



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
Π.Μ.Σ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΚΤΥΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

«Μελέτη ενεργειακά αποδοτικής λειτουργίας κέντρων αποθήκευσης και υποδομών  
υπολογιστικού νέφους μέσω προσομοίωσης»

«Simulation study of energy efficient operation of datacenters and cloud computing  
infrastructures»



Γκέλης Γεώργιος με13038

Επιβλέπων  
Ρούσκας Αγγελος

Πειραιάς  
2015

### *Ευχαριστίες*

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Άγγελο Ρούσκα για την καθοδήγηση και στήριξη που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και για τις υποδείξεις του καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής αυτής.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Ευθύμη Οικονόμου για την βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια συλλογής πληροφοριών ώστε να ολοκληρωθεί με επιτυχία το μέρος της εμπειρικής έρευνας που διεξήχθη.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην οικογένειά μου για την στήριξη και συμπαράσταση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η προσομοίωση συνεργατικών αλγορίθμων ενεργειακής κατανάλωσης, στόχος είναι η διατήρηση της ενεργειακής απόδοσης σε υψηλά επίπεδα για μεγάλης κλίμακας κέντρων αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων. Η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση των εφαρμογών για υπολογιστική ισχύ και αποθηκευτικούς χώρους, σε συνδυασμό με το μοντέλο συστημάτων υπολογιστικών νεφών, οδήγησαν στην δημιουργία μεγάλης κλίμακας κέντρων δεδομένων. Τα κέντρα αυτά καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα υψηλό κόστος λειτουργίας και αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Στην παρούσα εργασία θα γίνει μοντελοποίηση και αξιολόγηση των ενεργειακών πολιτικών και αλγορίθμων, χρησιμοποιώντας τη πλατφόρμα CloudSim, μια επεκτάσιμη βιβλιοθήκη java που υποστηρίζει μεγάλες υποδομές υπολογιστικών νεφών.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στα συστήματα υπολογιστικών νεφών και τα βασικά συστατικά τους. Παρουσιάζεται η ταξινόμηση τους με βάση τα μοντέλα υπολογιστικών νεφών και με βάση την τοπολογία τους. Αναλύονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν, καθώς και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, επίσης γίνεται αναφορά στην ασφάλεια. Τέλος γίνεται ανάλυση της διαχείρισης των SLAs με βάση την ποιότητα των υπηρεσιών (Quality of Services, QoS). Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εργαλειοθήκη του CloudSim, τα βασικά συστατικά της και ο κύκλος ζωής της. Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται οι αλγόριθμοι ενεργειακής κατανάλωσης. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η σύγκριση των αλγορίθμων ενεργειακής απόδοσης και αναλύονται τα συμπεράσματα που βγάλαμε από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

### *Abstract*

The aim of this thesis is the study and simulation of collaborative energy consumption algorithms in order to maintain energy efficiency at high levels for large-scale storage centers and data management. The increasing demand of applications for computing power and storage space combined with the model of cloud computing systems led to the creation of large-scale data centers. These centers consume huge amounts of electricity resulting in high operating costs and increased emissions of carbon dioxide. In this thesis we study and evaluate the energy policies and algorithms using the CloudSim platform, an extensible java library which supports large cloud computing infrastructures.

The cloud computing systems and their key components are introduced in the first chapter. We talk about their classification based on cloud computing models and topology. We analyze their advantages and disadvantages, their communication protocols and safety. Finally, we analyze the SLAs management based on Quality of Services (QoS). The CloudSim toolbox, the basic ingredients and the life cycle are presented in the second chapter. Furthermore, the energy consumption algorithms are presented and analyzed. The comparison of energy efficiency algorithms and the conclusions that we got from the simulation results are presented and analyzed in the third chapter.

**Πίνακας περιεχομένων**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ CLOUD COMPUTING.....	- 8 -
1.1 Εισαγωγή στο Cloud computing.....	- 8 -
1.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή του cloud computing.....	- 9 -
1.3 Το μοντέλο NIST (National Institute of Standards and Technology) για το cloud computing.....	- 10 -
1.4 Τα βασικά χαρακτηριστικά του cloud computing.....	- 11 -
1.5 Cloud computing models.....	- 13 -
1.6 Ταξινόμηση υπηρεσιών νέφους με βάση τα μοντέλα του cloud computing .....	- 15 -
1.8 Ταξινόμηση συστημάτων cloud βάση τοπολογίας .....	- 20 -
1.9 Σύντομη παρουσίαση πλεονεκτημάτων/μειονεκτημάτων δημοσίου, ιδιωτικού και υβριδικού νέφους .....	- 24 -
1.10 Πρωτόκολλα επικοινωνίας στο Cloud computing.....	- 25 -
1.11 Ασφάλεια συστημάτων και δεδομένων στο Cloud computing.....	- 26 -
1.12 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης cloud computing .....	- 27 -
1.13 Πάροχοι υπηρεσιών Cloud computing.....	- 28 -
1.14 Service-level agreement (SLA).....	- 29 -
1.15 Διαχείριση των SLAs στο Cloud Computing (CSM- Cloud SLA Management) .....	- 32 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ CLOUDSIM ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ.....	- 34 -
2.1 Εισαγωγή στο CloudSim .....	- 34 -
2.2 Η αρχιτεκτονική του CloudSim .....	- 35 -
2.3 Κύκλος ζωής προσομοίωσης στο CloudSim .....	- 36 -
2.4 Τα βασικά συστατικά του CloudSim.....	- 38 -
2.5 Τεχνικές διαχείρισης εικονικών μηχανών στο CloudSim .....	- 40 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ .....	- 45 -
3.1 Ανίχνευση υπό – χρησιμοποιημένων/υπέρ – χρησιμοποιημένων διακομιστών και ανακατανομή εικονικών μηχανών .....	- 45 -
3.2 Ενεργειακό μοντέλο και σύστημα.....	- 46 -
3.3 Σχετική έρευνα .....	- 46 -
3.4 Ανάλυση και αποτελέσματα προσομοίωσης, παράμετροι και μεταβλητές μέτρησης της ενεργειακής απόδοσης .....	- 48 -
3.5 Σύγκριση των αλγορίθμων Dvfs, IqrMmt, ThrMmt, LrMmt, LrrMmt, MadMmt, NonPowerAware .....	- 49 -

3.6 Συμπεράσματα αποτελεσμάτων προσομοίωσης .....	- 60 -
Επίλογος .....	- 61 -
Βιβλιογραφία.....	- 62 -
Ηλεκτρονικά βιβλία και σελίδες στο διαδίκτυο.....	- 63 -

**Πίνακας εικόνων**

Εικόνα 1 Το μοντέλο του NIST για το cloud computing .....	- 10 -
Εικόνα 2 Το εννοιολογικό πρότυπο αναφοράς του NIST για το Cloud computing.....	- 16 -
Εικόνα 3 Αρχιτεκτονική του CloudSim .....	- 35 -
Εικόνα 4 Κύκλος ζωής προσομοίωσης στο CloudSim .....	- 36 -
Εικόνα 5 Τρόπος λειτουργίας των συστατικών του CloudSim.....	- 38 -
Εικόνα 6 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου LR.....	- 42 -
Εικόνα 7 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου LRR.....	- 43 -
Εικόνα 8 Ενεργειακό μοντέλο και σύστημα.....	- 46 -
Εικόνα 9 Ενεργειακή κατανάλωση (kWh) για 1052 VMs.....	- 50 -
Εικόνα 10 Αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε (σενάριο 1052 VMs) .....	- 50 -
Εικόνα 11 Αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν (σενάριο 1052 VMs) .....	- 51 -
Εικόνα 12 Overall SLA violation (1052 VMs) .....	- 52 -
Εικόνα 13 Ενεργειακή κατανάλωση (kWh) για 898 VMs.....	- 53 -
Εικόνα 14 Αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε (σενάριο 898 VMs) .....	- 53 -
Εικόνα 15 Αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν (σενάριο 898 VMs) .....	- 54 -
Εικόνα 16 Overall SLA violation (898 VMs) .....	- 54 -
Εικόνα 17 Ενεργειακή κατανάλωση (kWh) για 103 VMs.....	- 55 -
Εικόνα 18 Αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε (σενάριο 103 VMs) .....	- 56 -
Εικόνα 19 Αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν (σενάριο 103 VMs) .....	- 56 -
Εικόνα 20 Overall SLA violation (103 VMs) .....	- 57 -
Εικόνα 21 Ενεργειακή κατανάλωση (kWh) για 1033 VMs.....	- 58 -
Εικόνα 22 Αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε (σενάριο 1033 VMs) .....	- 58 -
Εικόνα 23 Αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν (σενάριο 1033 VMs) .....	- 59 -
Εικόνα 24 Overall SLA violation (1033 VMs) .....	- 59 -

**Λίστα πινάκων**

Πίνακας 1 Ταξινόμηση υπηρεσιών νέφους με βάση τα μοντέλα του cloud computing .... - 15 -

Πίνακας 2 Πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα δημοσίου, ιδιωτικού και υβριδικού νέφους. - 24 -

Πίνακας 3 Αλγόριθμοι εντοπισμού υπέρ/υπό χρησιμοποιούμενων διακομιστών..... - 40 -

Πίνακας 4 Σύγκριση των αλγορίθμων ενεργειακής απόδοσης για 1052 εικονικές μηχανές- 49

-

Πίνακας 5 Σύγκριση των αλγορίθμων ενεργειακής απόδοσης για 898 εικονικές μηχανές- 52 -

Πίνακας 6 Σύγκριση των αλγορίθμων ενεργειακής απόδοσης για 103 εικονικές μηχανές- 55 -

Πίνακας 7 Σύγκριση των αλγορίθμων ενεργειακής απόδοσης για 1033 εικονικές μηχανές- 57

-



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ CLOUD COMPUTING

### 1.1 Εισαγωγή στο Cloud computing

Τα τελευταία χρόνια ακούγεται έντονα στον χώρο της πληροφορικής ο όρος συστήματα υπολογιστικών νεφών (cloud computing). Τα συστήματα υπολογιστικών νεφών αποτελούν μια επέκταση εννοιών που έγιναν γνωστές μέσω της εικονικοποίησης (Virtualization). Ένα υπολογιστικό νέφος είναι μια εγκατάσταση όπου ένας ελεγκτής διαχειρίζεται έναν αριθμό από εικονικές μηχανές (Virtual Machines). Οι εικονικές μηχανές μπορούν να λειτουργήσουν ως ανεξάρτητες μηχανές έτσι ώστε να φαίνεται στο χρήστη σαν να αξιοποιούνται πραγματικές συσκευές υλικού (hardware) ή μπορούν να λειτουργήσουν μαζί ως μια συστοιχία υπολογιστών. Ένα υπολογιστικό νέφος μπορεί να εγκατασταθεί σε μία ή περισσότερες φυσικές μηχανές.

Η πιο συχνή διαφοροποίηση στη χρήση του υπολογιστικού νέφους εμφανίζεται μεταξύ των δημόσιων υπολογιστικών νεφών και των ιδιωτικών υπολογιστικών νεφών. Ένα δημόσιο υπολογιστικό νέφος είναι γενικά αρκετά μεγάλο στην εγκατάστασή του, παρέχει επαρκείς πόρους και δίνει τη δυνατότητα σε όποιον χρήστη επιθυμεί να έχει πρόσβαση στους πόρους του μέσω διαδικτύου. Τα ιδιωτικά υπολογιστικά νέφη είναι γενικά μικρότερα σε κλίμακα σε σχέση με τα αντίστοιχα δημόσια, παρόλα αυτά μπορούν επίσης να γίνουν αρκετά μεγάλα αναφορικά με τις φυσικές μηχανές που χρησιμοποιούνται για τους εξυπηρετητές. Τα ιδιωτικά υπολογιστικά νέφη είναι προσβάσιμα μόνο εντός των ορίων που καθορίζονται από την πολιτική της εταιρίας η οποία λειτουργεί το υπολογιστικό νέφος.

Το υπολογιστικό νέφος αναφέρεται σε εφαρμογές και υπηρεσίες που τρέχουν σε ένα καταμεμημένο δίκτυο με τη χρήση εικονικών πόρων στο οποίο η πρόσβαση παρέχεται από κοινά πρωτόκολλα του Διαδικτύου και πρότυπα δικτύωσης. Διακρίνεται από την ιδέα ότι οι πόροι είναι εικονικοί και απεριόριστοι και ότι οι λεπτομέρειες των φυσικών συστημάτων στα οποία τρέχει το λογισμικό έχουν αφαιρεθεί από τον χρήστη. Το υπολογιστικό νέφος παίρνει την τεχνολογία, υπηρεσίες και εφαρμογές που είναι παρόμοιες με αυτές στο διαδίκτυο και της μετατρέπει σε ένα πρόγραμμα αυτοεξυπηρέτησης. Η χρήση της λέξης "cloud" κάνει αναφορά σε δύο βασικές έννοιες:

- ✓ **Αφαιρετικότητα (Abstraction):** Το υπολογιστικό νέφος αφαιρεί τις λεπτομέρειες της εφαρμογής του συστήματος από τους χρήστες και τους προγραμματιστές. Οι εφαρμογές εκτελούνται σε φυσικά συστήματα που δεν προσδιορίζονται, τα δεδομένα αποθηκεύονται σε τοποθεσίες που είναι άγνωστες, και η διαχείριση των συστημάτων ανατίθεται σε άλλους, και η πρόσβαση από χρήστες είναι πανταχού παρούσα.
- ✓ **Εικονικοποίηση.** Το υπολογιστικό νέφος εικονικοποιεί συστήματα με τη συγκέντρωση και τη διανομή των πόρων. Πόροι συστήματος και αποθήκευσης μπορούν να τροφοδοτηθούν από μια κεντρική υποδομή, οι δαπάνες εκτιμώνται σε μετρούμενη βάση, η πολλαπλή μίσθωση (multi tenancy) είναι ενεργοποιημένη, η επέκταση των πόρων γίνεται ευέλικτα

## 1.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή του cloud computing

Δύο δεκαετίες πριν για να σχηματιστεί ένας υπέρ υπολογιστής με μεγάλη επεξεργαστική ισχύει γινόταν ομαδοποίηση πολλών ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η συμπλεγματοποίηση (clustering), όπως είναι γνωστή, μας δίνει τη δυνατότητα να ρυθμίσουμε τους υπολογιστές χρησιμοποιώντας ένα ειδικό πρωτόκολλο, έτσι ώστε όλοι να μπορούν να συνομιλούν με τους υπόλοιπους. Ο σκοπός ήταν να εξισορροπήσει το φορτίο επεξεργασίας σε πολλαπλές μηχανές, κατανέμοντας το σε μονάδες εργασίας, και πολλαπλασιάζοντας επεξεργαστές. Σαν χρήστης δεν σε ενδιέφερε πια κεντρική μονάδα επεξεργασίας θα χρησιμοποιούσες για να εκτελέσεις το πρόγραμμα σου. Το λογισμικό διαχείρισης του συμπλέγματος (cluster) εξασφαλίζει μεγαλύτερη επεξεργαστική ικανότητα κατά τον χρόνο που χρησιμοποιείται για να εκτελέσει μια εφαρμογή ή κώδικα. Και το κλειδί για την αποτελεσματική διαχείριση είναι η μηχανική πίσω από τα δεδομένα που πραγματοποιείται / πραγματοποιήθηκε. Αυτή η διαδικασία έγινε γνωστή ως ημερομηνία κατοίκησης (date residency). Οι υπολογιστές ήταν συνήθως δικτυωμένοι και συνδεδεμένοι σε μαγνητικούς δίσκους για την αποθήκευση των δεδομένων, ενώ οι κεντρικοί επεξεργαστές χρησιμοποιούντο για την ταχεία επεξεργασία των δεδομένων (I/O). Στις αρχές της δεκαετίας του '90 οι Ian Foster και Carl Kesselman παρουσίασαν μια νέα ιδέα που ονομάστηκε "The Grid" (το πλέγμα). Το ανάλογο που χρησιμοποιήθηκε για την ιδέα αυτή ήταν το ηλεκτρικό δίκτυο, στο οποίο οι χρήστες θα μπορούσαν να συνδεθούν και να χρησιμοποιήσουν ένα πιο βαθμονομημένο σύστημα. Σκέφτηκαν ότι εάν οι εταιρείες δεν μπορούν να έχουν την δική τους ενεργειακή αλυσίδα, τότε θα πρέπει να αγοράσουν από κάποιον πάροχο αυτή την υπηρεσία ώστε να έχουν μια συνεχή ροή ρεύματος. Και τότε είπαν: «Γιατί δεν εφαρμόζουμε την ίδια σχέση και με τους υπολογιστικούς πόρους;» Εάν ένας υπολογιστής μπορούσε να συνδεθεί σε ένα πλέγμα υπολογιστών και χρεωνόταν μόνο για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούσε, αυτό θα αποτελούσε μια πολύ αποδοτικά οικονομική λύση από το να αγοράσει και να διαχειριστή η ίδια η εταιρεία την υποδομή της. Το Grid Computing (υπολογιστικό πλέγμα) χρησιμοποιεί τεχνικές συμπλεγματοποίησης, βάσει των οποίων πολλά συμπλέγματα εμφανίζονται ως ένα πλέγμα μιας και ανήκουν στον ίδιο τομέα. Το μεγαλύτερο εμπόδιο για να ξεπεραστεί η μετανάστευση (migration) σε συμπλέγματα που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη συστημάτων πλέγματος είναι η διαδικασία του χρόνου παραμονής (residency time), καθώς οι φυσικοί κόμβοι διανομής υπολογιστών πλέγματος μπορούν να βρίσκονται οπουδήποτε στον κόσμο. Η διαχείριση της αποθήκευσης, η επίβλεψη της ασφάλειας και η μετακίνηση δεδομένων ήταν το βασικό πρόβλημα που έπρεπε να επιλυθεί έτσι ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί το πλέγμα. Ένα σύνολο από εργαλεία, ονομαζόμενο Globus, δημιουργήθηκε για να επιλύσει αυτά τα θέματα, αλλά σε επίπεδο υποδομών δεν υπήρχε ακόμα η διαθεσιμότητα και η πρόοδος σε ένα τέτοιο επίπεδο που να επιτρέπει τη πραγματική και καθολική επιτυχία του Grid. Οντότητες που σχετίζονται με το υπολογιστικό νέφος, όπως οι πάροχοι των κέντρων δεδομένων έχουν χρησιμοποιήσει την έννοια του Grid Computing στην παροχή υπηρεσιών σε άλλους οργανισμούς που δεν θέλουν τις υποδομές τους, αλλά θέλουν να φορτώνονται οι δυνατότητες που υπάρχουν σε αυτά τα κέντρα δεδομένων.

### 1.3 Το μοντέλο NIST (National Institute of Standards and Technology) για το cloud computing

Το μοντέλο NIST αρχικά δεν απαιτούσε ένα νέφος για να χρησιμοποιήσει την εικονικοποίηση για τη συγκέντρωση πόρων. Η τελευταία έκδοση του NIST απαιτεί, τα cloud computing networks να χρησιμοποιούν εικονικοποίηση και υποστήριξη πολλαπλής μίσθωσης. Σύμφωνα με το NIST, το υπολογιστικό νέφος είναι ένα μοντέλο που επιτρέπει την εύκολη από παντού και κατά παραγγελία (on demand) πρόσβαση μέσω δικτύου σε μια κοινόχρηστη ομάδα από παραμετροποιήσιμους υπολογιστικούς πόρους (π.χ. δίκτυα, διακομιστές, αποθηκευτικούς χώρους, εφαρμογές και υπηρεσίες), οι οποίοι μπορούν πολύ γρήγορα να διατεθούν και να αποδεσμευτούν, με ελάχιστη προσπάθεια διαχείρισης ή αλληλεπίδρασης από το πάροχο των υπηρεσιών. Αυτό το μοντέλο νέφους αποτελείται από πέντε βασικά χαρακτηριστικά, τρία μοντέλα παροχής υπηρεσιών, και τέσσερα μοντέλα ανάπτυξης.



Εικόνα 1 Το μοντέλο του NIST για το cloud computing

Σύμφωνα με τον NIST (National Institute of Standards and Technology) υπάρχουν κάποια ουσιώδη χαρακτηριστικά τα οποία εξηγούν τη διαφορά του cloud computing συγκριτικά με τις παραδοσιακές υπολογιστικές μεθόδους. Αυτά είναι τα εξής:

- ✓ Πρόσβαση μέσω πρωτοκόλλων Ιστού από οποιοδήποτε υπολογιστή, υπάρχει η δυνατότητα κάλυψης δικτύου και πρόσβαση μέσω τυποποιημένων μηχανισμών. Η πρόσβαση στην διεπαφή μπορεί να εξασφαλιστεί με την χρήση ενός κοινού περιηγητή ιστού και χωρίς την απαίτηση κάποιου εξειδικευμένου λειτουργικού συστήματος.

- ✓ Οι καταναλωτές μπορούν να εφοδιάζονται ή να σταματούν την παροχή υπηρεσιών, χωρίς ανθρώπινη διαμεσολάβηση με τον πάροχο υπηρεσιών. (on-demand-self-service)
- ✓ Διάθεση πόρων και ταχεία ελαστικότητα, οι υπηρεσίες μπορούν να παρέχονται γρήγορα και ελαστικά και οι πόροι του παρόχου που χρησιμοποιούνται για υπολογιστικές διαδικασίες διατίθενται για να εξυπηρετούν πολλαπλούς χρήστες. Οι πόροι συνδυάζοντας δυναμικά φυσικούς και εικονικούς πόρους ανταποκρίνονται στην εκάστοτε καταναλωτική ζήτηση.
- ✓ Τα συστήματα Cloud Computing οργανώνουν και βελτιστοποιούν αυτόματα τη διάθεση των πόρων παρέχοντας δυνατότητα μέτρησης των χρησιμοποιούμενων υπηρεσιών ανάλογα το είδος. (πχ storage, computing, number of user accounts κτλ)

#### 1.4 Τα βασικά χαρακτηριστικά του cloud computing

Το cloud computing είναι ένας νέος τρόπος διαμοιρασμού των υπολογιστικών πόρων και όχι μία νέα τεχνολογία και αποτελεί το επόμενο στάδιο στην εξέλιξη του Διαδικτύου. Οι τεχνολογικές υπηρεσίες που προσφέρονται από την αποθήκευση των δεδομένων μέχρι την επεξεργασία του λογισμικού, όπως η διαχείριση των e-mail, είναι πλέον άμεσα διαθέσιμες μέσω του Διαδικτύου (είτε ως ξεχωριστά στοιχεία είτε ως μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα) σε όποιον και όπου τα χρειάζεται, χωρίς δεσμεύσεις και σύμφωνα με τη ζήτηση των χρηστών (ζήτηση on demand). Ολόκληρα δίκτυα, διακομιστές (servers), χώροι αποθήκευσης (storages), εφαρμογές και διάφορες άλλες υπηρεσίες μπορούν να γίνουν γρήγορα διαθέσιμες σε έναν μεγάλο αριθμό εξουσιοδοτημένων χρηστών. Τα υπολογιστικά νέφη είναι πολύ αποδοτικά μοντέλα, εφ' όσον δουλεύουν σωστά. Είναι ένα οικονομικό μοντέλο το οποίο βρίσκει πρόσφορο έδαφος για να αναπτυχθεί και έχει παγκόσμια μαζική αποδοχή, λόγω της εποχής της οικονομικής στενότητας που υπάρχει παγκοσμίως. Είναι ένας οικονομικός τρόπος για να απλοποιηθεί ο τρόπος παροχής του λογισμικού και να υπάρξει άμεση πρόσβαση στην τεράστια αποθήκη υπολογιστικών πόρων Εκτός από υψηλή διαθεσιμότητα, το cloud computing παρέχει τεχνικά οφέλη που περιλαμβάνουν αυξημένη κλιμάκωση και ικανότητες επέκτασης. Το μοντέλο αυτό μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας των πελατών και να αυξήσει την απόσβεση της επένδυσης (ROI – Return On Investment) πολύ γρηγορότερα. Το μειονέκτημα είναι ότι ενώ μειώνει το φόρτο εργασίας, μειώνει επίσης και τις ικανότητες ελέγχου.

##### ➤ Το Cloud Computing έχει όλα τα χαρακτηριστικά του utility computing παρέχοντας επιπλέον:

- ✓ **Γρήγορη πρόσβαση:** Λόγω του ότι το cloud παρέχει self-service πρόσβαση, οι χρήστες / πελάτες είναι έτοιμοι να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες μέσα σε λίγα λεπτά, και όχι σε εβδομάδες ή μήνες, από τη στιγμή που θα αποκτήσουν πρόσβαση σε ένα διαθέσιμο σύνολο υπολογιστικών πόρων.
- ✓ **Τιμολόγηση και μέτρηση υπηρεσιών ανάλογα με τη χρήση:** Οι χρεώσεις των υπηρεσιών cloud μπορεί να γίνουν ανάλογα με τους πόρους που χρησιμοποιούνται. Έχουμε το μοντέλο τιμολόγησης pay-as-you-go ή διαφορετικά pay-per-use, στο οποίο γίνεται η χρέωση ανάλογα με το τι καταναλώνεται. Ο χρήστης / πελάτης έχει πρόσβαση σε απεριόριστους πόρους αλλά πληρώνει μόνο για αυτούς που

χρησιμοποιεί πραγματικά. Ένας άλλος τρόπος τιμολόγησης είναι η πάγια μηνιαία χρέωση της ενοικίασης των υποδομών αλλά και του λογισμικού.

- ✓ **Τυποποιημένες διεπαφές:** Οι υπηρεσίες cloud πρέπει να έχουν τυποποιημένα APIs (Application Programming Interfaces), τα οποία να παρέχουν οδηγίες για το πώς δύο εφαρμογές ή πηγές δεδομένων μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Μία τυποποιημένη διεπαφή επιτρέπει στο χρήστη/πελάτη να συνδέσει μεταξύ τους διαφορετικές υπηρεσίες cloud με πιο εύκολο και αποδοτικό τρόπο.
- ✓ **Ελαστικότητα και επεκτασιμότητα:** Στο cloud οι πόροι κατανέμονται ανάλογα με τη ζήτηση που υπάρχει και μπορεί να είναι ανθεκτικό σε ραγδαίες και πολύ μεγάλες μεταβολές των συνθηκών του. Επίσης, είναι επεκτάσιμο που σημαίνει ότι η χωρητικότητά του αυξομειώνεται ανάλογα με τη ζήτηση που υπάρχει. Η επεκτασιμότητα έχει σημασία και στις εφαρμογές καθώς μπορεί να αλλάξουν όταν προστίθενται χρήστες και όταν αλλάζουν οι απαιτήσεις τους, ώστε να είναι συμβατές με τις νέες ανάγκες.
- ✓ **Αυτόνομη παροχή υπηρεσιών:** Οι χρήστες/πελάτες του cloud μπορούν να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του χωρίς να χρειάζεται να προβούν σε ιδιαίτερες ενέργειες. Ζητούν απλά το λογισμικό που θέλουν, το χώρο αποθήκευσης που χρειάζονται και οτιδήποτε άλλο έχουν ανάγκη από τον πάροχο των υπηρεσιών και αφού χρησιμοποιηθούν οι πόροι που θα τους διατεθούν μπορούν αυτόματα να απελευθερωθούν από τις υπηρεσίες αυτές.

Κάποια ακόμα πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά των υπολογιστικών νεφών είναι η αυτόματη ανάκαμψη, η αυτό-επιτήρηση, η αυτό-διαχείριση, η αυτόματη επαναδιαμόρφωση, η δυνατότητα καθορισμού SLAs (Service Level Agreements) και οι υψηλές δυνατότητες αυτό-κλιμάκωσης. Το Cloud computing είναι μεγαλύτερο και πιο πλούσιο από το utility computing. Παρέχει περισσότερες δυνατότητες από την τεχνολογία του virtualization, που στην πληροφορική είναι η δημιουργία μιας εικονικής (και όχι πραγματικής) εκδοχής ενός πράγματος, όπως μιας πλατφόρμας υλικού, ενός λειτουργικού συστήματος, μιας συσκευής αποθήκευσης ή του δικτύου πόρων. Ενώ η ανάπτυξη Web-based εφαρμογών ακούγονται σαν την ιδανικότερη λύση για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων πληροφορικής, πρέπει να απαντηθούν κάποια ερωτήματα για το κατά πόσο το cloud computing είναι ασφαλές. Το θέμα της ασφάλειας είναι το βασικότερο θέμα προς συζήτηση και αυτό λόγω της μαζικής συγκέντρωσης των πόρων και των δεδομένων σε ένα σύνολο. Κάτι τέτοιο αποτελεί έναν σημαντικό πόλο έλξης επιθέσεων, αλλά οι cloud-based security υπηρεσίες μπορούν να είναι πιο αποτελεσματικές, ευέλικτες και οικονομικά αποδοτικές από αυτές που υπάρχουν σήμερα.

## 1.5 Cloud computing models

Το Cloud computing μπορεί να χωριστεί ως προς το είδος της υπηρεσίας που προσφέρει και ως προς το sourcing μοντέλο. Έτσι λοιπόν μπορούμε να το διαχωρίσουμε σε τρία μοντέλα:

- ✓ IaaS – Infrastructure-as-a-Service
- ✓ PaaS – Platform-as-a-Service
- ✓ SaaS – Software-as-a-Service

Το καθένα από αυτό είναι σχεδιασμένο για να εξυπηρετεί διαφορετικές ανάγκες και προσφέρει διαφορετικές υπηρεσίες στους χρήστες.

### ➤ *IaaS - Infrastructure-as-a-Service*

Το μοντέλο αυτό παρέχει εικονικές μηχανές, άλλες υπολογιστικές και δικτυακές υποδομές και λειτουργικά συστήματα ως μια πλήρως outsourced υπηρεσία. Η εταιρεία ή ο οργανισμός μπορεί να ενοικιάσει την υποδομή (όχι όμως και την πλατφόρμα) ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχει την εκάστοτε χρονική στιγμή. Η ενοικίαση γίνεται με τη λογική «pay-as-you-go», δηλαδή η χρέωση γίνεται για ότι χρησιμοποιηθεί, αντί να προβεί στην αγορά εξοπλισμού ή στη σύναψη συμβολαίου παροχής υπηρεσιών φιλοξενίας υποδομής για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Το μοντέλο αυτό παρέχει τη δυνατότητα μεταφοράς εικονικών μηχανών από το ιδιόκτητο περιβάλλον της εταιρείας ή του οργανισμού που ανήκει στο Cloud. Η εταιρεία ή ο ιδιώτης αποκτά πρόσβαση στο λειτουργικό σύστημα, αφού πάρει το υλικό ως υπηρεσία, έχει δηλαδή τον έλεγχο του λειτουργικού συστήματος και ότι εγκαθιστά σε αυτό αλλά είναι και υπεύθυνη για τη διαχείριση και τη συντήρηση αυτών. Το μοντέλο αυτό παρέχει χώρο και υπολογιστικούς πόρους τα οποία οι προγραμματιστές και οι IT οργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να δώσουν επιχειρηματικές λύσεις. Παραδείγματα IaaS υπηρεσιών είναι το Amazon EC2 και S, το Windows Live SkyDrive και το Cloud Rackspace.

### ➤ *Paas - Platform-as-a-Service*

Το μοντέλο αυτό παρέχει μία Cloud πλατφόρμα εφαρμογών για εταιρείες ή ιδιώτες στην οποία μπορούν να αναπτύξουν νέες εφαρμογές, είτε για χρήση δική τους είτε για τρίτους, χρησιμοποιώντας APIs και να τις ρυθμίσουν από απόσταση. Παρέχει τις κατάλληλες υπηρεσίες ώστε να μπορέσει κάποιος να δοκιμάσει, να αναπτύξει, να διαθέσει και να συντηρήσει τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες του μέσα σε ένα ενιαίο περιβάλλον πλατφόρμας το οποίο είναι διαθέσιμο, ελαστικό, ευέλικτο, με δυνατότητες πλήρους αυτό-διαχείρισης, αυτό-συντήρησης και αυτό-κλιμάκωσης της υποδομής, του λειτουργικού συστήματος και της πλατφόρμας εφαρμογών. Με το PaaS δε χρειάζεται ο χρήστης/πελάτης να ασχολείται με τη συντήρηση του λειτουργικού συστήματος και της πλατφόρμας. Οι πλατφόρμες που προσφέρονται περιλαμβάνουν εργαλεία ανάπτυξης και διαχείρισης των εφαρμογών των χρηστών. Το κόστος του μοντέλου αυτού βασίζεται στη χρήση του (pay-per-use) έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η πλήρης αξιοποίηση των υπολογιστικών πόρων που χρησιμοποιούνται σε σχέση με το κόστος χρήσης. Αν συνδυαστεί με το χαρακτηριστικό της αυτό-κλιμάκωσης μπορεί να επιτευχθεί η διάθεση υπηρεσιών που να μπορούν να

ανταποκριθούν σε οποιαδήποτε ραγδαία ή αναμενόμενη μεταβολή χωρητικότητας (μνήμης, αποθηκευτικού χώρου, δικτύου) που θα απαιτηθεί ανά πάσα στιγμή, χωρίς αυτή να δεσμευτεί εκ των προτέρων είτε με αγορά υποδομής, λογισμικού πλατφόρμας, δικτυακής γραμμής υψηλής χωρητικότητας κλπ., είτε με ένα συμβόλαιο παροχής υπηρεσιών φιλοξενίας υποδομής και πλατφόρμας συγκεκριμένης χωρητικότητας και χρονικής διάρκειας. Μερικά παραδείγματα PaaS υπηρεσιών είναι το Microsoft Windows Azure, το SQL Azure και το Force και Google App Engine.

#### ➤ *SaaS – Software-as-a-Service*

Το μοντέλο αυτό παρέχει υπηρεσίες που βασίζονται στη λογική της ενοικίασης λογισμικού από έναν πάροχο υπηρεσιών, αντί της εγκατάστασης, της διαχείρισης ή της αγοράς της άδειας χρήσης του. Το μόνο που χρειάζεται είναι η σύνδεση με το λογισμικό και ο χρήστης/πελάτης μπορεί να το χρησιμοποιήσει. Το λογισμικό αυτό λειτουργεί σε ένα κεντροποιημένο δίκτυο διακομιστών (servers) προκειμένου να διατίθεται ως υπηρεσία από το web ή το διαδίκτυο. Μερικές SaaS υπηρεσίες μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα, ενώ κάποιες άλλες χρησιμοποιούνται ως δομικά στοιχεία για τη δημιουργία πιο πολύπλοκων υπηρεσιών. Μπορούν να παρέχουν δυνατότητες βασικών δομικών στοιχείων, λειτουργίες για την εφαρμογή, ή βελτιώσεις της υπάρχουσας λειτουργικότητας για τους διακομιστές και τους χρήστες / πελάτες. Το μοντέλο αυτό αποτελεί τον πλέον γνωστό τύπο cloud computing λόγω της μεγάλης ευελιξίας, της ποιότητας υπηρεσιών, της υψηλής σταθερότητας και της ελάχιστης συντήρησης που απαιτεί. Συνήθως δε χρειάζεται συντήρηση ή αναβάθμιση της υπηρεσίας, αφού ο τελικός αποδέκτης δε χρειάζεται να δώσει σημασία στη διαθεσιμότητα, την κλιμάκωση, τη χωρητικότητα και το SLA της υποδομής, της πλατφόρμας και της υπηρεσίας. Το κόστος του είναι πολύ χαμηλό καθώς παρέχεται στην επιχείρηση / οργανισμό ως μηνιαίο λειτουργικό κόστος το οποίο συνήθως είναι πολύ πιο οικονομικό από την αγορά της αντίστοιχης άδειας χρήσης του λογισμικού και των απαραίτητων υποδομών λειτουργίας. Ο πάροχος της υπηρεσίας φιλοξενεί και την εφαρμογή αλλά και τα δεδομένα ώστε οι χρήστες να μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτά από οποιοδήποτε σημείο (remote access). Μερικά παραδείγματα SaaS υπηρεσιών από την Microsoft είναι το Windows Live Messenger (IM), το Windows Live ID, το Virtual Earth (mapping). Αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλες προκειμένου να δημιουργηθούν διάφορες εφαρμογές. Άλλα παραδείγματα SaaS υπηρεσιών είναι η άμεση σύνδεση με κάποιον επεξεργαστή κειμένου και με εργαλεία λογιστικών φύλλων, οι CRM (Customer Relationship Management 10 ) υπηρεσίες και οι υπηρεσίες παράδοσης περιεχομένου στον παγκόσμιο ιστό (Google Docs κλπ).

## 1.6 Ταξινόμηση υπηρεσιών νέφους με βάση τα μοντέλα του cloud computing

Οι υπηρεσίες που προσφέρονται σε κάθε μοντέλο του υπολογιστικού νέφους (IaaS, PaaS, SaaS) ποικίλουν και ολοένα αυξάνονται. Ενδεικτικά κάποιες από τις υπηρεσίες πληροφορικής που μπορούμε να συναντήσουμε σε ένα υπολογιστικό νέφος παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Ο πίνακας είναι ενδεικτικός καθώς όλο και περισσότερες πτυχές της πληροφορικής προσφέρονται ως υπηρεσία. Αυτός είναι και ο σκοπός πίσω από την ιδέα του νέφους, η ολότητα της πληροφορικής ως υπηρεσία.

Πίνακας 1 Ταξινόμηση υπηρεσιών νέφους με βάση τα μοντέλα του cloud computing

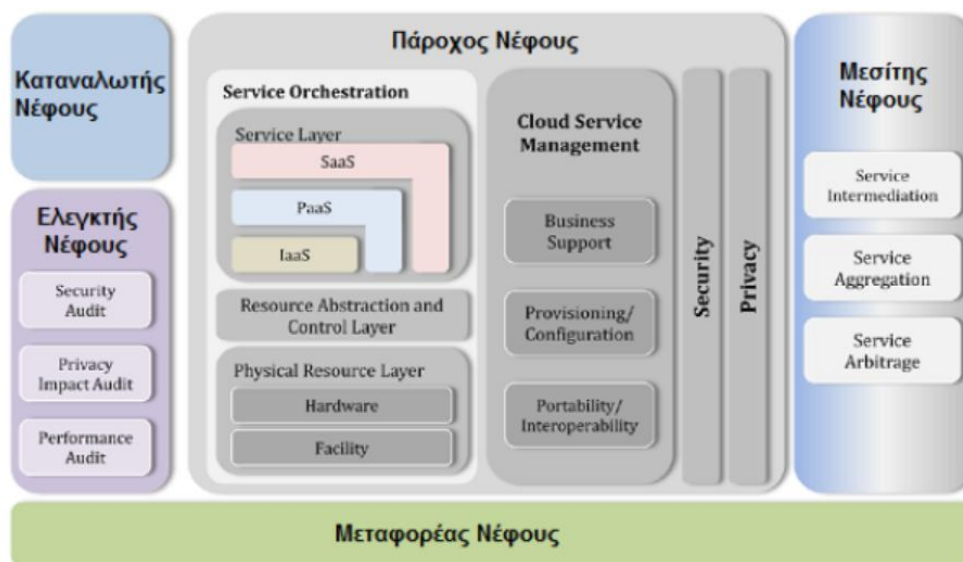
#	SaaS	IaaS	PaaS
<b>Υπηρεσίες</b>	<p>Email, σουίτες γραφείου (πχ Microsoft Office).</p> <p>Υπηρεσίες διαχείρισης τιμολόγησης (λογιστικά προγράμματα) .</p> <p>Εφαρμογές CRM (Customer Relationship Management), που μπορεί να είναι από εφαρμογές τηλεφωνικών κέντρων μέχρι και αυτοματοποίηση των πωλήσεων.</p> <p>Εργαλεία που επιτρέπουν στους χρήστες μιας επιχείρησης να επικοινωνούν και να συνεργάζονται σε ομάδες εργασίας και διεπιχειρησιακά.</p> <p>Υπηρεσίες για την διαχείριση της παραγωγής και του περιεχομένου για</p>	<p>Υπηρεσίες για back up και αποκατάσταση συστημάτων.</p> <p>Δυναμική διαμόρφωση υπολογιστικών μονάδων και πόρων ανάλογα με τις απαιτήσεις.</p> <p>Δίκτυα διαμοιρασμού δεδομένων. (CDNs – Content Delivery Networks)</p> <p>Υπηρεσίες που διαχειρίζονται τις πλατφόρμες υποδομής νέφους.</p> <p>Αποθηκευτικός χώρος για εφαρμογές και δεδομένα.</p>	<p>Βάσεις δεδομένων: Υπηρεσίες που προφέρουν λύσεις βάσεων δεδομένων.</p> <p>Πλατφόρμες ανάπτυξης και δοκιμών για τις εφαρμογές.</p> <p>Πλατφόρμες για την ανάπτυξη εφαρμογών γενικού σκοπού ή επιχειρησιακού σκοπού.</p> <p>Επιχειρησιακή νοημοσύνη.</p> <p>Πλατφόρμες ανάπτυξης και ανάλυσης εφαρμογών και δεδομένων.</p>



	<p>εφαρμογές που στηρίζονται στο διαδίκτυο.</p> <p>Οικονομικές εφαρμογές για την διαχείριση όλων των οικονομικών διαδικασιών μιας επιχείρησης ή ενός οργανισμού. (πχ SAP)</p>		
--	---	--	--

### 1.7 Το εννοιολογικό πρότυπο αναφοράς του NIST (National Institute of Standards and Technology) για το cloud computing

Η αρχιτεκτονική αναφοράς υπολογισμού νέφους του NIST καθορίζει πέντε σημαντικούς ρόλους: καταναλωτής νέφους, πάροχος νέφους, μεταφορέας νέφους, ελεγκτής νέφους και μεσίτης νέφους. Κάθε ρόλος είναι μια οντότητα (ένα πρόσωπο ή επιχείρηση/οργανισμός) που συμμετέχει σε μια συναλλαγή ή μια διαδικασία ή/και εκτελεί στόχους στο υπολογισμό νέφους.



Εικόνα 2 Το εννοιολογικό πρότυπο αναφοράς του NIST για το Cloud computing

Ένας καταναλωτής νέφους μπορεί να ζητήσει την υπηρεσία από έναν μεσίτη νέφους αντί να έρθει σε άμεση επαφή με έναν προμηθευτή νέφους. Ο μεσίτης νέφους μπορεί να δημιουργήσει μια νέα υπηρεσία με συνδυασμό πολλαπλών υπηρεσιών ή με την ενίσχυση μιας υπάρχουσας υπηρεσίας.

Οι μεταφορείς νέφους παρέχουν τη διασύνδεση και τη μεταφορά των υπηρεσιών νέφους από τους προμηθευτές νέφους για να καλύψουν τους καταναλωτές. Ένας πάροχος

νέφους συμμετέχει και τακτοποιεί δύο μοναδικές συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Agreements - SLAs), μια με έναν μεταφορέα νέφους (SLA2) και μια με έναν καταναλωτή νέφους (SLA1).

Ένας πάροχος νέφους τακτοποιεί τις συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών (SLAs) με έναν μεταφορέα νέφους και μπορεί να ζητήσει κρυπτογραφημένες συνδέσεις για να εξασφαλίσει ότι οι υπηρεσίες νέφους καταναλώνονται σε συνεπές επίπεδο σύμφωνα με τις συμβατικές υποχρεώσεις με τους καταναλωτές νέφους. Σε αυτήν την περίπτωση, ο πάροχος μπορεί να διευκρινίσει τις απαιτήσεις του στην ικανότητα, την ευελιξία και τη λειτουργία στο SLA2 προκειμένου να παρασχεθούν οι απαιτήσεις του SLA1.

**Καταναλωτής νέφους:** Ο καταναλωτής νέφους είναι ο κύριος μέτοχος για τις υπηρεσίες του υπολογιστικού νέφους. Ένας καταναλωτής νέφους αντιπροσωπεύει ένα πρόσωπο ή επιχείρηση/οργανισμό που διατηρεί μια επιχειρησιακή σχέση με έναν προμηθευτή νέφους, και χρησιμοποιεί υπηρεσίες από αυτόν. Ένας καταναλωτής νέφους μελετά τον κατάλογο υπηρεσιών από έναν προμηθευτή νέφους, ζητά την αντίστοιχη υπηρεσία, οργανώνει τις συμβάσεις των υπηρεσιών με τον προμηθευτή νέφους, και χρησιμοποιεί την υπηρεσία. Επιπλέον μπορεί να τιμολογηθεί για την υπηρεσία, και πρέπει να τακτοποιήσει τις πληρωμές αναλόγως για αυτό το λόγο χρειάζονται τα SLAs, για να διευκρινίσουν τις τεχνικές απαιτήσεις απόδοσης που ικανοποιούνται από έναν προμηθευτή νέφους. Τα SLAs μπορούν να καλύψουν τους όρους σχετικά με την ποιότητα της υπηρεσίας, την ασφάλεια, κάλυψη για πιθανές αποτυχίες απόδοσης κ.α. Ένας πάροχος νέφους μπορεί επίσης να απαριθμήσει στα SLAs ένα σύνολο υποσχέσεων που δεν γίνονται ρητά στους καταναλωτές, π.χ. περιορισμούς, και υποχρεώσεις που οι καταναλωτές πρέπει να δεχτούν. Ένας καταναλωτής νέφους μπορεί ελεύθερα να επιλέξει έναν προμηθευτή νέφους με καλύτερες τιμές και περισσότερους ευνοϊκούς όρους. Τυπικά η πολιτική τιμολόγησης νέφους του παρόχου είναι μη διαπραγματεύσιμη, εκτός αν ο πελάτης απαιτεί βαριά χρήση και είναι σε θέση να διαπραγματευτεί για καλύτερες συμβάσεις. Οι καταναλωτές SaaS μπορούν να είναι οργανισμοί που παρέχουν στα μέλη τους πρόσβαση στις εφαρμογές λογισμικού, τελικοί χρήστες που χρησιμοποιούν άμεσα τις εφαρμογές λογισμικού, ή διαχειριστές εφαρμογών λογισμικού που διαμορφώνουν τις εφαρμογές για τους τελικούς χρήστες. Οι καταναλωτές SaaS μπορούν να τιμολογηθούν με τον αριθμό τελικών χρηστών, το χρόνο της χρήσης, το εύρος ζώνης δικτύου που καταναλώνουν, την ποσότητα δεδομένων που αποθηκεύονται ή τη διάρκεια των αποθηκευμένων δεδομένων. Οι καταναλωτές νέφους PaaS μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα εργαλεία και τους πόρους εκτέλεσης που παρέχονται από τους προμηθευτές νέφους για να αναπτύξουν, να εξετάσουν, να επεκτείνουν και να διαχειριστούν τις εφαρμογές που φιλοξενούνται σε ένα περιβάλλον νέφους. Οι καταναλωτές PaaS μπορεί να είναι είτε υπεύθυνοι για την ανάπτυξη εφαρμογής που σχεδιάζουν και εφαρμόζουν τα προγράμματα εφαρμογών ή ελεγκτές εφαρμογής που τρέχουν και εξετάζουν τις εφαρμογές στα βασισμένα στο νέφος περιβάλλοντα, ή διαχειριστές εφαρμογής που διαμορφώνουν και ελέγχουν την απόδοση της εφαρμογής σε μια πλατφόρμα. Οι καταναλωτές PaaS μπορούν να τιμολογηθούν σύμφωνα με, την επεξεργασία, την αποθήκευση βάσεων δεδομένων και τους πόρους δικτύου που καταναλώνονται από την εφαρμογή PaaS, και τη διάρκεια της χρήσης της πλατφόρμας. Οι Καταναλωτές IaaS έχουν πρόσβαση στους εικονικούς υπολογιστές, στην αποθήκευση στο δίκτυο, στα τμήματα υποδομής δικτύου, και άλλους θεμελιώδεις υπολογιστικούς πόρους τους οποίους μπορούν να επεκτείνουν και να τρέξουν αυθαίρετο λογισμικό. Οι καταναλωτές IaaS μπορούν να είναι είτε υπεύθυνοι για την ανάπτυξη συστημάτων, διαχειριστές συστημάτων και διαχειριστές IT που ενδιαφέρονται για τη δημιουργία, την

εγκατάσταση, τη διαχείριση και τον έλεγχο των υπηρεσιών για τις διαδικασίες υποδομής IT. Οι καταναλωτές IaaS είναι ικανοί να προσεγγίσουν αυτούς τους υπολογιστικούς πόρους, και τιμολογούνται σύμφωνα με την ποσότητα ή τη διάρκεια των πόρων που καταναλώνονται, όπως οι ώρες CPU που χρησιμοποιούνται από τους εικονικούς υπολογιστές, τον όγκο και τη διάρκεια των δεδομένων που αποθηκεύονται, το εύρος ζώνης δικτύου που καταναλώνεται, τον αριθμό των IP διευθύνσεων που χρησιμοποιούνται για ορισμένο διάστημα.

**Πάροχος νέφους:** Ένας Πάροχος νέφους είναι ένα πρόσωπο ή οργανισμός. Είναι η αρμόδια οντότητα για να καταστήσει μια υπηρεσία διαθέσιμη στα ενδιαφερόμενα συμβαλλόμενα μέρη. Ένας πάροχος νέφους αποκτά και διαχειρίζεται την υποδομή υπολογισμού που απαιτείται για την παροχή των υπηρεσιών, τρέχει το λογισμικό νέφους που παρέχει τις υπηρεσίες, και κάνει τη ρύθμιση για να παραδώσει τις υπηρεσίες νέφους στους καταναλωτές νέφους μέσω της πρόσβασης στο δίκτυο. Για το λογισμικό ως υπηρεσία, ο πάροχος νέφους επεκτείνει, διαμορφώνει, διατηρεί και ενημερώνει τη λειτουργία των εφαρμογών λογισμικού σε μια υποδομή νέφους έτσι ώστε οι υπηρεσίες να είναι στα αναμενόμενα επίπεδα για να καλύψουν τους καταναλωτές. Ο πάροχος SaaS αναλαμβάνει τις περισσότερες από τις αρμοδιότητες για τη διαχείριση και τον έλεγχο των εφαρμογών και της υποδομής, ενώ οι καταναλωτές νέφους περιορίζονται στη χρήση των εφαρμογών. Για το PaaS, ο πάροχος νέφους διαχειρίζεται την υποδομή για την πλατφόρμα και τρέχει το λογισμικό νέφους που παρέχει τα συστατικά της πλατφόρμας, όπως τον σωρό του χρόνου εκτέλεσης λογισμικού, τις βάσεις δεδομένων κ.α. Ο πάροχος νέφους PaaS επίσης υποστηρίζει τη διαδικασία ανάπτυξης, επέκτασης και διαχείρισης του καταναλωτή νέφους PaaS με την παροχή εργαλείων όπως τα ενσωματωμένα περιβάλλοντα ανάπτυξης (Integrated Development Environments - IDEs), τα πακέτα ανάπτυξης λογισμικού (Software Development Kits - SDKs), τα εργαλεία επέκτασης και διαχείρισης. Ο καταναλωτής νέφους PaaS έχει τον έλεγχο των εφαρμογών και ενδεχομένως μερικών ρυθμίσεων του περιβάλλοντος που φιλοξενείται, αλλά έχει περιορισμένη ή και καθόλου πρόσβαση στην υποδομή που κρύβεται κάτω από την πλατφόρμα όπως το δίκτυο, τους servers, τα λειτουργικά συστήματα (OS), ή η αποθήκευση. Για το IaaS, ο πάροχος νέφους αποκτά τους φυσικούς υπολογιστικούς πόρους που κρύβονται κάτω από την υπηρεσία, συμπεριλαμβανομένων των servers, των δικτύων, της υποδομής αποθήκευσης και φιλοξενίας. Ο πάροχος νέφους τρέχει το λογισμικό νέφους που είναι απαραίτητο για να καθιστά τους υπολογιστικούς πόρους διαθέσιμους στον καταναλωτή νέφους IaaS μέσω ενός συνόλου διεπαφών υπηρεσιών και αφαιρέσεων των πόρων υπολογισμού, όπως οι εικονικές μηχανές και οι εικονικές διεπαφές δικτύων. Ο καταναλωτής νέφους IaaS χρησιμοποιεί στη συνέχεια αυτούς τους υπολογιστικούς πόρους, όπως έναν εικονικό server, για τις θεμελιώδεις υπολογιστικές ανάγκες του. Σε σχέση με τους καταναλωτές SaaS και PaaS, ένας καταναλωτής νέφους IaaS έχει πρόσβαση σε πιο θεμελιώδεις μορφές των υπολογισμού πόρων και έχει έτσι περισσότερο έλεγχο των περισσότερων τμημάτων λογισμικού σε μια στοίβα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένου του OS και του δικτύου. Ο πάροχος νέφους IaaS έχει τον έλεγχο του φυσικού υλικού και του λογισμικού που κάνει πιθανή την παροχή αυτών των υπηρεσιών υποδομής, παραδείγματος χάριν, τους φυσικούς servers, τον εξοπλισμό δικτύου, τις συσκευές αποθήκευσης, κτλ.

**Ελεγκτής νέφους:** Ένας ελεγκτής νέφους είναι ένα συμβαλλόμενο μέρος που μπορεί να εκτελέσει μια ανεξάρτητη εξέταση ελέγχου των υπηρεσιών νέφους με την πρόθεση να εκφράσει μια γνώμη. Οι έλεγχοι εκτελούνται για να ελέγξουν την προσαρμογή στα πρότυπα μέσω της αναθεώρησης των αντικειμενικών δεδομένων. Ένας ελεγκτής νέφους μπορεί να

αξιολογήσει τις υπηρεσίες που παρέχονται από έναν πάροχο νέφους από την άποψη των ελέγχων ασφάλειας, του αντίκτυπου της ιδιωτικότητας, της απόδοσης, κ.λπ. Οι έλεγχοι ασφάλειας είναι τα λειτουργικά, και τεχνικά μέτρα προστασίας, διαχείρισης, ή τα αντίμετρα που υιοθετούνται μέσα σε ένα οργανωτικό πληροφοριακό σύστημα για να προστατεύσουν την εμπιστευτικότητα, την ακεραιότητα, και τη διαθεσιμότητα του συστήματος και των πληροφοριών του. Για τον έλεγχο ασφάλειας, ένας ελεγκτής νέφους μπορεί να κάνει μια αξιολόγηση των ελέγχων ασφάλειας στο πληροφοριακό σύστημα για να καθορίσει το βαθμό στον οποίο οι έλεγχοι εφαρμόζονται σωστά, λειτουργούν όπως θα έπρεπε, και παράγουν το επιθυμητό αποτέλεσμα όσον αφορά τις απαιτήσεις ασφάλειας για το σύστημα. Ο έλεγχος ασφάλειας πρέπει επίσης να περιλάβει την επαλήθευση της συμμόρφωσης με την πολιτική κανονισμού και ασφάλειας. Παραδείγματος χάριν, ένας ελεγκτής μπορεί να επιφορτιστεί με την εξασφάλιση ότι εφαρμόζονται οι σωστές πολιτικές στη διατήρηση των δεδομένων σύμφωνα με τους σχετικούς κανόνες. Ο ελεγκτής μπορεί να εξασφαλίσει ότι το σταθερό περιεχόμενο δεν έχει τροποποιηθεί και ότι οι αρχειακές απαιτήσεις των νομικών και επιχειρησιακών δεδομένων έχουν ικανοποιηθεί.

**Μεσίτης νέφους:** Δεδομένου ότι το υπολογιστικό νέφος εξελίσσεται, η ολοκλήρωση των υπηρεσιών νέφους μπορεί να είναι πάρα πολύ σύνθετη για να διαχειριστεί από τους καταναλωτές νέφους. Ένας καταναλωτής νέφους μπορεί να ζητήσει τις υπηρεσίες νέφους από έναν μεσίτη νέφους, αντί να έρθει σε επαφή με έναν προμηθευτή νέφους άμεσα. Ένας μεσίτης νέφους είναι μια οντότητα που διαχειρίζεται τη χρήση, την απόδοση και την παράδοση των υπηρεσιών νέφους και διαπραγματεύεται τις σχέσεις μεταξύ των παρόχων νέφους και των καταναλωτών νέφους. Γενικά, ένας μεσίτης νέφους μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες σε τρεις κατηγορίες:

- ✓ **Μεσολάβηση υπηρεσιών:** Ένας μεσίτης νέφους ενισχύει μια δεδομένη υπηρεσία με τη βελτίωση κάποιας συγκεκριμένης ικανότητας και την παροχή προστιθεμένης αξίας στις υπηρεσίες των καταναλωτών νέφους. Η βελτίωση μπορεί να είναι στην πρόσβαση στις υπηρεσίες νέφους, στη διαχείριση ταυτότητας, στην απόδοση των εκθέσεων (reporting), την ενισχυμένη ασφάλεια, κ.λπ.
- ✓ **Συνάθροιση υπηρεσιών:** Ένας μεσίτης νέφους συνδυάζει και ενσωματώνει πολλαπλές υπηρεσίες σε μια ή περισσότερες νέες υπηρεσίες. Ο μεσίτης παρέχει την ολοκλήρωση των δεδομένων και εξασφαλίζει την ασφαλή μετακίνηση των δεδομένων μεταξύ του καταναλωτή νέφους και των πολλαπλών παρόχων νέφους.
- ✓ **Πρόκριση συναλλαγής υπηρεσιών:** Η οικονομική πρόκριση συναλλαγής υπηρεσιών είναι παρόμοια με τη συνάθροιση υπηρεσιών εκτός από το ότι οι υπηρεσίες που αθροίζονται δεν είναι προκαθορισμένες. Η οικονομική πρόκριση συναλλαγής υπηρεσιών σημαίνει ότι ένας μεσίτης έχει την ευελιξία να επιλέξει υπηρεσίες από πολλαπλές λύσεις. Ο μεσίτης νέφους, παραδείγματος χάριν, μπορεί να χρησιμοποιήσει μια υπηρεσία πίστωσης για να μετρήσει και να επιλέξει τη λύση με το καλύτερο αποτέλεσμα.

**Μεταφορέας νέφους:** Ένας μεταφορέας νέφους ενεργεί ως μεσάζων που παρέχει τη συνδεσιμότητα και τη μεταφορά των υπηρεσιών νέφους μεταξύ των καταναλωτών νέφους και των παρόχων νέφους. Οι μεταφορείς νέφους παρέχουν πρόσβαση στους καταναλωτές μέσω του δικτύου, των τηλεπικοινωνιών και άλλων συσκευών πρόσβασης. Παραδείγματος χάριν, οι καταναλωτές νέφους μπορούν να λάβουν τις υπηρεσίες νέφους μέσω συσκευών πρόσβασης στο δίκτυο, όπως τα κινητά τηλέφωνα. Η διανομή των υπηρεσιών νέφους

παρέχεται κανονικά από τους μεταφορείς δικτύων και τηλεπικοινωνιών ή έναν *πράκτορα μεταφορών*, όπου ο πράκτορας μεταφορών αναφέρεται σε μια επιχείρηση που παρέχει τη φυσική μεταφορά των μέσων αποθήκευσης όπως οι μεγάλης χωρητικότητας σκληροί δίσκοι. Ένας πάροχος νέφους θα υπογράψει SLAs με έναν μεταφορέα νέφους για να παρέχει υπηρεσίες σύμφωνες με το επίπεδο των SLAs που προσφέρονται για να καλύψει τις απαιτήσεις των καταναλωτών, και μπορεί να απαιτήσει από το μεταφορέα νέφους να παρέχει αφιερωμένες και ασφαλείς συνδέσεις μεταξύ των καταναλωτών νέφους και των παρόχων νέφους.

### 1.8 Ταξινόμηση συστημάτων cloud βάση τοπολογίας

Τα συστήματα cloud βάση τοπολογίας ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

- ✓ Δημόσιο νέφος (Public Cloud)
- ✓ Κοινόχρηστο δημόσιο νέφος (Shared Public Cloud)
- ✓ Αποκλειστικό δημόσιο νέφος (Dedicated Public Cloud)
- ✓ Κοινοτικό νέφος (Community Cloud)
- ✓ Ιδιωτικό νέφος (Private Cloud)
- ✓ Υβριδικό νέφος (Hybrid Cloud)
- ✓ Private Cloud Appliance

#### ➤ Δημόσιο νέφος (Public Cloud)

Το δημόσιο σύννεφο αποτελεί ένα εικονικό σύνολο από υπολογιστικούς πόρους οι οποίοι διατίθενται από το διαδίκτυο, έξω από το τείχος προστασίας (firewall) των υπολογιστών του οργανισμού /επιχείρησης. Οι πόροι αυτοί προσφέρονται ανάλογα με τη ζήτηση από κάποιον πάροχο με το μοντέλο «pay-as-you-go» στο δημόσιο διαδίκτυο, κάτι που αποτελεί πλεονέκτημα. Επίσης, παρέχει μεγάλη ευελιξία λόγω της άμεσης διάθεσης υπηρεσιών, υπάρχει άμεση κλιμάκωση σε μεγαλύτερη ή μικρότερη χωρητικότητα σε πολύ λίγο χρόνο και όλες οι υπηρεσίες προσφέρονται με βελτιωμένη και συνεχή διαθεσιμότητα, ελαστικότητα, ασφάλεια και διαχειρισιμότητα. Μερικά παραδείγματα Public Cloud υπηρεσιών από την Microsoft είναι το BPOS-S & Windows Azure Platform.

#### ➤ Κοινόχρηστο δημόσιο νέφος (Shared Public Cloud)

Το κοινόχρηστο Δημόσιο νέφος παρέχει το πλεονέκτημα της ταχείας εφαρμογής, μαζική επεκτασιμότητα, και το χαμηλό κόστος εισόδου. Παραδίδεται σε μια κοινή φυσική υποδομή, όπου η αρχιτεκτονική, παραμετροποίηση, και ο βαθμός ασφάλειας έχουν σχεδιαστεί και διαχειρίζονται από τον πάροχο, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της αγοράς.

#### ➤ Αποκλειστικό δημόσιο νέφος (Dedicated Public Cloud)

Το σύννεφο αυτό παρέχει ότι και το προηγούμενο με τη διαφορά ότι λειτουργεί σε αποκλειστική υποδομή προς χρήση. Η αρχιτεκτονική και τα επίπεδα υπηρεσιών καθορίζονται από τον εκάστοτε πάροχο ενώ το κόστος είναι σημαντικά υψηλότερο σε σχέση με το Public Cloud. Παρέχει ασφάλεια, αποδοτικότητα και μερικές φορές

δυνατότητες αποκλειστικής προσαρμογής υψηλότερου επιπέδου από το Public Cloud, καθώς μπορούν να προσαρμοστούν για συγκεκριμένο χρήστη με ειδικές απαιτήσεις.

#### ➤ Κοινοτικό νέφος (Community Cloud)

Το κοινοτικό νέφος είναι παρόμοιο με ένα δημόσιο εκτός από το ότι η πρόσβαση περιορίζεται σε μια συγκεκριμένη ομάδα χρηστών - καταναλωτών. Το κοινοτικό νέφος μπορεί να ανήκει από κοινού στα μέλη της κοινότητας ή μπορεί να ανήκει σε τρίτο πάροχο που παρέχει ένα δημόσιο νέφος με περιορισμένη πρόσβαση. Τα μέλη της κοινότητας μοιράζονται συνήθως την ευθύνη για τον καθορισμό και την εξέλιξη του νέφους αυτού. Η συμμετοχή στην κοινότητα δεν εγγυάται κατ'ανάγκη πρόσβαση ή έλεγχο σε IT πόρους του νέφους. Χρήστες έξω από την κοινότητα γενικά δεν έχουν πρόσβαση εκτός εάν τους επιτραπεί από την κοινότητα. Το κοινοτικό μοντέλο ανάπτυξης είναι ιδανικό και βελτιστοποιημένο για υπηρεσίες ή ανεξάρτητους οργανισμούς που έχουν κοινές ανησυχίες, και ως εκ τούτου πρέπει να έχουν πρόσβαση σε κοινά και αμοιβαία αρχεία και σε άλλα είδη αποθηκευμένων πληροφοριών.

Υπάρχουν διάφορα στοιχεία που πρέπει να υφίστανται για να μπορεί ένα νέφος να ορίζεται ως κοινοτικό αυτά είναι τα εξής:

- ✓ **Διαφάνεια (Openness):** Η κατάργηση της εξάρτησης από τους προμηθευτές κάνει το κοινοτικό νέφος το ανοικτό ισοδύναμο με το νέφος που προσφέρεται από προμηθευτή επί αμοιβής. Ως εκ τούτου προσδιορίζει μια νέα διάσταση στην ανοιχτή έναντι στην «κλειστή»-εταιρική μάχη που έχει προκύψει στον κώδικα, στα πρότυπα και τα δεδομένα, αλλά δεν έχει μέχρι τώρα εκφραστεί στο πεδίο των υπηρεσιών που φιλοξενούνται.
- ✓ **Κοινότητα (Community):** Το κοινοτικό νέφος είναι μια κοινωνική δομή της οποίας η κυριότητα των υποδομών ανήκει στην ίδια την κοινότητα. Αυτή η ιδιοκτησία της κοινότητας φέρνει σε ένα βαθμό τη δυνατότητα οικονομικής ευρωστίας, χωρίς την οποία δεν θα υπήρχε ανταγωνισμός και θα καταποντιζόταν η καινοτομία, χαρακτηριστικά που ίσως δούμε στο εταιρικό νέφος που παρέχουν "επαγγελματίες" προμηθευτές.
- ✓ **Ευκολία στην χρήση και Έλεγχος (Convenience and Control):** Στο κοινοτικό νέφος σε αντίθεση με το νέφος του προμηθευτή, δεν υπάρχει καμία σύγκρουση συμφερόντων μεταξύ της πρακτικότητας και του ελέγχου, επειδή η κυριότητα της κοινότητας προβλέπει τον δημοκρατικά κατανεμημένο έλεγχο.
- ✓ **Περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Environmental Sustainability):** Το κοινοτικό νέφος θα έχει ένα σημαντικά μικρότερο αποτύπωμα άνθρακα από το νέφος του προμηθευτή, αφού η χρήση των υπό-χρησιμοποιούμενων μηχανών του χρήστη απαιτεί πολύ λιγότερη ενέργεια από ότι τα ειδικά κέντρα δεδομένων που απαιτούνται για το νέφος του προμηθευτή. Τα συμπλέγματα των διακομιστών στα κέντρα δεδομένων είναι μια εντατική μορφή της παροχής πόρων πληροφορικής, ενώ το κοινοτικό νέφος είναι περισσότερο οργανικό, αυξάνεται και μειώνεται σε μια συμβιωτική σχέση για να υποστηρίξει τα αιτήματα της κοινότητας, η οποία με τη σειρά της την υποστηρίζει.
- ✓ **Ελεγχόμενη Αποτυχία (Graceful failure):** Το κοινοτικό νέφος δεν ανήκει και δεν ελέγχεται από καμία οργάνωση και ως εκ τούτου δεν εξαρτάται από τη διάρκεια ζωής ή την αποτυχία καμίας από αυτές. Θα παραμείνει ισχυρό και ανθεκτικό στην

αποτυχία, και θα έχει "ανοσία" σε όλη την αποτυχία του συστήματος του νέφους του εταιρικού προμηθευτή, εξαιτίας της ποικιλομορφίας των κόμβων υποστήριξης του. Ακόμη και στην περίπτωση που περιστασιακά αποτύχει, η αποτυχία θα γίνει με τρόπο μη καταστροφικό, με ελάχιστο χρόνο εκτός λειτουργίας, μιας και οι ανεπηρέαστοι κόμβοι θα αντισταθμίζουν την αποτυχία.

#### ➤ **Ιδιωτικό νέφος (Private Cloud)**

Το ιδιωτικό σύννεφο αποτελεί ένα εικονικό σύνολο από υπολογιστικούς πόρους που προσφέρονται ως ένα προτυποποιημένο σύνολο υπηρεσιών οι οποίες καθορίζονται, σχεδιάζονται και ελέγχονται από έναν συγκεκριμένο οργανισμό και βρίσκονται μέσα από το τείχος προστασίας (firewall) των υπολογιστών του οργανισμού / επιχείρησης. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται όταν υπάρχει η ανάγκη για πλήρη έλεγχο του περιβάλλοντος εξ' αιτίας ιδιαίτερων απαιτήσεων των εφαρμογών από πλευράς απόδοσης, ωριμότητας ή νομικού πλαισίου λειτουργίας. Το βασικό μειονέκτημα του μοντέλου αυτού είναι το υψηλό κόστος απόκτησης και λειτουργίας του. Ένα παράδειγμα του μοντέλου αυτού από τη Microsoft είναι το BPOS-D αλλά έχει περιορισμένη διαθεσιμότητα. Το Private Cloud συγγέεται πολλές φορές με το virtualization, αποτελώντας μόνο ένα μικρό μέρος αυτού, αφού ακόμα και ως private θα πρέπει να έχει τα χαρακτηριστικά αυτόματης ανάκαμψης, αυτό-επιτήρησης, αυτό-διαχείρισης, αυτόματης επαναδιαμόρφωσης, δυνατότητας καθορισμού SLAs και δυνατότητες αυτό-κλιμάκωσης. Ένα παράδειγμα Private Cloud υπηρεσιών από την Microsoft είναι το Dynamic Datacenter Toolkit. Επίσης η Oracle παρέχει ένα μοντέλο διαμοιρασμένων υπηρεσιών private Cloud. Η επιλογή ανάπτυξης ενός ιδιωτικού νέφους συνήθως καθοδηγείται από την ανάγκη για τη διατήρηση του πλήρους ελέγχου ενός παραγωγικού περιβάλλοντος εξ' αιτίας ιδιαίτερων απαιτήσεων των εφαρμογών από πλευράς απόδοσης, ωριμότητας, ή νομικού πλαισίου λειτουργίας. Η χρήση ενός ιδιωτικού νέφους μπορεί να αλλάξει τον τρόπο οργάνωσης και την εμπιστοσύνη των ορίων που καθορίζονται και εφαρμόζονται. Η πραγματική διαχείριση ενός περιβάλλοντος ιδιωτικού νέφους μπορεί να διεξάγεται από εσωτερική ή εξωτερική ανάθεση προσωπικού IT. Με ένα ιδιωτικό νέφος, ο ίδιος οργανισμός τεχνικά είναι και καταναλωτής αλλά και πάροχος.

#### ➤ *Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες ιδιωτικών νεφών :*

- ✓ **Φιλοξενούμενο ιδιωτικό νέφος (Hosted Private Cloud) :** Ένα φιλοξενούμενο ιδιωτικό νέφος είναι ένα αποκλειστικό περιβάλλον που έχει σχεδιαστεί εσωτερικά, και το οποίο φιλοξενείται και διαχειρίζεται εξωτερικά. Συνδυάζει τα οφέλη του ελέγχου της υπηρεσίας και του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού με τα οφέλη της εξωτερικής ανάθεσης του κέντρου δεδομένων (data center).
- ✓ **Ίδιο-φιλοξενούμενο ιδιωτικό νέφος (Self-hosted Private Cloud ):** Ένα ίδιο-φιλοξενούμενο ιδιωτικό νέφος παρέχει το πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής και του λειτουργικού ελέγχου, χρησιμοποιεί την υπάρχουσα επένδυση σε ανθρώπινο δυναμικό και εξοπλισμό, και παρέχει ένα αποκλειστικό εντός-της-εγκατάστασης περιβάλλον που έχει σχεδιαστεί, φιλοξενείται και διαχειρίζεται εσωτερικά.

### ➤ Υβριδικό νέφος (Hybrid Cloud)

Το υβριδικό σύννεφο συνδυάζει τους τομείς του δημόσιου και του ιδιωτικού σύννεφου. Στο σύννεφο αυτό οι υπηρεσίες προσφέρονται από έναν πάροχο σε ένα περιορισμένο και σαφώς καθορισμένο αριθμό μερών. Το hybrid Cloud αναμένεται να είναι μια λύση αρκετά δημοφιλής αφού θεωρητικά συνδυάζει τα μέγιστα οφέλη και από τις δύο πλευρές. Έτσι, οι εφαρμογές για τις εσωτερικές επιχειρησιακές διαδικασίες φιλοξενούνται στο private cloud, μεγιστοποιώντας την ταχύτητα του δικτύου, αποφεύγοντας νομικά και άλλα ζητήματα όσον αφορά τα δεδομένα και διαφυλάσσοντας ταυτόχρονα τις επενδύσεις στον υπάρχοντα εξοπλισμό, ενώ οι εξωτερικές εφαρμογές που προσφέρονται σε χρήστες φιλοξενούνται στο δημόσιο cloud, αφαιρώντας φόρτο εργασίας από τα εσωτερικά συστήματα και μειώνοντας το κόστος συντήρησης και διαχείρισης. Στα πλαίσια των υβριδικών συστημάτων έχουν προταθεί και λύσεις ακόμα πιο σύνθετες, όπως η εκτέλεση των δικτυακών εφαρμογών σε δημόσια clouds με τη διατήρηση κάποιων συστημάτων, όπως οι βάσεις δεδομένων στο ιδιωτικό cloud.

### ➤ Private Cloud Appliance

Το private Cloud Appliance αποτελεί ένα αποκλειστικό περιβάλλον που μπορεί να μεταφερθεί (συνήθως σε μορφή container) και το οποίο παρέχεται και κατασκευάζεται από έναν κατασκευαστή ο οποίος έχει τον αρχιτεκτονικό έλεγχο του, την ευθύνη διαχείρισης και συντήρησης των φυσικών υποδομών του ενώ η λογική διαχείρισής του παραμένει στον τελικό χρήστη. Με τον τρόπο αυτό συνδυάζονται τα πλεονεκτήματα της χρήσης προκαθορισμένης λειτουργικής αρχιτεκτονικής, μειώνοντας το ρίσκο διάθεσης υπηρεσιών μέσω της εσωτερικής ασφάλειας και ελέγχου. Ένα παράδειγμα του μοντέλου αυτού από την Microsoft είναι το Windows Azure Appliance.



**1.9 Σύντομη παρουσίαση πλεονεκτημάτων/μειονεκτημάτων δημοσίου,  
ιδιωτικού και υβριδικού νέφους**

Στον πίνακα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του δημοσίου, ιδιωτικού και υβριδικού νέφους αντίστοιχα:

Πίνακας 2 Πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα δημοσίου, ιδιωτικού και υβριδικού νέφους

#	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<b>Δημόσιο νέφος</b>	<p>Απλούστερο να εφαρμοστεί.</p> <p>Διαδεδομένη δυνατότητα πρόσβασης.</p> <p>Ελάχιστες αρχικές δαπάνες.</p> <p>Κέρδη αποδοτικότητας χρησιμοποίησης μέσω του Virtualization των servers.</p> <p>Δεν απαιτεί χώρο για τα κέντρα δεδομένων.</p> <p>Σχεδιασμένο για τον χειρισμό μεγάλου όγκου και φόρτου εργασίας.</p>	<p>Ακριβότερο μακροπρόθεσμα.</p> <p>Ευαίσθητο σε παρατεταμένες διακοπές λειτουργίας των υπηρεσιών.</p>
<b>Ιδιωτικό νέφος</b>	<p>Επιτρέπει τον πλήρη έλεγχο αναπροσαρμογών. (λογισμικό, αποθηκευτικός χώρος κτλ)</p> <p>Κέρδη αποδοτικότητας χρησιμοποίησης μέσω του Virtualization των servers.</p> <p>Ελάχιστες μακροπρόθεσμες δαπάνες.</p>	<p>Μεγάλες αρχικές δαπάνες.</p> <p>Απαιτεί μεγαλύτερη δέσμευση χώρου για το κέντρο δεδομένων.</p>

<b>Υβριδικό νέφος</b>	<p>Πιο οικονομικό σε σχέση με τα άλλα λόγω της ευελιξίας χρησιμοποίησης ιδιωτικού και δημοσίου νέφους.</p> <p>Κέρδη αποδοτικότητας χρησιμοποίησης μέσω του Virtualization των servers.</p> <p>Σχεδιασμένο για τον χειρισμό μεγάλου όγκου και φόρτου εργασίας.</p> <p>Λιγότερο ευαίσθητο σε παρατεταμένες διακοπές λειτουργίας των υπηρεσιών.</p>	<p>Δύσκολο να εφαρμοστεί λόγω σύνθετης διαχείρισης και διαφορετικών κέντρων δεδομένων.</p> <p>Απαιτεί τη δέσμευση χώρου για κέντρο δεδομένων.</p>
-----------------------	--	---

### 1.10 Πρωτόκολλα επικοινωνίας στο Cloud computing

Το υπολογιστικό νέφος λειτουργεί πάνω από τα δύο βασικά πρωτόκολλα μεταφοράς του διαδικτύου το HTTP και HTTPS. Όλα τα άλλα πρωτόκολλα και εφαρμογές που εμπλέκονται στην τεχνολογία του νέφους δημιουργούν δεδομένα και επικοινωνίες σε μορφή πακέτων που αποστέλλονται με τη χρήση των δύο αυτών πρωτοκόλλων. Πολλά πρωτοκόλλα πελάτη/εξυπηρετητή έχουν εφαρμοσθεί στην κατανεμημένη δικτύωση (distributed networking) ώστε να εκμεταλλευτούν και να χρησιμοποιήσουν τη λειτουργία της εσωτερικής διαδικασίας επικοινωνίας (Inter-Process Communication - IPC).

Διάφορες μορφές υλοποίησης των απομακρυσμένων κλήσεων διαδικασιών (RPC - Remote Procedure Call, π.χ. (DCOM, Java RMI, COBRA) προσπαθούν να λύσουν το πρόβλημα της ορθής χρησιμοποίησης του IPC και της διαχείρισης των συναλλαγών μέσω αυτού πάνω από μη χαρακτηρισμένα (stateless) δίκτυα. Η πρώτη πραγματική τεχνολογία RPC είναι η XML-RPC και βασίζεται σε XML (Extensible Markup Language) η οποία είναι ανεξάρτητη από πλατφόρμες. Κωδικοποιεί τις κλήσεις και τις μεταφέρει πάνω από HTTP, το πλέον δημοφιλές πρωτόκολλο μεταφοράς.

Με την άνοδο την τελευταία δεκαετία της χρήσης του διαδικτύου και των εφαρμογών που την αφορούν, δημιουργήθηκε η ανάγκη εύρεσης μεθόδων για την ανεύρεση και δημιουργία υπηρεσιών και πόρων. Σήμερα, το πιο δημοφιλές στάνταρ για τη μεταφορά μηνυμάτων είναι το Πρωτόκολλο Πρόσβασης Απλού Αντικειμένου (Simple Object Access Protocol - SOAP). Αντικατέστησε το XML-RPC με XML και χρήση των πρωτοκόλλων RPC και HTTP για την μεταφορά. Το SOAP είναι πλέον η βάση για τις περισσότερες διαδικτυακές υπηρεσίες επικοινωνίας σήμερα. Τόσο το SOAP όσο και οι επεκτάσεις WS-\* ενσωμάτωσαν στις προδιαγραφές τους εφαρμογές που εκτελούνται σε επίπεδο εξυπηρετητή δανειζόμενες από τα DCOM και COBRA σε μία κίνηση να γίνουν ανεξάρτητα από πλατφόρμες. Αναδείχτηκε με αυτόν τον τρόπο η ανάγκη εύρεσης μίας μεθόδου για την τυποποίηση των πόρων στο Διαδίκτυο – από εκεί προέκυψε η ιδέα για το REST (Representational State Transfer).

Το REST (Αναπαραστατική Μεταφορά Κατάστασης) οφείλει την ύπαρξή του στη δουλειά του Roy Fielding, ο οποίος μετείχε στην δημιουργία του HTTP πρωτοκόλλου. Το REST χρησιμοποιεί ένα καθολικό αναγνωριστικό για κάθε πόρο με σκοπό την ύπαρξη ομοιόμορφης μεθόδου για την πρόσβαση σε πηγές πληροφόρησης. Το αναγνωριστικό αυτό είναι στην πραγματικότητα ένα URI (uniform resource identifier) μεταφρασμένο σε μορφή HTTP. Για κάθε πόρο ο οποίος βρίσκεται σε γνωστή διεύθυνση, υπάρχουν δικτυακοί πελάτες που επικοινωνούν με τον πόρο αυτό χρησιμοποιώντας εντολές HTTP (κλήσεις) για την ανταλλαγή δεδομένων σε μορφή εγγράφων και αρχείων. Οι τυπικές μεταφορές δεδομένων χρησιμοποιούν XML, κείμενο, εικόνες, JSON (JavaScript Object Notation) αρχεία ή κάποιο άλλο συμφωνημένο στάνταρ για την ανταλλαγή δεδομένων. Μία συναλλαγή που ακολουθεί τους κανόνες του REST θεωρείται ως "RESTful" και αποτελεί τη βάση των σύγχρονων συναλλαγών στο σύννεφο από την έναρξη, την εκτέλεση και έως την ολοκλήρωσή τους.

Οι υπηρεσίες που παρέχονται μέσω του νέφους καλύπτουν το σύνολο των εφαρμογών που διατίθενται έξω από αυτό. Κάθε εφαρμογή χρησιμοποιεί πρωτόκολλα που έχουν αναπτυχθεί με σκοπό τη δικτυακή τους χρήση και που έχουν τροποποιηθεί για χρήση στο Διαδίκτυο. Η επίπτωση από την εξάπλωση των υπηρεσιών μέσω σύννεφου βαρύνει την ισορροπία ανάμεσα σε ανοιχτά και κλειστά πρωτόκολλα υπέρ των πρώτων.

### 1.11 Ασφάλεια συστημάτων και δεδομένων στο Cloud computing

Το cloud computing έχει σημαντικές δυνατότητες βελτίωσης όσον αφορά την ασφάλεια και την ανθεκτικότητά του. Υπάρχουν τρεις βασικοί τομείς κινδύνων που πρέπει να ελεγχθούν πρώτα, πριν την υιοθέτηση κάποιου μοντέλου cloud computing, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Ασφάλειας Δικτύων και Πληροφοριών (ENISA – European Network and Information Security Agency). Οι τομείς αυτοί είναι οι οργανωτικοί, οι τεχνικοί και οι νομικοί κίνδυνοι. Η κάθε κατηγορία κινδύνων πρέπει να αναλυθεί σε σχέση με όλες τις πιθανές καταστάσεις που μπορεί να συμβούν σε κάποια επιχείρηση. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, πρέπει ο φορέας παροχής υπηρεσιών σύννεφου να μπορεί να αντιμετωπίσει με ακρίβεια όλες τις καταστάσεις που σχετίζονται με συγκεκριμένες καθημερινές εργασίες μίας επιχείρησης και να είναι σε θέση να χειριστεί κάθε έκτακτη ανάγκη που θα μπορούσε ενδεχομένως να προκύψει. Ενώ ο χρήστης του σύννεφου έχει τον έλεγχο των λειτουργικών συστημάτων, της αποθήκευσης των δεδομένων και των εφαρμογών, δεν μπορεί να διαχειριστεί τη σχετική υποδομή του σύννεφου και κάποια επιλεγμένα στοιχεία δικτύωσης, όπως τα firewalls, γι' αυτό θα πρέπει να υπάρχει αξιοπιστία σε αυτά από τον εκάστοτε πελάτη / χρήστη του. Ο πάροχος υπηρεσιών του σύννεφου θα πρέπει να μπορεί να ελέγχει και τη πιθανότητα κάποιος τρίτος να συμμετάσχει σε κάποια απώλεια, εκμετάλλευση ή κακόβουλη τροποποίηση των πληροφοριών, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία από τους πελάτες.

Ο μετριασμός των κινδύνων εξαρτάται αποκλειστικά από τη δημιουργία ενός συνόλου κριτηρίων για την επιλογή ενός εξειδικευμένου πωλητή cloud υπηρεσιών και από την ύπαρξη πολιτικής για τη σταθερή παρακολούθηση και διαχείριση των σχέσεων των προμηθευτών. Οι εταιρικοί φορείς λήψης αποφάσεων πρέπει να αξιολογούν κάθε λεπτομέρεια που σχετίζεται με τη φήμη ενός προμηθευτή, με τις λειτουργικές του δυνατότητες και την αξιοπιστία του. Όλα τα παραπάνω πρέπει να γίνονται καθώς υπάρχουν πολλοί πάροχοι cloud υπηρεσιών και πρέπει να ελέγχεται και η παραμικρή λεπτομέρεια

πριν την επιλογή κάποιου παρόχου, ώστε να διασφαλίζεται όσο το δυνατό περισσότερο η ασφάλεια και η αξιοπιστία τους.

### 1.12 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης cloud computing

Υπάρχουν αρκετά οφέλη από την τεχνολογία του cloud computing αλλά και μειονεκτήματα. Η υπολογιστική νέφος (cloud computation) θα πρέπει να λειτουργεί μέσα σε όρια φυσικών παραμέτρων. Το νέφος προσφέρει την ικανότητα για παροχή τεραστίων ποσοτήτων υπολογιστικής ισχύς και αποθήκευσης, αλλά αυτές οι ποσότητες δεν είναι άπειρες. Επομένως, οι χρήστες του νέφους μπορεί να χρειαστεί να προσαρμόσουν τις εφαρμογές τους σε ένα πλαίσιο κατηγορίας χρήσης πόρων που καθορίζεται από τον πάροχο του νέφους.

- **Τα κυριότερα οφέλη του cloud computing μπορούν να επικεντρωθούν στα εξής:**
- ✓ **Μειωμένα Κόστη :** Με την χρήση cloud computing έχουμε σημαντική μείωση στα κόστη μια επιχείρησης ή ενός οργανισμού λόγω του ότι δυνατότητες και πόροι μπορούν να πληρωθούν κλιμακωτά χωρίς την ανάγκη μεγάλων επενδύσεων σε υποδομή υπολογιστών. Επομένως, τα κόστη κεφαλαίου μειώνονται και αντικαθίστανται από διαχειριζόμενα, κλιμακωτά λειτουργικά έξοδα. Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ' όψη στην επιλογή του νέφους, είναι ότι τα κόστη οργανωτικής υποστήριξης και συντήρησης μειώνονται σημαντικά, διότι αυτά τα έξοδα μεταφέρονται στον πάροχο του νέφους, συμπεριλαμβανομένης και της υποστήριξης. Μειώνεται επίσης και η ανάγκη για υψηλής κατάρτισης και ακριβό προσωπικό IT. Οι πόροι χρησιμοποιούνται πιο αποτελεσματικά στο υπολογιστικό νέφος με αποτέλεσμα σημαντική οικονομία σε κόστη υποστήριξης και ενέργειας. Γενικά, το υπολογιστικό νέφος προσφέρει μειώσεις στην διαχείριση του συστήματος, στα έξοδα εφοδίων, έξοδα ενέργειας, άδειες χρήσης λογισμικού και κόστος εξοπλισμού.
- ✓ **Ελαστικότητα και Προσαρμοστικότητα :** Οι Cloud providers δεν μπορούν να παρέχουν άπειρες διατάξεις και ελαστικότητα πόρων, για αυτό και θα φροντίσουν να προσφέρουν δομημένες εναλλακτικές λύσεις. Μπορούν να προσφέρουν επιλογή μεταξύ διαφόρων υπολογιστικών και αποθηκευτικών πόρων, διαφορετικών ικανοτήτων και κόστους και ο πελάτης έχει τη δυνατότητα να ρυθμίσει τις απαιτήσεις του για να προσαρμοστεί σε αυτά τα μοντέλα. Η προσαρμοστικότητα επιτυγχάνεται μέσω της διαθεσιμότητας πολλαπλών πόρων και τοποθεσιών. Καθώς η αυτόματη επεξεργασία γίνεται πιο ώριμη, μηχανισμοί αυτό-διαχείρισης και αυτό-αποκατάστασης εγγυώνται την αυξημένη αξιοπιστία και την ευρωστία των πόρων του νέφους. Επίσης, η ανάνηψη από καταστροφές και ο σχεδιασμός συνέχειας λειτουργίας των εργασιών είναι εγγενείς στην χρήση της πλατφόρμας επεξεργασίας σύννεφου των παροχών.
- ✓ **Συγκέντρωση της αποθήκευσης δεδομένων :** Το νέφος προσφέρει μεγαλύτερους πόρους αποθήκευσης δεδομένων από ότι είναι συνήθως διαθέσιμοι σε τοπικά, εταιρικά συστήματα υπολογιστών. Επιπλέον οι πόροι αποθήκευσης δεδομένων στο νέφος μπορούν να μειωθούν ή να αυξηθούν κατά βούληση με αντίστοιχη ρύθμιση του κόστους. Επίσης, προστασίες δεδομένων εφαρμόζονται και παρακολουθούνται

ευκολότερα σε ένα κεντρικό σύστημα παρά σε μεγάλο αριθμό από πλατφόρμες υπολογιστών που μπορεί να είναι ευρέως διασκορπισμένες γεωγραφικά σε διάφορα μέρη του οργανισμού.

- ✓ **Δυνατότητα κλιμάκωσης** :Το υπολογιστικό νέφος παρέχει τα μέσα σε ένα πελάτη να εξασφαλίσει γρήγορα υπολογιστικούς πόρους για να αντιμετωπίσει αυξήσεις ή μειώσεις στη ζήτηση. Σε πολλές περιπτώσεις, οι οργανισμοί απαιτούν μεγάλης περιεκτικότητας αποθηκευτική ικανότητα για κρίσιμα δεδομένα και αυτή η ανάγκη μπορεί να ικανοποιηθεί από τον πάροχο του νέφους. Αυτή η προσέγγιση παρέχει μία εναλλακτική λύση στα μη αποδοτικά συστήματα εντός της επιχείρησης/οργανισμού που πρέπει να είναι σχεδιασμένα για φορτία αιχμής αλλά να λειτουργούν μόνο στη μερική τους δυνατότητα τον περισσότερο χρόνο. Η δυνατότητα κλιμάκωσης του νέφους επιτρέπει απομακρυσμένη βελτιστοποίηση έτσι ώστε οι υπολογιστικοί πόροι να οργανώνονται για μεγιστοποίηση του οφέλους προς το κόστος. Επειδή ο πάροχος του νέφους λειτουργεί με βάση το μοντέλο χρήσης, ο οργανισμός πελάτη πληρώνει μόνο για τους πόρους που χρησιμοποιεί όταν τους χρειάζεται.
- ✓ **Μειωμένος Χρόνος Εφαρμογής** :Σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον όπου η γρήγορη αξιολόγηση και ανάπτυξη νέων προσεγγίσεων είναι κρίσιμη, το νέφος προσφέρει τις συνθήκες να χρησιμοποιηθούν πανίσχυροι υπολογιστικοί πόροι σε σύντομο χρονικό διάστημα καθώς και μεγάλες ποσότητες από αποθήκευση χωρίς να απαιτείται σημαντική αρχική επένδυση σε εξοπλισμό, λογισμικό και προσωπικό. Η βελτιωμένη παράδοση υπηρεσιών που λαμβάνεται από την γρήγορη τροφοδότηση του νέφους βελτιώνει το χρόνο στην αγορά και την ανάπτυξη της αγοράς

### 1.13 Πάροχοι υπηρεσιών Cloud computing

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι οι οικονομίες που εξελίσσονται βάση στατιστικής πολυπλοκότητας και μαζικής αγοραστικής δύναμης απαιτούν την κατασκευή εξαιρετικά μεγάλων κέντρων δεδομένων (Datacenters). Η κατασκευή, ο σχεδιασμός, και η υλοποίηση μιας τέτοιων εγκαταστάσεων απαιτεί την δαπάνη πολλών χιλιάδων ή και εκατομμυρίων ευρώ σε κάποιες περιπτώσεις. Παρόλα αυτά λόγω της ραγδαίας αύξησης των υπηρεσιών Ιστού από το 2000 και μετά, πολλές μεγάλες εταιρίες, όπως οι Amazon, eBay, Google, Microsoft και άλλες, είχαν ήδη ξεκινήσει να φτιάχνουν τέτοιες εγκαταστάσεις. Αυτές οι επιχειρήσεις έπρεπε επίσης να αναπτύξουν εξελικτική υποδομή λογισμικού ,αλλά και να εξοπλίσουν τα Datacenters τους ενάντια στις πιθανές φυσικές και ηλεκτρονικές επιθέσεις.

Ένας απαραίτητος αλλά μη ικανοποιητικός όρος για μια επιχείρηση για να γίνει πάροχος υπολογιστικού νέφους είναι ότι πρέπει να έχει τις υπάρχουσες επενδύσεις όχι μόνο σε πολύ μεγάλα Datacenter, αλλά και σε μεγάλης κλίμακας υποδομή λογισμικού καθώς και τη λειτουργική πείρα που απαιτείται για να τα τρέξει. Λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους όρους, ποικίλοι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν αυτές τις επιχειρήσεις για να γίνουν πάροχοι υπολογιστικού νέφους:

- ✓ **Υπάρχουσα επένδυση**: Η προσθήκη υπηρεσιών νέφους πάνω από την υπάρχουσα υποδομή παρέχει ένα νέο ρεύμα εισοδήματος με χαμηλό επιπλέον κόστος, που βοηθά να αποσβέσει τις με άλλες επενδύσεις των Datacenters. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι πολλές τεχνολογίες του Amazon Web Services αναπτύχθηκαν αρχικά για εσωτερικές λειτουργίες της Amazon.

- ✓ **Πελατειακές σχέσεις:** Εταιρίες υπηρεσιών IT έχουν εκτενείς σχέσεις πελατών μέσω της προσφοράς των υπηρεσιών τους. Η παροχή μιας επώνυμης προσφοράς μιας λύσης υπολογιστικού νέφους δίνει σε εκείνους τους πελάτες μια δίχως ανησυχία πορεία μετανάστευσης που διατηρεί τις επενδύσεις αμφότερων των συμβαλλόμενων μερών στη σχέση πελατών.
- ✓ **Δημιουργία πλατφόρμας:** Με τη δημιουργία μιας πλατφόρμας ανάπτυξης μπορεί να εξασφαλίσει ένας πάροχος υπηρεσιών ότι θα τον επιλέξουν σαν βασικό πάροχο υπηρεσιών νέφους. πχ το κίνητρο του Facebook ήταν να καταστεί η εφαρμογή κοινωνικής δικτύωσής τους μια νέα πλατφόρμα ανάπτυξης.

### 1.14 Service-level agreement (SLA)

Προκειμένου να επιβιώσει στο σημερινό περιβάλλον ένας οργανισμός, πρέπει να είναι σε θέση να αναμένει το απροσδόκητο δεδομένου ότι υπάρχουν πάντα νέες, απρόβλεπτες προκλήσεις. Ο μόνος τρόπος να υπερνικηθούν με συνέπεια αυτές οι προκλήσεις είναι να δημιουργηθεί ένα ισχυρό αρχικό σύνολο βασικών κανόνων, και να συσταθεί από την αρχή ένα σχέδιο για πιθανές αποκλίσεις. Οι προκλήσεις μπορούν να προέλθουν από πολλά μέτωπα, όπως το δίκτυο, την ασφάλεια, την αποθήκευση, την επεξεργαστική ισχύ, τη βάση δεδομένων, τη διαθεσιμότητα λογισμικού ή ακόμα και τη νομοθεσία ή τις ρυθμιστικές αλλαγές.

Πρέπει λοιπόν η επιχείρηση ή ο οργανισμός προκειμένου να επιβιώσει να καθορίσει ένα σχέδιο για όταν πηγαίνουν άσχημα τα πράγματα, έτσι ώστε να διατηρείται ένα κατώτατο επίπεδο υπηρεσίας. Η σύσταση SLA είναι πολύ κρίσιμη για την ένταξη στην υποδομή του υπολογιστικού νέφους. Οι απαιτήσεις των καταναλωτών υπηρεσιών αποκλίνουν σημαντικά. Δεν είναι δυνατό να ικανοποιηθούν όλες οι καταναλωτικές προσδοκίες από την προοπτική των φορέων παροχής υπηρεσιών και ως εκ τούτου πρέπει να επιτευχθεί μια ισορροπία μέσω μιας διαδικασίας διαπραγμάτευσης. Το πώς να τιμολογήσουν (και πώς να διαπραγματευτούν και να αξιολογηθούν οι συμβάσεις υπολογισμού νέφους θα γίνει ένα τεράστιο ζήτημα κατά τη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας καθώς όλο και περισσότερες εταιρίες και κυβερνητικοί οργανισμοί μεταναστεύουν στο υπολογιστικό νέφος.

Οι όροι ενός συνδρομητή της υπηρεσίας για το νέφος καθορίζονται με μια δεσμευτική νομικά συμφωνία μεταξύ των δύο συμβαλλόμενων μερών που περιλαμβάνονται συχνά σε δύο μέρη: μια συμφωνία υπηρεσιών, και μια συμφωνία του επιπέδου των υπηρεσιών (SLA). Γενικά, η συμφωνία υπηρεσιών είναι ένα νομικό έγγραφο που διευκρινίζει τους κανόνες της νομικής σύμβασης μεταξύ ενός συνδρομητή και ενός παρόχου, και το SLA είναι ένα πιο σύντομο έγγραφο που δηλώνει τις τεχνικές υποσχέσεις απόδοσης που γίνονται από έναν πάροχο συμπεριλαμβανομένων των ανακάμψεων από αποτυχίες απόδοσης. . Για λόγους απλότητας, ο συνδυασμός αυτών των δύο εγγράφων αναφέρεται ως SLA. Τα υπογεγραμμένα SLAs μεταξύ των συνδρομητών και των παρόχων μπορούν κάλλιστα να τερματιστούν οποιαδήποτε στιγμή από το κάθε συμβαλλόμενο μέρος, καθένας για την δικιά του αιτία όπως μια παραβίαση πολιτικής από τους συνδρομητές για μη αποδεκτή χρήση του νέφους, ή για την ανικανότητα του συνδρομητή να πληρώσει κατά τρόπο έγκαιρο. Επιπρόσθετα, μια συμφωνία μπορεί να τερματιστεί και χωρίς κανέναν λόγο. Οι συνδρομητές πρέπει να αναλύουν τις πολιτικές λήξης και διατήρησης δεδομένων. Οι

υποσχέσεις των παρόχων, συμπεριλαμβανομένων των ρητών δηλώσεων σχετικά με τους περιορισμούς, κωδικοποιούνται στα SLAs τους.

➤ **Το SLA ενός παρόχου έχει τρία βασικά μέρη:**

- ✓ Μια συλλογή των υποσχέσεων που έκανε στους συνδρομητές.
- ✓ Μια συλλογή των υποσχέσεων που δεν γίνονται ρητά στους συνδρομητές.
- ✓ Ένα σύνολο υποχρεώσεων που οι συνδρομητές πρέπει να δεχτούν.

Τα επίπεδα υπηρεσιών, η ασφάλεια, η διακυβέρνηση, η συμμόρφωση, και οι προσδοκίες αξιοπιστίας της υπηρεσίας και του παρόχου ορίζονται βάσει του νόμου, ρυθμίζονται και επιβάλλονται, όταν προσφέρεται ένα SLA στον καταναλωτή. Υπάρχουν δύο τύποι SLA, τα διαπραγματεύσιμα και μη διαπραγματεύσιμα. Όταν δεν υφίσταται SLA, ο καταναλωτής διαχειρίζεται όλες τις πτυχές του νέφους. Όταν προσφέρεται ένα μη διαπραγματεύσιμο SLA, ο πάροχος διαχειρίζεται εκείνα τα τμήματα που ορίζονται στη συμφωνία. Στην περίπτωση PaaS ή IaaS, είναι συνήθως η ευθύνη των διαχειριστών του καταναλωτή να διαχειριστούν αποτελεσματικά τις υπόλοιπες υπηρεσίες που διευκρινίζονται στο SLA, με κάποιο όφει που αναμένεται από τον πάροχο για την ασφάλεια της πλατφόρμας και των συστατικών της υποδομής ώστε να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα και η ασφάλεια των υπηρεσιών. Πρέπει να είναι σαφές σε όλες τις περιπτώσεις ότι κάποιος μπορεί να ορίσει/μεταβιβάσει την ευθύνη αλλά όχι απαραίτητα την κυριότητα.

Οι πάροχοι υπηρεσιών cloud computing για να μπορέσουν να προωθήσουν τις υπηρεσίες τους στους χρήστες/ πελάτες προσπαθούν να τους εξασφαλίσουν και να τους πείσουν για τα εξής:

- ✓ **Λύσεις για περιορισμό της αποτυχίας.** Εάν ένας πάροχος αποτυγχάνει να δώσει την υποσχόμενη διαθεσιμότητα, τότε πρέπει να αντισταθμίσει τους συνδρομητές με μια πίστωση υπηρεσιών για μελλοντική χρήση των υπηρεσιών νέφους. Οι πιστώσεις υπηρεσιών μπορούν να υπολογιστούν με διαφορετικούς τρόπους, αλλά καθορίζονται συνήθως από το πόσο καιρό η υπηρεσία ήταν μη διαθέσιμη εντός μιας συγκεκριμένης περιόδου χρέωσης. Οι πιστώσεις υπηρεσιών καλύπτονται γενικά για να μην υπερβούν ένα ποσοστό των δαπανών ενός συνδρομητή στην περίοδο χρέωσης στην οποία ο χρόνος διακοπής εμφανίστηκε. Χαρακτηριστικά κυμαίνονται από 10 τοις εκατό ως 100 τοις εκατό των τρεχουσών δαπανών ενός συνδρομητή, ανάλογα με τον πάροχο. Η ευθύνη για μια πίστωση υπηρεσιών τοποθετείται γενικά στο συνδρομητή, ο οποίος πρέπει να παρέχει έγκαιρες πληροφορίες για τη φύση της διακοπής λειτουργίας και το χρονικό μήκος της διακοπής λειτουργίας. Είναι ασαφές εάν ένας πάροχος θα ενημερώσει εθελοντικά έναν συνδρομητή για μια διακοπή υπηρεσιών.
- ✓ **Διαθεσιμότητα.** Οι πάροχοι διαφημίζουν την υπόσχεση διαθεσιμότητας ως ποσοστό αδιάκοπης λειτουργίας (uptime) που κυμαίνεται από 99,5 τοις εκατό ως 100,0 τοις εκατό. Αυτές είναι μεγάλες αξιώσεις, και απαιτείται προσοχή για να γίνει κατανοητό το πώς υπολογίζονται αυτά τα ποσοστά. Συχνά, το ποσοστό ισχύει για τον αριθμό χρονικών διαστημάτων μέσα σε έναν κύκλο τιμολόγησης ή πιο μεγάλες περιόδους όπως ένα έτος, στις οποίες υπηρεσίες δεν παραμένουν αδιάκοπες για όλο το χρονικό διάστημα. Τα παραδείγματα χρονικών διαστημάτων που χρησιμοποιούνται από τους προμηθευτές είναι τα 5 λεπτά, 15 λεπτά, και 1 ώρα.

Γενικά, ο καθορισμός του uptime ορίζεται διαισθητικά ως η ανταπόκριση των υπηρεσιών, αλλά σε μερικές περιπτώσεις, πολλαπλά υποσυστήματα νέφους πρέπει να αποτύχουν προτού να κριθεί η υπηρεσία ως μη διαθέσιμη. Οι προμηθευτές μπορούν επίσης να περιορίσουν τις υποσχέσεις διαθεσιμότητας εάν οι αποτυχίες είναι συγκεκριμένες για συγκεκριμένες λειτουργίες ή εικονικές μηχανές (VMs).

- ✓ **Νομική μεταχείριση των πληροφοριών των συνδρομητών.** Γενικά, οι πάροχοι υπόσχονται να μην πωλήσουν, να μην χορηγήσουν άδεια, ή να αποκαλύψουν τα δεδομένα των συνδρομητών εκτός από περίπτωση νομικού αιτήματος. Οι πάροχοι, εντούτοις, συνήθως επιφυλάσσουν το δικαίωμα να ελεγχθούν οι ενέργειες συνδρομητών σε ένα νέφος, και μπορούν ακόμη και να απαιτήσουν ένα αντίγραφο του λογισμικού συνδρομητών για να βοηθήσουν σε εκείνο τον έλεγχο.
  - ✓ **Συντήρηση δεδομένων.** Εάν η πρόσβαση ενός συνδρομητή στις υπηρεσίες νέφους τερματίζεται για κάποιο λόγο, πχ επειδή ο συνδρομητής έχει παραβιάσει την αποδεκτή πολιτική χρήσης του νέφους ή λόγω μη πληρωμής, οι περισσότεροι πάροχοι δηλώνουν ότι δεν έχουν καμία υποχρέωση να συντηρήσουν οποιαδήποτε δεδομένα συνδρομητών που παραμένουν στην αποθήκευση του νέφους τους. Περαιτέρω, μετά από εθελοντική διακοπή ενός συνδρομητή από το νέφος, οι προμηθευτές γενικά δηλώνουν ότι δεν θα σβήσουν σκόπιμα τα δεδομένα συνδρομητών για μια περίοδο 30 ημερών. Μερικοί πάροχοι συντηρούν μόνο ένα τμήμα των δεδομένων των συνδρομητών, ή συστήνουν στους συνδρομητές: να κάνουν backup στο νέφος ενός άλλου παρόχου ή τοπικά.
- *Υπάρχουν και κάποιοι βασικοί περιορισμοί στις πολιτικές των Cloud providers, αυτές μπορούν να συνοψιστούν στις εξής:*
- ✓ **Αλλαγές SLA.** Οι πάροχοι διατηρούν γενικά το δικαίωμα να αλλάξουν τους όρους του SLA οποιαδήποτε στιγμή, και να αλλάξουν την τιμολόγηση με περιορισμένη προηγούμενη ειδοποίηση. Για τις τυποποιημένες αλλαγές SLA, η ειδοποίηση δίνεται γενικά από έναν πάροχο με ανάρτησή της σε έναν ιστοχώρο. Είναι έπειτα ευθύνη του συνδρομητή να ελέγχει περιοδικά τον ιστοχώρο για τις αλλαγές. Οι αλλαγές μπορούν να εφαρμοστούν αμέσως ή μετά από μια καθυστέρηση αρκετών εβδομάδων. Για τις αλλαγές που έχουν επιπτώσεις στον απολογισμό ενός μεμονωμένου συνδρομητή, η ειδοποίηση μπορεί να παραδοθεί μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή μιας υπηρεσίας παράδοσης.
  - ✓ **Ασφάλεια.** Οι πάροχοι γενικά βεβαιώνουν ότι δεν είναι αρμόδιοι για την ασφάλεια, δηλαδή για, αναρμόδια τροποποίηση ή κοινοποίηση των δεδομένων συνδρομητών, ή για τις διακοπές υπηρεσιών που προκαλούνται από την κακόβουλη δραστηριότητα. Σε μερικές περιπτώσεις, οι πάροχοι υπόσχονται βέλτιστες προσπάθειες να προστατεύσουν τα δεδομένα των συνδρομητών, αλλά όλοι οι πάροχοι αποκηρύσσουν την ευθύνη ασφάλειας για την παραβίαση δεδομένων, την απώλεια δεδομένων, ή τις διακοπές υπηρεσιών. Περαιτέρω, είναι ασαφές το κατά πόσο θα ήταν εύκολο για έναν συνδρομητή να καθορίσει ότι μια διακοπή υπηρεσιών προκλήθηκε κακόβουλα ή προκλήθηκε για κάποιο άλλο λόγο.
  - ✓ **Προγραμματισμένες διακοπές λειτουργίας.** Εάν ένας πάροχος αναγγέλλει μια σχεδιασμένη διακοπή λειτουργίας υπηρεσιών, η διακοπή λειτουργίας δεν μετρά ως αποτυχία. Για μερικούς προμηθευτές, οι διακοπές λειτουργίας πρέπει να αναγγελθούν εκ των προτέρων, ή πρέπει να είναι οριακές στη διάρκεια.



- ✓ **Γεγονότα ανωτέρας βίας.** Οι πάροχοι αποκηρύσσουν γενικά όλη την ευθύνη για τα γεγονότα που υπερβαίνουν το ρεαλιστικό έλεγχό τους. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τις διακοπές ρεύματος, τις φυσικές καταστροφές, και τις αποτυχίες στη συνδετικότητα δικτύων μεταξύ των συνδρομητών και των παρόχων.
- ✓ **Αλλαγές στα API υπηρεσιών.** Οι πάροχοι διατηρούν γενικά το δικαίωμα να αλλάξουν ή να διαγράψουν APIs των υπηρεσιών οποιαδήποτε στιγμή.
- ✓ **Εξουσιοδοτημένο λογισμικό.** Όλοι οι πάροχοι δηλώνουν ότι το λογισμικό τρίτων που τρέχει στα σύννεφά τους πρέπει να προσαρμοστεί στους όρους αδειών του λογισμικού. Σε μερικές περιπτώσεις, οι προμηθευτές συσσωρεύουν τέτοιο λογισμικό και διενεργούν έλεγχο για να εξασφαλίσουν ότι οι περιορισμοί που ορίζονται στις άδειες επιβάλλονται.

### 1.15 Διαχείριση των SLAs στο Cloud Computing (CSM- Cloud SLA Management)

Η διαχείριση των SLA στο νέφος (Cloud SLA Management - CSM) έγκειται στο να ελέγξει τη χρήση και την παραλαβή των πόρων από και προς τρίτους. Η στρατηγική CSM περιλαμβάνει τη διαπραγμάτευση της σύμβασης και τον έλεγχο της πραγματοποίησής της σε πραγματικό χρόνο. Κατά συνέπεια, το CSM καλύπτει τον καθορισμό συμβάσεων SLA (βασικό σχήμα μέσα στις παραμέτρους της QoS), τη διαπραγμάτευση SLA, την εποπτεία του SLA, και την επιβολή του SLA. Επίσης το CSM έχει ανάγκη να καθοριστούν οι μειώσεις και οι εκπτώσεις που εφαρμόζονται όταν ένας φορέας παροχής υπηρεσιών αποτυγχάνει να συναντήσει τις επιθυμητές παραμέτρους υπηρεσιών ή δεν εκπληρώνει μια συμφωνία.

#### ➤ *Οι απαιτήσεις στο CSM είναι οι ακόλουθες:*

- ✓ **Διαπραγμάτευση.** Ο πελάτης υπηρεσιών και οι φορείς παροχής υπηρεσιών πρέπει να συμφωνήσουν σχετικά με τους όρους του SLA που τους δεσμεύουν και επίσης με τις συνέπειες στις παραβιάσεις.
- ✓ **Παρακολούθηση.** Μόλις αρχίσει το σύστημα νέφους την πρόσβαση στους πόρους του, πρέπει να ελέγξει/παρακολουθήσει τους λειτουργούντες πόρους. Οι πληροφορίες από την παρακολούθηση χρησιμοποιούνται έπειτα για να αποδείξουν ότι το QoS που συμφωνείται μέσα στο SLA ικανοποιείται.
- ✓ **Προδιαγραφή προτύπων SLA.** Όταν ο φορέας παροχής υπηρεσιών δημοσιεύει μια νέα υπηρεσία, ένα πρότυπο SLA που περιγράφει τον τύπο συμβάσεων που πηγαίνει με τη χρήση των πόρων θα πρέπει να διευκρινιστεί. Ένα τέτοιο πρότυπο μπορεί είναι δύσκολο να καθοριστεί. Προτείνεται έτσι η ανάπτυξη ενός σκελετού προτύπου με την αντίστοιχη διαδικασία σύνταξης.
- ✓ **Βελτιστοποίηση των πόρων.** Όταν το SLA επεξεργάζεται το αίτημα πρόσβασης υπηρεσιών από τον πελάτη υπηρεσιών, πρέπει επίσης να λάβει υπόψη τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων, και το QoS που εγγυάται στο SLA.
- ✓ **Επαναδιαπραγμάτευση.** Κάποιο συμβαλλόμενο μέρος της σύμβασης μπορεί να επιθυμήσει να αλλάξει την πολιτική χρήσης των πόρων ενώ το σύστημα τρέχει, προκειμένου να συμμορφωθεί με μια αλλαγή στους εξωτερικούς όρους. Προκειμένου να διατηρηθεί συνεχής η συμπεριφορά της διαδικασίας, το

συμφωνηθέν SLA χρειάζεται αναρρύθμιση για να εξασφαλιστεί η ζωτικότητα της διαδικασίας μετά από την έλλειψη μετανάστευσης των πόρων.

- ✓ **Λογιστική.** Η χρήση ενός πόρου παράγει ένα λογιστικό φύλλο που περιγράφει τους χρησιμοποιούμενους πόρους και τους ευθυγραμμίζει με τους κανόνες τιμολόγησης που συμφωνούνται στο SLA. Αυτό είναι μια βάση για τη σύνταξη της πραγματικής οικονομικής συναλλαγής, η οποία μπορεί να είναι στη δυσμένεια του προμηθευτή σε περίπτωση αποτυχίας να συμμορφωθεί με το συμφωνημένο QoS. Αυτό το θέμα είναι πολύ ευαίσθητο, και η ανάπτυξη εργαλείων για ένα τέτοιο θέμα θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν.
- ✓ **Αξιολόγηση.** Οι διευθυντές και οι χρήστες εκτός από τις τρέχουσες πληροφορίες ενδιαφέρονται και για άλλα δεδομένα όπως τις παραβιάσεις των συμβάσεων ή τις καθολικές στατιστικές που απαιτούνται επίσης προκειμένου να ελέγξουν το SLA. Η αξιολόγηση είναι η διαδικασία ελέγχου των προηγούμενων πληροφοριών που προέκυψαν από τον έλεγχο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ CLOUDSIM ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ

### 2.1 Εισαγωγή στο CloudSim

Το CloudSim είναι μια εξειδικευμένη εργαλειοθήκη προσομοίωσης και μοντελοποίησης με την οποία μπορούμε να προσομοιώσουμε και να μελετήσουμε τόσο την υποδομή όσο και τις υπηρεσίες συστημάτων υπολογιστικών νεφών και μεγάλων κέντρων δεδομένων.

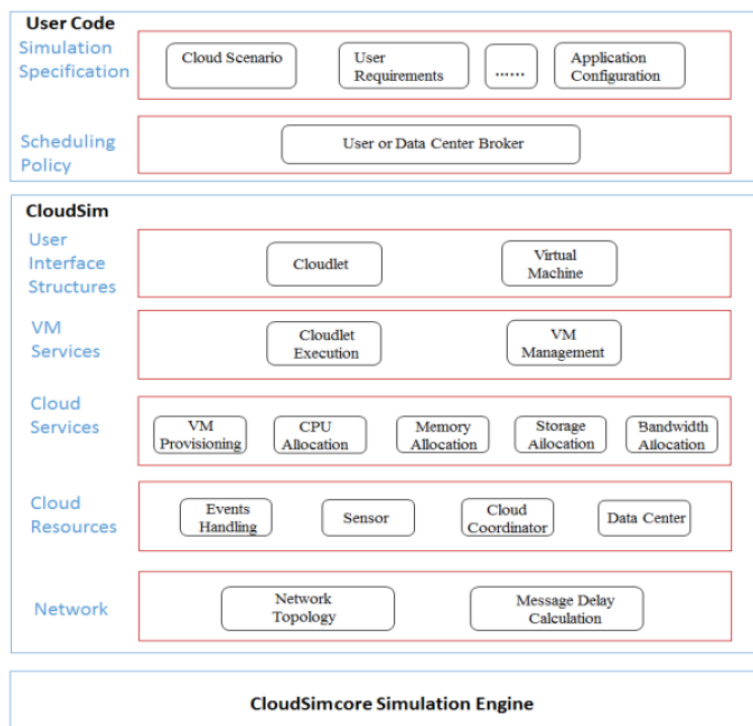
Οι βιβλιοθήκες του CloudSim είναι σε γλώσσα Java. Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήσαμε τους αλγόριθμους ενεργειακής κατανάλωσης για μεγάλα κέντρα δεδομένων. Για την μελέτη χρησιμοποιήθηκε το CloudSim 3.0.3 στο περιβάλλον eclipse. Το CloudSim, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μας παρέχει εργαλεία και βιβλιοθήκες με τα οποία μπορούμε να περιγράψουμε ολοκληρωμένα συστήματα υπολογιστικών νεφών και κέντρων δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα μας παρέχει τις βασικές κλάσεις για την περιγραφή κέντρων δεδομένων, εικονικών μηχανών, εφαρμογών, υπολογιστικών πόρων καθώς και πολιτικές διαχείρισης.

Με την χρήση αυτών των εργαλείων μπορούμε να μελετήσουμε σενάρια για την ενεργειακή κατανάλωση των κέντρων δεδομένων καθώς και να βγουν πολύτιμα συμπεράσματα σχετικά με το κόστος των κέντρων αυτών. Επίσης μπορούν να υλοποιηθούν νέοι αλγόριθμοι ενεργειακής κατανάλωσης και με τη χρήση του CloudSim να γίνει η σχετική μελέτη για το κατά πόσο ένα κέντρο δεδομένων μπορεί να επιτύχει υψηλές επιδώσεις, με ελαχιστοποίηση των παραβιάσεων των SLAs και με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση.

Παρόλο που το CloudSim είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την μοντελοποίηση και προσομοίωση συστημάτων υπολογιστικών νεφών, έχει κάποιους περιορισμούς. Πρώτον είναι ένα εργαλείο το οποίο απαιτεί την γνώση προγραμματισμού java, καθώς χρειάζεται η συγγραφή κώδικα για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιες από τις βιβλιοθήκες του. Επιπλέον οι δυνατότητές του μερικές φορές είναι περιορισμένες για αυτό χρειάζονται κάποιες επεκτάσεις, όπως για παράδειγμα το Cloud Analyst το οποίο αναπτύχθηκε ως επέκταση του CloudSim με σκοπό την διευκόλυνση της προσομοίωσης και μοντελοποίησης περίπλοκων σεναρίων χωρίς να χρειάζεται να εστιάζουμε στη χρήση κώδικα.

## 2.2 Η αρχιτεκτονική του CloudSim

Στην επόμενη εικόνα μπορούμε να δούμε την αρχιτεκτονική του CloudSim, παρατηρούμε τα ανώτερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής του καθώς και τις λειτουργίες που εκτελούνται στο κάθε επίπεδο.



Εικόνα 3 Αρχιτεκτονική του CloudSim

Στο κατώτερο επίπεδο έχουμε την μηχανή προσομοίωσης γεγονότων (event simulation engine) η οποία είναι υπεύθυνη για την εφαρμογή των κυρίων λειτουργιών που απαιτούνται για τις λειτουργίες των ανωτέρω επιπέδων προσομοίωσης όπως η επεξεργασία γεγονότων, η δημιουργία των συστατικών του συστήματος (υπηρεσίες, διακομιστές, κέντρο δεδομένων, διαμεσολαβητής (Broker), εικονικές μηχανές), η επικοινωνία όλων αυτών των συστατικών και η διαχείριση του ρολογιού προσομοίωσης (simulation clock). Επίσης σε αυτό το επίπεδο συμπεριλαμβάνονται βιβλιοθήκες που υποστηρίζουν υψηλού επιπέδου συστατικά λογισμικού για την μοντελοποίηση πολλαπλών υποδομών υπολογιστικών νεφών, όπως δίκτυα και τις σχετικές πολιτικές τους, πόρους του συστήματος και υπηρεσίες πληροφοριών.

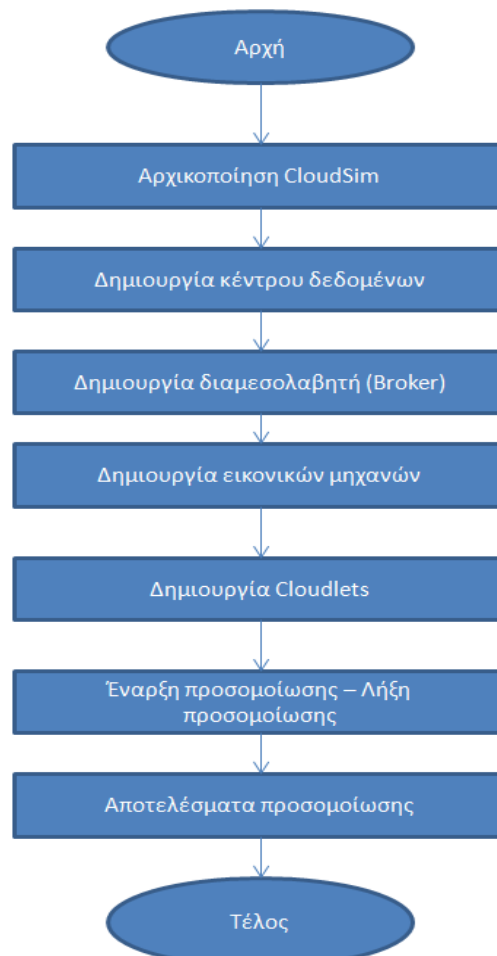
Στο επόμενο επίπεδο έχουμε το CloudSim Layer το οποίο είναι υπεύθυνο για την διαχείριση όλων των συστατικών από τα οποία αποτελούνται οι υποδομές συστημάτων υπολογιστικών νεφών, όπως πόρους, εύρος ζώνης και διαχείριση εικονικών μηχανών. Πιο συγκεκριμένα σε αυτό το επίπεδο συμπεριλαμβάνονται, η διεπαφή χρήστη η οποία διαχειρίζεται τα cloudlets και τις εικονικές μηχανές (VMs), η υπηρεσία εικονικής μηχανής (VM services) η οποία διαχειρίζεται την λειτουργία της εκτέλεσης των cloudlets και των εικονικών μηχανών, οι υπηρεσίες νεφών (Cloud services) οι οποίες είναι υπεύθυνες για την παροχή των εικονικών μηχανών και την κατανομή της μνήμης, της CPU, του αποθηκευτικού χώρου και του εύρους ζώνης. Επιπλέον έχουμε τους πόρους (Cloud resources) όπου γίνεται

η διαχείριση συμβάντων και η διαχείριση και ο συντονισμός των πόρων για τα κέντρα δεδομένων. Τέλος στο επίπεδο συμπεριλαμβάνονται οι λειτουργίες που είναι υπεύθυνες για τη διαχείριση του δικτύου καθώς και για την τοπολογία του δικτύου.

Το ανώτερο επίπεδο της αρχιτεκτονικής του CloudSim είναι το User Code Layer. Στο επίπεδο αυτό γίνεται η βασική διαμόρφωση που σχετίζεται με τις λειτουργίες των διακομιστών (αριθμός μηχανών, προδιαγραφές τους), τις εφαρμογές (προσδιορισμός των λειτουργιών τους και οι απαιτήσεις τους), τις λειτουργίες των εικονικών μηχανών, τον αριθμό των χρηστών καθώς και τον τύπο των εφαρμογών τους και τέλος τον προγραμματισμό των πολιτικών του διαμεσολαβητή (Broker Scheduling Policies).

### 2.3 Κύκλος ζωής προσομοίωσης στο CloudSim

Η διαδικασία της προσομοίωσης στο περιβάλλον του CloudSim έχει κάποια βήματα τα οποία φαίνονται στην εικόνα .



Εικόνα 4 Κύκλος ζωής προσομοίωσης στο CloudSim

Για να μπορέσουμε να τρέξουμε μια προσομοίωση στο περιβάλλον του CloudSim θα πρέπει να ακολουθήσουμε μια σειρά βημάτων για να μπορέσουμε να ορίσουμε τα συστατικά του συστήματος που θέλουμε να μοντελοποιήσουμε. Κάποια από αυτά τα συστατικά είναι το κέντρο δεδομένων, οι διακομιστές, οι εικονικές μηχανές, τα Cloudlets, οι διαμεσολαβητές. Πριν την προσομοίωση θα πρέπει να έχουμε ορίσει τις παραμέτρους σε κάθε ένα από αυτά καθώς και τους πόρους που θα χρησιμοποιηθούν από το κάθε ένα.

Πιο αναλυτικά όταν χρειάζεται να τρέξουμε μια προσομοίωση στο CloudSim θα πρέπει να ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα:

- ✓ Δήλωση της λίστας με τα Cloudlet.
- ✓ Δήλωση της λίστας των εικονικών μηχανών (VMs).
- ✓ Δημιουργία μιας αποθήκης για την αποθήκευση της λίστας των εικονικών μηχανών η οποία λίστα περνάει στον broker αργότερα.
- ✓ Καθορισμός των παραμέτρων των εικονικών μηχανών (VMs).
- ✓ Δημιουργία των εικονικών μηχανών (VMs).
- ✓ Δημιουργία μιας αποθήκης για τα Cloudlets.
- ✓ Καθορισμός των παραμέτρων των Cloudlets.
- ✓ Καθορίζουμε τον ιδιοκτήτη των Cloudlets.
- ✓ Αφού δώσουμε αυτές τις παραμέτρους δηλώνουμε την main class.
- ✓ Αρχικοποιούμε το πακέτο CloudSim.
- ✓ Δημιουργούμε κέντρα δεδομένων.
- ✓ Δημιουργία broker.
- ✓ Δημιουργία εικονικών μηχανών VMs και Cloudlets.
- ✓ Αποστολή των VMs και Cloudlets στο broker.
- ✓ Έναρξη της προσομοίωσης.
- ✓ Εκτύπωση των αποτελεσμάτων όταν τελειώσει η προσομοίωση.

Τα παρακάτω βήματα χρειάζονται για την δημιουργία κέντρων δεδομένων:

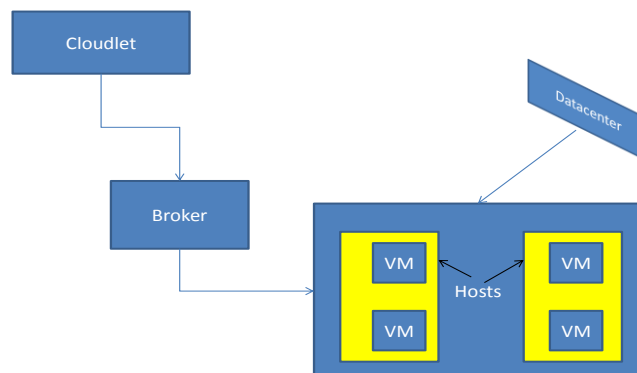
- ✓ Δημιουργία λίστας για την αποθήκευση μιας ή περισσότερων μηχανών.
- ✓ Μια μηχανή περιέχει μια ή περισσότερες μονάδες επεξεργασίας CPUs ή PEs οπότε θα χρειαστεί να δημιουργήσουμε μια λίστα για να μπορέσουμε να τα αποθηκεύσουμε.
- ✓ Δημιουργούμε PEs και τα προσθέτουμε σε λίστα.
- ✓ Δημιουργούμε παρόχους (Hosts) με το id τους και τις λίστες με τα PEs και τα προσθέτουμε αυτά σε λίστες μηχανημάτων.
- ✓ Δημιουργούμε αντικείμενα τα οποία προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά των κέντρων δεδομένων και στα οποία βρίσκονται αποθηκευμένες οι ιδιότητές τους.
- ✓ Τέλος δημιουργούμε ένα αντικείμενο που προσδιορίζει την ενέργεια ενός κέντρου δεδομένων.

Αυτά τα βήματα είναι απαραίτητα για να μπορέσουμε να υλοποιήσουμε τα δικά μας σενάρια ολοκληρωμένων υποδομών συστημάτων υπολογιστικών νεφών και με τη βοήθεια του CloudSim να τρέξουμε αυτά τα σενάρια για να πάρουμε μετρήσεις και να μελετήσουμε την συμπεριφορά του συστήματός μας. Στη συγκεκριμένη εργασία δεν θα εστιάσουμε στην

υλοποίηση τέτοιων σεναρίων αλλά στην μελέτη της ενεργειακή κατανάλωσης μελετώντας και τρέχοντας με τη βοήθεια του CloudSim αλγόριθμους ενεργειακής απόδοσης.

## 2.4 Τα βασικά συστατικά του CloudSim

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει για να μπορέσουμε να προσομοιώσουμε την υποδομή ενός συστήματος υπολογιστικών νεφών θα πρέπει να προσδιορίσουμε πρώτα τα βασικά συστατικά του, δηλαδή τα μέρη που το αποτελούν όπως για παράδειγμα διακομιστές, εικονικές μηχανές κτλ. , και να προσδιορίσουμε τους πόρους και τις παραμέτρους αυτών. Όλα αυτά τα συστατικά μπορούμε να τα βρούμε και να τα ορίσουμε στις βιβλιοθήκες του CloudSim. Στην εικόνα μπορούμε να δούμε τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούν τα βασικά συστατικά του CloudSim, βλέπουμε ότι στο κέντρο δεδομένων φιλοξενούνται οι διακομιστές και μέσα στους διακομιστές φιλοξενούνται οι εικονικές μηχανές. Ο διαμεσολαβητής (Broker) είναι αυτός που μεταφέρει τα Cloudlets και τα κατανέμει μέσα στις εικονικές μηχανές. Παρακάτω αναλύονται τα βασικά συστατικά του CloudSim.



Εικόνα 5 Τρόπος λειτουργίας των συστατικών του CloudSim

### ✓ Διακομιστής (Host):

Ο διακομιστής είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση ενεργειών που σχετίζονται με την διαχείριση των εικονικών μηχανών όπως για παράδειγμα η δημιουργία ή η καταστροφή τους. Αναπαριστά έναν φυσικό εξυπηρετητή με συγκεκριμένους υπολογιστικούς πόρους. Ένας φυσικός εξυπηρετητής μπορεί να φιλοξενεί μια ή περισσότερες εικονικές μηχανές και ο ίδιος φιλοξενείται σε ένα κέντρο δεδομένων. Επιπλέον έχει συγκεκριμένες πολιτικές διαχείρισης και διαμοιρασμού των πόρων του όπως για παράδειγμα της μνήμης καθώς και πολιτικές διαμοιρασμού των προς επεξεργασία στοιχείων (Processing Elements, Pe's) στις εικονικές μηχανές που φιλοξενεί.

Όπως αναφέραμε ένας διακομιστής αναπαριστά έναν φυσικό εξυπηρετητή, κατά συνέπεια έχει προμηθευτές (provisioners). Κάθε προμηθευτής αντιπροσωπεύει έναν πόρο του διακομιστή και ένα χρονοδιάγραμμα της εικονικής μηχανής το οποίο είναι υπεύθυνο για τον διαμοιρασμό των πόρων στις εικονικές μηχανές που βρίσκονται στον συγκεκριμένο διακομιστή. Επιπλέον η κατανάλωση ενέργειας του διακομιστή μπορεί να εκτιμηθεί από ένα μοντέλο ενέργειας. Τέλος κάθε διακομιστής είναι υπεύθυνος για την αναβάθμιση της

κατανομής των πόρων και της διανομής τους σε κάθε εικονική μηχανή που φιλοξενείτε σε αυτόν.

✓ **Κέντρα Δεδομένων (Datacenters):**

Τα κέντρα δεδομένων είναι οι πάροχοι των υπολογιστικών πόρων, είναι μεγάλες εγκαταστάσεις οι οποίες φιλοξενούν υπολογιστικά συστήματα μεγάλης ισχύος, εξυπηρετητές, αποθηκευτικά υπολογιστικά συστήματα και οτιδήποτε σχετίζεται με αυτά και μπορεί να τα υποστηρίξει. Επιπλέον τα κέντρα δεδομένων αποτελούνται από πολύπλοκες συνδέσεις δικτύωσης, μηχανήματα για την τροφοδοσία τους με ενέργεια καθώς και με περιβαλλοντικά συστήματα ελέγχου και προηγμένα συστήματα ασφάλειας.

Στην εργαλειοθήκη του CloudSim τον ρόλο του κέντρου δεδομένων θα τον συναντήσουμε σαν κλάση της Java. Χρειαζόμαστε το λιγότερο ένα κέντρο δεδομένων για να μπορέσουμε να τρέξουμε την προσομοίωση. Τα κέντρα δεδομένων φιλοξενούν τους διακομιστές και κάθε διακομιστής φιλοξενεί τις εικονικές μηχανές.

✓ **Cloudlets:**

Τα Cloudlets αναπαριστούν εφαρμογές οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν σε μια εικονική μηχανή. Κάθε cloudlet έχει ένα μέγεθος εκτέλεσης της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας του και ένα μέγεθος εκτέλεσης του αποθηκευτικού του χώρου τα οποία μετριοούνται σε MIPS και IOPS αντίστοιχα. Ο αριθμός MIPS (millions instructions per second) είναι μια γενική μονάδα μέτρησης της υπολογιστικής απόδοσης η οποία δηλώνει το συνολικό έργο που μπορεί να εκτελέσει ένα μεγάλο υπολογιστικό σύστημα. Για μεγάλους εξυπηρετητές αυτή η μονάδα μέτρησης είναι χρήσιμη καθώς μας επιτρέπει να μετρήσουμε το κόστος της υπολογιστικής διεκπεραίωσης.

✓ **Εικονική Μηχανή (Virtual Machine):**

Μια εικονική μηχανή αναπαριστά ένα εικονικό υπολογιστικό σύστημα με τα ίδια χαρακτηριστικά ενός πραγματικού υπολογιστικού συστήματος. Μια εικονική μηχανή μπορεί να εκτελέσει ακριβώς τις ίδιες λειτουργίες με αυτές που εκτελεί μια πραγματική μηχανή. Αποτελείτε από λειτουργικό σύστημα, έναν ή περισσότερους επεξεργαστές, μνήμη και αποθηκευτικό χώρο.

Στη εργαλειοθήκη του CloudSim η κλάση μιας εικονικής μηχανής που τρέχει μέσα σε έναν διακομιστή μοιράζεται μια λίστα με τους διακομιστές και με τις άλλες εικονικές μηχανές. Κάθε εικονική μηχανή εκτελεί Cloudlets τα οποία εκτελούνται σύμφωνα με μια συγκεκριμένη πολιτική η οποία καθορίζεται από το Cloudlet scheduler. Επιπλέον κάθε εικονική μηχανή έχει έναν ιδιοκτήτη ο οποίος μπορεί να καθορίζει την εκτέλεση των Cloudlets στην κάθε μηχανή.

✓ **Διαμεσολαβητής (Broker):**

Ο διαμεσολαβητής (Broker) είναι μια εφαρμογή λογισμικού που διευκολύνει την κατανομή των υπηρεσιών μεταξύ των διαφορετικών διακομιστών υπολογιστικών νεφών. Αλλιώς μπορούμε να τον δούμε με την ονομασία Cloud Agent.



## ✓ Προμηθευτές (Provisioners):

Ο βασικός ρόλος των προμηθευτών (provisioners) είναι να παρέχουν τους απαραίτητους πόρους στο υπολογιστικό σύστημα. Παρέχουν την λειτουργικότητα σε κάθε διακομιστή να διανέμει ή να καταργεί συγκεκριμένους πόρους σε κάθε εικονική μηχανή. Επιπλέον παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το αν κάποιος διακομιστής είναι κατάλληλος για να φιλοξενήσει μια εικονική μηχανή, τους διαθέσιμους πόρους του και τους πόρους που έχουν διατεθεί σε κάθε εικονική μηχανή. Μπορούμε να δούμε τέσσερις τύπους provisioners: network bandwidth provisioner, processing elements provisioner (PE), ram provisioners and storage IO provisioners.

## 2.5 Τεχνικές διαχείρισης εικονικών μηχανών στο CloudSim

Το CloudSim είναι ένα αρκετά δημοφιλές εργαλείο για τους ερευνητές καθώς το χρησιμοποιούν για να αξιολογούν τους αλγορίθμους διαχείρισης των εικονικών μηχανών καθώς και την ενεργειακή απόδοση των κέντρων δεδομένων. Το βασικό θέμα που μελετάμε για την ενεργειακή απόδοση είναι ο τρόπος λειτουργίας των εικονικών μηχανών και πως αυτές ανακατανέμονται στον κάθε διακομιστή, κατά συνέπεια αυτό που μας ενδιαφέρει εξίσου είναι το πότε ένας διακομιστής είναι υπέρ – χρησιμοποιημένος και πότε είναι υπό – χρησιμοποιημένος. Ο βασικός ρόλος των αλγορίθμων ενεργειακής απόδοσης είναι να ανιχνεύσουν τους υπέρ και υπό χρησιμοποιημένους διακομιστές και στη συνέχεια να ανακατανέμουν τις εικονικές μηχανές που βρίσκονται σε αυτούς με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση και να διασφαλίζεται ότι δεν θα έχουμε παραβιάσεις των SLAs.

Υπάρχουν δυο τρόποι προσέγγισης για τον εντοπισμό των υπέρ και υπό χρησιμοποιούμενων διακομιστών. Αυτοί είναι:

- ✓ Adaptive utilization threshold
- ✓ Non – threshold based algorithm

Πίνακας 3 Αλγόριθμοι εντοπισμού υπέρ/υπό χρησιμοποιούμενων διακομιστών

Αλγόριθμος	Τρόπος προσέγγισης	Παράμετρος ασφαλείας
Median Absolute Deviation (MAD)	Adaptive utilization threshold	2.5
Interquartile Range (IQR)	Adaptive utilization threshold	1.5
Local Regression (LR)	Non-threshold	1.2
Robust Local Regression (LRR)	Non-threshold	1.2

Οι αλγόριθμοι εντοπισμού των υπέρ και υπό χρησιμοποιούμενων διακομιστών που θα τρέξουμε στον προσομοιωτή CloudSim και θα αναλύσουμε τα αποτελέσματά τους είναι οι Dvfs, Median Absolute Deviation (MAD), Interquartile Range (IQR), Local Regression (LR) και Robust Local Regression (LRR).

- ✓ **Dynamic voltage-frequency scaling (Dvfs):** Ο αλγόριθμος Dvfs δεν επιδρά σε άλλα συστατικά ενός συστήματος παρά μόνο στην CPU. Η εξοικονόμηση ενέργειας χρησιμοποιώντας αυτόν τον αλγόριθμο βασίζεται στην λογική ότι η κατανάλωση ενέργειας σε ένα κύκλωμα CMOS έχει άμεση σχέση με την συχνότητα και την τάση τροφοδοσίας. Έτσι ο χρόνος εκτέλεσης και η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να ελεγχθεί εναλλάσσοντας τις συχνότητες και τις τάσεις ενός επεξεργαστή.
- ✓ **Median Absolute Deviation (MAD):** Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο MAD μπορούμε να βρούμε το ανώτατο όριο των δεδομένων μελετώντας την στατιστική διασπορά τους. Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα με τη μορφή ποσοστού επί της εκατό (%) της CPU που χρησιμοποιείται από τις εικονικές μηχανές. Για παράδειγμα αν υποθέσουμε ότι έχουμε ένα σύνολο δεδομένων  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ . Αν το σύνολο δεδομένων είναι περιττός αριθμός τότε η μέση τιμή είναι ο ενδιάμεσος αριθμός. Αν το σύνολο των δεδομένων είναι ζυγός αριθμός τότε η μέση τιμή είναι ο μέσος όρος των δυο ενδιάμεσων τιμών. Ο αλγόριθμος MAD πραγματοποιεί ταξινόμηση των δεδομένων κατά αύξουσα σειρά,  $X_1 < X_2 < \dots < X_n$ , έτσι η μέση τιμή υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\text{Med} = \text{median} ( \{X_1, X_2, \dots, X_n\} )$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται η απόλυτη διαφορά μεταξύ του κάθε στοιχείου και της διαθέσιμης μέσης τιμής των δεδομένων. Αυτή μπορεί να δηλωθεί ως  $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$  και η ταξινόμηση γίνεται κατά αύξουσα σειρά. Τέλος ο αλγόριθμος MAD υπολογίζεται για τα δεδομένα όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\text{MAD} = \text{median} ( \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\} )$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται το ανώτατο όριο των δεδομένων σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$T_u = 1 - s \text{ MAD}$$

Όπου  $s$  είναι μια παράμετρος ασφαλείας. Πρόκειται για προσαρμοσμένες τιμές για τη συγκεκριμένη μέθοδο βάσει της πειραματικής προσέγγισης. Για τον συγκεκριμένο αλγόριθμο (MAD) η τιμή είναι 2.5. Αν η χρησιμοποίηση του διακομιστή υπερβεί το ανώτατο όριο τότε ο διακομιστής υπέρ – χρησιμοποιείται

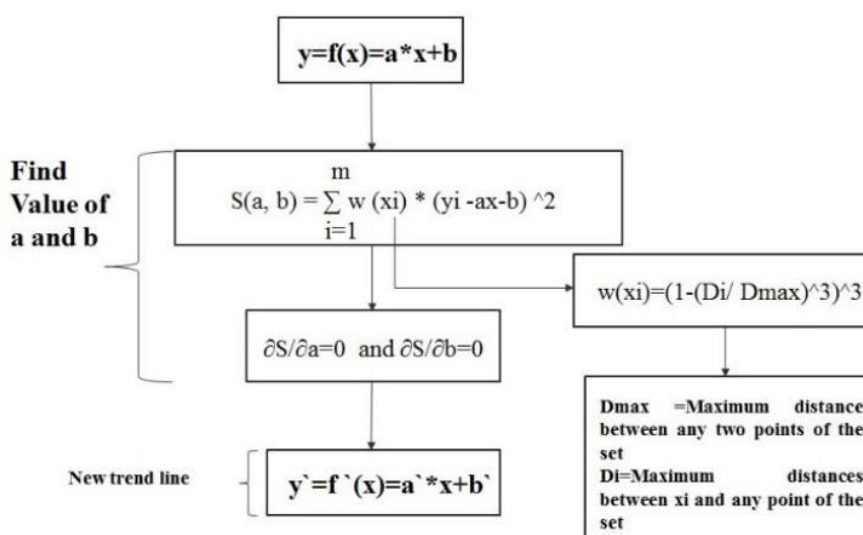
- ✓ **Interquartile Range (IQR):** Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο IQR μπορούμε να βρούμε το μέτρο της στατιστικής διασποράς των δεδομένων. Ο αλγόριθμος αυτός ονομάζεται και middle fifty ή midspersed. Ο IQR ισούται με τη διαφορά μεταξύ του ανώτερου και κατώτερου τεταρτημόριου,  $\text{IQR} = Q_3 - Q_1$  όπου  $Q_1$  και  $Q_3$  είναι το 25<sup>ο</sup> εκατοστημόριο και 75<sup>ο</sup> εκατοστημόριο αντίστοιχα ενός

ταξινομημένου σετ δεδομένων. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος βρίσκει το ανώτερο όριο (upper threshold) του διακομιστή με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$Tu = 1 - s \text{ IQR}$$

όπου  $s$  είναι η παράμετρος ασφαλείας που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 1.5. Όπως αναφέρθηκε και για τον προηγούμενο αλγόριθμο η παράμετρος ασφαλείας είναι μια προσαρμοσμένη τιμή για την κάθε περίπτωση η οποία στηρίζεται στην πειραματική προσέγγιση.

- ✓ **Local Regression (LR):** Ο αλγόριθμος LR δεν χρησιμοποιείται όπως οι προηγούμενοι αλγόριθμοι. Πρόκειται για έναν non-threshold αλγόριθμο συνεπώς δεν περιλαμβάνει κάποιο σετ δεδομένων με βάση το ανώτερο όριο. Ο αλγόριθμος LR χρησιμοποιεί τα ιστορικά δεδομένα χρησιμοποίησης ενός διακομιστή τα οποία έχουν προσδιοριστεί σε κάθε χρονικό πλαίσιο (time frame). Στην γραμμική άλγεβρα η παλινδρόμηση (regression) είναι η συσχέτιση μεταξύ δυο μεταβλητών, στην συγκεκριμένη περίπτωση οι μεταβλητές αυτές είναι ο χρόνος και το ποσοστό χρησιμοποίησης της CPU από τις εικονικές μηχανές για κάθε χρονική περίοδο. Ας υποθέσουμε ότι μπορούμε να αναπαραστήσουμε την γραμμική εξίσωση του συνόλου των δεδομένων με βάση την εξίσωση  $y = a * x + b$  όπου  $a$  και  $b$  ανήκουν στους πραγματικούς αριθμούς. Το πώς λειτουργεί ο αλγόριθμος LR παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής της εικόνας 6.



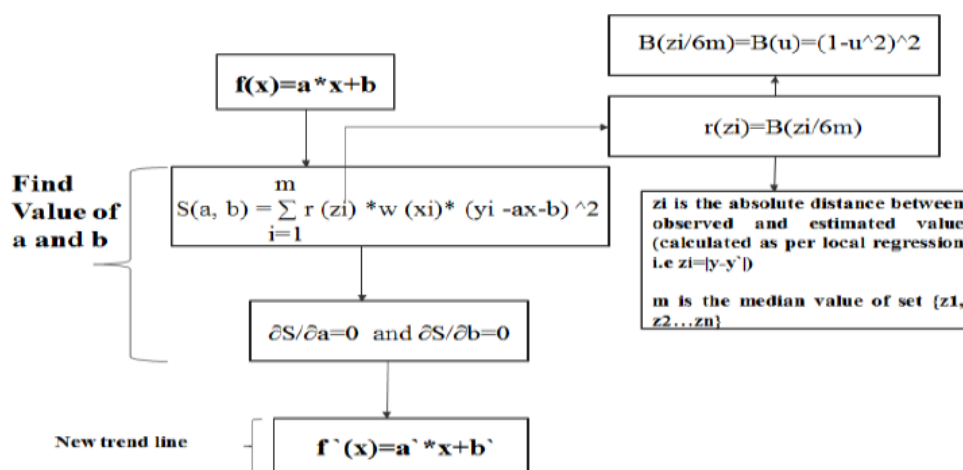
Εικόνα 6 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου LR

Η ευθεία γραμμή που προκύπτει από την γραμμική εξίσωση χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της επόμενης παρατήρησης  $f(x_{n+1})$ . Η προβλεπόμενη χρησιμοποίηση του διακομιστή για το επόμενο χρονικό πλαίσιο (time frame)  $x_{n+1}$  μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$Pu = s * f(x_{n+1})$$

όπου  $s$  είναι η παράμετρος ασφαλείας με τιμή 1.2 για την συγκεκριμένη περίπτωση. Αν  $P_u > 1$  ο διακομιστής είναι υπέρ – χρησιμοποιημένος αλλιώς είναι υπό – χρησιμοποιημένος.

- ✓ **Robust Local Regression (LRR):** Ο αλγόριθμος LRR είναι μια διαφορετική έκδοση του LR, η λειτουργία του είναι λίγο διαφορετική από τον LR. Τον τρόπο λειτουργίας του μπορούμε να τον δούμε στο διάγραμμα ροής της εικόνα 7.



Εικόνα 7 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου LRR

Και σε αυτόν τον αλγόριθμο η ευθεία γραμμή που προκύπτει από τη γραμμική εξίσωση χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της επόμενης παρατήρησης  $f(x_{n+1})$ . Η προβλεπόμενη χρησιμοποίηση του διακομιστή για το επόμενο χρονικό πλαίσιο μπορεί να υπολογιστεί και εδώ όπως ακριβώς υπολογίστηκε και για τον αλγόριθμο LR.

Για να μπορέσουμε όμως να μιλήσουμε για τις πολιτικές επιλογής και κατανομής των εικονικών μηχανών θα πρέπει αρχικά να προσδιοριστούν κάποιες μεταβλητές πριν τρέξουν οι αλγόριθμοι στον προσομοιωτή (CloudSim). Υποθέτουμε ότι υπάρχουν  $P$  διακομιστές στα κέντρα δεδομένων, δηλώνουμε τον  $i$  διακομιστή ως  $L_i$  και τον αριθμό των εικονικών μηχανών στον  $L_i$  ως  $Q_i$ . Στην συνέχεια ορίζουμε την  $j$  εικονική μηχανή στον διακομιστή  $L_i$  ως  $S_{ij}$  και την χρησιμοποίηση της CPU για την  $S_{ij}$  σε χρόνο  $t$  ως  $u_{ij,t}$  (η χρησιμοποίηση πρέπει να είναι από 0 έως 1). Επιπλέον ορίζουμε τον αριθμό των time frames για κάθε εικονική μηχανή (VM) ως  $p$ .

Αν ένας διακομιστής είναι υπέρ – χρησιμοποιημένος τότε κάποιες εικονικές μηχανές θα πρέπει να μεταναστεύσουν σε άλλους διακομιστές όπου υπό – χρησιμοποιούνται χωρίς να προκαλέσουν παραβιάσεις των SLAs. Υπάρχουν τέσσερις πολιτικές μετανάστευσης των εικονικών μηχανών, αυτές είναι:

- ✓ **Minimum Utilization Policy:** Η πολιτική αυτή (MU) είναι μια απλή μέθοδος επιλογής εικονικών μηχανών από υπέρ – χρησιμοποιημένους διακομιστές. Σε αυτή την πολιτική μεταναστεύει η εικονική μηχανή  $Q_i$  που έχει την ελάχιστη χρησιμοποίηση μέσα σε έναν διακομιστή  $L_i$ . Αν μετά την μετανάστευση ο

διακομιστής εξακολουθεί να είναι υπέρ – χρησιμοποιημένος η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου δεν είναι.

- ✓ **Random Choice Policy:** Στην πολιτική RC από τις εικονικές μηχανές  $Q_i$  που βρίσκονται σε έναν διακομιστή  $L_i$  επιλέγονται τυχαία κάποιες από αυτές για μετανάστευση. Αν ο διακομιστής εξακολουθεί μετά την μετανάστευση να υπέρ – χρησιμοποιείται η διαδικασία επαναλαμβάνεται.
- ✓ **Minimum Migration Time:** Στην πολιτική MMT μεταναστεύει μια εικονική μηχανή  $Q_i$  που βρίσκεται σε έναν διακομιστή  $L_i$  όταν έχει τον ελάχιστο χρόνο μετανάστευσης. Ο ελάχιστος χρόνος μετανάστευσης ορίζεται ως το ποσό της μνήμης RAM που χρησιμοποιείται από την εικονική μηχανή διαιρεμένο με το διαθέσιμο εφεδρικό εύρος ζώνης για τον διακομιστή  $L_i$ .
- ✓ **Maximum Correlation Policy:** Στην πολιτική MC μεταναστεύει μια εικονική μηχανή  $S_{ij}$  που βρίσκεται σε έναν διακομιστή  $L_i$ , όπου η χρησιμοποίηση του  $u_{ij,t}$  έχει τον μέγιστο συντελεστή συσχέτισης με το άθροισμα των άλλων εικονικών μηχανών στον διακομιστή  $L_i$ , το βήμα επαναλαμβάνεται έως ότου ο διακομιστής να μην υπέρ – χρησιμοποιείται. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της χρησιμοποίησης  $S_{ij}$  και του αθροίσματος των άλλων εικονικών μηχανών στον διακομιστή  $L_i$  μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση 1:

Εξίσωση 1

$$\rho_j = \frac{E[(u_{ij,t-1} / p \sum_{t=1}^p u_{ij,t})(U_{ij,t-1} / p \sum_{t=1}^p U_{ij,t})]}{\sqrt{S(u_{ij,t})} * \sqrt{S(U_{ij,t})}}$$

Όπου  $U_{ij,t}$  και  $S(u_{ij,t})$  εκφράζονται στις ακόλουθες εξισώσεις 2 και 3 αντίστοιχα:

Εξίσωση 2

$$U_{ij,t} = \sum_{q=1}^{j-1} u_{iq,t} + \sum_{j+1}^{Q_i} u_{iq,t}$$

Εξίσωση 3

$$S(u_{ij,t}) = E[(u_{ij,t} - 1/p \sum_{t=1}^p u_{ij,t})^2]$$

Τον μέγιστο συντελεστή συσχέτισης μπορούμε να τον υπολογίσουμε από την ακόλουθη εξίσωση 4:

Εξίσωση 4

$$\rho_{\max} = \max(\{\rho_1^2, \rho_j^2, \dots, \rho_{Q_i}^2\})$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

### 3.1 Ανίχνευση υπό – χρησιμοποιημένων/υπέρ – χρησιμοποιημένων διακομιστών και ανακατανομή εικονικών μηχανών

Η ανίχνευση και η επιλογή των υπέρ – χρησιμοποιούμενων και υπό – χρησιμοποιούμενων διακομιστών είναι μια βασική προϋπόθεση για να μπορέσουμε να καθορίσουμε τον χρόνο μετανάστευσης μιας εικονικής μηχανής. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την ανίχνευση των υπέρ και υπό χρησιμοποιούμενων διακομιστών όπως οι Median Absolute Deviation, Interquartile Range , Local Regression.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των διακομιστών είναι η απόδοση της CPU η οποία μετριέται σε MIPS (Millions Instructions Per Second), η μνήμη RAM, ο αποθηκευτικός χώρος του δίσκου και το εύρος ζώνης του δικτύου (bandwidth). Κάθε διακομιστής μπορεί να εξυπηρετεί αρκετές εικονικές μηχανές (Virtual Machines) και κάθε εικονική μηχανή εκτελεί διάφορες λειτουργίες, όλα αυτά μετρώνται σε millions of instructions (MI).

Οι ακόλουθες λειτουργίες χαρακτηρίζουν έναν διακομιστή σύμφωνα με την χρησιμοποίησή του, αυτές είναι οι: namely overutilized, properly-utilized, underutilized. Overutilized χαρακτηρίζονται οι διακομιστές όπου η χρησιμοποίησή τους είναι μεγαλύτερη από το ανώτερο όριο, πχ ξεπερνάει το 90%, καθώς και αυτοί που είναι πιθανό να έχουν μια παραβίαση των SLAs ακόμα και αν δεν ξεπερνάνε το ανώτατο όριο χρησιμοποίησης.

Οι διακομιστές με χρησιμοποίηση κάτω του επιθυμητού ορίου, πχ 30%, χαρακτηρίζονται σαν underutilized. Τέλος οι διακομιστές όπου η χρησιμοποίησή τους είναι ανάμεσα στα επιθυμητά όρια, δηλαδή ανάμεσα σε 30% - 90%, χαρακτηρίζονται ως properly utilized. Οι ανενεργοί διακομιστές είναι αυτοί όπου έχουν μηδενική χρήση της CPU και μπορούν να απενεργοποιηθούν.

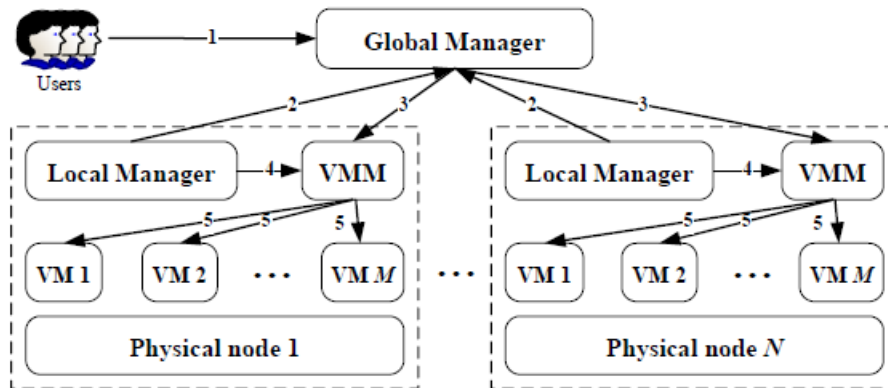
Προκειμένου να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση και οι παραβιάσεις των SLAs, οι εικονικές μηχανές ανακατανέμονται ανάλογα με τους τρέχον πόρους που έχουν ζητηθεί. Όταν η χρήση ενός διακομιστή ξεπερνάει το ανώτερο όριο (upper threshold) που έχουμε ορίσει, τότε θα πρέπει να αναδιαμορφωθεί και κάποιες από τις εικονικές μηχανές του ή όλο το σύνολο των εικονικών μηχανών του θα πρέπει να ανακατανεμηθούν σε διακομιστές που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ή που είναι σε αδράνεια.

Αφού ολοκληρωθεί η επιλογή του διακομιστή που είναι υπέρ – χρησιμοποιημένος, το επόμενο βήμα είναι η πολιτική που θα επιλέξουμε για την επιλογή των εικονικών μηχανών που θα ανακατανεμηθούν. Υπάρχουν διάφορες πολιτικές επιλογής VM όπως Minimum Migration Time Policy, Maximum Correlation Policy, Random Choice Policy.

Το ζητούμενο είναι να καθοριστεί μια κατάλληλη πολιτική με κριτήρια που θα βελτιστοποιούν την επιλογή των εικονικών μηχανών και την ανακατανομή τους, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι παραβιάσεις των SLAs αλλά και η ενεργειακή κατανάλωση.

### 3.2 Ενεργειακό μοντέλο και σύστημα

Το ενεργειακό μοντέλο του συστήματος είναι ένα IaaS περιβάλλον το οποίο αντιπροσωπεύεται από ένα κέντρο δεδομένων μεγάλης κλίμακας το οποίο αποτελείται από  $N$  ετερογενή φυσικούς κόμβους όπως παρουσιάζεται στην εικόνα



Εικόνα 8 Ενεργειακό μοντέλο και σύστημα

Στον κύριο κόμβο του συστήματος έχουμε τον Global Manager ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη συλλογή στατιστικών στοιχείων από τους τοπικούς διαχειριστές (Local managers) και την αξιοποίηση των πόρων του συστήματος. Επιπλέον ο Global Manager είναι υπεύθυνος για την τοποθέτηση των VMs με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο.

Ο διαχειριστής εικονικών μηχανών (VMM, Virtual Machine Manager), καθορίζει τις ενεργειακές λειτουργίες του κάθε κόμβου και εκτελεί την λειτουργία της μετανάστευσης των εικονικών μηχανών.

### 3.3 Σχετική έρευνα

Πολλές ερευνητικές εργασίες στην παγκόσμια βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί στην δυναμική ενοποίηση των εικονικών μηχανών προσπαθώντας όχι μόνο να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας αλλά και να κρατήσουν την απόδοση του συστήματος σε υψηλά επίπεδα.

Ο Guerout et al. έχει παρουσιάσει μια σύγκριση ανάμεσα σε ενέργειο-κεντρικές προσομοιώσεις και πραγματικών πειραμάτων, χρησιμοποιώντας δυναμική τάση και το μοντέλο κλιμάκωσης συχνότητας (DVFS). Το DVFS μπορεί να έχει διαφορετικές εφαρμογές σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα. Ειδικά στο λειτουργικό σύστημα Linux, το DVFS μπορεί να έχει πέντε διαφορετικά μοντέλα υλοποίησης: Επιδόσεων, εξοικονόμησης ενέργειας, χώρου χρηστών (UserSpace) και κατά παραγγελία (On demand). Κάθε λειτουργία συνδέεται με έναν κυβερνήτη (governor) προκειμένου να αποφασίσει πότε θα αυξηθεί ή θα μειωθεί η συχνότητα του επεξεργαστή και τον προσομοιωτή CloudSim ο οποίος χρησιμοποιείται για να επικυρώσει την λειτουργία της ενεργειακής κατανάλωσης.

Οι Beloglazon και Buyya προτείνανε και αξιολογήσανε μια αποτελεσματική πολιτική διαχείρισης πόρων για εικονικά κέντρα δεδομένων υπολογιστικών νεφών. Με συνεχείς ενοποίηση των εικονικών μηχανών, μόχλευση των μεταναστεύσεων και απενεργοποίηση των αδρανών κόμβων προσπάθησαν να ελαχιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας, καθώς παρείχαν αξιόπιστη ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Η αξιολόγηση αυτού του σχήματος

έδειξε ότι με δυναμική ανακατανομή των εικονικών μηχανών μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Ο Buyya et al. πραγματοποίησε μια έρευνα στην ενεργειακή απόδοση στα υπολογιστικά νέφη. Έθεσε τις αρχιτεκτονικές αρχές για την αποδοτική ενεργειακή διαχείριση των νεφών, τις πολιτικές για την αποδοτική ενεργειακή κατανομή των πόρων και των αλγορίθμων προγραμματισμού σχετικά με τις προσδοκίες του QoS και τα ενεργειακά χαρακτηριστικά της χρήσης των συσκευών. Το έργο αυτό είναι εξίσου σημαντικό τόσο για τους παρόχους υπολογιστικών νεφών όσο και για τους καταναλωτές. Η εργαλειοθήκη του CloudSim χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της ενεργειακής κατανάλωσης που εξοικονομήθηκε.

Οι Beloglazov και Buyya εισήγαγαν μια νέα τεχνική για δυναμική ενοποίηση των εικονικών διασφαλίζοντας παράλληλα τις συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών (SLA). Βασισμένοι στο μοντέλο Markov chain, για οποιοδήποτε γνωστό στατικό workload και μια δεδομένη κατάσταση παραμετροποίησης, η προσέγγισή τους λύνει το πρόβλημα της υπερφόρτωσης της ανίχνευσης των παρόχων κάτω από τους στόχους του συγκεκριμένου QoS.

Ο Beloglazov et al. βασισμένος στην ανάλυση ιστορικών δεδομένων από την χρησιμοποίηση των πόρων των εικονικών μηχανών, παρουσίασε προσαρμοστικά heuristics (adaptive heuristics) για δυναμική ενοποίηση των εικονικών μηχανών. Χρησιμοποίησαν στατιστικές μεθόδους για να προσδιορίσουν την υπέρ-εκμετάλλευση (over utilized) και υπό-εκμετάλλευση (under utilized) των παρόχων, σε συνδυασμό με τις πολιτικές επιλογής εικονικών μηχανών (VM selection policies) για μετανάστευση και χρησιμοποιώντας το workload από το PlanetLab. Με βάση τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ο αλγόριθμος LrMmt (Local Regression Minimum migration time) υπερτερεί των άλλων προτεινόμενων λόγω του μειωμένου αριθμού των εικονικών μηχανών που μεταναστεύουν και των χαμηλών επιπέδων παραβιάσεων του SLA.

Ο Nai-Wei Lo et al. πρότεινε ένα μηχανισμό παροχής εικονικών μηχανών λαμβάνοντας υπόψη την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης πληρώντας τις προϋποθέσεις του QoS υπό τους όρους του SLA. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, το σχήμα που προτείνει είναι πολύ αποδοτικό όσον αφορά την χρήση της CPU και παράγει λιγότερο αριθμό μετανάστευσης εικονικών μηχανών σε σύγκριση με τους υφιστάμενους μηχανισμούς πρόβλεψης όπως είναι ο LrMmt. Ωστόσο δεν είναι τόσο ενεργειακά αποδοτικό όσο ο LrMmt ο οποίος επιτυγχάνει λιγότερο αριθμό μεταναστεύσεων εικονικών μηχανών, λιγότερες παραβιάσεις του SLA και μεγαλύτερη χρησιμοποίηση CPU ανά πάροχο (host).



### 3.4 Ανάλυση και αποτελέσματα προσομοίωσης, παράμετροι και μεταβλητές μέτρησης της ενεργειακής απόδοσης

Για να μπορέσουμε να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση πήραμε μετρήσεις για την ενεργειακή απόδοση, τον συνολικό αριθμό των εικονικών μηχανών που μετανάστευσαν σε άλλους διακομιστές, το συνολικό ποσοστό της παραβίασης του SLA, τον συνολικό αριθμό των διακομιστών που τέθηκαν σε κατάσταση απενεργοποίησης καθώς και το ESV. Στη συνέχεια περιγράφονται οι παράμετροι αυτοί.

- ✓ **Συνολική ενεργειακή κατανάλωση:** Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση είναι το ποσό της ενέργειας που καταναλώθηκε από τους φυσικούς πόρους ενός κέντρου δεδομένων.

Η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E = \int_{t_0}^{t_1} P(U(T)) dt$$

Όπου  $U(t)$  είναι η χρησιμοποίηση της CPU ως συνάρτηση του χρόνου.

- ✓ **Παραβίαση του SLA:** Η παραβίαση του SLA παρουσιάζεται όταν μια εικονική μηχανή δεν εκπληρώνει τις προϋποθέσεις που ορίζονται στο QoS (Quality of Services). Για παράδειγμα παραβίαση του SLA έχουμε όταν η διαθέσιμη χωρητικότητα της CPU μιας εικονικής μηχανής, δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του συστήματος λόγω της ζήτησης επιπλέον υπολογιστικής ισχύς.

Η παραβίαση του SLA (SLAV) υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$SLAV = SLATAH * PDM$$

Όπου

$$SLATAH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{T_{s_i}}{T_{a_i}} \text{ και } PDM = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \frac{C_{d_j}}{C_{r_j}}$$

- Η μέτρηση SLATAH (SLAV time per active host) είναι το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο ένας ενεργός διακομιστής χρησιμοποιείται στο 100%.
- Όταν μια εικονική μηχανή είναι έτοιμη να μεταναστεύσει σε άλλον διακομιστή, οι εφαρμογές που τρέχουν σε αυτήν παρουσιάζουν μειωμένη απόδοση. Την απόδοση αυτή την υπολογίζουμε με τη μέτρηση PDM (Performance Degradation duo to Migration).
- ✓ **Συνολικός αριθμός VMs που μετανάστευσαν:** Για να μπορέσει να καθοριστεί η δυναμική μετανάστευση των VMs θα πρέπει αρχικά να καθοριστούν οι υπέρ – χρησιμοποιούμενοι και οι υπό – χρησιμοποιούμενοι διακομιστές, στη συνέχεια θα γίνει η επιλογή των VMs που θα μεταναστεύσουν. Αρκετά σημαντικό είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου μετανάστευσης των VMs και ένας τρόπος για να το πετύχουμε αυτό είναι να μειώσουμε τον συνολικό αριθμό μετανάστευσης των VMs.

- ✓ **ESV:** Η μέτρηση ESV ορίζεται ως το γινόμενο της ενεργειακής κατανάλωσης και της παραβίασης του SLA. Στόχος των συστημάτων διαχείρισης ενεργειακής κατανάλωσης είναι η ελαχιστοποίηση των δύο αυτών παραμέτρων.

$$ESV = Energy * SLAV$$

### 3.5 Σύγκριση των αλγορίθμων Dvfs, IqrMmt, ThrMmt, LrMmt, LrrMmt, MadMmt, NonPowerAware

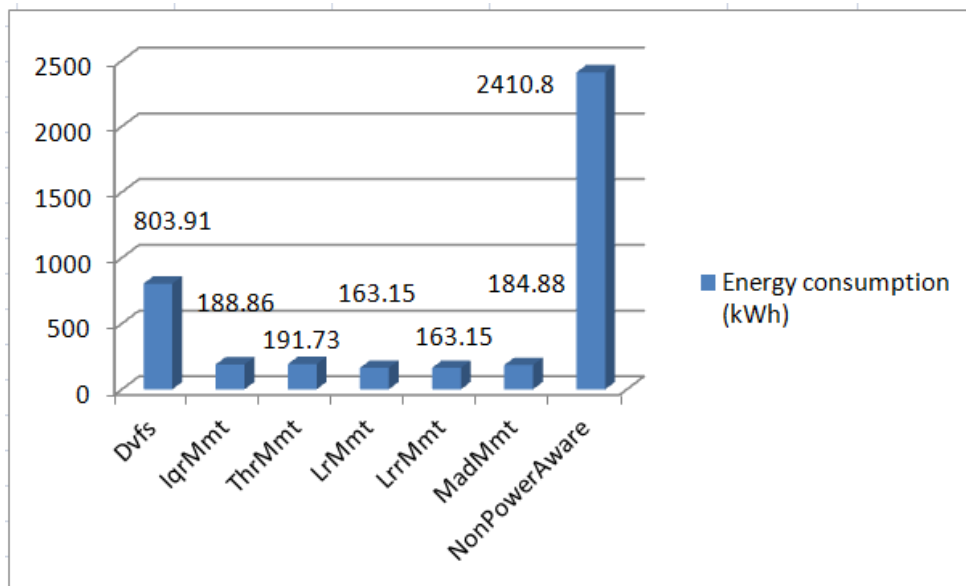
Στην ενότητα αυτή θα συγκρίνουμε τους αλγόριθμους Dvfs, IqrMmt, ThrMmt, LrMmt, LrrMmt, MadMmt και NonPowerAware εξετάζοντας δώδεκα παραμέτρους. Θα μελετήσουμε και θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα από τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις αλλάζοντας τον αριθμό των VM, ο αριθμός των διακομιστών παραμένει σταθερός (800 hosts) και στις τέσσερις περιπτώσεις.

- ✓ Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για 1052 VMs

Πίνακας 4 Σύγκριση των αλγορίθμων ενεργειακής απόδοσης για 1052 εικονικές μηχανές

Parameters	Dvfs	IqrMmt	ThrMmt	LrMmt	LrrMmt	MadMmt	NonPowerAware
Number of hosts	800	800	800	800	800	800	800
Number of VMs	1052	1052	1052	1052	1052	1052	1052
Total simulation time (sec)	86400	86400	86400	86400	86400	86400	86400
Energy consumption (kWh)	803.91	188.86	191.73	163.15	163.15	184.88	2410.8
Number of VM migrations	0	26476	26634	27632	27632	26292	0
SLA (%)	0.00%	0.00315%	0.00324%	0.00463%	0.00463%	0.00331%	0.00000%
SLA perf degradation due to migration (%)	0.00%	0.06%	0.07%	0.08%	0.08%	0.07%	0.00%
SLA time per active host (%)	0.00%	4.96%	4.95%	5.84%	5.84%	5.03%	0.00%
Overall SLA violation (%)	0.00%	0.07%	0.07%	0.14%	0.14%	0.08%	0.00%
Average SLA violation (%)	0.00%	9.98%	10.14%	9.60%	9.60%	10.18%	0.00%
Number of host shutdowns	457	5827	5863	5023	5023	5759	457
Mean time before a VM migration (sec)	NaN	13.85	13.97	15.47	15.47	13.9	NaN
ESV (%)	0.00%	13,22 %	13,42 %	22,84 %	22,84 %	14,79 %	0.00%

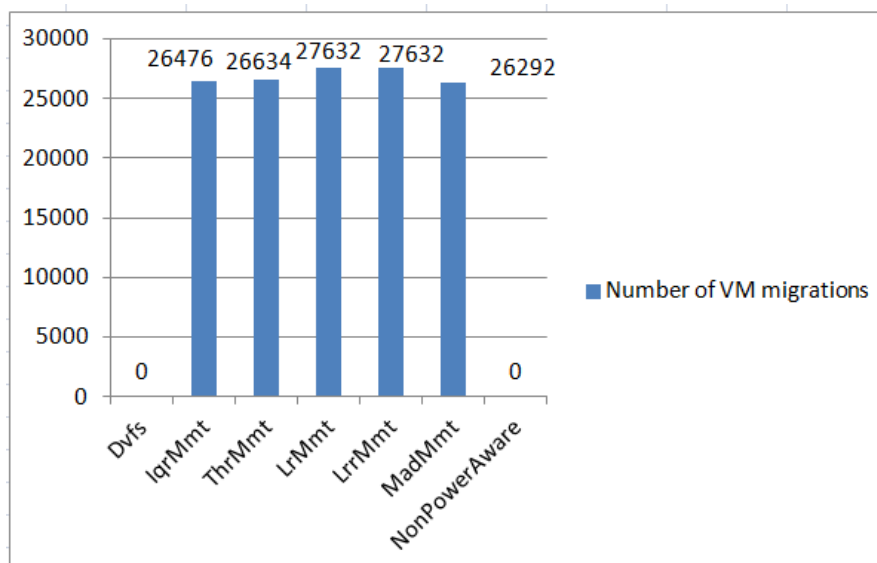
Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρατηρούμε ότι την λιγότερη ενεργειακή κατανάλωση την παρουσιάζει ο αλγόριθμος LrMmt. Ο αλγόριθμος Dvfs έχει τον μικρότερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών αλλά παρουσιάζει μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση ενώ ο αλγόριθμος ThrMmt παρουσιάζει την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση. Στην εικόνα 9 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής κατανάλωσης.



Εικόνα 9 Ενεργειακή κατανάλωση (kWh) για 1052 VMs

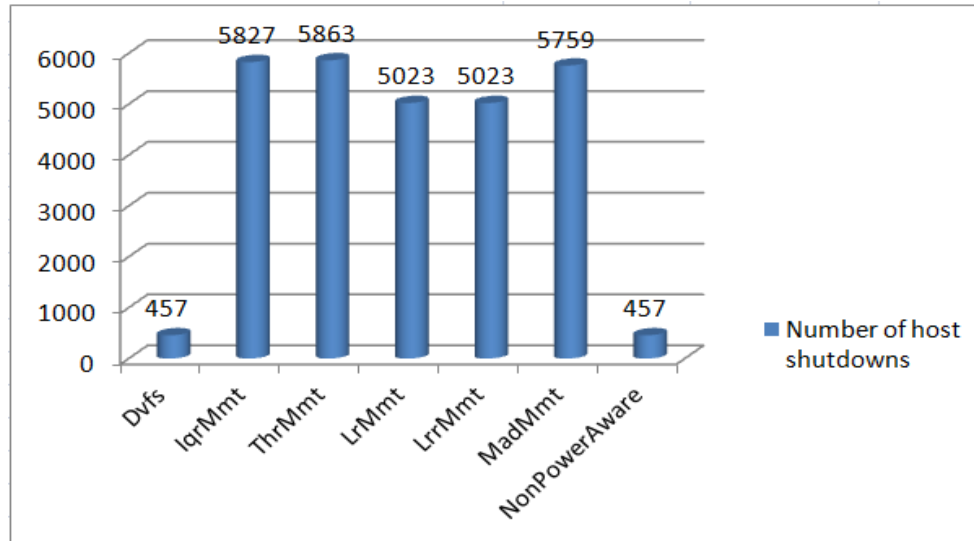
Όπως παρατηρούμε και στη γραφική παράσταση όταν δεν εφαρμόζουμε κάποιον αλγόριθμο η ενεργειακή κατανάλωση είναι τεράστια. Οι αλγόριθμοι LrMmt και LrrMmt παρουσιάζουν την μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση με 163.15 kWh. Μετά ακολουθεί ο MadMmt με 184.88 kWh και ο IqrMmt με 188.86 kWh. Ο αλγόριθμος με την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση συγκριτικά με τους άλλους είναι ο ThrMmt με 191.73 kWh.

- ✓ Στις εικόνες 10 και 11 παρουσιάζονται ο αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε και ο αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν αντίστοιχα.



Εικόνα 10 Αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε (σενάριο 1052 VMs)

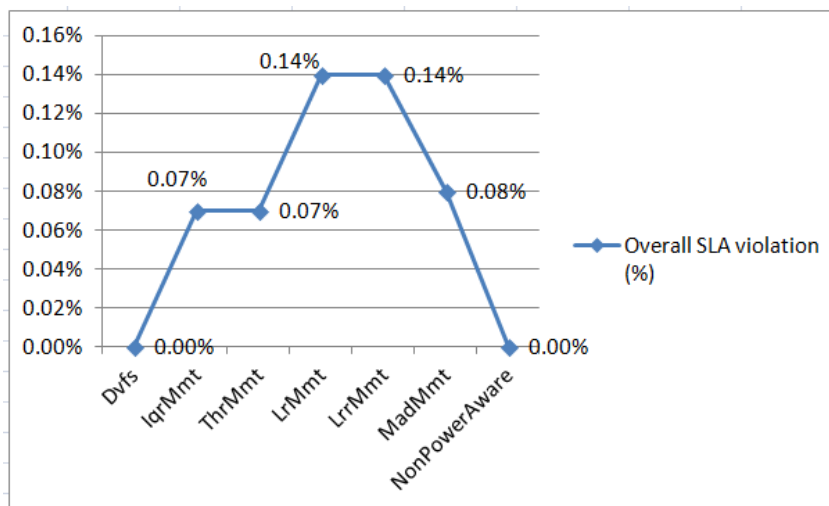
Όπως παρατηρούμε από την γραφική παράσταση ο μεγαλύτερος αριθμός μεταναστεύσεων εικονικών μηχανών παρατηρείται στον αλγόριθμο LrMmt και LrrMmt 27632 μεταναστεύσεις εικονικών μηχανών. Μετά ακολουθεί ο ThrMmt με 26634 και ο IqrMmt με 26476. Ο αλγόριθμος με τον μικρότερο αριθμό μεταναστεύσεων εικονικών μηχανών είναι ο MadMmt με 26292.



Εικόνα 11 Αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν (σενάριο 1052 VMs)

Από την γραφική παράσταση παρατηρούμε ο αλγόριθμος με τον μικρότερο αριθμό διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν είναι ο LrMmt και LrrMmt με 5023 και οι δυο. Μετά ακολουθεί ο MadMmt με 5759 και στη συνέχεια οι ThrMmt και IqrMmt με 5863 και 5827 αντίστοιχα. Τον μικρότερο αριθμό απενεργοποιήσεων τον έχει ο Dvfs με 457.

- ✓ Στην εικόνα 12 απεικονίζεται η παράμετρος Overall SLA violation.



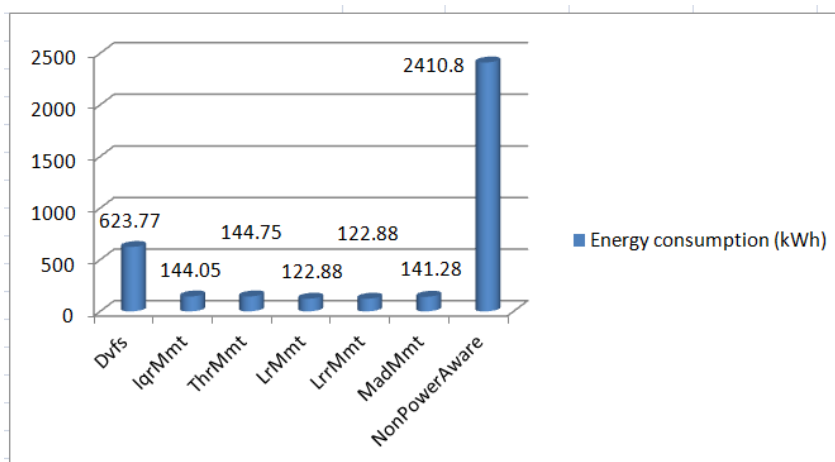
Εικόνα 12 Overall SLA violation (1052 VMs)

- ✓ Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για 898 VMs

Πίνακας 5 Σύγκριση των αλγορίθμων ενεργειακής απόδοσης για 898 εικονικές μηχανές

Parameters	Dvfs	IqrMmt	ThrMmt	LrMmt	LrrMmt	MadMmt	NonPowerAware
Number of hosts	800	800	800	800	800	800	800
Number of VMs	898	898	898	898	898	898	898
Total simulation time (sec)	86400	86400	86400	86400	86400	86400	86400
Energy consumption (kWh)	623.77	144.05	144.75	122.88	122.88	141.28	2410.8
Number of VM migrations	0	20879	20640	20297	20297	21111	0
SLA (%)	0.00000%	0.00351%	0.00353%	0.00439%	0.00439%	0.00378%	0.00000%
SLA perf degradation due to migration (%)	0.00%	0.07%	0.07%	0.07%	0.07%	0.07%	0.00%
SLA time per active host (%)	0.00%	5.08%	5.08%	5.86%	5.86%	5.23%	0.00%
Overall SLA violation (%)	0.00%	0.08%	0.08%	0.14%	0.14%	0.09%	0.00%
Average SLA violation (%)	0.00%	10.17%	10.13%	9.63%	9.63%	10.05%	0.00%
Number of host shutdowns	545	4715	4650	3944	3944	4663	545
Mean time before a VM migration (sec)	4104.32	14.19	14.27	15.4	15.4	14.31	NaN
ESV (%)	0.00%	11,52 %	11,58 %	17,20 %	17,20 %	12,71 %	0.00%

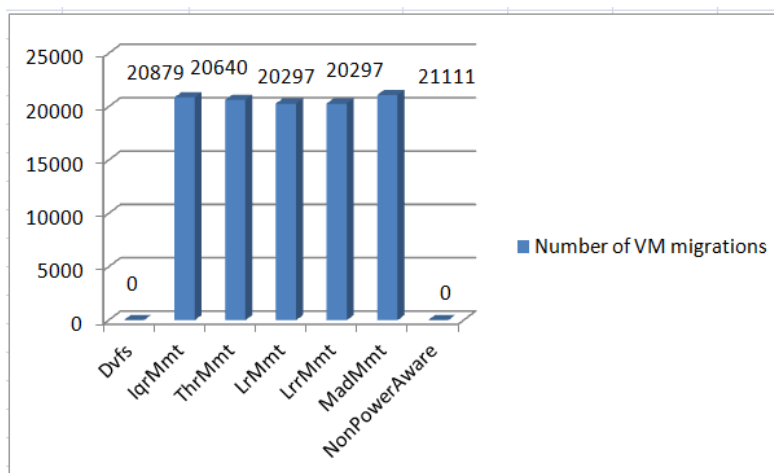
Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρατηρούμε και σε αυτή την περίπτωση ότι την λιγότερη ενεργειακή κατανάλωση την παρουσιάζει ο αλγόριθμος LrMmt με ενεργειακή κατανάλωση 122.88 kWh. Ο αλγόριθμος Dvfs έχει τον μικρότερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών αλλά παρουσιάζει μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση. Στην εικόνα 13 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής κατανάλωσης.



Εικόνα 13 Ενεργειακή κατανάλωση (kWh) για 898 VMs

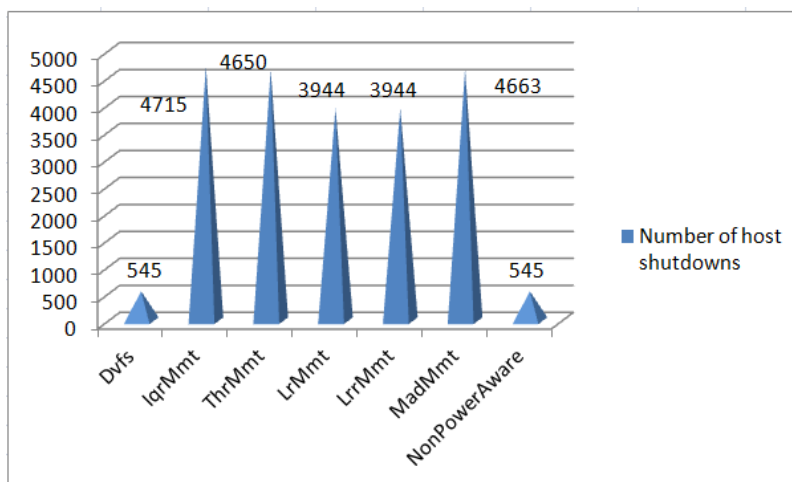
Όπως παρατηρούμε και σε αυτή την περίπτωση όταν δεν εφαρμόζουμε κάποιον αλγόριθμο η ενεργειακή κατανάλωση είναι τεράστια. Οι αλγόριθμοι LrMmt και LrrMmt παρουσιάζουν την μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση με 122.88 kWh. Μετά ακολουθεί ο MadMmt με 141.28 kWh και ο IqrMmt με 144.05 kWh. Ο αλγόριθμος με την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση συγκριτικά με τους άλλους είναι ο ThrMmt με 144.75 kWh.

- ✓ Στις εικόνες 14 και 15 παρουσιάζονται ο αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε και ο αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν αντίστοιχα.



Εικόνα 14 Αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε (σενάριο 898 VMs)

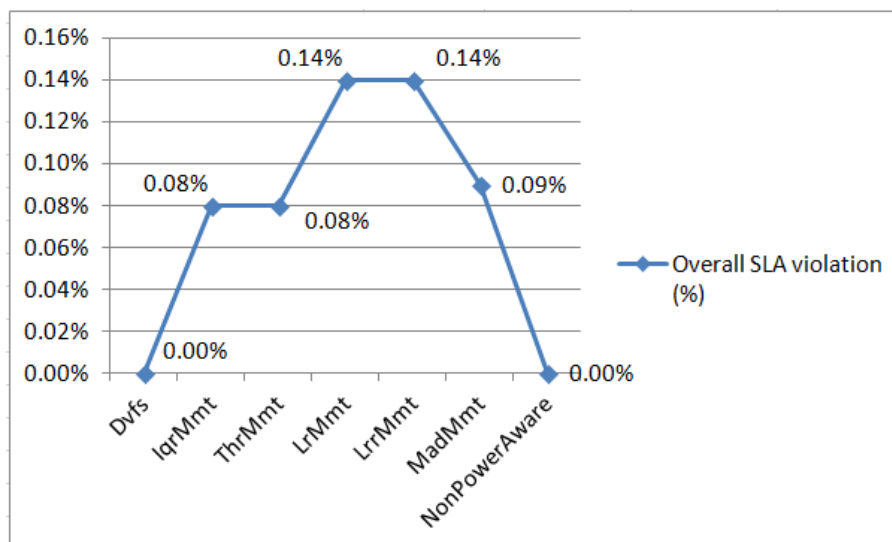
Όπως παρατηρούμε στη γραφική παράσταση τον μικρότερο αριθμό μεταναστεύσεων εικονικών μηχανών τον έχουν οι αλγόριθμοι LrMmt και LrrMmt με 20297 μεταναστεύσεις εικονικών μηχανών. Τον μεγαλύτερο αριθμό μεταναστεύσεων σε αυτή την περίπτωση τον έχει ο αλγόριθμος MadMmt με 21111 μεταναστεύσεις. Μετά ακολουθούν οι IqrMmt και ThrMmt με 20879 και 20640 μεταναστεύσεις αντίστοιχα.



Εικόνα 15 Αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν (σενάριο 898 VMs)

Όπως παρατηρούμε από την γραφική παράσταση οι αλγόριθμοι με τον μικρότερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών είναι οι LrMmt και LrrMmt με 3944. Μετά ακολουθεί ο αλγόριθμος ThrMmt με 4650 και στη συνέχεια ο MadMmt με 4663. Τέλος ο αλγόριθμος που παρουσιάζει τον μεγαλύτερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών σε αυτή την περίπτωση είναι ο IqrMmt με 4715.

- ✓ Στην εικόνα 16 απεικονίζεται η παράμετρος Overall SLA violation



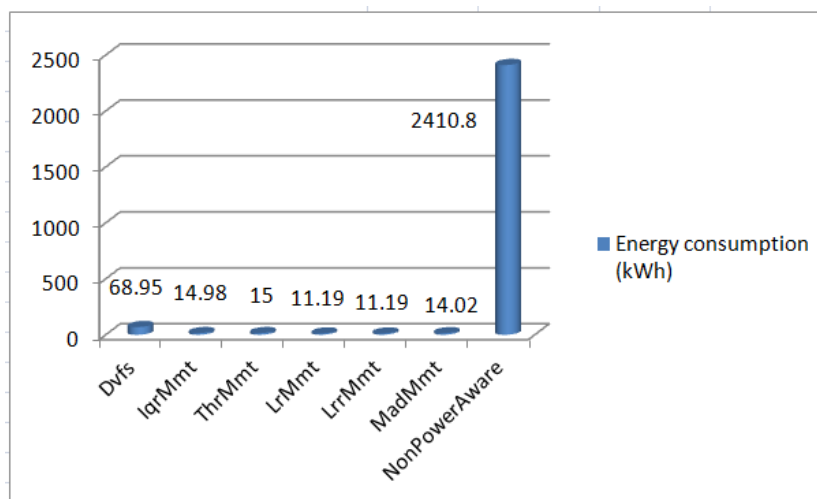
Εικόνα 16 Overall SLA violation (898 VMs)

✓ Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για 103 VMs

Πίνακας 6 Σύγκριση των αλγορίθμων ενεργειακής απόδοσης για 103 εικονικές μηχανές

Parameters	Dvfs	IqrMmt	ThrMmt	LrMmt	LrrMmt	MadMmt	NonPowerAware
Number of hosts	800	800	800	800	800	800	800
Number of VMs	103	103	103	103	103	103	103
Total simulation time (sec)	86400	86400	86400	86400	86400	86400	86400
Energy consumption (kWh)	68.95	14.98	15	11.19	11.19	14.02	2410.8
Number of VM migrations	0	2512	2564	1229	1229	2092	0
SLA (%)	0.00000%	0.00519%	0.00551%	0.00166%	0.00166%	0.00386%	0.00000%
SLA perf degradation due to migration (%)	0.00%	0.11%	0.11%	0.05%	0.05%	0.09%	0.00%
SLA time per active host (%)	0.00%	4.80%	4.92%	3.41%	3.41%	4.34%	0.00%
Overall SLA violation (%)	0.00%	0.12%	0.12%	0.11%	0.11%	0.10%	0.00%
Average SLA violation (%)	0.00%	10.02%	10.16%	10.02%	10.02%	10.42%	0.00%
Number of host shutdowns	780	1263	1273	977	977	1195	780
Mean time before a VM migration (sec)	NaN	16.34	16.84	16.35	16.35	15.76	NaN
ESV (%)	0.00%	1,79 %	1,80 %	1, 23%	1, 23%	1,40 %	0.00%

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρατηρούμε και σε αυτή την περίπτωση ότι την λιγότερη ενεργειακή κατανάλωση την παρουσιάζει ο αλγόριθμος LrMmt με ενεργειακή κατανάλωση 11.19 kWh. Ο αλγόριθμος Dvfs έχει τον μικρότερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών αλλά παρουσιάζει μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση. Στην εικόνα 17 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής κατανάλωσης.

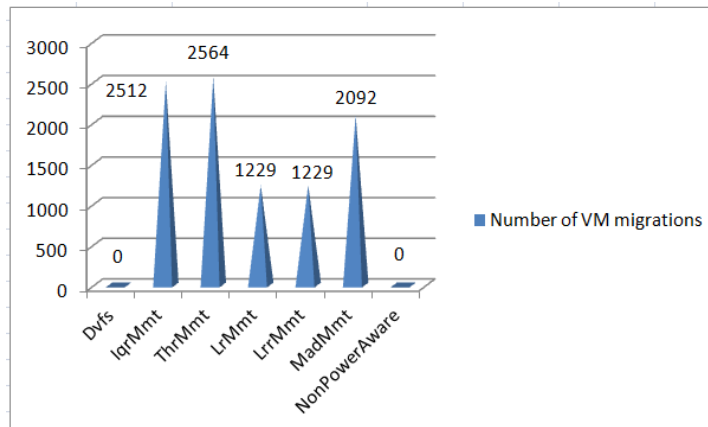


Εικόνα 17 Ενεργειακή κατανάλωση (kWh) για 103 VMs

Από τα αποτελέσματα της γραφικής παράστασης παρατηρούμε ότι όταν δεν εφαρμόζουμε κάποιον αλγόριθμο η ενεργειακή κατανάλωση είναι τεράστια (2410.8 kWh). Βλέπουμε ότι οι LrMmt και LrrMmt έχουν την μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση από όλους τους άλλους αλγορίθμους με 11.19 kWh. Στη συνέχεια ακολουθούν οι MadMmt, IqrMmt και ThrMmt με 14.02 kWh, 14.98 kWh και 15 kWh αντίστοιχα. Βλέπουμε ότι και σε αυτή την περίπτωση ότι ο αλγόριθμος με την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση είναι ο ThrMmt.

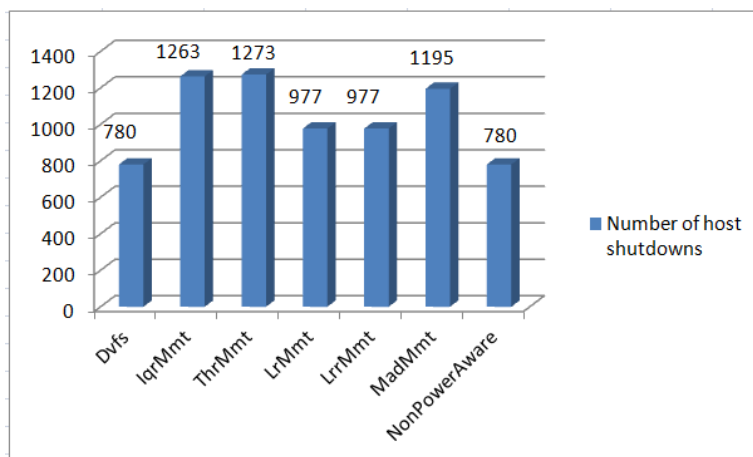


- ✓ Στις εικόνες 18 και 19 παρουσιάζονται ο αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε και ο αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν αντίστοιχα.



Εικόνα 18 Αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε (σενάριο 103 VMs)

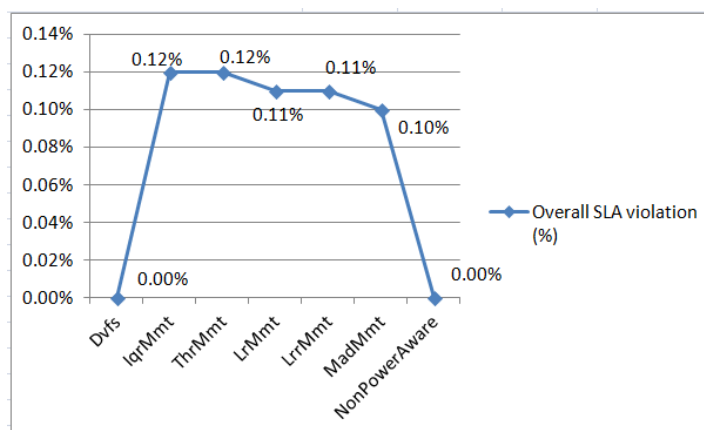
Από την γραφική παράσταση παρατηρούμε ότι οι αλγόριθμοι LrMmt και LrrMmt έχουν τον μικρότερο αριθμό μεταναστεύσεων εικονικών μηχανών. Στη συνέχεια ακολουθούν οι MadMmt, IqrMmt και ThrMmt με 2092, 2512 και 2564 αντίστοιχα. Τον μεγαλύτερο αριθμό μεταναστεύσεων σε αυτή τη περίπτωση τον έχει ο αλγόριθμος ThrMmt.



Εικόνα 19 Αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν (σενάριο 103 VMs)

Από την γραφική παράσταση παρατηρούμε ότι τον μικρότερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών τον έχει ο αλγόριθμος Dvfs με 780 μετά ακολουθούν οι αλγόριθμοι LrMmt και LrrMmt με 977. Στη συνέχεια έχουμε τους MadMmt, IqrMmt και ThrMmt με 1195, 1263 και 1273 αντίστοιχα.

- ✓ Στην εικόνα 20 απεικονίζεται η παράμετρος Overall SLA violation



Εικόνα 20 Overall SLA violation (103 VMs)

- ✓ Στον πίνακα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για 1033 VMs

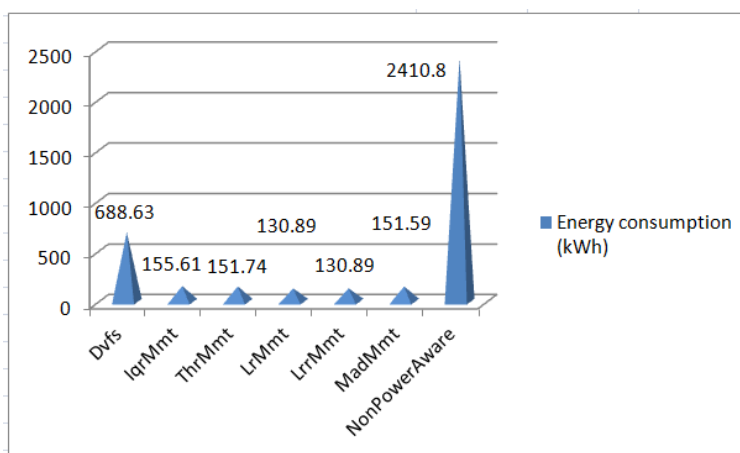
Πίνακας 7 Σύγκριση των αλγορίθμων ενεργειακής απόδοσης για 1033 εικονικές μηχανές

Parameters	Dvfs	lqrMmt	ThrMmt	LrMmt	LrrMmt	MadMmt	NonPowerAware
Number of hosts	800	800	800	800	800	800	800
Number of VMs	1033	1033	1033	1033	1033	1033	1033
Total simulation time (sec)	86400	86400	86400	86400	86400	86400	86400
Energy consumption (kWh)	688.63	155.61	151.74	130.89	130.89	151.59	2410.8
Number of VM migrations	0	22903	22301	24542	24542	22236	0
SLA (%)	0.00000%	0.00415%	0.00416%	0.00694%	0.00694%	0.00393%	0.00000%
SLA perf degradation due to migration (%)	0.00%	0.08%	0.08%	0.09%	0.09%	0.07%	0.00%
SLA time per active host (%)	0.00%	5.42%	5.39%	7.44%	7.44%	5.29%	0.00%
Overall SLA violation (%)	0.00%	0.09%	0.09%	0.34%	0.34%	0.09%	0.00%
Average SLA violation (%)	0.00%	10.39%	10.75%	10.40%	10.40%	10.56%	0.00%
Number of host shutdowns	519	4887	4737	4378	4378	4773	519
Mean time before a VM migration (sec)	NaN	14.9	14.72	15.37	15.37	14.51	NaN
ESV (%)	0.00%	14 %	13,65 %	44,50 %	44,50 %	13,64 %	0.00%

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρατηρούμε και σε αυτή την περίπτωση ότι την λιγότερη ενεργειακή κατανάλωση την παρουσιάζει ο αλγόριθμος LrMmt με ενεργειακή κατανάλωση 130.89 kWh. Ο αλγόριθμος Dvfs έχει τον μικρότερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών αλλά παρουσιάζει μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση. Στην εικόνα 21 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής κατανάλωσης.

## Μελέτη ενεργειακά αποδοτικής λειτουργίας κέντρων αποθήκευσης και υποδομών υπολογιστικού νέφους μέσω προσομοίωσης

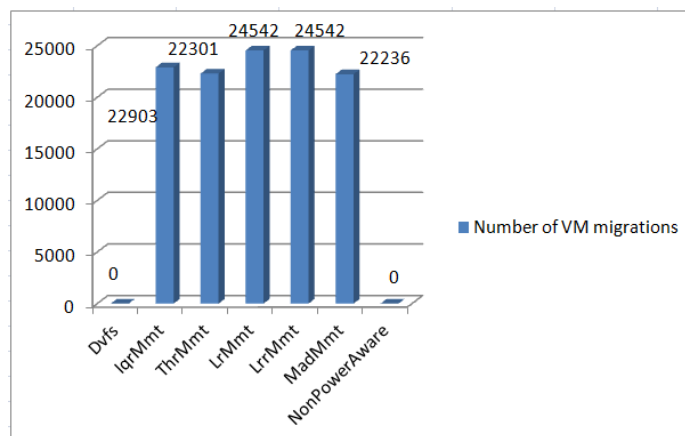
Γκέλης Γεώργιος



Εικόνα 21 Ενεργειακή κατανάλωση (kWh) για 1033 VMs

Όπως παρατηρούμε και στη γραφική παράσταση όταν δεν εφαρμόζουμε κάποιον αλγόριθμο η ενεργειακή κατανάλωση είναι τεράστια. Οι αλγόριθμοι LrMmt και LrrMmt παρουσιάζουν την μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση με 130.89 kWh. Μετά ακολουθεί ο MadMmt με 151.59 kWh και ο ThrMmt με 151.74 kWh. Ο αλγόριθμος με την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση συγκριτικά με τους άλλους είναι ο IqrMmt με 155.61 kWh. Αν και παρατηρούμε ότι ο Dvfs έχει την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση από όλους με 688.63 kWh.

- ✓ Στις εικόνες 22 και 23 παρουσιάζονται ο αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε και ο αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν αντίστοιχα.

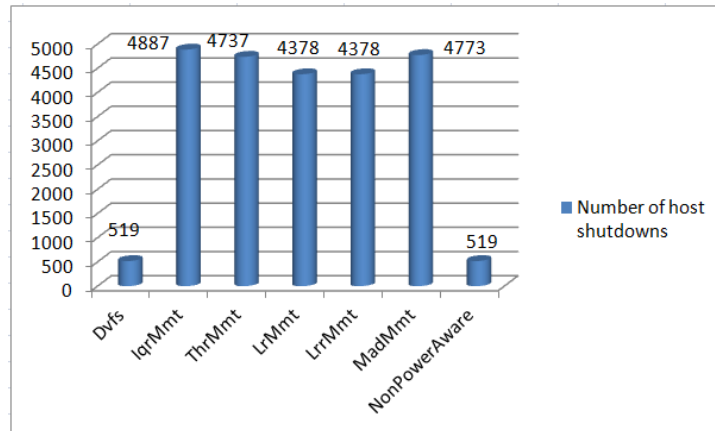


Εικόνα 22 Αριθμός των VMs που μεταφερθήκανε (σενάριο 1033 VMs)

Όπως παρατηρούμε από τη γραφική παράσταση οι αλγόριθμοι με τον μεγαλύτερο αριθμό μεταναστεύσεων εικονικών μηχανών είναι οι LrMmt και LrrMmt με 24542 μεταναστεύσεις. Στη συνέχεια ακολουθούν οι IqrMmt, ThrMmt και MadMmt με 22903, 22301 και 22236 μεταναστεύσεις εικονικών μηχανών αντίστοιχα.

Μελέτη ενεργειακά αποδοτικής λειτουργίας κέντρων αποθήκευσης και υποδομών υπολογιστικού νέφους μέσω προσομοίωσης

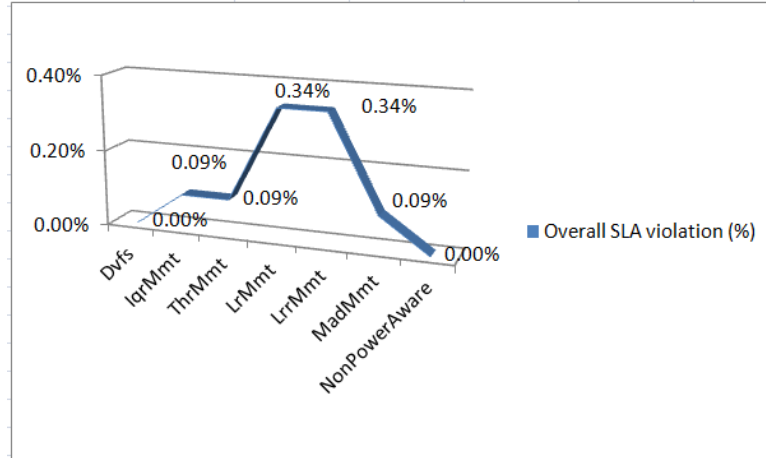
Γκέλης Γεώργιος



Εικόνα 23 Αριθμός των διακομιστών που απενεργοποιήθηκαν (σενάριο 1033 VMs)

Όπως βλέπουμε στην γραφική παράσταση ο αλγόριθμος με τον μικρότερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών και σε αυτή την περίπτωση είναι ο Dvfs 519. Στη συνέχεια ακολουθούν οι LrMmt και LrrMmt με 4378. Μετά έχουμε τους ThrMmt, MadMmt και IqrMmt με 4737, 4773 και 4887 αντίστοιχα. Βλέπουμε ότι ο αλγόριθμος IqrMmt έχει τον μεγαλύτερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών.

- ✓ Στην εικόνα 24 απεικονίζεται η παράμετρος Overall SLA violation



Εικόνα 24 Overall SLA violation (1033 VMs)

### 3.6 Συμπεράσματα αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των αλγορίθμων ενεργειακής κατανάλωσης παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος με την ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση σε όλες τις περιπτώσεις είναι ο LrMmt. Ο αλγόριθμος που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση σε όλες τις περιπτώσεις είναι ο Dnfs. Στη συνέχεια ο επόμενος που παρουσιάζει μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση είναι ο ThrMmt.

Τον μεγαλύτερο αριθμό μεταναστεύσεων εικονικών μηχανών τον παρατηρούμε στον αλγόριθμο LrMmt και LrrMmt και στη συνέχεια ακολουθεί ο IqrMmt. Αν και στην περίπτωση των 898 εικονικών μηχανών και στην περίπτωση των 103 εικονικών μηχανών τον μεγαλύτερο αριθμό μεταναστεύσεων τον βλέπουμε στους αλγορίθμους MadMmt και ThrMmt αντίστοιχα. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο αλγόριθμος LrMmt είναι ο πιο κατάλληλος στην περίπτωση που έχουμε πολλές εικονικές μηχανές (στην περίπτωση των 1052 και 1033).

Τον μικρότερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών σε κάθε σενάριο τον έχουμε με τον αλγόριθμο Dnfs. Στη συνέχεια ο επόμενος αλγόριθμος με τον μικρότερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών είναι ο LrMmt και LrrMmt. Τον μεγαλύτερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών στις περιπτώσεις των 1052 και 1033 εικονικών μηχανών τον παρατηρούμε στον αλγόριθμο ThrMmt ενώ στην περίπτωση των 898 και 103 εικονικών μηχανών βλέπουμε ότι ο αλγόριθμος με μεγαλύτερο αριθμό απενεργοποιημένων διακομιστών είναι ο IqrMmt.

Οι αλγόριθμοι LrMmt και LrrMmt ενώ παρουσιάζουν ίδια αποτελέσματα στις βασικές μετρήσεις που πήραμε κατά την προσομοίωση δεν είναι ίδιοι. Παρουσιάζουν ελάχιστες διαφορές στα αποτελέσματα όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των 1033 εικονικών μηχανών ο LrMmt έχει Execution time - VM selection mean: 0,00113 sec ενώ ο LrrMmt έχει Execution time - VM selection mean: 0,00112 sec (ελάχιστη διαφορά) επίσης ο LrMmt έχει Execution time - host selection mean: 0,00611 sec ενώ ο LrrMmt έχει Execution time - host selection mean: 0,00618 sec. Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει ότι ο LrMmt είναι ο πιο κατάλληλος αλγόριθμος για την εξοικονόμηση της ενεργειακής κατανάλωσης σε ένα κέντρο δεδομένων εξασφαλίζοντας παράλληλα την ελαχιστοποίηση των παραβιάσεων των SLAs.

## Επίλογος

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είχε σαν στόχο την μελέτη και την προσομοίωση αλγορίθμων ενεργειακής κατανάλωσης για μεγάλα κέντρα δεδομένων. Λόγο της ανάπτυξης των τεχνολογιών υπολογιστικών νεφών αλλά και της ανάγκης των εφαρμογών για επιπλέον υπολογιστικούς πόρους, παρατηρούμε την αυξανόμενη ανάπτυξη των κέντρων διαχείρισης δεδομένων. Τα κέντρα διαχείρισης δεδομένων καταναλώνουν τεράστια ποσά ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος λειτουργίας τους αλλά οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα.

Στην εργασία αυτή παρουσιάσαμε τον προσομοιωτή CloudSim, μια εργαλειοθήκη σε γλώσσα προγραμματισμού Java κατάλληλη για προσομοίωση και μοντελοποίηση ολοκληρωμένων υποδομών κέντρων δεδομένων. Μέσω του προσομοιωτή CloudSim μελετήσαμε και τρέξαμε κάποιους αλγορίθμους ενεργειακής απόδοσης χρησιμοποιώντας την πολιτική μετανάστευσης εικονικών μηχανών minimum migration time. Βασικός σκοπός της μελέτης μας ήταν η αξιολόγηση και εύρεση των υπέρ-χρησιμοποιημένων διακομιστών και η ανακατανομή των εικονικών μηχανών που βρίσκονται σε αυτούς με στόχο την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και των παραβιάσεων των SLAs. Σύμφωνα με την πολιτική μετανάστευσης των εικονικών μηχανών minimum migration time που χρησιμοποιήσαμε μια εικονική μηχανή μεταναστεύει όταν έχει τον ελάχιστο χρόνο μετανάστευσης. Ο ελάχιστος χρόνος μετανάστευσης ορίζεται ως το ποσό της μνήμης RAM που χρησιμοποιείται από την εικονική μηχανή διαιρεμένο με το διαθέσιμο εφεδρικό εύρος ζώνης για τον διακομιστή. Οι αλγόριθμοι εύρεσης των υπέρ-χρησιμοποιημένων διακομιστών που μελετήσαμε και πήραμε αποτελέσματα ήταν οι Dnfs, Median Absolute Deviation (MAD), Interquartile Range (IQR), Local Regression (LR) και Robust Local Regression (LRR). Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για διαφορετικό αριθμό εικονικών μηχανών προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο αλγόριθμος που εξασφαλίζει την πιο ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση σε ένα κέντρο δεδομένων είναι ο Local Regression (Lr) Minimum Migration Time (Mmt).

Η εργαλειοθήκη του CloudSim είναι αρκετά χρήσιμη σε μελετητές καθώς τους δίνει την δυνατότητα περεταίρω έρευνας για θέματα ενεργειακής απόδοσης. Οι μελετητές έχουν την δυνατότητα να αναπτύξουν νέους αλγορίθμους ενεργειακής απόδοσης με την συγγραφή κώδικα σε γλώσσα προγραμματισμού Java και με την βοήθεια των εργαλείων του CloudSim να τους τρέξουν, να τους αναλύσουν και να τους συγκρίνουν προκειμένου να βγάλουν χρήσιμα συμπεράσματα.

## Βιβλιογραφία

- ✓ Virtualization, Cloud Computing - Technologies and Strategies of the Ubiquitous Data Center, Brian J.S. Chee and Curtis Franklin, Jr., CRC Press, ISBN: 978-1-4398-0612-8.
- ✓ Introduction to cloud computer architecture, White paper, 1st Edition, June 2009, Sun Microsystems.
- ✓ Cloud Computing Principles, Systems And Applications, Nick Antonopoulos, Lee Gillam, Springer, ISBN 978-1-84996-240-7.
- ✓ Cloud Computing and Software Services Theory and Techniques, Syed A. Ahson, Mohammad Ilyas, CRC Press, ISBN: 978-1-4398-0316-5.
- ✓ IBM Institute for Business Value, The power of cloud, driving business model innovation, 2012.
- ✓ Energy-Efficient Management of Data Center Resources for Cloud Computing: A Vision, Architectural Elements, and Open Challenges, Rajkumar Buyya, Anton Beloglazov, and Jemal Abawajy, Cloud Computing and Distributed Systems (CLOUDS) Laboratory Department of Computer Science and Software Engineering, The University of Melbourne, Australia
- ✓ Optimal Online Deterministic Algorithms and Adaptive Heuristics for Energy and Performance Efficient Dynamic Consolidation of Virtual Machines in Cloud Data Centers Anton Beloglazov\_ and Rajkumar Buyya Cloud Computing and Distributed Systems (CLOUDS) Laboratory Department of Computer Science and Software Engineering. The University of Melbourne, Australia
- ✓ Anton Beloglazov, Rajkumar Buyya, "Optimal online deterministic algorithms and adaptive heuristics for energy and performance efficient dynamic consolidation of virtual machines in cloud data centers", Wiley InterScience, Concurr. Comput. : Pract. Exper., 24(13):1397-1420, September 2012
- ✓ Buyya R, Beloglazov A, Abawajy J. Energy-efficient management of data center resources for cloud computing: a vision, architectural elements, and open challenges" in Proceedings of the 2010 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA 2010). Las Vegas, USA, July 2010
- ✓ Buyya, R.; Ranjan, R.; Calheiros, R.N., "Modeling and simulation of scalable Cloud computing environments and the CloudSim toolkit: Challenges and opportunities," High Performance Computing & Simulation, 2009. HPCS '09. International Conference on , vol., no., pp.1,11, 21-24 June 2009
- ✓ Yuxiang Shi; Xiaohong Jiang; Kejiang Ye, "An Energy-Efficient Scheme for Cloud Resource Provisioning Based on CloudSim," Cluster Computing (CLUSTER), 2011 IEEE International Conference on, vol., no., pp.595, 599, 26-30 Sept. 2011
- ✓ Anton Beloglazov and Rajkumar Buyya, "Adaptive Threshold-Based Approach for Energy-Efficient Consolidation of Virtual Machines in Cloud Data Centers", MGC '2010, 29 November - 3 December 2010, Bangalore, India. Copyright 2010 ACM 978-1-4503-0453-5/10/11

## Ηλεκτρονικά βιβλία και σελίδες στο διαδίκτυο

- ✓ [http://librairie.immateriel.fr/fr/read\\_book/9780596802769/ch02](http://librairie.immateriel.fr/fr/read_book/9780596802769/ch02)
- ✓ <https://cloudsecurityalliance.org/csaguide.pdf>
- ✓ <http://www.ibm.com/cloud-computing/us/en/assets/power-of-cloud-for-bus-model-innovation.pdf>
- ✓ <http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg246210.pdf>
- ✓ <http://www.datamation.com/netsys/article.php/3884091/Virtualization.html>
- ✓ <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/solution-briefs/cloud-computing-hybrid-cloud-101-paper.pdf>
- ✓ <http://searchcloudcomputing.techtarget.com/definition/hybrid-cloud>
- ✓ [http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_computing](http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing)
- ✓ <https://www.enstratus.com/media/document/1/hybridcloudwhitepaper.pdf>
- ✓ [http://www.dynasis.com/wp-content/uploads/2011/08/DynaSis\\_Types\\_of\\_Cloud\\_Computing.pdf](http://www.dynasis.com/wp-content/uploads/2011/08/DynaSis_Types_of_Cloud_Computing.pdf)
- ✓ <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923610002393>
- ✓ <http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf>
- ✓ <http://www.academia.edu/download/30550235/news-cloud-computing.pdf>
- ✓ <http://xa.yimg.com/kq/groups/2584474/1935503836/name/NDU-2.pdf>
- ✓ <http://cgi.di.uoa.gr/~ad/MDE556/Papers/palis-ic10.pdf>
- ✓ [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5617066](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5617066)
- ✓ [http://www.utdallas.edu/~muratk/courses/cloud13s\\_files/what-is-new-in-cloud-security.pdf](http://www.utdallas.edu/~muratk/courses/cloud13s_files/what-is-new-in-cloud-security.pdf)
- ✓ <http://link.springer.com/article/10.1007/s10723-010-9171-y>
- ✓ <http://www.vmware.com/virtualization/virtualization-basics/how-virtualization-works.html>
- ✓ <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1204/1204.1241.pdf>
- ✓ <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6215585>
- ✓ <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1006/1006.0308.pdf>
- ✓ <https://cyberaide.googlecode.com/svn/trunk/papers/10-igcc-green/10-ajy-igcc.pdf>
- ✓ <https://www.usenix.org/legacy/events/sustainit10/tech/slides/holler.pdf>
- ✓ <http://search.proquest.com/openview/f80910accdc24928168a85cc296755a/1?pq-origsite=gscholar>