

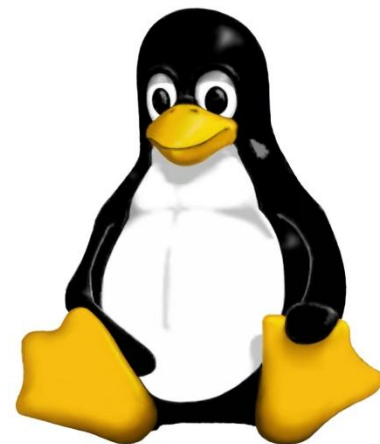


Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχ. και Μηχανικών Υπολογιστών
Εργαστήριο Υπολογιστικών Συστημάτων

Οδηγός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων στο Λειτουργικό Σύστημα Linux

Εργαστήριο Λειτουργικών Συστημάτων
2η εργαστηριακή άσκηση

Οκτώβριος 2020



Οργάνωση ενός σύγχρονου Λ.Σ.

Διεργασία1 Διεργασία2 Διεργασία3

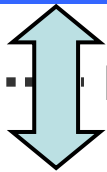
◆ Χώρος χρήστη

- ➔ απομονωμένη εκτέλεση
- ➔ χρήση κλήσεων συστήματος

.....

Υπηρεσίες του πυρήνα

Οδηγοί συσκευών



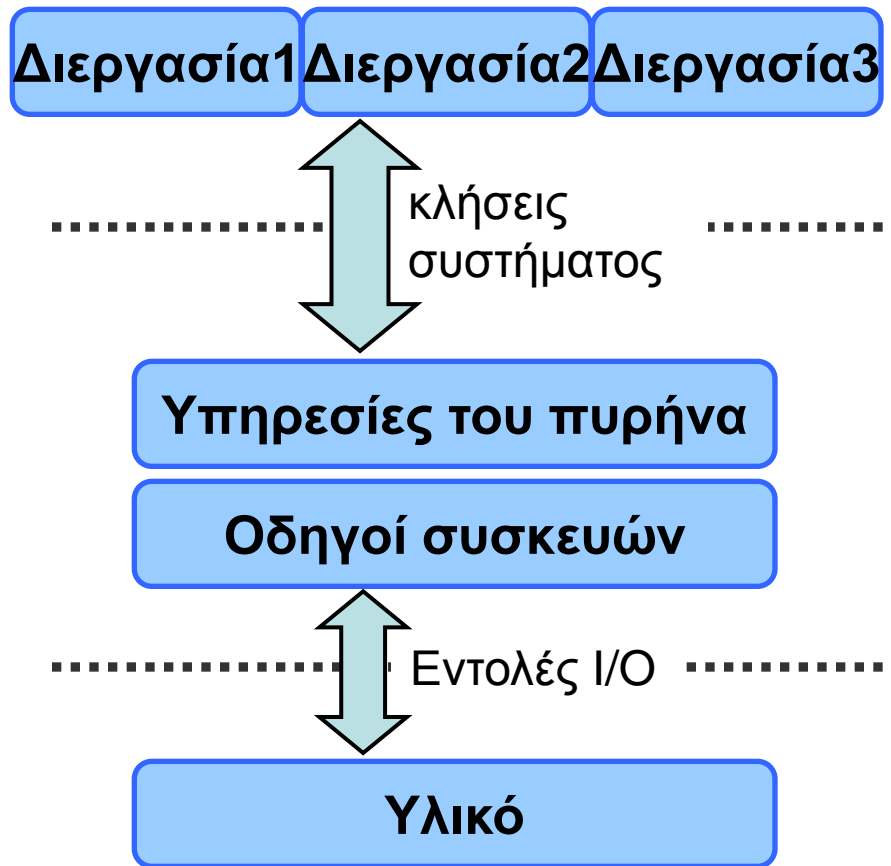
Εντολές I/O

Υλικό

◆ 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



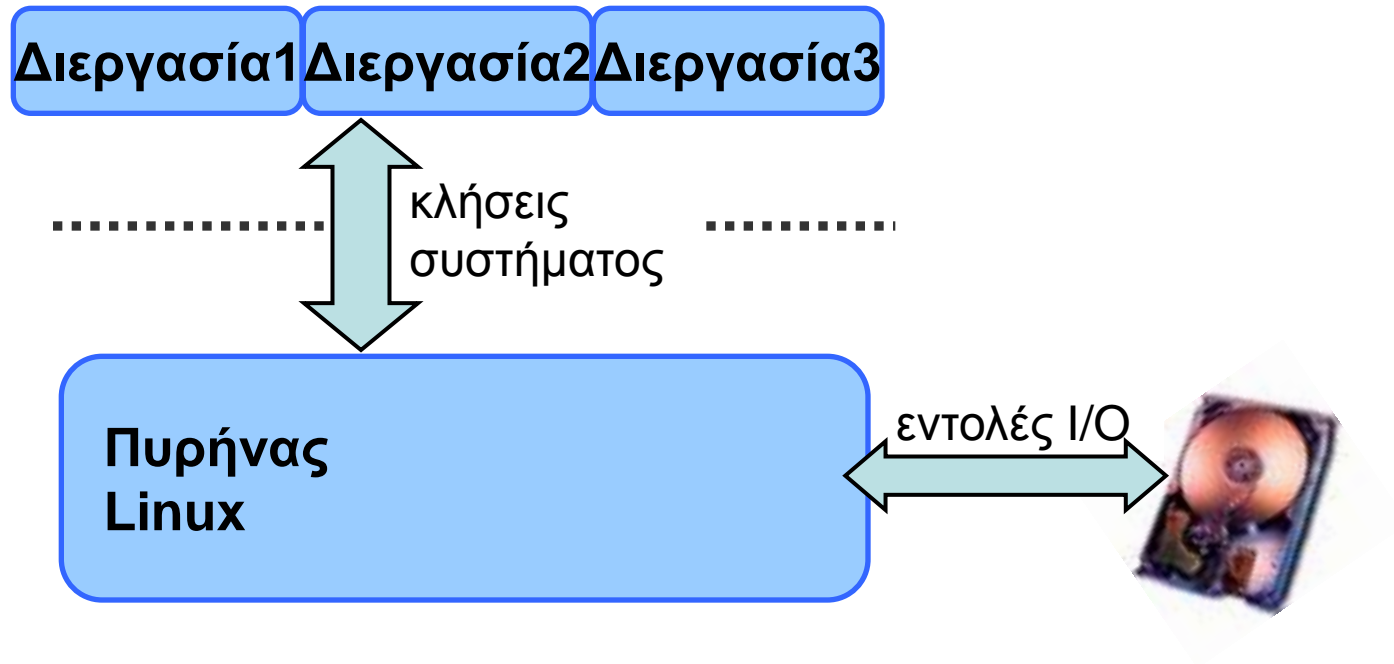
- ◆ Διαχείριση διεργασιών
 - ➔ χρονοδρομολόγηση σε CPUs
- ◆ Διαχείριση μνήμης
- ◆ Διαδικτύωση (TCP/IP)
- ◆ Υποστήριξη συστημάτων αρχείων
- ◆ Διαχείριση συσκευών (Device Drivers)

Kernel modules

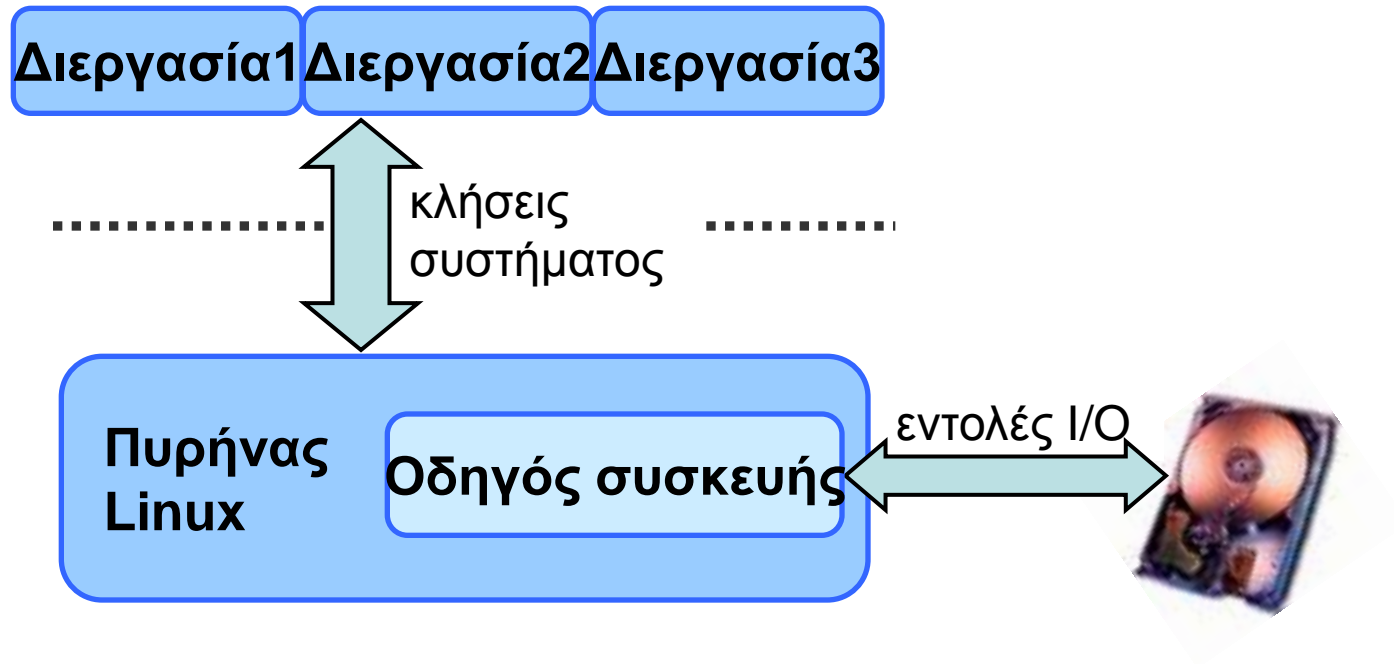


- ◆ Τμήματα κώδικα
- ◆ Επέκταση των δυνατοτήτων του πυρήνα
 - ➔ Οδηγοί συσκευής, συστήματα αρχείων
- ◆ Δυναμική εισαγωγή / αφαίρεση
 - ➔ Ενώ ο πυρήνας εκτελείται
 - ➔ Απαιτούνται δικαιώματα root
- ◆ Εκτέλεση σε kernelspace

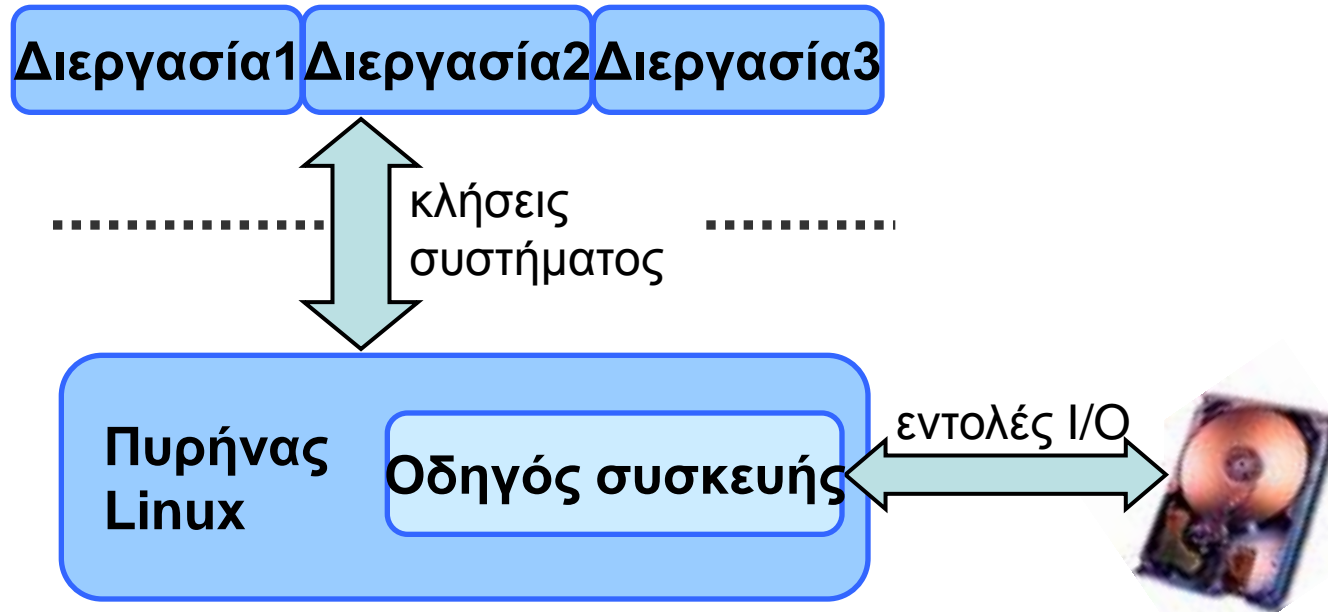
Οδηγοί συσκευής



Οδηγοί συσκευής

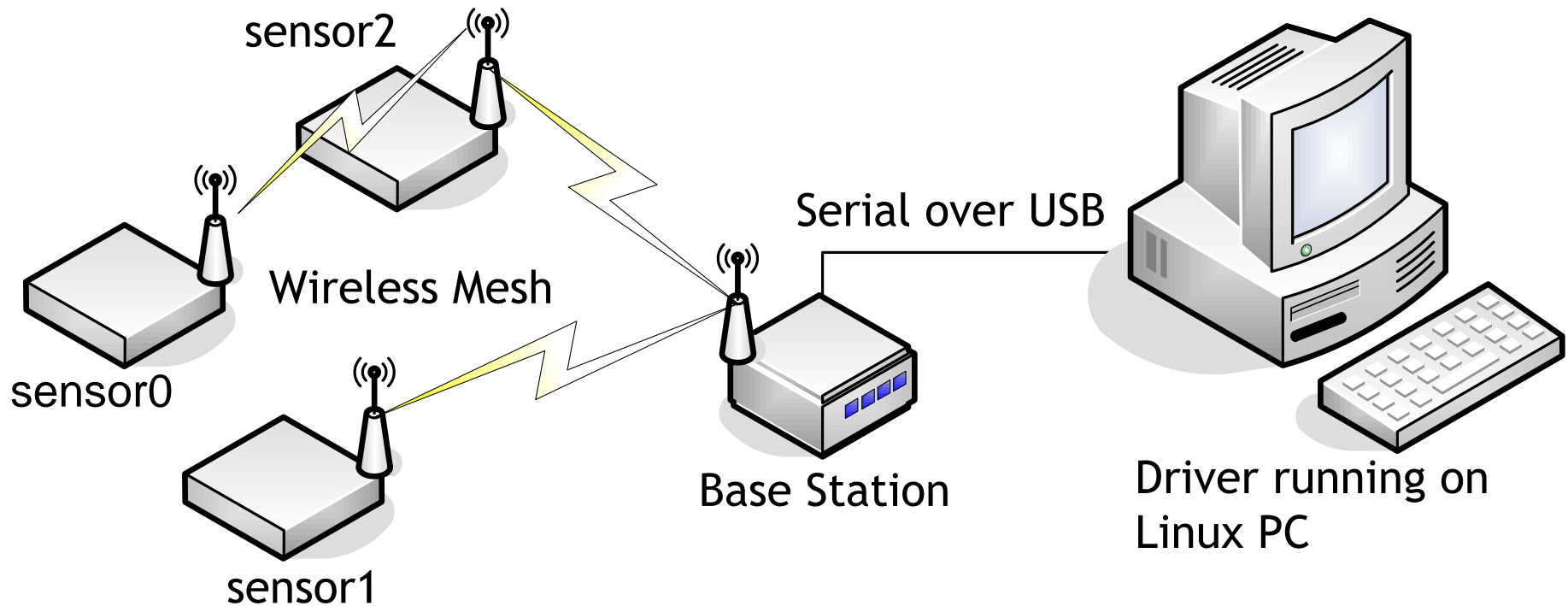


Οδηγοί συσκευής

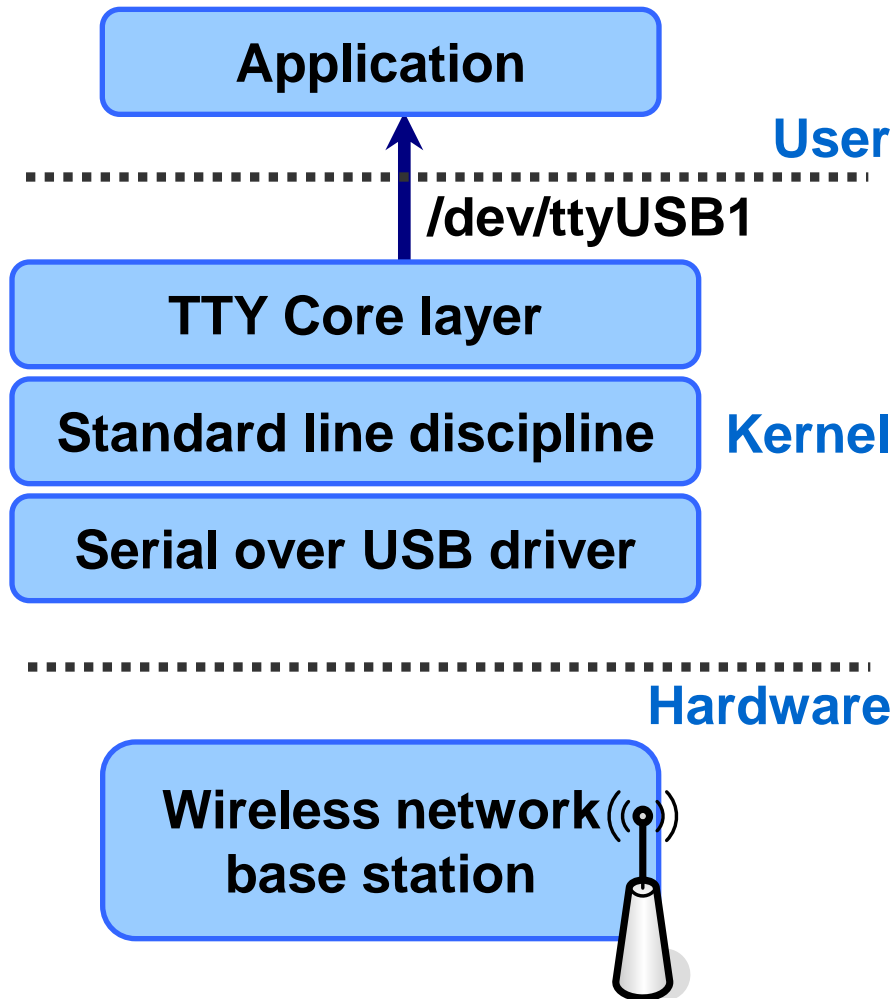


- ◆ Απόκρυψη των λεπτομερειών
- ◆ Καθορισμένο interface με τον πυρήνα
- ◆ Δυνατότητα δυναμικής εισαγωγής ως module
- ◆ Εφαρμογές ανεξάρτητες από το hardware

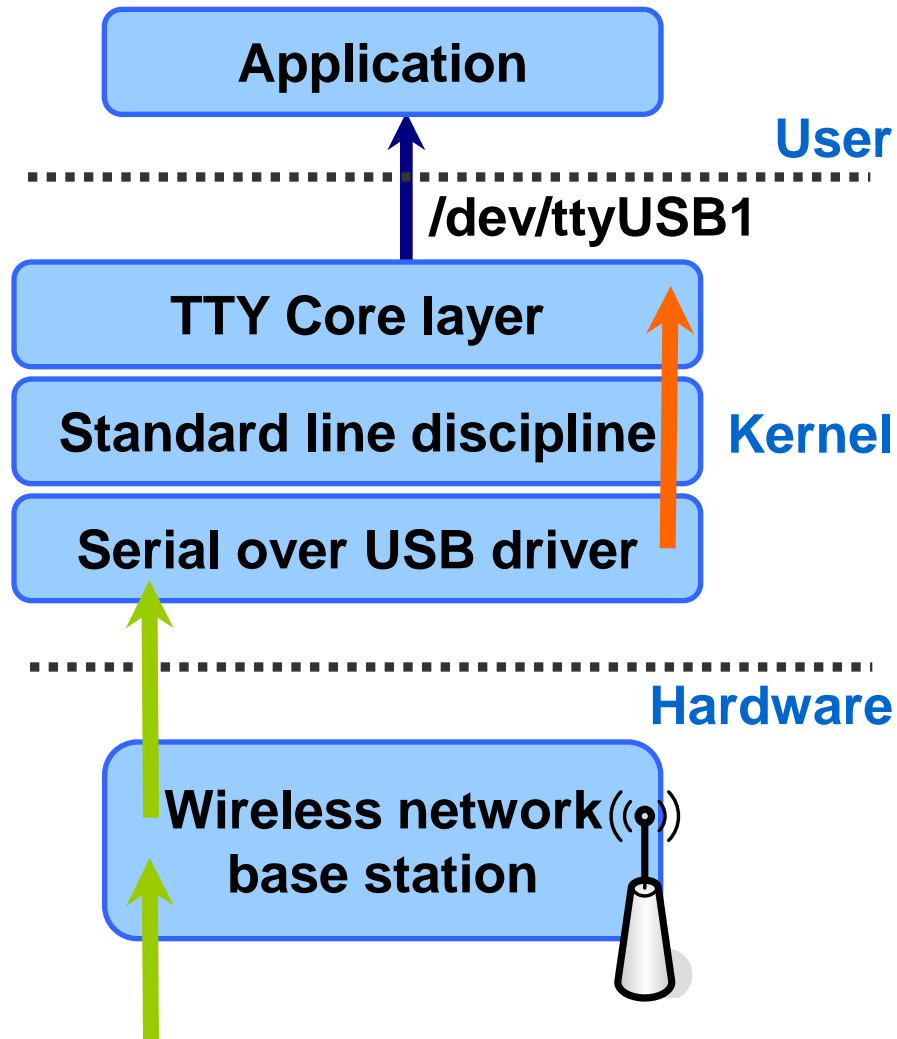
Driver για ένα πραγματικό σύστημα



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...

◆ Lunix: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

User

TTY Core layer

Standard
line disc.

Kernel

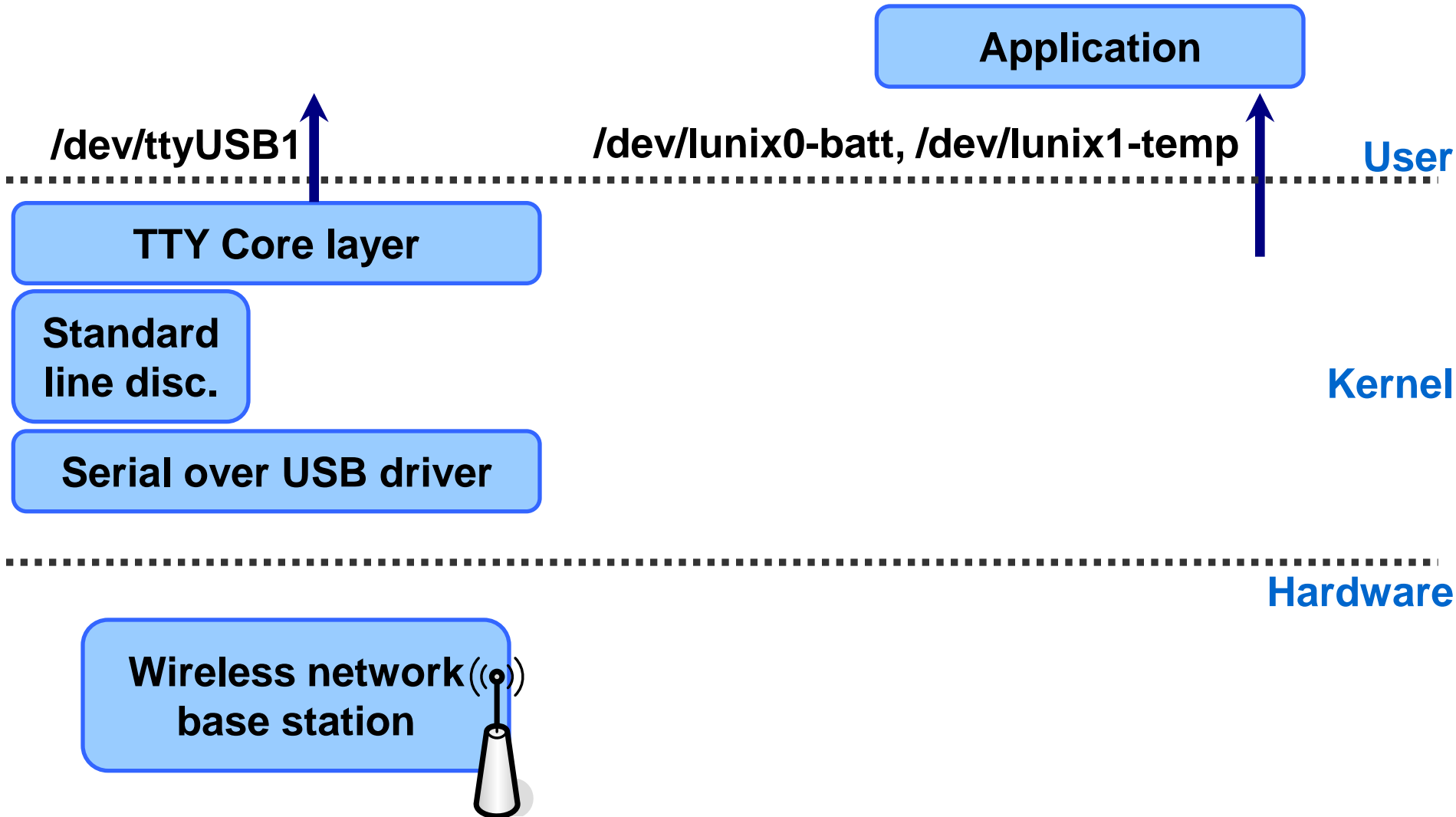
Serial over USB driver

Wireless network
base station

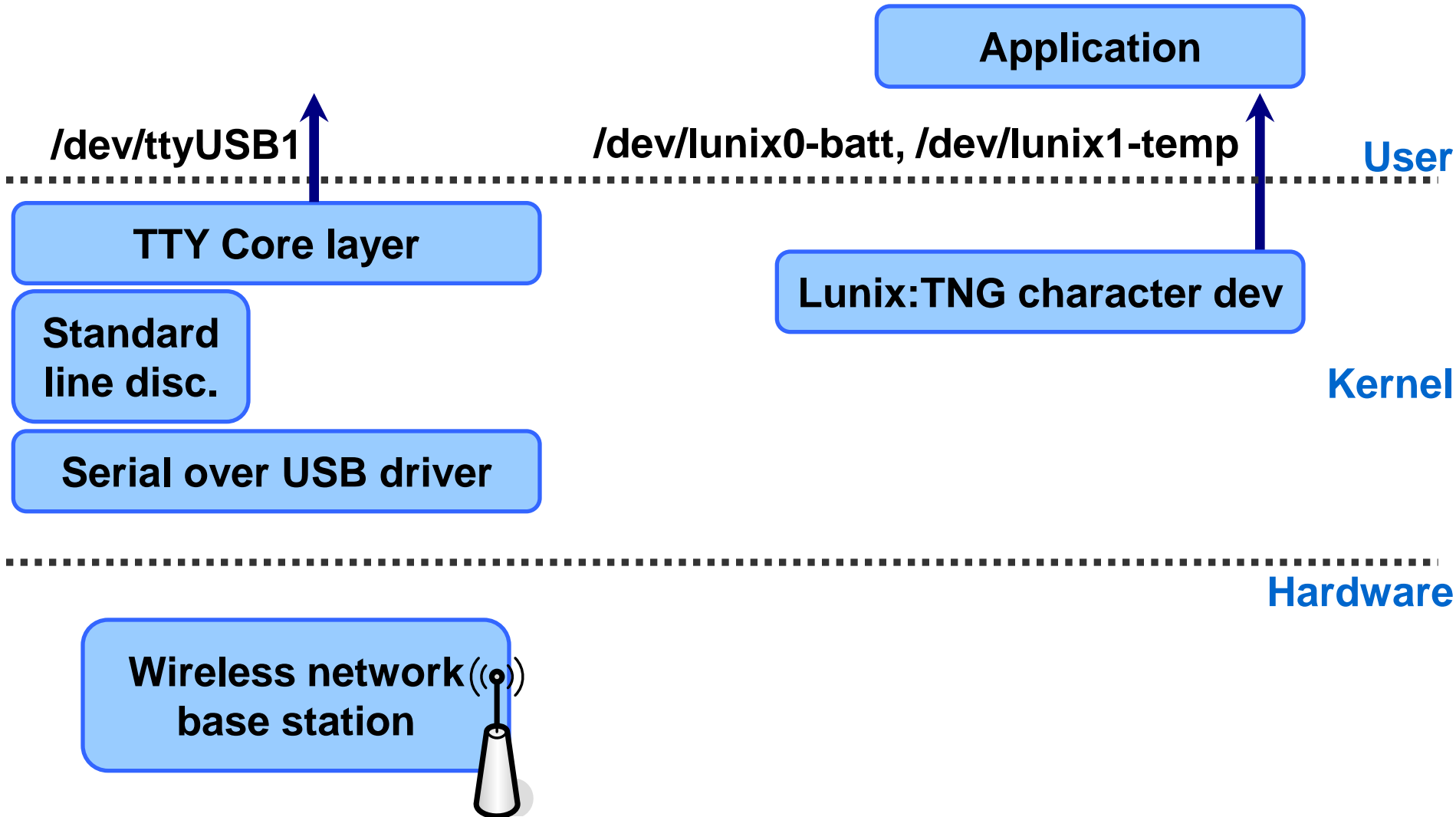
Hardware



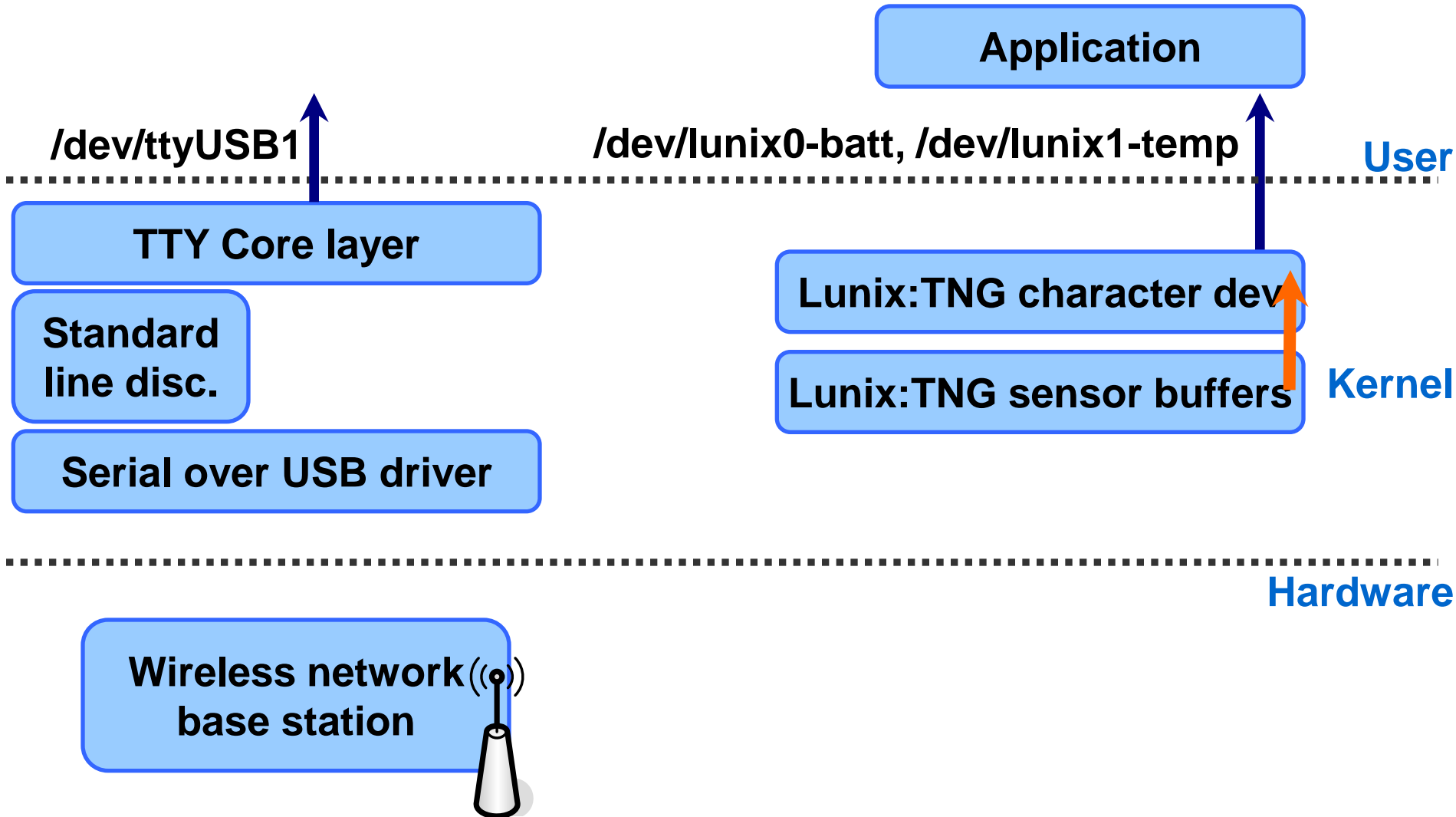
Υπό κατασκευή σύστημα



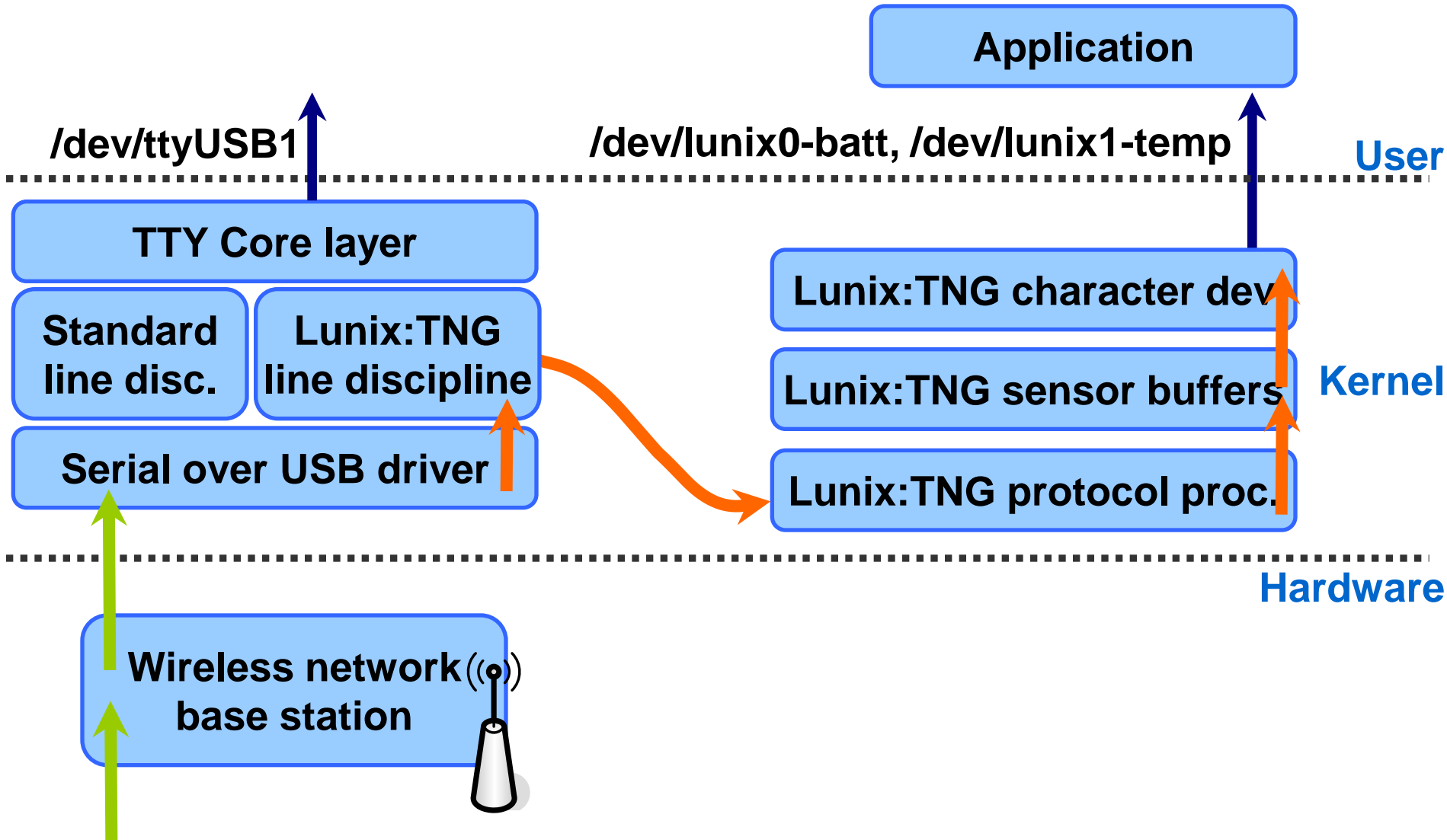
Υπό κατασκευή σύστημα



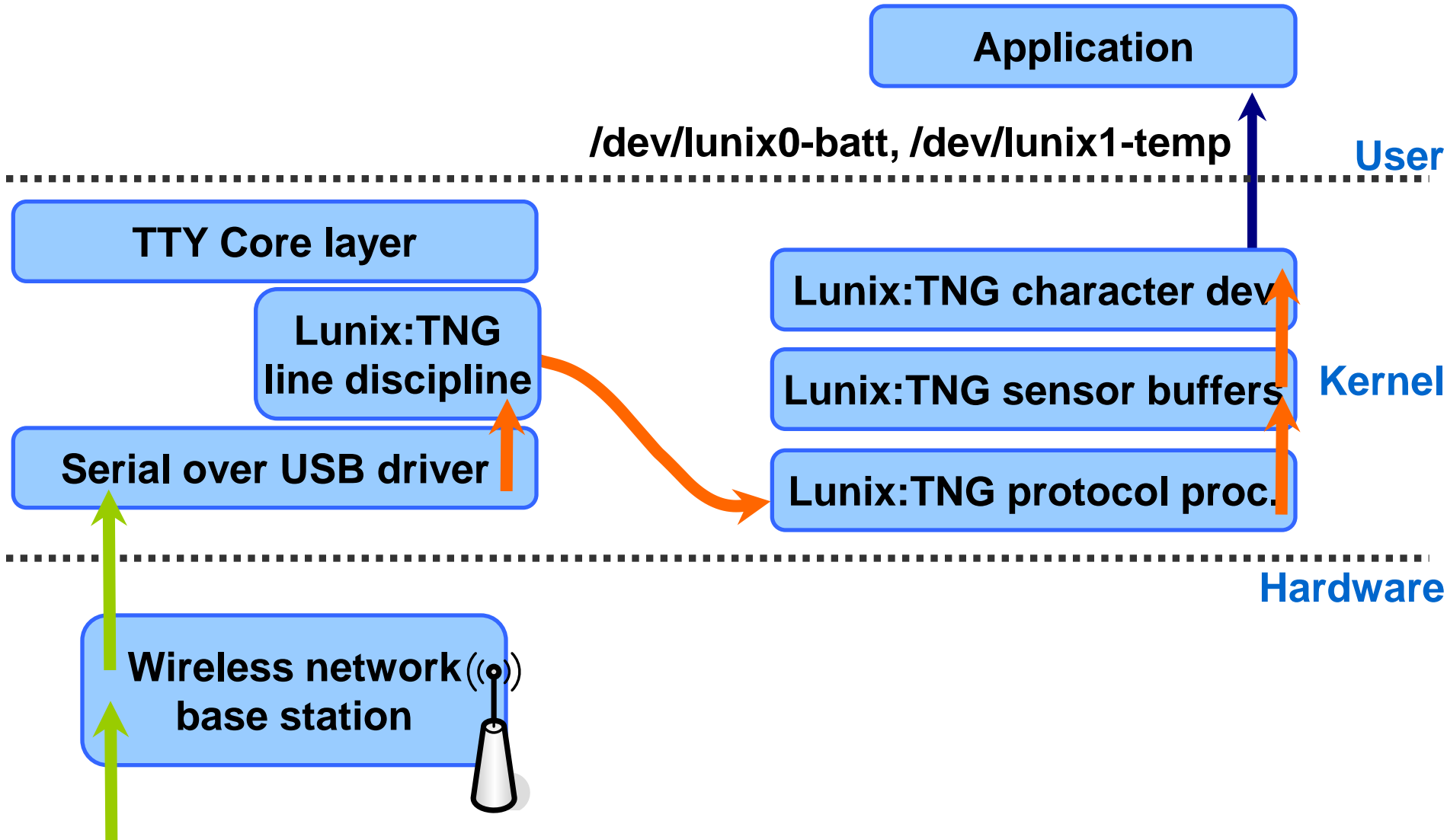
Υπό κατασκευή σύστημα



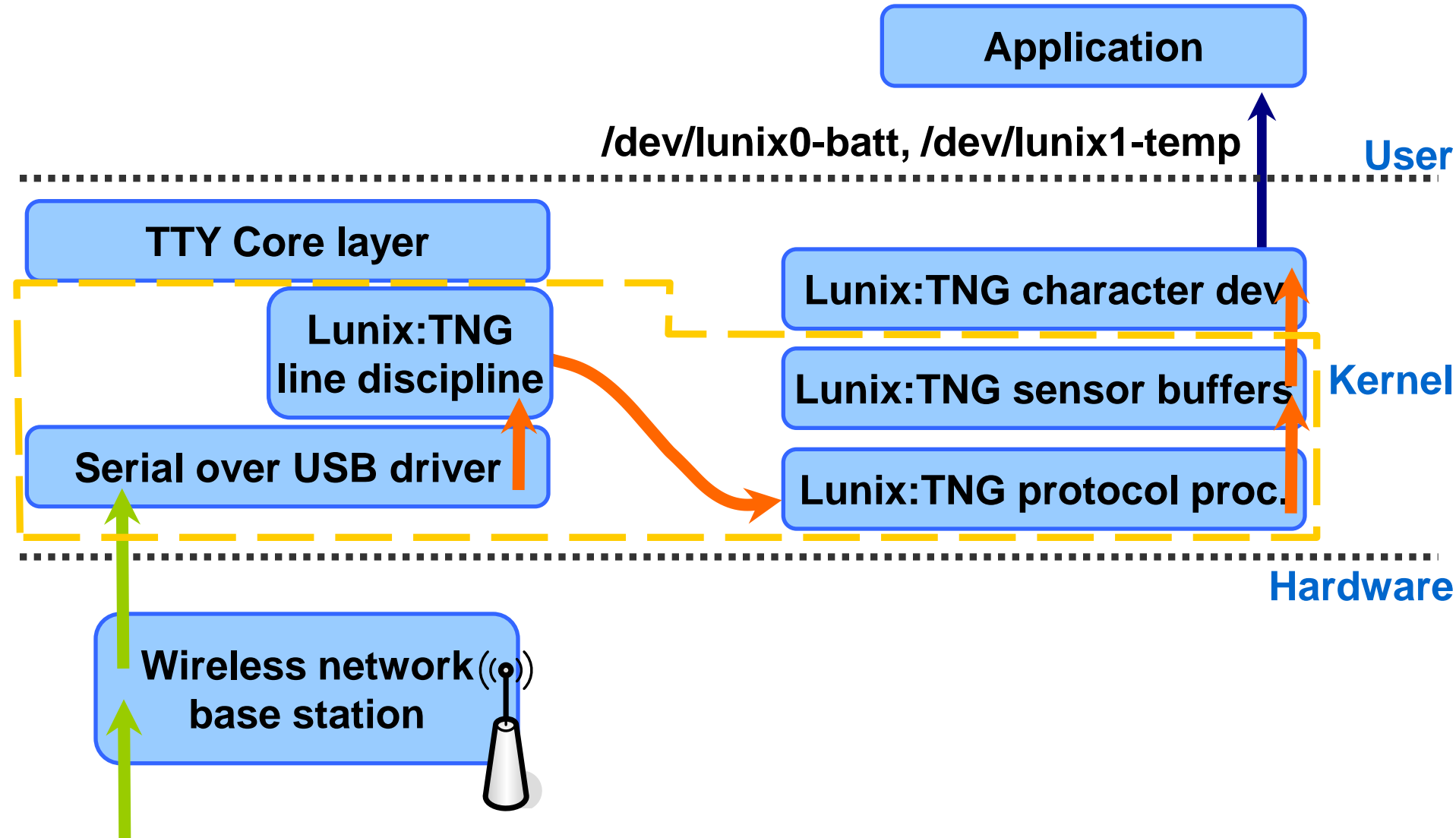
Υπό κατασκευή σύστημα



Υπό κατασκευή σύστημα



Υπό κατασκευή σύστημα



Οδηγοί συσκευών στο Linux



- ◆ Συσκευές χαρκτήρων
 - ➔ τερματικά, σειριακές/παράλληλες θύρες, κάρτες ήχου
- ◆ Συσκευές block
 - ➔ Σκληροί δίσκοι, CD-ROM, δισκέτες
- ◆ Συσκευές δικτύου
 - ➔ Κάρτες δικτύου, PPP

Παράδειγμα χρήσης οδηγού (1)

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

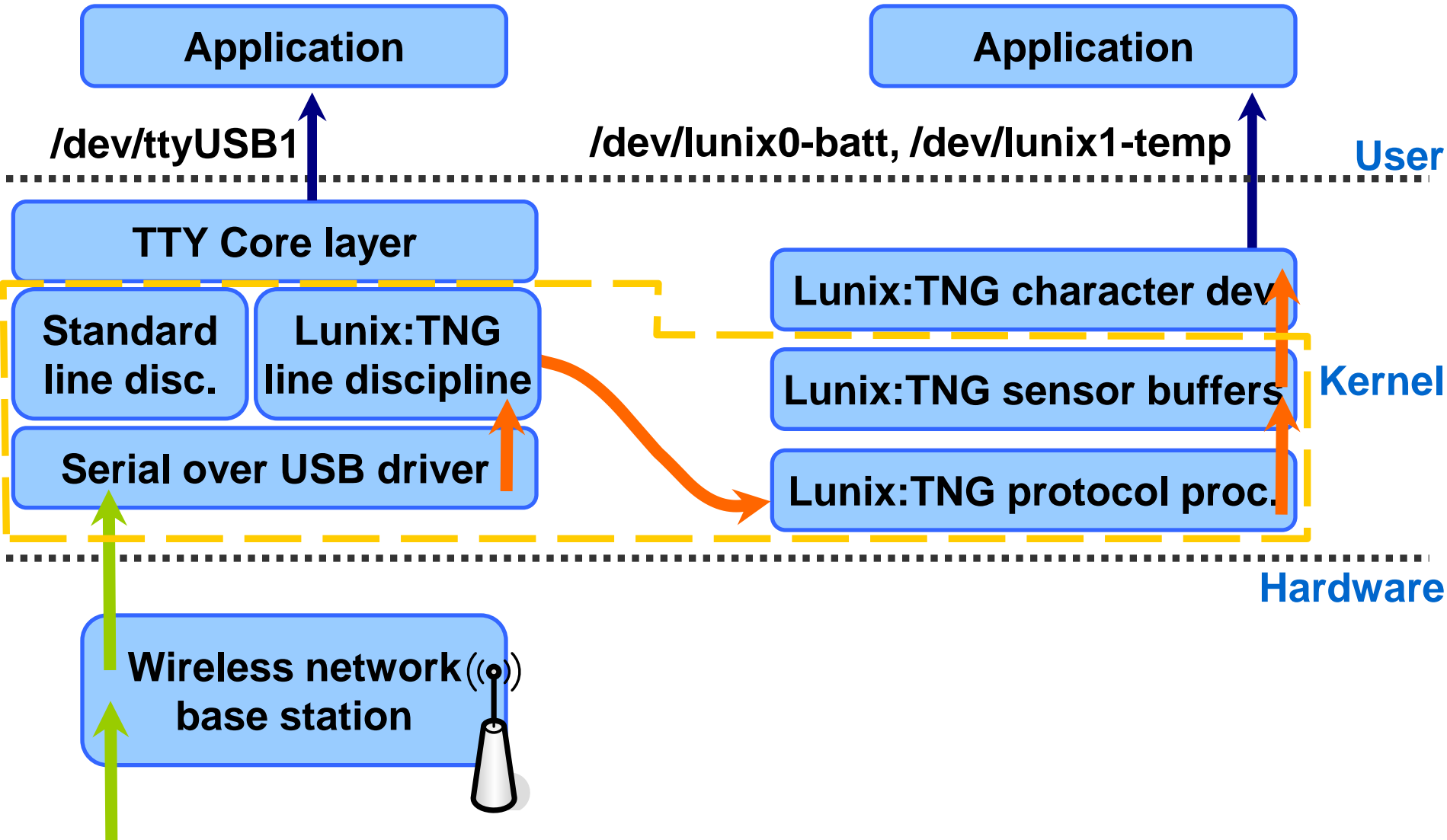
Παράδειγμα χρήσης οδηγού (2)

```
user@utopia:~/linux-tng$ su -  
Password:  
utopia:~# cd ~user/linux-tng  
utopia:/home/user/linux-tng# insmod ./linux.ko  
utopia:/home/user/linux-tng# ./linux_dev_nodes.sh  
utopia:/home/user/linux-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...
```

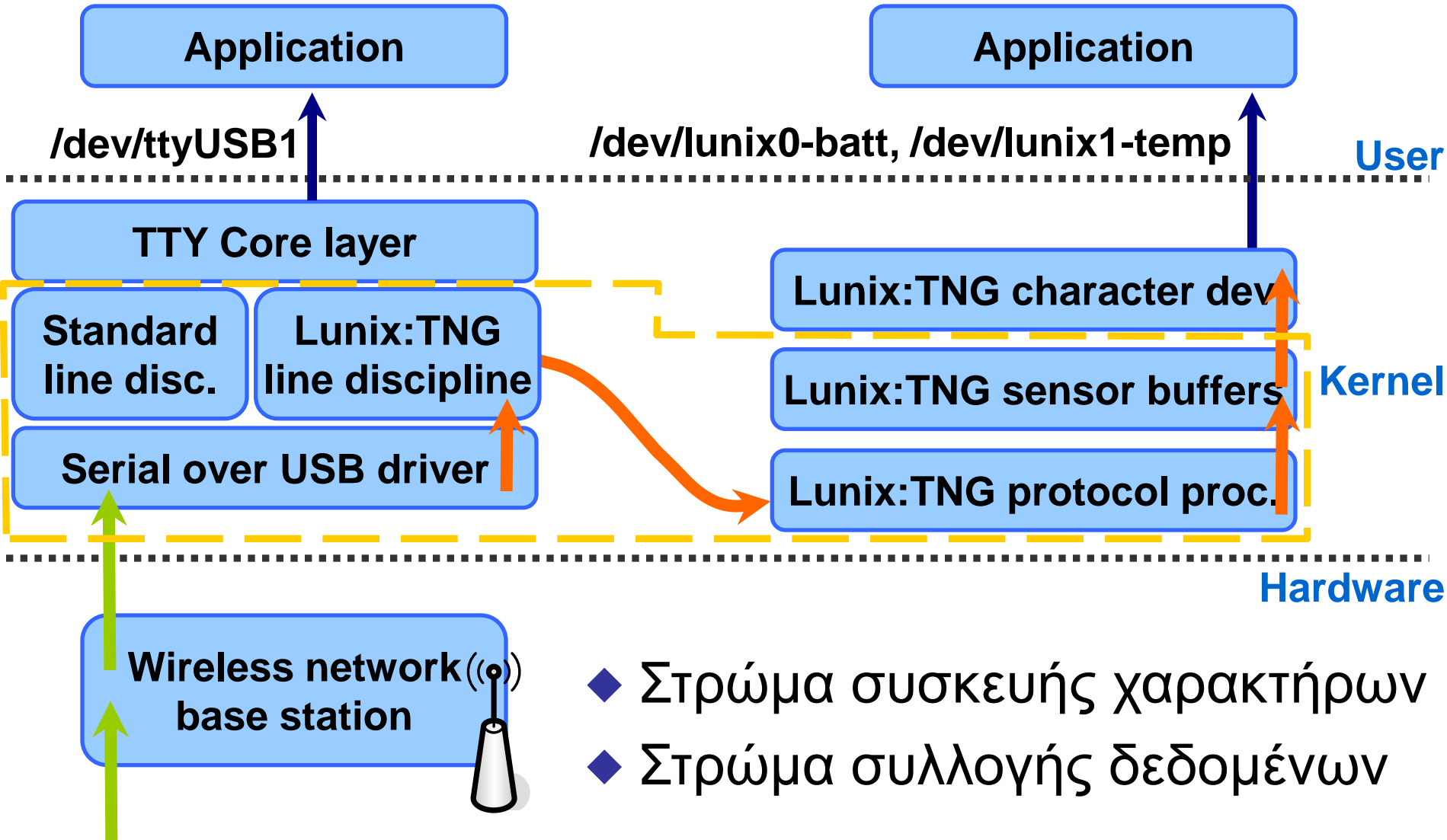
Οπότε μετά:

```
user@utopia:~$ cat /dev/linux2-temp  
27.791  
27.791  
27.693  
27.791  
^C
```

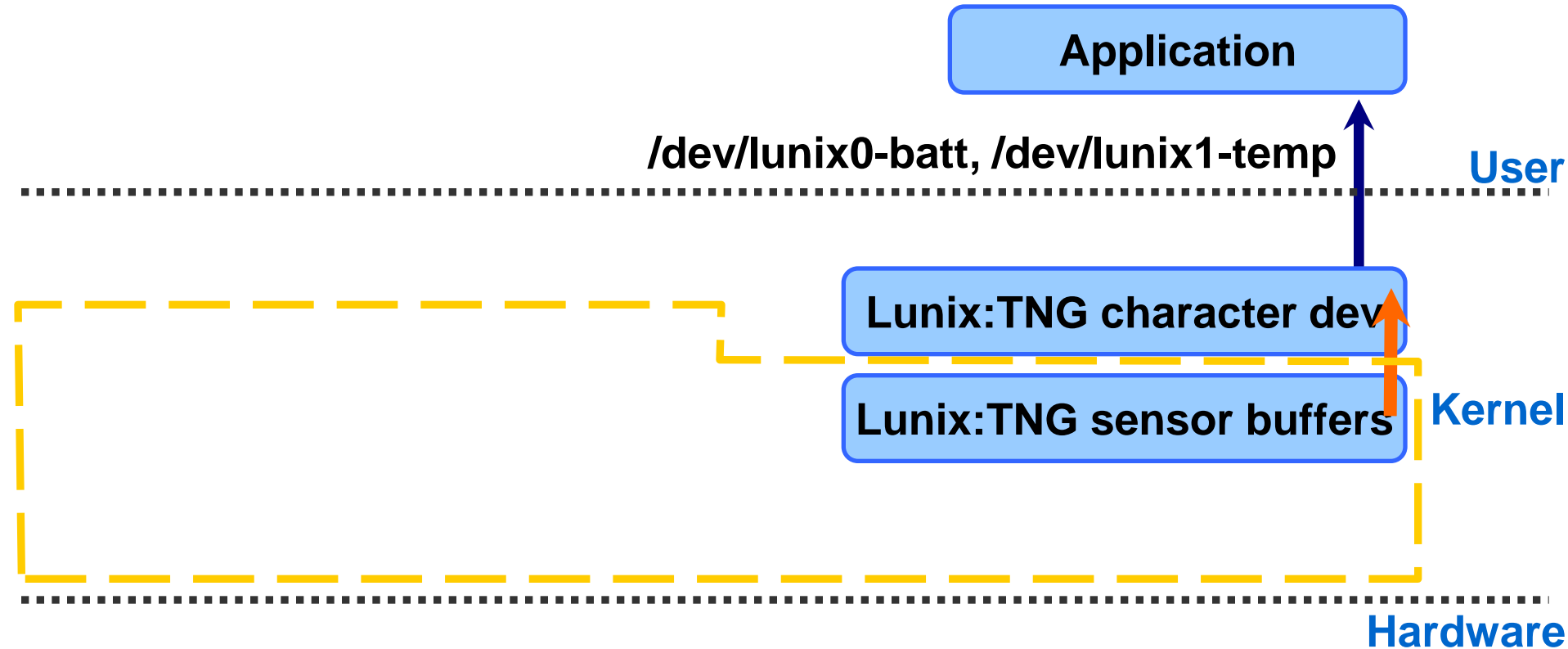
Υπό κατασκευή σύστημα



Υπό κατασκευή σύστημα



Στρώμα συσκευής χαρκτήρων



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

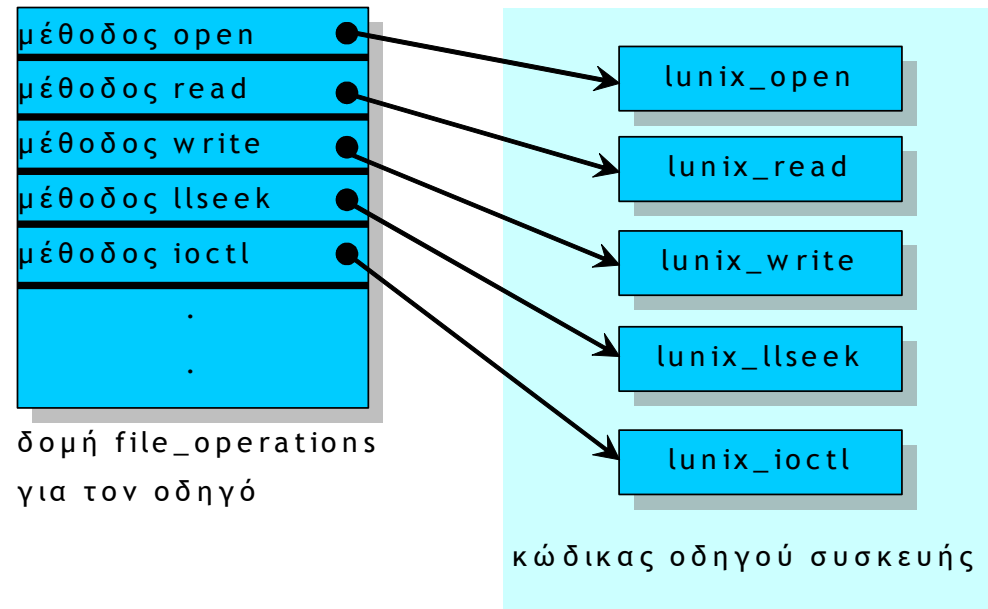
◆ Δέσμευση major number με register_chrdev_region

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)



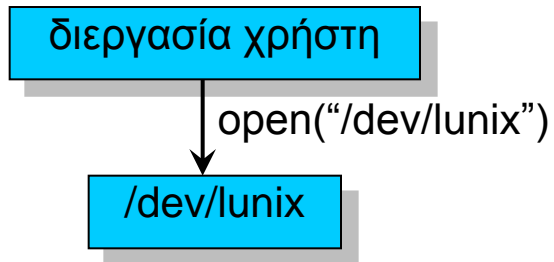
Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)



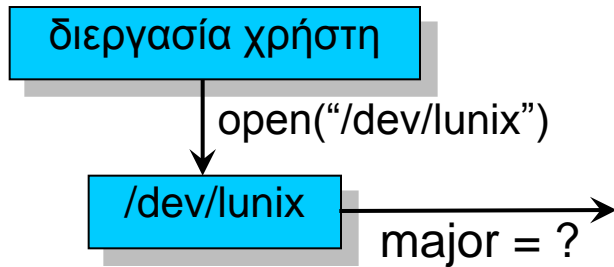
διεργασία χρήστη



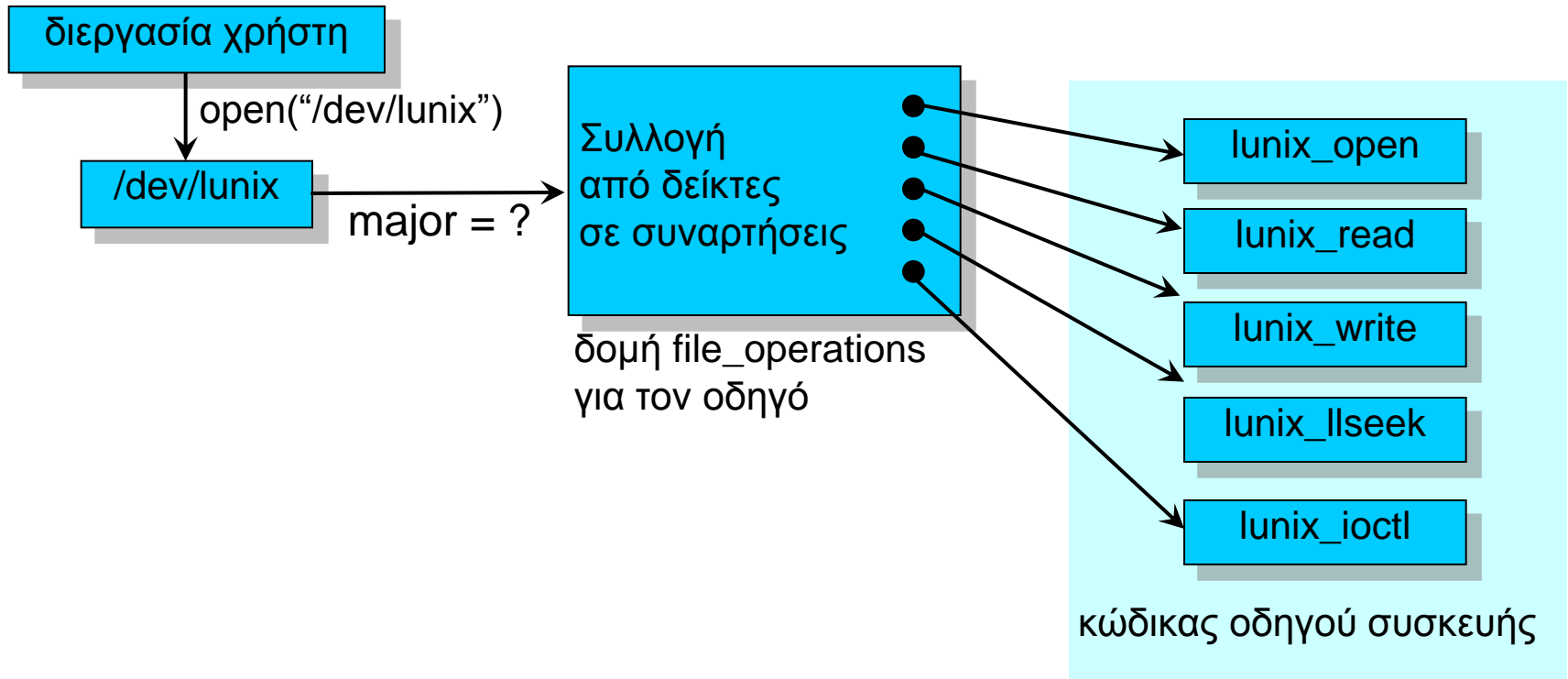
Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)



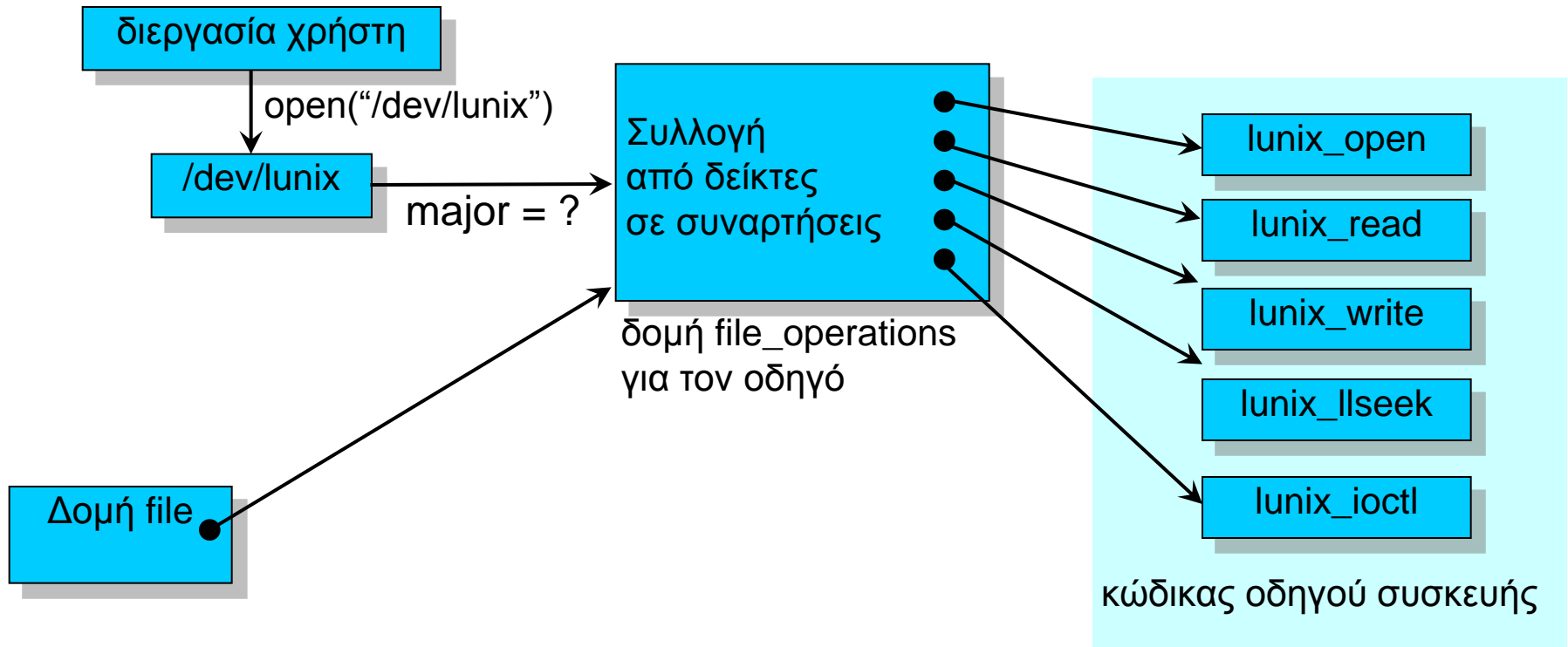
Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)



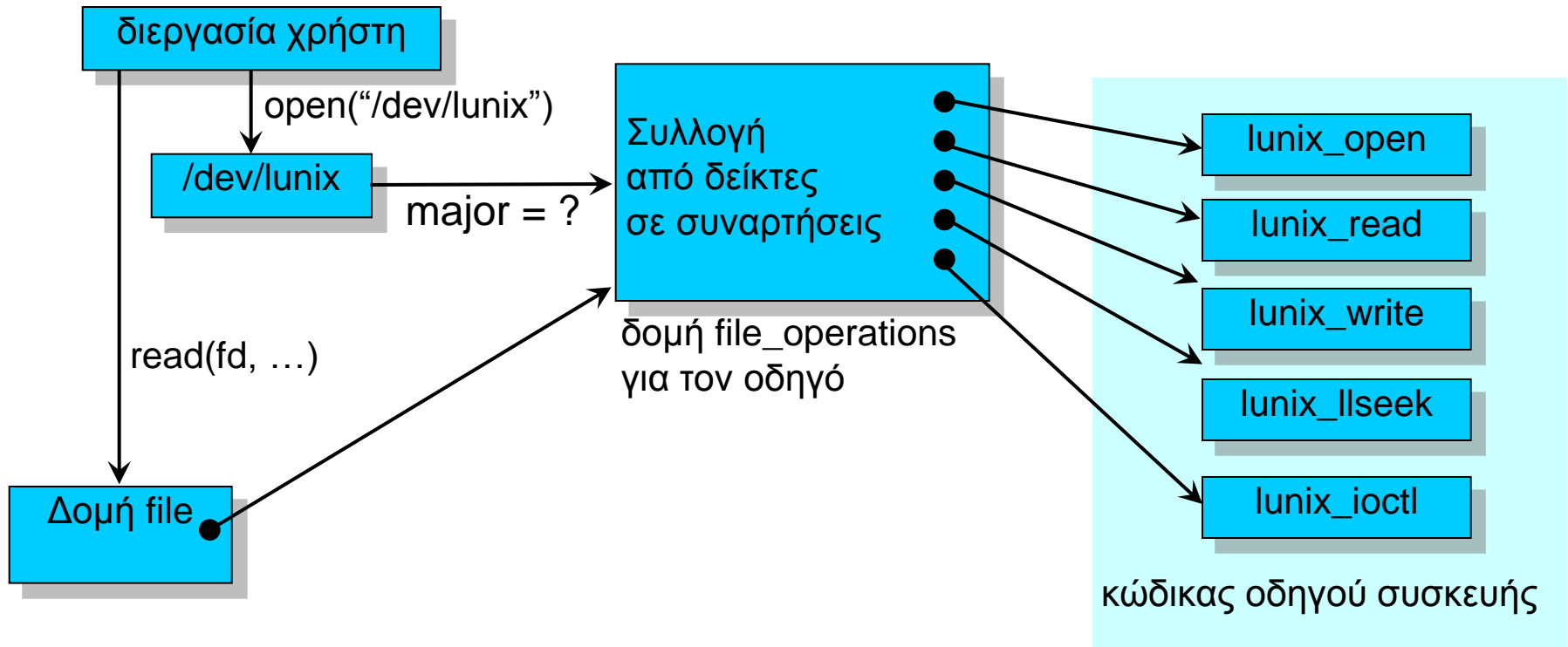
Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)



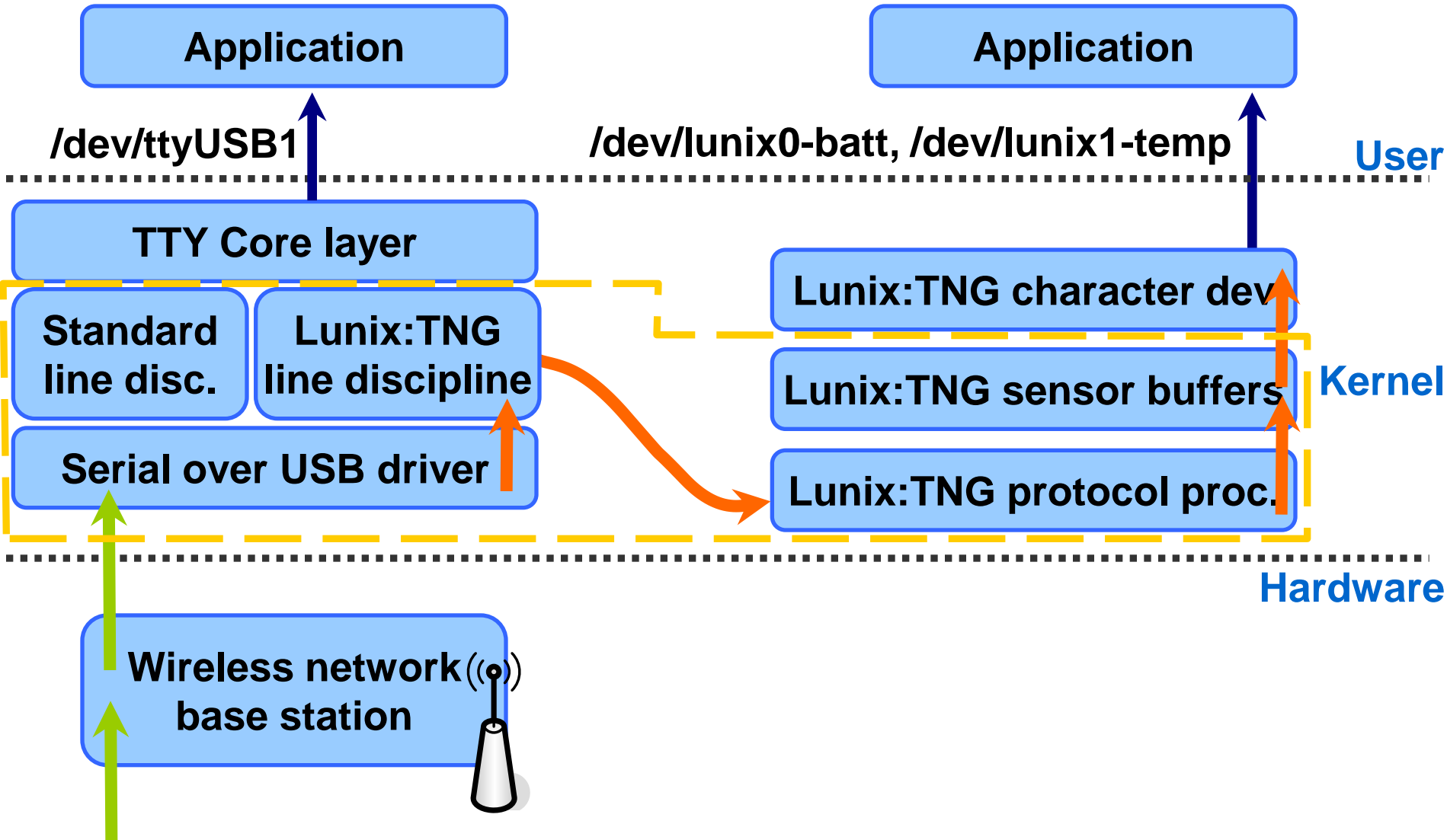
Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)



Διεπαφή με τον πυρήνα του Linux (4)



Στρώμα συλλογής δεδομένων



Στρώμα συλλογής δεδομένων

User

Kernel

Hardware

Standard
line disc.

Lunix:TNG
line discipline

Serial over USB driver

Lunix:TNG sensor buffers

Lunix:TNG protocol proc.

Wireless network
base station



Lunix:TNG line discipline

User
Application

`/dev/ttyUSB1`

User

TTY Core
(`struct file_operations *`)

Standard line discipline
(`struct tty_ldisc_ops *`)

Kernel

Serial over USB driver
(`struct tty_driver *`)

Hardware

Serial Device

→ data transfer
→ function call

Lunix:TNG line discipline

User
Application

/dev/ttyUSB1

User

TTY Core
(struct file_operations *)

Standard line discipline
(struct tty_ldisc_ops *)

Kernel

Serial over USB driver
(struct tty_driver *)

flip buffer

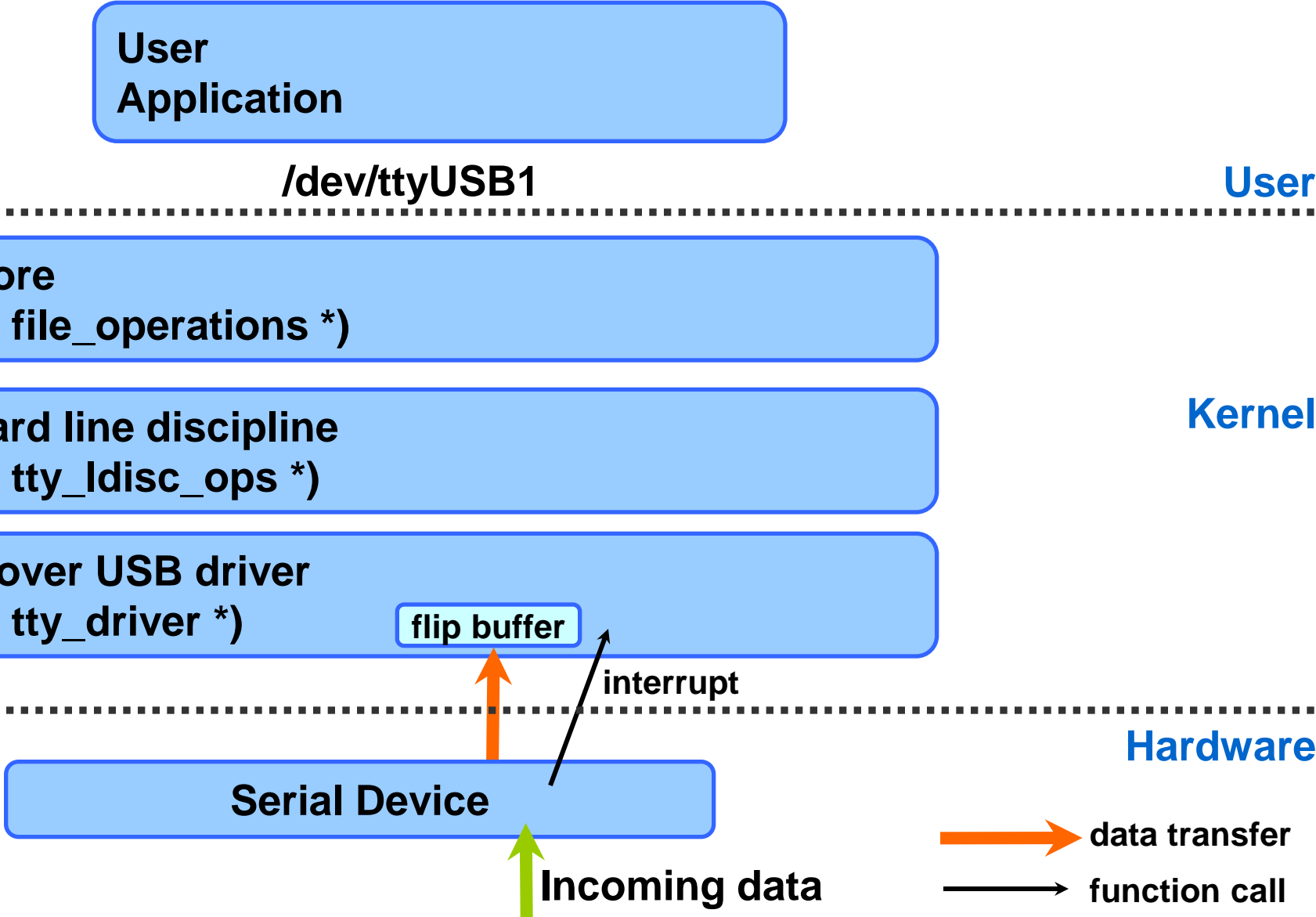
interrupt

Serial Device

Hardware

Incoming data

→ data transfer
→ function call



Lunix:TNG line discipline

User
Application

/dev/ttyUSB1

User

TTY Core
(struct file_operations *)

Standard line discipline
(struct tty_ldisc_ops *)

Serial over USB driver
(struct tty_driver *)

Kernel

tty buffer

ldisc → receive_buf

flip buffer

handler

interrupt

Hardware

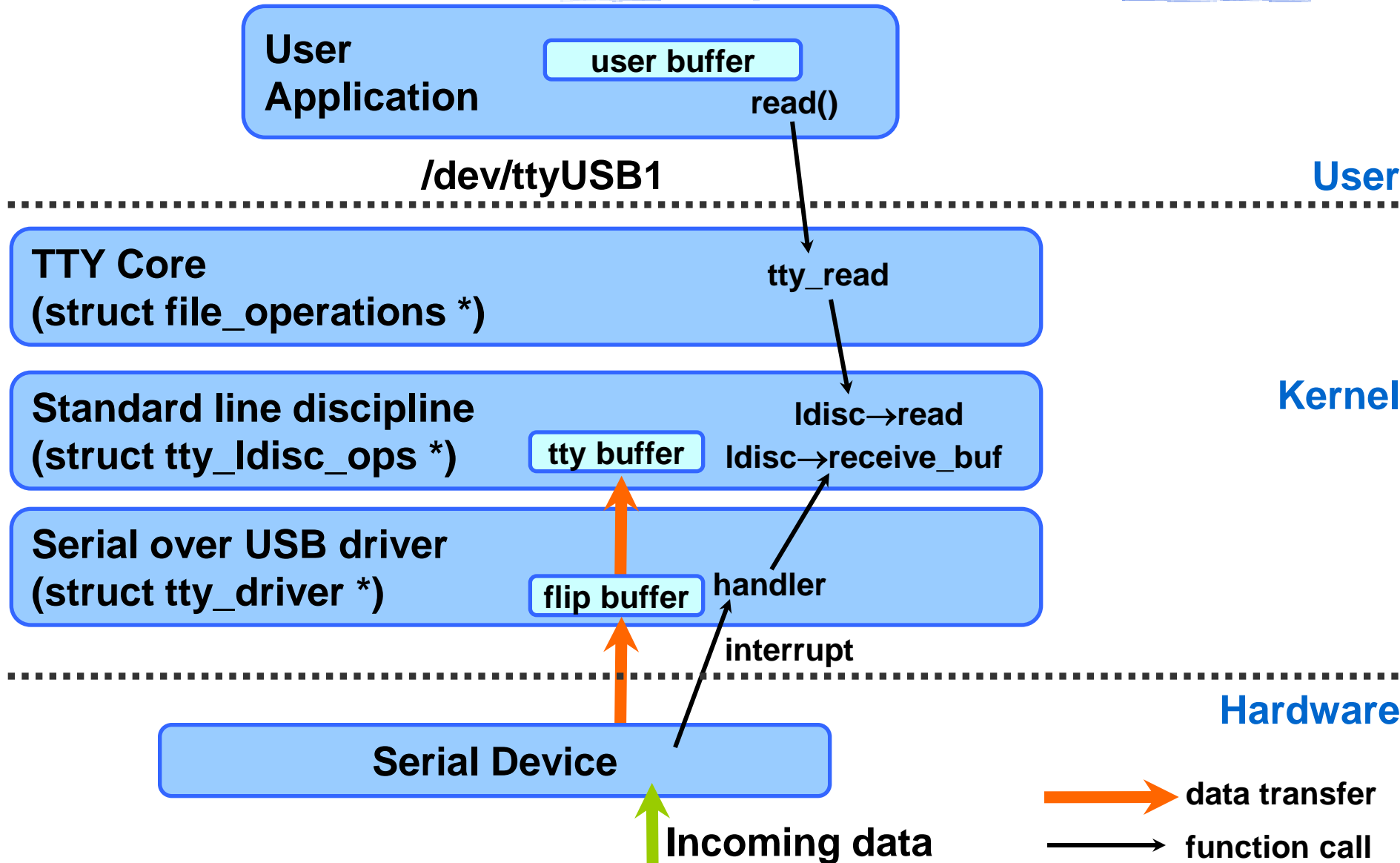
Serial Device

Incoming data

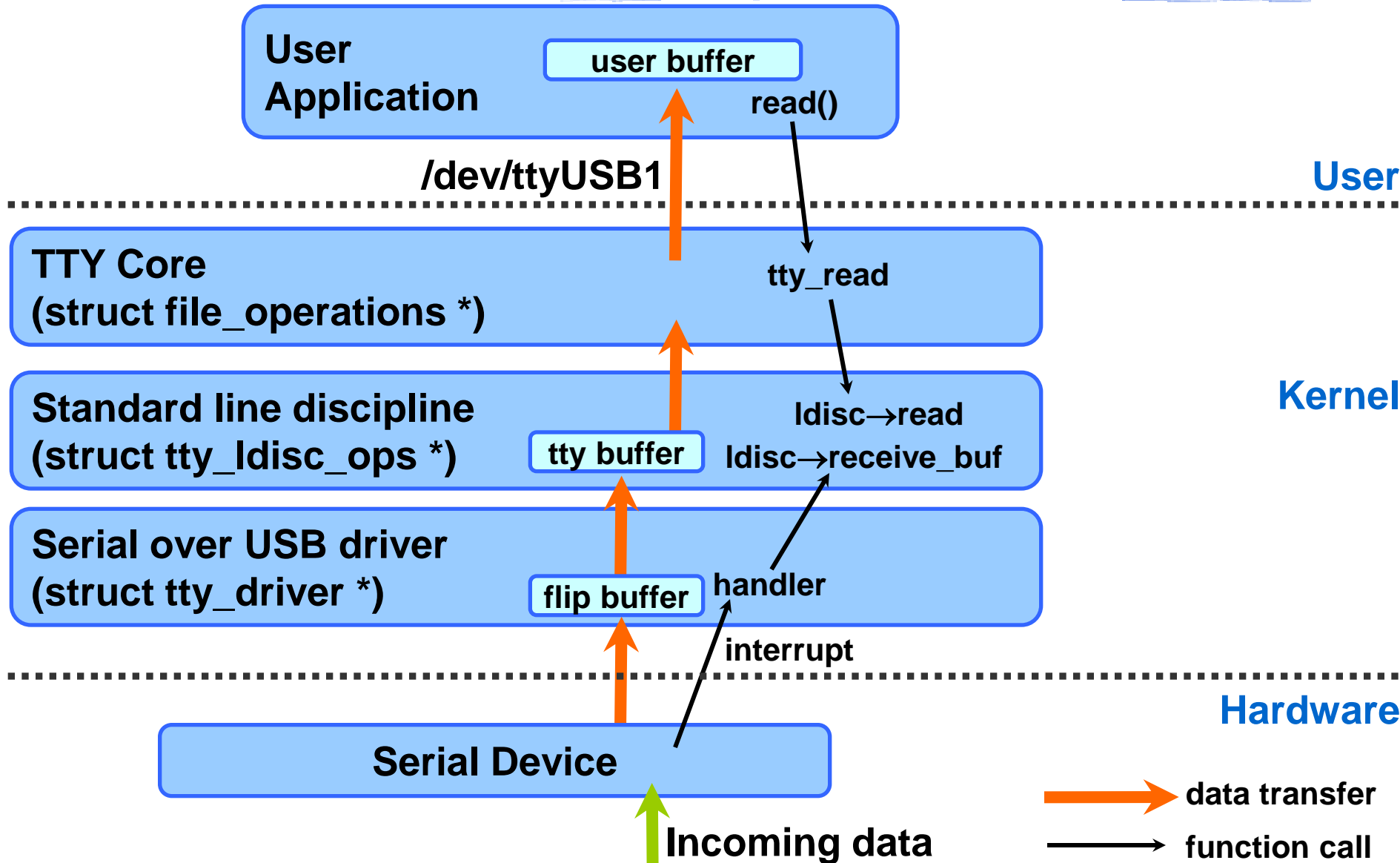
→ data transfer

→ function call

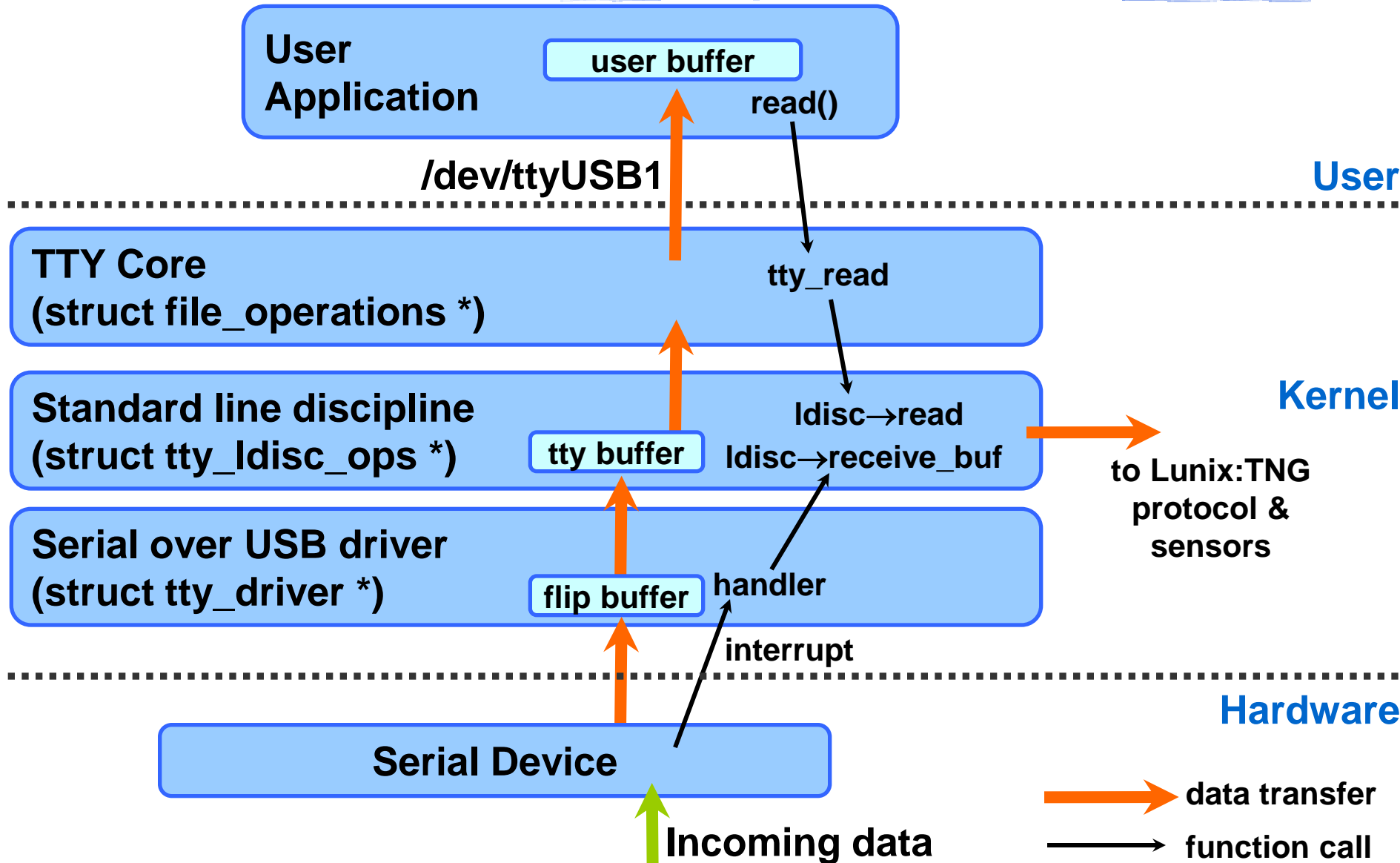
Lunix:TNG line discipline



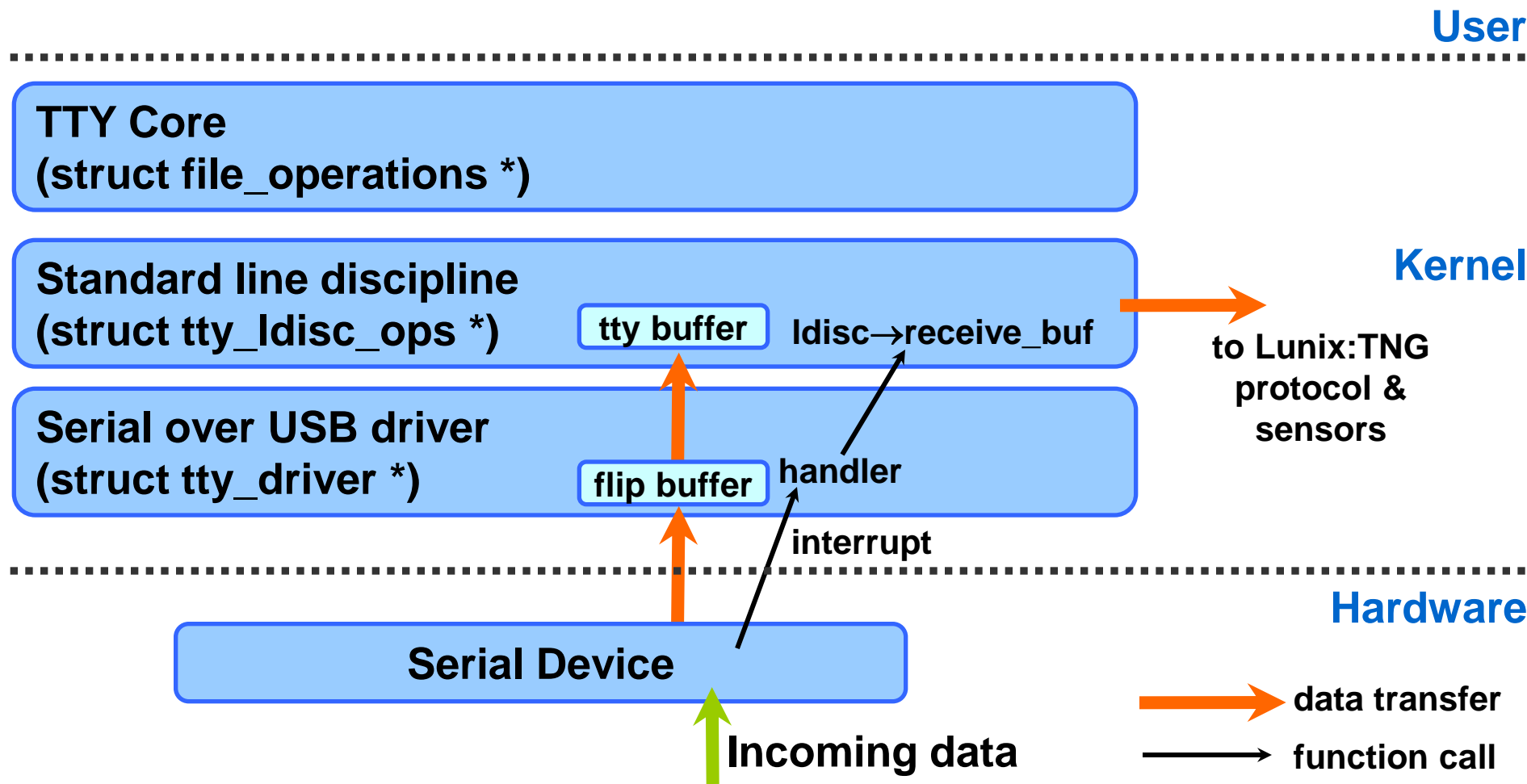
Lunix:TNG line discipline



1. *What is the purpose of this study?*
 2. *What are the research objectives?*
 3. *What is the research methodology?*
 4. *What are the results of the study?*
 5. *What are the conclusions of the study?*
 6. *What are the limitations of the study?*
 7. *What are the implications of the study?*
 8. *What are the future research directions?*
 9. *What are the contributions of the study?*
 10. *What are the key findings of the study?*
 11. *What are the main results of the study?*
 12. *What are the primary outcomes of the study?*
 13. *What are the secondary outcomes of the study?*
 14. *What are the tertiary outcomes of the study?*
 15. *What are the quaternary outcomes of the study?*
 16. *What are the quinary outcomes of the study?*
 17. *What are the senary outcomes of the study?*
 18. *What are the septenary outcomes of the study?*
 19. *What are the octenary outcomes of the study?*
 20. *What are the nonary outcomes of the study?*
 21. *What are the decenary outcomes of the study?*
 22. *What are the undecenary outcomes of the study?*
 23. *What are the duodecenary outcomes of the study?*
 24. *What are the tredecenary outcomes of the study?*
 25. *What are the quattuordecenary outcomes of the study?*
 26. *What are the quindecenary outcomes of the study?*
 27. *What are the sexdecenary outcomes of the study?*
 28. *What are the septendecenary outcomes of the study?*
 29. *What are the octodecenary outcomes of the study?*
 30. *What are the nonodecenary outcomes of the study?*
 31. *What are the vigintenary outcomes of the study?*
 32. *What are the unvigintenary outcomes of the study?*
 33. *What are the bivigintenary outcomes of the study?*
 34. *What are the trivigintenary outcomes of the study?*
 35. *What are the quadvigintenary outcomes of the study?*
 36. *What are the quinvigintenary outcomes of the study?*
 37. *What are the sexvigintenary outcomes of the study?*
 38. *What are the septenvigintenary outcomes of the study?*
 39. *What are the octovigintenary outcomes of the study?*
 40. *What are the nonavigintenary outcomes of the study?*
 41. *What are the vigintigintenary outcomes of the study?*
 42. *What are the unvigintigintenary outcomes of the study?*
 43. *What are the bivigintigintenary outcomes of the study?*
 44. *What are the trivigintigintenary outcomes of the study?*
 45. *What are the quadvigintigintenary outcomes of the study?*
 46. *What are the quinvigintigintenary outcomes of the study?*
 47. *What are the sexvigintigintenary outcomes of the study?*
 48. *What are the septenvigintigintenary outcomes of the study?*
 49. *What are the octovigintigintenary outcomes of the study?*
 50. *What are the nonavigintigintenary outcomes of the study?*
 51. *What are the vigintigintigintenary outcomes of the study?*
 52. *What are the unvigintigintigintenary outcomes of the study?*
 53. *What are the bivigintigintigintenary outcomes of the study?*
 54. *What are the trivigintigintigintenary outcomes of the study?*
 55. *What are the quadvigintigintigintenary outcomes of the study?*
 56. *What are the quinvigintigintigintenary outcomes of the study?*
 57. *What are the sexvigintigintigintenary outcomes of the study?*
 58. *What are the septenvigintigintigintenary outcomes of the study?*
 59. *What are the octovigintigintigintenary outcomes of the study?*
 60. *What are the nonavigintigintigintenary outcomes of the study?*
 61. *What are the vigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 62. *What are the unvigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 63. *What are the bivigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 64. *What are the trivigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 65. *What are the quadvigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 66. *What are the quinvigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 67. *What are the sexvigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 68. *What are the septenvigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 69. *What are the octovigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 70. *What are the nonavigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 71. *What are the vigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 72. *What are the unvigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 73. *What are the bivigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 74. *What are the trivigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 75. *What are the quadvigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 76. *What are the quinvigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 77. *What are the sexvigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 78. *What are the septenvigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 79. *What are the octovigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 80. *What are the nonavigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 81. *What are the vigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 82. *What are the unvigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 83. *What are the bivigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 84. *What are the trivigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 85. *What are the quadvigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 86. *What are the quinvigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 87. *What are the sexvigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 88. *What are the septenvigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 89. *What are the octovigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 90. *What are the nonavigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 91. *What are the vigintigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 92. *What are the unvigintigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 93. *What are the bivigintigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 94. *What are the trivigintigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 95. *What are the quadvigintigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 96. *What are the quinvigintigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 97. *What are the sexvigintigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 98. *What are the septenvigintigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 99. *What are the octovigintigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*
 100. *What are the nonavigintigintigintigintigintigintigintenary outcomes of the study?*



Lunix:TNG line discipline



Στρώμα συλλογής δεδομένων (2)

User

Standard
line disc.

Lunix:TNG
line discipline

Serial over USB driver

Lunix:TNG sensor buffers

Lunix:TNG protocol proc.

Kernel

Hardware

Wireless network
base station



Στρώμα συλλογής δεδομένων (2)

User

Standard
line disc.

Lunix:TNG
line discipline

Serial over USB driver

Lunix:TNG sensor buffers

Lunix:TNG protocol proc.

Kernel

Hardware

Wireless network
base station

- ◆ Επεξεργασία πρωτοκόλλου
- ◆ Αποθήκευση σε απομονωτές

Ζητήματα Υλοποίησης (1)

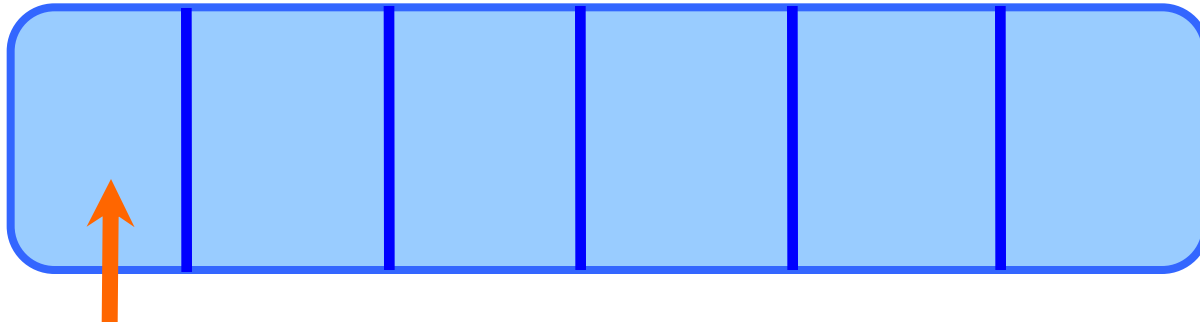
- ◆ Πρόσβαση σε δεδομένα χώρου χρήστη
 - ➔ `copy_to_user()`, `copy_from_user()`
- ◆ Πώς πέφτουν οι διεργασίες για ύπνο;
 - ➔ Μπλοκάρισμα διεργασιών σε ουρές αναμονής
 - ➔ Δεν είναι έτοιμες προς εκτέλεση, δεν καταναλώνουν χρόνο CPU
- ◆ Κρίσιμα τμήματα στον κώδικα του πυρήνα
 - ➔ Σημαφόροι, spinlocks

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

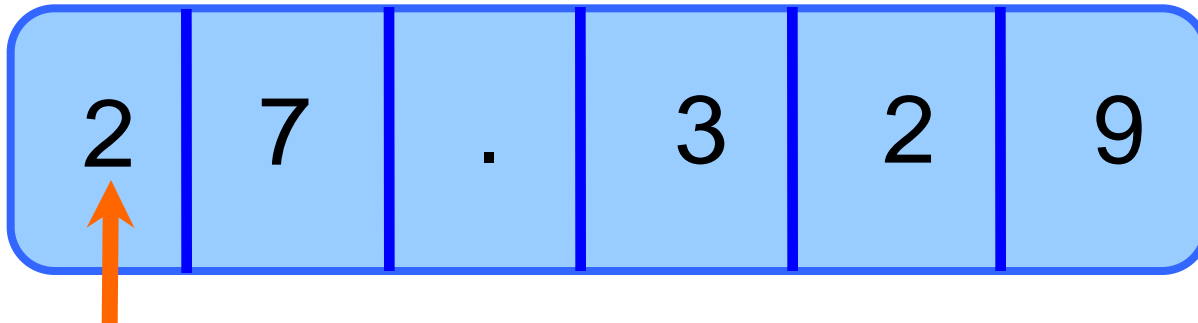
Ζητήματα Υλοποίησης (2)

- ◆ 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



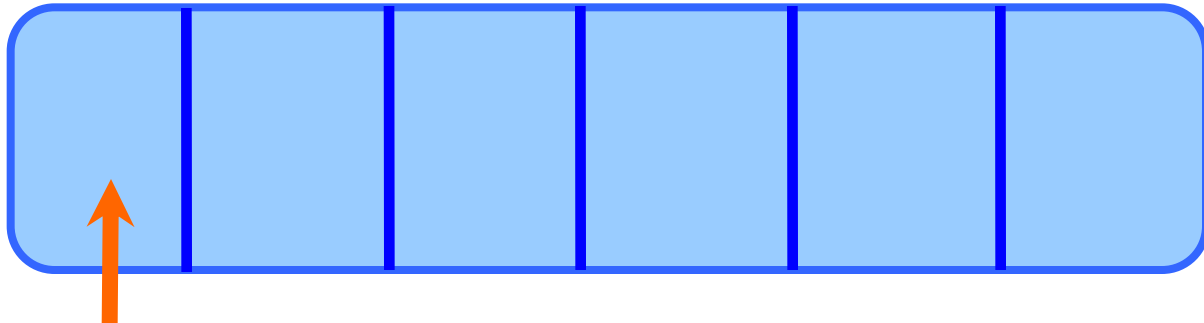
Ζητήματα Υλοποίησης (2)

- ◆ 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

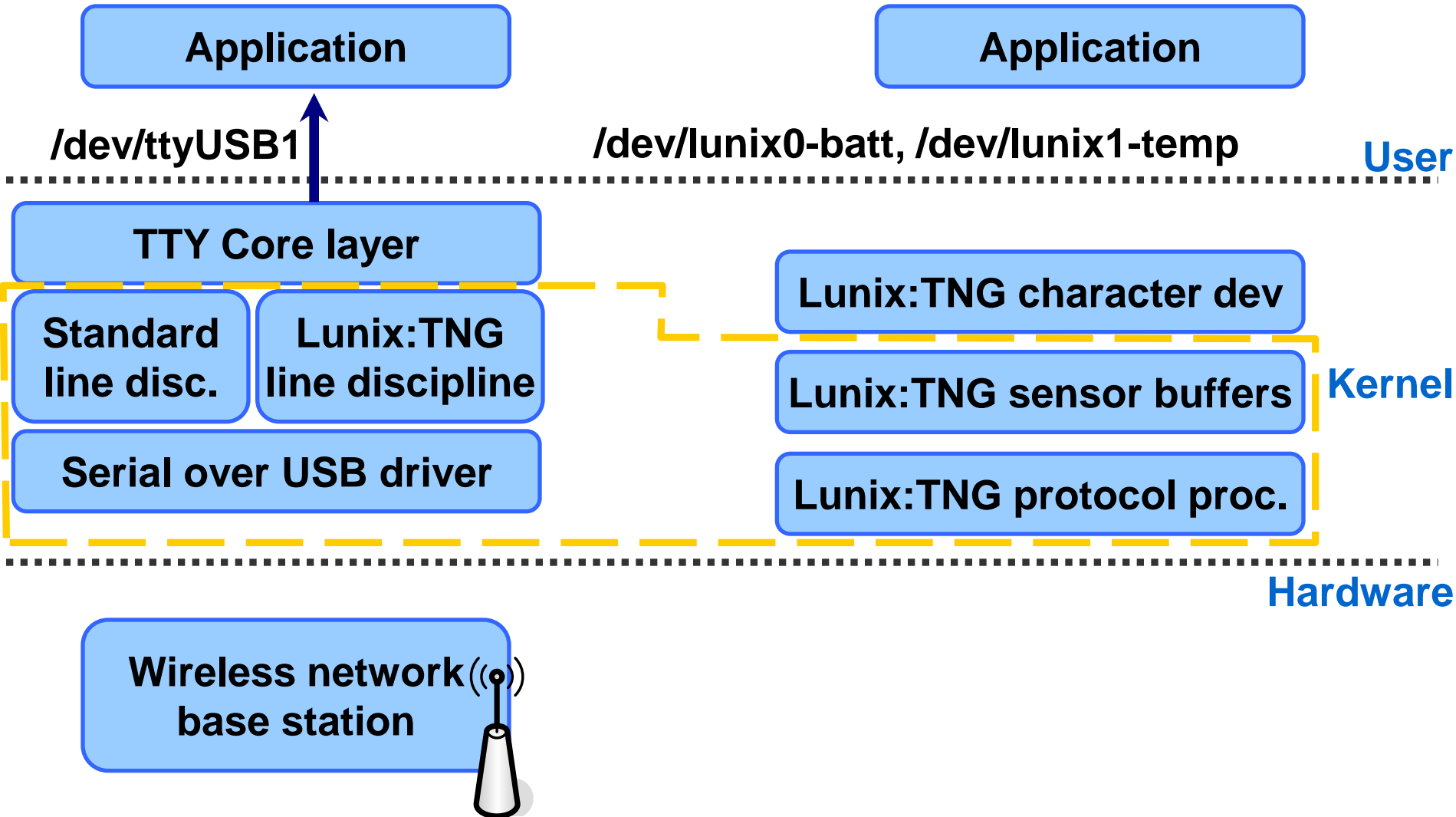


Ζητήματα Υλοποίησης (2)

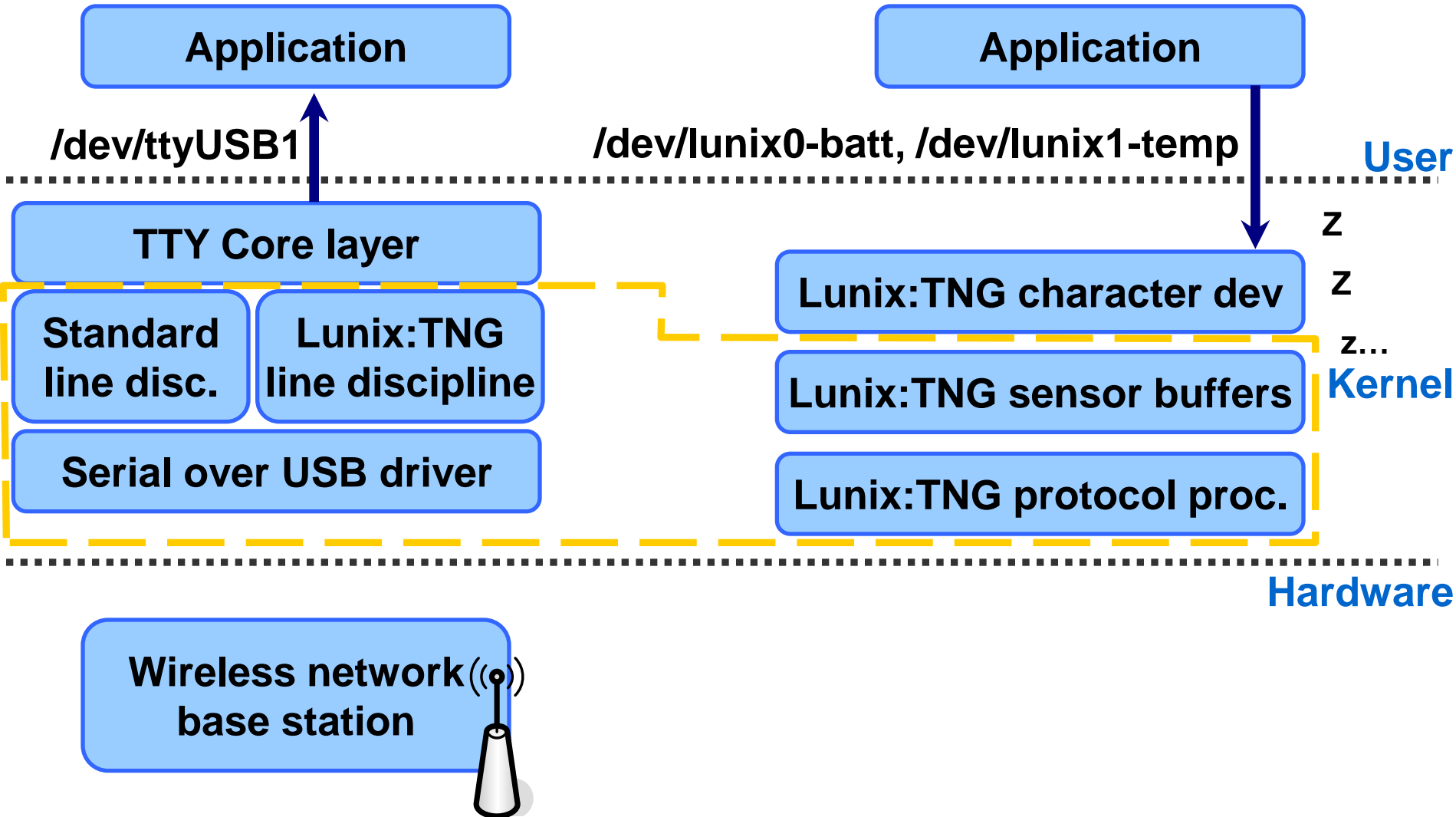
- ◆ Η `read()` είναι το κέντρο της υλοποίησης
 - ➔ Κρατάει την μορφοποιημένη τιμή σε προσωρινό χώρο μνήμης
 - ➔ Δίνει από εκεί bytes ανάλογα με το `f_pos`
 - ➔ Όταν το `f_pos` είναι μηδέν τι γίνεται;
 - Υπάρχουν φρέσκα δεδομένα; Χρήση timestamps
 - Αν δεν υπάρχουν πρέπει να πέφτει για ύπνο
 - ➔ Όταν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



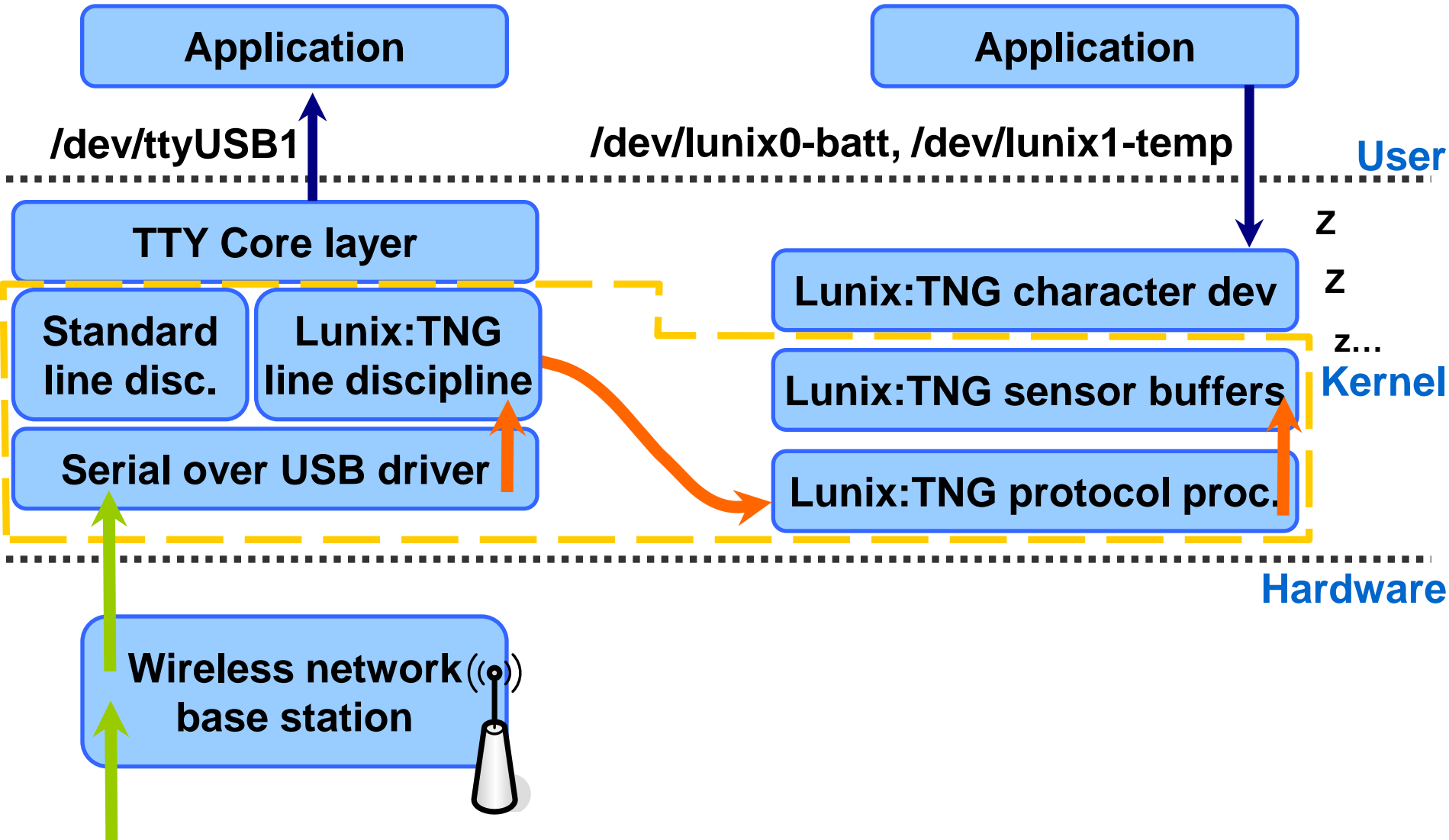
Ζητήματα Υλοποίησης (3)



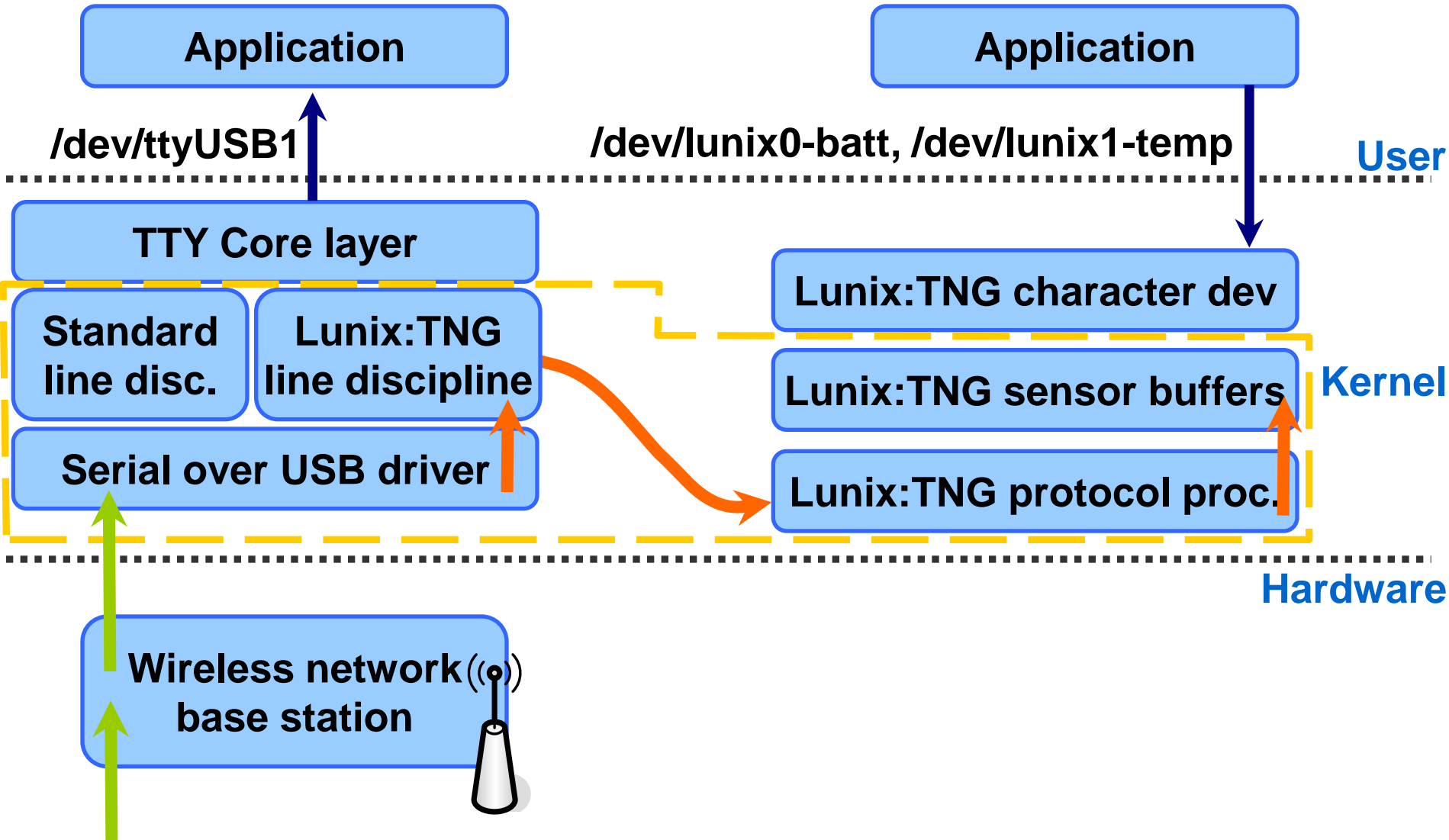
Ζητήματα Υλοποίησης (3)



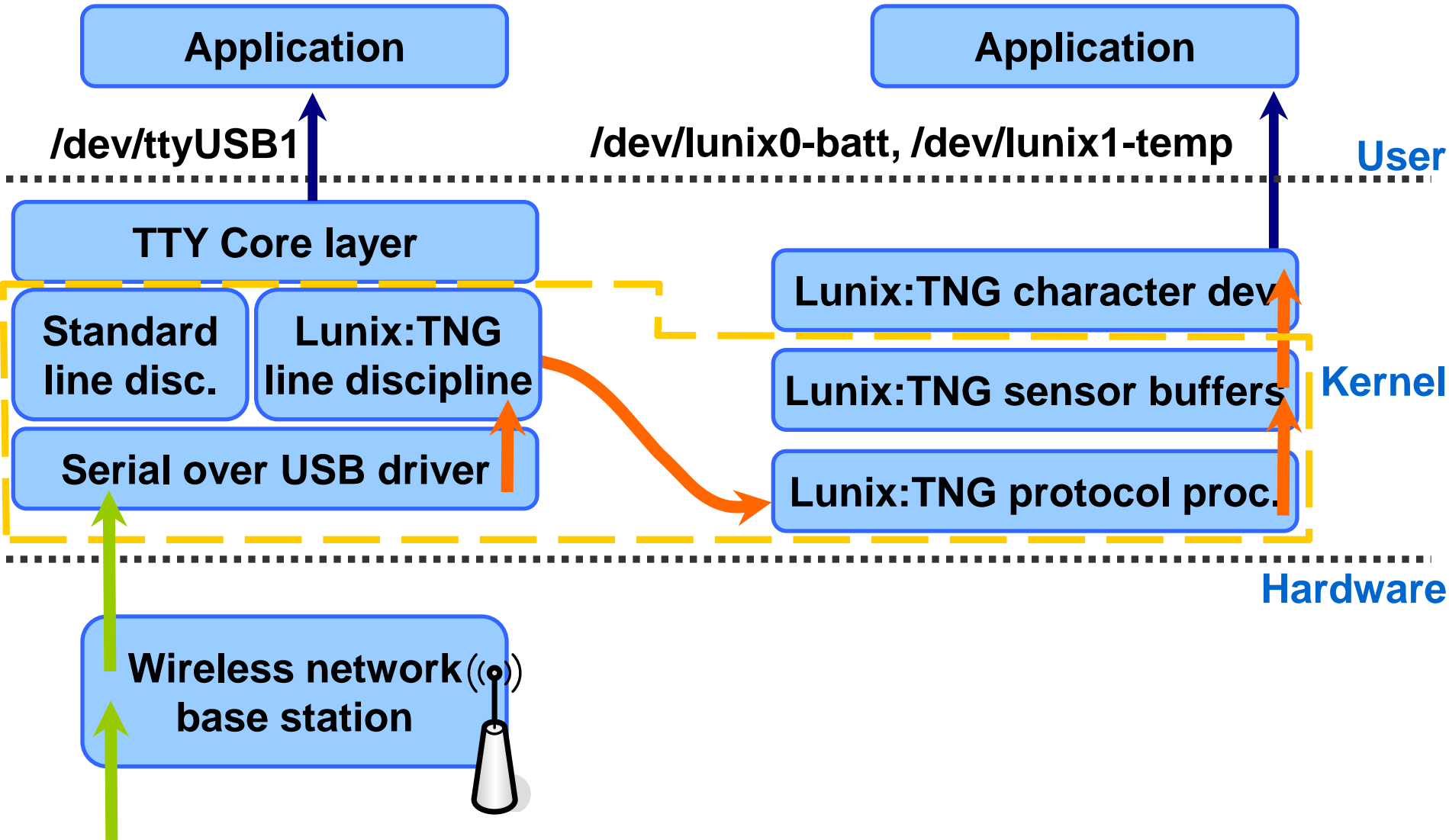
Ζητήματα Υλοποίησης (3)



Ζητήματα Υλοποίησης (3)



Ζητήματα Υλοποίησης (3)



Πρακτικά Ζητήματα

- ◆ Υλοποίηση μέσα σε εικονική μηχανή
 - ➔ root privilege σε Debian, σε μηχανή QEMU-KVM
- ◆ 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/LD3>

