

北京邮电大学

网络存储技术课程设计



题目：大型云存储中心设计 - 在线考试系统设计

姓 名 史文翰
学 院 计算机学院
专 业 计算机科学与技术
班 级 2014211304
学 号 2014211218

2016 年 12 月

目录

一、	需求分析	2
二、	总体设计框架	2
三、	应用层关键技术设计	4
1.	身份验证	4
2.	信息预处理	5
3.	基于本地缓存服务器的备份机制（第一层备份）	5
四、	数据控制层关键技术设计	6
1.	B/S 网络结构	6
2.	CDN 缓存技术	7
3.	数据热备份技术（第二层备份）	8
4.	数据加密技术	8
5.	组卷策略	9
五、	数据存储层关键技术设计	10
1.	基于 SAN 和 NAS 的内部存储结构	10
2.	数据流的存储与管理	11
3.	服务器虚拟化技术	13
4.	云备份技术（第三层备份）	14
六、	总结	15
七、	参考资料	17

一、需求分析

设计一个大型云存储中心，服务于全国性考试系统。

作为考试系统，可以从客观角度分析出该系统至少应该具有以下几个方面的特点：

- 实时流量仅在一定时刻具有高并发特点（考试当天，考试开始时）。
- 实时流量大多数具有单向特点，即考生客户端传向缓存服务器。
- 数据必须经过多层备份，以防止考生数据、身份验证数据、答案数据的丢失。
- 存储和传输对象分为结构化数据（所有客观题、考生信息和试卷信息）以及非结构化数据（所有的主观题）。
- 考生的答案数据是主要的存储对象，该存储对象分为动态的（考试时）和静态的（考试后）。
- 两类数据最为重要：一是考生实时的答题数据，二是数据库中的身份验证信息。
- 数据的传送需要额外的加密处理，以防止泄露试题和答案。

根据以上几个特点，可知在线考试系统需要较高的实时流量处理能力、对数据安全性有较高的要求、需要可靠地发送、接收考试信息，除一些试卷信息、身份验证信息等静态数据外，需要动态地处理考生不断产生的答案信息并以相应的格式通过 CDN 缓存至区域服务器上，最后传输至数据中心。

二、总体设计框架

针对上述特点，可以将考试系统分为应用层、数据控制层和数据管理层，可用泳道图二-1 表示如下：

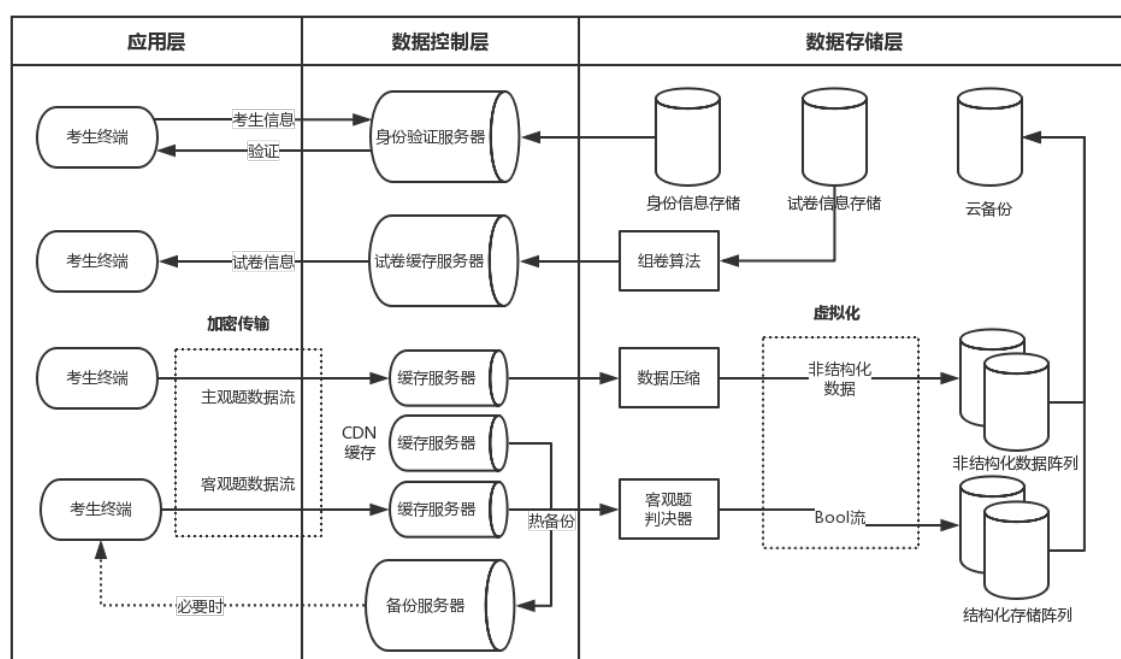


图 二-1 系统总体框架

应用层主要负责提供可视化答题界面，接收由服务器传来的试卷信息和身份验证信息。在考生开始答题后，应用层提供了动态的试卷界面，并通过一定规则向本地的缓存服务器不断发送实时数据流。数据流分为主观题数据流和客观题数据流，分别通过不同的格式缓存至缓存服务器中。在极端情况发生时，终端应可以接收备份服务器的备份信息，以尽快地恢复试卷、恢复崩溃之前的考生答案并重置时钟，使考试继续进行。

数据控制层负责接收并控制来自应用层的实时流量，并将流量以一定形式存储在备份服务器中以提高数据的安全性。同时，数据控制层还会接收来自于数据存储层的各类信息，如身份验证信息、试卷信息等。在考试开始之前，数据控制层负责从数据中心请求该次考试的试卷以及相应地区的考生信息，并将这些信息加工处理，发送至考生终端。考试开始后，数据控制层负责接收来自于应用层的实时流量，主要包括各类试卷答案，经解码、校对确认数据完整性后，再将数据中转至数据中心做归档处理。数据控制层需实时的对流量进行监控，由于考试具有流量高并发的特点，它基于动态算法完成流量的动态分配。同时，它完成在区域云层面的备份工作，主要负责考试进行时的客户端崩溃问题，及时回复试卷、答题内容使得考试继续进行。

数据存储层负责数据在底层数据中心的存储、归档和管理。请注意，从控制层传来的答案信息应该保持严格的单向性，任何一个控制节点都不应该向数据中心请求考生的答案。身份信息存储服务器负责提供考生的身份信息验证，试卷信息服务器存储了涉及本次考试的题库，经过组卷算法后形成一套完整的试卷发送至请求该试卷的缓冲服务器，这个过程也应该经过严格的加密处理。同时，存储层也具备备份功能，它负责静态数据和已归档数据的备份，避免考生信息丢失、试卷信息丢失等问题。

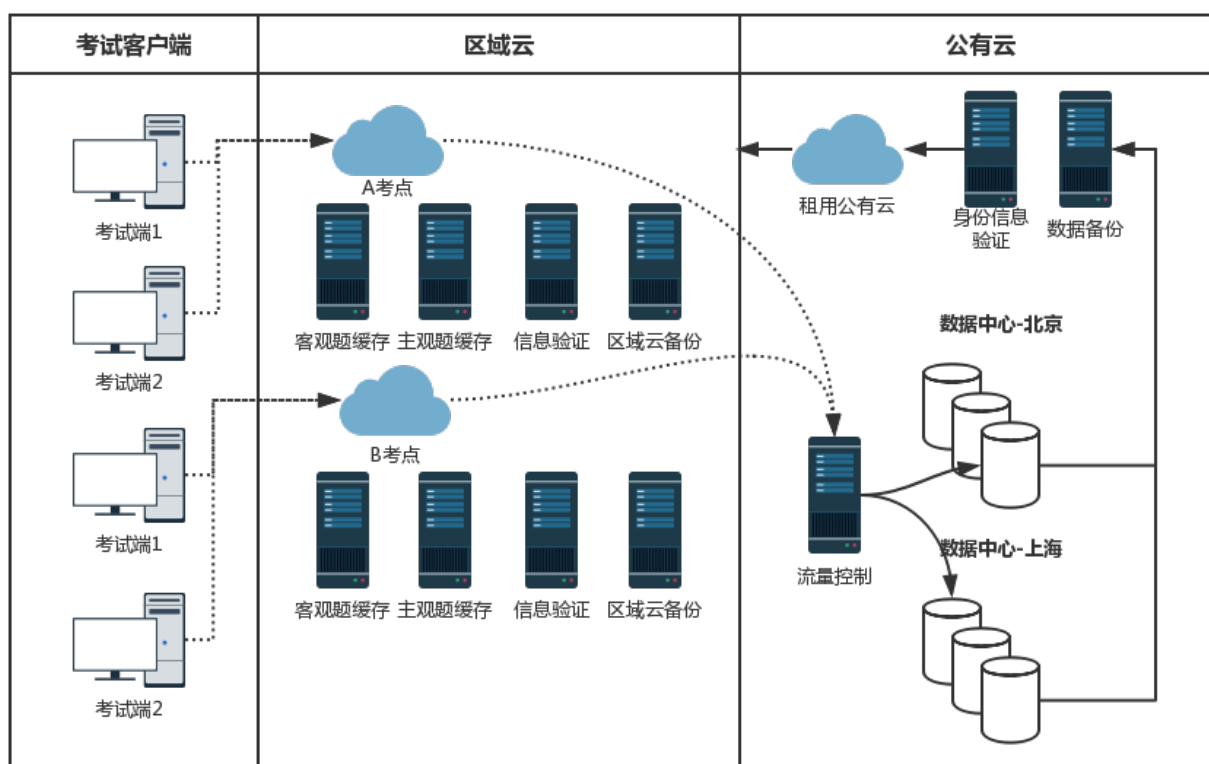


图 二-2 系统云结构

而从外围看，将上述“层”的概念部署于云平台是合适的。图二-2 表述了系统的云结构。

可以看出，区域云以各个考点为单位，负责中转、控制和管理实时流量，提供主观题缓存、客观题缓存、信息验证和区域云备份服务。除备份信息外，其余数据流应流向某一个数据中心。

而公有云负责两个任务：

其一，通过向企业租用（如阿里企业云），充当分担部分关键流量的任务，以减轻数据中心服务器的压力。在这里，我们设计成将身份验证这一功能部署于公有云上，这是考虑到在考试开始时有大量的身份验证信息涌入，为了不妨碍接下来的答题信息的存储和处理，将这部分功能从系统内部剥离并部署在公有云上合适的。

其二，各个数据中心通过公有云完成数据的备份，也就是将身份验证、考卷和答案信息备份至公有云端。而这里设计的数据中心不只有一个（如北京、上海），这是为了采用虚拟化双活架构，从而 1:1 分配流量并互为冗余，确保在一个数据中心崩溃后另一个数据中心在承担所有流量的情况下，维持考试的继续进行。同时，两个数据中心互为镜像，互为备份，提供了一定的灾备能力。

三、应用层关键技术设计

1. 身份验证

考生的身份信息存储于公用云的信息验证服务器上，经过了备份处理，并于考试之前已调入到覆盖该考点的信息验证服务器中（作为缓存）。

在考试开始前，缓存服务器负责请求公有云中的身份信息，显然在注册信息时，考生信息应该根据其考场地理位置分类，便于流量就近分发。实现这一功能可直接利用考生信息中的某一个域作为判断标志，来决定该信息应该被分发至哪一个考点的缓存服务器上，以准备为该考点的考生完成身份验证的服务。

整个过程可以用关系图三-1 表述如下：

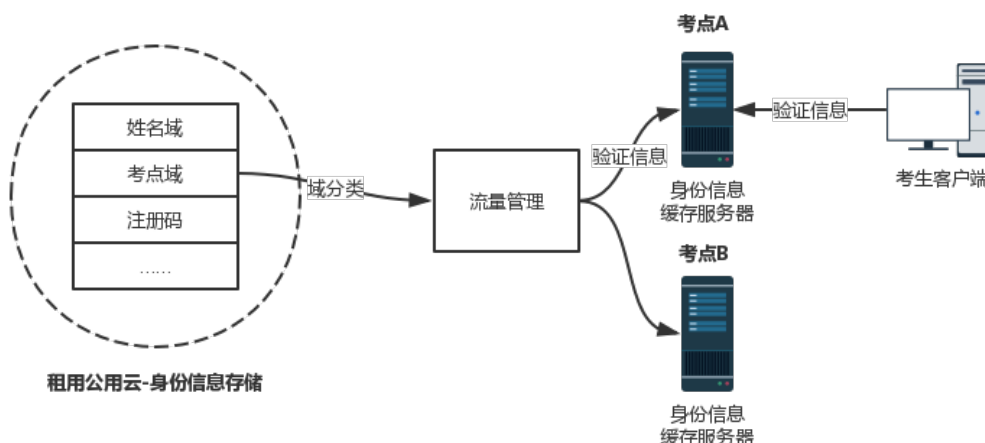


图 三-1 身份验证过程

如之前所述，我们默认考试形式类似于 TOEFL 考试，即考生的入场时间是一定的，但是会出现先来先注册、先考试的情况。此时考试客户端向缓存服务器发送的数据是混杂的：一部分来自于正在注册中的验证信息，另一部分已经验证完毕并开始答题。因此

我们需要解决流量高并发问题，当然，这样的高并发随着考试时间的进行而逐渐下降。
整场考试中的流量特点可用图三-2 表述如下：

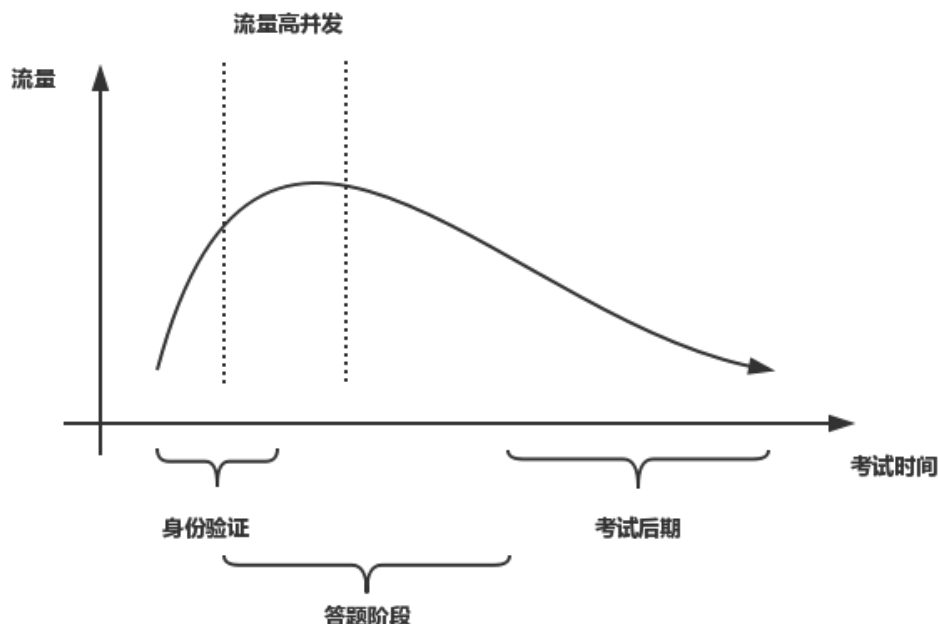


图 三-2 流量特点

因此，为了保证可靠性，我们将关键的服务——身份验证这一过程分离至租用公用云（如系统架构时所述的那样，借鉴于 12306 系统），减小在流量高并发时期而造成的数据中心的压力。同时，租用的公有云也承担了身份验证信息的备份服务，分担了数据中心数据备份的压力，防止考生身份验证信息的丢失。在考生完成身份验证后，系统将向数据中心请求试卷，试卷信息经 CDN 网络分发至考点附近的缓存服务器上，并呈现在考生的客户端上。

2. 信息预处理

在考试开始后，流量呈单向、高并发的特点，因此在应用层应该考虑通过数据裁剪技术，抓取考生答案的有效信息，来降低向缓存服务器传输的流量。

具体操作可通过对主观题的裁剪、去重等方式来进行。通过去除空白符、去除无用字符等手段将主观题的答案数据限制在较小的一个范围。考试应用程序应该具备如此的信息处理能力，以保证向缓存服务器发送的主观题数据是在保证不丢失原信息的情况下的最小数据。

3. 基于本地缓存服务器的备份机制（第一层备份）

为保证实时流量的统一分发，便于数据控制层的进一步管理、备份，考生的答题信息不应该呈现“每答一题就发送一题”的模式。借鉴与 TOEFL 考试的机制，考生在完成一个 Section（模块）时决定是否确认这个模块的答题信息，确认后才可继续考试，如果

不确认，可返回修改直至确认无误后为止，整个过程算入考试的持续时间内。

但是，出于对数据可靠性的保障，即使考生“不确认”某一模块的答案，本地缓存服务器也有理由实时地将考生的答案进行备份（但不上传、不发送至区域缓存服务器）。也就是说，一个模块的答题时间可能会较长（30 分钟左右），如果在这个时间段内出现系统故障，那么考试系统有责任为考生恢复之前的答案，即使这个答案还没有被提交。

因此在应用层设计一层简单的缓存机制，也是一种简单的备份，这是本系统三层备份的第一层。后两层备份机制将在数据控制层和存储层介绍。

基于本地缓存的备份用图三-3 表述如下：

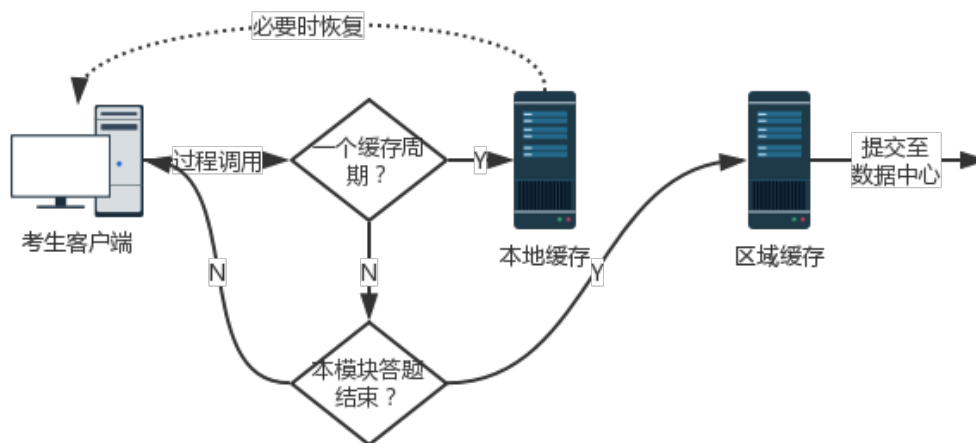


图 三-3 应用层备份

请注意，一旦某模块被提交，该模块不再提供可修改的权限，这部分数据信息的备份交由数据控制层和数据存储层的备份机制完成。本地缓存只负责缓存未提交的数据。

四、 数据控制层关键技术设计

1. B/S 网络结构

从网络应用程序的运行模式来看，可以以 B/S 结构来组织各服务器的关系。可以简单理解为，由客户端（也就是 Web 浏览器）、Web 服务器和数据库服务器三部分组成。客户端不断向 Web 服务器请求数据和服务（如试题信息）并回传答案，Web 服务器负责接收来自于客户端（或缓存服务器）的流量，并传给底层的数据库做存储处理。而每一次的试题抽取工作可由服务器内置的组件完成，如对试题库进行访问查询，经过组卷算法决定接下来的试题模块的内容。

最重要的是，我们不仅可以在 Web 服务器上部署在线考试系统，B/S 结构允许将多个结构部署于 Web 服务器上，例如用户注册、题库管理、成绩管理等与考试系统配套的管理系统都可以部署于 Web 服务器上。而对于管理者，其用户接口只是一个经过设计的简单的浏览器界面，一切操作和请求都可以通过浏览器实现。

2. CDN 缓存技术

采用 B/S 结构之后的系统网络必然包含若干 Web 服务器，这些服务器可以具有相同的功能但部署于不同的考试节点中，也可以具有不同的功能来实现多个系统的管理（考试、成绩、组卷等）。

而对于公有云上的分离出来的服务（身份验证系统，见三.1），起本质也是一个 Web 服务器，这些 Web 服务器必须经过一定的缓存机制来完成负载均衡、流量控制等任务。这是由于网络环境复杂多变，如果过多的流量涌向一个 Web 服务器，容易导致这个 Web 服务器的崩溃。我们很难提前知晓各个考点的考试容量是怎样的（可以提前进行模糊估计，但并不一定可靠），并经过相应的考试人数静态地分配固定的服务器数量。但就可靠性而言，我们更希望：各考点的服务器配置和数量趋于一致（特殊考点除外），而各个 Web 服务器之间的流量分配和缓存交由 CDN 网络处理。这样可以降低各考点之间的设备差异、技术差异等，以降低维护成本。

类似于 12306 系统结构的分析，CDN 网络建立与浏览器和 Web 服务器之间，这很好地适应了 B/S 的系统结构。CDN 在流量分配中的角色可用图四-1 表述如下：

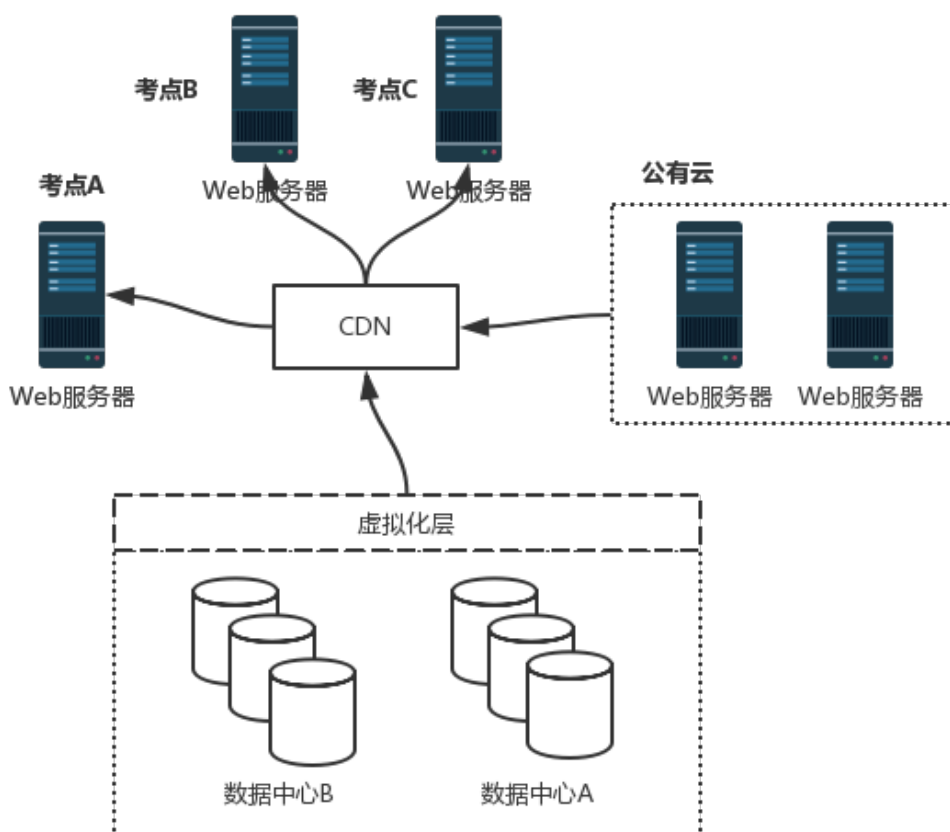


图 四-1CDN 缓存结构

CDN 对于身份验证系统而言，大大降低了访问延时（这对于身份验证服务来说是必要的）。而对于考试系统本身而言，由于其流量的单向、高并发的特点，起到了相应的分流作用，减轻了任何一个 Web 服务器的负载。通过负载均衡，CDN 可将实时的答案流就近分发至某一个考点的缓存服务器中，这也就无须为每个考点静态地分配缓存服

务器（缓存资源），CDN 通过考生的就近性和 Web 服务器的负载进行判断，自行选择某个考点的（或者说，某个）缓存服务器来发送资源。

3. 数据热备份技术（第二层备份）

显然地，不仅在应用层采用了备份技术，在数据控制层也应该采用类似的技术。与应用层不同的是，数据控制层的备份不再需要应用层那样高的实时性，这是由于该层备份的数据是“不可修改”的数据，是考生经过确认之后（已提交的）的一个考试模块的答案数据。值得注意的是，这个数据即使因为缓存服务器的故障而丢失，也不需要将这个数据恢复至应用层的考生客户端（考试规则限制），这是最本质的区别。

但是数据备份仍是必要的，考试模块数据一旦丢失，则无法根据考生提交的答案来给出已完成模块的得分，造成无法计算成绩进而考试失效。但整个备份过程应该对于考生透明，即考生不需要了解自己提交的答案是否被备份，因为一旦提交相当于确认了考试数据，这部分数据没有再被考生修改的机会。可用图四-2 将上述内容表述如下：

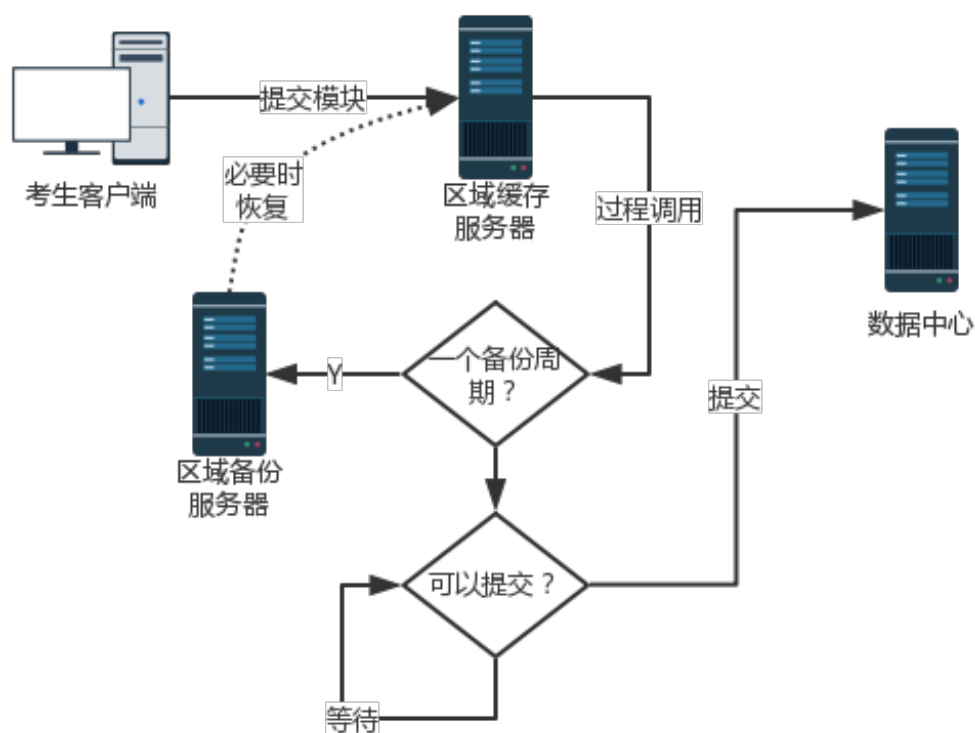


图 四-2 数据控制层的备份

可以看出，即使需要恢复备份数据，这部分数据也不可回传至考生客户端，而是作为新的数据流提交至数据中心。

4. 数据加密技术

数据安全性是考试系统必须考虑的因素，大体可分为两个部分：传输时的安全性和存储时的安全性。

对于传输时的安全性,可采用某种加密方式对实时的答案流、试题流、身份验证信息流进行加密传输。例如 SSL 加密技术,由 Netscape 公司开发的 SSL 协议是通过浏览器软件和 Web 服务器建立一条安全通道,从而实现 Internet 传输中的保密,同时 SSL 协议也符合我们最初考虑的 B/S 网络结构。

在 TCP/IP 协议族中,SSL 位于 TCP 层之上,独立于应用层。其两个子协议:SSL 记录协议建立在可靠的传输协议上,用来封装高层的协议;SSL 握手协议准许服务器端与客户端在开始传输数据前,能通过特定的加密算法互相鉴别。

对于存储时的安全性,涉及到数据加密以及文件加密技术。例如 Windows 操作系统提供的 EFS 加密技术、基于文件系统的数据加密技术、基于磁盘阵列的加密措施等。

以 EFS 加密技术为例,它是一种基于公共密钥的数据加密方式,对于需要加密的文件数据,首先产生一个加密密钥,对这个加密密钥使用快速的对称加密算法即可实现对文件的加密。任何一个文件的加密密钥是随机产生的,且是唯一的。加密后的加密密钥与文件存储在一起,成为文件的一个属性,在解密时,用户用自己的私有密钥解密存储在文件头中的加密密钥后,再对文件数据进行解密即可,最后得到未加密的文件。

5. 组卷策略

为保证试卷安排的公平性,在考试系统中,组卷策略也是数据管理的重要一部分。

借鉴与 TOEFL 的考试策略,我们可以试图将试题库以试题为单位组合成若干模块,显然,一个模块的“难度”可以被定义为这样一个函数,这个函数的值域是一个归一化之后的值,这个值被模块中的每一道题的难度所定义。

一次考试涉及到若干次组卷,所必须遵循的原则是:随机且难度平衡。即组卷算法从模块库中随机挑出若干模块,这些模块组合在一起的难度接近于预先定义好的平均难度。一个试卷的产生过程(数据加工和处理过程)可简单地用图四-3 表述如下:

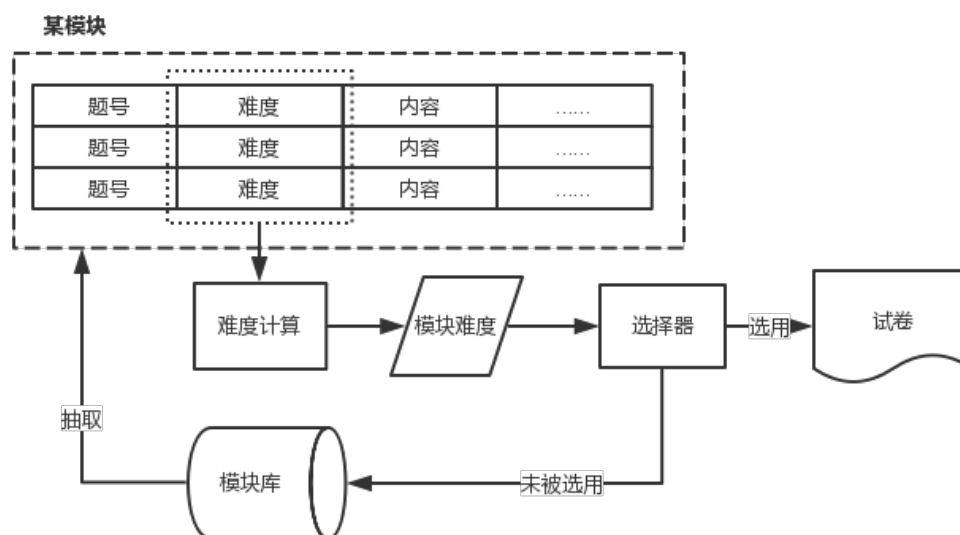


图 四-3 组卷流程

请注意,以上这些工作应该是在考试之前作为准备工作完成,否则容易造成额外的计算负担;但是,不应该过早地完成组卷过程,否则容易造成数据泄露等安全隐患。

五、 数据存储层关键技术设计

1. 基于 SAN 和 NAS 的内部存储结构

SAN (Storage Area Network, 存储局域网) 是一个将存储设备单独通过光纤与交换机连接起来, 形成一个光纤通道网络。它独立于服务器网络体系之外, 几乎拥有无限的存储能力和高速存储网络, 存储设备包括磁盘阵列、磁光盘和磁带库等。

从数据中心的角度看, 可以用关系图五-1 表示各服务器之间的关系:

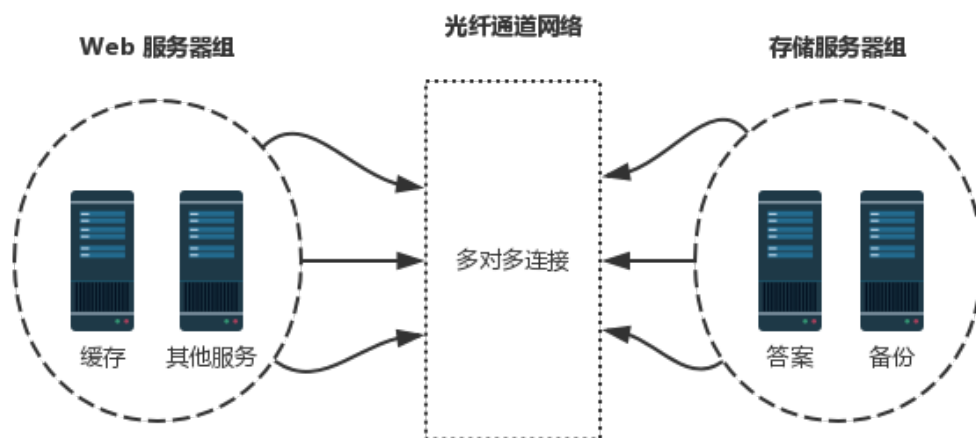


图 五-1 考试系统中的 SAN 结构

SAN 最大的特点是服务器网络和存储网络的独立性且多对多连接。有存储器服务组提供存储能力和快速访问能力, 由 Web 服务器组作为服务的提供者。SAN 可以作为 B/S 网络结构的后端存储实现方式, 利用光纤通道高速、可靠性良好的特点实现高速存储、可靠存储。而存储服务器组本身构成了一个存储池, 降低了维护成本, 管理可以利用任何一台计算机就可以对系统中的所有权限数据进行更改。所有的存储服务器组都集中在数据中心, 便于统一维护和管理。

SAN 协议体系中基于 FC 的特点决定了其数据流通的高速性能, 在备份考试答案数据、试卷数据时, 数据流可以不经过局域网, 避免了备份时产生的数据流量, 这部分流量直接通过 FC 网络进行处理和备份, 降低了 Web 服务器组的负载, 使其可以专注地实现应有的特定功能 (组卷、验证、传递答案等)。

而 SAN 的劣势正是由于基于了 FC 网络, 其点到点的光纤通道仅有不到 10km, 造成了距离上的限制, 由此造成了成本上的提高, 且文件访问缺陷严重 (只能提供块数据的访问), 只能以复杂的算法来支撑。

NAS (Network Attached Storage, 网络连接存储) 的特点是可以提供自己的文件级服务, 这对于考试系统中的需求如组卷、读写答案等都是十分便利的特点。并且 NAS 自身拥有独立的存储操作系统, 这种服务对于考试系统中数据统计结果的访问是相当合适的, 主服务器和客户端都可以随意地存取文件, 释放了系统总线的占用。

NAS 的劣势在于其需要配置专门的宽带网络, 且本身性能远远不如 SAN 结构, 如果出现考试系统崩溃、临时数据丢失, 想要及时恢复数据使得考试继续进行是比较困难

的。

因此，考虑使用 NAS 和 SAN 相结合的方式，即 SAN 提供数据传输速度和海量数据规模的支持，而 NAS 提供由文件处理带来的灵活性，为 SAN 弥补结点距离过小而带来的问题。整个思想可以作图五-2 如下：

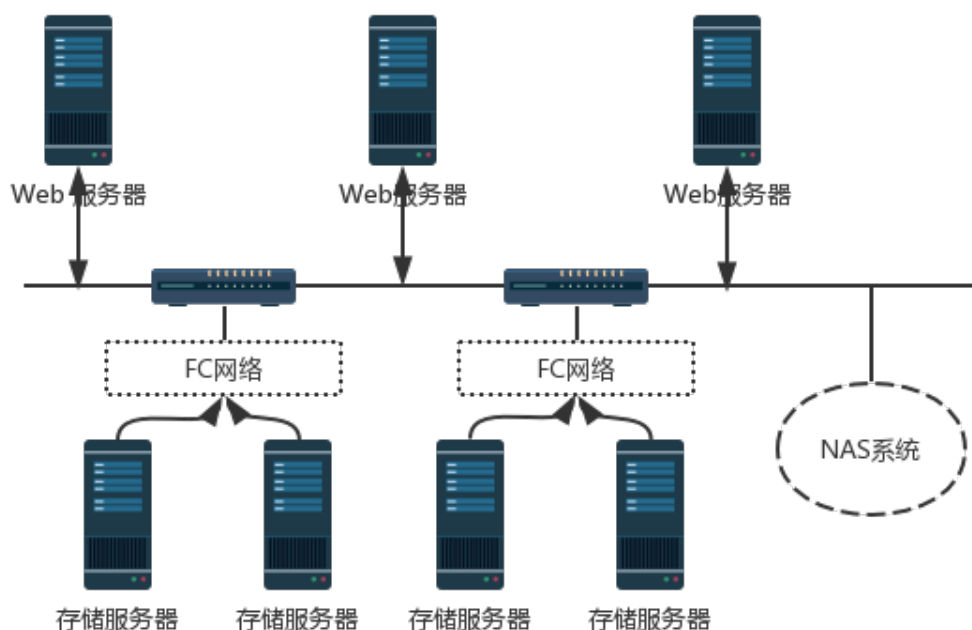


图 五-2 SAN + NAS 结构

不难看出，这种结构很好地结合了 NAS 和 SAN 的优势。NAS 网关将若干个 SAN 连接到 IP 网络，这打破了 FC 网络的拓扑限制，同时存储结构以 SAN 为主导，保持了其海量数据存储，高速数据管理等优势。同时，NAS 提供的文件访问能力和 SAN 提供的块数据访问能力可以形成互补优势，在传输答案数据时有选择地考虑数据传输方式（如客观题使用块数据传输，主观题主要基于文件的形式传输）。

2. 数据流的存储与管理

在数据存储层，由 Web 服务器中转的数据需要经过压缩处理，以保证最大地利用存储空间。这针对了考试流量单向性的特点，我们只需要将数据中心接收的答案流量经过压缩存储即可，在一定时间范围内并不需要再次对这些数据进行读出操作（我们默认评分过程、审核过程等都与考试过程分离）。也就是说，在相当长的时间范围内，流量仍呈现单向、高并发的特点，频繁写入，基本不会读出。

● 客观题数据

对于客观题答案流，由于大部分的客观题仅由 A、B、C 等字母组成，直接传输并存储这些字符的（经过加密）ASC 码是一个可行的方案，不过这并没有充分考虑客观题数据的特点。对于任何一道客观题，一旦考生提交了该模块的答案，这道客观题的答案便固定下来，甚至可以不提供复查的操作接口（这点与主观题有很大的不同）。因此我们不妨直接在存储时，就根据客观题标准答案集，与传来的考生答题信息进行比对，输出一个由 0/1 组成的 Bool 流，这些 Bool 流代替了原来的 ASC 字符流存储至数据服务器。

整个过程可以大体用图五-3 表述如下：

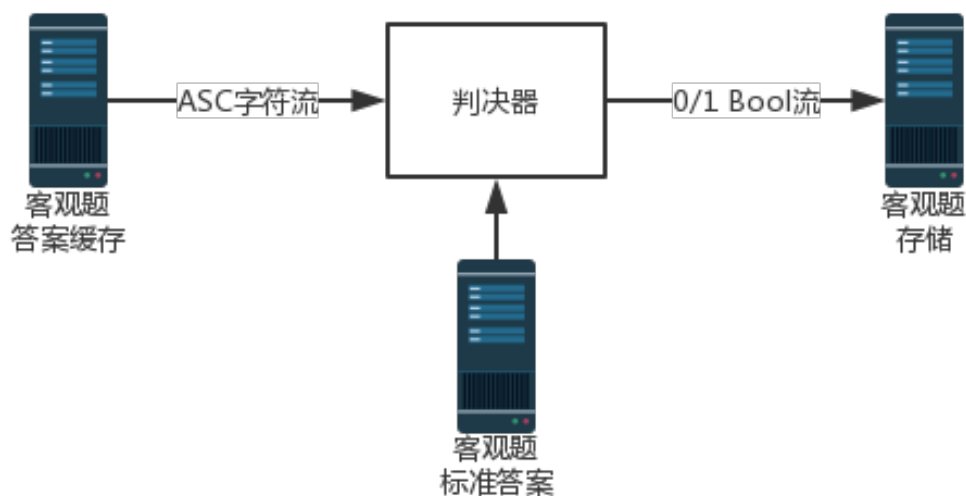


图 五-3 客观题数据处理

这为后续的分数计算、审查校验和存储管理都提供了方便，且压缩了存储空间（由1Byte 的 ASC 码改为直接存储客观题正确与否的1bit 的 Bool 值）。请注意，如此处理是考虑到客观题答案和客观题本身的特点。

● 主观题数据

非结构化数据必须借助相应的解释软件才能打开并直接浏览，无法数据本身直接获取表达的物理属性，主观题数据就是这样一类的非结构化数据。如果直接以文本串的形式存储主观题数据，不仅会大幅度加大数据库的容量，还会降低数据中心的维护和应用效率，为以后的批卷、复查等提供更大的负担。

这里我们主要采用 CAS（Content Addressable Storage，内容寻址存储）进行非结构化数据的存储和管理。在 CAS 中，某主观题答案的文件名被一个根据文件内容通过某种算法计算出来的字符串所取代，这是一个表征该数据对象的全局唯一的数字标识符，称为数字指纹。

CAS 维持一个描述组成元数据对象的各个数据块的数字标识符清单，为具体应用提供可用的 CAS 数据块，以重组原数据对象。对于网络存储系统用户端而言，只需使用这一数字标识符来实现内容的存取。

上述过程可以被简单地用图五-4 表述如下：

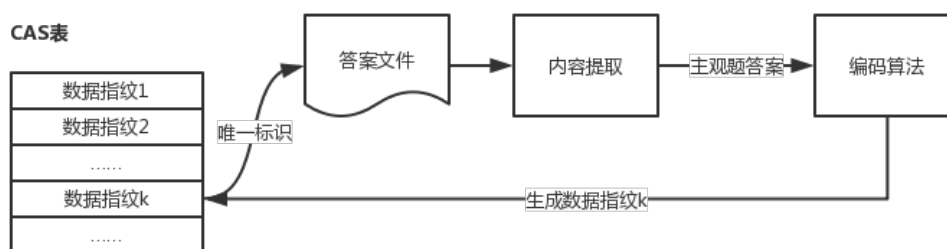


图 五-4 基于 CAS 的主观题存储

CAS 将应用和内容的物理位置完全隔离, 可以自动检测数据对象的变化, 实时保护数据对象不被恶意修改, 维持数据对象的完整性。同时, 数据指纹是从内容得到的唯一的 ID, 可以用于内容认证。

不难发现, CAS 存储仍然是基于表-实体的存储模式, 自然会想到将数据表和数据实体分开存储, 前者作为文件存储于外存储器的目录中, 后者直接存放在数据库中。二者通过类似 C 语言指针的方式相连接, 即通过目录表就可以确认数据实体是否存在、是否被修改和其现在的状态。如果需要对数据做改动处理, 必须经过表的索引才可以完成, 那么如何保证经过索引之后的数据一定是想要的的数据, 换句话说, 这样的一致性如何保证呢?

一致性保障可以通过引入一个查询系统和监控系统协调实现, 这也提高了主观题数据存储的可靠性。如果要修改目录表, 必须先确认被修改后的目录表项确实指向一个存在的文件, 在更新后, 一个负责监视更新信息的监视器必须也做出相应的更新, 将新的数据纳入监管范围。

整个过程可以大致以图五-5 表述如下:

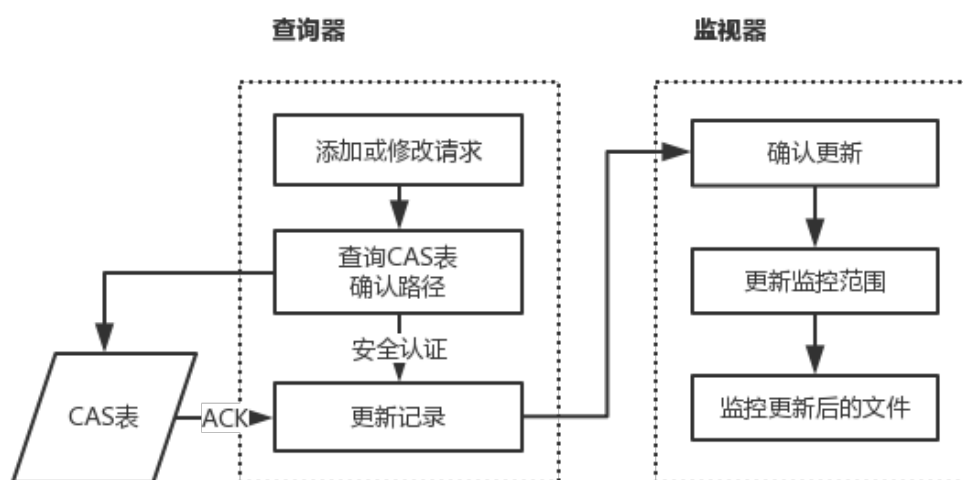


图 五-5 查询器与监视器协同

3. 服务器虚拟化技术

从数据控制层角度看, 如果仅有一个数据中心, 那么在定义缓存服务器与数据中心中的 Web 服务器的交互接口时, 不需要考虑任何的差别化问题。但是为了提高数据的可靠性和安全性, 借鉴于 12306 系统的虚拟化双活架构, 可以采用双数据中心的方式, 互相分担流量, 且互为备份。这样既实现了负载均衡, 又整体提高了系统的可靠性。

在描述 CDN 缓存技术 (见四、2) 时, 两个数据中心被虚拟化层覆盖, 即虚拟化层屏蔽了底层硬件的细节, 可以在此基础上定义 CDN 缓存网络的操作接口。同时, CDN 缓存网络还可以通过动态算法实现实时的负载均衡, 最好的效果为流向两个中心的数据流量 1:1 分配, 最大化地减小两个数据中心所承担的数据流量。

服务器虚拟化技术就可满足上述要求, 它将 CPU、存储介质、I/O 系统等抽象成逻辑资源, 形成动态管理的“资源池”, 任何一个数据中心可通过服务器虚拟化对外界提供逻辑资源, 便于资源利用率的提升, 降低数据中心的建设成本。

4. 云备份技术（第三层备份）

在考虑第三层备份时，需要先明确第三层备份与前两层备份目的上的区别。第一层备份请见三、3，第二层备份请见四、3。

前两层备份更强调动态实时性，比如第一层中，要求即使考生没有提交某一个模块，在系统崩溃后仍能恢复在该模块已作答的答案和剩余时间；在第二层中，备份要求能在崩溃时恢复考生提交的任何一个已答模块，这个恢复过程是与考生无关的。而对于第三层备份，同样是与考生无关的，是完全的存储方面的备份，即对相对静态的数据（身份验证信息，试卷信息，主观题答案信息，客观题答案信息，答案库，试卷库等）进行备份和保护。

为了分散一部分实时流量，我们已把身份验证服务迁移到公有云上，我们可以直接利用租用公有云上的备份系统进行公有云备份，这是默认了租用的公有云可以提供一定的安全保障和备份服务。

对于剩余的数据中心的数据，可大体上分为两类：一种是纯静态数据，即这类数据一经写入数据库中便在一定时间范围内基本不会更改，如试卷库、答案库等；另一类是半静态数据，这类数据在考试结束后也可归为第一类数据，但是在考试中，会有源源不断的数据写入，最典型的半静态数据就是考试中产生的答案数据流。

第一类数据的备份可用图五-6 描述如下：

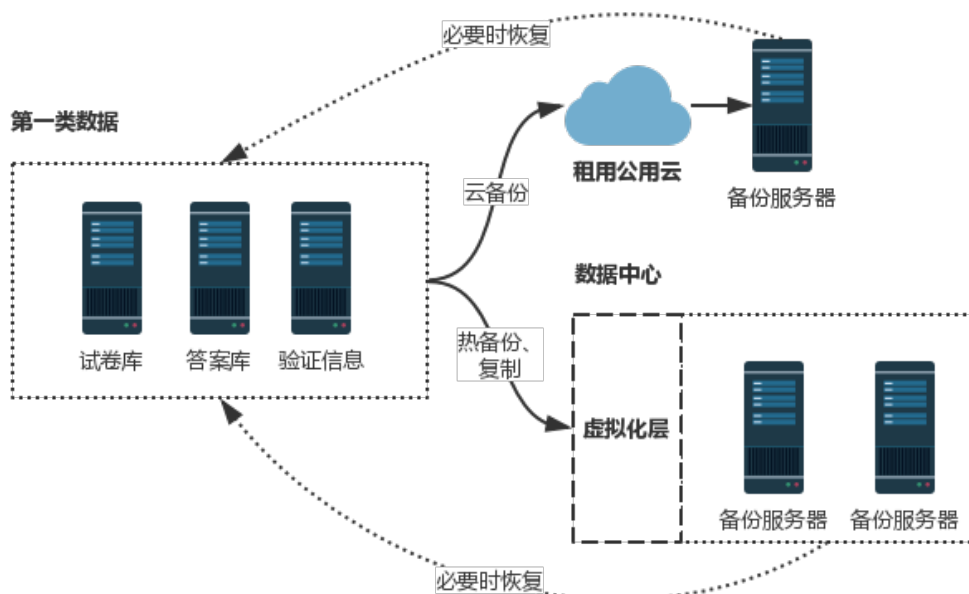


图 五-6 第一类数据的备份

针对第一类数据，直接利用镜像、磁盘备份、云备份等传统备份手段是可行的，因为它们基本上与身份验证信息等价，在考试开始一段时间后不具备流动的特点。首先采用本地复制，主要目的就是当需要恢复数据时，用户能从正确的地方获得处于恰当状态的数据，满足用户的需要。同时采用热备份的模式，将试卷库、答案库等备份到数据中心的其它备份数据服务器中，这些数据重点在“保存”而非“使用”。由于采用了借鉴于

12306 系统的虚拟化双活数据中心的架构, 我们可以直接考虑将两个数据中心的关键数据采用复制和备份技术, 互为镜像, 一份数据保存在两个数据中心中。这样, 两个数据中心互为灾备, 如果一个数据中心瘫痪, 所有流量将由另一个数据中心承担, 且损失的数据可从另一个数据中心中全部恢复。

第二类数据的备份可用图五-7 表述如下:

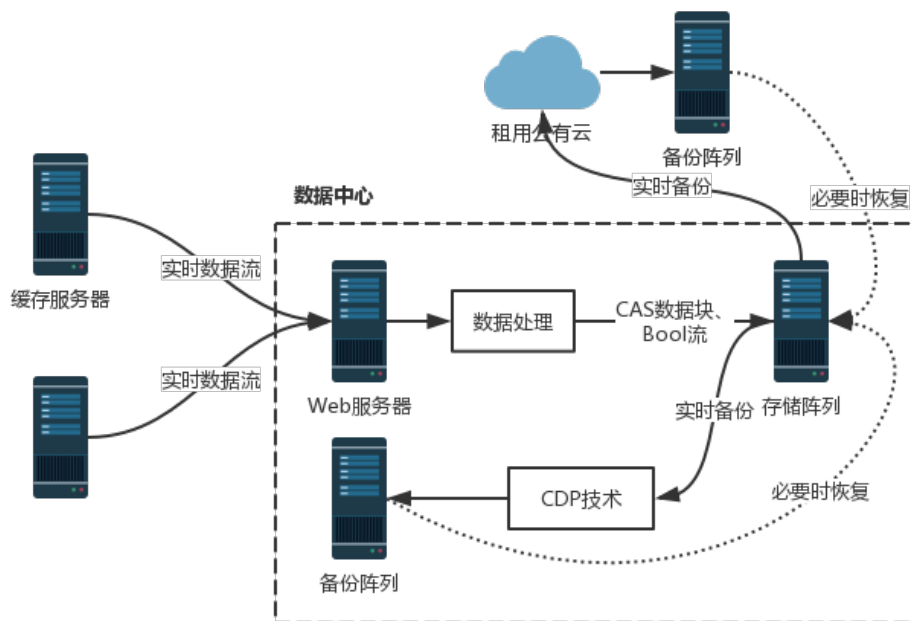


图 五-7 第二类数据的备份

针对第二类数据, 在考试过程中, 类似的数据复制和备份应该是周期性的, 实时性的, 这类似于第二层备份, 即通过过程调用、周期轮询的方式, 周期性地为已经载入到数据中心的数据进行热备份。和第一类数据不同的是, 第一类数据在考试开始之前就已经完成了全部的备份工作, 而第二类数据是考试过程中不断产生的, 需要不断地进行实时备份, 这种备份需要较高的实时性, 以保障在故障发生时, 不干扰到任何考生的已提交的答案信息。具体可采用类似 CDP (Continual data protection, 连续数据保护) 实时备份等技术实现。恢复时, 可通过云端备份服务器恢复, 或者在数据中心进行本地数据恢复。

在考试结束后, 第二类数据可以被归类为第一类数据, 可以采用非实时性的第一类数据的备份方法来进行今后的备份处理, 以节约成本。

六、 总结

具体设计一个服务于全国大型网络考试的系统是繁难的, 因此本文着重从系统架构、涉及到的关键技术、数据管理技术方面, 着重于提升系统的数据安全性、数据可靠性角度, 来

阐述该考试系统的设计。

我们从数据流的角度将系统分为应用层、数据控制层和数据存储层。

应用层主要负责身份验证、呈现试卷、捕捉答案数据等工作，同时也承担了一部分的实时备份功能，以防止在发生故障时考生答案丢失。

数据控制层负责在应用层和存储层之间的数据中转、控制和缓冲工作，具有一定的备份功能，能实现负载均衡，主要由缓存服务器作为控制端。从宏观上看，它与客户端、数据中心的 Web 服务器共同组成了 B/S 网络结构，存储层的硬件信息被虚拟化技术所屏蔽。它还负责实现组卷算法、加密算法等可靠性、安全性保障。

数据存储层是考试系统的核心，流量经过控制层分配后最终到达存储层，它负责接收考试中最重要数据——考生的实时答案数据流。经过虚拟化技术，两个数据中心可以分担流量、互为备份。在每一个数据中心，可采用 NAS 和 SAN 相结合的存储结构，可以发挥 SAN 海量数据存储、高效管理的优势，并用 NAS 的 IP 网络打破 SAN 的网络拓扑约束，降低成本。同时，针对不同的数据类型，CAS 和 Bool 流提供了方便的数据存储和管理办法。而对于各种业务的实现，基于对流量特点的分析，将身份验证服务部署在公有云上合适的。公有云和数据中心内部的备份服务器共同负责静态数据的备份工作，必要时可以恢复数据。

在所列举的具体技术中，由于个人能力所限，有相当一部分仅做了简要的介绍和概述，着重以图的方式阐述工作过程，而非具体的技术实现。因此，它距离一个实际的、可部署的考试系统还相差甚远。

七、 参考资料

- 1、汪永明. 基于 B/S 模式的在线考试系统[J]. 计算机技术与发展, 2004, 14(1):59-60.
- 2、刘阳, 曹宝香. 基于 J2EE 考试系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(4):990-992.
- 3、冷小鹏. 基于 JSP 技术的网络考试系统研究及实现[D]. 电子科技大学, 2007.
- 4、韩萌, 王移芝, 王嘉树. 基于 Web 的通用在线考试系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(21):5608-5610.
- 5、朱贵良, 宋庆涛, 许强. 基于 Web 模式的网络考试系统安全性研究[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(13):173-175.
- 6、王琪. 面向远程考试系统的数据安全存储探讨[J]. 南阳师范学院学报, 2010, 9(3):68-71.
- 7、朱杨清. 网络考试系统的数据安全性研究[J]. 中国远程教育, 2003(7):62-63.
- 8、余胜泉, 何克抗. 网络题库系统的设计与实现[J]. 中国远程教育, 2000(9):53-57.
- 9、田容雨. 新托福考试系统中若干关键问题的探讨与实践[J]. 科技传播, 2010(18):284-285.
- 10、周可, 王桦, 李春花. 云存储技术及其应用[J]. 中兴通讯技术, 2010, 16(4):24-27.
- 11、罗军舟, 金嘉晖, 宋爱波, 等. 云计算:体系架构与关键技术[J]. 通信学报, 2011, 32(7):3-21.
- 12、唐国纯, 罗自强. 云计算体系结构中的多层次研究[J]. 铁路计算机应用, 2012, 21(11):4-7.
- 13、彭湘凯. CDN 网络及其应用[J]. 微计算机信息, 2005(2):150-151.
- 14、陈金水, 王崑. 非结构化数据存储管理的实用化方法[J]. 计算机与现代化, 2006(8):25-28.
- 15、张志刚, 姚玮. 海量非结构化数据存储问题初探[J]. 中国档案, 2009(8):51-53.
- 16、武晓春, 王晓明. 基于 C/S 和 B/S 模式的教务管理信息系统的设计与实现[J]. 电化教育研究, 2005(3):50-52.