

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ, ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Ανάπτυξη Εμπείρου Συστήματος
για τις ασθένειες και τους εχθρούς της πατάτας»



Φίλιππος Π. Δημόπουλος

Επιβλέπων: Αναπλ. Καθηγητής Κ. Γιαλούρης

Αθήνα 2012

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ, ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Ανάπτυξη Εμπείρου Συστήματος
για τις ασθένειες και τους εχθρούς της πατάτας»**

Φίλιππος Π. Δημόπουλος

Επιβλέπων: Αναπλ. Καθηγητής Κ. Γιαλούρης

Αθήνα 2012

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Ανάπτυξη Εμπείρου Συστήματος
για τις ασθένειες και τους εχθρούς της πατάτας»**

Φίλιππος Π. Δημόπουλος

Επιβλέπων: Αναπλ. Καθηγητής Κ. Γιαλούρης

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Γιαλούρης Κωνσταντίνος Αναπ. Καθηγητής (επιβλέπων)

Λορέντζος Νικόλαος Καθηγητής

Ακουμιανάκης Κωνσταντίνος Αναπ. Καθηγητής

Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, περιγράφονται τα κύρια βήματα που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία ενός Έμπειρου Συστήματος για την αναγνώριση των σημαντικότερων ασθενειών και εχθρών του φυτού της πατάτας.

Το πρώτο μέρος της εργασίας αναφέρεται στην Τεχνητή Νοημοσύνη και στα Έμπειρα Συστήματα. Ακόμα, περιγράφονται τα βασικότερα συστήματα που έχουν δημιουργηθεί, και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για τα επόμενα που ακολούθησαν.

Το δεύτερο μέρος αναφέρεται στο φυτό της πατάτας, στη σημασία του και στη χρησιμότητα του καθώς και στα προβλήματα που αντιμετωπίζονται στην καλλιέργεια του. Γίνεται αναφορά στις ασθένειες και στα συμπτώματα που παρουσιάζει το φυτό καθώς και στους εχθρούς.

Στο τρίτο μέρος γίνεται μια μικρή παρουσίαση του εργαλείου που χρησιμοποιήθηκε, (EXSYS PROFESSIONAL) και αναλύονται οι βασικές του λειτουργίες.

Στο τέταρτο και τελευταίο μέρος, περιγράφεται ο σχεδιασμός του Έμπειρου Συστήματος. Γίνεται αναφορά στο Φυσικό πρόβλημα και στον τρόπο Σύλληψης της Γνώσης.

Ο στόχος του Έμπειρου Συστήματος που αναπτύχθηκε είναι να χρησιμοποιηθεί συμβουλευτικά, σαν μια πρώτη άποψη πάνω στα προβλήματα της καλλιέργειας της πατάτας. Ακόμα, μπορεί να φανεί χρήσιμο στον αρχάριο χρήστη παρέχοντας του γνώσεις τις οποίες μόνο κάποιος εμπειρογνώμονας θα μπορούσε να γνωρίζει. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και από τους ειδικούς, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα χρησιμοποιώντας το, να παίρνουν καλύτερες αποφάσεις και να παρέχουν χρήσιμες συμβουλές στους καλλιεργητές. Σε δεύτερο επίπεδο, το σύστημα μπορεί να αποτελέσει βάση για την κατασκευή πιο σύνθετων συστημάτων, που θα μπορούν να αντιμετωπίσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα προβλήματα.

Λέξεις Κλειδιά

Έμπειρα Συστήματα, Τεχνητή Νοημοσύνη, EXSYS PROFESSIONAL, Ασθένειες Πατάτας, Εχθροί Πατάτας, Έμπειρα Συστήματα στη Γεωπονία.

Abstract

In this dissertation the main steps followed to create an Expert System for identification of major diseases and pests of the potato plant are described.

The first part of the work refers to Artificial Intelligence and Expert Systems. There are also, described the basic systems that have been developed as well as the methodologies that were used as the basis for the development of the Expert System for the potato diseases and pests.

The second part refers to the potato plant, in its importance and usefulness and to problems encountered in cultivation. Reference is made to diseases and symptoms and signs occurred in the plant and as well as and in pests.

In the third part a short presentation of the tool used (EXSYS PROFESSIONAL) is presented and its basic functions are analyzed.

In the fourth and last part the design of the Expert System is described. Reference is made in the Physical problem and in the way of knowledge acquisition and coding is presented.

The goal of the developed expert system is to be used consultatively as a first approach on the problems of potato cultivation. It may also be useful to a non expert user by providing him the knowledge that only one expert could have. It can also be used by specialists who will be able to make better decisions and provide useful advice to farmers. In the second level, the system could be the basis for the designing and building of more complex systems that can cope with relative problems more accurately and efficiently.

Keywords

Expert systems, Artificial Intelligence, EXSYS PROFESSIONAL, Potato Diseases, Potato Pests, Expert systems in Agriculture.

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κωνσταντίνο Γιαλούρη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για τη δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την παρούσα εργασία και για την απαραίτητη καθοδήγηση και τις επιστημονικές συμβουλές που μου προσέφερε από τη θέση του επιβλέποντα. Επίσης, ευχαριστώ τους Καθηγητές κ. Ακουμιανάκη και κ. Παπαδούλη για τις εξειδικευμένες γνώσεις και την σημαντική βοήθεια που μου προσέφεραν, δίχως την οποία η προσπάθεια αυτή δεν θα είχε διεκπεραιωθεί.

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
2	ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ.....	10
2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
2.2	ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ	10
2.3	ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΦΥΣΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ	12
2.4	ΤΟΜΕΙΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ	13
3	ΈΜΠΕΙΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	15
3.1	ΟΡΙΣΜΟΣ.....	15
3.2	ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΈΜΠΕΙΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	16
3.3	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΈΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	18
3.3.1	<i>Κατηγορίες ειδικών στην ανάπτυξη ενός Έμπειρου Συστήματος</i>	<i>18</i>
3.3.2	<i>Διαδικασία ανάπτυξης ενός Έμπειρου Συστήματος</i>	<i>20</i>
3.4	ΈΜΠΕΙΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ	23
3.5	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ/ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΆΝΘΡΩΠΟ-ΕΙΔΙΚΟ.....	24
3.6	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΈΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	25
3.7	ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΈΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ-ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	29
4	ΤΟ ΦΥΤΟ ΤΗΣ ΠΑΤΑΤΑΣ	37
4.1	ΚΑΤΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΞΑΠΛΩΣΗ.....	37
4.2	ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΑΤΑΤΑΣ ΣΗΜΕΡΑ	37
4.3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ	40
4.4	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ	41
4.5	ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ-ΕΧΘΡΟΙ ΠΑΤΑΤΑΣ.....	41
5	EXSYS PROFESSIONAL	43
5.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ.....	43
6	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΈΜΠΕΙΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	47
6.1	ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	47
6.2	ΣΥΛΛΗΨΗ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ	47
6.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ.....	49
6.3.1	<i>Συμπτώματα/Χαρακτηριστικά.....</i>	<i>53</i>
6.3.2	<i>Συσχέτιση ασθενειών και συμπτωμάτων.....</i>	<i>56</i>
6.3.3	<i>Αναπαράσταση της γνώσης.....</i>	<i>57</i>
6.3.4	<i>Αναγνώριση με ελλιπή πληροφορία.....</i>	<i>59</i>
6.3.5	<i>Αρχιτεκτονική του Συστήματος.....</i>	<i>60</i>
6.3.6	<i>Έλεγχος – Αξιολόγηση</i>	<i>69</i>
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	72
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΚΑΙ ΕΧΘΡΟΙ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ ΤΗΣ ΠΑΤΑΤΑΣ	82

1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός Έμπειρου Συστήματος για την διάγνωση των ασθενειών της πατάτας και για την αναγνώριση των εχθρών της. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το EXSYS PROFESSIONAL. Μελετήθηκαν και αναλύθηκαν 31 ασθένειες 18 Μυκητολογικές, 7 Βακτηριολογικές, 6 Ιολογικές και 9 εχθροί.

Το φυτό της πατάτας είναι ένα από τα σημαντικότερα γεωργικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται για την ανθρώπινη διατροφή. Μεγάλο ρόλο στην καθιέρωση της πατάτας στην παγκόσμια διατροφή έπαιξε η ιδιαίτερη αντοχή της στο ψύχος και έτσι μεγάλοι λιμοί αποσοβήθηκαν επειδή η πατάτα κάλυψε το κενό άλλων αποτυχημένων καλλιεργειών. Επίσης, η θερμιδική της αξία είναι 4 φορές μεγαλύτερη ανά καλλιεργούμενο στρέμμα γης σε σχέση με το σιτάρι. Άλλες χρήσεις που μπορεί να έχει η πατάτα είναι η Ζωοτροφή, η παραγωγή αλκοολούχων ποτών καθώς και στη Βιομηχανία όπου το άμυλο που περιέχει βρίσκει πολλές εφαρμογές. Στην Ελλάδα η πατάτα ξεκίνησε να καλλιεργείται το 1800 και σήμερα, πάνω από 300 χιλιάδες στρέμματα καλλιεργούνται κάθε χρόνο με κύριες πατατοπαραγωγικές περιοχές τους Νομούς Δράμας, Αχαΐας και Ηλείας.

Η ευαισθησία του φυτού σε έντομα, νηματώδεις και παθογόνα του εδάφους είναι μεγάλη και η αντιμετώπιση τους είναι πολλές φορές δύσκολη και δαπανηρή γι' αυτό είναι απαραίτητο να γίνεται εργαστηριακός προσδιορισμός της παρουσίας τους πριν την εγκατάσταση μιας πατατοφυτείας σε μια περιοχή. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για την καταστροφή που μπορεί να επιφέρει η μόλυνση από παθογόνα στις καλλιέργειες είναι η καταστροφή που συνέβη στην Ιρλανδία το 18^ο αιώνα όπου λόγω της επέλασης του Περονόσπορου η σοδειά καταστράφηκε ολοσχερώς με αποτέλεσμα 1 εκατ. νεκρούς και άλλους τόσους να αναγκάζονται να μεταναστεύουν στις Ηνωμένες Πολιτείες. Σε περίπτωση μόλυνσης είναι πολύ σημαντική η έγκαιρη και σωστή διάγνωση. Λόγω του μεγάλου πλήθους των ασθενειών αλλά και των παρεμφερών χαρακτηριστικών τους είναι πολύ δύσκολη η διάγνωση κάποιας ασθένειας χωρίς να γίνει εργαστηριακός έλεγχος. Όσον αφορά τους εχθρούς, η αναγνώριση έχει καλύτερα αποτελέσματα λόγω των διακριτών χαρακτηριστικών που έχουν.

Ο στόχος του Έμπειρου Συστήματος που αναπτύχθηκε είναι να χρησιμοποιηθεί συμβουλευτικά ή σαν μια πρώτη άποψη πάνω στα προβλήματα της καλλιέργειας της πατάτας καθώς και να γεμίσει το κενό γνώσεων μεταξύ των εμπειρογνομόνων και του αρχάριου γεωπόνου. Οι ειδικοί έχουν τη δυνατότητα χρησιμοποιώντας το, να παίρνουν καλύτερες αποφάσεις και να παρέχουν χρήσιμες συμβουλές στους καλλιεργητές. Σε δεύτερο επίπεδο, το

σύστημα μπορεί να αποτελέσει βάση για την κατασκευή πιο σύνθετων συστημάτων, που θα μπορούν να αντιμετωπίσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα προβλήματα.

Το πρώτο μέρος της εργασίας αναφέρεται στην Τεχνητή Νοημοσύνη η οποία καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα περιοχών και στα Έμπειρα Συστήματα ειδικότερα τα οποία κωδικοποιούν και χειρίζονται τη γνώση και τη συλλογιστική ενός ανθρώπου-ειδικού σε έναν εξειδικευμένο τομέα, με σκοπό την επίλυση προβλημάτων ή την παροχή συμβουλών. Η μεθοδολογία, για την επίλυση προβλημάτων, δεν ακολουθεί την συμβατική μορφή ενός προγράμματος, με δεδομένα και αλγορίθμους, αλλά έχει μια αρχιτεκτονική που έχει σαν πυρήνες μία βάση γνώσης (knowledge base) και μία μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων (inference engine). Επίσης περιγράφονται τα βασικότερα συστήματα που έχουν δημιουργηθεί, και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για τα επόμενα που ακολούθησαν. Ακόμα γίνεται αναφορά σε τομείς που έχουν γίνει προσπάθειες χρήσης Έμπειρων Συστημάτων αποδεικνύοντας το ευρύ φάσμα εφαρμογής τους.

Στο δεύτερο μέρος αναφερόμαστε στο φυτό της πατάτας, στη σημασία του και στη χρησιμότητα του καθώς και στα προβλήματα που αντιμετωπίζονται στην καλλιέργεια του. Γίνεται αναφορά στις ασθένειες, Μυκητολογικές, Βακτηριολογικές, Ιολογικές και στα συμπτώματα που παρουσιάζει το φυτό καθώς και στους εχθρούς, στα χαρακτηριστικά τους και στις ζημιές που προκαλούν στα φυτά.

Στο τρίτο μέρος γίνεται μια μικρή παρουσίαση του εργαλείου που χρησιμοποιήθηκε, (EXSYS PROFESSIONAL) και αναλύονται οι βασικές του λειτουργίες. Γίνεται αναφορά στις έννοιες Choices, Qualifiers, Rules οι οποίες είναι βασικές στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος.

Στο τέταρτο και τελευταίο μέρος, περιγράφεται ο σχεδιασμός του Έμπειρου Συστήματος. Γίνεται αναφορά στο Φυσικό πρόβλημα και στον τρόπο Σύλληψης της Γνώσης που είναι ίσως το βασικότερο κομμάτι στην ανάπτυξη ενός Έμπειρου Συστήματος. Επίσης, παρουσιάζονται οι πηγές απ' όπου αντλήθηκε η γνώση για την δημιουργία της Βάσης Γνώσης του συστήματος και ο τρόπος Ανάλυσης της Γνώσης από τη βιβλιογραφία. Έπειτα από την κωδικοποίηση της, η Γνώση χρησιμοποιήθηκε από το σύστημα με τέτοιο τρόπο ώστε ο χρήστης επιλέγοντας από μια σειρά συμπτωμάτων ή χαρακτηριστικών να καταλήγει σε κάποιο συμπέρασμα.

2 Τεχνητή νοημοσύνη

2.1 Εισαγωγή

Η Τεχνητή Νοημοσύνη - TN (Artificial Intelligence -AI) αν και συμπλήρωσε μισό αιώνα ζωής εξακολουθεί να είναι μια από τις πιο μοντέρνες ερευνητικές περιοχές. Τυπικά ξεκίνησε το 1956 στη συνάντηση μερικών επιφανών επιστημόνων, όπως ο John McCarty, Marvin Minsky, Claude Shannon και άλλοι, αν και η έρευνα είχε ξεκινήσει 5 χρόνια πριν. Από την άλλη, η μελέτη της νοημοσύνης είναι ένα από τα πιο παλιά θέματα της ανθρώπινης αναζήτησης. Για περισσότερο από 2000 χρόνια, οι φιλόσοφοι προσπάθησαν να ερμηνεύσουν το μηχανισμό της όρασης, της μάθησης, της απομνημόνευσης, της αντίληψης και του συλλογισμού, όπως ο Αριστοτέλης, ο Ηράκλειτος, ο Descartes κλπ.

Η TN περικλείει ένα πλήθος ερευνητικών πεδίων, από γενικού σκοπού όπως η αντίληψη και η συλλογιστική έως πιο συγκεκριμένων, όπως το παίξιμο σκακιού, η απόδειξη θεωρημάτων, η διάγνωση ασθενειών, κλπ. Συχνά ερευνητές από άλλες επιστημονικές περιοχές καταφεύγουν στην TN με σκοπό να βρουν εργαλεία για να αυτοματοποιήσουν τα λογικά βήματα που χρησιμοποιούν στην εργασία τους. Όμοια, ερευνητές της TN εφαρμόζουν τις μεθόδους τους σε διάφορες περιοχές όπου απαιτείται ανθρώπινη ευφυή προσπάθεια.

Η TN χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, τη Συμβολική και τη Μη-Συμβολική TN. Η *Συμβολική Τεχνητή Νοημοσύνη (symbolic AI-Artificial Intelligence)* προσομοιώνει τον τρόπο σκέψης του ανθρώπου, χρησιμοποιώντας ως δομικές μονάδες τα σύμβολα. Ένα σύμβολο μπορεί να αναπαριστά μία έννοια ή μία σχέση ανάμεσα σε έννοιες. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι οι εφαρμογές της TN που χρησιμοποιούν αναπαράσταση γνώσης με λογική, κανόνες, πλαίσια, κλπ. Η *Μη Συμβολική Τεχνητή Νοημοσύνη (non symbolic AI- Artificial Intelligence)* προσομοιώνει βιολογικές διεργασίες, όπως τη διαδικασία εξέλιξης των ειδών ή τη λειτουργία του εγκεφάλου. Παραδείγματα τέτοιων τεχνικών αποτελούν τα νευρωνικά δίκτυα και οι γενετικοί αλγόριθμοι (Βλαχάβας κ.α., 2002).

2.2 Ορισμός της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η Τεχνητή Νοημοσύνη είναι το γενικό όνομα το οποίο δόθηκε στο πεδίο της επιστήμης των υπολογιστών αφιερωμένο στην ανάπτυξη των προγραμμάτων τα οποία τείνουν να αντιγράψουν πιστά την ανθρώπινη νοημοσύνη (Fonseca and Navarrese, 2002). Κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί διάφοροι ορισμοί της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN), από τους οποίους άλλοι επικεντρώνονται στη διαδικασία σκέψης και συλλογισμού και άλλοι στη συμπεριφορά.

Ένας από τους πρώτους ορισμούς που διατυπώθηκαν από τους Barr και Feigenbaum αναφέρει ότι, *"TN είναι ο τομέας της επιστήμης των υπολογιστών, που ασχολείται με τη σχεδίαση ευφυών (νοημόνων) υπολογιστικών συστημάτων, δηλαδή συστημάτων που επιδεικνύουν χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη νοημοσύνη στην ανθρώπινη συμπεριφορά.* (Βλαχάβας κ.α., 2002)

Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί σύμφωνα με τους οποίους στόχος της TN είναι να φτιάξει συστήματα που:

- Σκέφτονται όπως οι άνθρωποι :

Η προσπάθεια να κατασκευάσουμε υπολογιστές με διανοητική ικανότητα με την πλήρη και κυριολεκτική έννοια του όρου (Haugeland, 1989).

- Συμπεριφέρονται όπως οι άνθρωποι :

Η μελέτη του πώς να κάνουμε τους υπολογιστές να κάνουν πράγματα στα οποία αυτήν τη στιγμή οι άνθρωποι είναι καλύτεροι (Rich and Knight, 1991).

- Σκέφτονται λογικά :

Η μελέτη των υπολογισμών που καθιστούν εφικτή την αντίληψη, τη λογική σκέψη και την αντίδραση (Winston, 1992).

- Αντιδρούν λογικά :

Ο τομέας της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με την αυτοματοποίηση της ευφυούς συμπεριφοράς (Luger and Stubblefield, 1993).

Ένας γενικός ορισμός που περιλαμβάνει τα περισσότερα στοιχεία από τους ανωτέρω θα μπορούσε να είναι ο εξής :

"Τεχνητή Νοημοσύνη είναι ο τομέας της Επιστήμης των Υπολογιστών που ασχολείται με τη σχεδίαση και την υλοποίηση προγραμμάτων τα οποία είναι ικανά να μιμηθούν τις ανθρώπινες γνωστικές ικανότητες, εμφανίζοντας έτσι χαρακτηριστικά που αποδίδουμε συνήθως σε ανθρώπινη συμπεριφορά,, όπως για παράδειγμα η επίλυση προβλημάτων, η αντίληψη μέσω της όρασης, η μάθηση, η εξαγωγή συμπερασμάτων, η κατανόηση φυσικής γλώσσας, κλπ."

Άμεση συνέπεια των παραπάνω ορισμών είναι η αποδοχή ότι η TN είναι ένας συνεχώς εξελισσόμενος τομέας την Επιστήμης των Υπολογιστών που προσπαθεί να κάνει πραγματικότητα, ότι αυτή η επιστήμη δεν έχει καταφέρει μέχρι στιγμής. Κι αυτό είναι μία μεγάλη αλήθεια, αν σκεφτεί κανείς ότι η τεχνολογία του σήμερα δεν έχει προσφέρει στην υπηρεσία του ανθρώπου, τίποτε άλλο εκτός από μηχανές οι οποίες αποθηκεύουν τεράστιες ποσότητες πληροφορίας και έχουν την ικανότητα να τις προσπελάσουν σε ελάχιστο χρόνο. Ωστόσο, οι μηχανές αυτές απέχουν ακόμη από το να μην απαιτούν ειδικές γνώσεις για το χειρισμό τους, να

προσαρμόζονται στις ανάγκες του χρήστη, να μαθαίνουν από τα λάθη τους και να επιλύουν πραγματικά, δύσκολα, καθημερινά προβλήματα και όχι μόνον αριθμητικά.

Οι μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν για την TN έχουν αποδώσει καρπούς σε πολλές από τις επιμέρους περιοχές αυτής της επιστήμης, όπως:

- Απόδειξη θεωρημάτων
- Επεξεργασία φυσικής γλώσσας
- Τεχνητή όραση
- Μηχανική μάθηση
- Σχεδιασμός ενεργειών και χρονοπρογραμματισμός
- Αυτόνομα robot
- Έμπειρα Συστήματα και συστήματα γνώσης

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για την TN. Η *κλασική ή συμβολική* προσέγγιση, που βασίζεται στην κατανόηση των νοητικών διεργασιών και ασχολείται με τη προσομοίωση της ανθρώπινης νοημοσύνης προσεγγίζοντας την με αλγορίθμους και συστήματα που βασίζονται στη γνώση και η *συνδετική* (connectionist approach) ή *μη-συμβολική* προσέγγιση που βασίζεται στη μίμηση της βιολογικής λειτουργίας του εγκεφάλου προσεγγίζοντας το θέμα με τα λεγόμενα νευρομορφικά ή νευρωνικά δίκτυα.

2.3 Διαχωρισμός της τεχνητής από τη φυσική Νοημοσύνη

Η εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης σε μηχανές καθιστούν τις μηχανές αυτές ευφυείς και τις κάνουν να συμπεριφέρονται σχεδόν όπως ο άνθρωπος. Ο διαχωρισμός των μηχανών αυτών ως ευφυείς ή όχι καθορίζεται με τη βοήθεια του κριτηρίου που έθεσε ο Turing (δοκιμασία Turing).

Ο Alan Turing (1912-1953), ο οποίος θεωρείται ο πατέρας της TN, εμπνεύστηκε το 1950 μία δοκιμασία η οποία πήρε και το όνομα του (Turing Test - Δοκιμασία Turing), για το χαρακτηρισμό των μηχανών. Αυτό βασίζεται σε μία σειρά από ερωτήσεις που υποβάλει κάποιος ταυτόχρονα σε έναν άνθρωπο και μία μηχανή χωρίς να γνωρίζει εκ των προτέρων ποιος είναι τι. Αν στο τέλος δεν καταφέρει να ξεχωρίσει τον άνθρωπο από τη μηχανή, τότε η μηχανή πετυχαίνει στη δοκιμασία και θεωρείται ευφυής. Αν και η αποτελεσματικότητα της Δοκιμασίας Turing εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, θεωρείται μέχρι σήμερα ένα καλό μέτρο σύγκρισης της φυσικής με την τεχνητή νοημοσύνη και πολλοί διαγωνισμοί διοργανώνονται σε ετήσια βάση, χωρίς όμως ιδιαίτερα σοβαρά ή τουλάχιστο χρήσιμα αποτελέσματα.

Ο προγραμματισμός ενός υπολογιστή για να περάσει τη δοκιμασία Turing απαιτεί τη συμμετοχή αρκετών επιστημονικών περιοχών, όπως της επεξεργασίας φυσικής γλώσσας (natural language processing) για επικοινωνία σε φυσική γλώσσα, της αναπαράστασης γνώσης (knowledge representation) για την αποθήκευση της γνώσης πριν και κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας, της αυτοματοποιημένης συλλογιστικής (automated reasoning) για τη χρήση της αποθηκευμένης πληροφορίας και την εξαγωγή συμπερασμάτων, της μηχανικής μάθησης (machine learning) για προσαρμογή σε νέες περιπτώσεις, κλπ.

Στην αρχική της μορφή, η δοκιμασία Turing δεν προέβλεπε φυσική επαφή ανθρώπου μηχανής. Ωστόσο μια επέκταση της (Πλήρης Δοκιμασία Turing) περιλαμβάνει και την αναγνώριση εικόνων και αντικειμένων που ανταλλάσσονται μέσα από κάποια θυρίδα ώστε να μην υπάρχει οπτική επαφή με το δοκιμαζόμενο για τον έλεγχο των δυνατοτήτων αντίληψης του. Για το σκοπό αυτό απαιτείται η συμμετοχή και άλλων δύο επιστημονικών περιοχών, της μηχανικής όρασης (machine vision) για την αναγνώριση και της ρομποτικής (robotics) για τη μετακίνηση τους (Αποστόλου, 2004).

2.4 Τομείς της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η Τεχνητή Νοημοσύνη εφαρμόζεται σε όλο και περισσότερους τομείς που σχετίζονται με την τεχνολογία, τις διάφορες επιστήμες. Εφαρμόζεται σε συσκευές καθημερινής χρήσης, την βιομηχανία την άμυνα ακόμη και τα ηλεκτρονικά παιχνίδια. Κατά συνέπεια αναπτύχθηκαν πολλοί επιμέρους κλάδοι της επιστήμης αυτής (Γιαλούρης, 2011).

Μερικοί από τους κλάδους της Τεχνητής Νοημοσύνης είναι:

Η Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας, που σκοπός της είναι η επικοινωνία του ανθρώπου και του υπολογιστή σε φυσική γλώσσα. Η επικοινωνία αυτή περιλαμβάνει την κατανόηση από πλευράς υπολογιστή προτάσεων σε φυσική γλώσσα προκειμένου να εκτελέσει κάποιες λειτουργίες όπως για παράδειγμα φωνητική προσπέλαση σε Βάσεις Δεδομένων. Ο τομέας της επεξεργασίας φυσικής γλώσσας περιλαμβάνει ως εφαρμογή και την αυτόματη μετάφραση μεταξύ δύο φυσικών γλωσσών (π.χ. Αγγλικά - Ελληνικά).

Τα **Έμπειρα Συστήματα**, που αποσκοπούν στην αποθήκευση στον υπολογιστή της εμπειρίας ενός ειδικού σε κάποιο τομέα και στην εξασφάλιση της δυνατότητας του υπολογιστή να δρα πλέον ο υπολογιστή ως ειδικός. Τα Έμπειρα Συστήματα είναι από τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών της Τεχνητή Νοημοσύνης.

Η **Αναγνώριση Εικόνας**, η οποία έχει στόχο να δίδει στον υπολογιστή τη δυνατότητα, μέσω καταλλήλων οπτικών συστημάτων, να βλέπει και να αναγνωρίζει αντικείμενα. Η αναγνώριση εικόνας χρησιμοποιείται σε ρομποτικά συστήματα, σε συστήματα ασφαλείας, σε διαγνωστικά συστήματα κλπ.

Η **Μηχανική Μάθηση ή Μάθηση της Μηχανής**, που έχει σκοπό να δώσει στον υπολογιστή την δυνατότητα να αυξάνει την απόδοση, αυτό βελτιώνοντας τη γνώση του σε ένα ορισμένο τομέα χωρίς να επεμβαίνει ο άνθρωπος. Σε ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο έχει την ικανότητα να μαθαίνει η γνώση του βρίσκεται σε διαρκή μεταβολή, όπως ακριβώς συμβαίνει και στον άνθρωπο. Η μεταβολή της γνώσης μπορεί να γίνει είτε με μετασχηματισμό της νέας γνώσης και αποθήκευσή της σε μία δομή κατάλληλα επεξεργάσιμη από το σύστημα είτε με τον αυτό μετασχηματισμό του ιδίου του συστήματος όπως αυτό συμβαίνει στα Νευρωνικά Δίκτυα.

Τα **Νευρωνικά Δίκτυα**, μέσω των οποίων γίνεται προσομοίωση της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου σύμφωνα με τις θεωρίες της σύγχρονης Ψυχιατρικής, Ψυχολογίας και Νευροφυσιολογίας. Τα Νευρωνικά Δίκτυα χρησιμοποιούν τεχνικές και μεθοδολογίες από διάφορους επιστημονικούς χώρους όπως Μαθηματικά, Στατιστική, Φυσική κλπ. Και εξαπλώνονται σε πολλούς τομείς (Haibin et al., 2001). Τα Νευρωνικά Δίκτυα απαρτίζονται από τεχνητούς νευρώνες που αλληλεπιδρούν μέσω συνδέσμων που ονομάζονται συντελεστές βάρους. Θετικά ή αρνητικά βάρη αντιστοιχούν σε συνάψεις που μεταδίδουν προς άλλους νευρώνες ή αναστέλλουν ερεθίσματα από άλλους νευρώνες.

Η **Ρομποτική**, η οποία εξασφαλίζει τη συνεργασία διαφόρων κλάδων της Τεχνητής Νοημοσύνης, σε συνδυασμό με ηλεκτρομηχανικές διατάξεις, για την εκτέλεση διαφόρων εξειδικευμένων εργασιών. Σύγχρονα ρομπότ χρησιμοποιούνται σε αλυσίδες παραγωγής αυτοκινήτων ή εκτελούν εργασίες σε χώρους επικίνδυνους για τον άνθρωπο. Γενικά ένα ρομπότ αποτελείται από τρεις βασικές συνιστώσες: τους αισθητήρες, τις μονάδες επίδρασης στο περιβάλλον του ρομπότ και την μονάδα ελέγχου.

Οι **Γενετικοί Αλγόριθμοι** είναι προσανατολισμένοι στην αναζήτηση της βέλτιστης λύσης μέσα από ένα σύνολο αρχικών πιθανών λύσεων ενός προβλήματος. Κάθε τέτοια πιθανή λύση αναπαρίσταται με ένα μία σειρά χαρακτήρων (string) αποτελούμενη από bits ή οποία ονομάζεται και χρωμόσωμα (chromosome) ενώ κάθε χαρακτήρας της σειράς ονομάζεται γονίδιο (gene). Η επιλογή βασίζεται στην βαθμολόγηση κάθε λύσης με την χρήση μιας συνάρτησης καταλληλότητας (fitness function). Η Συνάρτηση αυτή έχει ως όρισμα ένα χρωμόσωμα και δίδει ως αποτέλεσμα

μία τιμή που δηλώνει την καταλληλότητα του αντιστοίχου χρωμοσώματος. Η διαδικασία ολοκληρώνεται με την μεγιστοποίηση της συνάρτησης.

Οι **Ευφυείς Πράκτορες (Intelligent Agents)** αποτελούν έναν από τους νεώτερους κλάδους της Τεχνητής Νοημοσύνης. Ένας πράκτορας είναι μία οντότητα που έχει αντίληψη του περιβάλλοντος στο οποίο ευρίσκεται και αντιλαμβάνεται αυτό μέσω αισθητήρων ενώ επενεργεί πάνω σε αυτό με ειδικούς μηχανισμούς δράσης (actuators). Έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί συλλογισμούς και να επιδρά πάνω στο περιβάλλον. Μπορούμε να διακρίνουμε τους λογισμικούς πράκτορες οι οποίοι λειτουργούν σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον και τους ρομποτικούς πράκτορες που λειτουργούν σε πραγματικό περιβάλλον. Μία ειδική κατηγορία πρακτόρων είναι αυτή των κινητών πρακτόρων (mobile agents) που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές διαδικτύου.

3 Έμπειρα Συστήματα

3.1 Ορισμός

Έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί για τα Έμπειρα Συστήματα. Ένα Έμπειρο Σύστημα (expert systems) θα μπορούσε να οριστεί ως:

- Ένα υπολογιστικό σύστημα ικανό να δώσει συμβουλές σε ένα συγκεκριμένο πεδίο γνώσης εξαιτίας του γεγονότος ότι περιέχει τη γνώση ενός ειδικού στο πεδίο αυτό (Αργιαλάς, 2001).

- Ένα Έμπειρο Σύστημα είναι ένα έξυπνο πρόγραμμα που χρησιμοποιεί γνώση και μηχανισμούς εξαγωγής συμπερασμάτων για να μπορεί να λύνει προβλήματα τα οποία είναι δύσκολα και μπορεί να απαιτούν σημαντική ανθρώπινη εμπειρία για τη λύση τους” (Feigenbaum, 1978).

Όπως παρατηρούμε για ένα Έμπειρο Σύστημα σημαντικότερες είναι οι έννοιες του προβλήματος και της γνώσης. Ένα Έμπειρο Σύστημα σχεδιάζεται για να αντιμετωπίσει ένα αυστηρά καθορισμένο πρόβλημα με βάση τη γνώση που παρέχεται από τους ειδικούς.

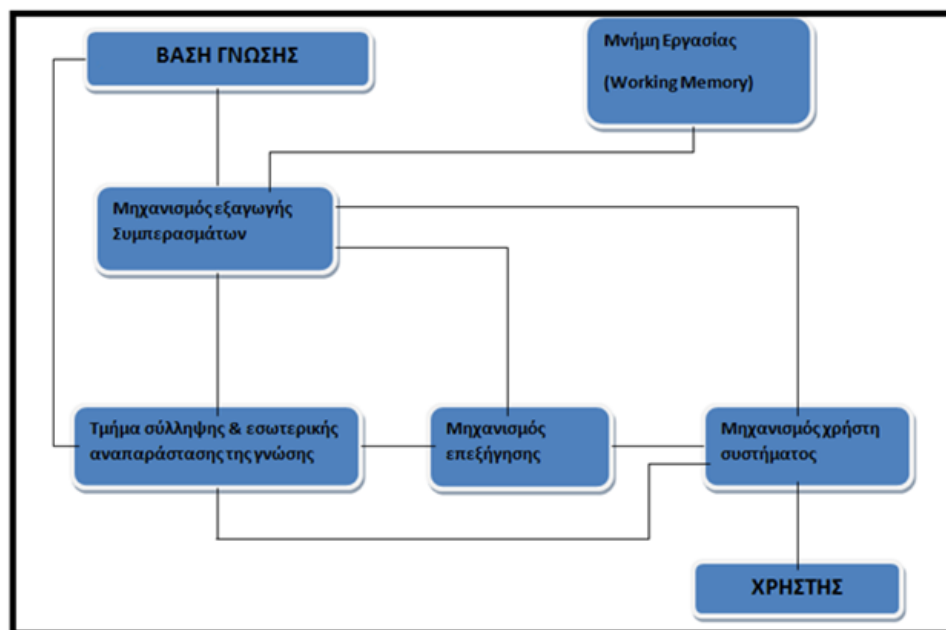
Ένα Έμπειρο Σύστημα αποτελείται από τη διεπαφή με τον χρήστη, την μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων, τη Βάση Γνώσης η οποία περιέχει την γνώση του ειδικού και ένα υποσύστημα παροχής επεξηγήσεων.

Για την ανάπτυξη ενός Έμπειρου Συστήματος απαιτείται αρχικά η εξαγωγή της γνώσης από τις διάφορες πηγές (ειδικοί, εγχειρίδια, κτλ.), κατόπιν η αναπαράσταση της γνώσης (σχήμα) και τέλος η υλοποίηση του Έμπειρου Συστήματος.

Για την υλοποίηση ενός Έμπειρου Συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε εξειδικευμένες γλώσσες προγραμματισμού όπως η CLIPS είτε τα λεγόμενα κελύφη ή φλοιοί Έμπειρων Συστημάτων. Μια γλώσσα προγραμματισμού προσφέρει μεγαλύτερη ελευθερία στην ανάπτυξη ενός Έμπειρου συστήματος αλλά μέσω της χρήσης ενός κελύφους Έμπειρων Συστημάτων εξοικονομούνται χρόνος και χρήμα.

3.2 Δομή ενός Έμπειρου Συστήματος

Ένα Έμπειρο Σύστημα αποτελείται από τη Βάση γνώσης, τη Μνήμη Εργασίας, το Μηχανισμό Εξαγωγής Συμπερασμάτων, το Τμήμα Σύλληψης και Εσωτερικής Αναπαράστασης της Γνώσης, το Μηχανισμός Επεξήγησης και το Μηχανισμό Χρήστη-Συστήματος (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Αρχιτεκτονική ενός Έμπειρου Συστήματος.

Η **Βάση Γνώσης** (knowledge base) περιέχει όλη τη γνώση του συστήματος, όπως την κατέγραψε ο μηχανικός γνώσης με τη βοήθεια του ανθρώπου – ειδικού κατά τη διαδικασία ανάπτυξης του συστήματος γνώσης και αποτελείται από δύο μέρη:

Τη στατική η οποία περιέχει διαδικασίες, κανόνες, πλαίσια που περιγράφουν το πρόβλημα και τις γνωσιολογικές διαδικασίες επίλυσής τους (αρχικά δεδομένα). Ο όρος

στατική υποδηλώνει ότι αυτό το τμήμα γνώσης δε μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος.

Τη δυναμική η οποία περιέχει τα δεδομένα και πλαίσια που περιγράφουν τη λύση του προβλήματος.

Η **Μνήμη Εργασίας** είναι το τμήμα του Εμπείρου Συστήματος στο οποίο αποθηκεύονται τα γεγονότα και τα ενδιάμεσα ή τελικά συμπεράσματα. Από τη μνήμη εργασίας ο συμπερασματικός μηχανισμός θα χρησιμοποιήσει τα υπάρχοντα γεγονότα για να αποφασίσει αν μια συνθήκη είναι αληθής. Επίσης θα καταχωρήσει τις απαντήσεις του χρήστη στις ερωτήσεις που το Έμπειρο Σύστημα τον ερωτά. Θα καταχωρίσει τα αποτελέσματα ή το συμπέρασμα που προκύπτει από κάποιον κανόνα και τέλος θα αποθηκεύσει και τα τελικά συμπεράσματα. Στη Μνήμη Εργασίας τηρούνται και άλλα στοιχεία, ανάλογα με το σύστημα, όπως για παράδειγμα η χρονική σειρά με την οποία έχουν εισαχθεί τα γεγονότα.

Ο **Μηχανισμός Εξαγωγής Συμπερασμάτων** (inference engine) είναι το τμήμα του πυρήνα που είναι υπεύθυνο για το χειρισμό της υπάρχουσας γνώσης και την εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτήν. Πρόκειται για έναν μηχανισμό ελέγχου που εφαρμόζει την αξιωματική γνώση στη βάση γνώσης και τα δεδομένα του υπό εξέταση προβλήματος για να φτάσει σε κάποια λύση ή συμπέρασμα. Η μηχανή συμπερασμού εξάγει συμπεράσματα αποφασίζοντας για ποιους από τους κανόνες, τα πρότυπα στο αριστερό τους μέρος ικανοποιούνται από γεγονότα ή από αντικείμενα στη μνήμη εργασίας, καθορίζοντας προτεραιότητες για τους κανόνες αυτούς με βάση τη στρατηγική επίλυσης διενέξεων («conflict resolution strategy») και εκτελώντας τον κανόνα με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα (η εκτέλεση του κανόνα καλείται και πυροδότηση, «firing»).

Ο **Μηχανισμός Επεξήγησης** αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι ενός ολοκληρωμένου Έμπειρου Συστήματος. Ο μηχανισμός επεξήγησης πρέπει να απαντά σε δύο τουλάχιστον τύπους ερωτήσεων:

- Πώς (how) κατέληξε σε ένα συμπέρασμα. Σε αλληλεπίδραση με το μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων, ο μηχανισμός επεξήγησης κρατάει πληροφορίες σχετικά με την αποδεικτική διαδικασία. Ως απάντηση στην ερώτηση παραθέτει τους κανόνες που ενεργοποιήθηκαν σε κάθε κύκλο λειτουργίας και οδήγησαν στη δεδομένη απάντηση.

- Γιατί (why) ζητά κάποια πληροφορία από το χρήστη. Στην πορεία των συλλογισμών για την κατάληξη σε ένα συμπέρασμα, ο μηχανισμός εξαγωγής είναι δυνατό να ζητήσει πληροφορίες από το χρήστη που θα καθορίσουν τη συνέχεια της εκτέλεσης των κανόνων. Για να απαντήσει στο ερώτημα που αφορά το σκοπό των ερωτήσεων, ο μηχανισμός επεξήγησης αναζητά όλους τους κανόνες που έχουν στην

υπόθεσή τους τη δεδομένη πληροφορία, και επιστρέφει όλη την αλυσίδα των συλλογισμών που θα εκτελεστεί ως συνέπεια της ενεργοποίησης κανόνων με βάση την απάντηση του χρήστη.

Το **Τμήμα Σύλληψης και Εσωτερικής Αναπαράστασης της Γνώσης** είναι υπεύθυνο για την εσωτερική αναπαράσταση της γνώσης μέσα στη Βάση Γνώσης. Η Βάση Γνώσης γράφεται, τις περισσότερες φορές σε μία μορφή κειμένου ή ακόμη και με κάποιο τυποποιημένο τρόπο που έχει σχεδιάσει ο κατασκευαστής. Το τμήμα αυτό ελέγχει την ορθότητα της Βάσης Γνώσης, την μετατρέπει σε μία εσωτερική μορφή κατανοητή για το σύστημα, αλλά ταυτόχρονα η εσωτερική αυτή μορφή έχει τη δυνατότητα να μετατραπεί σε αυτή που είχε αρχικά δοθεί.

Ο **Ενδιάμεσος Μηχανισμός Χρηστή-Συστήματος** είναι υπεύθυνος για τη διαδικασία επικοινωνίας χρήστη-μηχανής, επικοινωνεί με την επαγωγική μηχανή, το τμήμα επεξήγησης και το τμήμα σύλληψης και αναπαράστασης της γνώσης (Γιαλούρης, 2011).

3.3 Ανάπτυξη Έμπειρων Συστημάτων

Η ανάπτυξη ενός Έμπειρου Συστήματος απαιτεί τη συνεργασία και τη συνεισφορά τριών ομάδων ή μεμονωμένων ανθρώπων: τους **Μηχανικούς Γνώσης** (Knowledge Engineers), τους **Ειδικούς του Τομέα** (Human Domain Experts), και τους **Χρήστες** (Users) (Σχήμα 2).

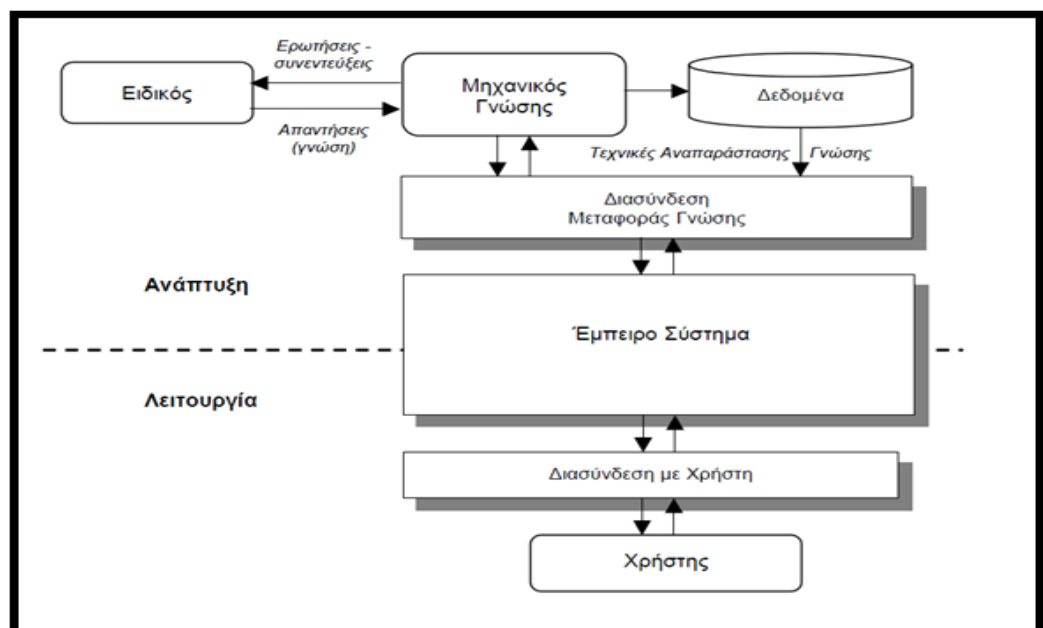
3.3.1 Κατηγορίες ειδικών στην ανάπτυξη ενός Έμπειρου Συστήματος

Ο **Ειδικός του Τομέα** είναι ένας άνθρωπος με εξειδικευμένη γνώση, εμπειρία ή ικανότητα στον τομέα που αφορά το συγκεκριμένο σύστημα, και του οποίου η γνώση θα αποτελέσει τη Βάση Γνώσης του Έμπειρου Συστήματος. Η επιλογή του σωστού ανθρώπου ειδικού έχει καθοριστική σημασία για την επιτυχία του συστήματος. Βασικό προσόν ενός ειδικού για να χαρακτηριστεί ως κατάλληλος είναι η ποιότητα του γνωστικού του υπόβαθρου και η ικανή εμπειρία του πάνω στο αντικείμενο. Αν και όχι απαραίτητο, είναι συνήθως επιθυμητό ο ειδικός να έχει κάποια εμπειρία και γνώση σχετικά με τις αρχές και τη λειτουργία των Έμπειρων Συστημάτων.

Ο **Μηχανικός Γνώσης** είναι ένας επιστήμονας της πληροφορικής, ειδικευμένος σε θέματα Τεχνητής Νοημοσύνης και Έμπειρων Συστημάτων. Είναι ο υπεύθυνος για τη δόμηση και κατασκευή του Έμπειρου Συστήματος. Έχουν διατυπωθεί πολλές διαφορετικές απόψεις για τα προσόντα και τις ευθύνες ενός μηχανικού γνώσης, μεταξύ

των οποίων είναι η διαχείριση του έργου ανάπτυξης, ο ορισμός και ανάλυση του προβλήματος, η επιλογή του υλικού και του λογισμικού για την ανάπτυξη του συστήματος, η εκμείευση της γνώσης από τους ειδικούς και η αναπαράστασή της σε μορφή συμβατή με την τεχνολογία Έμπειρου Συστήματος που έχει επιλεγεί, η αλληλεπίδραση με τους χρήστες, η επαλήθευση και ο έλεγχος της αξιοπιστίας του συστήματος, η εκπαίδευση των χρηστών, η συντήρηση του συστήματος, και τέλος η παροχή συμβουλών για μελλοντικές επεκτάσεις και τροποποιήσεις του συστήματος. Επιθυμητά χαρακτηριστικά του μηχανικού της γνώσης, είναι η εξοικείωση με τις αρχές των Έμπειρων Συστημάτων και την εμπειρία στην ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων, η ικανότητα εφαρμογής τεχνικών εκμείευσης της γνώσης και κάποιο θεωρητικό υπόβαθρο στον τομέα που αφορά το συγκεκριμένο σύστημα.

Οι **Χρήστες** είναι οι άνθρωποι που θα χρησιμοποιήσουν το Έμπειρο Σύστημα για να επωφεληθούν από τα αποτελέσματα της εμπειρογνωμοσύνης του. Η επικρατούσα άποψη υποστηρίζει ότι οι χρήστες πρέπει να συμμετέχουν όχι μόνο στη διαδικασία του ελέγχου της ορθότητας της λειτουργίας του συστήματος, αλλά και στο αρχικό στάδιο απόκτησης της γνώσης, ιδιαίτερα στο στάδιο της ανάλυσης του προβλήματος, καθώς διαθέτουν μία ευρύτερη αντίληψη για το πώς το σύστημα μπορεί να τους βοηθήσει. Έχει αποδειχθεί ότι τα συστήματα που έχουν περιλάβει χρήστες στη διαδικασία ανάπτυξης τείνουν να είναι πιο αποδεκτά από τους χρήστες κατά την ολοκλήρωση και παράδοσή τους (Βλαχάβας κ.α., 2002), (Χαντζάρα, 2008).



Σχήμα 2: Ανάπτυξη Έμπειρων Συστημάτων

3.3.2 Διαδικασία ανάπτυξης ενός Έμπειρου Συστήματος

Εφόσον καθοριστούν οι άνθρωποι που θα συμμετέχουν στην ανάπτυξη του Έμπειρου Συστήματος, ξεκινά ο κύκλος υλοποίησης του συστήματος.

3.3.2.1 Ανάλυση του προβλήματος

Στο στάδιο της ανάλυσης του προβλήματος προσδιορίζεται η μορφή της επιθυμητής λύσης του προβλήματος. Ένα από τα κυριότερα ζητήματα που πρέπει να απασχολήσουν τους μηχανικούς και τους ειδικούς στο στάδιο της ανάλυσης είναι αν το πρόβλημα είναι κατάλληλο για επίλυση από ένα έμπειρο σύστημα ή ένα συμβατικό πρόγραμμα. Παρόλο που ένα Έμπειρο Σύστημα παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, έχει και αρκετούς περιορισμούς στη χρήση του, που δεν το καθιστά πάντα την καλύτερη λύση. Ακόμα, πρέπει να εκτιμηθεί το κόστος της ανάπτυξης ενός Έμπειρου Συστήματος, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπινου δυναμικού, του χρόνου, και των χρημάτων που πρέπει να αφιερωθούν, και κατά πόσο η ανταμοιβή από τη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος, η οποία μπορεί να μην έρθει με τη μορφή χρημάτων αλλά ίσως αύξησης της αποδοτικότητας, θα καλύψει το κόστος της επένδυσης.

3.3.2.2 Απόκτηση της γνώσης

Απόκτηση Γνώσης είναι η διαδικασία της εξαγωγής, δόμησης και οργάνωσης της γνώσης από πολλαπλές πηγές γνώσεων, συνήθως ανθρώπους ειδικούς, έτσι ώστε η εμπειρογνωμοσύνη που είναι απαραίτητη και ικανή για τη λύση του προβλήματος να μετασχηματιστεί σε μία μορφή αναγνώσιμη από το υπολογιστικό σύστημα. Η γνώση ίσως αποτελεί το πιο βασικό δομικό στοιχείο ενός Έμπειρου Συστήματος, καθώς αποτελεί τη βάση της συλλογιστικής διαδικασίας του συστήματος.

Το πρώτο στάδιο της απόκτησης της γνώσης είναι η **εκμαίευση της γνώσης (knowledge elicitation)** από τον άνθρωπο ειδικό, μέσω ενός κύκλου συνόδων μεταξύ του μηχανικού γνώσης και του ειδικού του τομέα, σε απόλυτο κλίμα συνεργασίας.

Ο πιο διαδεδομένος και αποδοτικός τρόπος εκμαίευσης γνώσης είναι η διαδικασία των συνεντεύξεων, με τη μορφή των μη-δομημένων, ημιδομημένων ή δομημένων συνεντεύξεων. Οι μη-δομημένες ή ελεύθερες συνεντεύξεις αποτελούνται από γενικές ερωτήσεις που υποβάλλονται από το μηχανικό με την ελπίδα της καταγραφής όσο περισσότερων πληροφοριών γίνεται. Ξεκινώντας με πολύ γενικές ερωτήσεις, κατά την πορεία της η συζήτηση εξειδικεύεται, εφόσον ζητείται από τον ειδικό να επεξηγήσει ή να διευκρινίσει κάποια συγκεκριμένα σημεία. Οι ημιδομημένες

συνεντεύξεις περιλαμβάνουν μια σειρά ανοιχτών ερωτήσεων και θεμάτων που πρέπει να καλυφθούν. Οι δομημένες συνεντεύξεις στηρίζονται στη χρήση ενός ερωτηματολογίου με αυστηρά καθορισμένη δομή που περιλαμβάνει συγκεκριμένες ερωτήσεις σχετικές με τα χαρακτηριστικά του προβλήματος.

Στις κλασικές μεθόδους εκμείευσης της γνώσης αξίζει να αναφέρουμε τη χρήση των **πλεγμάτων ρεπερτορίων (repertory grids)**. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου κάθε στοιχείο της περιοχής κατηγοριοποιείται σύμφωνα με ένα σύνολο από έννοιες ή χαρακτηρισμούς, οι οποίες εφαρμόζονται σε όλα τα στοιχεία σε κάποιο βαθμό. Κάθε έννοια ή χαρακτηρισμός εκφράζεται σε μια γραμμική, αριθμητική κλίμακα, η οποία είναι η ίδια κάθε φορά, και η οποία χαρακτηρίζεται από δύο ακραίες τιμές π.χ. βαρύς/ελαφρύς, φτηνός/ακριβός, κ.α. Από τον ειδικό ζητείται να αποδώσει μια τιμή σε κάθε έννοια για όλα τα στοιχεία της περιοχής. Στο πλέγμα που δημιουργείται εξετάζεται αν κάποιο ζευγάρι εννοιών είναι παρόμοιο κατά τη σύγκριση των οριζοντίων γραμμών του πλέγματος, ώστε να παραλειφθούν κάποιες παραπλήσιες έννοιες. Τέλος, υπολογίζεται, σε ένα νέο πλέγμα, πόσο όμοια ή ανόμοια είναι τα στοιχεία της περιοχής μεταξύ τους. Η τεχνική είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην εκμείευση υποκειμενικών δεδομένων.

Εκτός από τις κλασικές μεθόδους εκμείευσης της γνώσης, υπάρχουν οι ημιαυτόματες μέθοδοι κατά τις οποίες ο ειδικός εισάγει απευθείας τη γνώση στο σύστημα χρησιμοποιώντας ειδικό λογισμικό, πχ TEIRESIAS, OPAL κλπ, ή αυτόματες μέθοδοι όπου το σύστημα χρησιμοποιεί τεχνικές μηχανικής μάθησης.

Το δεύτερο στάδιο απόκτησης της γνώσης είναι η **ανάλυση της γνώσης (knowledge analysis)** που εκμειεύθηκε από τον άνθρωπο ειδικό με σκοπό τη δημιουργία ενός **μοντέλου της γνώσης (knowledge modeling)**. Ευριστικές διαδικασίες, έννοιες ή δομές ταξινόμησης αναλύονται και τυποποιούνται σε αναπαραστάσεις που μπορεί να είναι της μορφής των ευριστικών κανόνων, των πλαισίων, των αντικειμένων, των σημασιολογικών δικτύων ή των σχημάτων ταξινόμησης. Αυτές οι αναπαραστάσεις στη συνέχεια μετασχηματίζονται σε συγκεκριμένα σχήματα που υποστηρίζονται από το εργαλείο ανάπτυξης του Έμπειρου Συστήματος. Στο στάδιο αυτό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν μεθοδολογίες που τυποποιούν τη μοντελοποίηση της γνώσης, όπως η KADS.

3.3.2.3 Σχεδίαση

Κατά τη φάση της σχεδίασης προσδιορίζεται η μορφή με την οποία θα γίνει η αναπαράσταση της γνώσης, όπως κανόνες, πλαίσια κτλ. Στο στάδιο αυτό θα γίνει

επιπλέον η επιλογή του εργαλείου ανάπτυξης Έμπειρων Συστημάτων που θα χρησιμοποιηθεί, και το οποίο θα κρίνει σε μεγάλο βαθμό τη μορφή της αναπαράστασης της γνώσης, καθώς και η συλλογιστική που θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Μέρος της σχεδίασης αποτελεί ο προσδιορισμός της εσωτερικής δομής των Γεγονότων, με τρόπο συνεπή ώστε να συμβάλλει στην εύκολη κατανόηση και επεκτασιμότητα της εφαρμογής. Επιθυμητή είναι και η ανάπτυξη ενός προσεγγιστικού περιβάλλοντος διεπαφής, για το οποίο πρέπει να ζητηθεί η γνώμη των χρηστών πριν ξεκινήσει η φάση της υλοποίησης του συστήματος.

Στο στάδιο αυτό πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη οι αποφάσεις που είχαν ληφθεί κατά το στάδιο της ανάλυσης του προβλήματος σχετικά με την τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί και το μοντέλο της γνώσης που είχε επιλεγεί. Επίσης πρέπει να εξασφαλιστεί ότι η σχεδίαση προδιαγράφει ένα σύστημα που θα ικανοποιεί τις δεσμεύσεις απέναντι στις απαιτήσεις των χρηστών.

3.3.2.4 Υλοποίηση

Στο στάδιο της υλοποίησης κωδικοποιείται το μοντέλο της γνώσης χρησιμοποιώντας εργαλεία ανάπτυξης Έμπειρων Συστημάτων, με βάση τις αποφάσεις που ελήφθησαν κατά το στάδιο της σχεδίασης. Η υλοποίηση ξεκινά με την ανάπτυξη ενός πρωτότυπου συστήματος επίδειξης. Αν το πρωτότυπο σύστημα αποδειχθεί ότι όντως ικανοποιεί τις απαιτήσεις που τέθηκαν στη φάση της ανάλυσης του συστήματος και επαληθεύει τη γνώση που αποκτήθηκε από τον ειδικό και μοντελοποιήθηκε από το μηχανικό γνώσης, μέσω των διαδικασιών επαλήθευσης και ελέγχου, καθοδηγεί την περαιτέρω ανάπτυξη του συστήματος. Διαφορετικά, ανάλογα με το είδος και το μέγεθος των αποκλίσεων, είναι δυνατό να οδηγήσει σε επανασχεδιασμό του συστήματος.

3.3.2.5 Επαλήθευση και έλεγχος αξιοπιστίας

Η διαδικασία επαλήθευσης του συστήματος περιλαμβάνει τον έλεγχο της συμβατότητας του συστήματος με τις αρχικές προδιαγραφές. Η επαλήθευση επικεντρώνεται κάθε φορά σε ένα από τα δομικά στοιχεία του συστήματος. Έτσι μπορεί να στοχεύει είτε στην επιβεβαίωση της συνέπειας και πληρότητας της κωδικοποίησης της γνώσης που περιέχεται στο Έμπειρο Σύστημα, είτε στην επαλήθευση της λειτουργίας του μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων, είτε στον έλεγχο της λειτουργίας του περιβάλλοντος διεπαφής. Ο έλεγχος πραγματοποιείται από το μηχανικό της γνώσης με τη βοήθεια εργαλείων, όπως π.χ. των CHECK, TEIRESIAS κ.α.

Ο έλεγχος της αξιοπιστίας συνίσταται στην επιβεβαίωση της ορθότητας και της γενικότητας της γνώσης που περιέχει το Έμπειρο Σύστημα. Κατά τη διαδικασία ελέγχου της αξιοπιστίας το σύστημα επιλύει ένα σύνολο από υποδειγματικές περιπτώσεις (test cases). Στη συνέχεια οι λύσεις συγκρίνονται με λύσεις που δόθηκαν από διάφορους ειδικούς του τομέα, με επιθυμητό αποτέλεσμα την ταυτοποίηση των απαντήσεων. Οι υποδειγματικές περιπτώσεις πρέπει να είναι διαφορετικές από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στις προηγούμενες φάσεις ανάπτυξης του συστήματος. Επιπλέον, σκοπός του ελέγχου αξιοπιστίας είναι να εξασφαλιστεί η ανθεκτικότητα και η δυνατότητα απόκρισης του συστήματος σε μη-προσδοκώμενα δεδομένα (Χαντζάρα, 2008).

3.4 Έμπειρα Συστήματα και συμβατικά προγράμματα

Οι βασικές διαφορές των Έμπειρων Συστημάτων με τα κλασικά αλγοριθμικά προγράμματα επεξεργασίας δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

ΕΜΠΕΙΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ
Προσομοιώνουν τον τρόπο επίλυσης ενός προβλήματος	Προσομοιώνουν το ίδιο το πρόβλημα
Παράσταση και χειρισμός γνώσης σε επίπεδο συμβόλων	Παράσταση και χειρισμός δεδομένων σε επίπεδο αριθμητικών υπολογισμών
Βάση γνώσης	Βάση δεδομένων
Χρήση ευριστικών μεθόδων	Χρήση αλγορίθμων
Δυνατότητα επεξήγησης	Ανυπαρξία επεξήγησης
Χειρισμός ασαφούς, αβέβαιης και μη-πλήρους γνώσης	Δυσχέρεια στο χειρισμό ασαφούς, αβέβαιης και μη-πλήρους γνώσης
Συμπερασματική διαδικασία	Επαναληπτική διαδικασία

Πίνακας 1: Διαφορές των Έμπειρων Συστημάτων με τα κλασικά αλγοριθμικά προγράμματα.

3.5 Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα του ΕΣ Σε Σχέση Με τον Άνθρωπο-Ειδικό

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός Έμπειρου Συστήματος σε σχέση με τον άνθρωπο ειδικό φαίνονται στον Πίνακα 2.

ΑΝΘΡΩΠΟΣ ΕΙΔΙΚΟΣ		ΕΜΠΕΙΡΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	
Μειονεκτήματα	Γνώση διαθέσιμη όταν ο ίδιος είναι παρών	Πλεονεκτήματα	Γνώση πάντα διαθέσιμη.
	Δυσκολία μεταφοράς-αποτύπωσης γνώσης		Ευκολία μεταφοράς-αποτύπωσης γνώσης
	Συναισθηματικές παρορμήσεις		Εργάζεται με συνέπεια
	Η απόδοσή του επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες		Εργάζεται οπουδήποτε
	Υψηλό κόστος		Χαμηλό κόστος λειτουργίας / Υψηλό κόστος ανάπτυξης
	Υποκειμενικότητα		Αντικειμενικότητα αν η γνώση προέρχεται από πολλούς ειδικούς
Πλεονεκτήματα	Δημιουργικότητα, Ευρύνοια	Μειονεκτήματα	Απουσία έμπνευσης, Περιορισμένο πεδίο σκέψης
	Κοινή λογική		Δυσχέρεια στη μεταφύτευση της κοινής λογικής
	Γνώση των ορίων και δυνατοτήτων τους (μετα-γνώση)		Έλλειψη μετα-γνώσης
	Εκφραστική και λειτουργική επεξήγηση του τρόπου σκέψης τους		Μηχανική επεξήγηση του τρόπου λήψης απόφασης
	Ο έλεγχος της γνώσης γίνεται υποσυνείδητα		Πρέπει η γνώση να ελέγχεται για ορθότητα, πληρότητα και συνέπεια
	Αυτονομία στη μάθηση		Πρέπει να προγραμματιστούν για να μαθαίνουν αυτόματα
	Απόκριση σε πραγματικό χρόνο		Δυσκολία απόκρισης σε πραγματικό χρόνο

Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός Έμπειρου Συστήματος.

3.6 Εφαρμογές των Έμπειρων Συστημάτων

Διάγνωση (diagnosis)

Διάγνωση δυσλειτουργιών ενός συστήματος βάσει παρατηρήσεων και μετρήσεων. Χαρακτηριστική εφαρμογή: MYCIN – διάγνωση μόλυνσης του αίματος (Shortliffe, 1976).

MYCIN

Το σύστημα **MYCIN** είναι μάλλον το πιο γνωστό από όλα τα Έμπειρα Συστήματα, παρά το γεγονός ότι δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ σε πραγματικές συνθήκες. Σχεδιάστηκε στο πανεπιστήμιο του Stanford, με κύριο ερευνητή τον Edward Shortliffe. Στόχος του συστήματος ήταν η υποβοήθηση ιατρών στη διάγνωση και θεραπευτική αγωγή μικροβιολογικών μολύνσεων του αίματος, όπως μηνιγγίτιδα. Λαμβάνοντας ως δεδομένα την ηλικία του ασθενή, το ιατρικό ιστορικό, καθώς και επιπρόσθετες πληροφορίες, το MYCIN κάνει διάγνωση που αφορά στην αιτία της μόλυνσης και στη συνέχεια προτείνει τον τύπο του φαρμάκου και τη δόση για τη θεραπεία.

Το σύστημα κατασκευάστηκε με LISP και χρησιμοποιεί ανάστροφη αλυσίδα για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Ο Shortliffe είναι εκείνος που εισήγαγε με το MYCIN τους συντελεστές βεβαιότητας (certainty factors), δίνοντας νέες προοπτικές στη δυνατότητα διαχείρισης της ασαφούς γνώσης.

Η συμβολή του **MYCIN** ως ενός από τα πρωταρχικά Έμπειρα Συστήματα είναι πολυδιάστατη και σε σχέση με αυτό καθ' αυτό το συμβουλευτικό σύστημα, αλλά και σε σχέση με έναν αριθμό υποσυστημάτων τα οποία αναπτύχθηκαν για την παροχή επεξηγήσεων, την ημιαυτοματοποιημένη απόκτηση γνώσης (TEIRESIAS), τη διδασκαλία (GUIDON) και τέλος για την έννοια του συστήματος κελύφους (EMYCIN). Παρά το σημαίνοντα ρόλο που έπαιξε στην πορεία των Έμπειρων Συστημάτων δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ στην πράξη. Αυτό δεν ήταν λόγω οποιασδήποτε αδυναμίας στην απόδοσή του - στις δοκιμές ξεπέρασε τα μέλη του ιατρικού σχολείου του Stanford. Ήταν λόγω των ηθικών και νομικών ζητημάτων σχετικών με τη χρήση των υπολογιστών στην ιατρική - εάν δώσει τη λανθασμένη διάγνωση, ποιος μπορεί να θεωρηθεί αρμόδιος; (Shortliffe, 1976), (Davis et al., 1977).

Πρόγνωση (prognosis-prediction)

Πρόβλεψη πιθανών μελλοντικών επιπτώσεων σε δεδομένες καταστάσεις, βασιζόμενη σε καταστάσεις του παρελθόντος. Χαρακτηριστική εφαρμογή: PRICE-STRAT – πρόβλεψη τιμών (Singh and Cook, 1986).

Εκπαίδευση (instruction)

Κατανόηση, αξιολόγηση και διόρθωση απάντησης μαθητών σε εκπαιδευτικά προβλήματα. Χαρακτηριστική εφαρμογή: SOPHIE – εκπαίδευση φοιτητών σε θέματα ηλεκτρονικών (Brown et al., 1982).

SOPHIE-SOPHisticated Instructional Environment

Το σύστημα **SOPHIE** κατασκευάστηκε με σκοπό την εκπαίδευση και την απόκτηση τεχνικών δεξιοτήτων και εμπειρίας από νέους τεχνικούς, όσον αφορά στην επίλυση προβλημάτων σε ηλεκτρονικά κυκλώματα. Επιδεικνύει πώς να εντοπίζεται ένα σφάλμα σε κάποιο κύκλωμα, επιτρέποντας στο μαθητή να επιλέξει ένα σφάλμα σε ένα προσομοιωμένο κύκλωμα και έπειτα να προχωρήσει στα απαραίτητα βήματα για τον εντοπισμό του. Σε κάθε βήμα, το σύστημα ζητάει από το μαθητή να προβλέψει την ποιοτική συμπεριφορά του οργάνου μέτρησης. Όταν ο μαθητής θα κάνει κάποιο λάθος, το σύστημα θα δείχνει τη μέτρηση και θα την επεξηγεί. Επίσης, ο προσομοιωτής κυκλωμάτων στο σύστημα περιέχει ένα μηχανισμό για μοντελοποίηση και παρουσίαση αιτιατής διάδοσης σφάλματος, δηλαδή πώς το σφάλμα σε ένα τμήμα του κυκλώματος προκαλεί σφάλματα σε κάποια άλλα τμήματα. Έχει υλοποιηθεί σε INTERLISP και σε FORTRAN, με την τελευταία να χρησιμοποιείται για τον προσομοιωτή του συστήματος.

Παρακολούθηση καταστάσεων (monitoring)

Σύγκριση παρατηρούμενων παραμέτρων με αναμενόμενες καταστάσεις. Χαρακτηριστική εφαρμογή: VENTILATOR MANAGEMENT ASSISTANT – παρακολούθηση των μηχανημάτων μηχανικής υποστήριξης (Fagan et al., 1980).

VM-Ventilator Manager

Το σύστημα παρέχει προτάσεις για τη διάγνωση και τη θεραπεία ασθενών σε μονάδες εντατικής θεραπείας έπειτα από χειρουργική επέμβαση. Αναγνωρίζει πιθανές επικίνδυνες συνθήκες, ανιχνεύει αναληθή δεδομένα, χαρακτηρίζει την κατάσταση του ασθενούς και προτείνει χρήσιμες θεραπείες. Το VM ερμηνεύει επίσης ποσοτικές μετρήσεις, όπως σφυγμό και πίεση αίματος, που πραγματοποιούνται σε ένα σύστημα παρακολούθησης που βρίσκεται σε μία μονάδα εντατικής θεραπείας, χρησιμοποιώντας γνώση γύρω από το ιστορικό του ασθενούς και τις προσδοκίες για το εύρος των μετρήσεων. Αποτελεί ένα σύστημα βασισμένο σε κανόνες παραγωγής, το οποίο έχει υλοποιηθεί σε INTERLISP. Αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Stanford και δοκιμάστηκε στο Pacific Medical Center και στο Stanford University Medical Center.

Επιδιόρθωση λαθών (repair-remedy)

Ανάπτυξη και εκτέλεση σχεδίων για τη διαχείριση βλαβών. Χαρακτηριστική εφαρμογή: DARN – σύστημα διάγνωσης κι επισκευής βλαβών που αφορούν σταθμούς εργασίας.

DARN (Διάγνωση και Επιδιόρθωση Βλαβών)

Το σύστημα DARN είναι ένα σύστημα διάγνωσης κι επισκευής βλαβών που αφορούν σταθμούς εργασίας. Το DARN χρησιμοποιήθηκε για να καθοδηγήσει έναν άπειρο τεχνικό σε εργασίες διάγνωσης κι επισκευής βλαβών. Αρχικά το πρόβλημα που αντιμετώπιζε, ήταν βλάβες σε ελεγκτές δίσκων σταθμών εργασίας, ενώ αργότερα χρησιμοποιήθηκε και για επίλυση προβλημάτων φωτοτυπικών μηχανημάτων. Το DARN αποτέλεσε εκπρόσωπο ενός μεγάλου αριθμού διαγνωστικών συστημάτων, τα οποία κατασκευάστηκαν μετά την εμφάνιση των διαδικασιών διάγνωσης κι επιδιόρθωσης, οι οποίες απεικονίζονταν με δένδρα απόφασης στα εγχειρίδια εκπαίδευσης των τεχνικών. Η βάση γνώσης του αποτελείται από ένα σύνολο έτοιμων πλάνων διάγνωσης και επιδιόρθωσης προβλημάτων και ουσιαστικά αποτελεί αναπαράσταση ενός δένδρου απόφασης. Το υποσύστημα διεπαφής χρήστη του DARN, επιτρέπει τόσο την εκτέλεση πλάνων διάγνωσης κι επιδιόρθωσης, όσο και τη διαχείριση της βάσης γνώσης (προσθήκη / τροποποίηση πλάνων). Τα πλάνα ορίζονται μέσω μιας ενσωματωμένης γλώσσας περιγραφής του συστήματος.

Η διαδικασία διάγνωσης ουσιαστικά επιτελείται διαλογικά, καθώς σε κάθε κόμβο του δένδρου απόφασης, ο χρήστης καλείται να απαντήσει στην αντίστοιχη ερώτηση. Ανά-λογα με την απάντησή του, ακολουθείται η αντίστοιχη διαδρομή στο δένδρο, μέχρι η διαδικασία να φτάσει σε κάποια οριστική απόφαση, βάσει του εκτελούμενου πλάνου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το σύστημα παρουσιάζει στον τεχνικό κάθε φορά, μόνο το επόμενο βήμα που αυτός πρέπει να εκτελέσει, απαλλάσσοντάς τον από τον κόπο αναζήτησης της λύσης μέσα στις σελίδες των εγχειριδίων. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα κα-ταγραφής των ενεργειών που ακολουθήθηκαν, για σκοπούς μελλοντικής αναφοράς (Mittal et. al., 1988).

Ερμηνεία (interpretation)

Περιγραφή αντικειμένων και καταστάσεων βάσει δεδομένων από παρατηρήσεις. Εξαγωγή συμπερασμάτων. Χαρακτηριστική εφαρμογή: PROSPECTOR – ανίχνευση πιθανών κοιτασμάτων βάσει δεδομένων (Duda et. al., 1978).

PROSPECTOR

Το σύστημα Prospector ενεργεί ως σύμβουλος ώστε να βοηθήσει τους γεωλόγους-εξερευνητές στην αναζήτησή τους για κοιτάσματα ορυκτών. Έχοντας δεδομένα για μια γεωλογική περιοχή, εκτιμάει την πιθανότητα να βρεθούν συγκεκριμένοι τύποι μεταλλικών ορυκτών σε αυτήν, προσπαθώντας μάλιστα να προβλέψει και την ακριβή θέση του

κοιτάσματος. Η ειδική του γνώση βασίζεται σε γεωλογικούς κανόνες, οι οποίοι σχηματίζουν μοντέλα για κοιτάσματα ορυκτών, και σε μία ταξινόμηση πετρωμάτων και μετάλλων. Το PROSPECTOR χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό από κανόνες και σημασιολογικά δίκτυα για να αναπαραστήσει τη γνώση του, η οποία περιλαμβάνει πάνω από 1000 κανόνες. Η μηχανή εξαγωγής συμπεράσματος βασίζεται στη χρήση συντελεστών βεβαιότητας και στον καθορισμό πιθανοτήτων όσον αφορά τα δεδομένα. Το σύστημα έχει υλοποιηθεί σε INTERLISP και αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο του Stanford (Gaschnig, 1981).

Έλεγχος (control)

Έλεγχος της συμπεριφοράς ενός συστήματος. Ενσωματώνει πολλές από τις παραπάνω εφαρμογές. Χαρακτηριστική εφαρμογή: ARTIFACT - ένα real-time κέλυφος για έλεγχο παραγωγής (Francis and Leitch, 1984).

Διαμόρφωση (configuration-design)

Ικανοποίηση απαιτήσεων και περιορισμών. Χαρακτηριστική εφαρμογή: XCON/R1 – προσαρμογή υπολογιστών στις ανάγκες των πελατών (McDermott et. al., 1980).

XCON/R1

Το **XCON/R1** είναι ένα από τα πιο επιτυχημένα, εμπορικά, Έμπειρα Συστήματα, που χρησιμοποιήθηκε για τη διαμόρφωση των υπολογιστικών συστημάτων VAX-11/780 της DEC (Digital Equipment Corporation). Το αρχικό όνομα του ήταν R1 και αναπτύχθηκε από την DEC και το πανεπιστήμιο Carnegie Mellon. Στη συνέχεια, περιήλθε πλήρως στην κατοχή της DEC και μετονομάστηκε αργότερα σε XCON, παράλληλα με την εμπορική χρήση του συστήματος.

Χρησιμοποιώντας ορθή αλυσίδα για την εξαγωγή των συμπερασμάτων, το XCON διαμορφώνει τα συστήματα με μεγάλη λεπτομέρεια. Για κάθε παραγγελία καθορίζει τις αναγκαίες διαφοροποιήσεις και δημιουργεί διαγράμματα που απεικονίζουν τις σχέσεις ανάμεσα σε εκατοντάδες στοιχεία που αποτελούν ένα πλήρες σύστημα, καθορίζει μάλιστα και την χωροταξική διάταξη των εξαρτημάτων, ακόμα και το μήκος των καλωδίων, κατορθώνοντας να αποφύγει ταυτόχρονα ασυμβατότητες λειτουργίας, που θα είχαν μεγάλο κόστος.

Το αρχικό σύστημα κατασκευάστηκε με τη γλώσσα OPS4, πρόγονο της OPS5, στην οποία μεταφέρθηκε αργότερα. Το R1 είχε γύρω στους 700 κανόνες, το XCON όμως ξεπέρασε τους 4 χιλιάδες. Είναι χαρακτηριστικό ότι, ενώ η ορθότητα των εντολών από ανθρώπους κυμαινόταν γύρω στο 70 τοις εκατό, με το XCON έφτανε στο 97-98 τοις εκατό, εξοικονομώντας στην DEC μέχρι και ένα εκατομμύριο δολάρια το χρόνο.

Σχεδιασμός (planning)

Δημιουργία μιας αλληλουχίας ενεργειών για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Χαρακτηριστική εφαρμογή: MOLGEN – σχεδιασμός χημικών διεργασιών με σκοπό την ανάλυση και τη σύνθεση του DNA (Stefik, 1981).

Παροχή Συμβουλών (advice)

Εναλλακτικές προτάσεις για την επίλυση προβλημάτων, λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένες απαιτήσεις.

3.7 Τομείς εφαρμογής Έμπειρων συστημάτων-Χαρακτηριστικές Εφαρμογές

Γεωργία

PLANT/cd

Το σύστημα προβλέπει τη ζημία στο καλαμπόκι λόγω του μαύρου σκώληκα. Χρησιμοποιεί τη γνώση για τον ιδιαίτερο τομέα που μελετάται, όπως οι διάφορες παγίδες σκώρων, το φάσμα ηλικίας μιας κάμπιας, η κατάσταση εδάφους και η ποικιλία καλαμποκιού για να προβλέψει το βαθμό ζημίας που θα προκαλέσει ο σκώληκας. Για να παράγει τις διάφορες προβλέψεις, χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό κανόνων και προγραμμάτων προσομοίωσης των ενεργειών του μαύρου σκώληκα. Για την αντιπροσώπευση της γνώσης χρησιμοποιούνται κανόνες οι οποίοι ελέγχονται από έναν backward chaining μηχανισμό. Αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Illinois και έφθασε μέχρι το στάδιο του ερευνητικού προτύπου (Waterman, 1985).

PLANT/ds

Το σύστημα προσφέρει συμβουλές για τη διάγνωση των ασθενειών της σόγιας χρησιμοποιώντας γνώση για τα συμπτώματα ασθενειών και το περιβάλλον των φυτών. Χρησιμοποιεί πληροφορίες όπως ο μήνας του περιστατικού, η θερμοκρασία, το ύψος φυτών και η κατάσταση των φύλλων, των μίσχων, και των σπόρων ώστε να καταλήξει σε 15 περίπου πιθανές ασθένειες. Η γνώση είναι υπό τη μορφή δύο τύπων κανόνων: 1) κανόνες που αντιπροσωπεύουν τη διαγνωστική γνώση του συστήματος, και 2) κανόνες που λαμβάνονται από ένα αυτοματοποιημένο επαγωγικό πρόγραμμα συμπεράσματος αποκαλούμενο AQII. Το PLANT/ds έχει υλοποιηθεί στην ADVISE. Αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Illinois και έφθασε στο στάδιο του ερευνητικού πρωτοτύπου (Waterman, 1985).

POMME

Το POMME (Roach et al., 1985) είναι ένα Έμπειρο Σύστημα που σχεδιάστηκε με σκοπό να υποστηρίξει την διαχείριση καλλιεργειών μηλιάς. Το σύστημα δίνει συμβουλές σχετικά με τους προληπτικούς ψεκασμούς για την αποφυγή μολύνσεων, την αντιμετώπιση των προβλημάτων του χειμώνα, του ελέγχου ξηρασίας και τα προβλήματα εντόμων. Το POMME κατέδειξε ότι η γνώση ασθενειών θα μπορούσε να αντιπροσωπευθεί επαρκώς σε ένα Έμπειρο Σύστημα (Travis and Latin, 1991).

COMAX

Το COMAX (Lemmon, 1986) είναι ένα Έμπειρο Σύστημα διαχείρισης βαμβακιού. Μπορεί να προβλέψει την αύξηση παραγωγής από τις εξωτερικές καιρικές παραμέτρους, από τις εδαφολογικές παραμέτρους και από τη ζημία παρασίτων. Το COMAX ήταν ένα σύστημα το οποίο έχει την δυνατότητα να αλληλεπιδρά με άλλα Έμπειρα Συστήματα. Το COMAX ήταν ένα από τα Έμπειρα Συστήματα που προσέλκυσε ενδιαφέρον επειδή ήταν το πρώτο Έμπειρο Σύστημα που ενσωματώθηκε με ένα πρότυπο προσομοίωσης για χρήση στην αγροτική διαχείριση (Plant and Stone, 1991), (Rafae, 1998).

EXSYS

Το Έμπειρο Σύστημα έχει την δυνατότητα για διάγνωση ασθενειών των βολβών και των φυτών. Περιέχει περιγραφές ασθενειών με ταυτόχρονη ανάλυση των συμπτωμάτων τους. Το σύστημα είναι εμπλουτισμένο με φωτογραφίες ώστε να γίνεται εύκολη η δυνατότητα από τον χρήστη. Η προσβολή μπορεί να προέρχεται από βακτήρια, μύκητες, έντομα κ.λπ. Μετά από απλές ερωτήσεις που απευθύνονται στο χρήστη, που μπορεί να μην έχει ειδικές γνώσεις, το σύστημα χρησιμοποιώντας την εξειδικευμένη γνώση των ειδικών κάνει τη διάγνωση και καταλήγει στην περιγραφή της ασθένειας και στους λόγους που μπορεί να συνέβη. Το EXSYS περιορίζεται στη διάγνωση. Σε δοκιμές που έγιναν τα λανθασμένα αποτελέσματα δεν ξεπέρασαν το 5%. Για την περιγραφή νέων ασθενειών χρειάζεται ανανέωση της βάσης γνώσης καθώς και των εικόνων που χρησιμοποιούνται. Τα διαγνωστικά συμπεράσματα δεν περιλαμβάνουν την προστασία της καλλιέργειας γιατί αυτό είναι κάτι το οποίο αλλάζει συνεχώς και στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία των ειδικών. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι μπορεί να επεκταθεί και σε διάφορα είδη καλλιεργειών αφού η βάση γνώσης και η γνώση των ειδικών αποθηκεύονται χωριστά.

TOMATO DISEASES

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται ένα Έμπειρο Σύστημα για τη διάγνωση των ασθενειών της τομάτας το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να ενισχύσει τους γεωπόνους με περισσότερες πληροφορίες και γνώσεις. Οι βασικές τεχνικές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για άλλα φυτά. Για τη διάγνωση των ασθενειών λήφθηκαν υπόψη συμπτώματα τα οποία μπορούν να φανούν είτε με γυμνό μάτι είτε με μικροσκόπιο καθώς

επίσης και παράγοντες όπως υγρασία, θερμοκρασία και οξύτητα του εδάφους. Η διαδικασία απόκτησης της γνώσης έγινε με τρεις τρόπους α)τη χρήση εγγράφων β)Ρωτώντας τους ειδικούς γ)Πίνακες με συγκεκριμένα ερωτήματα που απάντησαν οι ειδικοί. Για την ανάλυση των συμπτωμάτων ακολουθήθηκε η μέθοδος αναπαράστασης object-attribute-value(O-A-V). Κάθε σύμπτωμα έχει ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά με μία ή περισσότερες τιμές το καθένα. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον χειρισμό της αβεβαιότητας είναι η ασαφής λογική λόγω του τύπου των δεδομένων. Η δοκιμή του Έμπειρου Συστήματος έγινε από δύο ειδικούς τέσσερις έμπειρους συμβούλους και μερικούς φοιτητές γεωπόνους. Το αποτέλεσμα ήταν ότι το σύστημα είναι αξιόπιστο στη διάγνωση σε μεγάλο βαθμό εκτός από κάποιες περιπτώσεις που είτε δεν μπορούσε να δώσει απάντηση με πιθανές ασθένειες είτε δεν έφτανε σε κάποιο συμπέρασμα.

Χημεία

CONGEN

Το σύστημα βοηθάει τους χημικούς ώστε να καθορίσουν ένα σύνολο δομών για ένα άγνωστο μείγμα. Ο χημικός παρέχει στο CONGEN φασματοσκοπικά και χημικά δεδομένα και ένα σύνολο από ζητούμενες και απαγορευμένες δομές πάνω στις πιθανές ενδοσυνδέσεις ανάμεσα στα άτομα του μείγματος. Το σύστημα βρίσκει όλους τους πιθανούς τρόπους συγκέντρωσης ατόμων σε μοριακές δομές οι οποίοι ικανοποιούν τις συγκεκριμένες δομές και παρουσιάζει στο χημικό ένα σετ από δομικά σχέδια τα οποία περιγράφουν αυτήν την εξαντλητική λίστα από υποψήφιες δομές. Επίσης, το σύστημα παράγει υποψήφιες δομές χρησιμοποιώντας μία ποικιλία από αλγόριθμους. Αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Stanford και έφθασε μέχρι το στάδιο του ερευνητικού προτύπου.

C-13

Το σύστημα βοηθάει τους οργανικούς χημικούς στον καθορισμό της δομής πρόσφατα απομονωμένων, ενώσεων που βρίσκονται στη φύση. Το C-13 βοηθά τον χημικό να καθορισθεί η μορφή των ατόμων και των δεσμών των σύνθετων οργανικών μορίων. Η βάση γνώσεων του συστήματος περιέχει κανόνες που αφορούν δομικά και φασματικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, τα οποία προέρχονται αυτόματα από στοιχεία γύρω από γνωστές δομές ουσιών. Το σύστημα αναπτύχθηκε ως τμήμα του προγράμματος DENDRAL και ακολουθεί τον τρόπο λειτουργίας του, που είναι: σχεδιασμός- παραγωγή- δοκιμή. Έχει υλοποιηθεί σε INTERLISP. Αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Stanford και έφθασε στο στάδιο του πρωτοτύπου επίδειξης

GA1

Το σύστημα αναλύει τη δομή του DNA από την κατάτμηση δεδομένων που αφορούν ένζυμα περιορισμού. Δέχεται δεδομένα πεπτικών ενζύμων, τοπολογίας, ανοχής και άλλων δομών. Αφού επαναλαμβάνόμενα παράγει και αποβάλλει πιθανές υποψήφιες δομές, τελικά καθορίζει τις πιθανές δομές DNA. Η ειδική γνώση που περιέχεται στο σύστημα αποτελεί ένα μηχανισμό που επικεντρώνεται στην ανάλυση της δομής DNA των πεπτικών ενζύμων, βοηθούμενο από γνώσεις γύρω από τη φύση λαθών που πηγάζουν από περιβαλλοντολογικά τεστ εργαστηρίων. Το σύστημα μπορεί και αντιμετωπίζει μικρές ποσότητες λανθανόντων δεδομένων ανάλογα με το χρήστη. Αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Stanford και έφθασε μέχρι το στάδιο του ερευνητικού προτύπου.

MOLGEN

Το σύστημα βοηθάει τον επιστήμονα γεννητικής στον προγραμματισμό πειραμάτων γύρω από τη κλωνοποίηση γονιδίων στον τομέα της μοριακής γενετικής. Αυτά τα πειράματα περιλαμβάνουν τη σύνδεση μιας κωδικοποίησης γονιδίων για ένα επιθυμητό πρωτεϊνικό προϊόν με κάποια βακτηρίδια, ούτως ώστε τα βακτηρίδια να την κατασκευάσουν. Το σύστημα χρησιμοποιεί τη γνώση για τη γενετική και το στόχο του χρήστη για να δημιουργήσει ένα αφηρημένο σχέδιο το οποίο το αναλύει έπειτα σε ένα σύνολο συγκεκριμένων εργαστηριακών βημάτων. Το MOLGEN χρησιμοποιεί μία αντικειμενοστραφή (object-oriented) και framebased μορφή αντιπροσώπευσης και ελέγχου. Έχει υλοποιηθεί σε LISP και UNITS. Αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Stanford. Αποτελεί περισσότερο ένα μέσο για τη δοκιμή προσεγγίσεων για το συλλογισμό ενός σχεδίου, παρά ένα λειτουργικό Έμπειρο Σύστημα για τη μοριακή γενετική.

OCSS

Το σύστημα βοηθά στη σύνθεση πολύπλοκων οργανικών μορίων. Αναλύει τα μόρια στόχων που επιλέγονται από το φαρμακοποιό: α) αναγνωρίζοντας τις λειτουργικές ομάδες, τις αλυσίδες, τον πλεονασμό και τη συμμετρία στο μοριακό σκελετό, β) εφαρμόζοντας χημικούς μετασχηματισμούς σε αυτούς, και γ) αξιολογώντας την προκύπτουσα δομή για ακρίβεια, μοναδικότητα, και απλότητα. Το σύστημα εφαρμόστηκε σε έναν PDP-1 υπολογιστή στο πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ. Έφθασε στο στάδιο του ερευνητικού πρωτοτύπου.

SEQ (SEQUence analysis system)

Το σύστημα βοηθάει τους μοριακούς βιολόγους στην εκτέλεση διαφόρων τύπων αναλύσεων ακολουθίας νουκλεοτίδας. Μπορεί να αποθηκεύσει, να ανακτήσει, και να αναλύσει τις ακολουθίες νουκλεϊνικού οξέος, ενώ μπορεί και να παράσχει μια στατιστική ανάλυση των δομικών ομολογιών και των συμμετριών. Οι ρουτίνες έρευνας του μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με την περίπτωση με το χειρισμό ενός συνόλου προεπιλεγμένων παραμέτρων. Έχει υλοποιηθεί στη LISP. Αναπτύχθηκε ως τμήμα του προγράμματος

MOLGEN στο πανεπιστήμιο του Stanford και έπειτα αναπτύχθηκε περαιτέρω από την Intellicorp. Έφθασε στο στάδιο εμπορικού συστήματος.

SPEX (Skeletal Planner of Experiments)

Το σύστημα βοηθάει τους επιστήμονες στον προγραμματισμό σύνθετων εργαστηριακών πειραμάτων. Ο επιστήμονας περιγράφει τα αντικείμενα προς χειρισμό (δηλ., το φυσικό περιβάλλον του πειράματος και τη δομή των πειραματικών αντικειμένων), και το σύστημα βοηθά στην ανάπτυξη ενός σκελετικού σχεδίου για την επίτευξη του πειραματικού στόχου. Το σύστημα βελτιώνει έπειτα κάθε αφηρημένο βήμα στο σχέδιο, καθιστώντας τα πιο συγκεκριμένα και συνδέοντας τα με τεχνικές και αντικείμενα τα οποία είναι αποθηκευμένα στη βάση γνώσεων του συστήματος. Αν και το σύστημα αναφέρεται αποκλειστικά στην περιοχή από τη μοριακή βιολογία, δεν περιέχει κανέναν ενσωματωμένο μηχανισμό μοριακής βιολογίας και κατά συνέπεια θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε άλλες προβληματικές περιοχές. Το SPEX έχει υλοποιηθεί σε UNITS, μία frame-based γλώσσα για αντιπροσώπευση γνώσης. Το σύστημα αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Stanford και έφθασε στο στάδιο ερευνητικού πρωτοτύπου.

SYNCHEM

Το σύστημα συνθέτει πολύπλοκες μοριακές δομές χωρίς να απαιτεί αλληλεπίδραση με το χρήστη. Χρησιμοποιεί γνώσεις σχετικά με χημικές αντιδράσεις ώστε να δημιουργήσει ένα σχέδιο για την ανάπτυξη των στοχευόμενων μοριακών δομών από ένα σύνολο αρχικών δεδομένων. Το σύστημα λειτουργεί ανάστροφα ξεκινώντας με τις στοχευόμενες μοριακές δομές και προσπαθεί να καθορίσει ποιες αντιδράσεις θα μπορούσαν να τις παράγουν και ποια υλικά (μοριακές δομές) θα ήταν ζητούμενα. Αυτό συνεχίζεται μέχρι που να βρεθεί μία διαδρομή σύνδεσης από το στόχο μέχρι τις αρχικές μοριακές δομές. Αναπτύχθηκε στο κρατικό πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης στο Stony Brook και έφθασε μέχρι το στάδιο του ερευνητικού προτύπου (Waterman, 1985).

Έμπειρα Συστήματα (ES) και Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα(G.I.S.)

Ένα Έμπειρο Σύστημα μπορεί να συνεργαστεί με ένα Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (ΓΠΣ) προκειμένου να γίνεται μία συμπερασματική διαδικασία η οποία χρησιμοποιώντας τα μη χωρικά δεδομένα του ΓΠΣ να καταλήγει σε μία συμβουλή προς το χρήστη. Η σύνδεση ενός ΓΠΣ και ενός Έμπειρου Συστήματος μπορεί να γίνει μέσα από την Βάση Δεδομένων του ΓΠΣ στην οποία αποθηκεύονται τα περιγραφικά (μη χωρικά δεδομένα). Μπορούμε να διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Το Έμπειρο Σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί απλά για να ενισχύσει τη βάση δεδομένων του ΓΠΣ με κανόνες.
- Ένα Έμπειρο Σύστημα (όπως ένα μοντέλο) μπορεί να συνδεθεί 'χαλαρά' (loosely coupled) με ένα εξωτερικό ΓΠΣ το οποίο καλεί τη βάση δεδομένων της μέσω μιας διεπαφής
- Χρησιμοποιώντας 'σφιχτή σύζευξη' (tight coupling), όπου μια από τις δύο τεχνολογίες μπορεί να είναι ένα κέλυφος για την άλλη και να εκτελείται μέσα από αυτό δηλαδή το Έμπειρο Σύστημα να εκτελεί το ΓΠΣ ή το ΓΠΣ να εκτελεί το Έμπειρο Σύστημα.
- Στην πλήρη ολοκλήρωση, όπου οι διαδικασίες του Έμπειρου Συστήματος μπορούν να χτιστούν στη λειτουργία του ΓΠΣ

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες χρήσης Έμπειρων Συστημάτων σε τομείς που έχουν ιδιαίτερη σημασία στα ΓΠΣ. Πρόσφατα, έχουν αναπτυχθεί Έμπειρα Συστήματα για εφαρμογές που βοηθούν στην αντιμετώπιση προβλημάτων που αντιμετωπίζουν ολοκληρωμένα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών από διάφορους ερευνητές.

Οι βασικότεροι τομείς που αντιμετωπίζονται προβλήματα είναι:

- Η αυτόματη σχεδίαση χάρτη (automated map design)
- Η εξαγωγή χαρακτηριστικών του εδάφους (terrain/feature extraction)
- Η γεωγραφική ψηφιοποιημένη Βάση Δεδομένων (geographic digital database)
- Η λήψη των αποφάσεων σε σχέση με τα γεωγραφικά δεδομένα (geographic decision support)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ορισμένα Έμπειρα Συστήματα που έχουν αναπτυχθεί σε συσχέτιση με κάθε έναν από τους τομείς που αντιμετωπίζονται προβλήματα.

Τομείς Προβλημάτων (Problem Domain)	Έμπειρο Σύστημα (Expert System)
Map Design	MAP-AID, AUTONAP, ACES
Terrain/feature extraction	Palmer, ACRONYM, FES, CERBERUS, VISIONS, MAPS
Geographic database	LOBSTER, SRAS, KBGIS-I, KBGIS-II, ORB1
Geographic decision support	TS-Prolog, URBYS, GEODEX

Map design

MAP-AID

Οι Robinson and Jackson, χωρίζουν το έργο τους MAP-AID σε 4 συνιστώσες: (i) τον πυρήνα που περιλαμβάνει το σχεδιασμό του χάρτη με βάση τους κανόνες και άλλες πληροφορίες που κατέχει ως πληροφορίες της βάσης γνώσης, (ii) τη μονάδα του χρήστη από την οποία ο χρήστης χειρίζεται το σύστημα και τη βάση γνώσης, (iii) ένα σύνολο δεδομένων του συστήματος, (iv) ένα σύνολο γραφικών ενοτήτων. Η κύρια γλώσσα που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη αυτού του φιλόδοξου Έμπειρου Συστήματος είναι η Prolog.

AUTONAP

Το Autonap είναι ίσως το πιο επιτυχημένο Έμπειρο Σύστημα για την τοποθέτηση ονόματος σε χάρτη που αναπτύχθηκε μέχρι σήμερα. Αυτό το σύστημα εξομοιώνει το έργο ενός έμπειρου χαρτογράφου να δίνει ονόματα σε χαρακτηριστικά ενός γεωγραφικού χάρτη. Χρησιμοποιεί έναν ευρετικό αλγόριθμο για την τοποθέτηση βασισμένο σε καθιερωμένες διαδικασίες και συμβάσεις. Η γενική προσέγγιση είναι ότι οι περιοχές σημειώνονται πρώτα, μετά τα σημεία και τέλος οι γραμμές. Με αυτόν τον τρόπο το σύστημα εξελίσσεται από την πιο περιορισμένη επισημείωση της δραστηριότητας στην λιγότερο περιορισμένη. Παρόλο που το πρόγραμμα δεν είναι γραμμένο σε κάποια από της γνωστές γλώσσες των Έμπειρων Συστημάτων όπως είναι η Lisp ή η Prolog οι προγραμματιστές του ισχυρίζονται ότι μπορούν να γίνουν προσθήκες στη βάση γνώσης με προσθήκη υπορουτινών σε Fortran (Ahn, 1984), (Freeman and Ahn, 1984).

ACES

Το ACES είναι ένα χαρτογραφικό Έμπειρο Σύστημα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την επισήμανση χαρτών και έχει τον ίδιο στόχο με το Autonap. Χρησιμοποιεί δένδρα αποφάσεων για να κάνει τις αναζητήσεις αλλά γενικότερα ο τρόπος είναι παρόμοιος με του Autonap.

TERRAIN/FEATURE EXTRACTION

Ο Palmer έδειξε πως ο λογικός προγραμματισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν βάση ενός Έμπειρου Συστήματος για την ανάλυση των χαρακτηριστικών του εδάφους. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας Prolog για τη διεξαγωγή συμβολικών αναλύσεων επέδειξε πως βασικά γεωγραφικά χαρακτηριστικά μπορεί να ανιχνευθούν με τη διαδικαστική γνώση κωδικοποιημένη σε μια βάση γνώσης και χρησιμοποιώντας τους μηχανισμούς ελέγχου της Prolog.

ACRONYM

Το Acronym είναι ένα Έμπειρο Σύστημα για την αναγνώριση εικόνας. Επεξεργάζεται εικόνες δύο διαστάσεων χρησιμοποιώντας μοντέλα τριών διαστάσεων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι αυτό το σύστημα ενσωματώνει τρία διαφορετικά Έμπειρα Συστήματα. Κάθε ένα από αυτά έχει το δικό του τρόπο αναπαράστασης της γνώσης, επεξήγησης και συνεργάζονται για να ερμηνεύσουν την εικόνα. (Lambird et al., 1984), (Brooks, 1983)

FES

Το FES είναι ένα Έμπειρο Σύστημα για τη Δασοκομία που αναλύει δεδομένα από διάφορες χρονικές στιγμές του δορυφόρου Landsat για την κατάταξη της εδαφοκάλυψης και των αλλαγών που αφορούν τους δασολόγους.

GEOGRAFIC DATABASE

Υπάρχει ένας αριθμός εν εξελίξει προσπαθειών που έχουν αναφερθεί σε αυτό το πολύ περίπλοκο τομέα. Ωστόσο στην βιβλιογραφία δεν έχει αναφερθεί κάποιο Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα Βάσης Γνώσης (KBGIS). Το κοντινότερο σε αυτό είναι το ORBI (Pereira et. al., 1982). Το ORBI γράφτηκε σε Prolog και στόχο έχει να παρακολουθεί τα αποθέματα των περιβαλλοντικών πόρων της χώρας της Πορτογαλίας. Είχε δύο πτυχές, η πρώτη ήταν να κατηγοριοποιεί τα περιβαλλοντικά στοιχεία και η άλλη να συμβουλεύει για τη διαχείριση των φυσικών πόρων.

Ένα άλλο Έμπειρο Σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι το LOBSTER (Frank, 1984). Όπως και το ORBI έχει βάση το λογικό προγραμματισμό. Προβλήματα τα οποία μέχρι τώρα λύνονταν με χρήση συμβατικών προγραμμάτων τώρα λύνονται με χρήση ερωτημάτων στη βάση χωρικών δεδομένων. Βοηθά στην απάντηση τυπικών ερωτημάτων σε ένα GIS συμπεριλαμβανομένης και της παραγωγής των απλών χαρτών (Frank, 1982).

GEOGRAFIC DECISION SUPPORT

Οι Barath και Futo περιγράφουν ένα σύστημα που βασίζεται στη λογική για τη σύγκριση των απαιτήσεων των οικονομικών κλάδων (π.χ. γεωπονία, βιομηχανία, κατασκευές) και των κοινωνικών παραγόντων (π.χ. εργασία, εκπαίδευση, πολιτισμός, συνθήκες διαβίωσης). Βασίστηκε σε ένα ιεραρχικό μοντέλο για δραστηριότητες, εθνικό, νομών και περιοχών. Για την ανάπτυξη του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα T-Prolog. Το URBYS είναι ένα Έμπειρο Σύστημα για τη βοήθεια στη χωροταξία και ανάλυση των αστικών περιοχών. Πολλά άλλα παρόμοια προγράμματα αναπτύχθηκαν όπως είναι το GEODEX, το LESA κ.α. τα περισσότερα από τα οποία είναι ακόμα υπό ανάπτυξη.

4 Το φυτό της πατάτας

4.1 Καταγωγή και εξάπλωση

Η πατάτα κατάγεται από το Νότιο Περού, όπου και πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε σαν καλλιεργούμενο είδος μεταξύ του 8000 και του 5000 Π.Χ. Αποτέλεσε την κύρια πηγή θερμίδων για την Αυτοκρατορία των Ίνκας αλλά και για τους Ισπανούς κατακτητές που εγκαταστάθηκαν αργότερα στην περιοχή. Σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο (άνω των 3.000 μέτρων) οι κόνδυλοι αφήνονταν εκτεθειμένοι στον παγωμένο νυχτερινό αέρα, και με αυτό τον τρόπο διατηρούσαν τη θρεπτική τους αξία για χρόνια. Στην Ευρώπη η πατάτα έφτασε με τα πλοία των Ευρωπαίων θαλασσοπόρων από το Νέο Κόσμο. Καλλιεργήθηκε αρχικά στην Ισπανία περί το 1534, στην Ιρλανδία δε περί το 1580. Από τα δύο αυτά κέντρα εισαγωγής διαδόθηκε σιγά-σιγά σε όλη την Ευρώπη. Το 1705 εισήχθη από τους Ιρλανδούς μετανάστες στις Ηνωμένες Πολιτείες και άρχισε να καλλιεργείται.

Στην Ελλάδα η πατάτα έγινε γνωστή πρώτα στα Ιόνια Νησιά λίγο πριν την επανάσταση του 1821, όταν την έφεραν οι Γάλλοι. Το 1800 φαίνεται ότι υπήρξε η πρώτη ελληνική καλλιέργεια πατάτας στο νησί της Κέρκυρας. Το νεοσύστατο ελληνικό κράτος υιοθέτησε την καλλιέργεια της πατάτας χάρη στο ισχυρό ενδιαφέρον που έδειξε ο Κυβερνήτης Ιωάννης Καποδίστριας. Το πρώτο χωράφι φυτεύτηκε το 1828 στην Αίγινα με πατάτες από την Κέρκυρα και τη Σύρο. Το «Γεωργικό Σχολείο» που ιδρύθηκε στην Τίρυνθα έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση της καλλιέργειας στην περιοχή της Πελοποννήσου.

4.2 Οι χρήσεις της πατάτας σήμερα

Ενώ η πατάτα ξεκίνησε αποκλειστικά για χρήση στη διατροφή του ανθρώπου, σήμερα έχει πολλαπλές «χρήσεις και σε άλλους τομείς, με το ποσοστό αυτών των άλλων χρήσεων να είναι συνεχώς αυξανόμενο.

Ανθρώπινη διατροφή

Οι κόνδυλοι της πατάτας αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα φυτικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται για την ανθρώπινη διατροφή. Οι θερμίδες που προσφέρει η πατάτα είναι αρκετές, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζει πολύ καλή τιμή στο δείκτη αριθμός θερμίδων/κόστος παραγωγής. Θεωρείται μια τροφή η οποία είναι ήπια για το στομάχι και μπορεί να μαγειρευτεί με πολλούς τρόπους ικανοποιώντας με αυτό τον τρόπο ένα πολύ μεγάλο μέρος των καταναλωτών.

Αλκοολούχα ποτά

Η πατάτα χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό (κυρίως εκτός Ελλάδας), και για την παραγωγή αλκοολούχων ποτών όπως η βότκα κ.α. Η χρήση αυτή στηρίζεται στη μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα, και ακολούθως η παραγωγή οινόπνευματος από τη ζύμωσή τους. Η βότκα από πατάτα είναι πολύ συνηθισμένη, αλλά θεωρείται κατώτερη εκείνων που παράγονται από σιτηρά (σιτάρι, και σίκαλη).

Ζωοτροφή

Αν και για τα ελληνικά δεδομένα θεωρείται δευτερεύουσα χρήση, οι πατάτες προσφέρονται για ζωοτροφή ολοένα και περισσότερο και για διάφορα είδη ζώων (βοοειδή, χοίροι και κοτόπουλα). Στα βοοειδή οι πατάτες προσφέρονται συνήθως ωμές ενώ στους χοίρους βραστές.

Βιομηχανική χρήση (Άμυλο, Βιοκαύσιμα, Καλλυντικά)

Το άμυλο της πατάτας χρησιμοποιείται από την βιομηχανία τροφίμων σαν πηκτικό και σαν παράγοντας που βοηθά στο δέσιμο διαφόρων σουπών και σαλτσών. Πέρα όμως από αυτή τη χρήση, το άμυλο της πατάτας το εκμεταλλεύεται ως συγκολλητικό τόσο η υφαντουργική βιομηχανία, ενώ στη Φινλανδία γίνονται προσπάθειες να παραχθεί χαρτί από αυτό. Από τις πιο πρόσφατες χρήσεις του αμύλου της πατάτας, είναι η παραγωγή πολυγαλακτικού οξέος για χρήση σε βιοδιασπώμενα πλαστικά.

Το άμυλο της πατάτας χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαιθανόλης μέσω της μετατροπής του σε ζυμώσιμα ζάχαρα. Η χρήση αυτή υπάρχει στον Καναδά, τις Η.Π.Α., την Κίνα και την Ευρώπη, αν και δεν φτάνει σε μέγεθος παραγωγής τα κυρίως ενεργειακά φυτά. Ολοένα αυξανόμενη είναι και η χρήση των υπολειμμάτων της καλλιέργειας και της επεξεργασίας της πατάτας σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή αιθανόλης, αν και αυτή η τεχνική είναι ακόμη σε πολύ πρώιμο στάδιο.

Στη βιομηχανία των καλλυντικών, η πατάτα χρησιμοποιείται για την παραγωγή κρεμών περιποίησης προσώπου (αντιγηραντικές και καταπραΰντικές).

Η παγκόσμια παραγωγή πατάτας

Κάθε χρόνο, σ' όλον τον κόσμο, η πατάτα καλλιεργείται σε πάνω από 185 εκατομμύρια στρέμματα και παράγονται πάνω από 300 εκατομμύρια τόνοι κονδύλων, με την Κίνα (20%), την Ε.Ε. (19%), τη Ρωσία (11 %) και την Ινδία (10%) να κατέχουν τις πρώτες θέσεις στην παγκόσμια παραγωγή. Η Γερμανία και η Πολωνία κατέχουν τις πρώτες θέσεις στην Ε.Ε. όσον αφορά την παραγωγή. Στην Ελλάδα η καλλιέργεια καταλαμβάνει κάθε χρόνο μια έκταση περίπου 300.000 στρεμμάτων και παράγονται περίπου 842.000 τόνοι κονδύλων, οι οποίοι δεν

καλύπτουν την εγχώρια κατανάλωση και γι' αυτό πραγματοποιούνται εισαγωγές σε σημαντικές ποσότητες.

Η παραγωγή στην Ελλάδα

Σύμφωνα με στοιχεία του ΥΠΑΑΤ (περίοδοι 2002-2009) στην Ελλάδα καλλιεργούνται κάθε χρόνο 300 χιλιάδες στρέμματα με πατάτα και παράγονται περίπου 842 χιλιάδες τόνοι κονδύλων. Η συνολική ποσότητα της πατάτας στην Ελλάδα παράγεται σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους εντός του έτους, οπότε μπορεί να γίνει ο εξής διαχωρισμός.

- *Παραγωγή ανοιξιιάτικης πατάτας*

Η φύτευση κλιμακώνεται από το Δεκέμβριο (π.χ. Εύβοια και Ηλεία) και μπορεί να φτάσει μέχρι το Μάρτιο (π.χ. Αιτωλοακαρνανία, Νάξος Σέρρες κτλ). Κατά μέσο όρο για την παραγωγή της ανοιξιιάτικης πατάτας καλλιεργούνται κάθε χρόνο περίπου 140 χιλιάδες στρέμματα και παράγονται 324 χιλιάδες τόνοι κονδύλων (μέσος όρος περιόδου 2002-2009, στοιχεία ΥΠΑΑΤ). Οι κυριότερες περιοχές παραγωγής ανοιξιιάτικης πατάτας σύμφωνα με στοιχεία των τοπικών αγροτικών διευθύνσεων για το έτος 2010, θεωρούνται οι νομοί Αχαΐας, Ηλείας, Μεσσηνίας, καθώς και η Νάξος.

- *Παραγωγή καλοκαιρινής πατάτας*

Η φύτευση του πατατόσπορου αρχίζει συνήθως από Μάρτιο (π.χ. Ορεστιάδα, Καβάλα, Κοζάνη, Νευροκόπι) και φτάνει περίπου μέχρι το Μάιο (π.χ. Φλώρινα, Σέρρες, Νευροκόπι κτλ). Κατά μέσο όρο για την καλοκαιρινή παραγωγή καλλιεργούνται κάθε χρόνο περίπου 144 χιλιάδες στρέμματα και παράγονται 360 χιλιάδες τόνοι κονδύλων (μέσος όρος περιόδου 2002-2009, στοιχεία ΥΠΑΑΤ). Οι κυριότερες περιοχές παραγωγής ανοιξιιάτικης πατάτας σύμφωνα με στοιχεία των τοπικών αγροτικών διευθύνσεων για το έτος 2010, θεωρούνται οι νομοί Δράμας, Αρκαδίας, Φλώρινας, Πέλλας, Σερρών, Κοζάνης, Ξάνθης κλπ.

- *Παραγωγή φθινοπωρινής πατάτας*

Η φθινοπωρινή παράγεται σε σημαντικά χαμηλότερο ποσοστό σε σχέση με την ανοιξιιάτικη και καλοκαιρινή. Η φύτευση ξεκινά τον Μάιο και φτάνει μέχρι Σεπτέμβριο. Κατά μέσο όρο η παραγωγή φτάνει περίπου 74 χιλιάδες στρέμματα και παράγονται 167 χιλιάδες τόνοι κονδύλων (μέσος όρος περιόδου 2002-2009, στοιχεία ΥΠΑΑΤ). Οι κυριότερες περιοχές παραγωγής φθινοπωρινής πατάτας θεωρούνται οι νομοί Βοιωτίας, Λασιθίου, Αχαΐας, Ευβοίας και Ηλείας.

4.3 Περιγραφή του φυτού

Το φυτό έχει θαμνώδη ανάπτυξη με εναέριους και υπόγειους βλαστούς. Οι εναέριοι βλαστοί είναι πράσινου χρώματος, αρχικά όρθιοι, στη συνέχεια διακλαδίζονται και πλαγιάζουν, σε μήκος που μπορεί να φτάσει από 40-160 εκατ. Λίγο πριν τη συγκομιδή μαραίνονται τα φυτά και αυτό αποτελεί ένδειξη του κατάλληλου χρόνου συγκομιδής.

Οι υπόγειοι βλαστοί ή αλλιώς στόλωνες αναπτύσσονται εντός του εδάφους διαγεωτροπικά (οριζόντια) και το μήκος τους ποικίλει ανάλογα με την ποικιλία αλλά και τις συνθήκες της καλλιέργειας. Γενικότερα οι άγριοι τύποι έχουν μακρούς στόλωνες ενώ το μικρό μήκος υποδηλώνει πρωιμότητα. Στο άκρο του στόλωνα που ονομάζεται άγκιστρο αναπτύσσεται ο κόνδυλος. Έτσι η παραγωγή της πατάτας εξαρτάται από τον αριθμό των στολώνων και από τις συνθήκες της κονδυλοποίησης. Κάθε στόλωνας συνήθως σχηματίζει ένα κόνδυλο στο άκρο του αλλά μπορούν να σχηματιστούν και περισσότεροι του ενός κόνδυλοι. Στο άκρο του στόλωνα είναι ήδη σχηματισμένος ο πρώτος οφθαλμός ο οποίος μελλοντικά με την ανάπτυξη του κονδύλου θεωρείται ως ο κορυφαίος οφθαλμός του.

Ρίζες

Οι ρίζες αναπτύσσονται στη βάση των βλαστών που εκφύονται από τους οφθαλμούς του κονδύλου. Είναι πολυάριθμα λεπτά ινώδη ριζίδια και απορροφούν το νερό και τα θρεπτικά στοιχεία. Δεν είναι αποθησαυριστικά όργανα όπως είναι ο στόλωνας και ο κόνδυλος. Όταν το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται από σπορόφυτο τότε η κεντρική ρίζα είναι πασσαλώδης που αργότερα διακλαδίζεται και δημιουργεί ένα θυσσανώδες ριζικό σύστημα.

Φύλλο

Τα φύλλα είναι σύνθετα αποτελούμενα από 7-11 φυλλάρια. Έχουν χρώμα βαθύ πράσινο, ελλειπτικό σχήμα και φέρουν χνούδι. Έχουν στομάτια τόσο στην πάνω επιφάνεια (λιγότερα) όσο και στην κάτω επιφάνεια (περισσότερα) Εξαιτίας της σολανίνης που περιέχουν είναι δηλητηριώδη όπως άλλωστε όλα τα πράσινα μέρη του φυτού.

Άνθη

Φέρονται σε ταξιανθίες που έχουν μακρύ άξονα και αναπτύσσονται από τη μασχάλη του τελευταίου φύλλου κάθε βλαστού. Το άνθος είναι ερμαφρόδιτο και αποτελείται από πενταμερή στεφάνη συμπέταλη χρώματος λευκίωδους, ιώδους, μπλε, ή υποκίτρινο. Ο στύλος είναι μακρύς και βρίσκεται έξω από τον κώνο των ανθέρων. Η ωοθήκη είναι δίχωρη, καθώς και ο καρπός που αναπτύσσεται και είναι ράγα μικρού μεγέθους 1,3-2,0 εκατ. κόκκινου χρώματος (μοιάζει με μικρό τοματάκι) και περιέχει μερικά μέχρι μερικές εκατοντάδες σπέρματα.

Κόνδυλος

Οι κόνδυλοι είναι υπόγειοι τροποποιημένοι βλαστοί. Το σχήμα και το μέγεθος ποικίλουν ανάλογα με την ποικιλία. Το βάθος των οφθαλμών του κονδύλου αποτελεί ένα χαρακτηριστικό ποιότητας και όσο πιο μικρό είναι τόσο καλύτερη θεωρείται η πατάτα (μικρότερες απώλειες κατά το καθάρισμα). Οι κόνδυλοι μπορεί να είναι σφαιρικοί, επιμήκεις ή ωοειδείς ανάλογα με την ποικιλία. Το χρώμα του περιδέρματος ποικίλει από λευκοκίτρινο, κοκκινωπό, ιώδες, πορφυρό. Ενδέχεται η περιοχή των οφθαλμών να έχει διαφορετικό χρώμα από το περίδερμα. Η σάρκα των κονδύλων μπορεί να είναι λευκή, κίτρινη ή να έχει ενδιάμεσο χρωματισμό και τελευταία εμφανίστηκε στην αγορά και μωβ χρώμα σάρκας. Υπό προϋποθέσεις έλλειψης φωτός και υψηλής σχετικής υγρασίας μπορεί να αναπτυχθούν και κόνδυλοι πάνω από το έδαφος (εναέριοι) με χαρακτηριστικό σκούρο πράσινο έως ιώδη χρωματισμό της περιδερμίδας. Λόγω προσβολής από ριζοκτονία είναι δυνατόν στη θέση των ταξιανθιών να δημιουργηθούν εναέριοι κόνδυλοι

4.4 Επιλογή τοποθεσίας

Στην Ελλάδα, η καλλιέργεια της πατάτας μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολλές περιοχές και σε διαφορετικές εποχές του έτους από την Βόρεια μέχρι τη Νότια Ελλάδα κυρίως λόγω του μεγάλου αριθμού ποικιλιών με καλή προσαρμοστικότητα σε ποικίλες εδαφοκλιματικές συνθήκες. Η παράμετρος που διαφοροποιείται μεταξύ των περιοχών της χώρας που είναι το κλίμα ξεπερνιέται από τη σωστή επιλογή της εποχής καλλιέργειας. Έτσι δεν είναι τυχαίο ότι η φύτευση στη Μεσσηνία μπορεί να γίνει το Δεκέμβριο- Ιανουάριο ενώ στο Νευροκόπι Δράμας θα γίνει στα μέσα Απριλίου. Παρόλα αυτά για την επιλογή της τοποθεσίας που θα οδηγήσει σε αύξηση της απόδοσης και παραγωγή προϊόντων με υψηλά ποιοτικά χαρακτηριστικά θα πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά παράμετροι που αφορούν τόσο στον αγρό όσο και στο κλίμα της περιοχής.

4.5 Ασθένειες-Εχθροί Πατάτας

Το φυτό της πατάτας είναι ένα από τα σημαντικότερα φυτά που καλλιεργούνται για την ανθρώπινη διατροφή. Ο κόνδυλος είναι το μόνο μέρος του φυτού που χρησιμοποιείται για τη διατροφή και μάλιστα είναι μεγάλης θερμιδικής αξίας (4 φορές μεγαλύτερη ανά καλλιεργούμενο στρέμμα γης σε σχέση με το σιτάρι). Μεγάλο ρόλο στην καθιέρωση της πατάτας στην παγκόσμια διατροφή έπαιξε η ιδιαίτερη αντοχή της στο ψύχος και έτσι μεγάλοι λιμοί αποσοβήθηκαν επειδή η πατάτα κάλυψε το κενό άλλων αποτυχημένων καλλιεργειών. Στην Ελλάδα η πατάτα ξεκίνησε να καλλιεργείται το 1800 και σήμερα, πάνω από 300 χιλιάδες

στρέμματα καλλιεργούνται κάθε χρόνο με κύριες πατατοπαραγωγικές περιοχές τους Νομούς Δράμας, Αχαΐας και Ηλείας.

Η ευαισθησία του φυτού σε έντομα, νηματώδεις και παθογόνα του εδάφους είναι μεγάλη και η αντιμετώπιση τους είναι πολλές φορές δύσκολη και δαπανηρή γι' αυτό είναι απαραίτητο να γίνεται εργαστηριακός προσδιορισμός της παρουσίας τους πριν την εγκατάσταση μιας πατατοφυτείας σε μια περιοχή. Σε περίπτωση μόλυνσης είναι πολύ σημαντική η έγκαιρη και σωστή διάγνωση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για την καταστροφή που μπορεί να επιφέρει η μόλυνση και η μη αντιμετώπιση της από παθογόνα στις καλλιέργειες είναι η καταστροφή που συνέβη στην Ιρλανδία το 18^ο αιώνα όπου λόγω της επέλασης του Περονόσπορου η σοδειά καταστράφηκε ολοσχερώς με αποτέλεσμα 1 εκατ. νεκρούς και άλλους τόσους να αναγκάζονται να μεταναστεύουν στις Ηνωμένες Πολιτείες. Γι αυτούς τους λόγους έγινε η προσπάθεια της δημιουργίας του Έμπειρου Συστήματος ώστε να χρησιμοποιηθεί σαν βοηθητικό εργαλείο ή σαν μια πρώτη, γρήγορη άποψη για την αντιμετώπιση του προβλήματος στην καλλιέργεια.

Λόγω του μεγάλου πλήθους των ασθενειών αλλά και των παρεμφερών χαρακτηριστικών τους είναι πολύ δύσκολη η διάγνωση κάποιας ασθένειας χωρίς να γίνει εργαστηριακός έλεγχος. Όσον αφορά τους εχθρούς, η αναγνώριση έχει καλύτερα αποτελέσματα λόγω των διακριτών χαρακτηριστικών που έχουν.

Τα Έμπειρα Συστήματα στον κλάδο της φυτοπαθολογίας μπορούν να προσφέρουν σημαντική βοήθεια. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμβουλευτικά από τον αρχάριο γεωπόνο αλλά και από έναν έμπειρο καλλιεργητή, παρέχοντας τους τη γνώση που μπορεί να αποκτήσει κάποιος ύστερα από χρόνια εμπειρίας, κωδικοποιημένη και εύκολα προσβάσιμη χωρίς να χρειάζεται να ανατρέχει στη βιβλιογραφία κάθε φορά που θα έχει προβλήματα στην καλλιέργεια. Τα αποτελέσματα σίγουρα δεν μπορούν να είναι ίδιας ακρίβειας με εκείνα των μικροβιολογικών εργαστηρίων αλλά σίγουρα είναι ένας γρήγορος και εύκολος τρόπος για μια αρχική εκτίμηση του προβλήματος.

Οι ασθένειες που προσβάλουν το φυτό της πατάτας χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες με βάση το είδος του μικροοργανισμού που ευθύνεται για την μόλυνση. Έτσι έχουμε τις Μυκητολογικές, τις Βακτηριολογικές και τις Ιολογικές. Τα κυριότερα συμπτώματα της κάθε ασθένειας που μελετήθηκε παρουσιάζονται σε πίνακες στο παράρτημα.

5 Exsys Professional

5.1 Παρουσίαση Εργαλείου

Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του συστήματος είναι το Exsys Professional (ver. 5.1.3). Η αναπαράσταση της γνώσης με κανόνες EAN-TOTE (IF-THEN) αποτελεί την παραδοσιακή προσέγγιση αυτών των συστημάτων. Το EXSYS όμως ενισχύεται με μια object structured χρήση μεταβλητών. Αυτό προσφέρει τα οφέλη του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού, χωρίς να απαιτεί από τον υπεύθυνο να αλλάξει τον τρόπο ανάπτυξης του συστήματος. Το αποτέλεσμα είναι ένα πολύ εύκαμπτο και ισχυρό περιβάλλον ανάπτυξης του οποίου οι λειτουργίες μπορούν να αφομοιωθούν από τον χρήστη εύκολα και γρήγορα. Το προϊόν αυτό σχεδιάστηκε για να επιτρέψει στους εμπειρογνώμονες να αναπτύξουν γρήγορα και εύκολα συστήματα υποστήριξης απόφασης, χρησιμοποιώντας την καθημερινή γλώσσα, χωρίς να πρέπει να αναγκάζονται να μάθουν σύνθετο προγραμματισμό. Οι κανόνες προσφέρουν ευκολία στον προγραμματισμό.

Για την υλοποίηση ενός συστήματος χρησιμοποιούνται τρία κύρια παράθυρα: αυτό των μεταβλητών (Qualifiers), αυτό των κανόνων (Rules), και τέλος αυτό των τελικών συμπερασμάτων (Choices).

Choices

Το Choice είναι κείμενο που χρησιμοποιείται ως τελικό συμπέρασμα (αποτέλεσμα) στο συμπερασματικό μέρος ενός κανόνα (... THEN ή ELSE...) και στο τέλος μίας συμπερασματικής διαδικασίας εφόσον ο κανόνας έχει εξεταστεί θα πάρει μία τιμή αληθή ή ψευδή ή κάποιο βαθμό αλήθειας.

Qualifier

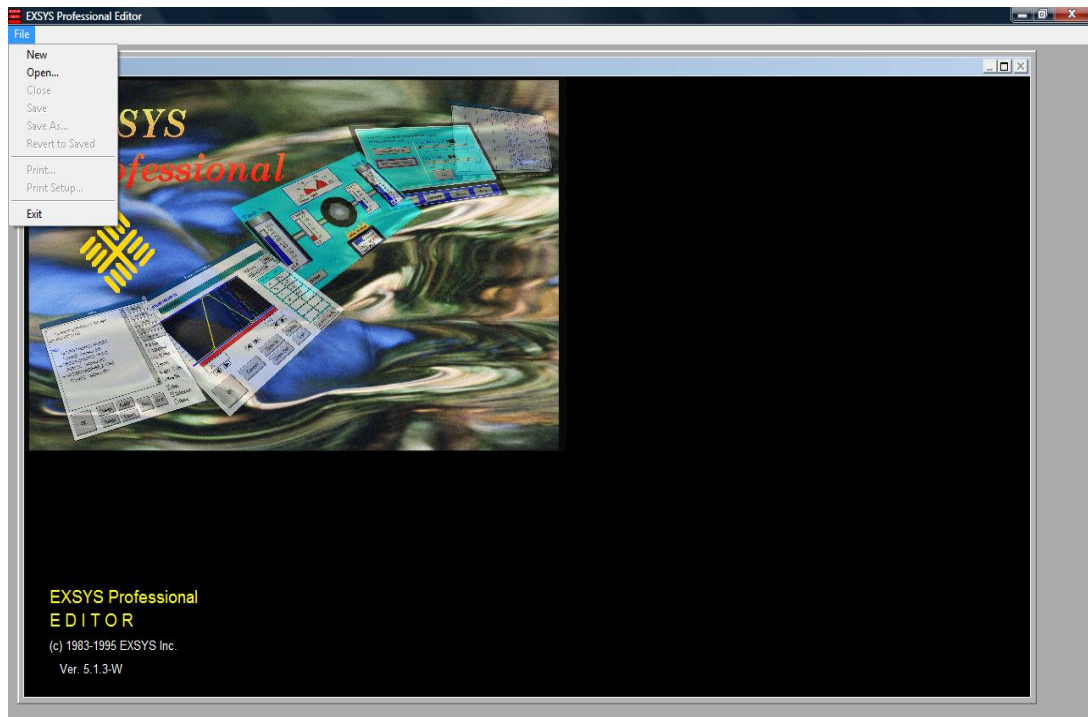
Το Qualifier είναι κείμενο που χρησιμοποιείται στις υποθέσεις (IF... THEN...) για τη δημιουργία των δένδρων ή των μεμονωμένων κανόνων που συγκροτούν τη λογική του συστήματος.

Rules

Τα Rules χρησιμοποιούνται για τη δόμηση της Βάσης Γνώσης του συστήματος στο αντίστοιχο γνωστικό αντικείμενο και τελικά συγκροτούν τη λογική του συστήματος. Το κύριο παράθυρο εργασίας απεικονίζει τα περιεχόμενα του Rules. Από το κάτω μέρος προστίθενται οι διάφοροι κόμβοι στα τμήματα των υποθέσεων (IF) και συμπερασμάτων (THEN).

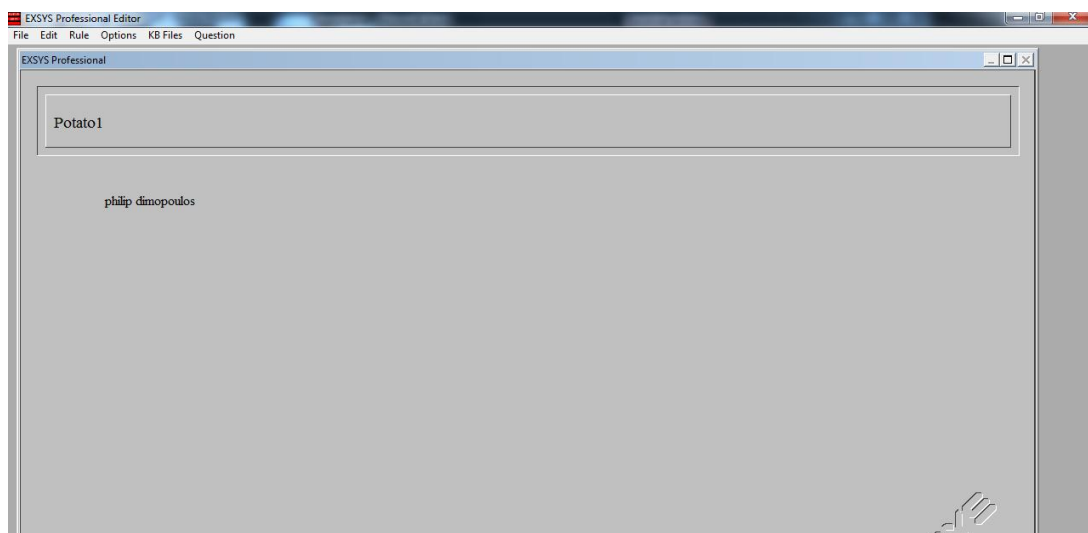
Παρακάτω, παρουσιάζονται σε συντομία οι βασικές οθόνες του συστήματος.

Στην αρχική οθόνη (Εικόνα 1)επιλέγοντας File, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα καινούριο πρόγραμμα ή να ανοίξουμε ένα που έχουμε ήδη αποθηκεύσει παλαιότερα.



Εικόνα 1: Η Αρχική οθόνη του EXSYS.

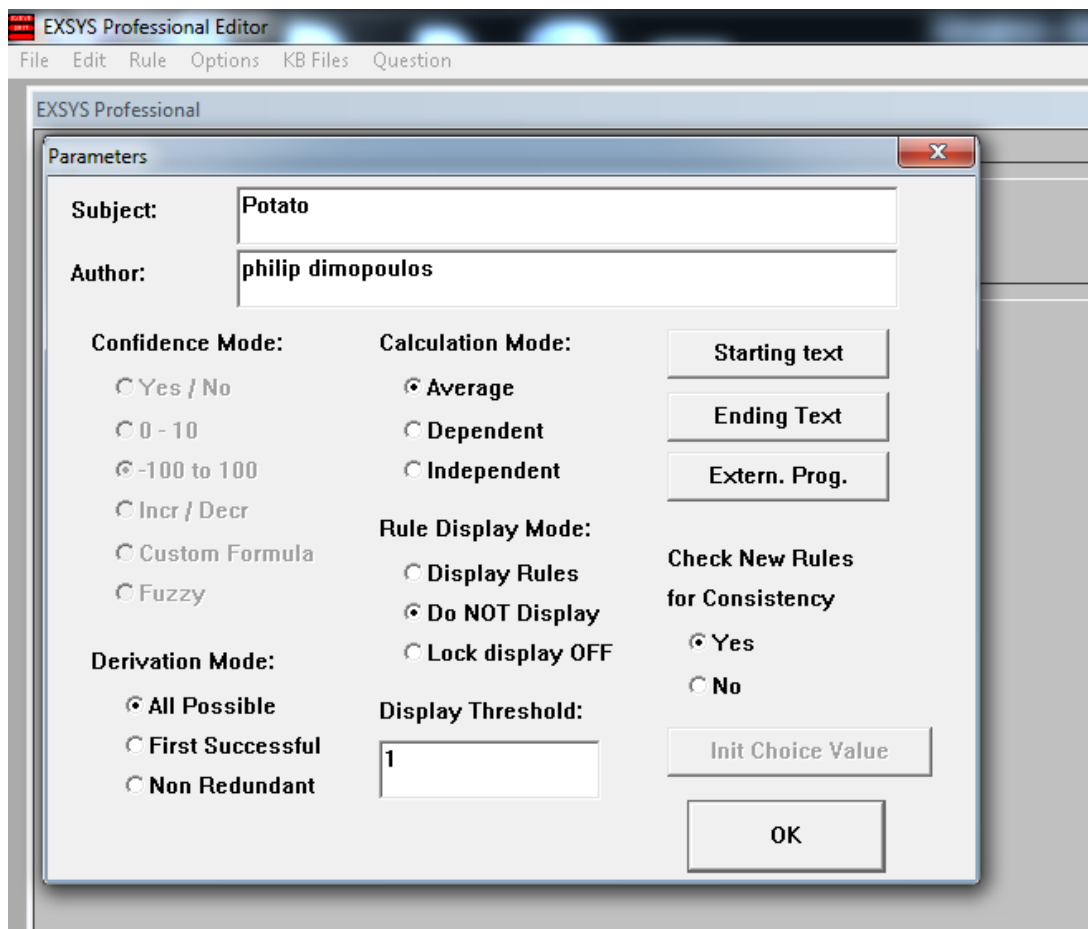
Στην πρώτη οθόνη του συστήματος (Εικόνα 2)φαίνεται το όνομα του δημιουργού και ο τίτλος του προγράμματος.



Εικόνα 2: Η πρώτη οθόνη του προγράμματος.

Παρακάτω, στο παράθυρο που φαίνεται (Εικόνα 3) μπορούμε να ορίσουμε κάποιες παραμέτρους του συστήματος, έτσι δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει το συντελεστή βεβαιότητας του συστήματος (Confidence Mode) όπως και άλλες

παραμέτρους ανάλογα με το πρόβλημα. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα να καθοριστεί η μέθοδος για την εξαγωγή συμπερασμάτων (backward chaining ως προκαθορισμένη επιλογή, ή forward chaining) ή ακόμα να αποκλειστούν τοπικά κάποια blocks.

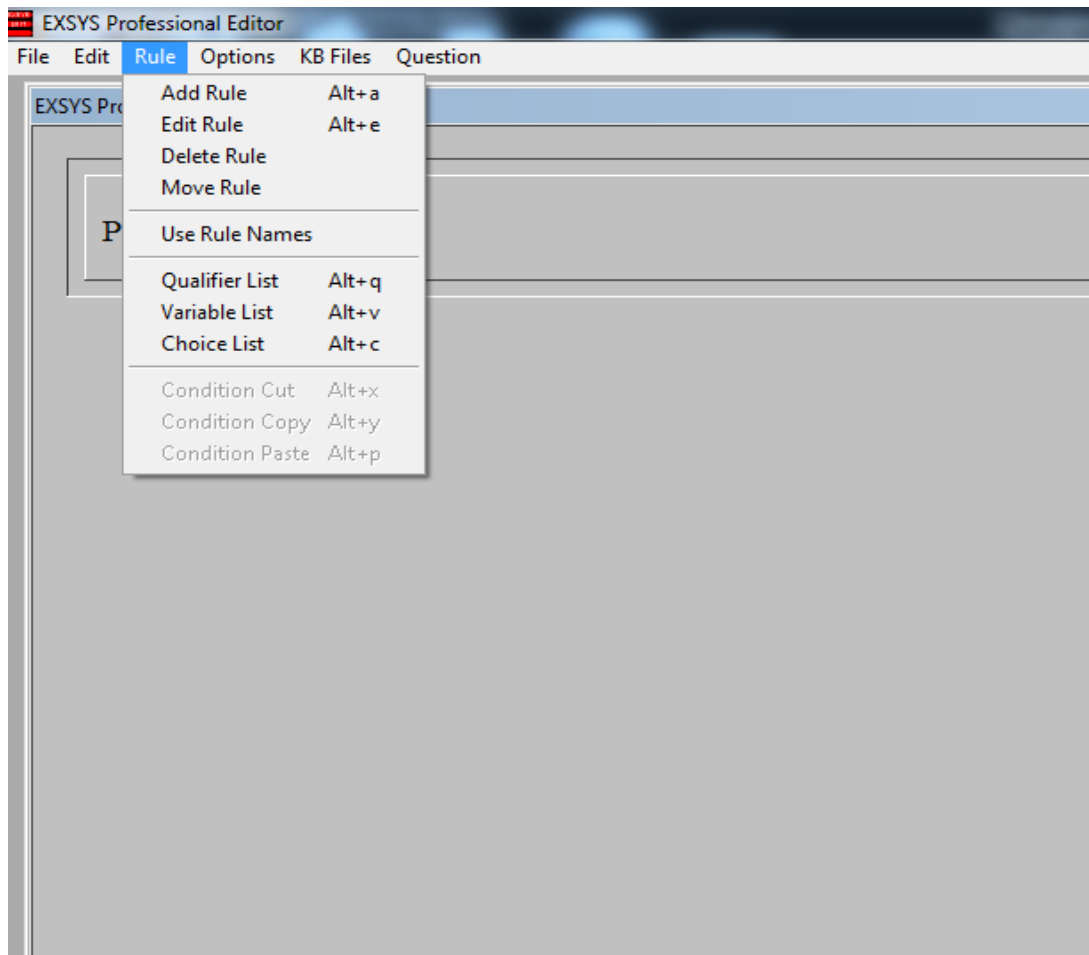


Εικόνα 3: Η οθόνη παραμέτρων του προγράμματος.

Στη θέση Confidence Mode αυτή ορίζεται ο τρόπος με τον οποίον γίνεται η εξαγωγής συμπεράσματος υπό αβεβαιότητα ή όχι. Αναλυτικότερα επιλέγεται μία μέθοδος εξαγωγής συμπεράσματος που αφορά τον βαθμό βεβαιότητας. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι όπως πιθανοθεωρητικές και ασαφούς λογικής.

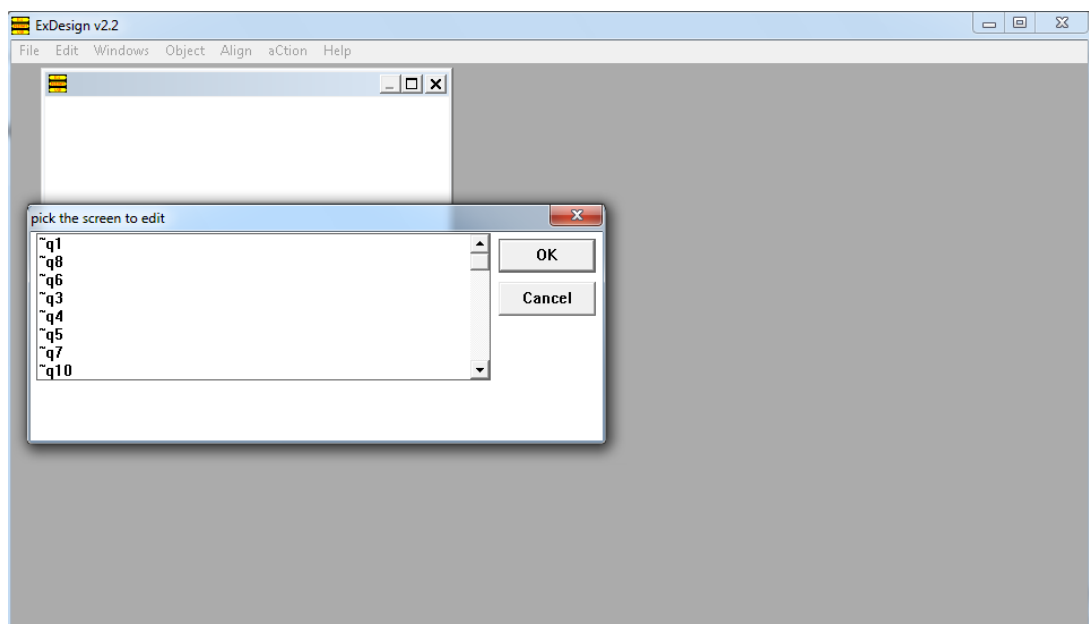
Επίσης, στις παραμέτρους του προγράμματος στη θέση Derivation Mode μπορούμε να ορίσουμε εάν θέλουμε το πρόγραμμα να συνεχίζει ή να σταματάει στον πρώτο κανόνα που επιβεβαιώνεται. Έτσι μπορούμε να έχουμε παραπάνω από ένα επιβεβαιωμένα αποτελέσματα.

Επιλέγοντας από το κεντρικό μενού Rules, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4 μπορούμε να δούμε τους κανόνες (rules), qualifiers και μεταβλητές (variables) καθώς και να προσθέσουμε νέους ή να διαγράψουμε κάποιους από τους ήδη υπάρχοντες.



Εικόνα 4: Η οθόνη Rule.

Στο παράθυρο ExDesign που φαίνεται στην Εικόνα 5 μπορούμε να τροποποιήσουμε το user interface, κάνοντας το πιο φιλικό προς το χρήστη.



Εικόνα 5: Η οθόνη ExDesign.

6 Σχεδιασμός του Έμπειρου Συστήματος

6.1 Φυσικό Πρόβλημα

Ο σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη δύο ξεχωριστών Έμπειρων Συστημάτων ενός διαγνωστικού για τις ασθένειες και ενός ταξινόμησης για τους εχθρούς.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα χωρίς να έχει ειδικές γνώσεις στη φυτοπαθολογία, να αναγνωρίζει κάποιες από τις σημαντικότερες και συχνά εμφανιζόμενες ασθένειες του φυτού της πατάτας καθώς και τους σημαντικότερους εχθρούς της.

Έμπειρα διαγνωστικά συστήματα στην φυτοπαθολογία έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν τους ανθρώπους που ασχολούνται με το πρόβλημα, ειδικούς και μη ειδικούς αλλά και για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

6.2 Σύλληψη της Γνώσης

Η διαδικασία της σύλληψης της γνώσης θεωρείται ότι είναι η πλέον χρονοβόρα διαδικασία στον κύκλο της ανάπτυξης των Έμπειρων Συστημάτων (Miskoff and Thenery, 1995). Πιο αναλυτικά μπορούμε να πούμε ότι σύλληψη γνώσης, είναι η διαδικασία εξαγωγής της γνώσης (από τον ειδικό, από βιβλία, κλπ) έτσι ώστε να μπορεί να είναι επεξεργάσιμη από ένα υπολογιστικό σύστημα. Το πιο κοινό μοντέλο για τη σύλληψη της γνώσης είναι ο μηχανικός της γνώσης να συλλέγει την απαραίτητη γνώση και πληροφορία από τους ειδικούς, να τις αξιολογεί μαζί με τους ειδικούς και να τις εισάγει τελικά στη Βάση Γνώσης (Zetian et. al., 2005). Θεωρείται ως το πιο σημαντικό βήμα της δημιουργίας ενός Έμπειρου Συστήματος, γιατί είναι το πιο δύσκολο και αμφίβολο όσον αφορά την επιτυχία του και συνεπώς αποτελεί τον πιο ανασταλτικό παράγοντα της ανάπτυξής του. Για το λόγο αυτό, αποκαλείται “το πρόβλημα απόκτησης γνώσης” (knowledge acquisition bottleneck), αφού περιορίζει τη δημιουργία ενός Έμπειρου Συστήματος. Η αξιοπιστία του συστήματος εξαρτάται από την ποιότητα αλλά και ποσότητα της γνώσης που επεξεργάζεται.

Το επόμενο βήμα του μηχανικού είναι η ανάλυση της γνώσης που εκμαίευσε από τον ειδικό, με σκοπό τη δημιουργία ενός μοντέλου της γνώσης (knowledge analysis & modeling), ανεξάρτητο από την υλοποίηση που θα ακολουθήσει, μεταφέροντάς τη σε κάποια ενδιάμεση μορφή αναπαράστασης. Η τελευταία θα πρέπει να είναι κατάλληλη ώστε στη φάση της υλοποίησης να είναι εύκολο να κωδικοποιηθεί με διάφορες μορφές, όπως δένδρα, πίνακες, κανόνες σε ψευδογλώσσα, τεχνικές περιλήψεις, κλπ.

Στην περίπτωση της μεταπτυχιακής διατριβής χρησιμοποιήθηκε σαν βάση το περιοδικό “ Γεωργία-Κτηνοτροφία” τεύχος 6/2011, (Anonymous, 2009), (Γιαννοπολίτης, 2005), (Έλενα, 1995), (Παναγόπουλος, 2000), (Christ, 1993), (Rich, 1983), (Ζάχος, 1962), (Αλιβιζάτος, 1995) (Γκούμας κ.α., 2001) και το βιβλίο για τα παθογόνα, “Potato Diseases” (Delleman et. al., 2005) από τα οποία αντλήθηκαν πληροφορίες για τις ασθένειες της πατάτας που μας ενδιέφεραν και οι πανεπιστημιακές σημειώσεις του μαθήματος εντομολογίας για τους εχθρούς. Κατά δεύτερον πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις με ειδικούς. Στις συνεντεύξεις έγινε απευθείας συζήτηση με τον ειδικό με συγκεκριμένες ερωτήσεις και αντίστοιχες απαντήσεις για κάθε μια περίπτωση. Οι πληροφορίες καταγράφηκαν και στη συνέχεια αναλύθηκαν και κωδικοποιήθηκαν και τέλος δημιουργήθηκε η βάση γνώσης του συστήματος. Είναι μία εργασία δύσκολη και απαιτεί καλή συνεργασία μεταξύ των εμπλεκομένων.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην ακριβή περιγραφή των συμπτωμάτων της κάθε ασθένειας και των χαρακτηριστικών κάθε εχθρού. Οι διαφορές στα συμπτώματα των ασθενειών είναι πολύ μικρές και έτσι είναι εύκολο να γίνει λάθος εκτίμηση, με αποτέλεσμα λάθος συμπέρασμα. Πολλές φορές κάποια χαρακτηριστικά των συμπτωμάτων, όπως το χρώμα και το μέγεθος για παράδειγμα, ήταν υποκειμενικά και όχι εύκολα διακριτά. Στην περίπτωση που εξετάζουμε τους εχθρούς, τα χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι διακριτά και μπορούμε με μεγαλύτερη ασφάλεια να δώσουμε ένα πιθανό αποτέλεσμα. Το πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε σε ότι αφορά τους εχθρούς ήταν ότι πολλές φορές ο χρήστης δεν είναι εύκολο να δει κάποιο από τα έντομα επάνω στο φυτό απλά βλέπει τη ζημιά που προκαλείται σε αυτό και έτσι μπορεί να δυσκολευτεί στην αναγνώριση.

Για να αρχειοθετηθούν και να δομηθούν οι πληροφορίες χρησιμοποιήθηκαν πίνακες ασθενειών με τους διάφορους διαγνωστικούς παράγοντες. Αρχικά καταλήξαμε σε μια περιληπτική περιγραφή κάθε ασθένειας συμπεριλαμβάνοντας όλα εκείνα τα συμπτώματα και τα σημεία που την χαρακτηρίζουν και την ξεχωρίζουν από τις άλλες, έτσι δημιουργήθηκε ένας αρχικός πίνακας (Πίνακας 3).

Οι παραπάνω πληροφορίες δομήθηκαν και μετασχηματιστήκαν ώστε να είναι δυνατόν να καθοριστούν οι διαγνωστικοί παράγοντες (Coulson et al., 1987) κάθε ασθένειας και ενημερώθηκε ένας πίνακας με πληροφορίες όπως: Το όνομα της ασθένειας, το μικρόβιο που ευθύνεται, το σύμπτωμα και το σημείο του φυτού που προσβάλλει (Πίνακας 4). Αντιστοίχως έγινε και για τους εχθρούς.

Παρά το γεγονός ότι ένα Έμπειρο Σύστημα στοχεύει να ενεργήσει σύμφωνα με τη διαδικασία της ανθρώπινης συλλογιστικής, δίνοντας συμβουλές και παίρνοντας αποφάσεις παρόμοιες με αυτές του ανθρώπου εμπειρογνώμονα, (Huime and Dijkhuizen, 1992) υπάρχει ο φόβος ότι ο υπολογιστής πρόκειται να αντικαταστήσει τον πραγματογνώμονα. (Kahney,

1989), (Nitsch, 1991) Κατά την ανάπτυξη του συστήματος, στη φάση της σύλληψης της γνώσης, εκφράστηκε η άποψη προς τους ειδικούς ότι ένα Έμπειρο Σύστημα δεν μπορεί να αντικαταστήσει τον ειδικό αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμβουλευτικά ή σαν μια πρώτη άποψη πάνω στο πρόβλημα. Αυτό τους δίνει τη δυνατότητα να παίρνουν καλύτερες αποφάσεις και να παρέχουν χρήσιμες συμβουλές στους καλλιεργητές πατάτας, γεμίζοντας το κενό γνώσεων μεταξύ των εμπειρογνομόνων και του αρχάριου χρήστη (Schmoltdt and Rauscher, 1994).

Συμπτώματα βακτηριολογικών ασθενειών	Καστανή σήψη	Δακτυλιωτή σήψη της πατάτας	P.carotovorum subsp.carotovorum	P.atrosepticum	Dickeya spp.	Ακτινομύκωση	Η ράβδωση της Σάρκας των Κονδύλων της πατάτας	Dickeya solani
Εξωτερικά γύρω από τους οφθαλμούς οι οποίοι παρουσιάζουν στο σημείο αυτό καστανομέλανο μεταχρωματισμό της επιδερμίδας, από όπου εξέρχεται γλοιώδης μάζα	x							
στο εξωτερικό των κονδύλων εμφανίζονται ερυθροκάστανες κηλίδες ελαφρώς βυθισμένες	x							
παρατηρούνται λεπτές, κτρινωπές – καστανές ζώνες κατά μήκος των αγγείων του κονδύλου, που σταδιακά αποκτούν εντονότερο χρωματισμό, σπάζουν, σχηματίζοντας ένα περιμετρικό δακτύλιο στον κόνδυλο		x						
βύθιση των ιστών στην περιοχή πρόσφυσης του στολониού και καστανές – κόκκινες κηλίδες γύρω από τους οφθαλμούς και τα φακίδια, διάρρηξη του φλοιού και δημιουργία ακανόνιστων μικρών έγκων		x						
Από τους σαπιμένους ιστούς δεν αναδύεται οσμή		x						
παρασιάζουν περιοχές με υδαρείς, μαλακούς ιστούς κοκκώδους υφής, κτρινωπούς έως ανοικτού-καστανού χρώματος που διαχωρίζονται από το υγιές τμήμα με μελανή ζώνη ιστών			x	x	x			x
ολόκληρο το εσωτερικό του κονδύλου καταρρέει και αποσυντίθεται, ενώ παραμένει μόνο το περίδημα του οι σπόμενοι ιστοί είναι άοσμοι, αλλά αργότερα αναδύουν έντονη δυσάρεστη οσμή			x	x	x			x
σήψης του σημείου πρόσφυσης του στολониού					x			
ελαφρύ μαρμαρό των φύλλων κατά την θερμή περίοδο της ημέρας ο μαρμασμός γενικεύεται και το φυτό ξηραίνεται και πέφτει στο έδαφος.	x	x						
Οι άκρες των φυλλωρίων καρουλιάζουν και στρέφονται προς τα πάνω. Συγχρόνως στα φυλλάρια παρατηρείται μεσοκνείρια χλωρίωση, η οποία σε συνδυασμό με την μάρανση εξελίσσεται σταδιακά σε νέκρωση των φύλλων, των στελεχών και σταδιακά ολόκληρου του φυτού.		x						

Πίνακας 3:Μέρος του πίνακα Βακτηριολογικών ασθενειών/συμπτώματα.

6.3 Ανάλυση της Γνώσης

Η Ανάλυση της Γνώσης στοχεύει στο να δώσει το πρώτο σύνολο οργανωμένης γνώσης από την αποσπασματική γνώση που είχαμε προηγουμένως (Charlet et al., 1996). Στην φάση αυτή ο μηχανικός γνώσης εκτελεί μια επιστημολογική ανάλυση πριν προβεί σε μια ιδιαίτερη αναπαράσταση γνώσης. Αυτή η ανάλυση βασίστηκε στην έννοια της γλωσσικής ανάλυσης γνώσης που παρέχει μια εννοιολογική προσέγγιση στην οποία η γνώση αναλύεται ως λεξικολογική, συντακτική και σημασιολογική γνώση (O'Keefe and Preece, 1996).

Η γλωσσική ανάλυση της γνώσης αποσκοπεί στην παραγωγή μιας ποιοτικής περιγραφής των συμπτωμάτων των ασθενειών και στην αρχική δόμηση της πληροφορίας. Με την Ανάλυση της Γνώσης αφού απαριθμηθούν τα στοιχεία επίλυσης του προβλήματος καθώς και οι γλωσσικές έννοιες διαμορφώνονται οι διαγνωστικοί παράγοντες. Οι διαγνωστικοί παράγοντες περιλαμβάνουν έννοιες όπως το σύμπτωμα, το σημείο του φυτού που έχει

προσβληθεί κτλ, που αναφέρονται και αξιοποιούνται στην διαγνωστική διαδικασία (Thomson et al., 1986).

Η αρχική επιλογή για τις ασθένειες έγινε με βάση το είδος του μικροοργανισμού. Στην πατάτα υπάρχουν τρία είδη, οι μυκητολογικές, οι ιολογικές και οι βακτηριολογικές. Έτσι για την κάθε μία κατηγορία συλλέχθηκαν πληροφορίες για τα συμπτώματα που εμφανίζονται στο φυτό.

Στη συνέχεια, η επιλογή έγινε με βάση το σημείο του φυτού που παρατηρείται το σύμπτωμα (φύλλα, βλαστός, κόνδυλος, ρίζες κ.λπ.). Από το κείμενο επιλέχθηκαν τα συμπτώματα που παρατηρούνται στο κάθε μέρος του φυτού και στη συνέχεια έγινε η κατηγοριοποίηση με βάση αυτό το κριτήριο. Η κατηγοριοποίηση έγινε με πίνακες στους οποίους στις στήλες υπάρχουν τα μέρη του φυτού και στις γραμμές οι ασθένειες (Πίνακας 4).

ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ	ΜΕΡΗ ΦΥΤΟΥ ΤΗΣ ΠΑΤΑΤΑΣ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ						
	κόνδυλος	φύτρο	ρίζες	στόλωνες	στέλεχος	φύλλα	βλαστός
Καστανή σήψη	x					x	
Δακτυλιωτή σήψη της πατάτας	x					x	
Μελάνωση του λαιμού							
<i>P.carotovorum</i> subsp. <i>carotovorum</i>	x				x		
<i>P.atrosepticum</i>	x				x	x	
<i>Dickeya</i> spp.	x				x		
Ακτινομύκωση	x						
Η ασθένεια Stolbur της πατάτας		x				x	
Η ράβδωση της Σάρκας των Κονδύλων της πατάτας	x					x	x
<i>Dickeya solani</i>	x				x		

Πίνακας 4: Μέρη της πατάτας που εμφανίζονται τα συμπτώματα.

Στο επόμενο στάδιο, χωρίστηκαν τα συμπτώματα για το κάθε μέρος του φυτού σε αυτά που φαίνονται εξωτερικά και αυτά που είναι εσωτερικά, σε πίνακες στις γραμμές των οποίων φαίνονται τα συμπτώματα και στις στήλες οι ασθένειες που τα παρουσιάζουν. Παρακάτω, στον Πίνακα 5, παρουσιάζονται τα συμπτώματα για τον Κόνδυλο.

ΚΟΝΔΥΛΟΣ						
Συμπτώματα βακτηριολογικών ασθενειών	Καστανή σήψη	Δακτυλιωτή σήψη της πατάτας	P.carotovororum subsp.carotovororum	P.atrosepticum	Dickeya spp.	Ακτινομύκωση
Εξωτερικά						
εξωτερικά γύρω από τους οφθαλμούς οι οποίοι παρουσιάζουν στο σημείο αυτό καστανομέλανο μεταχρωματισμό της επιδερμίδας, από όπου εξέρχεται γλοιώδης μάζα	x					
στο εξωτερικό των κονδύλων εμφανίζονται ερυθροκάστανες κηλίδες ελαφρώς βυθισμένες	x					
παρατηρούνται λεπτές, κιτρινωπές – καστανές ζώνες κατά μήκος των αγγείων του κονδύλου, που σταδιακά αποκτούν εντονότερο χρωματισμό, σαπίζουν, σχηματίζοντας ένα περιμετρικό δακτύλιο στον κόνδυλο		x				
βύθιση των ιστών στην περιοχή πρόσφυσης του στολониού και καστανές – κόκκινες κηλίδες γύρω απ' τους οφθαλμούς και τα φακίδια, διάρρηξη του φλοιού και δημιουργία ακανόνιστων μικρών ελκών		x				
Από τους σαπισμένους ιστούς δεν αναδύεται οσμή		x				
παρουσιάζουν περιοχές με υδαρείς, μαλακούς ιστούς κοκκώδους υφής, κιτρινωπούς έως ανοικτού-καστανού χρώματος που διαχωρίζονται από το υγιές τμήμα με μελανή ζώνη ιστών			x	x	x	
ολόκληρο το εσωτερικό του κονδύλου καταρρέει και αποσυντίθεται, ενώ παραμένει μόνο το περίδερμα του			x	x	x	
οι σιπόμενοι ιστοί είναι άσμοι, αλλά αργότερα αναδύουν έντονη δυσάρεστη οσμή			x	x	x	
σήψης του σημείου πρόσφυσης του στολониού					x	
εμφανίζουν μικρές ερυθροκάστανες, υδατώδεις κηλίδες στο περίδερμα οι οποίες σταδιακά διαπλάτνονται καθώς προχωρά η ανάπτυξη των κονδύλων καθιστάμενες φελλώδεις και νεκρωτικές						x
φελλώδεις κηλίδες με τραχιά επιφάνεια (εσαρώσεις) έχουν χρώμα από ανοικτό έως σκούρο καστανό και μπορεί να εμφανίζονται εντελώς επιφανειακές φελλώδεις περιοχές (επιφανειακές εσαρώσεις), έως ελαφρώς προεξέχουσες φελλώδεις θέσεις (υπερψωμένες εσαρώσεις) ή ποικίλλοντας βάθους εσοχές (βυθισμένες εσαρώσεις) μεμονωμένες ή συνενώνονται καλύπτοντας μεγάλο μέρος της επιφάνειας του κονδύλου						x
Εσωτερικά στην σάρκα						
Σε εγκάρσια τομή του κονδύλου εμφανίζεται καστανός μεταχρωματισμός του δακτυλίου των αγγείων, ενώ με ελαφρά πίεση εξέρχεται λευκοκίτρινο υγρό άσμο	x					
παρατηρούνται λεπτές, κιτρινωπές – καστανές ζώνες κατά μήκος των αγγείων του κονδύλου, που σταδιακά αποκτούν εντονότερο χρωματισμό, σαπίζουν, σχηματίζοντας ένα περιμετρικό δακτύλιο στον κόνδυλο		x				
ελαφρό έως έντονο καστανό μεταχρωματισμό με τη μορφή στενών λωρίδων εντοπισμένων στη σάρκα των κονδύλων						

Πίνακας 5: Συμπτώματα που εμφανίζονται στον κόνδυλο.

Τέλος, έγινε μια πρώτη προσπάθεια να δημιουργηθούν τα πρώτα Qualifiers με τις επιλογές των χαρακτηριστικών που επιλέγει ο χρήστης. Μέρος του πίνακα που δημιουργήθηκε φαίνεται στον Πίνακα 6 .

Βακτηριολογικές ασθένειες			
ΚΟΝΔΥΛΟΣ		Καστανή σήψη	Δακτυλιωτή σήψη της πατάτας
Qualifiers			
Το περίδερμα (επιφάνεια) του κονδύλου παρουσιάζει:	μεταχρωματισμό	x	x
	γλωώδη μάζα	x	
	περιμετρικό δακτύλιο		x
	κηλίδες		x
	έλκη		x
	μολυσμένους ιστούς		x
	εκκρήση υγρού	x	
Μεταχρωματισμός			
Ο μεταχρωματισμός παρατηρείται:	στους οφθαλμούς του κονδύλου	x	x
	κατά μήκος των αγγείων του κονδύλου		x
	στους ιστούς του κονδύλου		
Η επιδερμίδα των οφθαλμών παρουσιάζει μεταχρωματισμό:	μαύρο	x	
	καστανό	x	x
	κόκκινο		x
Οι ιστοί έχουν χρώμα:	κίτρινο		
	ανοικτό καστανό		

Πίνακας 6: Οι πρώτοι Qualifiers με τις επιλογές των χαρακτηριστικών που μπορεί να επιλέξει ο χρήστης

Παρατηρώντας ότι ένα συγκεκριμένο σύμπτωμα(π.χ. κηλίδες, έλκη) εμφανίζεται σε πάνω από μια ασθένειες, ομαδοποιήθηκαν τα Qualifiers με βάση το συγκεκριμένο σύμπτωμα. Μέρος του πίνακα που προέκυψε φαίνεται στον Πίνακα 7.

Βακτηριολογικές ασθένειες			
Qualifiers		Ακτινομύκωση	Δακτυλιωτή σήψη της πατάτας
έλκη			
στην περιοχή πρόσφυσης του στολονίου παρατηρούνται έλκη με μέγεθος :	μεγάλο		
	μεσαίο		
	μικρό		x
στην περιοχή πρόσφυσης του στολονίου παρατηρούνται έλκη με σχήμα :	ακανόνιστο		x
κηλίδες			
γύρω από τα φακίδια παρατηρούνται κηλίδες με χρώμα:	καστανό		x
	κόκκινο		x
στο περίδερμα εμφανίζονται κηλίδες χρώματος:	ερυθροκάστανες	x	
	σκούρο καστανό		
	ανοικτό καστανό		
στο περίδερμα εμφανίζονται κηλίδες που έχουν μέγεθος:	μικρό	x	
	μεσαίο	x	
	μεγάλο		
στο περίδερμα εμφανίζονται κηλίδες που είναι:	υδατώδεις		
	φελλώδεις	x	
	νεκρωτικές	x	
Η επιφάνεια των κηλίδων είναι:	τραχιά	x	
	προεξέχουσα		
Οι φελλώδεις κηλίδες είναι:	επιφανειακές	x	
	ελαφρώς προεξέχουσες		
	ποικίλλοντος βάθους	x	

Πίνακας 7: Ομαδοποίηση των Qualifiers με βάση το συγκεκριμένο σύμπτωμα

Μετά από αυτόν τον διαχωρισμό έγινε η ίδια διαδικασία για τις άλλες δυο κατηγορίες ασθενειών(μυκητολογικές, ιολογικές). Μετά το τέλος της διαδικασίας έγινε έλεγχος και ομαδοποίηση ώστε κάθε σύμπτωμα να αντιστοιχεί στην ασθένεια που το παρουσιάζει και ξεκίνησε η διαδικασία εισαγωγής της γνώσης στη Βάση Γνώσης του συστήματος.

Σε ότι αφορά τους εχθρούς, έγινε κατηγοριοποίηση με βάση τα χαρακτηριστικά του κάθε εντόμου και στη συνέχεια αφού συγκεντρώθηκαν οι τιμές για κάθε χαρακτηριστικό εισάχθηκαν σε πίνακα (Πίνακας 8). Για τα χαρακτηριστικά εκείνα που είναι αριθμητικά όπως είναι το μήκος, ορίστηκαν Μεταβλητές ενώ για τα υπόλοιπα δημιουργήθηκαν Qualifiers.

		Δορυφόρος	Φθοριμαία	Σιδηροσκούληκα	Αφίδες πατάτας	Αλευρώδης των θερμοκηπίων	Θρίπας	Τζιτζικάκια
Qualifiers								
Το χρώμα του εντόμου είναι	κίτρινο-πορτοκαλί με 5 μαύρες γραμμές σε κάθε έλυτρο	x						
	κόκκινο με 2 μαύρες κηλίδες στα πλάγια κάθε κοιλιακού δακτυλίου							
	τεφρό με κροσσούς στις πτέρυγες		x					
	λευκό-ρόδινο							
	μαύρο ή καστανό γυαλιστερό			x				
	πορτοκαλί							
	πράσινο, κίτρινο, κοκκινωπό, καστανό ή καστανόμαυρο				x			
	κίτρινο και τα φτερά του είναι καλυμμένα από λευκό κηρώδες επίχρισμα					x		
	κίτρινο λαμπερό							
	κιτρινοκαστανό						x	
	λευκοκίτρινο							
	ανοιχτοπράσινο							x
Variables								
ΜΙΚΟΣ								
Το μήκος του εντόμου είναι		10-15 mm	8-16mm	1-60 mm	1-4 mm	0-2 mm	2-10 mm	3-4 mm

Πίνακας 8: Εχθροί πατάτας Qualifiers.

Στο τελικό στάδιο της ανάλυσης, έγιναν αρκετές διορθώσεις ύστερα από συζήτηση με τους ειδικούς, πριν την δημιουργία της Βάσης Γνώσης του συστήματος.

6.3.1 Συμπτώματα/Χαρακτηριστικά

Η ταξινόμηση και η ανάλυση των συμπτωμάτων είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία στη δημιουργία του Έμπειρου Συστήματος. Στο Διαγνωστικό Έμπειρο Σύστημα που αναπτύχθηκε, αυτό το στάδιο είναι πολύ σημαντικό αφού ακολουθήθηκε η αναπαράσταση γνώσης σύμφωνα με τη μέθοδο *Qualifier-τιμή*, όπου η οντότητα *Qualifier* περιλαμβάνει το αντικείμενο και το χαρακτηριστικό. Για παράδειγμα έχουμε το σύμπτωμα "μεταχρωματισμός της επιφάνειας του κονδύλου" που είναι η οντότητα *Qualifier* και οι χρωματισμοί που μπορεί να έχει είναι "καστανό, βαθύ καστανό, καστανομέλανο, κιτρινωπό" και είναι οι τιμές. Έτσι επιλέγοντας έναν συνδυασμό *Qualifier-τιμής* αποκλείουμε κάποιες ασθένειες και ακολουθώντας την ίδια διαδικασία και για άλλα συμπτώματα καταλήγουμε σε ένα

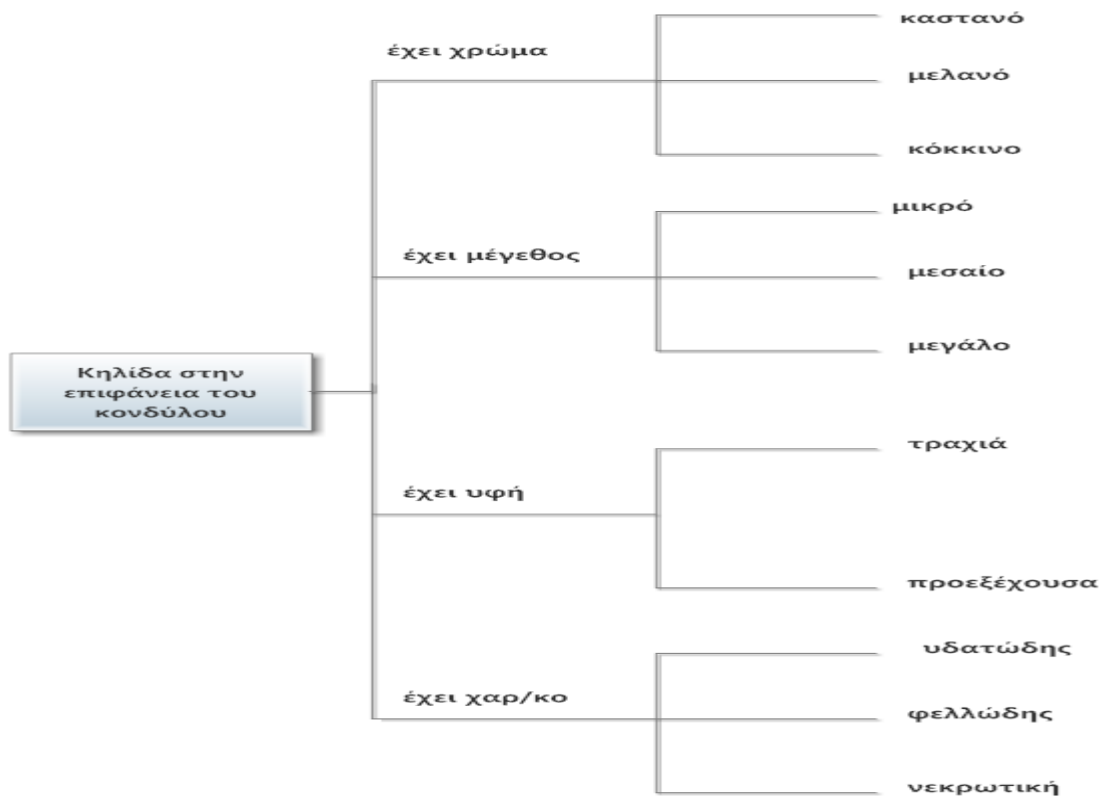
συμπέρασμα. Τα περισσότερα συμπτώματα έχουν ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά με μία ή περισσότερες τιμές για το καθένα. Είναι σημαντικό να είναι γνωστό κάθε χαρακτηριστικό του συμπτώματος και κάθε τιμή που μπορεί να γίνει αποδεκτή. Επίσης, είναι μεγάλης σημασίας να είναι γνωστό εάν το σύμπτωμα μπορεί να δεχτεί παραπάνω από μία τιμή για ένα χαρακτηριστικό για μια συγκεκριμένη περίπτωση. Στην πραγματικότητα, πολλές φορές δεν υπάρχει συγκεκριμένος τρόπος για να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά ενός συμπτώματος. Σε αυτήν την περίπτωση ο μηχανικός γνώσης και οι ειδικοί πρέπει να αποφασίσουν ποιο να επιλέξουν (Yialouris and Sideridis,1996).

Τα πιο κοινά χαρακτηριστικά των συμπτωμάτων που περιλαμβάνονται στο σύστημα είναι:

- *Εμφανίζονται στο/στα*, το οποίο υποδηλώνει το μέρος του φυτού που εμφανίζονται τα συμπτώματα της ασθένειας.
- *Έχει σχήμα*, το οποίο υποδηλώνει το σχήμα του συμπτώματος.
- *Έχει μέγεθος*, το οποίο υποδηλώνει το μέγεθος του συμπτώματος.
- *Έχει χρώμα*, το οποίο υποδηλώνει το χρώμα του συμπτώματος.
- *Έχει υφή*, , το οποίο υποδηλώνει την υφή του συμπτώματος.
- *Ο τύπος του είναι*, το οποίο υποδηλώνει τον τύπο του συμπτώματος (π.χ. οι κηλίδες είναι νεκρωτικές)

Ακολουθώντας αυτό το πλάνο συλλέχθηκαν όλα τα πιθανά χαρακτηριστικά του κάθε συμπτώματος και οι αντίστοιχες τιμές τους.

Στο Σχήμα 3 φαίνεται το διάγραμμα του συμπτώματος της **κηλίδας στην επιφάνεια του κονδύλου** με τα χαρακτηριστικά και κάποιες τιμές.



Σχήμα 3: Διάγραμμα του συμπτώματος της κηλίδας στην επιφάνεια του κονδύλου

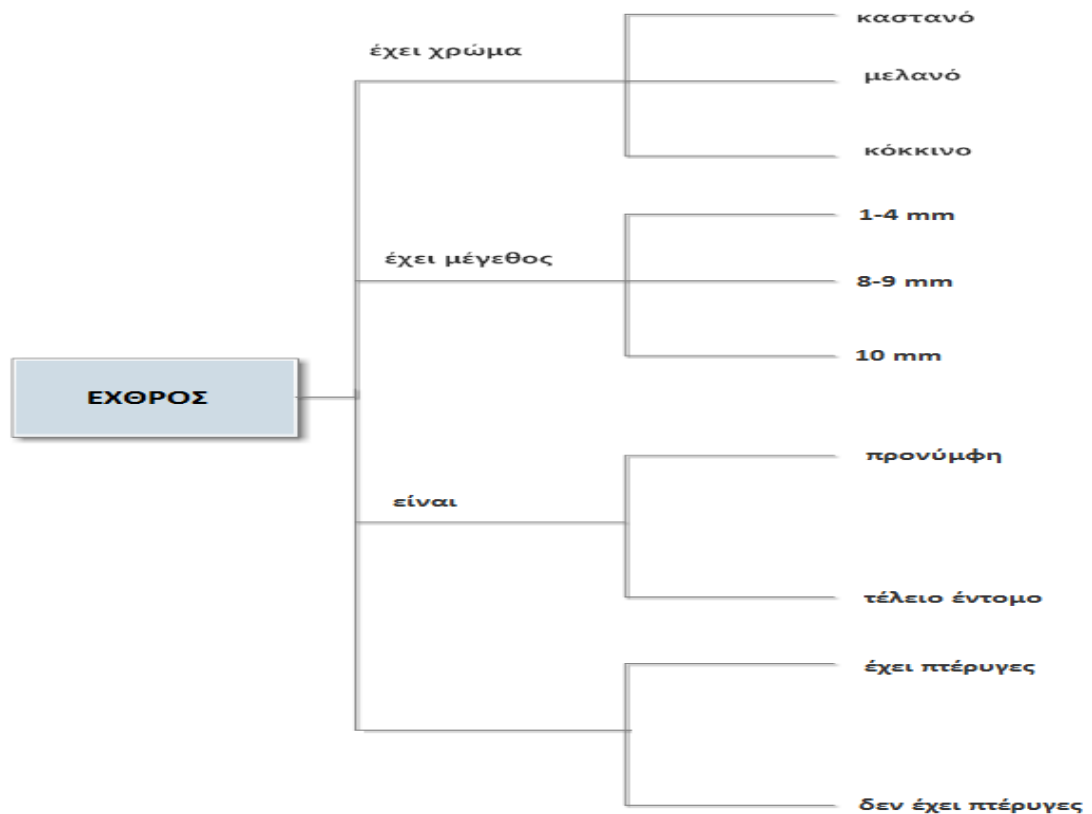
Όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα(Σχήμα 3), μια κηλίδα στην επιφάνεια του κονδύλου μπορεί να έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ανάλογα με την ασθένεια που την προκαλεί. Για παράδειγμα μπορεί να έχει χρώμα καστανό, μικρό μέγεθος, η επιφάνεια της να είναι τραχιά και να είναι και νεκρωτική. Με τον ίδιο τρόπο δημιουργήθηκαν διαγράμματα και για τα υπόλοιπα συμπτώματα.

Στο Έμπειρο Σύστημα για την ταξινόμηση των εχθρών, έγινε κατηγοριοποίηση κυρίως με βάση τα χαρακτηριστικά του εντόμου. Για τον κάθε εχθρό εξετάζονται τα χαρακτηριστικά του τα οποία κυρίως είναι:

- *χρώμα*, το οποίο υποδηλώνει το χρώμα του εχθρού
- *μέγεθος*, το οποίο υποδηλώνει το μέγεθος του εχθρού σε χιλιοστά του μέτρου και εισάγεται στο σύστημα με τη μεταβλητή ΜΙΚΟΣ.
- *Στάδιο ζωής(τέλειο/προνύμφη)*, το οποίο υποδηλώνει σε τι στάδιο βρίσκεται το έντομο.
- *Έχει πτέρυγες/Δεν έχει πτέρυγες*, το οποίο υποδηλώνει εάν ο εχθρός έχει πτερά.

Ακλουθώντας αυτό το πλάνο συλλέχθηκαν όλα τα πιθανά χαρακτηριστικά του κάθε εχθρού και οι αντίστοιχες τιμές τους.

Παρακάτω (Σχήμα 4) φαίνεται μέρος του διαγράμματος για τους εχθρούς με ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και τιμές.



Σχήμα 4: Μέρος του διαγράμματος χαρακτηριστικών για τους εχθρούς.

6.3.2 Συσχέτιση ασθενειών και συμπτωμάτων

Το διαγνωστικό Έμπειρο Σύστημα πρέπει να είναι ικανό να επιλέγει μια πιθανή ασθένεια από ένα σύνολο ασθενειών η οποία αντιστοιχεί καλύτερα στην περιγραφή των συμπτωμάτων που παρατηρούνται από τους χρήστες (Le Renard, 1988), (Plant and Stone, 1991). Γι' αυτό το λόγο ορίστηκαν:

- Ένα σύνολο τελικών στόχων που αντιστοιχούν σε κάθε ασθένεια (*Choices*).
- Ένα σύνολο συνθηκών που περιέχει τα συμπτώματα που ισχύουν για κάθε ασθένεια. (*Qualifiers*)
- Ένα σύνολο των σχέσεων μεταξύ των προηγούμενων συνόλων που αποτελούν τους κατάλληλους διαγνωστικούς κανόνες. (*Rules*).

Αντιστοίχως και για τους εχθρούς οι τελικοί στόχοι (*Choices*) που είναι τα έντομα, το σύνολο των συνθηκών (*Qualifiers*) που περιέχει τα χαρακτηριστικά, και το σύνολο των σχέσεων των προηγούμενων που αποτελούν τους κατάλληλους κανόνες (*Rules*).

6.3.3 Αναπαράσταση της γνώσης

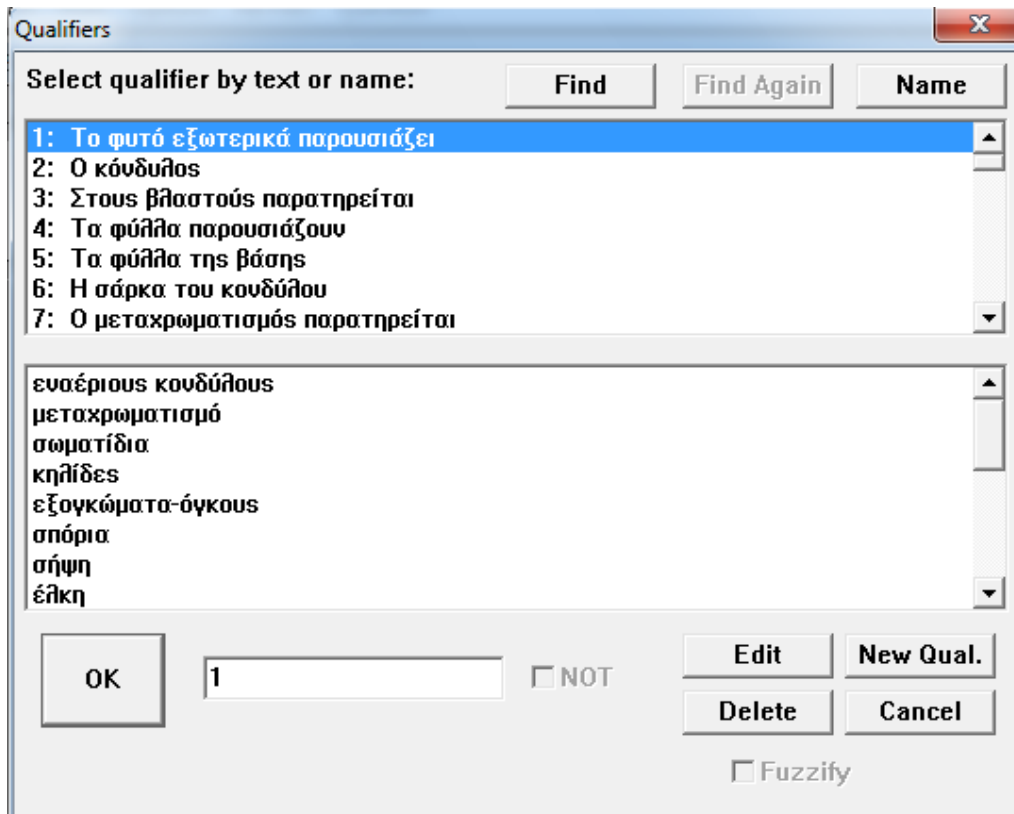
Με τον όρο γνώση αναφερόμαστε σε αποθηκευμένη πληροφορία ή σε μοντέλα χρησιμοποιούμενα από ένα άτομο ή μηχανή για να μεταφράσουν, προβλέψουν και κατά προσέγγιση να αντιδράσουν στον εξωτερικό κόσμο (Fischler and Firschein, 1987).

Ο στόχος της αναπαράστασης της γνώσης είναι να επιλεγεί ένας φορμαλισμός για την απεικόνιση της γνώσης στον υπολογιστή σε μια μορφή που να διευκολύνει την επίλυση του προβλήματος. Από τους διάφορους τρόπους αναπαράστασης γνώσης (κανόνες, πλαίσια, σημασιολογικά δίκτυα κ.λπ.) , επιλέχθηκαν οι κανόνες για την αναπαράσταση της διαγνωστικής διαδικασίας. Επίσης οι κανόνες παρέχουν τους καλύτερους φορμαλισμούς για τη φυσική και πλήρη έκφραση της γνώσης (Plant and Stone, 1991), (Kramers et al., 1998).

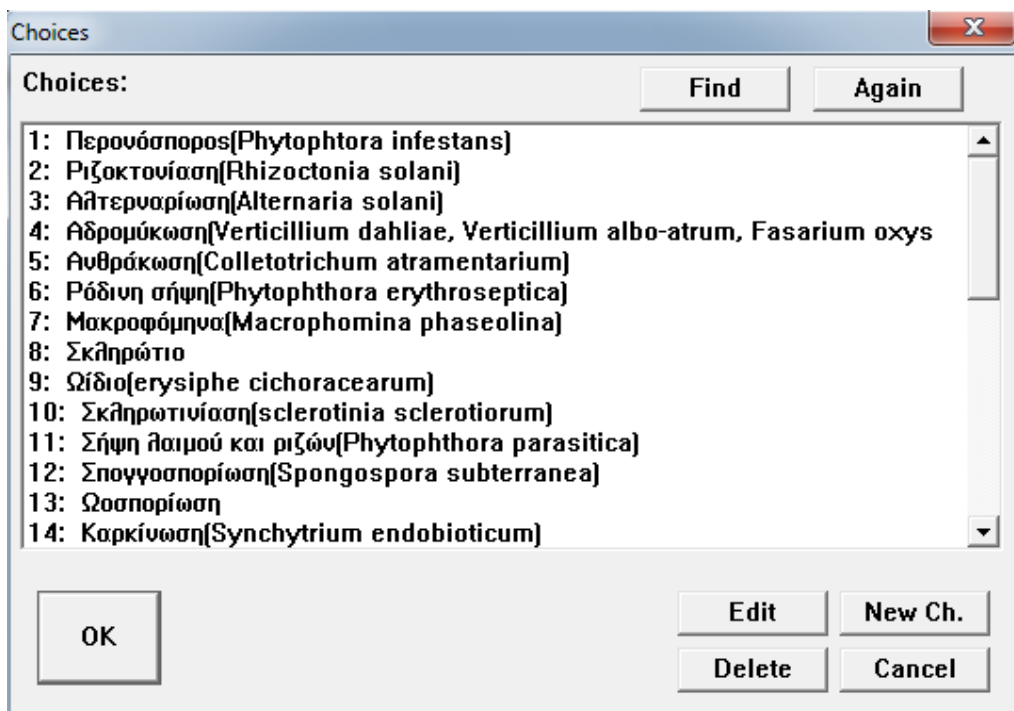
Στο σύστημα EXSYS Professional (Ver. 5.1.3), το οποίο χρησιμοποιήθηκε, η γνώση αναπαρίσταται ως σύνολο "IF-THEN" κανόνων. Ο κανόνας χρησιμοποιείται για τη συσχέτιση απλών γεγονότων με μία απόφαση ή συμπέρασμα. Επίσης, ο κανόνας αποτελείται στο μέρος του IF από τα "Qualifiers" και τα "Variables" ενώ το THEN μέρος του κανόνα αποτελείται από τα "Choices" δηλαδή τις επιλογές ή τους στόχους με τις πιθανές τιμές τους.

Μια επιλογή (Choice) είναι ένα πιθανό τελικό συμπέρασμα του συστήματος. Τα qualifiers διαμορφώνουν τους όρους που πρέπει να ικανοποιηθούν για τα choices που επιλέγονται. Ενώ τέλος οι μεταβλητές χρησιμοποιούνται για να εισάγουν οι χρήστες τιμές μη προκαθορισμένες και αριθμητικές. Επιπλέον για την αναπαράσταση της γνώσης χρησιμοποιήθηκαν κείμενα σε μορφή (txt) αρχείων και φωτογραφίες των προσβλημένων περιοχών από τις ασθένειες.

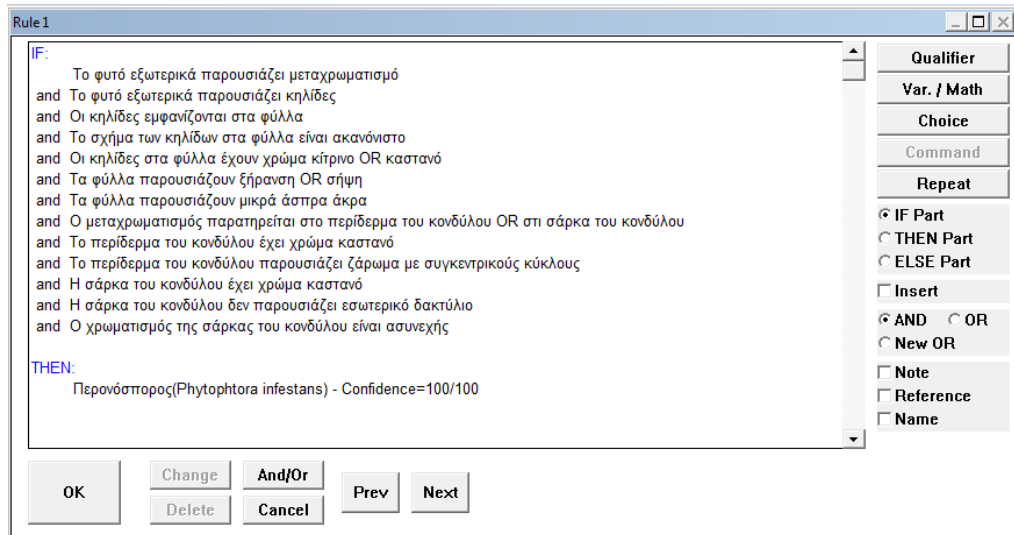
Στις παρακάτω οθόνες μπορούμε να δούμε κάποια από τα Qualifiers τα Choices και ενδεικτικά τον πρώτο κανόνα "Rule 1" του Διαγνωστικού Έμπειρου Συστήματος Potato για τις ασθένειες. Ανάλογα είναι και του Exthroi για τους εχθρούς.



Εικόνα 5: Qualifiers από το Έμπειρο Σύστημα Potato.



Εικόνα 6: Choices από το Έμπειρο Σύστημα Potato.



Εικόνα 7: Ο πρώτος κανόνας από το Έμπειρο Σύστημα Potato.

6.3.4 Αναγνώριση με ελλιπή πληροφορία

Πολλές φορές διαπιστώνεται ότι ο χρήστης δεν διαθέτει απαντήσεις για όλα τα ερωτήματα που κάνει το σύστημα (ελλιπής πληροφορία) και δεν είναι σίγουρος για την ακριβή σχέση μεταξύ συμπτώματος και ασθένειας (Tocatlidou et al., 2002). Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται διάφορα μοντέλα για το χειρισμό της αβεβαιότητας. Υπάρχουν πολλά συμπερασματικά μοντέλα για το χειρισμό της αβεβαιότητας στα Έμπειρα Συστήματα αλλά δεν υπάρχει μια αντικειμενική μέθοδος που να ταιριάζει στον ανθρώπινο τρόπο σκέψης ώστε να φτάσει σε κάποιο συμπέρασμα (Jones, 1989), (Bogler and Wright, 1994). Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από μέθοδο σε μέθοδο διαφέρουν και έτσι η τελική επιλογή μας εξαρτάται από το πρόβλημα, τον ειδικό και το μηχανικό γνώσης.

Επειδή το Exsys δεν παρέχει λειτουργία ελλιπούς πληροφορίας. Περιπτώσεις τέτοιες αντιμετωπίστηκαν με την προσθήκη στα χαρακτηριστικά των τιμών “Δεν γνωρίζω ή Άλλο ή Είναι φυσιολογικό” ώστε να απεμπλέκεται το σύστημα και να προχωρά στην επόμενη ερώτηση.

Μία άλλη λύση για το συγκεκριμένο πρόβλημα που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε αυτό το σύστημα θα ήταν η δημιουργία κανόνων με λιγότερες συνθήκες. Δηλαδή, ο χρήστης θα μπορούσε να έχει πιο σύνθετες αλλά περιορισμένες επιλογές. Με αυτόν τον τρόπο, τις περισσότερες φορές το σύστημα θα κατέληγε σε αποτέλεσμα, αλλά το ποσοστό της βεβαιότητας για αυτό το αποτέλεσμα θα ήταν μικρότερο.

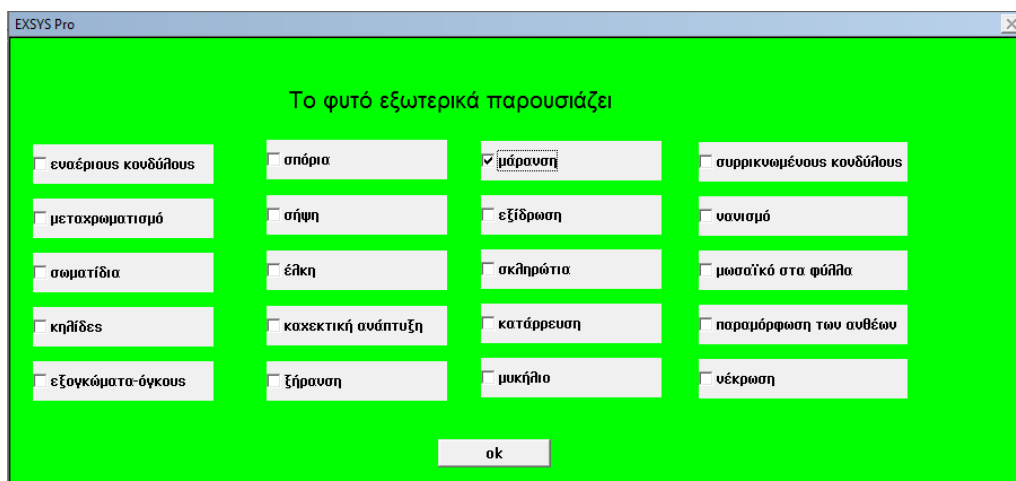
6.3.5 Αρχιτεκτονική του Συστήματος

Αρχικά συμπεριλάβαμε όλες τις ασθένειες του φυτού της πατάτας σε ένα ενιαίο διαγνωστικό σύστημα και όλους τους εχθρούς σε ένα άλλο ξεχωριστό. Και τα δυο συστήματα απευθύνονται σε χρήστες οι οποίοι δεν έχουν ειδικές γνώσεις πάνω στο αντικείμενο και γι' αυτό το λόγο έγινε προσπάθεια η γλώσσα που χρησιμοποιήθηκε να είναι απλή, χωρίς εξειδικευμένες έννοιες και λεπτομέρειες που μπορεί να γνωρίζουν όσοι έχουν ασχοληθεί εκτενώς με τα προβλήματα της καλλιέργειας της πατάτας.

Χρησιμοποιήθηκαν φόρμες στις οποίες ο χρήστης μπορεί να κάνει μία ή περισσότερες επιλογές στις περισσότερες των περιπτώσεων. Το σύστημα ξεκινάει με μια φόρμα στην οποία ο χρήστης επιλέγει κάποια από τα συμπτώματα που μπορεί να εμφανίζει εξωτερικά το φυτό και σύμφωνα με έναν ευρηστικό αλγόριθμο ακολουθεί η επόμενη μέχρι να καταλήξει το σύστημα σε κάποιο συμπέρασμα.

Ένα παράδειγμα για την ασθένεια της Αδρομύκωσης παρουσιάζεται παρακάτω.

Στην πρώτη φόρμα (Οθόνη 1) χρήστης επιλέγει τι σύμπτωμα παρουσιάζει εξωτερικά το φυτό.



The screenshot shows a window titled "EXSYS Pro" with a white background. At the top, it says "Το φυτό εξωτερικά παρουσιάζει". Below this, there are 20 checkboxes arranged in a 5x4 grid. The first checkbox, "ενοέριους κονδύλους", is checked. The other checkboxes are: σπόρια, μάραση, συρρικνωμένους κονδύλους, μεταχρωματισμό, σήψη, εξίδρωση, υαιισμό, σωματίδια, έλκη, σκληρότητα, μωσαϊκό στα φύλλα, κηλίδες, κακεκτική ανάπτυξη, κατάρρευση, παραμόρφωση των αυθέου, εξογκώματα-όγκους, ξήραση, μυκήλιο, and υέκρωση. At the bottom center, there is an "ok" button.

Οθόνη 1: Εξωτερικά συμπτώματα του φυτού.

Στην δεύτερη φόρμα, (Οθόνη 2) επιλέγει τι σύμπτωμα παρουσιάζουν τα φύλλα

ΕΚΣΥΣ Pro

Τα φύλλα παρουσιάζουν

<input checked="" type="checkbox"/> ξήρανση	<input type="checkbox"/> ένα στακτόχρομο επίκριμα	<input type="checkbox"/> σκλήρυνση και είναι εύθραπτα	<input type="checkbox"/> διαφάνεια των νευρώσεων
<input type="checkbox"/> μύραση	<input type="checkbox"/> σήψη	<input type="checkbox"/> νεκρωτικές ραβδώσεις	<input type="checkbox"/> κυματισμό
<input type="checkbox"/> κηλίδες με άσπρο επίκριμα	<input type="checkbox"/> πτώση	<input type="checkbox"/> μικρά μέγεθος	<input type="checkbox"/> έντονο τρίκιωμα
<input type="checkbox"/> χλόρωση	<input type="checkbox"/> κίτριναίματα	<input type="checkbox"/> ροζέτα	<input type="checkbox"/> περιφερειακή νέκρωση
<input checked="" type="checkbox"/> κορούλιασμα και συστροφή των φυλλιδίων προς τα πάνω	<input type="checkbox"/> ερυθρίωση	<input type="checkbox"/> κίτρινοπράσινο μωσαϊκό	<input type="checkbox"/> νεκρωτικές κηλίδες

ok

Οθόνη 2: Συμπτώματα στα φύλλα.

Στην τρίτη (Οθόνη 3) επιλέγει τι παρουσιάζει ο βλαστός σε εγκάρσια τομή

ΕΚΣΥΣ Pro

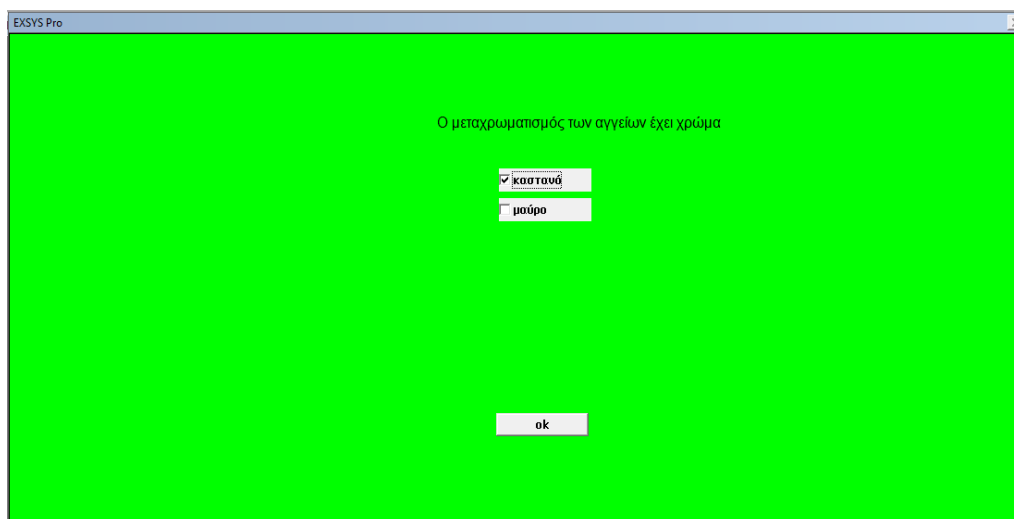
Σε εγκάρσια τομή ο βλαστός

<input checked="" type="checkbox"/> παρουσιάζει μεταχρωματισμό αγγείων
<input type="checkbox"/> εκκρίνει λευκό γλοιώδες υγρό
<input type="checkbox"/> είναι φυσιολογικός

ok

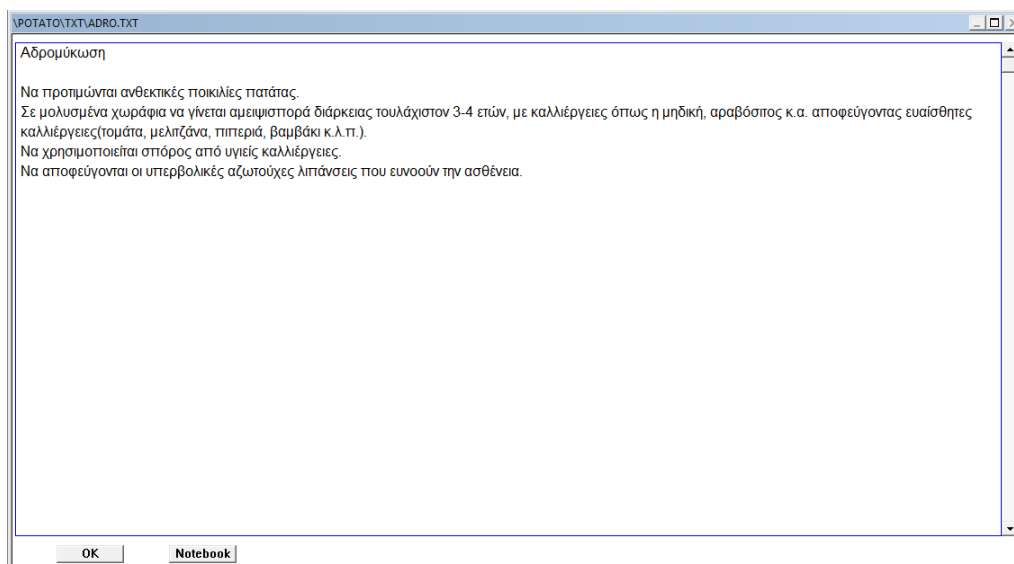
Οθόνη 3: Συμπτώματα στον βλαστό.

Και τέλος (Οθόνη 4) τι χρώμα έχει ο μεταχρωματισμός των αγγείων

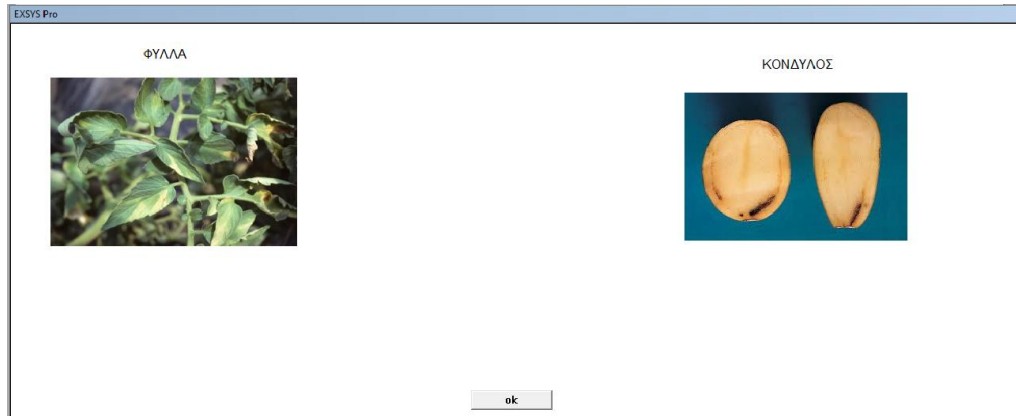


Οθόνη 4: Επιλογή του χρώματος των αγγείων.

Κάνοντας τις κατάλληλες επιλογές το σύστημα κάνει διάγνωση της ασθένειας και εμφανίζει το αρχείο κειμένου που αναφέρεται σε αυτή (Οθόνη 5) καθώς και τις αντίστοιχες εικόνες από μολυσμένα μέρη του φυτού (Οθόνη 6).



Οθόνη 5: Τρόποι αποφυγής της ασθένειας της Αδρομύκωσης.



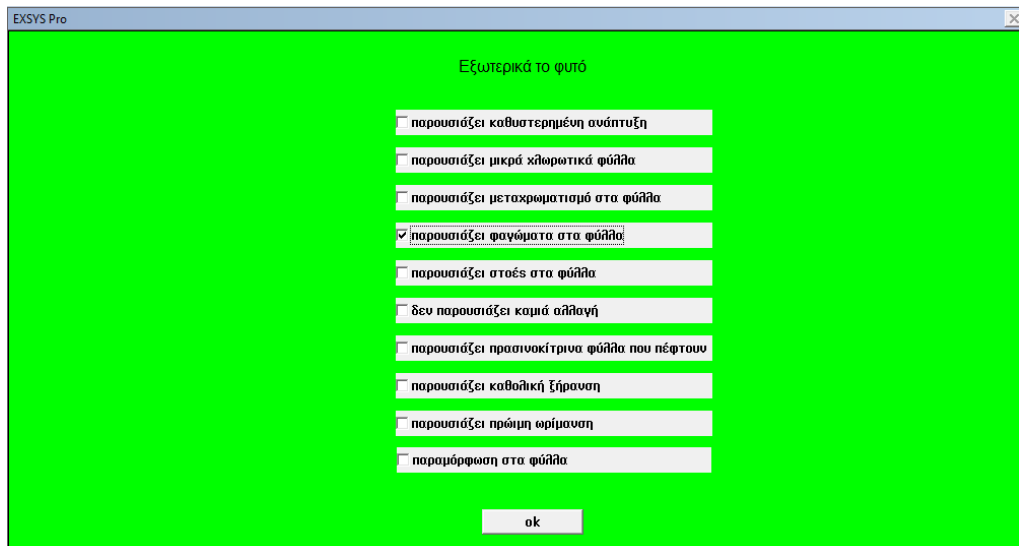
Οθόνη 6: Μολυσμένα φύλλα και κόνδυλος.

Το διαγνωστικό σύστημα για τις ασθένειες έχει πολλούς κανόνες και Qualifiers με πολλές τιμές, και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η συντήρησή του. Επίσης, υποχρεώνεται ο χρήστης να επιλέξει από ένα μεγάλο πλήθος παρεμφερών ερωτήσεων, με αποτέλεσμα να μπερδεύεται και έτσι οι απαντήσεις που δίνει δεν καταλήγουν πολλές φορές σε διάγνωση. Μια λύση στα παραπάνω θα ήταν η ανάπτυξη υποσυστημάτων όπου το καθένα από αυτά να αναφέρεται στις ασθένειες ενός μικροοργανισμού (μύκητες, ιοί, βακτήρια). Όμως, ο χρήστης δεν θα μπορούσε να επιλέξει σε ποια κατηγορία θα αντιστοιχούσε η περίπτωση του, βάση των ορατών συμπτωμάτων στο φυτό. Για το λόγο αυτό εγκαταλείφθηκε αυτή η σκέψη. Τελικά, για να βελτιωθεί το σύστημα και να μειωθούν οι Qualifiers και οι κανόνες, συγχωνεύτηκαν κάποιοι παρεμφερείς Qualifiers με αποτέλεσμα ο χρήστης να έχει λιγότερες επιλογές. Έτσι η πιθανότητα να μπερδευτεί και να μην καταλήξει τελικά σε αποτέλεσμα μειώθηκε σημαντικά.

Το δεύτερο σύστημα που αναπτύχθηκε για την αναγνώριση των εχθρών, εστιάζει στην αναγνώριση των χαρακτηριστικών του κάθε εντόμου και όχι στις φθορές που προκαλούν στο φυτό. Παρ' όλα ταύτα, λόγω των νηματωδών οι οποίοι δεν μπορούν να φανούν εύκολα με γυμνό μάτι γίνεται ένας έλεγχος σε ορισμένα εξωτερικά συμπτώματα του φυτού στην αρχή της εκτέλεσης του συστήματος. Αντίθετα με το πρώτο, το σύστημα που περιλαμβάνει τους εχθρούς δεν έχει πολλούς κανόνες και Qualifiers και το κυριότερο οι τιμές τους είναι διακριτές και δεν μοιάζουν και έτσι έχουμε καλύτερα αποτελέσματα.

Ένα παράδειγμα για την αναγνώριση του Δορυφόρου παρουσιάζεται παρακάτω.

Στην πρώτη φόρμα (Οθόνη 7) χρήστης επιλέγει τι σύμπτωμα παρουσιάζει εξωτερικά το φυτό.



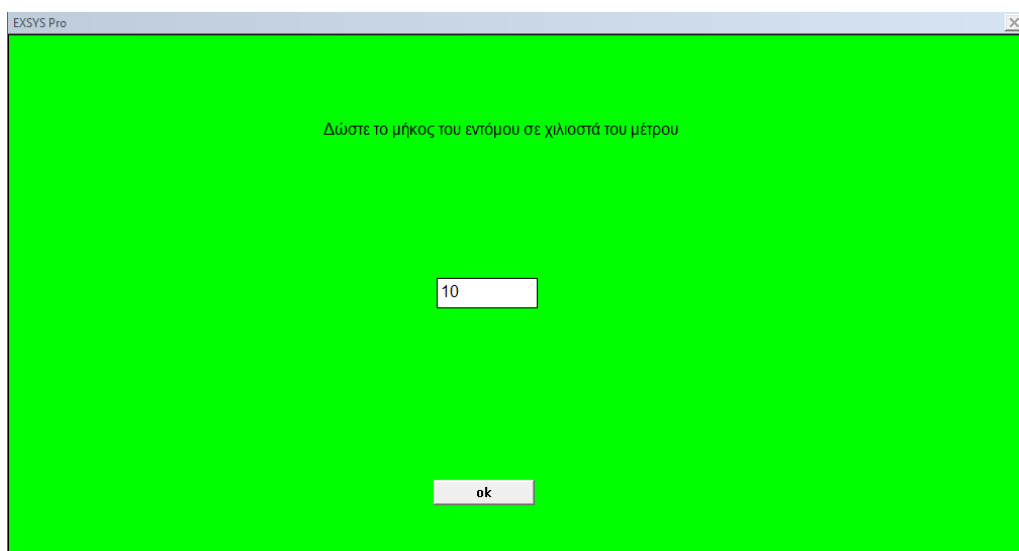
Εξωτερικά το φυτό

- παρουσιάζει καθυστερημένη ανάπτυξη
- παρουσιάζει μικρά χλωρωτικά φύλλα
- παρουσιάζει μεταχρωματισμό στα φύλλα
- παρουσιάζει φαγώματα στα φύλλα
- παρουσιάζει σταές στα φύλλα
- δεν παρουσιάζει καμιά αλλαγή
- παρουσιάζει πρασινοκίτρινα φύλλα που πέφτουν
- παρουσιάζει καθολική ξήρανση
- παρουσιάζει πρόωμη ωρίμανση
- παραμόρφωση στα φύλλα

ok

Οθόνη 7: Εξωτερικά συμπτώματα του φυτού.

Στην δεύτερη (Οθόνη 8), ζητείται το μήκος του εντόμου σε χιλιοστά.



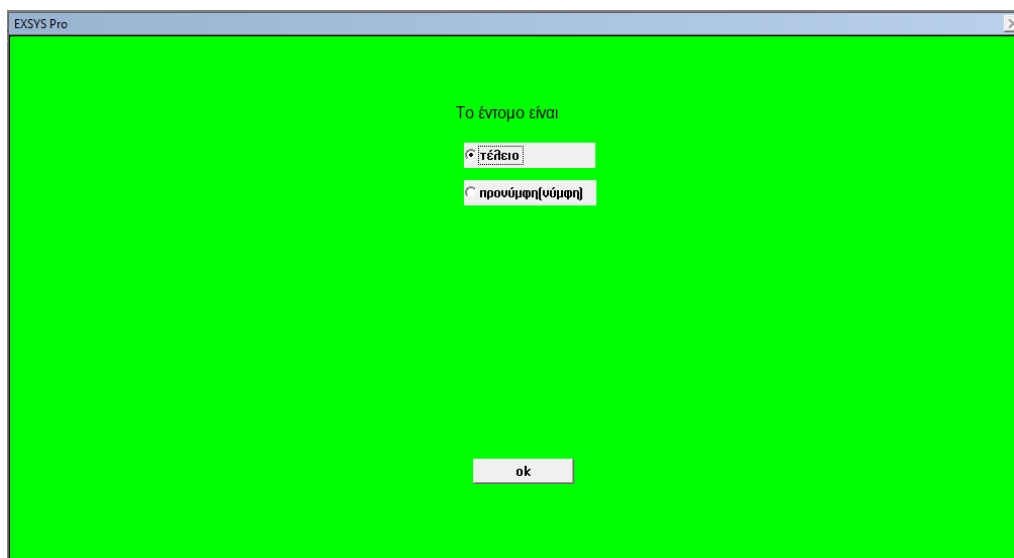
Δώστε το μήκος του εντόμου σε χιλιοστά του μέτρου

10

ok

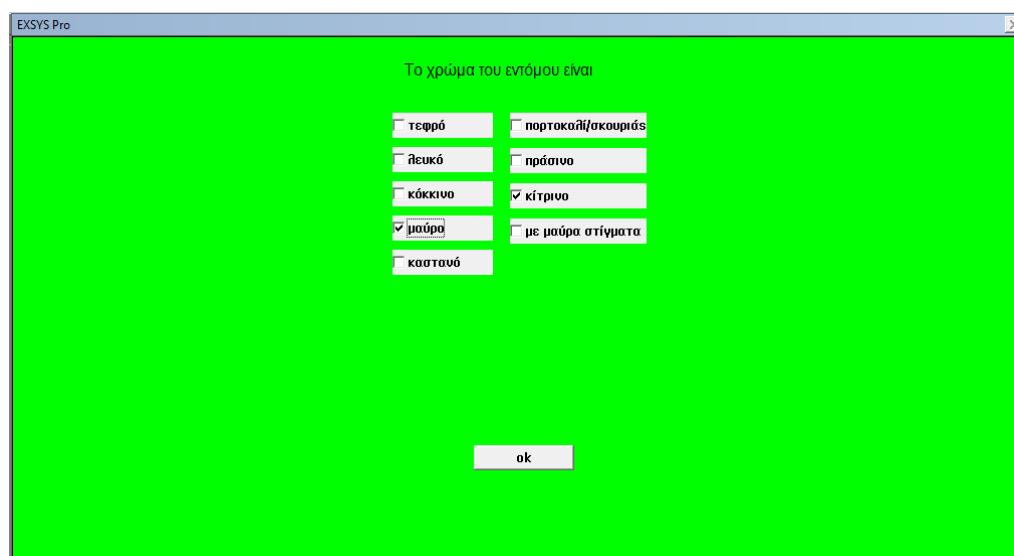
Οθόνη 8: Μήκος εντόμου.

Στην τρίτη (Οθόνη 9), επιλέγουμε αν είναι τέλειο το έντομο ή προνύμφη.



Οθόνη 9: Τέλειο ή προνύμφη.

Στην τέταρτη (Οθόνη 10) επιλέγουμε το χρώμα του εντόμου.



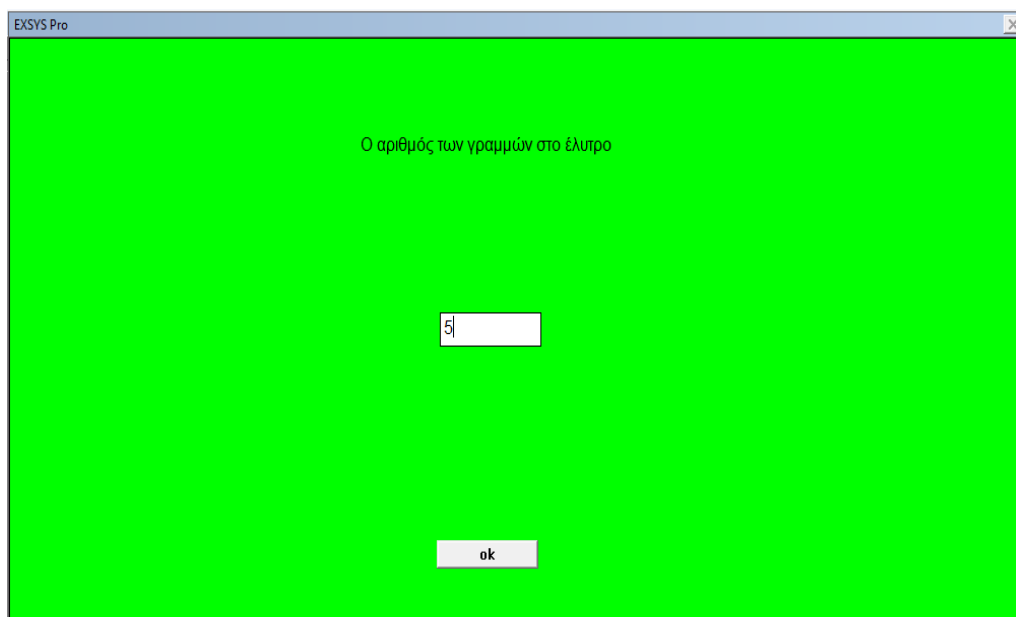
Οθόνη 10: Χρώμα εντόμου.

Στην πέμπτη (Οθόνη 11) εάν διακρίνονται γραμμές στα έλυτρα.



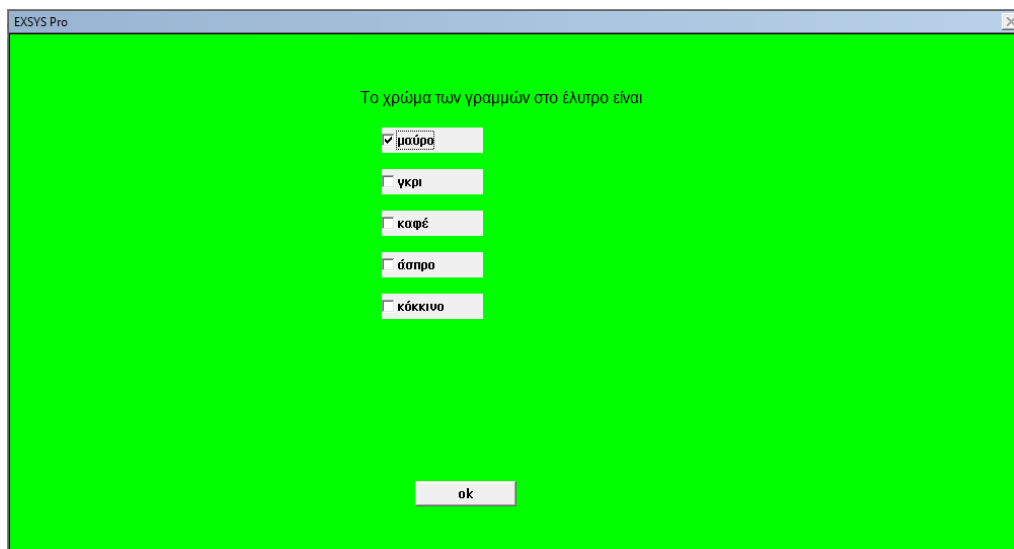
Οθόνη 11: Επιλέγουμε εάν διακρίνονται γραμμές στα έλυτρα.

Στην έκτη (Οθόνη 12) ζητείται ο αριθμός των ελύτρων.



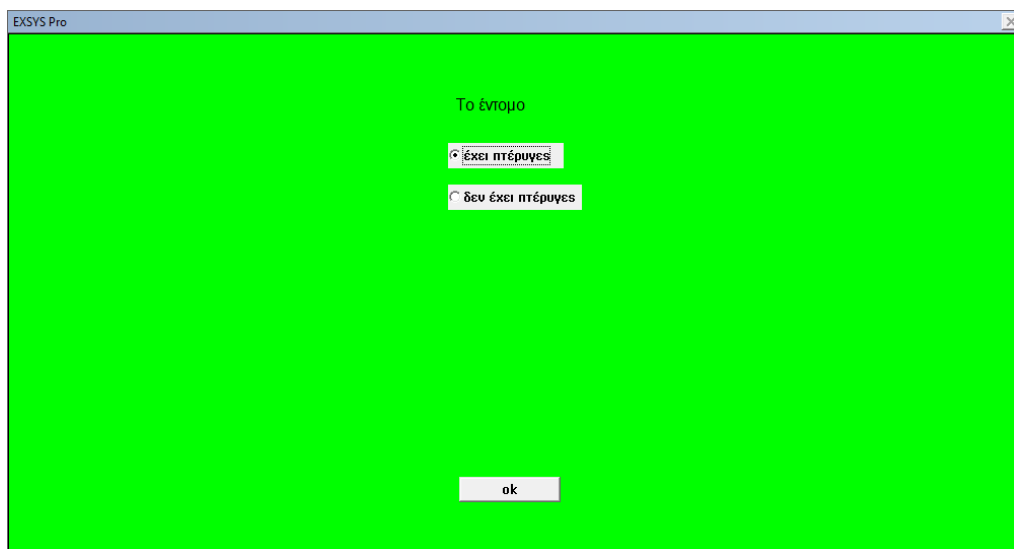
Οθόνη 12: Αριθμός των γραμμών στα έλυτρα.

Στην έβδομη (Οθόνη 13), το χρώμα των γραμμών.



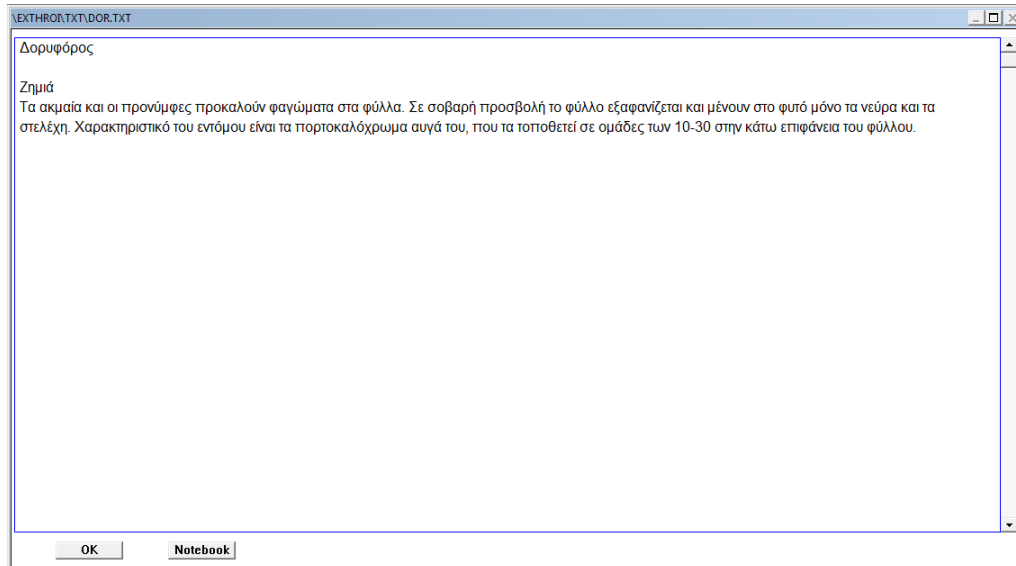
Οθόνη 13: Το χρώμα των γραμμών.

Και τέλος (Οθόνη 14) επιλέγουμε εάν το έντομο έχει πτέρυγες ή όχι.



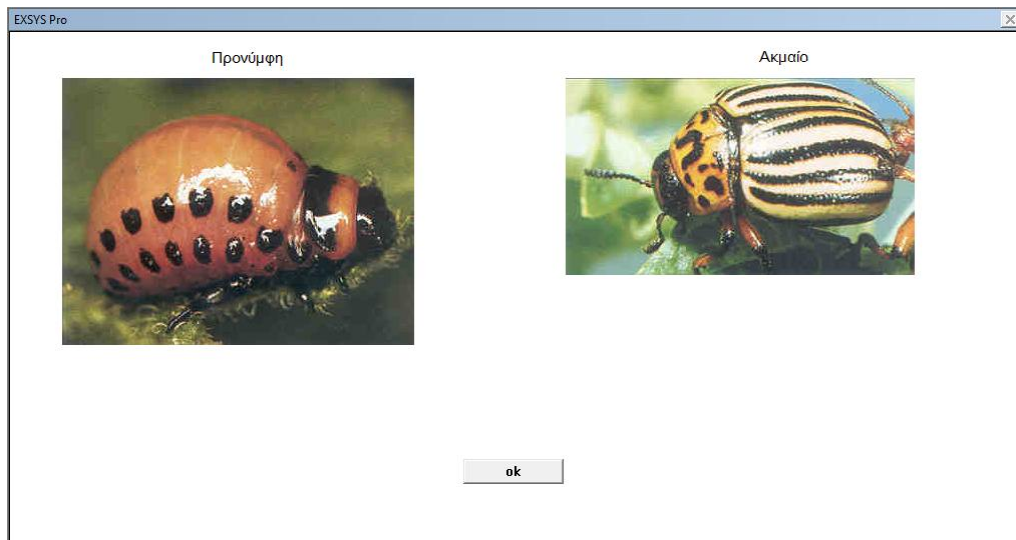
Οθόνη 14: Επιλέγουμε εάν το έντομο έχει πτερά ή όχι.

Κάνοντας τις κατάλληλες επιλογές το σύστημα αναγνωρίζει τον εχθρό και εμφανίζει το αρχείο κειμένου που αναφέρεται σε αυτόν και τη ζημιά που προκαλεί στο φυτό (Οθόνη 15)



Οθόνη 15: Ζημιές που προκαλεί ο Δορυφόρος στο φυτό της πατάτας.

καθώς και τις αντίστοιχες φωτογραφίες τους (Οθόνη 16).



Οθόνη 16: Φωτογραφίες Δορυφόρου. Προνύμφης και Ακμαίου.

Στο φάκελο που περιέχει το διαγνωστικό σύστημα για τις ασθένειες της πατάτας περιέχονται άλλοι δυο υποφάκελοι. Ο πρώτος με όνομα ΤΧΤ περιέχει αρχεία κειμένου στα οποία δίνονται συμβουλές για την αντιμετώπιση της ασθένειας όταν το σύστημα καταλήξει σε κάποια πιθανή ασθένεια. Ο άλλος με όνομα FOTOS περιέχει φωτογραφίες με μολυσμένα φυτά από την πιθανή ασθένεια που αναγνωρίζει το σύστημα και τις παρουσιάζει στο χρήστη. Αντίστοιχα στο φάκελο με το Έμπειρο Σύστημα για την αναγνώριση των εχθρών, περιέχονται δυο υποφάκελοι με ονόματα ΤΧΤ και FOTOS όπου, ο πρώτος περιέχει αρχεία κειμένου για τον κάθε εχθρό που αναφέρουν τη ζημιά που προκαλεί στο φυτό και ο άλλος περιέχει

φωτογραφίες του κάθε εχθρού(τέλειου και προνύμφης) οι οποίες εμφανίζονται μετά από κάθε πιθανή αναγνώριση του από το σύστημα.

6.3.6 Έλεγχος - Αξιολόγηση

Η αξιολόγηση είναι η διαδικασία κατά την οποία κρίνεται η ποιότητα του Έμπειρου Συστήματος και των αποτελεσμάτων του. Η αξιολόγηση αποτελείται από δύο φάσεις την επαλήθευση και την επικύρωση (Harrison, 1991), (Mondino and Gonzalez-Andujar, 2006). Ο στόχος της επαλήθευσης είναι να καθοριστούν τα πιθανά λάθη στο Έμπειρο Σύστημα, ενώ η επικύρωση είναι να εξασφαλίσουμε ότι ο ειδικός και το σύστημα παράγουν ισοδύναμα αποτελέσματα. Για να γίνει η επαλήθευση έγιναν αρκετές εκτελέσεις κατά την διάρκεια των οποίων πολλές φορές το σύστημα κατέληγε σε λάθος διαγνώσεις και έτσι έγιναν αρκετές μικροδιορθώσεις ώστε να δίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Κατά τον έλεγχο έγινε εκτέλεση όλων των κανόνων του συστήματος ένα προς έναν. Το αποτέλεσμα ήταν αυτό που αναμέναμε δηλαδή να μας δίνει τα σωστά αποτελέσματα στην διάγνωση της κάθε ασθένειας και κάθε εχθρού αντίστοιχα. Έτσι μπορούμε να πούμε πως οι κανόνες του συστήματος δομήθηκαν σωστά. Για να γίνει όμως καλύτερη αξιολόγηση του συστήματος θα μπορούσε να αποσταλεί σε φυτοπαθολόγους και εντομολόγους οι οποίοι θα μπορούσαν να το χρησιμοποιήσουν για διαγνώσεις σε πραγματικές συνθήκες. Δηλαδή, θα μπορούσαν παρατηρώντας ένα φυτό που γνώριζαν εκ των προτέρων το μικροοργανισμό που το έχει προσβάλει, από μικροβιολογική εξέταση, να τρέξουν το Έμπειρο Σύστημα δίνοντας απαντήσεις σύμφωνα με όσα μπορούσαν να δουν με γυμνό μάτι να ελέγξουν εάν θα έδινε το σωστό αποτέλεσμα. Επαναλαμβάνοντας και για άλλες ασθένειες θα μπορούσαμε να βγάλουμε συμπεράσματα για το ποιες ασθένειες συγχέονται με άλλες και σε τι ποσοστό το σύστημα κάνει σωστές διαγνώσεις. Αυτή η διαδικασία όμως απαιτεί χρόνο που στα πλαίσια αυτής της εργασίας δεν ήταν διαθέσιμος. Μελλοντικά θα μπορούσε να γίνει σημαντική βελτίωση των συστημάτων κάνοντας την αξιολόγησή τους σε πραγματικές περιπτώσεις.

Για την αξιολόγηση συστημάτων ταυτοποίησης (διάγνωσης, ταξινόμησης) χρησιμοποιείται ως βασικό εργαλείο ένας ειδικός πίνακας που ονομάζεται Πίνακας Σύγχυσης (Confusion Table). Στον πίνακα αυτόν είναι εύκολο να δούμε εάν το σύστημα που αναπτύξαμε συγχέει δύο ή περισσότερες κλάσεις (δηλαδή εσφαλμένη επισήμανση συνήθως μίας κλάσης με μία άλλη). Στην περίπτωση του διαγνωστικού Έμπειρου Συστήματος που αναπτύχθηκε για την αναγνώριση των ασθενειών, μπορούμε να δούμε αν το σύστημα κάνει λάθος διάγνωση και ιδιαίτερα σε ποιες διαγνώσεις έχει πρόβλημα. Για παράδειγμα το σύστημα αναγνωρίζει τρεις διαφορετικές ασθένειες σε 120 διαφορετικές περιπτώσεις όπως φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 8):

<u>Ασθένεια</u>	<u>Πλήθος</u>
Περονόσπορος	50
Ριζοκτονίαση	30
Ακτινομύκωση	40

Πίνακας 8: Αριθμός εμφανίσεων της αντίστοιχης ασθένειας για 120 περιπτώσεις.

Κατά την αξιολόγηση θα πρέπει να καταγραφεί σε ένα πίνακα το πλήθος των διαγνώσεων ανά ασθένεια που έκανε το σύστημα (Πίνακας 9). Για παράδειγμα ενώ:

- Είχαμε 50 περιπτώσεις της ασθένειας Περονόσπορος, το σύστημα αναγνώρισε 22 περιπτώσεις ως Περονόσπορο και 28 ως Ριζοκτονίαση και καμιά περίπτωση ως Ακτινομύκωση.
- Είχαμε 30 περιπτώσεις της Ριζοκτονίασης, το σύστημα αναγνώρισε 11 περιπτώσεις ως Περονόσπορο, 15 ως Ριζοκτονίαση και 4 περιπτώσεις ως Ακτινομύκωση.
- Είχαμε 40 περιπτώσεις της Ακτινομύκωσης, το σύστημα δεν αναγνώρισε καμία περίπτωση ως Περονόσπορο, 8 ως Ριζοκτονίαση και 32 περιπτώσεις ως Ακτινομύκωση.

Στην περίπτωση αυτή ο Πίνακας Σύγχυσης (Πίνακας 9) θα έχει τη μορφή:

		<u>Αναγνωρισθείσα</u>		
		<u>Περονόσπορος</u>	<u>Ριζοκτονίαση</u>	<u>Ακτινομύκωση</u>
Πραγματική Ασθένεια	Περονόσπορος	22	28	0
	Ριζοκτονίαση	11	15	4
	Ακτινομύκωση	0	8	32

Πίνακας 9: Πίνακας Σύγχυσης (Confusion Table)

Όπως παρατηρούμε στις γραμμές του πίνακα βάζουμε τις ασθένειες που γνωρίζουμε εκ των προτέρων ότι πάσχει το φυτό. Στις στήλες καταγράφουμε το πλήθος των διαγνώσεων ανά ασθένεια που κάνει το σύστημα.

Με βάση τα παραπάνω έχουμε τον πίνακα Αξιολόγησης (Πίνακας 10):

	Σωστές διαγνώσεις	Πλήθος περιπτώσεων	Ακρίβεια διάγνωσης
Περονόσπορος	22	50	44,0%
Ριζοκτονίαση	15	30	50,0%
Ακτινομύκωση	32	40	80,0%
Σύνολο	69	120	57,5%

Πίνακας 10: Πίνακας Αξιολόγησης

Από τον Πίνακα Σύγκρισης θα παρατηρούσαμε ότι το σύστημα που αναπτύχθηκε έχει πρόβλημα στη διάκριση των δύο πρώτων ασθενειών (Περονόσπορος, Ριζοκτονίαση) ενώ μπορεί να διακρίνει πολύ καλά την ασθένεια της Ακτινομύκωσης. Στον πίνακα αξιολόγησης βλέπουμε την ακρίβεια του συστήματος μας για καθεμιά από τις ασθένειες. Κάνοντας δοκιμές για όλες της ασθένειες που αυτό αναγνωρίζει μπορούμε να δούμε τη συνολική ακρίβεια του. Τα στοιχεία τελικά μπορούν να μετρηθούν ώστε να έχουμε στατιστικά δεδομένα για την επιτυχία και αξιοπιστία του συστήματος μας.

Σε αυτό το μοντέλο που θα μπορούσε να εφαρμοστεί για την αξιολόγηση του Έμπειρου Συστήματος, θα ήταν απαραίτητη προϋπόθεση η κατηγοριοποίηση των ασθενειών. Μια κατηγοριοποίηση που θα μπορούσε να γίνει είναι με βάση το παθογόνο, σε Μυκητολογικές, Ιολογικές και Βακτηριολογικές. Έτσι τελικά θα δημιουργούνταν 3 ξεχωριστοί Πίνακες Αξιολόγησης.

Σε ότι αφορά τους εχθρούς, θα μπορούσαν να δημιουργηθούν δυο κατηγορίες, τα έντομα και οι νηματώδεις. Τα αποτελέσματα πιθανότατα να είναι καλύτερα διότι τα χαρακτηριστικά των εχθρών είναι πιο διακριτά αλλά σίγουρα θα παρουσιάζονται και λάθη στην αναγνώριση.

Τα συμπεράσματα στα οποία θα καταλήγαμε εφαρμόζοντας το συγκεκριμένο μοντέλο αξιολόγησης θα βοηθούσαν σημαντικά στην βελτίωση του συστήματος όμως στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής δεν υπήρχε αυτή η δυνατότητα.

7 Συμπεράσματα - Συζήτηση

Τα Έμπειρα Συστήματα διαφέρουν από τα κλασικά αλγοριθμικά προγράμματα και η βασικότερη διαφορά τους είναι ότι χρησιμοποιούν τις γνώσεις και την εμπειρία των ειδικών για να καταλήξουν σε ένα συμπέρασμα. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής του συστήματος εξάχθηκαν χρήσιμα συμπεράσματα για τα Έμπειρα Συστήματα, τον τρόπο περιγραφής των συμπτωμάτων των ασθενειών στα διαγνωστικά συστήματα, την περιγραφή των χαρακτηριστικών των εχθρών και την σπουδαιότητα της διαδικασίας σύλληψης και ανάλυσης της γνώσης για τη δημιουργία της Βάσης Γνώσης του συστήματος.

Οι περισσότερες εφαρμογές Έμπειρων Συστημάτων στη γεωπονία στηρίζονται στην εισαγωγή πληροφοριών υπό μορφή ερώτησης. Εντούτοις, λόγω της πολυπλοκότητας της λήψης απόφασης, σε πολλές περιπτώσεις η περιγραφή των συμπτωμάτων σε μορφή κειμένων μπορεί να είναι ανεπαρκής στην παραγωγή μιας κατάλληλης διάγνωσης. Στις ασθένειες της πατάτας, τα συμπτώματα πολλών ασθενειών μοιάζουν σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο στο χρήστη να επιλέξει και να οδηγηθεί το σύστημα σε λάθος συμπέρασμα. Πολλές φορές κάποια χαρακτηριστικά των συμπτωμάτων, όπως το χρώμα και το μέγεθος για παράδειγμα, είναι υποκειμενικά και όχι εύκολα διακριτά. Το παραπάνω πρόβλημα θα μπορούσε να βελτιωθεί με την χρήση κατάλληλων φωτογραφιών ή δίνοντας βαρύτητα στα χαρακτηριστικότερα συμπτώματα της κάθε ασθένειας.

Η ταξινόμηση των εχθρών έγινε με βάση τα χαρακτηριστικά τους. Το πρόβλημα που παρουσιάστηκε σε ότι αφορά τους εχθρούς ήταν ότι πολλές φορές ο χρήστης δεν είναι εύκολο να δει κάποιο από τα έντομα επάνω στο φυτό απλά βλέπει τη ζημιά που προκαλείται σε αυτό και έτσι μπορεί να δυσκολευτεί στην αναγνώριση.

Κατά την φάση σύλληψης της γνώσης από την βιβλιογραφία παρουσιάστηκαν κάποιες δυσκολίες. Η υποκειμενικότητα στην περιγραφή των συμπτωμάτων ήταν ένα αρκετά δύσκολο πρόβλημα, για παράδειγμα ο διαχωρισμός των χρωμάτων και του μεγέθους. Αυτό αντιμετωπίστηκε με συγχώνευση κάποιων χαρακτηριστικών που ταυτοποιούν την ασθένεια. Οι δυσκολίες που αντιμετωπίσαμε κατά την διαδικασία σύλληψης της γνώσης μας οδήγησαν να αναθεωρήσουμε το σχεδιασμό του συστήματος, αρκετές φορές, έτσι τροποποιήθηκαν ή συμπληρώθηκαν οι πληροφορίες σε πινακοποιημένη μορφή έτσι ώστε να ταυτοποιούν την κάθε ασθένεια αλλά και να την διαχωρίζουν από τις υπόλοιπες. Αφού καθορίστηκαν και ολοκληρώθηκαν οι διαγνωστικοί παράγοντες, έννοιες που περιλαμβάνουν το σύμπτωμα, η θέση της προσβλημένης περιοχής αξιοποιήθηκαν στην διαγνωστική διαδικασία.

Ένα άλλο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε είναι ότι ο χρήστης πολλές φορές δεν διαθέτει απαντήσεις για όλα τα ερωτήματα που κάνει το σύστημα (ελλιπής πληροφορία) και δεν είναι σίγουρος για την ακριβή σχέση μεταξύ συμπτώματος και ασθένειας. Επειδή το Exsys δεν παρέχει λειτουργία ελλιπούς πληροφορίας, τέτοιες περιπτώσεις αντιμετωπίστηκαν με την προσθήκη στα χαρακτηριστικά των τιμών “Δεν γνωρίζω ή Άλλο ή Είναι φυσιολογικό” ώστε να απεμπλέκεται το σύστημα και να προχωρά στην επόμενη ερώτηση.

Το πιο σημαντικό συστατικό του Έμπειρου Συστήματος είναι η Βάση Γνώσης. Για το κτίσιμο της Βάσης Γνώσης συμπεριλήφθησαν πληροφορίες που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία σχετικά με τις ασθένειες και τους εχθρούς της πατάτας αλλά και πληροφορίες που προέκυψαν ύστερα από επικοινωνία και συνεντεύξεις με ειδικούς του κλάδου της φυτοπαθολογίας και της εντομολογίας. Αυτό την καθιστά ένα πολύτιμο αντικείμενο που μπορεί να μεταφερθεί και να χρησιμοποιηθεί σε άλλα Έμπειρα Συστήματα.

Ο στόχος του Έμπειρου Συστήματος που αναπτύχθηκε είναι να χρησιμοποιηθεί συμβουλευτικά ή σαν μια πρώτη άποψη πάνω στα προβλήματα της καλλιέργειας της πατάτας. Παράλληλα, η χρήση κατανοητής γλώσσας για τον απλό χρήστη, έκανε το σύστημα φιλικό και για αυτούς που δεν έχουν εξειδικευμένες γνώσεις. Ακόμα, βοηθάει τον αρχάριο χρήστη παρέχοντας του γνώσεις τις οποίες μόνο κάποιος εμπειρογνώμονας θα μπορούσε να γνωρίζει. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και από τους ειδικούς, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα χρησιμοποιώντας το, να παίρνουν καλύτερες αποφάσεις και να παρέχουν χρήσιμες συμβουλές στους καλλιεργητές. Σε δεύτερο επίπεδο, το σύστημα μπορεί να αποτελέσει βάση για την κατασκευή πιο σύνθετων συστημάτων, που θα μπορούν να αντιμετωπίσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα προβλήματα.

Η εμπειρία της συζήτησης με τους ειδικούς σε όλα τα στάδια της ανάπτυξης του συστήματος, καθώς και διάφορες παρατηρήσεις στη βιβλιογραφία σχετικά με την εκτίμηση και την αποδοχή των διαγνωστικών Έμπειρων Συστημάτων στη γεωπονία, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πολύ περισσότερη προσπάθεια και έρευνα για την βελτίωση των υφιστάμενων συστημάτων μπορεί να γίνει. Θα μπορούσε κάποιος σε μια δεύτερη φάση βελτίωσης του συστήματος να το εμπλουτίσει με επιπλέον φωτογραφίες ή να αυξήσει τις επεξηγηματικές δυνατότητες του συστήματος συμπληρώνοντας τα αρχεία κειμένου (txt files). Τέλος, σημαντική βελτίωση του συστήματος θα μπορούσαμε να έχουμε κάνοντας την αξιολόγηση του συστήματος, συγκρίνοντας δηλαδή τα αποτελέσματα που δίνει, με εκείνα που θα προκύψουν από τη μικροβιολογική εξέταση για κάθε περίπτωση.

Καταλήγοντας στο γενικότερο συμπέρασμα ότι ένα Έμπειρο Σύστημα είναι ένα έξυπνο πρόγραμμα που χρησιμοποιεί εξειδικευμένη γνώση για να μπορεί να λύνει

προβλήματα τα οποία απαιτούν σημαντική ανθρώπινη εμπειρία για τη λύση τους, παρ' όλα αυτά,

Όπως γνωρίζουμε ο ρόλος ενός Έμπειρου Συστήματος δεν είναι να αντικαταστήσει τον εμπειρογνώμονα άλλα να τον βοηθήσει στα καθημερινά διαγνωστικά καθήκοντα του. Επιπλέον τα Έμπειρα Συστήματα επιβάλλουν αρκετούς περιορισμούς. Ένας από τους περιορισμούς αυτούς σχετίζεται με τις διαδικασίες σύλληψης, απόκτησης και αναπαράσταση της γνώσης, οι οποίες είναι πολύ χρονοβόρες. Επίσης, η ανάπτυξη ενός Έμπειρου Συστήματος απαιτεί πολύ χρόνο αλλά και εξειδικευμένο προσωπικό. Αντίθετα με τους ανθρώπους εμπειρογνώμονες, ένα Έμπειρο Σύστημα στερείται της ικανότητας να λάβει αποφάσεις που να βασίζονται στη διαίσθηση και τη δυνατότητα αξιοποίησης προηγούμενων λαθών. Καταλήγοντας σε ένα γενικότερο συμπέρασμα, ο άνθρωπος ειδικός δεν μπορεί να καταργηθεί καθώς η εμπειρία πολλών ετών πάνω σε ένα γνωστικό αντικείμενο δεν μπορεί να αποτυπωθεί σε ένα πρόγραμμα σε μερικές μόνο ημέρες.

8 Βιβλιογραφία

Βιβλιογραφία Ελληνική

1. Αλιβιζάτος Α.Σ., 1995. Βακτηριολογικές ασθένειες της πατάτας. Γεωργία και Κτηνοτροφία τεύχος 5/1995, σελ.150-153.
2. Αποστόλου Α., 2004. Εφαρμογές Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων στην Επίλυση Προβλημάτων Χρονοπρογραμματισμού Συστημάτων Παραγωγής, Ε.Μ.Π.
3. Αργιαλάς Δ., 2001. «Introduction to Knowledge-Based Expert System», Πανεπιστημιακές Παραδόσεις στο μάθημα των Υπολογιστικών Μεθόδων στη Γεωπληροφορική, Ε.Μ.Π.
4. Βλαχάβας Ιωάννης, Κεφάλας Πέτρος, Βασιλειάδης Νικόλαος, Τεχνητή Νοημοσύνη, Εκδόσεις Γαργατάνη, 2002)
5. Γιαλούρης Κ., 2011. Εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη και στα Έμπειρα Συστήματα, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις στο μάθημα Έμπειρα Συστήματα, Γ.Π.Α.
6. Γιαννοπολίτης Κ.Ν., 2005. Οδηγός Γεωργικών Φαρμάκων. Εκδόσεις Αγρότυπος, σελ. 472.
7. Γκούμας Δ., Αυγέλης Α., Τζωρτζακάκης Ε., Μαλαθράκης Ν. και Ροδιτάκης Ν., 2001. Τεχνικός οδηγός Ασθενειών και Εχθρών της Πατάτας. Ηράκλειο, σελ. 56.
8. Έλενα Κ., 1995. Μυκητολογικές ασθένειες της πατάτας. Γεωργία – Κτηνοτροφία, τεύχος 5/1995, σελ. 139-141.
9. Ζάχος Δ.Γ., 1962. Ασθένειες των Γεώμηλων. Κηφισιά. Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο, σελ. 196.
10. Παναγόπουλος Χ.Γ., 2000. Ασθένειες Κηπευτικών Καλλιεργειών, Β' έκδοση. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης. Αθήνα, σελ. 480.
11. Σκουλούδης Ζ., 2004. Σχεδιασμός Έμπειρου Συστήματος για την αντιμετώπιση ιατρικών λαθών.
12. Χαντζάρα Α., 2008. Ανάπτυξη Έμπειρου Συστήματος λήψης αποφάσεων Ναυτιλιακής επιχειρηματικότητας.

Βιβλιογραφία Ξενόγλωσση

1. Ahn J. K., 1984. Automatic Map Name Placement System, Image Processing Laboratory, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY.
2. Anonymous, 2009. Potato late blight: guidelines for managing fungicide resistance. Grower's advice FRAG-UK & AHDB.
3. Barath E. and Futo I., 1984. A regional planning system based on artificial intelligence concepts. Pap. Reg. Sci. Ass. 55, 135-154.
4. Barr A., Feigenbaum E., 1981. The Handbook of Artificial Intelligence, Vols. I & II, William Kaufmann.
5. Bogler, F. and Wright, G., 1994 The quality of expert probability judgment: issues and analysis. Expert Syst., 149-158.
6. Brooks R. A., 1983 Model-based three-dimensional interpretations of two-dimensional images. IEEE Trans. Pattern Analysis Mach. Intell. PAMI-S, 140-150.
7. Brown J. S., Burton R., de Kleer J., 1982. Pedagogical, Natural Language, and Knowledge Engineering Issues in SOPHIE I, II, and III. In Intelligent Tutoring Systems, 227–282. New York: Academic.
8. Charlet, J., Reynand, C., Krivine, J. P., 1996. Causal model-based Knowledge acquisition tools: discussion of experiments Int. Journal of Human-Computer Studies (IJHCS), 44, 629-652.
9. Christ B.J., 1993. Identifying Potato Diseases. Pennsylvania State University, p.29.
10. Coulson, R. N., Saunders, M.C., 1987. Computer-Assisted Decision-Making as Applied to Entomology. Annual Review of Entomology 32, 415-437.
11. Davis R., Buchanam B., Shortliffe E., 1977. Production rules as a representation for a knowledge-based consultation program, Artificial Intelligence, 8, 15-45.

12. Delleman J., Mulder A., Peeten J.M.G., Schipper E., Turkensteen L.J., 2005. Potato diseases. Aardappelwereld B.V. & NIVAP. Holland
13. Duda, R., Hart P., Barrett. P., 1978. Development of the PROSPECTOR System for mineral exploration (SRI Report Projects 5822 and 6415). Palo Alto, CA: 'Stanford Research Institute.
14. Fagan L.M., Shortliffe E.H., Buchanan B.G., 1980. Computer-based medical decision making: from MYCIN to VM. *Automedica*, 106.
15. Feigenbaum E.A., 1978, DENDRAL and Meta-DENDRAL: Their Applications Dimension, *Artificial Intelligence*, 11, pp. 5-24.
16. Fischler M. A., Firschein, O., 1987. *Intelligence: The Eye, the Brain and the Computer*. Addison-Wesley, 64.
17. Fonseca Daniel J., Navarrese Daniel., 2002. Artificial Neural Network for job shop simulation.
18. Francis J.C. and Leitch R.R., 1984. ARTIFACT: A Real Time Shell for Intelligent Feedback Control'. *Proc. BCS Cont Expert Syst.*, pp.157-162.
19. Freeman H. and Ahn J., 1984. AUTONAP-An expert system for automatic map name placement. *Proc. Inf. Svmp. on Spatial Data Handling*, pp. 544-571. Zurich. Switzerland.
20. Frank A. U., 1984. Extending a network database with Prolog. 1st. Workshop on Expert Database Systems, Kiawah Island, South Carolina.
21. Frank A. U., 1982. MAPQUERY: data base query language for retrieval of geometric data and their graphical representation. *Comput. Graph.* 16, 199-207.
22. Gaschnig J., 1981. "PROSPECTOR: An expert system for mineral exploration in Machine Intelligence", *InfoTech State of the Art Report, Series 9, No. 3*.

23. Harrison S. R., 1991. Validation of agricultural expert systems. *Agricultural Systems*, 35, 265–285.
24. Haugeland J., 1989. *Artificial Intelligence: The Very Idea*, MIT Press.
25. Huirne, B.M.R. and Dijkhuizen, A.A., 1992. Application of decision support systems in farm management. In: *Preprints of European Workshop on Integrated System in Agricultural Informatics*, Bonn, 61-71.
26. Jones, P., 1989 Uncertainty management in expert systems. In: R. Forsyth (Editor), *Expert Systems - Principles and Case Studies*. Chapman and Hall Computing, London, 107-121.
27. Kahney, H., 1989. *Knowledge Engineering*. The Open University, 238.
28. Kramers M.A., Conijn C.G.M., Bastiaansen C., 1998. EXSYS, Expert systems for Diagnosing Flower Bulb Diseases, Pests and Non-Parasitic Disorders. *Agricultural Systems* 58(1), 57-85.
29. Lambird B. A., Lavine D. and Kanal L. N., 1984 Distributed architecture and parallel non-directional search for knowledge-based cartographic feature extraction systems. *Int. J. Man-Machine Studies* 20, 107-120.
30. Le Renard, J., 1988. SEPV - Plant protection diagnosis for 17 crop types. In: *Proceedings, of International Congress for Computer Technology - Knowledge Based Systems in Agriculture*, June 19-22, 1988, Frankfurt am Main. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Bad Soden a. Ts., 422-456.
31. Lemmon. H., 1986. COMAX: An expert system for cotton crop management. *Science* 233, 29-33.
32. Luger G.F., Stubblefield J., 1993. *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem-Solving*, 4th edition, Addison-Wesley Longman.
33. McDermott D., Charniak E., Riesbeck C., 1980. *Artificial Intelligence Programming*. Lawrence Erlbaum Associates.

34. Miskoff, C. Thenery, 1995, Understanding Artificial Intelligence, Howard W. Sams & Co, Indianapolis.
35. Mittal, J., Bobrow, D.G., de Kleer, J. 1988. DARN: Toward a community memory for diagnosis and repair tasks. In: Expert Systems: The User Interface.
36. Mondino P., Gonzalez-Andujar J. L., 2006. SSD MANZANO: Un sistema de soporte ala decision para la Protección Integrada del manzano en Uruguay. Phytoma Espapa, 181, 54–58.
37. Nitsch, U., 1991. Computers and the nature of farm management. In: D. Kuiper and N.G. Rolling (Editors), The Edited Proceedings of the European Seminar on Knowledge Management and Information Technology, November 23-24, 1989, Wageningen The Netherlands. Agricultural University, Dept. of Extension Science, Wageningen, 99-106.
38. O'Keefe, R.M., Preece, D. A., 1996. The Development, Validation and Implementation of Knowledge-Based System. European Journal of Operational Research, 92, 458-473.
39. Pereira L. M., Sabatier P. and de Oliveira E., 1982. ORBI-An Expert System for Environmental Resource Evaluation through Natural Language, Report FCT/DI-3/82. Departamento de Informatica, Universidade Nova de Lisboa.
40. Palmer B., 1984. Symbolic feature analysis and expert systems. Proc. Int. Symp. on Spatial Data Handling, Vol. 2, pp. 465-418.
41. Plant, R.E. and Stone, N.D., 1991 Knowledge Based Systems in Agriculture. McGraw-Hill, New York.
42. Rafea, A., 1998. Agriculture. In: Liedowitz, J. (Ed.), Handbook of Applied Expert Systems. CRC Press, New York, 1-12, 35.
43. Rich E.A., 1983. Potato Diseases. Academic Press, pp.238.
44. Rich E., Knight K., 1991. Artificial Intelligence, McGraw-Hill.

45. Roach, J. W., Virkar, R.S., Weaver, M.J., Drake, C.R., 1985. Expert Systems. Blackwell Publishing Ltd., 2 (2), 56 – 69.
46. Robinson G. and Jackson M., 1985. Expert systems in map design. Proc. AUTOCARTO-7, pp. 430-439, Washington. DC
47. Schmoltdt, D.L. and Rauscher, M.H., 1994. A knowledge management imperative and six supporting technologies. *Comput. Electron. Agric.*, 10: 11-30.
48. Shortliffe, E.H., 1976. *Computer- Based Medical Consultations: MYCIN*. American Elsevier, New York.
49. Singh M.G. and Cook R., 1986. "Price-Start: A decision support system for determining bank and building society interest rate mixes," *Int. J. Bank Marketing*, vol 5.3.
50. Stefik M., 1981. Planning and Meta-Planning. *Artificial Intelligence* 16, 111-140.
51. Thomson, A. J., Allen, E., Morrison, D., 1986. Forest tree disease diagnosis over the World Wide Web. *Computers and Electronics in Agriculture*, 21(1), 19-31.
52. Tocatlidou A., Passam H. C., Sideridis A. B., Yialouris C. P., 2002. Reasoning under uncertainty for plant disease diagnosis. *Expert Systems*, 19, 46–52.
53. Travis J. W. and Latin R. X., 1991. Development, implementation, and adoption of expert systems in plant pathology. *A. Rev. Phytopathology* 29, 343-360.
54. Waterman D. A., 1985. *A guide to expert systems*, Addison-Wesley .
55. Winston P.H., 1992. *Artificial Intelligence*, 3rd edition, Addison-Wesley.
56. Yialouris, C.P., Sideridis, A. B., 1996. An expert System for tomato diseases. *Computers and Electronics in Agriculture* 14, 61-76.
57. Zetian F., Feng X., Zhou Y., Zhang X. S., 2005. Pig-vet: A web-based expert system for pig disease diagnosis. *Expert System with Applications*, 29, 93–103.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα : Κυριότερες ασθένειες και εχθροί του φυτού της πατάτας

Οι κυριότερες ασθένειες του φυτού της πατάτας χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες (Μυκητολογικές, Βακτηριολογικές, Ιολογικές) με βάση το παθογόνο που τις προκαλεί και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Μυκητολογικές	
Ασθένεια	Συμπτώματα
Περονόσπορος	Στα φύλλα εμφανίζονται κιτρινωπές κηλίδες ακανόνιστου σχήματος. Νωρίς το πρωί ή κάτω από πολύ υγρές συνθήκες το μολυσμένο μέρος του φύλλου εμφανίζει μικρά, άσπρα άκρα. Το περίδερμα των κονδύλων είναι καστανό και λίγο ζαρωμένο. Η σάρκα είναι καστανή και ο χρωματισμός αρχίζει κάτω από το περίδερμα. Ο χρωματισμός είναι μερικές φορές ασυνεχής και ποτέ δεν προκαλεί εσωτερικό δακτύλιο στον κόνδυλο.
Ριζοκτονίαση	Στα φύτρα μαυρίζει η κορυφή τους και συχνά νεκρώνονται πριν βγουν από το έδαφος. Στο στέλεχος η προσβολή εκδηλώνεται με την εμφάνιση καστανού έλκους στη βάση του στελέχους κοντά στο λαιμό. Το φυτό παρουσιάζει καχεκτική ανάπτυξη και τα φύλλα καρουλιάζουν. Συχνά έχουμε σχηματισμό εναέριων κονδύλων, κοκκινωπού χρώματος, στις μασχάλες των φύλλων. Στην επιφάνεια των κονδύλων εμφανίζονται μαύρα σωματίδια ποικίλου σχήματος και μεγέθους.
Αλτερναρίωση	Στα φύλλα, εμφανίζονται ωειδείς κηλίδες σκούρου χρώματος. Στους νεκρούς ιστούς των κηλίδων διακρίνονται ομόκεντροι κύκλοι που θυμίζουν στόχο σκοποβολής. Στους κονδύλους εμφανίζονται κηλίδες ξηρής όψης καστανού χρώματος ελαφρά βυθισμένες με ανασηκωμένα περιθώρια που διαχωρίζονται από τους υγιείς ιστούς με φελλώδες ερυθροκάστανο στρώμα.

<p>Ανδρομύκωση</p>	<p>Στο υπέργειο μέρος παρουσιάζεται ακανόνιστη χλώρωση φύλλων κυρίως της βάσης του φυτού ή με καρούλιασμα και συστροφή των φυλλιδίων προς τα πάνω. Στη συνέχεια τα φύλλα μαραίνονται και ξηραίνονται. Χαρακτηριστικό σύμπτωμα είναι ο καστανός μεταχρωματισμός των αγγείων που γίνεται εμφανής σε κατά μήκος τομή ή σαν ένα δαχτυλίδι σε κάθετη τομή του στελέχους. Συχνά προχωράει και φτάνει στον κόνδυλο.</p>
<p>Ανθράκωση</p>	<p>Καταστρέφεται και αποκολλάται ο φλοιός και απογυμνώνεται ο κεντρικός κύλινδρος ο οποίος παίρνει χαρακτηριστικό ανοιχτό μωβ χρώμα. Στον κεντρικό κύλινδρο και κάτω από τον φλοιό εμφανίζονται πολλά μικρά μελανά σωματίδια. Το υπέργειο μέρος του φυτού παρουσιάζει συμπτώματα χλώρωσης, μαρασμού ή καρουλιάσματος των φύλλων ή σε ορισμένες ποικιλίες και σχηματισμό εναέριων κονδύλων. Προκαλεί επίσης σήψη των στολώνων.</p>
<p>Ρόδινη Σήψη</p>	<p>Προσβάλλει τα αγγεία του στελέχους, προκαλεί πλήρη αποσύνθεση της εντεριώνης στο τμήμα της βάσης του στελέχους. Στους κονδύλους προκαλεί χαρακτηριστική σήψη η οποία ξεκινά από το σημείο πρόσφυσης του στολόνα και προχωρεί προς την κορυφή. Ο κόνδυλος παίρνει εξωτερικά ένα βαθύτερο χρώμα και εκκρίνει ένα παχύρευστο υγρό. Η σάρκα του προσβεβλημένου κονδύλου σε τομή εμφανίζεται να έχει λίγο βαθύτερο από το κανονικό χρώμα αλλά όταν μένει εκτεθειμένη στον αέρα γίνεται αρχικά ρόδινη, μετά κοκκινωπή και τελικά καφέ σκούρα. Οι προσβεβλημένοι κόνδυλοι έχουν χαρακτηριστική οσμή ξυδιού.</p>
<p>Μακροφομίνια</p>	<p>Στο στέλεχος και στις ρίζες καταστρέφονται οι ιστοί μέχρι την εντεριώνη, αποκολλάται ο φλοιός και αποκαλύπτεται ο κεντρικός κύλινδρος ο οποίος έχει σταχτί χρώμα. Στους προσβεβλημένους ιστούς αναπτύσσονται πολλά μικρά μελανά σκληρώτια του μύκητα. Στους κονδύλους προκαλεί</p>

	<p>σήψη η οποία εμφανίζεται σαν μελανή βυθισμένη κηλίδα. Μέσα στην κηλίδα εμφανίζεται σταχτί μυκήλιο και τα μελανά σκληρώτια του μύκητα.</p>
Ωίδιο	<p>Το φύλλωμα καλύπτεται με ένα στακτόχρωμο επίχρισμα και σε προχωρημένο στάδιο αποξηραίνονται τα σοβαρά μολυσμένα φυλλίδια.</p>
Σκληρωτινίαση	<p>Προσβάλλει το στέλεχος των φυτών στο λαιμό προκαλώντας υγρή σήψη και κατάρρευση του φυτού. Εάν υπάρχει αρκετή υγρασία στο σημείο προσβολής αναπτύσσεται άφθονο λευκό βαμβακώδες μυκήλιο και τα σκληρώτια του μύκητα (μελανά 2-10 χιλιοστά) που αποτελούν χαρακτηριστικά της ασθένειας.</p>
Σήψη λαιμού και ριζών	<p>Προκαλεί μελανό έλκος στο λαιμό και ξαφνικό μαρασμό και πτώση του φυτού. Το στέλεχος στο σημείο της προσβολής συρρικνώνεται.</p>
Σπογγοσπορίωση	<p>Στους κονδύλους εμφανίζονται μικρές κυκλικές κηλίδες ανοικτού καστανού χρώματος, οι οποίες εξελίσσονται σε φλύκταινες(ελαφρά εξογκώματα). Οι επιδερμίδα τους σπάει αποκαλύπτοντας μια χαρακτηριστική σκληρή μάζα σπορίων σκούρου χρώματος. Σε σοβαρή προσβολή πολλές φλύκταινες συνενώνονται καλύπτοντας μεγάλο μέρος της επιφάνειας του κονδύλου. Μπορεί επίσης να εκδηλωθεί με το σχηματισμό νεοπλασιών και εξογκωμάτων που αλλοιώνουν το σχήμα των κονδύλων. Η επιφάνεια τους είναι ομαλή και λεία. Στην περίπτωση της Σπογγοσπορίωσης ανάλογοι όγκοι μπορεί να εμφανιστούν στις ρίζες.</p>
Ωοσπορίωση	<p>Κατά το φύτεμα μολυσμένου πατατόσπορου παρατηρείται μαύρισμα και ξήρανση φύτρων. Σε σοβαρή προσβολή μπορεί να παρατηρηθεί πλήρης αποτυχία φυτρώματος. Προσβάλλει επίσης και τα άλλα υπόγεια μέρη του φυτού σχηματίζοντας κηλίδες ανοικτού καστανού χρώματος στο στέλεχος τους στολόνες και τις ρίζες.</p>

Καρκίνωση	Στους μίσχους των φύλλων εμφανίζονται χαρακτηριστικοί όγκοι μαλακοί και σπογγώδεις. Στους κονδύλους αναπτύσσονται όγκοι που μοιάζουν με κεφαλή κουνουπιδιού.
Υγρή σήψη κονδύλων	Προσβάλει τους κονδύλους μετά από τραυματισμό. Η σήψη αρχίζει από το σημείο του τραυματισμού και εμφανίζεται εξωτερικά σαν σκοτεινού χρώματος κηλίδα λίγο βυθισμένη με τεντωμένη την επιδερμίδα. Εσωτερικά η σάρκα γίνεται στο κέντρο υδαρής, με κοιλότητες, ενώ στην περιφέρεια μένει συμπαγής διαχωριζόμενη από το αλλοιωμένο κεντρικό τμήμα με μια μελανή ζώνη. Οι προσβεβλημένοι κόνδυλοι έχουν δυσάρεστη οσμή.
Ξηρή σήψη κονδύλων	Προκαλεί σοβαρή ζημιά κατά την αποθήκευση και διατήρηση της πατάτας. Η μόλυνση των κονδύλων γίνεται από πληγές ή ακόμα από έλκη σπογγοσπορίωσης, κηλίδες περονόσπορου, ηλιακά εγκαύματα κλπ. Οι προσβεβλημένοι κόνδυλοι εμφανίζονται εξωτερικά συρρικνωμένοι, με ζαρώματα στην επιδερμίδα κατά συγκεντρικούς κύκλους και με λευκά ρόδινα ή μπλε συσσωματώματα μυκηλίου (μούχλας), κατά θέσεις. Σε προχωρημένο στάδιο οι κόνδυλοι έχουν μουμιοποιηθεί, δηλαδή αφυδατωθεί και σκληρυνθεί σε τέτοιο βαθμό που είναι αδύνατο να τους κόψει κανείς με το μαχαίρι. Η σάρκα επίσης του κονδύλου είναι αφυδατωμένη, παρουσιάζει κοιλότητες και κατά θέσεις μούχλα διαφόρων αποχρώσεων.
Φόμα	Η σήψη των κονδύλων αναπτύσσεται στην αποθήκη. Στην επιφάνεια των κονδύλων εμφανίζονται αποχρωματισμένες, βυθισμένες περιοχές, ακανόνιστου σχήματος. Κάτω από τις περιοχές αυτές η σάρκα παρουσιάζει αραιά γκρι ή κιτρινωπή μούχλα που διαχωρίζονται από τους υγιείς ιστούς με μελανή ζώνη. Στους ιστούς αναπτύσσονται χαρακτηριστικές καρποφορίες του μύκητα που φαίνονται σαν μελανά σημεία μεγέθους κεφαλής καρφίτσας

<p>Αργυρόχροη κηλίδωση των κονδύλων</p>	<p>Στην επιφάνεια των ώριμων κονδύλων εμφανίζονται κηλίδες τεφροκάστανες, αργυρόχρες, με ασαφή όρια, οι οποίες χαλάνε τη λαμπερή όψη του κονδύλου. Πάνω σε αυτές φαίνονται μικρά μελανά στίγματα. Οι κηλίδες αυτές είναι επιφανειακές και δεν προχωρούν στη σάρκα. Οι προσβεβλημένοι κόνδυλοι σταδιακά αφυδατώνονται και ρυτιδούνται.</p>
<p>Ιώδης σηψιρριζία</p>	<p>Προσβάλλει τα υπόγεια μέρη του φυτού. Το χαρακτηριστικό σύμπτωμα της ασθένειας εμφανίζεται στους κονδύλους οι οποίοι καλύπτονται από ένα δικτυωτό πλέγμα (υφές μυκηλίου). Προσβεβλημένοι κόνδυλοι μπορεί να υποστούν σήψεις στη συνέχεια. Το φύλλωμα γίνεται χλωρωτικό το φυτό μαραίνεται και ξηραίνεται.</p>

Βακτηριολογικές	
Ασθένειες	Συμπτώματα
Καστανή σήψη	<p>Εκδηλώνεται με έναν ελαφρύ μαρασμό των φύλλων. Καθώς προχωρεί η ασθένεια, ο μαρασμός γενικεύεται και το φυτό ξηραίνεται και πέφτει στο έδαφος. Στη βάση των στελεχών εμφανίζονται επιμήκεις καστανόχρωμες ραβδώσεις. Σε εγκάρσια τομή παρουσιάζεται καστανός μεταχρωματισμός των αγγείων και γαλακτόχρωμο, γλοιώδες υγρό. Σε εγκάρσια τομή του κονδύλου εμφανίζεται καστανός μεταχρωματισμός του δακτυλίου των αγγείων, ενώ με ελαφρά πίεση εξέρχεται λευκοκίτρινο υγρό άοσμο. Στο εξωτερικό των κονδύλων εμφανίζονται ερυθροκάστανες κηλίδες ελαφρώς βυθισμένες. Η προσβολή των κονδύλων μπορεί να είναι εμφανής ή χωρίς ορατά συμπτώματα.</p>
Δακτυλιωτή σήψη της πατάτας	<p>Οι άκρες των φυλλαρίων καρουλιάζουν και στρέφονται προς τα πάνω. Συγχρόνως στα φυλλάρια παρατηρείται μεσονεύρια χλώρωση, η οποία σε συνδιασμό με την μάρανση εξελίσσεται σταδιακά σε νέκρωση των φύλλων, των στελεχών και σταδιακά ολόκληρου του φυτού. Σε τομή του προσβεβλημένου βλαστού, συνήθως δεν εμφανίζεται μεταχρωματισμός των αγγείων αλλά με συμπίεση της τομής είναι δυνατόν να εξέλθει στην περιοχή γαλακτώδες υγρό. Παρατηρούνται λεπτές, κιτρινωπές – καστανές ζώνες κατά μήκος των αγγείων του κονδύλου, που σταδιακά αποκτούν εντονότερο χρωματισμό, σαπίζουν, σχηματίζοντας ένα περιμετρικό δακτύλιο στον κόνδυλο. Από τους σαπισμένους ιστούς δεν αναδύεται οσμή.</p>
Μελάνωση του λαιμού	<p>Το παθογόνο προκαλεί σήψη στελεχών και κονδύλων. Οι σήψεις των στελεχών ξεκινούν συνήθως από πληγές στο υπέργειο τμήμα. Οι μολυσμένοι ιστοί εμφανίζουν ανοικτό έως σκούρο καστανό χρώμα. Οι προσβεβλημένοι κόνδυλοι παρουσιάζουν περιοχές με υδαρείς, μαλακούς ιστούς κοκκώδους υφής, κιτρινωπούς έως ανοικτού-καστανού</p>

	<p>χρώματος που διαχωρίζονται από το υγιές τμήμα με μελανή ζώνη ιστών. Μερικές φορές ολόκληρο το εσωτερικό του κονδύλου καταρρέει και αποσυντίθεται, ενώ παραμένει μόνο το περίδερμα του. Σε αρχικά στάδια, οι σηπόμενοι ιστοί είναι άοσμοι, αλλά αργότερα αναδύουν έντονη δυσάρεστη οσμή.</p>
Ακτινομύκωση	<p>Τα συμπτώματα παρατηρούνται στους κονδύλους. Εμφανίζουν μικρές ερυθροκάστανες, υδατώδεις κηλίδες στο περίδερμα οι οποίες σταδιακά διαπλατώνονται καθώς προχωρά η ανάπτυξη των κονδύλων καθιστάμενες φελλώδεις και νεκρωτικές.</p>
Η ασθένεια Stolbur της πατάτας	<p>Χαρακτηρίζεται από τρεις κυρίως τύπους συμπτωμάτων: παραμόρφωση ανθέων, μάρανση, νέκρωση χωρίς εμφανή παραμόρφωση ανθέων. Όταν μολυσμένοι κόνδυλοι φυτρώσουν μπορεί να σχηματίσουν μη εύρωστα φύτρα πολύ λεπτότερα των κανονικών που μοιάζουν με νήματα. Σε περίπτωση που τα φύτρα αναπτυχθούν κανονικά, η ασθένεια εκδηλώνεται με χλώρωση και καρούλιασμα των φύλλων. Σε πιο προχωρημένο στάδιο, σχηματίζονται εναέριοι στόλνες και κόνδυλοι στις μασχάλες των φύλλων σε διάφορα σημεία του βλαστού.</p>
Η ράβδωση της Σάρκας των Κονδύλων	<p>Τα φυτά παρουσιάζουν βραδεία ανάπτυξη. Συνήθως μετά την άνθηση, το φύλλωμα των ασθενών φυτών εμφανίζει ερυθριάσεις με βαθυκόκκινη-βυσσινί χροιά ή καρούλιασμα, περιφερειακή νέκρωση φύλλων και κιτρινίσματα. Οι βλαστοί παρουσιάζουν βραχυγονάτωση και μικροφυλλία, είναι πιο χοντροί, έχουν διογκωμένους μασχαλαίους οφθαλμούς και παρουσιάζουν εναέριους κονδύλους. Η ένταση των συμπτωμάτων κυμαίνεται από χρόνο σε χρόνο αλλά και μέσα στην ίδια πατατοφυτεία. Εξωτερικά, οι προσβεβλημένοι κόνδυλοι φαίνονται κανονικοί, όταν όμως κοπούν δείχνουν ελαφρό έως έντονο καστανό μεταχρωματισμό με τη μορφή στενών λωρίδων εντοπισμένων στη σάρκα των κονδύλων.</p>

Dikeya solani	<p>Τα συμπτώματα στους κόνδύλους φαίνεται να μην διαφοροποιούνται από εκείνα του <i>P.atrosepticum</i> και μπορεί να κυμαίνονται μεταξύ της εμφάνισης ενός ασθενούς καστανού μεταχρωματισμού του αγγειακού ιστού και της σήψης και της πλήρους αποδιοργάνωσης του. Η αρχική προσβολή στους κόνδύλους, ξεκινά από τα φακίδια, από τη θέση πρόσφυσης του στολονίου ενώ η προκαλούμενη σήψη χαρακτηρίζεται ως εντονότερη σε σχέση με εκείνη που προκαλεί το <i>P.atrosepticum</i>. Τα παραπάνω συμπτώματα ξεκινούν πάντα από τον μολυσμένο κόνδυλο ο οποίος συνήθως σήπεται ως μη όφειλε.</p>
---------------	--

Ιολογικές	
Ασθένειες	Συμπτώματα
Καρούλιασμα φύλλων της πατάτας	Ο ιός του καρουλιάσματος των φύλλων της πατάτας προκαλεί ευδιάκριτο καρούλιασμα (συστροφή) των φύλλων προς τα πάνω, χλώρωση και ερυθρίαση. Σε νεαρό στάδιο του φυτού παρατηρείται καρούλιασμα των φύλλων της βάσης που είναι χαρακτηριστικό της ασθένειας αυτής.
Ράβδωση της πατάτας	Αφορούν στην εμφάνιση νεκρωτικών ραβδώσεων κατά μήκος των νεκρώσεων της κάτω επιφάνειας των φύλλων. Στη συνέχεια κυρίως τα φύλλα της βάσης νεκρώνονται και ή πέφτουν ή στις περισσότερες περιπτώσεις παραμένουν κρεμασμένα, ξερά πάνω στο φυτό. Τα φύλλα της κορυφής παραμένουν μικρά, ελαφρός χλωρωτικά και σχηματίζουν ροζέτα. Τα φυτά τελικά παραμένουν καχεκτικά.
Απλό μωσαϊκό της πατάτας	Τα συμπτώματα είναι ένα ήπιο μωσαϊκό των φύλλων το οποίο στις περισσότερες περιπτώσεις δεν γίνεται αντιληπτό πάρα μόνο στα κατώτερα σκιαζόμενα φύλλα. Μπορεί να παρατηρηθεί ένα μεσονεύριο μωσαϊκό ή μια τραχύτητα και κατσάρωμα του ελάσματος των φύλλων.
Μωσαϊκό οφειλόμενο στον ιό A της πατάτας	Μοιάζουν με εκείνα του Απλό μωσαϊκό της πατάτας. Παρουσιάζουν νεκρωτικές κηλίδες στα φύλλα της κορυφής ή νέκρωση της κορυφής του φυτού. Εμφανίζεται ελαφρό έως έντονο μωσαϊκό, διαφάνεια των νευρώσεων, κυματισμός και κατσάρωμα της περιφέρειας του ελάσματος.
Τραχύ μωσαϊκό	Τα μολυσμένα φυτά παραμένουν νάνα, ενώ στα φύλλα της κορυφής εμφανίζεται έντονο μωσαϊκό. Τα φύλλα της κορυφής παρουσιάζουν έντονο τρίχωμα και σχηματίζουν ροζέτα. Οι κόνδυλοι των φυτών αυτών παραμένουν μικροί.

Κυματοιδές μωσαϊκό	Τα μολυσμένα φυτά εμφανίζουν ελαφρό μωσαϊκό και κυματισμό της περιφέρειας του ελάσματος. Τις περισσότερες φορές είναι δύσκολη η διάκριση της από αυτής από το Τραχύ μωσαϊκό.
--------------------	--

Οι κυριότεροι εχθροί του φυτού της πατάτας είναι τα έντομα που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα

Εχθροί	
Έντομο	Χαρακτηριστικό
Δορυφόρος	Τέλειο: Μήκος 10 mm. Χρώμα κίτρινο-πορτοκαλί, με 5 μαύρες γραμμές σε κάθε έλυτρο. Προνύμφη: 10-15 mm, κοντόχονδρη, κυρτή, κόκκινη, με 2 μαύρες κηλίδες στα πλάγια κάθε κοιλιακού δακτυλίου
Φθοριμαία	Τέλειο: άνοιγμα πτερύγων 12-17 mm, μήκος 8-9 mm, τεφρό με κροσσούς στις πτέρυγες. Προνύμφη: 10-16 mm, λευκή-ρόδινη.
Σιδηροσκούληκα	Τέλειο: 15-25 mm, ανάλογα με το είδος, μαύρο ή καστανό γυαλιστερό. Προνύμφη: μέχρι και 60 mm, πορτοκαλί, σκληρή.
Αφίδες πατάτας	Τέλειο: μήκος 1-4 χιλ. και ο χρωματισμός τους διαφέρει ανάλογα με το είδος: πράσινο, κίτρινο, κοκκινωπό, καστανό ή καστανόμαυρο. Συνυπάρχουν πτερωτές και άπτερες μορφές. Οι νύμφες μοιάζουν στην εμφάνιση με τα ακμαία.
Αλευρώδης των θερμοκηπίων	Τέλειο: έχει σώμα κίτρινο και τα φτερά του είναι καλυμμένα από λευκό κηρώδες επίχρισμα. Οι νύμφες είναι κινητές κι έχουν κίτρινο λαμπερό χρώμα. Περιφερειακά φέρει κροσσούς. Μπορούμε να διακρίνουμε κάτω από την επιφάνεια τα κόκκινα μάτια του ακμαίου και το κίτρινο σώμα του. Όταν εμφανίζονται τελικά τα ακμαία, στην αρχή τα φτερά τους είναι κολλημένα και δεν μπορούν να πετάξουν.
Θρίπας	Τέλειο: έχει μήκος 0,8 χιλ. και χρώμα κίτρινοκαστανο. Οι πτέρυγες είναι στενές, γκριζοκίτρινες, με μακρούς κροσσούς. Οι κεραίες του

	έχουν 7 άρθρα. Οι νύμφες μοιάζουν στην εμφάνιση με τα ακμαία και έχουν χρώμα λευκοκίτρινο.
Τζιτζικάκια	Τέλειο: έχει μήκος 3-4 χιλ. και χρώμα ανοιχτοπράσινο. Οι νύμφες μοιάζουν στην εμφάνιση με τα ακμαία.