



[ΠΛΗ 512]- Πολυπρακτορικά Συστήματα  
Αναφορά Προγραμματιστικής Εργασίας:



**PowerTAC: The Power Trading Agent Competition**

Διδάσκοντες:

Μαθήματος: Χαλκιαδάκης Γεώργιος  
Φροντιστηρίου: Ορφανουδάκης Σταύρος

Ομάδα χρηστών 3:  
Μπακόπουλος Λεωνίδας : Α.Μ. 2018030036  
Περίδης Ιωάννης: Α.Μ. 2018030069  
Τσιπουράκη Αλεξάνδρα : Α.Μ. 2018030089

15 Ιανουαρίου 2023

## Εισαγωγή & Σκοπός:

Το power TAC, αποτελεί έναν διαγωνισμό αγοραπωλησίας ενέργειας, ο οποίος, προσομοιώνει με επιτυχία ένα πολυσύνθετο πολυπρακτορικό περιβάλλον. Στο περιβάλλον αυτό, οι πράκτορες ανταγωνίζονται μεταξύ τους βασίζοντας τις ενέργειές τους όχι μόνο στις παραμέτρους οι οποίες είναι κοινές και γνωστές σε όλους, αλλά και στις αποφάσεις και στρατηγικές που ακολουθούν οι αντίπαλοί. Στην εργασία αυτή, καλούμαστε να μοντελοποιήσουμε έναν λειτουργικό και έξυπνο broker, χρησιμοποιώντας τις γνώσεις μας, πάνω στην τεχνητή νοημοσύνη, σε συνδυασμό με τις τεχνικές που μας διδάχθηκαν στον τομέα των πολυπρακτορικών συστημάτων, εμπλουτίζοντάς τον και με νέες δημιουργικές και πρωτοπόρες ιδέες. Για την υλοποίηση, μας ζητήθηκε η ενσωμάτωση στον δοθέντα πράκτορα sample broker, ενός έξυπνου αλγορίθμου που θα δημοσιεύει δυναμικά tariffs στο retail market και θα μπορεί να συμμετέχει στο wholesale market για να αγοράζει ενέργεια με αποδοτικό τρόπο.

## Βασική Λειτουργία Πράκτορα για Retail Market:

Παρακάτω, θα γίνει η ανάλυση της βασικής λειτουργίας του agent που υλοποιήθηκε. Αρχικά, όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε σαν κύρια βάση του προγράμματός μας, ο sample broker και ύστερα σε αυτόν έγιναν οι ζητούμενες προσθήκες και βελτιώσεις. Ο sample broker, είναι ένας πράκτορας που υλοποιεί όλες τις απαραίτητες λειτουργίες, τον μηχανισμό ανταλλαγής μηνυμάτων και τις διασυνδέσεις με τον server, για την συμμετοχή του στο παιχνίδι, δηλαδή στην αγοραπωλησία στο wholesale και στο retail market. Παρόλα αυτά, δεν υλοποιεί έναν, ανταγωνιστικό πράκτορα, διότι οι αποφάσεις που λαμβάνει για την διαχείριση των tariffs στο retail market, οι οποίες αποτελούν την κυριότερη πτυχή του παιχνιδιού, κρίνονται ελλιπείς.

Αναλύοντας, θα πρέπει να υπολογίζεται μια ανταγωνιστική τιμή προσφοράς (Bid), η οποία θα λαμβάνει υπόψη της, πληθώρα παραγόντων (θα αναλυθούν αργότερα) σχετιζόμενους με τα tariffs των άλλων πρακτόρων ή με εξωτερικούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν την τιμή της αγοράς. Ακόμα, είναι απαραίτητο, ο πράκτορας ανάλογα την προσφορά και την ζήτηση των πελατών, να μπορεί να αντιλαμβάνεται τότε συμφέρει να ανακληθεί (revoke) ένα tariff και τότε όχι.

Τέλος, είναι σημαντικό να βρεθεί μια ιδανική συχνότητα δημοσίευσης ενός tariff, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των ποινών που αποδίδονται στον πράκτορα ανάλογα με τις προσφορές του και το ποσοστό των πελατών του, αλλά και να διατηρούνται ενημερωμένες οι εκάστοτε προσφορές σε σχέση με τις μεταβολές των αναγκών της αγοράς.

Όλα τα παραπάνω, υλοποιήθηκαν σε δύο βασικά βήματα. Πρώτον, αξιοποιώντας την υπάρχουσα συνάρτηση `createInitialTariffs()` εκδίδονται κάποιες αρχικές προσφορές. Δεύτερον, ανά τακτά χρονικά διαστήματα (προσεγγιστικά ανά 4 timeslots), εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Monte Carlo Tree Search (MCTS), βάση του οποίου τροποποιείται η αξία των υπαρχουσών προσφορών.

## **Ανάλυση Αλγορίθμου Monte Carlo Tree Search:**

Για τη bidding strategy, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος MCTS, ο οποίος προσαρμόστηκε στις ανάγκες του power tac. Η λειτουργία του Monte Carlo, θεωρείται γνωστή (καθώς και αναλύθηκε στο φροντιστήριο) και χωρίζεται στα στάδια selection, expansion, simulation/roll out και backpropagation. Ο τρόπος επιλογής κάθε παιδιού/κόμβου, γίνεται με κριτήριο το βέλτιστο/μέγιστο UCT (Upper Confidence Bound for Trees). Το UCT, αποτελείται από τον όρο του exploitation, ο οποίος προσδιορίζει το μέσο κέρδος (average reward) και θα υπολογίζεται μέσω μίας ευρετικής συνάρτησης και τον όρο του exploration, ο οποίος εξάγεται από το game tree και σχετίζεται με την συχνότητα επίσκεψής του κάθε κόμβου.

### ***Ξεκινώντας, πρέπει να γίνει αντιληπτή η μορφή που θα έχει το game tree:***

Κάθε κόμβος, συμβολίζει μια κατάσταση με τις παρακάτω μεταβλητές: Το average reward, το sigma ( $\sigma$ ), και το limit price ( $\mu$ ), τον πατέρα κόμβο του, τα παιδιά του και το πλήθος τους.

Κάθε διαφορετική ενέργεια, συμβολίζει ένα διαφορετικό bid και το πλήθος των διαφορετικών bid που γίνονται από κάθε κατάσταση, είναι ίσο με το branching factor του κόμβου.

Κάθε κόμβος, θα παράγει όταν επιλέγεται το ίδιο πλήθος παιδιών. Συγκεκριμένα, τα παιδιά θα δημιουργούνται και θα αντιστοιχίζονται ένα για κάθε bid, μέσω μιας Gaussian κατανομής  $G(\sigma, \mu)$ , η οποία θα έχει ως κέντρο (μέση τιμή) το limit price, δηλαδή την τελευταία τιμή προσφοράς που δημοσιεύθηκε από τον πράκτορά μας. Αναλυτικά, θα δημιουργούνται σταθερά  $7 + 1$  παιδιά (δηλαδή θα γίνονται 7 διαφορετικές προσφορές), τα οποία θα απέχουν  $-3\sigma$  έως  $+3\sigma$  από το limit price. Το  $\sigma$  θα είναι ένα μικρό ποσοστό του limit price και το πρώτο από τα αριστερά παιδί θα αντιστοιχίζεται στο bid  $\mu - 3\sigma$ , το αμέσως δεξιά στο  $\mu - 2\sigma$  και θα συνεχίζει έτσι μέχρι να φτάσει στην τιμή  $\mu$  και ύστερα να αρχίσει να αυξάνεται μέχρι την τιμή  $\mu + 3\sigma$ . Αξίζει να επισημανθεί ότι, το 8<sup>ο</sup> παιδί που έχει κάθε κόμβος δεν σχετίζεται με κάποια προσφορά. Το παιδί αυτό, βρίσκεται αριστερότερα από όλα (1<sup>ο</sup> στην λίστα) και είναι το παιδί revoke, δηλαδή η ενέργεια που θα εκτελείται όταν το παιδί αυτό επιλέγεται από τον αλγόριθμο, δεν θα είναι κάποιο bid, αλλά αντιθέτως θα ανακαλείται το tariff, γιατί δεν θα είναι πλέον συμφέρον το να είναι ενεργό.

Τέλος, κάθε επίπεδο, συμβολίζεται από τον αριθμό  $n$ , τον timeslots/hours ahead, δηλαδή τις εναπομείνουσες ώρες της μέρας. Εν προκειμένω, το  $n$  αρχικοποιήθηκε στο 24, προκειμένου να ληφθεί μία μακροπρόθεσμα συμφέρουσα απόφαση. Αξίζει να σημειωθεί ότι για το συγκεκριμένο δέντρο, ο monte carlo προλαβαίνει να τρέξει σε 14000 επαναλήψεις προκειμένου να αποφασίσει εγκαίρως την καλύτερη ενέργεια. Χρήσιμη θα μπορούσε να αποδειχθεί, η παρακολούθηση της μεταβλητής  $n$ , καθώς αυτή αντιπροσωπεύει την μεταβολές στις τιμές των bid, κατά τη διάρκεια της μέρας. Το παραπάνω ισχύει, διότι η ζήτηση των πελατών για ενέργεια μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της μέρας, και ο πράκτορας θα πρέπει προσαρμόζει κατάλληλη την τιμή πώλησης.

### **Συνεχίζοντας, θα αναλυθεί η λειτουργία του αλγορίθμου:**

Ο MCTS, ξεκινάει δημιουργώντας τον root κόμβο, ο οποίος αντιστοιχεί στο πρώτο bid και ύστερα αυτός γίνεται expand. Έπειτα, η διαδικασία της εκ νέου επιλογής και επέκτασης παιδιού θα συνεχίζεται μέχρι να φτάσουμε σε τερματικό κόμβο, δηλαδή είτε μέχρι να φτάσουμε σε παιδί που δεν έχουμε ξανα επεκταθεί, είτε αν το hours ahead μηδενίσει. Η επιλογή αυτή, δεν γίνεται τυχαία αλλά, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιεί την γνωστή μέθοδο UCT. Συγκεκριμένα, για να δοθεί η τιμή average reward, που θα έχει κάθε διαφορετικός κόμβος, ήταν αναγκαία η δημιουργία μίας ευρετικής συνάρτησης, η οποία βαθμολογεί το πόσο αποδοτικό ή μη είναι το tariff που εξετάζεται. Στην ευρετική που περιγράφεται πρακτικά βασίζεται ο έξυπνος τρόπος λειτουργίας του αλγορίθμου, που τον κάνει να διαφέρει από έναν αλγόριθμο τυχαίων επιλογών, όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Συνεχίζοντας, έπειτα από την σωστή επιλογή παιδιού, γίνεται μια προσομοίωση(rollout) του παιχνιδιού, δηλαδή το δέντρο συνεχίζεται με τυχαίες επιλογές κόμβων, μέχρι να τερματίσει και να παράξει κάποια τιμή. Τέλος, επιστρέφει αυτήν την τιμή με backpropagation και ενημερώνει τις τιμές από όλους τους υπόλοιπους κόμβους γονείς που οδήγησαν στο μονοπάτι του δέντρου αυτό (σε αυτό το αποτέλεσμα).

## **Προγραμματιστική Υλοποίηση:**

Αρχικά, θα πρέπει να αναλυθεί η διαδικασία ενσωμάτωσης του MCTS εντός του sample broker. Όπως έχει προαναφερθεί, ο MCTS δρα με σκοπό την βελτίωση των υπάρχουσών προσφορών. Συνεπώς, μετά από αναλυτική μελέτη του κώδικα που υλοποιεί τον sample broker, βρέθηκε η μέθοδος improveTariffs() της κλάσης PortfolioManagerService και εντός αυτής κλήθηκε τελικά ο αλγόριθμός μας. Ο MCTS αποτελείται από τρεις βασικές μεθόδους: την treeSearch, υπεύθυνη για τη διάσχιση του δέντρου και τις διαδικασίες rollout και backpropagate, την selectNext, η οποία επιστρέφει κάθε φορά τον επόμενο κόμβο που θα επισκεπτόμαστε βάσει του προαναφερθέντος UCT κριτηρίου και τέλος, την heuristic(), η οποία βαθμολογεί κάθε φορά μία κίνηση. Οι συναρτήσεις αυτές θα αναλυθούν παρακάτω και υλοποιούνται εντός των κλάσεων MCTS και Node.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την treeSearch, αυτή δέχεται ως όρισμα το βάθος του δέντρου. Όσο αυτό μεταβάλλεται (24 έως 0), καλώντας την selectNext επιλέγεται ένας νέος κόμβος. Έπειτα, ελέγχεται εάν πρέπει να ξεκινήσει η διαδικασία rollout, δηλαδή εάν το πρόγραμμα βρίσκεται σε κόμβο που δεν έχει ξαναεπισκεφθεί είτε εάν βρίσκεται στο επίπεδο 1. Σε περίπτωση που τηρούνται οι παραπάνω συνθήκες, τότε ο αλγόριθμος εκτελεί την διαδικασία rollout. Τέλος το αποτέλεσμα της rollout, εκκινεί τη backpropagate διαδικασία, όπου ενημερώνονται για το αποτέλεσμα του rollout οι γονείς κάθε κόμβου. Σε αντίθετη περίπτωση, επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία.

Όσον αφορά τη selectNext() μέθοδο, αξίζει αρχικά να σημειωθεί ότι βάσει της μεθόδου επιλογής παιδιών με κριτήριο το μεγαλύτερο UCT, εάν κάποιος κόμβος δεν έχει επιλεγεί ποτέ τότε το UCT του θα τείνει στο άπειρο οπότε και επιλέγεται “αυτόματα”. Επεκτείνοντας την παραπάνω σκέψη, αρχικά η selectNext δεχόμενη ως όρισμα τον κόμβο “πατέρα” ελέγχει το πλήθος παιδιών του. Σε περίπτωση που έχει τον απαιτούμενο αριθμό παιδιών, τότε επιστρέφει το παιδί με το μεγαλύτερο UCT. Σε αντίθετη περίπτωση, δημιουργείται ένα νέο παιδί με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: νέο bid παιδιού = bid πατέρα +  $(i - 1 - \text{\#συνολικών παιδιών πατέρα}) * \sigma(\text{\#πατέρα})$ , με  $i$  ίσο με τον αριθμό των τρεχόντων παιδιών και νέο  $\sigma$ , το  $\sigma$  του πατέρα δια μία σταθερά. Το παραπάνω, συμβαίνει διότι όσο προχωράει η διάσχιση του δέντρου πρέπει να εξειδικεύεται περαιτέρω το limit Price στο οποίο είναι επιθυμητό να καταλήξουμε. Τέλος, η συνάρτηση rollout() επιλέγει τυχαία κόμβους μέχρι ένα συγκεκριμένο

βάθος κι έπειτα βαθμολογεί αυτόν τον κόμβο, βάσει της συνάρτησης heuristic(). Η συνάρτηση heuristic() θα αναλυθεί αμέσως παρακάτω.

## Σχεδίαση Heuristic για Αξιολόγηση Tariff:

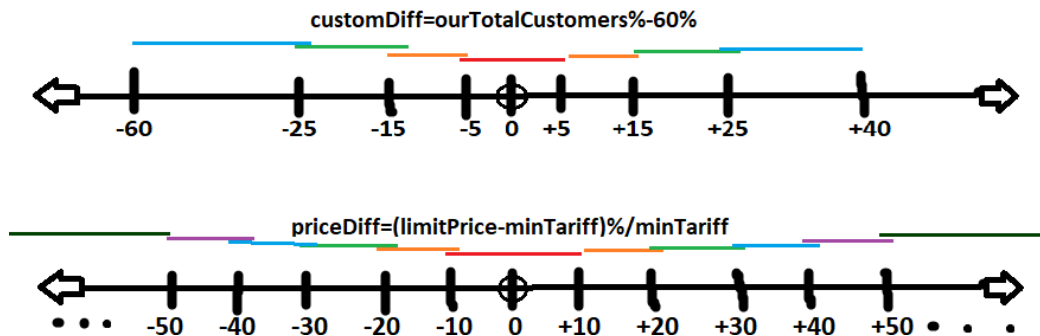
Η ευρετική, πρόκειται για μια υλοποίηση ενός tariff evaluation function , η οποία όπως σχολιάστηκε παραπάνω, χρησιμοποιείται στον αλγόριθμο Monte Carlo, για την επιλογή του average reward των παιδιών. Συγκεκριμένα, βαθμολογεί τα tariffs, σε μια κλίμακα από 0 (ελάχιστη βαθμολογία) έως 5 (μέγιστη βαθμολογία).

Το κριτήριο βαθμολόγησης για το αν ένα tariff , πρόκειται να είναι αποδοτικό ή όχι ,είναι συνδυασμός δύο παραγόντων. Αρχικά, πρέπει το πλήθος των πελατών που είναι subscribed με τον broker μας , να είναι κοντά στο ιδανικό πλήθος subscriptions, το οποίο είναι περίπου κοντά στο 60% των συνολικών πελατών. Αυτό διότι, όπως αναφέρθηκε και στο φροντιστήριο αν ο broker έχει πολύ παραπάνω πελάτες από το ποσοστό αυτό, τότε θα του επιβάλλονται μεγάλα fees, ενώ αν έχει πολύ λιγότερους , δεν θα έχει αρκετά έσοδα. Επίσης, πρέπει το limit price που χρησιμοποιείται, να είναι κοντά στο minTariff, δηλαδή η τιμή του bid, να έχει κοντινή τιμή με αυτήν του φθηνότερου tariff από όλους τους brokers. Προφανώς, αν η προσφορά που γίνεται είναι πολύ μεγαλύτερη από την μικρότερη προσφορά, τότε δεν θα την προτιμήσει κανείς και θα μειωθούν πολύ οι subscribers, άρα και τα έσοδα. Αντίθετα, αν είναι πολύ μικρότερη , τότε θα την προτιμήσουν όλοι και έτσι θα αυξηθούν τόσο πολύ οι subscribers, που θα ξανα επιβληθούν μεγάλα fees.

Η υλοποίηση έγινε , χρησιμοποιώντας δύο μεταβλητές την customDiff και την minTariff. Η customDiff, η οποία συμβολίζει το ποσοστό των συνολικών πελατών του broker, πλην το 60%. Επομένως η ιδανική τιμή της μεταβλητής αυτής, κυμαίνεται γύρω από το 0, ενώ παίρνει τιμές από -60% έως 40%, και οι ακραίες τιμές δεν είναι καλές (το αρνητικό πρόσημο συμβολίζει πως βρίσκεται κάτω από το 60%, ενώ το θετικό πρόσημο σημαίνει αντίστοιχα ότι βρίσκεται πάνω από αυτό). Η priceDiff, συμβολίζει το ποσοστό της διαφοράς limit price πλην minTariff. Η ιδανική τιμή πάλι βρίσκεται γύρω από το 0 και παίρνει τιμές από -100% έως 100% (το αρνητικό πρόσημο συμβολίζει πως η προσφορά είναι μικρότερη από το minTariff, ενώ το θετικό σημαίνει πως είναι μεγαλύτερη) και ισχύει το ίδιο και για αυτές τις ακραίες τιμές.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί, πως για την εύρεση των total customers, χρησιμοποιήθηκε μια παραλλαγή της ήδη υπάρχουσας συνάρτησης getCustomerCounts() η οποία παίρνει τους subscribers του κάθε πελάτη για κάθε ένα διαφορετικό power type ξεχωριστά και ύστερα τους αθροίζει. Επίσης, για τον υπολογισμό της μεταβλητής minTariff, υλοποιήθηκε μια συνάρτηση η οποία δέχεται σαν όρισμα την λίστα με τα tariffSpecifications την οποία διατρέχει και έπειτα επιστρέφει την ελάχιστη τιμή προσφοράς που βρήκε από τα tariffs.

Συνεχίζοντας, δημιουργήθηκαν συνθήκες if, ελέγχοντας διαστήματα τιμών και για τις 2 μεταβλητές, που διαφοροποιούνται περίπου ανα 10% όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Έπειτα, με τα παραπάνω κριτήρια γίνονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί τιμών των 2 μεταβλητών μέσα σε αυτά τα διαστήματα και για κάθε έναν συνδυασμό επιστρέφεται, ένα evaluation από το 0 έως το 5. Δυστυχώς για την διαδικασία αυτή, δεν γινόταν να χρησιμοποιηθεί κάποια συνάρτηση γιατί το evaluation για κάθε συνδυασμό ήταν διαφορετικό και εξαρτώμενο και από τους 2 παράγοντες ταυτόχρονα.



Παρατηρήθηκε πως σε κάθε περίπτωση, οι τιμές που έδιναν την μέγιστη απολαβή 5, ήταν ευθυγραμμισμένες στα διαστήματα. Το γεγονός αυτό, ήταν αναμενόμενο διότι, οι περιπτώσεις έχουν ως εξής:

Αν ο broker έχει ένα αρνητικό  $\text{custDiff}$  (δηλαδή έχει  $<60\%$  πελάτες), τότε ένα πολύ καλό  $\text{tariff}$  θα είναι κάποιο που θα έχει εξίσου αρνητικό  $\text{priceDiff}$  (δηλαδή είναι σε παρόμοιο ποσοστό μικρότερο το  $\text{limit price}$  από το  $\text{minTariff}$ ), διότι έτσι στον επόμενο γύρο, αρκετοί πελάτες θα διαλέξουν τον broker μας, (αφού έχει πλέον την πιο φθηνή προσφορά), έτσι ώστε το συνολικό ποσοστό του να αυξηθεί (όχι όμως τόσο πολύ που να ξεπεράσει το  $60\%$ ). Αντίστοιχη περίπτωση ισχύει για θετικό  $\text{custDiff}$  (δηλαδή  $>60\%$  πελάτες), τότε ένα πολύ καλό  $\text{tariff}$ , θα είναι κάποιο με εξίσου θετικό  $\text{priceDiff}$ , γιατί πλέον, στόχος είναι η αύξηση της τιμής της προσφοράς τόσο, έτσι ώστε στον επόμενο γύρο, να έχει λιγότερους πελάτες (κοντά στο  $60\%$ , όχι πολύ λιγότερους), έτσι ώστε να μην του επιβληθούν fees.

## Βασική Λειτουργία Πράκτορα για Wholesale Market:

Όσον αφορά τη διαδικασία αγοράς ενέργειας, παρότι βασικός μας στόχος είναι η πώληση ενέργειας εντός του retail market, αξίζει να προταθεί και μερική βελτίωση στη διαδικασία αγοράς ενέργειας στο wholesale market. Η διαχείριση της διαδικασίας αυτής προβλέπεται εντός της κλάσης `MarketManagerService`. Αναλυτικότερα, εφόσον ο sample broker διαχειρίζεται ήδη με επιτυχία την εξασφάλιση της απαραίτητης ενέργειας, μοναδική μας προσθήκη είναι η περαιτέρω παραμετροποίηση της αγοράς της με σκοπό την αύξηση του κέρδους μας κατά τη μείωση των περιττών δαπανών μας. Πιο συγκεκριμένα, στην εκφώνηση της άσκησης τονίστηκε η ύπαρξη των μεθόδων αξιοποίησης των πληροφοριών καιρού. Η παραπάνω πληροφορία χρησιμοποιήθηκε για την συσχέτιση της θερμοκρασίας με τη ζήτηση ενέργειας των πελατών.

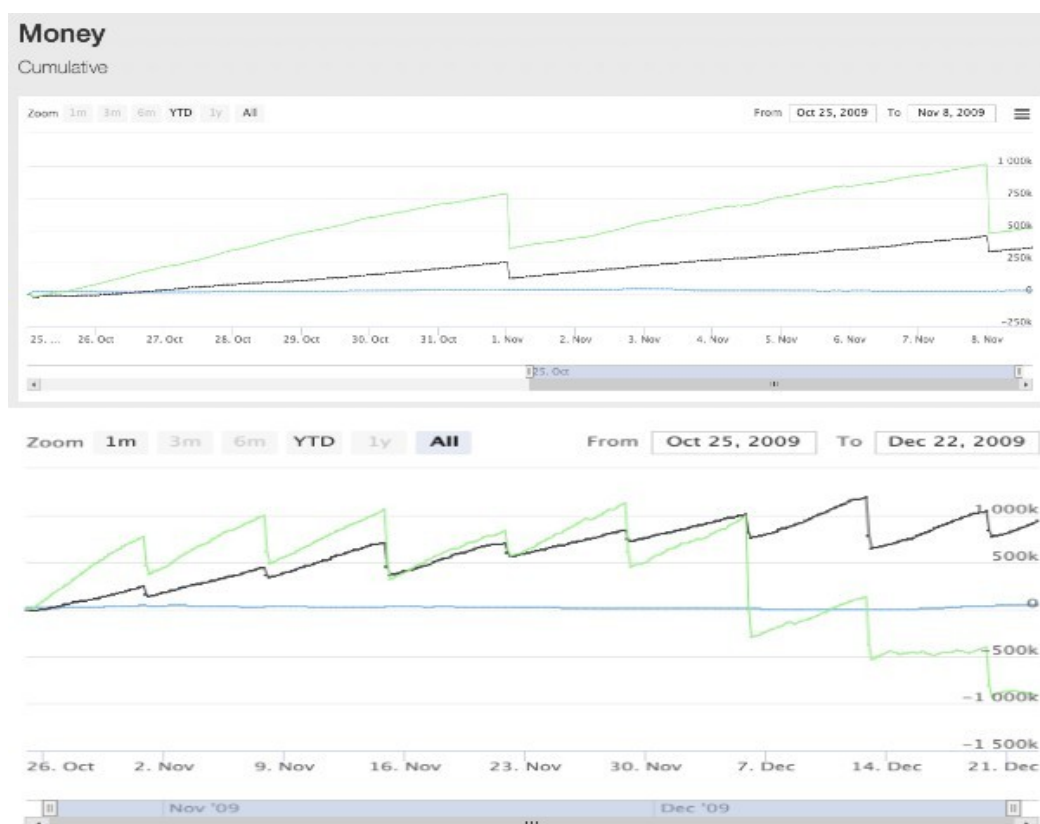
## Ανάλυση Ευρετικής Πρόβλεψης για Weather:

Αρχικά, υλοποιήθηκε η μέθοδος `handleMessage (WeatherForecast forecast)` με σκοπό να αποθηκεύονται κάθε φορά τα δεδομένα πρόβλεψης του καιρού για τις επερχόμενες 24 ώρες. Κατόπιν, δημιουργήθηκε η μέθοδος `heuristicWeather()`. Σε αυτήν πρωτίστως διασπάστηκε η μέρα σε δύο ζώνες. Στην πρώτη ζώνη, συμπεριλαμβάνονται οι θεωρητικά πιο θερμές ώρες της ημέρας (ημερήσιες) ενώ στη δεύτερη οι πιο κρύες (νυχτερινές). Κατόπιν, αναλόγως με την μέση πρόβλεψη θερμοκρασίας ανά ζώνη προβλέπονται και οι διακυμάνσεις στην κατανάλωση ενέργειας από τους πελάτες. Για τον παραπάνω σκοπό, θεωρήθηκε πως σε ακραίες τιμές θερμοκρασίας (είτε αρκετά χαμηλές είτε και αρκετά υψηλές) οι πελάτες θα αναγκαστούν κατά πάσα πιθανότητα να δαπανήσουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας καθώς θα πρέπει να θέσουν σε λειτουργία θερμαντικά ή ψυκτικά μέσα αντίστοιχα, κάτι που δεν προβλέπεται για τις ημέρες με μέσες θερμοκρασίες. Επομένως, για τις προαναφερθείσες ακραίες τιμές, προβλέφθηκε αγορά μεγαλύτερου ποσού ενέργειας ανά μεγαβατώρα από τις υπόλοιπες ημέρες, καθώς αναμένεται να υπάρξει και μεγαλύτερη ζήτηση.

Μία ακόμη μέθοδος που θα μπορούσε να υλοποιηθεί μελλοντικά αξιοποιώντας και την μέθοδο για weather reports θα συμπεριλάμβανε και παρελθοντικές τιμές θερμοκρασιών, προκειμένου αυτές να ενσωματωθούν στην ήδη υπάρχουσα μέθοδο και να διορθώνονται έτσι δυναμικά τα όρια που διαφοροποιούν τις ακραίες από τις μέσες θερμοκρασίες.

## Αποτελέσματα & Πειράματα:

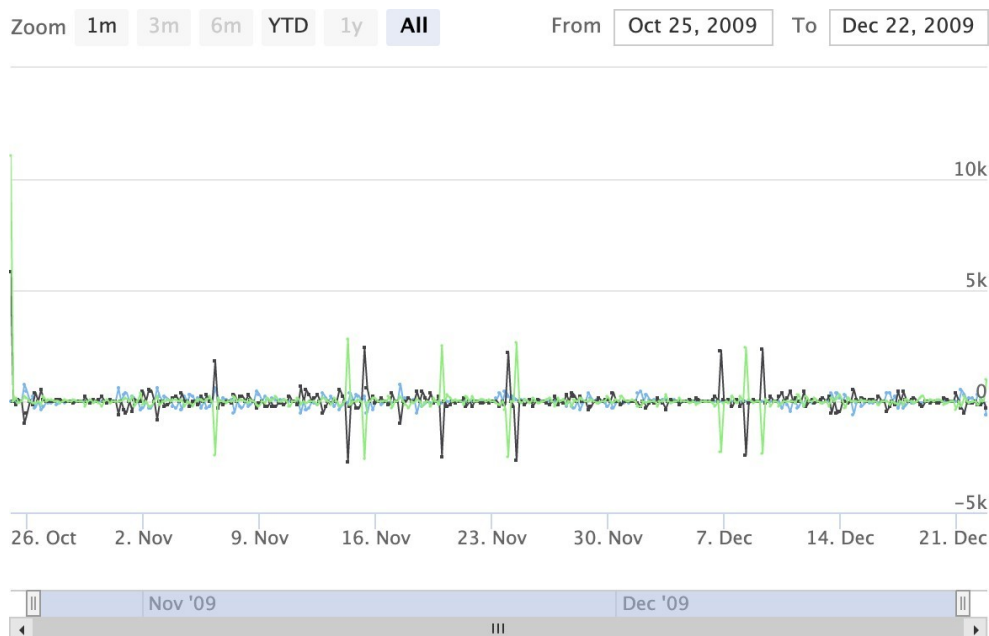
Παρακάτω, παρατίθενται τα γραφήματα που προέκυψαν από την εκτέλεση του τελικού μας κώδικα σε προσομοίωση του PowerTAC διαγωνισμού χρησιμοποιώντας το εργαλείο Visualizer. Οι πράκτορες με τους οποίους συγκρίθηκε ο δικός μας (ονόματι “Aleka”) ήταν ο default broker, ο αρχικός sample-broker (ονόματι “Sample”) και τέλος, ο “TUC\_TAC”. Αρχικά, με σκοπό να γίνουν οι πρώτες και πιο βασικές (ρεαλιστικές) συγκρίσεις, εκτελέστηκε ο διαγωνισμός μόνο με τους default, Sample και Aleka brokers.



Από τα παραπάνω γραφήματα, τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικά στιγμιότυπα του ίδιου διαγωνισμού παρατηρείται, πως ενώ ο πράκτοράς μας εμφανίζει εξαιρετική συμπεριφορά, κερδίζοντας συνεχώς τον sample-broker καθόλα τα διαστήματα στα οποία δεν εφαρμόζονται ποινές (fees), η εφαρμογή ποινών/χρεώσεων σχεδόν υποδιπλασιάζει κάθε φορά τα κέρδη μας. Παρόλα αυτά, είναι αξιοσημείωτες οι παρατηρήσεις που μπορούν να γίνουν από τις επιμέρους γραφικές που προκύπτουν κατά τη διάρκεια του διαγωνισμού, οι οποίες παρατίθενται αμέσως παρακάτω:



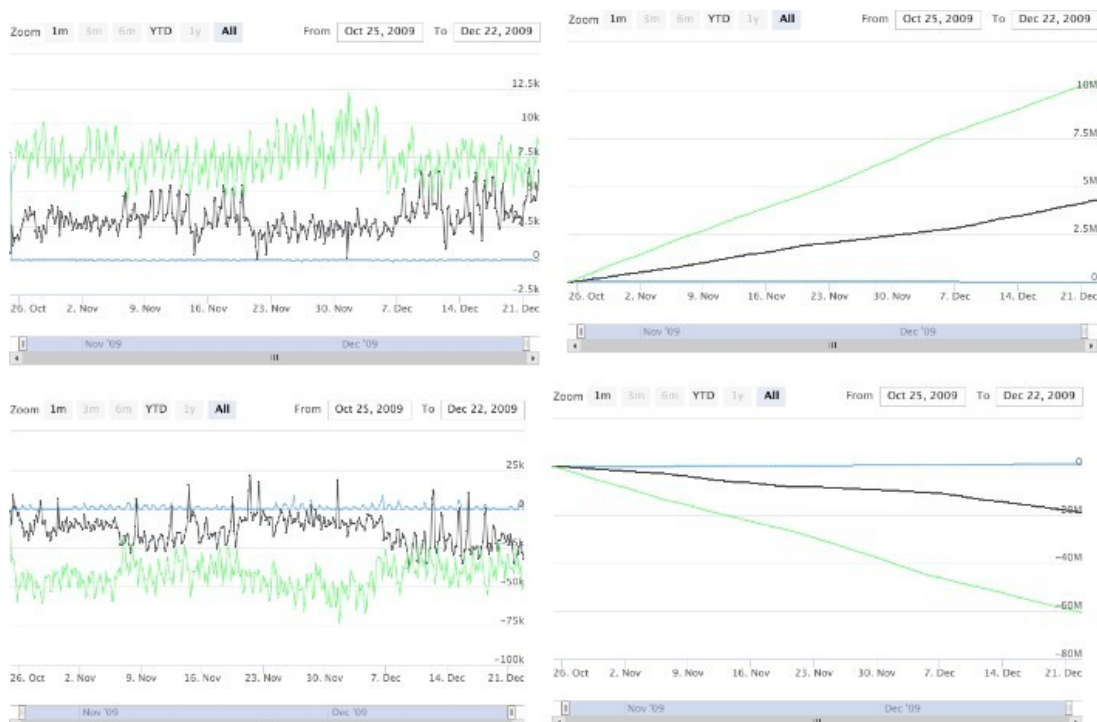
Στο συγκεκριμένο γράφημα, παρουσιάζονται οι συνολικοί Subscribers δηλαδή οι εγγεγραμμένοι πελάτες του κάθε broker. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι ενώ στα γραφήματα των συνολικών κερδών ο πράκτορας “Aleka” υστερεί τελικά του “Sample”, όσον αφορά τους εγγεγραμμένους, αυτοί ανήκουν σε πολύ μεγάλο ποσοστό στον πράκτορά μας, γεγονός που υποδεικνύει την υπεροχή του στο παιχνίδι αλλά και επιβεβαιώνει την αδυναμία του μονάχα στην αντιμετώπιση των ποινών. Ακόμη, αξίζει να σημειωθεί ότι ο πράκτοράς μας κατορθώνει να έχει σε σταθερή βάση τον επιθυμητό αριθμό εγγεγραμμένων πελατών, δηλαδή προσεγγίζει το 60 % των συνολικών (μέσος όρος πελατών περίπου 42K επι το σύνολο των 67K πελατών).



Η παραπάνω εικόνα, παρουσιάζει την διακύμανση των εγγεγραμμένων κατά τη διάρκεια του διαγωνισμού, επιβεβαιώνοντας ότι ο πράκτοράς μας διατηρεί σχεδόν σταθερό τον αριθμό των πελατών του.

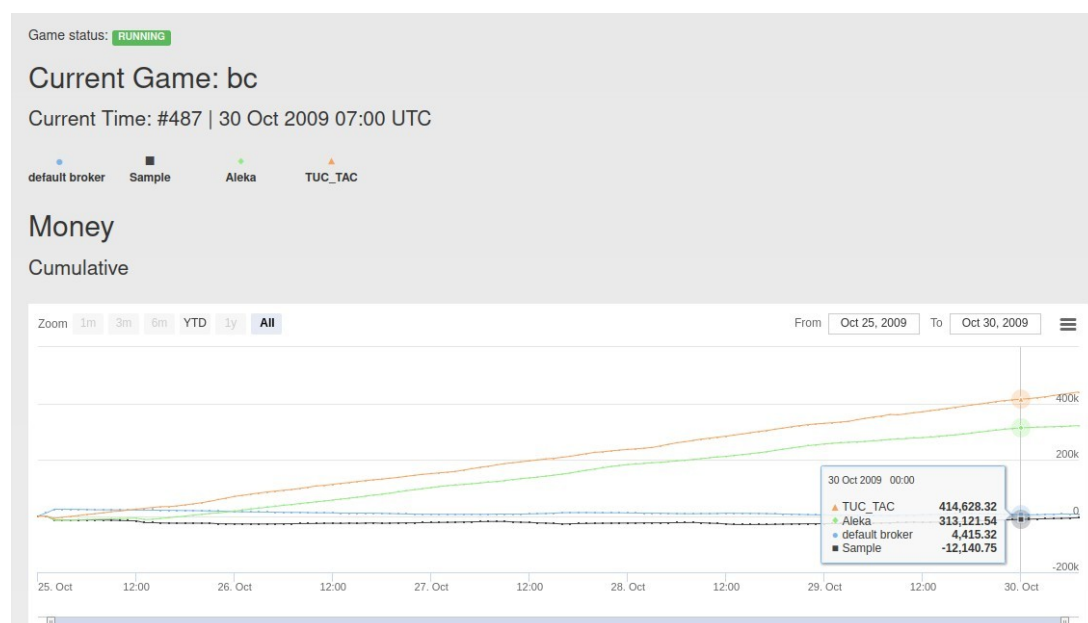


Επιπροσθέτως, στις υπόλοιπες επιμέρους γραφικές που προκύπτουν από τον διαγωνισμό για ακόμη μία φορά ο πράκτοράς μας εμφανίζει τη βέλτιστη συμπεριφορά, όπως μπορεί να φανεί και στις αμέσως παρακάτω εικόνες :

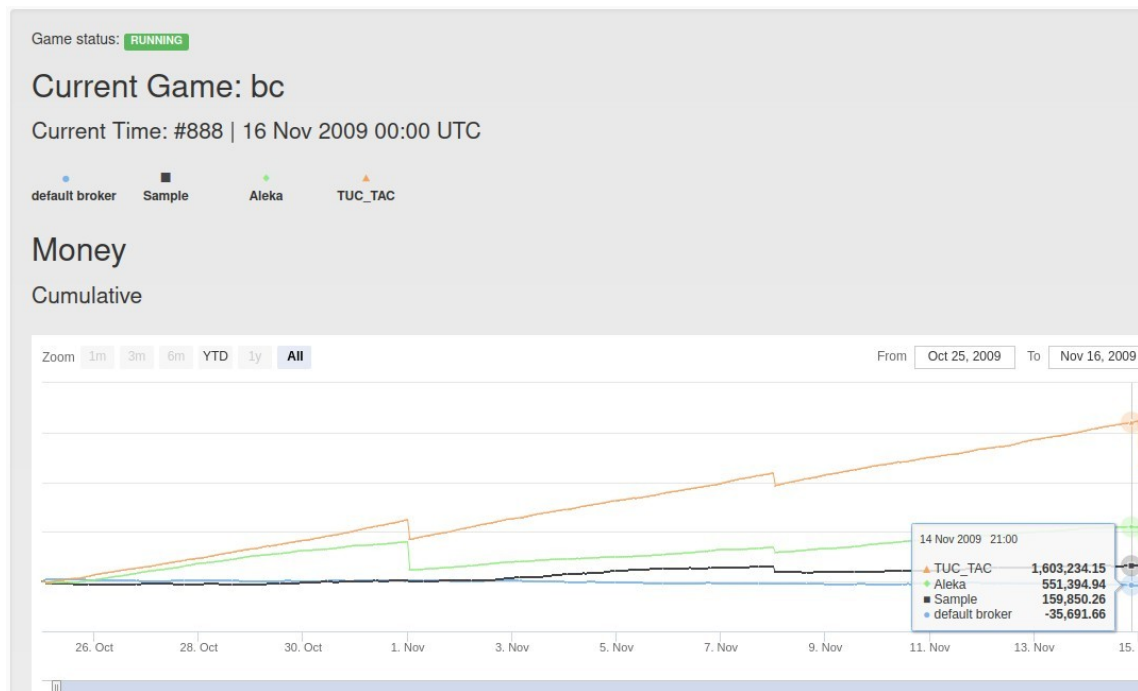


Κατόπιν, εκτελέστηκε και ένας δεύτερος διαγωνισμός, στον οποίο συμπεριλήφθηκε και ο πράκτορας TUC\_TAC. Για ακόμη μία φορά, ο πράκτοράς μας εμφάνισε αρχικά ενθαρρυντικά αποτελέσματα καθώς έλαβε ικανοποιητικό ποσοστό των εγγεγραμμένων και ανέπτυξε συνεχώς υψηλότερα κέρδη.

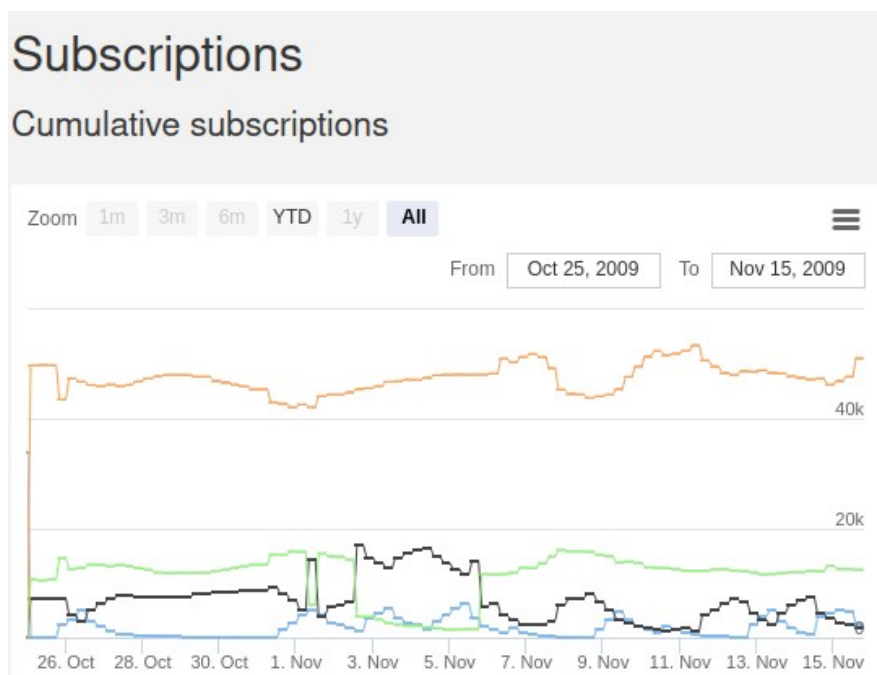
Έπειτα όμως, με την επιβολή των ποινών, σημειώθηκε και πτώση των κερδών.







Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί, ότι γι' ακόμη μία φορά ο πράκτοράς μας διατήρησε σταθερά τα ποσοστά των εγγεγραμμένων πελατών και εμφάνισε ικανοποιητική συμπεριφορά στην πώληση ενέργειας.



## Συμπεράσματα & Ιδέες Βελτίωσης:

Μέσα από την ενασχόλησή μας με το rowertac, αποκτήθηκε μία πρώτη επαφή με ένα ρεαλιστικό πολυσύνθετο πολυπρακτορικό σύστημα που απαιτεί την συμπερίληψη πλήθους διαφορετικών και μεταβαλλόμενων παραμέτρων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων του πράκτορά μας. Ακόμη, σημαντική κρίθηκε τελικά η διαδικασία επιλογής έξυπνης

στρατηγικής παιχνιδιού τόσο στο retail όσο και ως προς το wholesale market. Οι στρατηγικές, δύνανται να κυμαίνονται από πολύ ανταγωνιστικές και “επιθετικές” σε πολύ συντηρητικές /αμυντικές με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η επιλογή αναμεταξύ τους. Ας σημειωθεί ότι η στρατηγική που εφαρμόστηκε θα μπορούσε να κριθεί μέτρια επιθετική και πως παρόλο που τίθεται ως ιδανικός στόχος η απόκτηση του 60% των πελατών, στην πραγματικότητα, παρατηρήθηκε ότι λόγω των επιλογών του MCTS, οι οποίες δρουν καθοριστικά για τη στρατηγική μας, κάποιες φορές κατασταλάζει σε μικρότερα ποσοστά των πελατών αλλά τα έσοδα του broker παραμένουν αρκετά υψηλά. Αξίζει να αναφερθεί λοιπόν ως πιθανή βελτίωση στον broker μας η εφαρμογή διαφορετικών rates ανά συγκεκριμένες ώρες του επόμενου timeslot. Δηλαδή, να εφαρμόζεται ο ίδιος MCTS, να λαμβάνονται τα καλύτερα “παιδιά” του σε ένα καθορισμένο βάθος πχ. 5 και κατ’αυτόν τον τρόπο να δημιουργούνται 5 διαφορετικά rates τα οποία θα ενεργοποιούνται για διαφορετικές ώρες της μέρας. Το παραπάνω, έχει μερικώς υλοποιηθεί και συμπεριλαμβάνεται σε σχόλια εντός του παραδοτέου κώδικα, απλώς δεν τέθηκε τελικά σε εφαρμογή, καθότι, θα πρέπει να γίνει και κατάλληλη διαχείριση των επιπλέον χρεώσεων (fees) που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία. Μία πιθανή λύση σε αυτό θα ήταν να διαγράφονται παλαιότερα rates που έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας. Γενικότερα, το ζήτημα των επιπλέον χρεώσεων αποδείχθηκε κρίσιμο για την ανάπτυξη του broker μας. Παρατηρήθηκαν μεγάλες αυξομειώσεις στα κέρδη μας κάθε φορά που εφαρμόζονταν fees και μελλοντικά θα πρέπει να συμπεριληφθεί πιο ενεργά ως παράγοντας στις στρατηγικές μας.

Ένα ακόμη μείζον ζήτημα του powertac έγκειται στα διαφορετικά power types που αποδίδονται στους πελάτες, καθώς θα ήταν χρήσιμο να γίνεται ειδική διαχείριση για κάθε είδος πελάτη που πρέπει να εξυπηρετηθεί. Πιο συγκεκριμένα, μια πιθανή βελτίωση του κώδικά μας θα ήταν η χρήση διαφορετικής ευρετικής για κάθε είδος power type, διατηρώντας την ίδια βασική ιδέα της εφαρμοζόμενης ευρετικής με διαφορετική προσέγγιση όμως των ποσοστών πελατών που έχει το κάθε είδος ενέργειας και των αντίστοιχων min tariffs .

Ακόμη, μια πιθανή προσθήκη θα μπορούσε να είναι σε κάθε γύρο παιχνιδιού, συγκρίνοντας το min tariff κάθε αντιπάλου με των υπολοίπων και τους εγγεγραμμένους αυτών, να αξιολογείται το επίπεδο επιθετικότητας (ή μη) της στρατηγικής τους και να αντιδρά αντίστοιχα ο broker μας. Αυτό θα μπορούσε για παράδειγμα να έγκειται σε στοχευμένη μείωση των tariff μας ώστε να γίνεται εκμετάλλευση κάποιου κενού στην αγορά κατά κάποια απότομη αύξηση τιμών από τον αντίπαλο ή και σε αύξηση των δικών μας προσφορών ταυτόχρονα με τον αντίπαλο με στόχο την δημιουργία κάποιας συνθήκης trust και την μεγιστοποίηση των κερδών όλων μας.

Τέλος, όσον αφορά το κομμάτι του wholesale market και τη διαδικασία αγοράς ενέργειας, θα μπορούσε μελλοντικά να γίνεται εκμετάλλευση ακόμη περισσότερων στοιχείων που παρέχονται από τις μετεωρολογικές προβλέψεις και αναφορές (π.χ. ταχύτητα ανέμου κ.ο.κ). Ακόμη, θα μπορούσε δυνητικά να υπάρχει κάποια διαδικασία παρακολούθησης των τιμών πώλησης της μεγαβατώρας ώστε όταν η τιμή της υπερβαίνει κάποιο χαμηλό όριο να προσαρμόζονται (να μειώνονται) και τα tariffs προσφοράς αναλόγως, με σκοπό την αύξηση των πελατών μας ελαχιστοποιώντας τη ζημία στα κέρδη μας.