

ICS 33.040.20
M 33



中华人民共和国通信行业标准

YD/T 3119-2016

光传送网（OTN）带宽无损调整技术要求

Technical requirements for bandwidth hitless adjustment of
Optical Transport Network(OTN)

2016-07-11 发布

2016-10-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	1
4 约定和要求	3
4.1 传输顺序	3
4.2 保留比特的值	3
5 带宽调整协议	3
5.1 带宽无损调整	3
5.2 带宽调整的方法	3
5.3 控制开销	4
5.4 带宽调整协议	8
5.5 与管理面和控制平面的交互	9
6 带宽调整流程	9
6.1 流程概述	9
6.2 带宽增加	9
6.3 带宽减少	13
7 维护信号	18
附录 A (规范性附录) ODUflex(GFP)带宽调整 SDL 图	19
附录 B (资料性附录) 带宽调整时延测量	24

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准的技术内容参考了 ITU-T G.7044/Y.1347 《ODUflex(GFP)的带宽无损调整》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国通信标准化协会提出并归口。

本标准起草单位：上海贝尔股份有限公司、中国信息通信研究院、华为技术有限公司。

本标准主要起草人：易小波、朱 浩、吴冰冰、汤 瑞、吴秋游、周惠琴、黄华明。

光传送网（OTN）带宽无损调整技术要求

1 范围

本标准规定了 OTN 网络中动态并且无损地调整采用 GFP 封装的 ODUflex 连接的带宽方法的技术要求。

本标准适用于 OTN 带宽无损调整技术。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

YD/T 1462-2011 光传送网 (OTN) 接口

ITU-T G.798(2012) 光传送网络层设备功能块的特性(Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks)

ITU-T G.8251(2010) 光传送网(OTN)内的信号抖动和漂移控制(The control of jitter and wander within the optical transport network (OTN))

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

GMP 正常模式 GMP Normal Mode

在GMP映射过程中将Cn值的变化范围限定在一个根据ODUflex(GFP)速率、ODTUk.ts信号速率和其他容限等因素确定的狭窄范围内的模式，任何超过这个范围的Cn值都被视为错误并将产生告警。

3.1.2

GMP 特别模式 GMPSpecialmode)

在调整ODUflex(GFP)速率过程中容许GMP映射的Cn值连续地按步长变化而不产生告警的模式。

3.1.3

OPUk 复帧 OPUk Multiframe

一定数量连续的 OPU_k 帧组成一个 OPU_k 复帧, 该数量与该 OPU_k 所包含的时隙数量相同, 例如 OPU₂ 复帧由 8 个 OPU₂ 帧构成, OPU₃ 复帧由 32 个 OPU₃ 帧构成, OPU₄ 复帧由 80 个 OPU₄ 帧构成。

3.1.4

带宽调整复帧 Resize Multiframe (RMF)

一定数量连续的 OPUk 帧组成一个带宽调整复帧，帧的数量是 256 和每个 OPUk 所包含时隙数量的最小公倍数，比如说 ODU2/3 的带宽调整复帧由 256 帧组成，ODU4 的带宽调整复帧由 1280 帧组成。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ACK Acknowledge

确认

YD/T 3119-2016

AI	Adapted Information	适配信息
BG	BWR Generator	带宽调整产生单元
BR	BWR Receiver	带宽调整接收单元
BRG	BWR Relay Generator	带宽调整中继产生单元
BRR	BWR Relay Receiver	带宽调整中继接收单元
BWR	Bandwidth Resize	带宽调整
CC	Consistent Configuration	配置一致性
CI	Characteristic Information	特征信息
C _m	number of m-bit client data entities	m-比特客户数据计数
C _n	number of n-bit client data entities	n-比特客户数据计数
C _{nD}	difference between C _n and (m/n x C _m)	C _n 与(m/n x C _m)之间的差值
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余校验
CTRL	Control	控制
CV	Consistent Verification	一致性检测
EMF	Equipment Management Function	设备管理功能
FRR	Flex RCOH Receiver	Flex RCOH 接收单元
GFP	Generic Framing Procedure	通用成帧规程
GMP	Generic Mapping Procedure	通用映射规程
HAO	Hitless Adjustment of ODUflex	ODUflex 无损调整
LC	Link Connection	链路连接
LCAS	Link Capacity Adjustment Scheme	链路容量调整方案
LCR	Link Connection Resize	链路连接调整
LG	LCR Generator	LCR 产生单元
LR	LCR Receiver	LCR 接收单元
MC	Matrix Connection	矩阵连接
MI	Management Information	管理信息
MSI	Multiplex Structure Identifier	复用结构指示
NACK	Negative Acknowledge	否定确认
NCS	Network Connectivity Status	网络连接状态
ODTuk.ts	Optical channel Data Tributary Unit k with ts tributary slots	包含 ts 个时隙的光通路数据支路单元 k
ODU	Optical channel Data Unit	光通道数据单元
ODUflex	flexible Optical channel Data Unit	灵活的光通道数据单元
ODUflex (GFP)		采用 GFP 封装的 ODUflex 信号
OH	Overhead	开销
OPU	Optical channel Payload Unit	光通道净负荷单元

OTN	Optical Transport Network	光传送网
PSI	Payload Structure Identifier	净负荷指示
RCOH	Resize Control Overhead	带宽调整控制开销
RES	Reserved for future international standardization	为未来国际化所保留
RG	RCOH Generator	RCOH 产生单元
RMF	Resize Multiframe	带宽调整复帧
RP	Resize Protocol	带宽调整协议
RR	RCOH Receiver	RCOH 接收单元
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步数字体系
SDL	Specification and Description Language	规范与描述语言
TPID	Tributary PortID	支路端口号
TS	Tributary Slot	支路时隙
TSCC	Tributary Slot Connectivity Check	支路时隙连续性检测
TSGS	Tributary Slot Group Status	支路时隙组状态
TSOH	Tributary Slot Overhead	支路时隙开销
VCAT	Virtual Concatenation	虚级联

4 约定和要求

4.1 传输顺序

本标准中所有图表的字节传送顺序是首先从左往右，然后从上往下。在每个字节的传送中，最高有效位（第 1 比特）最先传送。最高有效位在所有图中的最左边表示。

4.2 保留比特的值

开销中的保留比特或者为将来国际化预留的比特都应设置为 0。

5 带宽调整协议

5.1 带宽无损调整

ODUflex(GFP)的带宽无损调整是一种在OTN网络中动态增加或减少端到端路径上ODUflex(GFP)所承载的客户信号的带宽而不影响业务的方法。它在很多方面都和VCAT/LCAS技术类似，但是和VCAT不同的是VCAT的端到端容器里面的每个ODUk信号可以是相互独立的，而ODUflex信号中的每个时隙都经过相同的端到端的路径。

ODUflex(GFP)的带宽无损调整与VCAT/LCAS相比较有一个优点，由于所有承载ODUflex(GFP)的时隙在从OTN网络的源端到目的端的路径上保持相同的路径，因此ODUflex(GFP)接收端无需补偿每个时隙在时延上的不一致，并且ODUflex是一个单独的管理实体，而VCAT组中每个成员都是一个独立的管理实体。和VCAT/LCAS中带宽的调整仅仅需要首端和尾端两个网元参与不同，ODUflex(GFP)的带宽无损调整需要整个路径上所有的网元参与配合，基于ODUflex(GFP)的带宽无损调整在端到端的路径上不要求业务在不同的节点间采用相同的时隙号或者连续的时隙，但是时隙数量应保持一致并位于相同的高阶ODU通道上。

5.2 带宽调整的方法

YD/T 3119-2016

在ODUflex(GFP)到数据报文的适配功能块和高阶ODUk到低阶ODUk适配功能块中，ODUflex(GFP)带宽无损调整为上层的应用提供了一种无损的带宽增加或者减少的方法。为了实现这种带宽调整，整个路径上的所有节点都应支持带宽调整协议，并且整个路径上所有节点同时调整ODUflex(GFP)的带宽来避免缓冲区的上溢出或者下溢出。

对于一个需要调整带宽的ODUflex(GFP)，其所占用的时隙数量在服务层的端到端路径上始终保持相同。并且在带宽调整（增加或者减少）的时候，整个路径上的每段链路都增加或减少相同数量的时隙（并且至少增加或减少一个时隙）。ODUflex(GFP)的速率如图1所示，其中 n 表示需要调整速率的ODUflex(GFP)占用的时隙的数量。带宽灵活调整可以将此ODUflex(GFP)的带宽从占用 n 个时隙调整到一个服务层带宽支持的其他值。

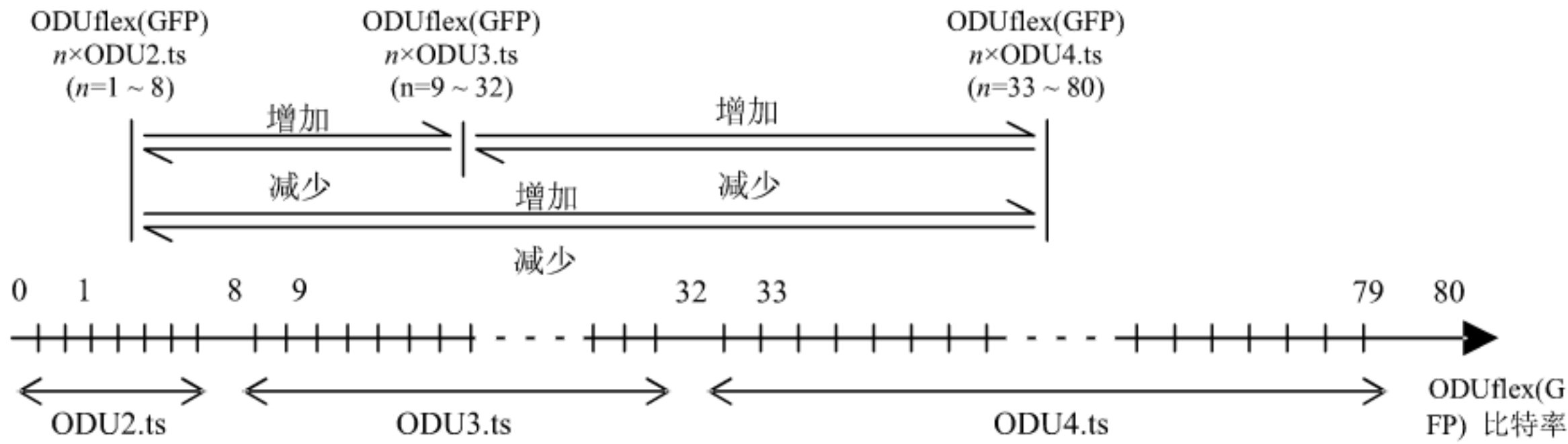


图1 ODUflex(GFP)速率和带宽无损调整

ODUflex(GFP)链路和矩阵连接本身的建立或者删除需要通过网管或者控制平面来完成，本标准规定的是在此之后的ODUflex(GFP)的带宽无损调整机制。

5.3 控制开销

5.3.1 RCOH 介绍

ODUflex(GFP)连接在端到端链路上的带宽同步调整通过带宽调整控制开销（RCOH）进行。RCOH中包含用于带宽调整的各种信息。带宽变化的消息需要提前发给接收端，这样接收端在接收到新的配置的时候可以马上进行调整。

RCOH 开销格式如图 2 所示，RCOH 在高阶 OPUk 支路时隙开销（TSOH）和 OPUflex 开销中承载，这些 RCOH (RCOH1, RCOH2 和 RCOH3)字节位于 OTN 帧结构第 1、2 和 3 行的第 15 列。高阶 OPUk 开销上的 RCOH 在需要被增加或者减少的支路时隙上承载。如果一次带宽增加或者减少的操作涉及到多个时隙，RCOH 在所有需要增加或者减少的时隙的开销上承载。参与同一个带宽增加或者减少操作的不同时隙所携带的 RCOH 开销相同。

注：本标准仅规定用于带宽无损调整协议的 RCOH，关于这些字节的其他用途见 YD/T 1462-2011。

RCOH 由两个部分组成：LCR 协议开销和 BWR 协议开销。

LCR 协议开销包括 CTRL 域、TPID 域和 TSGS 比特。

BWR 协议开销包括 NCS 比特、TSCC 比特、RP 比特和 BWR_IND 比特。

LCR 协议比特、BWR 协议中的 RP 比特和 TSCC 比特通过高阶 OPUk($k=2, 3, 4$)支路时隙开销来承载，NCS 比特和 BWR_IND 比特通过 OPUflex 开销来承载。

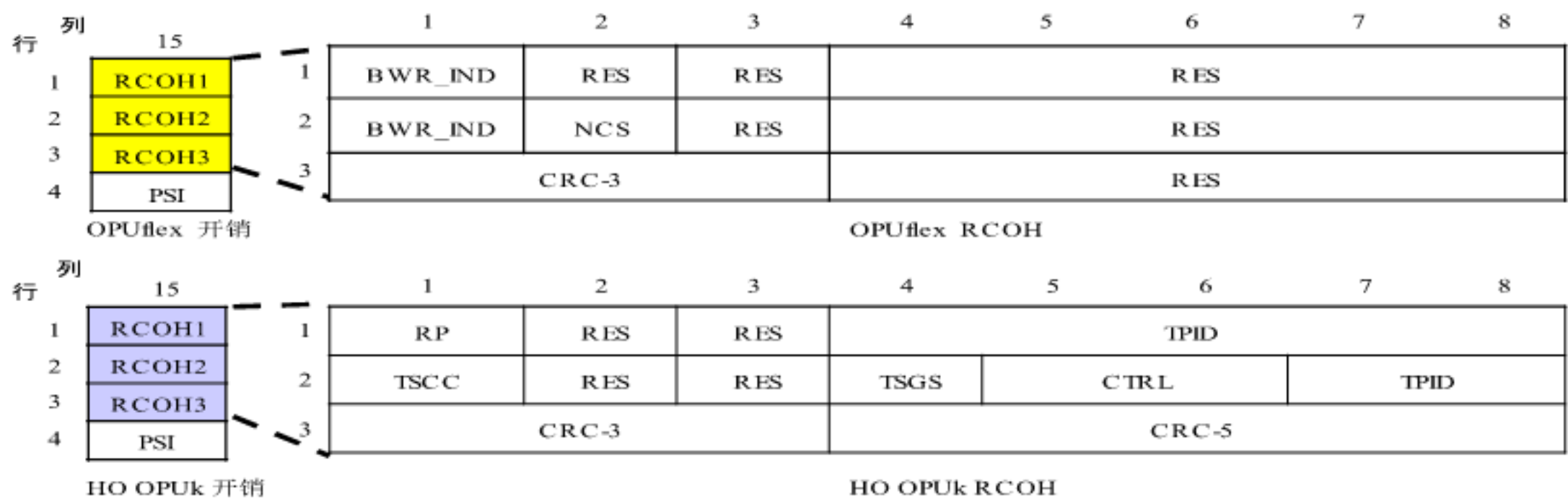


图2 RCOH 开销格式

RCOH包含ODUflex(GFP) LCR协议控制域和BWR协议控制域，RCOH默认值为全0。

5.3.2 CTRL 域

CTRL 用于源端向宿端传递 LCR 协议状态信息，提供属于特定 ODUflex(GFP)的每个支路时隙的操作指示。控制域属于 LCR 协议开销，位于高阶 OPUk(k=2, 3, 4)开销中的第 2 行第 15 列的第 5 和 6 比特。控制字的含义和取值的关系见表 1。

表 1 带宽无损调整控制字

值	命令	功能
00	IDLE	表示节点完成了链路连接调整并且没有新的链路连接调整的操作。在传送ADD/REMOVE命令之前也可能发送一段时间的IDLE命令
01	ADD	指示携带该命令的支路时隙将被添加到当前的ODUflex(GFP)连接
10	REMOVE	指示携带该命令的支路时隙将被从当前的ODUflex(GFP)连接删除
11	NORM	在发送过ADD或者REMOVE命令之后的带宽调整复帧边界，发送NORM命令来指示LCR将在接下来的一个带宽调制复帧边界启动

5.3.3 TPID 域

TPID 域用于表示支路端口号，TPID 域携带将要增加或者减少时隙的支路端口号码。TPID 域属于 LCR 协议开销，位于高阶 OPUk(k=2, 3, 4)开销中的第 1 行第 15 列的第 4 到 8 比特以及第 2 行第 15 列的第 7 和 8 比特。TPID 域的格式如图 3 所示。



图3 TPID 域编码

5.3.4 TSCC 比特

TSCC 比特用于 ODUflex(GFP)链路连接的连续性检测。它在需要被增加或减少的时隙上携带信令信息从源端到宿端逐跳传递。TSCC 比特的初始值应设置为 0。

在带宽调整过程中，TSCC=1 表示中间节点确认进入了 GMP 特殊模式，并且在从源端到宿端的路径上的所有节点都准备好开始进行带宽调整操作。

在 ODUflex(GFP) 带宽调整操作结束以后，源端节点通过设置 TSCC=0 来表示带宽调整操作结束，节点从 GMP 特别模式退出。TSCC=0 在中间节点从 GMP 特别模式退出以后继续向下游传递，从而触发

YD/T 3119-2016

端到端路径上的所有节点都从 GMP 特别模式退出。

TSCC 比特属于 BWR 协议开销，位于高阶 OPU $k(k=2, 3, 4)$ 开销中的第 2 行第 15 列的第 1 比特。

5.3.5 TSGS 比特

TSGS 比特用于链路连接确认指示。

在带宽增加的情况下，高阶 OPU 宿端通过 TSGS 比特向高阶 OPU 源端确认从接收到的 CTRL 域指示的命令以及 TPID 信息与宿端网管或控制平面所配置的信息是一致的。TSGS 比特还可以进一步指示高阶 OPU 宿端已经准备好将链路时隙从 ODTU $k.M$ 增加到 ODTU $k.M+N$ 。

在带宽减少的情况下，高阶 OPU 宿端通过 TSGS 比特向高阶 OPU 源端确认 ODUflex(GFP)的带宽已经被减少并且宿端在接收到源端的 TSCC=0 以后已经脱离了 GMP 特别模式。TSGS 比特还可以进一步指示高阶 OPU 宿端已经准备好将链路时隙数从 ODTU $k.M$ 减少到 ODTU $k.M-N$ 。

TSGS 比特有 ACK(1)或者 NACK (0)两种取值，TSGS 比特属于 LCR 协议开销，位于高阶 OPU $k(k=2, 3, 4)$ 开销中的第 2 行第 15 列的第 4 比特。

5.3.6 NCS 比特

NCS 比特用于网络连接确认指示，它利用 OPUflex 开销实现端到端的确认指示。ODUflex(GFP)宿端在收到正确的 TSCC 值以后利用 NCS 比特向源端发出确认指示。中间节点对 NCS 比特透传而不做任何处理。

在宿端收到 TSCC=1 的时候，宿端通过 NCS=1 来向源端确认端到端的路径上带宽调整操作已经准备好了。当宿端接收到 TSCC=0 的时候，宿端通过 NCS=0 来向源端确认带宽调整已经执行完毕。中间节点对 NCS 比特透传而不做任何处理。

NCS 比特属于 BWR 协议开销，位于 OPUflex 开销中的第 2 行第 15 列的第 2 比特。

5.3.7 RP 比特

RP 比特用于指示 RCOH 中是否携带带宽调整协议，RP=1 表示 RCOH 中携带带宽调整协议，RP=0 表示对应的开销中携带的是与具体映射方式相关的信息，见 YD/T 1462-2011 中定义的 GMP 开销(CnD)。在开始带宽调整前，RP 比特需要被网管系统或者控制平面设置成 1 来启动带宽调整的过程。在源端完成所有的带宽调整协议的处理后会重新把 RP 比特设置成 0。中间节点在收到 RP=0 以后也会终结 TSCC 信息的中继以及其他带宽调整协议的处理。在收到 RP=0 的时候，中间节点首先确认其自身退出了 GMP 特别模式，并且终止了 LCR 协议的处理，然后向下游节点转发 RP=0。宿端接收到 RP=0 就表示源端以及所有中间节点都确认已经终止了带宽调整协议的处理，此时宿端可以向网管或者控制平面报告带宽调整完成。

RP 比特属于 BWR 协议开销，位于高阶 OPU $k(k=2, 3, 4)$ 开销中的第 1 行第 15 列的第 1 比特。

5.3.8 BWR_IND 比特

ODUflex(GFP)源端利用 BWR_IND 比特来表示源端正在对带宽进行调整。在带宽调整开始前要将该比特设置为 0。一旦该值从 0 变成了 1，表示 ODUflex(GFP)源端将在 $x \mu s$ 以后开始调整。一旦该值从 1 变成了 0，表示 ODUflex(GFP)源端将在 $y \mu s$ 以后停止调整。 x 和 y 近似相等并且在 $125 \mu s \sim 250 \mu s$ 之间。

BWR_IND 比特用于触发下游开始带宽调整，也用于通知下游带宽调整的结束。具体方法见本标准 6.2 和 6.3。

BWR_IND 比特位于 ODUflex(GFP) RCOH1 和 RCOH2 字节的第 1 比特如图 2 所示。无论 BWR_IND

设置为 1 或者 0，这两个比特应设置成相同的值。接收端通过检查 RCOH3 来判断 BWR_IND 状态是否发生了变化。RCOH 中的 CRC-3 校验能够检验是否发生了影响 RCOH1 或 RCOH2 中 BWR_IND 值的误码，也能在误码情况下通过校验码解出正确的值来。接收端采用如下规则来做判断：

接收机在收 RCOH1 到 RCOH3 以后，如果检测到 RCOH1 和 RCOH2 中的 BWR_IND 比特都为 1，并且接收到的 CRC-3 校验值代表源端发送的 BWR_IND 比特也为 1（并且 NCS 也为 1），则判断源端发送的 BWR_IND 为 1。

接收机在收 RCOH1 到 RCOH3 以后，如果检测到 RCOH1 和 RCOH2 中的 BWR_IND 比特都为 0，并且接收到的 CRC-3 校验值代表源端发送的 BWR_IND 比特也为 0（并且 NCS 也为 1），则判断源端发送的 BWR_IND 为 0。

其他情况下，接收机保持 BWR_IND 当前值不变。

注：如果RCOH1的第2和第3比特为0并且RCOH2的第3比特为0，同时NCS比特为1，当BWR_IND = 1时对应的CRC-3校验值为110，当BWR_IND = 0时对应的CRC-3校验值应为111。

5.3.9 CRC 校验域

为了简化对 RCOH 中值的变化的检验，本标准采用 CRC 校验来保护带宽调整协议开销。如图 2 所示，RCOH 分为两个部分，CRC3 用于校验高阶 OPU 开销和 ODUflex(GFP) 开销中的 RP 比特和 BWR 协议比特，CRC5 用于校验 LCR 协议比特。由于未使用的比特应设置为 0，并且 0 值的 CRC 校验值仍为 0，因此即使在这些比特未被用于带宽调整协议的时候，CRC-3 域也包含有效的校验结果。同样的，CRC-5 校验值在这些比特没有承载任何信息(全 0 值)或者承载 CnD 信息的情况下都是有效的。接收端在收到 CRC 校验码以后进行校验，如果检验不通过，则信息比特内容被丢弃，如果检验通过，其内容将立即被执行。

RCOH1 和 RCOH2 的第 1 到第 3 比特通过生成多项式 $g(x) = x^3 + x^2 + 1$ 产生 CRC-3 校验，具体计算步骤如下：

- 1) 按网络传输顺序取 RCOH1 的比特 1~3 和 RCOH2 的比特 1~3，最高有效位最先，组成代表 5 阶多项式 $M(x)$ 系数的 6 个比特。
 - 2) $M(x)$ 与 x^3 相乘后被 $g(x)$ 模 2 相除，产生阶数小于等于 2 的余数多项式 $R(x)$ 。
 - 3) 余数多项式 $R(x)$ 的系数可视为 3 比特序列，其中 x^2 为最高有效位。
 - 4) 该 3 比特序列即对应 CRC-3，其中 x^2 为 CRC-3 的最高有效位， x^0 为 CRC-3 的最低有效位。
- 解映射端采用和映射端相同的方式执行步骤 1) ~步骤 3)，在没有误码的情况下，余数一定是 000。一种 CRC-3 并行的逻辑实现见表 2。

表 2 CRC-3 并行的逻辑实现

开销比特	CRC校验比特		
	crc1	crc2	crc3
RCOH1 比特1		X	
RCOH1比特2			X
RCOH1比特3	X	X	
RCOH2比特1		X	X
RCOH2比特2	X	X	X
RCOH2比特3	X		X

CRC5 的产生和校验见 YD/T 1462-2011 附录 D。

5.4 带宽调整协议

5.4.1 LCR 协议

LCR 协议包含一个位于 ODUkP/ODUj-21_A_So 适配功能块中的 LCR 源端处理流程 LCR_Source 和一个位于 ODUkP/ODUj-21_A_Sk 适配功能块中的 LCR 宿端处理流程 LCR_Sink，两者之间相互通信来调整 ODUflex(GFP)中包含的支路时隙的数量。在 ODUflex(GFP)端到端路径上的每段链路连接都运行各自的 LCR 协议。LCR 协议如图 4 所示。LCR 协议字段通过高阶 OPU 中 RCOH1-RCOH3 的相应字节承载。

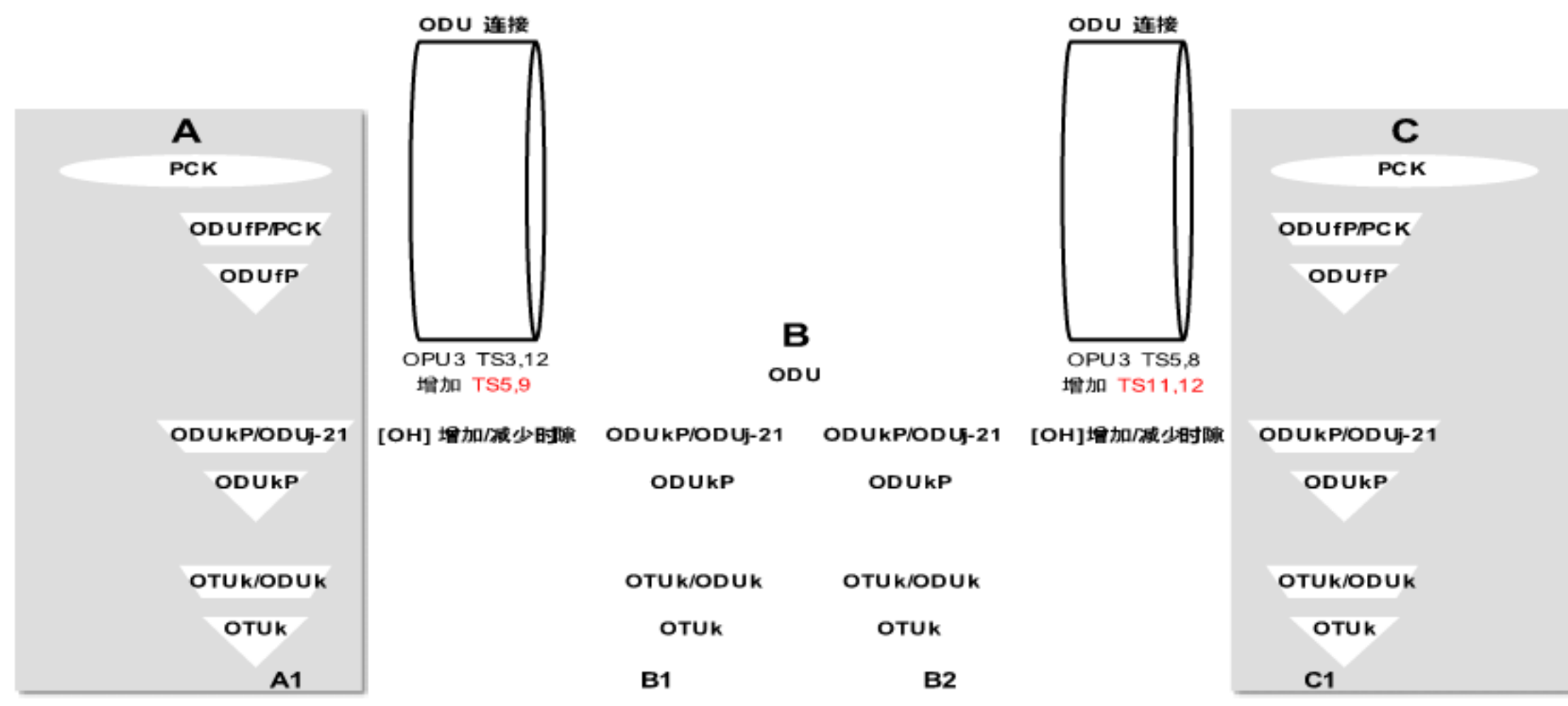


图4 LCR 协议

LCR 协议使用本标准 5.3 中定义的 CTRL、TSGS 和 TPID 字段。

5.4.2 BWR 协议

BWR 协议包含一个在 ODUfP/PCK_A_So 适配功能块中的 BWR 源端处理流程 BWR_Source 和一个在 ODUfP/PCK_A_Sk 适配功能块中的 BWR 宿端处理流程 BWR_Sink，两者之间有两种通信方式：一种是间接的方式，中间需要经过 ODUkP/ODUj-21_A 适配功能块的 BWR_Relay 处理流程。一种是直接的方式，它通过 OPUflex 开销来检查这个 ODUflex(GFP)链路连接上的每个节点有相同数量的时隙需要被添加或者移除，并检查路径的连通性。

链路上每个 ODUkP/ODUj-21_A_So 适配功能块都有一个 BWR_Relay_So 处理流程，每个 ODUkP/ODUj-21_A_Sk 适配功能块都有一个 BWR_Relay_Sk 处理流程。相邻的 BWR_Relay_So 处理流程和 BWR_Relay_Sk 处理流程通过基于设备相关的 ODUflex_CI 信号通过 ODU_C 功能块相互通信，或者基于设备相关的 ODUflex_MI 信号通过设备管理功能 EMF 相互通信。

BWR_Source 处理流程和 BWR_Relay_So 功能块通过基于设备特定的 ODUflex_CI 信号或者通过基于设备特定的 ODUflex_MI 信号的 EMF 功能相互通信。

BWR_Sink 处理流程和 BWR_Relay_Sk 功能块通过基于设备特定的 ODUflex_CI 信号或者通过基于设备特定的 ODUflex_MI 信号的 EMF 功能相互通信。

BWR 协议如图 5 所示。

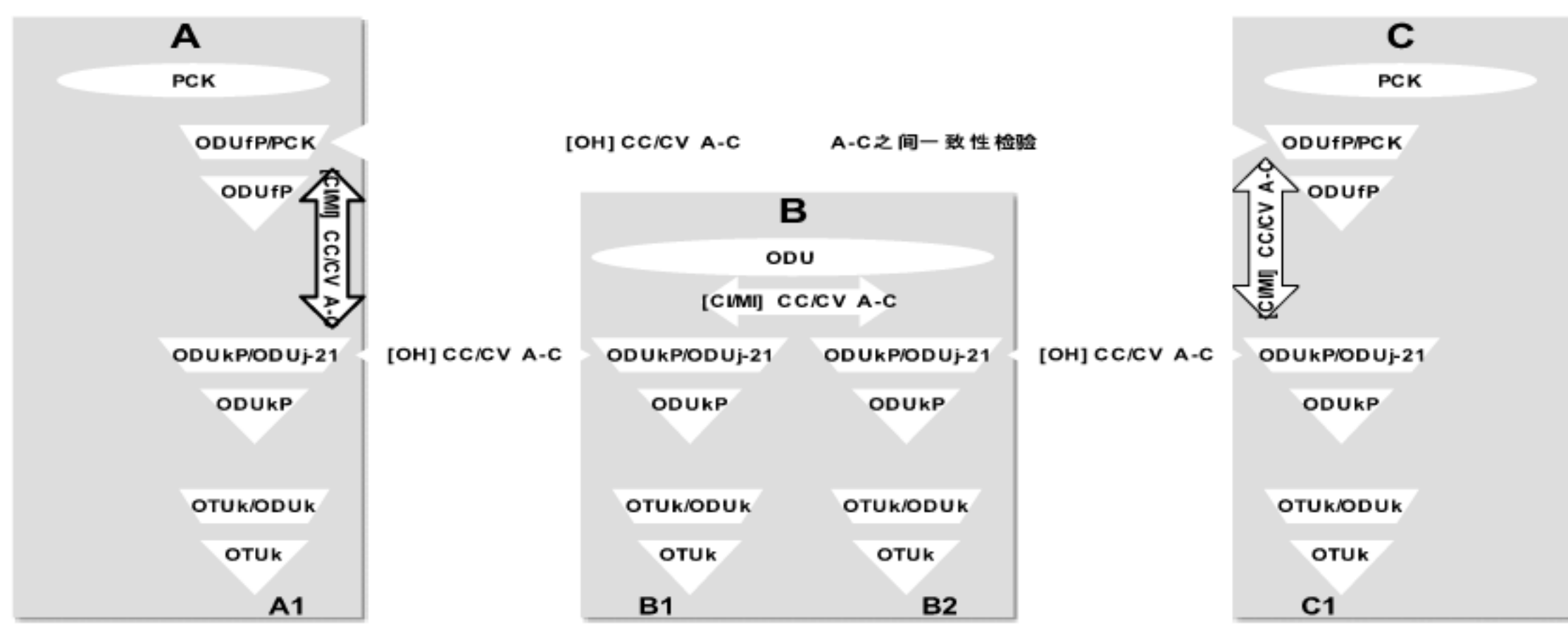


图5 BWR 协议

BWR 协议使用本标准 5.3 中所定义的 TSCC、NCS 和 BWR_IND 字段。

5.5 与管理面和控制平面的交互

带宽的无损调整和网络管以及控制平面密切相关，网管和控制平面需要设置哪个时隙参与哪些网络连接和矩阵连接上的带宽调整，并且要对带宽调整是否成功完成进行检查。网管和控制平面同时也要设置需要进行带宽调整的支路端口的端口号 TPID。从控制平面的角度看的是多个高阶 OPUk 时隙组成的整体来承载 ODUflex 客户信号，而不是多个独立的时隙。并且对控制平面而言，不能假设端到端的路径上链路的调整是基于某种先后顺序进行的。对于多个不同源和宿端点的 ODUflex (GFP) 信号，中间可以经过相同的中间节点，中间节点对多个 ODUflex (GFP) 信号带宽调整操作的协调不在本标准规范的范围内。

6 带宽调整流程

6.1 流程概述

ODUflex(GFP)的带宽无损调整需要 LCR 协议和 BWR 协议的共同参与，在 LCR 协议执行过程中，端到端的 ODUflex(GFP)链路上的每个节点应支持对需要增加或减少的时隙的矩阵交叉连接进行配置。具体矩阵的配置不在本标准的规定范围内。

6.2 带宽增加

6.2.1 带宽增加流程

在 LCR 和 BWR 交互作用下带宽增加流程如图 6 所示。

在 LCR 和 BWR 交互作用下带宽增加应包括以下步骤：

- 1) 每个节点在收到网管或者控制平面发出的增加带宽命令 ADD 以后启动 LCR 协议，ODUKP/ODUj-21_A 适配功能块的源端和宿端之间通过 LCR CTRL 域发出增加 ADD 命令，并等待从 LCR TSGS 比特接收到确认 ACK 信息。
- 2) 每个节点检查其所配置的需要增加的时隙组，只有在本节点所配置的增加时隙的信息和对端通过 LCR 协议通报的信息一致的情况下，才通过 LCR TSGS 比特发出确认信息。经过这样的握手操作以后，节点开始增加链路连接的时隙数量，并在时隙增加结束以后退出 LCR 协议处理。
- 3) 在 LCR 协议结束以后，ODUflex(GFP)源节点在每个增加的时隙上通过 TSCC=1 发出时隙连续性校验信息，中间节点在其上游和下游端口都完成 LCR 协议以后也开始转发该信息。
- 4) 在支路时隙连续性检测完成以后，ODUflex(GFP)链路连接的两个端节点开始带宽增加流程 BWR，

该流程可以避免 GMP 缓冲区的上溢出。

5) BWR 协议在带宽增加完成以后结束。ODUflex(GFP)链路连接的两个端节点分别向网管或控制平面报告带宽增加结束。

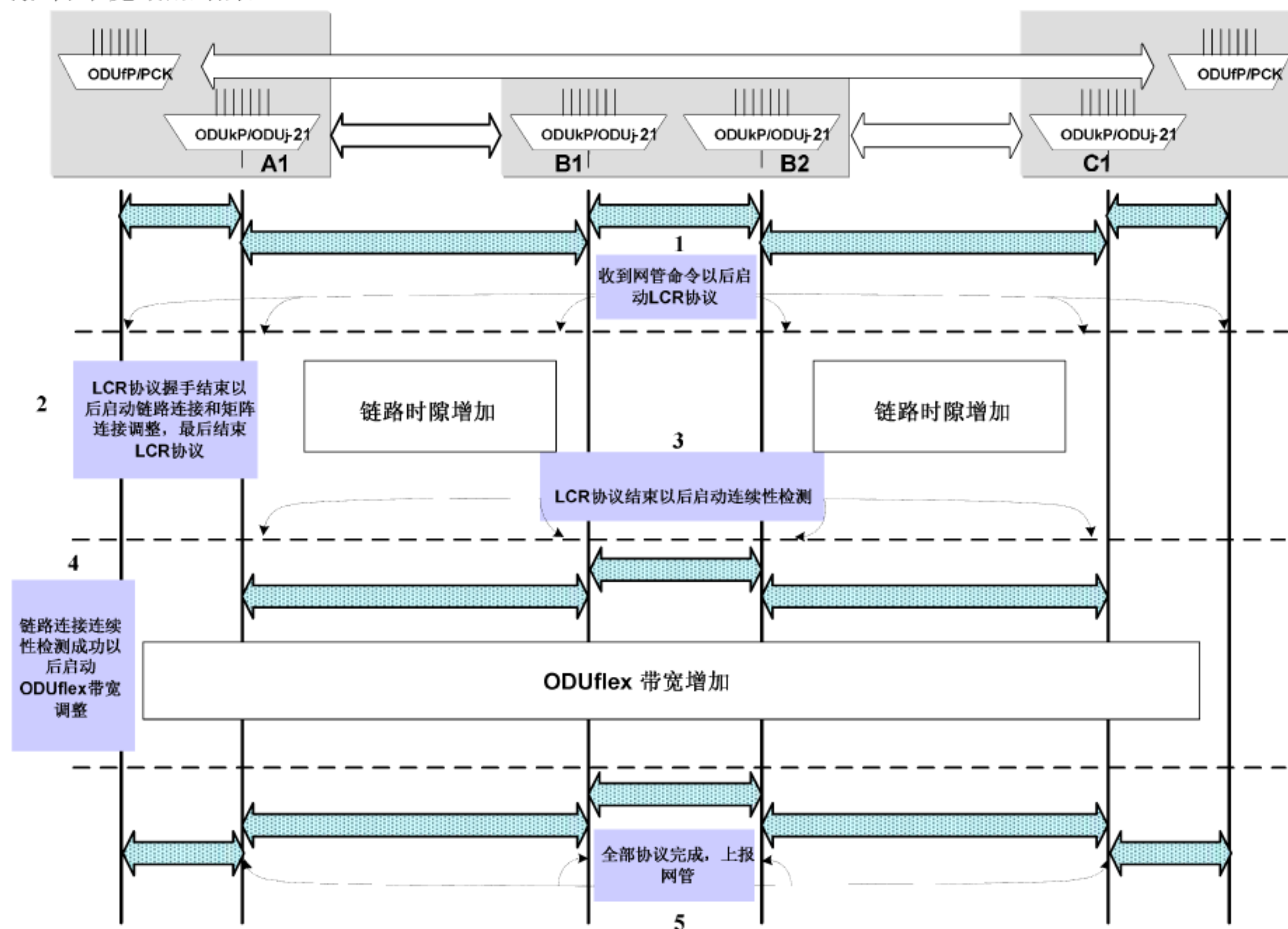


图6 在 LCR 和 BWR 交互作用下带宽增加流程

具体的带宽增加流程可以分为两个部分，LCR 流程处理和 BWR 流程处理。本标准中 LCR 协议采用 [<CTRL 域值>, <TPID#端口号>, <TSGS 值>] 的模式来描述。

LCR 协议带宽增加的具体流程如图 7 所示。

LCR 协议带宽增加包括以下步骤：

1) 每个节点在收到网管或者控制平面发出的增加带宽命令 INCREASE 以后启动 LCR 协议和 BWR 协议，并检查是否有网管所配置的需要增加的时隙。中间节点的端口在执行完检查以后向外发送[ADD, #a, NACK] (LCR 源端)和 RP=1 以及 TSCC=0 (BWR Relay 源端)。

2) 每个节点检查确认其端口从对端收到 CTRL=ADD 命令、并且本端口的时隙配置和对端通过信令传递的时隙配置相同以后，从本端口通过发送 TSGS=ACK 来回复对端。

3) 任意端口在收和发两个方向的 LCR 握手成功意味着配置校验通过，在每个需要增加的时隙既发出也接收到了 TSGS=ACK 以后，每个端口会开始链路连接时隙的增加。在从每个准备增加的时隙上收到 ACK 以后，需要带宽调整的端口会首先在每个带宽调整复帧的边界上用[NORM, #a, ACK]替换[ADD, #a, ACK]。需要注意的是从所有时隙收到 ACK 到开始发送[NORM, #a, ACK]的带宽调整复帧边界之间的时间是与具体实现相关的。在此之后，从发送[NORM, #a, ACK]之后的第一个带宽调整复帧边界开始，节点将校验好的时隙添加到链路连接。从[ADD, #a, ACK]到[NORM, #a, ACK]的变化提示下游节点链路连接

时隙的数量将从下一个带宽调整复帧边界开始发生变化。

4) 在完成 LCR 调整并接收到 CTRL=NORM 以后, 在带宽调整复帧的边界 P, 节点通过在每个所添加的时隙上发送[IDLE, 0, NACK]表示 LCR 协议处理的终结。每个添加的时隙同步发送相同的信息。

5) 在从对端接收到 CTRL=IDLE 以后, 该方向上的 LCR 协议就终结了, BWR 协议将继续后续的带宽调整。

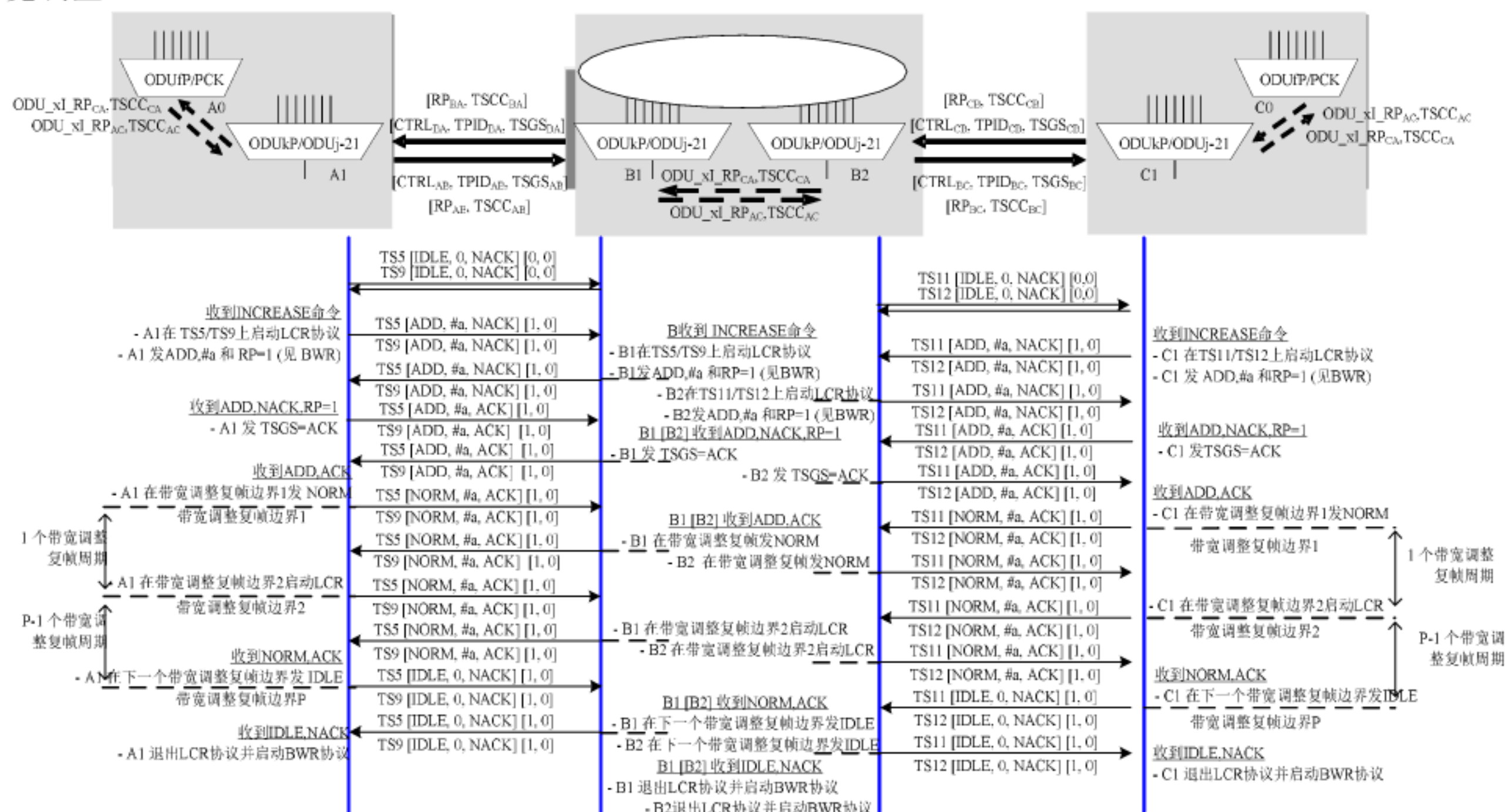


图7 LCR 带宽增加流程

BWR 协议带宽增加的具体流程如图 8 所示。

BWR 协议带宽增加包括以下步骤：

1) 设备端口作为宿端完成了 LCR 协议流程并且收到 TSCC=1 以后, 该端口将其 GMP 宿功能块设置成 GMP 特别模式; 设备端口作为源端完成 LCR 协议流程以后, 也将该端口的 GMP 源功能块设置成 GMP 特别模式。进入 GMP 特别模式之前设备将以字节为单位调整每个方向上内部缓冲区的大小。中间节点在完成源和宿端的 GMP 功能块设置以后, 并且确认从上游节点接收到的时隙上没有检测到 dTIM, 该输出端口将继续向下游方向中继接收到的 TSCC=1, 同时将通过 TIMActDis 暂停与检测到 TCM dTIM 缺陷相关的后续动作。当所有的中间节点都传递 TSCC=1 时, TSCC=1 的信息将从源节点一直传递到宿节点。

2) 当 ODUflex(GFP)带宽调整的宿端从所有需要增加的时隙上都收到 TSCC = 1 和 RP = 1 以后, 宿端通过设置 NCS=ACK 来确认从源端到宿端的路径上所有节点的配置信息和通过信令收到的信息是一致的。由于 NCS 位于 ODUflex(GFP)开销区域, NCS=ACK(1)可以直接透明穿通中间节点直到远端 ODUflex(GFP)节点。

3) 当宿端节点接收到 TSCC=1, RP=1, NCS=ACK, 并且针对 TSCC=1 已经发送过 NCS=ACK 响应的时候, 双向信令过程结束, 开始带宽增加。带宽增加开始的标识是设置 BWR_IND=1, 具体带宽增加的速率见本标准 6.2.2。当 BWR_IND 设置成 0 的时候, 指示带宽增加过程结束。

4) 在将 GMP 源端处理功能块设置成正常模式以后, ODUflex(GFP)源节点开始从发送 TSCC=1 改变成发送 TSCC=0 状态, 在其发送方向上提示下游节点该节点带宽增加过程执行完毕, 回到 GMP 正常模式。

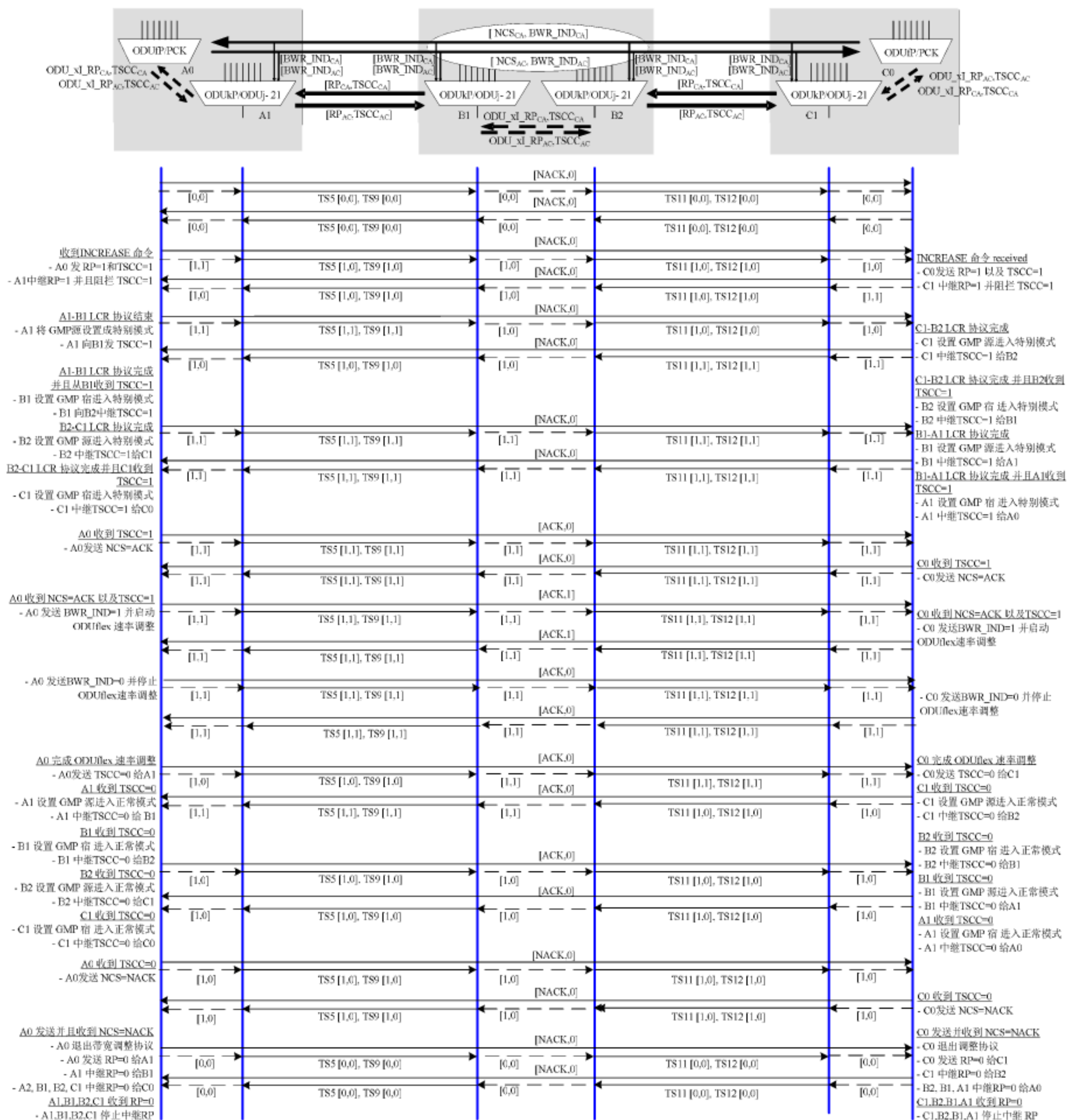


图8 BWR 协议带宽增加流程

5) 当中间节点的输入端口上收到 $TSCC=0$ 并且 $RP=1$ 的信息时, 它将其 GMP 宿处理模块设置成正常模式, 并且将 $TSCC=0$ 转发到输出端口。输出端口也将 GMP 源处理模块设置成正常模式。通过将路径上的 GMP 处理模块设置成正常模式, $TSCC=0$ 指示信息在链路上逐跳传递。

6) 当 $TSCC=0$ 的信息到达 ODUflex(GFP) 宿端的 BWR 接收机时, 相同端口上相关联的 ODUflex(GFP) 源端通过发送 $NCS=NACK$ 作为应答。

7) 当端节点收到并且发送过 $NCS=NACK$ 以后, 端节点开始往外发送 $RP=0$ 的帧。中间节点的 BWR 中继接收机收到 $RP=0$ 以后, 透明地将 $RP=0$ 向下游传递。当 $RP=0$ 到达对端节点以后, 表示中间节点对 $TSCC$ 信息的中继以及对带宽调整协议的处理都结束了, 带宽增加的操作也结束了。当 ODUflex(GFP) 宿端节点收到 $RP=0$ 并且也在反方向上发出过 $RP=0$ 以后, 它向网管或控制平面报告该方向上的带宽增加操作结束。

8) 当网管或者控制平面收到带宽调整的两个节点之间的双向链路都完成了带宽调整的报告以后整个流程结束。

6.2.2 带宽增加的速率

带宽调整时（由源节点控制，用 BWR_IND 指示下游节点），ODUflex(GFP)时钟的速率应以 512 000 kbit/s² 的变化率来增加，变化率容限范围为±100ppm[511 897 .. 512 102 kbit/s²]。相当于每 125μs 增加 8 比特的变化率。BWR_IND 用于触发下游节点速率变化的启动和停止。

测量中间节点的时延性能的方法参见附录 B。

ODUflex(GFP)数据应从 ODTUk.M 净荷的 M 个连续字节组中按照 YD/T 1462-2011 中 19.6 规定的 GMP 数据/填充控制机制提取并写入到缓冲器。根据 YD/T 1462-2011 中 19.6 的定义，ODUj 上的 Cn 信息应该根据 ODTUk.M 中 JC1/2/3 开销上携带的 GMP Cm 信息计算得到。GMP 数据/填充的控制机制见 YD/T 1462-2011 附录 D。

ODUflex(GFP)数据（CI_D）应在 ODUflex(GFP)时钟（CI_CK）控制下，从缓冲器中读取。

平滑和抖动限制处理：该功能应提供对时钟进行平滑处理和数据的弹性存储器（缓冲器）处理。ODUflex(GFP)数据信号应在频率精度为±20×10⁻⁶ 范围内有间隔的 ODUk 输入时钟控制下写入缓冲区。该行为要能满足数据信号在平滑后的 ODUflex(GFP)时钟（速率由远端 ODUkP/ODUflex-21_A_So 适配功能块的输入 ODUflex(GFP)信号时钟决定）控制下从缓冲器中正确读取的条件。

时钟参数（包括抖动和漂移指标）见 ITU-T G.8251(2010)附录 A(ODCp 时钟)的规定。

缓冲器大小，在存在 ITU-T G.8251(2010)规定的抖动和 ITU-T G.798(2012) 表 14-2 规定的 ODUj 信号的频率容限范围内，调整过程不应产生任何误码。对于占用 M 个支路时隙的 ODUflex(GFP)，缓存器迟滞不应超过 4×M 字节。

6.2.3 带宽增加过程中 GMP 开销位置的调整

GMP 开销是在高阶 OPUk 中 ODUflex 所占用的最后一个时隙的 TSOH 中，当我们在 ODUflex(GFP)中动态增加一个编号更大的时隙的时候，GMP 开销的位置需要调整。

在启动 LCR 之前，GMP 开销的初始位置位于 ODUflex(GFP)所占用的最后一个 TSOH 中。相应地，ODUflex(GFP)路径宿端点从 ODUflex(GFP)所占用的最后一个 TSOH 中提取 GMP 开销。

在 LCR 协议增加时隙的过程中，当源节点在完成了 LCR 握手操作，并在一个带宽调整复帧的边界开始将 LCR 协议发送的内容从[ADD, #a, ACK]变成[NORM, #a, ACK]时，它将在下一个带宽调整复帧的边界开始调整链路连接的时隙数量，并且将 GMP 开销承载在 ODUflex(GFP)中新加上去的 TSOH 上。对应地，ODUflex(GFP)宿端点将从新的 TSOH 上提取。

例如，TP1 开始的时候包括时隙为 OPU3 中的 TS3、4 和 8，需要增加的两个时隙分别为 TS1 和 TS13。在 LCR 协议流程之前，GMP 开销位于最后一个 TSOH，也就是 TS8 的 TSOH 上。在 LCR 协议流程完成以后，GMP 开销的位置变成了新的最后一个 TSOH，也就是 TS13 的 TSOH。

6.3 带宽减少

6.3.1 带宽减少流程

在 LCR 和 BWR 交互作用下带宽减少的流程如图 9 所示。

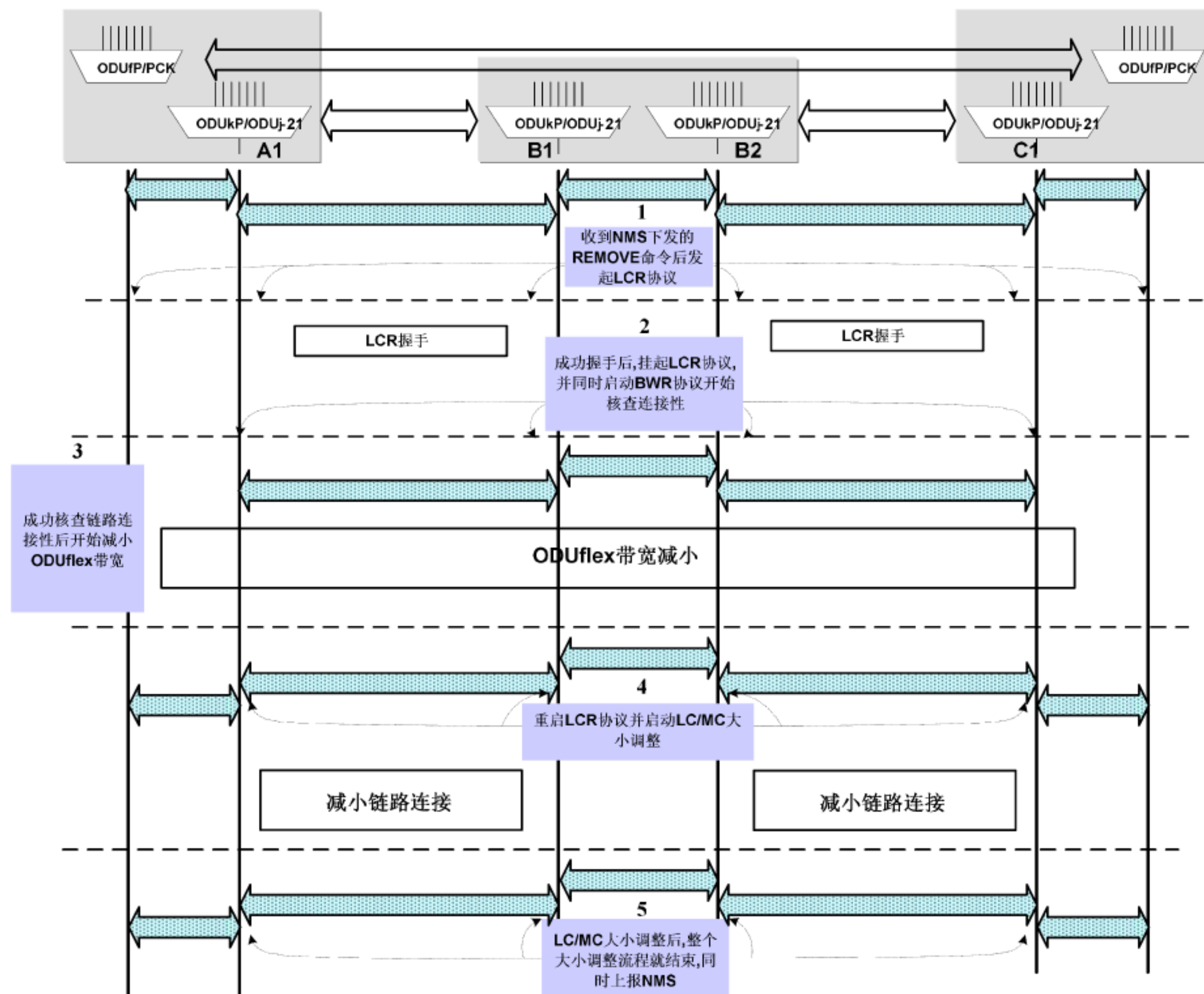


图9 在 LCR 和 BWR 交互作用下带宽减小流程

在 LCR 和 BWR 交互作用下带宽减小流程包括以下步骤：

- 1) 每个节点在收到网管或者控制平面发出的减少带宽命令 REMOVE 以后启动 LCR 协议。每对源宿 ODUkP/ODUj-21_A 将链路连接调整 (LCR) 协议开销的 CTRL 域设置为[REMOVE]命令。
- 2) 每个节点核对将要移除的支路时隙 (TS) 与配置是否已一致。只有在本节点所配置的需要减少时隙的信息和对端通过 LCR 协议通报的信息一致的情况下, 节点才会暂停 LCR 协议, 同时启动 BWR 协议。ODUflex(GFP)源节点在每个要被移除的支路时隙上发送支路时隙连续性检测信令[TSCC=1]。中间节点在 ODUflex(GFP)向宿方向中继支路时隙连续性检测 (TSCC) 信令。
- 3) 完成支路时隙连续性检测后, ODUflex(GFP)链路连接的两个端节点开始带宽减少流程, 该流程可以避免 GMP 缓冲区的上溢出。
- 4) ODUflex(GFP)带宽减小后, 链路连接调整 (LCR) 协议被重启。
- 5) 重启 LCR 协议后, 各节点启动链路连接调整流程。随后, 各节点退出 LCR 协议和 BWR 协议。ODUflex(GFP)链路连接的两个端节点分别向网管或控制平面报告带宽减少结束。

具体的在 LCR 和 BWR 交互作用下带宽减小的流程可分为三个部分：带宽减小开始时的 LCR 带宽减小流程, BWR 带宽减小流程和带宽减小结束时的 LCR 协议操作。

如图 10 所示, 本标准中 LCR 协议采用[<CTRL 域值>, <TPID#端口号>, <TSGS 值>]的模式来描述,

具体描述如下：

1) 每个节点在收到网管或控制平面下发的 DECREASE 命令后,各节点启动 LCR 协议和 BWR 协议。节点检查将要被移除的支路时隙的利用请况 (设备管理功能)。检查完成后,中间节点的端口通过 LCR 产生单元发[REM, #a, NACK]信令,通过 BWR 中继产生单元发 RP=1 信令和 TSCC=0 信令。

2) 如果设备端口收到对端端口发送的 CTRL=REM 信令, 并且信令中指示的支路时隙和本端口配置的支路时隙是一致的时候, 端口设置其 GMP 源或宿处理器进入 GMP 特别模式。随后, LCR 协议暂停, 但 BWR 协议继续执行。

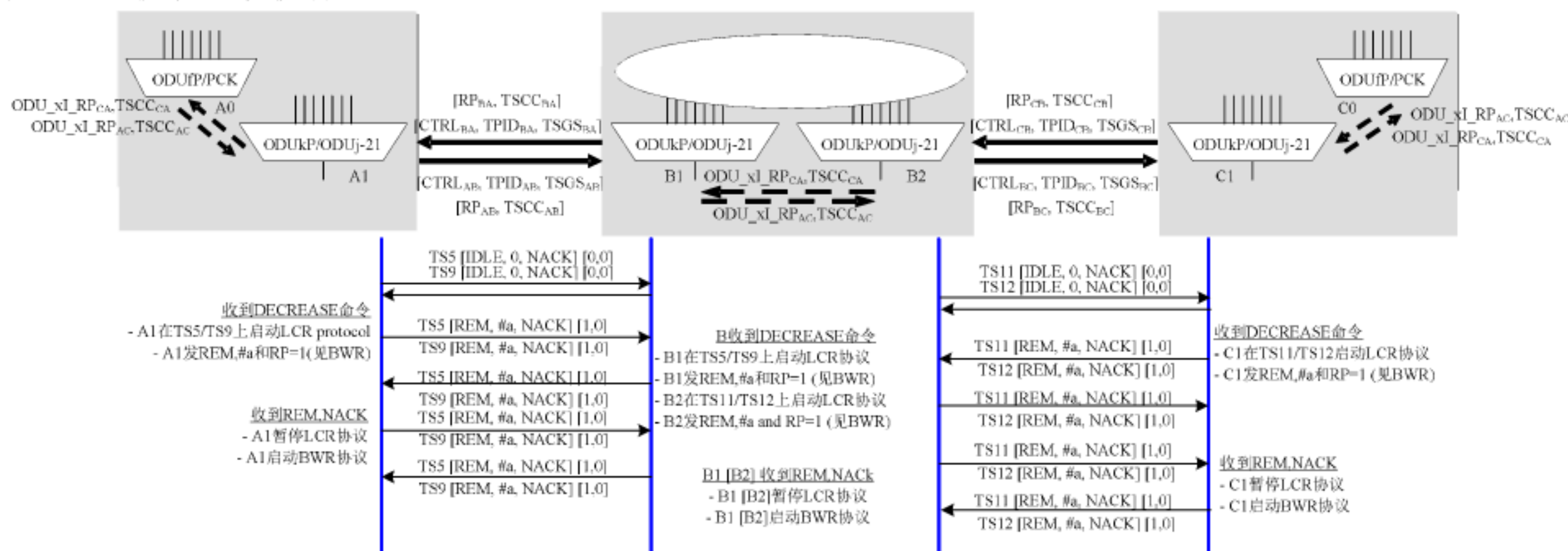


图10 LCR 带宽减小流程

BWR 协议带宽减少流程如图 11 所示, BWR 协议带宽减少的步骤为:

1) 当终端节点或中间节点的输出端口上的 LCR 协议暂停以后, 设备将以字节为单位调整其内部的缓冲区的大小, 并将该端口 GMP 源处理单元设置成 GMP 特别模式。在 GMP 源处理单元成功进入特别模式, 并且确认从上游节点接收到的时隙上没有检测到 dTIM, 该输出端口将继续向下游方向中继收到的 TSCC=1, 同时将通过 TIMActDis 暂停与检测到 TCM dTIM 缺陷相关的后续动作。TSCC 在将要被移除的支路时隙对应的高阶 OPUk 开销中传送。

2) 当终端节点或中间节点的输入端口上的 LCR 协议暂停以后, 一旦收到 TSCC=1, 该端口设置其 GMP 宿处理单元进入特别模式, 并且设备将在此之前调整其内部的缓冲区的大小。在 GMP 宿处理单元成功进入特别模式后, 并且确认从上游节点接收到的时隙上没有检测到 dTIM, 该输入端口顺方向中继 TSCC=1 (BWR 中继产生单元), 同时将通过 TIMActDis 暂停与检测到 TCM dTIM 缺陷相关的后续动作。

3) 当所有中间节点的输入和输出端口都中继了 $TSCC=1$, $TSCC=1$ 从源端传到了宿端。

4) 当所有将要移除的支路时隙上的 TSCC=1 的到达 ODUflex(GFP)宿端, 宿端用置 NCS=ACK (1) 来回应, 以表示该方向上全路径上各节点都已经准备好了。由于 NCS 位于 ODUflex 开销区域, NCS=ACK (1) 透明穿通各中间节点到达远端的 ODUflex(GFP)端节点。

5) 当 ODUflex(GFP)端节点既收到 TSCC=1 又收到 NCS=ACK(1), 且已经发了 NCS=ACK(1) 来响应收到的 TSCC=1, 双向的信令交互就结束了。随后开始减小带宽。带宽减小从设置 BWR_IND 为 1 开始, 速率减小见本标准的 6.3.2 节。带宽减小终止以后将 BWR_IND 设置为 0。

6) 当 ODUflex(GFP)源节点设置其 GMP 源处理单元进入正常模式, ODUflex(GFP)源节点将开始用发送 TSCC=0 取代 TSCC=1, 用以指示发方向已完成了带宽减小且退回了 GMP 正常模式。

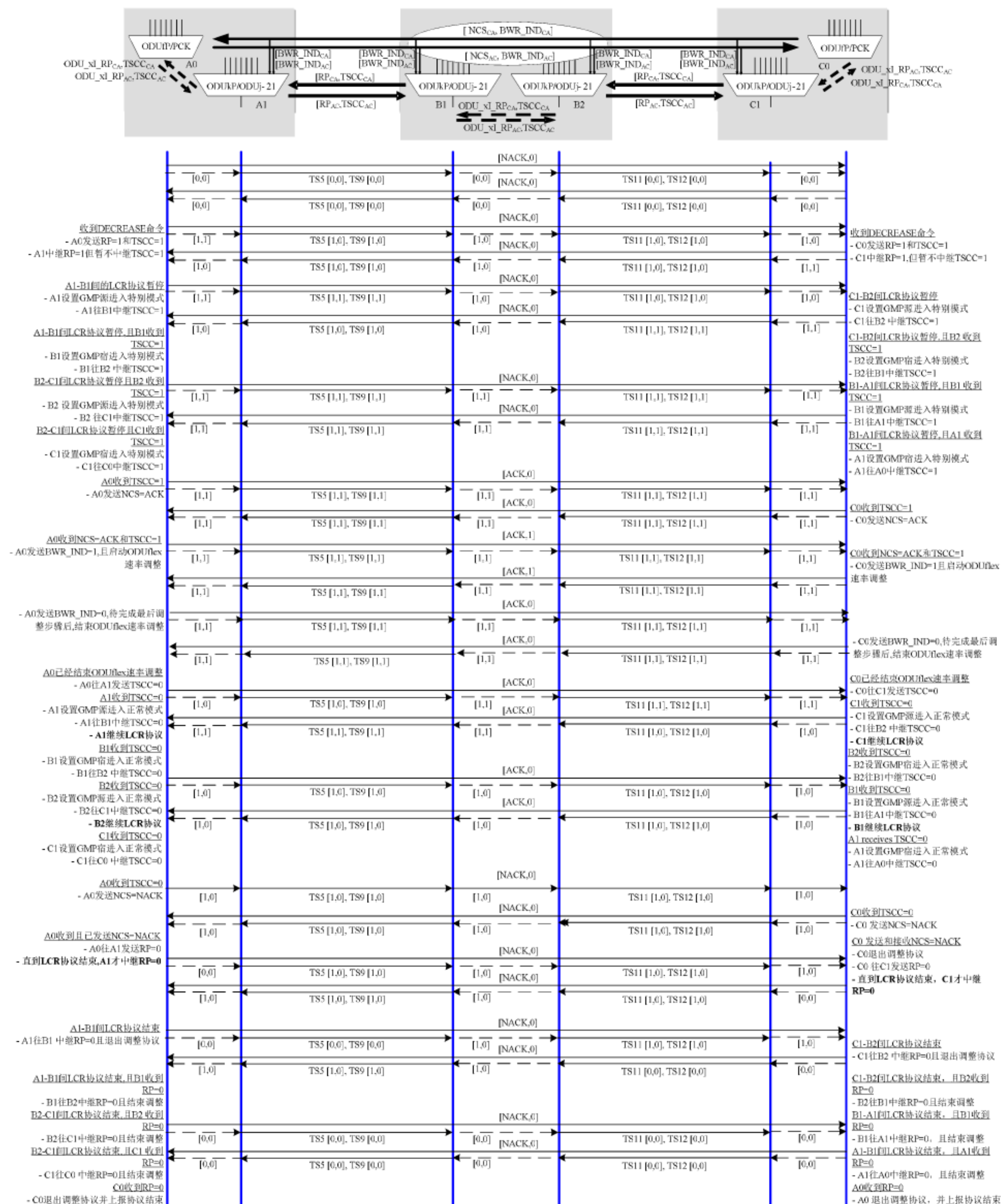


图11 BWR 协议带宽减小流程

7) 当中间节点的输入端口收到 TSCC=0 和 RP=1 后, 会设置其 GMP 宿处理单元进入正常模式, 同时将 TSCC=0 转发到输出端口。输出端口设置其 GMP 源处理单元进入正常模式。设置这些 GMP 处理单元进入正常模式后, TSCC=0 顺着该方向在各节点上传递。

8) 当 TSCC=0 到达 ODUflex(GFP)宿端, 其相应的 ODUflex(GFP)源端用置 NCS=NACK (0) 来回应。

9) 当端节点收到并且发出了 $NCS=NACK(0)$, BWR 协议结束, LCR 协议将继续。

10) 当 ODUflex(GFP)端节点收到并且发出了 $NCS=NACK$ 后, 设置 $RP=0$ 。直到 LCR 协议完成后, BWR 中继产生单元才会将 $RP=0$ 转发到其输出端口。

11) 当 ODUflex(GFP) 端节点上的 LCR 协议结束后, BWR 中继产生单元将 $RP=0$ 转发到输出端口。中间节点的输入端口收到的 $RP=0$, 被透明转发到相应的输出端口。当 $RP=0$ 传递到 ODUflex(GFP)远端节点, 标志着中间节点已经结束了 TSCC 的中继和所有其他调整协议操作, 减小带宽的操作结束。当 ODUflex(GFP)宿端节点收到 $RP=0$ 且已经在反方向发送了 $RP=0$ 后, 它向网管或控制平面报告该方向上的带宽减小操作结束。

带宽减小结束时的 LCR 协议操作如图 12 所示, 这一阶段中 LCR 协议的步骤如下:

1) 受 BWR 中继产生单元的触发, 输出端口发送 $TSGS=ACK(1)$ 。

2) 当发送了 $CTRL=REM$ 和 $TSGS=ACK$, 同时又收到了 $CTRL=REM$ 和 $TSGS=ACK(1)$, 在等待一段时间(时间长短取决于不同的实现)后, 在同一带宽调整复帧边界(带宽调整复帧边界 1), 端口往所有待移除的支路时隙发送 $[NORM, \#a, ACK]$ 。发送 $[NORM, \#a, ACK]$ 完成后, 端口开始执行 ODUflex(GFP)链路连接时隙减小操作。下游端口收到 $[REM, \#a, ACK]$ 到 $[NORM, \#a, ACK]$ 的变化后, 将在下一带宽调整复帧边界(带宽调整复帧边界 2)执行减小链路连接的动作。

3) 当 LCR 结束, 且从被移除的支路时隙收到 $NORM$ 命令后, 等待一段时间(时间长短取决于不同的实现)后, 在带宽调整复帧边界 P, 端口通过正在被移除的支路时隙发送 $[IDLE, 0, NACK]$ 来退出 LCR 协议。

4) ODUflex(GFP)端节点的输出端口完成了 LCR 协议后, 转发 $RP=0$ 。

5) 中间节点的输出端口在完成 LCR 协议后, 转发 $RP=0$ 。输入端口中继收到的 $RP=0$ 。

6) 收到 $RP=0$, 且已经往反方向发送 $RP=0$ 后, ODUflex(GFP)端节点上报网管或控制平面, 该方向上带宽减小调整流程结束。

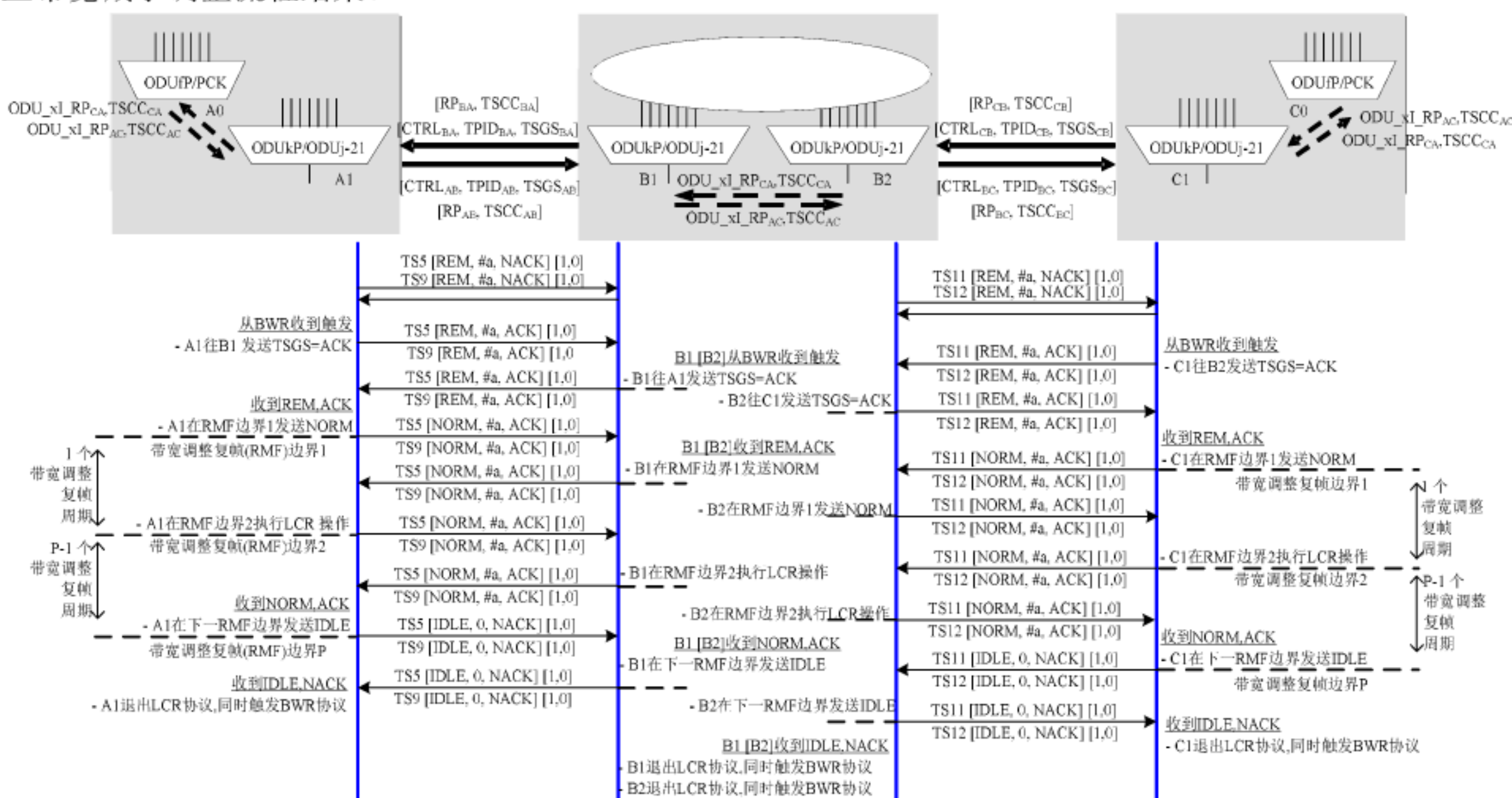


图12 带宽减小结束时的 LCR 协议操作

6.3.2 带宽减少速率

带宽调整时（由源节点控制，用 BWR_IND 指示下游节点），ODUflex(GFP)时钟的速率应以 512 000 kbit/s² 的变化率来减小，变化率容限范围为±100ppm[511 897 .. 512 102 kbit/s²]。相当于每 125μs 减少 8 比特。BWR_IND 用于触发下游节点上的速率减小的启动和停止。

测量跨中间节点的时延性能的方法参见本标准附录 B。

ODUflex(GFP)数据应从 ODTUk.M 净荷的 M 个连续字节组中按照 YD/T 1462-2011 中 19.6 规定的 GMP 数据/填充控制机制提取并写入到缓冲器。按照 YD/T 1462-2011 中 19.6 的定义，ODUj 上的 Cn 信息应根据 ODTUk.M 中 JC1/2/3 开销上携带的 GMP Cm 信息计算得到。GMP 数据/填充的控制机制见 YD/T 1462-2011 附录 D。

ODUflex(GFP)数据（CI_D）应在 ODUflex(GFP)时钟（CI_CK）控制下，从缓冲器中读取。

平滑和抖动限制处理：该功能应提供时钟平滑和弹性存储器（缓冲器）处理。ODUflex(GFP)数据信号应在频率精度为±20×10⁻⁶ 范围内有间隔的 ODUk 输入时钟控制下写入缓冲区。该行为要能满足数据信号在平滑后的 ODU flex(GFP)时钟（速率由远端 ODUkP/ODUflex-21_A_So 适配功能块输入的 ODUflex(GFP)信号决定）控制下从缓冲器中正确读取的条件。

时钟参数（包括抖动和漂移指标）应按照 ITU T G.8251(2010)附录 A 中 ODCp 时钟的规定。

缓冲器大小：在有符合 ITU-T G.8251(2010)规定的抖动存在和 ITU-T G.798(2012)表 14-2 规定的 ODUj 信号的频率容限范围内，调整过程不应产生任何误码。对于占用 M 个支路时隙的 ODUflex(GFP)，缓存器迟滞不应超过 4xM 字节。

6.3.3 带宽减少过程中 GMP 开销位置的调整

ODUflex(GFP)带宽减小时，不应移除最高编号的支路时隙。因此没有必要更新 GMP 的开销位置。

例如：起初支路端口 1 被分配了 OPU3 的支路时隙 3, 4 和 8。本标准规定，最后的支路时隙，即支路时隙 8，不会被移除，因此支路时隙 3 和 4 有可能被移除。LCR 前，GMP 开销位于三个支路时隙的最后一个支路时隙开销（支路时隙 8 的支路时隙开销）。LCR 后，GMP 开销仍然在同样位置。

7 维护信号

除下述例外情况外，ODUflex(GFP)的维护信号遵循 YD/T 1462-2011 中 16.5 的规定：

一 节点收到 BWR_IND 后开始其输出带宽调整，随后在该方向检测出信号缺陷，该节点以标称的带宽调整变化率下插 AIS。换言之，节点输出 AIS 的速率跟随节点内部带宽调整变化率，使得 AIS 的速率能被下游节点接受。产生 AIS 的节点在达到 ODUflex(GFP)信号标称的目标速率后才停止 AIS 的速率调整。

一 为防止由于 TCM 层上 dTIM 缺陷造成的潜在的上/下溢出问题，在带宽调整时，应禁止由于 TCM 层上 dTIM 缺陷触发下插 AIS。

附录 A (规范性附录)

ODUflex(GFP)带宽调整 SDL 图

A.1 带宽无损调整流程综述

图 A.1 所示为一个由两个链路连接组成的 ODUflex(GFP)路径中带宽无损调整的例子, 该例子中包括两个终端节点和一个中间节点, 图中显示了带宽无损调整过程中各模块之间的相互联系。

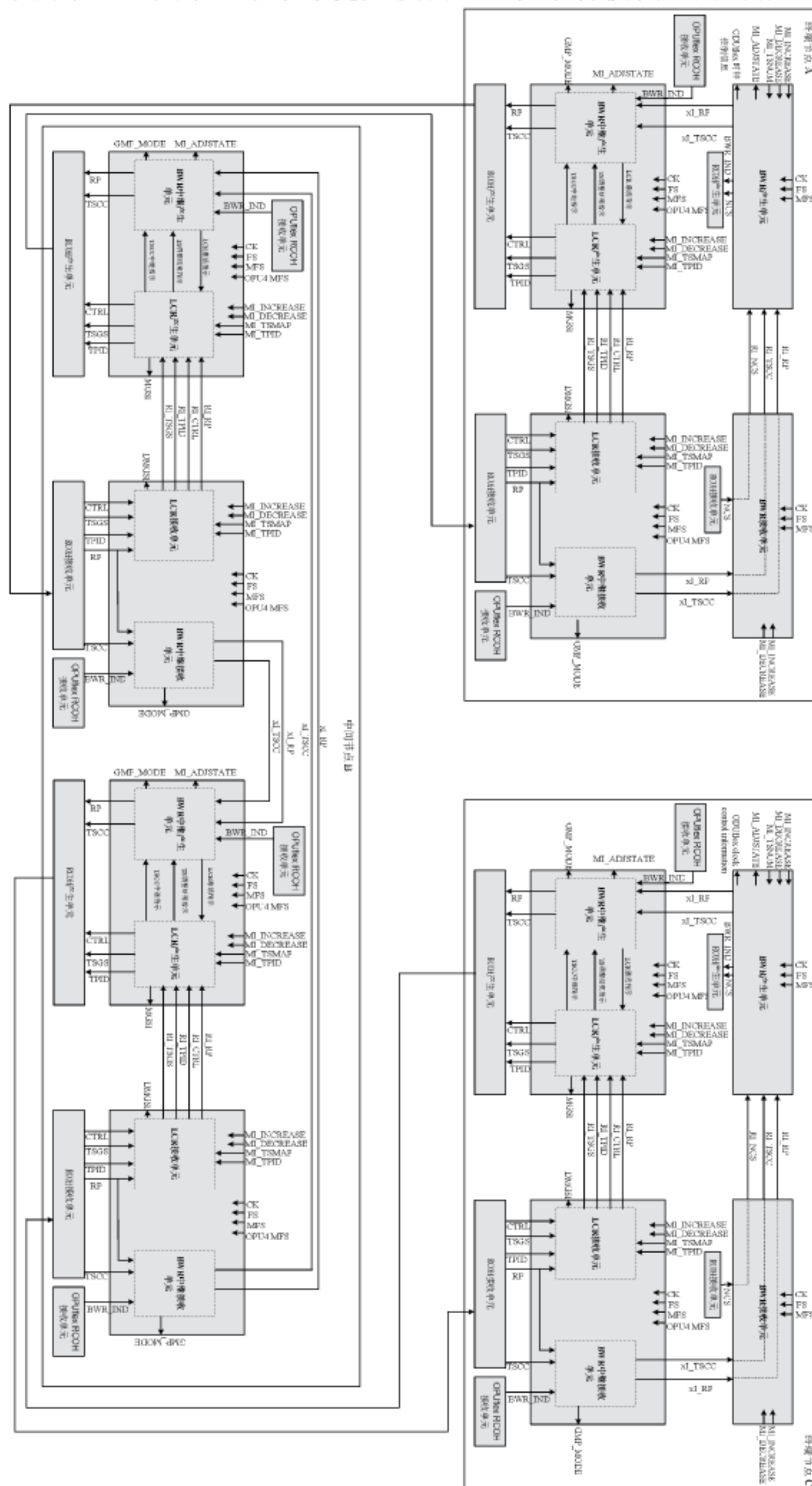


图 A.1 带宽无损调整综述

A.2 ODUflex(GFP)带宽调整SDL图

带宽无损调整流程中包括了 LCR 协议流程和 BWR 协议流程，实现中可以采用定时器的方法来避免协议处理过程中发生吊死的情况，定时器在发生协议吊死的情况下将向网管发出告警信息，这种方法可以实现更灵活的控制策略，比如可以实现检测到错误的情况下重启协议流程。

定时器会在 LCR 协议启动的同时被启动，在发生错误的情况下，定时器在设定的时间到期以后向协议处理流程发出 MI_ABORT 信号，此时 LCR 协议开销应被设置成 IDLE，在向网管报告错误发生的消息之前，BWR 协议的开销应维持其最后发送值，在此之后 BWR 协议开销也将被设置成 IDLE。

如果 RCOH 接收单元检测到本地配置的增减时隙的信息和远端通过信令传递的信息不一致，这种不一致将被上报给网管。

带宽无损调整流程的 SDL 描述图如图 A.2 所示。

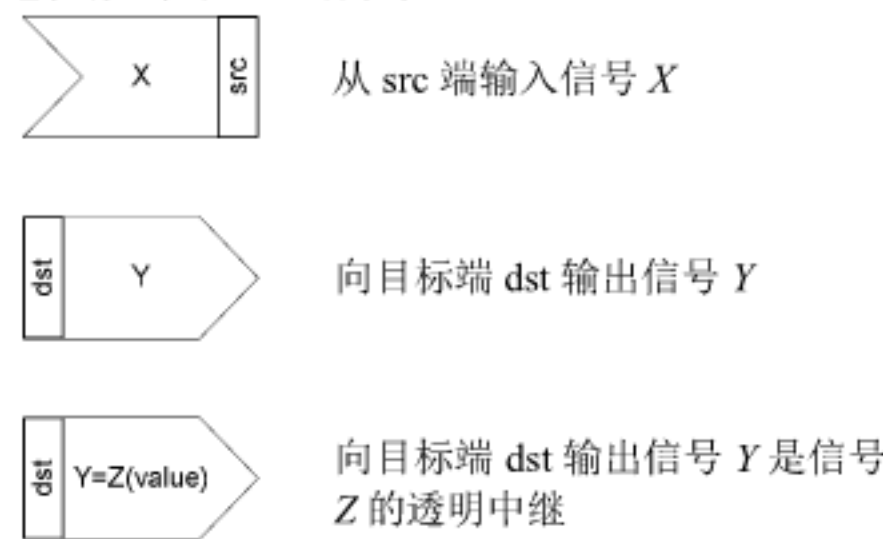


图 A.2 SDL 标记

用 SDL 描述的 LCR 发送单元如图 A.3 所示。

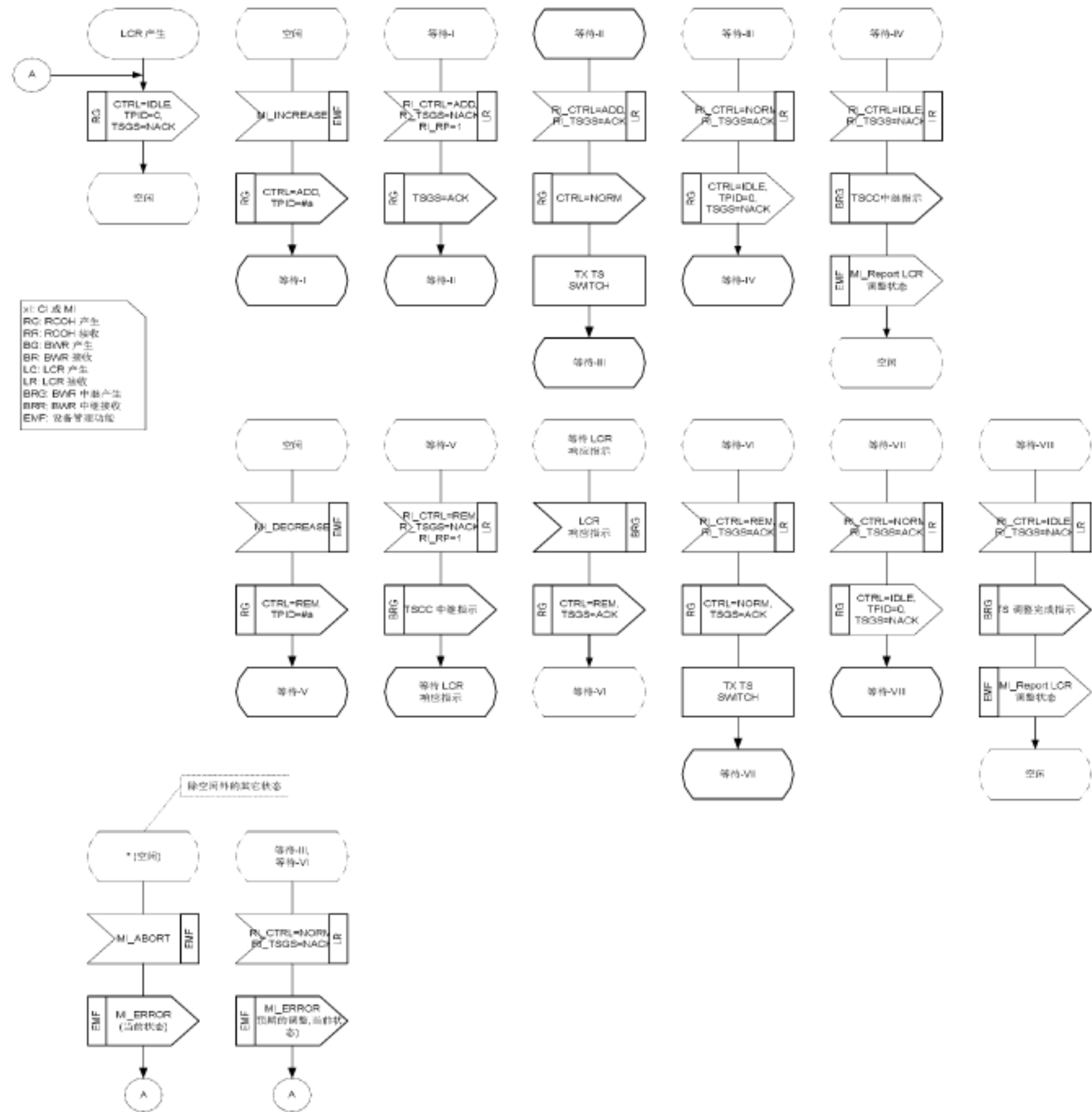


图 A.3 LCR 产生单元的 SDL 图

用 SDL 描述的 BWR 接收单元如图 A.6 所示。

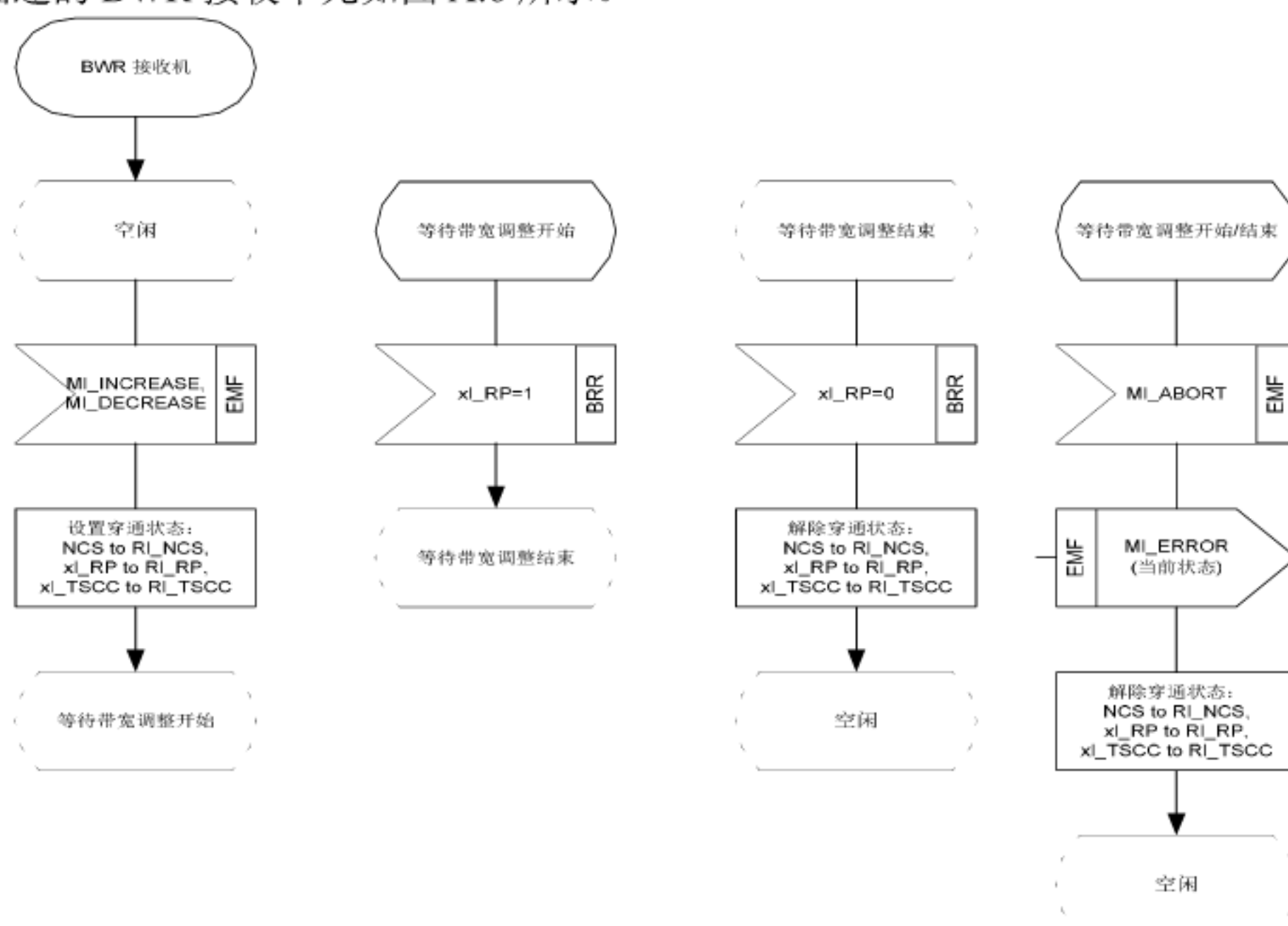


图 A.6 BWR 接收单元的 SDL 图

用 SDL 描述的 BWR 中继产生单元如图 A.7 所示。

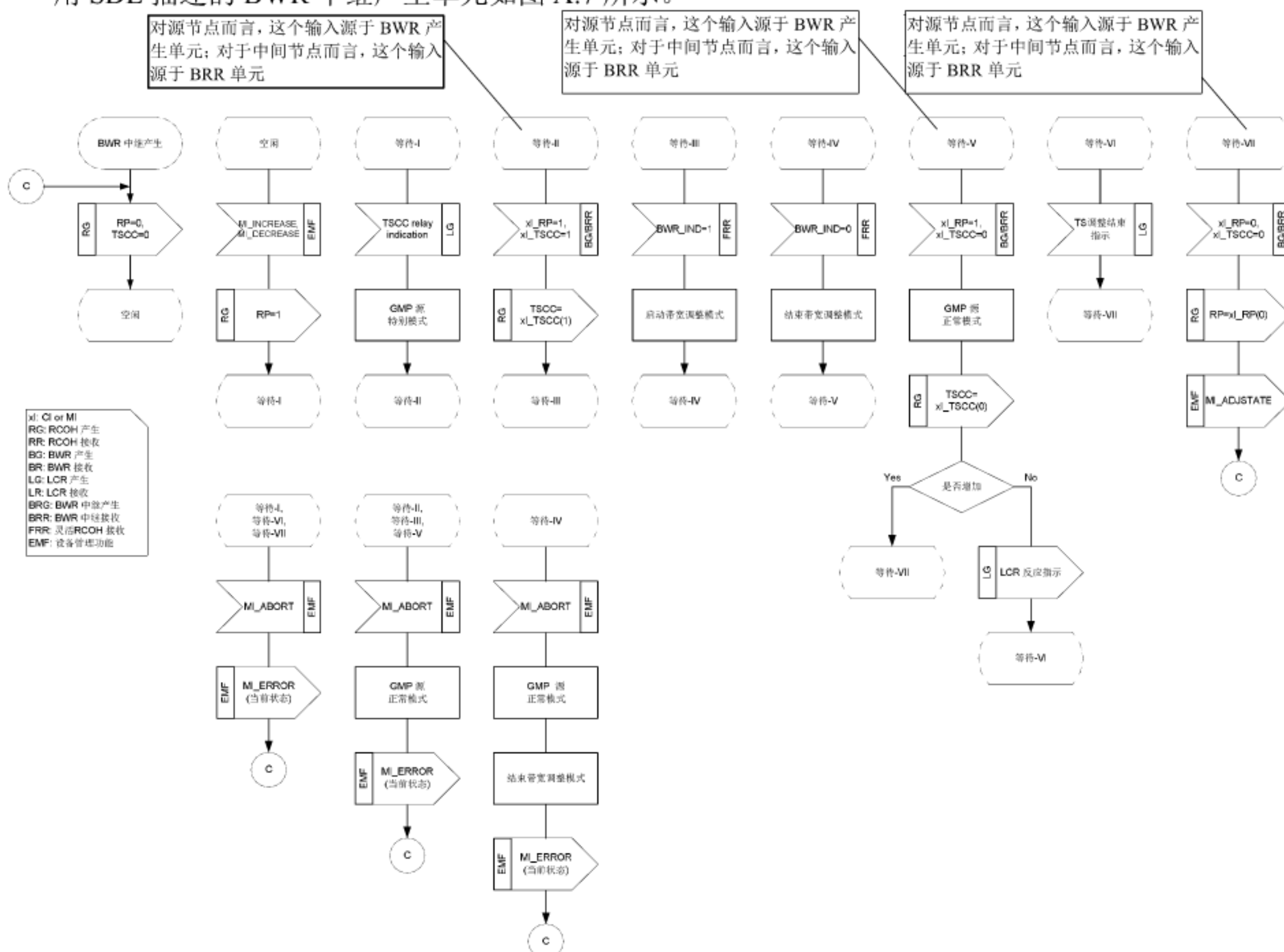


图 A.7 BWR 中继产生单元的 SDL 图

用 SDL 描述的 BWR 中继接收单元如图 A.8 所示。

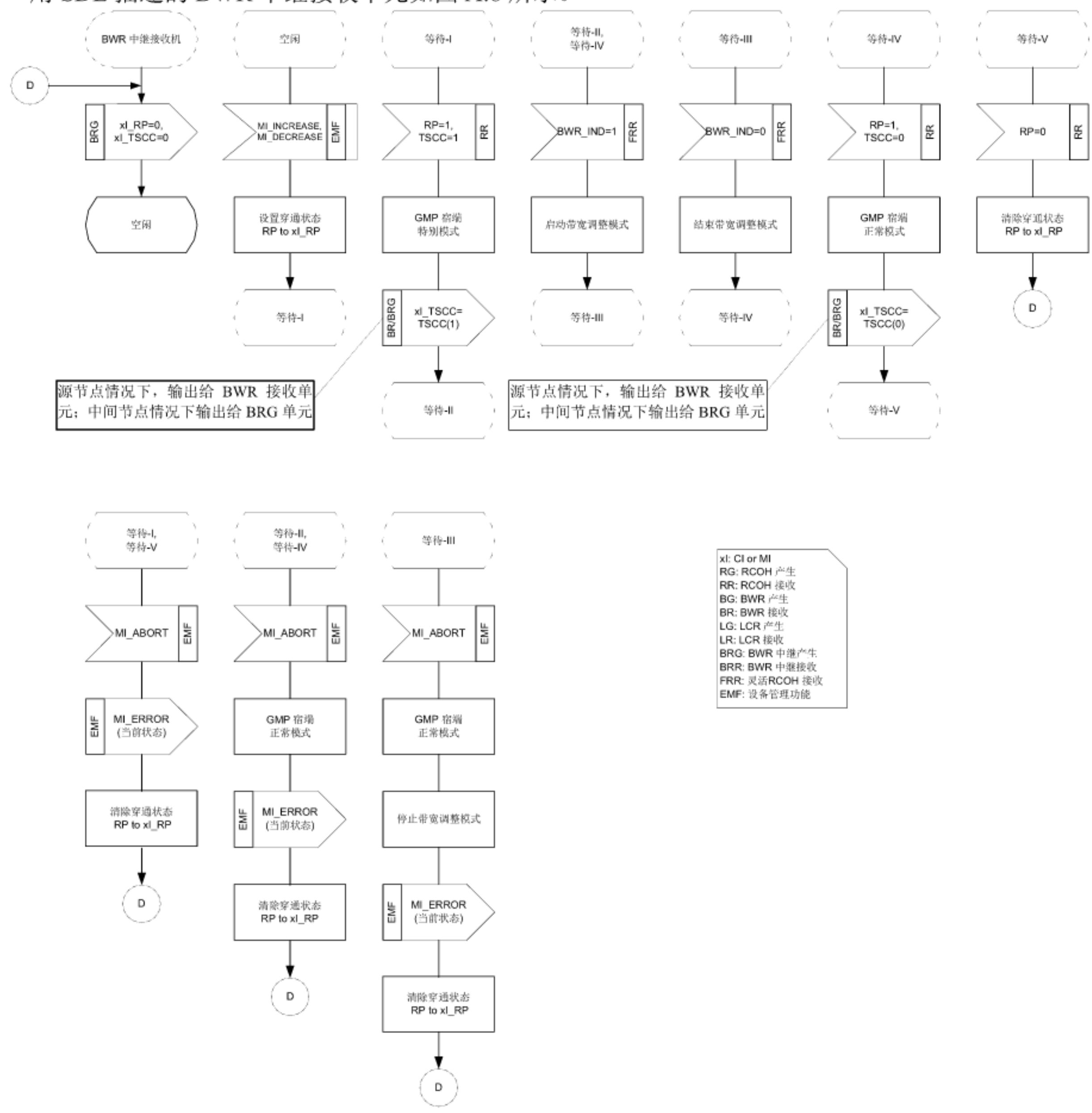


图 A.8 BWR 中继接收单元的 SDL 图

附录 B
(资料性附录)
带宽调整时延测量

中间节点带宽调整性能的测量需要设备对ODUflex(GFP)信号保持相同的传送时延。可以通过测量中间节点输入和输出ODUflex(GFP)信号的时延和相对相位差来测量中间节点的时延，测试配置如图B.1所示。分别从输入和输出口的高阶ODUk 信号中提取出ODUflex(GFP)信号以后，可以通过比较得到时延或者相对相位差，再经过一个带宽为300Hz的低通滤波器平滑滤波来得到最终结果。

设备在进入GMP特别模式之后的时延相对于进入GMP特别模式之前时延的变化不能超过 $\pm 1\mu\text{s}$ 。

时延测量用于在专门的测试配置中测量设备的性能，不能用于设备的在线测量。

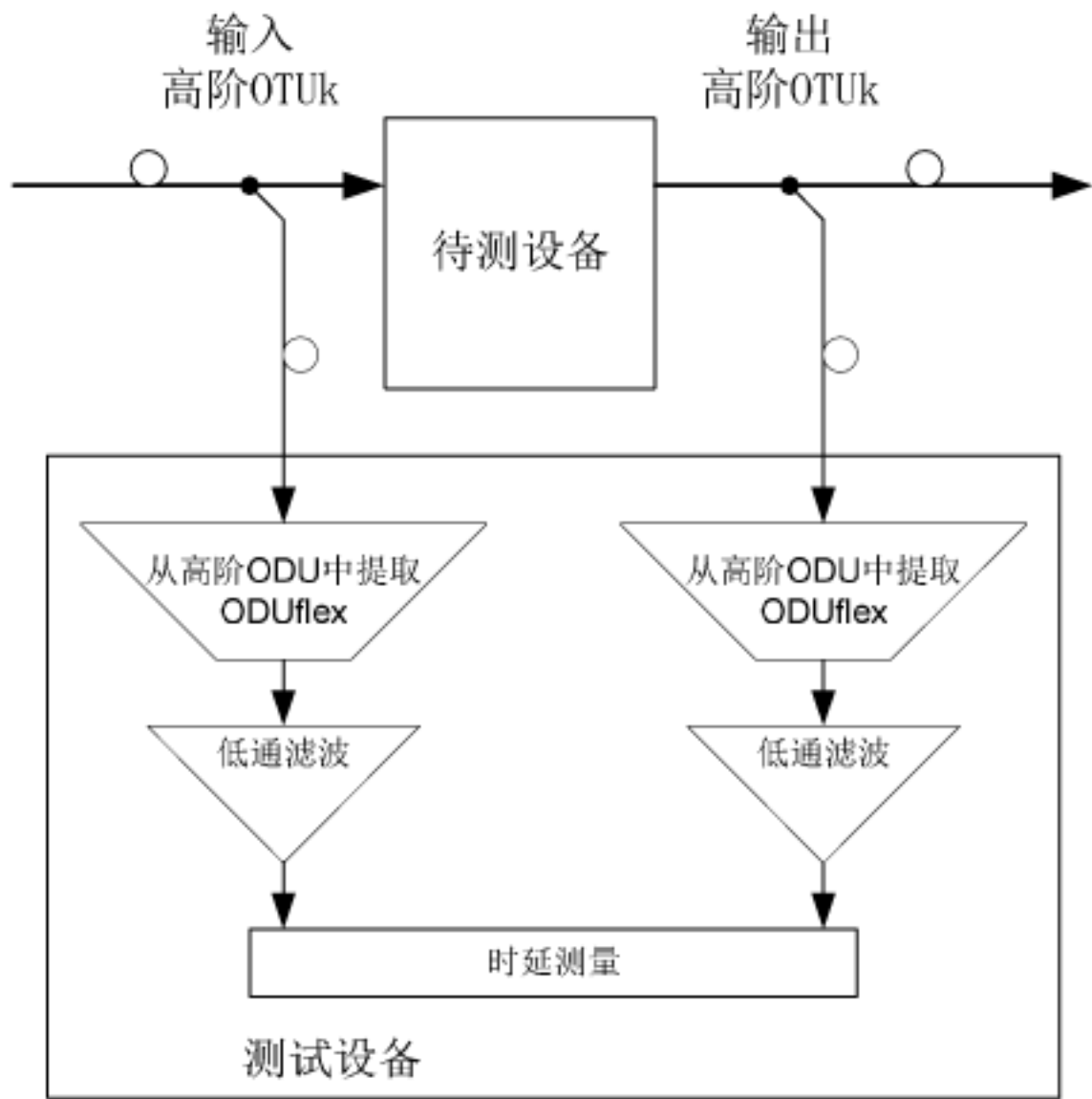


图 B.1 带宽调整中节点时延的测量配置