



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Τμήμα Πληροφορικής

Πτυχιακή Εργασία

Ανίχνευση εισβολών με αρχιτεκτονική Lambda.

Ευφροσύνη Καλτιριμίδου

Επιβλέπων:

Αθηνά Βακάλη

Καθηγήτρια

Θεσσαλονίκη 2016

Περιεχόμενα

1	Αρχιτεκτονική Lambda	6
1.	Επίπεδα	6
2.	Query	8
3.	Προϋπολογισμός	8
4.	Batch Layer	9
4.1	Πλεονεκτήματα	11
4.2	Μειονεκτήματα	11
5.	Serving Layer	11
6.	Serving - Batch Layer	13
7.	Speed Layer	14
8.	Σύνοψη	16
2	Data Model	18
1.	Ορολογία	19
2.	Ιδιότητες των δεδομένων	19
2.1	Rawness	19

2.2	Immutability	20
2.3	Perpetuity	20
2.4	Delete	21
3.	Αναπαράσταση των δεδομένων	21
4.	Σύνοψη	22
3	Master Dataset Store	24
1.	System Requirements	25
2.	Επιλογή συστήματος	27
2.1	Σχεσιακές βάσεις δεδομένων	27
2.2	Key-value βάσεις δεδομένων	27
2.3	Filesystem	28
3.	Distributed Filesystem	28
3.1	Immutability	28
3.2	Scalability-Parallelism	29
3.3	Data Loss	29
3.4	Υλοποιήσεις	29
4.	Σύνοψη	30
4	HDFS	31
1.	Αρχιτεκτονική	31
1.1	Namenode	32
1.2	DataNode	32

1.3	HDFS Client	33
	A' Ορολογία	34

Κεφάλαιο 1

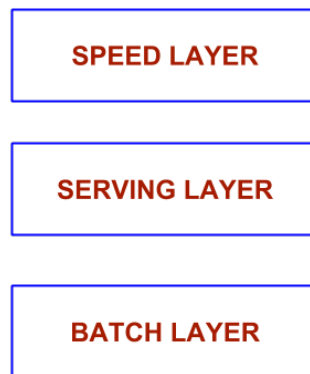
Αρχιτεκτονική Lambda

Ένα από τα πιο σύνθετα προβλήματα που χρειάζεται να αντιμετωπίζουν τα Big Data συστήματα είναι η εύρεση λύσης/απάντησης σε πραγματικό χρόνο. Κατά την αρχική τους σχεδίαση, δεν υπήρχε καμία πρόβλεψη για την αντιμετώπιση αυτού του είδους των προβλημάτων και φαινόταν έξω από την σφαίρα των δυνατοτήτων τους. Η υποστήριξη και την ανάπτυξη που έλαβαν τα επόμενα χρόνια, βοήθησαν να αναπτυχθούν και να εδραιωθούν σε όλο και περισσότερους τομείς της πληροφορικής. Ο τομέας των *real-time analytics* αποδείχθηκε ένα αρκετά μεγάλο πρόβλημα, λόγω του όγκου της πληροφορίας που αποθηκεύεται σε ένα τέτοιο σύστημα. Η λύση ακόμα δεν έχει δοθεί από ένα μόνο σύστημα αλλά έχει περιγραφεί μια αρχιτεκτονική συστημάτων που παράγει το επιθυμητό αποτέλεσμα, με μερικούς περιορισμούς. Η αρχιτεκτονική αυτή ονομάζεται Lambda και οι βασικές της αρχές θα αναλυθούν σε αυτό το κεφάλαιο.

1. Επίπεδα

Το αξίωμα της αρχιτεκτονικής Lambda είναι ο χωρισμός του συστήματος σε επίπεδα. Κάθε Big Data σύστημα που την εφαρμόζει θα αποτελεί μια σειρά από επίπεδα, όπου σε κάθε επίπεδο χρησιμοποιείται διαφορετικό σύστημα. Όλα μαζί τα επίπεδα λειτουργούν ως ένα ενιαίο *real-time system*. Το κάθε επίπεδο έχει διαφορετικό σκοπό και ενεργεί σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των επιπέδων κάτω από αυτό. Στην πολύ απλή τους μορφή τα επίπεδα είναι αυτά που φαίνονται στο σχήμα 1.1 .

Σχήμα 1.1: Επίπεδα της Αρχιτεκτονικής Lambda



2. Query

Ένας πολύ απλός ορισμός των επιπέδων αρκεί, για αυτό το κεφάλαιο, για να γίνει κατανοητή η λειτουργία της Αρχιτεκτονικής Lambda. Το πρόβλημα που πρέπει να λυθεί είναι τα *real-time analytics*. Αυτό μπορεί να συνοψιστεί, για να γίνει πιο γενικό, σε μια πρόταση ως εξής:

```
query = function(all data)
```

Όπου *query* είναι η ερώτηση που υποβάλετε στο σύστημα, η *function* είναι η συνάρτηση υπολογισμού της απάντησης πάνω στα *data*, όλα τα δεδομένα που έχει αποθηκευμένα το σύστημα εκείνη την χρονική στιγμή.

Στα περισσότερα Big Data συστήματα αυτός ο υπολογισμός θα απαιτούσε από μερικές ώρες μέχρι μερικές ημέρες, δεδομένου του μεγέθους που έχουν τα δεδομένα και την πολυπλοκότητα του υπολογισμού. Για να μπορέσει να απαντηθεί ένα τέτοιο ερώτημα σε *real-time* θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν τεράστιες υποδομές ηλεκτρονικών υπολογιστών και το κόστος, στις περισσότερες περιπτώσεις, για κάτι τέτοιο υπερβαίνει την αξία της απάντησης. Με την Αρχιτεκτονική Lambda αναμένετε η απάντηση να δοθεί σε μερικά δευτερόλεπτα έως λεπτά σε υποδομές πολύ μικρότερης κλίμακας και κόστους.

3. Προϋπολογισμός

Η λύση που υλοποιεί η Αρχιτεκτονική Lambda υποστηρίζετε από τον προϋπολογισμό της απάντησης. Δηλαδή η απάντηση δεν υπολογίζεται από την βασικό dataset την στιγμή που υποβάλετε η ερώτηση, αλλά έχει ήδη υπολογιστεί σε προγενέστερο χρόνο και έχει αποθηκευτεί στο σύστημα. Η προϋπολογισμένη απάντηση, στην Αρχιτεκτονική Lambda, ονομάζεται *batch view*. Πλέον η προηγούμενη μορφή του υπολογισμού έχει πάρει μια διαφορετική μορφή:

```
batch view = function (all data)
query = function (batch view)
```

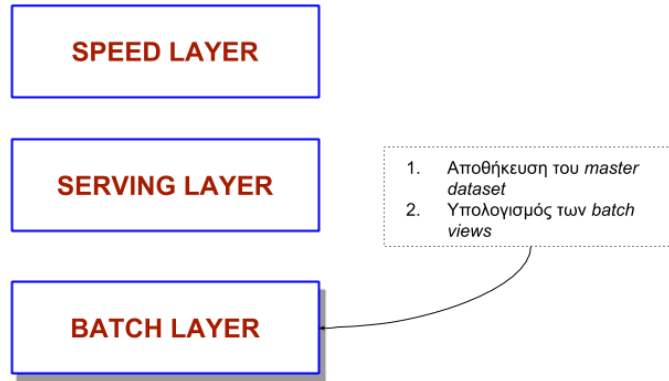
Τα *batch view* είναι *indexed* για να είναι πιο γρήγορη και εύκολη η εύρεση του σωστού *batch view* και να απαντηθεί το *query* μέσα στον επιθυμητό χρόνο.

4. Batch Layer

Το επίπεδο της Αρχιτεκτονικής που υπολογίζει τα *batch view* από το *dataset* ονομάζεται *batch layer* και αποτελεί το πρώτο επίπεδο του συστήματος. Εκτός από τον υπολογισμό των *batch view*, το *batch layer* είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση του *master dataset*, δηλαδή των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των *batch view*. Το σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί στο *batch layer* θα πρέπει να αποθηκεύει αποδοτικά και με ασφάλεια μεγάλα μεγέθη δεδομένων που συνεχώς θα αυξάνονται, και να εφαρμόζει πάνω τους, τους αλγορίθμους υπολογισμού των *batch view* όποτε εισάγονται νέα δεδομένα στο σύστημα. Τέτοια συστήματα ονομάζονται *batch-processing systems*. Ένα από τα πιο δημοφιλή τέτοια συστήματα είναι το **Hadoop**, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί και σε αυτή την περίπτωση, αλλά θα περιγραφεί αναλυτικότερα σε επόμενα κεφάλαια. Η εισαγωγή δεδομένων στο *batch view* γίνεται με *batch updates*, δηλαδή τα δεδομένα που έρχονται για προσθήκη, δεν εισάγονται αμέσως, αντίθετα αποθηκεύονται προσωρινά σε κάποιο άλλο σύστημα, και μόλις το μέγεθος τους περάσει έναν ορισμένο αριθμό εισάγονται όλα μαζί στο *batch layer*. Αυτή η μέθοδος βοηθάει την απόδοση του συστήματος με δύο τρόπους:

1. Σε *batch-processing systems*, όπως είναι το **Hadoop**, των οποίων οι αποθηκευτικές μέθοδοι είναι **WORM (Write Once Read Many)** η πράξη της εγγραφής είναι ιδιαίτερα δαπανηρή σε υπολογιστική ισχύ και χρόνο. Αυτό συμβαίνει επειδή η πράξη της εγγραφής, για μια ομάδα δεδομένων, θα γίνει μόνο μια φορά στο σύστημα και δεν θα ξαναγίνει. Συνεπώς έχει δοθεί μεγαλύτερη σημασία στην ταχύτητα της ανάγνωσης των δεδομένων, η οποία θα εκτελείτε πολλές φορές. Σε τέτοια συστήματα είναι πιο αποδοτικό να γράφονται πολλά δεδομένα μαζί μια φορά αντί να γίνονται συνεχόμενες εγγραφές, λίγων δεδομένων κάθε φορά.
2. Ο υπολογισμός των νέων *batch view* είναι ιδιαίτερα χρονοβόρος, και το σύστημα καθυστερεί στην εξυπηρέτηση ερωτήσεων όσο υπολογίζει. Συνεπώς η προσθήκη δεδομένων πρέπει να αναβάλλετε και να εκτελείτε σε κάποια από τις παρακάτω περιπτώσεις:
 - (α') Το μέγεθος των νέων δεδομένων έχει περάσει ένα ορισμένο κατώφλι που θεωρείται το σωστό για εισαγωγή στο σύστημα.
 - (β') Είναι μια συγκεκριμένη ώρα/περίοδος της ημέρας που θεωρείται ιδανική για εισαγωγή των νέων δεδομένων λόγω μικρού φόρτου εργασίας και πρόσβασης στο σύστημα εκείνη την ώρα, ακόμα και αν δεν είναι ακόμα στο σωστό μέγεθος.

Σχήμα 1.2: Batch Layer



Μια απεικόνιση του *batch layer* φαίνεται στο σχήμα 1.2.

4.1 Πλεονεκτήματα

Παραλληλισμός Το *batch layer* είναι το πιο απλό και εύκολο στην χρήση επίπεδο της Αρχιτεκτονικής Lambda. Οι αλγόριθμοι που υπολογίζουν τα *batch view* είναι υλοποιημένοι ως γραμμικοί αλγόριθμοι αλλά εκτελούνται παράλληλα χάρη στους μηχανισμούς που προσφέρει το *batch layer*.

Επεκτασιμότητα Καθώς αυξάνετε ο όγκος των δεδομένων, θα πρέπει να αυξάνετε και το μέγεθος του συστήματος για να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις. Στο *batch layer*, η επέκταση γίνεται απλά με την εισαγωγή νέων μηχανημάτων στο σύστημα.

Ασφάλεια Η ασφάλεια των δεδομένων που αποθηκεύονται στο *batch layer* διασφαλίζεται με τους μηχανισμούς που προσφέρει το σύστημα, χωρίς να χρειαστεί να σχεδιαστούν πολύπλοκες αρχιτεκτονικές και έλεγχοι από τον διαχειριστή.

4.2 Μειονεκτήματα

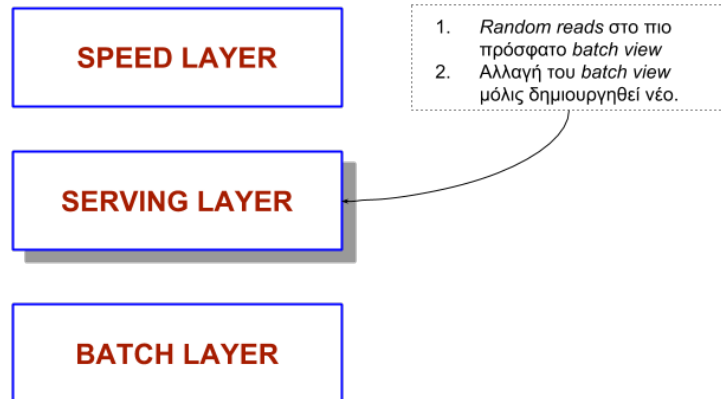
Το προφανές μειονέκτημα αυτής της υλοποίησης είναι η ανάγκη το σύστημα να γνωρίζει από πριν τις ερωτήσεις που θα του υποβληθούν στο μέλλον. Δεν υπάρχει η δυνατότητα να απαντήσει, σε *real-time*, ερώτηση που δεν έχει καταχωρηθεί στις γνωστές. Επίσης από την στιγμή που θα εισαχθεί μια νέα ερώτηση, υπάρχει ένα χρονικό διάστημα που χρειάζεται για τον υπολογισμό των *batch view* ώστε να είναι σε θέση να την απαντήσει. Αυτό το μειονέκτημα καθιστά την Αρχιτεκτονική Lambda λύση για ένα υποσύνολο των προβλημάτων που ανάγονται σε *real-time analytics* προβλήματα.

5. Serving Layer

Το επίπεδο μετά το *batch layer* είναι το *serving layer* το οποίο είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση και την χρησιμοποίηση των *batch view* στην απάντηση ερωτήσεων. Στην γενική του μορφή, πρόκειται για μια ειδική *distributed database* η οποία κρατάει το πιο πρόσφατο *batch view*. Κάνοντας *random reads* στο *batch view* απαντάει στα *queries* που υποβάλλονται στο σύστημα. Επίσης, μόλις δημιουργηθεί νέο *batch view* είναι υπεύθυνη να αντικαταστήσει το *batch view* που έχει με το καινούργιο ώστε να περιλαμβάνονται και τα νέα δεδομένα στις απαντήσεις.

Το *serving layer*, συνεπώς, έχει μόνο δύο ενέργειες, τα *random reads* πάνω στο

Σχήμα 1.3: Serving Layer



batch view που έχει εκείνη την στιγμή, και το *update* του *batch view* κάθε φορά που δημιουργείται καινούργιο. Ένα από τα πιο σύνθετα κομμάτια τέτοιων συστημάτων, *distributed database*, είναι το *random write* που πρέπει να υποστηρίζουν αποδοτικά. Το οποίο, σε αυτή την περίπτωση, δεν χρειάζεται και το σύστημα που χρησιμοποιείται στο *serving layer* είναι ιδιαίτερα απλό. Σε αυτό το επίπεδο θα χρησιμοποιηθεί η βάση **ElephantDB** η οποία υποστηρίζει αποδοτικά όλα αυτά που απαιτούνται και είναι πολύ απλή στη χρήση της. Μια απεικόνιση του *serving layer* φαίνεται στο σχήμα 1.3.

6. Serving - Batch Layer

Σε αυτό το σημείο, έχοντας τα δύο επίπεδα *batch* και *serving*, το σύστημα μπορεί να απαντήσει σε *real-time* τις ερωτήσεις που έχουν οριστεί, με μια απόκλιση μερικών ωρών, ανάλογα από το πόσο παλιό είναι το *batch view* που χρησιμοποιείται στο *serving layer*. Επίπλέον, ικανοποιεί όλα τα κριτήρια ενός *Big Data* συστήματος. Αναλυτικότερα:

Robustness και fault tolerance Το **Hadoop** διαχειρίζεται την απενεργοποίηση μηχανημάτων του συστήματος με δικούς του μηχανισμούς σχεδιασμένους να προσφέρουν την μεγαλύτερη δυνατή διαθεσιμότητα. Το *serving layer* χρησιμοποιεί αντίγραφα για το διασφαλίσει και την δικιά του διαθεσιμότητα σε τέτοιες περιπτώσεις. Επιπρόσθετα, και τα δύο επίπεδα είναι ανθεκτικά σε ανθρώπινα λάθη, όπως λάθος δεδομένα ή αλγορίθμους υπολογισμού, επειδή οποιαδήποτε στιγμή τα *batch view* μπορούν να επαναυπολογιστούν με νέους αλγορίθμους και με την διαγραφή των λάθος δεδομένων.

Scalability Και τα δύο επίπεδα, αποτελούνται από κατανεμημένα συστήματα ειδικά φτιαγμένα ώστε να μπορούν να κάνουν *scale* πολύ εύκολα και γρήγορα.

Generalization Η αρχιτεκτονική που περιγράφηκε, ως τώρα, είναι ιδιαίτερα γενική και δεν περιορίζετε στο σύνολο των προβλημάτων που περιγράφονται σε αυτή την περίπτωση μόνο.

Extensibility Η προσθήκη νέων ερωτήσεων, *views*, αλγορίθμων, δεδομένων είναι πολύ απλή αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτεί κάποιο χρόνο υπολογισμού από το σύστημα.

Ad hoc ερωτήσεις Από την στιγμή που τα δεδομένα υπάρχουν αποθηκευμένα στο σύστημα, μπορούν να απαντηθούν *ad hoc* ερωτήσεις αλλά δεν θα είναι άμεσα διαθέσιμη η απάντηση, όπως στις προκαθορισμένες ερωτήσεις.

Minimal maintenance Έχουν επιλεγθεί εύκολα στην εκμάθηση και διατήρηση τους συστήματα για κάθε επίπεδο, για να γίνει η δουλειά του διαχειριστή πιο εύκολη.

Debuggability Σε κάθε επίπεδο είναι διαθέσιμα τα *inputs* και τα *outputs* των αλγορίθμων, συνεπώς η εύρεση του λάθους γίνεται πιο εύκολη με την σύγκριση των αποτελεσμάτων και των επιθυμητών τιμών.

Με αυτά τα δύο επίπεδα μπορεί να επιλυθεί το πρόβλημα που αναλύθηκε, στην αρχή του κεφαλαίου. Αποτελεί μια απλή και εύκολη σχετικά λύση, χωρίς

θέματα συγχρονισμού, και με εύκολη επεκτασιμότητα. Η μόνη λειτουργικότητα που λείπει είναι η άμεση ενημέρωση απαντήσεων με τα καινούργια δεδομένα. Αυτό το εκτελεί το υψηλότερο επίπεδο, το *speed layer*.

7. Speed Layer

Κάθε απάντηση που δίνετε, μέχρι στιγμής, από το σύστημα, υπολογίζεται από το νεότερο *batch view* που υπάρχει στο *serving layer*. Τα δεδομένα που φτάνουν στο σύστημα μετά τον υπολογισμό του ενεργού *batch view* και πριν τον υπολογισμό του επόμενου *batch view*, δεν περιλαμβάνονται στις απαντήσεις που δίνονται από το σύστημα σε αυτό το διάστημα. Για να είναι ολοκληρωμένο το σύστημα θα πρέπει να καλυφθεί και αυτή η περίπτωση. Το *speed layer* αναλαμβάνει να υπολογίσει και να βγάλει απαντήσεις από τα πιο πρόσφατα δεδομένα, τα οποία ακόμα δεν έχουν εισαχθεί στο *dataset* του *batch layer*. Όπως φαίνεται από το όνομα του, απαιτείται να είναι πολύ γρήγορο στους υπολογισμούς που θα τρέξει καθώς το σύστημα πρέπει να δώσει την απάντηση σε *real time*.

Παρομοίως με το *batch layer*, το *speed layer* παράγει *views*, με την διαφορά ότι χρησιμοποιεί μόνο τα πρόσφατα δεδομένα, που δεν έχουν εισαχθεί στο *dataset*. Αυτά τα *views*, ονομάζονται *realtime views*. Επίσης το *speed layer* δεν παράγει συνεχώς καινούργια *views* με κάθε εισαγωγή δεδομένων, αντίθετα ενημερώνει το ήδη υπάρχον *realtime view* ώστε να περιέχει τα καινούργια δεδομένα. Η πράξη του επανυπολογισμού ολόκληρου του *view* είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα όσο περισσότερα δεδομένα μαζεύονται για τους υπολογισμούς, συνεπώς το σύστημα θα χρειάζεται συνεχώς περισσότερο χρόνο για τον υπολογισμό τους.

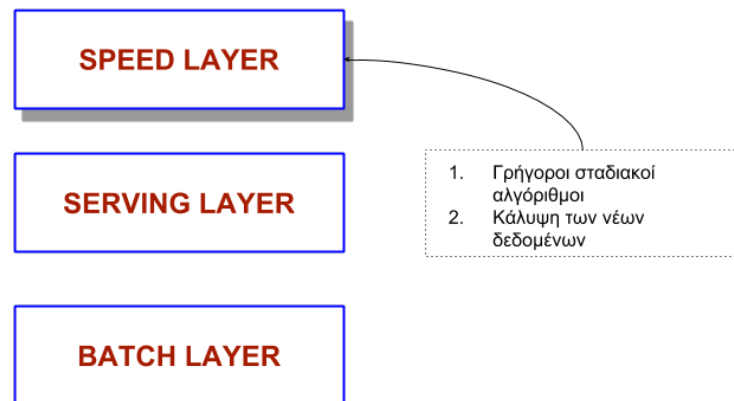
Η πράξη που εκτελεί το *speed layer* μπορεί να περιγραφτεί ως εξής:

```
realtime view = function(realtime view, new data)
```

Για την αποθήκευση των νέων δεδομένων και την άμεση πρόσβαση σε αυτά από το *speed layer*, απαιτείται η χρήση μιας βάσης δεδομένων που υποστηρίζει *random reads* και *writes*. Αυτό το κομμάτι, αυξάνει την πολυπλοκότητα και την διαχειριστική δυσκολία του συστήματος.

Μια απεικόνιση του *speed layer* φαίνεται στο σχήμα 1.4.

Σχήμα 1.4: Speed Layer



Η τελική απάντηση στην ερώτηση θα βγει ως συνδυασμός του *batch view* και του *realtime view*.

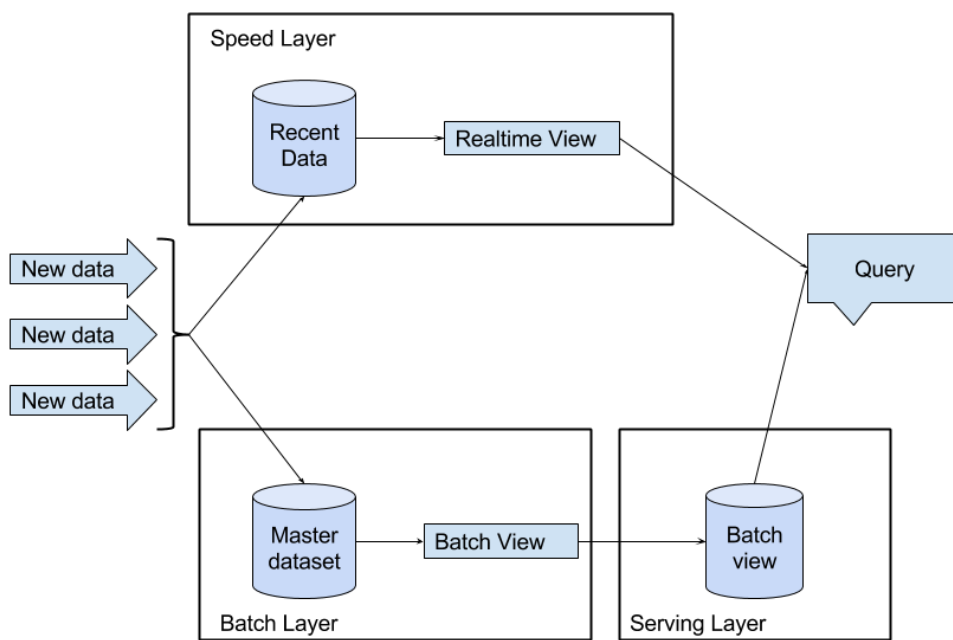
8. Σύνοψη

Ανακεφαλαιώνοντας, οι υπολογισμοί της Αρχιτεκτονικής Lambda μπορούν να αποδοθούν ως:

```
batch view = function(all data)
realtime view = function(realtime view, new data)
query = function(batch view, realtime view)
```

Στην εικόνα 1.5 φαίνεται πλέον αναλυτικά ο διαχωρισμός των επιπέδων, και τι περιέχει το καθένα.

Σχήμα 1.5: Serving Layer



Κεφάλαιο 2

Data Model

Ο πυρήνας της αρχιτεκτονικής Lambda είναι τα δεδομένα της και συγκεκριμένα το master dataset που αποθηκεύεται στο batch layer. Το master dataset αποτελεί την πηγή της “αλήθειας” όπως έχει καταγραφεί και αποθηκευτεί. Ακόμα και αν όλα τα views στο speed και serving layer χανόντουσαν, το σύστημα μπορεί να τα ξαναδημιουργήσει μέσα σε μερικές ώρες από το master dataset. Είναι προφανές ότι το master dataset είναι το μοναδικό κομμάτι της αρχιτεκτονικής Lambda το οποίο πρέπει να προφυλαχτεί από data corruption, disk failure, και άλλα σφάλματα που οδηγούν στη μη αναστρέψιμη απώλεια δεδομένων.

1. Ορολογία

Είναι σημαντικό να καθορίσουμε την ορολογία που χρησιμοποιείται σε κάθε θεματικό επίπεδο ώστε να γίνει σαφές το περιεχόμενο του.

Information Είναι οι πληροφορίες που έχουν σχέση με την εφαρμογή που εκτελείται στο σύστημα.

Data Οι πληροφορίες που δεν μπορούν να εξαχθούν/υπολογιστούν από άλλα δεδομένα που κατέχονται. Αποτελούν το master dataset. Θα αναφέρονται ως δεδομένα.

Views Πληροφορίες που έχουν εξαχθεί/υπολογιστεί από τα Data.

Queries Ερωτήσεις που υποβάλλονται στο σύστημα και απαντώνται από τα Views.

2. Ιδιότητες των δεδομένων

Υπάρχουν τρεις ιδιότητες που προτείνεται να έχουν τα δεδομένα του master dataset και αναφέρονται ως rawness, immutability, perpetuity ή όπως αποδίδονται σε μία έκφραση “eternal trueness of data”. Η κάθε μία ιδιότητα θα αναλυθεί και θα εξηγηθεί για να γίνει σαφές ο λόγος που προτείνεται.

2.1 Rawness

Οι πληροφορίες που αποθηκεύονται στο master dataset και αποτελούν τα δεδομένα πρέπει να είναι στην πιο ακατέργαστη μορφή τους, κατά προτίμηση στη μορφή σχεδόν που τα λαμβάνουμε χωρίς καμία τροποποίηση ή διαγραφή. Το σύστημα είναι ένα Query Answering σύστημα με κύρια πηγή πληροφοριών το master dataset. Όσο πιο ακατέργαστα είναι τα δεδομένα που κατέχει τόσο περισσότερες ερωτήσεις μπορεί να απαντήσει. Αυτό οφείλετε στο γεγονός ότι οι μέθοδοι κατεργασίας των δεδομένων για αποθήκευση εφαρμόζουν αλγόριθμους για serialization πάνω στα δεδομένα κατά την οποία μπορεί να διαγραφούν δεδομένα που δεν έχουν προβλεφθεί κατά την σχεδίαση των αλγορίθμων ή να μετατραπούν. Επειδή δεν είναι γνωστά από την αρχή όλα τα ερωτήματα που θα υποβληθούν στο σύστημα είναι προτιμότερο να κατέχει όλη την πληροφορία

στην αρχική της μορφή ώστε να μπορεί να απαντήσει όποιο ερώτημα προκύψει.

2.2 Immutability

Η επόμενη ιδιότητα των δεδομένων είναι η αμεταβλητότητα τους, η μόνη ενέργεια που επιτρέπεται στο master dataset είναι η Add και δεν υπάρχει Update. Η Delete είναι μια ειδική περίπτωση ενέργειας και επιτρέπεται κάτω από συγκεκριμένες περιπτώσεις. Α αμεταβλητότητα των δεδομένων εμφανίζει δύο πλεονεκτήματα.

Ασφάλεια από Ανθρώπινα λάθη Ένας από τους λόγους απώλειας δεδομένων σε πολλές περιπτώσεις οφείλετε σε λάθος πράξεις του ανθρώπινου παράγοντα. Με την αμεταβλητότητα, κανένας χρήστης ή διαχειριστής δεν μπορεί να αλλοιώσει τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα, αλλά μόνο να προσθέσει καινούργια. Αν αυτά τα καινούργια είναι λανθασμένα μπορούν εύκολα να διαγραφούν και το σύστημα να συνεχίσει να δουλεύει δημιουργώντας εκ νέου τα Views του με τα σωστά δεδομένα.

Simplicity Η αποθήκευση δεδομένων που μπορούν να μεταβληθούν στο μέλλον απαιτεί την ύπαρξη τεχνικών εύρεσής συγκεκριμένων δεδομένων. Απαιτείται δηλαδή κάποιο indexing. Αντίθετα η εγγραφή αμετάβλητων δεδομένων προϋποθέτει μόνο έναν μηχανισμό για Append στο master dataset το οποίο είναι πολύ πιο απλό στο σχεδιασμό και υλοποίηση του συστήματος.

Ένα από τα μειονεκτήματα του immutable dataset είναι οι μεγαλύτερες απαιτήσεις σε αποθηκευτικό χώρο καθώς δεν γίνεται κάποιος χωρισμός των δεδομένων σε πίνακες, πολλά στοιχεία μπορεί να αποθηκεύονται ξανά και ξανά με κάθε εγγραφή.

2.3 Perpetuity

Η συγκεκριμένη ιδιότητα επιβεβαιώνει αυτό που θεωρούνταν ως τώρα αυτονόητο, τα δεδομένα είναι και θα είναι για πάντα αληθινά. Data is eternally true. Το immutability δεν μπορεί να υποστηριχθεί χωρίς να ικανοποιείται το perpetuity. Η ιδιότητα αυτή καλύπτεται από την προσθήκη timestamp στις πληροφορίες που αποθηκεύονται στο master dataset, από την στιγμή που υπάρχει χρόνος αναφοράς για τα δεδομένα είναι εύκολο να ελεγχθεί και αν όντως ισχύουν.

2.4 Delete

Αναφέρθηκε ήδη μια περίπτωση όπου η διαγραφή των immutable δεδομένων είναι επιτρεπτή και μάλιστα απαραίτητη για την σωστή λειτουργία του συστήματος. Θα αναφερθούν ακόμα δύο περιπτώσεις στις οποίες το Delete μπορεί να εφαρμοστεί στο master dataset. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις, η διαγραφή δεν έχει σχέση με την ορθότητα των δεδομένων αλλά με την αξία των δεδομένων.

Garbage collection Ο όρος είναι γνωστός και αναφέρεται στην συλλογή και εκκαθάριση άχρηστων δεδομένων. Παρομοίως μπορεί να εφαρμοστεί και στο master dataset για να μειώσει τον αποθηκευτικό χώρο που απαιτεί με το να διαγραφούν τα δεδομένα, ή τα κομμάτια των δεδομένων που έχουν την χαμηλότερη πληροφοριακή αξία.

Κανονισμοί Σε αρκετές περιπτώσεις ευαίσθητων και ιδιωτικών δεδομένων, απαιτείται η διαγραφή τους είτε μετά είτε κατά την συλλογή τους.

Σε όλες τις περιπτώσεις διαγραφής θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για να ολοκληρωθεί η διαδικασία σωστά και χωρίς επιπλέον απώλειες δεδομένων. Συνιστάται η αντιγραφή ολόκληρου του master dataset, η εφαρμογή των αλγορίθμων για την διαγραφή των κατάλληλων δεδομένων και ο έλεγχος έχουν απομείνει τα σωστά δεδομένα χωρίς απώλειες. Το αντίγραφο μπορεί να διαγραφεί με ασφάλεια αφού δημιουργηθούν τα καινούργια Views και δοκιμαστούν με επιτυχία.

3. Αναπαράσταση των δεδομένων

Μετά τον ορισμό των ιδιοτήτων των δεδομένων μας, θα αναλυθεί ο προτεινόμενος τρόπος αναπαράστασης τους μέσα στο master dataset. Γενικά υπάρχουν πολλοί τρόποι αναπαράστασης των δεδομένων εκτός των σχεσιακών βάσεων δεδομένων όπως, XML, JSON και άλλα.

Για την αρχιτεκτονική Lambda προτείνετε η αποθήκευση και αναπαράσταση των δεδομένων σε Fact-based Model. Σε αυτό το μοντέλο, η πληροφορία χωρίζεται σε κομμάτια όπου το καθένα αποτελεί ένα Fact. Το κάθε fact πρέπει ικανοποιεί δύο προϋποθέσεις για να μπορεί να εισαχθεί στο master dataset.

Atomic Η πρώτη προϋπόθεση αναφέρεται στο γεγονός ότι το fact δεν μπορεί να διαιρεθεί σε μικρότερα facts. Είναι το ελάχιστο κομμάτι πληροφορίας που μπορούμε να συλλέξουμε.

Timestamped Κάθε fact συνοδεύεται από μια χρονική σήμανση που δηλώνει την χρονική στιγμή που συλλέχτηκε/δημιουργήθηκε.

Unique Κάθε fact πρέπει να είναι μοναδικό να εύκολα διαχειρίσιμο από τα υπόλοιπα. Για πολλούς λόγους μπορούν να προκύψουν διπλότυπες εγγραφές κατά την συλλογή των πληροφοριών. Θα πρέπει να υπάρχει ένα πεδίο που να είναι μοναδικό για το κάθε fact. Το timestamp δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί διότι σε περιπτώσεις που τις πληροφορίες τις συλλέγουν περισσότεροι από έναν agent, μπορεί να προκύψουν δύο facts με ίδια στοιχεία. Επίσης ακόμα και στην περίπτωση που την συλλογή την κάνει μόνο ένας agent, δικτυακά προβλήματα μπορεί να προκαλέσουν την αποστολή του ίδιου fact για εγγραφή παραπάνω από μία φορά. Προτείνετε η χρήση ενός ειδικού field ID που θα είναι μοναδικό για κάθε fact.

Ένα πολύ καλό παράδειγμα fact-based model αποτελούν τα logs που δημιουργούνται από servers και monitor services. Σε αυτά καταγράφετε η κάθε ενέργεια που εκτελείται στην εφαρμογή με την ακριβή χρονική στιγμή που εκτελέστηκε. Θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το fact-based model για να γίνει πιο σαφής η επιλογή του ως μοντέλο αναπαράστασης του master dataset.

- ▶ Μπορούν να ανακτηθούν δεδομένα με βάση την χρονική στιγμή. Δηλαδή οι ερωτήσεις που θα υποβληθούν μπορούν να προσδιορίζουν συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή περίοδο για την οποία επιθυμούν την απάντηση.
- ▶ Υπάρχει προστασία από ανθρώπινα λάθη που προσθέτουν λανθασμένες πληροφορίες στο dataset. Τα συγκεκριμένα facts μπορούν εύκολα να βρεθούν και να διαγραφούν από το dataset.
- ▶ Δεν υπάρχει καθορισμένο σχήμα που πρέπει να ακολουθούν τα δεδομένα, συνεπώς δεν υπάρχει ανησυχία για πεδία με τιμή NULL που μπορεί να υπάρξουν και πως θα γίνει ο χειρισμός τους.

4. Σύνοψη

Τα δεδομένα που αποθηκεύονται στο master dataset αποτελούν την βάση της αρχιτεκτονικής Lambda. Οι αποφάσεις που θα καθορίσουν τον τρόπο αναπαράστασης τους και των ιδιοτήτων που θα έχουν, θα καθορίσουν σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες του συστήματος. Ανάλογα με τα δεδομένα που θα υπάρχουν στο σύστημα και το πως είναι, θα δημιουργηθούν οι αλγόριθμοι ανάλυσης.

Το σημαντικό σε κάθε επιλογή που γίνεται είναι να λαμβάνεται πάντα υπόψη ότι τα δεδομένα όπως λαμβάνονται μπορεί να αλλάξουν με το πέρασμα του χρόνου και οι τεχνικές που θα αναπτυχθούν, καθώς και το μοντέλο που τα αναπαριστά πρέπει να είναι ευέλικτα ώστε να μπορούν να προσαρμοστούν.

Κεφάλαιο 3

Master Dataset Store

Αυτό το κεφάλαιο επικεντρώνετε στο σύστημα αποθήκευσης του master dataset που θα χρησιμοποιεί η αρχιτεκτονική Lambda. Η επιλογή ενός τέτοιου τρόπου θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση όλου του συστήματος. Τα δεδομένα που αναμένετε να αποθηκευτούν απαιτούν πολύ περισσότερο αποθηκευτικό χώρο από αυτό που μπορεί να προσφέρει αποδοτικό ένας μόνο server. Συνεπώς απαιτείται η χρήση ενός κατανεμημένου συστήματος αποθήκευσης. Το σύστημα αποθήκευσης θα πρέπει επίσης να είναι σε θέση να χειριστεί τις συνεχείς προσθήκες στο master dataset χωρίς να απαιτεί πολλούς χειρισμούς από τους διαχειριστές.

1. System Requirements

Υπάρχουν τρεις απαιτήσεις που χρειάζεται να καλύπτει το σύστημα αποθήκευσης. Αυτές αναφέρονται στις πράξεις που θα πρέπει να γίνονται πάνω στα δεδομένα. Τα δεδομένα μας θα είναι immutable και eternal. Το οποίο σημαίνει ότι δεν θα υπάρχει κανένα Update πάνω στα υπάρχοντα δεδομένα. Το σύστημα θα πρέπει να υποστηρίζει μόνο την Add και τη Delete σε πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις, απαιτείται επίσης να έχει πολύ καλή απόδοση στην εγγραφή καινούργιων δεδομένων σε μια μεγάλη συλλογή δεδομένων. Η πράξη της διαγραφής θεωρείται ότι θα συμβαίνει τόσο σπάνια που η απαίτηση να είναι optimal δεν είναι μεγάλης προτεραιότητας.

Η δεύτερη πράξη που θα εκτελεί το σύστημα είναι η ανάγνωση των δεδομένων από τους αλγορίθμους που θα κατασκευάζουν τα Views στο Batch layer. Το σύστημα θα πρέπει να έχει πολύ καλή απόδοση στην ανάγνωση πολλών δεδομένων, ολόκληρου του dataset στην χειρότερη περίπτωση. Τέτοια συστήματα περιγράφονται από το ακρωνύμιο WORM (Write Once Read Many) και είναι συστήματα αποθήκευσης δεδομένων που αναπτύσσονται για την εξυπηρέτηση Big Data αλγορίθμων.

Οι απαιτήσεις φαίνονται πιο αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.1: Απαιτήσεις Συστήματος

Πράξη	Απαιτήσεις	Σχόλια
Εγγραφή	Αποδοτική προσθήκη δεδομένων	Η μόνη πράξη εγγραφής εκτελείται για να προστεθούν δεδομένα στο master dataset. Δεν υπάρχει διαδικασία για Update.
	Scalable storage	Το master dataset, ανάλογα την περίπτωση και το θέμα της εφαρμογής, αναμένεται να χρησιμοποιεί από πολλές δεκάδες Gigabytes έως Petabytes για μεγάλες εφαρμογές. Θα πρέπει το σύστημα να μπορεί αποδοτικά να προσθέτει συνεχώς δεδομένα στο master dataset.
Ανάγνωση	Υποστήριξη παράλληλης ανάγνωσης	Η δημιουργία των Views στο Batch Layer θα γίνεται με την χρήση ολόκληρου του master dataset. Συνεπώς χρειάζεται υποστήριξη της παράλληλης επεξεργασίας για να μπορέσει να διαχειριστεί τον όγκο των δεδομένων αποδοτικά.
Εγγραφή και Ανάγνωση	Ευελιξία στην διαχείριση του κόστους αποθήκευσης/επεξεργασίας	Η αποθήκευση τέτοιου μεγέθους δεδομένα είναι πολύ κοστοβόρα. Μία λύση αποτελεί η συμπίεση των δεδομένων για εξοικονόμηση χώρου και η αποσυμπίεση τους για την επεξεργασία. Θα πρέπει να προσφέρετε η δυνατότητα συμπίεσης των δεδομένων και ανάκτησής τους όταν επιθυμεί ο χρήστης.
	Αμεταβλητότητα δεδομένων	Θα πρέπει να ληφθούν όλοι οι δυνατοί έλεγχοι και συνθήκες για να τηρηθεί η αμεταβλητότητα του master dataset.

Η τρίτη απαίτηση είναι εξίσου, αν όχι περισσότερο, σημαντική με τις προηγούμενες καθώς διασφαλίζει την ασφάλεια των δεδομένων και λαμβάνει όλες τις δυνατές ενέργειες για να μην υπάρξει καμία απώλεια. Βεβαίως κανένα σύστημα δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι καλύπτει κάθε περίπτωση απώλειας δεδομένων με απόλυτη ακρίβεια. Η σωστή επιλογή ενός αρκετά αποδοτικού fault-tolerant συστήματος με συνεχείς ελέγχους και ένα μηχανισμό backup μπορεί να καλύψει το μεγαλύτερο κομμάτι των περιπτώσεων και να κρατήσει τα δεδομένα ασφαλή.

2. Επιλογή συστήματος

Σύμφωνα με αυτές τις απαιτήσεις θα γίνει η επιλογή του κατάλληλου καταμερισμένου συστήματος αποθήκευσης. Επειδή υπάρχουν πολλές κατηγορίες συστημάτων για αποθήκευση δεδομένων θα επιλεγεί αεχικά ο τύπος του συστήματος και στη συνέχεια θα γίνει πιο εύκολη και η επιλογή ενός συγκεκριμένου.

2.1 Σχεσιακές βάσεις δεδομένων

Οι σχεσιακές βάσεις δεδομένων δεν ταιριάζουν ως σύστημα αποθήκευσης για τέτοιου είδους δεδομένα όπως έχει ήδη αναλυθεί. Χρειάζονται μεγάλο σχεδιασμό και χωρισμό των δεδομένων και των πεδίων τους κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό. Επίσης οι βάσεις δεδομένων παρέχουν πολλούς μηχανισμούς για τροποποίηση των δεδομένων, το οποίο είναι άχρηστο και επιβλαβές στη συγκεκριμένη περίπτωση.

2.2 Key-value βάσεις δεδομένων

Οι συγκεκριμένες βάσεις δεδομένων αποθηκεύουν τις πληροφορίες ως με έναν διαχωρισμό σε key και value, όπου key είναι ένα αναγνωριστικό για την μονάδα των πληροφοριών που αποθηκεύεται κάθε φορά, και value οι πληροφορίες. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την αρχιτεκτονική για το master dataset όπως έχει περιγραφεί. Δεν προτείνετε για τους λόγους ότι περιέχει πολλές επιπλέον υπηρεσίες που δεν χρειάζονται, όπως indexing των δεδομένων, απαιτεί μια σχεδίαση για τον καταμερισμό των δεδομένων και παρέχει από μόνο του μηχανισμούς για Update οι οποίοι θα πρέπει να απενεργοποιηθούν με κάποιο τρόπο.

2.3 Filesystem

Οι βάσεις δεδομένων οποιασδήποτε μορφής απαιτούν μια εξοικείωση του χρήστη με τον τρόπο λειτουργίας, τους μηχανισμούς και το σχήμα της βάσης για να μπορέσει να τις χρησιμοποιήσει. Αντίθετα το Filesystem είναι ένα σύστημα αποθήκευσης με το οποίο όλοι είναι εξοικειωμένοι ως μέρος κάθε λειτουργικού συστήματος. Επίσης ένα Filesystem αποτελεί μια πολύ απλή λύση στο πρόβλημα της αποθήκευσης καθώς τα πάντα γράφονται σε αρχεία και αποθηκεύονται σε φακέλους. Οι μέθοδοι εγγραφής είναι εύκολοι και γρήγοροι, απλά επισυνάπτονται δεδομένα σε αρχεία ή δημιουργούνται νέα. Το μέγεθος των δεδομένων που αντιμετωπίζουμε όμως δεν μπορεί να το χειριστεί ένας υπολογιστής με τα μέσα που διαθέτει, συνεπώς η αρχιτεκτονική Lambda απαιτεί ένα Distributed Filesystem.

3. Distributed Filesystem

Το πρόβλημα με το Filesystem, όπως έχει αναφερθεί είναι ότι ανήκει σε ένα μόνο μηχάνημα. Αυτό θέτει περιορισμούς στο μέγεθος του αποθηκευτικού χώρου και στην απόδοση του συστήματος. Τα προβλήματα αυτά έχουν ήδη επιλυθεί με την υλοποίηση των Distributed Filesystem, δηλαδή ενός Filesystem το οποίο αποτελείτε από πολλά διαφορετικά μηχανήματα συνδεδεμένα μεταξύ του μέσω δικτύου. Οι λεπτομέρειες για το πως ακριβώς δουλεύει ένα τέτοιο σύστημα δεν είναι κομμάτι αυτής της εργασίας. Θα αναλυθούν όμως μία μία οι απαιτήσεις που προαναφέρθηκαν και πως τις καλύπτει το Distributed Filesystem.

3.1 Immutability

Οι ενέργειες που επιτρέπονται σε ένα Distributed Filesystem είναι σχεδόν ίδιες με αυτές ενός απλού Filesystem, με κάποιες μικρές διαφορές, μία από αυτές, η τροποποίηση αρχείων. Πολλές υλοποιήσεις των Distributed Filesystem απαγορεύουν την αλλαγή αρχείων που έχουν αποθηκευτεί. Ο μόνος τρόπος προσθήκης δεδομένων είναι με την δημιουργία και αποθήκευση νέων αρχείων. Συνεπώς αυτές οι υλοποιήσεις, έχουν ήδη διαφυλάξει την αμεταβλητότητα των αρχείων. Για κάθε εισαγωγή δεδομένων θα δημιουργείται και ένα νέο αρχείο.

3.2 Scalability-Parallelism

Τα αρχεία δεν είναι αποθηκευμένα σε ένα μηχάνημα, αλλά βρίσκονται διαχωρισμένα σε όλα τα μηχανήματα του συστήματος μας. Ο αποθηκευτικός χώρος είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν που μπορεί να προσφέρει ένα μηχάνημα και η αύξηση του είναι πλέον πολύ απλή ενέργεια, με την εισαγωγή νέων μηχανημάτων. Επίσης τέτοια Distributed συστήματα παρέχουν έτοιμες παράλληλες τεχνικές για όλα τις πράξεις που πρέπει να εκτελεστούν ώστε να είναι αποδοτικά.

3.3 Data Loss

Τα Distributed Filesystem παρέχουν μηχανισμούς για την διαφύλαξη των δεδομένων από hardware failures, network failures κτλ. Το κάθε σύστημα έχει διαφορετικούς τρόπους για να το επιτύχει αλλά όλοι είναι αρκετά αποδοτικοί. Φυσικά κανένα σύστημα δεν μπορεί να είναι τελείως ασφαλές και να υπάρχει πρόβλεψη για κάθε πρόβλημα που μπορεί να προκύψει, αλλά με τα μέτρα που λαμβάνει το Distributed Filesystem, συνεχείς ελέγχους και περιοδικά backup του master dataset, η απώλεια δεδομένων αποτελεί πολύ σπάνια περίπτωση.

3.4 Υλοποιήσεις

Όπως αναφέρθηκε, υπάρχουν πολλές έτοιμες υλοποιήσεις Distributed Filesystem. Κάποιες από αυτές, που παρέχουν και προστασία από απώλεια δεδομένων, ονομαστικά είναι:

- ▶ BeeGFS
- ▶ Ceph
- ▶ GFS (Google Inc.)
- ▶ Windows Distributed File System (DFS) (Microsoft)
- ▶ GlusterFS (Red Hat)
- ▶ HDFS (Apache Software Foundation)
- ▶ LizardFS (Skytechnology)
- ▶ MooseFS (Core Technology / Gemius)

- ▶ OneFS (EMC Isilon)
- ▶ OrangeFS (Clemson University, Omnibond Systems)
- ▶ ObjectiveFS
- ▶ Panfs (Panasas)
- ▶ RozoFS (Rozo Systems)
- ▶ Parallel Virtual File System (Clemson University, Argonne National Laboratory, Ohio Supercomputer Center)
- ▶ XtreamFS

4. Σύνοψη

Η επιλογή του σωστού συστήματος αποθήκευσης έχει επίσης μεγάλη συνεισφορά στην απόδοση του συστήματος. Η σωστή ανάλυση των απαιτήσεων και των συστημάτων που προσφέρονται αποτελεί ένα αναγκαίο βήμα στον σχεδιασμό της κάθε αρχιτεκτονικής. Οι κυριότερες απαιτήσεις που πρέπει να καλυφθούν αφορούν τα δεδομένα και την διαφύλαξη τους με κάθε δυνατό μέσο. Άλλες απαιτήσεις που μπορούν να βοηθήσουν στην επιλογή του κατάλληλου συστήματος είναι η ευχέρεια και η γνώση των διαχειριστών με κάποιο/α από αυτά τα συστήματα, ο κώδικας του συστήματος και αν είναι open source, οι χρηματικοί πόροι. Αλλά αυτές οι απαιτήσεις είναι πολύ ειδικές και σχετίζονται με την κάθε εφαρμογή ξεχωριστά, συνεπώς δεν θα γίνει η ανάλυση τους.

Για τη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική έχει επιλεγθεί το σύστημα HDFS.

Κεφάλαιο 4

HDFS

Το σύστημα HDFS (Hadoop Distributed File System) είναι ένα κατακευμαμένο σύστημα αρχείων σχεδιασμένο για να λειτουργεί σε μεγάλο πλήθος μηχανημάτων. Έχει πολλές ομοιότητες με τα υπάρχοντα κατακευμαμένα συστήματα αρχείων, αλλά και πολύ σημαντικές διαφορές. Το HDFS είναι εξαιρετικά ανεκτικό σε σφάλματα και έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε υλικό χαμηλού κόστους. Παρέχει υψηλό throughput για τα δεδομένα της εφαρμογής και είναι κατάλληλο για εφαρμογές που έχουν μεγάλα σύνολα δεδομένων. Μερικές απαιτήσεις POSIX παραβλέπονται για να επιτραπεί και στις υπηρεσίες streaming τη πρόσβαση στα δεδομένα του συστήματος. Το HDFS αρχικά αναπτύχθηκε ως υποδομή για το έργο της μηχανής αναζήτησης Ιστού Apache Nutch. Τώρα είναι ένα κομμάτι του project Apache Hadoop.

1. Αρχιτεκτονική

Η υλοποίηση του HDFS που θα χρησιμοποιηθεί είναι η έκδοση που περιλαμβάνετε στο Hadoop 2, το οποίο θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια. Ακολουθεί την αρχιτεκτονική Master-Slave που είναι και η αρχιτεκτονική ολόκληρου του Hadoop. Οι δύο κύριες υπηρεσίες του είναι το Namenode και το Datanode. Αυτές οι δύο αποτελούν τον κορμό του συστήματος αλλά θα αναλυθούν και άλλες υπηρεσίες και ο ρόλος τους.

1.1 Namenode

Το Namenode είναι μια υπηρεσία master που εκτελείται σε ένα μηχάνημα του cluster και αποθηκεύει την κατάσταση των των αρχείων και καταλόγων σε μια ιεραρχία. Τα αρχεία αυτά περιέχουν στοιχεία όπως χαρακτηριστικά των αποθηκευμένων δεδομένων, όπως τα δικαιώματα, τροποποιήσεις και τους χρόνους πρόσβασης, ονομάτων και τον χώρο στο δίσκο. Τα δεδομένα που αποθηκεύονται στο HDFS είναι χωρισμένα σε blocks (συνήθως 128 megabytes, και κάθε block του αρχείου είναι αντιγραφμένο σε πολλαπλά DataNodes. Το NameNode διατηρεί το namespace και την χαρτογράφηση του κάθε block στα DataNodes. Είναι μια πολύ σημαντική υπηρεσία χωρίς την οποία το σύστημα δεν μπορεί να λειτουργήσει. Για τον λόγο αυτό υπάρχει και μια υπηρεσία που ονομάζεται SecondaryNameNode η οποία τρέχει σε διαφορετικό μηχάνημα από το Namenode και κρατάει ένα πιστό όλων των δεδομένων του Namenode. Σε περίπτωση κατάρρευσης του Namenode, το σύστημα ειδοποιεί το SecondaryNameNode να αναλάβει την ευθύνη του Namenode μέχρι να επανέλθει σε σωστή λειτουργία.

1.2 DataNode

Η υπηρεσία Datanode εκτελείται στα slave μηχανήματα του cluster. Αναλαμβάνουν την αποθήκευση των blocks και των metadata που σχετίζονται με κάθε block. Τα metadata περιλαμβάνουν checksums για τον επιβεβαίωση της ακεραιότητας των δεδομένων και το generation stamp που δηλώνει την ακριβή ημερομηνία και ώρα εισαγωγής τους στο HDFS. Κατά την εκκίνηση, κάθε DataNode συνδέεται με το NameNode και εκτελεί ένα handshake. Ο σκοπός του είναι να εξακριβώσει την ταυτότητα του namespace και την έκδοση του λογισμικού του DataNode. Εάν είτε δεν ταιριάζει με αυτό του NameNode, η DataNode κλείνει αυτόματα. Μετά το handshake, το DataNode, εγγράφεται στον κατάλογο του NameNode και στέλνει ένα report με όλα τα blocks που κατέχει και κάποια metadata. Με αυτό τον τρόπο το Namenode γνωρίζει την τοποθεσία του κάθε block και σε πόσα διαφορετικά Datanodes βρίσκεται. Κατά την λειτουργία του Datanode, στέλνει σήματα στο Namenode ανα τακτά χρονικά διαστήματα, για να επιβεβαιώσει την σωστή λειτουργία του. Εάν κάποιο Datanode σταματήσει να στέλνει σήματα, θεωρείται εκτός λειτουργίας, το Namenode θα αναφέρει το σφάλμα και θα συνεχίσει την λειτουργία του με τα υπόλοιπα, τα blocks που βρίσκονται αποθηκευμένα σε αυτό το Datanode δεν είναι προσβάσιμα και αν ζητηθούν, θα χρησιμοποιηθούν τα αντίγραφα τους από άλλα Datanodes.

1.3 HDFS Client

Η πρόσβαση των εφαρμογών στα δεδομένα γίνεται μέσω του HDFS client. Είναι μια βιβλιοθήκη που παρέχει μεθόδους βασικά για την ανάκτηση και την εγγραφή δεδομένων από τον HDFS. Αυτή η υπηρεσία θα κάνει τις απαραίτητες αιτήσεις στο Namenode για κάποιο αρχείο ή μια λίστα με αρχεία. Δεν χρειάζεται να γνωρίζει το πως είναι διανεμημένα και αποθηκευμένα στον cluster, συνεπώς παρέχει ένα επίπεδο abstraction μεταξύ της εφαρμογής και της αρχιτεκτονικής του HDFS.

Παράρτημα Α΄

Ορολογία