

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα
Δίκτυα Υπολογιστών
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

University of Macedonia
Master Information Systems
Computer Networks
Professor: A.A. Economides

Θέμα Εργασίας:

**“Ταξινόμηση και Σύγκριση Αλγορίθμων Δρομολόγησης στα Κέντρα
Δεδομένων”**

“Classification and Comparison of Routing Algorithms in Data Centers”

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Παυλόπουλος Χρήστος (mis139)

Ημερομηνία: 14/5/2014

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2014

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	3
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΘΕΜΑΤΟΣ/ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	5
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	5
1.1 Δρομολόγηση και Αλγόριθμοι Δρομολόγησης	5
1.2 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης.....	5
1.3 Κέντρα Δεδομένων	6
1.4 Δίκτυο κέντρου δεδομένων	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	7
Κατηγορίες αλγορίθμων δρομολόγησης στα κέντρα δεδομένων	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	12
Σύγκριση αλγορίθμων δρομολόγησης στα κέντρα δεδομένων	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	14
Παραδείγματα Συγκεκριμένων Αλγορίθμων Δρομολόγησης στα Κέντρα Δεδομένων.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	17
Νέος Αλγόριθμος Δρομολόγησης για τα Κέντρα Δεδομένων	17
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	21
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	22

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα κέντρα δεδομένων είναι υπεύθυνα για την δρομολόγηση πακέτων δεδομένων, τα οποία με την πάροδο του χρόνου αυξάνονται και η ανάγκη για χρήση αποτελεσματικών αλγορίθμων δρομολόγησης γίνεται πιο επιτακτική από ποτέ. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στα κέντρα δεδομένων κατηγοριοποιούνται με βάση ορισμένες μετρικές που είναι σημαντικές για τα κέντρα όσον αφορά την απόδοση και την γενική λειτουργία τους. Η σύγκριση των κατηγοριών αυτών γίνεται με βάση τρία χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν οι αλγόριθμοι δρομολόγησης για να χρησιμοποιηθούν στα κέντρα δεδομένων. Επίσης, στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται παραδείγματα συγκεκριμένων αλγορίθμων μαζί με τα χαρακτηριστικά και τον τρόπο λειτουργίας τους στα κέντρα δεδομένων. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο, δίνεται βαρύτητα σε ένα νέο αλγόριθμο που βοηθά στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κέντρα δεδομένων. Η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που καλούνται να αντιμετωπίσουν στα κέντρα δεδομένων

ABSTRACT

Data centers are responsible for the data packet routing, which are increased in the course of time and the need for deterministic routing algorithm becomes more intensive than ever. Routing algorithms used in data centers are classified based at some specific measurements that are important for these data centers regarding both the efficiency and their universal function. The comparison among these categories takes place on the strength of these features that must be existed among routing algorithms to be used in data centers. Moreover, in the research some examples of specific routing algorithms with both their features and their function in these data centers are presented. Finally, in the last section a new algorithm that results in energy save in data centers is described. The unmeasured energy consumption is one of the most essential problems that must be encountered in these data centers

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΘΕΜΑΤΟΣ/ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την παρουσίαση των αλγορίθμων δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στα κέντρα δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τους, με βάση την κατηγοριοποίηση και την σύγκριση που έγινε λαμβάνοντας υπόψη ορισμένες μετρικές και χαρακτηριστικά, αντίστοιχα. Επίσης, αναλύονται συγκεκριμένοι αλγόριθμοι δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στα κέντρα δεδομένων και ένας νέος αλγόριθμος που καλείται να λύσει το πρόβλημα της κατανάλωσης ενέργειας που αντιμετωπίζουν τα κέντρα δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1 Δρομολόγηση και Αλγόριθμοι Δρομολόγησης

Στα δίκτυα υπολογιστών ο όρος δρομολόγηση (routing) αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία επιλέγεται η διαδρομή μέσα σε ένα δίκτυο πάνω από την οποία θα σταλούν δεδομένα.

Για την επίλυση των προβλημάτων που εμφανίζονται κατά τη δρομολόγηση πακέτων σε ένα δίκτυο, χρησιμοποιούμε αλγορίθμους δρομολόγησης που επιλέγουν, ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος, δρομολόγια που επιλύουν, κατά τον καλύτερο τρόπο, το πρόβλημα.

Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης (routing algorithms) ανήκουν στο τμήμα του λογισμικού στο επίπεδο δικτύου. Σε κάθε κόμβο του δικτύου υπάρχει ένας δρομολογητής ο οποίος, δεχόμενος κάποιο εισερχόμενο πακέτο, αποφασίζει σε ποια εξερχόμενη ακμή του θα το προωθήσει. Υπάρχουν δύο τρόποι δρομολόγησης συναρτήσει του αν το υποδίκτυο χρησιμοποιεί στο εσωτερικό του αυτοδύναμα πακέτα ή εικονικά κυκλώματα. Στην πρώτη περίπτωση, για κάθε πακέτο που φτάνει σε κάθε δρομολογητή, δημιουργείται μια αποκλειστική απόφαση προώθησής του. Στην περίπτωση των εικονικών κυκλωμάτων καθορίζεται το δρομολόγιο βάσει του κυκλώματος και έχει ισχύ για όλη τη συνδιάλεξη. Η διαδικασία αυτή είναι αρμοδιότητα των αλγορίθμων δρομολόγησης και είναι γνωστή ως προώθηση. Η δρομολόγηση αυτή καθαυτή αφορά στη δημιουργία και συμπλήρωση των πινάκων δρομολόγησης από τους οποίους ενημερώνονται οι δρομολογητές κατά τη φάση της προώθησης

(Kurose, 2012) (docwiki.cisco.com)

1.2 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Στα κέντρα δεδομένων χρησιμοποιούνται διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης τα οποία βοηθούν στην επικοινωνία των δρομολογητών και στην διάχυση πληροφοριών δρομολόγησης για την αποστολή πακέτων δεδομένων. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα από αυτά τα πρωτόκολλα.

Spanning Tree Protocol (STP): είναι το παλιότερο πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Ο τρόπος λειτουργίας του εμφανίζεται παρακάτω:

- Εάν υπάρχουν περιττές διαδρομές του δικτύου, μόνο μία διαδρομή είναι ενεργή. Οι άλλες είναι παθητικές - ή στην πραγματικότητα είναι απενεργοποιημένες
- Οι διακόπτες καθορίζουν αυτοτελώς τη διαδρομή
- Χειροκίνητη ρύθμιση δεν απαιτείται.
- Εάν μια ενεργή διαδρομή δικτύου αποτύχει, πραγματοποιείται νέος υπολογισμός για τις διαδρομές του δικτύου

Τα βασικά μειονεκτήματα του συγκεντρώνονται στα ακόλουθα δυο:

- Οι μισές από τις διαδρομές του δικτύου που είναι διαθέσιμες δεν χρησιμοποιούνται - συνεπώς δεν υπάρχει κατανομή του φορτίου .
- Ο υπολογισμός των διαδρομών του δικτύου σε περίπτωση βλάβης μπορεί να αργήσει

Το πρωτόκολλο Rapid Spanning Tree (RSTP) σχεδιάστηκε ως μια λύση για το δεύτερο πρόβλημα. Βασική ιδέα της έγκειται στο ότι δεν σταματάει η επικοινωνία εντελώς , όταν μια διαδρομή αποτύχει , συνεχίζει να εργάζεται με την παλιά διάταξη , μέχρι να ολοκληρώσει τον νέο υπολογισμό του.

Το Link State Protocol (LSP) χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την συντομότερη διαδρομή

(Τσαουσίδης, 2010) (R&M Data Center Handbook,2011)

1.3 Κέντρα Δεδομένων

Ένα κέντρο δεδομένων (data center) είναι ένα κεντρικό αποθετήριο, είτε φυσικό είτε εικονικό, για την αποθήκευση, διαχείριση και διάδοση των δεδομένων και πληροφοριών που οργανώνονται γύρω από ένα συγκεκριμένο φορέα γνώσης ή που σχετίζονται με μια συγκεκριμένη επιχείρηση.

(www.wikipedia.org)

1.4 Δίκτυο κέντρου δεδομένων

Η τοπολογία δικτύου περιγράφει πως διασυνδέονται οι διακόπτες και οι οικοδεσπότες (switches and hosts). Παρουσιάζονται σε γράφημα με συνδέσμους μεταξύ τους που τον ενώνει. Η τοπολογία είναι εξίσου σημαντική τόσο για το κόστος όσο και για την απόδοση του κέντρου δεδομένων. Η τοπολογία επηρεάζει μια σειρά από ανταλλαγές σχεδιασμού, συμπεριλαμβανομένων των επιδόσεων, το σύστημα συσκευασίας, την ποικιλομορφία του μονοπατιού, και το πλεόνασμα, το οποίο, με τη σειρά του, επηρεάζει την ανθεκτικότητα του δικτύου σε σφάλματα. Οι πιο συχνές τοπολογίες που συναντάμε στα κέντρα δεδομένων είναι η Folded-clos, η Flattened butterfly, η Dragonfly και η Fat-Tree.

(A. Mohammad *et al.*, 2008) (A. Dennis *et al.*, 2012)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Κατηγορίες αλγορίθμων δρομολόγησης στα κέντρα δεδομένων

Στα κέντρα δεδομένων (data centers) λόγω του μεγάλου φόρτου εργασίας για μεταφορά οποιουδήποτε τύπου δεδομένων, χρησιμοποιούνται οι γνωστοί αλγόριθμοι δρομολόγησης οι οποίοι βοηθάνε στην επίλυση-βελτίωση ενός προβλήματος. Επίσης, επιλέγονται οι τεχνολογικά νεότεροι και αυτοί που, τα χαρακτηριστικά των οποίων, ταιριάζουν περισσότερο σε ένα κέντρο δεδομένων (data centers). Τα κέντρα δεδομένων (data centers) ανεξαρτήτου μεγέθους, αναζητούν ταχύτητα, προσαρμοστικότητα στις αλλαγές και γνώση του δικτύου δρομολόγησης. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης κατηγοριοποιούνται με βάση τις ακόλουθες διαφορετικές μετρικές.

1. Προσαρμοστικότητα

- **Δυναμικοί ή προσαρμοστικοί**
και
- **Στατικοί ή μη προσαρμοστικοί**

Η κατηγοριοποίηση των αλγορίθμων δρομολόγησης σε στατικούς (μη προσαρμοστικούς) και σε δυναμικούς (προσαρμοστικούς) βασίζεται στην αλλαγή

του δρομολογίου για ένα δεδομένο δίκτυο. Στους στατικούς αλγορίθμους, οι αποφάσεις δρομολόγησης βασίζονται στην τρέχουσα τοπολογία ή στην τρέχουσα κίνηση του δικτύου. Ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο ορίζεται για ένα αρκετά μεγάλο διάστημα και για ένα συγκεκριμένο δίκτυο και για αυτό η στατική δρομολόγηση είναι αργή στην αλλαγή δρομολογίων σε κάποιο δίκτυο. Στους δυναμικούς αλγορίθμους, η αλλαγή του δρομολογίου γίνεται με γρήγορους ρυθμούς, συνήθως περιοδικά, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος αλλαγής των συνδέσμων και τις αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου και στην κίνησή του. Οι αλγόριθμοι δυναμικής δρομολόγησης κατηγοριοποιούνται περαιτέρω βάσει του αν λαμβάνουν τις πληροφορίες τους μόνο από τους γειτονικούς δρομολογητές ή από όλους τους δρομολογητές του δικτύου, αν λαμβάνουν απόφαση για νέα δρομολόγια σε περιοδική βάση ή μόνο αν αλλάζει η τοπολογία ή η κίνηση του δικτύου περισσότερο από ένα ανώτερο κατώφλι που έχει θέσει ο σχεδιαστής, ή, δοθέντων των κοστών κάθε συνδέσμου του δικτύου, οι δρομολογητές μπορούν να ορίζουν διαφορετικό (βέλτιστο) δρομολόγιο για κάθε ζεύγος κόμβων αποστολέων-παραληπτών.

2. Γνώση Δικτύου

- **Γενικοί**
και
- **Αποκεντριοποιημένοι**

Η δεύτερη βασική κατηγοριοποίηση που γίνεται στους αλγόριθμους δρομολόγησης διαιρεί τους αλγορίθμους σε γενικούς αλγορίθμους, που βασίζονται στην κατάσταση των συνδέσμων του δικτύου και σε αποκεντριοποιημένους, που υλοποιούν δρομολόγηση με διανύσματα απόστασης. Στους γενικούς αλγορίθμους, όλοι οι δρομολογητές γνωρίζουν την πλήρη τοπολογία του δικτύου και μαζεύουν πληροφορίες για τα κόστη των συνδέσεων. Στους αποκεντριοποιημένους αλγορίθμους, οι δρομολογητές έχουν γνώση των δρομολογητών με τους οποίους βρίσκονται σε φυσική γειτνίαση και μαζεύουν πληροφορίες για τα κόστη των συνδέσεων των γειτόνων τους. Επίσης, στους αποκεντριοποιημένους αλγορίθμους δρομολόγησης υλοποιούνται επαναληπτικοί υπολογισμοί και ανταλλαγή πληροφοριών με τους γείτονες.

Αλγόριθμοι κατάστασης συνδέσμων (Link state Algorithms)

Οι αλγόριθμοι κατάστασης συνδέσμων βασίζονται όλοι σε 5 βασικά σημεία. Ακόμη, λόγω της ευκολίας τους αλλά και των γενικότερων πλεονεκτημάτων τους έχουν υπάρξει προτάσεις με παραλλαγές τους. Σε κάθε περίπτωση, για κάθε δρομολογητή ορίζονται οι εξής υποχρεώσεις :

- εντοπισμό των γειτονικών κόμβων-δρομολογητών και αποστολή ενός ειδικού πακέτου χαιρετισμού σε κάθε γραμμή από άκρη-σε-άκρη
- μέτρηση της απόστασης από τον καθένα γείτονα κόμβο με αποστολή ενός ειδικού πακέτου αντήρησης μέσω του συνδέσμου
- κατασκευή πακέτων στα οποία να εμπεριέχεται όλη τη γνώση (ταυτότητα αποστολέα, αριθμός ακολουθίας κα)
- αποστολή του πακέτου σε όλους τους δρομολογητές με χρήση του αλγορίθμου της πλημμύρας
- η εύρεση της συντομότερης διαδρομής προς όλους τους δρομολογητές με χρήση του αλγορίθμου του Dijkstra

Αλγόριθμος Δρομολόγησης του Dijkstra

Ο αλγόριθμος δρομολόγησης του Dijkstra ανήκει στην κατηγορία των γενικών αλγορίθμων που αποφασίζουν το βέλτιστο δρομολόγιο βρίσκοντας τη συντομότερη διαδρομή μεταξύ δύο δρομολογητών. Αναπαριστώντας το δίκτυο ως γράφημα όπου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τους δρομολογητές και οι ακμές τους συνδέσμους, το μήκος της διαδρομής μπορεί να αφορά σε :

- πλήθος των αλμάτων μεταξύ κόμβων
- γεωγραφική απόσταση σε χιλιόμετρα

Στον αλγόριθμο του Dijkstra η τοπολογία του δικτύου αλλά και τα κόστη των ακμών είναι γνωστά σε όλους τους κόμβους-δρομολογητές. Η γνώση του δικτύου βοηθά στην επιτάχυνση της μετάδοσης της κατάστασης των συνδέσμων σε όλους τους κόμβους, δίνοντας αρχικά σε όλους την ίδια πληροφορία. Η βασική ιδέα του

αλγόριθμοι του Dijkstra είναι η σήμανση των κόμβων του δικτύου ως μόνιμους ή προσωρινούς.

(www.wikipedia.org)

Αλγόριθμοι Διανύσματος-Απόστασης (Distance Vector algorithm)

Νωρίτερα από τους αλγόριθμους κατάστασης συνδέσμων είχαν χρησιμοποιηθεί οι αλγόριθμοι διανύσματος-απόστασης. Και αυτή η κατηγορία αλγορίθμων ανήκει στους δυναμικούς αλγορίθμους.

Αλγόριθμος Δρομολόγησης των Bellman-Ford

Ο αλγόριθμος των Bellman-Ford ανήκει στην κατηγορία των δυναμικών αλγορίθμων που βασίζονται σε διάνυσμα-απόσταση. Κάθε δρομολογητής του δικτύου διατηρεί έναν πίνακα με μία εγγραφή που αφορά τους άλλους κόμβους του δικτύου. Η εγγραφή αυτή περιέχει την καλύτερη γνωστή απόσταση προς κάθε προορισμό και τη διαδρομή προς αυτόν. Η ενημέρωση των πινάκων γίνεται με ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ γειτόνων του δικτύου. Η συντομότερη διαδρομή ή καλύτερη γνωστή διαδρομή βασίζεται:

- στο πλήθος των ενδιάμεσων αλμάτων
- στη χρονική καθυστέρηση
- στον αριθμό των πακέτων που βρίσκονται στις ουρές κατά μήκος της διαδρομής

(Bannister & Eppstein, 2011) (www.wikipedia.org)

3. Απόφαση δρομολόγησης

- **Δρομολόγηση πηγής**
και
- **Δρομολόγηση ανά-πήδημα**

Στη δρομολόγηση που βασίζεται στην πηγή, το μονοπάτι δρομολόγησης καθορίζεται από την πηγή και ο υπολογισμός του γίνεται μια φορά για κάθε πακέτο.

Στη άλλη περίπτωση, κάθε πήδημα το οποίο είναι καθοδόν στον προορισμό του υπολογίζει την δρομολόγηση για να καθορίζει το επόμενο πήδημα.

4. Εφαρμογή της δρομολόγησης

- **Αλγοριθμική**
και
- **Επιτραπέζια δρομολόγηση**

Η αλγοριθμική βασίζεται σε ένα συγκεκριμένο αριθμό κόμβων και πληροφοριών προορισμού. Μια σταθερή λογική μπορεί να βοηθήσει για να καθοριστεί το αποτέλεσμα. Ωστόσο αυτή η εφαρμογή, δημιουργεί ένα άκαμπτο αλγόριθμο δρομολόγησης.

5. Αριθμός Αλμάτων

- **Ελάχιστη** (Minimal)
- **Μη-ελάχιστη** (Non-minimal)

Στην ελάχιστη δρομολόγηση, διαδρομή ανάμεσα στην πηγή και στον προορισμό διασχίζεται από τα ελάχιστα άλματα. Υπάρχουν πολλαπλά ελάχιστα μονοπάτια, βασιζόμενη στην τοπολογία και στην προσαρμοστικότητα του αλγορίθμου δρομολόγησης. Από την άλλη πλευρά, στην μη-ελάχιστη δρομολόγηση ο αριθμός των αλμάτων μέχρι τον προορισμό υπερβαίνουν τα ελάχιστα. Η μη-ελάχιστη δρομολόγηση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση ποικιλίας μονοπατιών και της απόδοσης του δικτύου.

(A. Dennis et al., 2011)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σύγκριση αλγορίθμων δρομολόγησης στα κέντρα δεδομένων

Ένα δίκτυο δεδομένων διέπεται από συγκεκριμένες αρχές τις οποίες θα πρέπει να υποστηρίζουν και οι αλγόριθμοι δρομολόγησης που θα χρησιμοποιηθούν. Οι αρχές αυτές είναι:

- **Αξιοπιστία:** Το πρώτο βήμα ενός δικτύου δεδομένων είναι η βελτιστοποίηση της διαδρομής- Οι επιχειρήσεις καθώς και όσοι ασχολούνται με τέτοιες υπηρεσίες χρησιμοποιούν τα δεδομένα στο δίκτυο διανομής για τα διανείμουν το προϊόν τους-
- **Ποιότητα σύνδεσης:** Το επόμενο βήμα είναι η βελτίωση της ποιότητας σύνδεσης έτσι ώστε να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά και αποδοτικά το μεγάλο εύρος εφαρμογών και υπηρεσιών-
- **Ενεργειακή Απόδοση:** Τέλος, μεγάλη σημασία δίνεται στη χρήση ενεργειακά αποδοτικών υλικών και λογισμικών για να εξοικονομηθεί ενέργεια- Μια διαδρομή που θα περιλάμβανε μόνο τις απαραίτητες συνδέσεις, απενεργοποιώντας ταυτόχρονα ότι δεν χρειάζεται, είναι ένας απλός τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας.

(K. Chen et al., 2011)

Στον παρακάτω πίνακα συγκρίνονται οι δύο βασικές κατηγορίες αλγορίθμων Στατικοί-Δυναμικοί και Γενικοί-Αποκεντριοποιημένοι που έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2, με βάση τις βασικές αρχές που θα πρέπει να διέπονται οι αλγόριθμοι δρομολόγησης.

Αρχές για κέντρα δεδομένων	Κατηγορίες Αλγορίθμων	
	Δυναμικοί Αλγόριθμοι	Στατικοί Αλγόριθμοι
Αξιοπιστία	Μεγάλη Αξιοπιστία. Γρήγορη προσαρμοστικότητα στις αλλαγές του δρομολογίου. Επιτυχία	Δεν υποστηρίζουν τις αλλαγές. Πραγματοποιείται σε ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο. Μπορεί η

	στην δρομολόγηση	δρομολόγηση να αποτύχει
Ποιότητα σύνδεσης- ταχύτητα	Είναι ταχύτεροι αλγόριθμοι	Στα χαρακτηριστικά τους δεν συμπεριλαμβάνονται η ταχύτητα. Παρουσιάζονται καθυστερήσεις διάδοσης.
Ενεργειακή απόδοση- Μεταφορά δεδομένων	Γνώση δρομολογίου δρομολόγησης. Ανταλλάσει πληροφορίες μόνο σε γειτονικούς κόμβους. Έχουν χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση από τους στατικούς.	Γνώση δρομολογίου δρομολόγησης. Μεταδίδει μηνύματα σε όλους τους κόμβους. Υπάρχει μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση
	Γενικοί Αλγόριθμοι	Αποκεντροποιημένοι Αλγόριθμοι
Ενεργειακή απόδοση- Μεταφορά δεδομένων	Γνώση δρομολογίου δρομολόγησης. Μεταδίδει μηνύματα σε όλους τους κόμβους. Υπάρχει μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση	Γνώση δρομολογίου δρομολόγησης. Ανταλλάσει πληροφορίες μόνο σε γειτονικούς κόμβους. Υπάρχει χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση

Με βάση την σύγκριση, οι αλγόριθμοι δρομολόγησης που ταιριάζουν περισσότερο στα κέντρα δεδομένων είναι οι **Δυναμικοί και οι Αποκεντροποιημένοι Αλγόριθμοι**. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση είναι γενική αφού μπορεί σε κάποια κέντρα δεδομένων οι υπόλοιποι αλγόριθμοι να ταιριάζουν περισσότερο, όπως για παράδειγμα η στατικοί αλγόριθμοι είναι κατάλληλοι για μικρά κέντρα δεδομένων όπου οι αλλαγές είναι σπάνιες.

(Διακονικολάου, Αγιακάτσικα & Μπούρας, 2007)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Παραδείγματα Συγκεκριμένων Αλγορίθμων Δρομολόγησης στα Κέντρα

Δεδομένων

Στην βιβλιογραφία συνάντησα δύο παραδείγματα αλγορίθμων δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται στα κέντρα δεδομένων. Παρακάτω παρουσιάζονται ο αλγόριθμος δρομολόγησης Valiant's , ο αλγόριθμος UGAL και ο αλγόριθμος DCTCP

Ο αλγόριθμος δρομολόγησης Valiant's (VAL) χρησιμοποιεί την τυχαιοποίηση και την μη-ελάχιστη δρομολόγηση (non-minimal routing) για να εκμεταλλευτεί την ποικιλία του μονοπατιού και για να πετύχει ισορροπία φορτίου. Είναι ένας αλγόριθμος δύο φάσεων με τυχαίο κόμβο στο αρχικά επιλεγμένο δίκτυο. Στην πρώτη φάση, η ελάχιστη δρομολόγηση χρησιμοποιείται για να δρομολογήσει το πακέτο στον ενδιάμεσο κόμβο. Όταν το πακέτο φτάνει στην ενδιάμεσο κόμβο, σε δεύτερη φάση , το πακέτο μεταφέρεται στον προορισμό του. Εάν ο τυχαίος κόμβος συμβαίνει να είναι η βάση ή ο προορισμός, ο VAL εκφυλίζεται σε ελάχιστη δρομολόγηση καθώς μόνο μία φάση του VAL χρειάζεται.

Χρησιμοποιώντας την τυχαιοποίηση για να εξισορροπήσουμε το φορτίο κίνησης, η υψηλή καθολική τοποθέτηση μπορεί να επιτευχθεί σε πρότυπα αντίστροφης κίνησης αφού ο VAL παρέχει καλύτερη απόδοση σε αυτά. Ωστόσο μετατρέποντας όλα τα πρότυπα κίνησης σε δύο φάσεις ενιαίας τυχαίας κίνησης, έχει ως αποτέλεσμα να προκληθεί λανθάνουσα κατάσταση μηδενικού φορτίου και απώλεια της θέσης κίνησης.

Γιατί Valiant's (VAL) στα κέντρα δεδομένων;

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο VAL μπορεί να μεταφέρει πακέτο σε οποιαδήποτε τοπολογία δικτύου που υπάρχει στα κέντρα δεδομένων, είτε είναι δηλαδή Folded-clos ή Flattened butterfly ή Dragonfly είτε κάποια άλλη τοπολογία, με την απόδοση του στην δρομολόγηση να παραμένει ίδια.

(T. Sjöblom, 2013)

Ο UGAL είναι προσαρμοστικός αλγόριθμος δρομολόγησης και προτίθεται να προσαρμοστεί μεταξύ της ελάχιστης και της μη-ελάχιστης δρομολόγησης σε μια βάση ανά πακέτο βασισμένο στην συμφόρηση πληροφοριών του δικτύου. Εάν επιλεγεί η μη ελάχιστη δρομολόγηση το πακέτο δρομολογείται όπως στον VAL, διαφορετικά χρησιμοποιείται η ελάχιστη δρομολόγηση. Για τα πακέτα κίνησης ο UGAL προσπαθεί να προσεγγίσει την απόδοση της ελάχιστης δρομολόγησης για να εκμεταλλευτεί την τοποθεσία κίνησης .

Η απόφαση δρομολόγησης UGAL βασίζεται στον βασικό δρομολογητή και όταν η απόφαση δρομολόγησης παρθεί, το πακέτο ακολουθεί την ελάχιστη διαδρομή ή το συντομότερο μονοπάτι. Η συμφόρηση πληροφοριών που χρησιμοποιούνται από τον αλγόριθμο δρομολόγησης είναι το προϊόν του βάθους σειράς (q) και του ύψους άλματος (H) για ένα ελάχιστο ή μη-ελάχιστο μονοπάτι. Το ελάχιστο βάθος σειράς (q_m) εκπροσωπεί την συμφόρηση στην δίοδο εξόδου που χρησιμοποιείται στην ελάχιστη δρομολόγηση κι το ελάχιστο ύψος άλματος (H_m) είναι το ελάχιστο άλμα μεταξύ πηγής και προορισμού. Με ένα τυχαίο διαλεγμένο ενδιάμεσο κόμβο, το βάθος της μη ελάχιστης σειράς (q_{nm}) αντιπροσωπεύει τη συμφόρηση στο άνοιγμα εξόδου ενώ το ύψος του μη ελάχιστου άλματος (H_{nm}) είναι το συνολικό ύψος άλματος από την πηγή στον ενδιάμεσο κόμβο . Ο UGAL, συνοψίζεται ως ακολούθως:

Εάν ($q_m H_m \leq q_{nm} H_{nm}$)

Δρομολόγησε ελάχιστα

Διαφορετικά

Δρομολόγηση μη-ελάχιστα

Γιατί UGAL στα κέντρα δεδομένων;

Στα βασικά πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι ότι ξεπερνά το πρόβλημα της ανισορροπίας του φορτίου με αποτέλεσμα την μέγιστη αποδοτικότητα του- υψηλή ποιότητα σύνδεσης.

(B. Dennis et al., 2011)

Ο τρίτος αλγόριθμος δρομολόγησης που συναντάμε στα κέντρα δεδομένων είναι ο DCTCP. Ο στόχος του αλγορίθμου δρομολόγησης DCTCP είναι να επιτευχθεί χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση και υψηλή απόδοση ρυθμού. Για αυτόν τον λόγο, ο DCTCP έχει ως σκοπό να λειτουργήσει με μικρές σειρές αναμονής, χωρίς απώλεια απόδοσης. Ο DCTCP επιτυγχάνει αυτούς τους στόχους πρώτιστα με την αντίδραση στη συμφόρηση αναλογικά προς την έκταση της συμφόρησης και χρησιμοποιεί ένα απλό σχέδιο χαρακτηρισμού των διακοπών διαχειρίζοντας καλύτερα την συμφόρηση των πακέτων.

Ο αλγόριθμος DCTCP έχει τρία κύρια συστατικά:

1) υιοθετεί ένα πολύ απλό ενεργό διοικητικό σχέδιο σειρών αναμονής. Υπάρχει μόνο μια ενιαία παράμετρος, το κατώτατο όριο χαρακτηρισμού, K .

2) Η μόνη διαφορά μεταξύ ενός δέκτη DCTCP και ενός δέκτη TCP είναι ο τρόπος που οι πληροφορίες μεταβιβάζονται πίσω στον αποστολέα. Ένας δέκτης DCTCP, εντούτοις, προσπαθεί να μεταβιβάσει την ακριβή ακολουθία χαρακτηρισμένων πακέτων πίσω στον αποστολέα.

3) Ελεγκτής στον αποστολέα: Ο αποστολέας διατηρεί μια εκτίμηση του μέρους των πακέτων που είναι χαρακτηρισμένα, το οποίο ενημερώνεται μια φορά για κάθε παράθυρο στοιχείων. Δεδομένου ότι ο αποστολέας λαμβάνει τα σημάδια για κάθε πακέτο όταν το μήκος σειρών αναμονής είναι υψηλότερο από το K και δεν λαμβάνει οποιαδήποτε σημάδια όταν είναι το μήκος σειρών αναμονής κάτω από το K , η εξίσωση
$$p = \frac{K}{K + \text{seq_diff}}$$
 υπονοεί ότι υπολογίζει την πιθανότητα ότι το μέγεθος σειρών αναμονής είναι μεγαλύτερο από το K . Ουσιαστικά, κοντά σε 0 δείχνει χαμηλό και κοντά σε 1 δείχνει τα υψηλά επίπεδα της συμφόρησης.

Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου αλγορίθμου παρουσιάζονται παρακάτω:

- Συγκέντρωση σειρών αναμονής: Οι αποστολές DCTCP αρχίζουν μόλις υπερβαίνει το μήκος σειρών αναμονής σε μια επαφή το K. Αυτό μειώνει τις καθυστερήσεις αναμονής δρομολόγησης.
- Πίεση απομονωτών: ο DCTCP λύνει επίσης το πρόβλημα πίεσης απομονωτών επειδή το μήκος σειρών αναμονής δεν γίνεται υπερβολικά μεγάλο.
- Incast: Το σενάριο incast, όπου ένας μεγάλος αριθμός συγχρονισμένων ροών βρίσκονται στην ίδια σειρά αναμονής, ο ο DCTCP προσπαθεί να αποφύγει αυτή την συμφόρηση.

Γιατί DCTCP στα κέντρα δεδομένων;

Γιατί παρουσιάζουν βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν οι αλγόριθμοι δρομολόγησης στα κέντρα δεδομένων, πιο συγκεκριμένα είναι αξιόπιστοι αφού μειώνουν τον κίνδυνο λάθους και η απόδοση τους είναι υψηλή.

(M. Alizadeh et al., 2010)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Νέος Αλγόριθμος Δρομολόγησης για τα Κέντρα Δεδομένων

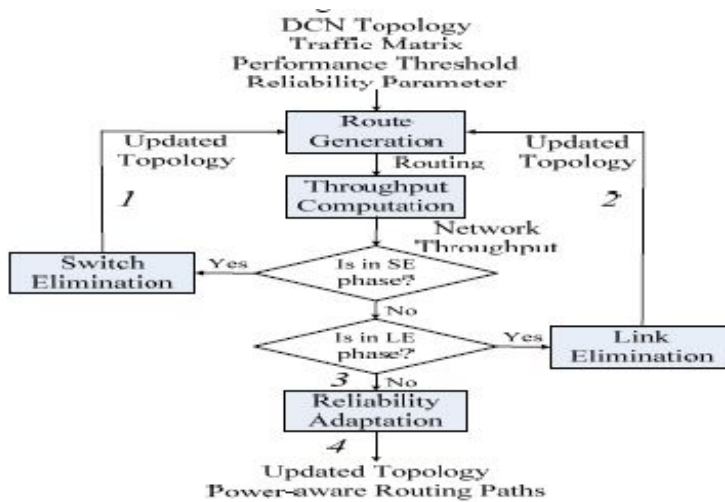
Εκτός από τις παραπάνω βασικές κατηγορίες αλγορίθμων , στα κέντρα δεδομένων συναντάμε και κάποιους νέους αλγορίθμους οι οποίοι μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση ορισμένων προβλημάτων ή στην καλύτερη λειτουργία των κέντρων. Ο αλγόριθμος που θα δούμε στη συνέχεια ανήκει στους **ευρετικούς αλγόριθμους δρομολόγησης** (*heuristic routing algorithm*).

Από τους αλγορίθμους αυτούς, ξεχωρίζουμε τους ενεργειακά ενήμερους δρομολογητές (*energy-aware routing algorithms*). Στόχος των κέντρων δεδομένων είναι η διασύνδεση ενός μαζικού αριθμού διακομιστών και να παρέχουν μια αποτελεσματική υπηρεσία δρομολόγησης. Ωστόσο μερικές φορές τα κέντρα δεδομένων είναι μακριά από τον στόχο τους, ξοδεύοντας μεγάλη ποσότητα ενέργειας, γεγονός που αποτελεί πονοκέφαλο για τους ιδιοκτήτες των κέντρων δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, η ενέργεια που καταναλώνουν τα κέντρα δεδομένων

αντιστοιχούν στην απόδοση 30 πυρηνικών εργοστασίων ή αλλιώς σε 30 δισεκατομμύρια Watts. Το 1/3 ή το 1/4 της κατανάλωσης προέρχεται μόνο από τις ΗΠΑ, ενώ η πραγματικά χρήσιμη ανάγκη για κατανάλωσης ενέργειας υπολογίζεται στο 6-12%, καθώς το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για την «αδράνεια» των υπολογιστών και την αποτροπή «κρασαρισμάτων». Τέλος, τα κέντρα δεδομένων (data centers) χρησιμοποιούν και εφεδρικές γεννήτριες, οι οποίες καταναλώνουν πετρέλαιο και εκπέμπουν επικίνδυνα καυσαέρια στο περιβάλλον. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης που θα μπορούσαν να λύσουν αυτό το πρόβλημα ονομάζονται **ενεργειακά ενήμεροι αλγόριθμοι δρομολόγησης** (*energy-aware routing algorithms*) και βοηθούν στην επέκταση του χρόνου ζωής των κέντρων δεδομένων δημιουργώντας παράλληλα τα «**πράσινα κέντρα δεδομένων**».

Οι Μ. Χυ, Υ. Shang, D. Li και ο Χ. Wang (2010) προτείνουν έναν ενεργειακά ενήμερο αλγόριθμο που ονομάζεται **εγγυημένος ενεργειακά ενήμερος αλγόριθμος δρομολόγησης** (*throughput-guaranteed power-aware routing algorithm*). Στόχος του είναι να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας στα δίκτυα υψηλής πυκνότητας των κέντρων δεδομένων σε οποιαδήποτε τοπολογία δικτύου ενώ η απόδοση να παραμένει υψηλή. Η ουσία είναι να χρησιμοποιηθεί η μικρότερη ισχύς του δικτύου χωρίς να μειωθεί σημαντικά η απόδοση του. Οι ρελαντί συσκευές του δικτύου και οι συνδέσεις μπορούν να κλείσουν ή να τεθούν σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας για εξοικονόμηση ενέργειας. Εκτεταμένες προσομοιώσεις που διεξήχθησαν σε δίκτυα κέντρων δεδομένων δείχνουν ότι η ενεργειακά ενήμερη δρομολόγηση μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά την κατανάλωση ενέργειας των συσκευών δικτύου, κυρίως με μικρά φορτία.

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αποτελείται από πέντε ενότητες : Route γενιάς (Route Generation) (RG) , Throughput Υπολογισμού (Throughput Computation) (TC) , Διακόπτης Αποβολής (Switch Elimination) (SE) , Σύνδεσμος Εξάλειψης (Link Elimination) (LE) και Αξιοπιστία προσαρμογής (Reliability Adaptation) .Η σχέση μεταξύ των πέντε ενότητες δείχνεται στο Σχήμα 1



Σχήμα 1: Σχέση μεταξύ των πέντε ενοτήτων του αλγορίθμου (M. Xu et al., 2010)

Ο ψευδοκώδικας του προτεινόμενου αλγορίθμου είναι ο εξής (Σχήμα 2):

**Throughput-guaranteed Power-aware Routing
Algorithm: PRA(G_0, T, PR, RP)**

Inputs:

G_0 : DCN topology
 T : traffic matrix
 PR : performance threshold percentage
 RP : reliability requirement parameter

Outputs:

RI : power-aware routing paths
 GI : updated topology

Begin

```

1  set  $G := G_0$ ;
2  //Route Generation
3  set  $R := RG(G, T)$ ;
4  //Throughput Computation
5  set  $Th1 := TC(G, T, R)$ ;
6  // Switch Elimination
7  do
8  begin
9    set  $GI := G$ ;
10   set  $RI := R$ ;
11   set  $G := SE(G, T, R)$ ;
12   set  $R := RG(G, T)$ ;
13   set  $Th2 := TC(G, T, R)$ ;
14   set  $P := Th2 / Th1$ ;
15  end while( $P \geq PR$ )
16 // Link Elimination
17  $G := GI$ ;
18  $R := RI$ ;
19 do
20 begin
21   set  $GI := G$ ;
22   set  $RI := R$ ;
23   set  $G := LE(G, T, R)$ ;
24   set  $R := RG(G, T)$ ;
25   set  $Th2 := TC(G, T, R)$ ;
26   set  $P := Th2 / Th1$ ;
27  end while( $P \geq PR$ )
28  $GI := RA(GI, T, RI, RP)$ 
29 return ( $RI, GI$ );

```

End.

Σχήμα 2: Ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου (M. Xu et al., 2010)

Οι **ενεργειακά ενήμεροι αλγόριθμοι** (*energy-aware routing algorithms*) παρουσιάζουν μια από τις τρεις βασικές αρχές που θα πρέπει να διαθέτουν οι αλγόριθμοι των κέντρων δεδομένων, δηλαδή **χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση**.

(M. Xu et al., 2010), (Y. Shang et al., 2010), (A. Belogavzon, 2012)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κλείνοντας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι δρομολόγησης που «ταιριάζουν» στα κέντρα δεδομένων, οι οποίοι αν βρεθούν κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες (τοπολογίες) μπορούν να δράσουν αποτελεσματικά.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το κυριότερο πρόβλημα αποτελεί η υψηλή ενεργειακή κατανάλωση από την πλευρά των κέντρων δεδομένων για το λόγο αυτό είναι επιτακτική η χρήση των ενεργειακά ενήμερων αλγορίθμων δρομολόγησης.

Επίσης, σε σύγκριση με πριν από 20 χρόνια, οι συσκευές που χρησιμοποιούν δίκτυα κέντρων δεδομένων σήμερα καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της καθημερινότητας μας. Στο μέλλον κάθε πτυχή της ζωής θα συνδέεται με κέντρα δεδομένων και προκειμένου οι επιχειρήσεις να συμβαδίζουν με τις εξελίξεις στην τεχνολογία και με τις σύγχρονες απαιτήσεις είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν πιο εξελιγμένα κέντρα δεδομένων τα on demand data centers. Τα νέα κέντρα δεδομένων, τα κέντρα δεδομένων του μέλλοντος, θα έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα, μέγιστη και βέλτιστη απόδοση και ευελιξία κινήσεων. Αυτά τα νέα κέντρα θα χρησιμοποιούν και τους κατάλληλους αλγορίθμους οι οποίοι πρέπει να είναι ευέλικτους στις αλλαγές και φυσικά να μπορεί να εξυπηρετήσει τεράστιους όγκους δεδομένων με μεγάλη ταχύτητα. Μια πρόταση για μελλοντική έρευνα είναι αν υπάρχει η δυνατότητα για την ανάπτυξη τέτοιων κέντρων και ιδιαίτερα στην Ελλάδα και να τελικά είναι αυτή η καλύτερη λύση για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων απαιτήσεων. (www.datacenterjournal.com,)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ✓ Διακονικολάου, Γ., Αγιακάτσικα, Α., & Μπούρας, Η. (2007). Επιχειρηματική διαδικτύωση (2η εκδ.). Αθήνα: Κλειδάριθμος
- ✓ Βασίλης Θ. Τσαουσίδης.(2010). Διαδικτυακά Πρωτόκολλα, Αθήνα: Κλειδάριθμος
- ✓ Beloglazon, A., & Buyya,R.,(2012). Optimal Online Deterministic Algorithms and Adaptive Heuristics for Energy and Performance Efficient Dynamic Consolidation of Virtual Machines in Cloud Data Centers,1397-1420, Ανακτήθηκε από : <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2349877>
- ✓ Chen, K., Chengchen, H., Zhang, X., Zheng, K., Chen, Y., Vasilakos, A., (2011). Survey on Routing in Data Centers: Insights and Future Directions, Ανακτήθηκε από: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5958002&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5958002
- ✓ Dennis, A., & John, K., (2011). High Performance Datacenter Networks: Architectures, Algorithms, and Opportunities, Morgan & Claypool
- ✓ Dennis, A., & Felderman, B., (2012). A Guided Tour through Data-center Networking, Ανακτήθηκε από: <http://queue.acm.org/detail.cfm?id=2208919>
- ✓ Mohammad, A., Loukissas, A., Vahdat, A.(2008). A Scalable, Commodity Data Center Network Architecture, 17-22, Ανακτήθηκε από: <http://www.cs.kent.edu/~javed/class-CXNET09S/papers-CXNET-2009/FaLV08-DataCenter-interconnect-p63-alfares.pdf>
- ✓ Alizadeh, M., Albert Greenberg, A., Maltz, D., Padhye, J., Patel, P., Prabhakar, B., , Sengupta, S., Sridharan, M.,(2010). Data Center TCP (DCTCP), Ανακτήθηκε από: <http://simula.stanford.edu/~alizade/papers/dctcp-sigcomm10.pdf>
- ✓ R&M Data Center Handbook V2.0 (2011). Reichle & De-Massari AG, Ανακτήθηκε από: <http://www.rdm.com/fr->

fr/Portaldata/1/Resources/fra/doc/RDM_Data_Center_Handbook_V20_EN.pdf

- ✓ Shang, Y., Li, D., Xu, M., (2010). Energy-aware Routing in Data Center Network, Ανακτήθηκε από: <http://conferences.sigcomm.org/sigcomm/2010/papers/green/p1.pdf>
- ✓ Sjöblom, T., (2013). An Agda proof of the correctness of Valiant's algorithm for context free Parsing- Master's Thesis in Computer Science – algorithms, languages and logic, Ανακτήθηκε από: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/185016/185016.pdf>
- ✓ Xu, M., Shang, Y., Li, D., Wang, X., (2010). Greening Data Center Networks with Throughput-guaranteed Power-aware Routing. Ανακτήθηκε από: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128612004161>
- ✓ Kurose, J., (2012). Computer Networking: A Top-down Approach James F. Kurose Keith W. Ross (sixth) edition
- ✓ Nolet, J. (2013). A Data Center for the Future: How to Make It a Reality. Datacenterjournal. Ανακτήθηκε από: <http://www.datacenterjournal.com/it/data-center-future-reality/>
- ✓ Bannister, M., & Eppstein, D. (2011). Randomized speedup of the Bellman-Ford algorithm. Ανακτήθηκε από: <http://arxiv.org/pdf/1111.5414.pdf>
- ✓ <http://en.wikipedia.org/wiki/Routing> Ανακτήθηκε στις 30/4/2014
- ✓ http://en.wikipedia.org/wiki/Bellman%E2%80%93Ford_algorithm Ανακτήθηκε στις 30/4/2014
- ✓ http://docwiki.cisco.com/wiki/Routing_Basics Ανακτήθηκε στις 30/4/2014
- ✓ http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra's_algorithm Ανακτήθηκε στις 30/4/2014
- ✓ http://en.wikipedia.org/wiki/Data_center Ανακτήθηκε στις 2/5/2014
- ✓ <http://www.datacenterjournal.com/it/data-center-future-reality/> Ανακτήθηκε στις 8/5/2014