率客户信号的承载，即通过 GMP 映射实现 CBR（Constant Bit Rate，固定码率） Over OTN。由此可见，GMP 映射为 OTN 光传送网的一项核心技术，GMP 映射技术的性能指标（例如时延

特性）将会直接影响 OTN 网络的相关性能。按照协议规定的 GMP 映射方法，实现 GMP 映射有多种方案，不同方案带来的处理延时会有较大的差别。

OTN 光传送网中实现 GMP 映射，主要涉及如何实时计算 C_m（number of m-bit Client data entities，m 比特块客户数据个数）、C_{nD}值、ΣC_{nD}值以及对填充块的插入控制，m 为承载侧每个数据块中的比特数，n 为客户侧每个数据块中的比特数，参见 G.709 标准 17.7 节第 100 页，m 取值为 8、16、64、256 或 640，n 取值为 8 或 1，C_{nD}表示 C_n 与 $m/n*C_{m_down}$ 之间的差值（difference between Cn and $(m/n*C_m)$），C_m 为 m 比特块客户数据个数，C_{m_up} 表示对 C_m 值向上取整，C_{m_down} 表示对 C_m 值向下取整，C_n 为一个承载帧周期或者复帧周期需要承载的客户侧 n 比特数据块的数量；ΣC_{nD}值表示 C_n 与 $m/n*C_{m_down}$ 之间的差值求和。本帧的 C_m 值决定了下一帧是否插入以及插入多少填充块，插入填充块的具体位置则由误差求和算法的固定规律决定；收端利用上一帧的 C_m 值，剥离出当前帧中的所有填充块，并将当前帧承载的客户侧数据解下来，然后利用接收的 ΣC_{nD}值的统计规律得出精确的C_{nD}值，利用C_{nD}可以精确恢复出客户侧业务时钟。GMP 映射的核心就是如何准确实时计算 C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}的值。计算 C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值有多种方法，不同方法带来的时延有较大的差别。急需一种全新的计算 C_m、C_{nD}、ΣC_{nD} 的方法，最大限度满足低时延性能。

发明内容

本发明的目的是为了最大限度满足低时延性能，提供一种基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法及系统，能够最小化 FIFO 的深度，最大限度满足低时延性能。

第一方面，提供一种基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，包括以下步骤：

根据 GMP 映射状态机的自适应控制机制，自动感知 GMP 映射的输入和输出两侧业务频偏情况，完成 GMP 映射状态的切换和 FIFO 水位控制，通过 FIFO

水位控制 GMP 映射状态机的状态转移。

根据第一方面，在第一方面的第一种可能的实现方式中，该方法具体包括以下步骤：

GMP 映射状态机至少有 2 种状态，根据 GMP 映射状态机的当前状态，计算下一个映射处理周期对应的各组C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列，每种状态对应不同的实际频偏情况，m 为承载侧每个数据块中的比特数，n 为客户侧每个数据块中的比特数，m 取值为 8、16、64、256 或 640，n 取值为 8 或 1，C_m为 m 比特块客户数据个数，C_n为一个承载帧周期或者复帧周期需要承载的客户侧 n 比特数据块的数量，C_{nD}为 C_n 与 $m/n*C_{m_down}$ 之间的差值，C_{m_down} 为对 C_m 值向下取整，ΣC_{nD} 值为 C_n 与 $m/n*C_{m_down}$ 之间的差值求和。

根据第一方面的第一种可能的实现方式，在第一方面的第二种可能的实现方式中，该方法具体包括以下步骤：

无频偏时，GMP 映射状态机有 2 种状态，以 M 字节块的颗粒度进行映射，每 N 帧有 1 帧相对前 N-1 帧多插入一个数据块，少一个填充块，按下式计算 N 值：

$N_up = \mathrm{ceiling}(\frac{M}{C_{nD}})$，$N_down = \mathrm{floor}(\frac{M}{C_{nD}})$，$N_{_up} - N_{_down} = 1$；

M 表示 C_m 中的 m/8 取值，$\mathrm{ceiling}\left(\frac{M}{C_{nD}}\right)$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向上取整，$\mathrm{floor}\left(\frac{M}{C_{nD}}\right)$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向下取整，$N_{_up}$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向上取整后的数值，$N_{_down}$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向下取整后的数值。

根据第一方面的第二种可能的实现方式，在第一方面的第三种可能的实现方式中，该方法还包括以下步骤：

无频偏时，GMP 映射状态机有以下 2 种状态：

状态 1：每N_up帧有 1 帧以$C_m = C_{m_up}$进行映射，其他帧以$C_m = C_{m_down}$进行映射，C_{m_up}表示对C_m值向上取整；状态 1 对应的C_m值序列为：

$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}\ C_{m_up}}_{N_up}$，$C_{nD}$平均值$\overline{C_{nD}}$为：$\frac{M}{N_up}$；

状态 2：每N_down帧有 1 帧以$C_m = C_{m_up}$进行映射，其他帧以$C_m = C_{m_down}$进行映射；状态 2 对应的C_m值序列为：$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}\ C_{m_up}}_{N_down}$，$C_{nD}$平均值$\overline{C_{nD}}$为：$\frac{M}{N_down}$；

每种 GMP 映射状态形成一组对应的C_m值序列，依据C_m值序列，计算 C_{nD}值序列、ΣC_{nD}值序列。

根据第一方面的第三种可能的实现方式，在第一方面的第四种可能的实现方式中，该方法还包括以下步骤：

无频偏时，定时采样 FIFO 水位，判断当前 GMP 映射状态是否需要切换，具体过程为：

当承载侧读出的速率大于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位降低达到门限值时，由状态 2 切换到状态 1，通过读使能控制，降低承载侧读出数据的速率，从而使水位适当升高；

当承载侧读出的速率小于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位升高达到门限值时，由状态 1 切换到状态 2，通过读使能控制，提高承载侧读出数据的速率，从而使水位适当降低；

GMP 映射状态机根据水位值的变化，在状态 1、状态 2 两种状态之间自动切换，完成 GMP 映射，并使得 FIFO 水位在中值水位附近一定门限值内波动。

根据第一方面的第一种可能的实现方式，在第一方面的第五种可能的实现方式中，该方法具体包括以下步骤：

有频偏时，对 GMP 映射状态机进行分解，并插入新状态，插入新状态的原则是：

使任意相邻的状态之间C_{nD}序列变化不超过 2；

下边界状态：$\overline{C_{nD}}$小于 C_{nD} 的最小值C_{nD_min}；

上边界状态：$\overline{C_{nD}}$大于 C_{nD} 的最大值C_{nD_max}；

每个状态的最后一帧$\Sigma C_{nD} = 0$。

根据第一方面的第五种可能的实现方式，在第一方面的第六种可能的实现方式中，该方法还包括以下步骤：

有频偏时，GMP 映射状态机有多于 2 种状态，根据以下公式计算 GMP 映射状态机的状态个数：

先计算 C_{nD_max} 和 C_{nD_min}，GMP 映射状态机的状态个数 =floor(C_{nD_max})-floor(C_{nD_min})+1，floor 表示向下取整。

根据第一方面的第六种可能的实现方式，在第一方面的第七种可能的实现方式中，该方法还包括以下步骤：

有频偏时，每种 GMP 映射状态形成一组对应的C_m 值序列，各个状态中假设每 x 帧有 y 帧以 C_m=C_{m_up} 进行映射，其他帧以 C_m=C_{m_down} 映射，根据以下公式计算每个状态中的 x 和 y 值及对应的C_{nD} 平均值$\overline{C_{nD}}$：

状态 W：满足 floor(C_{nD_min}) + (W-1) <=M*y/x <= floor(C_{nD_min}) + W 与 x+y 求和最小的 x、y 取值，W 为非零自然数，取值从 1 到状态个数，x 和 y 为非零自然数，此时对应的$\overline{C_{nD}}$=M*y/x，即 M*y/（floor(C_{nD_min}) + W）<=x<=M*y/（floor(C_{nD_min}) + W-1），y 取最小值时，对应的 x+y 的值最小；

依据C_m 值序列，计算 C_{nD} 值序列、ΣC_{nD} 值序列。

根据第一方面的第七种可能的实现方式，在第一方面的第八种可能的实现方式中，该方法还包括以下步骤：

有频偏时，GMP 映射状态机有多于 2 种状态，初始化时选择中间状态进行映射，对应最接近理想无频偏情况，每个映射处理周期完成一次 FIFO 水位定时采样和判断，如果水位升高，GMP 映射状态机往映射速率高的相邻状态转移；如果水位不变，GMP 映射状态机维持当前状态；如果水位下降，GMP 映射状态机往映射速率低的相邻状态转移；GMP 映射状态机最终自适应稳定在相邻的两个状态之间来回切换，FIFO 水位锁定在中值水位附近波动。

根据第一方面的第三种可能的实现方式或者第一方面的第七种可能的实现方式，在第一方面的第九种可能的实现方式中，该方法还包括以下步骤：

无频偏和有频偏两种情况下，C_{nD}值序列值的计算过程均为：

$C_{nD}(z)$表示 C_{nD}序列的第 z 个 C_{nD}值，z 取值范围为[1，x]，x 为状态中所有帧的个数，delta 为每次计算的误差累计值，delta 初值为 0；

若$\overline{C_{nD}}$+delta<ceiling($\overline{C_{nD}}$)，ceiling 表示向上取整，则 $C_{nD}(z)$=floor($\overline{C_{nD}}$)，floor 表示向下取整，delta=delta+ $\overline{C_{nD}}$ -$C_{nD}(z)$，否则 $C_{nD}(z)$=ceiling($\overline{C_{nD}}$)，delta=delta+$\overline{C_{nD}}$-$C_{nD}(z)$。

根据第一方面的第一种可能的实现方式，在第一方面的第十种可能的实现方式中，该方法还包括以下步骤：

根据 C_m值序列中的每一个 C_m值决定下一帧填充块的数量，填充块的位置由误差求和算法决定；

在调整控制字节 JC 开销中填入 C_m值序列中的 C_m值及 C_m值的校验信息、ΣC_{nD}值序列中的 ΣC_{nD}值及 ΣC_{nD}值的校验信息。

第二方面，提供一种基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，包括状态机自适应控制模块，用于：根据 GMP 映射状态机的自适应控制机制，自动感知 GMP 映射的输入和输出两侧业务频偏情况，完成 GMP 映射状态的切换和 FIFO 水位控制，通过 FIFO 水位控制 GMP 映射状态机的状态转移。

根据第二方面，在第二方面的第一种可能的实现方式中，所述 GMP 映射状态机至少有 2 种状态，所述状态机自适应控制模块包括计算子模块，用于：根据 GMP 映射状态机的当前状态，计算下一个映射处理周期对应的各组C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列，每种状态对应不同的实际频偏情况，m 为承载侧每个数据块中的比特数，n 为客户侧每个数据块中的比特数，m 取值为 8、16、64、256 或 640，n 取值为 8 或 1，C_m为 m 比特块客户数据个数，C_n为一个承载帧周期或者复帧周期需要承载的客户侧 n 比特数据块的数量，C_{nD}为 C_n与 $m/n*C_{m_down}$之间

的差值，C_{m_down}为对 C_m值向下取整，ΣC_{nD}值为 C_n与 $m/n*C_{m_down}$之间的差值求和。

与现有技术相比，本发明的优点如下：

本发明着眼于未来 5G 网络低时延的要求，提出一种 GMP 映射方案，映射处理时延接近理论上的最低值。本发明基于状态机自适应控制机制，不论 GMP 映射状态机的状态数有多少，根据实际频偏大小，GMP 映射状态机会自动稳定在相邻的两个状态来回切换，最终实现 GMP 映射过程。本发明利用 FIFO 水位控制 GMP 映射状态机的状态转移，利用 GMP 映射状态机的状态计算C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列，从而确保了整个 GMP 映射的自适应控制过程。由于 GMP 映射的自适应特性，不论频偏如何变化，稳定后 FIFO 水位在中值水位附近极小范围内波动，因此能够最小化 FIFO 的深度，最大限度满足低时延性能。

附图说明

图 1 为本发明实施例中基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法的流程图。

图 2 为本发明实施例中基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统的结构框图。

图 3 为 G.709 标准中章节 17.7.5 的 Figure17-16。

图 4 为本发明实施例 6 中状态 1 的C_{nD}平均值的波动示意图。

图 5 为本发明实施例 6 中状态 2 的C_{nD}平均值的波动示意图。

图 6 为本发明实施例 6 中状态 3 的C_{nD}平均值的波动示意图。

图 7 为本发明实施例 6 中状态 4 的C_{nD}平均值的波动示意图。

图 8 为本发明实施例 6 中状态 5 的C_{nD}平均值的波动示意图。

图 9 为本发明实施例 6 中 5 值状态机转移的示意图。

具体实施方式

下面结合附图及具体实施例对本发明作进一步的详细描述。

实施例 1

本发明实施例 1 提供一种基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，包括以下步骤：

根据 GMP 映射状态机的自适应控制机制，自动感知 GMP 映射的输入和输出两侧业务频偏情况，完成 GMP 映射状态的切换和 FIFO（First Input First Output，先入先出队列）水位控制，通过 FIFO 水位控制 GMP 映射状态机的状态转移。

参见图 1 所示，上述 GMP 映射方法具体包括以下步骤：

S1、GMP 映射状态机至少有 2 种状态，根据 GMP 映射状态机的当前状态，计算下一个映射处理周期对应的各组C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列，每种状态对应不同的实际频偏情况，m 为承载侧每个数据块中的比特数，n 为客户侧每个数据块中的比特数，m 取值为 8、16、64、256 或 640，n 取值为 8 或 1，C_m为 m 比特块客户数据个数，C_n为一个承载帧周期或者复帧周期需要承载的客户侧 n 比特数据块的数量，C_{nD}为 C_n 与 $m/n*C_{m_down}$ 之间的差值，C_{m_down}为对 C_m 值向下取整，ΣC_{nD} 值为 C_n 与 $m/n*C_{m_down}$ 之间的差值求和；

S2、根据 C_m 值序列中的每一个 C_m 值决定下一帧填充块的数量，填充块的位置由误差求和算法决定；

S3、在 JC（调整控制字节）开销中填入：C_m 值序列中的 C_m 值及 C_m 值的校验信息、ΣC_{nD} 值序列中的 ΣC_{nD} 值及 ΣC_{nD} 值的校验信息，步骤 S3 是国际标准做法。

本发明实施例最大的优点是：C_m 值序列、C_{nD} 值序列、ΣC_{nD} 值序列直接从 GMP 映射状态机的状态映射得到，不会对 GMP 映射状态机的状态转移造成影响。GMP 映射状态机负责控制 FIFO 水位，不论 FIFO 两侧业务时钟频偏如何变化（在协议规定范围内），最终都会让 FIFO 水位收敛在一个预期的极小的水位区间内，从而只需设置一个极小深度的 FIFO 完成 GMP 映射的缓存处理，保证

了 GMP 映射处理的时延足够小。

下面先描述 GMP 映射的基本原理，然后在此基础之上具体描述具有低时延 GMP 映射的技术方案。

对于任何给定的固定比特速率的客户侧信号，在一个承载帧周期或者承载复帧周期内，需要承载的客户侧 n 比特块的数量为：

$$C_n = \frac{f_{client}}{n} \times T_{server} = \frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}}{n} \quad (1)$$

f_{client} 为客户侧数据比特速率，f_{server} 为承载侧数据比特速率，需要注意的是：承载侧的数据比特速率 > 客户侧的数据比特速率。

T_{server} 为承载侧帧周期/复帧周期，B_{server} 为承载侧一个帧周期/复帧周期的比特数，C_n 为一个承载帧周期或者复帧周期需要承载的客户侧 n 比特数据块的数量。

由于在实际 GMP 映射过程中，每一帧的C_n值必须是一个整数，而（1）式计算的C_n值必然含小数，假设按照（1）式计算得到的C_n为 100.25，那么在实际 GMP 映射过程中，将会通过 4 个帧周期的C_n值平均，得到 100.25 的统计结果，这 4 个帧周期的C_n值序列可以是 100、100、100、101。

由于实际的C_n只能是整数，因此规定C_n值只能在C_{n_up}、C_{n_down}两个整数之间变化。

$$C_{n_up} = \text{ceiling}(\frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}}{n}) \quad (2)$$

$$C_{n_down} = \text{floor}(\frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}}{n}) \quad (3)$$

将 GMP 映射应用在 OTN 光传送网领域，以 M 字节块颗粒度的映射为例，（1）式将会是以下形式：

$$C_m = \frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}}{8 \times M} \quad (4)$$

同理，C_m值也必须是整数，并且规定C_m只能在C_{m_up}、C_{m_down}两个整数之间变化，C_{m_up}表示对 C_m 值向上取整，C_{m_down}表示对 C_m 值向下取整。

$$C_{m_up} = \text{ceiling}(\frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}}{8\times M}) \quad (5)$$

$$C_{m_down} = \text{floor}(\frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}}{8\times M}) \quad (6)$$

C_m和C_n的区别仅仅在于 GMP 映射处理的颗粒度变大了。

定义一次 GMP 映射之后，客户侧剩余没有映射完的 n 比特块的数量为C_{nD}，C_{nD}具有以下表达形式：

$$C_{nD} = C_n - C_{m_down} \times \frac{8\times M}{n} \quad (7)$$

C_{nD}值的物理意义可以这么理解：

在一个承载帧周期内，客户侧总共需要映射的 n 比特块的数量为C_n，M 字节块的数量为C_m，按照C_m值映射完后，还剩余的没有映射完的 n 比特块的数量即为C_{nD}，C_{nD}值直观的反应了（4）式计算得到的C_m值的小数部分。

当进行多个帧周期的 GMP 映射后，累积还未映射完的 n 比特块数量记为ΣC_{nD}，如果ΣC_{nD}值大于等于 M 字节，那么下一帧的C_m将会增加 1，即下一帧将会多映射一个 M 字节的数据块，少一个 M 字节的填充块。

ΣC_{nD}的取值范围为：

$$0 \le \Sigma C_{nD} \le M - 1 \quad (n = 8) \quad (8)$$

业务承载侧除了承载客户侧业务外，还必须携带开销字段以及用于速率适配的填充块。本帧填充块的数量由上一帧的C_m值决定，填充块的位置由误差求和算法决定：

数据： $\text{if } (j \times C_n) \bmod P_{server} < C_n \quad (n = 640)$ (9)

填充：$\text{if } (j \times C_n) \bmod P_{server} \ge C_n \quad (n = 640)$ (10)

公式（9）（10）就是误差求和算法，上式中，P_{server}代表承载侧一个帧周期内可供映射的 M 字节块的数量，j 代表 M 字节块的编号，每个 M 字节块可以装载客户侧数据，也可以插入全零填充。公式（9）中的 j 表示第 j 个 M 字节块填数据，公式（10）中的 j 表示第 j 个 M 字节块填全零填充，j 的范围是[1，Pserver]。

按照以上原则，当一帧数据需插入多个填充块时，各填充块在本帧数据中

将会是均匀分布的。

以上(1)~(10)式完整描述了 GMP 映射中计算C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}的基本公式以及数据块和填充块分布的基本算法。按照GMP映射原理，计算C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}是有多种方法的，为了找到一种具有低时延特性的 GMP 映射处理机制，需要进一步分析。

实施例 2

在实施例 1 的基础上，根据 GMP 映射状态机的当前状态，计算下一个映射处理周期对应的各组C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列，具体包括以下步骤：

在理想无频偏的情况下，对于一个确定的C_{nD}值（小数），以 M 字节块的颗粒度进行 GMP 映射，那么每 N 帧必将有 1 帧相对前 N-1 帧会多插入一个数据块，少一个填充块，其中 N 值按下式计算：

$$N_up = ceiling(\frac{M}{C_{nD}}) \quad (11)$$

$$N_down = floor(\frac{M}{C_{nD}}) \quad (12)$$

其中，$N_up - N_down = 1$。

M 表示 C_m 中的 m/8 取值（ITU-T G.709 附录 D.2 章节规定：M=m/8），C_{nD}表示 Cn 与 m/n*C_{m_down}之间的差值，$ceiling\left(\frac{M}{C_{nD}}\right)$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向上取整，$floor\left(\frac{M}{C_{nD}}\right)$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向下取整，$N_{_up}$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向上取整后的数值，$N_{_down}$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向下取整后的数值。

上述（11）和（12）式的物理意义是：

由于M/C_{nD}的结果并不会是整数，为了实现 GMP 映射速率匹配，GMP 映射处理状态机必然会在 2 种状态之间交替，也即 GMP 映射处理状态机有 2 种状态：

状态 1 是：每N_up帧中有 1 帧以$C_m = C_{m_up}$进行映射，其他 N_up-1 帧以

$C_m = C_{m_down}$ 进行映射，C_{m_up} 表示对C_m 值向上取整，C_{m_down} 表示对C_m 值向下取整；

状态 2 是：每N_down帧中有 1 帧以$C_m = C_{m_up}$ 进行映射，其他 N_down-1 帧以$C_m = C_{m_down}$ 进行映射。

通过定时采样 FIFO 水位，根据 FIFO 水位值的变化，判断当前 GMP 映射状态是否需要切换，当 FIFO 水位超过预期值时，需由状态 1 切换到状态 2；当 FIFO 水位低于预期值时，需由状态 2 切换到状态 1。每种 GMP 映射状态都会形成一组对应的C_m 值序列，依据该C_m 值序列，可巧妙构造出C_{nD}值序列、ΣC_{nD}值序列。

按照上述（11）~（12）式对应的两个状态，构造得到的C_m 、C_{nD}、ΣC_{nD}序列如下表：

表 1、GMP 映射状态机状态与C_m 、C_{nD}、ΣC_{nD}序列的关系

	状态 1 每N_up帧有 x_1 帧以$C_m = C_{m_up}$ 进行映射，其他帧以$C_m = C_{m_down}$ 进行映射	**状态 2** 每N_down帧有 x_2 帧以$C_m = C_{m_up}$ 进行映射，其他帧以$C_m = C_{m_down}$ 进行映射
状态处理周期	N_up帧	N_down帧
C_m 值序列	$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}\ C_{m_up}}_{N_up}$	$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}\ C_{m_up}}_{N_down}$
C_{nD}平均值 $\overline{C_{nD}}$	$\frac{M * x_1}{N_up}$	$\frac{M * x_2}{N_down}$
C_{nD}值序列	$\underbrace{\ldots floor(\overline{C_{nD}}) \ldots ceiling(\overline{C_{nD}})\ \ldots}_{N_up}$	$\underbrace{\ldots floor(\overline{C_{nD}}) \ldots ceiling(\overline{C_{nD}})\ \ldots}_{N_down}$
ΣC_{nD}值序列	$\underbrace{\ldots\ mod(\sum_i C_{nD}(i), M)\ \ \ldots\ 0}_{N_up}$	$\underbrace{\ldots\ mod(\sum_j C_{nD}(j), M)\ \ \ldots\ 0}_{N_down}$

状态 1 对应的C_m 值序列为：$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}\ C_{m_up}}_{N_up}$，$C_{nD}$平均值 $\overline{C_{nD}}$为：$\frac{M * x_1}{N_up}$，C_{nD} 值序列为：$\underbrace{\ldots floor(\overline{C_{nD}}) \ldots ceiling(\overline{C_{nD}})\ \ldots}_{N_up}$，$\Sigma C_{nD}$ 值序列为：$\underbrace{\ldots\ mod(\sum_i C_{nD}(i), M)\ \ \ldots\ 0}_{N_up}$；$floor(\overline{C_{nD}})$表示对$(\overline{C_{nD}})$ 向下取整，$ceiling(\overline{C_{nD}})$表示对$(\overline{C_{nD}})$向上取整，$mod(\sum_i C_{nD}(i), M)$ 表示求余；

状态 2 对应的C_m值序列为：$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}\ C_{m_up}}_{N_down}$，$C_{nD}$平均值$\overline{C_{nD}}$为：$\frac{M*x_2}{N_down}$，$C_{nD}$值序列为：$\underbrace{\cdots floor(\overline{C_{nD}})\ldots ceiling(\overline{C_{nD}})\ \cdots}_{N_down}$，$\Sigma C_{nD}$值序列为：$\underbrace{\cdots\ mod(\sum_j C_{nD}(j), M)\ \ \cdots\ 0}_{N_down}$。

表 1 中，i、j 表示当前C_{nD}值在C_{nD}值序列中的序号。

表 1 中，C_m值序列是直接根据 GMP 映射状态机的状态获知的，C_{nD}值序列需要在floor(C_{nD})和ceiling(C_{nD})之间不断组合搭配得到，C_{nD}值序列最终的效果是要表示为C_{nD}的平均值，例如：C_{nD}的平均值是 10.25，那么C_{nD}序列就可能是：10、10、10、11；而ΣC_{nD}值序列则需根据C_{nD}值序列中的各C_{nD}值累加(模 M)得到。

这里在构造C_{nD}序列时，需要满足的一个条件是：

一个状态处理周期（例如N_up帧或者N_down帧）内的C_{nD}值之和是映射颗粒度 M 的整数倍，表 1 中的x_1、x_2即为该整数倍的数值，该整数倍的数值在构造C_{nD}值时是可调节的。

这样构造的C_{nD}值序列生成ΣC_{nD}值序列时，ΣC_{nD}值序列的最后一个ΣC_{nD}值必然为 0，代表ΣC_{nD}向C_m值有进位，所以，$\Sigma C_{nD} = 0$对应的C_m值也必然会比上一帧的C_m值大 1，如表 1 所示。

上述C_{nD}值序列的构造方法不仅满足 GMP 映射协议的要求，另外重要一点，让一个状态处理周期的最后一帧的ΣC_{nD}为 0，可以隔离 GMP 映射状态机的两个状态之间ΣC_{nD}值序列计算的复杂度，可以最大化简化设计，易于生成ΣC_{nD}值，同时又不会对 GMP 映射处理的性能带来影响。

无频偏时，定时采样 FIFO 水位，判断当前 GMP 映射状态是否需要切换，具体过程为：

①当承载侧读出的速率大于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位降低达到门限值时，由状态 2 切换到状态 1，通过读使能控制，降低承载侧读出数据的速率，从而使水位适当升高；

②当承载侧读出的速率小于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位升高达到门限值时，由状态 1 切换到状态 2，通过读使能控制，提高承载侧读出数据的速率，从而使水位适当降低。

GMP 映射状态机将根据水位值的变化，在状态 1、状态 2 两种状态之间自动切换，完成 GMP 映射，并使得 FIFO 水位在中值水位附近一定门限值内波动。

综上所述，对于C_{nD}值为确定值的情况，以上述方法进行 GMP 映射，GMP 映射处理状态只有上述两种状态，每种状态都会计算出一组C_m值序列和ΣC_{nD}值序列。通过对 FIFO 水位的监测和控制，GMP 映射状态机将会在两种状态之间频繁切换，完成 GMP 映射过程。

考虑实际情况，由于f_{client}和f_{server}均会存在频偏和抖动，(7)计算得到的C_{nD}值不会是固定的，而是在一个范围内变化。

假设客户侧业务允许的频偏为$\pm\Delta f_c$，承载侧业务允许的频偏为$\pm\Delta f_s$，相应的，可以计算得到最大和最小的C_{nD}值如下：

$$C_{nD_max} = C_{n_max} - C_{m_max_down} \times \frac{8\times M}{n}$$

$$= \frac{f_{client}+\Delta f_c}{f_{server}-\Delta f_s} \times \frac{B_{server}}{n} - floor\left(\frac{f_{client}+\Delta f_c}{f_{server}-\Delta f_s} \times \frac{B_{server}}{8\times M}\right) \times \frac{8\times M}{n} \quad (13)$$

$$C_{nD_min} = C_{n_min} - C_{m_min_down} \times \frac{8\times M}{n}$$

$$= \frac{f_{client}-\Delta f_c}{f_{server}+\Delta f_s} \times \frac{B_{server}}{n} - floor\left(\frac{f_{client}-\Delta f_c}{f_{server}+\Delta f_s} \times \frac{B_{server}}{8\times M}\right) \times \frac{8\times M}{n} \quad (14)$$

C_{n_max} 表示 C_n 最大值，$C_{m_max_down}$ 表示 C_m 最大值时向下取整，C_{n_min} 表示 C_n 最小值，$C_{n_min_down}$ 表示 C_n 最小值时向下取整，f_{client} 为客户侧数据比特速率，f_{server} 为承载侧数据比特速率，B_{server} 为承载侧一个帧周期/复帧周期的比特数。

考虑频偏的情况，上述(11)~(12)式改为：

$$N_up = ceiling\left(\frac{M}{C_{nD_min}}\right) \quad (15)$$

$$N_down = floor\left(\frac{M}{C_{nD_max}}\right) \quad (16)$$

考虑频偏后，一般地，$N_up - N_down > 1$。

当两侧数据速率和映射颗粒度确定时，N_up − N_down的差值大小由系统允许的频偏范围唯一确定。

GMP 映射处理模块考虑到当两侧业务具有极端频偏的情况下也能正常工作，所以N_up和N_down值就必须按照（15）、（16）式计算。此时 GMP 映射状态机也可以按照表 1 所示的方法在两种状态之间切换，实现整个 GMP 映射过程。唯一不同的地方在于，考虑频偏之后的N_up和N_down值由（15）~（16）式决定，并且考虑了频偏之后，C_{nD}值精度也会受到一定的影响。

实施例 3

在实施例 2 的基础上，为了提高C_{nD}值精度，可将 GMP 映射状态机总共设置 2 种状态，并按照表 1 的方法得到对应的 2 组C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}序列，每种状态对应不同的实际频偏情况。

为了得到更精细的C_{nD}值，可以将 GMP 映射状态机的状态进行进一步拆分，使C_{nD}值变化的颗粒度更小。

当 GMP 映射状态机有多于 2 个状态时，初始化时默认情况下选择中间状态（对应最接近理想无频偏情况）进行映射，每个映射处理周期完成一次 FIFO 水位定时采样和判断，如果水位升高，GMP 映射状态机往映射速率高的相邻状态转移；如果水位不变，GMP 映射状态机维持当前状态；如果水位下降，GMP 映射状态机往映射速率低的相邻状态转移。当承载侧读出的速率大于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位降低达到门限值时，通过读使能控制，降低承载侧读出数据的速率，从而使水位适当升高；当承载侧读出的速率小于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位升高达到门限值时，通过读使能控制，提高承载侧读出数据的速率，从而使水位适当降低。。

不论 GMP 映射状态机最终有多少个状态，GMP 映射状态机最终都会自适应稳定在相邻的两个状态之间来回切换，而且不论实际频偏大小，FIFO 水位却始终会锁定在中值水位附近波动。

有频偏时，对 GMP 映射状态机进行分解，并插入新状态，插入新状态的原则是：

使任意相邻的状态之间C_{nD}序列变化不超过 2；

下边界状态：$\overline{C_{nD}}$小于 C_{nD} 的最小值C_{nD_min}；

上边界状态：$\overline{C_{nD}}$大于 C_{nD} 的最大值C_{nD_max}；

每个状态的最后一帧$\Sigma C_{nD} = 0$。

根据 GMP 映射状态机的当前状态，计算下一个映射处理周期的 C_m 值序列、C_{nD} 值序列、ΣC_{nD} 值序列，还包括以下步骤：

有频偏时，根据以下公式计算 GMP 映射状态机的状态个数：

先计算 C_{nD_max} 和 C_{nD_min}，GMP 映射状态机的状态个数 =floor(C_{nD_max})-floor(C_{nD_min})+1，floor 表示向下取整；各个状态中假设每 x 帧有 y 帧以 C_m=C_{m_up} 进行映射，其他帧以 C_m=C_{m_down} 映射；

根据以下公式计算每个状态中的 x 和 y 值及对应的$\overline{C_{nD}}$：

状态 W：满足 floor(C_{nD_min}) + (W-1) <=M*y/x <= floor(C_{nD_min}) + W 与 x+y 求和最小的 x、y 取值，W 为非零自然数，取值从 1 到状态个数，x 和 y 为非零自然数，此时对应的$\overline{C_{nD}}$=M*y/x，即 M*y/（floor(C_{nD_min}) + W）<=x<=M*y/（floor(C_{nD_min}) + W-1），y 取最小值时，对应的 x+y 的值最小。

无频偏和有频偏两种情况下，C_{nD} 值序列值的计算过程均为：

C_{nD}(z)表示 C_{nD} 序列的第 z 个 C_{nD} 值，z 取值范围为[1，x]，x 为状态中所有帧的个数，delta 表示每次计算的误差累计值，delta 初值为 0；

if $\overline{C_{nD}}$+delta <ceiling($\overline{C_{nD}}$)，ceiling 表示向上取整，则 C_{nD}(z)=floor($\overline{C_{nD}}$)，floor 表示向下取整，delta=delta+ $\overline{C_{nD}}$ - C_{nD} (z)，否则 C_{nD}(z)=ceiling($\overline{C_{nD}}$)，delta=delta+$\overline{C_{nD}}$-C_{nD} (z)。

有频偏时，GMP 映射状态机至少有 2 种状态，计算出对应的各组C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列，每种状态对应不同的实际频偏情况；

GMP 映射状态机有多于 2 种状态时，初始化时选择中间状态进行映射，对应最接近理想无频偏情况，每个映射处理周期完成一次 FIFO 水位定时采样和判断，如果水位升高，GMP 映射状态机往映射速率高的相邻状态转移；如果水位不变，GMP 映射状态机维持当前状态；如果水位下降，GMP 映射状态机往映射速率低的相邻状态转移；GMP 映射状态机最终自适应稳定在相邻的两个状态之间来回切换，FIFO 水位锁定在中值水位附近波动。

实施例 4

参见图 2 所示，本发明实施例 4 提供一种基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，该系统包括状态机自适应控制模块，用于：根据 GMP 映射状态机的自适应控制机制，自动感知 GMP 映射的输入和输出两侧业务频偏情况，完成 GMP 映射状态的切换和 FIFO（First Input First Output，先入先出队列）水位控制，通过 FIFO 水位控制 GMP 映射状态机的状态转移。

状态机自适应控制模块包括计算子模块、承载侧成帧子模块和读控制子模块。

计算子模块用于：所述 GMP 映射状态机至少有 2 种状态，所述状态机自适应控制模块包括计算子模块，用于：根据 GMP 映射状态机的当前状态，计算下一个映射处理周期对应的各组C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列，每种状态对应不同的实际频偏情况，m 为承载侧每个数据块中的比特数，n 为客户侧每个数据块中的比特数，m 取值为 8、16、64、256 或 640，n 取值为 8 或 1，C_m为 m 比特块客户数据个数，C_n为一个承载帧周期或者复帧周期需要承载的客户侧 n 比特数据块的数量，C_{nD}为 C_n与 $m/n*C_{m_down}$之间的差值，C_{m_down}为对 C_m值向下取整，ΣC_{nD}值为 C_n与 $m/n*C_{m_down}$之间的差值求和。

承载侧成帧子模块用于：根据C_m值序列中的每一个C_m决定下一帧填充块的数量，填充块的位置由误差求和算法决定；在 JC（调整控制字节）开销中填入：C_m值序列中的C_m值及C_m值的校验信息、ΣC_{nD}值序列中的 ΣC_{nD}值及 ΣC_{nD}值的

校验信息。

读控制子模块，用于：依据C_m值完成 FIFO 读速率的控制。

现有的 GMP 映射方案一般包含 FIFO 写控制模块、FIFO 缓存模块、FIFO 读控制模块、C_m/C_{nD}/ΣC_{nD}计算模块以及承载侧成帧模块。

本发明实施例利用GMP映射状态机自适应控制FIFO水位，并同时计算C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}。

计算子模块具体用于：

在无频偏的情况下，对于确定的C_{nD}值，以 M 字节块的颗粒度进行映射，每 N 帧有 1 帧相对前 N-1 帧多插入一个数据块，少一个填充块，计算子模块按下式计算 N 值：

$$N_up = ceiling(\frac{M}{C_{nD}}),\ N_down = floor(\frac{M}{C_{nD}}),\ N_{_up} - N_{_down} = 1;$$

M 表示C_m中的 m/8 取值，C_{nD}表示 Cn 与 m/n*C_{m_down} 之间的差值，$ceiling\left(\frac{M}{C_{nD}}\right)$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向上取整，$floor\left(\frac{M}{C_{nD}}\right)$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向下取整，$N_{_up}$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向上取整后的数值，$N_{_down}$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向下取整后的数值；

GMP 映射状态机有以下 2 种状态：

状态 1：每N_up帧有 1 帧以$C_m = C_{m_up}$进行映射，其他帧以$C_m = C_{m_down}$进行映射，C_{m_up}表示对C_m值向上取整，C_{m_down}表示对C_m值向下取整；

状态 2：每N_down帧有 1 帧以$C_m = C_{m_up}$进行映射，其他帧以$C_m = C_{m_down}$进行映射。

通过对 FIFO 水位的监测和控制，GMP 映射状态机在 2 种状态之间频繁切换，完成 GMP 映射：定时采样 FIFO 水位，根据水位值的变化，判断当前 GMP 映射状态是否需要切换，当水位超过预期值时，由状态 1 切换到状态 2；当水位低于预期值时，由状态 2 切换到状态 1，每种 GMP 映射状态形成一组对应的C_m值序列，计算子模块依据该C_m值序列，计算出C_{nD}、ΣC_{nD}值序列。

状态 1 对应的C_m值序列为：$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}\ C_{m_up}}_{N_up}$，$C_{nD}$平均值$\overline{C_{nD}}$为：$\frac{M*x_1}{N_up}$，$C_{nD}$值序列为：$\underbrace{\cdots floor(\overline{C_{nD}})\ldots ceiling(\overline{C_{nD}})\ \cdots}_{N_up}$，$\Sigma C_{nD}$值序列为：$\underbrace{\cdots\ mod(\sum_i C_{nD}(i),M)\ \cdots\ 0}_{N_up}$；$floor(\overline{C_{nD}})$表示对$(\overline{C_{nD}})$向下取整，$ceiling(\overline{C_{nD}})$表示对$(\overline{C_{nD}})$向上取整，$mod(\sum_i C_{nD}(i),M)$表示求余；

状态 2 对应的C_m值序列为：$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}\ C_{m_up}}_{N_down}$，$C_{nD}$平均值$\overline{C_{nD}}$为：$\frac{M*x_2}{N_down}$，$C_{nD}$值序列为：$\underbrace{\cdots floor(\overline{C_{nD}})\ldots ceiling(\overline{C_{nD}})\ \cdots}_{N_down}$，$\Sigma C_{nD}$值序列为：$\underbrace{\cdots\ mod(\sum_j C_{nD}(j),M)\ \cdots\ 0}_{N_down}$。

其中，i、j 表示当前C_{nD}值在C_{nD}值序列中的序号，C_m值序列根据 GMP 映射状态机的状态直接得到，C_{nD}值序列在$floor(C_{nD})$和$ceiling(C_{nD})$之间组合搭配得到，ΣC_{nD}值序列根据C_{nD}值序列中的各C_{nD}值累加得到；N_up帧或者N_down帧内的C_{nD}值之和是映射颗粒度 M 的整数倍，x_1、x_2为可调节的整数倍数值；C_{nD}值序列生成ΣC_{nD}值序列时，ΣC_{nD}值序列的最后一个ΣC_{nD}值为 0，代表ΣC_{nD}向C_m值有进位，$\Sigma C_{nD}=0$对应的C_m值比上一帧的C_m值大 1。

无频偏时，计算子模块定时采样 FIFO 水位，判断当前 GMP 映射状态是否需要切换，具体过程为：

①当承载侧读出的速率大于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位降低达到门限值时，由状态 2 切换到状态 1，通过读使能控制，降低承载侧读出数据的速率，从而使水位适当升高；

②当承载侧读出的速率小于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位升高达到门限值时，由状态 1 切换到状态 2，通过读使能控制，提高承载侧读出数据的速率，从而使水位适当降低。

GMP 映射状态机将根据水位值的变化，在状态 1、状态 2 两种状态之间自动切换，完成 GMP 映射，并使得 FIFO 水位在中值水位附近一定门限值内波动。

考虑到频偏时，客户侧业务允许的频偏为$\pm\Delta f_c$，承载侧业务允许的频偏为

$\pm\Delta f_s$，最大的C_{nD}值C_{nD_max}和最小的C_{nD}值C_{nD_min}分别为：

$$C_{nD_max} = C_{n_max} - C_{m_max_down} \times \frac{8\times M}{n}$$

$$= \frac{f_{client}+\Delta f_c}{f_{server}-\Delta f_s} \times \frac{B_{server}}{n} - floor\left(\frac{f_{client}+\Delta f_c}{f_{server}-\Delta f_s} \times \frac{B_{server}}{8\times M}\right) \times \frac{8\times M}{n} ;$$

$$C_{nD_min} = C_{n_min} - C_{m_min_down} \times \frac{8\times M}{n}$$

$$= \frac{f_{client}-\Delta f_c}{f_{server}+\Delta f_s} \times \frac{B_{server}}{n} - floor\left(\frac{f_{client}-\Delta f_c}{f_{server}+\Delta f_s} \times \frac{B_{server}}{8\times M}\right) \times \frac{8\times M}{n} ;$$

C_{n_max} 表示 Cn 最大值，$C_{m_max_down}$ 表示C_m 最大值时向下取整，C_{n_min} 表示 Cn 最小值，$C_{n_min_down}$ 表示C_m 最小值时向下取整，f_{client} 为客户侧数据比特速率，f_{server} 为承载侧数据比特速率，B_{server} 为承载侧一个帧周期/复帧周期的比特数；

考虑到频偏时，$N_up = ceiling(\frac{M}{C_{nD_min}})$，$N_down = floor(\frac{M}{C_{nD_max}})$，$N_up - N_down > 1$，当两侧数据速率和映射颗粒度确定时，$N_up - N_down$ 由系统允许的频偏范围唯一确定。

有频偏时，计算子模块对 GMP 映射状态机进行分解，并插入新状态，插入新状态的原则是：

使任意相邻的状态之间C_{nD}序列变化不超过 2；

下边界状态：$\overline{C_{nD}}$小于 C_{nD} 的最小值C_{nD_min}；

上边界状态：$\overline{C_{nD}}$大于 C_{nD} 的最大值C_{nD_max}；

每个状态的最后一帧$\Sigma C_{nD} = 0$。

根据 GMP 映射状态机的当前状态，计算下一个映射处理周期的 C_m 值序列、C_{nD} 值序列、ΣC_{nD} 值序列，还包括以下步骤：

有频偏时，计算子模块根据以下公式计算 GMP 映射状态机的状态个数：

先计算 C_{nD_max} 和 C_{nD_min}，GMP 映射状态机的状态个数 =floor(C_{nD_max})-floor(C_{nD_min})+1，floor 表示向下取整；各个状态中假设每 x 帧有 y 帧以 C_m=C_{m_up} 进行映射，其他帧以 C_m=C_{m_down} 映射；

计算子模块根据以下公式计算每个状态中的 x 和 y 值及对应的$\overline{C_{nD}}$：

状态 W：满足 floor(C_{nD_min}) + (W-1) <=M*y/x <= floor(C_{nD_min}) + W 与 x+y 求和最小的 x、y 取值，W 为非零自然数，取值从 1 到状态个数，x 和 y 为非零自然数，此时对应的$\overline{C_{nD}}$=M*y/x，即 M*y/（floor(C_{nD_min}) + W）<=x<=M*y/（floor(C_{nD_min}) + W-1），y 取最小值时，对应的 x+y 的值最小。

无频偏和有频偏两种情况下，计算子模块计算 C_{nD} 值序列值的过程均为：

C_{nD}(z)表示 C_{nD} 序列的第 z 个 C_{nD} 值，z 取值范围为[1，x]，x 为状态中所有帧的个数，delta 表示每次计算的误差累计值，delta 初值为 0；

if $\overline{C_{nD}}$+delta <ceiling($\overline{C_{nD}}$)，ceiling 表示向上取整，则 C_{nD}(z)=floor($\overline{C_{nD}}$)，floor 表示向下取整，delta=delta+ $\overline{C_{nD}}$ - C_{nD} (z)，否则 C_{nD}(z)=ceiling($\overline{C_{nD}}$)，delta=delta+$\overline{C_{nD}}$-C_{nD} (z)。

有频偏时，GMP 映射状态机至少有 2 种状态，计算出对应的各组C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列，每种状态对应不同的实际频偏情况；GMP 映射状态机有多于 2 种状态时，初始化时选择中间状态进行映射，对应最接近理想无频偏情况，每个映射处理周期完成一次 FIFO 水位定时采样和判断，如果水位升高，GMP 映射状态机往映射速率高的相邻状态转移；如果水位不变，GMP 映射状态机维持当前状态；如果水位下降，GMP 映射状态机往映射速率低的相邻状态转移；GMP 映射状态机最终自适应稳定在相邻的两个状态之间来回切换，FIFO 水位锁定在中值水位附近波动。

实施例 5

下面以 100GBASE-R（100GE 以太网）到 OPU4（Optical channel Payload Unit，光通路净荷单元）的 GMP 映射为例，详细描述基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统的具体实现过程。

参见图 2 所示，本发明实施例 5 提供一种基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，该系统包括写控制模块 11、FIFO 缓存模块 12、状态机自适应

控制模块 13，状态机自适应控制模块 13 包括承载侧成帧子模块 14、读控制子模块 15 和计算子模块 16。

FIFO 写控制模块 11 负责将客户侧有效数据写入 FIFO。

FIFO 缓存模块 12 用于缓存客户侧数据。

状态机自适应控制模块 13 利用读控制子模块 15 完成 FIFO 水位的自适应控制，当承载侧读出的速率大于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位降低达到门限值时，通过读使能控制，降低承载侧读出数据的速率，从而使水位适当升高；当承载侧读出的速率小于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位升高达到门限值时，通过读使能控制，提高承载侧读出数据的速率，从而使水位适当降低，最终将 FIFO 水位维持在期望的中值水位附近。

承载侧成帧子模块 14 负责承载侧数据成帧，包括C_m、ΣC_{nD}编码及插入等。

读控制子模块 15 依据C_m值完成 FIFO 读速率的控制。

计算子模块 16 利用 GMP 映射状态机的实时状态计算出C_m/C_{nD}/ΣC_{nD}值，将C_m值反馈给读控制子模块 15。

100GBASE-R 到 OPU4 的 GMP 映射的各相关参数见下表：

表 2、100GBASE-R 到 OPU4 GMP 映射相关参数

GMP 参数	参数值	GMP 参数	参数值
n	8	客户侧最大频偏	±100ppm
m	640	承载侧最大频偏	±20ppm
M	80	B_{server}	8×15200
f_{client}	103125000kbit/s	$P_{m,server}$	190
f_{server}	238/227×99532800×3800/3808 kbit/s	ΣC_{nD}范围	0~79

将表 2 参数代入（5）、（6）式，计算标称C_m值，其中的 3800、3808 是 100GE 映射到 OPU4 中的固定填充导致的比例系数，具体可参见 G.709 标准中章节 17.7.5 的 Figure17-16，如图 3 所示。

$$C_{m_up} = \text{ceiling}\left(\frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}}{8\times M}\right) = \text{ceiling}\left(\frac{103125000}{\left(\frac{238}{227}\right)*99532800*\left(\frac{3800}{3808}\right)} \times\right.$$

$\frac{15200*8}{8\times80}\Big) = \text{ceiling}(188.154) = 189$

$$C_{m_down} = \text{floor}\left(\frac{f_{client}}{f_{server}} \times \frac{B_{server}}{8\times M}\right) =$$

$$\text{floor}\left(\frac{103125000}{\left(\frac{238}{227}\right)*99532800*\left(\frac{3800}{3808}\right)} \times \frac{15200*8}{8\times80}\right) = \text{floor}(188.154) = 188$$

在有频偏情况下，用 C_{m_down} 表示C_m 值，将表 2 的参数代入（7）式，计算标称C_{nD}值：

$$C_{nD} = C_n - C_{m_down} \times \frac{8\times M}{n} = \left(\frac{103125000}{\left(\frac{238}{227}\right)*99532800*\left(\frac{3800}{3808}\right)} \times \frac{15200*8}{8}\right) - 188 \times \left(\frac{8\times80}{8}\right) = 12.324$$

按照（11）（12）式，计算N_up、N_down值：

$$N_up = \text{ceiling}\left(\frac{M}{C_{nD}}\right) = \text{ceiling}\left(\frac{80}{12.324}\right) = \text{ceiling}(6.491) = 7$$

$$N_down = \text{floor}\left(\frac{M}{C_{nD}}\right) = \text{floor}\left(\frac{80}{12.324}\right) = \text{floor}(6.491) = 6$$

将以上计算结果代入到表 1 中，得到 100GBASE-R 到 OPU4 的 GMP 映射场景的 2 值状态机和 GMP 映射参数的关系如下表 3 所示：

表 3、无频偏情况 100GBASE-R 到 OPU4 GMP 映射 2 值状态机与C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}序列的关系

	状态 1 每 7 帧有 1 帧以$C_m = 189$进行映射，其他帧以$C_m = 188$进行映射	**状态 2** 每 6 帧有 1 帧以$C_m = 189$进行映射，其他帧以$C_m = 188$进行映射
状态处理周期	7 帧	6 帧
C_m 值序列	$\underbrace{188\ 188\ 188\ 188\ 188\ 188\ 189}_{7}$	$\underbrace{188\ 188\ 188\ 188\ 188\ 189}_{6}$
C_{nD}平均值 $\overline{C_{nD}}$	$\frac{80\times1}{7} = 11.429$	$\frac{80\times1}{6} = 13.333$
C_{nD}值序列	$\underbrace{11\ 11\ 12\ 11\ 12\ 11\ 12}_{7}$	$\underbrace{13\ 13\ 14\ 13\ 13\ 14}_{6}$
ΣC_{nD}值序列	$\underbrace{11\ 22\ 34\ 45\ 57\ 68\ 0}_{7}$	$\underbrace{13\ 26\ 40\ 53\ 66\ 0}_{6}$

以上是标称情况下 GMP 映射 2 值状态机的相关参数，状态 1 得到的

$C_{nD}=11.429$，状态 2 得到的$C_{nD}=13.333$，GMP 映射状态机通过 FIFO 水位监测和控制，在状态 1 和状态 2 之间不断切换，最终实现标称$C_{nD}=12.324$的统计结果。

此处仅为举例说明，C_m 值序列中的 189 也可以在前面任何一处位置，但此时C_{nD}值序列也要相应变化，从便于实现角度来说，将 189 放置在最后面是最好的。

7 帧时的C_{nD}值序列“11 11 12 11 12 11 12”，是基于状态 1 的 x=7、y=1 和C_{nD}平均值 11.429，通过计算子模块计算 C_{nD} 值序列值的过程为：

每 7 帧中有 1 帧以C_m=189 映射，其他 6 帧以C_m=188 映射：

C_{nD} =	11	11	12	11	12	11	12
delta =	0.429	0.857	0.286	0.714	0.143	0.571	0.000
ΣC_{nD} =	11	22	34	45	57	68	0

6 帧时的C_{nD}值序列“13 13 14 13 13 14”，是基于状态 2 的 x=6、y=1 和C_{nD}平均值 13.333，通过计算子模块计算 C_{nD} 值序列值的过程为：

C_{nD} =	13	13	14	13	13	14
delta =	0.333	0.667	0.000	0.333	0.667	0.000
ΣC_{nD} =	13	26	40	53	66	0

考虑客户侧频偏±100ppm 和承载侧频偏±20ppm 的情况，按照（13）~（16）式计算，得到C_{nD_min}、C_{nD_max}、N_up、N_down如下：

$$C_{nD_min}=\frac{f_{client}-\Delta f_c}{f_{server}+\Delta f_s}\times\frac{B_{server}}{n} - \text{floor}\left(\frac{f_{client}-\Delta f_c}{f_{server}+\Delta f_s}\times\frac{B_{server}}{8\times M}\right)\times\frac{8\times M}{n}=$$

$$\left(\frac{103125000}{\left(\frac{238}{227}\right)*99532800*\left(\frac{3800}{3808}\right)}\times\frac{0.999900}{1.000020}\times\frac{15200*8}{8}\right)-\text{floor}\left(\frac{103125000}{\left(\frac{238}{227}\right)*99532800*\left(\frac{3800}{3808}\right)}\times\frac{0.999900}{1.000020}\times\right.$$

$$15200*88\times80\times8\times808$$

$$=15050.518-\text{floor}(181.131)\times80$$

$$=15050.518-15040$$

$$=10.518$$

$$C_{nD_max} = \frac{f_{client}+\Delta f_c}{f_{server}-\Delta f_s} \times \frac{B_{server}}{n} - floor\left(\frac{f_{client}+\Delta f_c}{f_{server}-\Delta f_s} \times \frac{B_{server}}{8\times M}\right) \times \frac{8\times M}{n} =$$

$$\left(\frac{103125000}{\left(\frac{238}{227}\right)*99532800*\left(\frac{3800}{3808}\right)} \times \frac{1.000100}{0.999980} \times \frac{15200*8}{8}\right) - floor\left(\frac{103125000}{\left(\frac{238}{227}\right)*99532800*\left(\frac{3800}{3808}\right)} \times \frac{1.000100}{0.999980} \times \right.$$

$$15200*88\times80\times8\times808$$

$$= 15054.131 - floor(181.131) \times 80$$

$$= 15054.131 - 15040$$

$$= 14.131$$

$$N_up = ceiling\left(\frac{M}{C_{nD_min}}\right) = ceiling\left(\frac{80}{10.518}\right) = ceiling(7.606) = 8$$

$$N_down = floor\left(\frac{M}{C_{nD_max}}\right) = floor\left(\frac{80}{14.131}\right) = floor(5.661) = 5$$

将以上计算结果代入到表 1 中，得到考虑频偏情况下 100GBASE-R 到 OPU4 的 GMP 映射场景的 2 值状态机和 GMP 映射参数的关系如下表 4 所示：

表 4、有频偏情况 100GBASE-R 到 OPU4 GMP 映射 2 值状态机与C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}序列的关系

	状态 1 每 8 帧有 1 帧以$C_m = 189$进行映射，其他帧以$C_m = 188$进行映射	**状态 2** 每 5 帧有 1 帧以$C_m = 189$进行映射，其他帧以$C_m = 188$进行映射
状态处理周期	8 帧	5 帧
C_m 值序列	$\underbrace{188\ 188\ 188\ 188\ 188\ 188\ 188\ 189}_{8}$	$\underbrace{188\ 188\ 188\ 188\ 189}_{5}$
C_{nD}平均值 $\overline{C_{nD}}$	$\frac{80\times1}{8} = 10.000$	$\frac{80\times1}{5} = 16.000$
C_{nD}值序列	$\underbrace{10\ 10\ 10\ 10\ 10\ 10\ 10\ 10}_{8}$	$\underbrace{16\ 16\ 16\ 16\ 16}_{5}$
ΣC_{nD}值序列	$\underbrace{10\ 20\ 30\ 40\ 50\ 60\ 70\ 0}_{8}$	$\underbrace{16\ 32\ 48\ 64\ 0}_{5}$

按照表 4 所列的 GMP 映射 2 值状态机及对应的C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}序列值，可以完成 GMP 映射过程。对比表 4 和表 3 中的C_{nD}值序列，可以发现：考虑频偏后，C_{nD}值的波动范围变大了，对应的C_{nD}值分别是 11.429~13.333 和 10.000~16.000，因此，可以说：ΔC_{nD}（C_{nD}值的波动范围）由 1.9 增大到 6。C_{nD}在大

范围内变化，一定程度上会影响客户侧时钟恢复质量。

实施例 6

在实施例 5 的基础上，有频偏时，为了缩小C_{nD}值的变化范围，得到更高精度的C_{nD}值，计算子模块需对 GMP 映射状态机进行分解，并插入新状态，插入新状态满足的原则是：

a）使任意相邻的状态之间C_{nD}序列变化不超过 2；

b）下边界状态：C_{nD}平均值$\overline{C_{nD}}$小于C_{nD}的最小值C_{nD_min}；

上边界状态：C_{nD}平均值$\overline{C_{nD}}$大于C_{nD}的最大值C_{nD_max}；

c）每个状态的最后一帧$\Sigma C_{nD} = 0$。

表 5 为插入新状态之后的 5 值状态机 GMP 参数计算结果，总共含有 5 个状态，GMP 映射稳定后，取决于实际频偏的大小，GMP 映射状态机只会自适应到某相邻的两个状态之间切换。

表 5、有频偏情况 100GBASE-R 到 OPU4 GMP 映射 5 值状态机与C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}序列的关系

	状态 1 每 8 帧有 1 帧以 C_m=189 映射，其他以 C_m=188 映射	**状态 2** 每 7 帧有 1 帧以 C_m=189 映射，其他以 C_m=188 映射	**状态 3** 每 13 帧有 2 帧以 C_m=189 映射，其他以 C_m=188 映射	**状态 4** 每 6 帧有 1 帧以 C_m=189 映射，其他以 C_m=188 映射	**状态 5** 每 11 帧有 2 帧以 C_m=189 映射，其他以 C_m=188 映射
状态处理周期	8 帧	7 帧	13 帧	6 帧	11 帧
C_m 值序列	188 188 188 188 188 188 188 188 8	188 188 188 188 188 188 188 7	188 188 188 188 188 188 189 188 188 188 188 188 189 13	188 188 188 188 188 189 6	188 188 188 188 188 189 188 188 188 188 189 11
C_{nD}平均值 $\overline{C_{nD}}$	$\frac{80\times1}{8}=10.000$	$\frac{80\times1}{7}=11.429$	$\frac{80\times2}{13}=12.308$	$\frac{80\times1}{6}=13.333$	$\frac{80\times2}{11}=14.545$
C_{nD}值序列	10 10 10 10 10 10 10 10 8	11 11 12 11 12 11 12 7	12 12 12 13 12 12 13 12 12 13 12 12 13 13	13 13 14 13 13 14 6	14 15 14 15 14 15 14 15 14 15 15 11
ΣC_{nD}值序列	10 20 30 40 50 60 70 0 8	11 22 34 45 57 68 0 7	12 24 36 49 61 73 6 18 30 43 55 67 0 13	13 26 40 53 66 0 6	14 29 43 58 72 7 21 36 50 65 0 11

以上 5 个状态的帧数：8、7、13、6、11 是通过C_{nD}平均值 10~14.545 逆推算出来的，所有通过有频偏的情况下计算出C_{nD}值的最大值和最小值，譬如是 14.131 和 10.518，那么就需要分别取几个状态：10、11、12、13、14，15 然后通过逆推的方式计算出C_m 值序列，此时就可以计算出状态处理周期了。

表 5 中有频偏的情况下C_{nD}的状态机个数及对应的值序列的推算过程如下：

1、首先计算C_{nD}的最大值C_{nD}_max 和最小值C_{nD}_min，再计算需要的状态机状态个数 =floor(C_{nD} _max)-floor(C_{nD} _min)+1 。譬如：如果此时算出的 C_{nD} _max=14.131 ， C_{nD} _min=10.518 ，那么状态个数 =floor(14.131)-floor(10.518)+1=5。

2、各个状态中假设每 x 帧有 y 帧以C_m =C_{m_up}进行映射，其他帧以C_m = C_{m_down} 映射。根据以下公式分别算出每个状态中的 x 和 y 值，同时计算出对应的$\overline{C_{nD}}$。此例中 C_{m_up} 为 189，C_{m_down} 为 188。

W 为非零自然数，从 1 到状态个数；

状态 W：满足 floor(C_{nD}_min) + (W-1) <=M*y/x <= floor(C_{nD}_min) + W 与 x+y 求和最小的 x、y 取值，x 和 y 为非零自然数，计算出此时对应的$\overline{C_{nD}}$=M*y/x；

即 M*y/（floor(C_{nD}_min) + W）<=x<=M*y/（floor(C_{nD}_min) + W-1），可知 y 取最小值时，对应的 x+y 的值最小。

代入上述参数值，此时 M=80：

状态 1：当 y 为 1 时，80*1/(floor(10.518)+1) <=x<=

80*1/floor(10.518)，即 80/11<=x<=8，x 解为 8；故状态 1 中 x=8，y=1，即每 8 帧有 1 帧以C_m =189 映射，其他以C_m =188 映射。

状态 2：当 y 为 1 时，80/12<=x<=80/11，6.66<=x<=7.27，x 解为 7，故状态 2 中 x=7，y=1；

状态 3 中：当 y 为 1 时，80/13<=x<=80/12，6.15<=x<=6.66 无解；当 y 为 2 时，12.3<=x<=13.3，x 解为 13。故状态 3 中 x=13，y=2；

状态 4 中：当 y 为 1 时，80/14<=x<=80/13，5.71<=x<=6.15；x 解为 6；故

状态 4 中 x=6，y=1；

状态 5 中；当 y 为 1 时，80/15<=x<=80/14，5.33<=x<=5.71；x 无解；当 y 为 2 时，10.66<=x<=11.42, x 解为 11；故状态 5 中 x=11，y=2。

3、基于每个状态的 x、y 和C_{nD}平均值，通过下述算法计算出C_{nD}序列值，下面以计算$C_{nD}(z)$为例进行说明：

C_{nD} (z)表示C_{nD}序列的第 z 个C_{nD}值，z 取值范围为[1，x]，x 为状态中所有帧的个数，delta 表示每次计算的误差累计值，delta 初值为 0；

if $\overline{C_{nD}}$+delta <ceiling($\overline{C_{nD}}$)，则$C_{nD}(z)$=floor($\overline{C_{nD}}$) ，delta=delta+$\overline{C_{nD}}$-$C_{nD}(z)$，否则$C_{nD}(z)$=ceiling($\overline{C_{nD}}$)， delta=delta+$\overline{C_{nD}}$- $C_{nD}(z)$。

以状态 1 为例：参见图 4 所示，初始情况下$\overline{C_{nD}}$=10.000000，delta=0,每 8 帧中有 1 帧以C_m=189 映射，其他以C_m=188 映射：

C_{nD}= 10 10 10 10 10 10 10 10

delta = 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

ΣC_{nD}= 10 20 30 40 50 60 70 0

以状态 2 为例：参见图 5 所示，初始情况下$\overline{C_{nD}}$为 11.429，delta=0，每 7 帧中有 1 帧以C_m=189 映射，其他以C_m=188 映射：

C_{nD}= 11 11 12 11 12 11 12

delta = 0.429 0.857 0.286 0.714 0.143 0.571 0.000

ΣC_{nD}= 11 22 34 45 57 68 0

以状态 3 为例：参见图 6 所示，初始情况下$\overline{C_{nD}}$为 12.308，delta=0，每 13 帧中有 2 帧以C_m=189 映射，其他以C_m=188 映射：

C_{nD}= 12 12 12 13 12 12 13 12 12 13 12 12 13

delta = 0.308 0.615 0.923 0.231 0.538 0.846 0.154 0.462 0.769 0.077 0.385 0.692 0.000

ΣC_{nD}= 12 24 36 49 61 73 6 18 30 43 55 67 0

以状态 4 为例：参见图 7 所示，初始情况下$\overline{C_{nD}}$为 13.333，delta=0，每 6 帧中有 1 帧以C_m=189 映射，其他以C_m=188 映射：

C_{nD}= 13 13 14 13 13 14

delta = 0.333 0.667 0.000 0.333 0.667 0.000

ΣC_{nD}= 13 26 40 53 66 0

以状态 5 为例：参见图 8 所示，初始情况下$\overline{C_{nD}}$为 14.545，delta=0，每 11 帧中有 2 帧以C_m=189 映射，其他以C_m=188 映射：

C_{nD}= 14 15 14 15 14 15 14 15 14 15 15

delta = 0.545 0.091 0.636 0.182 0.727 0.273 0.818 0.364 0.909 0.455 0.000

ΣC_{nD}= 14 29 43 58 72 7 21 36 50 65 0

下面结合图 9 和表 5 详细说明表 5 中的 5 值状态机的状态转移过程。

参见图 9 所示，GMP 映射状态机的 5 个状态分别表示为 S101、S102、S103、S104、S105。图 3 中带箭头的线条上的 0x0100/0x0010 之类的 6 位数字表示状态转移输入条件，即图 3 中左上角的 IN1、IN2、IN3、IN4、IN5、IN6，IN1、IN2、IN3、IN4、IN5、IN6 分别表示：In1=复位，高有效；In2=水位半满，高有效；In3=水位上升，高有效；In4=水位不变，高有效；In5=水位下降，高有效；In6=FIFO 读空/写满，高有效。每个状态的 GMP 映射处理周期以及该处理周期对应的C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列分别如表 5 的状态 1~状态 5 所示。

GMP 映射状态机的运行过程如下：

GMP 映射状态机处于开始等待状态，随着客户侧数据不断写入 FIFO，FIFO 水位上升，等待 FIFO 水位到达中值水位后，GMP 映射状态机进入 S103 状态。

GMP 映射状态机进入 S103 状态后，执行每 13 帧中有 2 帧以C_m=189 映射，其他帧以C_m=188 映射，并按照表 5 中的状态 3 生成C_m值序列、C_{nD}值序列、ΣC_{nD}值序列。

GMP 映射状态机进入 S103 状态后，每次在第 13 帧的最后一个时钟周期采

样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位升高了，GMP 映射状态机进入 S104 状态。

GMP 映射状态机进入 S103 状态后，每次在第 13 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位降低了，GMP 映射状态机进入 S102 状态。

GMP 映射状态机进入 S103 状态后，每次在第 13 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位没有变化，GMP 映射状态机维持 S103 状态。

GMP 映射状态机进入 S103 状态后，如果 FIFO 出现读空或者写满的情况，GMP 映射状态机复位，进入开始等待状态。

GMP 映射状态机进入 S104 状态后，执行每 6 帧中有 1 帧以C_m=189 映射，其他帧以C_m=188 映射，并按照表 5 中的状态 4 生成C_m 值序列、C_{nD}值序列、ΣC_{nD}值序列。

GMP 映射状态机进入 S104 状态后，每次在第 6 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位升高了，GMP 映射状态机进入 S105 状态。

GMP 映射状态机进入 S104 状态后，每次在第 6 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位降低了，GMP 映射状态机进入 S103 状态。

GMP 映射状态机进入 S104 状态后，每次在第 6 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位没有变化，GMP 映射状态机维持 S104 状态。

GMP 映射状态机进入 S104 状态后，如果 FIFO 出现读空或者写满的情况，GMP 映射状态机复位，进入开始等待状态。

GMP 映射状态机进入 S102 状态后，执行每 7 帧中有 1 帧以C_m=189 映射，其他帧以C_m=188 映射，并按照表 5 中的状态 2 生成C_m 值序列、C_{nD}值序列、ΣC_{nD}值序列。

GMP 映射状态机进入 S102 状态后，每次在第 7 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位升高了，GMP 映射状态机进入 S103 状态。

GMP 映射状态机进入 S102 状态后，每次在第 7 帧的最后一个时钟周期采

样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位降低了，GMP 映射状态机进入 S101 状态。

GMP 映射状态机进入 S102 状态后，每次在第 7 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位没有变化，GMP 映射状态机维持 S102 状态。

GMP 映射状态机进入 S102 状态后，如果 FIFO 出现读空或者写满的情况，GMP 映射状态机复位，进入开始等待状态。

GMP 映射状态机进入 S105 状态后，执行每 11 帧中有 2 帧以C_m=189 映射，其他帧以C_m=188 映射，并按照表 5 中的状态 5 生成C_m 值序列、C_{nD}值序列、ΣC_{nD}值序列。

GMP 映射状态机进入 S105 状态后，每次在第 11 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位升高了，GMP 映射状态机维持 S105 状态。

GMP 映射状态机进入 S105 状态后，每次在第 11 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位降低了，GMP 映射状态机进入 S104 状态。

GMP 映射状态机进入 S105 状态后，每次在第 11 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位没有变化，GMP 映射状态机维持 S105 状态。

GMP 映射状态机进入 S105 状态后，如果 FIFO 出现读空或者写满的情况，GMP 映射状态机复位，进入开始等待状态。

GMP 映射状态机进入 S101 状态后，执行每 8 帧中有 1 帧以C_m=189 映射，其他帧以C_m=188 映射，并按照表 5 中的状态 5 生成C_m 值序列、C_{nD}值序列、ΣC_{nD}值序列。

GMP 映射状态机进入 S101 状态后，每次在第 8 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位升高了，GMP 映射状态机进入 S102 状态。

GMP 映射状态机进入 S101 状态后，每次在第 8 帧的最后一个时钟周期采样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位降低了，GMP 映射状态机维持 S101 状态。

GMP 映射状态机进入 S101 状态后，每次在第 8 帧的最后一个时钟周期采

样 FIFO 水位，如果水位相对中值水位没有变化，GMP 映射状态机维持 S101 状态。

GMP 映射状态机进入 S101 状态后，如果 FIFO 出现读空或者写满的情况，GMP 映射状态机复位，进入开始等待状态。

经过上述过程完成 GMP 映射，稳定后，取决于实际频偏的大小，GMP 映射状态机必然会固定在某两个相邻的状态之间来回切换，而 FIFO 水位却始终锁定在中值水位附近，和频偏没有关系。因此 FIFO 缓存深度只需设置一个较小的值，即可完成 GMP 映射，充分降低了缓存时延。

本领域的技术人员可以对本发明实施例进行各种修改和变型，倘若这些修改和变型在本发明权利要求及其等同技术的范围之内，则这些修改和变型也在本发明的保护范围之内。

说明书中未详细描述的内容为本领域技术人员公知的现有技术。

权 利 要 求 书

1、一种基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，其特征在于，包括以下步骤：

根据 GMP 映射状态机的自适应控制机制，自动感知 GMP 映射的输入和输出两侧业务频偏情况，完成 GMP 映射状态的切换和 FIFO 水位控制，通过 FIFO 水位控制 GMP 映射状态机的状态转移。

2、如权利要求 1 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，其特征在于：该方法具体包括以下步骤：

GMP 映射状态机至少有 2 种状态，根据 GMP 映射状态机的当前状态，计算下一个映射处理周期对应的各组C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列，每种状态对应不同的实际频偏情况，m 为承载侧每个数据块中的比特数，n 为客户侧每个数据块中的比特数，m 取值为 8、16、64、256 或 640，n 取值为 8 或 1，C_m为 m 比特块客户数据个数，C_n为一个承载帧周期或者复帧周期需要承载的客户侧 n 比特数据块的数量，C_{nD}为 C_n与 $m/n*C_{m_down}$之间的差值，C_{m_down}为对 C_m值向下取整，ΣC_{nD}值为 C_n与 $m/n*C_{m_down}$之间的差值求和。

3、如权利要求 2 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，其特征在于：该方法具体包括以下步骤：

无频偏时，GMP 映射状态机有 2 种状态，以 M 字节块的颗粒度进行映射，每 N 帧有 1 帧相对前 N-1 帧多插入一个数据块，少一个填充块，按下式计算 N 值：

$$N_up = ceiling(\frac{M}{C_{nD}}), N_down = floor(\frac{M}{C_{nD}}), N_{_up} - N_{_down} = 1;$$

M 表示 C_m中的 m/8 取值，$ceiling\left(\frac{M}{C_{nD}}\right)$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向上取整，$floor\left(\frac{M}{C_{nD}}\right)$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向下取整，$N_{_up}$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向上取整后的数值，

$N_{_down}$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向下取整后的数值。

4、如权利要求 3 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，其特征在于：该方法还包括以下步骤：

无频偏时，GMP 映射状态机有以下 2 种状态：

状态 1：每N_up帧有 1 帧以$C_m = C_{m_up}$进行映射，其他帧以$C_m = C_{m_down}$进行映射，C_{m_up}表示对C_m值向上取整；状态 1 对应的C_m值序列为：$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}}_{N_up}\ C_{m_up}$，$C_{nD}$平均值$\overline{C_{nD}}$为：$\frac{M}{N_up}$；

状态 2：每N_down帧有 1 帧以$C_m = C_{m_up}$进行映射，其他帧以$C_m = C_{m_down}$进行映射；状态 2 对应的C_m值序列为：$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}}_{N_down}\ C_{m_up}$，$C_{nD}$平均值$\overline{C_{nD}}$为：$\frac{M}{N_down}$；

每种 GMP 映射状态形成一组对应的C_m值序列，依据C_m值序列，计算C_{nD}值序列、ΣC_{nD}值序列。

5、如权利要求 4 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，其特征在于：该方法还包括以下步骤：

无频偏时，定时采样 FIFO 水位，判断当前 GMP 映射状态是否需要切换，具体过程为：

当承载侧读出的速率大于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位降低达到门限值时，由状态 2 切换到状态 1，通过读使能控制，降低承载侧读出数据的速率，从而使水位适当升高；

当承载侧读出的速率小于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位升高达到门限值时，由状态 1 切换到状态 2，通过读使能控制，提高承载侧读出数据的速率，从而使水位适当降低；

GMP 映射状态机根据水位值的变化，在状态 1、状态 2 两种状态之间自动切换，完成 GMP 映射，并使得 FIFO 水位在中值水位附近一定门限值内波动。

6、如权利要求 2 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，其特征在于：该方法具体包括以下步骤：

有频偏时，对 GMP 映射状态机进行分解，并插入新状态，插入新状态的原则是：

使任意相邻的状态之间C_{nD}序列变化不超过 2；

下边界状态：$\overline{C_{nD}}$小于 C_{nD} 的最小值C_{nD_min}；

上边界状态：$\overline{C_{nD}}$大于 C_{nD} 的最大值C_{nD_max}；

每个状态的最后一帧$\Sigma C_{nD} = 0$。

7、如权利要求 6 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，其特征在于：该方法还包括以下步骤：

有频偏时，GMP 映射状态机有多于 2 种状态，根据以下公式计算 GMP 映射状态机的状态个数：

先计算 C_{nD_max} 和 C_{nD_min}，GMP 映射状态机的状态个数 $=floor(C_{nD_max})-floor(C_{nD_min})+1$，floor 表示向下取整。

8、如权利要求 7 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，其特征在于：该方法还包括以下步骤：

有频偏时，每种 GMP 映射状态形成一组对应的C_m 值序列，各个状态中假设每 x 帧有 y 帧以 $C_m=C_{m_up}$ 进行映射，其他帧以 $C_m=C_{m_down}$ 映射，根据以下公式计算每个状态中的 x 和 y 值及对应的 C_{nD}平均值$\overline{C_{nD}}$：

状态 W：满足 $floor(C_{nD_min}) + (W-1) <= M*y/x <= floor(C_{nD_min}) + W$ 与 x+y 求和最小的 x、y 取值，W 为非零自然数，取值从 1 到状态个数，x 和 y 为非零自然数，此时对应的$\overline{C_{nD}}=M*y/x$，即 $M*y/(floor(C_{nD_min}) + W) <= x <= M*y/(floor(C_{nD_min}) + W-1)$，y 取最小值时，对应的 x+y 的值最小；

依据C_m值序列，计算C_{nD}值序列、ΣC_{nD}值序列。

9、如权利要求 8 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，其特征在于：该方法还包括以下步骤：

有频偏时，GMP 映射状态机有多于 2 种状态，初始化时选择中间状态进行映射，对应最接近理想无频偏情况，每个映射处理周期完成一次 FIFO 水位定时采样和判断，如果水位升高，GMP 映射状态机往映射速率高的相邻状态转移；如果水位不变，GMP 映射状态机维持当前状态；如果水位下降，GMP 映射状态机往映射速率低的相邻状态转移；GMP 映射状态机最终自适应稳定在相邻的两个状态之间来回切换，FIFO 水位锁定在中值水位附近波动。

10、如权利要求 4 或 8 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，其特征在于：该方法还包括以下步骤：

无频偏和有频偏两种情况下，C_{nD}值序列值的计算过程均为：

$C_{nD}(z)$表示 C_{nD}序列的第 z 个 C_{nD}值，z 取值范围为[1，x]，x 为状态中所有帧的个数，delta 为每次计算的误差累计值，delta 初值为 0；

若 $\overline{C_{nD}}$ +delta<ceiling($\overline{C_{nD}}$)，ceiling 表示向上取整，则 $C_{nD}(z)=floor(\overline{C_{nD}})$，floor 表示向下取整，$delta=delta+\overline{C_{nD}}-C_{nD}(z)$，否则 $C_{nD}(z)=ceiling(\overline{C_{nD}})$，$delta=delta+\overline{C_{nD}}-C_{nD}(z)$。

11、如权利要求 2 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射方法，其特征在于：该方法还包括以下步骤：

根据 C_m值序列中的每一个 C_m值决定下一帧填充块的数量，填充块的位置由误差求和算法决定；

在调整控制字节 JC 开销中填入 C_m值序列中的 C_m值及 C_m值的校验信息、ΣC_{nD}值序列中的 ΣC_{nD}值及 ΣC_{nD}值的校验信息。

12、一种基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，其特

征在于，包括：

状态机自适应控制模块，用于：根据 GMP 映射状态机的自适应控制机制，自动感知 GMP 映射的输入和输出两侧业务频偏情况，完成 GMP 映射状态的切换和 FIFO 水位控制，通过 FIFO 水位控制 GMP 映射状态机的状态转移。

13、如权利要求 12 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，其特征在于：所述 GMP 映射状态机至少有 2 种状态，所述状态机自适应控制模块包括计算子模块，用于：根据 GMP 映射状态机的当前状态，计算下一个映射处理周期对应的各组C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列，每种状态对应不同的实际频偏情况，m 为承载侧每个数据块中的比特数，n 为客户侧每个数据块中的比特数，m 取值为 8、16、64、256 或 640，n 取值为 8 或 1，C_m为 m 比特块客户数据个数，C_n为一个承载帧周期或者复帧周期需要承载的客户侧 n 比特数据块的数量，C_{nD}为 C_n 与 $m/n*C_{m_down}$ 之间的差值，C_{m_down}为对 C_m值向下取整，ΣC_{nD}值为 C_n 与 $m/n*C_{m_down}$ 之间的差值求和。

14、如权利要求 13 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，其特征在于：所述计算子模块具体用于：

无频偏时，GMP 映射状态机有 2 种状态，以 M 字节块的颗粒度进行映射，每 N 帧有 1 帧相对前 N-1 帧多插入一个数据块，少一个填充块，按下式计算 N 值：

$$N_up = ceiling(\frac{M}{C_{nD}}), N_down = floor(\frac{M}{C_{nD}}), N_{_up} - N_{_down} = 1;$$

M 表示 C_m 中的 m/8 取值，$ceiling\left(\frac{M}{C_{nD}}\right)$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向上取整，$floor\left(\frac{M}{C_{nD}}\right)$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向下取整，$N_{_up}$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向上取整后的数值，$N_{_down}$表示对$\frac{M}{C_{nD}}$向下取整后的数值。

15、如权利要求 14 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，其特征在于：

无频偏时，GMP 映射状态机有以下 2 种状态：

状态 1：每N_up帧有 1 帧以$C_m = C_{m_up}$进行映射，其他帧以$C_m = C_{m_down}$进行映射，C_{m_up}表示对C_m值向上取整；状态 1 对应的C_m值序列为：$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}\ C_{m_up}}_{N_up}$，$C_{nD}$平均值$\overline{C_{nD}}$为：$\frac{M}{N_up}$；

状态 2：每N_down帧有 1 帧以$C_m = C_{m_up}$进行映射，其他帧以$C_m = C_{m_down}$进行映射；状态 2 对应的C_m值序列为：$\underbrace{C_{m_down}\ C_{m_down}\ \cdots\ C_{m_down}\ C_{m_up}}_{N_down}$，$C_{nD}$平均值$\overline{C_{nD}}$为：$\frac{M}{N_down}$；

每种 GMP 映射状态形成一组对应的C_m值序列，所述计算子模块依据C_m值序列，计算 C_{nD}值序列、ΣC_{nD}值序列。

16、如权利要求 15 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，其特征在于：所述计算子模块还用于：

无频偏时，定时采样 FIFO 水位，判断当前 GMP 映射状态是否需要切换，具体过程为：

当承载侧读出的速率大于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位降低达到门限值时，由状态 2 切换到状态 1，通过读使能控制，降低承载侧读出数据的速率，从而使水位适当升高；

当承载侧读出的速率小于客户侧写入速率，使得 FIFO 水位升高达到门限值时，由状态 1 切换到状态 2，通过读使能控制，提高承载侧读出数据的速率，从而使水位适当降低；

GMP 映射状态机根据水位值的变化，在状态 1、状态 2 两种状态之间自动切换，完成 GMP 映射，并使得 FIFO 水位在中值水位附近一定门限值内波动。

17、如权利要求 13 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP

映射系统，其特征在于：所述计算子模块具体用于：

有频偏时，对 GMP 映射状态机进行分解，并插入新状态，插入新状态的原则是：

使任意相邻的状态之间C_{nD}序列变化不超过 2；

下边界状态：$\overline{C_{nD}}$小于 C_{nD} 的最小值C_{nD_min}；

上边界状态：$\overline{C_{nD}}$大于 C_{nD} 的最大值C_{nD_max}；

每个状态的最后一帧$\Sigma C_{nD} = 0$。

18、如权利要求 17 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，其特征在于：有频偏时，GMP 映射状态机有多于 2 种状态，所述计算子模块根据以下公式计算 GMP 映射状态机的状态个数：

先计算 C_{nD_max} 和 C_{nD_min}，GMP 映射状态机的状态个数 =floor(C_{nD_max})-floor(C_{nD_min})+1，floor 表示向下取整。

19、如权利要求 18 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，其特征在于：有频偏时，每种 GMP 映射状态形成一组对应的C_m 值序列，各个状态中假设每 x 帧有 y 帧以 C_m=C_{m_up} 进行映射，其他帧以 C_m=C_{m_down} 映射，所述计算子模块根据以下公式计算每个状态中的 x 和 y 值及对应的C_{nD}平均值$\overline{C_{nD}}$：

状态 W：满足 floor(C_{nD_min}) + (W-1) <=M*y/x <= floor(C_{nD_min}) + W 与 x+y 求和最小的 x、y 取值，W 为非零自然数，取值从 1 到状态个数，x 和 y 为非零自然数，此时对应的$\overline{C_{nD}}$=M*y/x，即 M*y/（floor(C_{nD_min}) + W）<=x<=M*y/（floor(C_{nD_min}) + W-1），y 取最小值时，对应的 x+y 的值最小；

依据C_m 值序列，计算 C_{nD} 值序列、ΣC_{nD} 值序列。

20、如权利要求 19 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，其特征在于：有频偏时，GMP 映射状态机有多于 2 种状

态，初始化时选择中间状态进行映射，对应最接近理想无频偏情况，每个映射处理周期完成一次 FIFO 水位定时采样和判断，如果水位升高，GMP 映射状态机往映射速率高的相邻状态转移；如果水位不变，GMP 映射状态机维持当前状态；如果水位下降，GMP 映射状态机往映射速率低的相邻状态转移；GMP 映射状态机最终自适应稳定在相邻的两个状态之间来回切换，FIFO 水位锁定在中值水位附近波动。

21、如权利要求 15 或 19 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，其特征在于：无频偏和有频偏两种情况下，所述计算子模块计算 C_{nD} 值序列值的过程均为：

$C_{nD}(z)$表示 C_{nD} 序列的第 z 个 C_{nD} 值，z 取值范围为[1，x]，x 为状态中所有帧的个数，delta 为每次计算的误差累计值，delta 初值为 0；

若 $\overline{C_{nD}}$ +delta<ceiling($\overline{C_{nD}}$)，ceiling 表示向上取整，则 $C_{nD}(z)=floor(\overline{C_{nD}})$，floor 表示向下取整，$delta=delta+\overline{C_{nD}}-C_{nD}(z)$，否则 $C_{nD}(z)=ceiling(\overline{C_{nD}})$，$delta=delta+\overline{C_{nD}}-C_{nD}(z)$。

22、如权利要求 13 所述的基于状态机自适应控制的低时延 GMP 映射系统，其特征在于：所述状态机自适应控制模块还包括：

承载侧成帧子模块，用于：根据 C_m 值序列中的每一个 C_m 值决定下一帧填充块的数量，填充块的位置由误差求和算法决定；在调整控制字节 JC 开销中填入：C_m 值序列中的 C_m 及 C_m 值的校验信息、ΣC_{nD} 值序列中的 ΣC_{nD} 值及 ΣC_{nD} 值的校验信息；

读控制子模块，用于：依据 C_m 值完成 FIFO 读速率的控制。

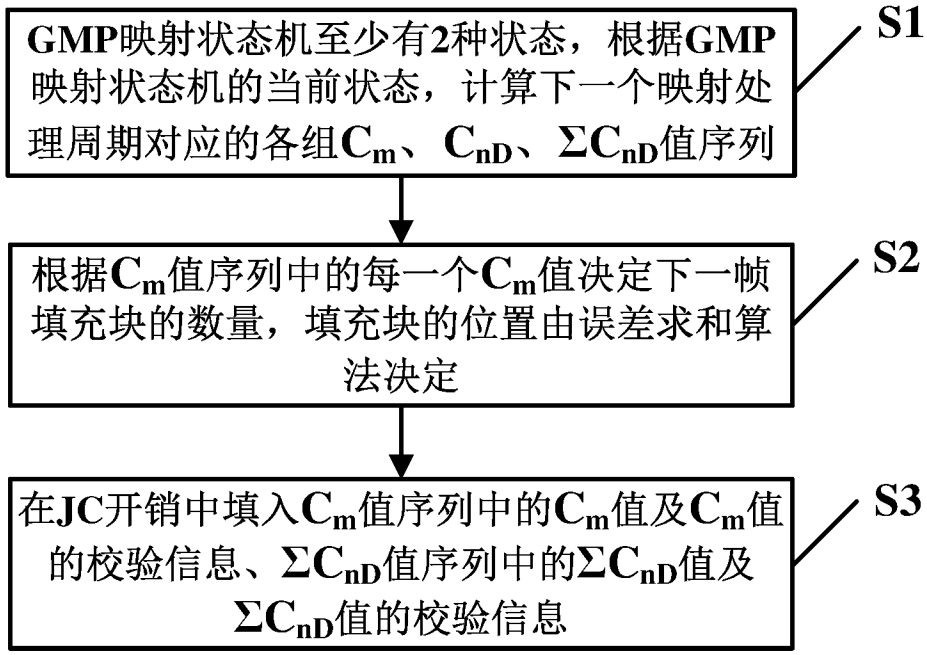

GMP映射状态机至少有2种状态，根据GMP映射状态机的当前状态，计算下一个映射处理周期对应的各组C_m、C_{nD}、ΣC_{nD}值序列
S1
根据C_m值序列中的每一个C_m值决定下一帧填充块的数量，填充块的位置由误差求和算法决定
S2
在JC开销中填入C_m值序列中的C_m值及C_m值的校验信息、ΣC_{nD}值序列中的ΣC_{nD}值及ΣC_{nD}值的校验信息
S3

图 1

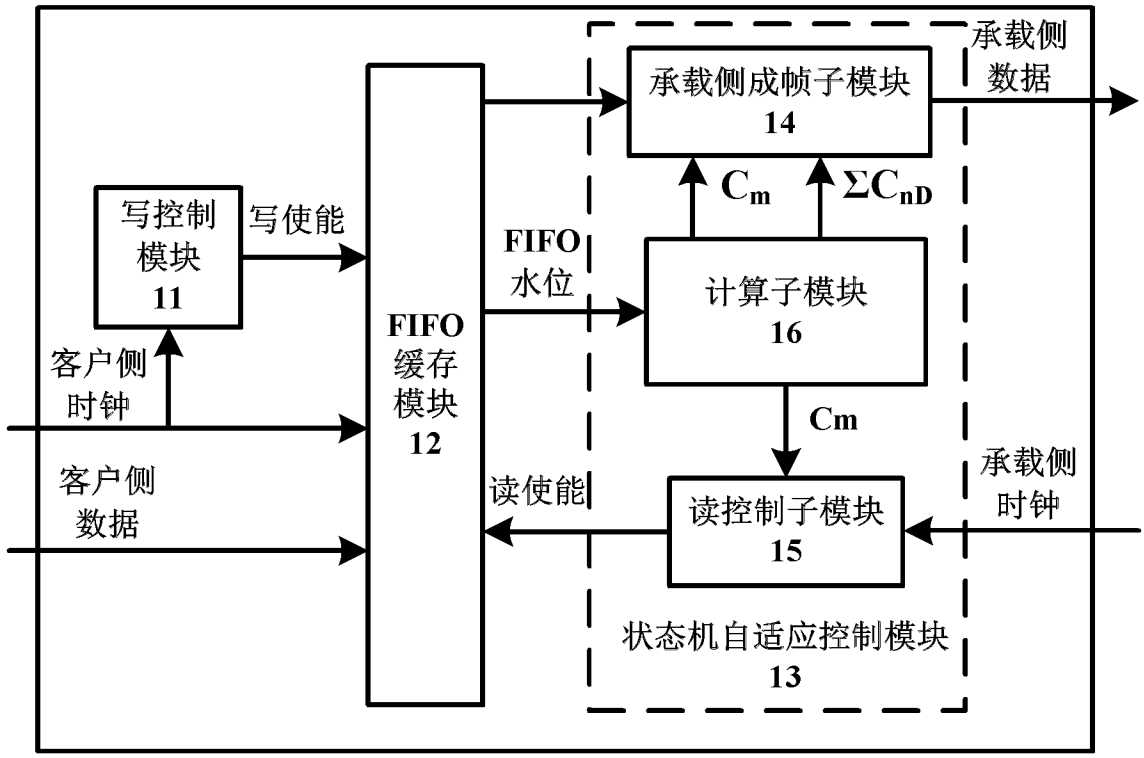


图 2

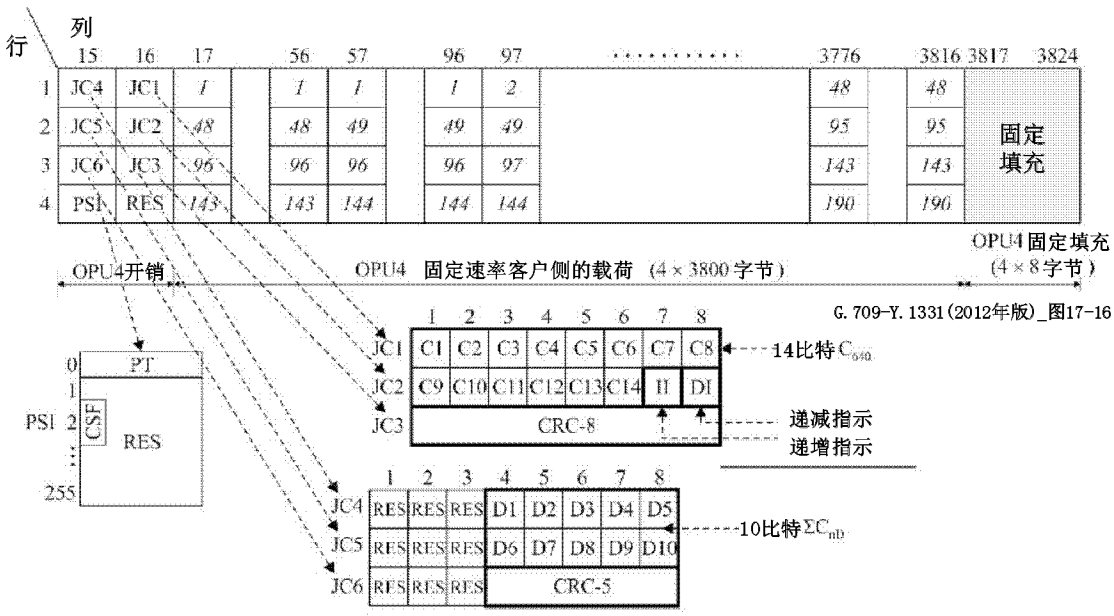


图17-16 对固定比特率客户信号进行映射的OPU4帧结构

图 3

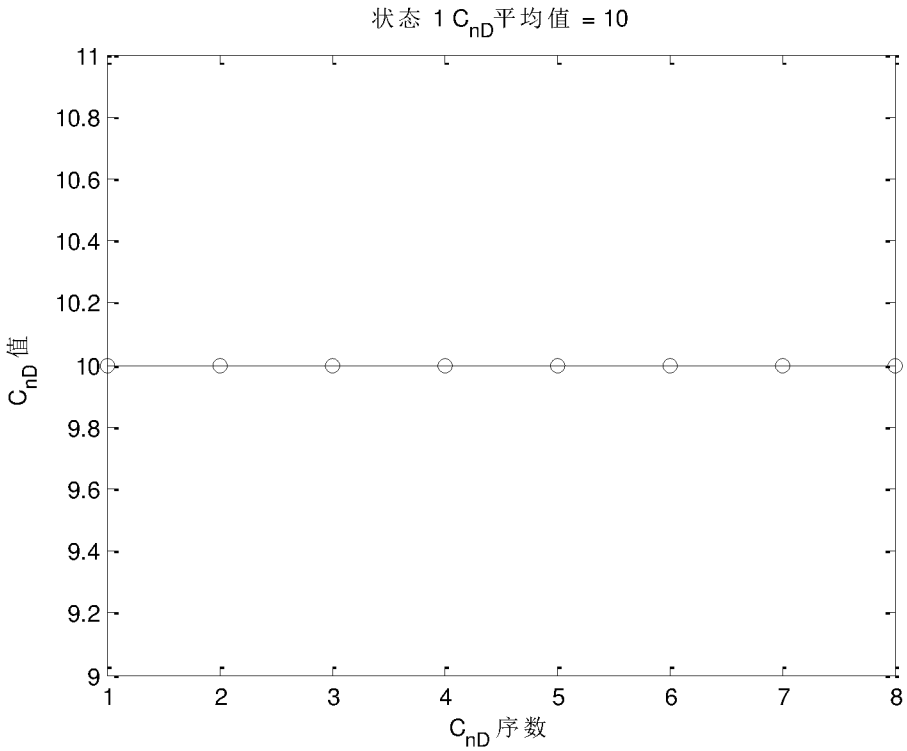

状态 1 C_{nD}平均值 = 10
11
10.8
10.6
10.4
10.2
10
9.8
9.6
9.4
9.2
9
1
2
3
4
5
6
7
8
C_{nD}值
C_{nD}序数

图 4

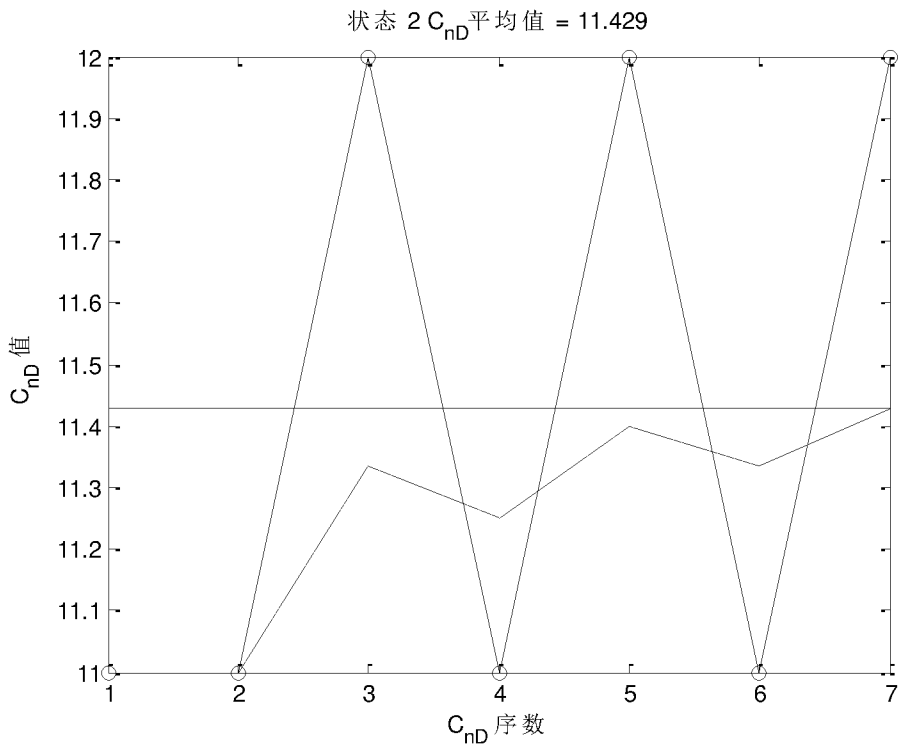

状态 2 C_{nD}平均值 = 11.429
12
11.9
11.8
11.7
11.6
11.5
11.4
11.3
11.2
11.1
11
1
2
3
4
5
6
7
C_{nD}值
C_{nD}序数

图 5

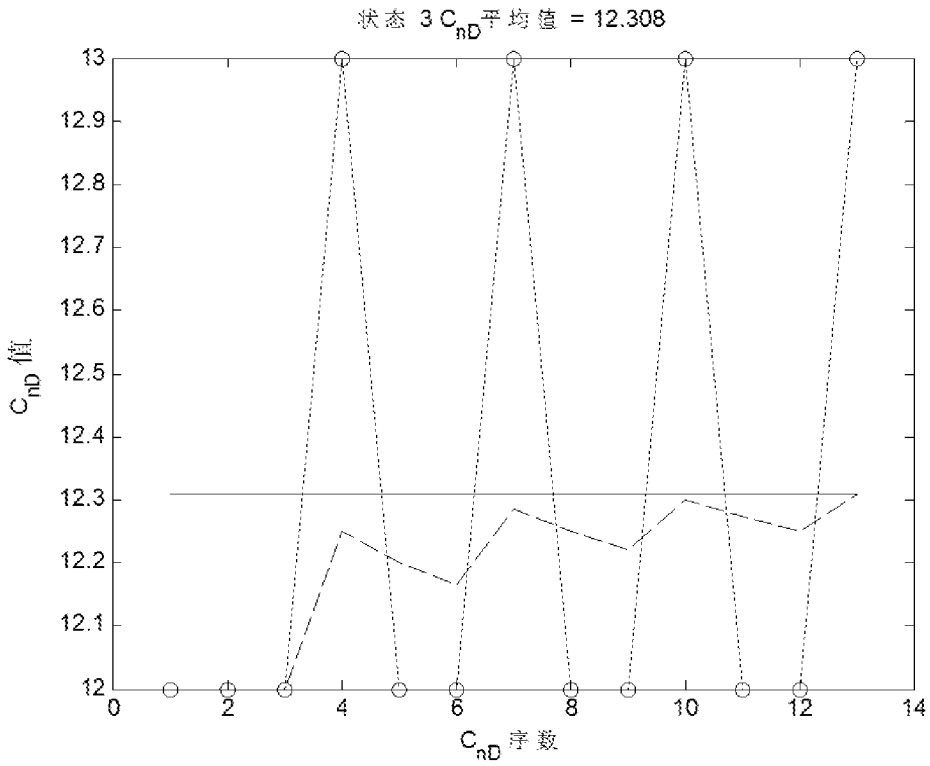

状态 3 C_{nD}平均值 = 12.308
C_{nD}值
C_{nD}序数
13
12.9
12.8
12.7
12.6
12.5
12.4
12.3
12.2
12.1
12
0
2
4
6
8
10
12
14

图 6

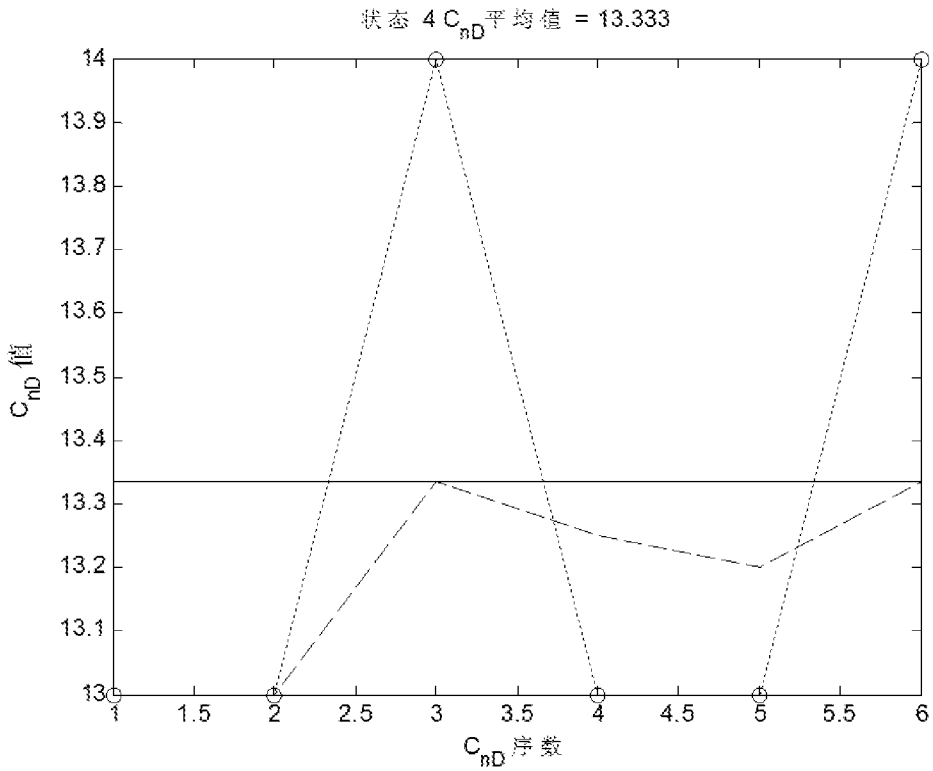

状态 4 C_{nD}平均值 = 13.333
C_{nD}值
C_{nD}序数
14
13.9
13.8
13.7
13.6
13.5
13.4
13.3
13.2
13.1
13
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
5.5
6

图 7

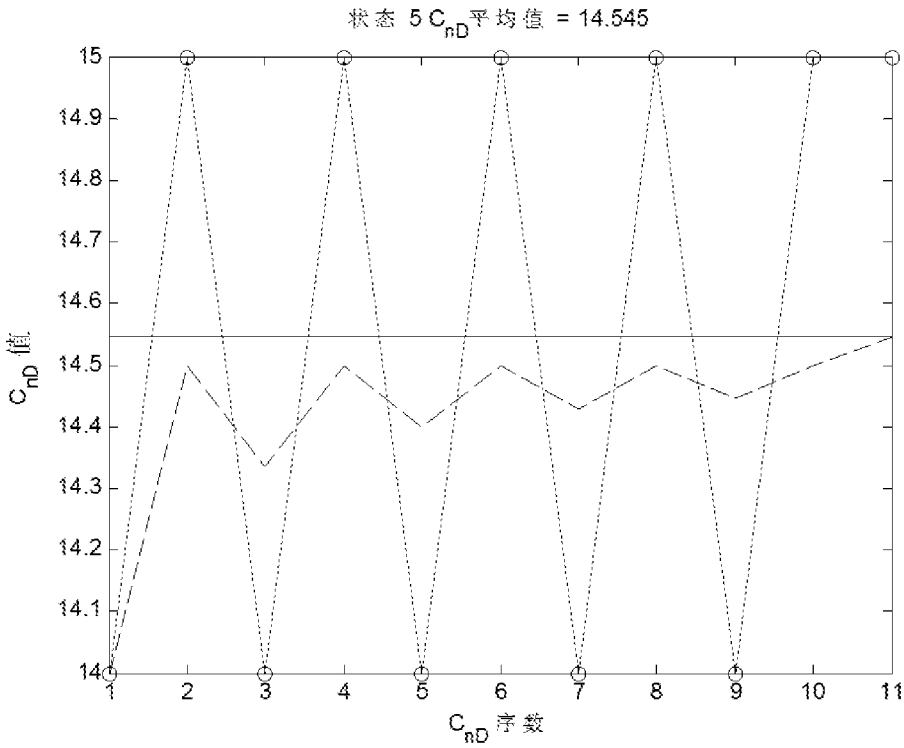

状态 5 C_{nD}平均值 = 14.545
15
14.9
14.8
14.7
14.6
14.5
14.4
14.3
14.2
14.1
14
C_{nD} 值
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
C_{nD} 序数

图 8

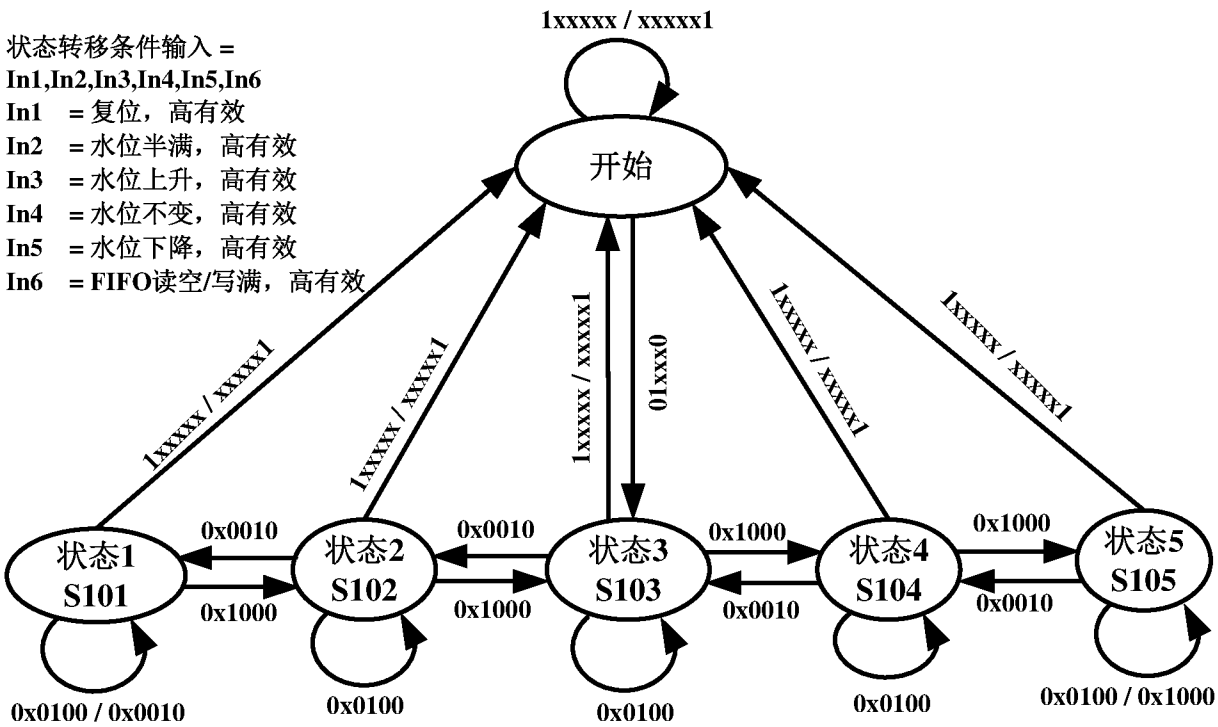

状态转移条件输入 =
In1,In2,In3,In4,In5,In6
In1 = 复位，高有效
In2 = 水位半满，高有效
In3 = 水位上升，高有效
In4 = 水位不变，高有效
In5 = 水位下降，高有效
In6 = FIFO读空/写满，高有效
1xxxxx / xxxxx1
开始
状态1
S101
状态2
S102
状态3
S103
状态4
S104
状态5
S105
0x0010
0x1000
0x0100 / 0x0010
0x0100
0x0100
0x0100
0x0100 / 0x1000
01xxx0

图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/119066

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04J 3/16(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04J H04Q H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 通用映射规程, 自适应, 频偏, 阈值, 门限, 状态, 转移, 切换, 光传送网, 时延, 延时, 水位, GMP, FIFO, OTN, adaptive, frequency offset, switch, water level, latency, state

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 102761792 A (ZTE CORPORATION) 31 October 2012 (2012-10-31) description, paragraphs [0005]-[0116]	1-22
A	CN 103384178 A (ZTE CORPORATION) 06 November 2013 (2013-11-06) entire document	1-22
A	CN 101931832 A (ZTE CORPORATION) 29 December 2010 (2010-12-29) entire document	1-22
A	CN 102316391 A (ZTE CORPORATION) 11 January 2012 (2012-01-11) entire document	1-22
A	CN 101938454 A (ZTE CORPORATION) 05 January 2011 (2011-01-05) entire document	1-22
A	WO 2017152626 A1 (FIBERHOME TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES CO., LTD.) 14 September 2017 (2017-09-14) entire document	1-22
A	WO 2012155710 A1 (ZTE CORPORATION) 22 November 2012 (2012-11-22) entire document	1-22

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
03 June 2019	**20 June 2019**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
State Intellectual Property Office of the P. R. China **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing** **100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/119066

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	102761792	A	31 October 2012	None			
CN	103384178	A	06 November 2013	None			
CN	101931832	A	29 December 2010	None			
CN	102316391	A	11 January 2012	None			
CN	101938454	A	05 January 2011	None			
WO	2017152626	A1	14 September 2017	CL	2018001188	A1	28 September 2018
				SG	11201804254V	A	28 June 2018
				CN	105792031	A	20 July 2016
				IN	201847019844	A	08 June 2018
WO	2012155710	A1	22 November 2012	CN	102281477	A	14 December 2011

国际检索报告

国际申请号 PCT/CN2018/119066

A. 主题的分类

H04J 3/16(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H04J H04Q H04L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 通用映射规程，自适应，频偏，阈值，门限，状态，转移，切换，光传送网，时延，延时，水位，GMP，FIFO，OTN，adaptive，frequency offset，switch，water level，latency，state

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 102761792 A (中兴通讯股份有限公司) 2012年 10月 31日 (2012-10-31) 说明书第[0005]-[0116]段	1-22
A	CN 103384178 A (中兴通讯股份有限公司) 2013年 11月 6日 (2013-11-06) 全文	1-22
A	CN 101931832 A (中兴通讯股份有限公司) 2010年 12月 29日 (2010-12-29) 全文	1-22
A	CN 102316391 A (中兴通讯股份有限公司) 2012年 1月 11日 (2012-01-11) 全文	1-22
A	CN 101938454 A (中兴通讯股份有限公司) 2011年 1月 5日 (2011-01-05) 全文	1-22
A	WO 2017152626 A1 (烽火通信科技股份有限公司) 2017年 9月 14日 (2017-09-14) 全文	1-22
A	WO 2012155710 A1 (中兴通讯股份有限公司) 2012年 11月 22日 (2012-11-22) 全文	1-22

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2019年 6月 3日	2019年 6月 20日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	闫洪波 电话号码 86-(10)-53961740

表 PCT/ISA/210 (第2页) (2015年1月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2018/119066

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	102761792	A	2012年 10月 31日	无			
CN	103384178	A	2013年 11月 6日	无			
CN	101931832	A	2010年 12月 29日	无			
CN	102316391	A	2012年 1月 11日	无			
CN	101938454	A	2011年 1月 5日	无			
WO	2017152626	A1	2017年 9月 14日	CL	2018001188	A1	2018年 9月 28日
				SG	11201804254V	A	2018年 6月 28日
				CN	105792031	A	2016年 7月 20日
				IN	201847019844	A	2018年 6月 8日
WO	2012155710	A1	2012年 11月 22日	CN	102281477	A	2011年 12月 14日