Совместимость и множественные прикладные среды

В то время как многие архитектурные особенности ОС непосредственно касаются только системных программистов, концепция множественных прикладных (операционных) средств непосредственно связана с нуждами конечных пользователей – возможностью операционной системы выполнять приложения, написанные для других операционных систем. Такое свойство операционной системы называется совместимостью.

Совместимость приложений может быть на двоичном уровне и на уровне исходных текстов. Приложения обычно хранятся в ОС в виде исполняемых файлов, содержащих двоичные образы кодов и данных. Двоичная совместимость достигается в том случае, если можно взять исполняемую программу и запустить ее на выполнение в среде другой ОС.

Совместимость на уровне исходных текстов требует наличие соответствующего компилятора в составе программного обеспечения компьютера, на котором предполагается выполнить данное приложение, а также совместимости на уровне библиотек и системных вызовов. При этом необходима перекомпиляция исходных текстов приложения в новый исполняемый модуль.

Совместимость на уровне исходных текстов важна в основном для разработчиков приложений, в распоряжении которых эти исходные тексты имеются. Но для конечных пользователей практическое значение имеет только двоичная совместимость, так как только в этом случае они могут использовать один и тот же продукт в различных операционных системах и на различных машинах.

Вид возможной совместимости зависит от многих факторов. Самый главный из них – архитектура процессора. Если процессор применяет тот же набор команд (возможно, с добавлениями, как в случае IBM PC: стандартный набор + мультимедиа + графика + потоковые) и тот же диапазон адресов, то двоичная совместимость может быть достигнута достаточно просто. Для этого необходимо соблюдение следующих условий:

- API, который использует приложение, должен поддерживаться данной ОС;
- внутренняя структура исполняемого файла приложения должна соответствовать структуре исполняемых файлов данной ОС.

Если процессоры имеют разную архитектуру, то, кроме перечисленных условий, необходимо организовать эмуляцию двоичного кода. Например, широко используется эмуляция команд процессора Intel на процессоре Motorola 680x0 компьютера Macintosh. Программный эмулятор в этом случае последовательно выбирает двоичную инструкцию процессора Intel и выполняет эквивалентную подпрограмму, написанную в инструкциях процессора Motorola. Так как у процессора Motorola нет в точности таких же регистров, флагов, внутреннего АЛУ и др., как в процессорах Intel, он должен также имитировать (эмулировать) все эти элементы с использованием своих регистров или памяти.

Это простая, но очень медленная работа, поскольку одна команда Intel выполняется значительно быстрее, чем эмулирующая ее последовательность команд процессора Motorola. Выходом в таких случаях является применение так называемых прикладных программных сред или операционных сред. Одной из составляющих такой среды является набор функций интерфейса прикладного программирования API, который ОС предоставляет своим приложениям. Для сокращения времени на выполнение чужих программ прикладные среды имитируют обращение к библиотечным функциям.

Эффективность этого подхода связана с тем, что большинство сегодняшних программ работает под управлением GUI (графических интерфейсов пользователя) типа Windows, MAC или UNIX Motif, при этом приложения тратят 60-80% времени на выполнение функций GUI и других библиотечных вызовов ОС. Именно это свойство приложений позволяет прикладным средам компенсировать большие затраты времени, потраченные на покомандное эмулирование программ. Тщательно спроектированная программная прикладная среда имеет в своем составе библиотеки, имитирующие библиотеки GUI, но написанные на "родном" коде. Таким образом, достигается существенное ускорение выполнения программ с API другой операционной системы. Иначе такой подход называют трансляцией – для того, чтобы отличить его от более медленного процесса эмулирования по одной команде за раз.

Например, для Windows-программы, работающей на Macintosh, при интерпретации команд процессора Intel производительность может быть очень низкой. Но когда производится вызов функции GUI, открытие окна и др., модуль ОС, реализующий прикладную среду Windows, может перехватить этот вызов и перенаправить его на перекомпилированную для процессора Motorola 680x0 подпрограмму открытия окна. В результате на таких участках кода скорость работы программы может достичь (а, возможно, и превзойти) скорость работы на своём родном процессоре.

Чтобы программа, написанная для одной ОС, могла быть выполнена в рамках другой ОС, недостаточно лишь обеспечивать совместимость API. Концепции, положенные в основу разных ОС, могут входить в противоречия друг с другом. Например, в одной ОС приложению может быть разрешено управлять устройствами ввода-вывода, в другой – эти действия являются прерогативой ОС.

Каждая ОС имеет свои собственные механизмы защиты ресурсов, свои алгоритмы обработки ошибок и исключительных ситуаций, особую структуру процессора и схему управления памятью, свою семантику доступа к файлам и графический пользовательский интерфейс. Для обеспечения совместимости необходимо организовать бесконфликтное сосуществование в рамках одной ОС нескольких способов управления ресурсами компьютера.

Существуют различные варианты построения множественных прикладных сред, отличающиеся как особенностями архитектурных решений, так и функциональными возможностями, обеспечивающими разную степень переносимости приложений. Один из наиболее очевидных вариантов реализации множественных прикладных сред основывается на стандартной многоуровневой структуре ОС.

На рис. 1.9 ОС OS1 поддерживает кроме своих "родных" приложений приложения операционных систем OS2 и OS3. Для этого в её составе имеются специальные приложения, прикладные программные среды, которые транслируют интерфейсы "чужих" операционных систем API OS2 и API OS3 в интерфейс своей "родной" ОС – API OS1. Так, например, в случае если бы в качестве OS2 выступала ОС UNIX, а в качестве OS1 – OS/2, для выполнения системного вызова создания процесса fork () в UNIX-приложении программная среда должна обращаться к ядру операционной системы OS/2 с системным вызовом DOS ExecPgm ().

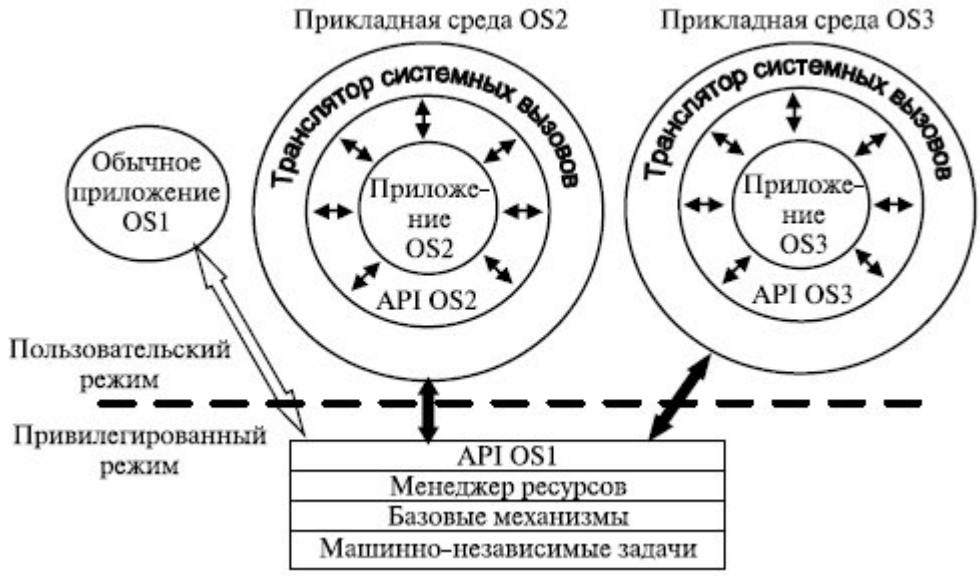

Рис. 1.9. Организация множественных прикладных сред

К сожалению, поведение почти всех функций, составляющих API одной ОС, как правило, существенно отличается от поведения соответствующих функций другой ОС. Например, чтобы функция создания процесса в OS/2 Dos ExecPgm () полностью соответствовала функции создания процесса fork () в UNIX-подобных системах, её нужно было бы изменить и прописать новую функциональность: поддержку возможности копирования адресного пространства родительского процесса в пространство процесса-потомка.

Еще один способ построения множественных прикладных сред основан на микроядерном подходе. При этом очень важно отметить базовое, общее для всех прикладных сред отличие механизмов операционной системы от специфических для каждой из прикладных сред высокоуровневых функций, решающих стратегические задачи. В соответствии с микроядерной архитектурой все функции ОС реализуются микроядром и серверами пользовательского режима. Важно, что прикладная среда оформляется в виде отдельного сервера пользовательского режима и не включает базовых механизмов.

Приложения, используя API , обращаются с системными вызовами к соответствующей прикладной среде через микроядро. Прикладная среда обрабатывает запрос, выполняет его (возможно, обращаясь для этого за помощью к базовым функциям микроядра) и отсылает приложению результат. В ходе выполнения запроса прикладной среде приходится, в свою очередь, обращаться к базовым механизмам ОС, реализуемым микроядром и другими серверами ОС.

Такому подходу к конструированию множественных прикладных сред присущи все достоинства и недостатки микро ядерной архитектуры, в частности:

- очень просто можно добавлять и исключать прикладные среды, что является следствием хорошей расширяемости микро ядерных ОС;
- при отказе одной из прикладных сред остальные сохраняют работоспособность, что способствует надежности и стабильности системы в целом;
- низкая производительность микроядерных ОС сказывается на скорости работы прикладных средств, а значит, и на скорости работы приложений.

В итоге следует отметить, что создание в рамках одной ОС нескольких прикладных средств для выполнения приложений различных ОС представляет собой путь, который позволяет иметь единственную версию программы и переносить ее между различными операционными системами. Множественные прикладные среды обеспечивают совместимость на двоичном уровне данной ОС с приложениями, написанными для других ОС.

1.9. Виртуальные машины как современный подход к реализации множественных прикладных сред

Понятие "монитор виртуальных машин" (МВМ) возникло в конце 60-х годов как программный уровень абстракции, разделявший аппаратную платформу на несколько виртуальных машин. Каждая из этих виртуальных машин (ВМ) была настолько похожа на базовую физическую машину, что существующее программное обеспечение могло выполняться на ней в неизменном виде. В то время вычислительные задачи общего характера решались на дорогих мэйнфреймах (типа IBM/360), и пользователи высоко оценили способность МВМ распределять дефицитные ресурсы среди нескольких приложений.

В 80-90-е годы существенно снизилась стоимость компьютерного оборудования и появились эффективные многозадачные ОС, что уменьшило ценность МВМ в глазах пользователей. Мэйнфреймы уступили место мини-компьютерам, а затем ПК, и нужда в МВМ отпала. В результате из компьютерной архитектуры попросту исчезли аппаратные средства для их эффективной реализации. К концу 80-х в науке и на производстве МВМ воспринимались не иначе как исторический курьез [10].

Сегодня МВМ – снова в центре внимания. Корпорации Intel, AMD, Sun Microsystems и IBM создают стратегии виртуализации, в научных лабораториях и университетах для решения проблем мобильности, обеспечения безопасности и управляемости развиваются подходы, основанные на виртуальных машинах. Что же произошло между отставкой МВМ и их возрождением?

В 90-е годы исследователи из Стэндфордского университета начали изучать возможность применения ВМ для преодоления ограничений оборудования и операционных систем. Проблемы возникли у компьютеров с массовой параллельной обработкой (Massively Parallel Processing, MPP), которые плохо поддавались программированию и не могли выполнять имеющиеся ОС. Исследователи обнаружили, что с помощью виртуальных машин можно сделать эту неудобную архитектуру достаточно похожей на существующие платформы, чтобы использовать преимущества готовых ОС. Из этого проекта вышли люди и идеи, ставшие золотым фондом компании VMware (www.vmware.com), первого поставщика МВМ для компьютеров массового применения.

Как ни странно, развитие современных ОС и снижение стоимости оборудования привели к появлению проблем, которые исследователи надеялись решить с помощью МВМ. Дешевизна оборудования способствовала быстрому распространению компьютеров, но они часто бывали недогруженными, требовали дополнительных площадей и усилий по обслуживанию. А следствиями роста функциональных возможностей ОС стали их неустойчивость и уязвимость.

Чтобы уменьшить влияние системных аварий и защититься от взломов, системные администраторы вновь обратились к однозадачной вычислительной модели (с одним приложением на одной машине). Это привело к дополнительным расходам, вызванным

повышенными требованиями к оборудованию. Перенос приложений с разных физических машин на ВМ и консолидация этих ВМ на немногих физических платформах позволили повысить эффективность использования оборудования, снизить затраты на управление и производственные площади. Таким образом, способность МВМ к мультиплексированию аппаратных средств – на этот раз во имя консолидации серверов и организации коммунальных вычислений – снова возродила их к жизни.

В настоящее время МВМ стал не столько средством организации многозадачности, каким он был когда-то задуман, сколько решением проблем обеспечения безопасности, мобильности и надежности. Во многих отношениях МВМ дает создателям операционных систем возможность развития функциональности, невозможной в нынешних сложных ОС. Такие функции, как миграция и защита, намного удобнее реализовать на уровне МВМ, поддерживающих обратную совместимость при развертывании инновационных решений в области операционных систем при сохранении предыдущих достижений.

Виртуализация – развивающаяся технология. В общих словах, виртуализация позволяет отделить ПО от нижележащей аппаратной инфраструктуры. Фактически она разрывает связь между определенным набором программ и конкретным компьютером. Монитор виртуальных машин отделяет программное обеспечение от оборудования и формирует промежуточный уровень между ПО, выполняемым виртуальными машинами, и аппаратными средствами. Этот уровень позволяет МВМ полностью контролировать использование аппаратных ресурсов *гостевыми операционными системами (GuestOS)*, которые выполняются на ВМ.

МВМ создает унифицированное представление базовых аппаратных средств, благодаря чему физические машины различных поставщиков с разными подсистемами ввода-вывода выглядят одинаково и ВМ выполняются на любом доступном оборудовании. Не заботясь об отдельных машинах с их тесными взаимосвязями между аппаратными средствами и программным обеспечением, администраторы могут рассматривать оборудование просто как пул ресурсов для оказания любых услуг по требованию.

Благодаря *полной инкапсуляции* состояния ПО на ВМ монитор МВМ может отобразить ВМ на любые доступные аппаратные ресурсы и даже перенести с одной физической машины на другую. Задача балансировки нагрузки в группе машин становится тривиальной, и появляются надежные способы борьбы с отказами оборудования и наращивания системы. Если нужно отключить отказавший компьютер или ввести в строй новый, МВМ способен соответствующим образом перераспределить виртуальные машины. Виртуальную машину легко тиражировать, что позволяет администраторам по мере необходимости оперативно предоставлять новые услуги.

Инкапсуляция также означает, что администратор может в любой момент приостановить или возобновить работу ВМ, а также сохранить текущее состояние виртуальной машины либо вернуть ее к предыдущему состоянию. Располагая возможностью универсальной отмены, удается легко справиться с авариями и ошибками конфигурации. Инкапсуляция является основой обобщенной модели мобильности, поскольку приостановленную ВМ можно копировать по сети, сохранять и транспортировать на сменных носителях.

МВМ играет роль посредника во всех взаимодействиях между ВМ и базовым оборудованием, поддерживая выполнение множества виртуальных машин на единой аппаратной платформе и обеспечивая их надежную изоляцию. МВМ позволяет собрать группу ВМ с низкими потребностями в ресурсах на отдельном компьютере, снизив затраты на аппаратные средства и потребность в производственных площадях.

Полная изоляция также важна для надежности и обеспечения безопасности. Приложения, которые раньше выполнялись на одной машине, теперь можно распределить по разным ВМ. Если одно из них в результате ошибки вызовет аварию ОС, другие приложения будут от нее изолированы и продолжат работу. Если же одному из приложений угрожает внешнее нападение, атака будет локализована в пределах "скомпрометированной" ВМ. Таким образом, МВМ – это инструмент реструктуризации системы для повышения ее устойчивости и безопасности, не требующий дополнительных площадей и усилий по администрированию, которые необходимы при выполнении приложений на отдельных физических машинах.

МВМ должен связать аппаратный интерфейс с ВМ, сохранив полный контроль над базовой машиной и процедурами взаимодействия с ее аппаратными средствами. Для достижения этой цели существуют разные методы, основанные на определенных технических компромиссах. При поиске таких компромиссов принимаются во внимание основные требования к МВМ: совместимость, производительность и простота. Совместимость важна потому, что главное достоинство МВМ – способность выполнять унаследованные приложения. Производительность определяет величину накладных расходов на виртуализацию – программы на ВМ должны выполняться с той же скоростью, что и на реальной машине. Простота необходима, поскольку отказ МВМ приведет к отказу всех ВМ, выполняющихся на компьютере. В частности, для надежной изоляции требуется, чтобы МВМ был свободен от ошибок, которые злоумышленники могут использовать для разрушения системы.

Вместо того чтобы заниматься сложной переработкой кода гостевой операционной системы, можно внести некоторые изменения в основную операционную систему, изменив некоторые наиболее "мешающие" части ядра. Подобный подход называется паравиртуализацией [10]. Ясно, что в этом случае адаптировать ядро ОС может только автор, и, например, Microsoft не проявляет желания адаптировать популярное ядро Windows 2000 к реалиям конкретных виртуальных машин.

При паравиртуализации разработчик МВМ переопределяет интерфейс виртуальной машины, заменяя непригодное для виртуализации подмножество исходной системы команд более удобными и эффективными эквивалентами. Заметим, что хотя ОС нужно портировать для выполнения на таких ВМ, большинство обычных приложений могут выполняться в неизменном виде.

Самый большой недостаток паравиртуализации – несовместимость. Любая операционная система, предназначенная для выполнения под управлением паравиртуализованного монитора МВМ, должна быть портирована в эту архитектуру, для чего нужно договариваться о сотрудничестве с поставщиками ОС. Кроме того, нельзя использовать унаследованные операционные системы, а существующие машины не удается легко заменить виртуальными.

Чтобы добиться высокой производительности и совместимости при виртуализации архитектуры x86, компания VMware разработала новый метод виртуализации, который объединяет традиционное прямое выполнение с быстрой трансляцией двоичного кода "на лету". В большинстве современных ОС режимы работы процессора при выполнении обычных прикладных программ легко поддаются виртуализации, а следовательно, их можно виртуализировать посредством прямого выполнения. Непригодные для виртуализации привилегированные режимы может выполнять транслятор двоичного кода, исправляя "неудобные" команды x86. В результате получается высокопроизводительная

виртуальная машина, которая полностью соответствует оборудованию и поддерживает полную совместимость ПО.

Преобразованный код очень похож на результаты паравиртуализации. Обычные команды выполняются в неизменном виде, а команды, нуждающиеся в специальной обработке (такие как POPF и команды чтения регистров сегмента кода), транслятор заменяет последовательностями команд, которые подобны требующимся для выполнения на паравиртуализованной виртуальной машине. Однако есть важное различие: вместо того, чтобы изменять исходный код операционной системы или приложений, транслятор двоичного кода изменяет код при его выполнении в первый раз.

Хотя трансляция двоичного кода требует некоторых дополнительных расходов, при нормальных рабочих нагрузках они незначительны. Транслятор обрабатывает лишь часть кода, и скорость выполнения программ становится сопоставимой со скоростью прямого выполнения – как только заполнится кэш-память трассировки.

Трансляция двоичного кода также помогает оптимизировать прямое выполнение. Например, если при прямом выполнении привилегированного кода часто происходит перехват команд, это может привести к существенным дополнительным расходам, поскольку при каждом перехвате управление передается от виртуальной машины к монитору и обратно. Трансляция кода может устранить многие из таких перехватов, что приведет к снижению накладных расходов на виртуализацию. Это особенно верно для центральных процессоров с длинными конвейерами команд, в частности, для современного семейства x86, в котором перехват связан с высокими дополнительными расходами.