

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΝΕΦΟΥΣ (CLOUD COMPUTING)

**Καλαμποκίδης Κώστας*, Αναπληρωτής Καθηγητής
Βασιλάκος Χρήστος, Ερευνητής
Αθανάσης Νικόλαος, Ερευνητής, και
Παλαιολόγου Παλαιολόγος, Υποψήφιος Διδάκτορας**

Εργαστήριο Γεωγραφίας Φυσικών Καταστροφών
Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 81100 Μυτιλήνη

Τηλ.: 22510-36436, Fax: 22510-36439, e-mail: kalabokidis@aegean.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το υπολογιστικό νέφος (cloud computing) αποτελεί μία σύγχρονη τεχνολογία με τη χρήση της οποίας παρέχεται η αποτελεσματική και οικονομική πρόσβαση χρηστών σε συστήματα υψηλής υπολογιστικής ισχύος και σε μέσα αποθήκευσης χωρίς να χρειάζεται οι χρήστες να γνωρίζουν ή να έχουν πρόσβαση στη φυσική τοποθεσία των υπολογιστικών κέντρων. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιαστεί η ανάπτυξη και εφαρμογή ενός συστήματος εκτίμησης κινδύνου και εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών σε ένα υπολογιστικό νέφος. Το μοντέλο υπηρεσίας που προτείνεται είναι το «Λογισμικό ως Υπηρεσία» (Software as a Service--SaaS). Με αυτή τη μορφή της υπηρεσίας δίνεται η δυνατότητα στους τελικούς χρήστες να χρησιμοποιούν την εφαρμογή που βρίσκεται στο νέφος. Η πρόσβαση είναι δυνατή μέσω της μίσθωσης της υπηρεσίας και χρησιμοποιώντας την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ και τα μέσα αποθήκευσης μόνο για το χρονικό διάστημα που είναι απαραίτητο, επιτυγχάνοντας έτσι τη μείωση του κόστους χρήσης της εκάστοτε εφαρμογής. Οι συγκεκριμένες εφαρμογές του διαδικτυακού συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (Web GIS) στις οποίες παρέχεται πρόσβαση στους τελικούς χρήστες είναι ο υπολογισμός του δείκτη εκτίμησης κινδύνου έναρξης δασικής πυρκαγιάς και η προσομοίωση της συμπεριφοράς της σε πραγματικό χρόνο και επιχειρησιακές συνθήκες. Η πιλοτική περιοχή μελέτης του συστήματος είναι το νησί της Λέσβου. Το σύστημα παράγει κάθε ημέρα 112 προγνωστικούς χάρτες εκτίμησης κινδύνου και 448 χάρτες μετεωρολογικών παραμέτρων, βασιζόμενο σε μετεωρολογικά δεδομένα για τις επόμενες 112 ώρες. Περαιτέρω, ο δείκτης κινδύνου προβλέπεται και για κάθε ώρα βασισμένος σε μετεωρολογικές συνθήκες που προέρχονται σε πραγματικό χρόνο από Αυτόματους Τηλεμετρικούς Μετεωρολογικούς Σταθμούς. Για την προσομοίωση της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών, οι χρήστες καλούνται να εισάγουν ένα ή περισσότερα σημεία έναρξης πυρκαγιάς και να ορίσουν το χρονικό εύρος της προσομοίωσης. Το σύστημα στη συνέχεια υπολογίζει τη χωροχρονική εξέλιξη της πυρκαγιάς (ανά ώρα), βασισμένο στον αλγόριθμο προσομοίωσης πυρκαγιάς HFire και λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα μετεωρολογικά, τοπογραφία και βλάστησης. Με την ολοκλήρωση των υπολογισμών, οπτικοποιείται η εξέλιξη της συμπεριφοράς πυρκαγιάς μέσω ωριαίων χαρτών περιμέτρου. Η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής βασίζεται στο χαρακτηριστικό της δυναμικής επεκτασιμότητας που έχουν τα υπολογιστικά νέφη. Η αυξομείωση του αριθμού των επεξεργαστών που χρησιμοποιούνται από την εφαρμογή με τη μορφή

εικονικού περιβάλλοντος δίνουν τη δυνατότητα στον τελικό χρήστη να πραγματοποιήσει την εκτίμηση του κινδύνου και της συμπεριφοράς πυρκαγιάς μέσω παράλληλης επεξεργασίας των δεδομένων εισόδου, ώστε να παραχθούν οι αντίστοιχοι χάρτες σε μικρό χρονικό διάστημα. Έτσι ο εν δυνάμει τελικός χρήστης, π.χ. η Πυροσβεστική Υπηρεσία θα χρεωθεί αποκλειστικά για τις ώρες επεξεργασίας που θα απαιτηθούν από το σύστημα και μόνο κατά τους μήνες της αντιπυρικής περιόδου που χρησιμοποιείται. Η εξοικονόμηση οικονομικών πόρων από την ελαχιστοποίηση του κόστους αγοράς και συντήρησης των υπολογιστικών συστημάτων καθιστούν τη χρήση της εφαρμογής εφικτή ακόμα και για ολόκληρο το Πυροσβεστικό Σώμα, και μπορούν να διατεθούν για την καλύτερη υλικοτεχνική στελέχωση και εκπαίδευση των φορέων αντιμετώπισης των δασικών πυρκαγιών. Ως πλατφόρμα υπολογιστικού νέφους χρησιμοποιείται το Windows Azure, ενώ η οπτικοποίηση των τελικών χαρτογραφικών προϊόντων πραγματοποιείται με το Microsoft Bing Maps Silverlight Control. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στον τελικό χρήστη να συνδυάζει τα παραγόμενα προϊόντα με υψηλής ευκρίνειας δορυφορικά τηλεπισκοπικά δεδομένα και χάρτες. Η προτεινόμενη λύση μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό και αποτελεσματικό εργαλείο υποστήριξης λήψης αποφάσεων στη διάθεση των αρχών για την ορθολογική αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών. Η έρευνα αυτή πραγματοποιείται στα πλαίσια του προγράμματος VENUS-C (Virtual Multidisciplinary EnviroNments USing Cloud Infrastructures: www.venus-c.eu) που συγχρηματοδοτείται από το FP7 της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Υπολογιστικό Νέφος, Δασικές Πυρκαγιές, Εκτίμηση Κινδύνου, Συμπεριφορά Πυρκαγιών, Παράλληλη Επεξεργασία

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών

Το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών παρουσιάζει αυξημένη συχνότητα και ένταση τις τελευταίες δεκαετίες, φέρνοντας στο προσκήνιο τη συζήτηση για την επιλογή των πιο ενδεδειγμένων τρόπων καταστολής και μείωσης της σφοδρότητας τους. Υπό την επίδραση της τάσης για κλιματική αλλαγή, ολοένα και περισσότερες χώρες, από την Βόρεια Ευρώπη και την Ρωσία μέχρι και την Λατινική Αμερική, είναι διατεθειμένες να επενδύσουν μεγάλα κονδύλια στις νέες τεχνολογίες έγκαιρης προειδοποίησης που θα συμβάλουν στις προσπάθειες αντιμετώπισης των δασικών πυρκαγιών. Σε περιοχές όπου η εκδήλωση του φαινομένου είναι τμήμα του φυσικού και οικολογικού κύκλου της βλάστησης τους (χώρες όπου για παράδειγμα επικρατεί το μεσογειακό κλίμα) υπάρχει μία συσσωρευμένη εμπειρία στην αντιμετώπιση του φαινομένου, χωρίς όμως την απαιτούμενη εφαρμογή σύγχρονων συστημάτων που θα ήταν υποστηρικτικά αυτών των ενεργειών.

Πολλές από αυτές τις χώρες έχουν αναπτύξει συστήματα εκτίμησης κινδύνου πυρκαγιών έτσι ώστε οι υπηρεσίες πολιτικής προστασίας να μπορούν να προσδιορίζουν τις περιοχές υψηλού κινδύνου και να σχεδιάζουν τις απαιτούμενες προληπτικές και προ-κατασταλτικές ενέργειες (Deeming et al. 1977, Hoffmann et al. 1999, Taylor and Alexander 2006, Van Wagner 1987, Viegas et al. 1999). Παράλληλα έχουν αναπτυχθεί

συστήματα προσομοίωσης διάδοσης δασικών πυρκαγιών τα οποία βασίζονται σε μετεωρολογικές και άλλες συνθήκες. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν μοντέλα για την επιφανειακή διάδοση πυρκαγιάς (Rothermel 1972), την έναρξη πυρκαγιάς κόμης (Van Wagner 1977), τη διάδοση πυρκαγιάς κόμης (Rothermel 1991), τη μεταπυρική ανάφλεξη (Albini et al. 1995, Albini and Reinhardt 1995) και την περιεχόμενη υγρασία νεκρής καύσιμης ύλης (Nelson 2000), τα οποία ενσωματώνονται σε λογισμικά όπως το BehavePlus (Andrews 1986, Andrews and Chase 1989, Andrews and Bradshaw 1990, Burgan and Rothermel 1984), το FlamMap (Finney 2006, Stratton 2006, 2009), το FARSITE (Finney 2004) και το HFire (Peterson et al. 2009). Η εκτίμηση του κινδύνου και της διάδοσης μίας πυρκαγιάς βασίζεται σε στατικά χωρικά δεδομένα (τοπογραφία), μεσοπρόθεσμα και μερικώς μεταβαλλόμενα (μοντέλα καύσιμης ύλης) και δυναμικά χωροχρονικά (μετεωρολογικές συνθήκες). Επίσης, η γεωγραφική κλίμακα και η χωρική ανάλυση των δεδομένων εισόδου και εξόδου καθορίζουν τόσο το φυσικό μέγεθος των αρχείων όσο και το χρόνο επεξεργασίας.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας του διαδικτύου, η μετάβαση των υπολογισμών που διεξάγουν καθώς και των δυνατοτήτων των μοντέλων στη στήριξη αποφάσεων σε περιβάλλον διαδικτυακό γίνεται πλέον επιτακτική ανάγκη. Έτσι, καθίσταται δυνατή η αξιοποίηση και από χρήστες οι οποίοι δεν είναι εξοικειωμένοι με τη φιλοσοφία των συστημάτων, οπτικοποιώντας τα αποτελέσματα σε μορφή χαρτών και γραφημάτων. Το σύστημα που αναπτύχθηκε για την πιλοτική περιοχή της νήσου Λέσβου, ενσωματώνει αλγορίθμους εκτίμησης κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς και συμπεριφοράς έρπουσας πυρκαγιάς (επιφανείας) σε μία διαδικτυακή πλατφόρμα, εύκολη στη χρήση και δωρεάν για τους τελικούς χρήστες. Έτσι, γίνεται ένα μεγάλο βήμα προς την κατεύθυνση της διάχυσης και διάδοσης της τεχνολογίας για τις δασικές πυρκαγιές και των αποτελεσμάτων της.

1.2 Περιγραφή και περιορισμοί της υπάρχουσας κατάστασης στην Ελλάδα

Οι τελικοί επιχειρησιακοί χρήστες συστημάτων εκτίμησης κινδύνου και εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών δεν έχουν συνήθως την απαιτούμενη εμπειρία και εκπαίδευση για να αναπτύξουν, να συντηρήσουν και να χρησιμοποιήσουν παρόμοια συστήματα λήψης αποφάσεων. Διαθέτουν επίσης περιορισμένους οικονομικούς πόρους οι οποίοι διατίθενται κυρίως για την προμήθεια και συντήρηση των μέσων κατάσβεσης. Η παρούσα κατάσταση για την επιχειρησιακή εκτίμηση του κινδύνου, που πραγματοποιείται από τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, περιλαμβάνει την εκτίμηση του κινδύνου με εμπειρικό τρόπο και με χρήση ενός μη χωρικού αλγορίθμου πολύ χαμηλών απαιτήσεων σε υπολογιστική ισχύ (ΓΓΠΠ 2012). Ο αλγόριθμος βασίζεται σε μία εμπειρική προσέγγιση για τον ποιοτικό προσδιορισμό του κινδύνου για κάθε δασαρχείο χωρίς καμία χωροχρονική διαφοροποίηση. Για παράδειγμα, ολόκληρο το νησί της Λέσβου (όπως και άλλες μεγάλες περιοχές της ελληνικής επικράτειας) αντιπροσωπεύονται με έναν ομοιόμορφο δείκτη επικινδυνότητας κάθε φορά.

Σε προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες, αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Γεωγραφίας Φυσικών Καταστροφών το Web GIS σύστημα Virtual Fire, για τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών βασισμένο στη διαδικτυακή υπηρεσία διαμοιρασμού γεωχωρικών πληροφοριών Microsoft[©] Bing Maps[™] (VF 2010). Το

Virtual Fire δίνει τη δυνατότητα οπτικοποίησης διαφόρων χαρτογραφικών και χωρικών δεδομένων που μπορούν να υποστηρίξουν τη διαχείριση των φυσικών κινδύνων και των δασικών πυρκαγιών και να λειτουργήσουν ως ένα σύστημα στήριξης αποφάσεων. Συγκεκριμένα, δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης της πρόγνωσης διαφόρων μετεωρολογικών συνθηκών (προγνωστικοί χάρτες και παρακολούθηση καταγεγραμμένων δεδομένων αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών σε πραγματικό χρόνο), παρακολούθηση του ημερησίου δείκτη κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς, πρόσβαση σε γεωγραφικές χωρικές πληροφορίες, παρακολούθηση στόλου οχημάτων, μετάδοση εικόνας από εικονολήπτες καθώς και άλλες δυνατότητες που σχετίζονται με την επιχειρησιακή λειτουργία ενός αντιπυρικού συστήματος. Το σύστημα ωστόσο έχει δύο αδυναμίες: α) η προσομοίωση εξάπλωσης της πυρκαγιάς είναι δυνατή σε μη πραγματικό χρόνο και, συγκεκριμένα, γίνεται τοπικά από το διαθέσιμο εξειδικευμένο προσωπικό το οποίο φορτώνει τα αποτελέσματα στο σύστημα για να είναι διαθέσιμα στους απομακρυσμένους χρήστες, και β) ο δείκτης κινδύνου έναρξης δασικών πυρκαγιών υπολογίζεται μία φορά ημερησίως παράγοντας ένα χάρτη πρόγνωσης του κινδύνου για την επόμενη ημέρα. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία παράλληλης επεξεργασίας δεδομένων σε περιβάλλον High Performance Computing (HPC). Είναι όμως χρονοβόρο η επεξεργασία αυτή για την παραγωγή ενός μόνο χάρτη να διαρκεί περίπου 20 min (Kalabokidis et al. 2012, Vasilakos et al. 2007, Vasilakos et al. 2009), ενώ απαιτείται και άδεια χρήσης συγκεκριμένου λογισμικού (ESRI ArcGIS).

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η δημιουργία ενός συστήματος το οποίο θα εκμεταλλεύεται όλα τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα (ωριαίες τιμές για τις επόμενες 5 μέρες) για την παραγωγή ωριαίων χαρτών εκτίμησης κινδύνου δασικών πυρκαγιών, θα δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης της εξάπλωσης πυρκαγιάς σε πραγματικό χρόνο και θα παρέχει πρόσβαση σε προγνωστικούς χάρτες μετεωρολογικών συνθηκών. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή του συστήματος έγινε σε περιβάλλον υπολογιστικού νέφους (cloud computing). Με το υπολογιστικό νέφος δίνεται η δυνατότητα να εκτελούνται οι εφαρμογές σε απομακρυσμένους διακομιστές χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάσταση εξειδικευμένων προγραμμάτων στο σταθμό εργασίας του χρήστη. Επίσης, τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα στο διαδίκτυο με αποτέλεσμα να είναι δυναμικά προσβάσιμα από οποιοδήποτε υπολογιστή συνδεδεμένο στο διαδίκτυο. Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιλέχθηκε διότι διαθέτει το πλεονέκτημα της δυναμικής επεκτασιμότητας, δηλαδή επιτρέπει την αυξομείωση του αριθμού των επεξεργαστών που χρησιμοποιούνται από την εφαρμογή όποτε απαιτηθεί, ενώ ο τελικός χρήστης χρεώνεται μόνο για τις ώρες χρήσης των υποδομών επεξεργασίας, δικτύωσης και αποθήκευσης. Έτσι, ο εν δυνάμει τελικός χρήστης (π.χ. η Πυροσβεστική Υπηρεσία) θα χρεωθεί αποκλειστικά για τις ώρες επεξεργασίας που θα απαιτηθούν από το σύστημα και μόνο κατά τους μήνες της αντιπυρικής περιόδου που χρησιμοποιείται (Ιούνιος–Σεπτέμβριος). Η συγκεκριμένη δυνατότητα είναι πολύ σημαντική ιδιαίτερα για εφαρμογές υψηλών υπολογιστικών απαιτήσεων και έχει τη δυνατότητα παράλληλης εκτέλεσης των διαφόρων διεργασιών που περιλαμβάνει.

2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

2.1 Ανάλυση και σχεδιασμός περιπτώσεων χρήσης

Η ανάλυση της προτεινόμενης εφαρμογής ξεκίνησε με την αναγνώριση τριών (3) περιπτώσεων χρήσης. Η πρώτη περίπτωση χρήσης είναι ο υπολογισμός του κινδύνου πυρκαγιάς βασισμένος σε προγνωστικά μετεωρολογικά δεδομένα, ο οποίος πραγματοποιείται μία φορά ημερησίως. Τα δεδομένα αυτά γίνονται διαθέσιμα κάθε πρωί σε συγκεκριμένο απομακρυσμένο διακομιστή αρχείων (ftp) ο οποίος παρέχει για τις επόμενες 5 ημέρες τις ωριαίες προγνώσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων θερμοκρασίας, ταχύτητας ανέμου, βροχόπτωσης και σχετικής υγρασίας. Η εκτίμηση των ωριαίων προγνωστικών χαρτών (ανάλυσης 5X5 km) διεξάγεται από το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών με χρήση του μοντέλου SKIRON (2012). Τα 112 μετεωρολογικά αρχεία επεξεργάζονται παράλληλα και χρησιμοποιούνται ως χωρικές εισροές για τη δημιουργία αντίστοιχων χρονικά χαρτών κινδύνου δασικών πυρκαγιών (για τις 112 ώρες). Επίσης, στον ίδιο αλγόριθμο ενσωματώνεται και η παραγωγή των μετεωρολογικών χαρτών για το ίδιο χρονικό διάστημα. Η δεύτερη περίπτωση χρήσης είναι ο υπολογισμός του κινδύνου πυρκαγιάς βασισμένος στις πραγματικές μετεωρολογικές συνθήκες. Τα μετεωρολογικά δεδομένα λαμβάνονται αυτόματα από έναν αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό που είναι εγκατεστημένος στα περίχωρα της πόλης της Μυτιλήνης. Ο παραπάνω αλγόριθμος εκτελείται κάθε ώρα. Η τρίτη περίπτωση χρήσης, σε αντίθεση με τις προηγούμενες δύο περιπτώσεις, απαιτεί την αλληλεπίδραση με το χρήστη και αφορά την εκτίμηση της εξάπλωσης πυρκαγιάς για ένα ή περισσότερα σημεία έναρξης. Ως δεδομένα εισόδου εισάγονται η ημερομηνία και η ώρα έναρξης και λήξης της προσομοίωσης, καθώς και τα σημεία έναρξης. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τις προγνωστικές μετεωρολογικές συνθήκες του SKIRON για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που ζητάει ο χρήστης να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Λόγω του ότι το SKIRON διεξάγει εκτιμήσεις για περίπου 100 σημεία επάνω από την Λέσβο, το κοντινότερο σημείο προς το σημείο έναρξης πυρκαγιάς λαμβάνεται για τη δημιουργία των μετεωρολογικών αρχείων.

Ένα σημαντικό στοιχείο των αλγορίθμων που αναπτύχθηκαν είναι η μη εξάρτηση του πηγαίου κώδικα από αντικείμενα και βιβλιοθήκες που προέρχονται από τρίτες εμπορικές πηγές (π.χ. ESRI), όπως συμβαίνει για την πλατφόρμα Virtual Fire. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τον προγραμματισμό του πηγαίου κώδικα σε μία νέα έκδοση καθώς και τη μετατροπή όλων των γεωγραφικών δεδομένων από προηγούμενες τυποποιημένες μορφές (π.χ. grid raster) σε απλή πινακοποιημένη μορφή δυαδικών αρχείων. Για την προσομοίωση της εξάπλωσης της πυρκαγιάς χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος HFire (Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια, Santa Barbara, USA).

2.2 Ανάπτυξη και ενσωμάτωση εφαρμογής στο νέφος υπολογιστών

Ο προγραμματισμός πραγματοποιήθηκε σε γλώσσες VB.NET και C# στο περιβάλλον ανάπτυξης Visual Studio 10. Για την υλοποίηση της τελικής εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα υπολογιστικού νέφους Windows Azure χρησιμοποιώντας το περιβάλλον εφαρμογής (Application Programming Interface-API) που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Ερευνητικού Προγράμματος VENUS-C

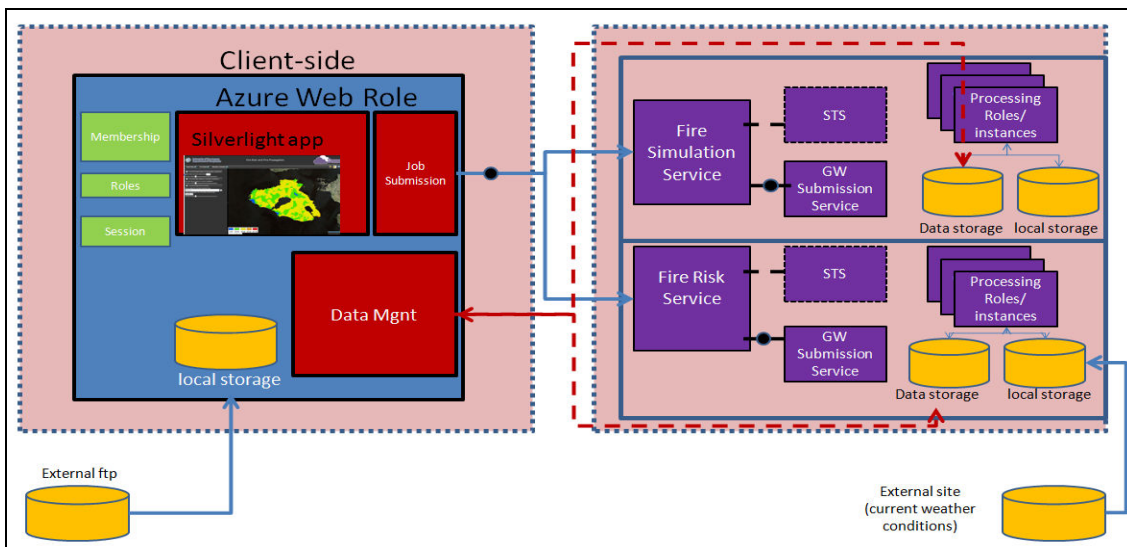
(VENUS-C 2012). Το ίδιο περιβάλλον εφαρμογής παρέχει τις υποδομές πιστοποίησης και εξουσιοδότησης του χρήστη.

Ο υπολογισμός της εκτίμησης κινδύνου που χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου τις μετεωρολογικές προγνώσεις για τις επόμενες πέντε (5) ημέρες απαιτεί για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μεγάλο αριθμό εικονικών μηχανών που θα αναλάβουν παράλληλα την επεξεργασία των 112 αρχείων εισόδου. Συνεπώς, κάθε πρωί μέσω ενός χρονοδιακόπτη αυξάνεται ο αριθμός των διαθέσιμων εικονικών μονοπύρηνων μηχανημάτων στο νέφος (cloud) για μία ώρα. Μετά το τέλος της επεξεργασίας, ο αριθμός τους μειώνεται σε μία μηχανή επεξεργασίας η οποία απασχολείται για το επόμενο διάστημα (23 ώρες) με τον υπολογισμό του κινδύνου σύμφωνα με τη δεύτερη περίπτωση χρήσης. Κανόνες επεκτασιμότητας των διαθέσιμων εικονικών μηχανημάτων εφαρμόζονται και στην εκτέλεση της προσομοίωσης εξάπλωσης πυρκαγιάς. Κατά τις μέρες που παρατηρείται υψηλός κίνδυνος ενεργοποιούνται περισσότερες εικονικές μηχανές οι οποίες βρίσκονται σε αναμονή για να δεχτούν περισσότερα αιτήματα για προσημειώσεις πυρκαγιών από τους χρήστες. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται ο αριθμός των εικονικών μηχανών που βρίσκονται σε αναμονή ανάλογα με τη μέση και μέγιστη τιμή του κινδύνου. Ο έλεγχος της μέσης και της μέγιστης τιμής του κινδύνου γίνεται ανά ώρα και ανάλογα αυξομειώνεται και ο αριθμός των μηχανών.

Πίνακας 1. Αριθμός επεξεργαστών που βρίσκονται σε αναμονή για εκτέλεση προσομοίωσης εξάπλωσης πυρκαγιάς σε συνδυασμό με τη μέση και μέγιστη τιμή του κινδύνου.

Μέγιστη τιμή	0-40	40-60	60-80	80-90	90-100
Μέση τιμή					
0-40	1	1	2	2	3
40-60		2	2	3	3
60-80			3	3	4
80-90				4	5
90-100					5

Η αλληλεπίδραση της εφαρμογής με το χρήστη πραγματοποιείται μέσω μίας επιπρόσθετης εικονικής μηχανής υπολογιστικού νέφους που έχει το ρόλο του εξυπηρετητή ιστοτόπου (web server) και ο οποίος υποστηρίζεται από μία Silverlight εφαρμογή. Επίσης παρέχεται στο διαχειριστή του συστήματος η δυνατότητα να παρακολουθεί τις εργασίες που εισάγονται προς επεξεργασία στο νέφος και σε ποία κατάσταση βρίσκονται, όπως αν έχουν ολοκληρωθεί, αν εκτελούνται εκείνη τη χρονική στιγμή ή αν έχει δημιουργηθεί σφάλμα. Η τελική αρχιτεκτονική του συστήματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Η τελική αρχιτεκτονική του συστήματος.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Παρουσίαση περιπτώσεων χρήσης

Ο χρήστης ξεκινάει την εφαρμογή μέσω της ιστοσελίδας <http://firerisk.cloudapp.net/> όπου πρέπει να εισάγει το όνομα χρήστη και τον κωδικό του. Σε περίπτωση που δεν έχει εγγραφεί στο σύστημα, παρέχεται η δυνατότητα εγγραφής μέσω μίας απλής διαδικασίας κατά την οποία θα αιτηθεί για το επίπεδο πρόσβασης που επιθυμεί να λάβει, είτε ως «επισκέπτης» είτε ως «πυροσβέστης» (Εικόνα 2):

- Ως «επισκέπτης» έχει πρόσβαση μόνο στην οπτικοποίηση των δεδομένων δηλαδή στους χάρτες εκτίμησης πραγματικού κινδύνου έναρξης δασικών πυρκαγιών και στους χάρτες πρόβλεψης μετεωρολογικών συνθηκών.
- Ως «πυροσβέστης», επιπρόσθετα στις παρεχόμενες δυνατότητες του «επισκέπτη» που θα λάβει, θα έχει πρόσβαση στο μενού προσομοίωσης εξάπλωσης πυρκαγιάς. Αυτό σημαίνει ότι θα χρεωθεί για τη συγκεκριμένη λειτουργικότητα ο λογαριασμός του χρήστη γιατί θα χρησιμοποιήσει απευθείας τις υποδομές του υπολογιστικού νέφους.
- Ως «διαχειριστής», με επιπρόσθετες δυνατότητες τροποποίησης του πλήθους των διαθέσιμων μηχανημάτων στο υπολογιστικό νέφος.

University of the Aegean
Department of Geography

Fire Risk and Fire Propagation

Venus-C
Virtual multidisciplinary Environment Using Cloud Infrastructures

LOG IN

Please enter your username and password. [Register](#) if you don't have an account.

Click [here](#) if you forgot your password.

Account Information

Username:

Password:

Keep me logged in

Select your Role

Role:
[Select a Role] ▼
[Select a Role]
Guest
Fireman

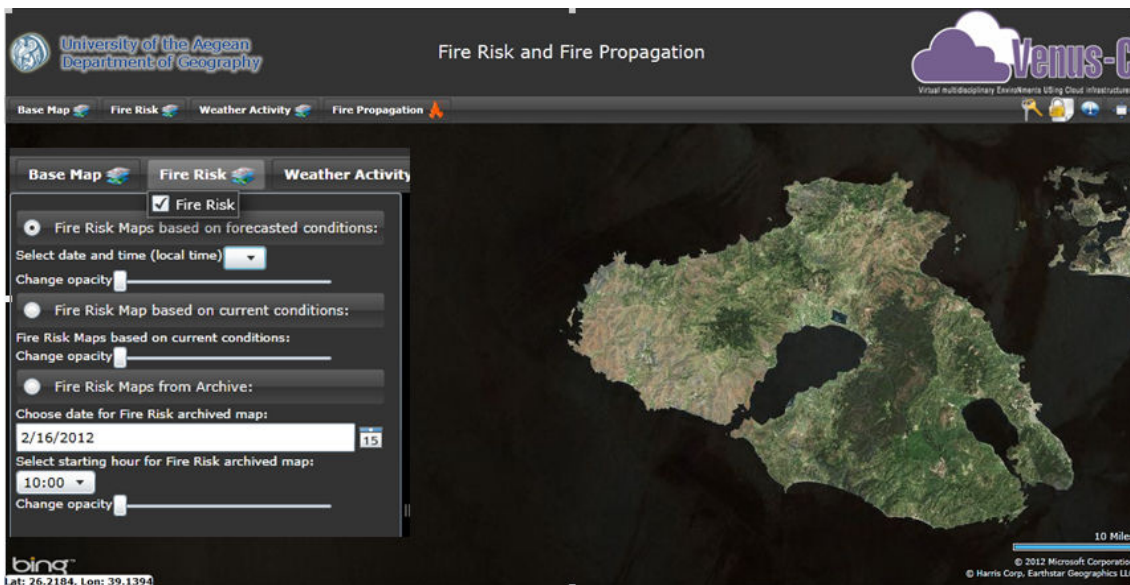
If you forgot your Password

Εικόνα 2. Οθόνη εισαγωγής στοιχείων εισόδου.

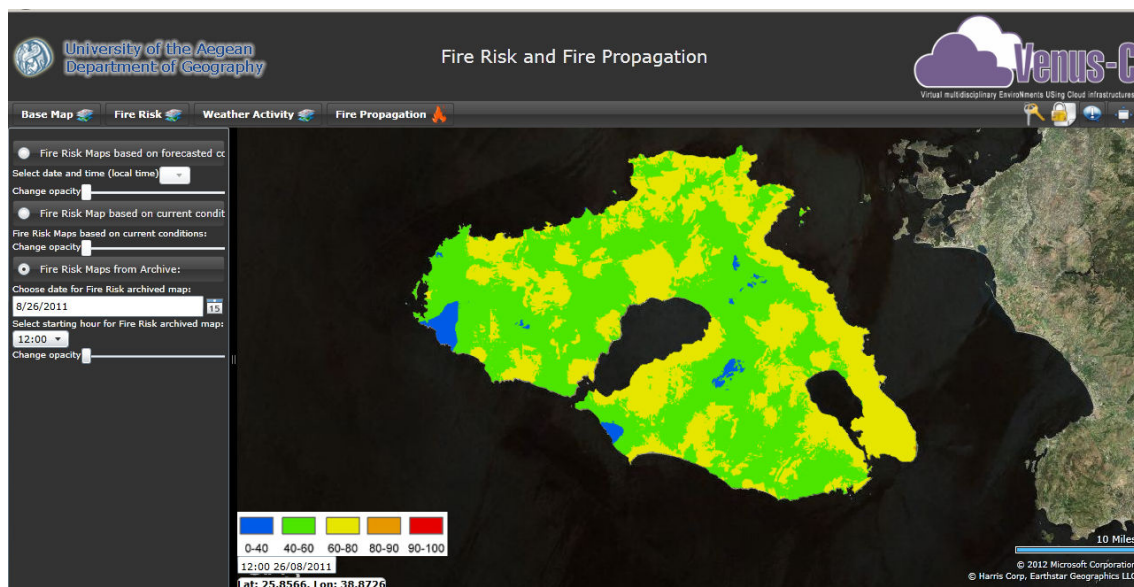
Ως χαρτογραφικό υπόβαθρο χρησιμοποιούνται οι χάρτες Microsoft Bing Maps όπου η χαρτογραφική εστίαση γίνεται στην περιοχή μελέτης (νήσος Λέσβος). Οι χρήστες έχουν πρόσβαση στις ακόλουθες λειτουργίες (Εικόνα 3):

- Χαρτογραφικό υπόβαθρο (Base Maps): Οι χρήστες επιλέγουν το χαρτογραφικό υπόβαθρο που επιθυμούν από τα διαθέσιμα (Δορυφορική Εικόνα, Οδικός Χάρτης και συνδυασμός τους).
- Κίνδυνος Πυρκαγιάς (Fire Risk) (Εικόνα 4): Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να εμφανίσουν α) κάποιον από τους χάρτες κινδύνου για τις επόμενες 112 ώρες, οι οποίοι βασίζονται στις μετεωρολογικές προγνώσεις του μοντέλου SKIRON, β) το χάρτη κινδύνου που υπολογίζεται σύμφωνα με τις πραγματικές μετεωρολογικές συνθήκες, και γ) αποθηκευμένους χάρτες πρόγνωσης κινδύνου προηγούμενων ημερών.
- Μετεωρολογικές συνθήκες (Weather Activity): Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να εμφανίσουν τις μετεωρολογικές συνθήκες για τις επόμενες 112 ώρες.

Η παρουσίαση των χαρτών κινδύνου και μετεωρολογικών συνθηκών μπορεί να γίνει είτε ως στατική είτε ως κινούμενη χρονικά εικόνα.



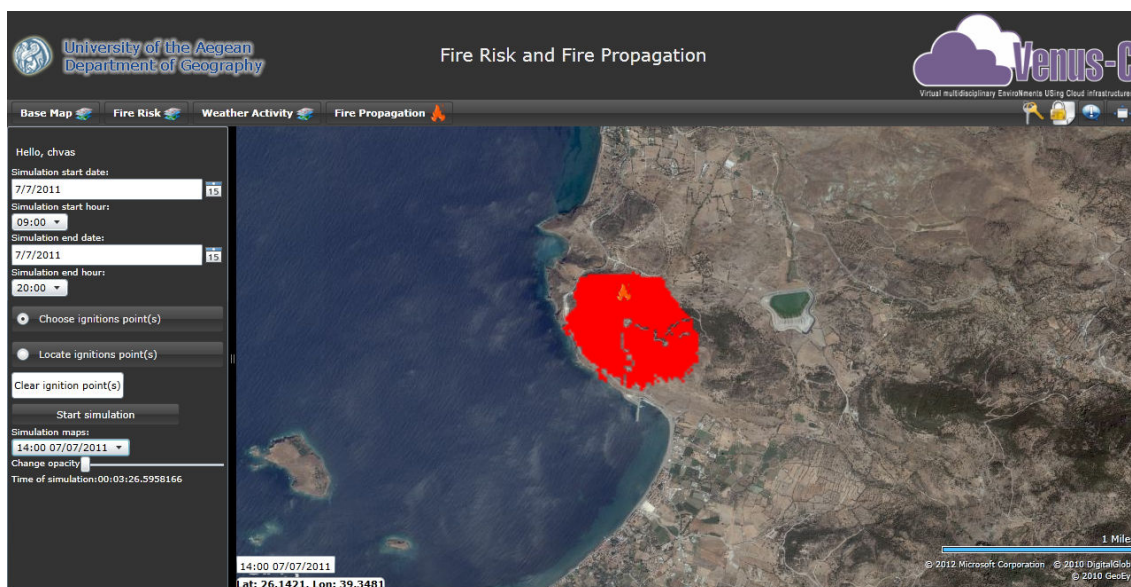
Εικόνα 3. Αρχική οθόνη και επιλογές χάρτη κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς.



Εικόνα 4. Χάρτης κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς από το αρχείο (26/08/2011-12:00).

Χρήστες με ρόλο «πυροσβέστη» έχουν επιπλέον πρόσβαση στο μενού της προσομοίωσης εξάπλωσης πυρκαγιάς. Μέσω του μενού πρέπει να εισάγεται ημερομηνία και ώρα έναρξης και λήξης μίας πυρκαγιάς καθώς και ένα ή περισσότερα σημεία έναρξης ώστε να διεξαχθεί μία προσομοίωση. Η εισαγωγή των σημείων μπορεί να γίνει είτε αναγνωρίζοντας τα επάνω στο χάρτη μέσω του ποντικιού είτε πληκτρολογώντας τις συντεταγμένες στα κατάλληλα πεδία. Η προσομοίωση θα διαρκέσει περίπου 4 min και ως αποτέλεσμα θα εξαχθεί μία χρονοσειρά εικόνων η οποία θα παρουσιάζει την εξέλιξη του μετώπου και την καμένη περιοχή ανά ώρα από τη στιγμή έναρξης έως και τη λήξη της προσομοίωσης (Εικόνα 5). Ο χρήστης μπορεί να δει την εξέλιξη της πυρκαγιάς είτε μέσω στατικών ωριαίων εικόνων είτε μέσω κινούμενων χρονικά εικόνων. Κάθε σημείο πυρκαγιάς ανά χρήση επεξεργάζεται σε διαφορετικό νήμα (thread), ενώ εάν ταυτόχρονα 2 ή περισσότεροι χρήστες εισάγουν δεδομένα για προσομοίωση τότε για κάθε χρήστη θα ενεργοποιηθεί ξεχωριστό εικονικό

μηχάνημα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η δραστική μείωση του χρόνου επεξεργασίας και προσομοίωσης της πυρκαγιάς. Σε περίπτωση που όλα τα διαθέσιμα μηχανήματα είναι απασχολημένα με κάποια προσομοίωση, η εκτέλεση μίας νέας προσομοίωσης θα γίνει μόλις αποδεσμευτεί κάποιο από τα ήδη απασχολημένα μηχανήματα. Για λόγους καλύτερου ελέγχου της έκτασης της πυρκαγιάς, καθώς και για λόγους ακρίβειας της προσομοίωσης, δεν επιτρέπεται η χρονική διάρκεια της να ξεπερνά τις 2 ημέρες. Τέλος, ο χρήστης με δικαιώματα «διαχειριστή» έχει τη δυνατότητα να αυξομειώσει τα διαθέσιμα εικονικά μηχανήματα, τα οποία μπορούν να δεχθούν δεδομένα προσομοίωσης της εξάπλωσης μίας πυρκαγιάς ανεξάρτητα από τις συνθήκες του Πίνακα 1. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι σημαντικό σε περιόδους εκπαίδευσης του προσωπικού.



Εικόνα 5. Αποτελέσματα προσομοίωσης εξάπλωσης πυρκαγιάς.

3.2 Ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση

Η ποσοτική αξιολόγηση της εφαρμογής αφορά την παράλληλη επεξεργασία που πραγματοποιείται κατά την πρώτη και τρίτη περίπτωση χρήσης. Καθ' όλη τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου, ο υπολογισμός εκτίμησης κινδύνου πυρκαγιάς για τις επόμενες 5 ημέρες απαιτεί μία ώρα υπολογισμού (09:30-10:30) ημερησίως. Μέσα σε αυτή την ώρα δημιουργούνται οι 112 χάρτες κινδύνου και οι 448 μετεωρολογικοί χάρτες. Όσον αφορά τις προσομοιώσεις εξάπλωσης πυρκαγιάς παρατηρείται μεγαλύτερη χρήση κατά τις ώρες 09:00-24:00, χρονικό διάστημα κατά το οποίο γίνεται η επεξεργασία του συνόλου των περιστατικών πυρκαγιάς.

Οι επιδόσεις της παράλληλης επεξεργασίας για την εκτίμηση του κινδύνου αξιολογήθηκαν με τους παρακάτω δείκτες απόδοσης (Kumar and Gupta 1994):

- Σειριακός χρόνος: Ο χρόνος εκτέλεσης T_s του σειριακού αλγόριθμου.
- Χρόνος απόκρισης: Ο χρόνος παράλληλης επεξεργασίας T_p είναι η χρονική διάρκεια από τη στιγμή που υποβάλλεται η πρώτη εργασία μέχρι το τέλος της τελευταίας εργασίας. Ο αριθμός των επεξεργαστών είναι p .

- **Κόστος:** Ο χρόνος T_o που περιλαμβάνει το χρόνο επικοινωνίας, συγχρονισμού και ενεργοποίησης νέων εικονικών μηχανών, και δίνεται από τη σχέση:

$$T_o = pT_p - T_s$$

- **Επιτάχυνση:** Ο λόγος (S) του σειριακού χρόνου T_s προς το χρόνο απόκρισης T_p .
- **Αποτελεσματικότητα:** Ο λόγος (E) της επιτάχυνσης T_s προς τον αριθμό των επεξεργασιών p .

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ο χρόνος απόκρισης χρησιμοποιώντας 7 πυρήνες (παράλληλη εκτέλεση) είναι περίπου 23,5 min ενώ ο χρόνος όταν εκτελείται ο ίδιος κώδικας σειριακά είναι 2 hrs και 20 min. Συμπερασματικά, στο υπολογιστικό νέφος ο χρόνος που απαιτείται είναι 5,95 φορές λιγότερος από το χρόνο που απαιτείται για την ίδια εργασία αν εκτελεστεί τοπικά σε ένα μονοπύρηνο υπολογιστή. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 2. Όσον αφορά την περίπτωση προσομοίωσης εξάπλωσης πυρκαγιάς, ο χρόνος επεξεργασίας ανά χρήστη είναι περίπου 4 min, σε περίπτωση που υπάρχει διαθέσιμη εικονικό μηχανήμα για να δεχθεί άμεσα την επεξεργασία. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται α) από τον αριθμό των πυρκαγιών ανά προσομοίωση, και συγκεκριμένα από την απόσταση μεταξύ των σημείων έναρξης, γιατί αυτή η απόσταση καθορίζει και το μέγεθος της γεωγραφικής περιοχής, και β) από τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης, δηλαδή το χρόνο έναρξης και λήξης μίας πυρκαγιάς. Η κατανάλωση πόρων κατά την αντιτυρική περίοδο για να υποστηριχτεί η προσομοίωση της εξάπλωσης πυρκαγιάς με 2 πυρήνες επεξεργασίας είναι 5.856 hrs επεξεργασίας.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα παράλληλης επεξεργασίας για την εκτίμηση του κινδύνου.

7-πύρινη ανάπτυξη εφαρμογής εκτίμησης κινδύνου	
Χρόνος απόκρισης	23 min 36 sec
Κόστος (overhead)	25 min
Κατανάλωση πόρων (122 ημέρες)*	3.660 hrs επεξεργασίας
Επιτάχυνση (Αποτελεσματικότητα)	x5,95 (85%)

* Αναφέρεται στη διάρκεια της αντιτυρικής περιόδου από 01/06 έως 30/09

Κατά την περίοδο δοκιμών, περίπου το 1% των εργασιών αποτύγχαναν να εκτελεστούν και οφείλονταν σε σφάλματα επικοινωνίας με τους μετεωρολογικούς σταθμούς, καθώς και στη μη ύπαρξη δεδομένων στο διακομιστή που παρέχει τα προγνωστικά μετεωρολογικά δεδομένα. Επίσης, παρουσιάστηκαν ορισμένα προβλήματα στην τρίτη περίπτωση χρήσης όπου απετύγχανε η έναρξη προσομοίωσης της εξάπλωσης των πυρκαγιών λόγω αποτυχίας του στοιχείου ελέγχου Silverlight, που έτρεχε στον υπολογιστή του χρήστη, να επικοινωνήσει με τον εξυπηρετητή ιστοτόπου.

Οι απαιτήσεις λογισμικού στον τελικό χρήστη περιλαμβάνουν μόνο το στοιχείο ελέγχου Silverlight το οποίο και θα εγκατασταθεί κατά την πρώτη χρήση της εφαρμογής. Για την ανάπτυξη της εφαρμογής απαιτήθηκαν δύο εξωτερικές δυναμικές βιβλιοθήκες (dlls). Η πρώτη περιλαμβάνει τον αλγόριθμο εξάπλωσης της πυρκαγιάς και η δεύτερη είναι μέρος του ArcGIS API για το στοιχείο ελέγχου Silverlight το οποίο χρειάζεται για τους μετασχηματισμούς των συντεταγμένων. Οι μετασχηματισμοί απαιτούνται για να μετατραπούν οι συντεταγμένες μεταξύ των συστημάτων WGS 1984

(WKID: 4326) και Web Mercator (WKID: 102113). Η ίδια βιβλιοθήκη χρησιμοποιείται για τη λειτουργικότητα της διαφάνειας των επιφανειών.

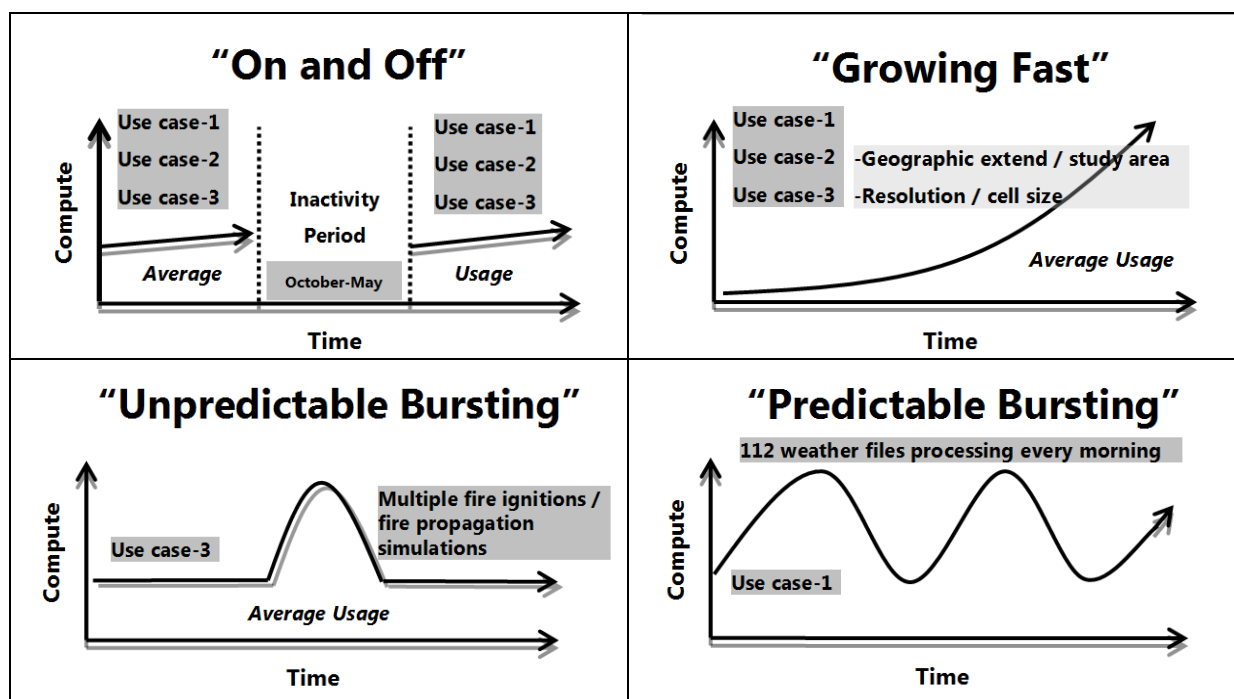
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες εμφανίζονται περίπου 50 χιλιάδες πυρκαγιές ανά έτος στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Από αυτές τις πυρκαγιές περίπου το 70% λαμβάνουν χώρα στις χώρες της Μεσογείου και έχουν ως αποτέλεσμα το 85% της συνολικά καμένης έκτασης. Παράλληλα, οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις είναι πολύ σημαντικές. Η δυνατότητα πρόγνωσης του κινδύνου και της εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών είναι ένα σημαντικό διαχειριστικό εργαλείο για την υποστήριξη της λήψης ορθολογικών αποφάσεων από τις υπηρεσίες πολιτικής προστασίας και εκτάκτων αναγκών. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή αυτών των εργαλείων σε ένα νέφος υπολογιστών έχει ως πλεονέκτημα μεγάλο μεγέθους δεδομένα να επεξεργάζονται όποτε είναι αυτό απαραίτητο σε μικρό χρόνο. Η υπολογιστική ισχύς που απαιτείται όταν αυξάνεται η χωροχρονική ανάλυση του προβλήματος μπορεί να γίνει διαθέσιμη μέσα από την προτεινόμενη λύση αυτής της εργασίας. Μη εξειδικευμένοι χρήστες με την επιστήμη της πληροφορικής μπορούν να χρησιμοποιήσουν την εφαρμογή χωρίς να απαιτείται κάποια ιδιαίτερη εκπαίδευση.

Οι τρεις (3) προτεινόμενες περιπτώσεις χρήσης εκμεταλλεύονται πλήρως τις παρακάτω αρχές του επεξεργασίας σε νέφος υπολογιστών (Εικόνα 6):

- 1) “On and Off”: Η εφαρμογή λειτουργεί μόνο κατά την αντιπυρική περίοδο (Ιούνιος έως και Σεπτέμβριος). Έτσι επιτυγχάνεται μείωση του κόστους σε σύγκριση με λύσεις όπου ο εξοπλισμός διατίθεται από τον τελικό χρήστη.
- 2) “Growing Fast”: Η εφαρμογή μπορεί να ανταποκριθεί σε τυχόν αύξηση των απαιτήσεων σε πόρους λόγω αύξησης της γεωγραφικής περιοχής ή/και της χωρικής ανάλυσης.
- 3) “Unpredictable Bursting”: Κατά τη διάρκεια πολλαπλών περιστατικών πυρκαγιών, είτε πραγματικών είτε κατά την εκπαίδευση του προσωπικού, το νέφος μπορεί να ανταποκριθεί παρέχοντας άμεσα την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ που θα ζητηθεί.
- 4) “Predictable Bursting”: Κάθε πρωί γίνονται διαθέσιμα τα μετεωρολογικά δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό 112 χαρτών εκτίμησης κινδύνου πυρκαγιάς.

Όσον αφορά το κόστος, αποδείχτηκε ότι είναι οικονομικότερο να ενοικιάζεται χρόνος επεξεργασίας στο υπολογιστικό νέφος παρά να αγοράζονται πολύπλοκα κέντρα επεξεργασίας. Η εκτίμηση του κινδύνου για μία αντιπυρική περίοδο θα χρειαστεί 3.660 hrs επεξεργασίας (Πίνακας 2). Συνεπώς, για την περίπτωση της Λέσβου απαιτείται ένα εικονικό μηχάνημα, από 1 Ιουνίου μέχρι και 30 Σεπτεμβρίου (για την αλληλεπίδραση τελικών χρηστών και συστήματος) και άλλοι 6 υπολογιστικοί κόμβοι που θα χρησιμοποιούνται μόνο για μία ώρα κάθε μέρα. Το κόστος επεξεργασίας ανά πυρήνα που παρέχεται από την πλατφόρμα Windows Azure είναι περίπου 0,09 € ανά ώρα οπότε το σύνολο της επεξεργασίας θα κοστίσει περίπου 330 € για όλη την αντιπυρική περίοδο. Η αγορά νέου εξοπλισμού και το κόστος συντήρησης του είναι πολλαπλάσιο από την προτεινόμενη λύση.



Εικόνα 6. Αντιστοίχιση των περιπτώσεων χρήσης στις αρχές της επεξεργασίας σε νέφος υπολογιστών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Albini, F. A., Brown, J. K., Reinhardt, E. D., and Ottmar, R. D., 1995, Calibration of a large fuel burnout model. *International Journal of Wildland Fire*, 5(23), 173-192.
- Albini, F. A. and Reinhardt, E. D., 1995, Modeling ignition and burning rate of large woody natural fuels. *International Journal of Wildland Fire*, 5(2), 81-91.
- Andrews, P. L., 1986, BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system - BURN subsystem, part 1. General Technical Report INT-194. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- Andrews, P. L. and Chase, C. H., 1989, BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system - BURN subsystem, part 2. General Technical Report INT-260. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- Andrews, P. L. and Bradshaw, L. S., 1990, RXWINDOW: defining windows of acceptable burning conditions based on desired fire behavior. General Technical Report INT-273. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- ΓΓΠΠ, 2012, Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας. <http://www.gscp.gr>
- Deeming, J. E., Burgan, R. E. and Cohen, J. D., 1977, The national fire-danger rating system – 1978. General Technical Report INT-39. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Finney, M. A., 2004, *FARSITE*: Fire Area Simulator—model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4 Revised. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

- Finney, M. A., 2006, An overview of FlamMap modeling capabilities. In 'Fuels Management – How to measure success'. 28-30 March 2006, Portland, OR (USDA Forest Service, Forest Service, Rocky Mountain Research Station RMRS-P-41), pp. 213-219.
- Hoffmann, A. A., Schindler, L. and Goldammer, J. G., 1999, Aspects of a fire information system for East Kalimantan, Indonesia. In 'Proceedings of the 3rd International Symposium on Asian Tropical Forest Management'. 20–23 September 1999, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia (Tropical Forest Research Center, Mulawarman University and Japan International Cooperation Agency: Indonesia), pp. 176– 185.
- Kalabokidis, K., Xanthopoulos, G., Moore, P., Caballero, D., Kallos, G., Llorens, J., Roussou, O., and Vasilakos, C., 2012, Decision support system for forest fire protection in the Euro-Mediterranean region. *European Journal of Forest Research* DOI: 10.1007/s10342-011-0534-0.
- Kumar, V.P., and Gupta, A., 1994, Analyzing Scalability of Parallel Algorithms and Architectures. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 22, 379-391.
- Nelson, R. M., 2000, Prediction of diurnal change in 10-h fuel stick moisture content. *Canadian Journal of Forest Research*, 30, 1071-1087.
- Peterson, S. H., Morais, M. E., Carlson, J. M., Dennison, P. E., Roberts, D. A., Moritz, M. A. and Weise, D. R., 2009, Using HFire for spatial modeling of fire in shrublands. Research Paper PSW-RP-259. Albany, CA: USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Rothermel, R. C., 1972, A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. General Technical Report INT-115. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Rothermel, R. C., 1991, Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains. Research Paper INT-438. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- SKIRON, 2012, ΣΚΙΡΩΝ: Μοντέλο Πρόγνωσης Καιρού. ΕΚΠΙΑ, Τμήμα Φυσικής. <http://forecast.uoa.gr/greek/forecastnew.php>
- Stratton, R. D., 2006, Guidance on spatial wildland fire analysis: models, tools, and techniques. General Technical Report RMRS-GTR-183. Ft. Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Stratton, R. D., 2009, Guidebook on LANDFIRE fuels data acquisition, critique, modification, maintenance, and model calibration. General Technical Report RMRS-GTR-220. Ft. Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Taylor, S. W., and Alexander, M. E., 2006, Science, technology and human factors in fire danger rating: the Canadian experience. *International Journal of Wildland Fire*, 15, 121–135.
- Van Wagner, C. E., 1977, Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(1), 23-34.
- Van Wagner, C. E., 1987, Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forestry Technical Report 35. Ottawa, ON: Canadian Forestry Service.
- Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., Kallos, G. and Matsinos, Y., 2007, Integrating new methods and tools in fire danger rating. *International Journal of Wildland Fire*, 16(3), 306-316.

- Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J. and Matsinos, I., 2009, Identifying wildland fire ignition factors through sensitivity analysis of a neural network. *Natural Hazards*, 50(1), 125-143.
- VENUS-C, 2012, Virtual Multidisciplinary Environments Using Cloud Infrastructures. <http://www.venus-c.eu>
- VF, 2010, Virtual Fire Platform for Forest Fire Management. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας. <http://virtualfirepro.aegean.gr>
- Viegas, X., Bovio, G., Ferreira, A., Nosenzo, A. and Bernard, S., 1999, Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe. *International Journal of Wildland Fire*, 9(4), 235–246.

Development of a Wildfire Danger Rating and Fire Propagation System in a Cloud Computing Platform

Kostas Kalabokidis, Christos Vasilakos, Nikolaos Athanasis, Palaiologos Palaiologou
University of the Aegean, Department of Geography, 81100 Mytilene, Greece

Summary

High spatial and temporal resolution of environmental modeling demands high computing power and storage. These capabilities are usually provided by clusters of interconnected computers to minimize the processing time. However, due to the very high cost of this solution (storage capacities, power consumption, expensive software license updates etc.), cloud computing can be a cost- and result-effective alternative to the end-users. The purpose of this paper is to present the development and the implementation of a state-of-the-art application running in the cloud, composed of a wildfire danger rating and a fire propagation simulation system. The two above applications are served in Software as a Service (SaaS) model within a Web GIS platform to the fire management agencies that participate as end-users in the study area of Lesbos Island, Greece. The system, based on forecasted meteorological data, calculates and provides daily to the end-users 112 maps in high spatiotemporal resolution of the hourly forecasted fire danger for the next 5 days. In addition, actual fire danger rating is calculated hourly based on meteorological conditions provided by Remote Automatic Weather Stations. End-users can also simulate, based on the HFire algorithm, the fire propagation by simply providing the ignition point and the projected duration of the fire. The efficiency of the proposed solution is based on the flexibility to scale up or down the number of computing nodes needed for the requested processing. In this context, end-users will be charged only for their consumed processing time and only during the actual wildfire confrontation period. The system is based on the Windows Azure cloud computing platform, while the visualization of the outputs and the interactions/collection of the user inputs are achieved with the Microsoft Bing Maps Silverlight Control. This research is conducted within the EU co-funded FP7 project VENUS-C (Virtual Multidisciplinary EnviroNments USing Cloud Infrastructures: www.venus-c.eu).