

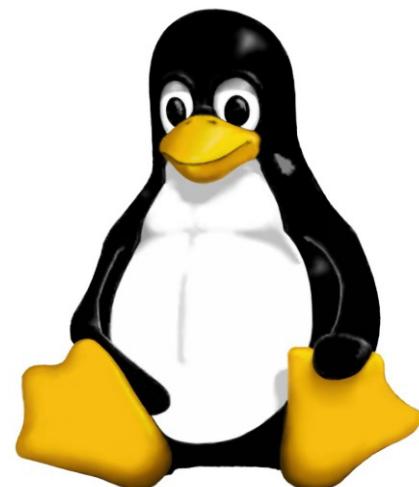


Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχ. και Μηχανικών Υπολογιστών
Εργαστήριο Υπολογιστικών Συστημάτων

Οδηγός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων στο Λειτουργικό Σύστημα Linux

Εργαστήριο Λειτουργικών Συστημάτων
1η εργαστηριακή άσκηση

Μάρτιος 2012



Οργάνωση ενός σύγχρονου Λ.Σ.

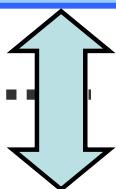
Διεργασία 1 Διεργασία 2 Διεργασία 3

.....

Υπηρεσίες του πυρήνα

Οδηγοί συσκευών

.....



Εντολές I/O

.....

Υλικό

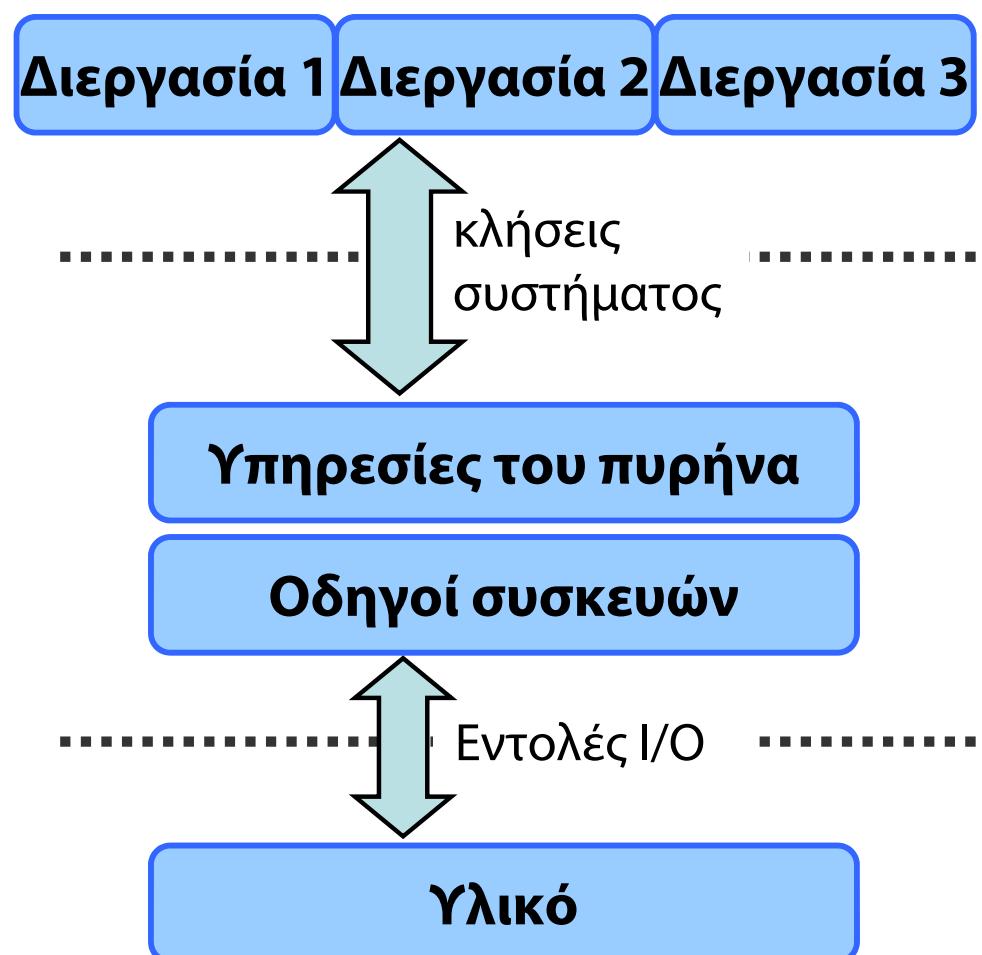
◆ Χώρος χρήστη

- ➡ απομονωμένη εκτέλεση
- ➡ χρήση κλήσεων συστήματος

◆ Χώρος πυρήνα

- ➡ απεριόριστη πρόσβαση στη μνήμη
- ➡ ελεύθερη επικοινωνία με το υλικό

Οργάνωση ενός σύγχρονου Λ.Σ.



◆ Χώρος χρήστη

- ➔ απομονωμένη εκτέλεση
- ➔ χρήση κλήσεων συστήματος

◆ Χώρος πυρήνα

- ➔ απεριόριστη πρόσβαση στη μνήμη
- ➔ ελεύθερη επικοινωνία με το υλικό

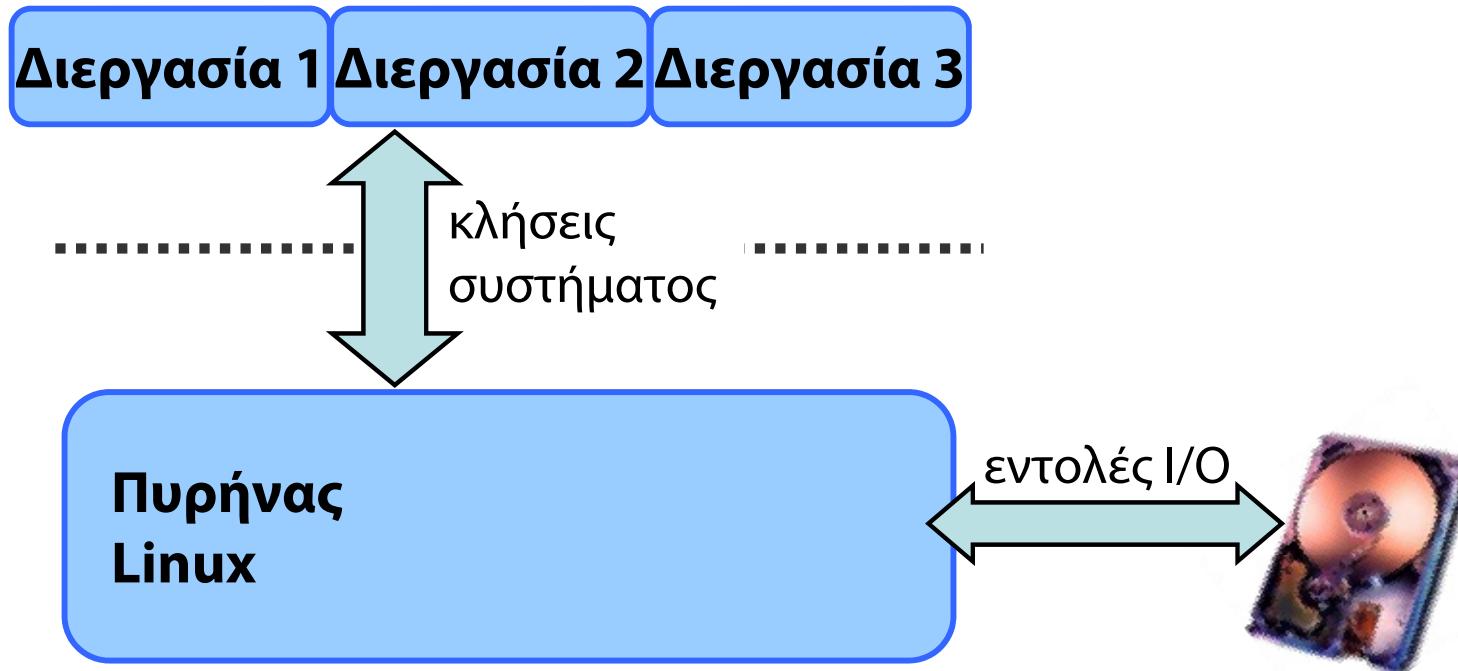
Ο πυρήνας του Linux

- ◆ Διαχείριση διεργασιών
 - χρονοδρομολόγηση σε CPUs
- ◆ Διαχείριση μνήμης
- ◆ Διαδικτύωση (TCP/IP)
- ◆ Υποστήριξη συστημάτων αρχείων
- ◆ Διαχείριση συσκευών (Device Drivers)

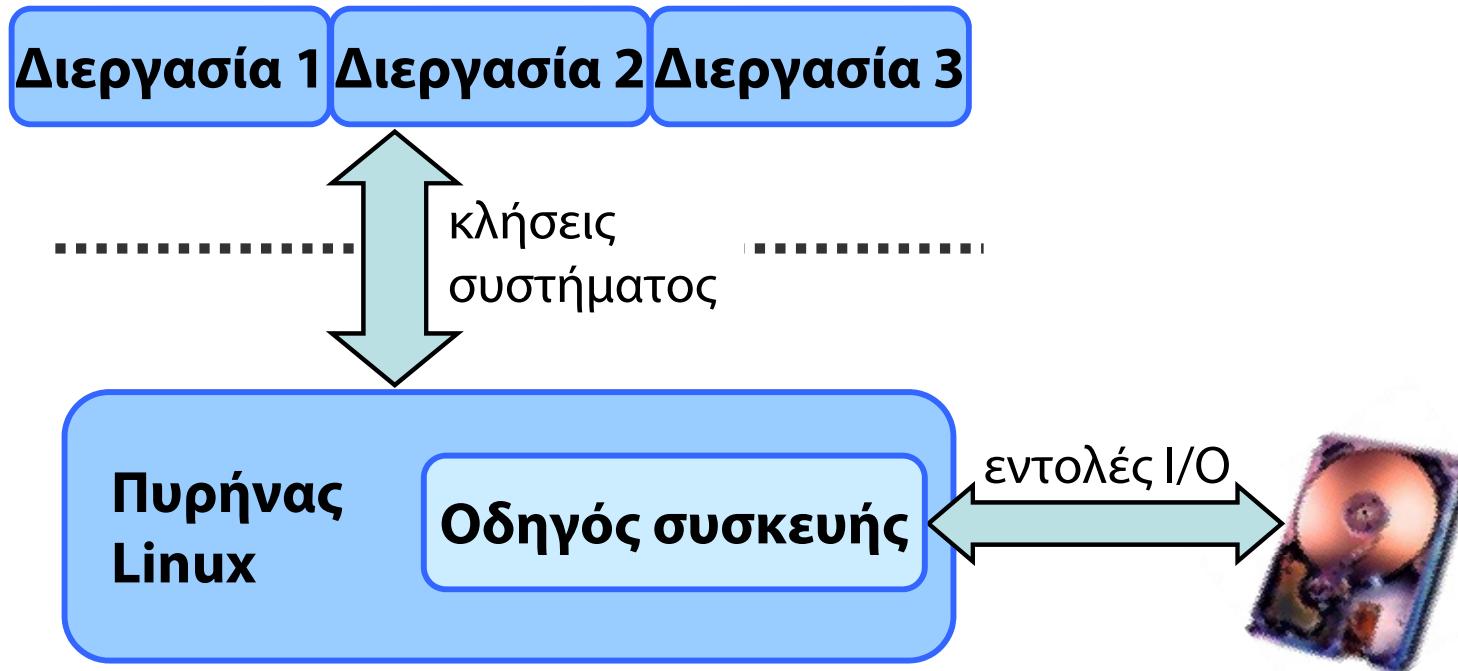
Kernel modules

- ◆ Τμήματα κώδικα
- ◆ Επέκταση των δυνατοτήτων του πυρήνα
 - ➡ Οδηγοί συσκευής, συστήματα αρχείων
- ◆ Δυναμική εισαγωγή / αφαίρεση
 - ➡ Ενώ ο πυρήνας εκτελείται
 - ➡ Απαιτούνται δικαιώματα root
- ◆ Εκτέλεση σε kernelspace

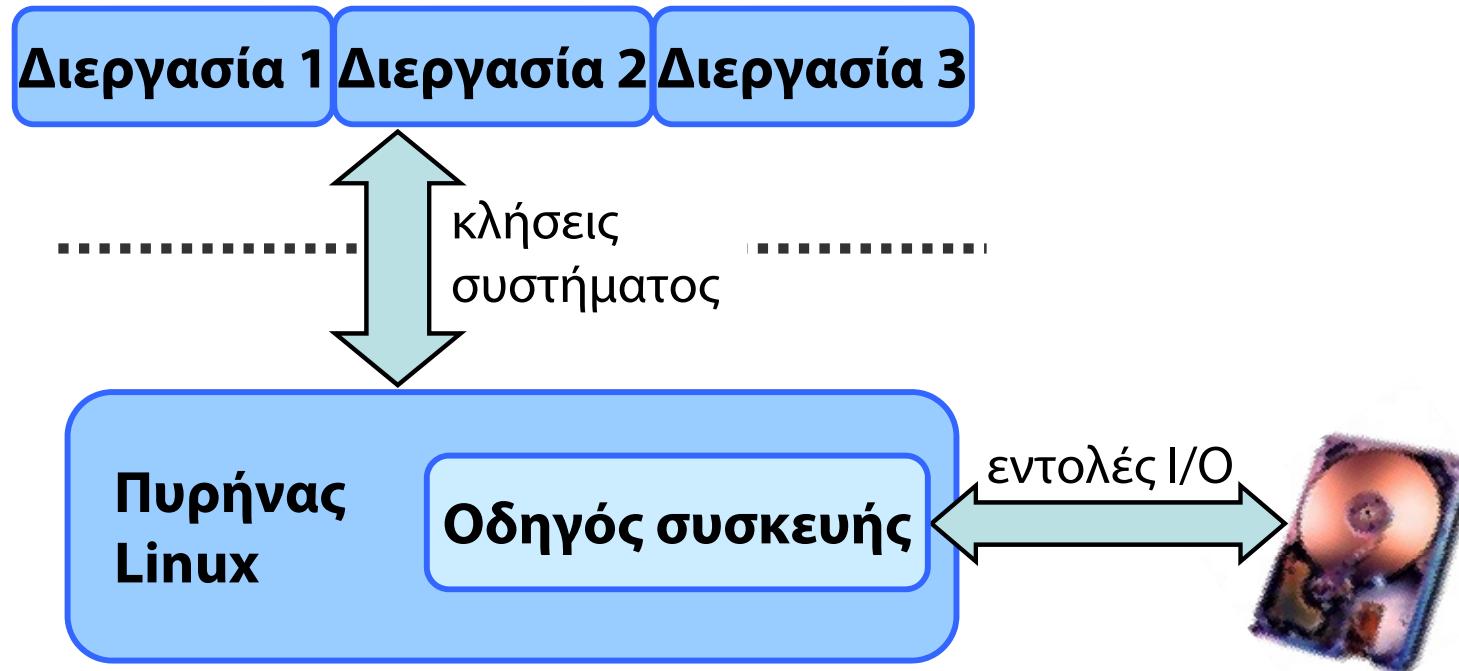
Οδηγοί συσκευής



Οδηγοί συσκευής

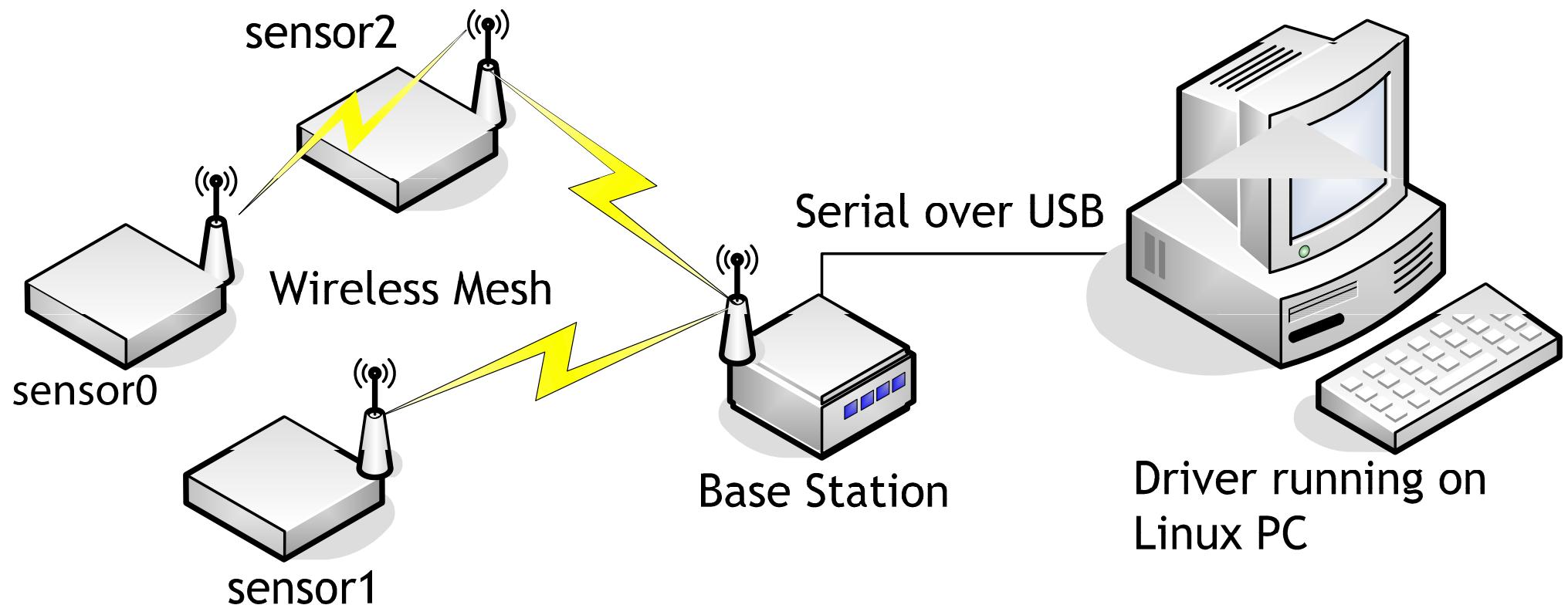


Οδηγοί συσκευής

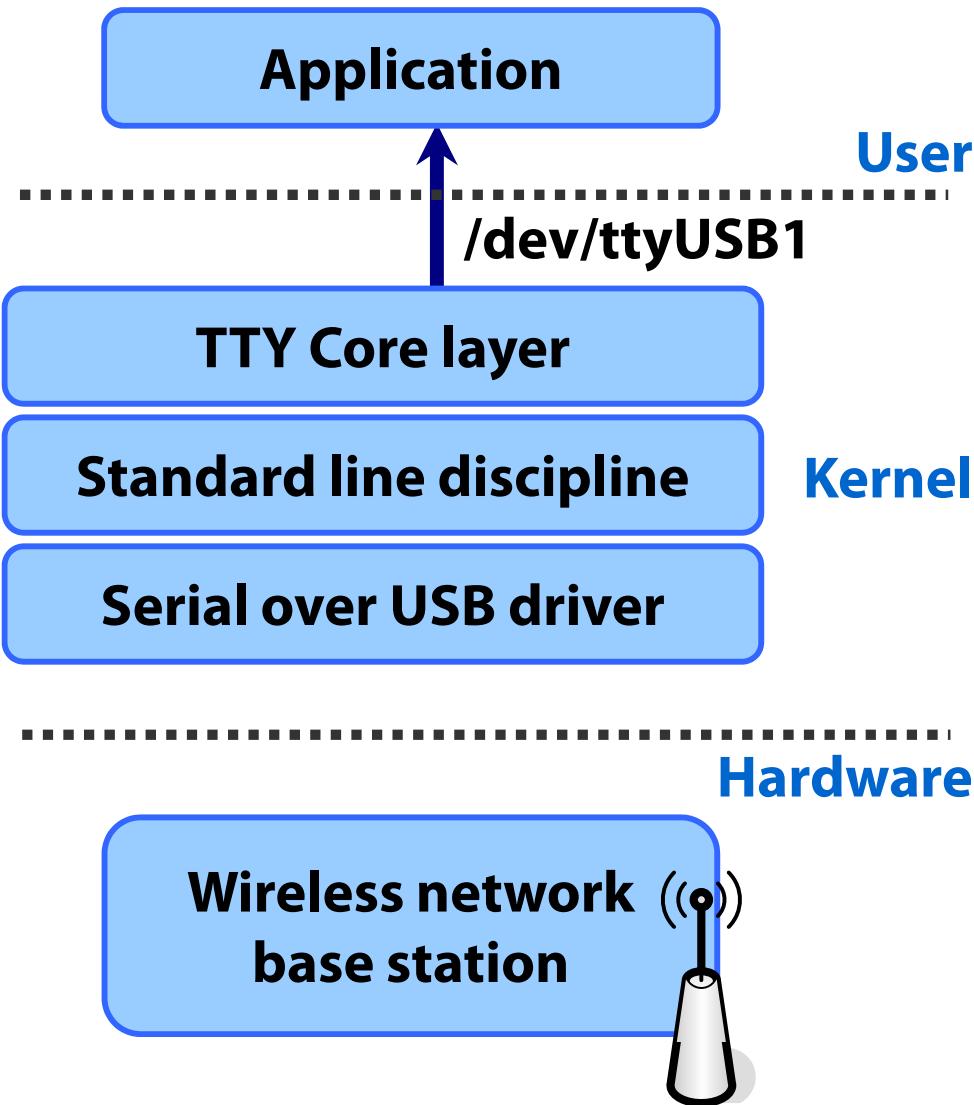


- ◆ Απόκρυψη των λεπτομερειών
- ◆ Καθορισμένο interface με τον πυρήνα
- ◆ Δυνατότητα δυναμικής εισαγωγής ως module
- ◆ Εφαρμογές ανεξάρτητες από το hardware

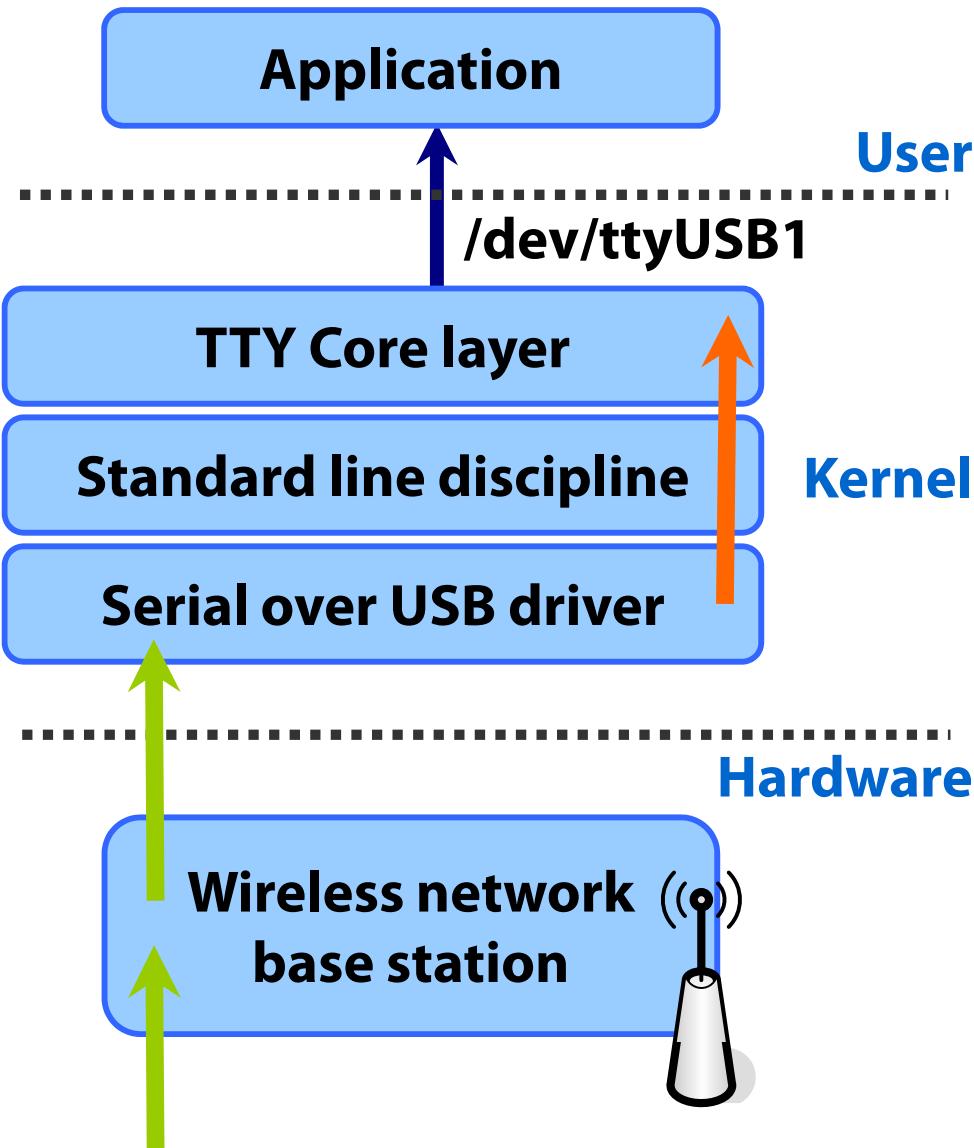
Driver για ένα πραγματικό σύστημα



Μα υπάρχει ήδη driver!



Μα υπάρχει ήδη driver!



Ναι, αλλά...

- ◆ Όλα τα πακέτα δεδομένων, χωρίς διάκριση, στο /dev/ttyUSB1
- ◆ Για μόνο μία διεργασία
- ◆ Δεν υπάρχει μηχανισμός για λεπτομερή ανάθεση δικαιωμάτων πρόσβασης
 - ➡ ανά χρήστη, ανά αισθητήρα, ανά μέτρηση
 - ➡ ανάγκη για διακριτή αντιμετώπιση

Οπότε...

◆ Linux:TNG

- ➡ driver για τον πυρήνα του Linux
- ➡ Χωριστό αρχείο συσκευής ανά αισθητήρα και μέτρηση
 - /dev/lunix0-{batt, temp, light}
 - /dev/lunix1-{batt, temp, light}
- ➡ Ταυτόχρονη πρόσβαση από πολλές διεργασίες
- ➡ Περιορισμός δικαιωμάτων ανά αρχείο

Υπό κατασκευή σύστημα

Application

/dev/ttyUSB1

TTY Core layer

Standard
line disc.

Serial over USB driver

Wireless network (())
base station

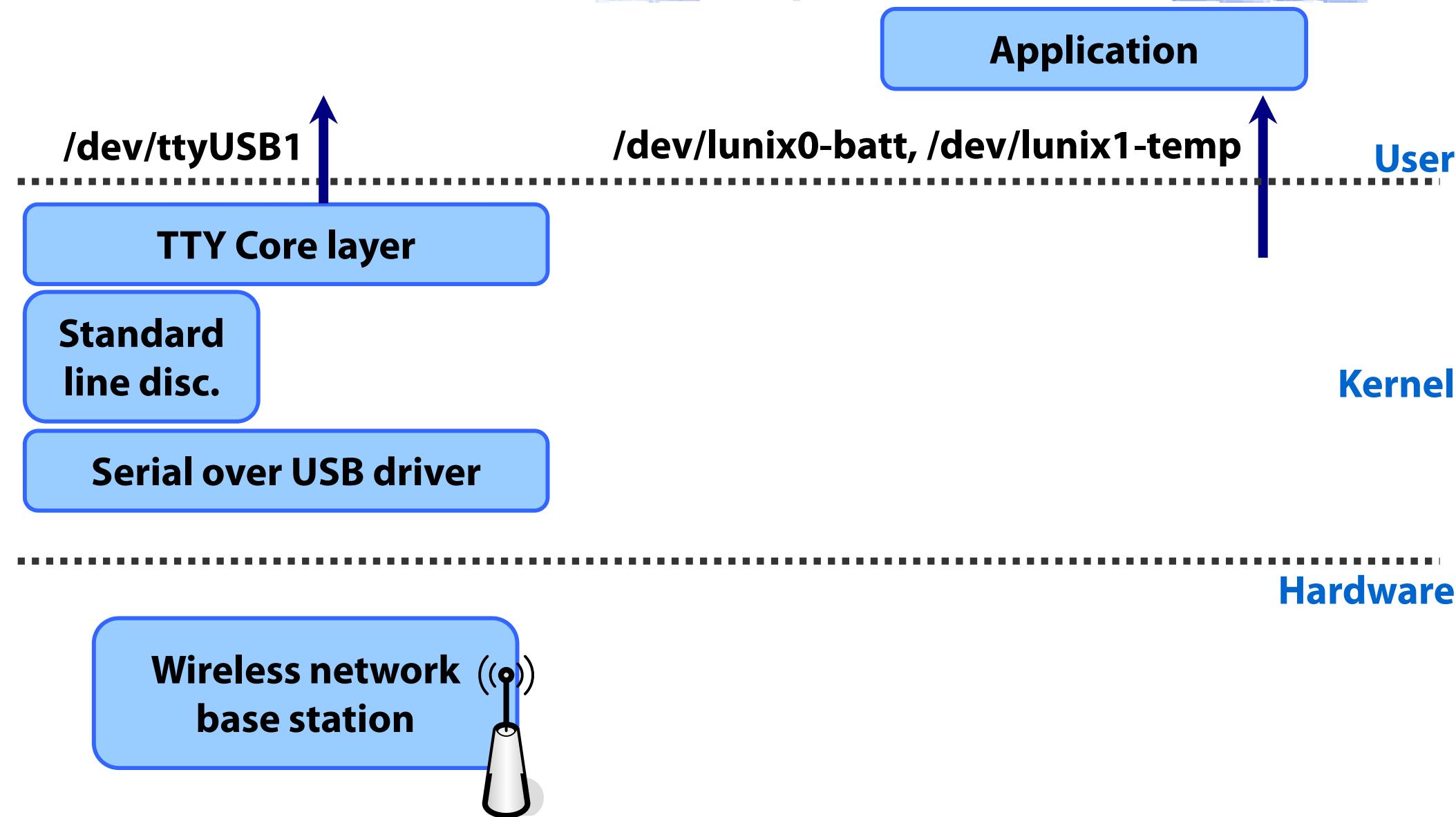
User

Kernel

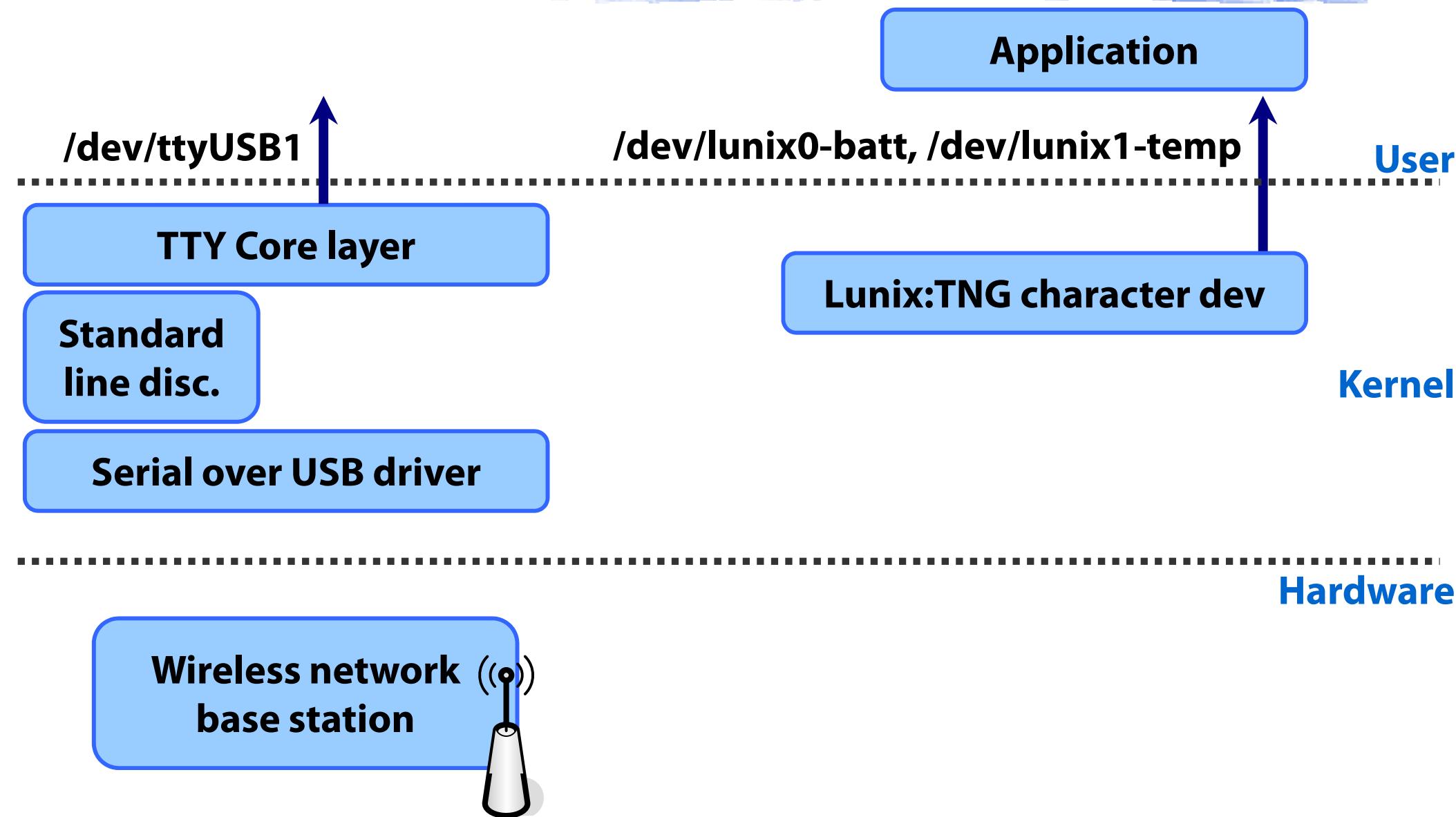
Hardware



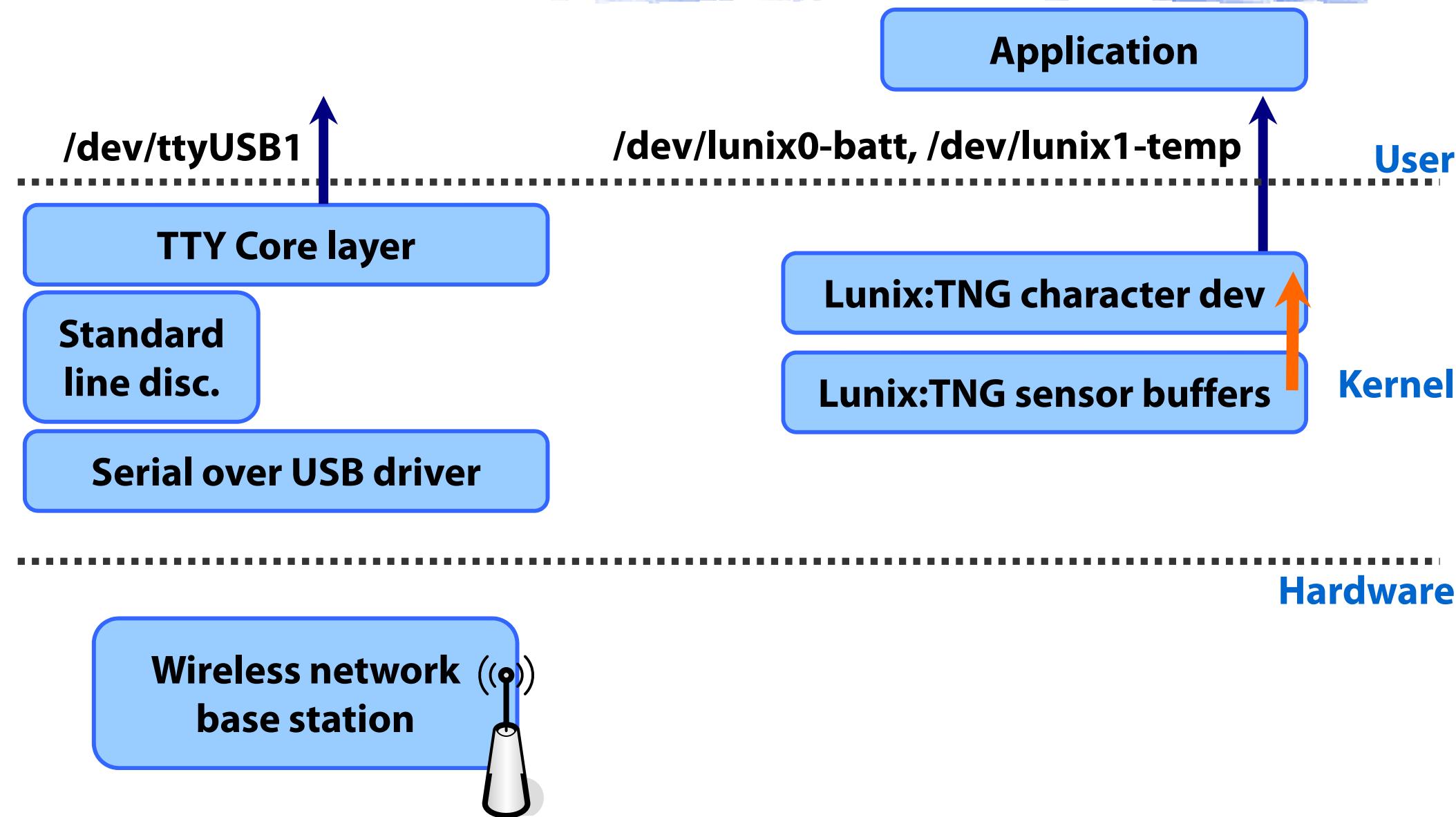
Υπό κατασκευή σύστημα



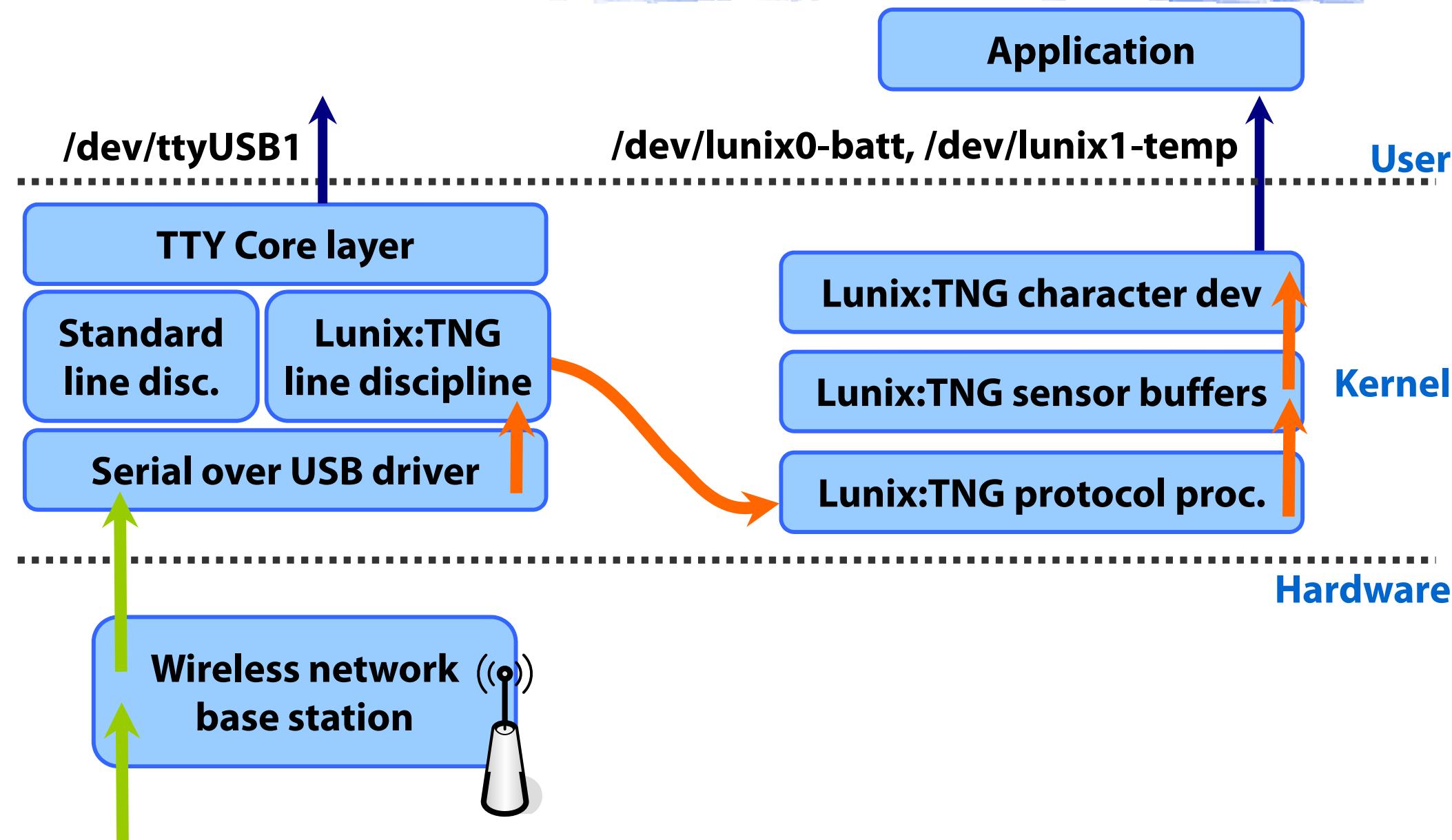
Υπό κατασκευή σύστημα



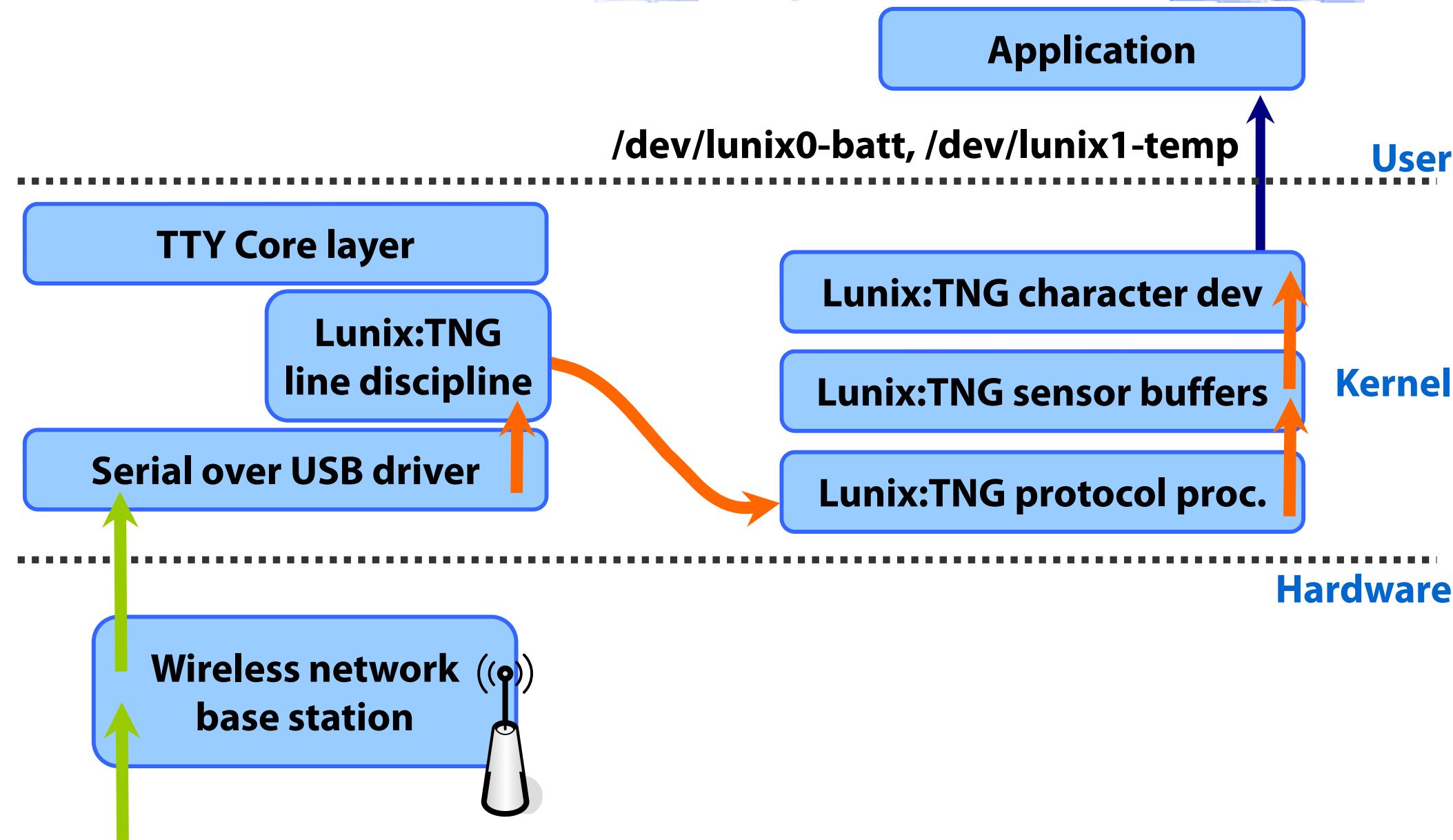
Υπό κατασκευή σύστημα



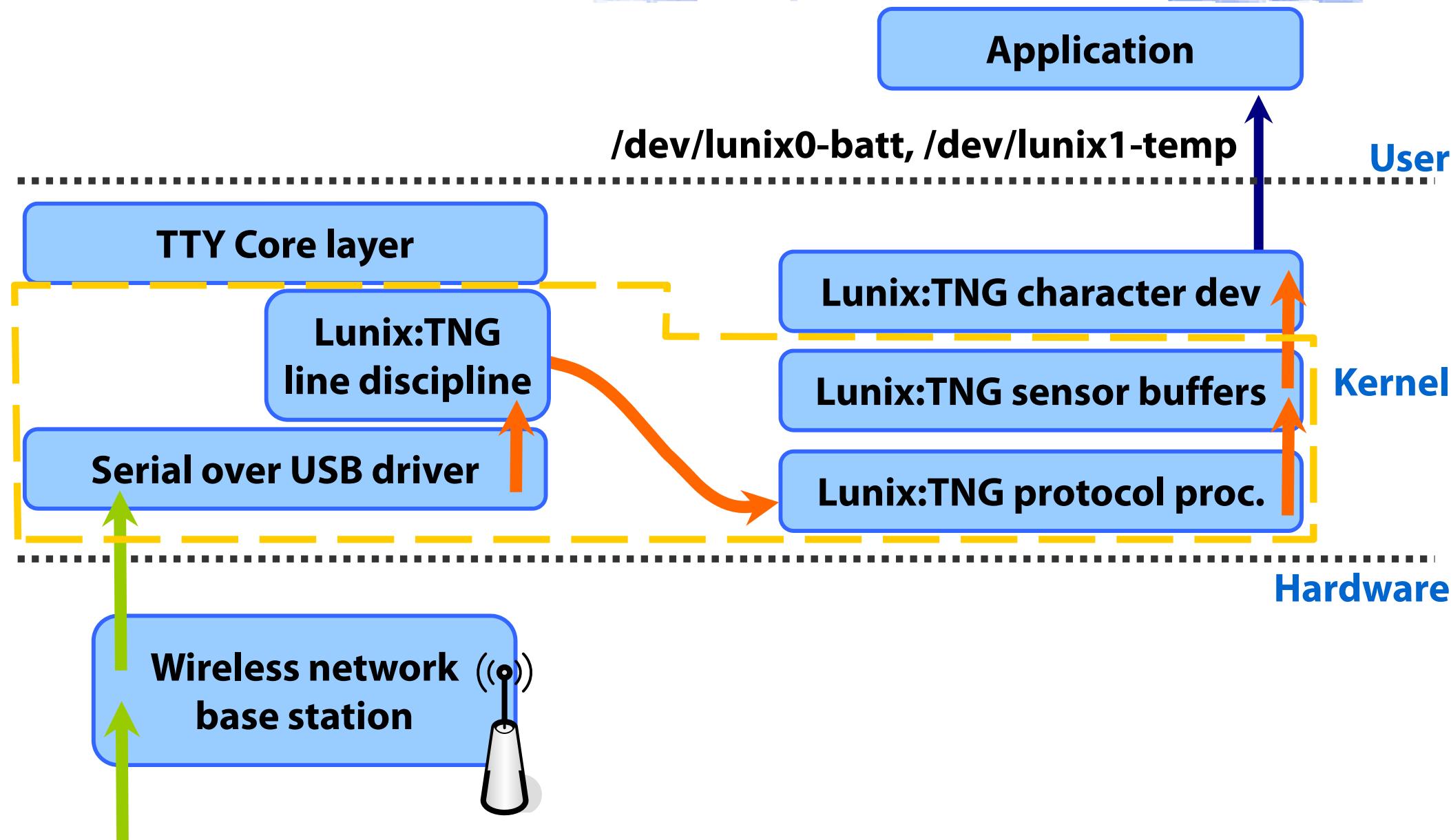
Υπό κατασκευή σύστημα



Υπό κατασκευή σύστημα



Υπό κατασκευή σύστημα



Οδηγοί συσκευών στο Linux

- ◆ Συσκευές χαρακτήρων

- ➡ τερματικά, σειριακές/παράλληλες θύρες, κάρτες ήχου

- ◆ Συσκευές block

- ➡ Σκληροί δίσκοι, CD-ROM, δισκέτες

- ◆ Συσκευές δικτύου

- ➡ Κάρτες δικτύου, PPP

Παράδειγμα χρήσης οδηγού (1)

```
user@utopia:~/lunix-tng$ make
gcc -Wall -o mk_lookup_tables mk_lookup_tables.c -lm
./mk_lookup_tables >lunix-lookup.h
make -C /lib/modules/2.6.25/build M=/home/user/lunix-tng
modules
make[1]: Entering directory `/usr/src/linux-source-2.6.25'
CC [M] /home/user/lunix-tng/linux-module.o
CC [M] /home/user/lunix-tng/linux-chrdev.o
CC [M] /home/user/lunix-tng/linux-ldisc.o
CC [M] /home/user/lunix-tng/linux-protocol.o
CC [M] /home/user/lunix-tng/linux-sensors.o
LD [M] /home/user/lunix-tng/linux.o
Building modules, stage 2.
MODPOST 1 modules
CC      /home/user/lunix-tng/linux.mod.o
LD [M] /home/user/lunix-tng/linux.ko
make[1]: Leaving directory `/usr/src/linux-source-2.6.25'
gcc -Wall -o linux-attach linux-attach.c
user@utopia:~/lunix-tng$ make
```

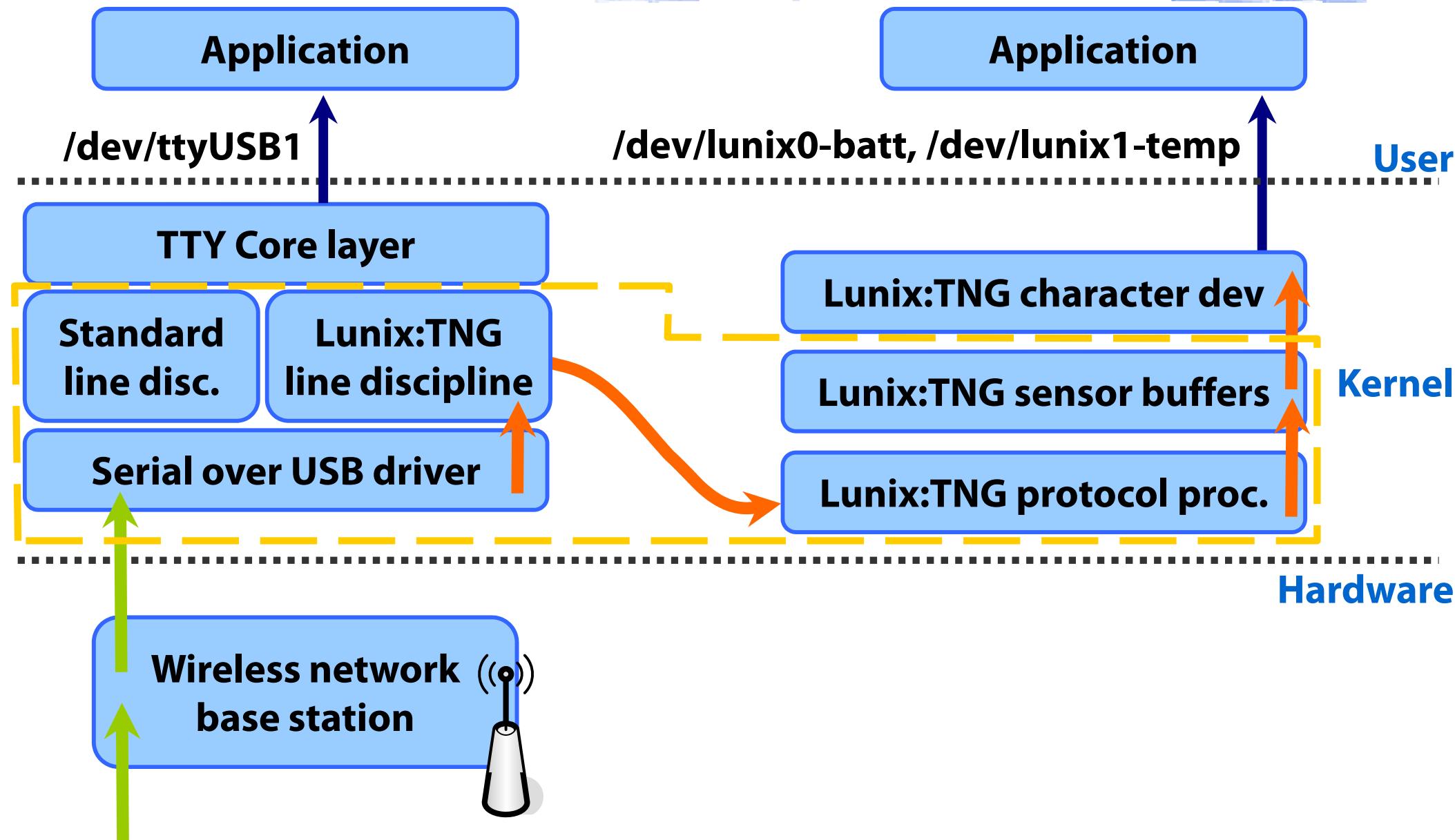
Παράδειγμα χρήσης οδηγού (2)

```
user@utopia:~/lunix-tng$ su -
Password:
utopia:~# cd ~user/lunix-tng
utopia:/home/user/lunix-tng# insmod ./lunix.ko
utopia:/home/user/lunix-tng# ./linux_dev_nodes.sh
utopia:/home/user/lunix-tng# ./linux-attach /dev/ttyUSB1
tty_open: looking for lock
tty_open: trying to open /dev/ttyUSB1
tty_open: /dev/ttyUSB1 (fd=3) Line discipline set on
/dev/ttyUSB1, press ^C to release the TTY...
```

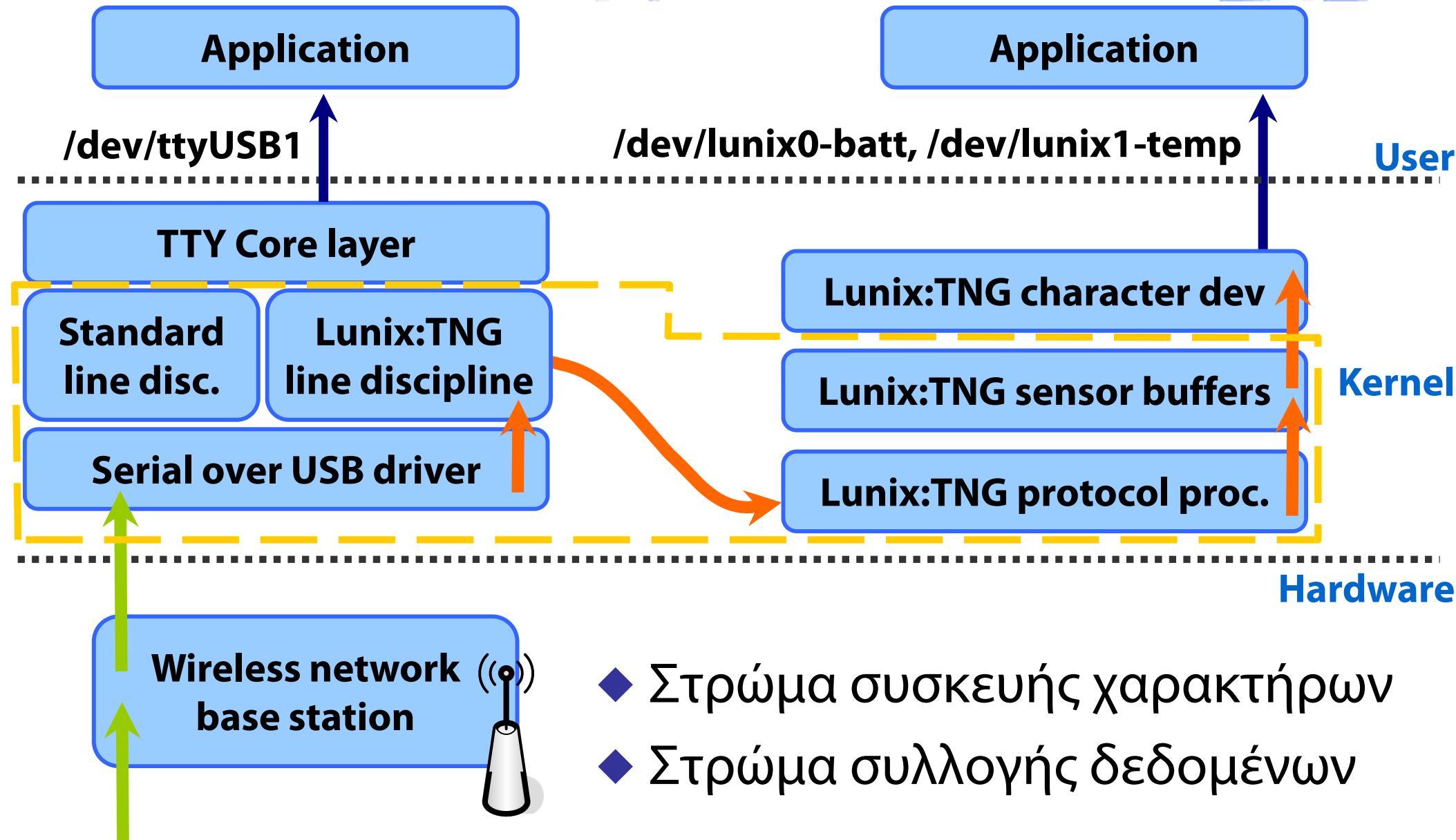
Οπότε μετά:

```
user@utopia:~$ cat /dev/lunix2-temp
27.791
27.791
27.693
27.791
^C
```

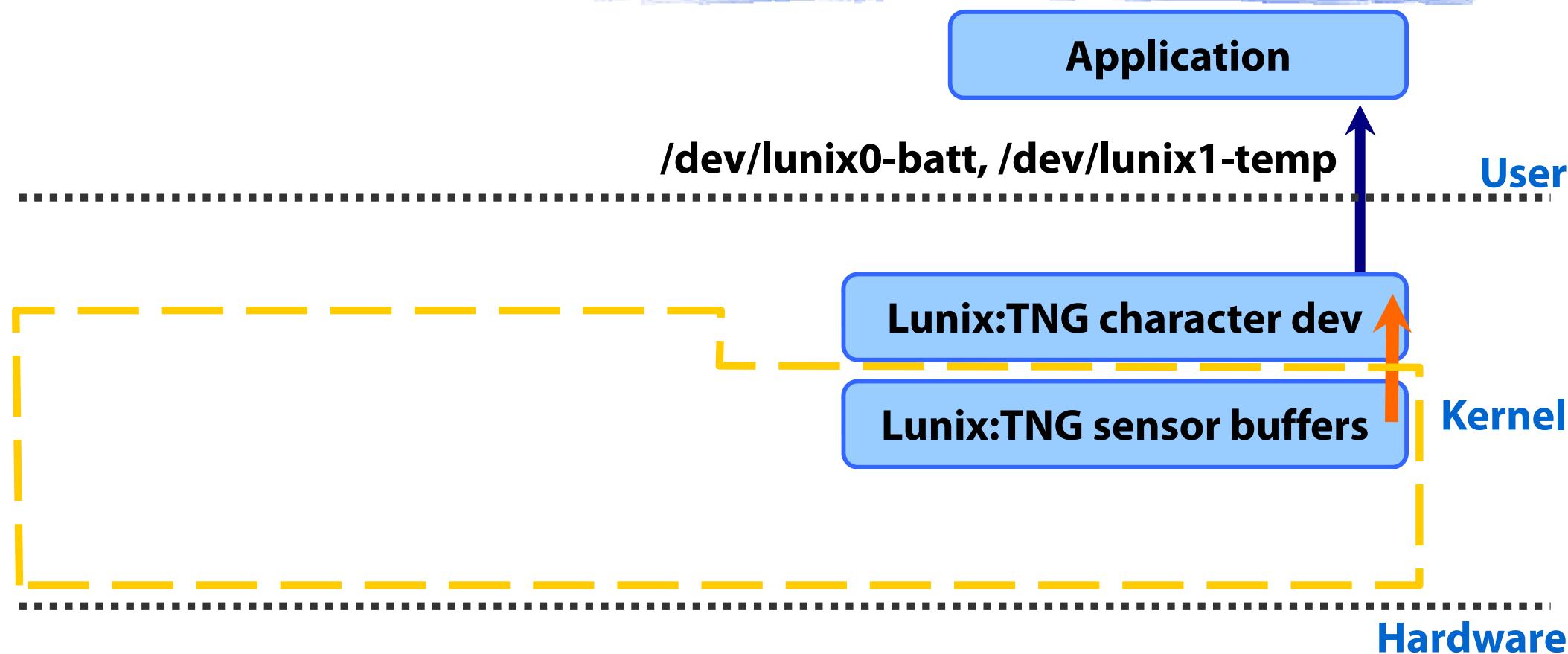
Υπό κατασκευή σύστημα



Υπό κατασκευή σύστημα



Στρώμα συσκευής χαρακτήρων



Τα πάντα είναι αρχεία

```
$ ls -l /dev
crw-rw---- 1 root audio 14, 3 Jul 5 2000 /dev/dsp
crw-rw-rw- 1 root root 1, 3 Jul 21 2002 /dev/null
crw----- 1 root root 4, 1 Apr 22 18:10 /dev/tty1
crw-rw---- 1 root dialout 4, 64 Jul 5 2000 /dev/ttys0
crw-rw-rw- 1 root root 1, 5 Jul 21 2002 /dev/zero
brw-rw---- 1 root disk 3, 0 Jul 5 2000 /dev/hda
brw-rw---- 1 root floppy 2, 0 Jul 5 2000 /dev/fd0
```

- ◆ Ειδικά αρχεία, πύλες πρόσβασης σε συσκευές
 - ➡ Κατάλογος /dev
- ◆ Κλήσεις συστήματος στο ειδικό αρχείο
 - ➡ open, close, read, write, lseek, ioctl

Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (1)

```
$ ls -l /dev
```

| | | | | | | | | | |
|------------|---|------|---------|-----|----|-----|----|-------|------------|
| crw-rw---- | 1 | root | audio | 14, | 3 | Jul | 5 | 2000 | /dev/dsp |
| crw-rw-rw- | 1 | root | root | 1, | 3 | Jul | 21 | 2002 | /dev/null |
| crw----- | 1 | root | root | 4, | 1 | Apr | 22 | 18:10 | /dev/tty1 |
| crw-rw---- | 1 | root | dialout | 4, | 64 | Jul | 5 | 2000 | /dev/ttys0 |
| crw-rw-rw- | 1 | root | root | 1, | 5 | Jul | 21 | 2002 | /dev/zero |
| brw-rw---- | 1 | root | disk | 3, | 0 | Jul | 5 | 2000 | /dev/hda |
| brw-rw---- | 1 | root | floppy | 2, | 0 | Jul | 5 | 2000 | /dev/fd0 |

Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (1)

```
$ ls -l /dev
```

| | | | | | | | | | |
|------------|---|------|---------|-----|----|-----|----|-------|------------|
| crw-rw---- | 1 | root | audio | 14, | 3 | Jul | 5 | 2000 | /dev/dsp |
| crw-rw-rw- | 1 | root | root | 1, | 3 | Jul | 21 | 2002 | /dev/null |
| crw---- | 1 | root | root | 4, | 1 | Apr | 22 | 18:10 | /dev/tty1 |
| crw-rw---- | 1 | root | dialout | 4, | 64 | Jul | 5 | 2000 | /dev/ttys0 |
| crw-rw-rw- | 1 | root | root | 1, | 5 | Jul | 21 | 2002 | /dev/zero |
| brw-rw---- | 1 | root | disk | 3, | 0 | Jul | 5 | 2000 | /dev/hda |
| brw-rw---- | 1 | root | floppy | 2, | 0 | Jul | 5 | 2000 | /dev/fd0 |

◆ Major / minor numbers

→ major: Είδος συσκευής, καθορίζει τον οδηγό

→ minor: Καθορίζει τη συσκευή, πχ. αριθμός σειριακής θύρας

◆ Δέσμευση major number με register_chrdev_region

Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (1)

```
$ ls -l /dev
```

| | | | | | | | |
|------------|---|------|---------|-----|----|--------------|------------|
| crw-rw---- | 1 | root | audio | 14, | 3 | Jul 5 2000 | /dev/dsp |
| crw-rw-rw- | 1 | root | root | 1, | 3 | Jul 21 2002 | /dev/null |
| crw---- | 1 | root | root | 4, | 1 | Apr 22 18:10 | /dev/tty1 |
| crw-rw---- | 1 | root | dialout | 4, | 64 | Jul 5 2000 | /dev/ttys0 |
| crw-rw-rw- | 1 | root | root | 1, | 5 | Jul 21 2002 | /dev/zero |
| brw-rw---- | 1 | root | disk | 3, | 0 | Jul 5 2000 | /dev/hda |
| brw-rw---- | 1 | root | floppy | 2, | 0 | Jul 5 2000 | /dev/fd0 |

◆ Major / minor numbers

- major: Είδος συσκευής, καθορίζει τον οδηγό
- minor: Καθορίζει τη συσκευή, πχ. αριθμός σειριακής θύρας

◆ Δέσμευση major number με register_chrdev_region

Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (1)

```
$ ls -l /dev
```

| | | | | | | | |
|------------|---|------|---------|-----|----|--------------|------------|
| crw-rw---- | 1 | root | audio | 14, | 3 | Jul 5 2000 | /dev/dsp |
| crw-rw-rw- | 1 | root | root | 1, | 3 | Jul 21 2002 | /dev/null |
| crw---- | 1 | root | root | 4, | 1 | Apr 22 18:10 | /dev/tty1 |
| crw-rw---- | 1 | root | dialout | 4, | 64 | Jul 5 2000 | /dev/ttys0 |
| crw-rw-rw- | 1 | root | root | 1, | 5 | Jul 21 2002 | /dev/zero |
| brw-rw---- | 1 | root | disk | 3, | 0 | Jul 5 2000 | /dev/hda |
| brw-rw---- | 1 | root | floppy | 2, | 0 | Jul 5 2000 | /dev/fd0 |

◆ Major / minor numbers

→ major: Είδος συσκευής, καθορίζει τον οδηγό

→ minor: Καθορίζει τη συσκευή, πχ. αριθμός σειριακής θύρας

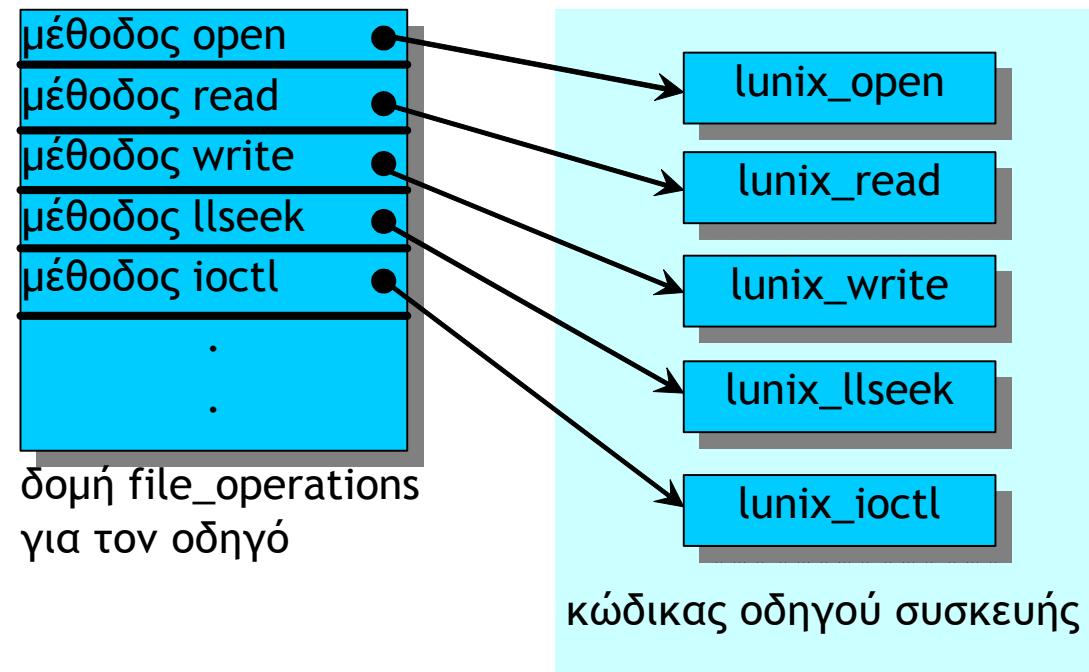
◆ Δέσμευση major number με register_chrdev_region

Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (2)

```
int (*open) (struct inode *, struct file *);  
void (*release) (struct inode *, struct file *);  
ssize_t (*read) (struct file *, char *, size_t, loff_t);  
ssize_t (*write) (struct file *, const char *, size_t, loff_t);  
loff_t (*llseek) (struct file *, loff_t, int);  
int (*unlocked_ioctl) (struct file *, unsigned int, unsigned long);
```

- ◆ Υπηρεσίες οδηγού συσκευής χαρακτήρων
- ◆ Υλοποιούν κλήσεις συστήματος
- ◆ Εκτελούνται από τον πυρήνα
 - ➡ Κατά την πρόσβαση στο ειδικό αρχείο
 - ➡ Μέσω της δομής file_operations

Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (3)



◆ Δομή file_operations

- ➔ Για κάθε λειτουργία, δείκτης σε αντίστοιχη συνάρτηση
- ➔ Μία για κάθε major number
- ➔ Δήλωση κατά την καταχώρηση νέας συσκευής χαρακτήρων (cdev_add)

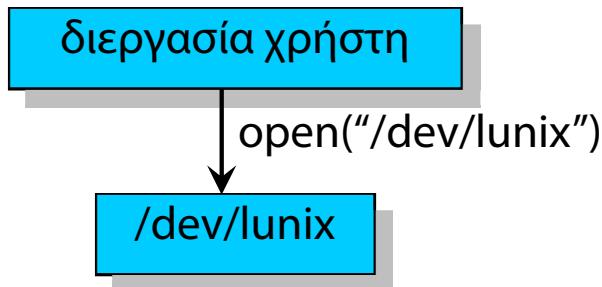
Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)



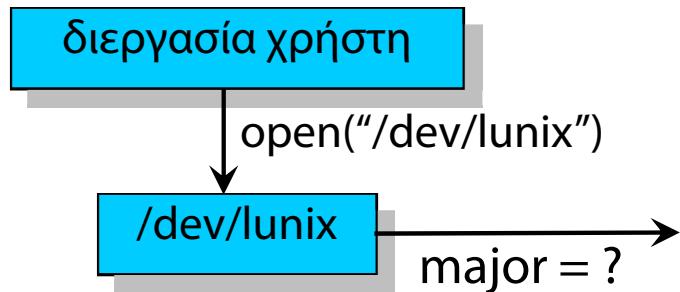
Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)

διεργασία χρήστη

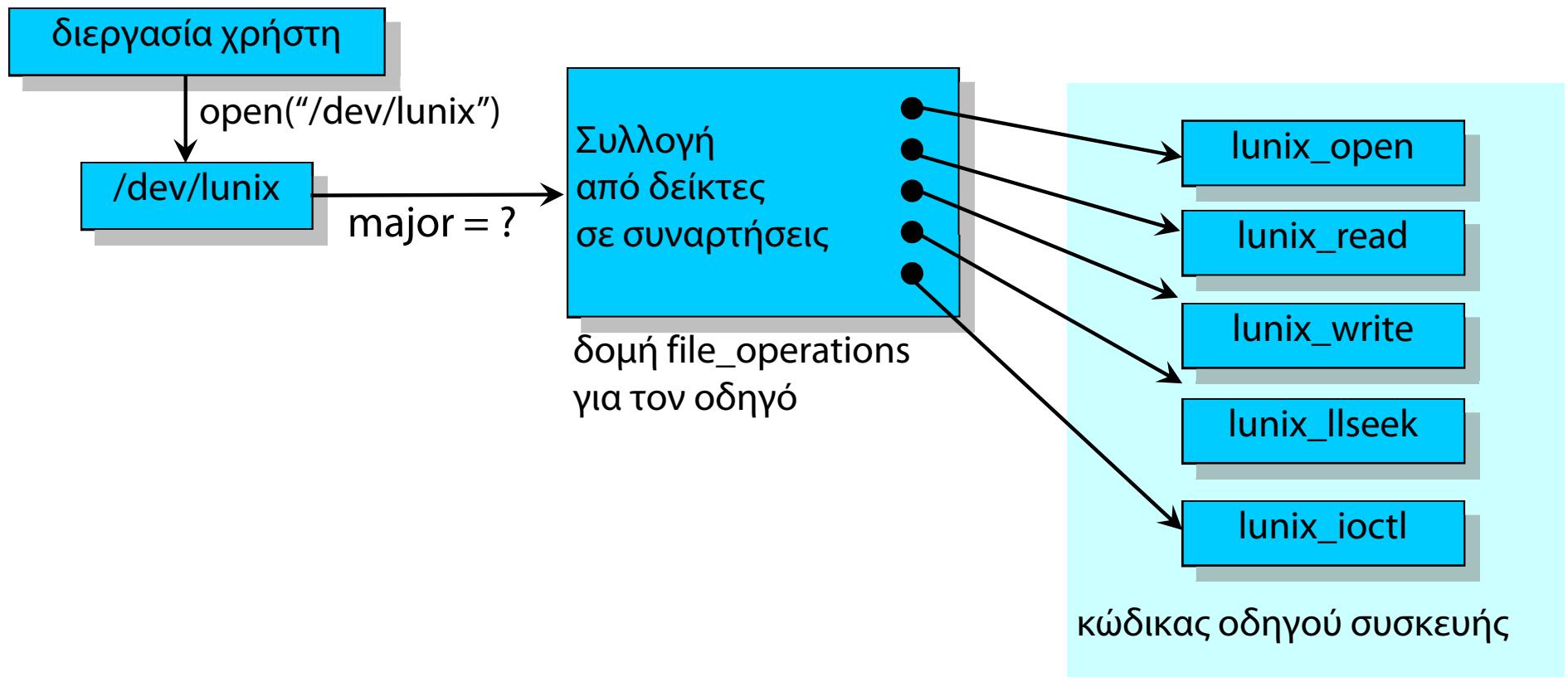
Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)



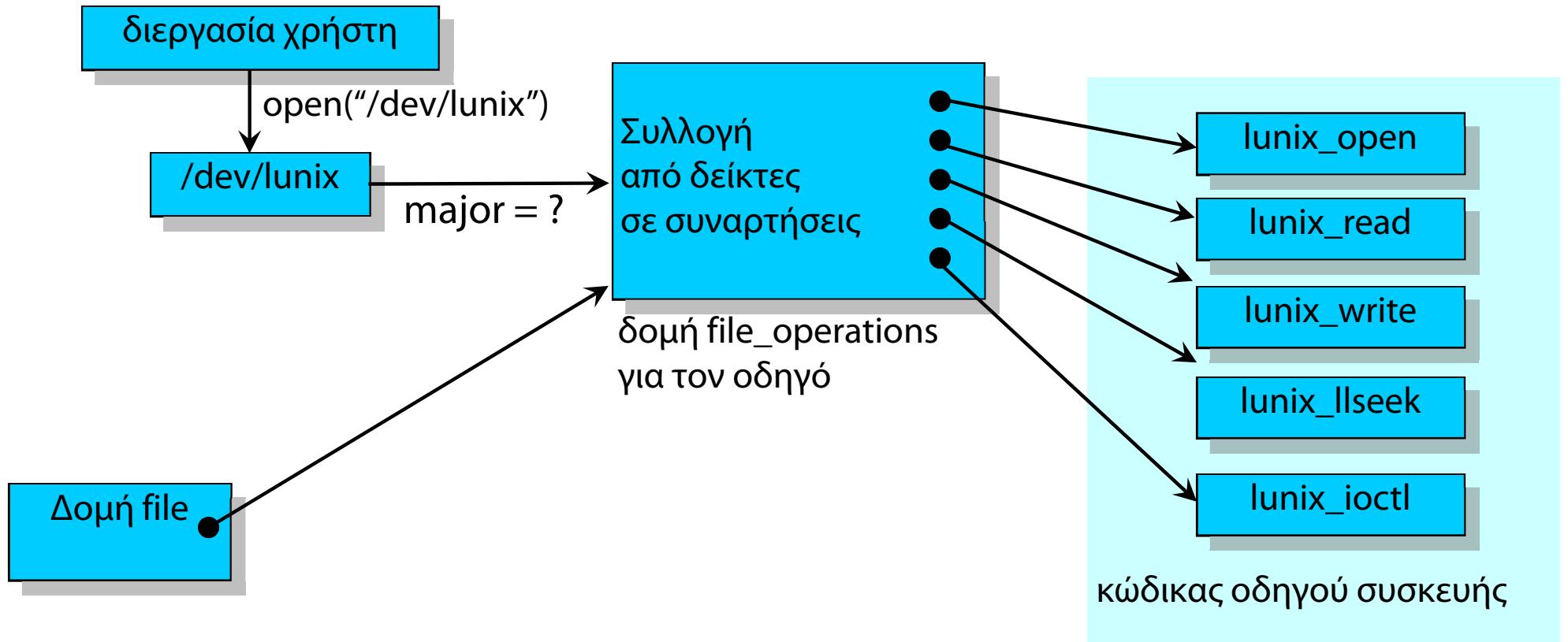
Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)



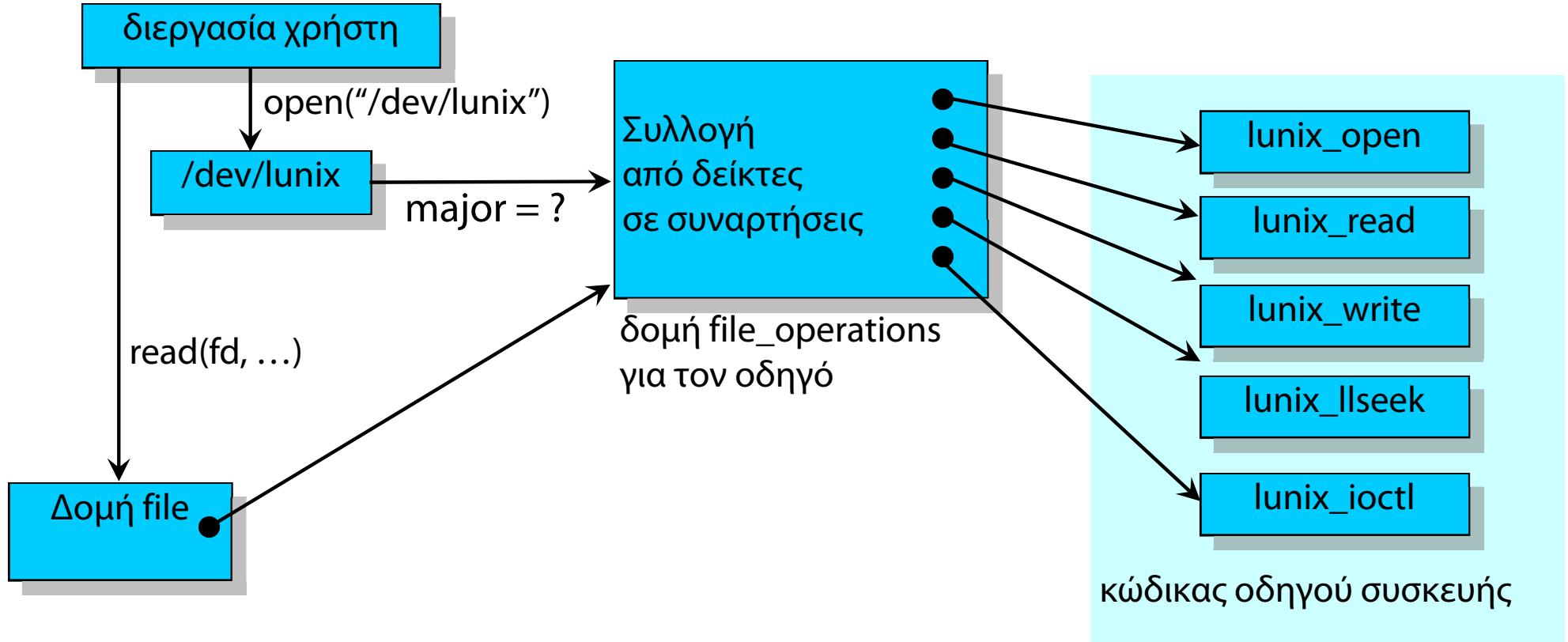
Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)



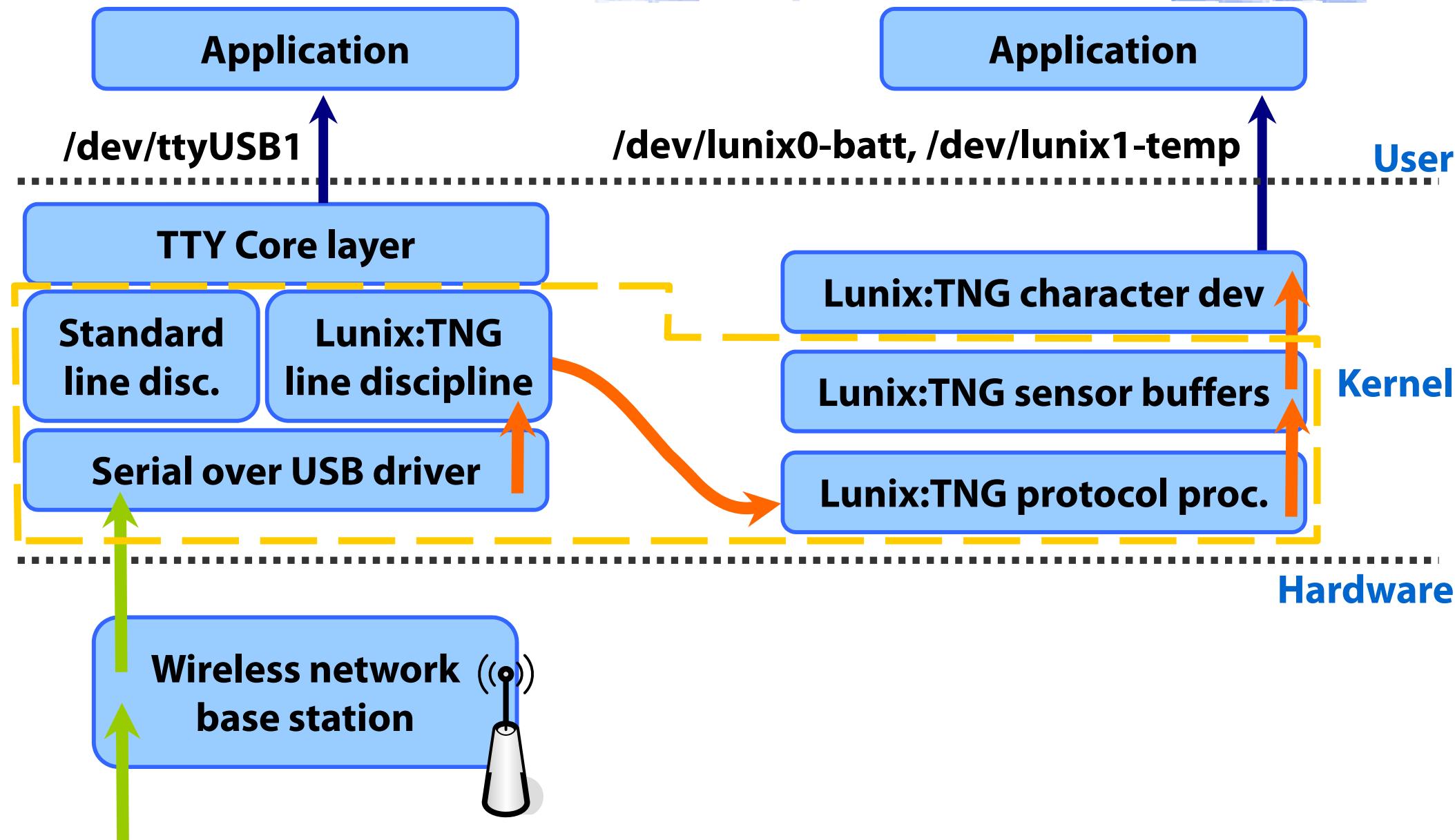
Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)



Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)

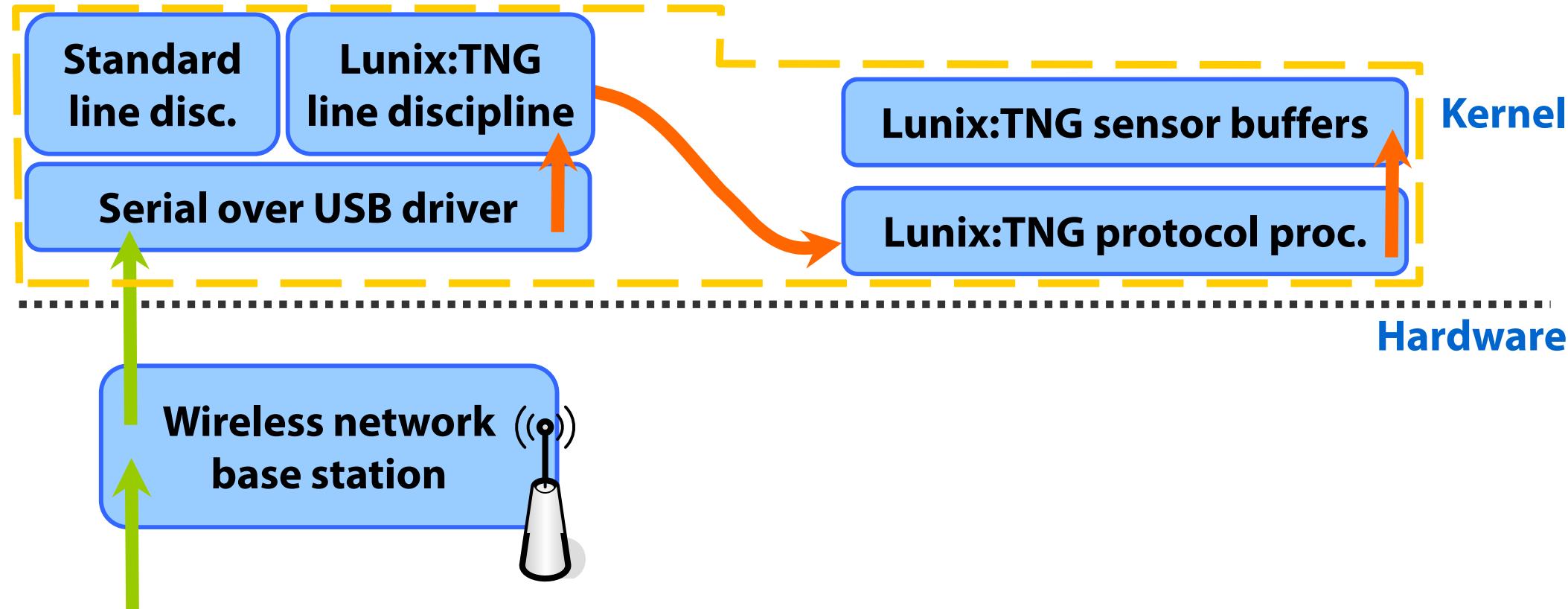


Στρώμα συλλογής δεδομένων



Στρώμα συλλογής δεδομένων

User



Linux:TNG line discipline

User
Application

`/dev/ttyUSB1`

User

TTY Core
(`struct file_operations` *)

Kernel

Standard line discipline
(`struct tty_ldisc_ops` *)

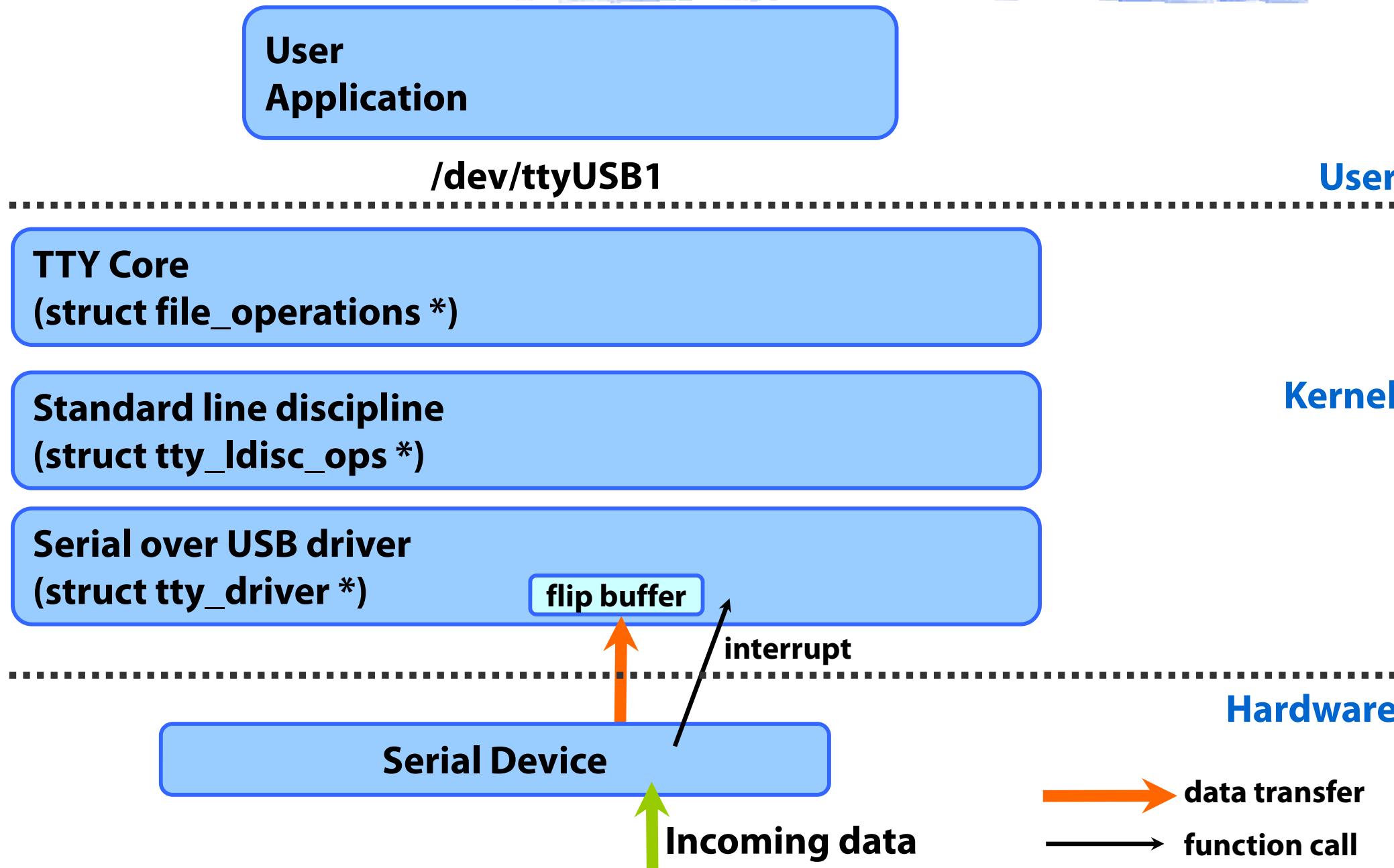
Serial over USB driver
(`struct tty_driver` *)

Hardware

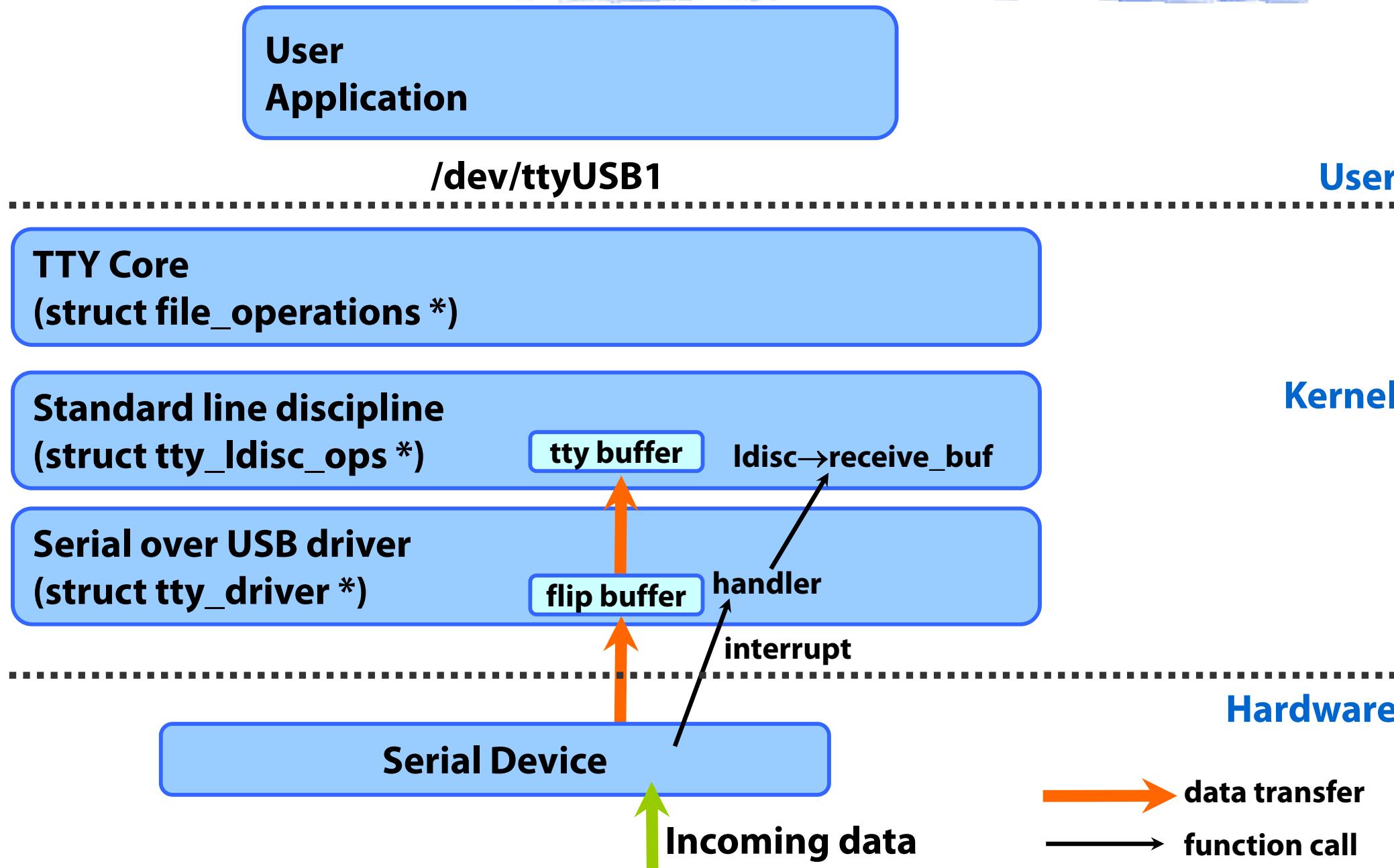
Serial Device

→ data transfer
→ function call

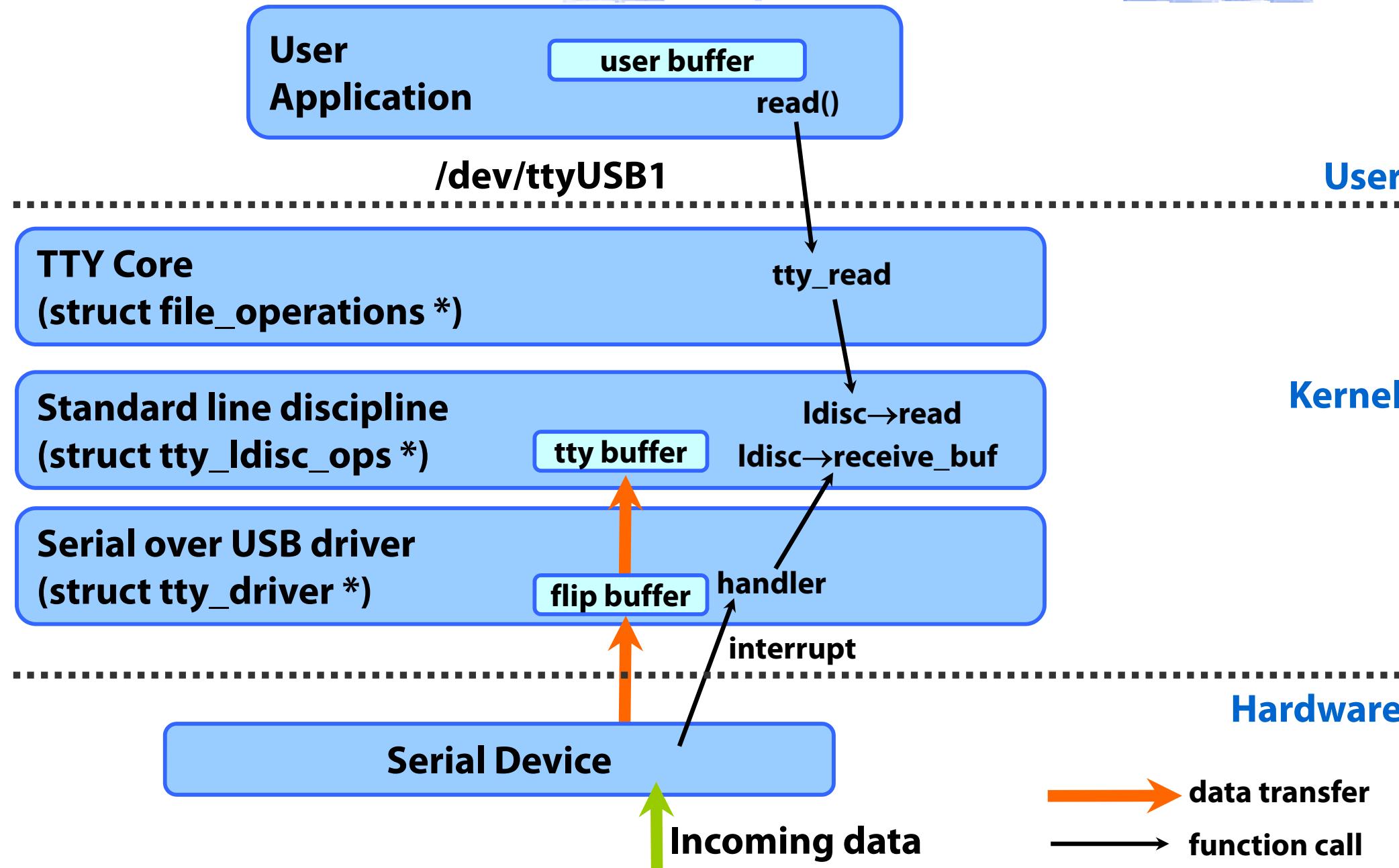
Linux:TNG line discipline



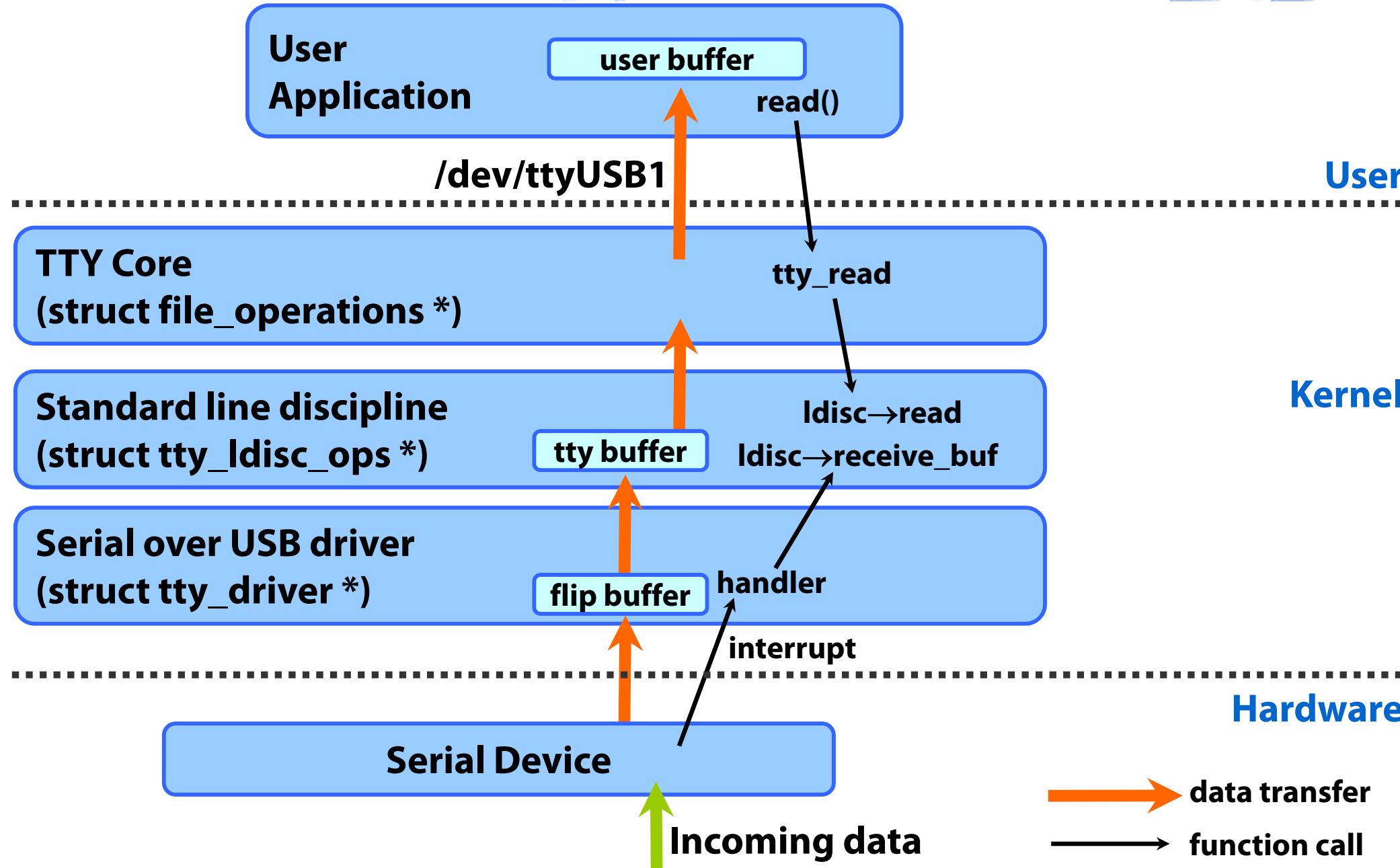
Linux:TNG line discipline



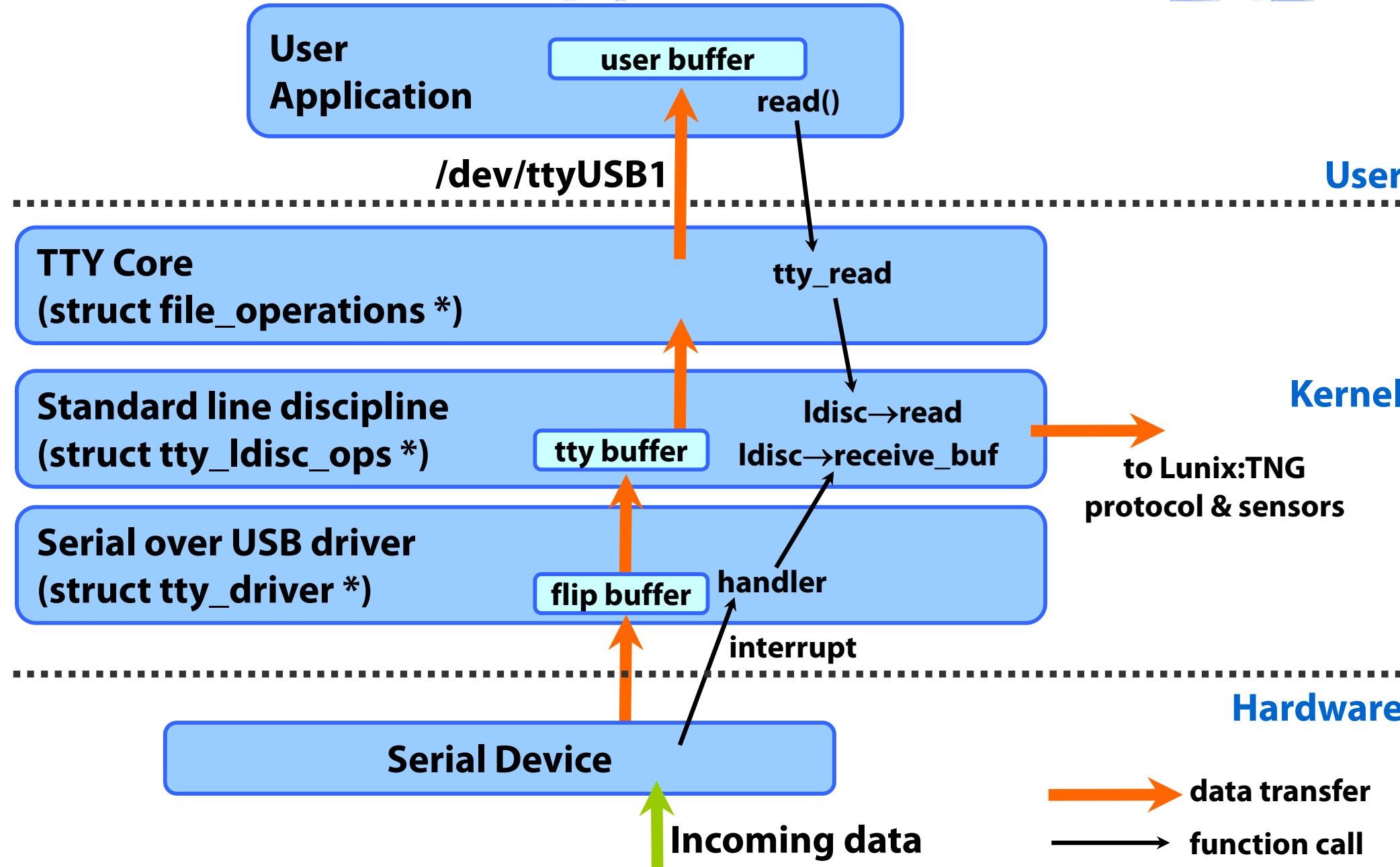
Linux:TNG line discipline



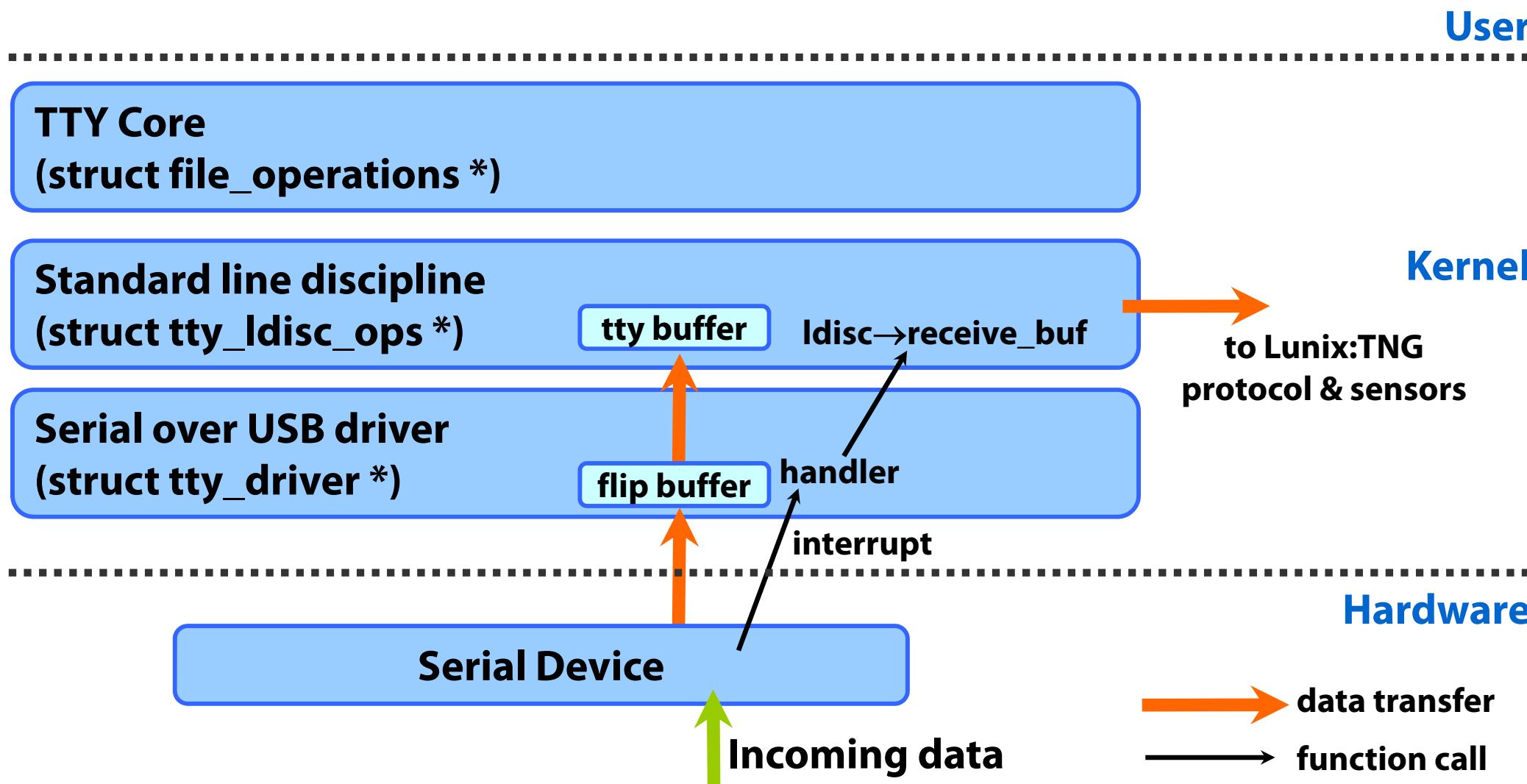
Linux:TNG line discipline



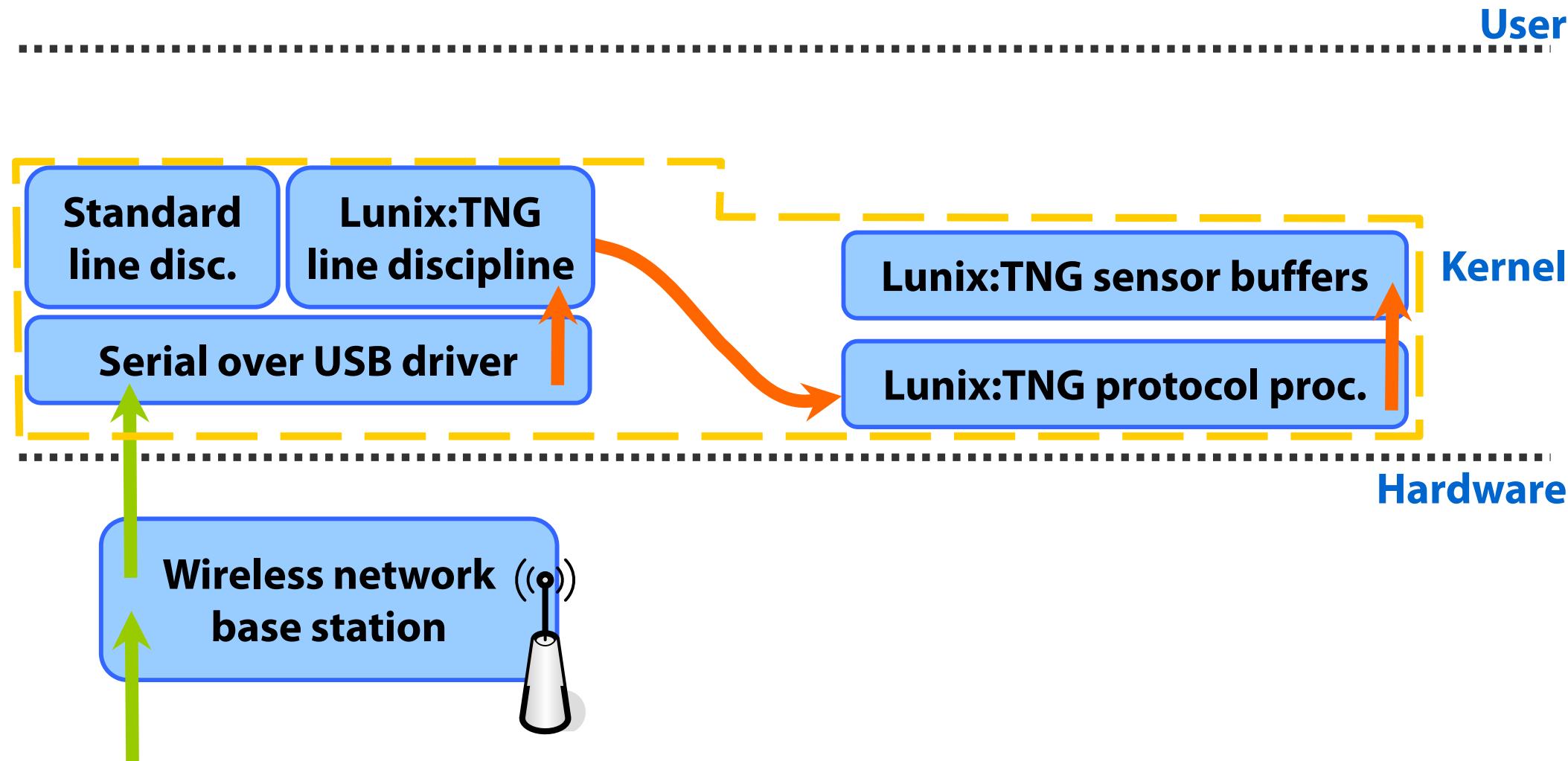
Linux:TNG line discipline



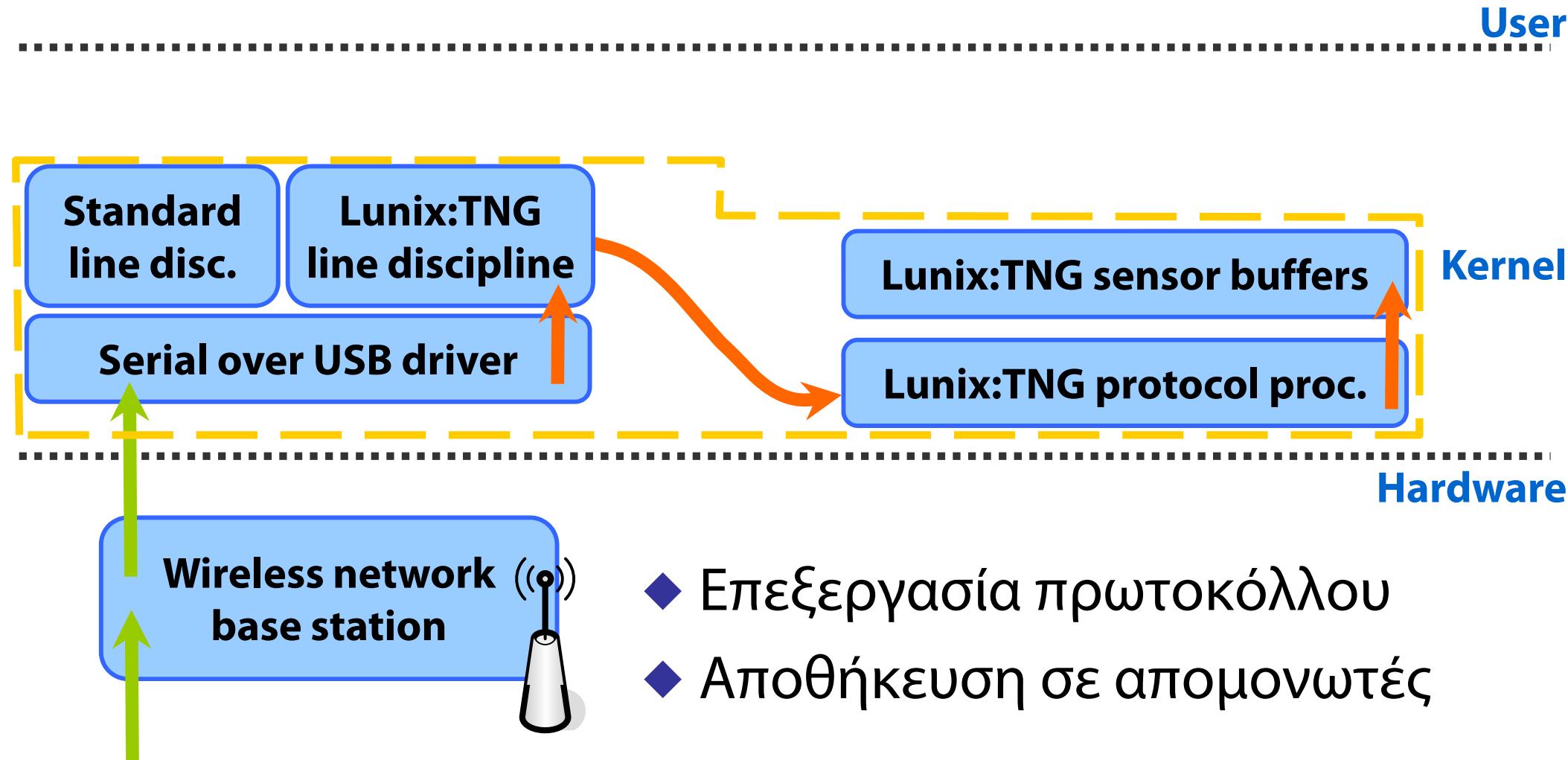
Lunix:TNG line discipline



Στρώμα συλλογής δεδομένων (2)



Στρώμα συλλογής δεδομένων (2)



Ζητήματα Υλοποίησης (1)

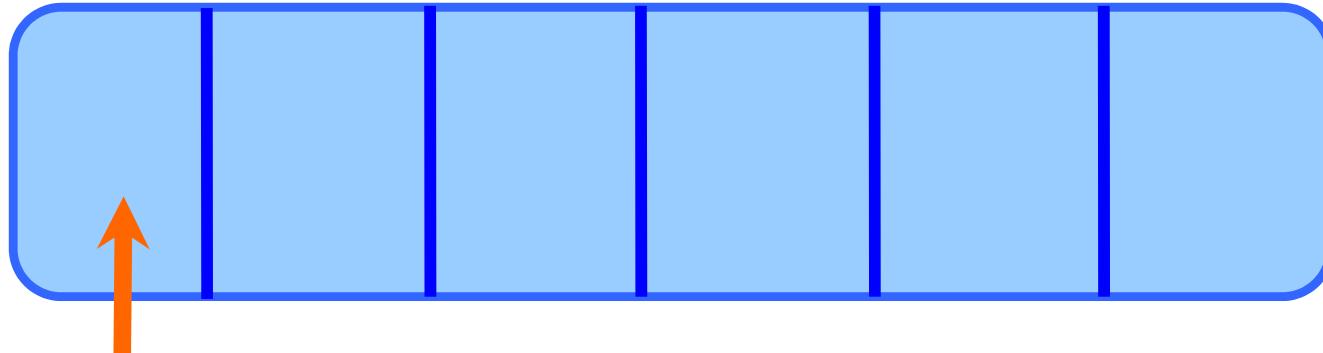
- ◆ Πρόσβαση σε δεδομένα χώρου χρήστη
 - ➡ copy_to_user(), copy_from_user()
- ◆ Πώς πέφτουν οι διεργασίες για ύπνο;
 - ➡ Μπλοκάρισμα διεργασιών σε ουρές αναμονής
 - ➡ Δεν είναι έτοιμες προς εκτέλεση, δεν καταναλώνουν χρόνο CPU
- ◆ Κρίσιμα τμήματα στον κώδικα του πυρήνα
 - ➡ Σημαφόροι, spinlocks

Ζητήματα Υλοποίησης (2)

- ◆ Η `read()` είναι το κέντρο της υλοποίησης
 - ➡ Κρατάει την μορφοποιημένη τιμή σε προσωρινό χώρο μνήμης
 - ➡ Δίνει από εκεί bytes ανάλογα με το `f_pos`
 - ➡ Όταν το `f_pos` είναι μηδέν τι γίνεται;
 - Υπάρχουν φρέσκα δεδομένα; Χρήση timestamps
 - Αν δεν υπάρχουν πρέπει να πέφτει για ύπνο
 - ➡ Όταν έρθουν ξυπνάει και τα επιστρέφει

Ζητήματα Υλοποίησης (2)

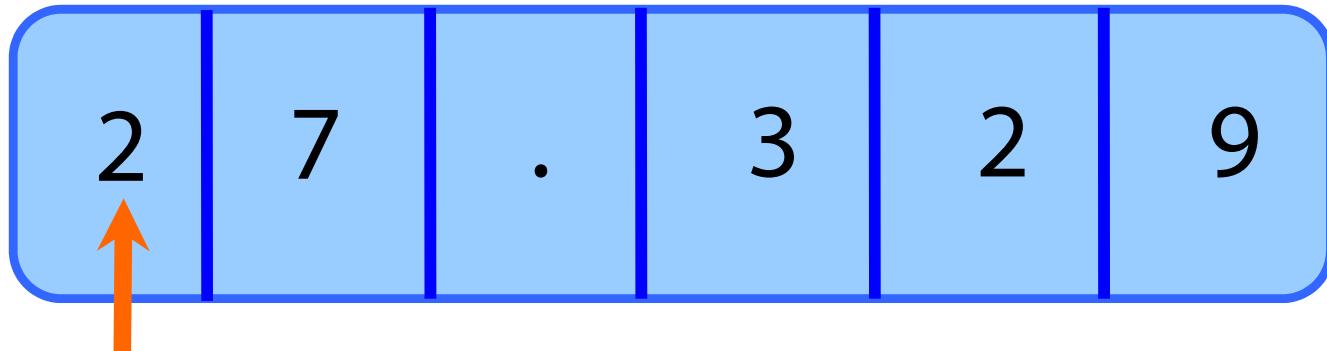
- ◆ Η `read()` είναι το κέντρο της υλοποίησης
 - ➡ Κρατάει την μορφοποιημένη τιμή σε προσωρινό χώρο μνήμης
 - ➡ Δίνει από εκεί bytes ανάλογα με το `f_pos`
 - ➡ Όταν το `f_pos` είναι μηδέν τι γίνεται;
 - Υπάρχουν φρέσκα δεδομένα; Χρήση timestamps
 - Αν δεν υπάρχουν πρέπει να πέφτει για ύπνο
 - ➡ Όταν έρθουν ξυπνάει και τα επιστρέφει



Ζητήματα Υλοποίησης (2)

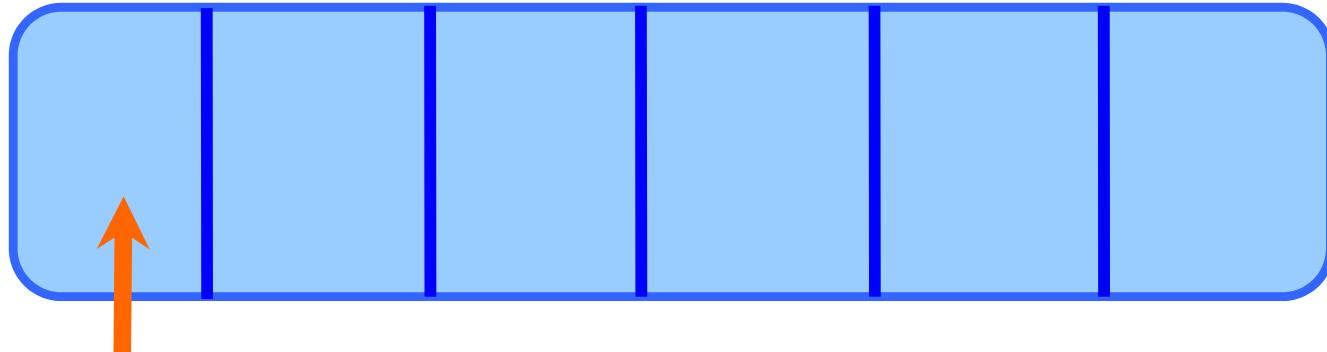
◆ Η `read()` είναι το κέντρο της υλοποίησης

- ➡ Κρατάει την μορφοποιημένη τιμή σε προσωρινό χώρο μνήμης
- ➡ Δίνει από εκεί bytes ανάλογα με το `f_pos`
- ➡ Όταν το `f_pos` είναι μηδέν τι γίνεται;
 - Υπάρχουν φρέσκα δεδομένα; Χρήση timestamps
 - Αν δεν υπάρχουν πρέπει να πέφτει για ύπνο
- ➡ Όταν έρθουν ξυπνάει και τα επιστρέφει

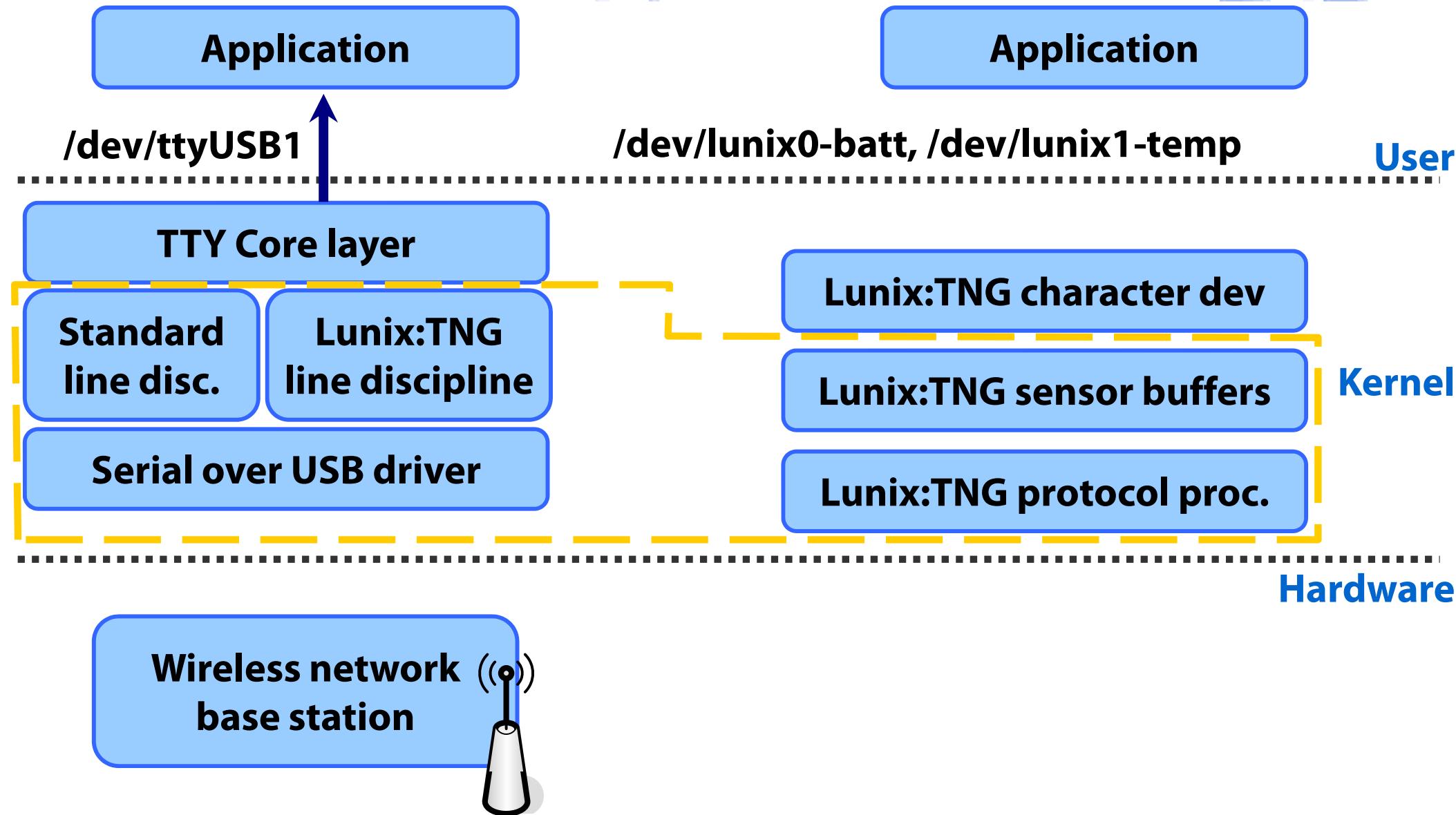


Ζητήματα Υλοποίησης (2)

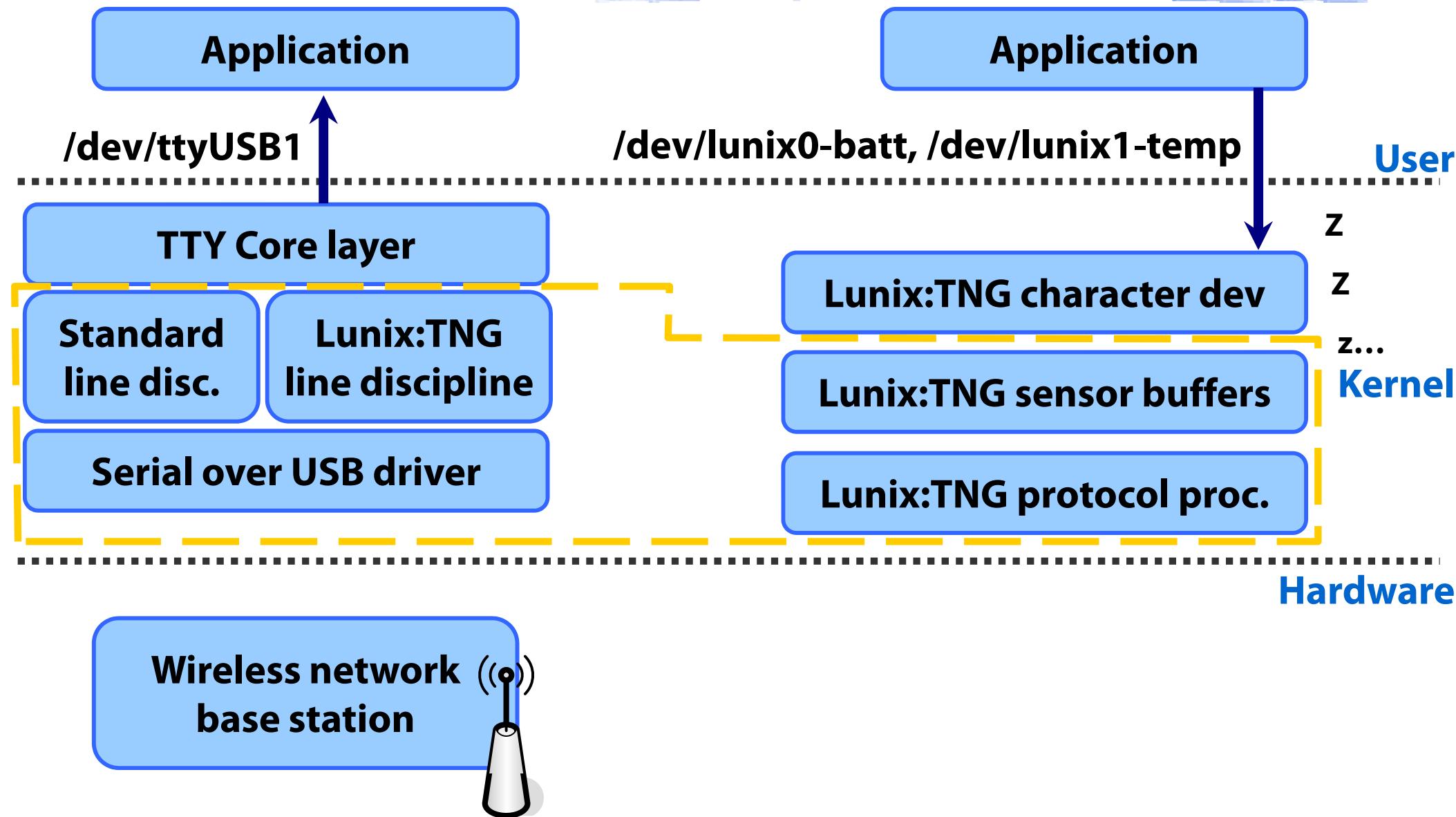
- ◆ Η `read()` είναι το κέντρο της υλοποίησης
 - ➡ Κρατάει την μορφοποιημένη τιμή σε προσωρινό χώρο μνήμης
 - ➡ Δίνει από εκεί bytes ανάλογα με το `f_pos`
 - ➡ Όταν το `f_pos` είναι μηδέν τι γίνεται;
 - Υπάρχουν φρέσκα δεδομένα; Χρήση timestamps
 - Αν δεν υπάρχουν πρέπει να πέφτει για ύπνο
 - ➡ Όταν έρθουν ξυπνάει και τα επιστρέφει



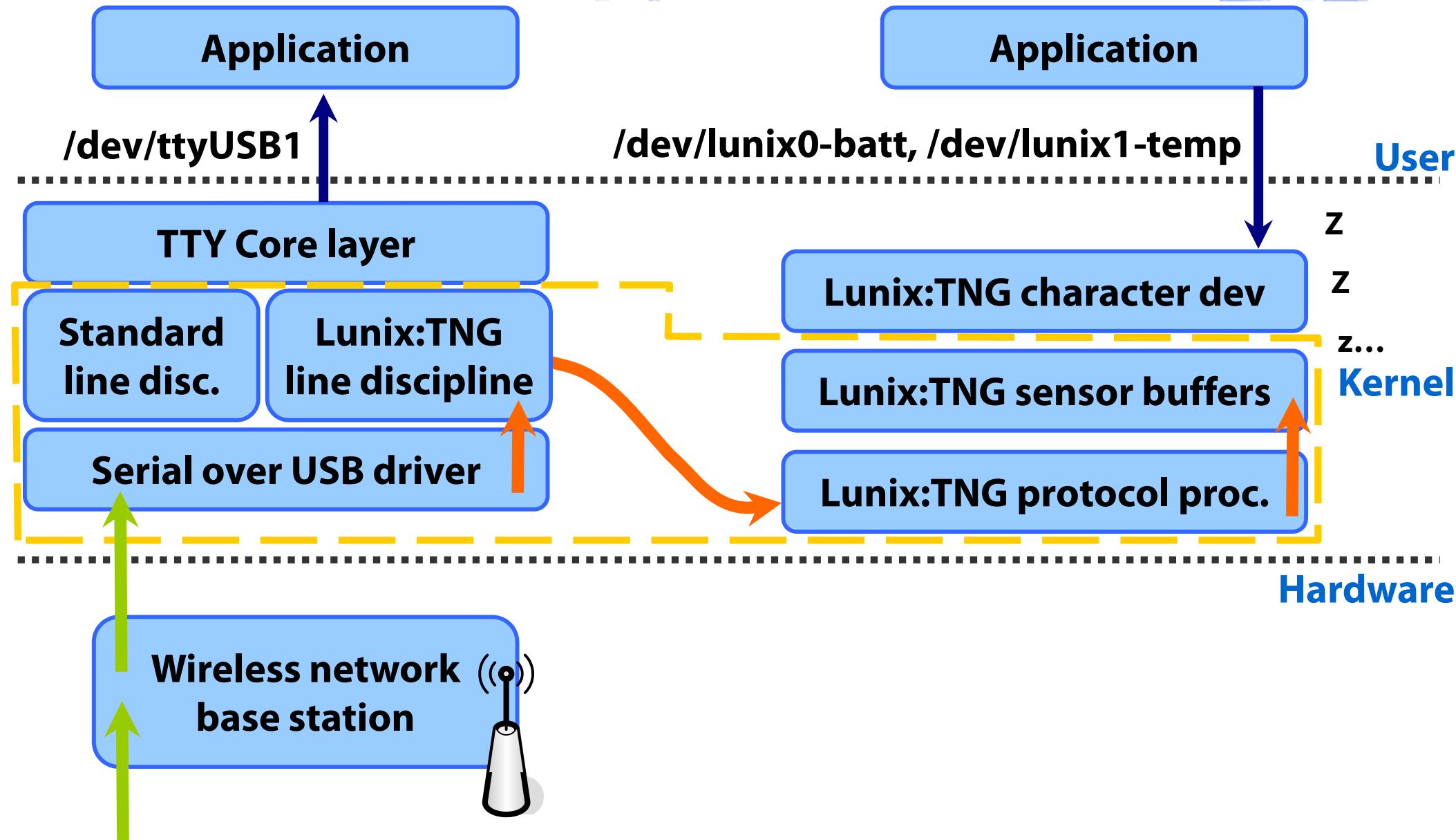
Ζητήματα Υλοποίησης (3)



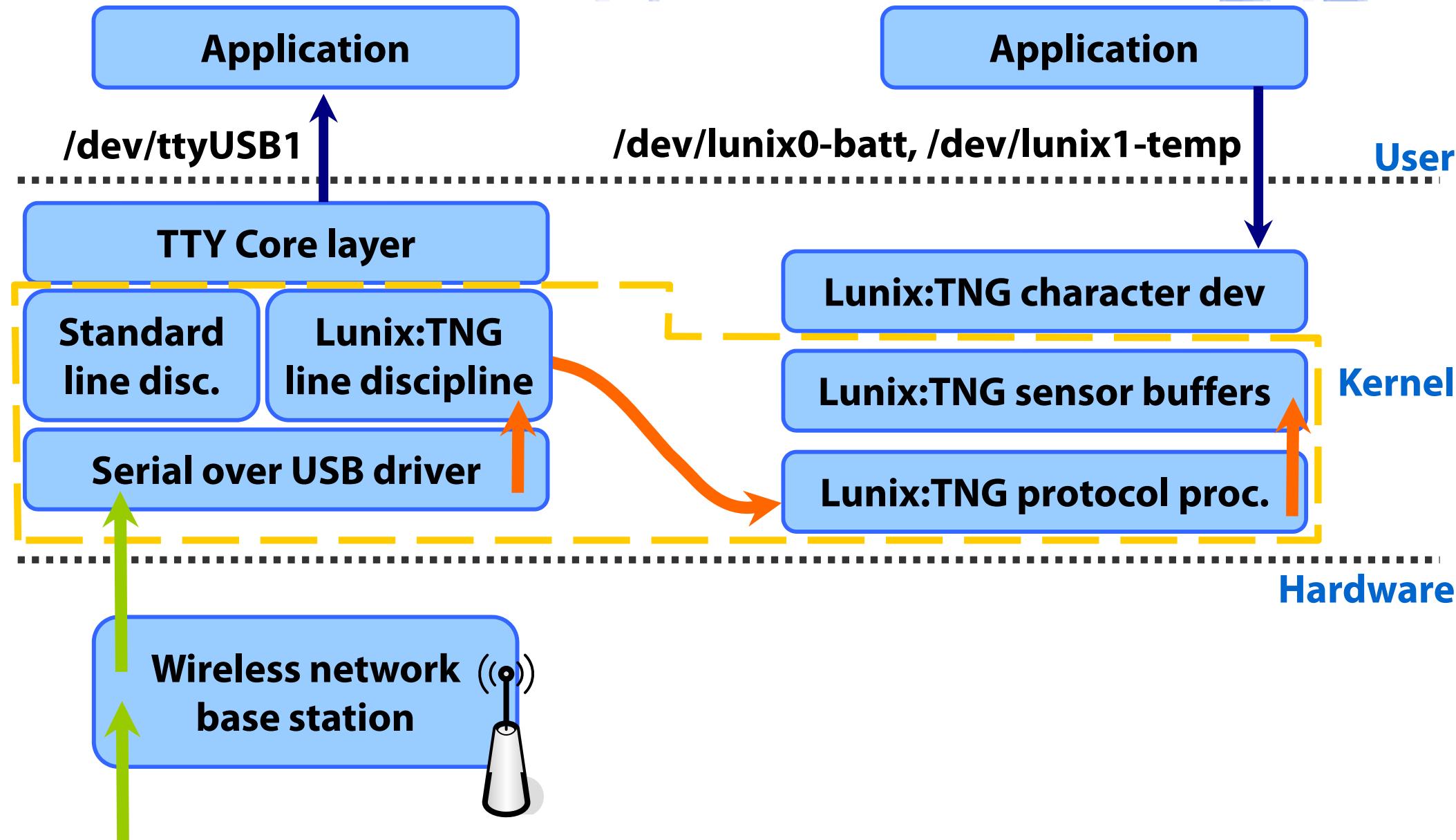
Ζητήματα Υλοποίησης (3)



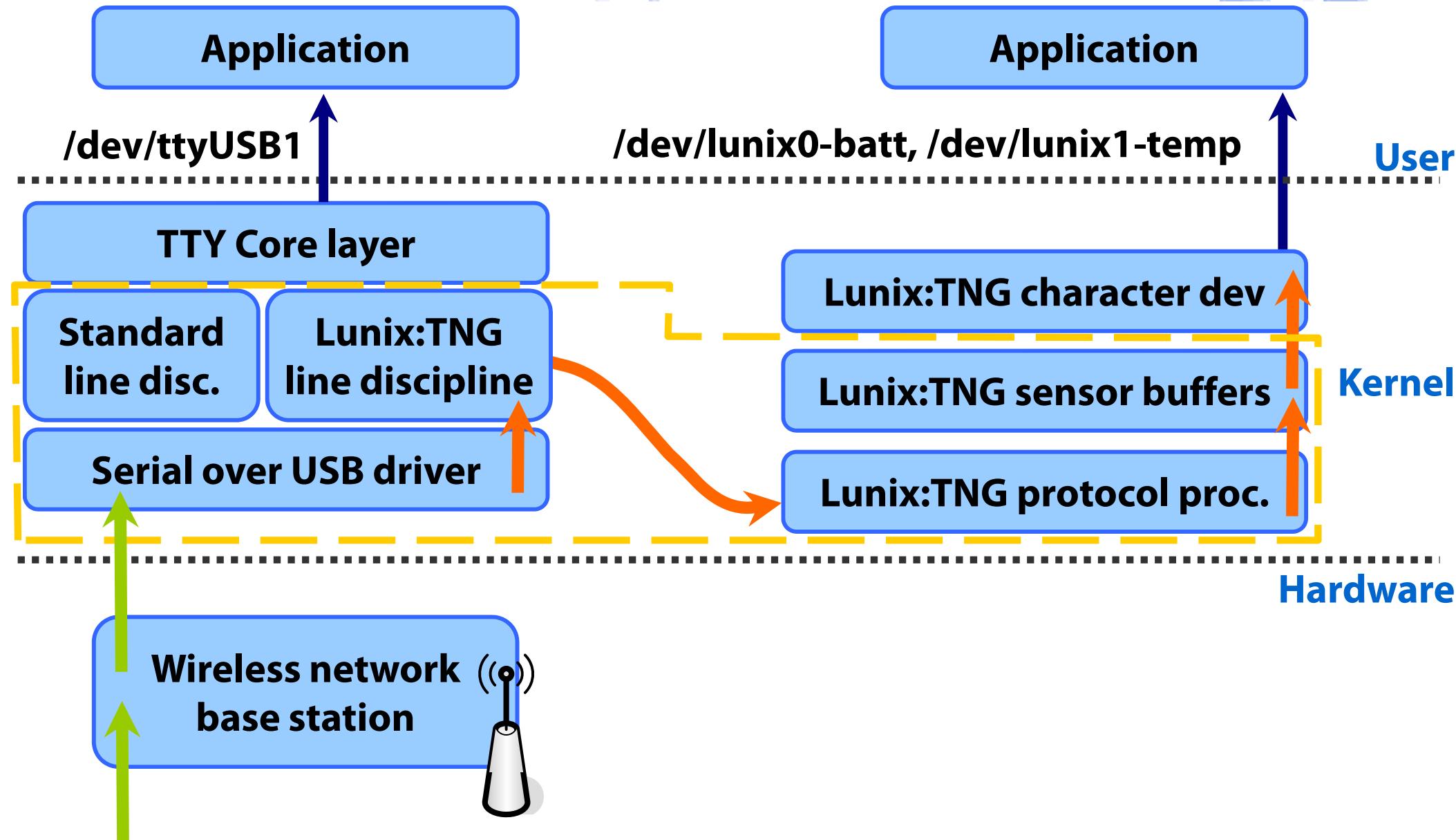
Ζητήματα Υλοποίησης (3)



Ζητήματα Υλοποίησης (3)



Ζητήματα Υλοποίησης (3)



Πρακτικά Ζητήματα

- ◆ Υλοποίηση μέσα σε εικονική μηχανή
 - ➡ root privilege σε Debian μέσα σε μηχανή UML
- ◆ Από πού ξεκινάω;
 - ➡ make στον έτοιμο κώδικα, ανάγνωση του `linux-sensors.c`, προσθήκες στα `linux-chrdev.{h,c}`
 - ➡ Σας δίνεται σκελετός με σχόλια
- ◆ Kernel logging, printk, `/var/log/kern.log`
- ◆ Linux Cross Reference (LXR)

Έλεγχος και πιθανές επεκτάσεις

◆ Έλεγχος σωστής λειτουργίας

- ➡ Από userspace, με ταυτόχρονα **cat**
- ➡ και με άλλα εργαλεία, π.χ. **dd**

◆ Πιθανές επεκτάσεις

- ➡ Υποστήριξη ioctl() για raw / cooked modes
- ➡ Υποστήριξη memory-mapped I/O με mmap()
- ➡ Userspace πρόγραμμα για καταγραφή και παρουσίαση μετρήσεων

Ιστοσελίδα – λίστα του μαθήματος



[http://www.cslab.ece.ntua.gr/courses
/compsyslab/](http://www.cslab.ece.ntua.gr/courses/compsyslab/)

os-lab@lists.cslab.ece.ntua.gr

Βιβλιογραφία

- ◆ “Linux Device Drivers”,
3rd Edition, Jonathan
Corbet, Alessandro
Rubini, and Greg Kroah-
Hartman.

<http://lwn.net/Kernel/LDD3>

