



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

Μέθοδοι προσομοίωσης διαμεσολαβητών υπολογιστικού νέφους (Cloud Brokers)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΑΝΑΣΗΣ ΚΑΡΚΟΥΛΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2017



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΙΧΑΛΑΚΕΛΗΣ(Επιβλέπων)

**Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο**

Μαλβίνα Βαμβακάρη

**Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

Κωνσταντίνα Βασιλοπούλου

**Λέκτορας , Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο**

Ο ΘΑΝΑΣΗΣ ΚΑΡΚΟΥΛΗΣ

δηλώνει υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επίκουρο καθηγητή κ. Χρήστο Μιχαλακέλη για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη βοήθειά του, το ενδιαφέρον του αλλά και τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε για τη διεκπεραίωση της πτυχιακής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ' βαθέων το Γιώργο Χατζηθανάση, υποψήφιο διδάκτορα Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου, για την καθοριστική και πολύτιμη βοήθειά του και το χρόνο που αφιέρωσε καθώς επίσης για τις γνώσεις και τις συμβουλές του κατά τη συγγραφή της εργασίας, οι οποίες με κατεύθυναν σε ένα σωστό τρόπο σκέψης. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα, όλους του καθηγητές του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, για την στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου. Πέραν όμως από την πολύτιμη αυτή στήριξη, μου έδωσαν όλα τα εφόδια ώστε να γίνω ένας σωστός άνθρωπος, κάτι που δεν μαθαίνεται αλλά μεταδίδεται.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη στα Ελληνικά.....	6
Περίληψη στα Αγγλικά(Abstract).....	7
Κατάλογος Εικόνων.....	8
Κατάλογος Πινάκων.....	9
Κατάλογος Σχημάτων.....	10
1 Εισαγωγή.....	11
1.1 Cloud Computing	11
1.1.1 Χαρακτηριστικά.....	13
1.1.2 Υπηρεσίες	14
1.1.3 Μοντέλα Ανάπτυξης.....	16
1.2 Cloud Brokering.....	22
1.2.1 Ορισμός κατά Nist και Garnter	22
1.2.2 Πως λειτουργεί ένας Cloud Broker.....	23
1.2.3 Υπηρεσίες	24
1.2.4 Πλεονεκτήματα cloud broker [2]	25
1.2.5 Παγκόσμια αγορά	26
1.2.6 Βασικές εταιρείες.....	29
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (Τεχνικές Brokering).....	31
2.1 Οικονομικά ωφέλη ενός broker.....	31
2.2 Τεχνικές.....	33
2.2.1 Dynamic Cloud Resource Reservation via Cloud Brokerage	33
2.2.2 Derivative contracts-Options	42
2.2.3 Quantized Billing Cycles (QBS).....	50
2.2.4 Two-sided auction mechanism in cloud computing.....	57
2.3 Σύγκριση μοντέλων.....	69
3 Προσομοίωση και χρήση των σημαντικότερων μεθόδων	72
3.1 Dynamic Cloud Resource Reservation	72
3.2 Contract Options.....	75
4 Σύνοψη.....	80
5 Βιβλιογραφία	81

Περίληψη στα Ελληνικά

Η ραγδαία ανάπτυξη των ψηφιακών μέσων έχει πυροδοτήσει την ιδιαίτερη σημασία ύπαρξης του υπολογιστικού νέφους, καθώς παρέχει ευκολία στη διαχείριση και ευρέως διαδεδομένη πρόσβαση στο όλο και περισσότερο αυξημένο περιεχόμενο ψηφιακής πληροφορίας. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως οργάνωση νέφους και μια βασική οντότητά του αποτελεί ο διαμεσολαβητής νέφους. Ο ρόλος της συγκεκριμένης οντότητας είναι να ενεργεί μεταξύ του πελάτη και του παρόχου νέφους. Συγκεκριμένα βάσει τις απαιτήσεις που έχει ο πελάτης αλλά και των δεδομένων που υφίστανται στην αγορά, ο διαμεσολαβητής επιδιώκει να πραγματοποιηθεί μια συμφωνία μεταξύ πελάτη-πωλητή ώστε και οι δυο να ικανοποιηθούν οικονομικά/ποιοτικά αλλά και ο διαμεσολαβητής να αποκομίσει κέρδος μέσω της δραστηριότητάς του. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται ορισμένα θεωρητικά μοντέλα και μέθοδοι προσομοίωσης διαμεσολαβητών υπολογιστικού νέφους. Το κάθε μοντέλο αναλύεται ξεχωριστά για το πώς λειτουργεί, πως εξυπηρετεί τις αμφότερες πλευρές αλλά και το διαμεσολαβητή. Παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε φορά. Επίσης, κάθε μέθοδος αξιολογείται σύμφωνα με διάφορες προσομοιώσεις που έχουν γίνει σε προγραμματιστικό περιβάλλον υπό διαφορετικές συνθήκες κάθε φορά με σκοπό την εξέταση της αποδοτικότητας της. Στη συνέχεια, παρατίθεται μια σύγκριση μεταξύ δύο εκ των οποίων θεωρούνται τα πιο αποδοτικά. Τέλος, τα αποτελέσματα μέσα από κάθε αναλυτική και εκτεταμένη προσομοίωση ξεχωριστά παρουσιάζουν πως ο διαμεσολαβητής έχει τη δυνατότητα να αποκομίσει κέρδος μέσω αυτής της διαδικασίας το οποίο μεταβάλλεται διαρκώς και έχει άμεση συσχέτιση με το προφίλ της κάθε αγοράς.

Λέξεις κλειδιά: [υπολογιστικό νέφος, διαμεσολαβητής νέφους, ενοικίαση πόρων, μέθοδοι διαμοιρασμού πόρων]

Abstract

Rapidly increasing digital media has triggered the importance of cloud computing. Cloud computing provides ease of management and ubiquitous access facility to the growing digital content. The ratio with which digital content has been increasing, it now requires multiple clouds to interoperate for the purpose of scalability, efficient service provisioning, and better management. This scenario is known as inter-cloud computing or cloud federation. One of the key entities in inter-cloud computing is cloud broker. Cloud broker is a match-maker between the service provider and the customer. Broker plays its role to reserve resources and perform pricing and billing. Service providers experience customers having different traits and characteristics. Some tend to utilize all of the resources, while others may quit in between, due to various reasons. Based on the characteristics of customers, their resources are predicted and pricing is performed. In this paper, four different cloud service brokerage models have been presented which address this issue by determining resources and prices, on the basis of historical record and possibility of usage of each customer. Comparisons among models have been conducted by gathering not only the advantages but also the drawbacks for each occasion apart. They have all been implemented in extensive simulations in different development environments under various circumstances each time in order to test the profitability and efficiency. Each model individually proves to be profitable for the broker, offers reduced costs for cloud users and generates more predictable demand flow for cloud providers on different scale. As a result, these models provide an analysis of their impact on the cloud computing market.

Keywords: [Cloud computing, Cloud Service Brokerage, Economic Analysis, VM instances, cloud resource reservation]

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικ.1. Οργάνωση Cloud computing.....	σ.10
Εικ.2. Cloud computing layers.....	σ.17
Εικ.3. Δικαιώματα χρήστη σε κάθε διαφορετική υπηρεσία.....	σ.17
Εικ.4. Οργάνωση λειτουργίας Cloud Service Brokerage.....	σ.25
Εικ.5. Κατανομή αγοράς Cloud Service Brokerage ανά τον κόσμο	σ.28
Εικ.6. Λειτουργία Virtual Broker	σ.35

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίν.1: Κατηγορίες εταιρειών cloud service brokerage.....	σ.28
Πίν.2: Λίστα με διάφορες εταιρείες cloud service brokerage.....	σ.30
Πίν.3: Αποτελέσματα κέρδους για προτεινόμενους ευριστικούς αλγορίθμους.....	σ.39
Πίν.4: Συχνότητα βέλτιστης απόδοσης ευριστικών αλγορίθμων.....	σ.40
Πίν.5: Αριθμός παραβιασμένων περιορισμών.....	σ.40
Πίν.6: Κέρδη Broker σε συνάρτηση με το κατώφλι θ	σ.46
Πίν.7: Σύγκριση κέρδη broker συναρτήσει το προφίλ αγοράς.....	σ.47
Πίν.8: Κέρδη broker βάσει τιμολόγησης AWS.....	σ.47
Πίν.9: Βέλτιστο κατώφλι θ_{opt} συναρτήσει του παράγοντα κόστους.....	σ.48
Πίν.10: Γράφοι απεικόνισης στατικής και δυναμικής τιμολόγησης.....	σ.51
Πίν.11: Ζήτηση VMs συναρτήσει του χρόνου.....	σ.55
Πίν.12: 2-SAMBA vs VCG-TBDCC: Πληρωμή πελατών στο broker.....	σ.67
Πίν.13: 2-SAMBA vs VCG-TBDCC: Πληρωμή πελατών στον πάροχο νέφους.....	σ.68
Πίν.14: Κέρδη broker συναρτήσει χρηστών.....	σ.69
Πίν.15: 2-SAMBA vs VCG-TBDCC: Χρόνος εκτέλεσης.....	σ.69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχ.1: Τύποι μοντέλων ανάπτυξης Cloud Computing.....	σ.21
Σχ.2: Τρόπος λειτουργίας ενός cloud broker.....	σ.33
Σχ.3: Αλληλεπίδραση μεταξύ οντοτήτων σε σύστημα δημοπρασιών.....	σ.61
Σχ.4: Διάγραμμα ροής επικοινωνίας οντοτήτων.....	σ.63

1 Εισαγωγή

1.1 Cloud Computing

Το υπολογιστικό νέφος (Cloud computing) είναι ένας νέος όρος στον τομέα των υπολογιστών ο οποίος σηματοδοτεί την έλευση μιας νέας τεχνολογίας. Αυτή η τεχνολογία είναι ταχέως αναπτυσσόμενη καθώς την χρησιμοποιεί ένας μεγάλος αριθμός πελατών και πωλητών. Η ταχεία αυτή ανάπτυξη οφείλεται στις αναδυόμενες τεχνολογίες πληροφοριακών συστημάτων που προσδίδουν χαμηλό οικονομικό και υπολογιστικό κόστος, καθώς επίσης και δυνατότητες μαζικής αποθήκευσης. Το υπολογιστικό νέφος αναφέρεται σε εφαρμογές και υπηρεσίες που τρέχουν σε ένα κατακεντρωμένο δίκτυο με τη χρήση εικονικών πόρων στο οποίο η πρόσβαση παρέχεται από κοινά πρωτόκολλα του Διαδικτύου και πρότυπα δικτύωσης.

Με τον όρο πόροι γίνεται αναφορά σε μια πληθώρα εφαρμογών των ηλεκτρονικών υπολογιστών, βάσεις δεδομένων, υπηρεσίες αρχείων, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο κλπ. Διακρίνεται από την ιδέα ότι οι πόροι είναι εικονικοί και απεριόριστοι και 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 τις μετατρέπει σε ένα πρόγραμμα αυτοεξυπηρέτησης (self-service utility). Ουσιαστικά, το cloud computing συνίσταται στη χρήση των υπολογιστικών πόρων των μηχανημάτων των υπολογιστών και των λογισμικών τους (hardware-software) τα οποία παρέχονται ως υπηρεσίες μέσω του διαδικτύου.



Figure 1 <http://ilocksoft.com/wp-content/uploads/2016/10/What-is-cloud-computing-2.png>

Οι πάροχοι υπολογιστικού νέφους προσφέρουν διάφορες υπηρεσίες στους χρήστες/πελάτες. Οι κυριότερες από αυτές είναι οι: Infrastructure as a service (IaaS), Platform as a service (PaaS), Software as a service (SaaS) καθώς επίσης και Storage as a service (STaaS), Security as a service (SECaaS), Test Environment as a service (TEaaS) και πολλές άλλες. Ο βασικός του στόχος είναι να μεγιστοποιήσει τα έσοδα με σωστές τιμολογήσεις, ενώ ο στόχος του πελάτη του είναι η απόκτηση της καλύτερης δυνατής ποιότητας υπηρεσίας στην πιο οικονομική τιμή. Η κοστολόγηση λοιπόν της υπηρεσίας αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο για τους οργανισμούς που προσφέρουν υπηρεσίες ή προϊόντα.

Ο τρόπος τιμολόγησης επηρεάζει άμεσα την συμπεριφορά των πελατών, την αφοσίωση τους στον εκάστοτε οργανισμό καθώς επίσης και την επιτυχία που θα έχει. Γι αυτό το λόγο, έχουν αναπτυχθεί ορισμένα μοντέλα τιμολόγησης τα οποία αποσκοπούν στην επίτευξη υψηλότερων κερδών. Η τιμή συνήθως για ένα προϊόν ή υπηρεσία καθορίζεται από τα έξοδα κατασκευής και διατήρησης, τον ανταγωνισμό της αγοράς και πώς αποτιμούν οι πελάτες το προϊόν/υπηρεσία.

Τέλος, ένα σημαντικό κομμάτι του υπολογιστικού νέφους είναι το συμβόλαιο διασφάλισης υπηρεσίας (Service Level Agreement-SLA) το οποίο περιγράφει τις διαπραγματεύσεις μεταξύ του παρόχου και του πελάτη όσον αφορά τις υπηρεσίες που παρέχονται. Το SLA αναφέρεται στην σύμβαση υπηρεσιών και απόδοσης. Επίσης, μπορεί να περιλαμβάνει συμφωνίες σχετικά με την ποιότητα των υπηρεσιών(Quality of Service- QoS), την τιμολόγηση, εγγυήσεις.

Ορισμός

Το υπολογιστικό νέφος είναι ένα μοντέλο που επιτρέπει μια ευρέως διαδιδόμενη, κατάλληλη κατά παραγγελία πρόσβαση μέσω δικτύου σε μια κοινόχρηστη συγκέντρωση από διαχειρίσιμους υπολογιστικούς πόρους(δίκτυα, εξυπηρετητές, αποθηκευτικό χώρο, εφαρμογές και υπηρεσίες) που μπορούν γρήγορα να προμηθευτούν και να αποδεσμευτούν με μια ελάχιστη προσπάθεια διαχείρισης ή αλληλεπίδρασης από τον πάροχο υπηρεσιών. (Mell, Grance, & Grance, n.d.)

1.1.1 Χαρακτηριστικά

- ❖ *Ευρεία διαδικτυακή πρόσβαση:* οι δυνατότητες του cloud είναι διαθέσιμες σε όλο το δίκτυο και είναι προσβάσιμες μέσω συμβατικών μηχανισμών που προωθούν τη χρήση από ετερογενείς πλατφόρμες πελατών όπως κινητά τηλέφωνα, λάπτοπ κλπ.
- ❖ *Αυτοεξυπηρέτηση ανάλογη της ζήτησης:* υπηρεσίες του υπολογιστή όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, εφαρμογές, διαδίκτυο ή υπηρεσίες εξυπηρετητή μπορούν να προσφερθούν χωρίς να απαιτείται η ανθρώπινη παρέμβαση με κάθε πάροχο υπηρεσιών. Ορισμένοι πάροχοι cloud που παρέχουν την αυτοεξυπηρέτηση ανάλογη της ζήτησης είναι οι Amazon Web Services (AWS), Microsoft, Google, IBM, Salesforce.com, New York Times και NASDAQ αποτελούν παραδείγματα εταιρειών που χρησιμοποιούν υπηρεσίες cloud της Amazon.
- ❖ *Συγκέντρωση πόρων:* Οι υπολογιστικοί πόροι του παρόχου συγκεντρώνονται μαζί για να εξυπηρετήσουν πολλούς καταναλωτές χρησιμοποιώντας πολλαπλά μοντέλα μίσθωσης με διαφορετικούς φυσικούς και εικονικούς πόρους οι οποίοι διανέμονται και μοιράζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις των πελατών. Οι πόροι που αναφερόμαστε είναι αποθηκευτικός χώρος, επεξεργαστές, μνήμη, εύρος δικτύου, εικονικά μηχανήματα και υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.
- ❖ *Ελαστικότητα:* Το σύστημα μπορεί να προσαρμόζεται στις αλλαγές του φόρτου εργασίας προσαρμόζοντας τους πόρους που παρέχει δυναμικά, όποτε αυτό είναι απαραίτητο ανάλογα με τις ανάγκες που υπάρχουν. Όσον αφορά τον καταναλωτή, οι δυνατότητες παροχής υπηρεσιών είναι συχνά απεριόριστες και μπορεί να γίνει η αγορά τους σε οποιαδήποτε ποσότητα οποιαδήποτε στιγμή.
- ❖ *Ελεγχόμενες υπηρεσίες:* Η χρήση πόρων του υπολογιστικού νέφους μπορεί να μετρηθεί ,ελεγχθεί και αναφερθεί παρέχοντας διαφάνεια όσο για τον πάροχο όσο και τον χρήστη της υπηρεσίας. Το cloud computing δίνει τη δυνατότητα να ελεγχθεί και βελτιστοποιηθεί η χρήση των πόρων. Αυτό σημαίνει ότι, όπως ο ηλεκτρισμός και το νερό έτσι και οι τεχνολογίες πληροφοριών χρεώνονται με μονάδα μέτρησης τη χρήση. Δηλαδή, όσο περισσότερο χρησιμοποιείς έναν πόρο τόσο περισσότερο πληρώνεις.[1]

1.1.2 Υπηρεσίες

Το cloud computing λοιπόν αποτελεί μια από τις πιο πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες του μέλλοντος. Οι πάροχοι του προσφέρουν πολλές υπηρεσίες μέσω ορισμένων μοντέλων στους πελάτες/χρήστες.

Iaas

Ένα από αυτά τα μοντέλα είναι οι υπηρεσίες υποδομής- Infrastructure as a Service(Iaas). Σύμφωνα με αυτό λοιπόν, οι υπολογιστές παρέχονται ως φυσικά ή εικονικά μηχανήματα για να υποστηρίξουν τις λειτουργίες των τελικών χρηστών. Ο χρήστης/πελάτης μιας τέτοιας υπηρεσίας μπορεί, αντί να αγοράσει ένα σέρβερ και το αντίστοιχο λειτουργικό σύστημα, να ενοικιάσει ένα εικονικό σέρβερ με εγκατεστημένο το λειτουργικό σύστημα της επιλογής του. Ο πάροχος είναι υπεύθυνος να τρέχει σωστά η υπηρεσία αλλά και να την συντηρεί. Επίσης, μισθώνει τη χρήση των μηχανημάτων στους πελάτες συνήθως ανάλογα με την ώρα της χρήσης της υπηρεσίας (per use basis). Για το λόγο αυτό, η τιμή αντιπροσωπεύει την ποσότητα των πόρων οι οποίοι έχουν παραχωρηθεί. Άλλοι τύποι πόρων που χρησιμοποιούνται σε αυτό το μοντέλο είναι οι IP διευθύνσεις, τοίχος προστασίας, εικόνες σε μια εικονική βιβλιοθήκη καθώς επίσης και εικονικά τοπικά δίκτυα (vLANS). Ορισμένα παραδείγματα Iaas παρόχων είναι οι Google Compute Engine, Windows Azure VirtualMachines, Amazon CloudFormation, Rackspace Cloud και Terremark.

Paas

Ένα άλλο βασικό μοντέλο υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους είναι το επίπεδο υπηρεσιών πλατφόρμας- Platform as a Service(Paas). Σε αυτόν τον τύπο παρέχονται υπηρεσίες που ανήκουν στο αμέσως υψηλότερο επίπεδο από το προηγούμενο. Συγκεκριμένα, μια υπολογιστική πλατφόρμα προσφέρεται στους πελάτες. Αυτή η πλατφόρμα συμπεριλαμβάνει λειτουργικά συστήματα, υλικό, γλώσσες προγραμματισμού, περιβάλλον εκτέλεσης, σέρβερς και βάσεις δεδομένων. Οι προγραμματιστές έχουν την ευκαιρία να επωφεληθούν σε μεγάλο βαθμό από το συγκεκριμένο μοντέλο, καθώς μπορούν να νοικιάσουν σύνθετο υλικό και να αλλάξουν δυναμικά τα λειτουργικά συστήματα όσο προγραμματίζουν τις εφαρμογές τους. Το αρνητικό κομμάτι του συγκεκριμένου μοντέλου Paas είναι το γεγονός πως στερεί σε κάποιο βαθμό σε ευελξία και ίσως δεν ταιριάζει στις ραγδαίως εξελισσόμενες απαιτήσεις ορισμένων πελατών. Ορισμένα παραδείγματα τέτοιων παρόχων είναι οι Amazon Elastic Beanstalk, Cloud Foundry, Heroku, Google App Engine, Windows Azure Compute και Force.com.

Saas

Η πρώτη ίσως υλοποίηση υπηρεσιών τύπου cloud είναι οι υπηρεσίες λογισμικού- Software as a Service(Saas). Σε αυτόν τον τύπο μοντέλου, οι διάφορες εφαρμογές λογισμικού

εγκαθίστανται στο cloud και χειρίζονται από παρόχους υπηρεσιών. Οι τελικοί χρήστες/πελάτες έχουν τη δυνατότητα να εισέρχονται στο λογισμικό από το cloud. Ο πάροχος είναι για άλλη μια φορά ο υπεύθυνος για τη συντήρηση του λογισμικού. Ορισμένα πλεονεκτήματα του είναι ο εύκολος τρόπος διαχείρισης, η ελαστικότητα, η από άκρη σε άκρη προσβασιμότητα αλλά και η συμβατικότητα. Ο τρόπος χρέωσης σε αυτήν την περίπτωση είναι διαφορετικός. Οι πελάτες τυπικά χρεώνονται ένα πάγιο, σταθερό κόστος μηνιαίο ή ετήσιο. Ορισμένες εταιρίες που χρησιμοποιούν αυτό το μοντέλο είναι οι Google Apps, Microsoft Office 365, Innkeyros, Quickbooks Online και Limelight Video Platform.

Βέβαια τα παραπάνω μοντέλα αποτελούν τα βασικά. Υπάρχουν και διάφορα άλλα όπως για παράδειγμα η υπηρεσία Αποθήκευσης- Storage as a service (STaaS), όπου ο πάροχος μισθώνει αποθηκευτικό χώρο στους πελάτες μέσω κάποιας συνδρομής. Στην υπηρεσία ασφάλειας Security as a service (SECaaS), η ασφάλεια ενός παρόχου ενσωματώνεται οικονομικά και βάσει του κόστους σε μια συλλογική υποδομή. Τέλος, στην υπηρεσία ελέγχου περιβάλλοντος-Test environment as a service (TEaaS) τα δεδομένα και τα δοκιμαζόμενα λογισμικά δίνονται στους χρήστες.(Al-roomi, Al-ebrahim, Buqrais, & Ahmad, 2013)

Παρακάτω ακολουθούν 2 εικόνες που παρουσιάζουν τα βασικά μοντέλα υπηρεσιών του υπολογιστικού νέφους και ορισμένα παραδείγματα για την καλύτερη κατανόησή τους:

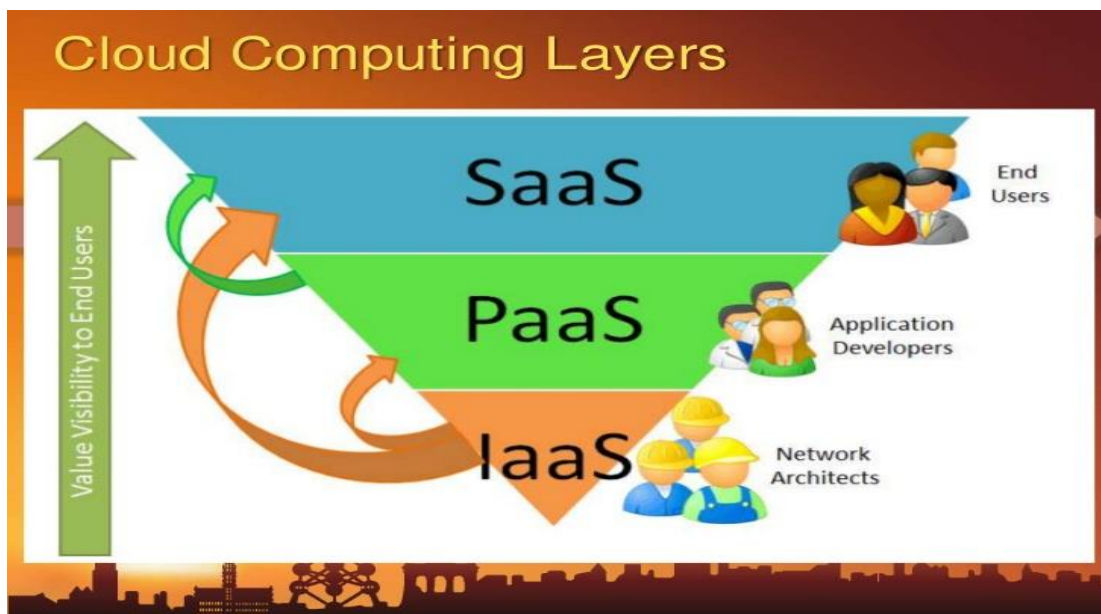


Figure 2

<https://www.google.gr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi6pbXQ6I3UAhXMzRoKHV1VCzAQjRwIBw&url=https%3A%2F%2Fwww.slideshare.net%2Fvasujain%2Fcloud-computing-architecture&psig=AFQjCNGMXJOJ5ntq8mC9Gu6YFLrPf6uXkg&ust=149589>

Και πιο αναλυτικά τι διαχειρίζεται ο πελάτης σε κάθε ξεχωριστή υπηρεσία:

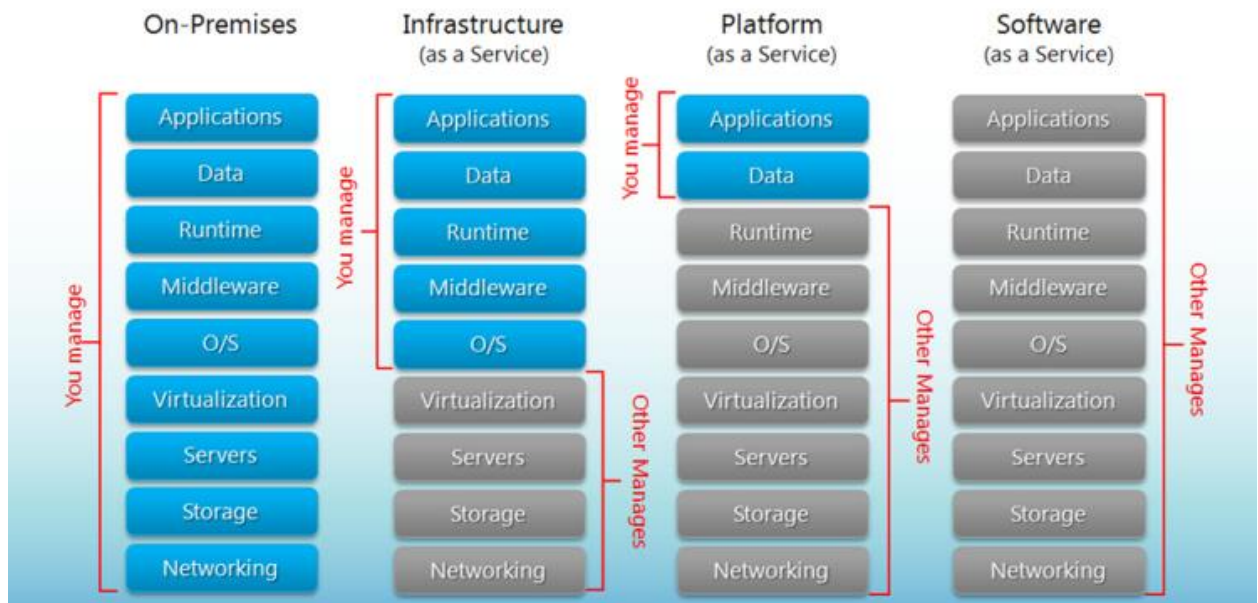


Figure3 <http://hostingadvice.digitalbrandsinc.netdna-cdn.com/wpcontent/uploads/2017/05/compairson.jpg>

1.1.3 Μοντέλα Ανάπτυξης

Στο υπολογιστικό νέφος υπάρχουν διάφορα μοντέλα ανάπτυξης και κάθε ένα από αυτά παρέχει συγκεκριμένα ανταλλάγματα για τους οργανισμούς που μεταναστεύουν υπηρεσίες και λειτουργίες σε περιβάλλοντα βασιζόμενα σε αυτό. Λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών και των συμβιβασμών διαφόρων μοντέλων ανάπτυξης νέφους, είναι σημαντικό οι επαγγελματίες IT των οργανισμών να έχουν μια σαφή κατανόηση των ειδικών αναγκών του οργανισμού τους, καθώς και το πώς τα διάφορα συστήματα μπορούν να τους βοηθήσουν να ανταποκριθούν σε αυτές τις ανάγκες. Ένα μοντέλο ανάπτυξης νέφους αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο τύπο του περιβάλλοντος νέφους, κυρίως διακρίνεται για την ιδιοκτησία, το μέγεθος, και την πρόσβαση. Υπάρχουν 4 κοινά μοντέλα ανάπτυξης νέφους τα οποία περιγράφονται στις παρακάτω ενότητες :

- Δημόσιο νέφος (Public Cloud)
- Κοινοτικό νέφος (Community Cloud)
- Ιδιωτικό νέφος (Private Cloud)
- Υβριδικό νέφος (Hybrid Cloud)

Δημόσιο νέφος

Το Δημόσιο νέφος είναι ένας συνδυασμός από υπηρεσίες πληροφορικής που παρέχονται μέσω του διαδικτύου. Ο πάροχος του νέφους είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία και τη διαρκή συντήρηση του, καθώς και των IT πόρων του. Μπορεί να ανήκει, να διαχειρίζεται και να λειτουργεί από μια επιχείρηση, έναν ακαδημαϊκό ή κυβερνητικό οργανισμό ή κάποιο συνδυασμό αυτών και υπάρχει στις εγκαταστάσεις του. Οι υπηρεσίες προσφέρονται σύμφωνα με το μοντέλο “pay as you go” ή με κάποια άλλη υπηρεσία μέτρησης της χρήσης ή δωρεάν μέσω άλλων οδών όπως η διαφήμιση. Το δημόσιο μοντέλο ανάπτυξης νέφους έχει το μοναδικό πλεονέκτημα να είναι πολύ πιο ασφαλή από την πρόσβαση σε πληροφορίες μέσω του Διαδικτύου και τείνει να κοστίζει λιγότερο από τα ιδιωτικά νέφη επειδή οι υπηρεσίες είναι πιο εμπορευματοποιημένες.

Το δημόσιο νέφος έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα: Πληρώνουμε μόνο για τους πόρους που καταναλώνουμε. Υπάρχει μεγάλη ευελιξία και κλιμάκωση λόγω της άμεσης διάθεσης των υπηρεσιών. Όλες οι υπηρεσίες προσφέρονται με βελτιωμένη και συνεχή διαθεσιμότητα, ελαστικότητα, ασφάλεια και διαχειριστικότητα. Στα δημόσια νέφη περιλαμβάνονται οι παρακάτω κατηγορίες:

- **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.

- **Δημόσιο νέφος αποκλειστικής λειτουργιάς (Dedicated Public Cloud):**

Το δημόσιο νέφος αποκλειστικής λειτουργιάς παρέχει λειτουργικότητα παρόμοια με ένα κοινόχρηστο δημόσιο νέφος εκτός από το ότι παρέχεται από αποκλειστική φυσική υποδομή. Ασφάλεια, απόδοση, και παραμετροποίηση είναι καλύτερα μερικές φορές στο αποκλειστικής λειτουργιάς δημόσιο νέφος σε σχέση με το κοινόχρηστο δημόσιο νέφος. Η αρχιτεκτονική του καθώς και το επίπεδο υπηρεσιών του καθορίζονται από τον πάροχο και το κόστος μπορεί να είναι υψηλότερο από εκείνο του κοινόχρηστου δημόσιου νέφους, ανάλογα με τον όγκο.

Ιδιωτικό νέφος (Private Cloud)

Το ιδιωτικό νέφος αποτελεί ένα σύνολο από υπολογιστικούς πόρους που προσφέρονται ως ένα προτυποποιημένο σύνολο υπηρεσιών οι οποίες καθορίζονται, σχεδιάζονται και ελέγχονται από ένα συγκεκριμένο οργανισμό ή από έναν τρίτο, ή κάποιο συνδυασμό τους, και μπορεί να υφίσταται εντός ή εκτός των εγκαταστάσεων ενός οργανισμού.

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. Σημαντικό χαρακτηριστικό του είναι πολύ υψηλό κόστος απόκτησης και λειτουργίας του. 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 κατηγορίες ιδιωτικών νεφών :

1. *Ίδιο-φιλομενούμενο 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.

2. *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).

3. *Συσκευή Πρόσβασης στο νέφος (Private Cloud Appliance):*

Η Συσκευή Πρόσβασης στο νέφος είναι ένα αποκλειστικό περιβάλλον που παρέχεται από έναν προμηθευτή, έχει σχεδιαστεί από τον ίδιο με γνώμονα τα χαρακτηριστικά που απαιτεί η αγορά αλλά και με πλήρη έλεγχο της αρχιτεκτονικής της συσκευής, φιλοξενείται εσωτερικά, και η διαχείριση του γίνεται είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Συνδυάζει τα οφέλη από τη χρήση προκαθορισμένης λειτουργικής αρχιτεκτονικής, έχει χαμηλότερο κίνδυνο ανάπτυξης και εμφανίζει όλα τα οφέλη της εσωτερικής ασφάλειας και ελέγχου. Έχει το μειονέκτημα όμως του "κλειδώματος" της επιχείρησης στην λογική και την αρχιτεκτονική της συσκευής της οποίας συνήθως ελάχιστα ελέγχει το περιβάλλον.

Είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται σωστά οι όροι "εντός εγκατάστασης" (on premise) και "βασισμένο στο νέφος" όταν αναφέρονται σε ιδιωτικά νέφη. Το γεγονός ότι το ιδιωτικό νέφος είναι εγκατεστημένο στις εγκαταστάσεις της εταιρείας, οι πόροι που φιλοξενεί θεωρούνται ότι είναι "Cloud based" αρκεί να διατίθενται σε απομακρυσμένους πελάτες αυτού του νέφους. Αν οι πελάτες αυτοί βρίσκονται εντός της εταιρείας τότε θεωρείται ότι το σύννεφο είναι "εντός εγκατάστασης".

Υβριδικό νέφος (Hybrid Cloud)

Το υβριδικό μοντέλο ανάπτυξης νέφους είναι, ένας συνδυασμός δύο ή περισσότερων διακριτών υποδομών νεφών (ιδιωτικών, δημοσίων ή κοινοτικών) όπου παραμένουν ως μοναδικές οντότητες, αλλά συνδέονται μεταξύ τους με τυποποιημένη ή αποκλειστική τεχνολογία που επιτρέπει φορητότητα εφαρμογών και δεδομένων.

Τα υβριδικά νέφη συχνά προσφέρονται ως ένας τρόπος για την παροχή ελαστικότητας που πηγάζει πέρα από την ικανότητα ενός ιδιωτικού σύννεφου. Ένα παράδειγμα υβριδικού νέφους μπορεί να αποτελείται από έναν οργανισμό που αναπτύσσει μη κρίσιμες εφαρμογές λογισμικού στο δημόσιο νέφος, διατηρώντας παράλληλα κρίσιμες ή ευαίσθητες εφαρμογές σε ένα ιδιωτικό νέφος, στις εγκαταστάσεις του.

Το υβριδικό νέφος συνδυάζει τόσο το δημόσιο όσο και το ιδιωτικό μοντέλο νέφους και μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό όταν και οι δύο τύποι βρίσκονται στην ίδια εγκατάσταση. Ένα χαρακτηριστικό της υβριδικής ανάπτυξης νέφους που την καθιστά διαφορετική από τους άλλους τύπους είναι το “Cloudburst”.

Τα πιο κοινά υβριδικά σύννεφα αποτελούνται από συνδυασμό ιδιωτικών και δημοσίων περιβαλλόντων νεφών, τα οποία αναπτύσσονται, χρησιμοποιούνται και λειτουργούν αδιάλειπτα. Μερικές υβριδικές υλοποιήσεις όμως, εκμεταλλεύονται την δυναμική φύση του υπολογιστικού νέφους και χρησιμοποιούν την έννοια του Cloudburst. Το cloudburst γενικά αναφέρεται στην δυναμική εκτέλεση μιας εφαρμογής, η οποία ενώ τρέχει κατά κύριο λόγο στην εσωτερική υποδομή υπολογιστικού νέφους ενός οργανισμού, μπορεί επίσης να εκτελεστεί και σε εξωτερική υποδομή υπολογιστικού νέφους σε περίπτωση αυξημένων απαιτήσεων σε υπολογιστική ισχύ.

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'ανάγκην 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.

Στο έγγραφο Digital Ecosystems in the Clouds: Towards Community Cloud Computing έχουν οριστεί διάφορα στοιχεία που πρέπει να υφίστανται για να μπορεί ένα νέφος να ορίζεται

ως κοινοτικό.

- *Διαφάνεια (Openness)*

Η κατάργηση της εξάρτησης από τους προμηθευτές κάνει το κοινοτικό νέφος το ανοικτό ισοδύναμο με το νέφος του 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.

- *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 .

- *Ευκολία στην νοήση και Έλεγχο (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.

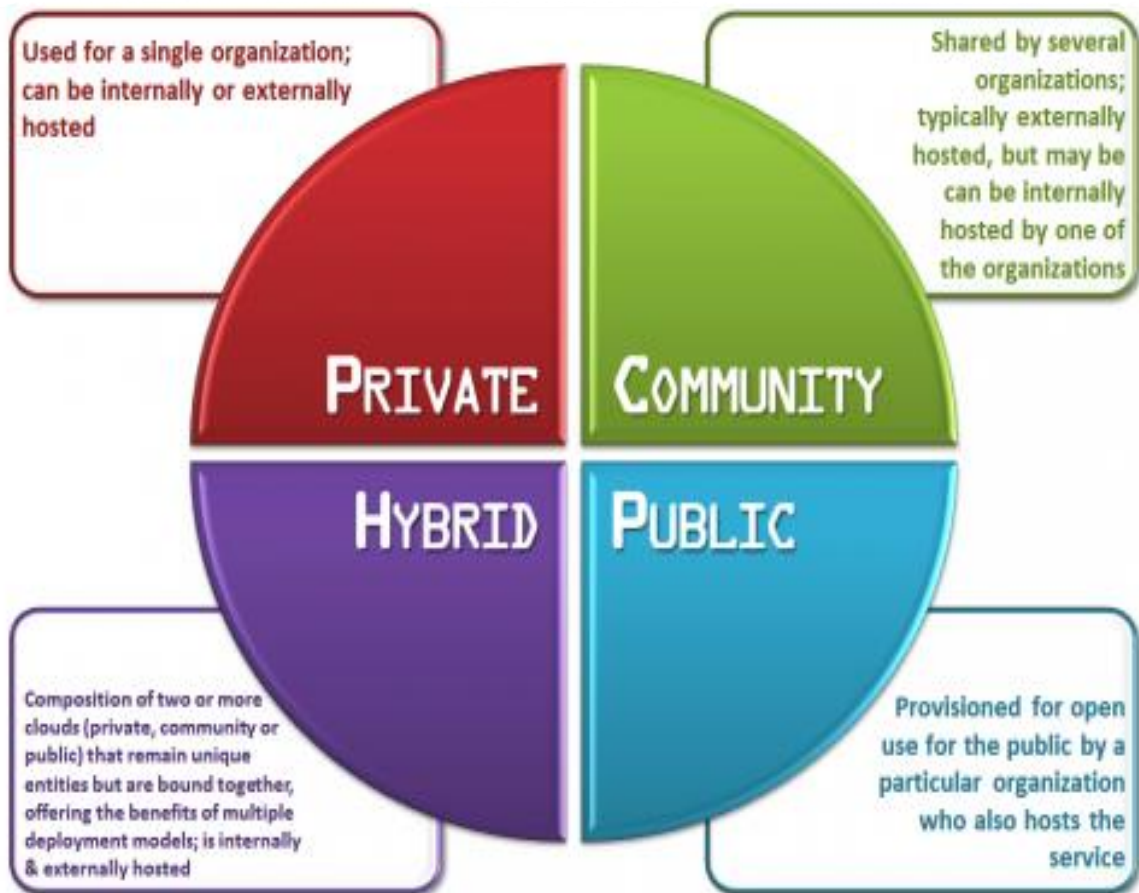


Figure 4 <http://blog.sysfore.com/wp-content/uploads/2014/04/Hybrid-cloud.jpg>

1.2 Cloud Brokering

Γενικά, η ιδέα του διαμεσολαβητή υπηρεσιών (brokerage) υπάρχει αρκετό καιρό εκτός των συνόρων του κόσμου της τεχνολογίας. Ο ρόλος του είναι παρόμοιος με τους μεσίτες ακίνητης περιουσίας, δηλαδή να διευκολύνουν τον αγοραστή και τον πωλητή ώστε να επιτευχθεί η αγοροπωλησία. Οι διαμεσολαβητές στο χώρο της τεχνολογίας αποτελούν ένα νέο “φαινόμενο” κατά το οποίο συγκεκριμένες εταιρείες λειτουργούν κυρίως ως σύμβουλοι χρησιμοποιώντας την εξειδικευμένη γνώση και εμπειρία τους πάνω σε ορισμένους τομείς της βιομηχανίας πληροφορικής. Έτσι, παρουσιάζουν στους πελάτες τις καλύτερες δυνατές λύσεις που προσφέρουν οι πάροχοι σχετικά με το λογισμικό ή το υλικό.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τον κόσμο του υπολογιστικού νέφους, λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας και των αυξημένων απαιτήσεων της αγοράς υπάρχουν διάφορες εταιρείες-πάροχοι που διαθέτουν στην αγορά ορισμένες υπηρεσίες καθώς επίσης και εταιρείες-πελάτες οι οποίες τις αγοράζουν. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει την εμφάνισή τους νέοι οργανισμοί οι οποίοι αποτελούν τον συνδετικό κρίκο μεταξύ των δυο προηγουμένως αναφερομένων. Οι εταιρείες αυτές είναι γνωστές ως διαμεσολαβητές υπολογιστικού νέφους (Cloud brokers).

1.2.1 Ορισμός κατά Nist και Gartner

NIST definition

Σύμφωνα με το NIST (National Institute of Standards and Technology) ο διαμεσολαβητής νέφους ορίζεται ως “μία οντότητα η οποία διαχειρίζεται τη χρήση, απόδοση και παράδοση των υπηρεσιών νέφους αλλά και διαπραγματεύεται τις σχέσεις μεταξύ των παρόχων και των πελατών.” Επίσης καθορίζει την κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών σε υπηρεσίες διαμεσολάβησης (Service Intermediation), συγκέντρωσης (Service Aggregation) και κερδοσκοπίας (Service Arbitrage).

GARTNER definition

Από την άλλη πλευρά, ο cloud broker ορίζεται σύμφωνα με τον Gartner ως “Εταιρεία υπηρεσιών νέφους (Cloud Service Brokerage-CBS) είναι ένα επιχειρησιακό μοντέλο κατά το οποίο μια εταιρία ή άλλη οντότητα προσδίδει αξία σε μια ή περισσότερες (δημόσιες/ιδιωτικές) υπηρεσίες νέφους εκ μέρους ενός ή περισσότερων καταναλωτών μέσω ‘τρίτου’ βασικού ρόλου συμπεριλαμβάνοντας συγκέντρωση, ενσωμάτωση και προσαρμογή υπηρεσιών.”

Από το 2013 και μετά έχουν διεξαχθεί νέες έρευνες που προσανατολίζονται κυρίως στην διασύνδεση του λογισμικού, της υποδομής(υλικού) και διαφόρων υπηρεσιών πλατφόρμας.

Τα μοντέλα αυτής της έρευνας έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον διαφόρων βιομηχανιών και ακαδημιών. Το αποτέλεσμα τους ήταν πως αποδείχθηκε ότι κανένας από τους δύο ορισμούς δεν είναι τελικά διεξοδικός όσον αφορά τον ορισμό του cloud broker. Αυτό οφείλεται στους εξής παράγοντες:

- οι υπηρεσίες καθορίστηκαν ως αυτόματες αλλά όχι αυτόνομες
- οι περιπτώσεις χρήσεις δεν συμβάδιζαν με την εξελικτική φύση του cloud computing
- κανένας από τους ορισμούς δεν επεκτάθηκε στην ύπαρξη τοπικών προτεραιοτήτων των κέντρων με τα δεδομένα τα οποία προσφέρουν τις υπηρεσίες
- δεν λήφθηκαν υπό όψιν οι συνδιασμένες προτεραιότητες ανθρώπου-μηχανής.(Khanna & Jain, 2015)

1.2.2 Πως λειτουργεί ένας Cloud Broker

Ένας διαμεσολαβητής υπολογιστικού νέφους (cloud broker) είναι ένας οργανισμός, μια εταιρεία τρίτου προσώπου η οποία ενεργεί ως μεσάζοντας μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών νέφους και των επιχειρήσεων που ενδιαφέρονται για την αγορά τους. Λειτουργεί δηλαδή ως μεσάζοντας στις διαπραγματεύσεις μεταξύ των δυο πλευρών, όπως κάνει για παράδειγμα ένας μεσίτης ακίνητης περιουσίας.

Ο ρόλος του cloud broker είναι να εξοικονομεί χρόνο από τον πελάτη αναζητώντας υπηρεσίες και προσφέροντας πληροφορίες σχετικά με το πως να χρησιμοποιήσει το υπολογιστικό νέφος με ορθό τρόπο ώστε να υποστηρίξει τους επιχειρησιακούς του στόχους. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς δουλεύει στενά με παρόχους νέφους και έτσι γνωρίζει το εύρος των τιμών και έχει περισσότερες πληροφορίες για τον τρόπο που δουλεύουν. Ο διαμεσολαβητής συνεργάζεται και δουλεύει με τον πελάτη για να καθορίσουν την διαδικασία της δουλειάς, τις ανάγκες εφαρμογής, τους οικονομικούς στόχους και τις απαιτήσεις για τη διαχείριση δεδομένων. Στη συνέχεια, παρέχει μια σύντομη λίστα από προτεινόμενους παρόχους νέφους και ο πελάτης επικοινωνεί με εκείνον που θεωρεί ως τον πιο κατάλληλο για να κανονίσει τις υπηρεσίες που τον ενδιαφέρουν. Με τον τρόπο αυτό έχει την ευκαιρία ο πελάτης να εξερευνήσει, ενσωματώσει και καταναλώσει τις υπηρεσίες που επιθυμεί με χαμηλότερο κόστος, ευκολότερα, ασφαλέστερα και πιο αποτελεσματικά. Τέλος έχει την αρμοδιότητα και το δικαίωμα να διαπραγματευτεί τα συμβόλαια με τους παρόχους εκ μέρους του πελάτη του.

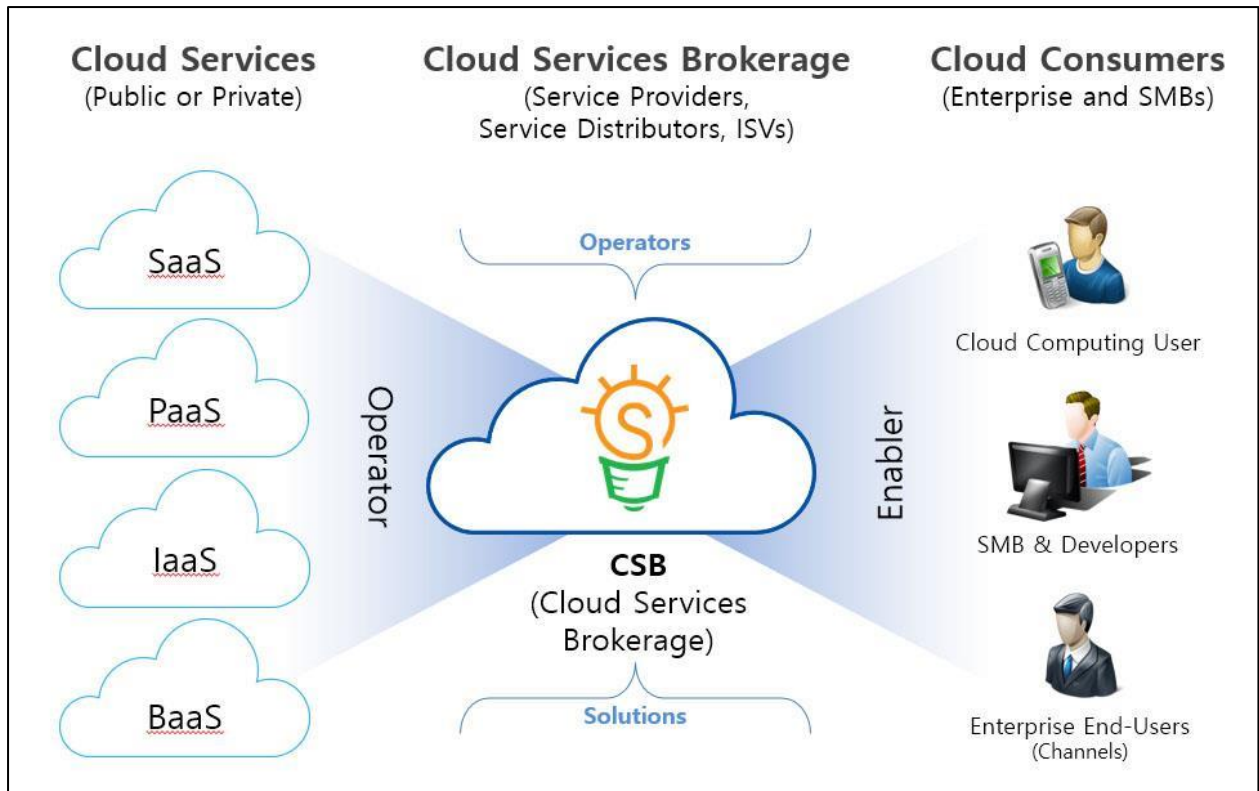


Figure 5 http://www.oss.kr/oss/images/apply/softwareinlife_20140311_01.jpg

Συνεπώς, εφόσον οι υπηρεσίες νέφους πολλαπλασιάζονται και διευρύνονται ραγδαία και γρηγορότερα από την ικανότητα των καταναλωτών να τις διαχειριστούν, οι διαμεσολαβητές νέφους θα είναι πλέον απαραίτητοι για να εξασφαλίσουν την αξιόπιστη και έμπιστη χρήση αυτών των υπηρεσιών από τους καταναλωτές.

1.2.3 Υπηρεσίες

Μια διαμεσολαβητική εταιρία cloud προσφέρει υπηρεσίες σε 3 κατηγορίες:

- **Υπηρεσία διαμεσολάβησης (Intermediation):** Ένας διαμεσολαβητής υπολογιστικού νέφους αυξάνει την αξία μιας υπηρεσίας με το να βελτιώνει κάποιες συγκεκριμένες δυνατότητές της και τις προσφέρει στους καταναλωτές. Η πρόοδος αυτή δίνει τη δυνατότητα να διαχειρίζονται οι υπηρεσίες νέφους, να γίνεται έλεγχος ταυτοποίησης και απόδοσης, να υφίσταται αυξημένη ασφάλεια κλπ.
- **Υπηρεσία Συνάθροισης (Aggregation):** Ένας cloud broker συνδιάζει και ενσωματώνει πολλαπλές υπηρεσίες σε μία ή περισσότερες καινούριες. Επιπλέον, παρέχει ενσωμάτωση δεδομένων και διασφαλίζει την μετακίνηση των δεδομένων αυτών μεταξύ του καταναλωτή και των πολλαπλών παρόχων.
- **Υπηρεσία Κερδοσκοπίας (Arbitrage):** Η ορολογία αυτή αναφέρεται στη

δυνατότητα που έχει ο broker να επιλέξει υπηρεσίες από διάφορους οργανισμούς σε ένα μεγάλο εύρος και να τις πουλήσει σε άλλες εταιρείες σε μικρότερα πακέτα με καλύτερη τιμή.(Mell et al., n.d.)

1.2.4 Πλεονεκτήματα cloud broker [2]

-  **Ευρύτερη τεχνική εξειδίκευση:** Καθώς η αρχιτεκτονική των οργανισμών πληροφορικής γίνεται όλο και πιο ποικιλόμορφη, είναι σημαντικό να μην υπάρχει περιορισμός μόνο σε ένα πάροχο ο οποίος θα θέτει τα όρια στις επιλογές. Για το λόγο αυτό, η επέμβαση ενός cloud broker θα προσφέρει ευελιξία αλλά και διεύρυνση του εύρους αναζήτησης υπηρεσιών νέφους. Ένας έμπειρος CBS μπορεί να βοηθήσει στον τομέα της ασφάλειας, καθώς έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει διάφορα ρίσκα ασφάλειας και πιθανά προβλήματα. Επιπλέον, από τη στιγμή που συγκεντρώνει υπηρεσίες από ποικίλες πηγές, προσφέρει την ικανότητα για εύκολη μετακίνηση και κινητικότητα δεδομένων καθώς επίσης ευχρηστία και προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές πλατφόρμες και υπηρεσίες.
-  **Χαμηλότερα έξοδα ιδιοκτησίας-Οικονομικά κέρδη:** Ένα από τα σημαντικότερα οφέλη γενικά του cloud computing είναι πως με τη βοήθεια του είναι εφικτή η μείωση των εξόδων του κεφαλαίου μιας επιχείρησης. Όμως, το κέρδος αυτό δεν περιορίζεται μόνο σε αυτόν τον τομέα. Για παράδειγμα, ο διαμεσολαβητής διαπραγματεύεται καλύτερους όρους εκ μέρους του πελάτη του όσον αφορά την τιμολόγηση, διάφορες εκπτώσεις και προσφορές αλλά και συμβόλαια διασφάλισης επιπέδου λογισμικού. Επιπλέον, η εμπειρία και οι συμβουλευτικές ικανότητές του βοηθούν στην μείωση του χρόνου για την απόκτηση των υπηρεσιών αλλά και σε μια αρκετά σίγουρη πρόβλεψη σχετικά με το θέμα του budget μιας επιχείρησης.
-  **Λειτουργική απόδοση:** Ένας CBS έχει στο “χαρτοφύλακά” του μια μεγάλη ποικιλία από διάφορους παρόχους υπηρεσιών νέφους, οι οποίοι είναι γεωγραφικά διασκορπισμένοι. Παρόλ’ αυτά, μια επιχείρηση μπορεί να έχει άμεση και αποτελεσματική πρόσβαση στις υπηρεσίες ώστε να αυξήσει την απόδοση των εφαρμογών της, να διατηρήσει ένα δυνατό αντίγραφο (back up) και να έχει μια εναλλακτική λύση σε περίπτωση καταστροφής των δεδομένων.
-  **Ορθές επιλογές σχετικά με ριψοκίνδυνες συμφωνίες, συμβατότητα και διαχείριση:** Ένας έμπειρος και έμπιστος διαμεσολαβητής υπηρεσιών νέφους προσφέρει σε μια επιχείρηση τεράστια ποικιλία και εύρος γνώσεων. Συνδιάζει πολλούς τομείς τεχνογνωσίας και προσαρμοστικότητας από διάφορους πάροχους. Έτσι δίνεται η δυνατότητα για έναν ευκολότερο σχεδιασμό μιας αξιόπιστης εφαρμογής, μεταφοράς φόρτου εργασίας και πλάνο καταστροφής σε περίπτωση

που συμβεί μια απρόσμενη διακοπή λειτουργίας στον πάροχο ή διατρέχει απροσδόκητες δυσκολίες σχετικά με την επιχείρηση.

1.2.5 Παγκόσμια αγορά

Οι εταιρίες διαμεσολάβησης υπηρεσιών νέφους ή αλλιώς Cloud Service Brokerage αποτελούν το νέο μοντέλο μεταφοράς υπηρεσιών νέφους τα τελευταία χρόνια. Υπηρεσίες όπως η συγκέντρωση, ενοποίηση και προσαρμογή παρέχονται από τον broker έτσι ώστε να συμβαδίσουν με τις ανάγκες του πελάτη. Η παγκόσμια αγορά παρουσιάζει αξιόλογη προοπτική ανάπτυξης καθώς αυξάνεται συνεχώς η ζήτηση των υπηρεσιών νέφους. Καθοριστικό ρόλο παίζει η συχνότερη υιοθέτηση του υβριδικού μοντέλου νέφους αλλά και το θέμα διαχείρισης και ελέγχου των προμηθευτών . Καθώς λοιπόν όλο και περισσότερες εταιρείες στρέφονται στο Cloud και αγοράζουν διάφορες υπηρεσίες, αυτό έχει ως αποτέλεσμα η παγκόσμια αγορά των cloud brokers να αυξάνεται συνεχώς.

Σύμφωνα με την Search and Markets (τη μεγαλύτερη παγκοσμίως εταιρία σχετικά με ετήσιες έρευνες που αφορούν τις αγορές), η αμερικάνικη αγορά των cloud service brokerage εκτιμάται ότι θα αυξηθεί από \$7.44 δισεκατομμύρια το έτος 2016 σε \$26.71 δυς μέχρι το 2021, μεταβολή που αντιστοιχεί σε ποσοστό της τάξης του 29.1% το χρόνο.[3] Όσον αφορά την παγκόσμια αγορά αναμένεται να σημειωθεί αύξηση από \$5.24 δυς το έτος 2015 σε \$19.16 δυς μέχρι το 2020, αύξηση που αντιστοιχεί σε 29.6% ετησίως.[4]

Οι περιοχές της Ανατολικής Ασίας και του Ειρηνικού εκτιμάται πως θα κυριαρχήσουν στην αγορά των cloud brokers λόγω της παρουσίας ισχυρών οικονομιών όπως αυτή της Ινδίας, Κίνας, Αυστραλίας, Ν.Κορέας και Ιαπωνίας. Η διαρκής εξέλιξη αυτή ωφείλεται στην ψηφιοποίηση και ενσωμάτωση διαφόρων τεχνολογιών. Παράγοντες όπως η υιοθέτηση της τάσης BYOD (Bring Your Own Device-μια νέα τάση όπου επιτρέπεται στους εργαζομένους να δουλεύουν με δικές τους συσκευές στην δουλειά, όπως smartphones, tablets, laptops), η συνεχόμενη ανάπτυξη στο εργατικό δυναμικό της κινητής τεχνολογίας, η πολυπλοκότητα στις επιχειρήσεις, η ανεξέλεκτη φύση του διαδικτύου αλλά και η ευελιξία ωθούν και ενθαρρύνουν την αγορά να αναπτυχθεί με ταχείς ρυθμούς. Τέλος, η βόρεια Αμερική υπολογίζεται πως θα αποτελέσει παγκοσμίως τη δεύτερη μεγαλύτερη αγορά εξαιτίας της αυξανόμενης τάσης των αγορών νέφους. Τα στοιχεία αυτά απεικονίζονται από την παρακάτω εικόνα:



Figure 6 <http://www.marketsandmarkets.com/Images/cloud-service-brokerage-enablement-market3.jpg>

Αυτές οι εταιρίες προσφέρουν υπηρεσίες νέφους υψηλής απόδοσης για να αυξήσουν την αποδοτικότητα, να μειώσουν τα κόστη και να παρέχουν πραγματική αξία στις επιχειρήσεις. Οι υβριδικές τεχνολογίες νέφους, το μοντέλο πληρωμής pay-as-you-go (στο οποίο ο κάθε χρήστης χρεώνεται ανάλογα με τη χρήση των πόρων), τα μοντέλα SaaS είναι ορισμένες από τις ανερχόμενες τάσεις στον τομέα της αγοράς των cloud service brokerage. Επιπλέον, αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει και τις εταιρίες να αποφύγουν τον “εγκλωβισμό” των προμηθευτών, καθώς με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα και ευελιξία στους πελάτες να αξιοποιήσουν εφαρμογές τύπου νέφους και προσφορές από διάφορους άλλους παρόχους μέσω μιας απρόσκοπτης διασύνδεσης. Τέλος, η αυξανόμενη ζήτηση για τέτοιου τύπου υπηρεσίες από μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις δίνουν σε αυτές όλο και μεγαλύτερη αξία.

Ένας άλλος τεράστιος παγκόσμιος οργανισμός που ασχολείται με τις έρευνες των αγορών, η MarketsandMarkets, αναμένει πως θα στο άμεσο μέλλον θα υπάρχει μια αυξανόμενη υιοθεσία του cloud brokerage και cloud brokerage enablement, καθώς οι κύριοι προμηθευτές/πάροχοι επενδύουν μανιωδώς και εργάζονται με σκοπό την κατασκευή οικονομικών πλατφόρμων, την εύρεση λύσεων σε μια προσπάθεια να περιορίσουν τα συνολικά έξοδα που δημιουργούνται από τους τελικούς χρήστες διαχειρίζοντας τις διάφορες υπηρεσίες. Οι CBS πάροχοι βοηθούν τους οργανισμούς με το να τους

Μέθοδοι προσομοίωσης διαμεσολαβητών υπολογιστικού νέφους(Cloud Brokers)

παρουσιάζουν μια γενική εικόνα των υφιστάμενων υπηρεσιών που μπορούν να αξιοποιήσουν και να διαχειριστούν την καλύτερη ποιότητα που τους δίνεται.

Η αγορά των Cloud Service Brokerage χωρίζεται σε διάφορες κατηγορίες σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια. Ορισμένα από αυτά είναι τα εξής:

- **Τύπος υπηρεσίας:** χωρίζεται σε cloud brokerage και cloud brokerage enablement, όπου η τελευταία διαχωρίζεται επιπλέον σε εσωτερικούς και εξωτερικούς brokers.
- **Τύπος τελικού χρήστη/πελάτη:** μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (Small/Medium Enterprises-SMEs) και εταιρίες
- **Περιοχές:** Βόρεια Αμερική, Ασία-Ειρηνικός, Ευρώπη, Λατινική Αμερική, Μέση Ανατολή και Αφρική.
- **External brokers:** TSPs, ISVs, VARs, πάροχους νέφους και εξυπηρετητών, διανομείς συστημάτων και άλλα.

Τα στοιχεία αυτά πηγάζουν από την αναφορά της έρευνας της MarketsandMarkets και παρουσιάζονται στο διάγραμμα στην παρακάτω εικόνα:

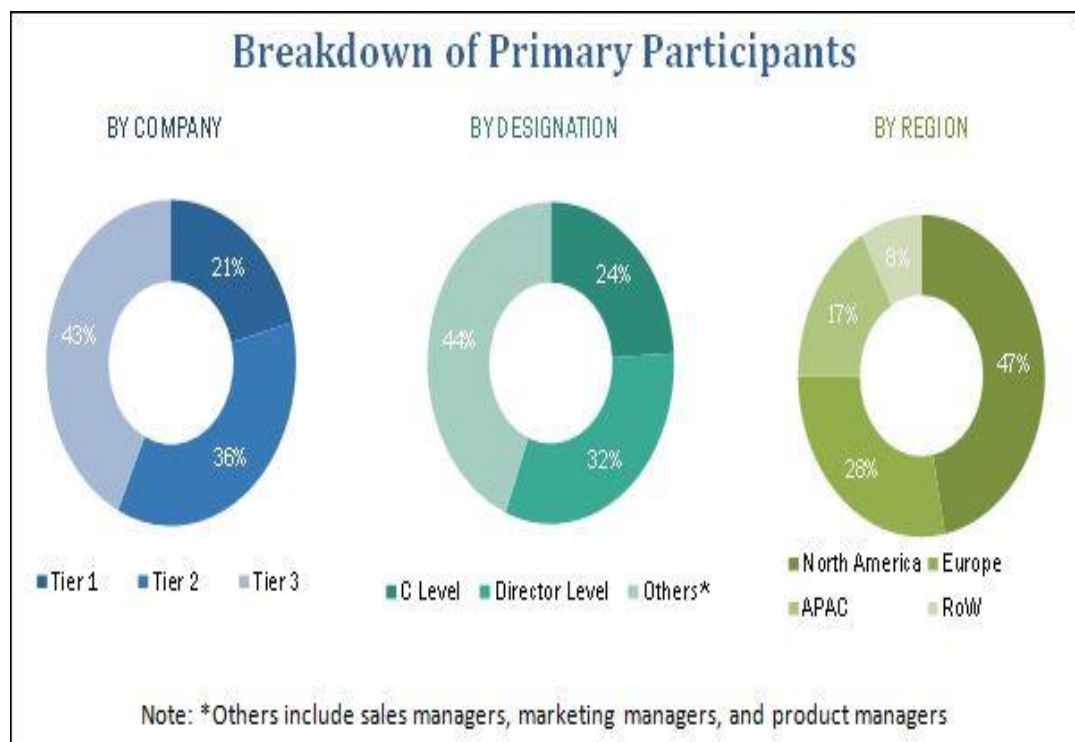


Figure 7 <http://www.marketsandmarkets.com/Images/cloud-service-brokerage-enablement-market2.jpg>

Εταιρείες όπως οι Jamcracker, Gravitant, Computenext, HP, Accenture, Dell, Nephos Technologies, NEC, Cloud Sherpas (Accenture) and Cargemini αποτελούν ορισμένα παραδείγματα τέτοιων ενεργών μεγάλων εταιρειών στην αγορά σήμερα. Εκτός από αυτές όμως υπάρχει και ένας μεγάλος αριθμός άλλων εταιριών τύπου CBS οι οποίες μπορούν να ξεπροβάλλουν ανά πάσα στιγμή στην αγορά και να την κάνουν ακόμα πιο έντονη και

ανταγωνιστική. Επιπροσθέτως, υπάρχουν και άλλοι φορείς που εκμεταλλεύονται το cloud computing για να παρέχουν υπηρεσίες στις εταιρείες όπως διάφοροι MSPs (Managed Service Provider), εταιρείες που μεταπουλάνε υπηρεσίες και μπορούν να ανταγωνιστούν την παγκόσμια αγορά. Έτσι, η δυνατότητα διαπραγμάτευσης των καταναλωτών είναι υψηλή και θα παραμείνει σε αυτά τα επίπεδα καθώς η αγορά βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο και αναμένεται να πάρει για τους προμηθευτές ώστε να κερδίσουν την εμπιστοσύνη και την πίστη των πελατών.

1.2.6 Βασικές εταιρείες

Καθώς η ζήτηση των υπηρεσιών νέφους αυξάνεται αυτό έχει ως αποτέλεσμα να πληθαίνουν παγκοσμίως και οι εταιρίες που λειτουργούν ως Cloud Service Brokerage. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες από τις πιο πρόσφατες εταιρείες που υφίστανται σήμερα και εξυπηρετούν πολλούς πελάτες:

Cloud Service Broker	Website
Amazon Web Services	aws.amazon.com
Appirio	appirio.com
BlueWolf	www.bluewolf.com
Boomi	www.boomi.com
Cloud Compare	www.cloudcompare.ie
Cloud Ecosystem Hub	www.infosys.com/cloud-ecosystem-hub
Cloud Fuze	www.cloudfuze.com
Cloud Nation	www.cloudnation.co
CloudOrbit	www.cloudorbit.com
Cloud Sherpas	www.cloudsherpas.com
Clouditalia	www.clouditalia.com
cloudMatrix	www.gravitant.com/cloudmatrix-overview
CloudMore	web.cloudmore.com
CloudSolv	www.synnex.com/cloudsolv
Comcast (Upware)	upware.comcast.com
ComputeNext	www.computenext.com
Cordys	www.opentext.com/what-we-do/products/business-process-management/process-suite-platform/opentext-cordys
DirectCloud	www.mydirectcloud.com
Green Cloud Technologies	gogreencloud.com
HP Aggregation Platform	h20229.www2.hp.com/partner/ngsd/HPAP4SaaS.html
Ingram Micro Cloud	www.ingrammicrocloud.com
Liaison Technologies	liaison.com
LuxCloud	luxcloud.com
Nephos Technologies	www.nephos technologies.com
Nervogrid	www.nervogrid.com
Nuvotera	nuvotera.com
Rackspace	www.rackspace.com
SaaSMax	www.saasmax.com
SoftChoice Cloud	softchoicecloud.com
TDCloud	www.techdata.com/tdcloudregroup/Home.aspx
The Rype Group	rype.com.au
Trading Grid	tradinggrid.gxs.com
VerioCatalyst	www.verio.com/veriocatalyst
Virtacore	www.virtacore.com

Figure 8 List of discussed cloud service brokers (CSBs) and their websites. (Bouvry, 2015)

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (Τεχνικές Brokering)

2.1 Οικονομικά ωφέλη ενός broker

Ένας διαμεσολαβητής υπολογιστικού νέφους (broker) είναι ένα μοντέλο “many to many” με πολλούς ξεχωριστούς πελάτες να προμηθεύονται υπηρεσίες νέφους από μια “δεξαμενή” εξουσιοδοτημένων παρόχων υπηρεσιών. Ο broker προσφέρει μια διεπαφή μέσω της οποίας διαχειρίζεται διάφορα είδη νέφους (δημόσιο,ιδιωτικό κλπ) και μοιράζει πόρους (Virtual Machines-VMs). Ο ρόλος του είναι έξω από τα νέφη, να τα παρακολουθεί και να τα ελέγχει και ο βασικός σκοπός είναι να βοηθάει τους πελάτες να βρίσκουν τον καλύτερο πάροχο και τις υπηρεσίες σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους και τηρώντας το συμβόλαιο που έχει συμφωνηθεί (SLA). Επίσης, δίνει τη δυνατότητα στους πελάτες μέσω μιας ομοιόμορφης διεπαφής να ελέγχουν και να παρατηρούν τις τρέχοντες υπηρεσίες που χρησιμοποιούν.

Η πολυπλοκότητα του συγκεκριμένου λειτουργικού μοντέλου απαιτεί τη χρήση ενός συστήματος χρέωσης που υποστηρίζει ένα ετερογενές υπολογιστικό περιβάλλον τέτοιο ώστε η χρήση των πόρων να μπορεί να υπολογιστεί από όλους τους παρόχους και για όλους τους πελάτες ανεξαρτήτως προμηθευτή, πλατφόρμας, συμβολαίου, περιβάλλον νέφους και δομής οργανισμού. Παρομοίως, το σύστημα αυτό θα πρέπει να είναι ελαστικό και ευέλικτο για να προσαρμόζεται εύκολα σε νέους προμηθευτές, υπηρεσίες και μεθόδους τιμολόγησης. Με τον τρόπο αυτό ο broker έχει την άνεση να προσθέτει νέους παρόχους υπηρεσιών αλλά και να ικανοποιεί τις οικονομικές απαιτήσεις των πελατών του.

Το κέρδος εξασφαλίζεται εκπληρώνοντας τις απαιτήσεις τόσο του πελάτη όσο και του παρόχου. Για να το πετύχει αυτό χρησιμοποιεί μια ποικιλία μεθόδων, όπως αποθηκευτικό χώρο για τη διανομή και ενσωμάτωση δεδομένων για τις υπηρεσίες που είναι απαραίτητες για να αναπτύξει ένα αξιόλογο περιβάλλον και να εξασφαλίσει την καλύτερη δυνατή συμφωνία μεταξύ των δύο πλευρών. Ο broker τυπικά κερδίζει είτε με αποκομίζοντας αμοιβή από μια πετυχημένη συμφωνία ή εκμεταλλεύοντας τα spread ή με συνδιασμό των προηγούμενων. Spread είναι η διαφορά μεταξύ της τιμής στην οποία ο broker αγοράζει μια υπηρεσία από τον πωλητή (τον πάροχο νέφους στην προκειμένη περίπτωση) και την τιμή στην οποία στην οποία την πουλάει στον αγοραστή (δηλαδή τον πελάτη του). (Aazam & Huh, 2014)(Cliff, Rogers, & Cliff, 2017)

Αυξάνοντας την αγοραστική δύναμη

Ο διαμεσολαβητής πρέπει να έχει την ικανότητα να κατοχυρώνει την χρήση των πόρων από όλους τους πελάτες για να μπορεί να αξιοποιήσει τις εκπτώσεις βασισμένες στην ποσότητα και να ωθήσει τον ανταγωνισμό μεταξύ των επιλεγμένων πωλητών/προμηθευτών. Η οργάνωση των πόρων ωφείλει να είναι ευέλικτη ώστε να φιλοξενεί πολλά διαφορετικά

σενάρια προσφορών, όπως το κόστος από τους πόρους, από τις υπηρεσίες, τους πελάτες ή τους παρόχους. Επίσης, καλό θα ήταν να αξιοποιούνταν ιστορικά, αθροιστικά στοιχεία (δεδομένα) σχετικά με το κόστος τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταυτοποίηση της τάσης, τα μοτίβα χρήσεως αλλά και την πρόβλεψη της μελλοντικής κατανάλωσης των πελατών. Αυτές οι πληροφορίες στη συνέχεια είναι δυνατό να ληφθούν υπ' όψιν έτσι ώστε να διαπραγματευτεί ο όγκος των εκπτώσεων και το χαμηλό κόστος των υπηρεσιών που παρέχουν οι πωλητές σε περιόδους όπου ο φόρτος εργασίας είναι off-peak και υπάρχει χαμηλή προτεραιότητα.(Model & Spend, n.d.)

Δυναμική τιμολόγηση

Για να εξασφαλίσει ακριβή και σωστή τιμολόγηση βάσει της ζήτησης ο broker πρέπει να έχει την ικανότητα να ρυθμίζει δυναμικά το εύρος των τιμών και να εφαρμόζει μια ποικιλία από μεθοδολογίες τιμολόγησης όπως η μεταβαλλόμενη, η κλιμακωτή και αυτή που βασίζεται στις συνδρομές. Έτσι μπορεί γρήγορα και εύκολα να προσαρμόσει την χρέωση στους πελάτες σύμφωνα με την τιμολόγηση των πωλητών/προμηθευτών. Η δυναμική τιμολόγηση επιτρέπει την προσαρμογή σε περιόδους εκτός αιχμής (off-peak seasons) αλλά και εντατικής χρήσης και ζήτησης πόρων, όπως η ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων. Η πρόσθετη οικονομική επιβάρυνση και οι πολιτικές προσφορών θα πρέπει επίσης να θεωρηθούν μεγάλης σημασίας καθώς βοηθούν στην διαμόρφωση της ζήτησης με βάση την κατανάλωση που υφίσταται τη δεδομένη χρονική στιγμή. Επιπρόσθετα, ένα μοντέλο διαμεσολαβητή απαιτεί να αυξάνεται η αξία των προμηθευμένων υπηρεσιών τρίτου προσώπου για να ανακτηθούν τα κόστη και στα δυο μοντέλα, κόστους και κέρδους. (Model & Spend, n.d.)

Συνοπτικά, ένας Cloud Broker είναι εκείνος που εισάγει την καινοτομία, παντρεύοντας ουσιαστικά τις απαιτήσεις και τον προϋπολογισμό των πελατών του με τον κατάλληλο πάροχο υπηρεσιών ώστε να προωθήσει την καλύτερη παραγωγικότητα στο χαμηλότερο εφικτό κόστος. Το μοντέλο αυτό λοιπόν απαιτεί ένα εξεζητημένο σύστημα χρέωσης για να εξασφαλίσει ότι τα κόστη μειώνονται από όλες τις όψεις της διαδικασίας: από τα κόστη των υπηρεσιών που προμηθεύονται έως την αποδοτικότητα και τα κέρδη που αποκομίζει ο διαμεσολαβητής και τελικά στην βελτιστοποίηση της δαπάνης στο επίπεδο του πελάτη.

2.2 Τεχνικές

2.2.1 Dynamic Cloud Resource Reservation via Cloud Brokerage

2.2.1.1 Πληροφορίες μοντέλου

Σε αυτό το μοντέλο παρουσιάζεται μια νέα υπηρεσία cloud brokerage κατά την οποία γίνεται κράτηση σε μια μεγάλη συγκέντρωση πόρων VMs (Virtual Machines) από τους διάφορους παρόχους και εξυπηρετούνται οι χρήστες με εκπτώσεις στις τιμές. Ο broker εκμεταλλεύεται με τον βέλτιστο τρόπο τόσο τα οικονομικά οφέλη από τις κρατήσεις πόρων (long-term instances) μεγάλης διάρκειας όσο και τα σύνθετα κέρδη. Ο χρήστης λοιπόν αντί να κάνει συναλλαγές απευθείας με τους παρόχους, θα αγοράσει τους πόρους που χρειάζεται από τον cloud broker ο οποίος εξυπηρετεί ένα μεγάλο μέρος της ζήτησης των πελατών δίνοντας πόρους (instances) κατά παραγγελία (on-demand). Το παραπάνω μοντέλο απεικονίζεται στην εικόνα που ακολουθεί.

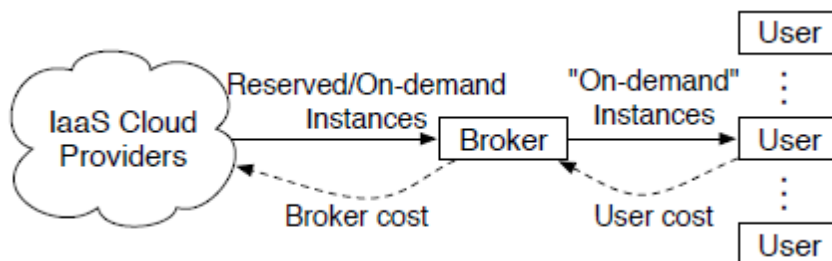


Figure 9 The proposed cloud broker. Solid arrows show the direction of instance provisioning; dashed arrows show the direction of money flow.

(Nesmachnow et al., 2013)

Οι πελάτες αποκτούν αυτές τις υπηρεσίες από το διαμεσολαβητή σε χαμηλότερες τιμές, καθώς αυτός εκμεταλλεύεται το μοντέλο χονδρικής τιμής και τη διαφορά στην τιμή μεταξύ των κατά παραγγελία(on-demand) και κρατημένων(reserved) πόρων ώστε να μειώσει τα έξοδα για όλους τους χρήστες. Ακόμα πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι μπορεί να οργανώσει τα αιτήματα των χρηστών ώστε να επιτευχθεί επιπρόσθετη εξοικονόμηση δαπανών με ορισμένα οφέλη.

Για παράδειγμα, καλύτερη εκμετάλλευση των κρατημένων πόρων. Αυτό επιτυγχάνεται με την συγκέντρωση των απαιτήσεων για υπηρεσίες από ένα μεγάλο αριθμό πελατών περιορίζοντας έτσι τις μεμονομένες αιτήσεις, κάτι που θεωρείται πιο κατάλληλο για τέτοιου τύπου υπηρεσίες (reserved instances). Σε αντίθετη περίπτωση, οι χρήστες θα έκαναν συχνά αιτήσεις μεμονομένα, γεγονός που δεν τους συμφέρει οικονομικά όσον αφορά τα reserved instances. Επίσης, περιορίζονται τα άσκοπα έξοδα εξαιτίας της μερικής

χρήσης των πόρων. Όταν ένας χρήστης χρησιμοποιεί μια υπηρεσία χρεώνεται για ολόκληρη την ώρα ακόμα και αν έχει κάνει χρήση ορισμένων λεπτών. Αντιθέτως, ο broker μπορεί να εκμεταλλευτεί την χρέωση μιας ώρας και να εξυπηρετήσει 2 χρήστες ταυτόχρονα μειώνοντας το συνολικό κόστος εξυπηρέτησης στο μισό. Τέλος, πολλοί πάροχοι προσφέρουν σημαντικές εκπτώσεις σε πελάτες που προχωρούν σε μαζικές αγορές προϊόντων, κάτι που εκμεταλλεύεται ο broker. Έτσι με αυτόν τον τρόπο μειώνει από την μία πλευρά τα έξοδα των χρηστών και από την άλλη αυξάνει τα δικά του έσοδα.

Το βασικό πρόβλημα σε αυτό το μοντέλο είναι το εξής: Πόσα τέτοια instances θα πρέπει να αγοράσει εκ των προτέρων, πόσα θα πρέπει να λανσάρει κατά παραγγελία και πότε θα πρέπει να κάνει αυτές τις κρατήσεις τη στιγμή που οι απαιτήσεις αλλάζουν δυναμικά με την πάροδο του χρόνου; Για να αντιμετωπιστεί αυτή η πρόκληση, διατυπώνεται το πρόβλημα της κράτησης πόρων δεδομένων των απαιτήσεων των χρηστών και μέσω του δυναμικού προγραμματισμού προέρχεται η βέλτιστη λύση.

2.2.1.2 Αλγόριθμοι μοντέλου

Το συγκεκριμένο μοντέλο επιδιώκει να προβλέπει την ζήτηση που υπάρχει στις υπηρεσίες έτσι ώστε ο broker να τις αγοράζει σε επαρκή ποσότητα αλλά και την κατάλληλη χρονική στιγμή ώστε να εξυπηρετούνται οι πελάτες και παράλληλα να αποκομίζει το δυνατότερο εφικτό κέρδος. Πρέπει λοιπόν να αντιστοιχιστούν όλα τα αιτήματα των πελατών για VMs με τα διαθέσιμα reserved instances που έχει ο broker με σκοπό την μεγιστοποίηση του κέρδους του.

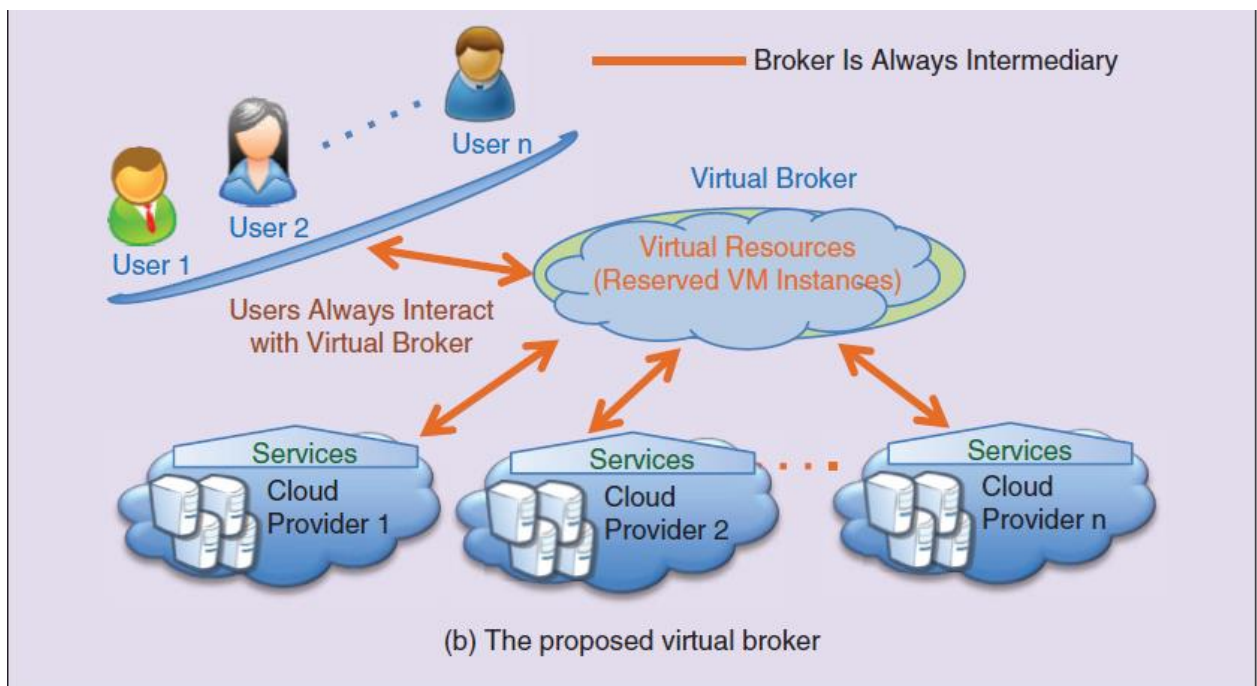


Figure 10 Representation of the proposed virtual broker

Δύο από τις κυριότερες επιλογές αγορών στο νέφος είναι οι εξής: on-demand instances και reserved instances. Στην πρώτη κατηγορία, οι χρήστες πληρώνουν ένα σταθερό ποσό σε κάθε κύκλο χρέωσης χωρίς καμία δέσμευση, ενώ στην δεύτερη πληρώνουν συνδρομή μια φορά για να νοικιάσουν ένα πόρο/VM για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Το βασικό ζήτημα αποτελεί πρόβλημα βελτιστοποίησης καθώς γίνεται προσπάθεια να μειωθεί το συνολικό κόστος των απαιτήσεων των χρηστών μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$\min \text{cost} = \sum_{t=1}^T r_t \gamma + \sum_{t=1}^T (d_t - n_t)^+ p, \text{ s. t. } n_t = \sum_{i=t-r+1}^t r_i, \forall t = 1, \dots, T$$

(Nesmachnow et al., 2013)

όπου το πρώτο άθροισμα αφορά το συνολικό κόστος των κρατήσεων και το δεύτερο το κόστος όλων των κατά παραγγελία. Το πρόβλημα του διαμεσολαβητή είναι να πάρει αποφάσεις δυναμικά για τα reservations $r_1, \dots, r_t$ ώστε να μειώσει το συνολικό κόστος. Το r_t δηλώνει τον αριθμό των reserved instances σε χρόνο $t \geq 0$. Κάθε r_t είναι αποδοτικό από την χρονική στιγμή t μέχρι την $t+r-1$, όπου r είναι η περίοδος κράτησης των πόρων. Επίσης, το d_t δηλώνει τα συνολικά instances και το n_t τον αριθμό των reserved instances που είναι αποδοτικά την χρονική στιγμή $t=1,2,\dots,T$ με τον t να σχετίζεται με τον κάθε κύκλο χρέωσης. Το γ δηλώνει την χρέωση για την συνδρομή για κάθε reserved instance και το p αναφέρεται στην τιμή του τρέχων on-demand instance για κάθε κύκλο. Τέλος, ο όρος $(d_t - n_t)^+$ αναφέρεται στα επιπρόσθετα on-demand instances που χρειάζεται να απελευθερωθούν.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο στόχος του broker είναι να ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος (σύμφωνα με την σχέση που περιγράφηκε προηγουμένως) καθώς ικανοποιεί όλα τα αιτήματα των πελατών. Όμως, η εξίσωση αυτή περιγράφεται από την κατάρρα της διάστασης (Curse of Dimensionality) καθώς τα αποτελέσματα που προκύπτουν έχουν πολυπλοκότητα εκθετικού χρόνου καθώς υφίσταται μεγάλος αριθμός πιθανών συνδυασμών και καταστάσεων για τις λύσεις. Τέτοιου είδους προβλήματα λύνονται με τη βοήθεια αλγορίθμων προσέγγισης-Approximate Dynamic Programming(ADP), που παρουσιάζονται στην αναφορά (Wang, Niu, Li, & Liang, n.d.). Επίσης, παρουσιάζεται ένας εναλλακτικός αλγόριθμος στην περίπτωση που δε μπορεί να γίνει πρόβλεψη για τις μελλοντικές ανάγκες και χρησιμοποιούνται δεδομένα βασισμένα στο ιστορικό χρήσης.

Ο broker οφείλει να διανέμει όλα τα διαθέσιμα RI στις αντίστοιχες απαιτήσεις VMs των πελατών του. Σε περίπτωση όπου δεν υπάρχουν άλλοι πόροι διαθέσιμοι, τότε πρέπει να κλείσει πόρους on-demand ώστε να εξυπηρετηθεί ο πελάτης διατηρώντας έτσι ένα υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης αλλά αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κέρδους για τον διαμεσολαβητή. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να διατυπωθεί ως η εύρεση μιας συνάρτησης χαρτογράφησης $f: \text{VM} \rightarrow \text{RI}$ που μεγιστοποιεί το συνολικό κέρδος του broker, υπολογισμένη σύμφωνα με το πρόβλημα βελτιστοποίησης που ακολουθεί:

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i: f(v_i)=r_j} (p(BF(v_i)) - C(r_j)) \times T(v_i) \right] \\ & + \sum_{h: ST(v_h) > D(v_h)} (p(BF(v_h)) - COD(BF(v_h))) \times T(v_h) \end{aligned} \quad (1)$$

(Nesmachnow, 2015)

,όπου $M(v_i) \leq M(r_j)$, $P(v_i) \leq P(r_j)$ και $S(v_i) \leq S(r_j)$, $nc(v_i) \leq nc(r_j)$ και η $BF(v_h)$ συνάρτηση δίνει τον ελάχιστο ακριβό πόρο ικανό να εκτελέσει το αίτημα v_h και η $ST(v_i)$ δηλώνει το χρόνο εκκίνησης του αιτήματος v_i .

Ανάλυση υπόθεσης:

- $VM=\{v_1,...,v_n\} \rightarrow$ σύνολο των VM αιτημάτων πελατών του broker
- Απαιτήσεις υλικού για κάθε VM $\rightarrow P(v_i)$:processor speed, $M(v_i)$:memory, $S(v_i)$:storage, $nc(v_i)$:number of cores
- Τα αιτήματα καταφθάνουν ομαδοποιημένα(ανά ώρα π.χ) A_i
- $T(v_i) \rightarrow$ χρόνος εκτέλεσης του v_i ,πρέπει να ξεκινήσει πριν το deadline $D(v_i)$.
- Και τα δυο ορίσματα καθορίζονται από τον χρήστη.
- $RI=\{r_1,...,r_m\}$, $m \ll n \rightarrow$ σύνολο πόρων που έχουν κρατηθεί από τον broker
- $C \rightarrow$ συνάρτηση κόστους καθορισμένη για τα RIs / $COD \rightarrow$ συνάρτηση κόστους για on-demand instances με $C(r_j) \ll COD(r_j)$. Και οι 2 συναρτήσεις δίνονται σε ωριαία βάση.
- $p(r_j) \rightarrow$ συνάρτηση τιμολόγησης που καθορίζει την τιμή που χρεώνει ο broker τον πελάτη ανά ώρα για τους πόρους r_j . Για να προσελκύσει πελάτες πρέπει να χρεώνει ένα πόρο r_j με χαμηλότερο κόστος από την on-demand τιμολόγηση του παρόχου, $p(r_j) < COD(r_j)$.

Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος παρουσιάζονται ορισμένοι ευρετικοί αλγόριθμοι για να παρέχουν διαφορετικές προσεγγίσεις στο ζήτημα χρησιμοποιώντας διαφορετικά κριτήρια για την ανάθεση προτεραιοτήτων στα αιτήματα των πελατών: (Nesmachnow, 2013)

- I. **Best Fit Resource (BFR):** κάθε αίτημα για VM ανατίθεται στο RI που ταιριάζει καλύτερα (ίδιος αριθμός πυρήνων και πλησιέστερη ποσότητα μνήμης στην αιτούμενη τιμή), αψηφώντας την προθεσμία χρόνου. Αποσκοπεί στο να εκμεταλλεύεται την ανάθεση των VM σε αυτά τα RI που ταιριάζουν πιο πολύ, κάνοντας χώρο για τα πιο περιοριστικά αιτήματα για να εκτελεστούν σε μεγαλύτερα RIs.
- II. **Earliest Finish Time (EFT):** δίνεται προτεραιότητα στα αιτήματα που ολοκληρώνονται νωρίτερα. Η διαθεσιμότητα κάθε RI ορίζει το χρόνο εκτέλεσης, γι αυτό και η βασική ιδέα του αλγορίθμου είναι να εκτελούνται πρώτα οι συντομότερες αιτήσεις ώστε να αυξάνεται η διαθεσιμότητα.
- III. **Lower Gap First (LGF):** προωθούνται τα αιτήματα με το στενότερο χρονικό περιθώριο (deadline) λαμβάνοντας υπόψιν τον χρόνο άφιξης. Το διάστημα αυτό

είναι η διαφορά του deadline με το χρόνο άφιξης. Με αυτόν τον τρόπο επιδιώκεται η αποφυγή της τιμωρίας εξαιτίας της αγοράς on-demand πόρων παρακολουθώντας πρώτα τα αιτήματα με το μικρότερο χώρο να εκτελεστούν πριν τον χρονικό περιορισμό.

- IV. **Shortest Task First (STF):** δίνεται προτεραιότητα στα VM με το μικρότερο χρόνο εκτέλεσης με σκοπό την ελαχιστοποίηση του χρόνο αποπεράτωσης. Ο αλγόριθμος αναζητά το συντομότερο ανενεργό αίτημα και αντιστοιχίζεται στο RI με το χαμηλότερο κόστος.
- V. **Earliest Deadline First (EDF):** εδώ έχουν προτεραιότητα τα αιτήματα με το συντομότερο deadline (χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν ο χρόνος άφιξης) και ανατίθεται κάθε VM στο αντίστοιχο RI με το συντομότερη διαθεσιμότητα. Ο σκοπός είναι να αξιοποιηθεί η γρήγορη εκτέλεση του απαιτητικού αιτήματος ώστε να αποφευχθεί η τιμωρία αγοράς on-demand instances λόγω παραβίασης χρονικού περιορισμού.
- VI. **Cheapest Instance (CI):** ταξινομείται κάθε αίτημα βάσει του χρόνου άφιξης και επιλέγεται το φθηνότερο RI που επιτρέπει την εκτέλεση του καθενός, εφαρμόζοντας στρατηγική FCFS. Ο αλγόριθμος αποσκοπεί να μειωθεί ο μέσος χρόνος αναμονής των αιτημάτων στο σύστημα.
- VII. **MaxProfit (MaxP):** είναι ένας αλγόριθμος απληστίας για το κέρδος που χρησιμοποιεί τη συνεισφορά κάθε αιτήματος στη συνάρτηση συνολικού κέρδους (1). Στη συνέχεια, το αίτημα με την μεγαλύτερη συνεισφορά αντιστοιχίζεται στο φθηνότερο RI που πληρεί τις προϋποθέσεις του hardware του VM.
- VIII. **Shortest Request to Cheapest Instance (SRCI):** λειτουργεί ταξινομώντας τα αιτήματα σύμφωνα με τη διάρκεια και επιλέγοντας το φθηνότερο πόρο που επιτρέπει την εκτέλεση του καθενός με παρόμοιο τρόπο που κάνει και ο SJFR (Shortest Job to the Fastest Resource). Επίσης ο σκοπός είναι να μεγιστοποιηθεί το κέρδος του broker και να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος απόκρισης θεωρούμενος από τον χρήστη. Από την στιγμή που τα συντομότερα αιτήματα ανατίθενται να εκτελεστούν πρώτα, θα ολοκληρωθούν νωρίτερα και οι χρήστες με απαιτήσεις σύντομου υπολογιστικού χρόνου θα δουν ότι τα αιτήματά τους ολοκληρώνονται αρκετά γρήγορα.

2.2.1.3 Προσομοίωση μοντέλου

Οι παραπάνω αλγόριθμοι εφαρμόστηκαν σε γλώσσα C, χρησιμοποιώντας stdlib και GNU gcc. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε έναν XeonE5430, 2.66 GHz, 8GB RAM και CentOS Linux 5.2 από Cluster FING.

Οι πόροι καθορίζονται από ένα αρχείο φόρτου εργασίας με τις πληροφορίες για τα αιτήματα VM των χρηστών και καθορίζει τις απαιτήσεις για μια δέσμη VM αιτημάτων: μνήμη, αποθηκευτικό χώρο, ταχύτητα επεξεργαστή και αριθμό πυρήνων. Επίσης ορίζεται

ένα αρχείο σεναρίου με τα RI του broker και περιγράφει τα χαρακτηριστικά των RI που έχουν κρατηθεί: διαθέσιμη μνήμη και αποθηκευτικό χώρο, ταχύτητα επεξεργαστή, αριθμό πυρήνων, το κόστος των reserved και on demand πόρων και την τιμολόγηση. Συνολικά εξετάστηκαν 400 προβλήματα με δεσμίδες των 50, 100, 200 και 400 αιτήματα με διαφορετική διάρκεια(από 10-200 χρονικές μονάδες). Αντίστοιχα το σενάριο θέτει reserved instances με 10,20,30 και 50 RIs για τον broker συνδυάζοντας VMs από το Amazon και Azure.

Τα αποτελέσματα σχετικά με το κέρδος παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

<i>n</i>	<i>metric</i>	<i>heuristic</i>							
		BFR	EFT	LGF	STF	EDF	CI	SRCI	MaxP
50	<i>avg. profit</i>	27.33	18.50	17.50	37.10	18.57	37.00	40.67	36.92
	<i>best profit</i>	47.47	46.21	46.92	56.75	47.19	56.75	56.75	56.75
	<i>avg. GAP</i>	35.4%	57.1%	59.5%	9.4%	54.8%	9.5%	1.0%	9.6%
	<i>#1</i>	5	0	0	30	1	16	79	29
	<i>avg. profit</i>	27.45	28.92	25.14	50.19	25.19	49.67	63.94	50.62
100	<i>best profit</i>	70.70	70.38	67.75	87.45	64.99	83.35	92.94	84.75
	<i>avg. GAP</i>	69.9%	66.3%	72.0%	21.0%	73.2%	21.6%	1.2%	19.4%
	<i>#1</i>	0	0	0	1	0	6	87	7
	<i>avg. profit</i>	19.96	30.21	26.75	45.94	25.41	46.41	68.36	45.13
	<i>best profit</i>	78.25	101.02	100.39	104.62	104.45	98.94	130.03	106.37
200	<i>avg. GAP</i>	280.0%	184.6%	261.9%	44.1%	298.9%	36.7%	3.3%	50.6%
	<i>#1</i>	0	1	0	0	0	5	92	2
	<i>avg. profit</i>	-59.22	-8.63	-22.41	-6.63	-19.30	-7.15	37.42	-5.07
	<i>best profit</i>	96.97	183.40	174.86	129.55	193.94	115.02	204.05	110.44
	<i>avg. GAP</i>	239.7%	106.1%	154.8%	87.0%	154.5%	92.1%	0.9%	84.8%
400	<i>#1</i>	0	0	0	0	4	0	75	21

Figure 11 Profit results for the proposed heuristics

Η μετρική GAP είναι η σχετική διαφορά μεταξύ του κέρδους υπολογισμένου χρησιμοποιώντας κάθε ευριστικό αλγόριθμο και του καλύτερου αποτελέσματος για κάθε πρόβλημα ξεχωριστά. Η γραμμή 1 (Row #1) δείχνει πόσες φορές ο ανταποκρινόμενος αλγόριθμος παρουσίασε την καλύτερη τιμή σχετικά με το κέρδος.

Επίσης, οι αλγόριθμοι εξετάστηκαν ως προς άλλο ένα σημαντικό ζήτημα που είναι ο αριθμός των παραβιάσεων των χρονικών περιθωρίων. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, καθώς ο διαμεσολαβητής σε αυτήν την περίπτωση θα χρειαστεί να κάνει κρατήσεις σε on-demand πόρους ώστε να ικανοποιήσει τα αιτήματα και θα πληρώσει περισσότερα από την τιμή που θα τα πουλήσει στους πελάτες. Από τον παρακάτω πίνακα προκύπτει πως ο SRCI για μεσαία και μεγάλα προβλήματα έχει αποδεκτές τιμές.

<i>n</i>	<i>metric</i>	heuristic							
		BFR	EFT	LGF	STF	EDF	CI	SRCI	MaxP
50	<i>avg.</i>	8.2%	0.2%	0.8%	5.6%	0.7%	10.1%	23.0%	9.5%
	<i>#1</i>	17	91	71	17	87	8	53	11
	<i>zero</i>	17	78	69	17	81	8	52	11
100	<i>avg.</i>	15.5%	0.1%	4.1%	11.5%	3.1%	22.0%	4.4%	20.4%
	<i>#1</i>	0	91	52	0	61	0	17	0
	<i>zero</i>	0	48	48	0	51	0	15	0
200	<i>avg.</i>	17.2%	0.0%	7.4%	13.8%	6.7%	26.1%	5.9%	28.2%
	<i>#1</i>	0	98	44	0	47	0	7	0
	<i>zero</i>	0	45	44	0	45	0	7	0
400	<i>avg.</i>	19.3%	0.1%	14.5%	16.3%	14.1%	32.9%	7.2%	32.4%
	<i>#1</i>	0	83	14	0	18	0	1	0
	<i>zero</i>	0	0	14	0	15	0	0	0

Figure 12 Deadline violations for the proposed heuristics

Συνοψίζοντας, η πειραματική ανάλυση έδειξε πως ο SRCI είναι ο ιδανικότερος αλγόριθμος για τον broker καθώς μεγιστοποιεί τα κέρδη του, έχοντας καλύτερη απόδοση από τους άλλους και είναι ανάμεσα στους καλύτερους σχετικά με τον αριθμό των παραβιασμένων περιορισμών.

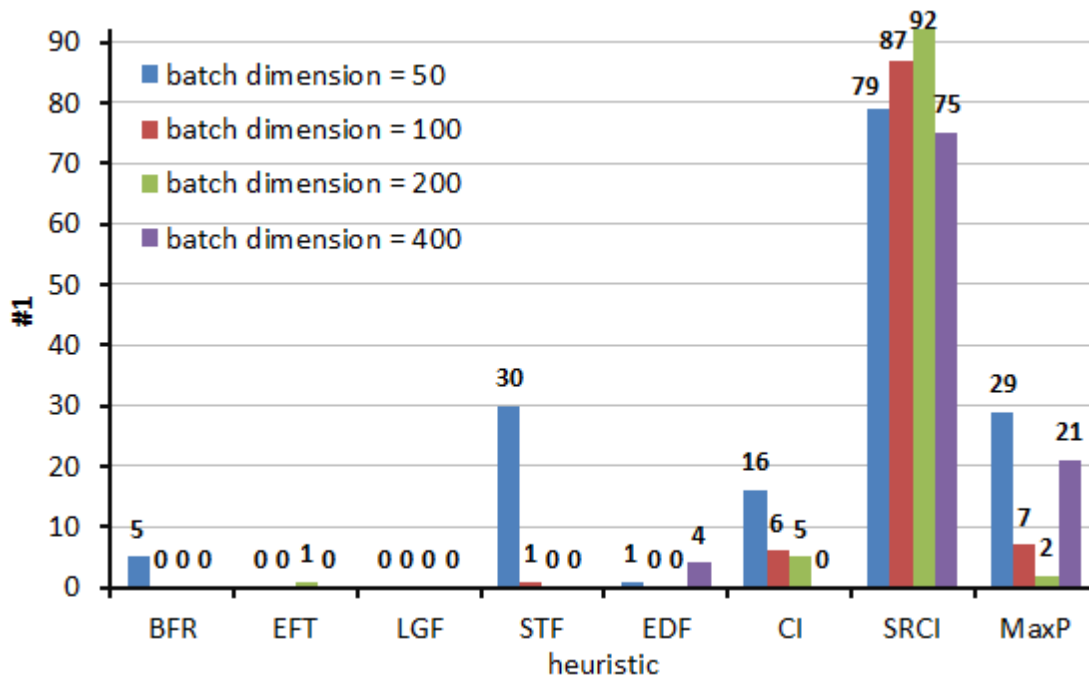


Figure 13 Number of times heuristics is best

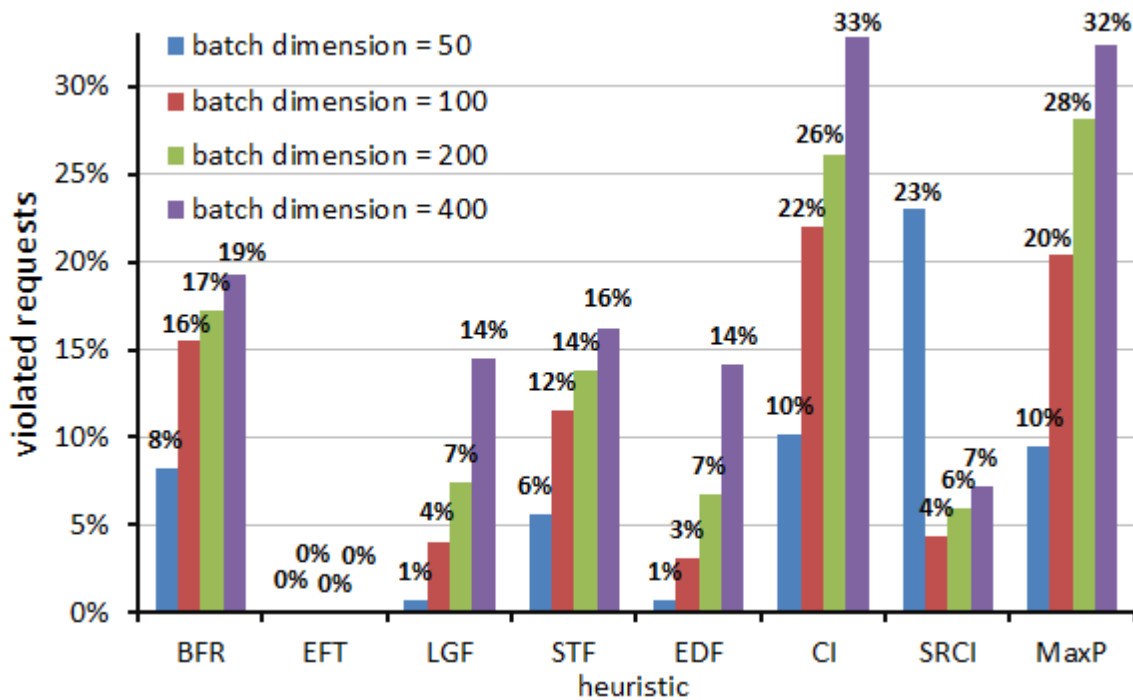


Figure 14 Number of violated constraints

Ο broker λοιπόν μπορεί να επιφέρει μια συνολική εξοικονόμηση δαπανών της τάξης του 15%, όταν συγκεντρώνει όλες τις απαιτήσεις των χρηστών. Όσον αφορά το κέρδος του ποικίλει ανάλογα με τις διάφορες ομάδες χρηστών πετυχαίνοντας καλύτερη εξοικονόμηση 40% για χρήστες με μέση διακύμανση αιτημάτων σε σύγκριση με εκείνα με χαμηλή διακύμανση που αντιστοιχεί σε 5%. Επιπρόσθετα, όσον αφορά την αξιολόγηση της έκπτωσης στις τιμές, διαπιστώθηκε πως όταν συγκεντρώνονται όλα μαζί τα αιτήματα κάθε

πελάτη ξεχωριστά, τότε εξοικονομούν πάνω από 30% καθώς ο broker μπορεί να φέρει έκπτωση στην τιμή πάνω από 25%. (Nesmachnow, 2013)

2.2.1.4 Πλεονεκτήματα

- Αρχικά, εκμεταλλεύοντας τις εκπτώσεις των παρόχων λόγω μαζικής αγοράς υπηρεσιών, το κόστος των instance reservations μειώνεται σημαντικά σε μεγάλο βαθμό. Πρακτικά, τα περισσότερα νέφη τύπου IaaS προσφέρουν τέτοιες μεγάλες προσφορές για τέτοιους χρήστες. Για παράδειγμα, η Amazon EC2 κάνει τέτοιες προσφορές της τάξης του 20% των instances που πρόκειται να κρατηθούν. Συνεπώς, λόγω του μεγάλου όγκου της συγχωνευμένης ζήτησης ο διαμεσολαβητής έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει προς το συμφέρον του αυτήν την κατάσταση. Ο broker έχει ένα σύνολο από VMs τα οποία προμηθεύει στους πελάτες σαν on-demand instances σε χαμηλότερη τιμή από αυτήν που χρεώνουν οι πάροχοι. Το κέρδος έρχεται από την μεγάλη διαφορά στην τιμή μεταξύ των reserved και on-demand instances (spread).
- Στη συνέχεια, συμπληρωματικά με την εξοικονόμηση των εξόδων για τα τρέχοντα instances, ο broker μπορεί ακόμα να βοηθήσει στην μείωση άλλων πόρων νέφους όπως του αποθηκευτικού χώρου, της μεταφοράς δεδομένων και του εύρους. Καθώς λοιπόν όλες αυτές οι τιμές είναι υποπρόσθετες, το κόστος τροφοδοσίας των συνολικών πόρων είναι πολύ φθηνότερο από το συνολικό κόστος που θα προέκυπτε αγοράζοντάς από το νέφος ξεχωριστά.
- Τέλος, χάρη στη μείωση του κόστους, ο διαμεσολαβητής μειώνει το όριο υιοθέτησης του νέφους γεγονός που πιθανώς να προσελκύσει περισσότερους χρήστες και να δημιουργήσει περισσότερες απαιτήσεις από τους διάφορους παρόχους του νέφους. Από τη στιγμή που τα περισσότερα αιτήματα των χρηστών ικανοποιούνται με reserved instances, είναι πιο “φιλικά” στην σχεδίαση της χωρητικότητας καθώς παράγει χωρίς ρίσκο μακροπρόθεσμα έσοδα για τους παρόχους. (Wang et al., n.d.)

2.2.1.5 Μειονεκτήματα

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν ορισμένα πρακτικά ζητήματα που αφορούν το χειρισμό και τη λειτουργία του μοντέλου.

Αρχικά, η εξοικονόμηση που γίνεται χάρη στη μειωμένη μερική χρήση των πόρων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά τιμολόγησης του εκάστοτε παρόχου. Αξίζει να σημειωθεί πως οι χρήστες με πολυπλεξία χρόνου για on-demand instances στην Amazon δεν κερδίζουν κάποια προσφορά στην τιμή. Αυτό συμβαίνει επειδή όταν διακοπεί η χρήση ενός on-demand instance τερματίζεται και ο κύκλος χρέωσης, ενώ παράλληλα φορτώνεται ένας νέος χρήστης στη θέση του. Γενικά όμως αυτό δε συμβαίνει με όλους τους παρόχους

νέφους, όπως στην ElasticHosts ή για reserved instances με σταθερή χρέωση. Στην πραγματικότητα, ακόμα και χωρίς την πολυπλεξία χρόνου για on-demand instances φαίνεται από την έρευνα πως η συνολική εξοικονόμηση δαπανών θα μειωθεί λιγότερο από 10%.

Έπειτα ένας άλλος αστάθμητος παράγοντας είναι η πρόβλεψη της ζήτησης. Ένας πελάτης στην πραγματικότητα θα έχει ελάχιστη γνώση των μελλοντικών του αναγκών. Αυτό συνεπάγεται ότι η εκτίμηση του broker δεν θα είναι ακριβής. Παρόλο αυτά μπορούν ακόμα να επωφεληθούν από τη συνεργασία τους με το διαμεσολαβητή χωρίς να βασίζεται σε πληροφορίες που αφορούν τη μελλοντική ζήτηση. Καταλήγοντας οι συγκεκριμένοι χρήστες θα αντιμετωπίσουν την ίδια κατάσταση όταν κάνουν αγορές απευθείας από τους παρόχους.

Τέλος, στην αναφορά θεωρείται ως δεδομένο η περίπτωση όπου ο διαμεσολαβητής αμείβεται όλη την εξοικονόμηση κόστους που γίνεται στους πελάτες ως έκπτωση στην τιμή. Στην πραγματικότητα, μπορεί να βγάλει κέρδος αποκομίζοντας ένα μέρος από τα χρήματα που αποταμιεύονται ή μέσω της συνδρομής (commission) που χρεώνει τους πελάτες για τις υπηρεσίες που προσφέρει.

2.2.2 Derivative contracts-Options

2.2.2.1 Πληροφορίες μοντέλου

Το πρότυπο που μελετήθηκε από τους Rogers και Cliff (Cliff et al., 2017), γνωστό και ως R&C model, χρησιμοποιεί ένα μοντέλο βασισμένο σε ένα διαμεσολαβητή και ερευνά την πιθανότητα να παρέχονται υπηρεσίες νέφους χρησιμοποιώντας χρηματοοικονομικά συμβόλαια (derivative contracts) ώστε να προμηθεύονται φθηνότεροι πόροι στους χρήστες και να βοηθά τους παρόχους να κάνουν εκτιμήσεις για την μελλοντική ζήτηση των υπηρεσιών στην αγορά. Με αυτήν την τεχνική ο διαμεσολαβητής είναι σε θέση να αποκομίσει οικονομικά οφέλη.

Τα χρηματοοικονομικά συμβόλαια συμπεριλαμβάνουν την πληρωμή συνδρομής, μιας χρέωσης προκαταβολικά που δίνει το νόμιμο δικαίωμα στο χρήστη αλλά όχι την υποχρέωση να πληρώσει έναν πόρο για μια προσυμφωνημένη σταθερή τιμή (strike price) κάποια στιγμή στο άμεσο μέλλον. Αυτό το είδος των οικονομικών εργαλείων χρησιμοποιείται ευρέως στις αγορές εμπορευμάτων και προϊόντων είτε είναι φυσικές ή εικονικές. (Fang Zu, Bernado Huberman, 2005)

Τυπικά ο ρόλος του διαμεσολαβητή είναι να διευκολύνει την αντιστοίχιση στην προσφορά και ζήτηση που υπάρχει στην αγορά. Οι εταιρίες λοιπόν που προσφέρουν τέτοιου είδους υπηρεσίες μπορούν να βγάλουν κέρδος χρεώνοντας συνδρομές υπηρεσίας ή/και εκμεταλλεύοντας τα spreads αγοράζοντας πόρους σε χαμηλότερη τιμή και πουλώντας τους

σε υψηλότερη. Ο βασικός στόχος είναι να αγοράζονται εκ των προτέρων μακροχρόνιες συμβάσεις (36μηνες) για τους πόρους και να γίνονται πακέτα ξανά ως συμβόλαια του ενός μήνα που προσφέρονται στους πελάτες σε υψηλότερη τιμή.

Τρόπος λειτουργίας

Το R&C μοντέλο περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- αρχικά, κάθε μήνα ο διαμεσολαβητής ζητά από τους πελάτες του να δώσουν στοιχεία για τις μελλοντικές τους ανάγκες σε πόρους-VMs πουλώντας συμβόλαια σε αυτούς και να καθορίσει πόσα reserved instances-RIs θα προμηθευτεί από τους παρόχους.
- Έπειτα, αφού έχει πουλήσει τα συμβόλαια πρέπει να αποφασίσει αν χρειάζεται ή όχι να αγοράσει επιπλέον μακροπρόθεσμα reserved instances (για 3 χρόνια συνήθως).
- τον επόμενο μήνα οι πελάτες υποβάλλουν τα αιτήματα σχετικά με τα instances που θα χρειαστούν ενεργοποιώντας τα συμβόλαιά τους. Εάν υπάρχουν διαθέσιμα από προηγούμενες αγορές, τότε τα πουλάει με κάποιο κέρδος. Διαφορετικά, ο broker οφείλει να πληρώσει επιπρόσθετα on-demand instances στον πάροχο με υψηλότερο κόστος για να πραγματοποιήσει την υποχρέωση που τον δεσμεύει στον πελάτη.
- Το μοντέλο των R&C ακολουθούν το πρότυπο τιμολόγησης που ανέπτυξαν αρχικά ο Wu, Zhang και Huberman στην HP. Εκεί, οι πελάτες που δηλώνουν αληθινή πιθανότητα σχετικά με τη χρήση VMs στο μέλλον αμείβονται. Κάθε μήνα λοιπόν, ο κάθε πελάτης i , εκτιμά την δική του πιθανότητα p_i . Στη συνέχεια υποβάλλει στο broker το p_i ώστε να αγοράσει συμβόλαιο για τον πόρο που χρειάζεται. Τον επόμενο μήνα χρεώνεται $Used(p_i)$ αν το συμβόλαιο ενεργοποιηθεί και $Unused(p_i)$ στην αντίθετη περίπτωση. Έτσι έχουμε :

$$Used(p_i) = 1 + \frac{k}{2} - kp_i + \frac{kp_i^2}{2} \quad (1)$$

$$Unused(p_i) = \frac{kp_i^2}{2} \quad (2)$$

με $k=1.5$

Αν οι χρήστες επιλέξουν να κάνουν αγορές απευθείας από τον πάροχο, αναμένεται να πληρώσουν Op_i , όπου O είναι το κόστος για ένα on-demand instance/ μήνα. Αυτό το συμβόλαιο μπορεί να θεωρηθεί ως μοντέλο χρηματοοικονομικού συμβολαίου αν ο broker χρεώσει τον πελάτη $Unused(p_i)$ για να αγοράσει το συμβόλαιο και μια περαιτέρω

χρέωση $Used(p_i) - Unsed(p_i)$ τον επόμενο μήνα όταν χρησιμοποιηθεί ο πόρος. Το μοντέλο αυτό μπορεί να ρυθμιστεί σε πραγματικές τιμές πολλαπλασιάζοντας το (1) και το (2) με ένα συντελεστή κόστους. Έχει αποδειχτεί πως με αυτό το μοντέλο οι χρήστες υποβάλλουν με τιμιότητα την εκτίμησή τους p_i .

- Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του εξής αλγορίθμου: Ο broker καταγράφει το ιστορικό των απαιτήσεων των πελατών για τα 3 περασμένα χρόνια $H=[h_{t-36}, \dots, h_t]$ και τα συγκρίνει με τους πόρους που προορίζονται για μελλοντική χρήση σύμφωνα με τις εκτιμήσεις που έχει λάβει από τους πελάτες, $F = [f_t, \dots, f_{t+36}]$ για τα επόμενα 3 χρόνια. Με έναν απλό μηχανισμό πρόβλεψης που εκτιμά την μελλοντική ζήτηση ισορροπεί την κατάσταση για τη ζήτηση των καθυστερημένων 3 χρόνων και στη συνέχεια ο broker υπολογίζει ένα προφίλ αναμενόμενου ελλείματος D , για κάθε προσεχή μήνα αφαιρώντας το ιστορικό H από την μελλοντική πρόβλεψη για κάθε μήνα ώστε, $D=F-H$.

Για κάθε πόρο που ζητείται, χρησιμοποιείται μια μεταβλητή που λέγεται Οριακή Χρήση Πόρου (Marginal Resource Utilization-MRU) που είναι η αναλογία των μηνών για $D>0$. Ο MRU υπολογίζεται ως το κλάσμα της ζωής (μήνες/36) που ένα επιπρόσθετο instance είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί για τα επόμενα 3 χρόνια, σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία. Επιπρόσθετα, ο broker χρησιμοποιεί μια ακόμη μεταβλητή που ονομάζεται κατώφλι και συμβολίζεται με θ . Ο αριθμός αυτός καθορίζει αν θα πρέπει ο διαμεσολαβητής να αγοράσει κάποιο καινούριο instance διάρκειας 3 χρόνων. Ο broker έχει τη δυνατότητα να παίρνει ρίσκο αλλάζοντας την τιμή του κατωφλίου σε ένα εύρος $0 \leq \theta \leq 1$. Όταν το θ είναι μικρό, τότε κάνει αγορές περισσότερων RI ανά μονάδα ζήτησης σε σύγκριση με το θ όταν παίρνει τιμές πλησίον της μονάδας. Σε περίπτωση που $MRU > \theta$, τότε ο broker προχωράει σε αγορά νέου πόρου καθώς εκτιμά πως θα έχει κέρδος μέσω αυτού. Για κάθε νέα αγορά η μεταβλητή F αυξάνεται. Σε αντίθετη περίπτωση ($MRU < \theta$), δεν γίνεται καμία αγορά καθώς υπολογίζεται ότι δε θα γίνει χρήση σε μεγάλο βαθμό και πως η αγορά ενός on-demand πόρου το μήνα θα ήταν περισσότερο κερδοφόρα.

Κάθε μήνα ο διαμεσολαβητής παραχωρεί μηνιαία πρόσβαση στους πελάτες που έχουν ενεργοποιήσει το συμβόλαιό τους. Γενικότερα, το κόστος μηνιαίας αγοράς on-demand πόρων είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με εκείνη των 36-μηνων reserved instances. Το μοντέλο των R&C παρουσιάζει πως μπορεί όχι μόνο να επιφέρει κέρδος στον broker αλλά και να ικανοποιήσει αποτελεσματικά τόσο τους χρήστες όσο και τους παρόχους. Αυτό συμβαίνει καθώς οι πελάτες έχουν φθηνότερο μηνιαία κόστος σχετικά με τους πόρους που χρησιμοποιούν και οι πάροχοι πωλούν ένα μεγαλύτερο ποσοστό 36μηνων κρατήσεων βοηθώντας έτσι στην καλύτερη οργάνωση της χωρητικότητας ώστε να μειωθεί το κόστος παροχής.

2.2.2.2 Προσομοίωση μοντέλου

Για την αναπαράσταση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το Cloud Research Simulation Toolkit(CReST) ένα εργαλείο προσομοίωσης γραμμένο σε Java και είναι ελεύθερο open source με την άδεια GNU General Public License v3.0. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα:

- Κάθε προσομοίωση διαρκεί 276 τεχνητούς μήνες

- 1000 χρήστες που ζητούν πόρους

- Συντελεστής κόστους $C=35$

- Χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα ζήτησης της περιόδου 1988-2011 και 4 προφίλ της αγοράς: γρήγορης ανάπτυξης, σταθερής ανάπτυξης, ύφεσης και ανάκαμψης και σταθερής.

- ένα εύρος τιμών για το θ ώστε να βρεθεί η βέλτιστη τιμή σε μια αγορά με ποικίλες συνθήκες

- κάθε πείραμα επαναλήφθηκε 30 φορές

Ανάλυση με βάση το κατώφλι θ

Για να εξεταστούν τα αποτελέσματα, έγιναν πειράματα για διάφορες τιμές του θ , $0.0 \leq \theta \leq 1.0$ ώστε να καθοριστεί η αποδοτικότητα κάθε στρατηγικής για τα 4 προφίλ της αγοράς.

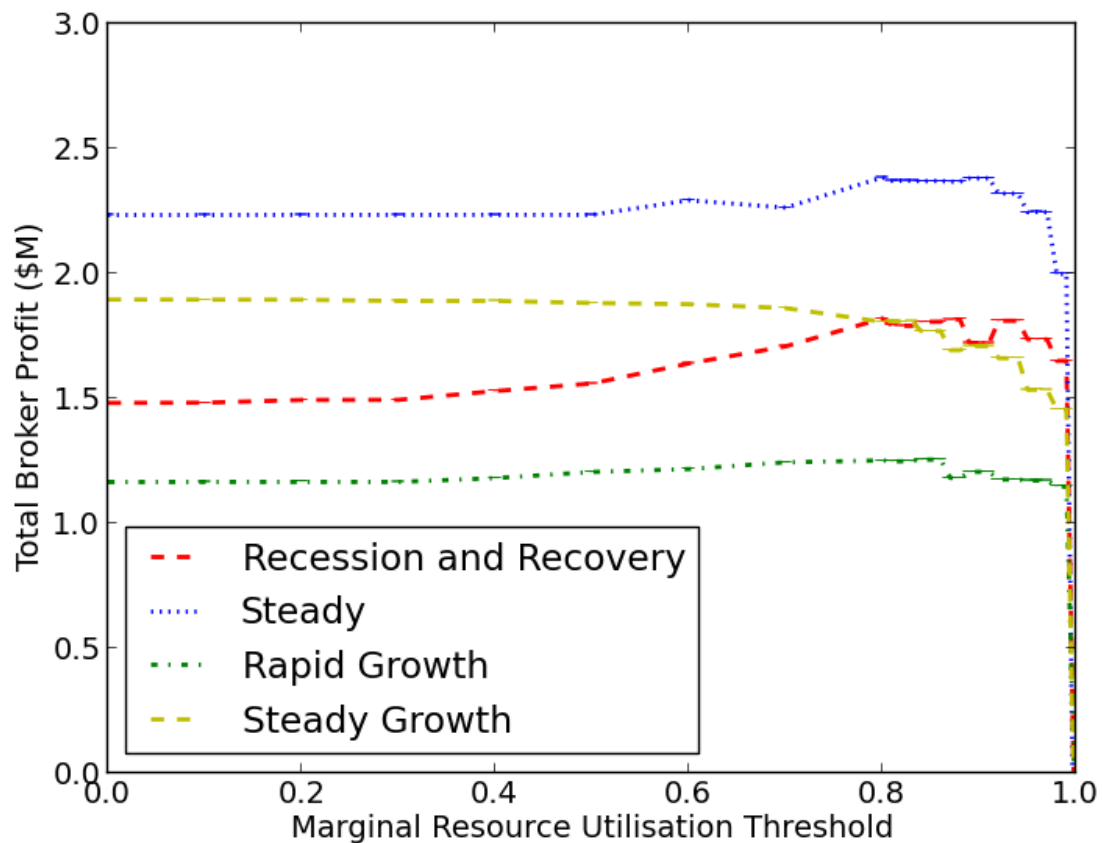


Figure 15 Total broker profit in \$Millions (mean $\pm 95\%$ CI, 30 runs) for each market across different thresholds θ , using 36 months reserved instances. The resolution of θ between 0.0-0.8 is 0.1 and between 0.8-1.0 is 0.01

Παρατηρείται από το διάγραμμα πως για την σταθερή, γρήγορης ανάπτυξης και ύφεσης και ανάπτυξης αγορά τα κέρδη του broker αυξάνεται μέχρι το θ να φτάσει το 0.9. Στην σταθερής ανάπτυξης αγορά τα κέρδη βαθμιαία πέφτουν όσο το θ ανεβαίνει μέχρι το 0.8 όπου πέφτει ραγδαία. Για όλες τις αγορές όταν το $\theta=1$ δεν υπάρχει καθόλου κέρδος.

Στον πίνακα I παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Για κάθε αγορά υπάρχει το βέλτιστο κατώφλι (θ_{opt}), το μέσο κέρδος για τον broker που αγοράζει ένα επιπρόσθετο RI($\theta=0$), το μέσο κέρδος όταν χρησιμοποιείται το βέλτιστο MRU ($\theta=\theta_{opt}$) και τη ποσοστιαία διαφορά στο κέρδος μεταξύ του θ_{opt} και του broker που αγοράζει νέο RI, δηλαδή $\theta_{opt}-\theta_0$.

Market	θ_{opt}	36 Month Reservations Profit (\$M)		
		$\theta = 0$	$\theta = \theta_{opt}$	$(\theta_{opt} - \theta_0)\%$
Rapid Growth	0.84 (0.72)	1.17 (1.15)	1.26 (1.27)	7.7% (10.4)
Steady Growth	0.00 (0.00)	1.89 (1.85)	1.89 (1.85)	N/A (N/A)
Recession & Recovery	0.80 (0.80)	1.48 (1.48)	1.82 (1.80)	23.0% (21.6)
Steady	0.91 (0.82)	2.23 (2.22)	2.38 (2.45)	7.1% (10.4)

Figure 16 Comparison of broker profits (\$millions) across markets

Επίσης πραγματοποιήθηκε έλεγχος για να διευκρινιστεί κατά πόσο επηρεάζεται μοντέλο από τους εξής παράγοντες: τιμές πόρων, συντελεστής κόστους και διακύμανση ζήτησης.

Η τιμολόγηση έγινε σύμφωνα με αυτήν της AWS:

- Monthly on Demand = \$46.80
- Up-Front Reserved = \$250.00
- Monthly Reserved = \$13.68

Τιμολόγηση παρόχου

Τα πειράματα έγιναν βάσει τα προηγούμενα δεδομένα. Παρατηρήθηκε πως σε όλες τις αγορές το θ_{opt} είναι χαμηλότερο. Επίσης και το επιπρόσθετο κέρδος χρησιμοποιώντας το θ_{opt} είναι ακόμα μικρότερο, λιγότερο από 1%. Αυτό αποδεικνύει πως το θ_{opt} επηρεάζεται από την τιμολόγηση του παρόχου. Παρόλο αυτά ο broker δεν δίνει αυτές τις οικονομίες στους πελάτες και συνεπώς υπάρχει κέρδος. Ακόμα, το ρίσκο να γίνουν αγορές σε νέα RIs που δε θα αξιοποιηθούν στο μέλλον είναι χαμηλότερο. Για το λόγο αυτό το θ_{opt} πέφτει σε όλες τις αγορές.

TABLE II. BROKER PROFITS USING CURRENT AWS PRICING.

Market	θ_{opt}	36 Month Reservations Profit (\$M)		
		$\theta = 0$	$\theta = \theta_{opt}$	$(\theta_{opt} - \theta_0)\%$
Rapid Growth	0.4	1.50	1.51	0.67%
Steady Growth	0.1	1.93	1.93	0%
Recession & Recovery	0.6	2.19	2.21	0.91%
Steady	0.0	2.52	2.52	N/A

Figure 17 Broker profits using AWS pricing

Τιμολόγηση Broker

Ο συντελεστής κόστους C, δηλαδή ο τρόπος τιμολόγησης του broker επηρεάζει άμεσα τα κέρδη του. Όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής τόσο μεγαλύτερο και το κέρδος του. Το

παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει την αντίδραση του θ_{opt} όταν αλλάζει το C . Σε όλες τις αγορές, εκτός από αυτή της γρήγορης ανάπτυξης, το θ_{opt} εξαρτάται από το C και η σχέση αυτή είναι μη γραμμική.

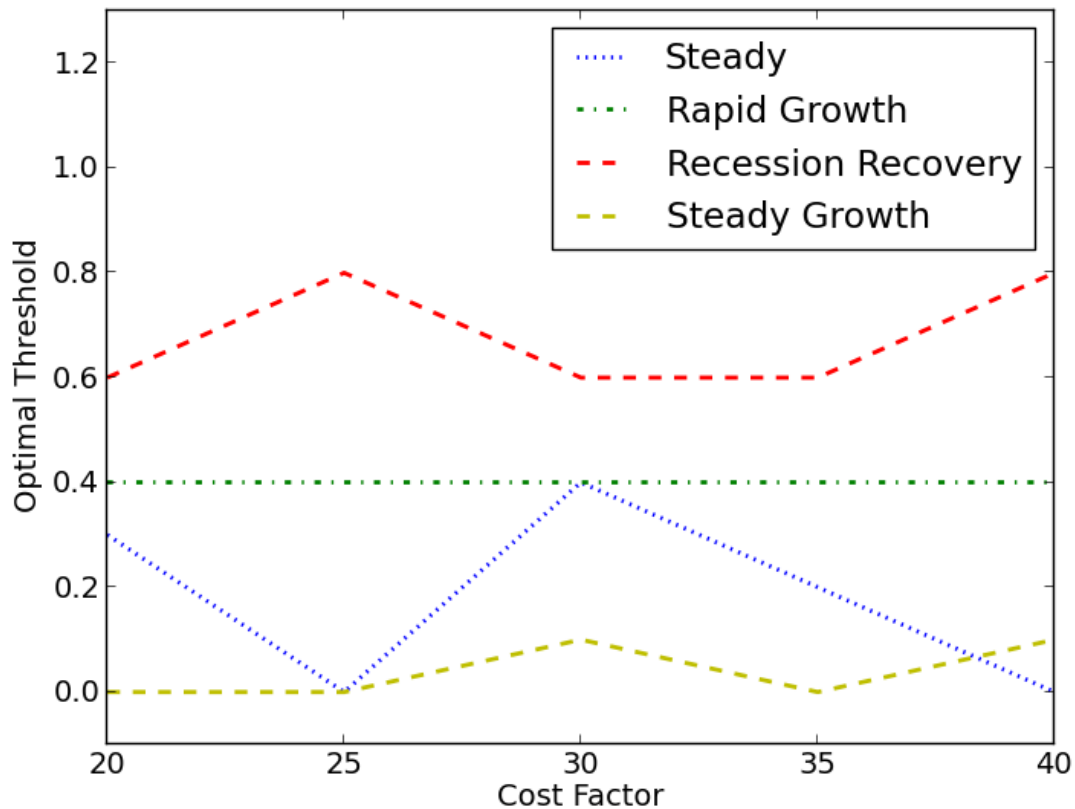


Figure 18 Optimal thresholds, θ_{opt} , as a function of cost factor

Μεταβλητότητα ζήτησης

Εξετάζεται η επίδραση που έχει η προσθήκη μεταβλητότητας στα διαφορετικά προφίλ της αγοράς. Παρατηρείται πως σε όλες τις αγορές το θ_{opt} επηρεάζεται άμεσα και η σχέση είναι μη γραμμική.

Συνοπτικά, το κατώφλι επηρεάζεται άμεσα από τους τρεις αυτούς παράγοντες και έτσι η επιλογή μιας κατάλληλης τιμής είναι μια δύσκολη απόφαση.

2.2.2.3 Πλεονεκτήματα

Η έρευνα αναφέρει ορισμένες δοκιμές προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο μοντέλο σχετικά με την αποδοτικότητα και το συνολικό κέρδος του διαμεσολαβητή. Τα σενάρια προσομοίωσης έγιναν για διάφορες τιμές του κατωφλίου θ , για έναν αριθμό από ποικίλα χαρακτηριστικά της αγοράς καθώς επίσης και για συμβόλαια

12μηνης και 36μηνης διάρκειας.

Τα αποτελέσματα ήταν πως ο broker καταλήγει να είναι προσοδοφόρος ανεξάρτητα από το προφίλ της αγοράς (γρήγορης ανάπτυξης, σταθερής ανάπτυξης, ύφεσης και ανάκαμψης και απλά σταθερής), τη διάρκεια του συμβολαίου ή το κατώφλι θ (εκτός από την ασήμαντη περίπτωση όπου το $\theta=1$ και τα reserved instances δεν αγοράζονται ποτέ). Από την άλλη πλευρά, ακόμα και στη χειρότερη περίπτωση που η αγορά αναπτύσσεται ραγδαία και ο διαμεσολαβητής αγοράζει πόρους ενός χρόνου ενώ τα reserved instances είναι ήδη αγορασμένα διαπιστώθηκε ότι υφίσταται ένα μικρό κέρδος. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψιν τα στοιχεία του παρελθόντος, με τη σωστή οριοθέτηση του θ σε συνδυασμό με την αγορά συμβολαίων διάρκειας 3 χρόνων, είναι εφικτό να υπάρχει κέρδος έως 44% κάτω από τις ίδιες συνθήκες αγοράς. Στην περίπτωση όπου η αγορά είναι σταθερής ανάπτυξης, τότε το κέρδος αυξάνεται κατά 164%, όπου αποτελεί και την ιδανική περίπτωση.

Γενικά, ο διαμεσολαβητής επωφελείται όταν θέτει το θ έτσι ώστε οι πόροι που αγοράζει να βασίζονται σε προηγούμενες αποδόσεις. Ορίζοντας την βέλτιστη τιμή για το κατώφλι μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των εσόδων πάνω από 36% για συμβόλαια 3 χρόνων και 21% για συμβόλαιο 1 χρόνου. Συνεπώς, αξίζει να πληρώνονται εκ των προτέρων μακροχρόνια συμβόλαια (3 χρόνια) γιατί αν και το κόστος είναι μεγαλύτερο, ο διαμεσολαβητής έχει τη δυνατότητα να μεγιστοποιήσει το κέρδος του παρέχοντας υπηρεσίες με χαμηλότερο κόστος.

2.2.2.4 Μειονεκτήματα

Επιλέγοντας τη βέλτιστη τιμή για τη μεταβλητή θ , ο διαμεσολαβητής έχει τη δυνατότητα να εξισορροπήσει την προβολή των προσόντων του απέναντι στους παρόχους με έναν ευνοϊκό τρόπο μειώνοντας ουσιαστικά το ρίσκο και μεγιστοποιώντας τα κέρδη του. Με την αξιοποίηση των δεδομένων του ιστορικού χρήσης αντισταθμίζεται καταλλήλως ο κίνδυνος αυτός. Όμως, εξαιτίας της φύσης του περιβάλλοντος του νέφους δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων αν η αγορά θα συνεχίσει να ακολουθεί το ίδιο μοτίβο. Πιο συγκεκριμένα, οι διακυμάνσεις και η έμφυτη τάση των παγκόσμιων αγορών να είναι απρόβλεπτες θα μπορούσε να καταστήσει ανούσιες τις εκτιμήσεις του παρελθόντος. Αν για παράδειγμα οι πελάτες παρουσιάσουν μη έγκυρη ή ακόμα και ψευδή εκτίμηση, τότε σε αυτήν την περίπτωση ο διαμεσολαβητής θα κάνει και αυτός λανθασμένη πρόβλεψη σχετικά με τις αγορές που αποσκοπεί να κάνει. Ένα απρόσμενο γεγονός στις αγορές (shock) κατά το οποίο η ζήτηση για έναν πόρο ξαφνικά αλλάζει, πιθανώς λόγω της εισόδου ενός νέου προϊόντος, θα μπορούσε να οδηγήσει τον broker να λειτουργεί με ένα μη βέλτιστο κατώφλι θ . Συνεπώς θα υπήρχε κίνδυνος να εκτεθούν σε κίνδυνο οι πόροι που έχουν αγοραστεί και δεν έχουν ακόμα αξιοποιηθεί. Για το λόγο αυτό, θα ήταν καλύτερο το κατώφλι να αναβαθμιζόταν αυτόματα ανάλογα με τις συνθήκες της αγοράς.

2.2.3 Quantized Billing Cycles (QBS)

2.2.3.1 Σχετικά με το QBS

Η Amazon EC2 προσφέρει υπηρεσίες on-demand για να ικανοποιήσει τις ανάγκες των πελατών. Ο κύκλος τιμολόγησης (χρονική περίοδος μεταξύ της οποίας μια εταιρία στέλνει ένα λογαριασμό ή τιμολόγιο και στέλνει ξανά [5]) της Amazon για τις κατά παραγγελία υπηρεσίες είναι η μία ώρα. Αυτό σημαίνει πως ο πελάτης υποχρεώνεται να πληρώσει την ίδια τιμή είτε χρησιμοποιήσει τον πόρο (VM) για ένα λεπτό ή μια ώρα. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται Quantized Billing Cycles. Η κατάσταση αυτή οδηγεί σε ένα σοβαρό πρόβλημα ιδιαίτερα για τους χρήστες εκείνους των οποίων τα αιτήματα για πόρους είναι σποραδικά. Για παράδειγμα, ορισμένες φορές οι απαιτήσεις των χρηστών για VMs ξεπερνάνε τους διαθέσιμους πόρους που υπάρχουν. Συνεπώς, πρέπει να προμηθευτούν περισσότεροι πόροι. Όμως η αιχμή της ζήτησης δε θα διαρκέσει για πολύ ώρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρεωθούν τους πόρους για μια ώρα, ενώ η χρήση τους θα γίνει για ορισμένα λεπτά. Συνεπώς, το βασικό ζήτημα του QBS είναι η περιστασιακή ζήτηση των πελατών. Όσο πιο σποραδική η ζήτηση, τόσο μεγαλύτερες οι ζημιές. Το ζήτημα αυτό καλείται να αντιμετωπίσει ο broker ο οποίος εξυπηρετεί τις απαιτήσεις των χρηστών συγκεντρωτικά.

2.2.3.2 Διαμόρφωση προβλήματος

Σύμφωνα με την αναφορά (Saha & Pasumathy, 2015), το πρόβλημα αυτό λύνεται με τη βοήθεια της δυναμικής τιμολόγησης και η βασική ιδέα είναι η εξής:

- 1) Αυξάνοντας την τιμή πώλησης έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η ζήτηση και να μην αυξάνονται τα έσοδα. Για παράδειγμα, σε μια στατική τιμολόγηση όταν υπάρχει ζήτηση ενός αριθμού πόρων, τότε τα έσοδα θα καθορίζονται από το σταθερό επιτόκιο. Όταν όμως η τιμή πώλησης ενός VM αυξάνεται (δυναμική τιμολόγηση) η ζήτηση πέφτει, παρόλο αυτά τα έσοδα είναι περισσότερα σε σύγκριση με την προηγούμενη στρατηγική. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρακάτω φαίνεται η πτώση της ζήτησης όταν αυξάνεται η τιμή.
- 2) Η δυναμική τιμολόγηση επιφέρει περισσότερο κέρδος από την στατική. Αυτό συμβαίνει, διότι στην δεύτερη περίπτωση πολλά VMs παραμένουν αδρανή και δεν χρησιμοποιούνται. Έτσι, δε συνεισφέρουν στα έσοδα. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στο διάγραμμα, όπου η περιοχή που αναφέρεται στα αδρανή VMs της στατικής είναι φανερά μεγαλύτερη.
- 3) Η βασική ιδέα είναι η εξής : Είναι προτιμότερη η ύπαρξη μιας μικρής απώλειας εσόδων για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα παρά να αγοράζονται VM και ύστερα να

προκαλείται μεγάλη απώλεια στα επακόλουθα slots εξαιτίας της χαμηλής ζήτησης.

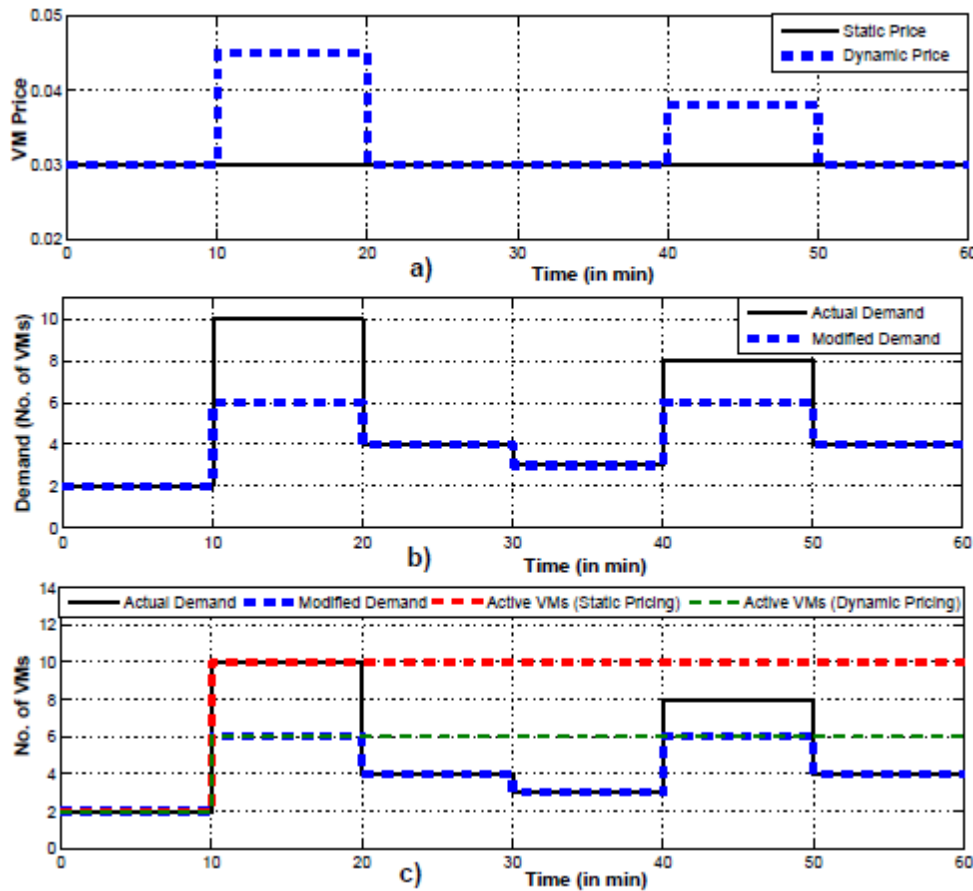


Figure 19 An example of static and dynamic pricing: a) Graph showing Price vs Time for static and dynamic pricing. b) The graph corresponding to actual demand (for static pricing) and modified demand (for dynamic pricing). c) Graph showing actual/modified demand along with the active number of VMs for both static and dynamic pricing case.

Ο μηχανισμός που λειτουργεί το συγκεκριμένο μοντέλο cloud brokering περιλαμβάνει δυο μέρη που ελέγχονται αμφότερα από τον διαμεσολαβητή:

- Το Resource Scheduler, ο ρόλος του οποίου είναι να προγραμματίζει τα εισερχόμενα αιτήματα των πελατών στα διαθέσιμα VMs που υπάρχουν. Παράλληλα, οφείλει να θεωρεί και τα συμβόλαια (SLAs) που θα οριστούν. Μπορεί να σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας αναγνωρισμένα θεωρητικά εργαλεία.
- Το Resource Scaler ο οποίος νοικιάζει VMs από τους παρόχους και επίσης εφαρμόζει δυναμική τιμολόγηση ώστε να μεγιστοποιήσει το κέρδος του broker. Αυτό που είναι σημαντικό είναι ο σχεδιασμός αλγορίθμων για τον Scaler. Ο Scheduler ενημερώνει τον Scaler όσον αφορά τον αριθμό των πόρων που απαιτείται για να ολοκληρωθούν οι εργασίες στο δοσμένο χρονικό περιθώριο.

Μοντελοποίηση

Θεωρητικά ο πελάτης πληρώνει το διαμεσολαβητή με βάσει ό,τι χρησιμοποιεί. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του κέρδους είναι:

$$\max_{\{\gamma_t, v_t\}} P = \sum_{t=1}^T (\gamma_t d_t - v_t) \quad (1)$$

$$\text{subject to} \quad : \quad \sum_{i=t-\tau+1}^t v_i \geq d_t ; \forall t = 1, 2, \dots, T$$

$$d_t = f(d_t^*, \gamma_t) ; \forall t = 1, 2, \dots, T$$

, όπου P είναι το κέρδος που πρέπει να μεγιστοποιηθεί. Ο όρος $(\gamma_t d_t - v_t)$ είναι το κέρδος στο χρονικό περιθώριο t^{th} και γ_t είναι η τιμή πώλησης ανά time slot. d_t είναι ο αριθμός των VM που χρειάζονται για να εξυπηρετήσουν ένα νέο αίτημα και v_t είναι ο αριθμός των VM που αγοράστηκαν στο slot t^{th} . Κάθε VM κοστίζει μία μονάδα. τ είναι η

περίοδος ενός κύκλου χρέωσης και $\sum_{i=t-\tau+1}^t v_i$ είναι ο αριθμός των ενεργών VMs στο χρονικό περιθώριο t^{th} . d_t είναι η τροποποιημένη ζήτηση για VM όταν η τιμή πώλησης ισούται με γ_t . Η σχέση μεταξύ της πραγματικής ζήτησης d_t και της τροποποιημένης d_t^* διαμορφώνεται από τη συνάρτηση τιμής-ζήτησης $f(*)$. Αν $\gamma_t = \gamma^*$, το σταθερό επιτόκιο τότε $d_t = d_t^*$. Τα έσοδα που κερδίζονται πουλώντας ένα VM σε μια εκτιμώμενη τιμή γ^* για ένα ολοκληρωμένο κύκλο χρέωσης είναι $\gamma^* \tau$. Για να βγάλει κέρδος ο broker πρέπει $\gamma^* \tau > 1$, όπου 1 είναι η τιμή κόστους ενός VM.

Η σχέση (1) μπορεί να ισοδυναμεί με το εξής πρόβλημα ελαχιστοποίησης :

$$\min_{\{\gamma_t, v_t\}} L = \sum_{t=1}^T \left[\overbrace{(\gamma^* d_t^* - \gamma_t d_t)}^{\text{Demand Loss}} + \underbrace{v_t}_{\text{VM Loss}} \right] \quad (2)$$

$$\text{subject to} \quad : \quad \sum_{i=t-\tau+1}^t v_i \geq d_t ; \forall t = 1, 2, \dots, T$$

$$d_t = f(d_t^*, \gamma_t) ; \forall t = 1, 2, \dots, T$$

Στην εξίσωση (2) ο όρος $(\gamma^* d_t^* - \gamma_t d_t)$ και u_t αναφέρονται στην μείωση της ζήτησης και των VMs αντίστοιχα και η $f(d, \gamma)$ είναι η συνάρτηση ζήτησης. Έστω μια απότομη αύξηση στην ζήτηση d_t^* η οποία θα πέσει σύντομα. Σε αυτήν την περίπτωση ο αλγόριθμος (2) θα αυξήσει την τιμή πώλησης για να μειωθεί η ζήτηση. Τότε ο διαμεσολαβητής θα υποστεί μια ζημιά στην ζήτηση (Demand Loss). Από την άλλη πλευρά, η αγορά πολλών VMs δεν αποτελεί την ιδανική λύση καθώς υπάρχει το ενδεχόμενο ο broker να υποστεί μια τεράστια απώλεια VM (VM Loss) στα επακόλουθα χρονικά διαστήματα λόγω αδράνειας των μηχανημάτων. Όμως σε περίπτωση που η ζήτηση βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα για μεγάλο χρονικό διάστημα θα ήταν σοφότερο να γινόταν οι αγορές. Ο αλγόριθμος (2) ανήκει στην κατηγορία των offline οπότε δε μπορεί να είναι γνωστό εκ των προτέρων αν μια αύξηση στη ζήτηση θα διαρκέσει για μεγάλο χρονικό διάστημα ή μικρό. Η πρόκληση είναι να σχεδιαστούν αλγόριθμοι που παίρνουν αποφάσεις online βάσει δεδομένων του παρόντος και του παρελθόντος. Τέτοιοι αλγόριθμοι λέγονται online.

Online βελτιστοποίηση προβλήματος

Οι παραπάνω αλγόριθμοι ανήκουν στην κατηγορία των ski-rental προβλημάτων. Στην κατηγορία αυτή ο χρήστης πρέπει να αποφασίσει αν θα αγοράσει ή θα συνεχίσει να νοικιάζει έναν πόρο χωρίς να γνωρίζει εκ των προτέρων την περίοδο της χρήσης. Το ενοίκιο είναι φθηνότερο αν είναι σύντομο το χρονικό διάστημα χρήσης, καθώς η αγορά αποτελεί καλύτερη λύση για μακράς διάρκειας χρήση των πόρων. Στο γνήσιο πρόβλημα ο σκιέρ αντιμετωπίζει το δίλημα σχετικά με το αν πρέπει να αγοράσει ή να νοικιάσει τον εξοπλισμό του σκι χωρίς να γνωρίζει προγενέστερα πόσες μέρες πρόκειται να ασχοληθεί. Το ζήτημα λοιπόν είναι το σημείο που καθορίζει αν θα πρέπει να συνεχιστεί η πληρωμή ενοικίου ή θα πρέπει γίνει αγορά. Το πρόβλημα αυτό προσπαθεί να λύσει η ιδέα του νεκρού σημείου (breakeven point) το οποίο χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό online αλγορίθμων προτείνοντας το σημείο από το οποίο και μετά η αγορά αποτελεί καλύτερη λύση σε σύγκριση με το ενοίκιο.

Το ski rental πρόβλημα έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορα ζητήματα που αφορούν την καθημερινότητα. Έτσι έχει εφαρμοστεί και στον τομέα του cloud computing. Συγκεκριμένα, ο broker πρέπει να αποφασίσει σε κάθε χρονική σχισμή αν θα κάνει κρατήσεις πόρων ή θα εξυπηρετήσει τους πελάτες με on-demand πόρους. Σε περίπτωση που η ζήτηση είναι αυξημένη για μεγάλο χρονικό διάστημα τότε οι κρατήσεις είναι η καλύτερη επιλογή, διαφορετικά είναι πιο κερδοφόρα η χρήση on-demand instances. Ο διαμεσολαβητής οφείλει να καταλήξει σε μια απόφαση χωρίς να έχει καμία γνώση της μελλοντικής ζήτησης

ή με μερική γνώση.

Το βασικό βήμα για την χρήση τέτοιου είδους αλγορίθμου στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο σχεδιασμός των παρακάτω οντοτήτων:

- **Renting:** Είναι η διαδικασία μείωσης της ζήτησης αυξάνοντας την τιμή πώλησης των πόρων (VMs). Για να μειωθεί η πραγματική ζήτηση d_t^* στην τροποποιημένη ζήτηση d_t τίθεται η τιμή πώλησης σε $y_t = g(d_t^*, d_t)$. Στο διάγραμμα η διαδικασία ενοικίασης στην 3^η χρονική σχισμή είναι αντίστοιχη της μείωσης ζήτησης VM από τη 12^η στην 9^η. Στην 4^η και 5^η δεν είναι απαραίτητη η ενοικίαση καθώς ο αριθμός των ενεργών VM είναι μεγαλύτερος από την πραγματική ζήτηση. Επίσης στην 2^η και 8^η χρονική στιγμή δεν υπάρχει ενοικίαση.
- **Buying:** Είναι η διαδικασία αγοράς u_t VMs για να υποστηριχτεί η τροποποιημένη ζήτηση d_t . Αν ο αριθμός των ενεργών VMs στην αρχή της χρονικής στιγμής t είναι x_t τότε $u_t = \max(0, d_t - x_t)$. Στο διάγραμμα γίνεται αγορά 4 VMs τη χρονική στιγμή 3. Στη 2^η χρονική στιγμή αγοράζονται 2 πόροι και δεν υπάρχει καθόλου ενοίκιο. Στην 4^η και 5^η δεν χρειάζεται να γίνει αγορά καθώς ο αριθμός των ενεργών πόρων είναι περισσότερος από εκείνον της τροποποιημένης ζήτησης(ισοδύναμης με την πραγματική). Στην 8^η πάλι δε χρειάζεται γιατί ο αριθμός των ενεργών πόρων είναι ίσος με την τροποποιημένη ζήτηση.
- **Buying cost:** Είναι το κόστος αγοράς n VMs. Καθώς το κόστος της τιμής των VM θεωρείται πως είναι μια μονάδα, το κόστος αγοράς n VM είναι ίσο με n μονάδες.

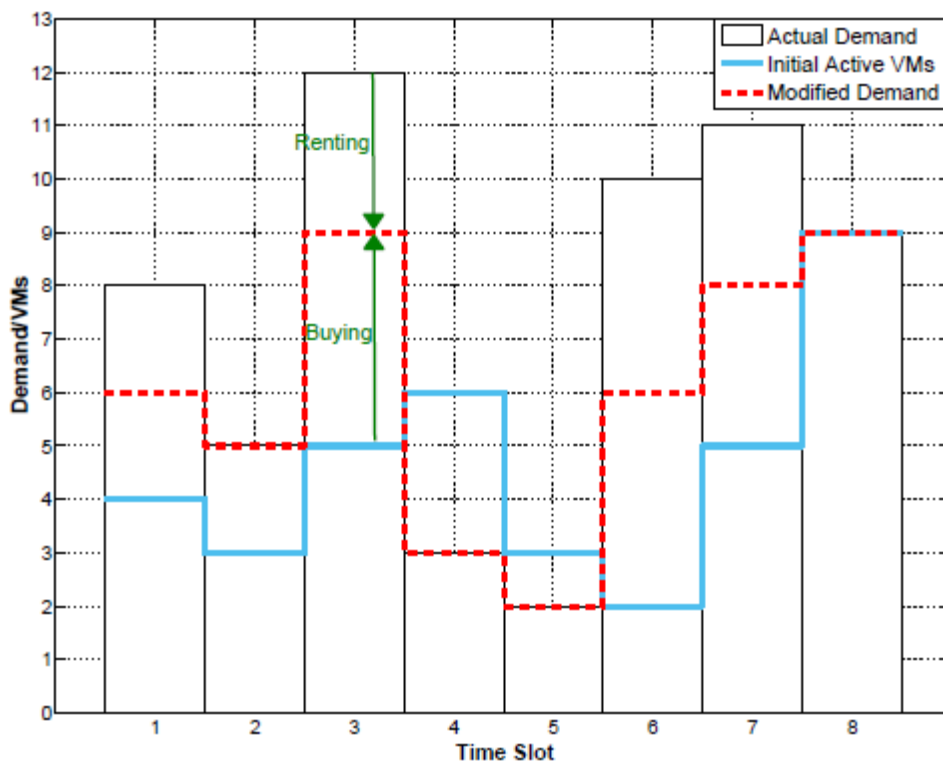


Figure 20 Figure showing the actual demand d_t^* (solid black curve), modified demand d_t (dashed red curve)

and the number of active VMs x_t in the beginning of every time slot (solid blue curve)

- **Renting cost:** Είναι η απώλεια ζήτησης που προκαλείται ώστε να μειωθεί η ζήτηση από d^* σε d^*-n σε ένα δωσμένο χρονικό περιθώριο όπου $n \leq d$. Το κόστος ενοικίασης δίνεται από τον τύπο:

$$R = \gamma^* d^* - (d^* - n) * g(d^*, d^* - n)$$

Η απώλεια ζήτησης και το κόστος ενοικίου είναι το ίδιο.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το κόστος ενοικίασης (renting cost) θα πρέπει να είναι περισσότερο από εκείνο της αγοράς (buying cost). Δεδομένου ότι ο κύκλος χρέωσης περιόδου είναι τ , το κόστος ενοικίασης για τ πρέπει να είναι μεγαλύτερο από αυτό της αγοράς. Διαφορετικά η αγορά των VM δε θα είναι ποτέ απαραίτητη. Το κόστος αγοράς n VMs είναι n , καθώς το κόστος ενοικίασης n απαιτήσεων για τ περίοδο είναι R_τ . Γι αυτό $R_\tau \geq n$. Παρομοίως, το κόστος ενοικίασης θα πρέπει να είναι μικρότερο από αυτό της αγοράς όσον αφορά ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Γι αυτό το λόγο, το κόστος ενοικίασης n αιτημάτων για 1 περίοδο πρέπει να είναι λιγότερο από το κόστος αγοράς n VMs. Έτσι, $R \leq n$.

Συνεπώς, για να διαμορφώσουμε το πρόβλημα σε πλαίσιο του Ski-Rental ακολουθείτε η εξής ανισότητα:

$$\frac{n}{\tau} \leq R \leq n$$

Όπως έγινε αναφορά παραπάνω λοιπόν, η ιδέα του νεκρού σημείου είναι να συνεχιστεί η ενοικίαση έως ότου το κόστος ενοικίασης θα ισούται με αυτό της αγοράς. Σε αυτήν την περίπτωση το κόστος αγοράς αποτελεί το breakeven point. Αν το κόστος ενοικίασης υπερβεί εκείνο της αγοράς, τότε ο πόρος αγοράζεται.

2.2.3.3 Προσομοίωση μεθόδου και αποτελέσματα

Στην έρευνα εφαρμόστηκαν δυο αλγόριθμοι ώστε να αξιολογηθεί το μοντέλο QBS για ένα cloud broker. Ο πρώτος αλγόριθμος είναι ο Fully Online Algorithm κατά τον οποίο δεν υπάρχει καμία γνώση σχετικά με την μελλοντική πρόβλεψη της ζήτησης. Ο δεύτερος είναι ο Partial Online Algorithm ο οποίος εικάζεται μια μελλοντική ζήτηση πόρων για future window $w \leq \tau$. Και οι δυο αλγόριθμοι λειτουργούν σε κατάσταση απαισιοδοξίας. Πάντα υποθέτουν πως μια αύξηση στη ζήτηση δεν πρόκειται να διαρκέσει πολύ και συνεπώς μειώνουν τη ζήτηση αυξάνοντας την τιμή πώλησης των πόρων. Αυτή η μείωση στη ζήτηση γεννά κόστη ενοικίασης. Πάντως σε κάθε χρονικό μεσοδιάστημα υπολογίζεται το καθαρό κόστος ενοικίασης στο παρελθόν και στις μελλοντικές χρονικές σχισμές. Αν το κόστος αυτό

υπερβεί την 1 μονάδα (=κόστος αγοράς 1 VM) τότε αγοράζεται ένας νέος πόρος.

Δεδομένα προσομοίωσης

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με πραγματικά δεδομένα. Χρησιμοποιήθηκαν συλλογές δεδομένων της google (clusters) για το σχεδιασμό της καμπύλης της πραγματικής ζήτησης (Alam, 2015).

- ♦ Η καμπύλη έχει χρονικό διάστημα μιας ημέρας και είναι χωρισμένη σε σχισμές των 5 λεπτών.
- ♦ Η τιμή κόστους ενός VM είναι 1 μονάδα
- ♦ Κάθε VM έχει κύκλο χρέωσης 1 ώρα, οπότε $\tau=12$ (περίοδος)

Διεξήχθησαν δυο έρευνες για να εξακριβωθεί η επίδραση της πρόβλεψης ζήτησης και το νεκρό σημείο για την αλλαγή από ενοικίαση στην αγορά του VM. Για διαφορετικές τιμές του w και p_m παρουσιάστηκε πόσο σημαντικό ζήτημα είναι να προβλέπεται η ζήτηση καθώς επίσης καθορίστηκαν τα κατάλληλα νεκρά σημεία για διάφορες τιμές κατωφλίου.

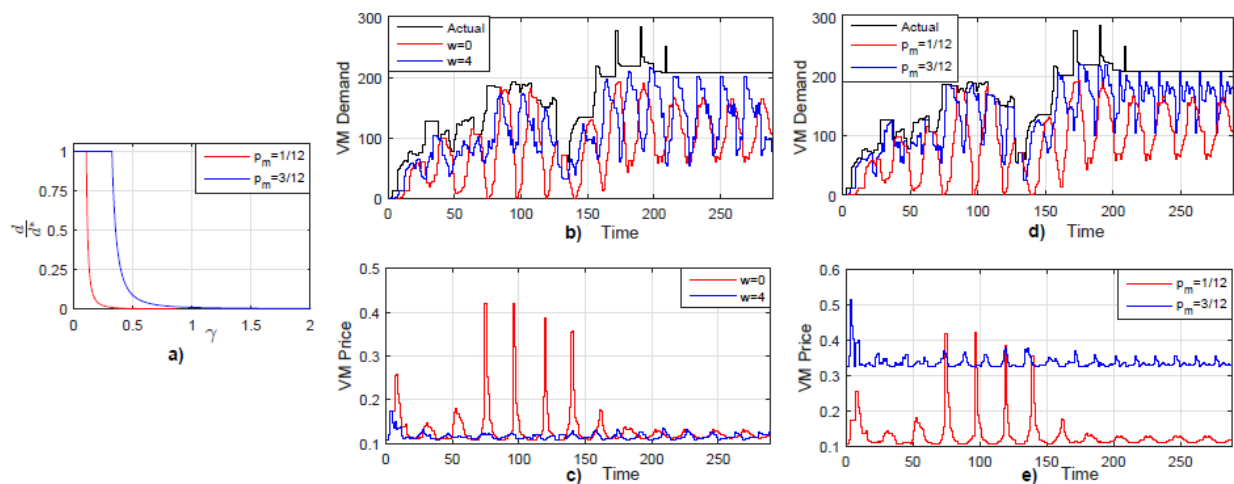


Figure 21 a) Demand function for two different value of p_m . b), c) Plots of actual and modified demands and the corresponding pricing to compare the effect of prediction window w d), e) Plots of actual and modified demands and the corresponding pricing to compare the effect of p_m .

Σύμφωνα λοιπόν με τα διαγράμματα, η μείωση στην ζήτηση είναι μεγαλύτερη για $w=0$. Αυτό αποδεικνύει την απαισιόδοξη φύση του αλγορίθμου, δηλαδή προτιμά να μειώσει τη ζήτηση από το να αγοράσει νέα VMs. Με την αύξηση του w ο αλγόριθμος στρέφεται προς την βέλτιστη λύση. Το καθαρό κέρδος για $w=0$ είναι 781 μονάδες ενώ για $w=4$ είναι 937. Επιπλέον από τα διαγράμματα παρατηρείται ότι αν το p_m είναι υψηλό η επίδραση της τιμολόγησης στη ζήτηση είναι ελάχιστη.

2.2.4 Two-sided auction mechanism in cloud computing

2.2.4.1 Δημοπρασίες σε περιβάλλον νέφους

Οι πολιτικές τιμολόγησης βασισμένες σε μηχανισμούς δημοπρασίας έχουν εφαρμοστεί ευρέως αντανakλώντας τις τάσεις της προσφοράς και ζήτησης σαν μια γρήγορη προσέγγιση για την πώληση αγαθών σε μια αγορά. Η Amazon έχει υιοθετήσει μια τέτοια τεχνική, ονομαζόμενη Spot Instances, με την οποία προσφέρει πόρους δυναμικά μεταξύ αρκετών πελατών της. Ο μηχανισμός αυτός έχει μεγάλο ενδιαφέρον όσον αφορά την πρόβλεψη της ζήτησης καθώς μπορεί να εκτιμήσει με τον τρόπο αυτό τα έσοδα του cloud provider. (Zhang, Jiang, Member, Li, & Liu, 2016)

Σε ένα περιβάλλον νέφους, οι πάροχοι ανταγωνίζονται για να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους και οι πελάτες για να παραλάβουν πόρους κατάλληλους όσον αφορά την ποιότητα να ανταπεξέρχονται στις εργασίες τους και τις οικονομικές προδιαγραφές. Συνήθως, οι χρήστες του νέφους δρουν μεμονομένα στην πολιτική και τη στρατιγική παραχώρησης πόρων. Χρησιμοποιούν τεχνικές που στηρίζονται στην αγορά καθώς και οικονομικά μοντέλα για να ρυθμίσουν την προσφορά και ζήτηση παρέχοντας κίνητρα στους παρόχους και παροτρύνοντας τους πελάτες να επιλέξουν τη λιγότερη δαπανηρή υπηρεσία βάσει του προϋπολογισμού και του επιπέδου ποιότητας των υπηρεσιών. Ο κρίσιμος στόχος που επιδιώκεται να επιτευχθεί είναι η διανομή εκείνων των πόρων που θα αποτελέσει τη βέλτιστη λύση για μια ζητούμενη υπηρεσία.

Επειδή η φύση του νέφους είναι ετερογενής, η κατανομή των πόρων στηρίζεται σε δυο προσεγγίσεις με κέντρο:

- το σύστημα, όπου είναι η κλασική παραδοχή κατά την οποία βελτιστοποιείται η απόδοση του συστήματος, όπως για παράδειγμα η γενική διεκπαιρευτική ικανότητα
- το χρήστη, όπου επικεντρώνεται κυρίως στο να παρέχεται η μέγιστη αξιοποίηση της ποιότητας των υπηρεσιών (QoS)

Στο cloud computing, τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει κανείς είναι όταν η διαθεσιμότητα των πόρων και ο φόρτος εργασίας αλλάζουν δυναμικά καθώς επίσης οι περιορισμοί σχετικά με την ποιότητα της υπηρεσίας και η υποχρέωση να διατηρείται ένα αποδεκτό επίπεδο όσον αφορά την απόδοση του συστήματος. Αυτή η δυναμική συμπεριφορά οδηγεί σε προκλήσεις μεταξύ χρηστών και παρόχων που επιδιώκουν να καλύψουν τις απαιτήσεις στους πόρους ή τις εργασίες. Για το λόγο αυτό ο καταμερισμός των πόρων πρέπει να είναι βέλτιστος.

Υπάρχουν δυο γνωστές κατηγορίες οικονομικών μοντέλων για το συγκεκριμένο σκοπό, αυτό της αγοράς εμπορευμάτων και της δημοπρασίας. Στο πρώτο, οι πάροχοι καθορίζουν

τις τιμές των αγαθών βασιζόμενοι στην ποσότητα των πόρων που χρησιμοποιού οι καταναλωτές. Όσον αφορά το μοντέλο των δημοπρασιών, τόσο οι πάροχοι όσο και οι πελάτες δρουν ξεχωριστά και ανεξάρτητα. Καταλήγουν μεταξύ τους σε μια ορισμένη τιμή. Οι δημοπρασίες κυρίως έχουν να κάνουν με προϊόντα που δεν έχουν κάποια σταθερή προκαθορισμένη τιμή και η αξίας τους επηρεάζεται άμεσα από την προσφορά και ζήτηση που υπάρχει κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Επιπρόσθετα, απαιτούν ορισμένες πληροφορίες σχετικά με την τιμολόγηση ανά τον κόσμο για να γίνει η διαμόρφωσή τους.

Γενικότερα, ένα πλαίσιο λειτουργίας online δημοπρασίας μπορεί να εγγυηθεί τις παρακάτω ιδιότητες (Shi & Lau,):

- ειλικρίνεια και εγκυρότητα δεδομένων, ένα πολύ σημαντικό ζήτημα του σχεδιασμού τέτοιων μηχανισμών. Επιβεβαιώνεται πως οι αγοραστές που ενδιαφέρονται για τα αγαθά δηλώνουν την πραγματική εκτίμησή για τις απαιτήσεις για τα VM που χρειάζονται στις προσφορές που κάνουν. Αυτό απλοποιεί την ανάλυση των αποτελεσμάτων της δημοπρασίας και αυξάνεται η προβλεψιμότητα στην πράξη.
- Συνδιαστικές δημοπρασίες που υποστηρίζουν ετερογενή VM τα οποία είναι τοποθετημένα σε διαφορετικά κέντρα δεδομένων.
- Δυναμικό καταμερισμό πόρων, όπου ο αριθμός των πόρων δεν είναι εκ των προτέρων καθορισμένος αλλά προσαρμόζεται δυναμικά ανάλογα με τη ζήτηση.
- Τέλος, δυνατότητα διεξαγωγής διαδικτυακά, όπου σε εμπορικές πλατφόρμες νέφους οι μηχανισμοί αυτοί εκτελούνται επανειλημμένως και οι τιμές αλλάζουν διαρκώς.

Οι δημοπρασίες δυο πλευρών (two-sided auctions) επιτρέπουν διαπραγματεύσεις τιμών many-to-many, δηλαδή από την μια πλευρά υπάρχει ένα πλήθος προμηθευτών και από την άλλη ένα πλήθος αγοραστών. Η κάθε πλευρά καταθέτει τις προσφορές της σχετικά με τους πόρους. Αυτού του είδους το μοντέλο είναι αρκετά αποδοτικό σε σχέση με τις μονόπλευρες δημοπρασίες. Παρόλο αυτά, απαιτείται περισσότερη λεπτομερή έρευνα για να γεφυρωθεί το κενό μεταξύ των δυο πλευρών έτσι ώστε να ικανοποιηθούν δίκαια τα οφέλη τους και να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις τους.

Το προτεινόμενο μοντέλο προσπαθεί να καλύψει τις ανάγκες τόσο των προμηθευτών και πελατών όσο και του broker ώστε να τους προσελκύσει. Αποδεικνύεται πως είναι σε θέση να οφελήσει όλους τους χρήστες αξιοποιώντας σωστά τις συναλλαγές από υπηρεσίες μεγάλων δεδομένων για να διευκολύνει στο εμπόριο και τη χρήση τους. Ο μηχανισμός αυτός λέγεται Two-Sided Mechanism For Trading Big Data Commodities (2-SAMBA) και καθορίζει την τιμή που κάθε χρήστης πρέπει να πληρώσει στο broker για τους πόρους που πρόκειται να χρησιμοποιήσει και τα έσοδα που θα λάβει ο πάροχος του νέφους.

2.2.4.2 Πληροφορίες μηχανισμού

Το μοντέλο στην αναφορά (Mashayekhy, Nejad, & Grosu, n.d.) συμπεριλαμβάνει ένα σύνολο από πολλά δεδομένα αιτημάτων, παρόχους νέφους και ένα broker ως μεσάζοντα. Κάθε αίτημα ανήκει σε ένα χρήστη/πελάτη, ο οποίος γνωρίζει τα χαρακτηριστικά του task του και αναφέρει τις προδιαγραφές του στον διαμεσολαβητή. Ο broker είναι ένα τρίτο έμπιστο πρόσωπο υπεύθυνο για την παραλαβή των αιτημάτων και αποφασίζει τους νικητές, τις τιμές, την χρέωση των πελατών. Επίσης λαμβάνει τις εισπράξεις από τους πελάτες και πληρώνει τους συμμετέχοντες παρόχους νέφους.

Υπάρχει ένα σύνολο από παρόχους $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ οι οποίοι είναι διαθέσιμοι να προσφέρουν μια μεγάλη ποσότητα δεδομένων υπολογιστικών πόρων στους χρήστες του νέφους. Η κατανομή των πόρων αυτών γίνεται μέσω ενός συστήματος κράτησης για ένα σετ διαφορετικών χρονικών μονάδων, περιγράφοντας με τη μεταβλητή T . Κάθε πάροχος $C_j \in C$ προσφέρει μια ομάδα πόρων (cluster) στους χρήστες σε κάθε χρονική μονάδα και αναφέρει ένα ελάχιστο κόστος γι αυτό. Επιπρόσθετα, οι προτιμήσεις των παρόχων αναπαρίστανται ως ένα διάνυσμα $a = (a_1, \dots, a_m)$ όπου κάθε στοιχείο a_j δηλώνει το ελάχιστο κόστος ενός παρόχου $C_j \in C$. Το κόστος κάθε C_j ανά χρονικό κενό είναι a_j/T .

Κάθε χρήστης $i \in U$, όπου U το σύνολο χρηστών, ζητά να χρησιμοποιήσει ένα cluster για ένα χρονικό περιθώριο. Προσδιορίζει την προτίμησή του bit ως τη μέγιστη τιμή που είναι πρόθυμος να πληρώσει για το cluster αυτό τη χρονική στιγμή t . Τόσο οι χρήστες όσο και οι πάροχοι αναφέρουν τις απαιτήσεις τους (προσφορά και ζήτηση αντίστοιχα) στον broker, ο οποίος είναι ο υπεύθυνος για την εκτέλεση και εφαρμογή της δημοπρασίας για να καθοριστεί ο διαμερισμός των πόρων στους χρήστες αλλά και η τιμολόγηση. Και οι δυο συμμετέχοντες στέλνουν τις πληροφορίες αυτές σφραγισμένες στο διαμεσολαβητή εκ των προτέρων. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η ιδιωτικότητα και μυστικότητα των επιλογών.

Με βάση τις παραπάνω δοσμένες ρυθμίσεις το πρόβλημα της συναλλαγής υπολογιστικών πόρων μεγάλων δεδομένων (TBDCC) προσπαθεί να καθορίσει την κατανομή των cluster στους χρήστες αλλά και την τιμή τους βασισμένη στη προσφορά και ζήτηση που έχουν υποβληθεί. Ένας μηχανισμός για την επίλυση του συγκεκριμένου ζητήματος περιλαμβάνει δυο φάσεις:

- τον καθορισμό νικητή, όπου σε αυτή τη φάση ο μηχανισμός καθορίζει την ανάθεση των cluster στους χρήστες με την πάροδο του χρόνου. Σε περίπτωση που ο χρήστης i παραλάβει ένα γκρουπ πόρων από τον πάροχο C_j τη στιγμή t , τότε $x_{ij}^t = 1$, διαφορετικά ισούται με 0. Επίσης, όταν οι πόροι ενός cloud provider C_j διανέμονται σε εάν χρήστη τότε $y_j = 1$.
- Τον καθορισμό τιμής, όπου στη φάση αυτή ο μηχανισμός καθορίζει την ποσότητα

Μέθοδοι προσομοίωσης διαμεσολαβητών υπολογιστικού νέφους(Cloud Brokers)

π_i^u την οποία κάθε χρήστης i οφείλει να πληρώσει στο broker και το ποσό π_j^c το οποίο κάθε πάροχος C_j λαμβάνει από τον broker. Οι χρήστες έχουν σχεδόν γραμμική ωφελιμότητα. Αυτή προκύπτει αν ο χρήστης i χορηγηθεί με τους πόρους, η ωφέλιμη αξία u_i^u που θα έχει είναι η διαφορά μεταξύ της αποτίμησης και του ποσού των χρημάτων που μεταφέρθηκαν, δηλαδή $u_i^u = b_i^u - \pi_i^u$ ή 0 σε διαφορετική περίπτωση. Αν ένας πάροχος C_j παραχωρήσει πόρους σε χρήστες, τότε το δικό του όφελος θα είναι $u_j^c = \pi_j^c - a_j$ και 0 διαφορετικά.

Μια αναπαράσταση του μοντέλου ακολουθεί παρακάτω (Samimi, Teimouri, & Mukhtar, 2014):

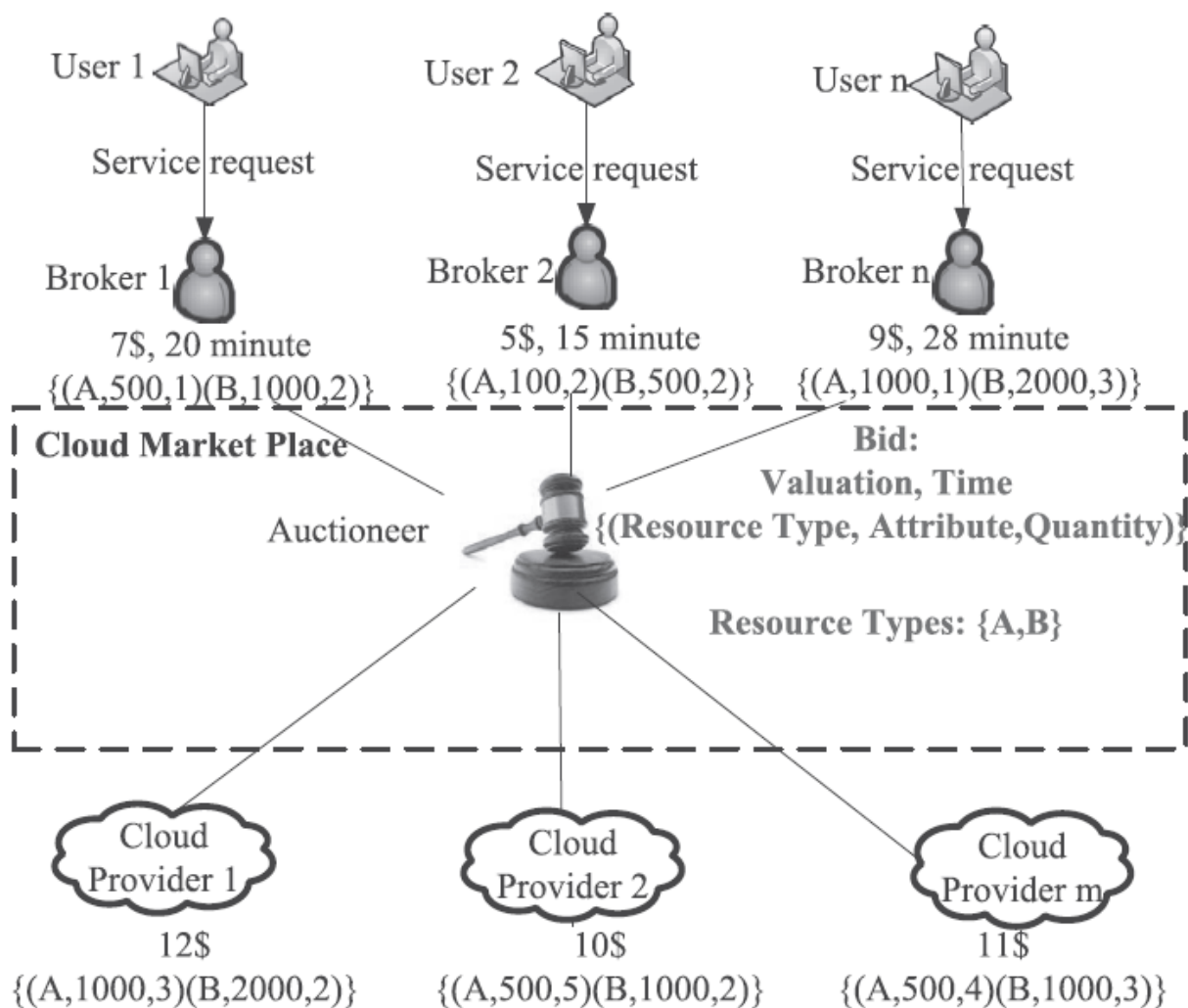


Figure 22 Interaction between the entities

Συνοπτικά, ένας μηχανισμός δημοπρασίας τέτοιου είδους αποτελείται από τέσσερις οντότητες που έχουν ορισμένες λειτουργίες:

- 1) **Πάροχοι νέφους:** παρέχουν τους πόρους τους στην πλατφόρμα και χρεώνουν τους χρήστες για μια υπηρεσία που ζητούν. Ο βασικός τους ρόλος είναι να κάνουν προσφορές στην αγορά του cloud και να λαμβάνουν τα αποτελέσματα μιας δημοπρασίας από τον υπεύθυνο (auctioneer) καθώς επίσης να δέχονται τα αιτήματα από τους χρήστες που νίκησαν στη διαδικασία αυτή.
- 2) **Χρήστες:** είναι μια οντότητα που εισέρχεται στο σύστημα και δηλώνει τα χαρακτηριστικά των πόρων που χρειάζεται και έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες.
- 3) **Broker:** κάθε χρήστης συνδέεται με ένα broker. Ο ρόλος του είναι πολύ σημαντικός, καθώς είναι εκείνος ο οποίος ανακαλύπτει και ψάχνει συνεχώς για πόρους και υπηρεσίες. Αυτό το πετυχαίνει στέλνοντας αιτήματα στην αγορά νέφους και ζητάει διαθέσιμους πόρους βασισμένους στις απαιτήσεις των χρηστών. Στη συνέχεια, παράγει όλους τους πιθανούς δυνατούς συνδυασμούς λύσεων, αφού έχει πρώτα αναλύσει τις ανάγκες του πελάτη, συμπεριλαμβάνοντας τον τύπο και την ποιότητα υπηρεσιών που αρμόζουν στην εκάστοτε περίπτωση. Επιπλέον, κάνει τις ανάλογες προσφορές σε κάθε συνδυασμό βάσει του προϋπολογισμού του κάθε χρήστη και τέλος στέλνει τα task των χρηστών σε ένα πάροχο για να τα τρέξει και να γίνουν ορισμένες δοκιμές.
- 4) **Αγορά νέφους(cloud marketplace):** αποτελείται από μια υπηρεσία πληροφοριών νέφους και τον auctioneer. Η υπηρεσία αυτή υπάρχει έτσι ώστε να επιτρέπει στους χρήστες να τοποθετούν τις προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά των απαιτήσεων τους και τους βοηθά να βρουν τους κατάλληλους πόρους που χρειάζονται. Ο auctioneer είναι εκείνος που συγκεντρώνει τους προαναφερόμενους συνδυασμούς και τις προσφορές τιμών που γίνονται από το broker και τους πάροχους των υπηρεσιών. Επίσης, τρέχει τον αλγόριθμο καταμερισμού πόρων βάσει αγοράς σύμφωνα με τις πληροφορίες που έχει μαζέψει ώστε να καθορίσει τους νικητές χρήστες και ακολούθως τους παρόχους. Βασική υποχρέωση είναι ο υπολογισμός του ποσού της πληρωμής. Έπειτα τελευταία του δουλειά είναι να στείλει τα αποτελέσματα της δημοπρασίας στο broker και τους παρόχους που κερδίσανε και να τους ενημερώσει πως τα task εκτελούνται.

Η ροή της επικοινωνίας μεταξύ των οντοτήτων σε ένα μηχανισμό δημοπρασίας είναι η εξής:

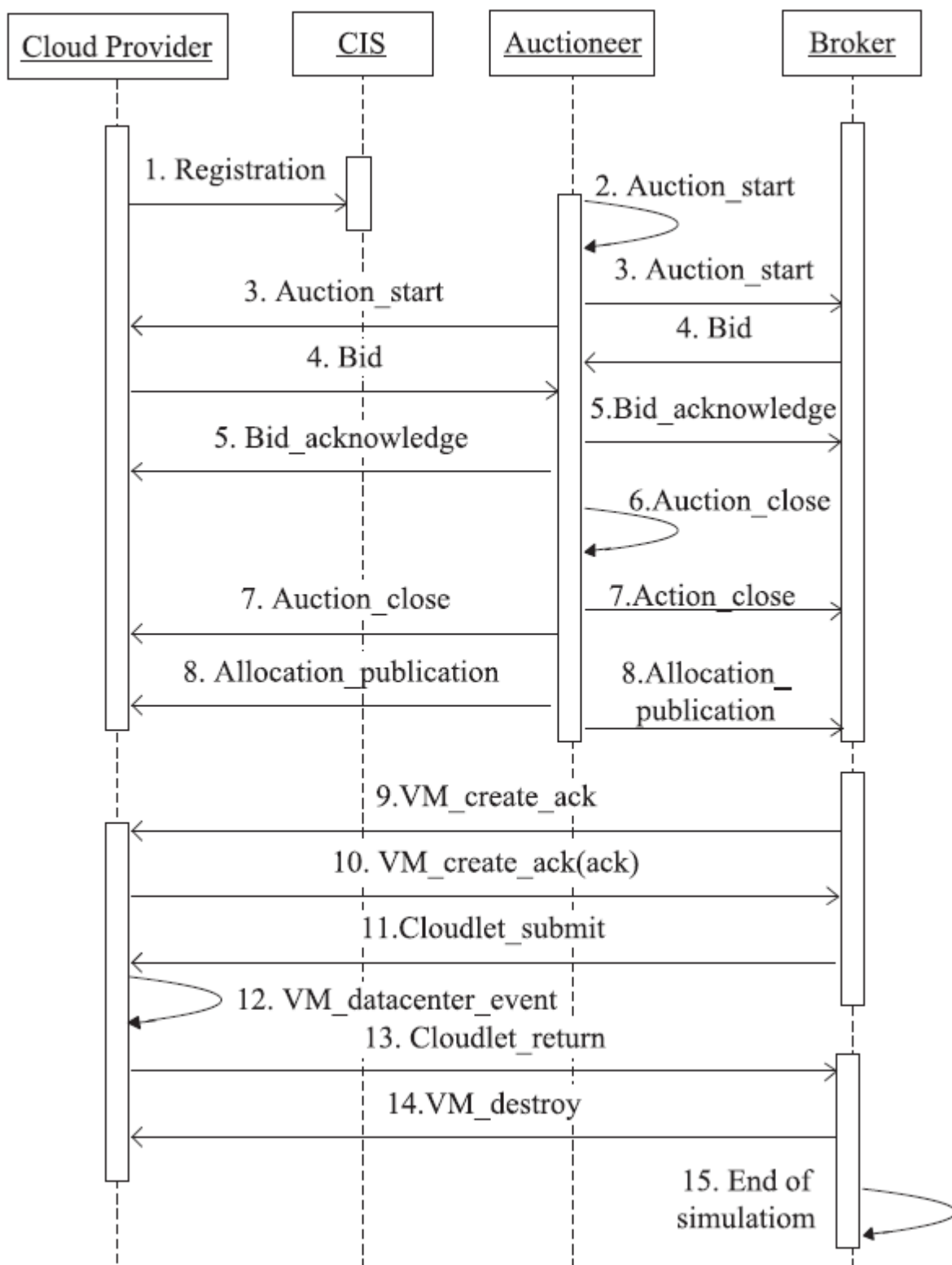


Figure 23 Flow of communications among the entities

Το χρηματικό όφελος του broker υπολογίζεται ως εξής:

$$\sum_{i \in \mathcal{U}} \pi_i^u - \sum_{j: C_j \in \mathcal{C}} \pi_j^c$$

που είναι η συνολική πληρωμή που έχει εισπραχτεί από τους χρήστες μείον τα έσοδα των παρόχων. Όταν η αποζημίωση του δεν είναι αρνητική, τότε η δημοπρασία είναι ex-post budget balanced. Αυτή η ιδιότητα δίνει κίνητρα στο διαμεσολαβητή να στήνει τέτοιου είδους μηχανισμούς.

Ο κάθε συμμετέχων είναι ιδιοτελής και προσπαθεί να μεγιστοποιήσει την ωφελιμότητά του. Σκοπός του μοντέλου είναι ο σχεδιασμός ενός μηχανισμού που λύνει το TBDCC πρόβλημα και αποθαρρύνει τους χρήστες του συστήματος να το γεμίζουν με αναξιόπιστες αναφορές. Για να προωθηθούν οι συναλλαγές και να προσελκύσει το ενδιαφέρον κατά αυτόν τον τρόπο των χρηστών ο μηχανισμός αυτός επιδιώκει την βελτιστοποίηση της χρησιμότητας τόσο για τους χρήστες (πελάτες και προμηθευτές) όσο και για τους brokers. Η φάση του βέλτιστου καθορισμού νικητή προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Maximize } \sum_{t \in T} \sum_{i \in \mathcal{U}} \sum_{j: C_j \in \mathcal{C}} b_i^t x_{ij}^t - \sum_{j: C_j \in \mathcal{C}} a_j y_j \quad (2)$$

Subject to:

$$\sum_{i \in \mathcal{U}} x_{ij}^t \leq 1, \forall j : C_j \in \mathcal{C}, \forall t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{j: C_j \in \mathcal{C}} \sum_{t \in T} x_{ij}^t \leq 1, \forall i \in \mathcal{U} \quad (4)$$

$$y_j \geq x_{ij}^t, \forall i \in \mathcal{U}, \forall t \in T, \forall j : C_j \in \mathcal{C} \quad (5)$$

$$x_{ij}^t = \{0, 1\}, \forall i \in \mathcal{U}, \forall j : C_j \in \mathcal{C}, \forall t \in T \quad (6)$$

$$y_j = \{0, 1\}, \forall j : C_j \in \mathcal{C} \quad (7)$$

Οι περιορισμοί στην (3) εγγυούνται πως σε κάθε χρονική στιγμή t ένας προμηθευτής εξυπηρετεί ένα μοναδικό πελάτη. Στην (4) εξασφαλίζεται πως το κάθε αίτημα εκπληρώνεται μια φορά και η (6),(7) δηλώνουν την πληρότητα των προδιαγραφών.

2.2.4.3 Αλγόριθμος

Ο μηχανισμός που εξασφαλίζει το νικητή και καθορίζει την τιμολόγηση περιγράφεται στον παρακάτω αλγόριθμο:

Algorithm 1 2-SAMBA Mechanism

```

1:  $\{Phase\ I: Winner\ determination\}$ 
2:  $\mathcal{U} \leftarrow$  set of users
3: for all  $t = 1, \dots, T$  do
4:    $V^t$ : users  $\in \mathcal{U}$  bidding to use a cluster at time  $t$ 
5:    $E^t$ : pairs of users  $\in V^t$ 
6:   Build a conflict graph  $G^t(V^t, E^t)$ 
7:    $l = 1$ 
8:   while there is a vertex in any  $G^t$  do
9:      $\mathcal{P}_l = \emptyset$ 
10:    for all  $t = 1, \dots, T$  do
11:      if  $V^t \neq \emptyset$  then
12:         $v \leftarrow$  randomly extract a vertex from  $G^t$ 
13:         $\mathcal{P}_l \leftarrow \mathcal{P}_l \cup \{v\}$ 
14:       $l++$ 
15:     $P = l - 1$ 
16:     $\mathcal{P} = \{\mathcal{P}_1, \dots, \mathcal{P}_P\}$ 
17:    for all  $p = 1, \dots, P$  do
18:       $\beta_p = |\mathcal{P}_p| \cdot \min_{i \in \mathcal{P}_p} b_i^t$ 
19:     $\mathcal{C}^s \leftarrow$  Sort all  $C_j \in \mathcal{C}$  in non-decreasing order of  $a_j$ 
20:     $\mathcal{P}^s \leftarrow$  Sort all  $\mathcal{P}_p \in \mathcal{P}$  in non-increasing order of  $\beta_p$ 
21:     $k = 0$ 
22:    for all  $l = 1, \dots, \min\{P, m\}$  do
23:       $\alpha = a_l$ , where  $C_l$  is the  $l$ -th cloud provider in  $\mathcal{C}^s$ 
24:       $\beta = \beta_l$ , where  $\mathcal{P}_l$  is the  $l$ -th partition of the users in  $\mathcal{P}^s$ 
25:      if  $\beta \geq \alpha$  then
26:         $k++$ 

```

```

27: Match the first  $k-1$  pairs of sub-partitions of users and cloud
    providers
28: for all  $l = 1, \dots, k - 1$  do
29:    $y_l = 1$ 
30:   for all  $i \in \mathcal{P}_l$  do
31:     if user  $i$  bids for time slot  $t$  then
32:        $x_{il}^t = 1$ 
33:   {Phase II: Price determination}
34:   for all  $j : C_j \in \mathcal{C}^s$  do
35:     if  $y_j = 1$  then
36:        $\pi_j^c = a_k$ 
37:     else
38:        $\pi_j^c = 0$ 
39:   for all  $p = 1, \dots, k - 1$  do
40:     for all  $i \in \mathcal{P}_p$  do
41:        $\pi_i^u = \frac{\beta_k}{|\mathcal{P}_p|}$ 
42:   for all  $p = k, \dots, P$  do
43:     for all  $i \in \mathcal{P}_p$  do
44:        $\pi_i^u = 0$ 
45: return  $x, y, \pi$ 

```

2.2.4.4 Προσομοίωση μοντέλου

Για να αξιολογηθεί το μοντέλο που αναφέρθηκε εκτενώς, συγκρίθηκε με ένα άλλο ονόματι VCG-TBDCC μέσα από μια σειρά εκτενών πειραμάτων. Για την εύρεση του αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκε το IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Multiplatform Multilingual e-Assembly. Επίσης οι μηχανισμοί εφαρμόστηκαν σε C++ και τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν πάνω σε επεξεργαστή AMD 2.4GHz Dual Proc Dual Core, 16 GB RAM που είναι μέρος του WSU Grid System.

Δεδομένα πειραμάτων

Τα αιτήματα των χρηστών που αναπαράχθηκαν βασίστηκαν σε πραγματικά δεδομένα τα οποία αντλήθηκαν από πληροφορίες της Amazon. Η προσφορά και ζήτηση βασίστηκε σε αναφορές της Amazon Spot Market σχετικά με στρατηγικές πελατών για κατάθεση προσφορών. Η Amazon ενημερώνει σε τακτά χρονικά διαστήματα το ιστορικό των spot price βάσει των περασμένων 90 ημερών δραστηριότητας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πλειοψηφία θέτει προσφορές για on-demand και reserved instances και έτσι εξοικονομούν

χρήματα από 50% μέχρι 66%.

Οι υπολογιστικοί πόροι της Amazon κοστίζουν \$3.2 ανά ώρα σύμφωνα με τις τιμές της Amazon EC2 και Amazon Elastic MapReduce. Λαμβάνεται υπόψιν ότι το χρονικό μεσοδιάστημα είναι 6 ώρες και η προσφορά και ζήτηση των χρηστών και παρόχων αντίστοιχα παράγεται βάσει ομοιόμορφης κατανομής με μέσο όρο 19.2. Επιπλέον υπάρχουν 8 cloud providers με 28 χρονικά κενά (time slots) και 200-350 χρήστες.

Αποτελέσματα και συμπεράσματα

Τα διαγράμματα 1a,b απεικονίζουν τη συνολική πληρωμή των χρηστών στο broker καθώς επίσης και τα χρήματα που λαμβάνουν οι πάροχοι από το διαμεσολαβητή αντίστοιχα:

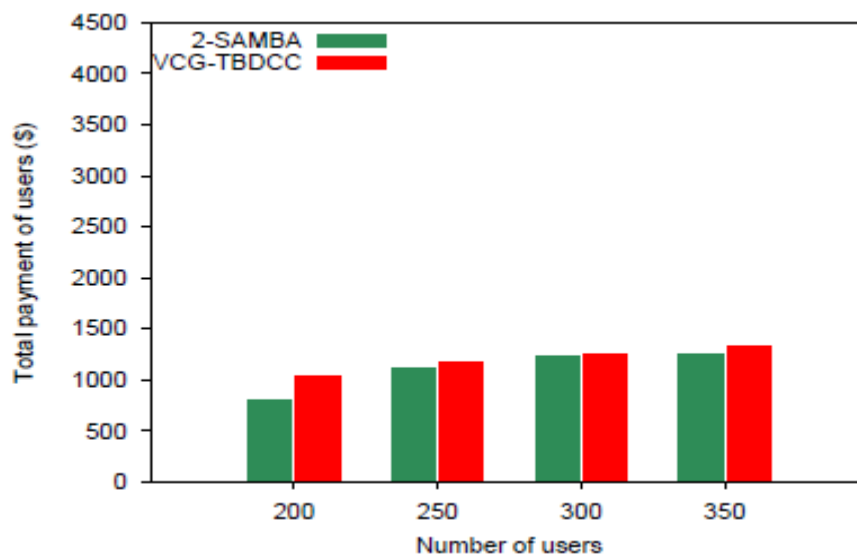


Figure 24 2-SAMBA vs VCG-TBDCC: Payment paid by the users

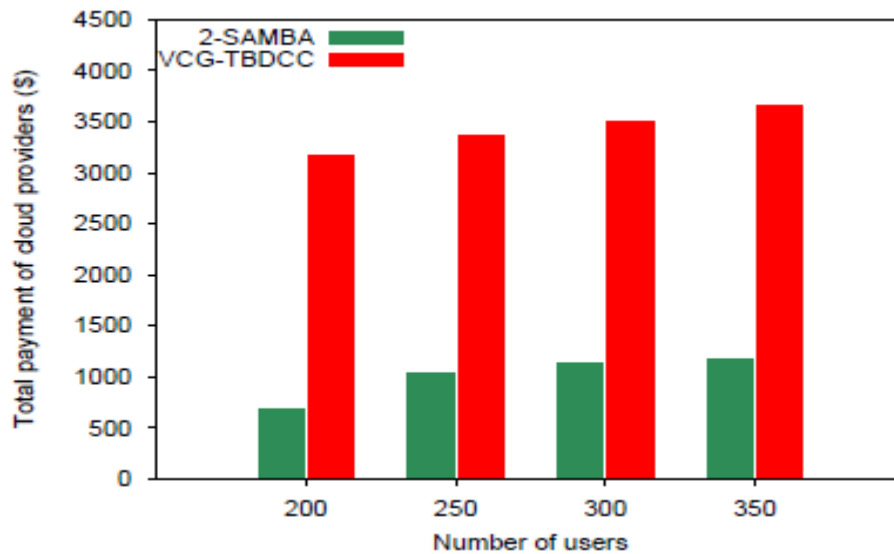


Figure 25 2-SAMBA vs VCG-TBDCC: Payment received by cloud providers

Και στα δυο σχήματα με τον αριθμό των αιτημάτων να αυξάνεται, το συνολικό ποσό πληρωμής αυξάνεται. Για κάθε σταθερό αριθμό χρηστών παρατηρείται πως η συνολική πληρωμή των χρηστών είναι μεγαλύτερη από εκείνη που λαμβάνουν οι πάροχοι. Στην περίπτωση όπου οι χρήστες είναι 200 , το ποσό ανέρχεται σε \$797.552 ενώ όσο αφορά τους προμηθευτές είναι \$688.296. Αυτό αποδεικνύει πως ο μηχανισμός αυτός είναι ex-post budget-balanced. Από το σχήμα βγαίνει το συμπέρασμα πως ο αλγόριθμος(2) δεν είναι ex-post budget-balanced, το οποίο αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για τα διάφορα περιβάλλον συναλλαγών.

Από την άλλη πλευρά, τα διαγράμματα δείχνουν, όσο αφορά το VGC-TBDCC αλγόριθμο πως με τον ίδιο αριθμό χρηστών, το συνολικό ποσό χρημάτων που καταβάλουν είναι \$1036.52 και οι πάροχοι λαμβάνουν \$3164.61. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο broker να οδηγείται σε έλλειμα.

Το διάγραμμα που ακολουθεί αναλύει τα κέρδη του διαμεσολαβητή, τα οποία καθορίζονται από τα χρήματα που λαμβάνει από τους χρήστες μείον τα έσοδα των cloud providers:

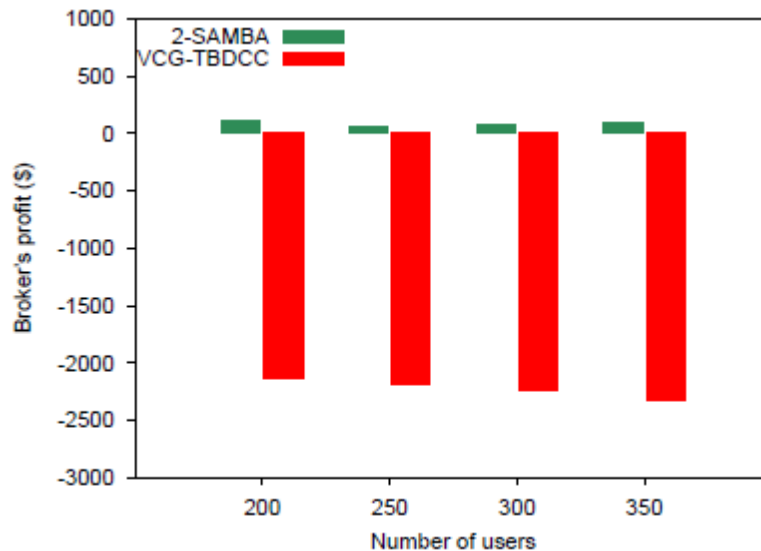


Figure 26 Broker `s revenue

Όσον αφορά τον εξεταζόμενο αλγόριθμο παρατηρείται ένα θετικό πρόσημο σχετικά με το κέρδος σε αντίθεση με τον αλγόριθμο (2) που σημειώνει έλλειμα. Συγκεκριμένα στην περίπτωση των 200 χρηστών, στην πρώτη περίπτωση ο broker κερδίζει \$109.256 ενώ στη δεύτερη χάνει -\$2128.08. Το συνολικό κέρδος που αποκομίζεται είναι 7.65% του συνολικού ποσού είσπραξης από τους πελάτες.

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει το χρόνο εκτέλεσης:

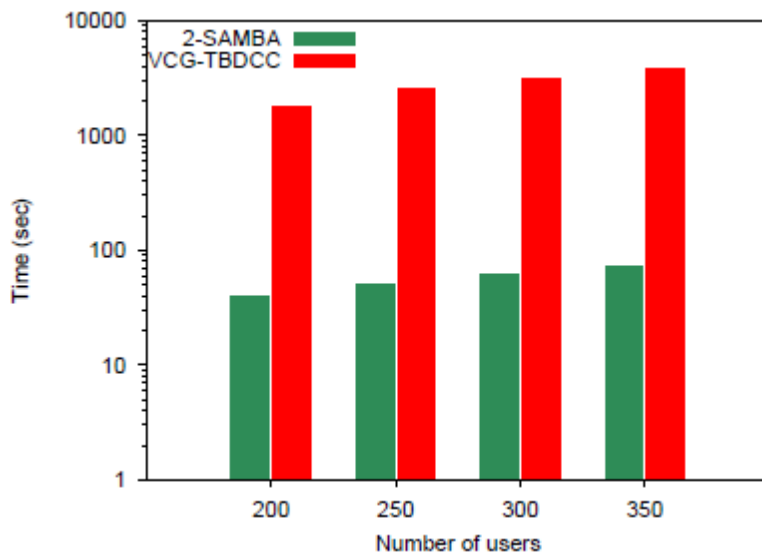


Figure 27 Execution Time

Ο αλγόριθμος 2-SAMBA είναι πολύ γρήγορος βρίσκοντας λύσεις σε λιγότερο από 75 sec. Το γεγονός αυτό τον καθιστά ικανό για να χρησιμοποιηθεί σε αγορές με δυο πλευρές με

υψηλή ζήτηση.

Συμπερασματικά, βάσει των παραπάνω στοιχείων αποδεικνύεται πως ο μηχανισμός αυτός είναι κατάλληλος για δημοπρασίες υπολογιστικών πόρων μεγάλων δεδομένων.

2.3 Σύγκριση μοντέλων

1. Dynamic Cloud Resource

- Περιγραφή: Ο broker αγοράζει VMs από τους διάφορους cloud providers που υπάρχουν στην αγορά νέφους. Εκμεταλλεύεται τόσο το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την αγορά reserved instances μακράς διάρκειας όσο και από τις σημαντικές προσφορές που γίνονται κατά την αγορά πόρων σε μεγάλες ποσότητες (volume discounts). Οι πελάτες αγοράζουν από αυτόν υπηρεσίες κατά παραγγελία (on-demand instances). Επίσης εφαρμόζει δυναμικές στρατηγικές με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους εξυπηρέτησης πελατών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω πρόβλεψης όπου κράτηση πόρων βάσει της ζήτησης που υπάρχει, αλλιώς παίρνει αποφάσεις στηριζόμενος στο ιστορικό κατανάλωσης.
- Πρακτικά προβλήματα: Το βασικότερο θέμα που αντιμετωπίζει ο διαμεσολαβητής στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι σε ποιο βαθμό κάνει σωστές προβλέψεις για τη ζήτηση που θα υπάρξει στο μέλλον. Σε περίπτωση δηλαδή που δεν γίνει σωστά τότε υπάρχουν δυο ενδεχόμενα. Πρώτον να μην έχει κάνει καλή εκτίμηση, έτσι ώστε να αγοράσει VMs και να μη χρησιμοποιηθούν καθόλου. Από την άλλη πλευρά, μια λάθος εκτίμηση μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη πόρων και αδυναμία εξυπηρέτησης πελατών. Τότε θα αναγκαστεί να αγοράσει απευθείας από τους παρόχους on-demand instances που είναι πιο ακριβά. Συνεπώς, το αποτέλεσμα και στις δυο περιπτώσεις είναι κοινό: απώλεια κέρδους.
- Αξιολόγηση: Για τον καλύτερο προσδιορισμό της αξίας του μοντέλου πραγματοποιήθηκαν 400 συνδιαστικά πειράματα με διαφορετικό αριθμό αιτημάτων και χρονικής διάρκειας κάθε φορά, χρησιμοποιώντας VMs από την Azure και την Amazon. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίστηκε η μεγάλη διακύμανση στη ζήτηση των πελατών. Τα αποτελέσματα φανέρωσαν το χρηστικό όφελος που έχουν οι χρήστες όταν αγοράζουν πόρους από τους brokers, καθώς εξοικονομούν χρήματα. Επίσης οι διαμεσολαβητές αποκομίζουν κέρδη εκμεταλλευόμενοι το μοντέλο χονδρικής (δηλαδή τη διαφορά στην τιμή των on-demand και reserved instances).

2. Option contracts

- Περιγραφή: οι πελάτες στέλνουν στο broker την πιθανότητα χρήσης ενός αριθμού πόρων για τον επόμενο μήνα. Ο διαμεσολαβητής υπογράφει συμβόλαια με τους χρήστες (option contracts) μετά οποία έχουν το δικαίωμα να αγοράσουν στο κοντινό μέλλον τους πόρους που θέλουν με μια τιμή που έχει καθοριστεί εκ των προτέρων. Ανάλογα με τις πιθανότητες που του έχουν υποβάλλει οι πελάτες προχωράει σε αγορά πόρων από τους παρόχους ή περιμένει να αγοράσει on-demand instances. Επίσης ένας επιπρόσθετος παράγοντας που καθορίζει την αγορά νέων VM είναι το η καταναλωτική συμπεριφορά και τάση των χρηστών. Αυτό εξαρτάται από τις δεδομένες συνθήκες και τη ζήτηση που υπάρχει έτσι ώστε να μην δημιουργηθεί έλλειμα στο κέρδος του.
- Πρακτικά προβλήματα: Το βασικό μειονέκτημα σε αυτή την περίπτωση είναι πως λόγω της φύσης του νέφους είναι ριψοκίνδυνο να υπάρχει βεβαιότητα σχετικά με το αν συνεχίσει να κινείται η αγορά στα ίδια επίπεδα. Επίσης, ένα ακόμα ρίσκο είναι οι πιθανότητες που στέλνουν οι πελάτες. Αν στείλουν ψευδή στοιχεία τότε ο διαμεσολαβητής θα πραγματοποιήσει αγορές πόρων οι οποίοι θα παραμείνουν αχρησιμοποίητοι και θα επιφέρει απώλειες στην συνολική πληρωμή του.
- Αξιολόγηση: Χρησιμοποιήθηκε το Cloud Research Simulation Toolkit (CReST), ένα εργαλείο προσομοίωσης γραμμένο σε Java με 1000 χρήστες οι οποίοι υπέβαλλαν τις πιθανότητες τους στο broker. Διαπιστώθηκε πως ο διαμεσολαβητής αποκομίζει κέρδος σε διάφορες όψεις της αγοράς. Επωφελείται στο μέγιστο βαθμό εκμεταλλεύοντας τα spreads. Συγκεκριμένα αγοράζει συμβόλαια μακράς διάρκειας 3 χρόνων τα οποία ξανακάνει πακέτα και τα πουλάει για συμβόλαιο ενός μήνα.

3. QBS

Περιγραφή: quantized billing cycle είναι η μέθοδος κατά την οποία ένας χρήστης χρεώνεται για τη χρήση ενός κατά-παραγγελία πόρου καθ'όλη τη διάρκεια του κύκλου χρέωσης ανεξάρτητα αν ο χρόνος χρήσης είναι λιγότερος. Σε αυτό το μοντέλο ο διαμεσολαβητής αντιμετωπίζει το ρίσκο να αγοράσει πολλά VMs από τους παρόχους νέφους καθώς δεν γνωρίζει εκ των προτέρων την επικείμενη ζήτηση από τους χρήστες. Η σποραδική ζήτηση σε αυτό το μοντέλο δεν συνιστάται καθώς το κόστος μεγαλώνει. Ο broker λοιπόν, εφαρμόζοντας δυναμική τιμολόγηση έχει ως βασικό πρότυπο την μείωση της ζήτησης για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα με την παροδική αύξηση της τιμής ώστε να αποφευχθεί μια αγορά VMs τα οποία στο μέλλον θα μείνουν αχρησιμοποίητα λόγω χαμηλής ζήτησης.

Με τον τρόπο αυτό αυξάνονται τα έσοδα σταδιακά και όχι απότομα καθώς επίσης ρυθμίζονται και τα επίπεδα της ζήτησης που υφίσταται.

Πρακτικά προβλήματα: Το βασικό πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει ο broker σε αυτήν την περίπτωση είναι μέχρι ποιο χρονικό διάστημα θα πρέπει να συνεχίσει να νοικιάζει τα VM και από ποιο σημείο και μετά η αγορά των πόρων θα αποτελεί σοφότερη κίνηση σε σχέση με την ενοικιάσή τους. Χωρίς να έχει γνώση της μελλοντικής ζήτησης που θα υπάρχει μέσω εφαρμογής αλγορίθμων προσπαθεί να κρίνει ποιο είναι το πιο κατάλληλο χρονικό σημείο για να μεταβεί από την ενοικίαση στην αγορά.

Αξιολόγηση: Το συγκεκριμένο μοντέλο ανήκει στην κατηγορία των ski rental problems. Πραγματοποιήθηκαν διάφορα πειράματα χρησιμοποιώντας clusters της google ώστε να παρέχονται πραγματικά δεδομένα. Εξετάστηκε κατά πόσο η πρόβλεψη στη ζήτηση και διάφορες τιμές του νεκρού σημείου επηρεάζουν το σημείο εναλλαγής από ενοικίαση στην αγορά των πόρων και σε ποιο βαθμό συμφέρει το διαμεσολαβητή. Τέλος, διαπιστώθηκε πως η δυναμική τιμολόγηση αποφέρει μεγαλύτερο κέρδος σε σύγκριση με τη στατική λόγω του γεγονότος πως στην τελευταία περίπτωση ελλοχεύει ο κίνδυνος μη αξιοποίησης των πόρων στο μέγιστο βαθμό.

4. Auction mechanism

Περιγραφή: Είναι ένα σύστημα στο οποίο συμμετέχουν οι υποψήφιοι χρήστες, πάροχοι των υπηρεσιών, brokers και μια πλατφόρμα όπου γίνονται οι συναλλαγές. Οι χρήστες και οι πάροχοι υποβάλλουν τις προδιαγραφές των απαιτήσεων τους και τις τιμές των πόρων αντίστοιχα. Ο ρόλος του διαμεσολαβητή είναι μέσω της πλατφόρμας να αντιστοιχίσει το αίτημα του καθενός πελάτη με τις υπηρεσίες εκείνες που αρμόζουν καλύτερα στις απαιτήσεις του έτσι ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό QoS.

Αξιολόγηση: Για την αξιολόγηση του μοντέλου οι μηχανισμοί εφαρμόστηκαν σε γλώσσα C++. Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά στοιχεία προσφοράς και ζήτησης που προήλθαν από την Amazon. Παρατηρήθηκε πως ο broker αποκομίζει κέρδος αλλά και οι πελάτες είναι ικανοποιημένοι από το αποτέλεσμα καθώς εξασφαλίζεται τόσο ο γρήγορος χρόνος απόκρισης του συστήματος όσο και η ικανοποίηση του QoS.

3 Προσομοίωση και χρήση των σημαντικότερων μεθόδων

3.1 Dynamic Cloud Resource Reservation

Ο broker νοικιάζει έναν αριθμό από VMs που αναφέρονται ως reserved instances (RIs) για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (από 6 μήνες μέχρι κάποια χρόνια, συνήθως 3) και στη συνέχεια τα υπομισθώνει σε πελάτες. Οι συγκεκριμένοι πόροι δεν αποτελούν φυσικούς servers. Συνεπώς ο διαμεσολαβητής δεν μπορεί να θεωρηθεί κλασικός πάροχος που προσφέρει υπηρεσίες νέφους. Ο ρόλος του είναι να πληρώνει ένα σταθερό επιτόκιο έκπτωσης σύμφωνα με την πολιτική που ακολουθείται από τους παρόχους και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των RIs. Στη συνέχεια, αυτοί οι πόροι προμηθεύονται στους πελάτες ως on-demand VMs με τιμή χαμηλότερη από αυτή που έχουν οι cloud providers για να προσελκύσει χρήστες. Με τον τρόπο αυτό “χτίζεται” ένα νέφος από εικονικούς πόρους με ποικίλα χαρακτηριστικά (cpu, ram, storage) που χρησιμοποιείται σαν υποδομή για την παροχή διαφόρων υπηρεσιών.

Ο τελικός στόχος του διαμεσολαβητή είναι να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του. Με βάση αυτό το πρότυπο τιμολόγησης, ο broker θα μπορούσε να επωφεληθεί εκμεταλλευόμενος τη σημαντική διαφορά στην τιμή μεταξύ reserved και on-demand VMs. Για να το πετύχει αυτό, πρέπει να διαχειριστεί αποδοτικά τα RIs που διαθέτει για να ανταπεξέλθει με όσα περισσότερα αιτήματα χρηστών μπορεί. Στην περίπτωση που δε μπορεί να εκπληρώσει όλα τα tasks χωρίς να παραβιάσει το συμφωνημένο συμβόλαιο SLA με τον πελάτη, τότε θα πρέπει να νοικιάσει on-demand instances από το νέφος για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του, παρόλο την απώλεια εσόδων που θα επιφέρει η ενέργεια αυτή.

Κάθε συμβόλαιο καθορίζεται από μια προθεσμία χρόνου για την εκτέλεσή του που ορίζεται από τον κάθε πελάτη ξεχωριστά. Ο σκοπός του προβλήματος είναι να βρεθεί μια συνάρτηση χαρτογράφησης που θα αντιστοιχεί τα αιτήματα των πελατών με τα διαθέσιμα RIs του broker με σκοπό τη βελτιστοποίηση του κέρδους του αλλά και παράλληλα την ικανοποίηση του χρήστη. Το πρόβλημα διαμορφώνεται με βάση τις παρακάτω διευκρινίσεις:

- **ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΕΙΣ**

➔ **VM={ $v_1, \dots, v_n$ }** : VMs αιτήματα πελατών. Κάθε v_i αποτελείται από ορισμένα χαρακτηριστικά που ορίζονται από τον εκάστοτε πελάτη ($P(v_i)$ -> ταχύτητα επεξεργαστή, $nc(v_i)$ -> # πυρήνων, $M(v_i)$ -> μνήμη, $S(v_i)$ -> αποθηκευτικός χώρος). Ο ρυθμός άφιξης των αιτημάτων γίνεται με κατανομή Poisson με ρυθμό λ .

➔ **T(v_i)**: time length, ο χρόνος που χρειάζεται ο χρήστης για να χρησιμοποιήσει τον πόρο και **D(v_i)**: deadline, ο μέγιστος χρόνος αναμονής του πελάτη για τη

διαθεσιμότητα ενός VM.

- ➔ $RI=\{r_1,...,r_m\}$: συνολικός αριθμός RIs που νοικιάζει ο broker, $m \leq n$. Κάθε r_j έχει ορισμένα χαρακτηριστικά που ορίζονται από το διαμεσολαβητή($P(r_j)$ ->ταχύτητα επεξεργαστή, $nc(r_j)$ -># πυρήνων, $M(r_j)$ -> μνήμη, $S(r_j)$ -> αποθηκευτικός χώρος).
- ➔ $C(r_j)$: κόστος broker για τη μίσθωση r_j VMs και $COD(r_j)$: κόστος broker για τη μίσθωση r_j on-demand VMs. Η χρέωση έχει μονάδα χρόνο την ώρα. Επίσης περιορισμοί : $C(r_j) < COD(r_j)$
- ➔ $P(r_j)$: χρέωση broker σε πελάτη για κάθε r_j . Έχουμε $C(r_j) < p(r_j) < COD(r_j)$.

$$O_p = \max \sum_{j=1}^m \sum_{i: f(v_i)=r_j} (p(BF(v_i)) - C(r_j)) \times T(v_i) + \sum_{h: ST(v_h) > D(v_h)} (p(BF(v_h)) - COD(BF(v_h))) \times T(v_h)$$

- ➔ $BF(v_i)$: συνάρτηση που επιστρέφει το φθηνότερο και πιο κατάλληλο VM για την εξυπηρέτηση του αιτήματος v_i . Θεωρεί κάθε RI που ικανοποιεί/ξεπερνάει τις απαιτήσεις του αιτήματος v_i και επιλέγει το RI με το φθηνότερο on-demand κόστος.
- ➔ $ST(v_h)$: χρόνος εκκίνησης του αιτήματος v_h σύμφωνα με τη συνάρτηση προγραμματισμού f .

Το πρώτο διπλό άθροισμα στην εξίσωση υπολογίζει το συνολικό κέρδος του διαμεσολαβητή χάρη στα RIs που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να διανεμηθούν στα αιτήματα των πελατών για VMs. Το τελευταίο άθροισμα υπολογίζει το επιπρόσθετο κόστος που συνεπάγεται την αγορά on-demand πόρων για να ικανοποιηθούν τα αιτήματα εκείνα των οποίων ο σχεδιασμός δεν ικανοποιεί τους περιορισμούς της προθεσμίας χρόνου(deadline).

Ο σκοπός του broker, όπως αναφέρθηκε είναι να εκπληρώσει όλα τα tasks που του ανατέθηκαν από τους πελάτες του. Εάν δεν είναι σε θέση να προλάβει την προθεσμία για ένα αίτημα v_i με το RI που καθορίζεται από τη συνάρτηση $BF(v_i)$, τότε είτε παραχωρεί πόρο με μεγαλύτερη χωρητικότητα από το $BF(v_i)$ είτε πρέπει να νοικιάσει ένα πόρο on-demand από έναν πάροχο νέφους. Σε κάθε περίπτωση αυτό θα επιφέρει απώλεια εσόδων, εφόσον πρέπει να χρεώσει τον πελάτη $p(BF(v_i))$ για το αίτημά του.

- **ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ**

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί ο broker για την κατανομή των VMs στα αντίστοιχα διαθέσιμα RIs ανήκει στην κατηγορία των list scheduling. Η βασική ιδέα είναι πως με τη βοήθεια προγραμματιστικών μεθόδων πραγματοποιείται ανάθεση προτεραιοτήτων στα tasks που υπάρχουν με βάση ένα συγκεκριμένο κριτήριο. Στη συνέχεια, η λίστα των tasks ταξινομείται με φθίνουσα σειρά και κάθε task εκχωρείται σε ένα επεξεργαστή, ανάλογα με την προτεραιότητα που του έχει δοθεί και τη διαθεσιμότητα του επεξεργαστή τη δεδομένη χρονική στιγμή.

Η προσέγγιση του αλγορίθμου μπορεί να επεκταθεί σε έρευνα που γίνεται σε δυο φάσεις. Αρχικά, η πρώτη αφορά το ψάξιμο του πιο κατάλληλου task (VM) και η δεύτερη στην αντιστοίχισή του με το κατάλληλο RI. Η στρατηγική αυτή οδηγεί σε μια πιο πολύπλοκη αναζήτηση, ακολουθώντας ολιστικά κριτήρια για την πραγματοποίηση της χαρτογράφησης (mapping) και συχνά επιτρέπει την βελτίωση των τιμών του προβλήματος που αφορούν το κέρδος.

Ο αλγόριθμος που ακολουθεί παρακάτω περιγράφει την προσέγγιση δύο φάσεων που εφαρμόζεται για την επίλυση του προβλήματος. Ακολουθείται ένα σχήμα το οποίο εφαρμόζεται σε δύο στάδια για να γίνει η αντιστοίχιση VM-σε-RI. Δημιουργείται μια λίστα από εισερχόμενα αιτήματα. Κατά την πρώτη φάση, N ζευγάρια (VM-RI) αντιστοιχίζονται με βάση ένα συγκεκριμένο κριτήριο. Στη δεύτερη φάση, ένα από τα προηγούμενα N ζευγάρια διαλέγεται αφού έχει προηγηθεί μια γενικότερη σύγκριση, πιθανώς χρησιμοποιώντας ένα διαφορετικό κριτήριο από εκείνο της πρώτης φάσης.

Ο αλγόριθμος είναι ο εξής:

VM requests assigned = 0

while unassigned VM requests **do**

for each unassigned VM request, each RI **do**

 determine a list of the most suitable pairs (VM request, RI)

 according to the first phase criterion

for each pair (VM request, RI) **do**

 evaluate second phase criterion (VM request, RI)

end for

end for

if selected RI allows meeting the VM request deadline

then

assign the selected VM request to the selected RI

else

assign the selected VM request to execute in a

on-demand VM in the cloud

end if

insert selected VM request to VM requests assigned

end while

3.2 Contract Options

Ο ρόλος ενός broker γενικά είναι να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των πελατών καθώς εξασφαλίζει ότι έχει κέρδος. Ένας απλός τρόπος να το πετύχει αυτό είναι αγοράζοντας δικαιώματα ή υποχρεώσεις για τους πόρους, μέσω συμβάσεων παραγώγων (derivative contracts). Όταν το συμβόλαιο ενεργοποιηθεί, τότε ο διαμεσολαβητής νοικιάζει στους πελάτες τους πόρους που χρειάζονται να χρησιμοποιήσουν. Τα παράγωγα χρησιμοποιούνται ως μηχανισμός αντιστάθμισης του ρίσκου σχετικά με την αβεβαιότητα της μελλοντικής προσφοράς και ζήτησης. Η ικανότητα του διαμεσολαβητή βασίζεται στην πρόβλεψη της κατάλληλης χρονικής στιγμής που θα εκμισθώσει πόρους εκ των προτέρων ή απλά θα τους παρέχει τους πόρους απευθείας από την αγορά ή από την δική του συλλογή. Για την σωστή πρόβλεψη χρησιμοποιείται ως πρότυπο το μοντέλο των Wu, Zhang, and Huberman (Fang Zu, Bernado Huberman, 2005) το οποίο αποτελείται από 2 στάδια και στηρίζεται στις πιθανότητες:

ΠΡΟΤΥΠΟ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Έστω N χρήστες. Κάθε ένας μπορεί να αγοράσει μια μονάδα ενός πόρου από ένα πάροχο για να χρησιμοποιήσει στη δεύτερη περίοδο, είτε σε μια μειωμένη τιμή της μονάδας στην πρώτη περίοδο, είτε σε υψηλότερη τιμή C στη δεύτερη περίοδο, όπου $C > 1$. Στην περίοδο 1, κάθε χρήστης γνωρίζει απλά την πιθανότητα που θα χρειαστεί τον πόρο στην περίοδο 2 και όχι για κάποια επόμενη περίοδο. Ένας τρίτος χρήστης, ο συντονιστής (broker αργότερα), βγάζει κέρδος συγκεντρώνοντας τις πιθανότητες των χρηστών και ρισκάρει μέσω των 2 περιόδων που ακολουθούν:

1. **Περίοδος 1:** Κάθε χρήστης i υποβάλλει στο συντονιστή μια πιθανότητα q_i , η οποία μπορεί να μην είναι η πραγματική πιθανότητα p_i , που θα χρειαστούν στην περίοδο 2.

2. **Περίοδος 1:** Ο συντονιστής εκμισθώνει $q_i \cdot n_i$ μονάδες των πόρων από έναν πάροχο νέφους σε μια μειωμένη τιμή που προορίζονται για χρήση την περίοδο 2. Το n_i συμβολίζει τον αριθμό των μονάδων των πόρων που χρειάζεται κάθε χρήστης και για λόγους απλοποίησης θα είναι $n_i=1$.
3. **Περίοδος 2:** Ο συντονιστής μοιράζει τους πόρους στους πελάτες που τους ζητάνε. Εάν η ποσότητα που έχει δεν είναι επαρκής να ικανοποιήσει τα αιτήματα των πελατών, τότε νοικιάζει περισσότερους από τους παρόχους σε μεγαλύτερη τιμή ανά μονάδα C .
4. **Περίοδος 2:** Ο χρήστης i πληρώνει $f(q_i)$ αν ζητηθεί ο πόρος και $g(q_i)$ σε αντίθετη περίπτωση.

Το συμβόλαιο μπορεί να θεωρηθεί ως option αν το $g(q_i)$ πληρωθεί στην περίοδο 1(σαν premium) και $f(q_i) - g(q_i)$ πληρωθεί στη περίοδο 2(σαν τιμή) όταν ζητηθεί ο πόρος. Κατά την περίοδο 1 ο πόρος μπορεί να ζητηθεί αλλά ο χρήστης δεν έχει την υποχρέωση να το πληρώσει.

$$g(p_i) = \frac{kp_i^2}{2}$$

$$f(p_i) = 1 + \frac{k}{2} - kp_i + \frac{kp_i^2}{2}$$

Οι παραπάνω εξισώσεις αποδείχτηκε πως ικανοποιούν τις συνθήκες, όπου το $k(=1,5)$ ορίστηκε ως μια σταθερά που αλλάζει την τιμή που πληρώνει ο πελάτης. Επιλέγεται συνήθως έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί το κέρδος του broker καθώς παράλληλα διατηρούνται χαμηλότερες οι τιμές για τους χρήστες από εκείνες των παρόχων. Το C ορίστηκε ως 2.

Η έρευνα του μοντέλου έδειξε πως ο broker μπορεί να έχει κέρδος όταν ικανοποιούνται οι εξής συνθήκες:

- Συνθήκη 1: Κάθε χρήστης υποβάλει την πραγματική πιθανότητα κατά την περίοδο 1 έτσι ώστε να περιμένει να πληρώσει ένα μικρότερο ποσό αργότερα.
- Συνθήκη 2: Όταν ένας χρήστης δε χρειάζεται ένα πόρο κατά την περίοδο 2 πρέπει να το δηλώνει στο συντονιστή την ίδια περίοδο.

R&C' MONTELO

Περιλαμβάνει 2 στάδια:

→ (1) Κάθε μήνα, ο broker δέχεται τη ζήτηση των πελατών για τις μελλοντικές ανάγκες τους για πόρους πουλώντας συμβόλαια και καθορίζει πόσα RIs θα χρειαστεί να νοικιάσει. Αυτό επιτυγχάνεται με το να υπολογίζει κάθε πελάτης i την πραγματική πιθανότητα p_i χρήσης ενός πόρου τον επόμενο μήνα, να την υποβάλλει στο διαμεσολαβητή και να “κλείνει” το συμβόλαιο.

→ (2) Τον επόμενο μήνα, οι πελάτες ζητούν πόρους από το broker ενεργοποιώντας τα συμβόλαια που έχουν συμφωνήσει. Αν υπάρχουν διαθέσιμα RIs από προηγούμενες κρατήσεις, εκμισθώνονται στους χρήστες με κέρδος. Σε αντίθετη περίπτωση, ο διαμεσολαβητής είναι υποχρεωμένος να νοικιάσει επιπρόσθετα on-demand instances σε μεγαλύτερη τιμή από τους παρόχους ώστε να εκπληρώσει την υποχρέωση στον πελάτη. Ο πελάτης χρεώνεται $U_{sed}(p_i)$ αν χρησιμοποιηθεί ο πόρος και $U_{nused}(p_i)$ σε αντίθετη περίπτωση.

$$Used(p_i) = 1 + \frac{k}{2} - kp_i + \frac{kp_i^2}{2} \quad \text{και} \quad Unused(p_i) = \frac{kp_i^2}{2}$$

Σε αντίθετη περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει να αγοράσει απευθείας πόρους από τους παρόχους αναμένεται να πληρώσει $p_i P_D$, όπου P_D είναι το κόστος on-demand ενός μηνιαίου instance (στο μοντέλο WZH είχε την τιμή 2). Το $k=1,5$ όπως προηγουμένως, καθώς έχει αποδειχτεί πως αυτό το μοντέλο τιμολόγησης προτρέπει τους χρήστες να υποβάλλουν τις πραγματικές εκτιμήσεις τους p_i για τις ανάγκες τους σε πόρους.

Το μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ως option αν ο broker χρεώνει τους πελάτες $U_{sed}(p_i)$ για να αγοράσουν το συμβόλαιο και μετά μια επιπρόσθετη χρέωση $U_{sed}(p_i) - U_{nused}(p_i)$ τον επόμενο μήνα αν το συμβόλαιο ενεργοποιηθεί (χρησιμοποιηθεί ο πόρος). Επιπλέον, μπορεί να προσαρμοστεί σε τιμές πραγματικού χρόνου πολλαπλασιάζοντας τις παραπάνω σχέσεις με έναν παράγοντα κόστους C . Ορίζοντας το $k=1,5$ ώστε να εξασφαλιστεί η ειλικρινής υποβολή της πιθανότητας χρήσης των πόρων ορίζεται το τελικό μοντέλο βάσει option contracts ως εξής:

ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΕΙΣ

Τιμές

Τιμή ενός option contract: $OptionPrice(p_i) = C\left(\frac{3p_i^2}{4}\right)$

Τιμή ενός exercising contract: $\text{ExercisePrice}(p_i) = C\left(\frac{7}{4} - \frac{3p_i}{4}\right)$

Συνολικό κόστος αγοράς ενός μηνιαίου RI από το broker :

$\text{TotalPrice}(p_i) = \text{OptionPrice}(p_i) + \text{ExercisePrice}(p_i).$

Χρήστες

Κάθε μήνα οι χρήστες $a_i \in A$ καταθέτουν τις πιθανότητές τους p_i για τον επόμενο μήνα. Τον αριθμό αυτό υπολογίζουν ως το μέσο αριθμό πόρων που έχουν καταναλώσει τον ίδιο μήνα τα προηγούμενα χρόνια. Ισχύει ότι $0 \leq p_i \leq 1$ και η προβλεπόμενη ζήτηση για όλους τους χρήστες είναι $\sum \forall i p_i \leq |A|$, όπου $|A|$ είναι οι συνολικοί χρήστες.

Πάροχοι

Ο πάροχος νέφους προσφέρει υπηρεσίες VM για πώληση είτε on-demand με τιμή P_D ανά μήνα ή reserved για R μήνες με προκαταβολικό κόστος P_{Ru} συν ένα επιπρόσθετο κόστος P_{Rm} ανά μήνα χρήσης. Εφόσον ο πάροχος προσφέρει RIs σε μειωμένες τιμές ισχύει ότι: $P_D > P_{Rm} + P_{Ru}/R$.

Broker

Ο broker στοχεύει να αποκομίσει κέρδος ρισκάροντας την ενοικίαση RIs μακράς διάρκειας (36-μηνων, $R=36$) από τους παρόχους και στη συνέχεια εκμισθώνοντας τους πόρους αυτούς ως συμβόλαιο του ενός μήνα στους πελάτες του.

Κάθε μήνα, οι χρήστες αγοράζουν συμβόλαια από το διαμεσολαβητή υποβάλλοντας το p_i τους. Στη συνέχεια, ο broker χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο καθορίζει πόσα RIs πρέπει να αγοράσει ή πόσα επιπρόσθετα χρειάζεται. Αρχικά, ελέγχει αν υπάρχει επαρκής διαθέσιμη χωρητικότητα για να καλύψει τις ανάγκες ζήτησης του ερχόμενου μήνα, αν δηλαδή $f_{t+1} \geq \sum p_i$. Αν η χωρητικότητα επαρκεί για τη ζήτηση, τότε δεν νοικιάζονται επιπρόσθετα RIs. Διαφορετικά, επιπλέον RIs νοικιάζονται συνεχώς μέχρι είτε οι διαθέσιμοι πόροι να ξεπεράσουν τη ζήτηση ή το ανεμενόμενο MRU μιας πρόσθετης αγοράς να πέσει κάτω από το ελάχιστο όριο θ .

- Επίσης ισχύει ότι: $H=[h_{t+1-R}, h_{t+2-R}, \dots, h_t] \rightarrow$ ιστορικό ζήτησης των τελευταίων R μηνών
- $F=[f_{t+1}, f_{t+2}, \dots, f_{t+R}] \rightarrow$ χωρητικότητα διαθέσιμων πόρων για χρήση για τους επόμενους R μήνες.
- $D = F - H \rightarrow$ αναμενόμενο προφίλ ελλείματος για κάθε ερχόμενο μήνα

Το αναμενόμενο MRU για την αγορά ενός επιπρόσθετου RI είναι η αναλογία των μηνών για $D > 0$. Συγκεκριμένα:

$$\text{MRU} = \frac{1}{R} \sum_{d \in D} [d > 0], \text{ όπου } [x] = \begin{cases} 1, & \text{if } x \text{ is true} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Το MRU υπολογίζει τη διάρκεια 'ζωής' που θα έχει ένα επιπρόσθετο RI το οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί τους επόμενους R μήνες, βάσει ιστορικού ζήτησης. Μετά, ένα ελάχιστο όριο θ χρησιμοποιείται για να καθορίσει αν θα πραγματοποιηθεί ή όχι η αγορά.

- $MRU > \theta \rightarrow$ πραγματοποιείται η αγορά
- $MRU < \theta \rightarrow$ όχι

Στη συνέχεια, ο broker παραχωρεί τους πόρους (1-μήνα) στους πελάτες ενεργοποιώντας τα συμβόλαια. Αν δεν είναι επαρκής οι πόροι, τότε αγοράζει απευθείας από τον πάροχο νέφους. Επίσης, μπορεί να εκτεθεί σε ρίσκο μεταβάλλοντας την τιμή του θ , για $0 \leq \theta \leq 1$. Όταν το θ είναι μικρό, γίνονται περισσότερες αγορές RIs σε σύγκριση με μια υψηλή τιμή. Συνοψίζοντας τα παραπάνω βήματα οργανώνονται στον αλγόριθμο που ακολουθεί.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Αλγόριθμος Broker για την μηνιαία αγορά RIs

```
function PurchaseReservedINSTANCES
  continue  $\leftarrow$  True
  while ( $\sum p_i > f_{t+1}$  and continue) do
     $MRU \leftarrow \frac{1}{R} \sum_{d \in D} [d > 0]$  where  $[x] = \begin{cases} 1, & \text{if } x \text{ is true} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$ 
    Calculate MRU;

    if  $MRU \geq \theta$  then
      for  $i \leftarrow 1$  to  $R$  d
         $f_{t+i} \leftarrow f_{t+i} + 1$ 
        purchase new RI;
        update future capacity;
      end for
    else
      continue  $\leftarrow$  False
      stop purchasing RIs;
    end if
  end while
end function
```

4 Σύνοψη

Σε αυτήν την εργασία παρουσιάζονται ορισμένα οικονομικά μοντέλα σε θεωρητικό επίπεδο που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν οι διαμεσολαβητές νέφους, έτσι ώστε να εξυπηρετούν τους πελάτες που χρειάζονται διάφορους πόρους αλλά και τους παρόχους. Αυτές οι υπηρεσίες cloud brokerage εξυπηρετούν τις απαιτήσεις των χρηστών παρέχοντας τους πόρους, τους οποίους έχουν νοικιάσει νωρίτερα από διάφορους παρόχους είτε δυναμικά ή κατά παραγγελία και καθορίζουν την τιμολόγηση ανάλογα με την προσφορά και ζήτηση που υπάρχει αλλά και τις συνθήκες της αγοράς. Οι επιλογές αυτές στηρίζονται σε οικονομικές στρατηγικές και αλγορίθμους οι οποίοι εξετάζονται πως λειτουργούν σχετικά με το κόστος των πόρων και την ποιότητα των υπηρεσιών και έχουν ως τελικό σκοπό τόσο τη μεγιστοποίηση του κέρδους όσο και τον μεγαλύτερο εφικτό περιορισμό των δαπανών και εξόδων. Μέσω των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν στα εξεταζόμενα μοντέλα παρατηρήθηκε πως σε όλες τις περιπτώσεις ο διαμεσολαβητής καταφέρνει να αποκομίσει κάποιο κέρδος, έστω και αν αυτό θεωρείται μικρό. Ως μελλοντικό θέμα για μελέτη και ανάπτυξη θα μπορούσε να εξεταστεί η ανάπτυξη ενός μετά-αλγορίθμου ο οποίος θα είναι μια τεχνική πρόβλεψης κατά την οποία θα δίνεται η δυνατότητα να διαχειρίζεται περισσότερο αποδοτικά η συγκέντρωση των πόρων με σκοπό την καλύτερη ανταπόκριση με την αναμενόμενη ζήτηση στο ελάχιστο δυνατόν κόστος. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος αυτός θα μπορούσε να αποτελέσει ένα συνδυασμό των ήδη υπάρχοντων με σκοπό τη δημιουργία ενός ακόμα πιο αποδοτικού ο οποίος θα “καλύπτει” τις όποιες αδυναμίες υφίστανται.

5 Βιβλιογραφία

1. "Essential characteristics of Cloud Computing":

<http://www.isaca.org/groups/professional-english/cloud-computing/groupdocuments/essential%20characteristics%20of%20cloud%20computing.pdf>

2. Top Benefits in using a Cloud Service Brokerage

<http://www.netfast.com/cloud-service-broker/>

3.Στατιστικά αμερικάνικης αγοράς:

<http://www.researchandmarkets.com/reports/3775384/cloud-services-brokerage-and-enablement-market-by>

4. Στατιστικά παγκόσμιας αγοράς:

<http://www.businesswire.com/news/home/20150915006197/en/Research-Markets-Cloud-Services-Brokerage-Market-Trends>

5. Billing Cycle

<http://www.businessdictionary.com/definition/billing-cycle.html>

Aazam, M., & Huh, E. (2014). Cloud Brokerage Model for Resource Pricing and Refund, 1111–1116. <https://doi.org/10.1109/HPCC.2014.182>

Al-roomi, M., Al-ebrahim, S., Buqrais, S., & Ahmad, I. (2013). Cloud Computing Pricing Models : A Survey, 6(5), 93–106.

Alam, M. (2015). Analysis and Clustering of Workload in Google Cluster Trace based on Resource Usage Analysis and Clustering of Workload in Google Cluster Trace based on Resource Usage, (January).

Bouvry, P. (2015). Cloud Brokering : Current Practices and Upcoming Challenges, (July). <https://doi.org/10.1109/MCC.2015.32>

Cliff, D., Rogers, O., & Cliff, D. (2017). A financial brokerage model for cloud computing A financial brokerage model for cloud computing, (January 2012). <https://doi.org/10.1186/2192-113X-1-2>

Fang Zu, Bernado Huberman, Z. (2005). Truth-Telling Reservations, (August). <https://doi.org/10.1007/11600930>

Khanna, P., & Jain, S. (2015). Cloud Broker Definition Differential : Gartner Versus NIST and New Models, 2, 127–132.

Mashayekhy, L., Nejad, M. M., & Grosu, D. (n.d.). A Two-Sided Market Mechanism for

Trading Big Data Computing Commodities.

Mell, P., Grance, T., & Grance, T. (n.d.). The NIST Definition of Cloud Computing Recommendations of the National Institute of Standards and Technology.

Model, C. B., & Spend, O. C. (n.d.). The Role of Chargeback in a Cloud Services Brokerage.

Nesmachnow, S. (2013). List scheduling heuristics for virtual machine mapping in cloud systems, (July).

Nesmachnow, S. (2015). Efficient Heuristics for Profit Optimization of Virtual Cloud Brokers, (July). <https://doi.org/10.1109/MCI.2014.2369893>

Nesmachnow, S., Iturriaga, S., Nesmachnow, S., Wang, W., Niu, D., Li, B., & Liang, B. (2013). Dynamic Cloud Resource Reservation via Cloud Brokerage, (July). <https://doi.org/10.1109/MCI.2014.2369893>

Saha, G., & Pasumathy, R. (2015). Maximizing Profit of Cloud Brokers under Quantized Billing Cycles : a Dynamic Pricing Strategy based on Ski-Rental Problem Maximizing Profit of Cloud Brokers under Quantized Billing Cycles : a Dynamic Pricing Strategy based on Ski-Rental Problem, (July). <https://doi.org/10.1109/ALLERTON.2015.7447117>

Samimi, P., Teimouri, Y., & Mukhtar, M. (2014). A combinatorial double auction resource allocation model in cloud computing. *INFORMATION SCIENCES*. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.02.008>

Shi, W., & Lau, F. C. M. (n.d.). An Online Auction Framework for Dynamic Resource Provisioning in Cloud Computing.

Wang, W., Niu, D., Li, B., & Liang, B. (n.d.). Dynamic Cloud Resource Reservation via Cloud Brokerage.

Zhang, H., Jiang, H., Member, S., Li, B., & Liu, F. (2016). A Framework for Truthful Online Auctions in Cloud Computing with Heterogeneous User Demands, *65*(3), 805–818.