

# **Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα σαν Πόρος, οι Χρήσεις και η Διαχείριση του**



**Γεώργιος Δ. Σταμούλης**

# Το Φάσμα σαν Οικονομικός Πόρος

- Ο πλήρης ορισμός του πόρου γίνεται βάσει:
  - της *ζώνης συχνοτήτων*
  - του *χώρου*: της γεωγραφικής περιοχής κάλυψης
  - του *χρόνου* χρησιμοποίησης του
- Χαρακτηριστικά φάσματος:
  - Το *εύρος ζώνης*
  - Η καταλληλότητα για συγκεκριμένες *μεταδόσεις* και *υπηρεσίες*
  - Οι υφιστάμενες *παρεμβολές*

# Ιδιότητες του Φάσματος ως Πόρου (I)

- Δεν εξαντλείται, αλλά ανανεώνεται:
  - Η χρησιμοποίηση του φάσματος σήμερα δεν αποτρέπει τη χρήση του ίδιου φάσματος στο μέλλον.
- Δεν αποθηκεύεται:
  - Η μη εκμετάλλευση του φάσματος που δεν χρησιμοποιήθηκε σήμερα δεν εξισορροπείται με τη μελλοντική χρήση του.
- Δεν εξαγεται:
  - Η χρήση του είναι τοπική

# Ιδιότητες του Φάσματος ως Πόρου (II)

- Είναι περιορισμένο:
  - Το ραδιοφωνικό φάσμα ορίζεται ως το υποσύνολο των συχνοτήτων μεταξύ  $\sim 3\text{Hz}$  και  $300\text{ GHz}$
- Είναι ανομοιογενές:
  - Διαφορετικές συχνότητες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και διαφορετικές χρήσεις
  - Υψηλότερες συχνότητες χαρακτηρίζονται από:
    - Μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων
    - Μικρότερη εμβέλεια για δεδομένη ισχύ
- Έχει εξαιρετικά μεγάλη ποικιλία χρήσεων
- Είναι αποφασιστικής σημασίας για τον ανταγωνισμό και την καινοτομία

# Οι Διάφορες Ζώνες του Φάσματος

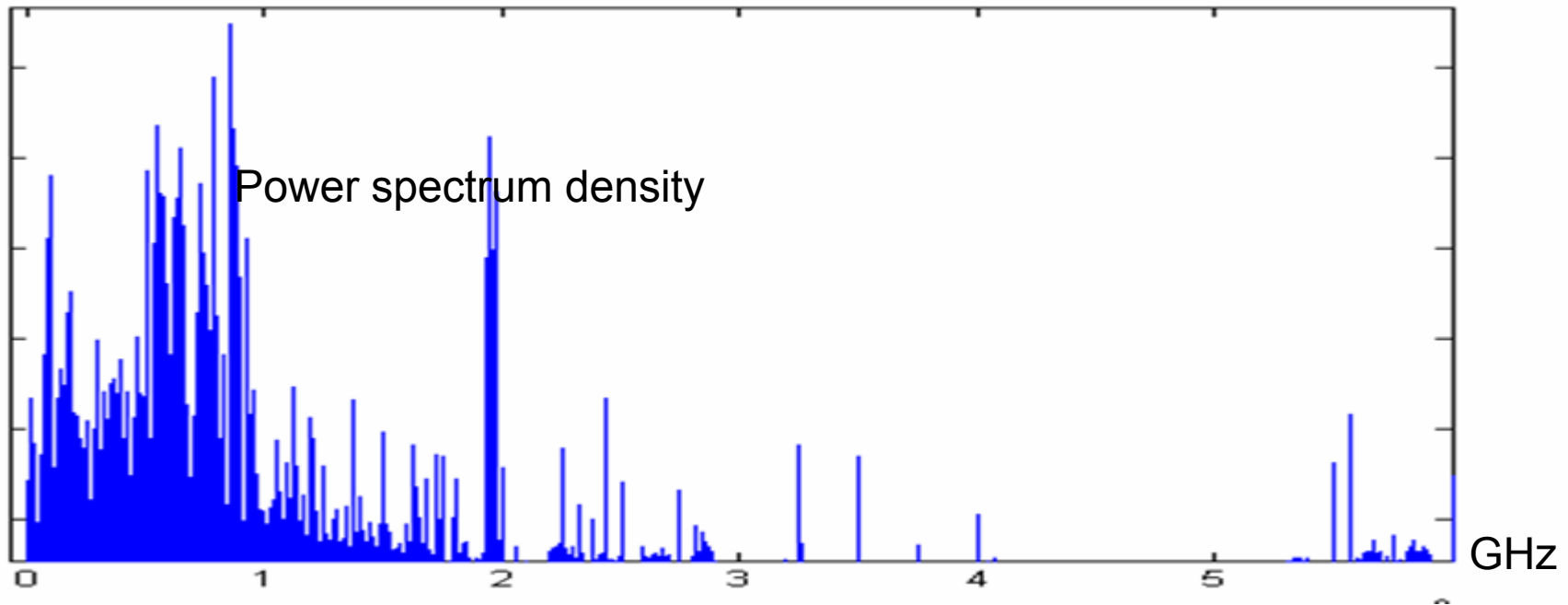
Table 2.1      **Radiofrequency spectrum: broad frequency bands**

<i>Frequency bands</i>	<i>Frequency range</i>
Very low frequency (VLF)	3–30 kHz
Low frequency (LF)	30–300 kHz
Medium frequency (MF)	300–3000 kHz
High frequency (HF)	3–30 MHz
Very high frequency (VHF)	30–300 MHz
Ultra high frequency (UHF)	300–3000 MHz
Super high frequency (SHF)	3–30 GHz
Extremely high frequency (EHF)	30–300 GHz

Note: 1 kHz equals 1000 Hz; 1 MHz equals 1000 kHz; 1 GHz equals 1000 MHz.

“Sweet spot” → TV, GSM, 3G ...

# Αξιοποίηση Φάσματος από Αδειοδοτημένη Χρήση



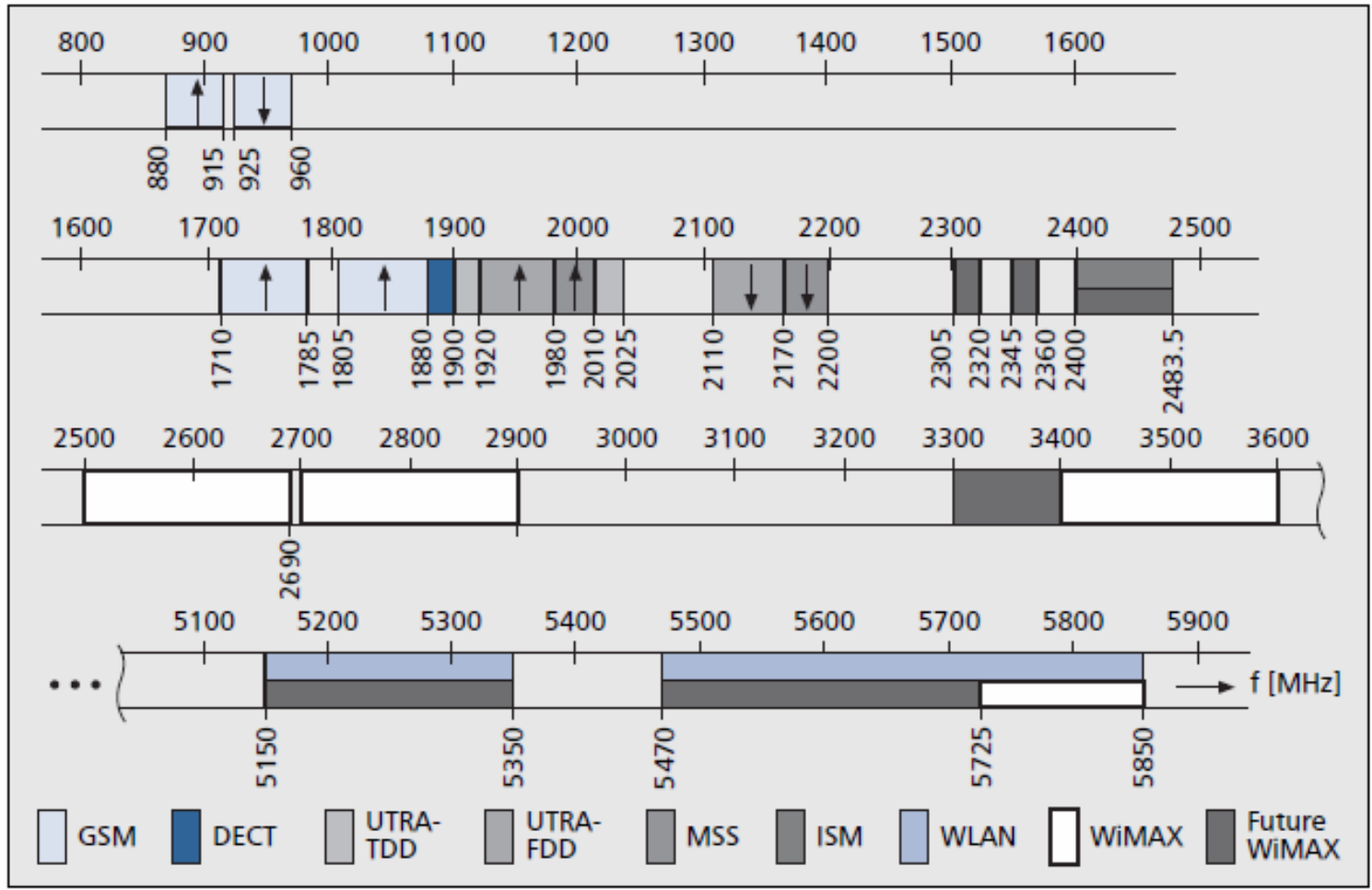
Freq (GHz)	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6
Utilizat ion(%)	54.4	35.1	7.6	0.25	0.128	4.6

Data Source © I.Akyildiz

# Κύριες Τάσεις στη Ζήτηση Φάσματος

- Πολύ ευρεία ποικιλία χρήσεων και τεχνολογιών
  - TV, radio, κινητή τηλεφωνία, ασύρματη πρόσβαση στο Internet κτλ.
- Πολλοί οι ενδιαφερόμενοι φορείς:
  - πάροχοι, χρήστες, δημόσιο,
- Πολύ υψηλός όγκος ζήτησης
  - Και τα τρία ανωτέρω αυξάνουν διαρκώς
- Κύριες αιτίες αύξησης:
  - Κινητικότητα
  - Απελευθέρωση των τηλεπικοινωνιακών αγορών
    - Νέοι πάροχοι, νέες υπηρεσίες
  - Ανάγκη για γρήγορη εγκατάσταση εναλλακτικών υποδομών πρόσβασης στο Internet (π.χ. WLANs, ασύρματος βρόχος)
- Νέα τεχνολογική τάση → συσκευές ευέλικτης χρήσης φάσματος → Αποφασιστικής σημασίας για το μέλλον

# Κύριες Ασύρματες Τεχνολογίες



# Κύριες Χρήσεις του Φάσματος (I)

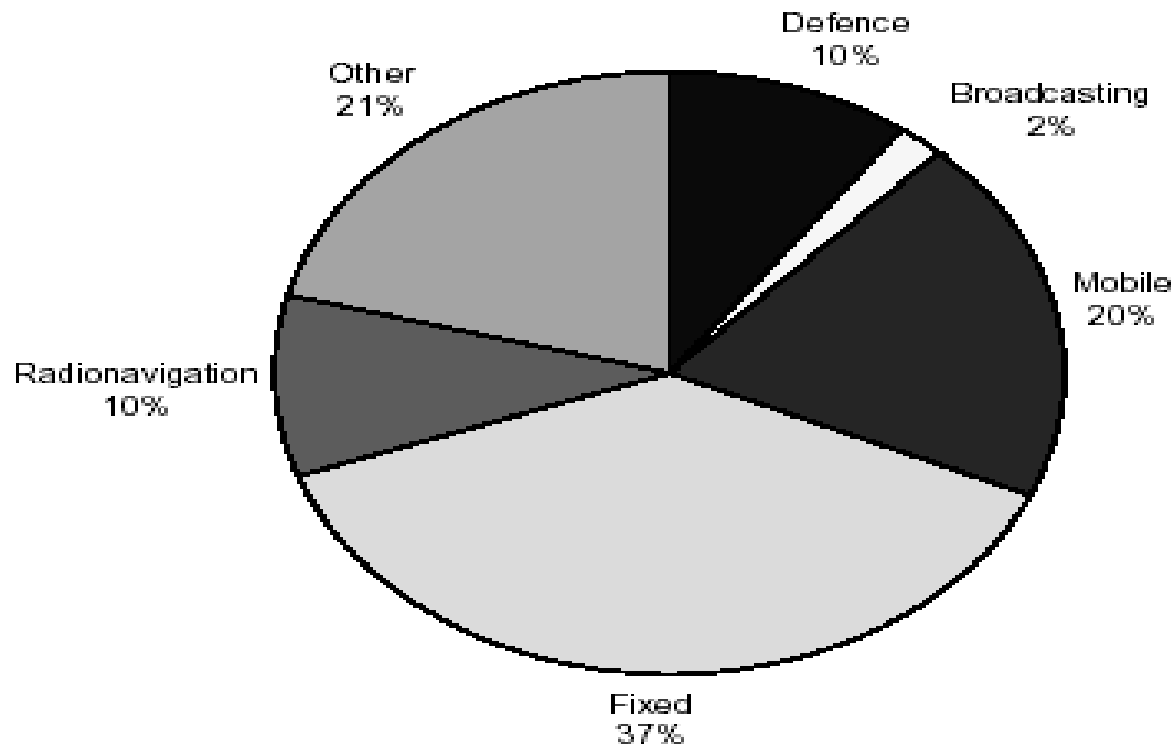
- Ραδιοφωνία
- Τηλεόραση
- Διασύνδεση μεταξύ σταθερών σημείων:
  - ραδιοζεύξεις δικτύων κορμού, ασύρματος τοπικός βρόχος, WLANs κτλ.
- Διασύνδεση μεταξύ σταθερού σημείου και δορυφόρου, ή μεταξύ δορυφόρων
- Διασύνδεση μεταξύ σταθερού σημείου και οχημάτων ή μεταξύ οχημάτων
- Επίγεια κινητή τηλεφωνία
- Άλλες Δορυφορικές εφαρμογές: Διασύνδεση κινητού με δορυφόρο, ...

# Κύριες Χρήσεις του Φάσματος (II)

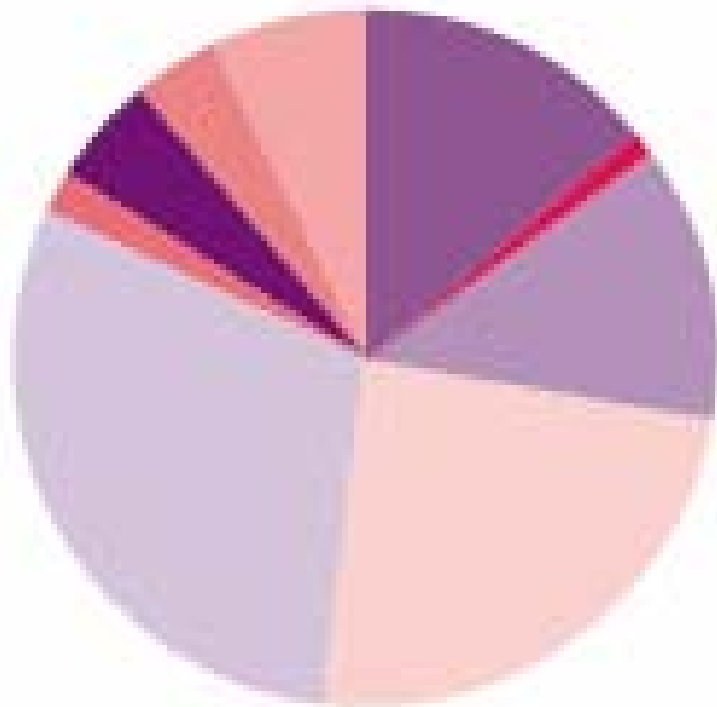
- Υπηρεσία και συσκευές τηλεϊδοποίησης
- Ναυτιλιακή και αεροναυτική ραδιοπλοήγηση
- Αμυντικές εφαρμογές (π.χ. Radars)
- Επιστημονικές χρήσεις:
  - Μετεωρολογία, Ραδιοαστρονομία, ...
- Εντοπισμός θέσεως (GPS)
- Τηλε-εντοπισμός με χρήση RFID
- Συσκευές τηλεχειρισμού
- Ερασιτεχνικές χρήσεις
- ...

# Κατανομή του Φάσματος βάσει Χρήσεων → το παράδειγμα της Αυστραλίας

Figure 2.1 Frequency allocations to major spectrum uses in Australia<sup>a</sup>



# Κατανομή του Φάσματος βάσει Χρήσεων → το παράδειγμα του Ηνωμένου Βασιλείου



- Aeronautical and Maritime 14%
- Science 1%
- Broadcasting 13%
- Fixed/Satellite 24%
- Defence 30%
- Emergency Services 2%
- Business Radio 5%
- Cellular 4%
- Other 7%

Δημόσιοι φορείς χρησιμοποιούν περίπου το 50%

# Διαχείριση Φάσματος

- Αναγκαία λόγω της συμφόρησης από την ποικιλία χρήσεων και την αυξανόμενη ζήτηση
- Εξασκείται από δημόσια ή ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή
- Κύριοι στόχοι:
  - *Οικονομική Αποδοτικότητα*: μεγιστοποίηση της αξίας που παράγεται για την κοινωνία από τη χρήση του φάσματος
  - *Τεχνική Αποδοτικότητα*, μεγιστοποίηση του βαθμού χρήσης του φάσματος
  - *Αποτροπή παρεμβολών*
  - Εφαρμογή πολιτικής
  - Πρόβλεψη μελλοντικών αναγκών υπό συνθήκες μεγάλης *αβεβαιότητας* για τις τεχνολογίες και τις αγορές

# Η Διαχείριση Φάσματος Περιλαμβάνει (I)

- Την *κατανομή* του φάσματος → καθορισμός των επιτρεπτών χρήσεων για διάφορες ζώνες, βάσει:
  - αναγκών, τεχνολογικών χαρακτηριστικών, ...
- Την ανακήρυξη ζωνών φάσματος ως:
  1. αδειοδοτημένων για αποκλειστική χρήση, π.χ. GSM
  2. αδειοδοτημένων σε συγκεκριμένη τεχνολογία αλλά για κοινόχρηστη χρήση, π.χ. DECT
  3. μη αδειοδοτημένων για κοινόχρηστη χρήση (license exempt)
    - Π.χ. Ζώνες ISM , U-NII για WiFi, για Bluetooth, και συσκευές τηλεχειρισμού κτλ.
  4. ανοικτών στη χρήση (spectrum commons) με τήρηση ελαχίστων προδιαγραφών

Command  
and control

# Η Διαχείριση Φάσματος Περιλαμβάνει (II)

- Την *ανάθεση* δικαιωμάτων *αποκλειστικής* χρήσης σε ζώνες αδειοδοτημένου φάσματος μέσω:
  - Διοικητικών διαδικασιών αξιολόγησης προσφορών
  - Κληρώσεων
  - Σειράς προτεραιότηταςσε προκαθορισμένη *τιμή*
- Δημοπρασιών → Μηχανισμός αγοράς (market mechanism) που διαμορφώνει την ανάθεση και την τιμή
- Ανταγωνισμός για *είσοδο* στην αγορά,
  - αντί ανταγωνισμό εντός της αγοράς

# Η Διαχείριση Φάσματος Περιλαμβάνει (III)

- Τον καθορισμό ορίων εκπομπής και άλλων τεχνολογικών προτύπων, ώστε να:
  - Αποτρέπονται οι παρεμβολές μεταξύ χρηστών και να
    1. διασφαλίζεται η αποκλειστικότητα του αδειοδοτημένου για αποκλειστική χρήση φάσματος
    2. είναι δυνατή η επωφελής χρήση των ζωνών για κοινόχρηστη χρήση
  - Εξασφαλίζεται η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (electromagnetic compatibility) μεταξύ συσκευών
  - Τηρούνται τα όρια ασφαλείας για ζητήματα υγείας

# Η Διαχείριση Φάσματος Περιλαμβάνει (IV)

- Τη συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα και συμφωνίες
  - Π.χ. για χρήση ενιαίας συχνότητας διεθνώς για GSM, για αεροπλοήγηση κτλ.
- Το σχεδιασμό κάλυψης μέσο- και μακρο-πρόθεσμων αναγκών
- Την παρακολούθηση της χρήσης του φάσματος, βάσει μετρήσεων
  - και τη λήψη μέτρων κατά των παραβατών

# Παρατηρήσεις

- Περίπλοκος ο προκαθορισμός της τιμής μιας άδειας ή της τιμής εκκίνησης της αντίστοιχης δημοπρασίας → Απαιτούνται στοιχεία για:
  - Κόστος, ζήτηση αγοράς, business plans, ...
  - Έσοδα από εναλλακτικές χρήσεις (second best)
- Ποιον βαρύνει το κόστος «εκκαθάρισης» μιας εκχωρούμενης ζώνης συχνότητων ?
  - Τον νέο χρήστη, τους παλαιούς χρήστες, ή το ρυθμιστή ?
  - Ανάγκη λεπτομερούς *χαρτογράφησης* χρήσης φάσματος σε εθνικό επίπεδο
- Οι μετρήσεις χρήσης του φάσματος παρουσιάζουν δυσχέρειες

# Δυσχέρειες στις Μετρήσεις Χρήσης Φάσματος

Οι μετρήσεις κατά κανόνα δεν καταγράφουν πλήρως τη χρήση του φάσματος γιατί μπορεί:

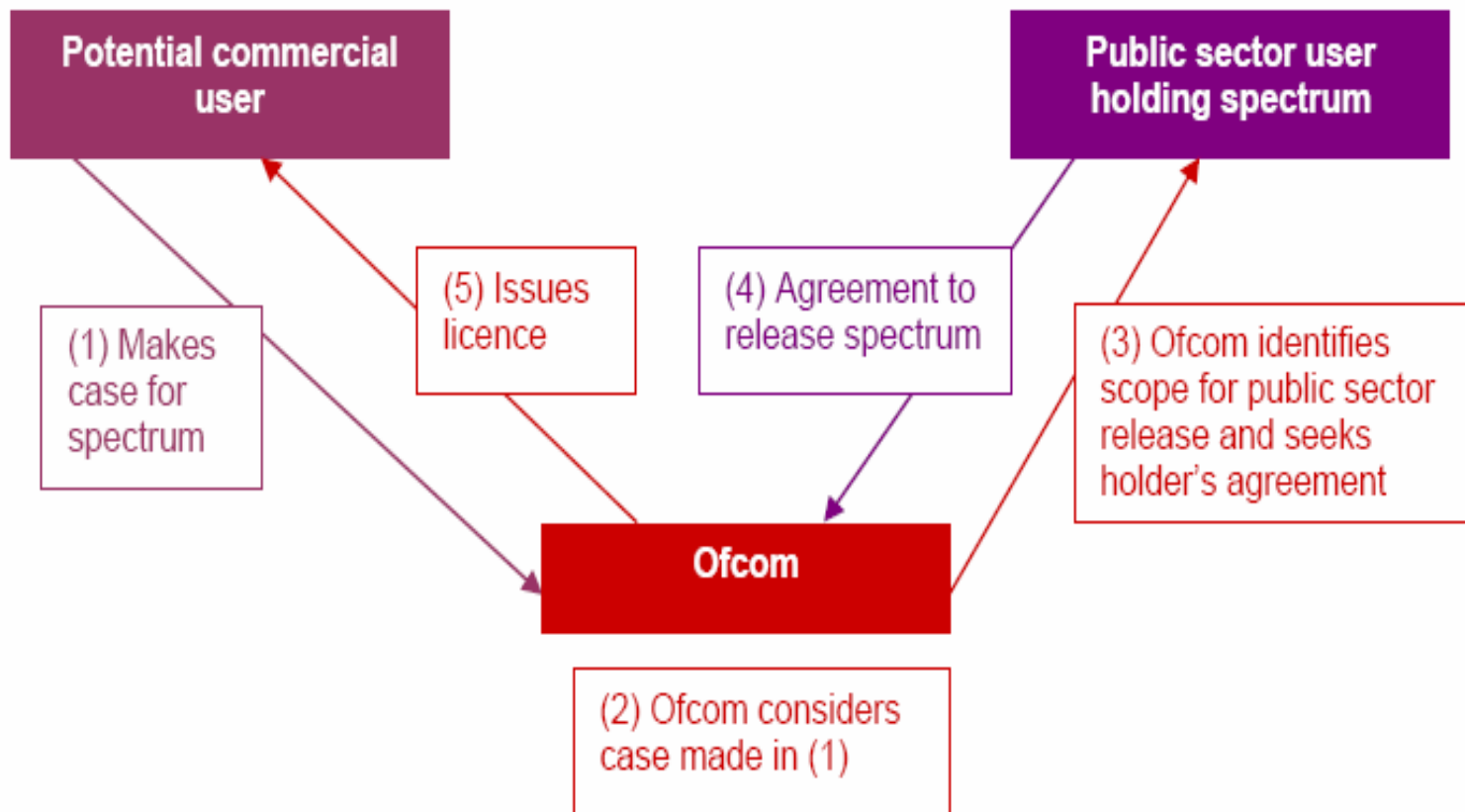
- να μην εκδηλώνεται χρήση κατά το διάστημα μέτρησης
- να μην καταγράφεται κάποια χρήση από τις συσκευές μέτρησης λόγω:
  - μη λήψης σημάτων εξ' αιτίας εμποδίων
  - απόσβεσης σημάτων
  - εξ' αρχής χαμηλής ισχύος (π.χ. CDMA)
- η χρήση να αφορά μόνο επείγουσες περιπτώσεις
- να μην πρέπει να υφίσταται χρήση (π.χ. guard bands)

# Πρόσφατες Εξελίξεις

1. Η μακροχρόνια ανάθεση οδηγεί σε μη βέλτιστη αξιοποίηση του φάσματος → Ανάγκη ανακατανομής με χρήση *ευέλικτων μηχανισμών αγοράς*:
  - αγοραπωλησία, υπενοικίαση, ή κοινοχρησία φάσματος μεταξύ χρηστών
  - δημιουργία δευτερογενών αγορών
  - δυνατότητας αλλαγής τεχνολογίας και χρήσης για άδεια ή για μέρος αυτής (spectrum liberalization)
2. Αύξηση ζήτησης για μη αδειοδοτημένο φάσμα
  - Ofcom: ~800 MHz αρκούν για ρυθμό 100 Mbps σε ακτίνα 100m → μη αδειοδοτημένο το 7% του συνολικού φάσματος
3. Νέες τεχνολογίες αξιοποίησης αδειοδοτημένου φάσματος από *μη δικαιούχους*
  - Προϋπόθεση: μη εισαγωγή παρεμβολών στους δικαιούχους

# «Παραδοσιακή» Διαδικασία Εκχώρησης Φάσματος στο Η.Β.

Figure 3: Indirect release (the status quo)

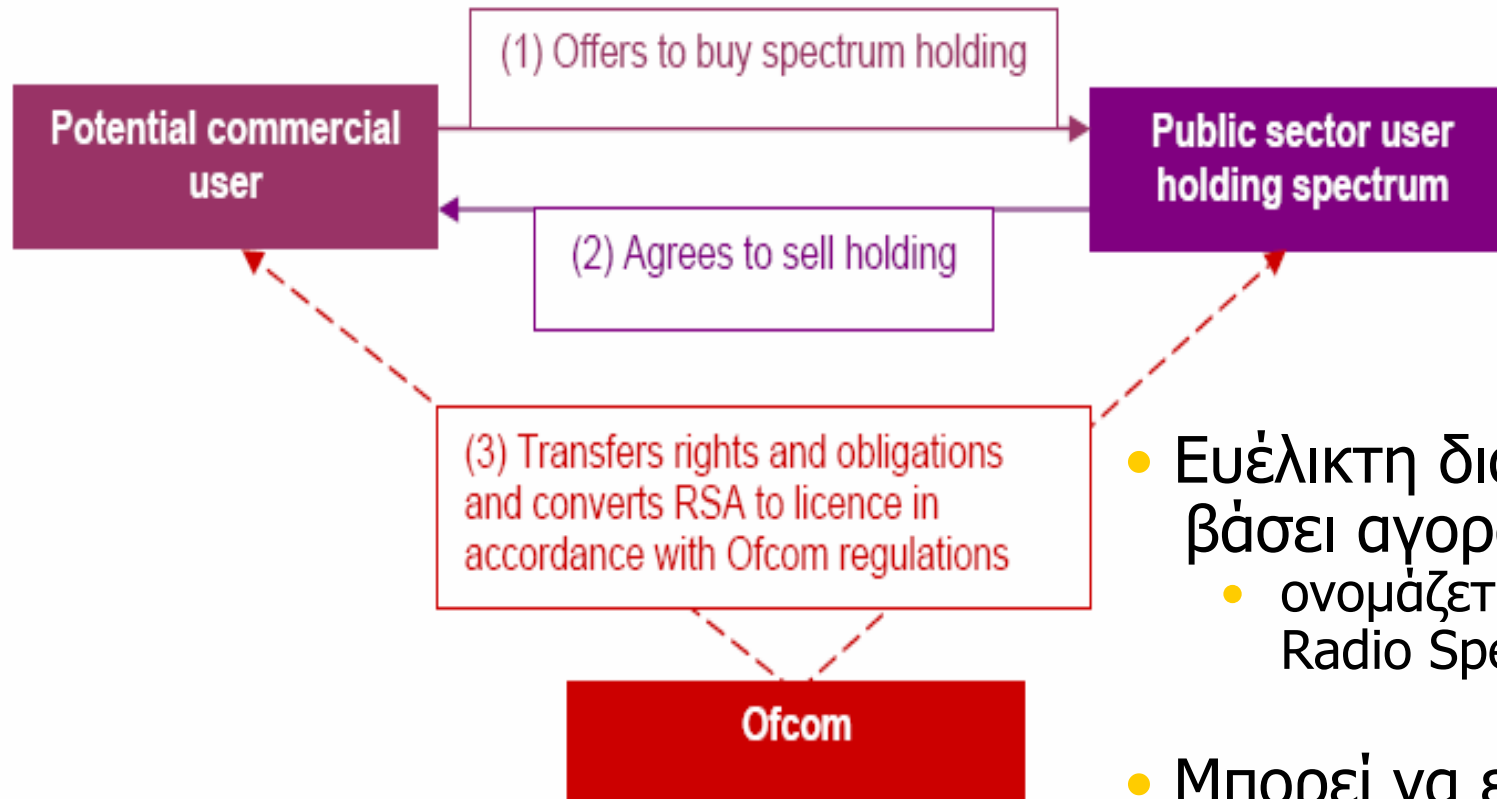


Data Source © Ofcom

Ο ρόλος του ρυθμιστή είναι κεντρικός

# Ευέλικτη Διαδικασία Εκχώρησης Φάσματος στο Η.Β.

Figure 4: The proposed new framework

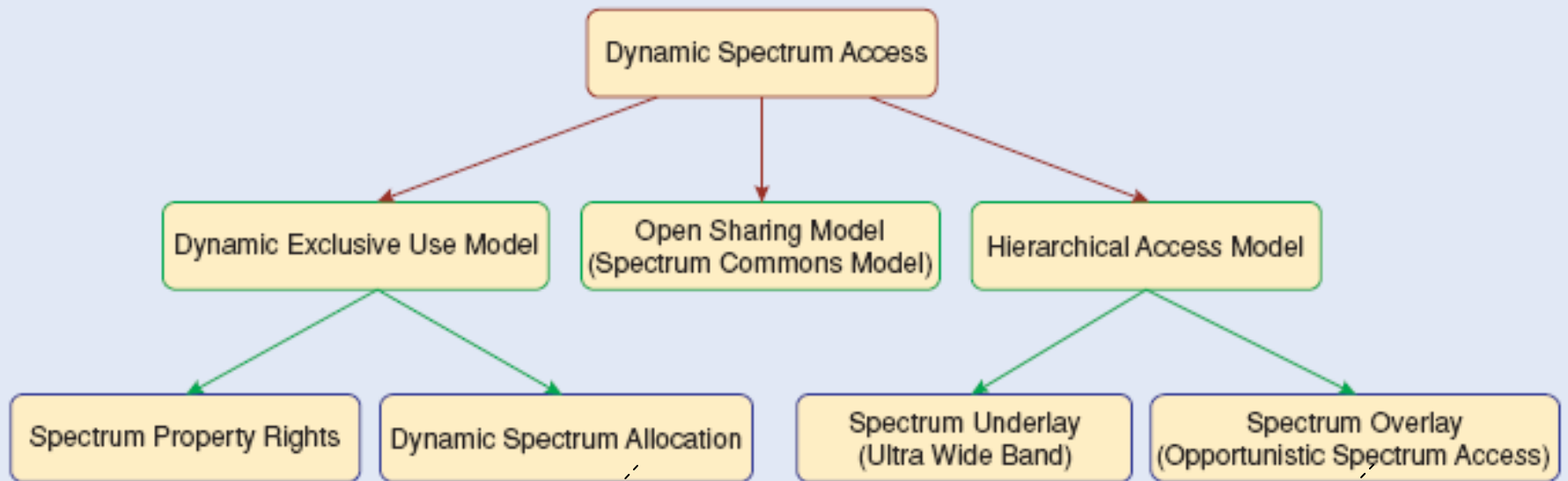


- Ευέλικτη διαδικασία βάσει αγοράς
  - ονομάζεται RSA: Radio Spectrum Access
- Μπορεί να εφαρμοσθεί και συμπληρωματικά με την παραδοσιακή

# Πλεονεκτήματα Ευέλικτης Διαδικασίας

- Άμεση επαφή μεταξύ των ενδιαφερομένων
- Ο αρχικός κάτοχος του φάσματος έχει αυξημένα οικονομικά κίνητρα:
  - Λόγω άμεσης συναλλαγής και δυνατότητας καθορισμού του τιμήματος
  - Λόγω ελέγχου των άλλων όρων του συμβολαίου
- Άρα: η διάθεση υποχρησιμοποιούμενου φάσματος θα είναι πιο ελκυστική
  - Πιο αποδοτική αξιοποίηση του φάσματος

# Κατηγορίες Δυναμικής Πρόσβασης

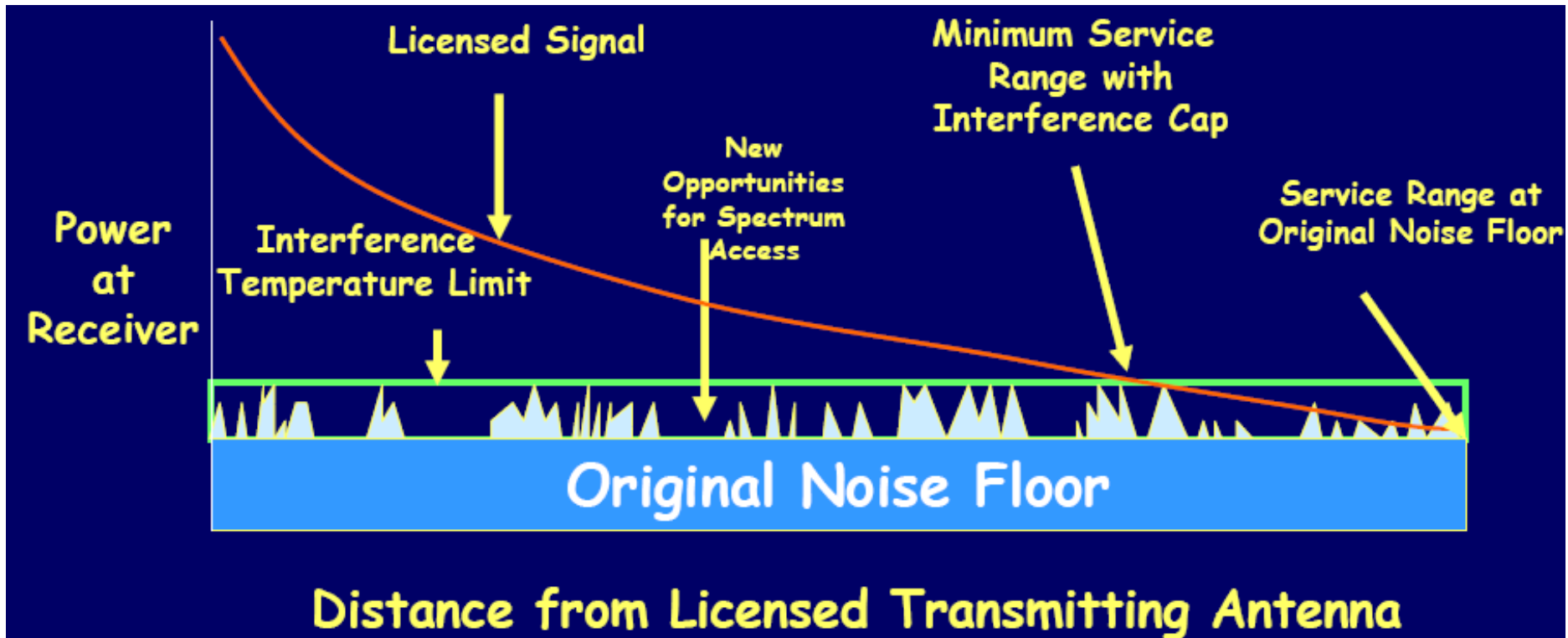


[FIG1] A taxonomy of dynamic spectrum access.

Εκχώρηση σε ταχύτερες χρονικές κλίμακες  
βάσει αναγκών και μετρήσεων

Cognitive radio

# Εμβέλεια υπό Δυναμική Πρόσβαση σε Φάσμα



Η αύξηση του επιτρεπτού ορίου θορύβου

- δημιουργεί νέες δυνατότητες αξιοποίησης του φάσματος
- με ταυτόχρονη μείωση της εμβέλειας για δεδομένη ισχύ εκπομπής

*Data Source © I.Akyildiz*

# Νέες Τεχνολογίες

Ευέλικτη χρήση ή/και καλύτερη αξιοποίηση φάσματος μέσω τεχνολογιών:

- Ultra WideBand (UWB)
- Software Defined Radio (SDR)
- Cognitive Radio
- Digital TV – White spaces
- ...

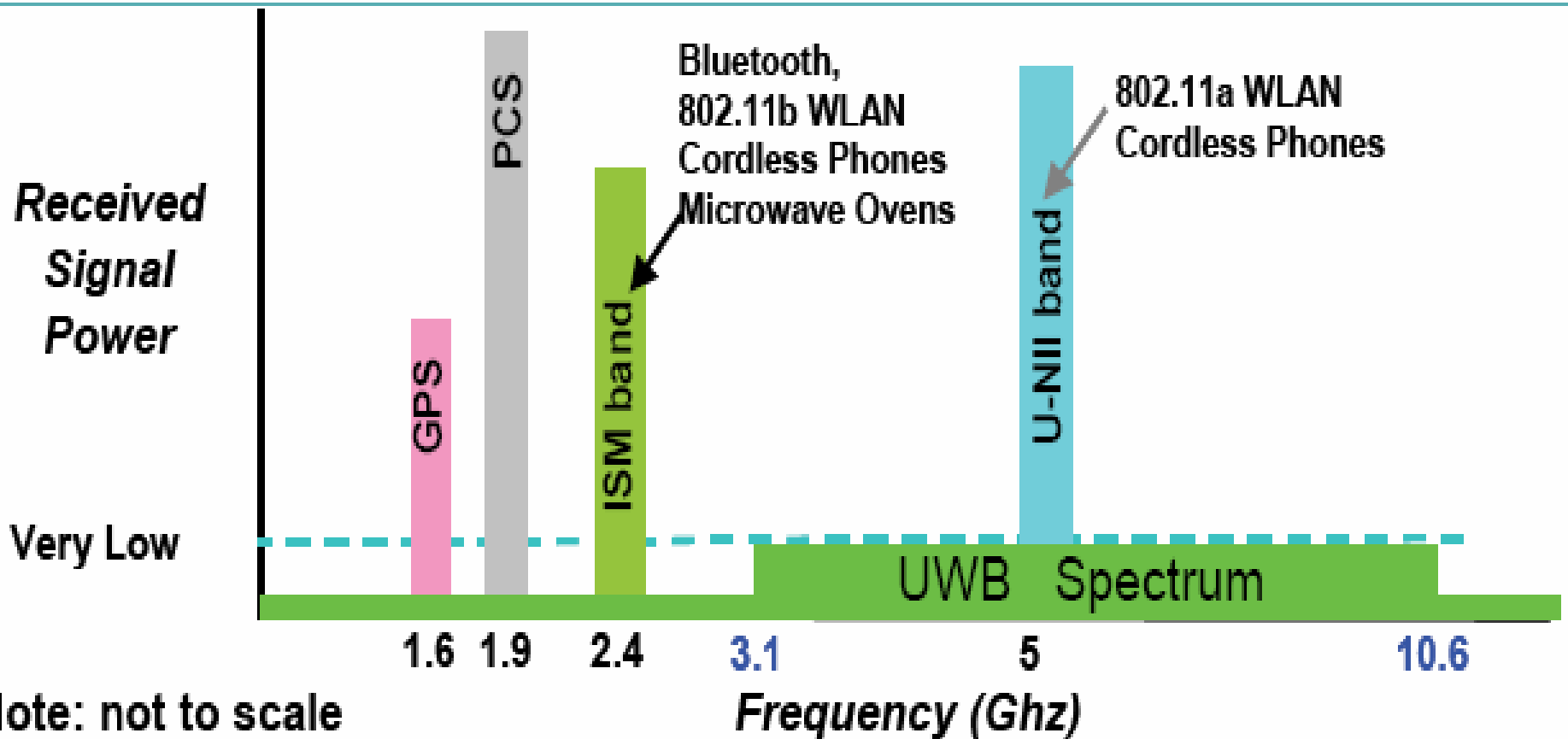
Έντονο ενδιαφέρον από:

- Χρήστες, αδειοδοτημένους και μη!
- Ρυθμιστικές αρχές
- Βιομηχανίες κατασκευής συσκευών

# Ultra WideBand

- Εκπομπή σήματος χαμηλής ισχύος σε πολύ μεγάλο εύρος συχνοτήτων:
  - 20+% της κεντρικής συχνότητας ή 500+MHz (FCC)
  - Χρήση/διαμόρφωση παλμών πολύ μικρής διάρκειας
- Βασικό ζήτημα: Να μην προκαλείται παρεμβολή στους αδειοδοτημένους χρήστες
  - Επιβολή περιορισμού ισχύος από ρυθμιστή
  - Επιτυγχάνεται βελτίωση παρεμβολών με χρήση equalizers
- Εμβέλεια: ~10m (Personal Area Networks), για μεταφορά δεδομένων σε προσωπικές συσκευές, από αισθητήρες κτλ.
  - Ρυθμός: 0,1 – 1 Gbps
  - Άλλες εφαρμογές: συσκευές εντοπισμού, εφαρμογές σε νοσοκομεία
- Λόγω περιορισμού ισχύος, δεν προβλέπεται η χρήση σε ευρύτερη γεωγραφική εμβέλεια (π.χ. για κινητή τηλεφωνία)

# Μη αδειοδοτημένη Χρήση



# Software Defined Radio (SDR)

- Δυναμική αναζήτηση και πρόσβαση της τερματικής συσκευής σε διαθέσιμη ζώνη φάσματος
  - Η ιδέα εφαρμόζεται ήδη στο DECT, 802.11h
- Η επεξεργασία σήματος ρυθμίζεται από το s/w.
- Κύριες Συνέπειες:
  1. Ενοποίηση σε μεγάλο εύρος φάσματος συχνοτήτων της χρήσης τερματικών και δικτυακών συσκευών και των αντίστοιχων εφαρμογών
  2. Περιορισμός κόστους κατασκευής συσκευών
  3. Περιορισμός απαιτούμενης ισχύος εκπομπής
  4. Βελτίωση αξιοπιστίας

# Software Defined Radio (συνεχ.)

- Η ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι σε εξέλιξη
- Η τελική της μορφή θα υπόκειται σε *ρύθμιση*, για λόγους:
  - συμμόρφωσης με πρότυπα,
  - περιορισμού ισχύος προς αποφυγή παρεμβολών
  - ασφάλειας του s/w,
  - αποτροπής παρεμβατικότητας του κατασκευαστή ή του χρήστη

# Cognitive Radio

- Αυξημένες δυνατότητες δυναμικής συμπεριφοράς έναντι του SDR και καλύτερη αξιοποίηση φάσματος:
  - Αναγνώριση και αξιοποίηση θέσεως
  - Εκμάθηση βάσει εμπειρίας
  - Διαπραγμάτευση και συντονισμός με γειτονικές συσκευές
  - Αξιοποίηση πληροφορίας προσφερομένων ταριφών
  - ...
- Ανάλογα ρυθμιστικά ζητήματα με το SDR
- Κύριο Δίλημμα: Καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος αλλά και απώλεια ελέγχου
  - λόγω μη προβλέψιμης συμπεριφοράς

# Cognitive Radio (συνέχ.)

*IEEE Commun. Mag.*, Vol. 43, No. 6,  
June 2005, pp. s29-s36.

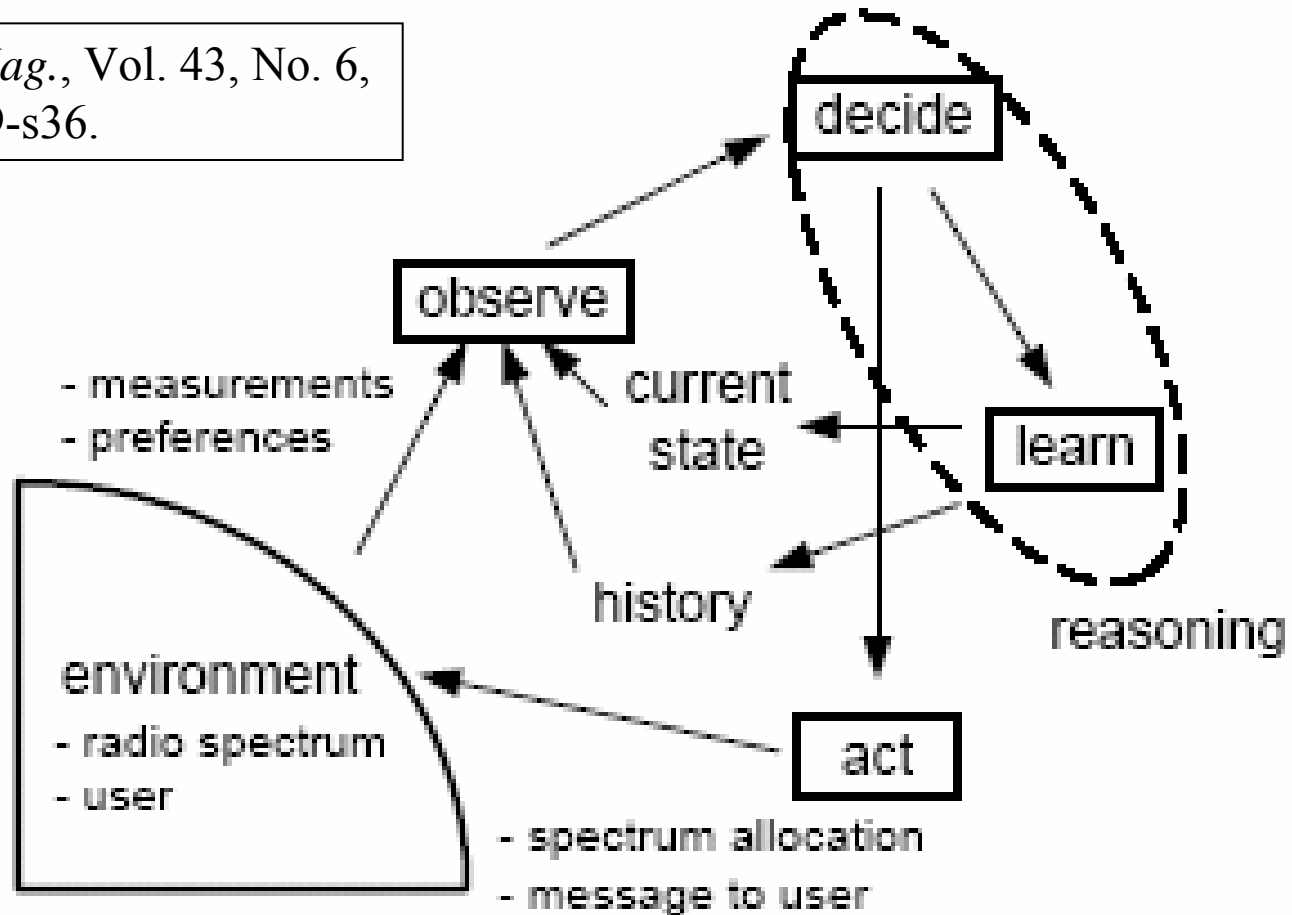


Figure 1: Mental processes of a cognitive radio based on the cognition cycle from [2].

# Ψηφιακή Τηλεόραση (Digital TV)

- Υποκαθιστά σταδιακά την αναλογική TV (analogue switch-off), προσφέροντας:
  - Βελτιωμένα χαρακτηριστικά υπηρεσίας
    - Υψηλή ευκρίνεια, καλύτερη ποιότητα ήχου, λειτουργίες αλληλεπίδρασης, επιλογή γλώσσας κτλ.
  - Καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος
    - Περισσότερα κανάλια για το ίδιο φάσμα
  - Μειονεκτήματα:
    - Απαξίωση τεχνολογίας αναλογικής τηλεόρασης και κόστος/διαδικασία μετάβασης για παρόχους και χρήστες (χρήση μετατροπέα στις συσκευές)
    - Αρχική καθυστέρηση στην προβολή λόγω pre-loading, κυρίως κατά την αλλαγή καναλιών
    - Ενδεχόμενο κακής λήψης λόγω, θορύβου

# Ψηφιακό Μέρισμα (Digital Dividend)

- Κατά την μετάβαση στην ψηφιακή TV θα προκύψουν νέες ζώνες διαθέσιμου φάσματος
  - Κυρίως στην περιοχή UHF 790-862MHz
  - Ψηφιακό μέρισμα = Το αντίστοιχο όφελος
    - Αρχική εκτίμηση: ~5-10 Δισ. Ευρώ για κάποιες χώρες
- Πολλές νέες εφαρμογές
  - τηλεϊατρική, ταχύτερη ασύρματη πρόσβαση στο Internet (αγροτικές περιοχές), εφαρμογές ασφαλείας, mobile TV
- Ανάγκη (αλλά και σχετικά οικονομικά οφέλη) για συντονισμό χωρών, ιδίως γειτονικών, ως προς το ποιές ζώνες θα απελευθερωθούν και τις χρήσεις τους
- Πρόταση (ΗΠΑ): Να αξιοποιηθεί το αναξιοποίητο φάσμα (white space) για παροχή ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης στο Internet
  - Με χρήση κατάλληλων συσκευών
  - "White Spaces Coalition"

# Σύνοψη Συμπερασμάτων

- Η διαχείριση φάσματος είναι σημαντική αλλά και περίπλοκη ρυθμιστική διαδικασία
- Οι κυρίαρχες τάσεις είναι:
  - Ευέλικτος ορισμός αδειών ως προς περιορισμούς τεχνολογίας και εφαρμογών
  - Ευέλικτες διαδικασίες αγοράς για αλλαγή χρήσεως, προσωρινή αλλαγή χρήστη ή/και ιδιοκτησίας
    - Δευτερογενείς αγορές
  - Αξιοποίηση της μη αδειοδοτημένης χρήσης
  - Εξοικονόμηση φάσματος και αξιοποίηση μέρους αυτού