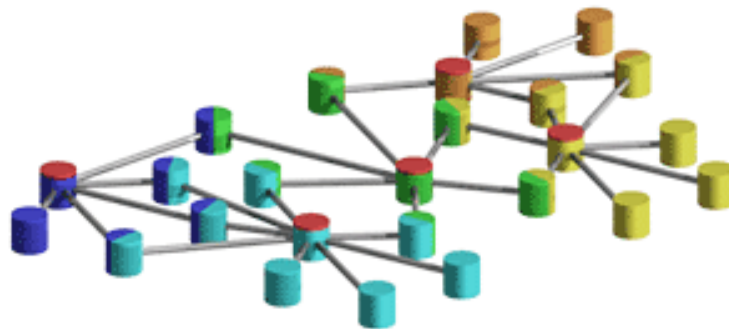




Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Θέματα Ενέργειας



Ενέργεια στα Δίκτυα Ασυρμάτων Αισθητήρων

Εισαγωγή



Ενέργεια στα Δίκτυα Ασυρμάτων Αισθητήρων - Εισαγωγή

- Η διαθέσιμη σε ένα κόμβο ενέργεια προς κατανάλωση, αποτελεί **κυρίαρχο περιορισμό** στην **κατασκευή του**, **στον ωφέλιμο χρόνο ζωής** του καθώς και στις **επιλογές** που σχετίζονται τόσο με το **υλικό** που τον απαρτίζει όσο και στις επιλογές **σχετικά** με τους **αλγορίθμους** και το **μοντέλο δικτύου** που θα υλοποιηθεί.
- Βασικός Σχεδιαστικός Στόχος: Η παροχή στον κόμβο όσο το δυνατόν περισσότερης ενέργειας είναι δυνατόν με το κατά το δυνατόν μικρότερο κόστος/όγκο/βάρος/χρόνο επαναφόρτισης/χρόνο ζωής.



Υπάρχουν τέσσερις δυνατοί τρόποι για την αντιμετώπιση του προβλήματος της παροχής επαρκούς ενέργειας στα δίκτυα ασυρμάτων αισθητήρων:

- ❑ Βελτίωση της πυκνότητας της ενέργειας που αποθηκεύεται στους κόμβους, με την υπάρχουσα τεχνολογία συσσωρευτών.
- ❑ Ανάπτυξη πρωτοποριακών μεθόδων για την διανομή ενέργειας στους κόμβους από απόσταση.
- ❑ Ανάπτυξη νέων τεχνολογιών οι οποίες θα επιτρέπουν σε ένα κόμβο να παράγει μόνος του ή να συλλέγει ενέργεια από το περιβάλλον.
- ❑ Χρησιμοποίηση τεχνικών διαχείρισης της ενέργειας σε όλα τα τμήματα που αποτελούν τον κόμβο.



Τα κριτήρια επιλογής πηγών ενέργειας για τους κόμβους είναι:

❑ **Χωρητικότητα:** Εκφράζει το σύνολο της διαθέσιμης προς κατανάλωση ενέργειας του κόμβου.

Για την περιγραφή της χρησιμοποιούνται **ΟΙ** παρακάτω μετρικοί δείκτες:

- 1) πυκνότητα ισχύος ($\mu W / cm^3$),
- 2) ενεργειακή πυκνότητα (J / cm^3), και
- 3) πυκνότητα ισχύος ανά έτος χρήσης ($\mu W / cm^3 / yr$)

- ❑ Διαθεσιμότητα.
- ❑ Λειτουργικό Κόστος.
- ❑ Δυνατότητες Τροφοδοσίας Διαφορετικών Επιπέδων Τάσης.
- ❑ Μέγεθος.
- ❑ Περιβαλλοντολογικά Ζητήματα.



Τα κριτήρια επιλογής πηγών ενέργειας για τους κόμβους είναι:

- ❑ Χωρητικότητα.
- ❑ **Διαθεσιμότητα:** εκφράζει 1) την πιθανότητα ύπαρξης της πηγής ενέργειας τόσο στην περιοχή παραγωγής του κόμβου όσο και στην περιοχή ανάπτυξης του δικτύου, 2) την επιχειρησιακή ύπαρξη της τεχνολογίας του συσσωρευτή. Το κριτήριο της διαθεσιμότητας αναφέρεται κυρίως σε πηγές ενέργειας που δεν ανήκουν στην κατηγορία των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών.
- ❑ Λειτουργικό Κόστος.
- ❑ Δυνατότητες Τροφοδοσίας Διαφορετικών Επιπέδων Τάσης.
- ❑ Μέγεθος.
- ❑ Περιβαλλοντολογικά Ζητήματα.



Τα κριτήρια επιλογής πηγών ενέργειας για τους κόμβους είναι:

- ❑ Χωρητικότητα.
- ❑ Διαθεσιμότητα.
- ❑ **Λειτουργικό Κόστος:** διακρίνεται στο αρχικό κόστος της απόκτησης του συσσωρευτή ή της τεχνολογίας του και στο κόστος της επιχειρησιακής λειτουργίας το οποίο σχετίζεται με τις ανάγκες για συντήρηση του συσσωρευτή, με το ρυθμό αστοχίας του συσσωρευτή, και το κόστος αντικατάστασης ή επαναφόρτισης του όπου αυτό είναι εφικτό.
- ❑ Δυνατότητες Τροφοδοσίας Διαφορετικών Επιπέδων Τάσης.
- ❑ Μέγεθος.
- ❑ Περιβαλλοντολογικά Ζητήματα.



Τα κριτήρια επιλογής πηγών ενέργειας για τους κόμβους είναι:

- ❑ Χωρητικότητα.
- ❑ Διαθεσιμότητα.
- ❑ Λειτουργικό Κόστος.
- ❑ **Δυνατότητες Τροφοδοσίας Διαφορετικών Επιπέδων Τάσης:** Η τάση με την οποία η πηγή τροφοδοτεί τον κόμβο πρέπει να ταιριάζει με την τάση τροφοδοσίας που απαιτεί αυτός για την λειτουργία του, διαφορετικά απαιτείται η προσθήκη ενός κυκλώματος μετατροπής της πρώτης στην δεύτερη, γεγονός που όπως είναι αντιληπτό αυξάνει το κόστος και την πολυπλοκότητα κατασκευής του κόμβου και επιπλέον μειώνει την αποτελεσματικότητα στην χρησιμοποίηση της πηγής εξαιτίας απωλειών ενέργειας στο κύκλωμα μετατροπής.
- ❑ Μέγεθος.
- ❑ Περιβαλλοντολογικά Ζητήματα.



Τα κριτήρια επιλογής πηγών ενέργειας για τους κόμβους είναι:

- ❑ Χωρητικότητα.
- ❑ Διαθεσιμότητα.
- ❑ Λειτουργικό Κόστος.
- ❑ Δυνατότητες Τροφοδοσίας Διαφορετικών Επιπέδων Τάσης.
- ❑ **Μέγεθος:** Το μέγεθος της πηγής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το είδος του κόμβου αλλά και την εφαρμογή στην οποία πρόκειται αυτός να χρησιμοποιηθεί. Μεγέθη διαθέσιμα από μερικά mm³ στις μικρομηχανικής τεχνολογίας θερμικές μηχανές έως μερικές δεκάδες cm² στους ηλιακούς συλλέκτες.
- ❑ Περιβαλλοντολογικά Ζητήματα.

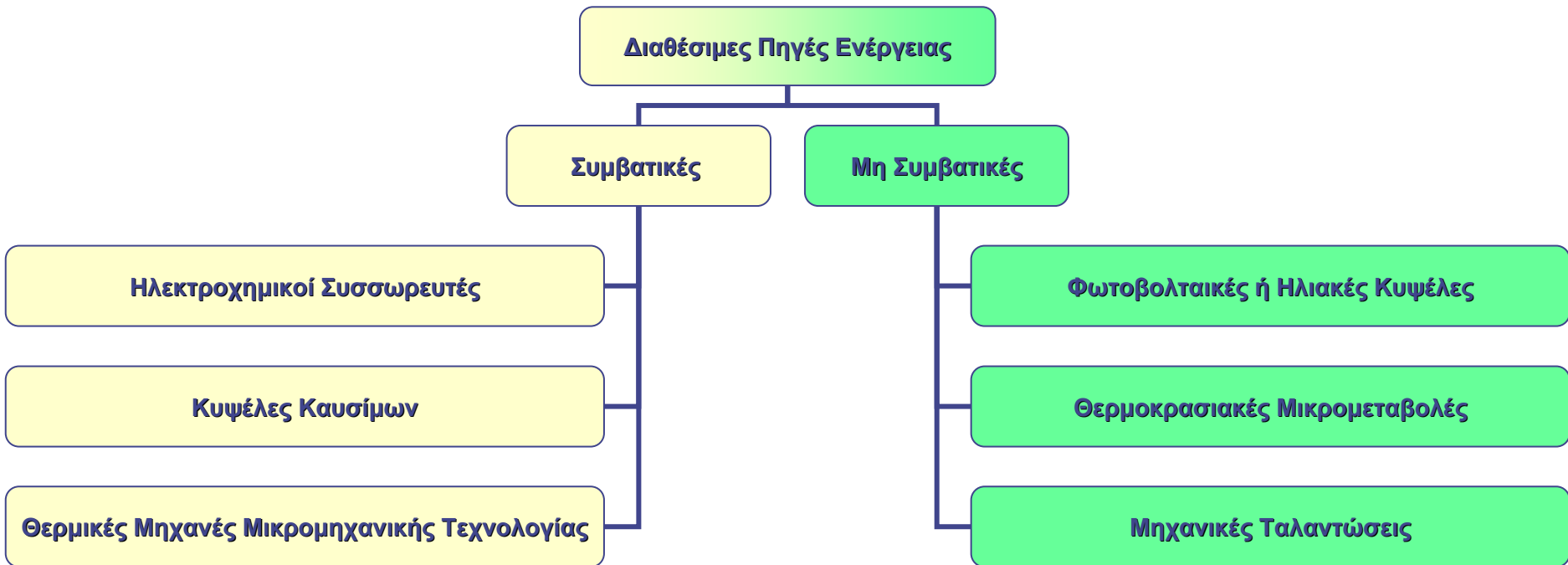


Τα κριτήρια επιλογής πηγών ενέργειας για τους κόμβους είναι:

- ❑ Χωρητικότητα.
- ❑ Διαθεσιμότητα.
- ❑ Λειτουργικό Κόστος.
- ❑ Δυνατότητες Τροφοδοσίας Διαφορετικών Επιπέδων Τάσης.
- ❑ Μέγεθος.
- ❑ **Περιβαλλοντολογικά Ζητήματα:** Το ζήτημα των περιβαλλοντολογικών ανησυχιών σχετίζεται κυρίως με την χρήση μη ανακυκλώσιμων πηγών ενέργειας στα δίκτυα και κυρίως με την χρήση ηλεκτροχημικών συσσωρευτών. Τελευταία εκφράζονται ανησυχίες για την πιθανότητα χρήσης στους κόμβους των δικτύων ραδιενεργών πηγών ενέργειας και για τις πιθανές επιπτώσεις που θα έχει αυτή στην υγεία και το περιβάλλον.

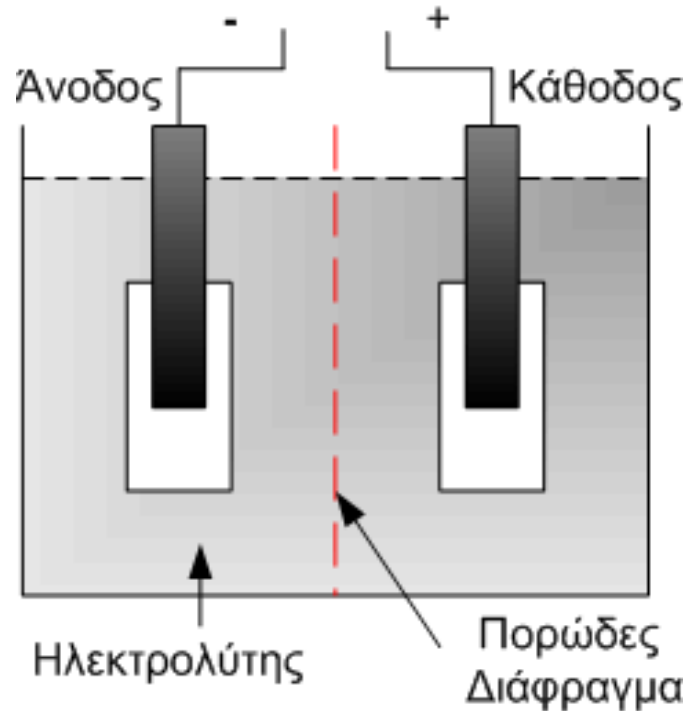


Ενέργεια Στα Δίκτυα Ασυρμάτων Αισθητήρων – Διάκριση Πηγών Ενέργειας



Ηλεκτροχημικοί Συσσωρευτές

Ένας ηλεκτροχημικός συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από το αρχικό δυναμικό του όταν είναι πλήρως φορτισμένος και υπό συνθήκες μηδενικού φόρτου, το οποίο ονομάζεται **δυναμικό ανοικτού κυκλώματος (open – circuit potential – VOC)**, από το **δυναμικό αποκοπής (cut-off potential - V_{cut})** το οποίο αντιστοιχεί στο δυναμικό του συσσωρευτή όταν αυτός είναι αποφορτισμένος, και από την χωρητικότητα του η οποία μετρείται σε mAh (milliampere-hours) .



Οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες στους κύριους και στους δευτερεύοντες η επαναφορτιζόμενους.



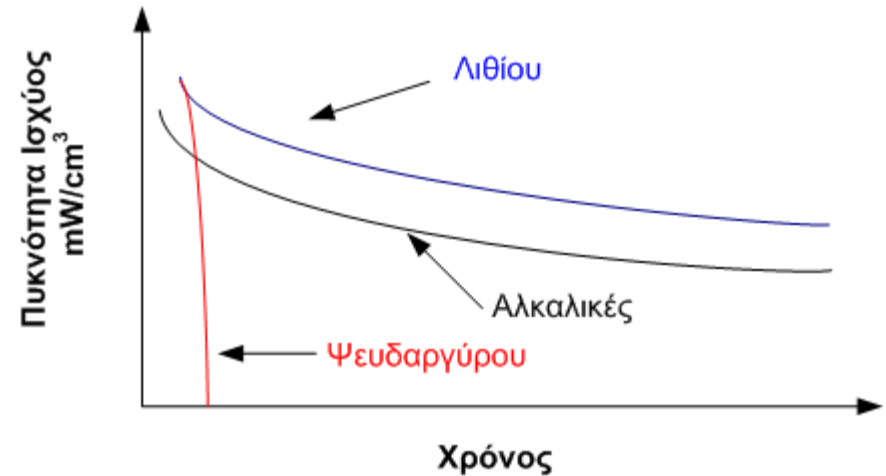
Κύριοι Ηλεκτροχημικοί Συσσωρευτές

Ο χρόνος ζωής κάθε συσσωρευτή ανεξάρτητα από την χημική του σύνθεση εξαρτάται από την διαθεσιμότητα και προσπελασιμότητα των ενεργών περιοχών στην κάθοδο. Για αυτό σε καθένα από τους παραπάνω τύπους συσσωρευτών αντιστοιχεί ένα προφίλ αποφόρτισης το οποίο με την σειρά του συνδέεται με τα φαινόμενα της **κλιμακωτής χωρητικότητας (rated capacity effect)** και της **επανάκτησης (recovery-relaxation effect)**.

Γενικότερα μπορούμε να πούμε ότι όλες οι παραπάνω κατηγορίες συσσωρευτών παρουσιάζουν μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα και μικρό ρυθμό αποφόρτισης. Επιπλέον:

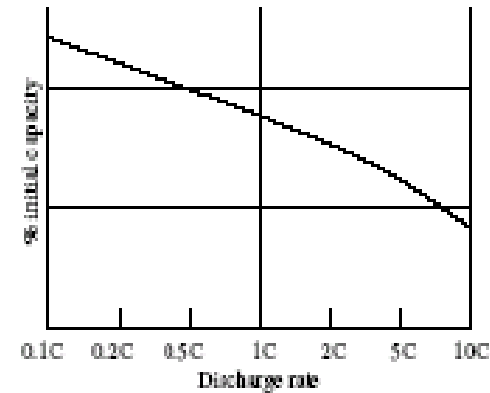
- οι Carbon-Zinc και οι Alkaline είναι ευρύτατα και με μικρό κόστος διαθέσιμοι,
- Οι συσσωρευτές τεχνολογίας λιθίου παρουσιάζουν υψηλή πυκνότητα ενέργειας και σχετικά ήπιο ρυθμό αποφόρτισης, και
- οι Zinc-Air συσσωρευτές έχουν σχετικά υψηλή πυκνότητα ενέργειας ανά cm³ αλλά εξαιτίας του μεγάλου ρυθμού αποφόρτισης που εμφανίζουν πρέπει να λαμβάνονται μέτρα, ειδικά κατά την αποθήκευση πριν από την χρήση, για τη διατήρησή τους σε χαμηλή θερμοκρασία.

Χημική Σύνθεση	Τάση (V)	Χωρητικότητα (mAh)	Ενέργεια (J/cm ³)	Ρυθμός Αυτό-αποφόρτισης (Ανά έτος@ 20C)
Carbon-Zinc	1.5	10-5000	800	5%
Alkaline	1.5	10-5000	1200	4%
Silver Oxide (AgO)	1.5	5-200	1400	3%
Zinc Air (ZiO ₂)	1.4	30-1000	3780	5%
Lithium (LiSOCl ₂ και LiMnO ₂)	1.5 -3	10-3000	2880	1%



Rated Capacity Effect

The lifetime of a cell depends on the availability and reachability of active reaction sites in the cathode. When discharge current is low, the inactive sites (made inactive by previous cathode reactions) are distributed uniformly throughout the cathode. But, at higher discharge current, reductions occur at the outer surface of the cathode making the inner active sites inaccessible. Hence, the energy delivered (or the battery lifetime) decreases since many active sites in the cathode remain un-utilized when the battery is declared discharged.



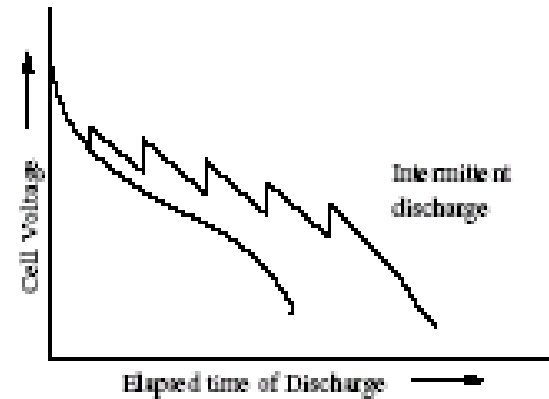
Concentration of the active species (charged ions of Lithium and Nickel) is uniform at electrode-electrolyte interface at zero current. As the intensity of the current is increased, the deviation of the concentration from the average becomes more significant and the state of charge as well as the cell voltage decrease. This phenomenon is called Rate Capacity effect.



Recovery Effect

Some of the adverse consequences of constant current discharge can be overcome when the discharge is pulsed.

If a cell is allowed to relax long enough after delivering a pulse, the diffusion process compensates for the depletion of the active materials that takes place during the current drain. The degree to which the battery recovers depends on the discharge profile (rate) and the length and distribution of the idle slots, as well as the details of the battery construction. This non-linearity in the battery, has been termed the Recovery effect.



Δευτερεύοντες Ηλεκτροχημικοί Συσσωρευτές

Διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- NiCad
- NiMH
- Li-Ion

Οι δευτερεύοντες συσσωρευτές εμφανίζουν μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα και μεγαλύτερο ρυθμό αποφόρτισης από τους κύριους, είναι επαναχρησιμοποιήσιμοι μειώνοντας έτσι το κόστος λειτουργίας του δικτύου, και επιπλέον είναι περισσότερο φιλικό με το περιβάλλον.

Χημική Σύνθεση	Τάση (V)	Χωρητικότητα (mAh)	Ενέργεια (J/cm ³)	Ρυθμός Αυτό-αποφόρτισης (Ανά έτος@ 20C)
NiCad	1.2	50-5000	650	10%
NiMH	1.2	10-5000	860	15%
Li-Ion	3.6	25-1600	1080	3%

- Οι συσσωρευτές Li-Ion έχουν καλύτερη απόδοση σε σχέση με τους άλλους δύο ως προς την ενέργεια, αλλά έχουν μεγαλύτερο κόστος απόκτησης. Επιπλέον οι Li-Ion παρουσιάζουν μικρή εσωτερική αντίσταση, ιδιότητα που τους καθιστά κατάλληλους για εφαρμογές που απαιτούν high-peak ρεύμα.
- Οι NiMH έχουν σχετικά καλή απόδοση ως προς την πυκνότητα ενέργειας ανά cm³, όμως η υψηλή τιμή του ρεύματος διαρροής που εμφανίζουν τους καθιστά μη κατάλληλους για χρήση στα δίκτυα αισθητήρων.
- Οι συσσωρευτές NiCad έχουν την χαμηλότερη απόδοση από τους άλλους δύο όμως η ύπαρξη του καδμίου στην σύνθεσή τους, τους καθιστά επικίνδυνους για το περιβάλλον όποτε αποφεύγεται η χρησιμοποίησή τους.



Κυψέλες Καυσίμων (Fuel Cells)

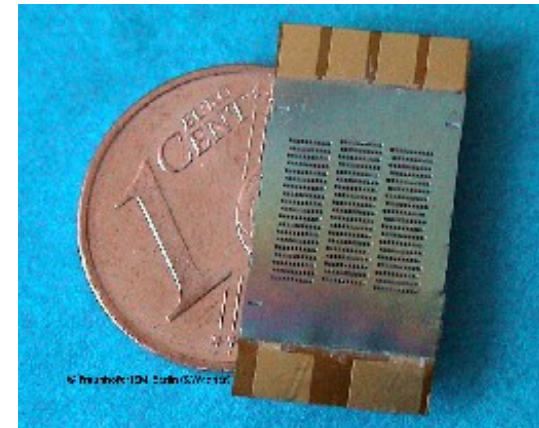
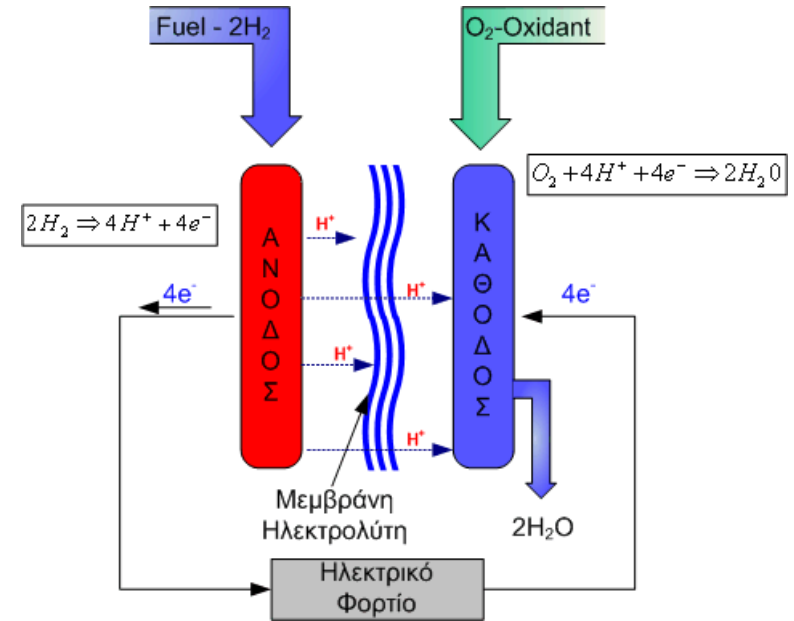
Οι κυψέλες καυσίμων που βασίζονται στους υδρογονάνθρακες αποτελούν μια τεχνολογία συσσωρευτών ιδιαίτερα ελκυστική για χρήση στους κόμβους των δικτύων αισθητήρων διότι παρουσιάζουν ενεργειακή πυκνότητα ανά cm³, 5-10 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τους υπάρχοντες ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές, π.χ η μεθανόλη έχει ενεργειακή πυκνότητα 17.6 kJ/cm³ η οποία είναι 6 φορές μεγαλύτερη από αυτή ενός συσσωρευτή λιθίου

Πλεονεκτήματα:

- α) το χαμηλό κόστος της πρώτης ύλης (υδρογόνο, οξυγόνο), και το γεγονός ότι είναι απεριόριστα διαθέσιμοι σε όλους,
- β) η φιλικότητα τους προς το περιβάλλον και η μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα τους σε σχέση με άλλες κατηγορίες συσσωρευτών.

Μειονεκτήματα:

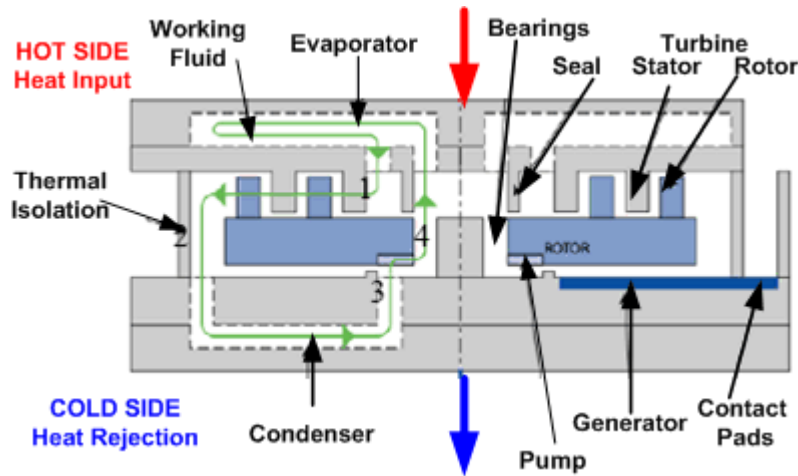
- α) το μέγεθος των υφισταμένων υλοποιήσεων,
- β) μικρή αποδοτικότητα,
- γ) τάση εξόδου γύρω στο 1.0-1.5 volt. Απαιτείται η χρήση επιπλέον ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (DC-DC μετατροπείς) .



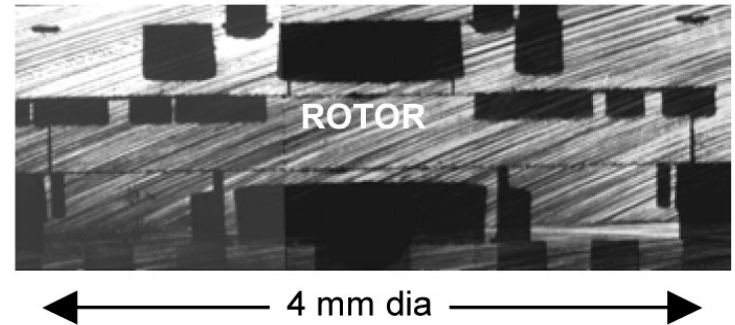
© The authors: IBM, Zurich (2001)



Θερμικές Μηχανές Μικρομηχανικής Τεχνολογίας (Micro-Heat Engines)



Microturbine bearing rig (section A-A)



Από τα μέσα του 1990 εμφανίζονται προσπάθειες για την κατασκευή θερμικών μηχανών MEMS τεχνολογίας, όπως στροβιλοκινητήρες ατμού, μηχανές εσωτερικής καύσης (περιστροφικές τύπου Wankel ή με πιστόνια).

+ Αναμενόμενη απόδοση των θερμικών μικρομηχανών προβλέπεται να είναι 0.1-10 Watt
Εκτιμώμενος όγκος τους περίπου 1cm³

- Ακόμα βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο εξέλιξης



Μη Συμβατικές Πηγές Ενέργειας

- Η πηγές ενέργειας που παρουσιάστηκαν έως τώρα χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα τους να μετατρέπουν κάποια αποθηκευμένη σε αυτές μορφή ενέργειας σε ηλεκτρική.

- Αυτό σημαίνει

1. ο χρόνος ζωής της πηγής και του κόμβου που την χρησιμοποιεί, είναι συνδεδεμένος με την ποσότητα της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε αυτήν.

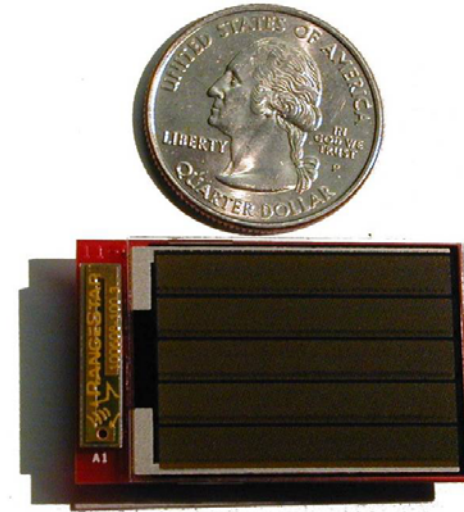
2. εξάντληση της οποίας σημαίνει αυτομάτως και παύση λειτουργίας του κόμβου.

- Τα τελευταία χρόνια προτείνεται η συλλογή ενέργειας η οποία υπάρχει διάχυτη στο περιβάλλον και οφείλει την ύπαρξη της σε φυσικές ή ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες τις περισσότερες φορές δεν σχετίζονται άμεσα με την λειτουργία ή την ύπαρξη των δικτύων αισθητήρων.

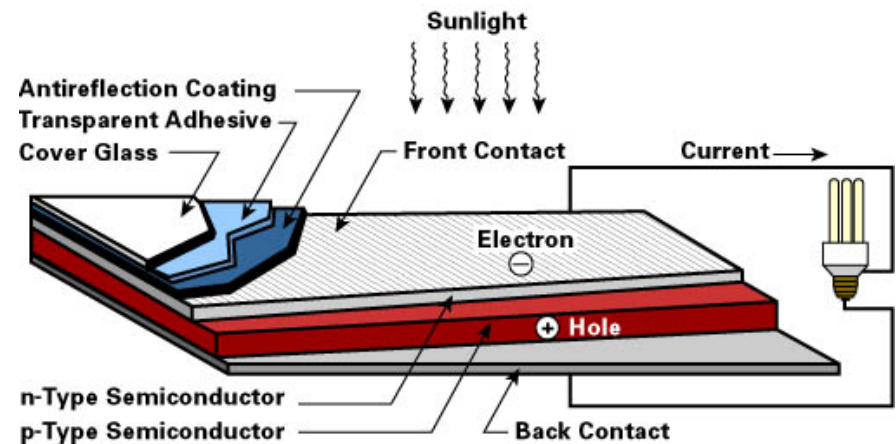


Φωτοβολταικές ή Ηλιακές Κυψέλες (Photovoltaic – Solar Cells)

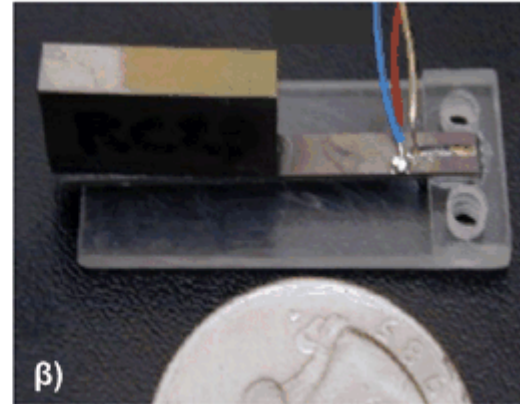
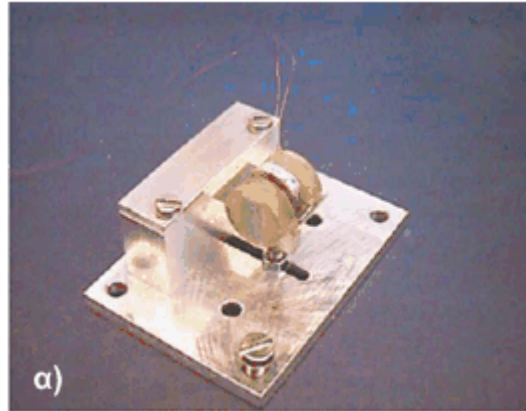
- Ισχύς
 - Μεσημέρι μια ηλιόλουστη ημέρα: 100 mW/cm^2
 - Φώτα γραφείων: 7.2 mW/cm^2
- Συλλέκτης
 - Πυρίτιο
 - 15% - 30% αποδοτικότητα
 - δυναμικό ανοικτού κυκλώματος .6 V -> απαιτούν τοποθέτηση σε σειρά.
 - Poly-Silicon
 - 10% - 15% αποδοτικότητα
 - Photoelectric Dyes
 - 5% to 10% αποδοτικότητα



BWRC - BMI - Solar Powered PicoRadio Node



Μηχανικές Ταλαντώσεις



- Οι μηχανικές ταλαντώσεις είναι μια μορφή μηχανικής ενέργειας η οποία υπάρχει παντού γύρω μας
- Η ενέργεια που παράγεται εξαρτάται από την συχνότητα και το πλάτος της ταλάντωσης και εκτείνεται από $0.1\mu\text{W}/\text{cm}^3$ έως $10.000\mu\text{W}/\text{cm}^3$.
- Για χρήση στους κόμβους των δικτύων αισθητήρων έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από γεννήτριες μικρομηχανικής τεχνολογίας οι οποίες χρησιμοποιώντας διάφορες αρχές (ηλεκτρομαγνητισμό, ηλεκτροστατικές διατάξεις, και πιεζοηλεκτρικά υλικά) μετατρέπουν τις ταλαντώσεις σε ηλεκτρική ενέργεια ικανή να τροφοδοτήσει έναν κόμβο.



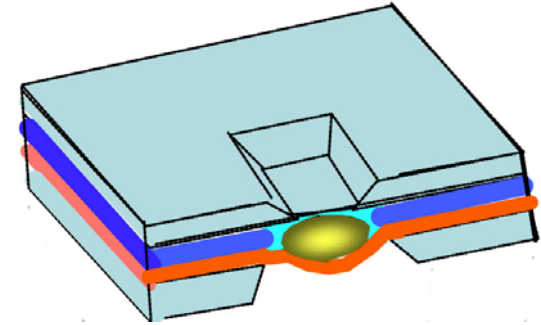
Ανθρωπογεννής Ισχύ

- Ο μέσος άνθρωπος καταναλώνει 10.5 MJ την ημέρα
 - Η ισχύς που ξοδεύεται αντιστοιχεί περίπου σε 121 W
- Περιοχές Εφαρμογής Areas of Exploitation
 - Πόδια
 - Εκμετάλλευση της ενέργειας που απορροφάται από το παπούτσι κατά την βόδιση
 - Εκτιμώμενη ισχύς περίπου 330 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
 - Δέρμα
 - Temperature gradients, έως τους 15°C
 - Αίμα
 - Νανομηχανές που εκμεταλλεύονται την ροή του αίματος
 - Νανομηχανές που επεξεργάζονται την ύπαρξη γλυκόζης στο αίμα παράγοντας ηλεκτροχημικά ενέργεια.



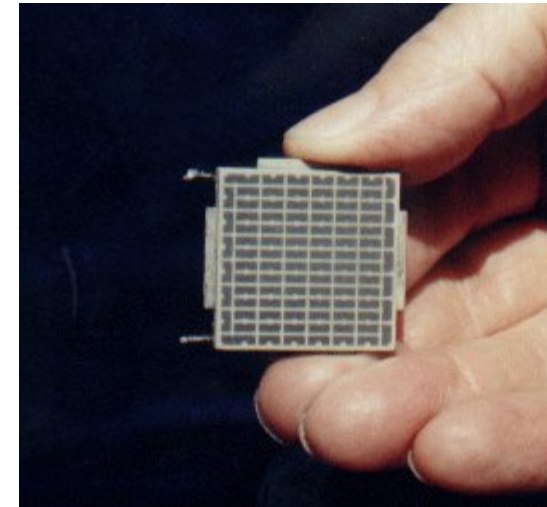
Temperature Gradients

- Ως Temperature Gradient ορίζεται το πηλίκο της μεταβολής dT της θερμοκρασίας σε δύο διαφορετικές θέσης η οποίες απέχουν μεταξύ του κατά dx προς την μεταβολή dx αυτή, για παράδειγμα μεταξύ της επιφάνειας ενός σώματος και του περιβάλλοντος γύρω του.



Bahr et al. WSU -Piezo thermo engine

- Μεθοδολογίες
 - Thermoelectric (Seebeck effect) $\sim 40\mu\text{W}/\text{cm}^2 @ 10^\circ\text{C}$
 - Piezo thermo engine $\sim 1 \text{ mW}/\text{mm}^2$ (θεωρητική Τιμή)



(Πηγή; Hi-Z Technologies Inc.)



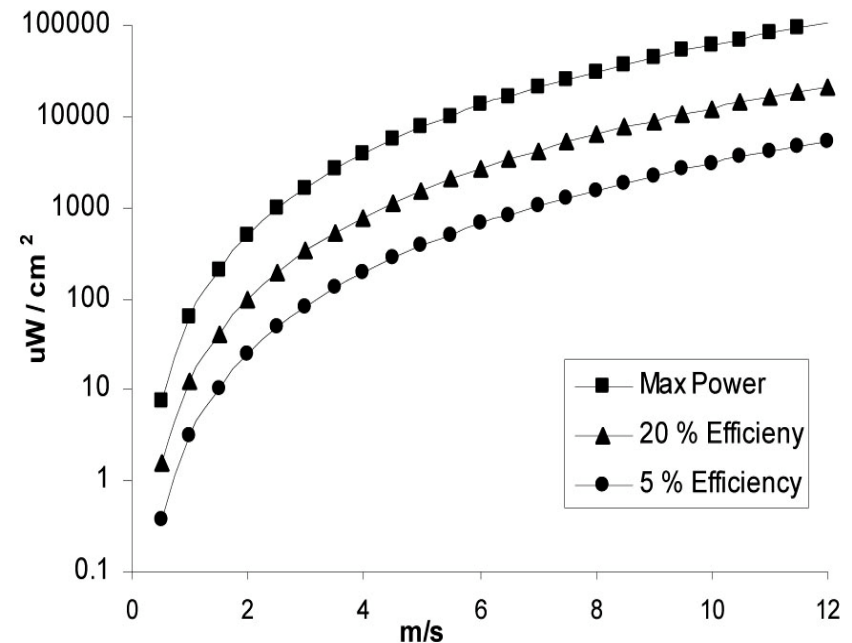
Pressure Gradients

- Χρησιμοποιώντας μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης
 - Σε μια τυπική ημέρα μια μεταβολή .2 ιντσών Hg, μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή ισχύος πυκνότητας της τάξης των nW/cm³
- Χειραγωγώντας την θερμοκρασία
 - Χρησιμοποιώντας 1 cm³ Ηλίου, και προκαλώντας σε αυτό μεταβολή της θερμοκρασίας του κατά 10°C, θεωρώντας ιδεατή συμπεριφορά από αυτό, η μεταβολή αυτή μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή ισχύος πυκνότητας της τάξης των ~μW/cm³



Ροή Αέρα

- Απαιτείται τουλάχιστον ροή ανέμου ταχύτητας 5 m/s
 - Οπότε με 100% αποδοτικότητα ~1 mW/cm.
- Η έρευνα εστιάζει στην παραγωγή MEMS τουρμπίνων.
- Η παραγόμενη ισχύς και η αποδοτικότητα της μετατροπής εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα και το είδος του κινητήρα που χρησιμοποιείται.



Διανομή Ενέργειας και Επαναφόρτιση των Συσσωρευτών των Κόμβων από Απόσταση

- Κυρίαρχη τεχνολογία ηλεκτρομαγνητική RF ακτινοβολία
 - RF id Tags
 - Βασικό μειονέκτημα: Απαγορεύονται εκπομπές > 1watt.
 - Η σχέση που συνδέει την ισχύ που λαμβάνεται από έναν κόμβο με την εκπεμπόμενη ακτινοβολία και την απόσταση δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$P_n = \frac{P_{rad} \lambda^2}{4\pi R^2}$$

- Όπου P_n η ισχύς που λαμβάνει κόμβος, P_{rad} η ισχύς της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας λ το μήκος κύματος, και R η απόσταση μεταξύ κόμβου και εκπομπού
- Άλλες πηγές πέραν της ηλεκτρομαγνητικής RF ακτινοβολίας, για την φόρτιση κόμβων από απόσταση είναι:
 - τα ακουστικά κύματα, τα οποία όμως παρουσιάζουν μικρή ενεργειακή πυκνότητα περίπου $0.96 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ για ένα ακουστικό κύμα των 100 db, και
 - ακτίνες laser η οποίες όμως απαιτούν την στόχευση καθενός κόμβου ξεχωριστά γεγονός που καθιστά την μέθοδο ιδιαίτερα σύνθετη και αντιοικονομική.



Οι κυριότερες μεθοδολογίες ελαχιστοποίησης της ενέργειας είναι οι ακόλουθες:

- ❑ Επιλογή χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρονικών για την κατασκευή των συστατικών των υποσυστημάτων των κόμβων.
- ❑ Χρήση τεχνικών δυναμικής διαχείρισης της ισχύος (Dynamic Power Management –DPM).
- ❑ Χρήση της τεχνικής δυναμικής κλιμάκωσης της τάσης(Dynamic Voltage Scaling- DVS).



Οι κυριότερες μεθοδολογίες ελαχιστοποίησης της ενέργειας είναι οι ακόλουθες:

- ❑ **Επιλογή χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρονικών για την κατασκευή των συστατικών των υποσυστημάτων των κόμβων.**
- ❑ Χρήση τεχνικών δυναμικής διαχείρισης της ισχύος (Dynamic Power Management –DPM).
- ❑ Χρήση της τεχνικής δυναμικής κλιμάκωσης της τάσης(Dynamic Voltage Scaling- DVS).



Οι κυριότερες μεθοδολογίες ελαχιστοποίησης της ενέργειας είναι οι ακόλουθες:

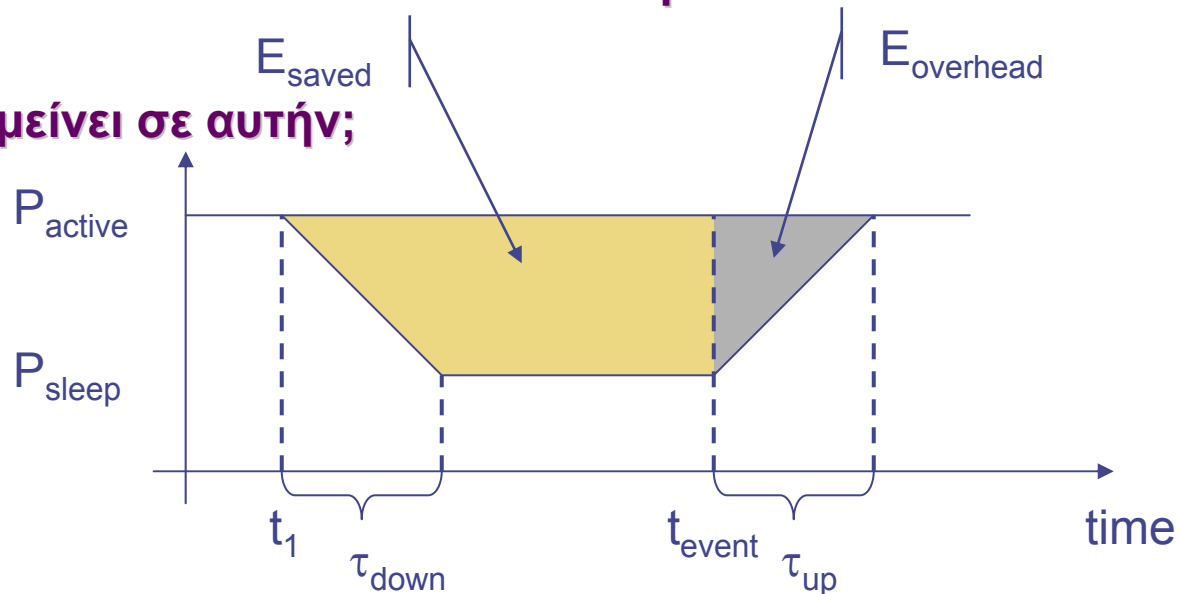
- Επιλογή χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρονικών για την κατασκευή των συστατικών των υποσυστημάτων των κόμβων.
- Χρήση τεχνικών δυναμικής διαχείρισης της ισχύος (Dynamic Power Management –DPM).
- Χρήση της τεχνικής δυναμικής κλιμάκωσης της τάσης(Dynamic Voltage Scaling- DVS).



Προϋποθέσεις Εφαρμογής:

- ❑ Κατάλληλα συστατικά ώστε να υποστηρίξουν την μετάβαση σε διαφορετικές περιοχές λειτουργίας με διαφορετικές τιμές κατανάλωσης ισχύος.
- ❑ ο υπεύθυνος για τον σχεδιασμό του δικτύου να είναι σε θέση να μπορεί να απαντήσει στα ερωτήματα:

1. ποιο υποσύστημα μεταβαίνει πότε σε ποια κατάσταση λειτουργίας;
2. για πόσο χρόνο θα παραμείνει σε αυτήν;



Στρατηγικές Εφαρμογής:

1. Με βάση κάποιο εξωτερικό ερέθισμα:
 - A. Γεγονός, το οποίο λαμβάνει χώρα στην περιοχή παρατήρησης του κόμβου.
 - B. Κάποιο RF σήμα είτε σηματοδότησης, είτε δεδομένων.
2. Με βάση κάποιο χρονοπρογραμματισμό.
3. Με βάση μεθόδους της πιθανοθεωρίας.



Κατανάλωση ισχύος στην μνήμη

- Σημαντικό τμήμα: η μνήμη τύπου
- Η ισχύς που καταναλώνεται στην RAM σχεδόν αμελητέα.
- Η εγγραφή/διαγραφή στην μνήμη FLASH είναι ενεργειοβόρα διαδικασία
 - Π.Χ: για την μνήμη FLASH των Mica motes
 - Ανάγνωση: $\frac{1}{4}$ 1.1 nAh ανά byte
 - Εγγραφή: $\frac{1}{4}$ 83.3 nAh ανά byte



Κατανάλωση ισχύος / ενέργειας στον πομποδέκτη για την εκπομπή n bits

- Amplifier power: $P_{\text{amp}} = \alpha_{\text{amp}} + \beta_{\text{amp}} P_{\text{tx}}$
 - P_{tx} **εκπεμπόμενη ισχύς**
 - $\alpha_{\text{amp}}, \beta_{\text{amp}}$ σταθερές χαρακτηριστικές για κάθε μοντέλο
- Επιπλέον: Τα ηλεκτρονικά του πομπού απαιτούν μια ισχύ P_{txElec}
- Χρόνος εκπομπής n bits: $n / (R * R_{\text{code}})$
 - R data rate, R_{code} coding rate
- Για την μετάβαση από sleep mode σε ενεργή κατάσταση
 - Χρόνος T_{start} , μέση ισχύ P_{start}

$$E_{\text{tx}} = T_{\text{start}} P_{\text{start}} + n / (R * R_{\text{code}}) (P_{\text{txElec}} + \alpha_{\text{amp}} + \beta_{\text{amp}} P_{\text{tx}})$$

- Απλοποίηση: Η παραπάνω σχέση δεν λαμβάνει υπόψη την διαμόρφωση



Κατανάλωση ισχύος / ενέργειας στον πομποδέκτη για την λήψη n bits

- Η λήψη έχει επίσης startup κόστος σε
 - Χρόνο T_{start} , μέση ισχύ P_{start}
- Χρόνος εκπομπής n bits: $n / (R * R_{code})$
 - R data rate, R_{code} coding rate
- Τα ηλεκτρονικά για την λήψη απαιτούν P_{rxElec}
- Επιπλέον: ενέργεια που απαιτείται για την αποκωδικοποίηση n bits $E_{decBits}$

$$E_{rx} = T_{start} P_{start} + n / (R * R_{code}) P_{rxElec} + E_{decBits} (R)$$



Ενδεικτικές τιμές

Symbol	Description	Example transceiver		
		μ AMPS-1 [559]	WINS [670]	MEDUSA-II [670]
α_{amp}	Eq. (2.4)	174 mW	N/A	N/A
β_{amp}	Eq. (2.4)	5.0	8.9	7.43
P_{amp}	Amplifier pwr.	179 – 674 mW	N/A	N/A
P_{rxElec}	Reception pwr.	279 mW	368.3 mW	12.48 mW
P_{rxIdle}	Receive idle	N/A	344.2 mW	12.34 mW
P_{start}	Startup pwr.	58.7 mW	N/A	N/A
P_{txElec}	Transmit pwr.	151 mW	\approx 386 mW	11.61 mW
R	Transmission rate	1 Mbps	100 kbps	OOK 30 kbps ASK 115.2 kbps
T_{start}	Startup time	466 μ s	N/A	N/A



Ελαχιστοποίηση κατανάλωση ενέργειας στον πομποδέκτη

- Όπως στην MCU, απαιτείται ελάχιστος χρόνος λειτουργίας στην ενεργή περιοχή
 - Εύκολο να εφαρμοστεί στην εκπομπή – παρόμοιο πρόβλημα με την MCU: κάθε πότε κλείνω τον εκπομπό; Πότε «ξυπνάω» ξανά;
 - Δύσκολο για τον δέκτη: Όχι μόνο άγνωστος ο χρόνος αφύπνισης άγνωστος, αλλά και εξαρτώμενος από μεμεκρυσμένους συνεργάτες.
! Dependence between MAC protocols and power consumption is strong!
- 1η Λύση: Χρησιμοποίηση MAC πρωτοκόλλων.
- 2η Λύση: Χρήση τεχνικών αναλόγων της DVS
 - Dynamic Modulation Scaling (DSM): Χρήση διαμόρφωσης που ταιριάζει κάθε φορά στο επικοινωνιακό κανάλι – ισχυρή εξάρτηση με το κέρδος του καναλιού.
 - Dynamic Coding Scaling – μεταβλητός ρυθμός κωδικοποίησης σε σχέση με το κέρδος του καναλιού.
 - Συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων.



Computation vs. communication energy cost

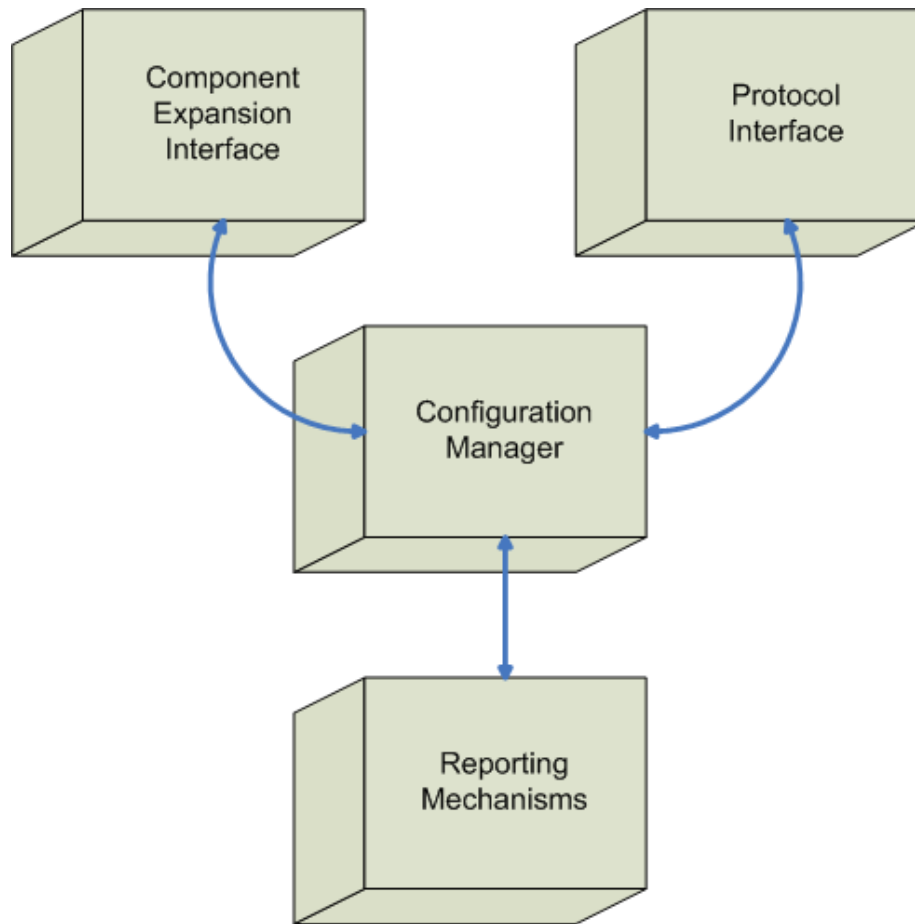
- Βασικό Tradeoff!!!!!!!
 - Η κατευθείαν σύγκριση δεν είναι εφικτή ωστόσο...
 - Το ενεργειακό ισοζύγιο ανάμεσα στην «αποστολή ενός bit» vs. «υπολογισμού μιας οδηγίας από την MCU»:
Αναφέρεται στην βιβλιογραφία ότι είναι ανάμεσα 220 και 2900
 - Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι για την αποστολή ενός kilobyte απαιτείται η ενέργεια η οποία δαπανάται από την MCU για την εκτέλεση 3 εκατομμυρίων εντολών.
- Επομένως: Οποτεδήποτε είναι δυνατόν προσπαθείτε να εκτελείται υπολογισμούς αντί να επικοινωνείτε τα δεδομένα.
- Τεχνική κλειδί στα WSN – ***Τοπική Επεξεργασία Δεδομένων!***



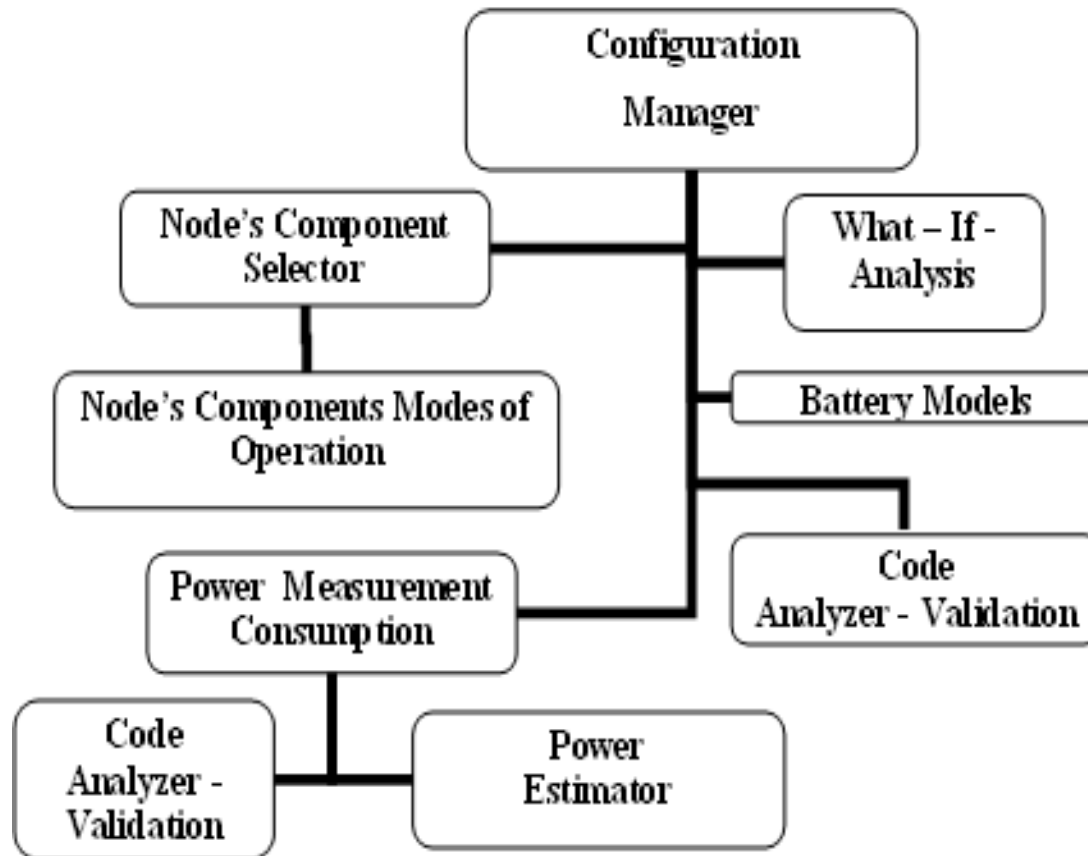
*ANAKIS: Ένα Εργαλείο Λογισμικού για τον Υπολογισμό
της Κατανάλωσης Ενέργειας στα Δίκτυα Αισθητήρων*



ΑΝΑΚΙΣ: Δομικά Στοιχεία Αρχιτεκτονικής



AVAKIS: Configuration Manager



AVAKIS: Μοντέλο Υποσυστήματος Μετάδοσης (1/2)

Στο μοντέλο του υποσυστήματος επικοινωνίας, προσομοιάζεται, ένας πομποδέκτης ο οποίος αποτελείται από διάφορα RF κυκλώματα, στα οποία, στην γενική περίπτωση, περιλαμβάνονται το κύκλωμα εκπομπής-λήψης, ένας ενισχυτής και μια κεραία.

Επιπλέον:

- 1) ο πομποδέκτης χαρακτηρίζεται από την ιδιότητα να καταναλώνει ενέργεια ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας στην οποία βρίσκεται, και
- 2) για την μετάβαση από την μία κατάσταση στην άλλη απαιτείται η κατανάλωση συγκεκριμένης ποσότητας ενέργειας.

Πέραν αυτών έχει μοντελοποιηθεί και υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού όπου απαιτείται, του κόστους σε καταναλισκόμενη ενέργεια το οποίο οφείλεται σε λάθη μετάδοσης ή συγκρούσεις πακέτων, καθώς και εξαιτίας του φαινομένου της μη επιθυμητής ακρόασης (overhearing).



AVAKIS: Μοντέλο Υποσυστήματος Συσσωρευτή

Στα πλαίσια του AVAKIS έχουμε μοντελοποιήσει δύο διαφορετικά προφίλ συσσωρευτών.

Το πρώτο, δεν λαμβάνει υπόψη το ρυθμό διάχυσης του συσσωρευτή ο οποίος επηρεάζει τον τρόπο εκφόρτισής του, και τον αντιμετωπίζει ως μια γραμμική αποθήκη φορτίου. Πέραν αυτού, το μοντέλο θεωρεί ότι ο συσσωρευτής είναι ιδανικός, και ότι θα παρέχει σταθερή τάση στον κόμβο μέχρι την πλήρη εκφόρτισή του.

Το δεύτερο μοντέλο λαμβάνει υπόψη όλες τις μη γραμμικότητες οι οποίες επηρεάζουν τον τρόπο εκφόρτισης του (rated capacity effect, relaxation effect), καθώς και τα χαρακτηριστικά του DC-DC μετατροπέα του συσσωρευτή.

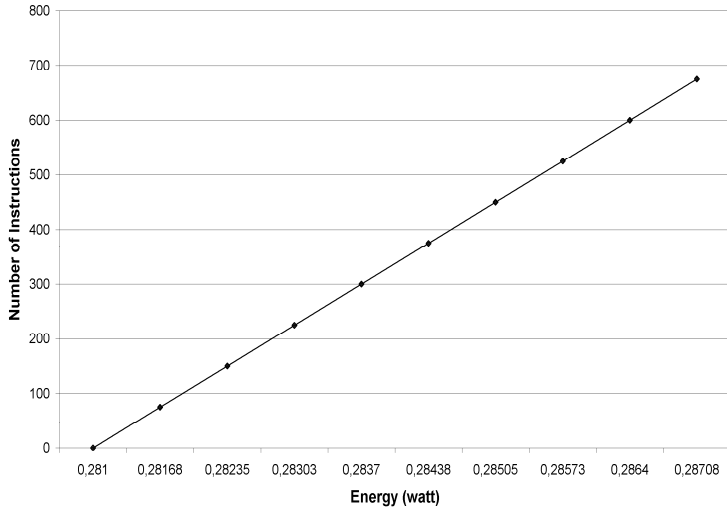
Τέλος, και τα δύο μοντέλα τροφοδοτούν το σύστημα με δύο γεγονότα (events), τα οποία συμβαίνουν το μεν πρώτο όταν η χωρητικότητα του συσσωρευτή φτάσει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο χωρητικότητας το οποίο καθορίζεται από τον χρήστη και εξυπηρετεί στην ενημέρωση του έτσι ώστε να προβεί, εφόσον αυτό απαιτείται, σε αλλαγές, το δε δεύτερο όταν εξαντλείται τελείως η διαθέσιμη στον συσσωρευτή ενέργεια, οπότε και με το event αυτό ενημερώνει το σύστημα για την επικείμενη διακοπή της λειτουργίας του.



ΑΝΑΚΙΣ: Επισκόπηση Λειτουργίας

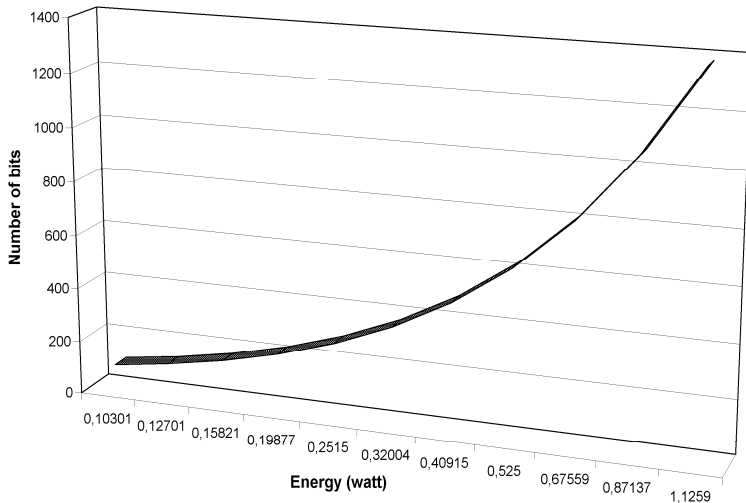


AVAKIS: Ανάλυση της Κατανάλωσης Ενέργειας του Κόμβου (1/2)



Κατανάλωση Ενέργειας ανά Αριθμό Εντολών Κώδικα Μηχανής που Εκτελούνται :

$$Power_{MCU} = \frac{MCU_{ACTIVE_POWER} * (INSTRUCTIONS)}{MCU_{Frequency}}$$



Κατανάλωση Ενέργειας ανά Bit :

$$RF_{POWER} = RF_TIME_{Tx} * RF_{POWER_Bit_Transmit} * Sampling_Rate$$

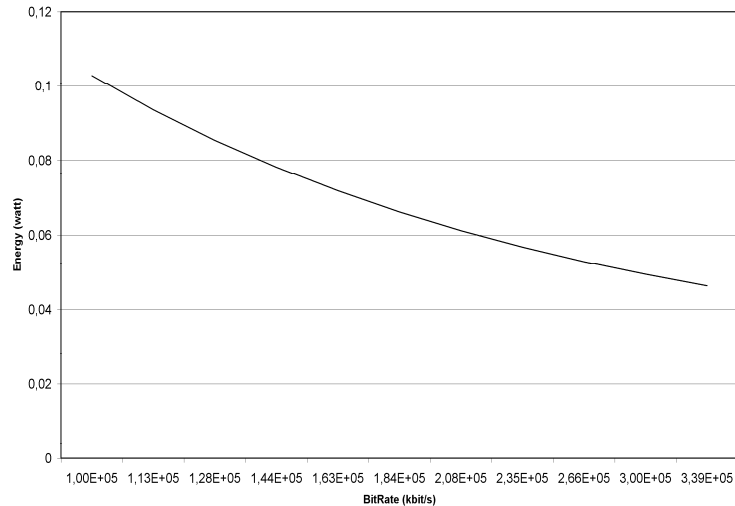
$$RF_TIME_{Tx} = \frac{Total_{Tx_Bits}}{BitRate}$$

$$RF_{POWER} = \left(\frac{Total_{Tx_Bits}}{BitRate} \right) * RF_{POWER_Bit_Transmit} * Sampling_Rate$$



AVAKIS: Ανάλυση της Κατανάλωσης Ενέργειας του Κόμβου (2/2)

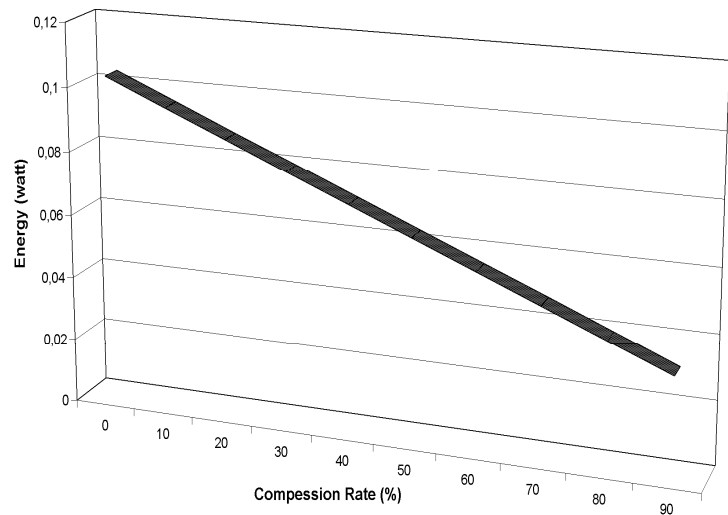
Κατανάλωση Ενέργειας σχέση με το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων



Κατανάλωση Ενέργειας ανά Βαθμό Συμπίεσης :

$$Total_{Tx_Bits} = Compression_Ratio * ATOD_Bits$$

$$RF_{POWER} = \left(\frac{Compression_Ratio * ATOD_Bits}{BitRate} \right) * RF_{POWER_Bit_Transmit} * Sampling_Rate + P_{Compression_Bit}$$



- Το AVAKIS είναι ένα εργαλείο **ανάλυσης** και **υπολογισμού** της **κατανάλωσης ενέργειας** στους κόμβους των δικτύων αισθητήρων.
- Η βασική συνεισφορά του AVAKIS εντοπίζεται στο ότι **όλες οι λειτουργίες** του κόμβου (εσωτερικές, αλλά και στο επίπεδο του δικτύου), συνδέονται και **βρίσκουν αναφορά στο φυσικό επίπεδο**, το οποίο είναι εκείνο στο οποίο υλοποιείται στην πραγματικότητα ο κόμβος, παρέχοντας έτσι **ακριβείς** εκτιμήσεις για την ενέργεια που καταναλώνεται στα υποσυστήματα αυτού.
- Επιτρέπει την **δοκιμή** και **ανάδειξη** νέων **τεχνικών** στην σχεδίαση των κόμβων, των αλγορίθμων και των πρωτοκόλλων των δικτύων ασυρμάτων αισθητήρων.
- Επιτρέπει τον **εντοπισμό** των **συσχετισμών** ανάμεσα σε **όλους τους παράγοντες** που απαιτούνται για την σχεδίαση των κόμβων και του δικτύου και την **απεικόνιση της επίδρασης** τους στην καταναλισκόμενη ενέργεια.



Questions ?

