Kernelid

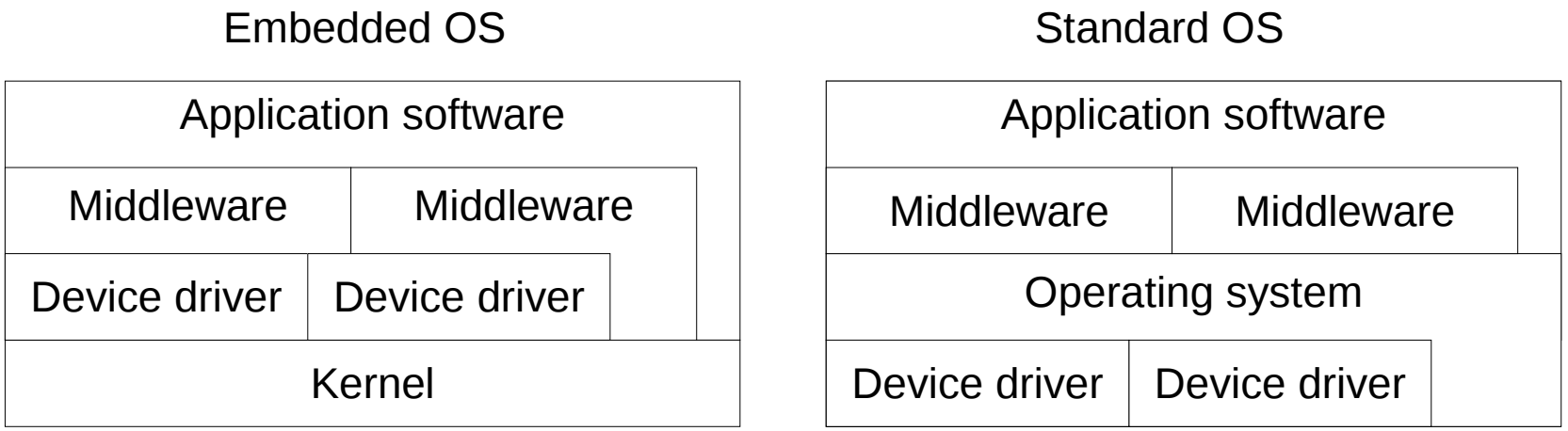
Erkki Moorits
Cybernetica AS, Navigatsioonisüsteemide osakond

Teemad

- „Tavalised“ ja real-time kernelid
- Draiverid
- Energia säästmine kontrolleril

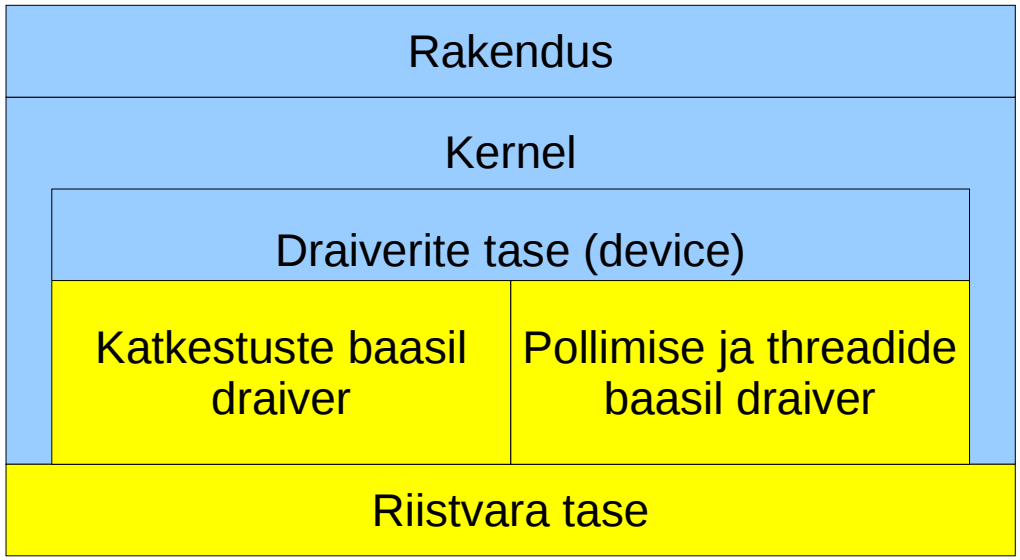
Sard OS'i ülesehitus

- Mitu lähenemisviisi
  - Kernel koos draiveritega
  - Kernel ilma draiveriteta – kasutaja peab ise draiverid kirjutama
  - „Tavaline“ kernel RT kerneli peal



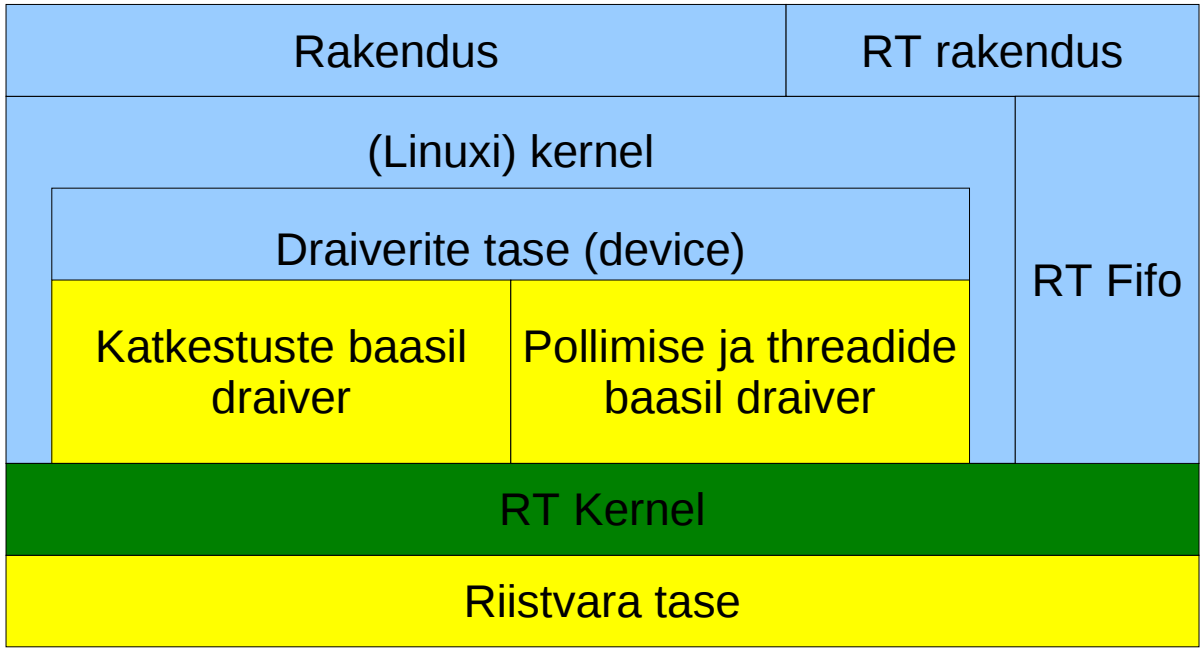
Standartne kernel koos rakendusega

- Rakendusel ei ole võimalik otse riistvaraga suhelda
  - Riistvaraga suhtlemine on kerneli privileeg
- Reeglina ei ole mõeldud real-time rakenduste jaoks
  - Võib oma ülesandeid täita erineva kiirusega



Real-time kernel koos rakendusega

- RT kernel tegeleb otse riistvara juhtimisega ja ühtlasi tagab ka RT rakendustele kiire täitmise
- RT rakendustel on võimalik suhteliselt lihtsalt riistvaraga suhelda



Real-time kernel vs „tavaline“ kernel

- RT kernel (hard real-time)
  - Võimaldab kiiresti reageerida välistele signaalidele
  - Rakendustel määratletud deadline'd
  - Reageerimise ajad mikrosekundi kandis
  - Miinuseks on suurem keerukus või kõrge hind
- „Tavaline“ kernel (soft real-time)
  - Oluliselt suurem arv rakendusi kui RT kernelile
  - Palju kasutajaid
  - Parem riistvara tugi
  - Reageerimise ajad millisekundi kandis (õigemini mõnest millisekundist mõnesajani)
  - Tunduvalt odavam, kuid võib tahta rohkem ressurssi

... kuid reaalselt

- Soft-realtime kernelid on piisavalt head enamustele toodetele
  - Soft-realtime ei sobi paljudel juhtudel meditsiinis, lennunduses, autodes, robotites
- Kui just pole tegemist mingite väga kiirete sündmustega ei ole RT kerneli väga suuri eeliseid tavalise kerneli ees

- Draiverite tasemel on võimalik teha soft-realtime kerneliga realtime rakendusi
- 8 bitiste kontrolleritega pole eriti keerukas teha hard-realtime süsteemi

Sardsüsteemides levinumad kernelid

- NutOS
- FreeRTOS
- Contiki
- eCos
- Linux

NutOS

- AVR, AVR32, ARM, H8300h ja m68k mikrokontrolleritele/protsessoritele
- Cooperative kernel
- Kerneliga kaasas draiverid
- Determineeritud katkestute latentsused
  - Ei kehti mitme samaaegse katkestuse korral
  - Draiverite tasemel võimaldab väga hästi teha hard real-time rakendust
- Kerneliga kaasas üpris palju lisaprogramme, näidiseid ja teeke
- Arendatakse spetsiaalse riistvara jaoks

FreeRTOS

- 23 erinevale arhitektuurile (AVR, AVR32, MSP430, PIC, ARM.. jne)
- Cooperative või preemptive kernel
- Draiverid näidisprogrammidega kaasas, kuid kernelil endal pole draivereid
- Portimine on üpriski lihtne
- Paralleelselt arendatakse ka OpenRTOS'i (ilma GNU litsentsita) ja SafeRTOS'i (IEC 61508 sertifitseeritud)
- Arendatakse üldise riistvara jaoks, st. arendajad ise ei tooda riistvara

Contiki

- Peamiselt väikestele kontrolleritle (AVR, MSP430)
  - Üks vähesema mälunõudlusega kernel
- Kasutab peamiselt protothreads'e kuid võimalik kasutada preemptive threade
- Palju draivereid on kerneliga kaasas
- Kasutatakse väga palju ülikoolide juures uurimistööde läbiviimisel (peamiselt smart dust)
  - Contiki on see kernel kust on võetud väga paljude teistele väikestele kernelitele võrgu stacki

eCos

- Võimsamatele mikrokontrolleritele/protsessoritele
  - ARM, CalmRISC, FR-V, FR30, H8, IA32, 68K/ColdFire, Matsushita AM3x, MIPS, NEC V8xx, PowerPC, SPARC, SuperH
- Võimalik kasutada mitmeid erinevaid *schedulere*
- Draiverid on kerneliga kaasas
- Hea kasutada seal kus Linuxit ei saa kasutada
- Arendatakse üldise riistvara jaoks

Linux

- Pordid olemas praktiliselt kõikidele võimsamatele protsessoritele
- Standartselt kaasas üpris hea scheduler
- Võimalik kasutada real-time kerneli lisasid
- Draiverid kerneliga kaasas
- Problemaatiline kasutada väikese energiatarbega süsteemides

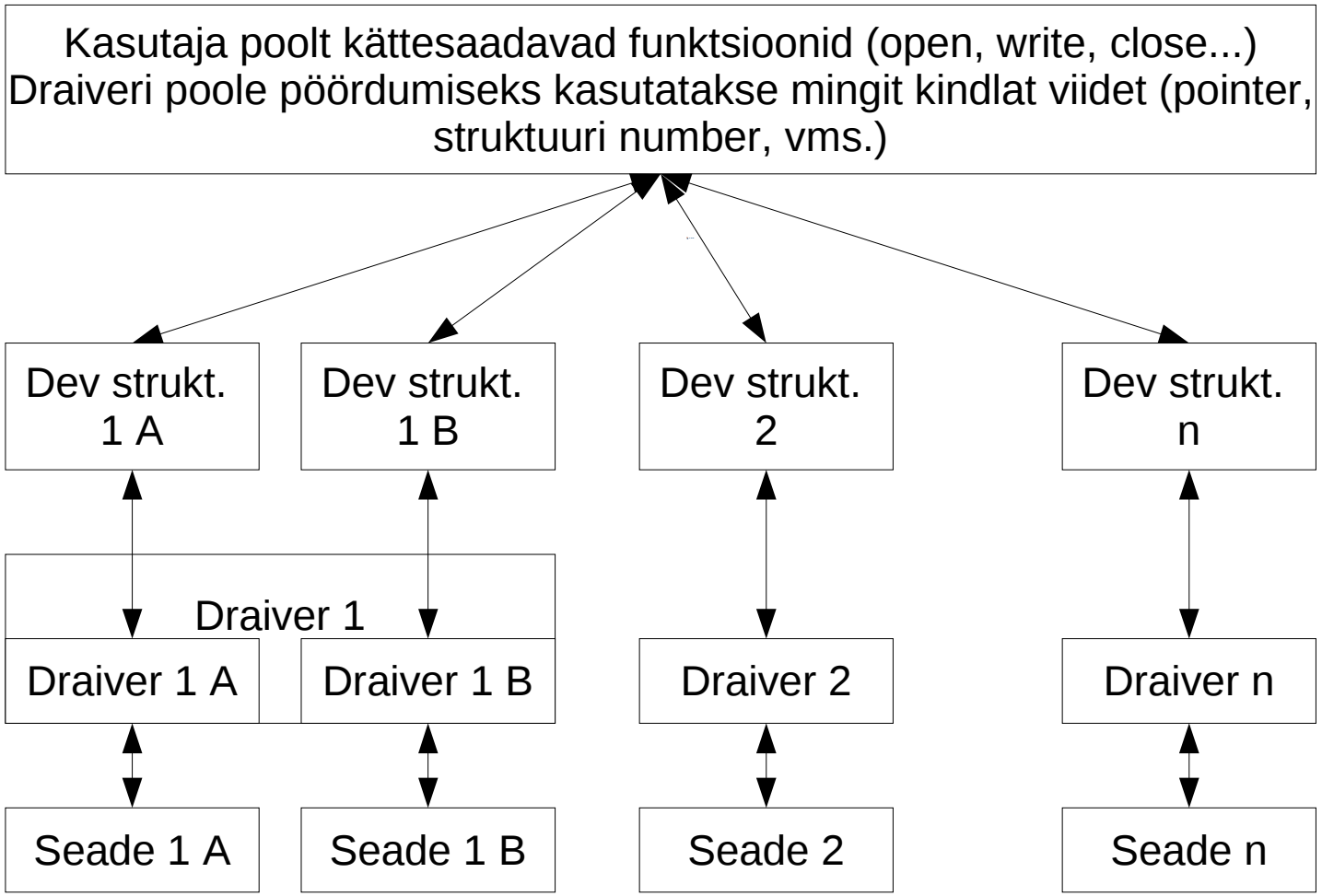
Kernelid üldiselt

- Kerneleid saab üldiselt jaotada ressurssi nõudluse järgi kolme gruppi:
  - 8/16 bitiste kontrollerite kernelid
  - Väiksemate 32 bitiste kontrollerite kernelid, mis on üldiselt ilma MMU'ta ja vähese mäluga
  - Protsessorite millel on MMU, palju mälu ning ei pea eriti energiat kokku hoidma
- Arenduses on alati parem kasutada kernelit, millel on rohkem draivereid ja lisaprogramme kaasas
  - Tihtipeale läheb kerneli portimine ühelt arhitektuurilt teisele tunduvalt lihtsamini kui teisele kernelile näiteks võrgu stacki külge panek

Draiverid

- Draiverid on need kerneli osad mille ülesanneteks on ainult riistvaraga suhtlemine
  - Kuna draiverite funktsioone kutsutakse tihtipeale väga palju välja siis peaksid draiverid olema kirjutatud nii, et nad võtaksid võimalikult vähe ressurssi

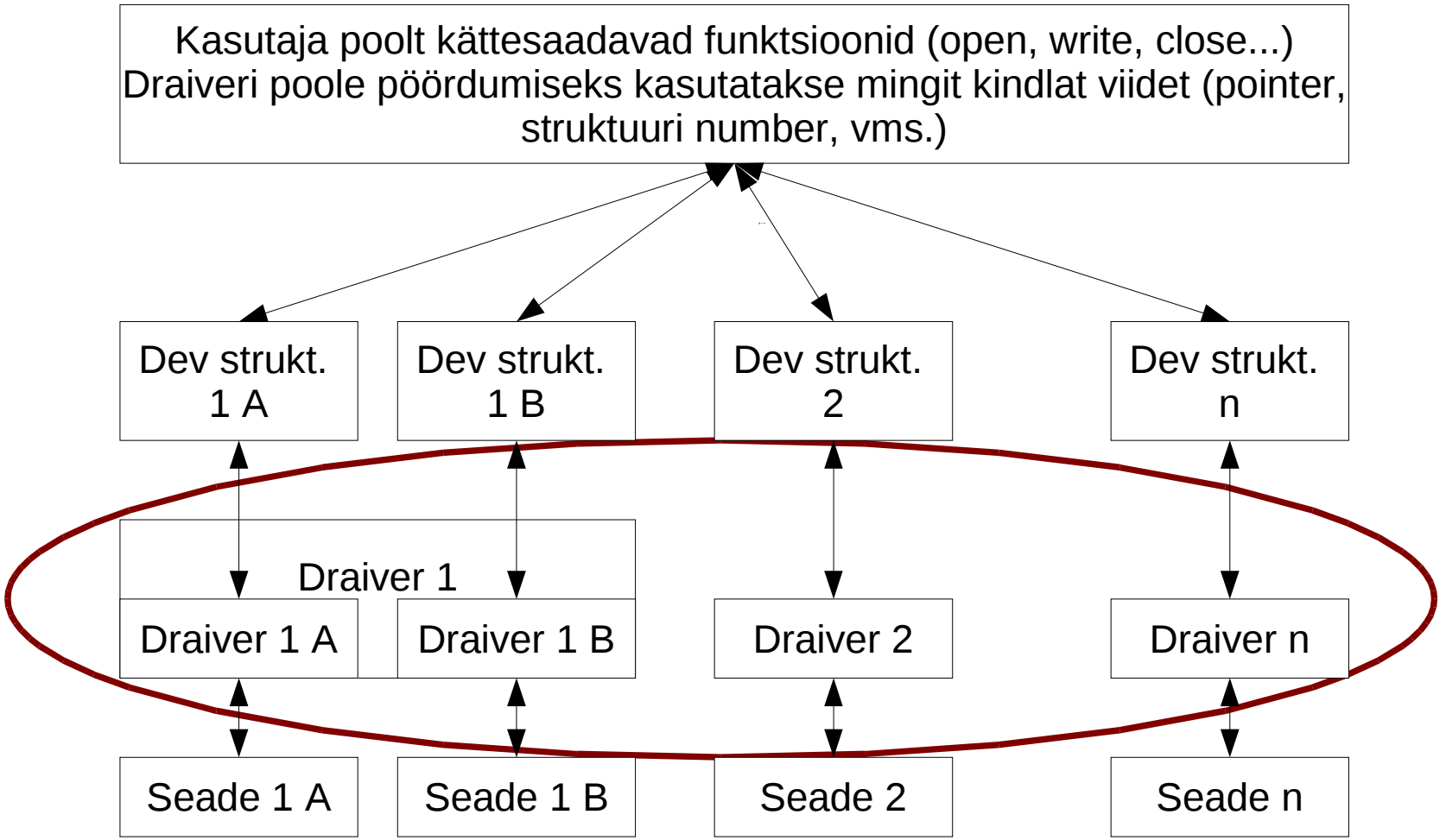
Tüüpiline suhtlus draiveriga



NutOS'i baasil draiveri näide

- Järgnevatel slaidide on toodud NutOS'i baasil usart draiveri näide. Näites ei ole täielikku koodi välja toodud vaid on toodud olulised koodilõigud

Riistvara lähedased funktsioonid



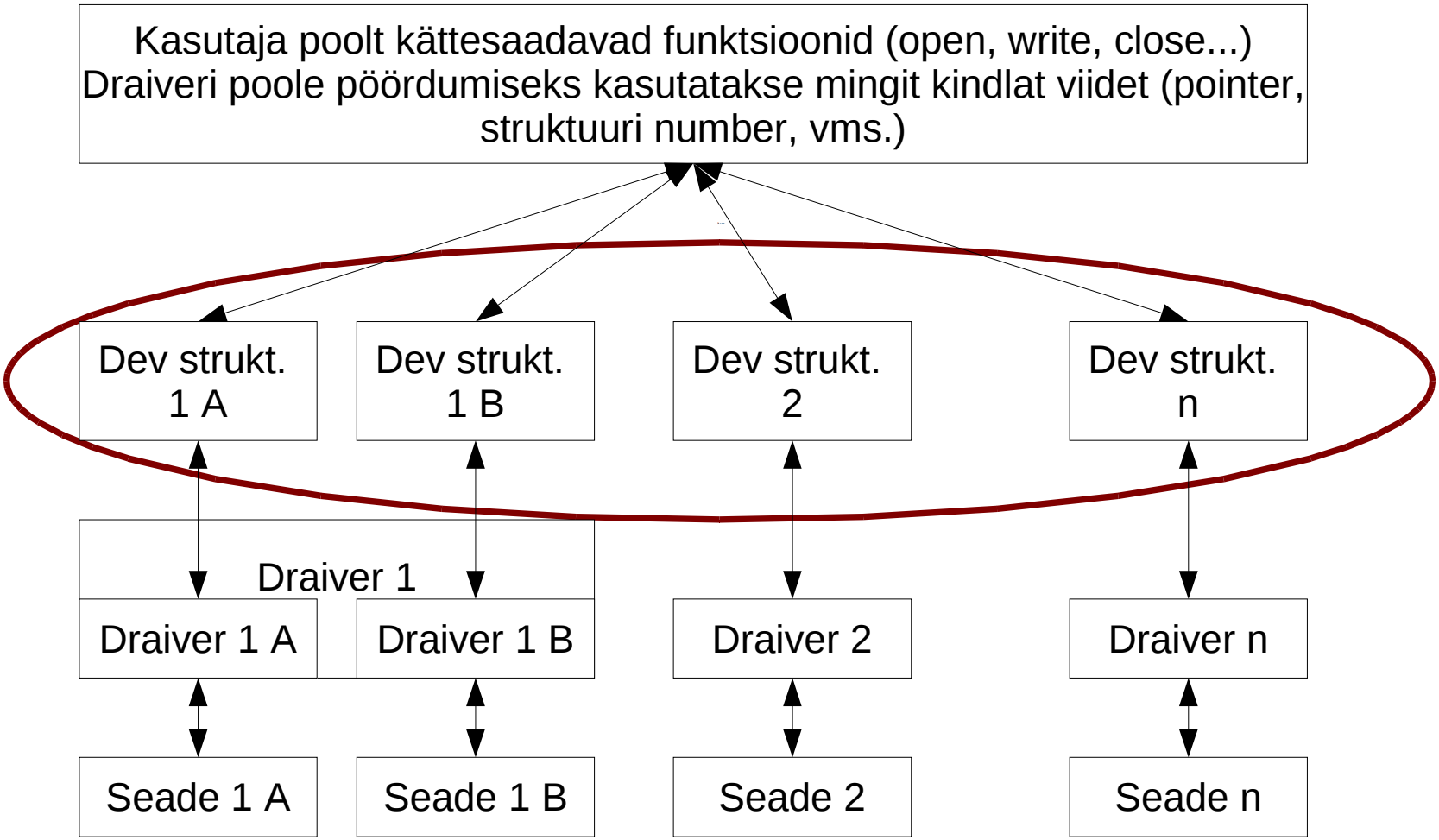
Riistvara lähedased draiveri funktsioonid

- Riistvara lähedased funktsioonid paigutatakse kõik DCB struktuuri (*device control block structure*)
  - Siia alla kuuluvad kõiksugused riistvara seadistamised ja portidest lugemised/kirjutamised.
  - DCB struktuuri puhul on tegemist kaudsete funktsioonide struktuuridega

DCB

```
static USARTDCB dcb_usart0 = {
    0,                          /* dcb_modeflags */
    0,                          /* dcb_statusflags */
    0,                          /* dcb_rtimeout */
    0,                          /* dcb_wtimeout */
    {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},   /* dcb_tx_rbf */
    {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},   /* dcb_rx_rbf */
    0,                          /* dbc_last_eol */
    AvrUsartInit,               /* dcb_init */
    AvrUsartDeinit,             /* dcb_deinit */
    AvrUsartTxStart,            /* dcb_tx_start */
    AvrUsartRxStart,            /* dcb_rx_start */
    AvrUsartSetFlowControl,     /* dcb_set_flow_control */
    AvrUsartGetFlowControl,     /* dcb_get_flow_control */
    AvrUsartSetSpeed,           /* dcb_set_speed */
    AvrUsartGetSpeed,           /* dcb_get_speed */
    AvrUsartSetDataBits,        /* dcb_set_data_bits */
    AvrUsartGetDataBits,        /* dcb_get_data_bits */
    AvrUsartSetParity,          /* dcb_set_parity */
    AvrUsartGetParity,          /* dcb_get_parity */
    AvrUsartSetStopBits,        /* dcb_set_stop_bits */
    AvrUsartGetStopBits,        /* dcb_get_stop_bits */
    AvrUsartSetStatus,          /* dcb_set_status */
    AvrUsartGetStatus,          /* dcb_get_status */
    AvrUsartSetClockMode,       /* dcb_set_clock_mode */
    AvrUsartGetClockMode,       /* dcb_get_clock_mode */
};
```

Riistvaralähedaste fun. ja kasutaja vahelised funktsioonid



Device struktuur

- Device struktuur on vahelüli kasutaja funktsioonide ja riistvara lähedaste funktsioonide vahel
- Iga draiver hoiab oma kirjutamise, lugemise ja IO juhtimise funktsioone globaalses Device struktuuris. Linuxi all hoitakse sarnaselt *char device*'i funktsioone analoogne struktuuris `file_operations`

Device struktuur

```
struct _NUTDEVICE {
    NUTDEVICE *dev_next;
    char dev_name[9];
    uint8_t dev_type;
    uintptr_t dev_base;
    uint8_t dev_irq;
    void *dev_icb;
    void *dev_dcb;
    int (*dev_init) (NUTDEVICE *);
    int (*dev_ioctl) (NUTDEVICE *, int, void *);
    int (*dev_read) (NUTFILE *, void *, int);
    int (*dev_write) (NUTFILE *, CONST void *, int);
#ifdef __HARVARD_ARCH__
    int (*dev_write_P) (NUTFILE *, PGM_P, int);
#endif
    NUTFILE * (*dev_open) (NUTDEVICE *, CONST char *, int, int);
    int (*dev_close) (NUTFILE *);
    long (*dev_size) (NUTFILE *);
};
```

Device struktuur

```
NUTDEVICE devUsartAvr0 = {
    0,                          /* Pointer to next device, dev_next. */
    {'u', 'a', 'r', 't', '0', 0, 0, 0, 0},    /* Unique device name, dev_name. */
    IFTYP_CHAR,                 /* Type of device, dev_type. */
    0,                          /* Base address, dev_base (not used). */
    0,                          /* First interrupt number, dev_irq (not used). */
    0,                          /* Interface control block, dev_icb (not used). */
    &dcb_usart0,                /* Driver control block, dev_dcb. */
    UsartInit,                  /* Driver initialization routine, dev_init. */
    UsartIOCtl,                 /* Driver specific control function, dev_ioctl. */
    UsartRead,                  /* Read from device, dev_read. */
    UsartWrite,                 /* Write to device, dev_write. */
    UsartWrite_P,               /* Write data from program space to device, dev_write_P. */
    UsartOpen,                  /* Open a device or file, dev_open. */
    UsartClose,                 /* Close a device or file, dev_close. */
    UsartSize                   /* Request file size, dev_size. */
};
```

Draiveri kõrgemataseme lised funktsioonid

```
int UsartInit(NUTDEVICE * dev)
{
    int rc;
    USARTDCB *dcb = dev->dev_dcb;

    /* Initialize the low level hardware
     * driver. */
    if ((rc = (*dcb->dcb_init) ()) == 0) {
        /* Ignore errors on initial
         * configuration. */
        (*dcb->dcb_set_speed)(USART_INITSPEED);
    }
    return rc;
}

/*************************************/

int UsartRead(NUTFILE * fp, void *buffer,
              int size)
{
    NUTDEVICE *dev = fp->nf_dev;
    USARTDCB *dcb = dev->dev_dcb;
    RINGBUF *rbf = &dcb->dcb_rx_rbf;

    /*  seadmest lugemise funktsioonid */
};
```

- Device struktuuri liikmed viitavad vastavate draiveri kõrgemataseme liste funktsioonidele
- Draiveri kõrgemataseme lised funktsioonid võivad olla ühised mitmele madalmataseme lisele draiveri funktsioonile

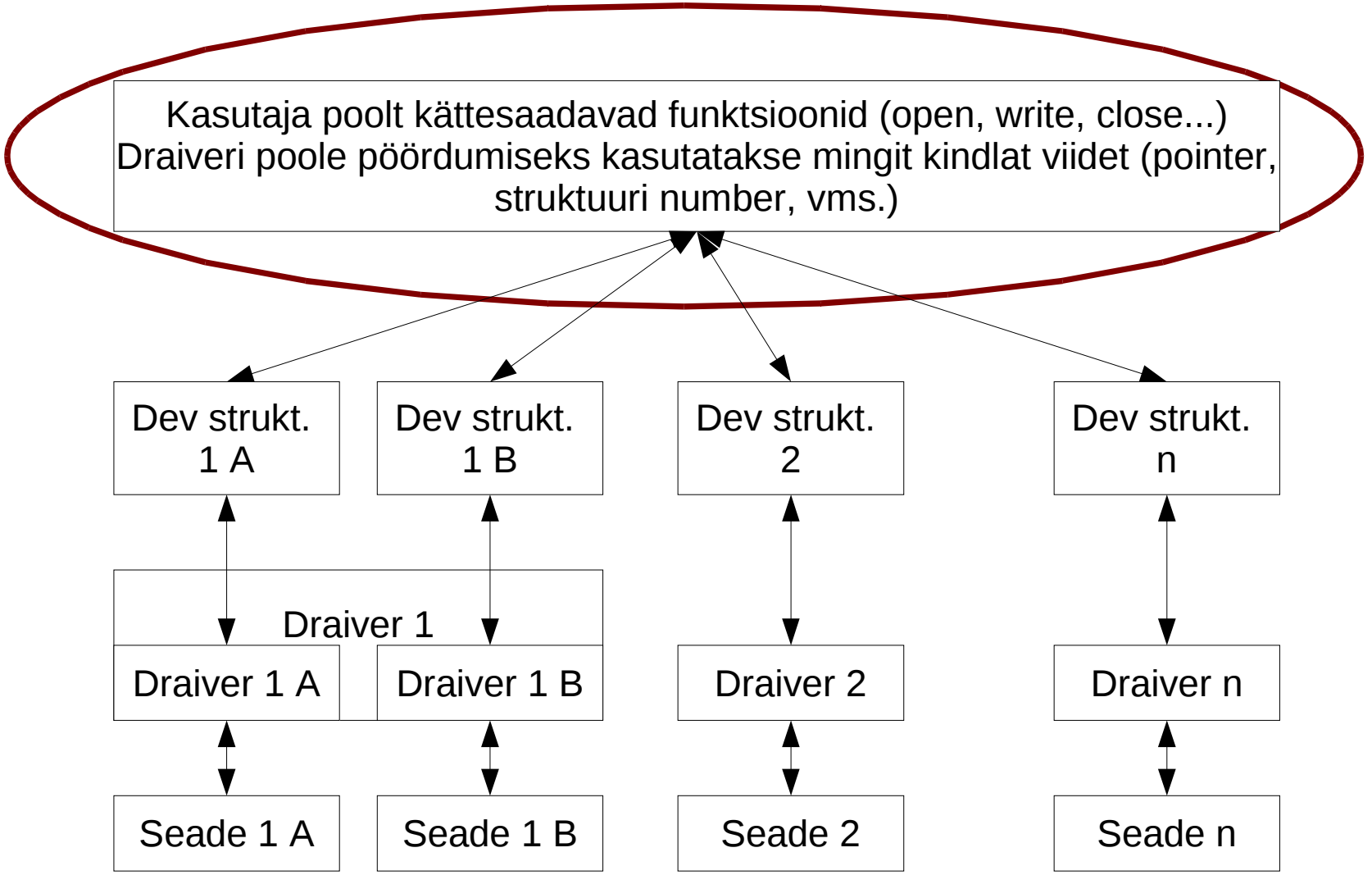
Draiveri kõrgemataseme lised funktsioonid

- Draiveri kõrgemataseme liste funktsioonide kasutamine annab järgmisi eeliseid:
  - Nendega hoiab mälu kokku
  - Kuna draiveri kõrgemataseme lised funktsioonid peavad olema porditavad, siis peab vähem riistvaraliste funktsioonide kirjutamistel programmi kirjutama

Linuxi file_operations struktuur

```
struct file_operations {
    struct module *owner;
    loff_t (*llseek) (struct file *, loff_t, int);
    ssize_t (*read) (struct file *, char __user *, size_t, loff_t *);
    ssize_t (*write) (struct file *, const char __user *, size_t, loff_t *);
    ssize_t (*aio_read) (struct kiocb *, const struct iovec *, unsigned long, loff_t);
    ssize_t (*aio_write) (struct kiocb *, const struct iovec *, unsigned long, loff_t);
    int (*readdir) (struct file *, void *, filldir_t);
    unsigned int (*poll) (struct file *, struct poll_table_struct *);
    int (*ioctl) (struct inode *, struct file *, unsigned int, unsigned long);
    long (*unlocked_ioctl) (struct file *, unsigned int, unsigned long);
    long (*compat_ioctl) (struct file *, unsigned int, unsigned long);
    int (*mmap) (struct file *, struct vm_area_struct *);
    int (*open) (struct inode *, struct file *);
    int (*flush) (struct file *, fl_owner_t id);
    int (*release) (struct inode *, struct file *);
    int (*fsync) (struct file *, struct dentry *, int datasync);
    int (*aio_fsync) (struct kiocb *, int datasync);
    int (*fasync) (int, struct file *, int);
    int (*lock) (struct file *, int, struct file_lock *);
    ssize_t (*sendpage) (struct file *, struct page *, int, size_t, loff_t *, int);
    unsigned long (*get_unmapped_area)(struct file *, unsigned long, unsigned long,
                  unsigned long, unsigned long);
    int (*check_flags)(int);
    int (*flock) (struct file *, int, struct file_lock *);
    ssize_t (*splice_write)(struct pipe_inode_info *, struct file *, loff_t *, size_t,
             unsigned int);
    ssize_t (*splice_read)(struct file *, loff_t *, struct pipe_inode_info *, size_t,
             unsigned int);
    int (*setlease)(struct file *, long, struct file_lock **);
};
```

Kasutajale kättesaadavad funktsioonid



Rakendusele kättesaadavad funktsioonid

```
int _read(int fd, void *buffer,
          unsigned int count)
{
    NUTFILE *fp = (NUTFILE *) ((uintptr_t) fd);
    NUTDEVICE *dev;

    NUTASSERT(fp != NULL);
    dev = fp->nf_dev;
    if (dev == 0) {
        NUTVIRTUALDEVICE *vdv =
                        (NUTVIRTUALDEVICE *) fp;
        return (*vdv->vdv_read)
                            (fp, buffer, count);
    }
    return (*dev->dev_read) (fp, buffer, count);
}
```

- Rakendus saab kasutada device struktuuri kaudu vastavaid draiverite funktsioone
- Rakendusele kättesaadavad funktsioonid võivad olla mitmetele draiveritele ühised

Energia säästmine kontrolleril

- Energia säästmine tööajal
  - Madala kontrolleri taktiga
  - „Kergete“ progarmeerimiskeeltega
  - Kontrolleri madala energia tarbega režiimiga
  - Operatsioonisüsteemi vastava režiimiga

Kontrolleri takt

- Kontrolleri takt ja energiatarve on omavahel lineaarses sõltuvuses
  - Tavaliselt antakse kas voolutarve/MHz'le või voolutarve/MIPS'le. Näiteks MSP430F551X on 200uA/MIPS, kuid AT32UC3 on 300uA/MHz
- Madala energiatarbe saavutamiseks võib tuua kontrolleri takti võimalikult madalaks
  - Takti võimalikult madalaks toomine toimib hästi ainult lihtsate programmidega – keerukamad ei pruugi kõikide katkestustega toime tulla

Energia sääst ja programmerimiskeeled

- Interpreteeritavad keeled (Java) ja ka mõningatel juhtudel „turvalised“ keeled (Ada) nõuavad töötamiseks rohkem energiat
  - Mida pikemalt kontroller on aktiivses režiimis seda rohkem ta energiat kulutab
- Kõrgematasemelised keeled (Java) ei suhtle ise riistvaraga ja seetõttu peab kernel protsessori režiimidega tegelema
  - Java puhul saaks riistvaraga suhtlemise küll JNI'ga teha

Mikrokontrolleri madala energia tarbega režiimid

- Enamustel mikrokontrolleritel on võimalik kasutada madala energiatarbega režiime
  - Näiteks 8 bitisel AVR mikrokontrolleril on kuus erinevat sleep režiimi, 16 bitisel MSP430 mikrokontrolleril on viis kuni seitse erinevat sleep režiimi
- Mikrokontrolleril on võimalik lülitada mittekasutatavad liidesed välja
  - Liideste välja lülitamine ei anna väga suurt energia kokkuhoidu, tavaliselt hoiab nii kokku kuni 20%

Operatsioonisüsteemide valmisolek

- Enamus kerneleid ei tegele pidevalt energia säästu režiimide kontrollimise ja vahetamisega
  - Selliseid lahendusi kernelis on suhteliselt keerukas teha
- On võimalik sundida kernelit/mikrokontrollerit minema sleep režiimi
  - Võib tekkida probleeme riistvara suhtlemisel

Küsimusi?