



## ΕΣ 08 – Επεξεργαστές Ψηφιακών Σημάτων



# Εισαγωγή στα Συστήματα Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος

Νικόλας Τσαπατσούλης

Λέκτορας Π.Δ.407/80  
Τμήμα Επιστήμη και Τεχνολογίας  
Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

- Εισαγωγή - Ορισμοί
- Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

## Βιβλιογραφία Ενότητας



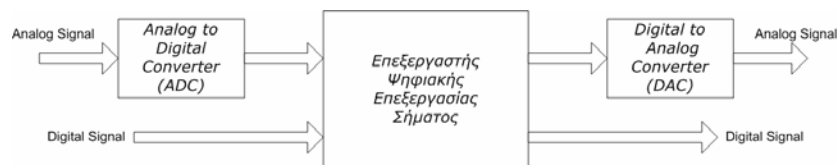
- ◇ Kuo [2005]: *Chapter 1*
- ◇ Lapsley [2002]: *Chapters 1 & 2*
- ◇ Σημειώσεις διδάσκοντα

- ★ Εισαγωγή - Ορισμοί
- Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

## Εισαγωγή - Ορισμοί



- ◇ Σύστημα Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος ονομάζουμε κάθε ηλεκτρονική διάταξη η οποία χρησιμοποιεί αλγορίθμους της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος
- ◇ Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος ονομάζουμε την εφαρμογή μαθηματικών τελεστών σε Ψηφιακά Σήματα
  - ◇ Στόχοι της Ψ.Ε.Σ είναι να μεταδίδει, αποθηκεύει, βελτιώνει ψηφιακά σήματα ή να εξάγει χρήσιμη πληροφορία από αυτά
- ◇ Σήμα είναι μια φυσική ποσότητα η οποία είναι συνήθως συνάρτηση του χρόνου, της θέσης, της πίεσης κλπ.
  - ◇ Η φωνή, η μουσική, οι φωτογραφίες, το βίντεο είναι παραδείγματα σημάτων



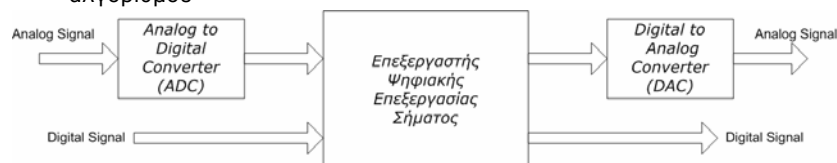
© 2006 Nicolas Tsapatsoulis

- ★ Εισαγωγή - Ορισμοί
- Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

## Εισαγωγή - Ορισμοί (II)



- ◇ Για την επεξεργασία αναλογικών σημάτων τα σήματα αυτά πρέπει να δειγματοληπτηθούν και να κβαντισθούν ώστε να δημιουργήσουν μια ακολουθία από αριθμούς η οποία αποτελεί το ψηφιοποιημένο σήμα.
- ◇ Η γενική δομή ενός Επεξεργαστή Ψ.Ε.Σ επιδεικνύεται στο επόμενο σχήμα.
- ◇ Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος μπορεί να επιτελεστεί και σε γενικού σκοπού μικροεπεξεργαστές.
- ◇ Η χρήση Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ ενδείκνυται σε εκείνες τις περιπτώσεις στις οποίες η ταχύτητα εκτέλεσης του αλγορίθμου είναι σημαντικότερη από το χρόνο προγραμματισμού του επεξεργαστή και τροποποίησης του αλγορίθμου



© 2006 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή - Ορισμοί
- \* Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

## Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ



- ◇ Τα Συστήματα Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος χαρακτηρίζονται από:
  - ◇ Τους Αλγόριθμους τους οποίους υλοποιούν
  - ◇ Το ρυθμό επεξεργασίας δειγμάτων
  - ◇ Την ταχύτητα του κεντρικού τους ρολογιού η οποία εν πολλοίς καθορίζει και τις δυνατότητες τους (MIPS – Million Instructions Per Second)
    - ◇ Η ταχύτητα ρολογιού αναφέρεται στο ρυθμό με το οποίο το σύστημα Ψ.Ε.Σ εκτελεί την πιο στοιχειώδη μονάδα εργασίας (π.χ. Την άθροιση δύο αριθμών)
  - ◇ Τον τρόπο αναπαράστασης των δεδομένων
    - ◇ επεξεργαστές κινητής υποδιαστολής (floating point)
    - ◇ επεξεργαστές σταθερής υποδιαστολής (fixed point)
    - ◇ Μέγεθος λέξης αναπαράστασης δεδομένων

- Εισαγωγή - Ορισμοί
- \* Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

## Αλγόριθμοι



- ◇ Σε πολλές περιπτώσεις ένα Σύστημα Ψ.Ε.Σ υλοποιεί ένα και μόνο αλγόριθμο Ψ.Ε.Σ
  - ◇ Η περίπτωση αυτή είναι πολύ συνηθισμένη στους Επεξεργαστές Ψ.Ε.Σ όπου η ταχύτητα εκτέλεσης ενός αλγορίθμου είναι σημαντικότερη από την δυνατότητα επαναπρογραμματισμού του επεξεργαστή ή επανασχεδίασης του αλγορίθμου
- ◇ Ο αλγόριθμος καθορίζει τις αριθμητικές πράξεις που πρέπει να επιτελεστούν αλλά όχι το τρόπο που αυτές οι πράξεις θα διεκπεραιωθούν. Ο αλγόριθμος μπορεί να υλοποιηθεί:
  - ◇ Σε λογισμικό σε ένα μικροεπεξεργαστή γενικού σκοπού (π.χ. μέσω ενός πακέτου λογισμικού σε ένα PC)
  - ◇ Σε ένα προγραμματιζόμενο Επεξεργαστή Ψ.Ε.Σ
  - ◇ Σε πλατφόρμα FPGA (Field Programmable Gate Arrays)
  - ◇ Σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα ιδιωτικής χρήσης ASIC (Application Specific Integrated Circuit)

- Εισαγωγή - Ορισμοί
- \* Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

## Ρυθμός Επεξεργασίας Δειγμάτων



- ◇ Ο ρυθμός επεξεργασίας δειγμάτων αναφέρεται στον ρυθμό με τον οποίο τα δείγματα του σήματος παραλαμβάνονται, επεξεργάζονται ή δημιουργούνται
- ◇ Η επεξεργασία ψηφιακών σημάτων σε πραγματικό χρόνο (real time) δηλώνει ότι η επεξεργασία κάθε δείγματος (ή ομάδας δειγμάτων) ολοκληρώνεται πριν την 'άφιξη' του επόμενου δείγματος (ή ομάδας δειγμάτων).
- ◇ Υπάρχουν συστήματα που επεξεργάζονται σήματα τα οποία έχουν προκύψει από διαφορετικούς ρυθμούς δειγματοληψίας. Τα σήματα αυτά είναι γνωστά Συστήματα Πολλαπλών Ρυθμών (Multirate Systems)
- ◇ Επειδή η ταχύτητα επεξεργασίας δειγμάτων και η πολυπλοκότητα των αλγορίθμων είναι οι καθοριστικοί παράγοντες για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής Ψ.Ε.Σ σήματα με χαμηλούς ρυθμούς δειγματοληψίας μπορούν να τύχουν επεξεργασίας με πιο πολύπλοκους αλγόριθμους. Το επόμενο σχήμα δίνει ενδεικτικά παραδείγματα αυτού του γεγονότος

© 2006 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή - Ορισμοί
- \* Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

## Ρυθμός Επεξεργασίας Δειγμάτων (II)

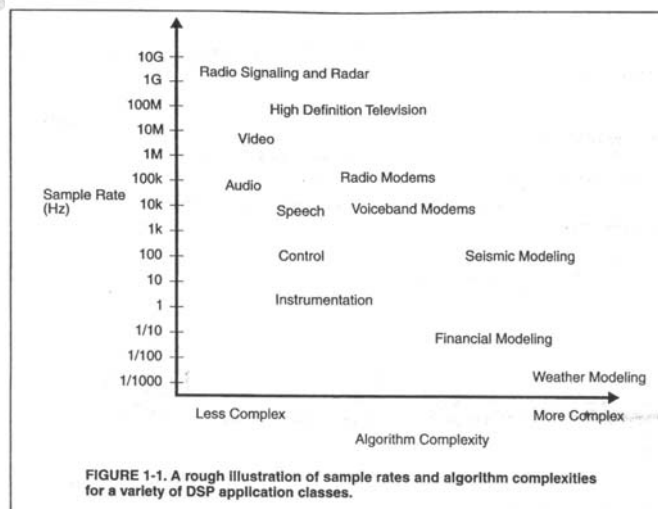


FIGURE 1-1. A rough illustration of sample rates and algorithm complexities for a variety of DSP application classes.

© 2006 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή - Ορισμοί
- Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

## Αναπαράσταση δεδομένων (αριθμών)



- ◇ Η αναπαράσταση δεδομένων (αριθμών) μπορεί να γίνει είτε με κινητή υποδιαστολή (floating point) είτε με σταθερή υποδιαστολή (fixed point)
  - ◇ Μια άλλη σημαντική παράμετρος είναι το **μήκος λέξης** (word length) το οποίο αναφέρεται στο πλήθος των bits που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση ενός αριθμού
  - ◇ Οι επεξεργαστές κινητής υποδιαστολής μπορούν να αναπαραστήσουν ένα μεγαλύτερο εύρος τιμών και σπανίως παρουσιάζουν φαινόμενα **υπερχείλισης (overflow)**.
  - ◇ Το μειονέκτημα τους είναι ότι οι πράξεις με αριθμούς κινητής υποδιαστολής είναι σαφώς πιο πολύπλοκες από τις αντίστοιχες σταθερής υποδιαστολής με αποτέλεσμα οι αντίστοιχοι επεξεργαστές να είναι πιο αργοί.
  - ◇ Το βασικό πρόβλημα των επεξεργαστών σταθερής υποδιαστολής είναι η υπερχείλιση, δηλαδή η αδυναμία αποθήκευσης ενδιάμεσων αποτελεσμάτων με πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές τιμές.
    - ◇ Η υπερχείλιση αντιμετωπίζεται με:
      - ◇ **Κορεσμό (saturation)**, δηλαδή αναπαράσταση τιμών μεγαλύτερων της μέγιστης τιμής που μπορεί να αναπαρασταθεί με την μέγιστη τιμή και τιμών μικρότερων της ελάχιστης με την ελάχιστη τιμή. Η μέθοδος αυτή απαντάται σε επεξεργαστές Ψ.Ε.Σ.
      - ◇ Αποκοπή (wrap around) των πλεοναζόντων bits. Η μέθοδος αυτή απαντάται σε μικροεπεξεργαστές γενικού σκοπού.

© 2006 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή - Ορισμοί
- Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

## Εφαρμογές Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος



TABLE 1-1. Common DSP Algorithms and Typical Applications

DSP Algorithm	System Application
Speech coding and decoding	Digital cellular telephones, personal communications systems, digital cordless telephones, multimedia computers, secure communications
Speech encryption and decryption	Digital cellular telephones, personal communications systems, digital cordless telephones, secure communications
Speech recognition	Advanced user interfaces, multimedia workstations, robotics, automotive applications, digital cellular telephones, personal communications systems, digital cordless telephones
Speech synthesis	Multimedia PCs, advanced user interfaces, robotics
Speaker identification	Security, multimedia workstations, advanced user interfaces
Hi-fi audio encoding and decoding	Consumer audio, consumer video, digital audio broadcast, professional audio, multimedia computers
Modem algorithms	Digital cellular telephones, personal communications systems, digital cordless telephones, digital audio broadcast, digital signaling on cable TV, multimedia computers, wireless computing, navigation, data/facsimile modems, secure communications
Noise cancellation	Professional audio, advanced vehicular audio, industrial applications
Audio equalization	Consumer audio, professional audio, advanced vehicular audio, music
Ambient acoustics emulation	Consumer audio, professional audio, advanced vehicular audio, music
Audio mixing and editing	Professional audio, music, multimedia computers
Sound synthesis	Professional audio, music, multimedia computers, advanced user interfaces
Vision	Security, multimedia computers, advanced user interfaces, instrumentation, robotics, navigation
Image compression and decompression	Digital photography, digital video, multimedia computers, video-over-voice, consumer video
Image compositing	Multimedia computers, consumer video, advanced user interfaces, navigation
Beamforming	Navigation, medical imaging, radar/sonar, signals intelligence
Echo cancellation	Speakerphones, modems, telephone switches
Spectral estimation	Signals intelligence, radar/sonar, professional audio, music

© 2006 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή - Ορισμοί
- Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- ★ Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

## Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ



- ◇ Οι περισσότεροι επεξεργαστές Ψ.Ε.Σ έχουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που τους καθιστούν κατάλληλους για την διεκπεραίωση αριθμητικά απαιτητικές εφαρμογές. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

- ◇ **Υλοποίηση λειτουργιών MAC (Multiply-Accumulate)** σε ένα κύκλο εντολής. Πολλοί αλγόριθμοι Ψ.Ε.Σ έχουν τη δομή FIR φιλτραρίσματος δηλαδή υπολογίζουν ποσότητες  $y(n)$  της μορφής:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{L-1} b_i \cdot x(n-i) = [b_0 \quad b_1 \quad \dots \quad b_{L-1}] \cdot \begin{bmatrix} x(n) \\ x(n-1) \\ \vdots \\ x(n-L+1) \end{bmatrix}$$

Για την εκτέλεση MAC εντολών σε ένα κύκλο εντολής οι επεξεργαστές ακολουθούν την αρχιτεκτονική Harvard αντί την αρχιτεκτονική von Neumann που είναι περισσότερο διαδεδομένη στους επεξεργαστές γενικού σκοπού. Στην αρχιτεκτονική αυτή υπάρχει ξεχωριστή μνήμη για το πρόγραμμα και ξεχωριστή μνήμη για τα δεδομένα

- Εισαγωγή - Ορισμοί
- Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- ★ Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

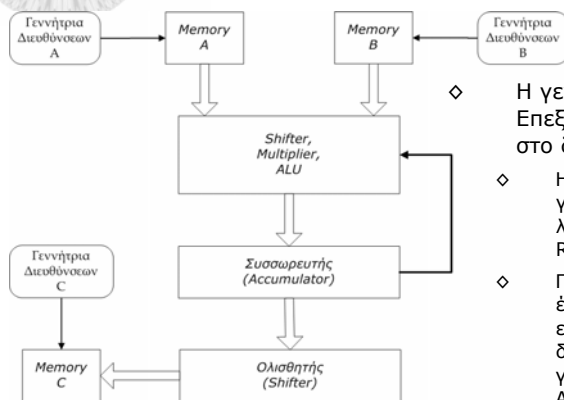
## Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ (II)



- ◇ **Παραλληλισμός εκτέλεσης εντολών (pipelining)**. Εκτός από ξεχωριστή μνήμη για προγράμματα και δεδομένα οι επεξεργαστές Ψ.Ε.Σ υποστηρίζουν και ξεχωριστούς διαδρόμους δεδομένων για ανάκληση εντολών και δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει δυνατότητα ταυτόχρονης πρόσβασης στη μνήμη για την λήψη των δύο ορισμάτων μιας αριθμητικής πράξης αλλά και την ανάκληση της επόμενης προς εκτέλεση εντολής.
- ◇ **Modulo-N πρόσβαση στη μνήμη**. Με τον τρόπο αυτό, για παράδειγμα, οι συντελεστές ενός FIR φίλτρου αποθηκεύονται σε διαδοχικά τμήματα μνήμης και έτσι δεν χρειάζεται να υπολογίζεται κάθε φορά η διεύθυνση του επόμενου συντελεστή. Απλά έχουμε ακολουθιακή πρόσβαση.
- ◇ **Ειδικό χειρισμός επαναληπτικών διαδικασιών (loops)**. Σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχει υλοποίηση επαναληπτικών δομών με εξειδικευμένο υλικό.
- ◇ **Απευθείας πρόσβαση στη μνήμη και στις περιφερειακές συσκευές**. Δεν χρειάζεται η απασχόληση της CPU για πρόσβαση στη μνήμη και τις συσκευές αυτές.

- ☑ Εισαγωγή - Ορισμοί
- ☑ Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ψ.Ε.Σ
- ☑ Εφαρμογές Ψ.Ε.Σ
- ☑ Βασικά Χαρακτηριστικά Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ
- ★ Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ

## Αρχιτεκτονική Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ



◇ Η γενική δομή της αρχιτεκτονικής Επεξεργαστών Ψ.Ε.Σ επιδεικνύεται στο διπλανό σχήμα:

- ◇ Η αρχιτεκτονική αυτή έχει σχεδιαστεί για βέλτιστη υλοποίηση της λειτουργίας FIR (Finite Impulse Response) filtering
- ◇ Περιλαμβάνει δύο (ένα για εντολές, ένα για δεδομένα) ή τρεις (ένα για εντολές, δύο για δεδομένα) διαδρόμους δεδομένων (data buses) για εκτέλεση εντολών MAC (Multiply Accumulate) σε ένα κύκλο εντολής.