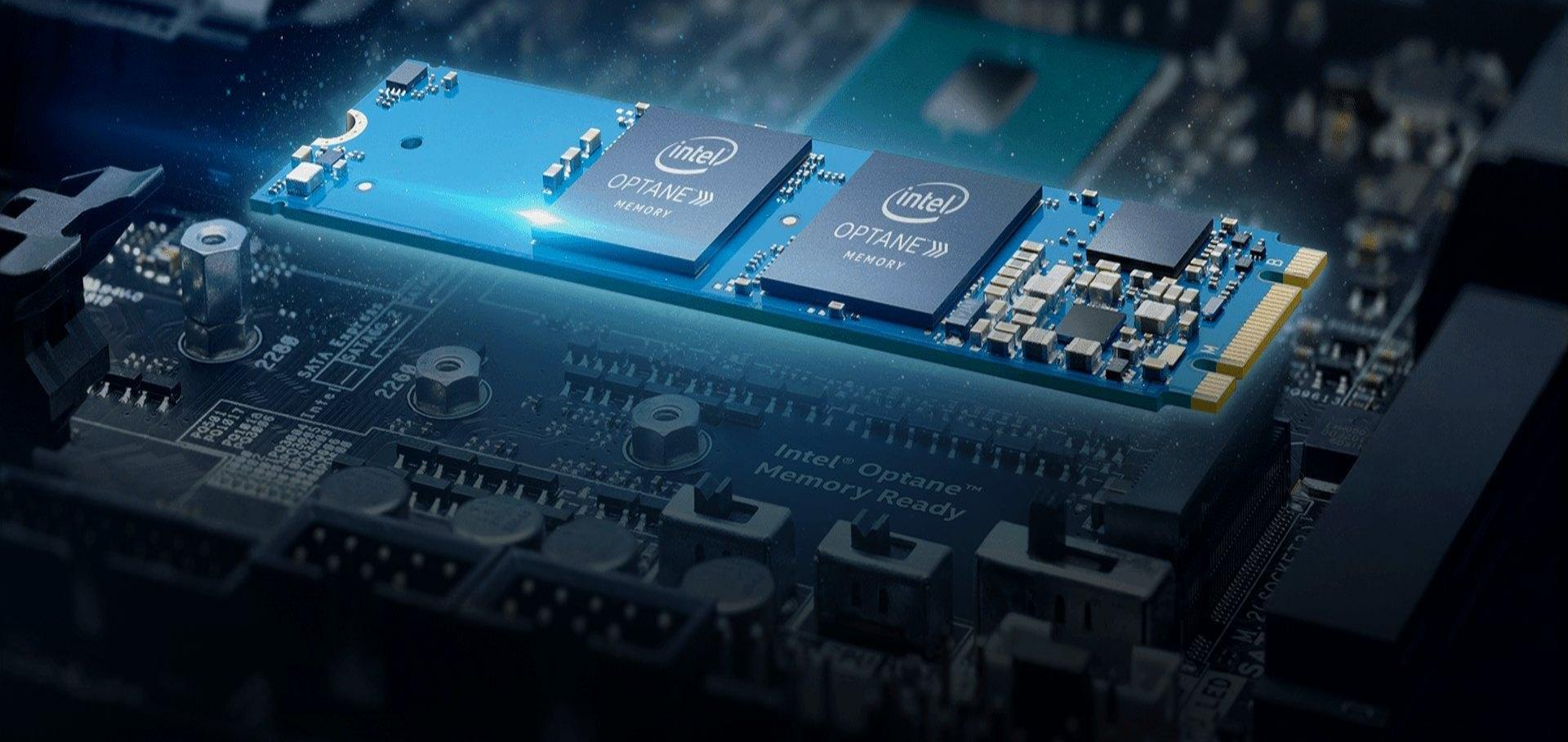


# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

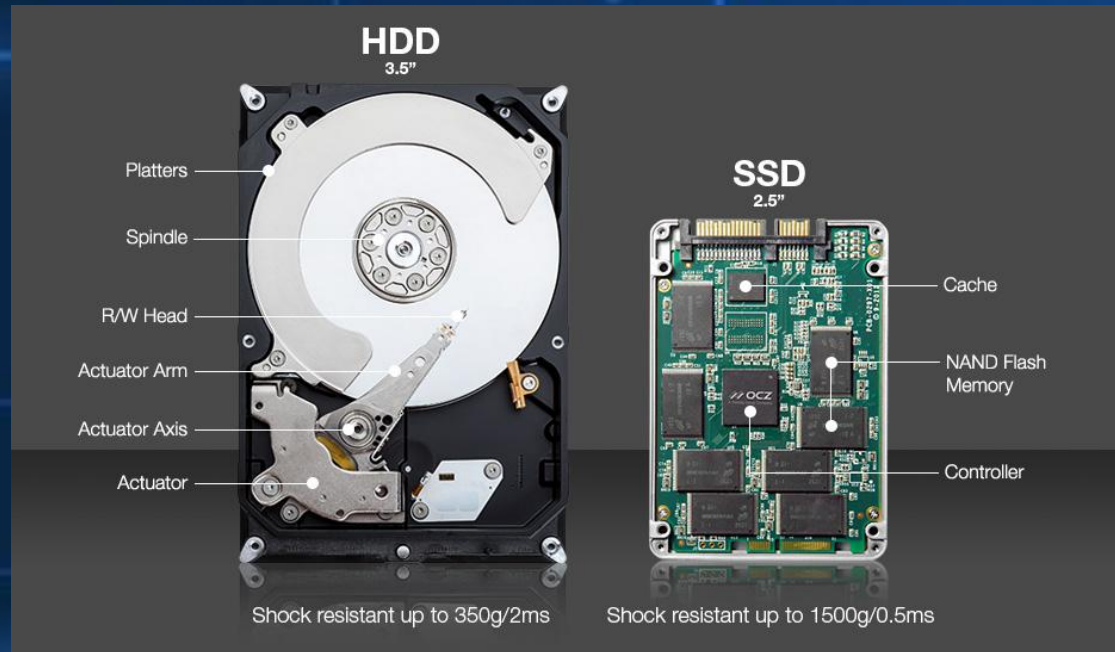


ΛΕΩΝΙΔΑΣ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι SSD (Solid State Drives) αποτελούν την πιο σύγχρονη τεχνολογία αποθήκευσης δεδομένων, προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους παραδοσιακούς σκληρούς δίσκους (HDDs), κυρίως λόγω της ταχύτητας, της αντοχής και της αθόρυβης λειτουργίας τους.

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Η τεχνική δομή των SSD είναι βασισμένη σε πολύπλοκες αρχιτεκτονικές που συνδυάζουν διατάξεις μνήμης NAND flash, ελεγκτές (controllers) και άλλες υποδομές που εξασφαλίζουν τη βέλτιστη απόδοση και αξιοπιστία.

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Ας εξετάσουμε μερικά από τα βασικά στοιχεία που καθορίζουν τη δομή ενός SSD.



# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

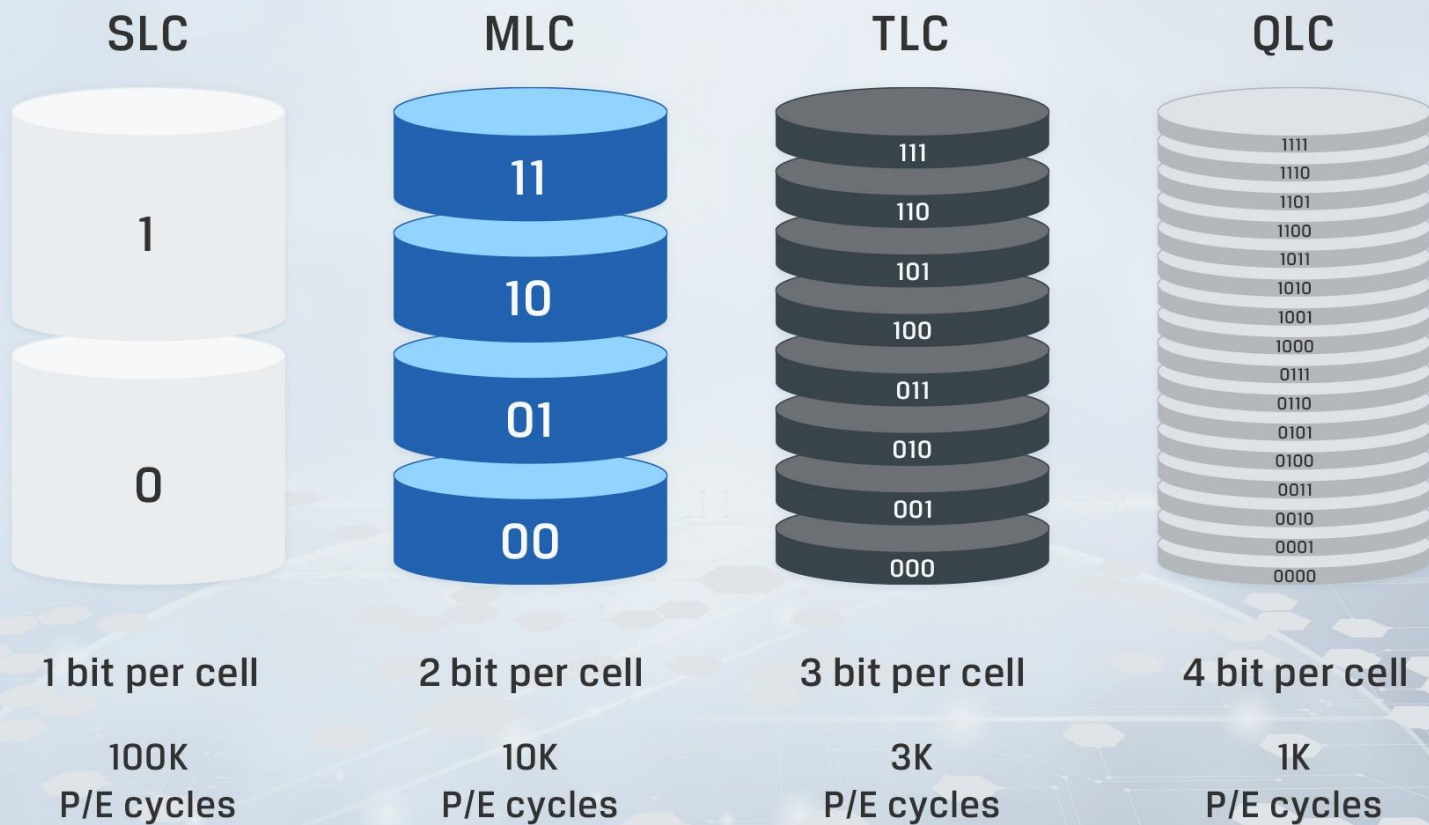
## Μνήμη NAND Flash

Η βασική αποθηκευτική μονάδα ενός SSD είναι η μνήμη NAND flash. Αυτή η μνήμη είναι μη πτητική, πράγμα που σημαίνει ότι τα δεδομένα παραμένουν αποθηκευμένα ακόμα και όταν διακοπεί η τροφοδοσία.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μνήμης NAND flash, με τον τύπο να επηρεάζει άμεσα την απόδοση και την αντοχή του SSD:

- **SLC (Single-Level Cell):** Κάθε κελί αποθηκεύει μόνο 1 bit δεδομένων. Παράγει την καλύτερη απόδοση και αντοχή, αλλά είναι πιο ακριβός και χρησιμοποιείται κυρίως σε επαγγελματικές εφαρμογές.
- **MLC (Multi-Level Cell):** Κάθε κελί αποθηκεύει 2 bit δεδομένων. Είναι πιο φθηνός από τον SLC, αλλά έχει χαμηλότερη απόδοση και αντοχή.
- **TLC (Triple-Level Cell):** Κάθε κελί αποθηκεύει 3 bit δεδομένων. Είναι πολύ πιο φθηνός, αλλά η απόδοση και η αντοχή είναι μειωμένες σε σχέση με τον MLC.
- **QLC (Quad-Level Cell):** Κάθε κελί αποθηκεύει 4 bit δεδομένων. Ο πιο φθηνός τύπος, αλλά με την χαμηλότερη απόδοση και διάρκεια ζωής.

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## Ελεγκτής (Controller)

Ο ελεγκτής είναι η «καρδιά» του SSD και αναλαμβάνει τη διαχείριση των δεδομένων που γράφονται και διαβάζονται από τη μνήμη NAND.

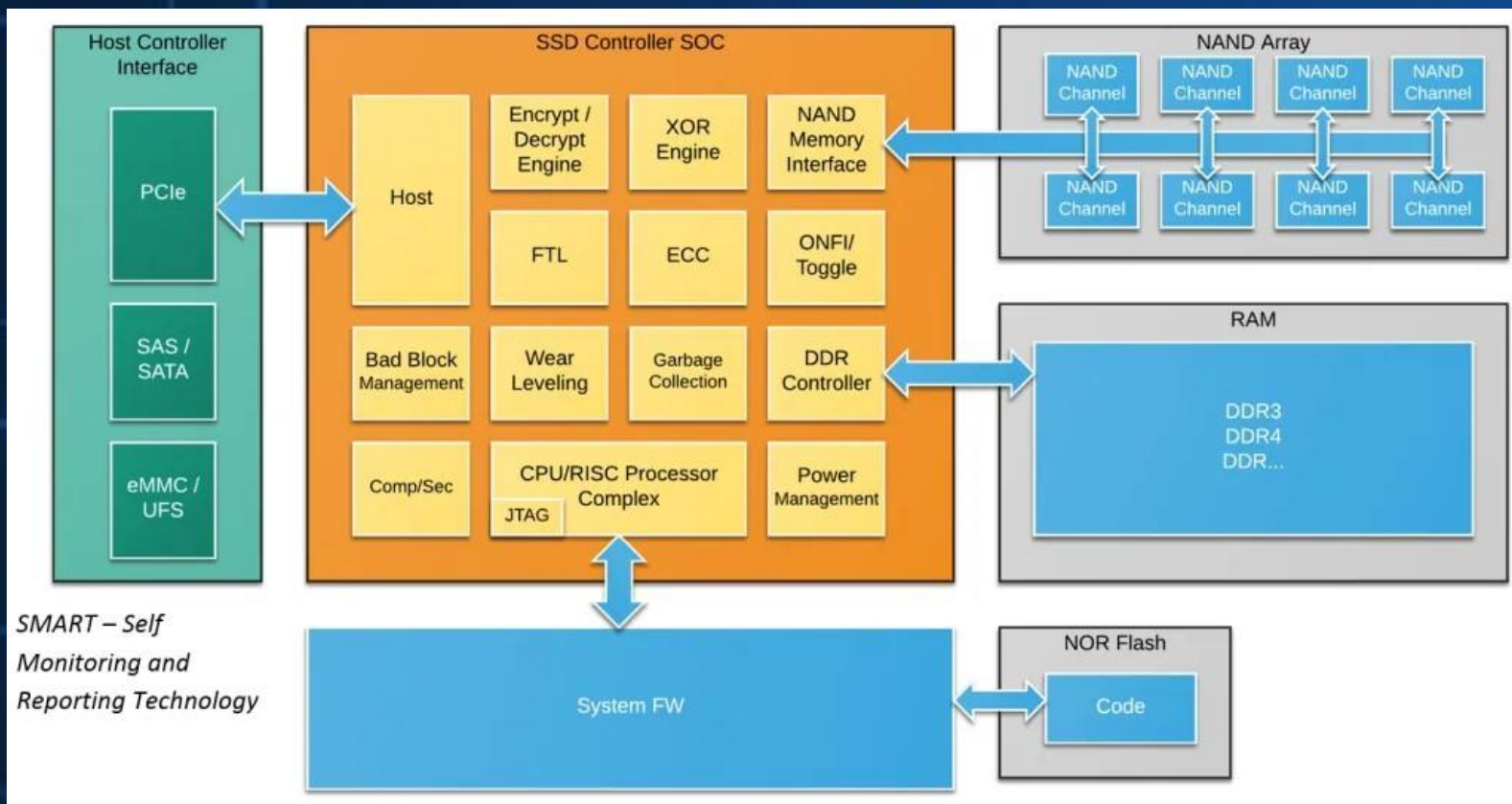
Ο ελεγκτής χειρίζεται την «γραμμική» αποθήκευση δεδομένων στον SSD και φροντίζει για την ανακατανομή των δεδομένων όταν το κελί μνήμης φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής του.

Οι πιο εξελιγμένοι ελεγκτές παρέχουν χαρακτηριστικά όπως:

- **Wear leveling:** Διασφαλίζει ότι τα δεδομένα γράφονται ισότιμα σε όλη τη μονάδα, αποφεύγοντας τη φθορά μιας μεμονωμένης περιοχής.
- **Error correction:** Εφαρμόζει αλγορίθμους για να διορθώσει σφάλματα που ενδέχεται να προκύψουν κατά την ανάγνωση ή τη γραφή δεδομένων.
- **TRIM command:** Επιτρέπει στον SSD να καθαρίζει τα δεδομένα που δεν χρησιμοποιούνται, βελτιώνοντας την απόδοση και την αντοχή του με την πάροδο του χρόνου.

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## Ελεγκτής (Controller)



# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

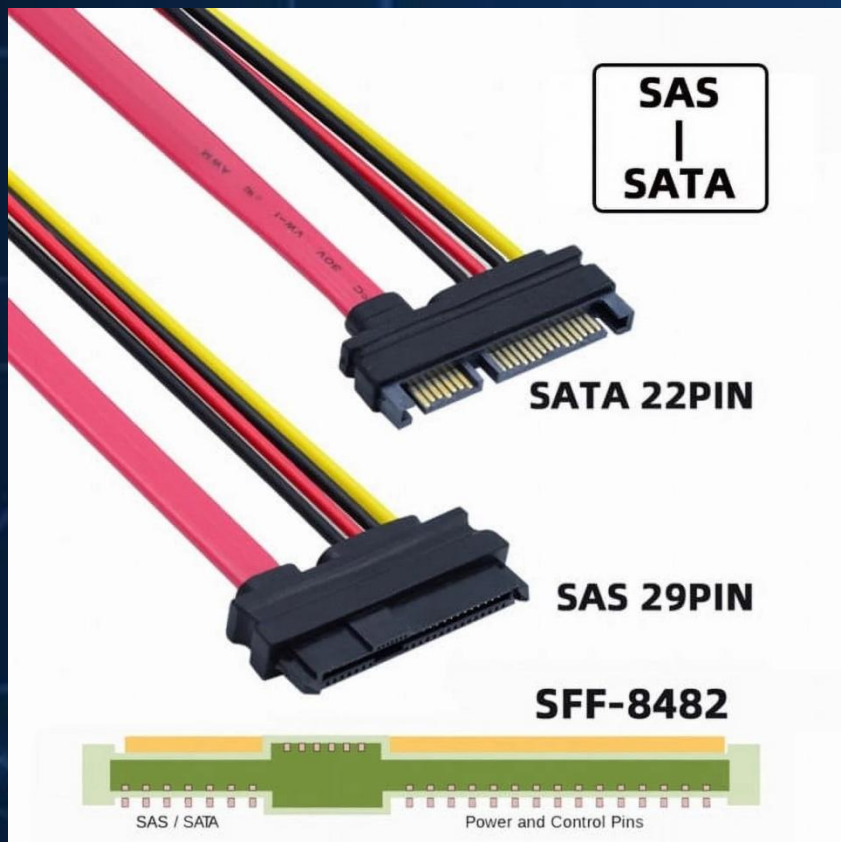
## Αρχιτεκτονική Σύνδεσης

Η σύνδεση μεταξύ του SSD και του υπολογιστή είναι επίσης σημαντική για την απόδοσή του. Υπάρχουν διάφορα πρότυπα σύνδεσης για SSD, όπως:

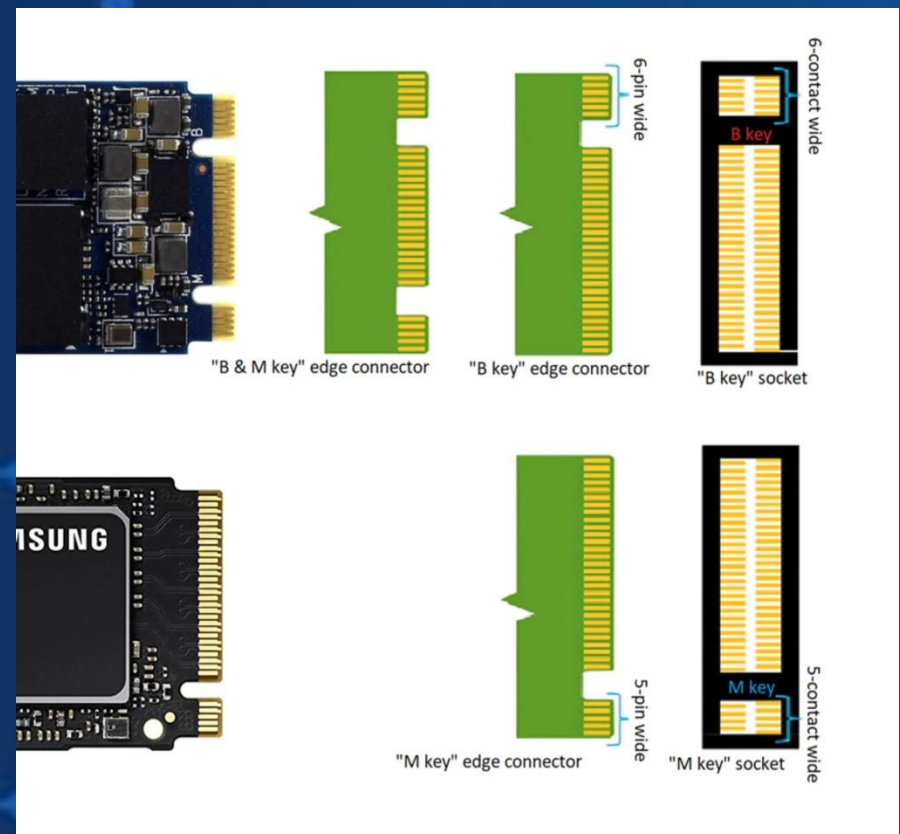
- **SATA (Serial ATA):** Είναι η πιο κοινή και φθηνή σύνδεση, αλλά περιορίζει την απόδοση, καθώς οι ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων είναι περιορισμένες (έως 600 MB/s για SATA III).
- **PCIe (Peripheral Component Interconnect Express):** Παρέχει πολύ υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, έως και 32 GB/s για PCIe 4.0 και 64 GB/s για PCIe 5.0. Αυτή η σύνδεση χρησιμοποιείται σε NVMe (Non-Volatile Memory Express) SSDs, που είναι γνωστά για την εξαιρετική απόδοσή τους.

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## SATA



## PCIe



# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## **NVMe (Non-Volatile Memory Express)**

Το NVMe είναι ένα πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε ειδικά για την επικοινωνία μεταξύ του ελεγκτή του SSD και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (CPU). Προσφέρει σημαντικά υψηλότερη απόδοση σε σχέση με τα παλαιότερα πρωτόκολλα όπως το AHCI (Advanced Host Controller Interface), χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες των PCIe lanes για γρηγορότερη μεταφορά δεδομένων.

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

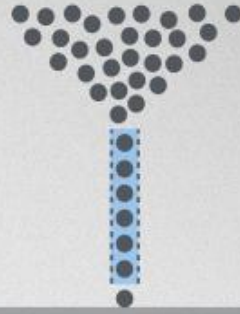
Χαρακτηριστικό	AHCI	NVMe
Πρωτόκολλο	SATA	PCIe
Χρονολογία Σχεδίασης	2004	2011
Ταχύτητα	Έως 600 MB/s	Πάνω από 7000 MB/s (PCIe 4.0)
Queue Depth	1 ουρά, 32 εντολές	64K ουρές, 64K εντολές/ουρά
Βελτιστοποίηση για SSD	Όχι	Ναι
Απόδοση σε multitasking	Περιορισμένη	Πολύ υψηλή
Latency	Υψηλό	Πολύ χαμηλό
Συμβατότητα	Πλήρης, ακόμα και με παλιά BIOS	Μόνο σε UEFI με NVMe υποστήριξη

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

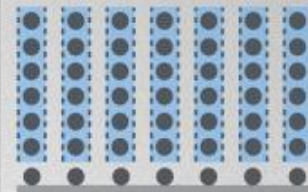
Τα NVMe SSDs αξιοποιούν την υψηλή ταχύτητα της σύνδεσης PCIe και το μειωμένο latency για να επιτύχουν ταχύτητες που ξεπερνούν κατά πολύ αυτές των SATA SSDs, γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για απαιτητικές εφαρμογές, όπως η επεξεργασία μεγάλων δεδομένων, το gaming, και οι εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη φόρτωση δεδομένων.

SATA vs NVMe

SATA AHCI



PCIe NVMe



# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## Επιδόσεις και Αντοχή

Η απόδοση ενός SSD εξαρτάται από τη συνδυασμένη απόδοση της μνήμης NAND, του ελεγκτή και του πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Ωστόσο, η αντοχή του SSD εξαρτάται από τον τύπο μνήμης NAND και από το ποσοστό κύκλων εγγραφής που υποστηρίζει ο δίσκος. Όσο πιο συχνά γράφονται δεδομένα στον SSD, τόσο πιο γρήγορα φθείρονται τα κελιά NAND.

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Οι σύγχρονοι SSDs διαθέτουν τεχνολογίες όπως η κατανομή της φθοράς (wear leveling), που διασφαλίζουν ότι τα δεδομένα δεν γράφονται συνεχώς στο ίδιο κελί, παρατείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής τους.

Οι SSDs συνήθως αναφέρονται με δείκτες όπως το TBW (Total Bytes Written) ή το DWPD (Drive Writes Per Day) για να εκφράσουν την αντοχή τους.

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## Εφαρμογές SSD σε Αεροδιαστημικά Συστήματα



# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## Δορυφορικά Συστήματα

- Οι δορυφόροι, είτε τηλεπικοινωνιακοί είτε παρατήρησης της Γης, καταγράφουν τεράστιο όγκο δεδομένων (π.χ., εικόνες, μετρήσεις)
- Οι SSDs χρησιμοποιούνται για την **προσωρινή αποθήκευση** πριν τα δεδομένα σταλούν στη Γη (σαν RAM )
- Πλεονεκτούν λόγω ανθεκτικότητας σε **μικροβαρύτητα, ακτινοβολία, και απουσία συντήρησης.**

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## Διαστημικά Σκάφη και Επιστημονικά Όργανα

- Τα SSDs αποθηκεύουν:
  - Επιστημονικά δεδομένα (αισθητήρες, κάμερες, φασματόμετρα)
  - Λειτουργικά συστήματα του σκάφους (firmware, αυτονομία πτήσης)
- Οι ειδικοί SSD για διαστημική χρήση είναι συχνά **radiation-hardened** και διαθέτουν **ενσωματωμένα ECC (Error Correction Codes)** για αυτοδιόρθωση σφαλμάτων.

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## UAVs (Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα)

- Τα SSD χρησιμοποιούνται για την καταγραφή:
  - Βίντεο υψηλής ευκρίνειας
  - Δεδομένων πτήσης και πλοήγησης
- Προτιμώνται λόγω χαμηλού βάρους, μικρών διαστάσεων και μεγάλης αντοχής σε κραδασμούς κατά την απογείωση/προσγείωση

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## Αεροσκάφη (εμπορικά/στρατιωτικά)

- Συστήματα "Black Box" νέας γενιάς περιέχουν **SSD με προστασία δεδομένων σε πρόσκρουση**
- Αποθήκευση δεδομένων τηλεμετρίας, φωνής, βίντεο, συστήματα ενδοεπικοινωνίας
- Πλεονεκτούν έναντι των παλιών καταγραφών με HDD που υπόκεινται σε βλάβες από απότομες κινήσεις.

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## Ειδικές Προσαρμογές SSD για Αεροδιαστημική

Οι "space-grade" SSDs διαφέρουν από τους εμπορικούς (consumer-grade) ως προς:

- Κατασκευή με στρατιωτικά πρότυπα (MIL-STD)
- Συστήματα ECC πολλαπλών επιπέδων
- Υψηλής ακρίβειας θερμική και μηχανική προστασία
- Dual/Redundant controllers για αστοχία υλικού
- Ανθεκτικότητα σε κοσμική ακτινοβολία (SEU, TID effects) με ειδικά chips
- Data scrubbing και "wear-leveling" ενισχυμένο για αυξημένη διάρκεια ζωής.

# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## DJI DRONE SSD



# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

**SMART T6EN PCIe NVMe SSD** Σχεδιασμένο για  
αμυντικές και αεροδιαστημικές εφαρμογές,  
προσφέρει υψηλές επιδόσεις και  
ανθεκτικότητα σε ακραία περιβάλλοντα.



# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## Cervoz M339 Military-Grade SSD

Συμμορφώνεται με τα πρότυπα MIL-STD-810G, προσφέροντας υψηλή ανθεκτικότητα σε κραδασμούς και υγρασία.



# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

**Foremay SC199 Military-Grade SSD** Σχεδιασμένο για στρατιωτικές και διαστημικές εφαρμογές, προσφέρει υψηλή ασφάλεια και ανθεκτικότητα.



# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

**LaCie Rugged SSD** Εξωτερικός SSD με ανθεκτικό σχεδιασμό, κατάλληλος για επαγγελματίες που απαιτούν φορητότητα και προστασία.



# ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ars Technica. (2020). How SSDs work: The basics of solid-state drives.

<https://arstechnica.com/gadgets/2020/06/how-ssds-work/>

Intel Corporation. (n.d.). NVMe vs. AHCI: What's the Difference?

<https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000023756/memory-and-storage.html>

NVM Express Organization. (2023). NVM Express Specifications.

<https://nvmexpress.org/specifications/>

Samsung Semiconductor. (n.d.). Samsung NVMe SSD: Accelerating Next-Generation Computing.

<https://semiconductor.samsung.com/resources/white-paper/samsung-nvme-ssd-white-paper/>

Xilinx. (2021). Radiation-Tolerant SSD Controller for Space (Whitepaper).

[https://www.xilinx.com/support/documentation/white\\_papers/wp504-radiation-tolerant-ssd.pdf](https://www.xilinx.com/support/documentation/white_papers/wp504-radiation-tolerant-ssd.pdf)

Curtiss-Wright Defense Solutions. (n.d.). Data Storage for Aerospace and Defense Applications.

<https://www.curtisswrightds.com/white-papers/data-storage-aerospace-defense>

European Space Agency. (n.d.). Space Engineering & Technology.

[https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Engineering\\_Technology](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology)

ΜΝΗΜΕΣ SSD: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ,  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΠΟΛΥ!