ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
http://www.cslab.ece.ntua.gr

Εργαστήριο Λειτουργικών Συστημάτων

8ο εξάμηνο, Ακαδημαϊκή περίοδος 2012–2013

Οδηγός εργαστηριακής άσκησης
Συσκευή κρυπτογράφησης για QEMU-KVM

Εργαστήριο Υπολογιστικών Συστημάτων Ε.Μ.Π.
os-lab@lists.cslab.ece.ntua.gr

Μάιος 2013

Περιεχόμενα

Επιμέλεια: Δ. Σιακαβάρας, Στ. Γεράγγελος, Ευ. Κούκης

1 Γενικά περί εικονικοποίησης (Virtualization)

Όπως έχουμε αναφέρει ήδη από την πρώτη άσκηση με τον όρο εικονικοποίηση (virtualization) αναφερόμαστε στη δημιουργία ενός εικονικού μηχανήματος, το οποίο συμπεριφέρεται σαν ένα πραγματικό μηχάνημα. Για τους σκοπούς της πρώτης άσκησης χρησιμοποιήσαμε το QEMU για να προσομοιώσουμε πλήρως την λειτουργία ενός συστήματος. Αυτή η τεχνική εικονικοποίησης ονομάζεται πλήρης εικονικοποίηση (full virtualization). Μία άλλη τεχνική είναι η παρα-εικονικοποίηση (paravirtualization). Τα βασικότερα χαρακτηριστικά αυτών των δύο τεχνικών αναλύονται παρακάτω:

- **Πλήρης εικονικοποίηση:** Το βασικότερο χαρακτηριστικό αυτής της τεχνικής είναι ότι το λειτουργικό σύστημα μπορεί να τρέξει μέσα στην εικονική μηχανή χωρίς καμία τροποποίηση, ακριβώς όπως τρέχει και στο πραγματικό μηχάνημα. Η εικονική μηχανή δεν ξέρει ότι τρέχει σε εικονικό περιβάλλον και ότι το υλικό της δεν είναι πραγματικό αλλά προσομοιώνεται μέσω κατάλληλου λογισμικού. Το κυριότερο πλεονέκτημα είναι η ευκολία στη δημιουργία εικονικών μηχανών, αλλά το γεγονός ότι τα πάντα προσομοιώνονται μέσω λογισμικού καθιστά αυτήν την τεχνική αργή.
- **Παρα-εικονικοποίηση:** Σε αυτή την περίπτωση η εικονική μηχανή έχει επίγνωση ότι τρέχει σε εικονικό περιβάλλον και συνεργάζεται με τον host ώστε να επιτευχθεί καλύτερη επίδοση. Γνωρίζει ότι το υλικό της δεν είναι πραγματικό. Για το λόγο αυτό δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ίδιος πυρήνας του ΛΣ που εκτελείται στο πραγματικό μηχάνημα. Χρειάζεται να γίνουν κάποιες τροποποιήσεις ώστε ένα ΛΣ να εκτελεστεί σε μία εικονική μηχανή που χρησιμοποιεί παραεικονικοποίηση. Ωστόσο η επίδοση είναι αρκετά καλύτερη σε σχέση με την πλήρη εικονικοποίηση.

2 Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης

Στο πλαίσιο της παρούσας εργαστηριακής άσκησης καλείστε να δημιουργήσετε μία εικονική συσκευή κρυπτογράφησης για εικονικές μηχανές που εκτελούνται από το QEMU. Η συσκευή αυτή θα εκτελεί ένα υποσύνολο των λειτουργιών που προσφέρει η συσκευή cryptodev που χρησιμοποιήσατε για το πρώτο μέρος της άσκησης.

Η πρώτη επιλογή που έχετε για τη δημιουργία αυτής της συσκευής είναι η πλήρης προσομοίωση των αλγορίθμων κρυπτογράφησης σε επίπεδο λογισμικού και η ενσωμάτωση τους σε μία εικονική συσκευή του QEMU. Αυτός ο τρόπος εκτός του ότι θα έχει ως αποτέλεσμα πολύ αργή απόκριση της συσκευής σας, απαιτεί και πολύ

κόπο καθώς θα πρέπει να είστε άριστοι γνώστες των λειτουργιών κρυπτογράφησης. Θα ήταν χρήσιμο να μπορούσαν διεργασίες που εκτελούνται στην εικονική μηχανή να έχουν πρόσβαση στο υλικό του host (για παράδειγμα στην συσκευή cryptodev. Χρειαζόμαστε λοιπόν έναν τρόπο για να μιλάει η εικονική μηχανή απευθείας με την πραγματική συσκευή. Αυτός ο τρόπος είναι η χρήση της τεχνικής της παράεικονικοποίησης και του προτύπου VirtIO το οποίο αναλύεται σε επόμενη ενότητα.

3 Αναβάθμιση πυρήνα στην έκδοση 3.2

Για τη διεξαγωγή της παρούσας εργαστηριακής άσκησης θα χρειαστείτε κάποια χαρακτηριστικά του πυρήνα του Linux που δεν είναι διαθέσιμα στην έκδοση 2.6.32 που χρησιμοποιήσατε για την πρώτη άσκηση. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να αναβαθμίσετε τον πυρήνα της εικονικής μηχανής σας στην έκδοση 3.2.

Η έκδοση 3.2 είναι διαθέσιμη από τα backport repositories του Debian και δε θα χρειαστεί να τη μεταγλωττίσετε και εγκαταστήσετε μόνοι σας. Για την αναβάθμιση του πυρήνα λοιπόν θα χρειαστεί να ακολουθήσετε τα παρακάτω βήματα.

Αρχικά, πρέπει να προσθέσετε τα backport repositories στο αρχείο `/etc/apt/sources.lst`. Προσθέστε στο αρχείο αυτό τη γραμμή

```
deb http://backports.debian.org/debian-backports squeeze-backports main
```

Στη συνέχεια πρέπει να ενημερώσετε το apt-get για την προσθήκη των παραπάνω repositories και να εγκαταστήσετε τα απαιτούμενα πακέτα για τον νέο πυρήνα. Αυτά γίνονται με τις εντολές:

```
# apt-get update
# apt-get -t squeeze-backports install \
> linux-image-3.2.0-0.bpo.4-amd64 firmware-linux-free
```

Τέλος, θα χρειαστείτε και τους αντίστοιχους headers για τον νέο πυρήνα. Για να τους εγκαταστήσετε αρκεί η εντολή:

```
# apt-get install linux-headers-3.2.0-0.bpo.4-amd64
```

Την αναβάθμιση του πυρήνα μπορείτε να την κάνετε στο `backing_file` ώστε να μην χρειάζεται να επαναλαμβανετε τα παραπάνω βήματα κάθε φορά που σβήνετε το `private.qcow2`. Αρκεί να σηκώσετε μία εικονική μηχανή με το QEMU με εικονικό δίσκο το `backing_file` και να εκτελέσετε τις παραπάνω εντολές μέσα σε αυτήν την εικονική μηχανή. Για λεπτομέρειες σχετικά με τη χρήση του QEMU μέσω γραμμής εντολών μπορείτε να δείτε το `utopia.sh` που σας δόθηκε στην πρώτη άσκηση.

4 Απο που να αρχίσω;

Στη σελίδα του μαθήματος σας δίνεται βοηθητικός κώδικας για να ξεκινήσετε να δουλεύετε τα ζητούμενα της άσκησης. Στο φάκελο `guest` θα βρείτε τον κώδικα από όπου θα ξεκινήσετε για την υλοποίηση του frontend μέρους του οδηγού σας. Η μεταγλώττιση και εγκατάσταση του γίνονται μέσα στην εικονική μηχανή.

Στον φάκελο `qemu/hw` βρίσκονται τα αρχεία που αφορούν το backend μέρος του οδηγού σας και τα οποία θα πρέπει να αντιγράψετε στον φάκελο `hw`, στον πηγαίο κώδικα του QEMU. Η μεταγλώττιση τους γίνεται μαζί με την μεταγλώττιση του QEMU και η διαδικασία είναι γνωστή από την πρώτη άσκηση.

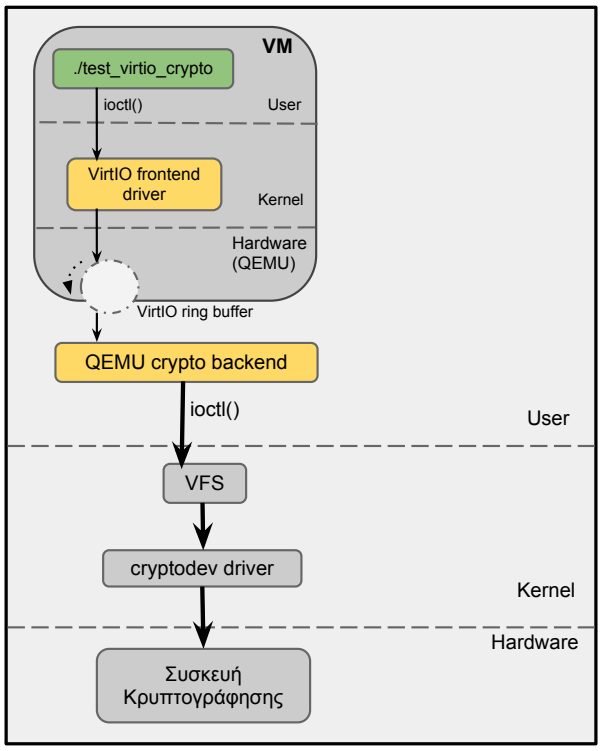
5 Προδιαγραφή οδηγού συσκευής virtio-crypto

Ο σκοπός αυτής της εργαστηριακής άσκησης είναι η δημιουργία ενός οδηγού συσκευής ο οποίος θα επιτρέπει τη χρήση της κρυπτογραφικής συσκευής που χρησιμοποιήσατε στο πρώτο μέρος της ασκησης μέσα σε εικονικές μηχανές. Θα μπορούσαμε να υλοποιήσουμε τον αλγόριθμο κρυπτογράφησης σε λογισμικό και να κάνουμε έτσι προσομοίωση της συσκευής, αλλά θέλουμε να εκμεταλλευτούμε την πραγματική συσκευή που υπάρχει στο μηχάνημα ώστε να έχουμε υψηλότερη επίδοση.

Το πρότυπο VirtIO, το οποίο αναλύεται σε επόμενη ενότητα, επιτρέπει την αποδοτική επικοινωνία του ΛΣ που εκτελείται μέσα στην εικονική μηχανή με κώδικα που εκτελείται στον host, μέσω του ορισμού κοινών πόρων για ανταλλαγή δεδομένων. Αυτοί οι κοινοί πόροι ονομάζονται VirtQueues.

Στο πρώτο μέρος η κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση γινόταν με κατάλληλες κλήσεις `ioctl()` στην συσκευή `/dev/crypto`. Τώρα θα πρέπει οι κλήσεις `ioctl()` να μεταφέρονται από τον guest στον hypervisor μέσω των virtqueues, ο hypervisor καλεί την αντίστοιχη `ioctl()` για την πραγματική συσκευή και επιστρέφει το αποτέλεσμα στον guest πάλι μέσω των virtqueues. Αυτή η αλληλουχία κλήσεων φαίνεται και στο σχήμα 1

Τα ζητούμενα της άσκησης περιλαμβάνουν την υποστήριξη μόνο ενός μέρους από τις λειτουργίες της συσκευής `/dev/crypto`. Συγκεκριμένα, η υλοποίησή σας θα πρέπει να υποστηρίζει τέσσερις κλήσεις `ioctl`, (i) `CIOCGSESSION`, (ii) `CIOCCRYPT` για κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση και τέλος (iii) `CIOCFSESSION`. Επίσης, θα υποστηρίζεται μόνο η λειτουργία κρυπτογράφησης/αποκρυπτογράφησηςκαι για περιορισμένο μέγεθος δεδομένων εισόδου ώστε να είναι γνωστό εκ των προτέρων το μέγεθος των buffers που ανταλλάσσονται μέσω των VirtQueues. Τέλος, ενώ η συσκευή cryptodev υποστηρίζει ταυτόχρονη πρόσβαση από πολλές διεργασίες, η



Σχήμα 1: Αρχιτεκτονική λογισμικού της (paravirtualized) virtio-crypto συσκευής

δική σας υλοποίηση θα επιτρέπει μόνο μία διεργασία να ανοίγει τη συσκευή που βλέπει ο guest.

Από το σχήμα 1 γίνεται προφανής ο διαχωρισμός του οδηγού σε δύο μέρη, backend και frontend. Το πρώτο μέρος εκτελείται στο χώρο χρήστη του host, ενώ το δεύτερο στο χώρο πυρήνα της εικονικής μηχανής. Τα δύο μέρη επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω των VirtQueues. Εσείς καλείστε να συμπληρώσετε και τα δύο μέρη του οδηγού. Η χρήση της συσκευής virtio αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

1. Ο χρήστης εκκινεί μία εικονική μηχανή με χρήση του userspace προγράμματος QEMU

   ```
   user@host-machine:~/utopia$ ./utopia.sh \
   > -device virtio-crypto-pci
   ```

2. Στον guest έχει αναγωριστεί η συσκευή pci και μπορούμε να την δούμε με την εντολή `lspci`, η έξοδος της οποίας περιλαμβάνει μία παρόμοια με
   `00:05.0 Communication controller: Red Hat, Inc Device 1013`

3. Με το script `crypto_dev_nodes.sh` δημιουργούνται τα αρχεία που θα χρησιμοποιηθούν ως συσκευές κρυπτογράφησης/αποκρυπτογράφησης.

4. Η μεταγλώττιση και εισαγωγή του module που δημιουργήσατε θα πρέπει να επιτρέπει στο χρήστη την χρήση αυτών των αρχείων συσκευών χαρακτήρων σαν να είναι φυσικές κρυπτογραφικές συσκευές.

6 Το πρότυπο VirtIO

Η τεχνική της παραεικονικοποίησης όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα απαιτεί τροποποιήσεις στον πυρήνα του λειτουργικού συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί. Συγκεκριμένα, απαιτούνται αλλαγές στους οδηγούς των συσκευών ώστε να επικοινωνούν απευθείας με τον host. Αντίστοιχα, η πλατφόρμα εικονικοποίησης, δηλαδή το λογισμικό που εκτελείται στον host για να προσομοιώσει τη λειτουργία της εικονική μηχανής [1], πρέπει να υλοποιεί το κατάλληλο εικονικό υλικό ώστε να μπορεί να δέχεται και να απαντάει σε αιτήματα από τον guest. Υπάρχουν πολλές πλατφορμες εικονικοποίησης όπως το QEMU, και κάθε μία χρησιμοποιεί διαφορετικούς paravirtualized οδηγούς συσκευών. Το γεγονός αυτό επιβάλει και διαφορετικούς οδηγούς στον πυρήνα του λειτουργικού που θα εκτελεστεί στην εικονική μηχανή. Η ανάγκη για ένα κοινό πρότυπο paravirtualized οδηγών συσκευών οδήγησε στο VirtIO[1].

Το VirtIO ορίζει ένα αφαιρετικό επίπεδο μέσω του οποίου ο backend οδηγός επικοινωνεί με τον frontend μέσω της ανταλλαγής κατάλληλων buffer δεδομένων. Πιό συγκεκριμένα, στο [1] ορίζεται η δομή Virtqueue η οποία προδιαγράφει μία ουρά στην οποία ο frontend οδηγός τοποθετεί buffers για επεξεργασία, τους οποίους λαμβάνει ο backend οδηγός και απαντάει επίσης με προσθήκη κατάλληλων δεδομένων στην Virtqueue.

Οι λειτουργίες που πρέπει να υποστηρίζει κάθε υλοποίηση Virtqueue από τη μεριά του frontend οδηγού είναι:

- Προσθήκη buffer στην ουρά.
- Ενημέρωση του backend οδηγού για νέο buffer.
- Παραλαβή buffer από την ουρά.
- Ενεργοποίηση/απενεργοποίηση των ενημερώσεων για παραλαβή απάντησης από τον backend οδηγό.

[1] Από εδώ και στο εξής θα αναφερόμαστε σε αυτό ως hypervisor.

Το virtio_ring αποτελεί ένα πρωτόκολλο μεταφοράς για το πρότυπο VirtIO, η υλοποίηση του οποίου υπάρχει ενσωματωμένη στον πυρήνα του linux, αλλά και στον κώδικα του QEMU. Οι λεπτομέρειες υλοποίησης αναλύονται στο [1]. Παραδείγματα έτοιμων VirtIO οδηγών για συσκευές μπλοκ και δικτύου που χρησιμοποιούν το virtio_ring αποτελούν οι `virtio_blk` και `virtio_net`. Επίσης, υπάρχει ο οδηγός `virtio_console` για τη δημιουργία σειριακών θυρών για μεταφορά δεδομένων μεταξύ του host και των εικονινών μηχανών. Τέλος, ο οδηγός `virtio_balloon` επιτρέπει την δυναμική αυξομείωση της μνήμης που χρησιμοποιείται από κάποια εικονική μηχανή. Οι παραπάνω οδηγοί έχουν ενσωματωθεί στον κώδικα του πυρήνα του Linux οπότε μπορείτε να τους εξερευνήσετε μέσω του γνωστού εργαλείου LXR.

Η διεπαφή που προσφέρεται από το virtio_ring στον πυρήνα του linux και θα χρησιμοποιήσετε είναι οι παρακάτω συναρτήσεις:

- `int virtqueue_add_buf(struct virtqueue *vq, struct scatterlist sg[], unsigned int out_num,unsigned int in_num,void *data);`
  Προσθέτει δεδομένα στην VirtQueue χρησιμοποιώντας λίστες scatter-gather οι οποίες χρησιμοποιούνται στον πυρήνα του linux για DMA μεταφορές δεδομένων από συσκευές I/O.
- `void virtqueue_kick(struct virtqueue *vq);`
  Ενημερώνει τον Host για την προσθήκη δεδομένων στην VirtQueue.
- `void *virtqueue_get_buf(struct virtqueue *vq, unsigned int *len) ;`
  Επιστρέφει έναν απομονωτή από την VirtQueue. Επιστρέφει μόνο απομονωτές τους οποίους έχει επεξεργασθεί προηγουμένως το backend μέρος του οδηγού.

Η υλοποίηση των παραπάνω συναρτήσεων, είναι διαθέσιμη στο αρχείο `drivers/virtio/virtio_ring.c` στον πηγαίο κώδικα του linux.

Όσον αφορά το QEMU και το backend μέρος του οδηγού σας η διεπαφή του virtio_ring αποτελείται από τις παρακάτω συναρτήσεις:

- `void virtqueue_push(VirtQueue *vq, const VirtQueueElement *elem, unsigned int len) ;`
  Προσθήκη ενός στοιχείου στην VirtQueue.
- `void virtio_notify(VirtIODevice *vdev, VirtQueue *vq);`
  Ενημέρωση του frontend μέρους, μέσω interrupt.
- `int virtqueue_pop(VirtQueue *vq, VirtQueueElement *elem);`
  Λήψη δεδομένων από την VirtQueue.

7 Προσθήκη εικονικής συσκευής στο QEMU

Σε αυτήν την ενότητα θα δούμε πως μπορούμε να δημιουργήσουμε μία νέα εικονική συσκευή από την πλευρά του QEMU. Επίσης θα δούμε πως μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον έτοιμο κώδικα στο QEMU για την προσθήκη της δικής σας virtio συσκευής η οποία θα φαίνεται στην εικονική μηχανή σαν μία συσκευή PCI.

7.1 Το μοντέλο συσκευών του QEMU

Όπως έχουμε αναφέρει, το υλικό των εικονικών μηχανών που τρέχουν μέσω του QEMU δεν είναι πραγματικό αλλά προσομοιώνεται μέσω λογισμικού. Το QEMU έχει ένα σύνολο από προκαθορισμένες συσκευές οι οποίες προσαρτώνται σε κάθε εικονική μηχανή που εκτελείται. Επιπλέον συσκευές μπορούν να προστεθούν μέσω ορισμάτων στην γραμμή εντολών. Πιο συγκεκριμένα με το όρισμα `-device`. Για παράδειγμα η παρακάτω εντολή

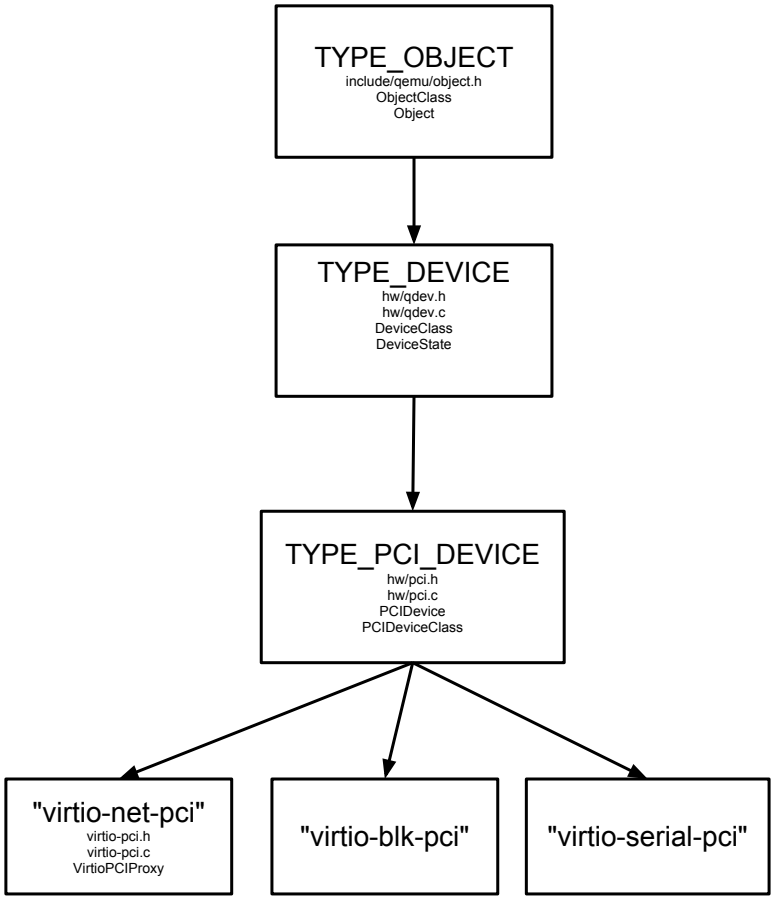
```
user@host-machine:~/utopia$ <qemu executable and other options>
> -chardev socket,id=sensors0,host=cerberus.cslab.ece.ntua.gr,port=49152,ipv4
> -device isa-serial,chardev=sensors0,id=serial0
```

θα προσθέσει στην εικονική μηχανή μία σειριακή θύρα (`/dev/ttyS0`) η οποία θα είναι συνδεδεμένη μέσω socket με την θύρα 49152 του cerberus. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο βλέπατε τους αισθητήρες στην εικονική μηχανή σας στην πρώτη εργαστηριακή άσκηση.

Ο κώδικας του QEMU παρόλο που έχει γραφτεί σε `C` ακολουθεί αντικειμενοστραφή λογική, όπως και ο κώδικας του πυρήνα του Linux. Κάθε συσκευή αποτελείται από δύο δομές, η μία προσδιορίζει στοιχεία σχετικά με την κλάση της ενώ η άλλη στοιχεία που αφορούν την κατάσταση ενός αντικειμένου σε μία συγκεκριμένη φάση εκτέλεσης της εικονικής μηχανής.

Η ιεραχία που ακολουθείται στο μοντέλο συσκευών του QEMU φαίνεται στο σχήμα 2. Μαζί με το όνομα του τύπου της συσκευή σε κάθε τετράγωνο αναφέρονται οι δύο δομές με τις οποίες αναπαρίσταται ο τύπος στον κώδικα του QEMU καθώς και το αρχείο στο οποίο ορίζονται. Ο γενικότερος τύπος αντικειμένου είναι ο `TYPE_OBJECT` και ο γενικότερος τύπος συσκευής ο `TYPE_DEVICE`. Όλες οι υπόλοιπες συσκευές είναι υποκλάσεις της. Ο τύπος `TYPE_PCI_DEVICE` αντιπροσωπεύει όλες τις `PCI` συσκευές.

Εξίσου σημαντικό κομμάτι του μοντέλου συσκευών είναι οι δίαυλοι (busses). Η δεντρική δομή που ακολουθείται όσον αφορά τη δημιουργία των διάυλων φαίνεται στο σχήμα 3. Κάθε συσκευή συνδέεται σε κάποιον δίαυλο του συστήματος, για παράδειγμα όλες οι `PCI` συσκευές συνδέονται σε έναν δίαυλο τύπου `TYPE_PCI_BUS`.

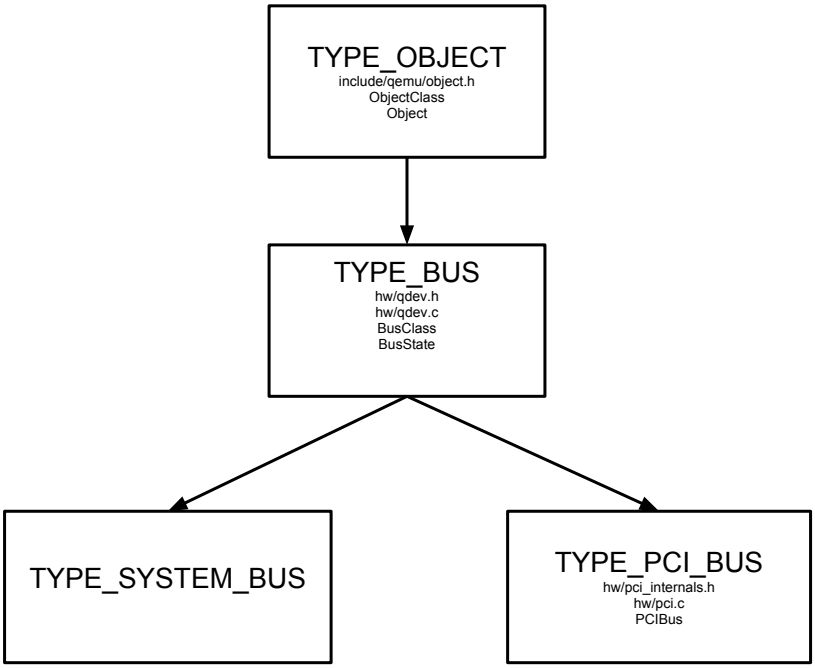


Σχήμα 2: Η ιεραρχία τύπων συσκευών στο μοντέλο του QEMU.

7.2 Προσθήκη νέας εικονικής συσκευής

Κάθε νέα συσκευή που δημιουργείται δηλώνεται μέσω της μακροεντολής `type_init` η οποία ορίζεται στο `<module.h>`. Η μακροεντολή παίρνει σαν όρισμα έναν δείκτη σε συνάρτηση `void (*fn)(void)`, μέσα στην οποία καλείται η `type_register_static`. Η τελευταία παίρνει σαν όρισμα μία δομή τύπου `TypeInfo` (`<include/qemu/object.h>`) που περιλαμβάνει τα εξής πεδία:

- char ***name**;
  Το όνομα του νέου τύπου. Αντιστοιχεί στο όρισμα `-device` που δίνεται στο



Σχήμα 3:

QEMU για την προσθήκη της συσκευής στην εικονική μηχανή.

- char ***parent**;
  Ο πρόγονος αυτού του τύπου. Ο νέος τύπος κληρονομεί όλα τα πεδία του προγόνου του. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως όλες οι συσκευές είναι απόγονοι του τύπου `TYPE_DEVICE`.

- size_t **instance_size**;
  Το μέγεθος της δομής με την οποία αναπαρίσταται η κατάσταση μίας συσκευής του συγκεκριμένου τύπου.

- void (***class_init**)(ObjectClass *klass, void *data);
  Η συνάρτηση που καλείται κατά την αρχικοποίηση του τύπου συσκευής. Όταν κληθεί αυτή η συνάρτηση από το QEMU, όλοι οι τύποι συσκευών που είναι πρόγονοι του συγκεκριμένου τύπου έχουν αρχικοποιηθεί, οπότε εδώ μπορούμε να να παρακάμψουμε (override) όποιες συναρτήσεις θέλουμε.

7.3 Προσθήκη συσκευής virtio-crypto-pci

Στο αρχείο `hw/virtio-pci.c` ορίζονται οι συσκευές `virtio-net-pci`, `virtio-blk-pci`, `virtio-serial-pci`, `virtio-balloon-pci` και `virtio-serial-pci`. Όλες αυτές οι συσκευές είναι συσκευές PCI, δηλαδή είναι συσκευές που συνδέονται σε ένα δίαυλο PCI. Την ίδια διαδικασία χρησιμοποιούμε για να ορίσουμε τη νέα συσκευή `virtio-crypto-pci`. Συγκεκριμένα, παρέχεται η δομή `VirtIOPCIProxy` η οποία αναλαμβάνει να συνδέσει μία συσκευή virtio με τον δίαυλο PCI του συστήματος.

Η δομή `VirtIOCrypto` που ορίζεται στο αρχείο `virtio-crypto.c` του βοηθητικού κώδικα είναι η δομή που αναπαριστά τη συσκευή σας από τη μεριά του QEMU. Η αρχικοποίηση της γίνεται στη συνάρτηση `virtio_crypto_init` Με τη συνάρτηση `virtio_common_init` δημιουργείται μία virtio συσκευή. Η συνάρτηση `virtio_add_queue(struct VirtIODevice *vdev, int queue_size, void (*handle_output)(VirtIODevice *, VirtQueue *));` που ορίζεται στο `hw/virtio.h` δημιουργεί μία virtqueue και την προσθέτει στη λίστα με τις virtqueues της συσκευής `vdev`. Η συνάρτηση `handle_output` είναι η συνάρτηση που καλείται όταν ο frontend οδηγός έχει προσθέσει ένα buffer στην ουρά.

8 Frontend Driver - Πυρήνας Guest

Από την πρώτη άσκηση έχετε αποκτήσει μία εμπειρία σχετικά με την προσθήκη οδηγών συσκευών στον πυρήνα του Linux. Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσετε για την προσθήκη του frontend οδηγού δε διαφέρει πολύ από τα βήματα που εκτελέσατε για την προσθήκη του οδηγού για τους αισθητήρες της πρώτης εργαστηριακής άσκησης.

Για την εισαγωγή ενός VirtIO οδηγού στον πυρήνα του Linux απαιτείται μία κλήση της συνάρτησης `register_virtio_driver(struct virtio_driver *)`. Η δομή `virtio_driver` περιέχει τα εξής πεδία που πρέπει να αρχικοποιηθούν:

- `unsigned int feature_table[];`
  Σε αυτόν τον πίνακα ορίζονται διάφοροι παράμετροι που καθορίζουν λειτουργίες που υποστηρίζει ο οδηγός. Αντίστοιχος πίνακας πρέπει να ορίζεται και στον backend οδηγό ώστε να υπάρχει συγχρονισμός ως προς τα είδη των λειτουργιών που παρέχονται από μία συσκευή. Η συσκευή σας δεν έχει ανάγκη από κάποιο χαρακτηριστικό οπότε ο πίνακας αυτός δε θα περιέχει τίποτα.

- `struct virtio_device_id id_table[];`
  Εδώ καθορίζουμε τις συσκευές τις οποίες υποστηρίζει ο οδηγός μας. Ο πίνακας αποτελείται από ζεύγη αναγνωριστικών συσκευών και αναγνωριστικών

κατασκευαστών. Οι αριθμοί αυτοί πρέπει να είναι σε αντιστοιχία με τα αναγνωριστικά των συσκευών που δίνουμε από την μεριά του QEMU.

- `int (*probe)(struct virtio_device *);`
  Αυτή είναι η συνάρτηση που θα κληθεί από τον πυρήνα του Linux μόλις εντοπιστεί μία συσκευή της οποίας το αναγνωριστικό υπάρχει στον πίνακα `id_table`. Μέσα στη συνάρτηση αυτή θα πρέπει να αρχικοποιήσουμε όλα τα απαραίτητα πεδία για τη συσκευή μας. Για παράδειγμα πρέπει να βρείτε τα virtqueues μέσω των οποίων θα επικοινωνήσετε με τον backend οδηγό.

- `void (*remove)(struct virtio_device *);`
  Η συνάρτηση αυτή καλείται όταν η συσκευή αποσυνδέεται από το σύστημα.

Αναφορές

[1] Rusty Russell, *virtio: towards a de-facto standard for virtual I/O devices*. SIGOPS Oper. Syst. Rev., 2008.

[2] *Linux Device Drivers*, Jonathan Corbet, Alessandro Rubin, Greg Kroah-Hartman, O'Reilly Media, 3rd Edition, 2005, http://lwn.net/Kernel/LDD3/