

# Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2004)

4ο Συνέδριο ΕΤΠΕ «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»



**PASS: ένα Έμπειρο Σύστημα για την Πρόβλεψη της Απόδοσης των μαθητών**

*Ιωάννης Χατζηλυγερούδης, Ανθή Καρατράντου*

## Βιβλιογραφική αναφορά:

Χατζηλυγερούδης Ι., & Καρατράντου Α. (2026). PASS: ένα Έμπειρο Σύστημα για την Πρόβλεψη της Απόδοσης των μαθητών . *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, 1, 605–610. ανακτήθηκε από <https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/9335>

# PASS: ένα Έμπειρο Σύστημα για την Πρόβλεψη της Απόδοσης των μαθητών

Ιωάννης Χατζηλυγερούδης  
Τμήμα Μηχ. Η/Υ & Πληροφορικής, Παν.  
Πατρών 26500 Πάτρα,  
ihatz@ceid.upatras.gr

Ανθή Καρατράντου  
Τμήμα Μηχ. Η/Υ & Πληροφορικής, Παν.  
Πατρών 26500 Πάτρα  
a.karatrantou@eap.gr

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή, παρουσιάζεται το PASS (*Predicting Ability of Students to Succeed*), ένα έμπειρο σύστημα για την πρόβλεψη της βεβαιότητας του να επιτύχει στις εισαγωγικές πανελλαδικές εξετάσεις για τα Α.Τ.Ε.Ι. ένας μαθητής των Τ.Ε.Ε. Η πρόβλεψη πραγματοποιείται σε δύο φάσεις. Η αρχική πρόβλεψη γίνεται μετά το τέλος του δεύτερου έτους σπουδών (Α' κύκλος) και η τελική μετά το τέλος του Α' τετραμήνου του τρίτου έτους σπουδών (Β' κύκλος). Σκοπός είναι το σύστημα να δίνει έγκαιρα αξιόπιστες πληροφορίες ώστε ο εκπαιδευτικός και το σχολείο να μπορούν να υποστηρίξουν και να προετοιμάσουν τους μαθητές κατάλληλα και αποτελεσματικά για τις εισαγωγικές εξετάσεις. Το PASS είναι ένα έμπειρο σύστημα βασισμένο σε κανόνες που χρησιμοποιεί συντελεστές βεβαιότητας και χρησιμοποιεί μια γενικευμένη παραμετρική σχέση για τον υπολογισμό του συνδυασμένου συντελεστή βεβαιότητας δύο κανόνων με ίδιο συμπέρασμα. Οι τιμές των παραμέτρων καθορίζονται με 'εκπαίδευση' του συστήματος πριν αυτό χρησιμοποιηθεί. Πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι το PASS είναι συγκρίσιμο με τη Λογιστική Παλινδρόμηση ως προς την ακρίβεια των προβλέψεων.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Έμπειρά συστήματα, συντελεστές βεβαιότητας, πρόβλεψη βασισμένη σε γνώση, απόδοση μαθητών

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται εκτεταμένη χρήση μεθόδων βασισμένων σε υπολογιστή στην εκπαίδευση είτε για διοικητικούς είτε για εκπαιδευτικούς σκοπούς (Moore 1998, Walczak and Sincich 1999, Murray and Le Blanc 1995, Moore 1999). Οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να διαχωριστούν σε παραδοσιακές μεθόδους και σε μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης. Διάφορες μορφές ανάλυσης παλινδρόμησης είναι αντιπροσωπευτικές των παραδοσιακών μεθόδων, ενώ τα έμπειρα συστήματα των μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η χρήση έμπειρου συστήματος για την πρόβλεψη της επιτυχίας ενός μαθητή Τ.Ε.Ε. στις εισαγωγικές πανελλαδικές εξετάσεις στα Α.Τ.Ε.Ι. Είναι σημαντικό για τους καθηγητές, αλλά και τη διοίκηση του σχολείου, να είναι σε θέση να εντοπίζουν τους μαθητές με υψηλή πιθανότητα αποτυχίας ή χαμηλής απόδοσης ώστε να τους βοηθήσουν κατάλληλα. Στη παρούσα εργασία, δυο μέθοδοι χρησιμοποιούνται, ένα έμπειρο σύστημα και η Λογιστική Παλινδρόμηση. Το έμπειρο σύστημα (PASS) χρησιμοποιεί μια τροποποιημένη εκδοχή των συντελεστών βεβαιότητας του MYCIN (Shortliffe and Buchanan 1975). Ο σχεδιασμός του PASS βασίζεται στην ανάλυση δημογραφικών και εκπαιδευτικών δεδομένων των μαθητών, κυρίως όμως στην ανάλυση δεδομένων της απόδοσής τους κατά τις σπουδές τους.

## ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ

### Το Πρόβλημα

Η Τ.Ε.Ε. στην Ελλάδα συγκεντρώνει ένα μεγάλο πλήθος μαθητών, προσφέροντας τους πρακτική επαγγελματική γνώση αλλά και την ευκαιρία να εισαχθούν στη Τριτοβάθμια Τεχνολογική Εκπαίδευση (Α.Τ.Ε.Ι.). Για την εισαγωγή στα Α.Τ.Ε.Ι. οι μαθητές οφείλουν να λάβουν μέρος σε Πανελλαδικές Εισαγωγικές Εξετάσεις που αφορούν στην γραπτή εξέταση τριών μαθημάτων, δυο γενικής παιδείας (Ελληνικά και Μαθηματικά) και ενός μαθήματος ειδικότητας.

Παρόλο που οι μαθητές της Τ.Ε.Ε. είναι πολλοί, λίγοι μόνο αποφασίζουν να λάβουν μέρος στις εισαγωγικές αυτές εξετάσεις και από αυτούς πολύ λιγότεροι ακόμη καταφέρνουν να επιτύχουν. Συνεπώς, είναι σημαντικό για τον εκπαιδευτικό να μπορεί, όσο το δυνατό πιο έγκαιρα, να αναγνωρίζει τους μαθητές που έχουν υψηλή πιθανότητα να επιτύχουν -ώστε να τους βοηθήσει και να τους ενθαρρύνει κατά τη διάρκεια των σπουδών τους- αλλά και αυτούς που έχουν χαμηλή πιθανότητα να επιτύχουν -ώστε να τους συμβουλέψει κατάλληλα. Σε κάθε περίπτωση μπορεί συζητώντας με τους εκπαιδευτικούς των τριών εξεταζόμενων μαθημάτων και τη διοίκηση του σχολείου να προτείνει και να οργανώσει για την δημιουργία τμήματος ενισχυτικής διδασκαλίας.

### Προσδιορισμός των Παραμέτρων

Η απόκτηση της γνώσης κυρίως γίνεται με τον προσδιορισμό των παραμέτρων εκείνων που παίζουν σημαντικό ρόλο στην πρόβλεψη του επιθυμητού αποτελέσματος. Χρησιμοποιώντας δεδομένα 201 μαθητών τριών Τ.Ε.Ε. της Πάτρας και συζητώντας με έμπειρους εκπαιδευτικούς της Τ.Ε.Ε., επιλέχθηκαν έξι παράγοντες (παράμετροι): Φύλο, Ηλικία, Ειδικότητα, Βαθμός Α (ο Γενικός Βαθμός της Α' Τάξης), Βαθμός Β (Γενικός Βαθμός της Β' τάξης) και Βαθμός ΑΓ (ο Μέσος Όρος των βαθμών στα τρία εξεταζόμενα μαθήματα κατά το Α' τετράμηνο σπουδών). Στον πίνακα 1 φαίνονται οι μεταβλητές/παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν με τις τιμές τους, έτσι όπως κωδικοποιήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν από το έμπειρο σύστημα.

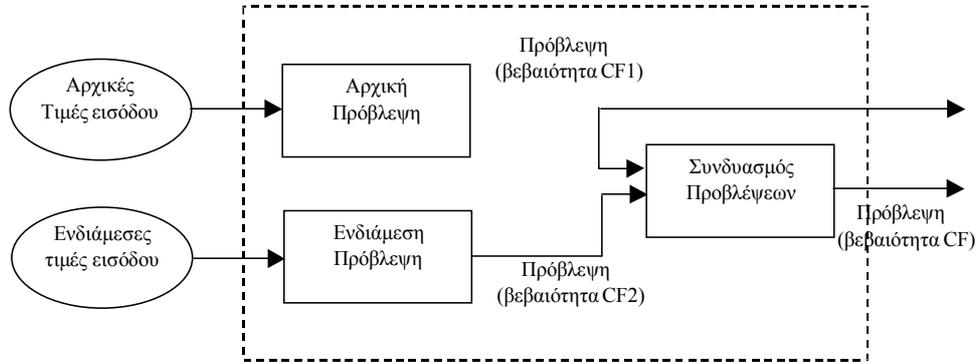
Ειδικότητα	Φύλο	Ηλικία	Βαθμός
Τεχνικοί Ηλεκ/κών Εγκ/σεων Κτιρίων	Αγόρι	(< 20 years)	Μέτρια (≥10 και< 12.5)
Τεχνικοί Θερμικών και Υδραυλικών Εγκ/σεων	Κορίτσι	(≥ 20 years)	Καλά (≥12.5 και< 15.5)
Ηλεκτρονικοί Συσκευών και Εγκ/σεων			Πολύ Καλά (≥15.5 και< 18.5)
Υπάλληλοι Γραφείου			Άριστα (≥18.5 και<= 20)
Βοηθοί Νοσηλευτή			

Πίνακας 1: Παράμετροι (μεταβλητές) του συστήματος με τις τιμές τους

### Σχεδίαση της Διαδικασίας

Μετά από συζητήσεις με δυο ειδικούς, αποφασίστηκε ότι η πρόβλεψη θα έπρεπε να γίνει σε δυο διακριτά στάδια. Η πρώτη (η αρχική) πρόβλεψη γίνεται στο τέλος της Β' τάξης (τέλος του Α' κύκλου) σπουδών. Η δεύτερη (ενδιάμεση) πρόβλεψη γίνεται στο τέλος του Α' τετραμήνου της Γ' τάξης (Β' κύκλος) σπουδών. Η τελική πρόβλεψη γίνεται με το συνδυασμό των δυο προβλέψεων. Η αρχική πρόβλεψη γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την Ειδικότητα, το Φύλο, την Ηλικία, το Βαθμό Α και το Βαθμό Β.

Η ενδιάμεση πρόβλεψη γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την Ειδικότητα, την Ηλικία και το Βαθμό ΑΓ. Η τελική πρόβλεψη παράγεται από το συνδυασμό της αρχικής και της ενδιάμεσης και γίνεται αρκετά έγκαιρα ώστε ο εκπαιδευτικός να έχει την ευκαιρία να εργαστεί με τους μαθητές του κατάλληλα κατά τη διάρκεια της περιόδου ως τις εξετάσεις. Με δεδομένο το ότι η πρόβλεψη της επιτυχίας ή μη ενός μαθητή στις εισαγωγικές εξετάσεις εμπεριέχει ένα μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας, τόσο η αρχική όσο και η ενδιάμεση πρόβλεψη έχουν ένα βαθμό βεβαιότητας ο οποίος εκφράζεται από τους συντελεστές βεβαιότητας  $CF1$  και  $CF2$ , οι οποίοι συνδυαζόμενοι δίνουν την τελική πρόβλεψη με συντελεστή βεβαιότητας  $CF$  (βλ. σχήμα 1).

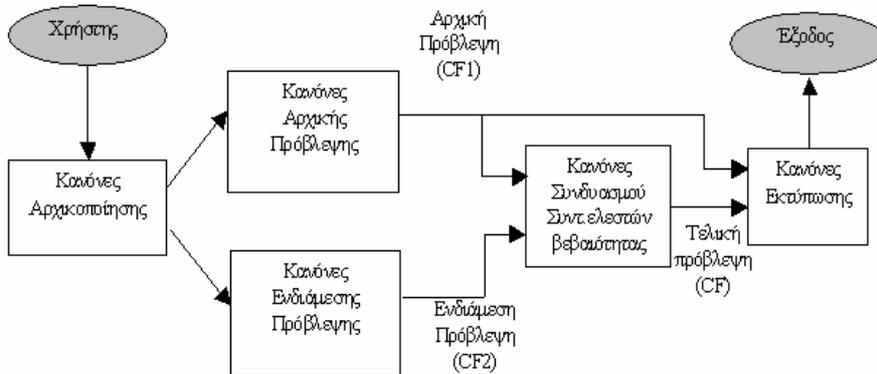


Σχήμα 1: Μοντέλο Διαδικασίας Πρόβλεψης

## ΤΟ ΕΜΠΕΙΡΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

### Η Αρχιτεκτονική του PASS

Το PASS υλοποιήθηκε με το κέλυφος CLIPS. Αποτελείται από μια βάση γνώσης, η οποία αποτελείται από γεγονότα (βάση γεγονότων - fact base) και κανόνες (βάση κανόνων - rule base). Τα γεγονότα είναι οργανωμένα σε πρότυπα γεγονότα (templates). Υπάρχουν τρία πρότυπα γεγονότα: το πρότυπο γεγονός για το μαθητή (*student template*), το πρότυπο γεγονός για την αρχική πρόβλεψη (*result1 template*) και το πρότυπο γεγονός για την ενδιάμεση πρόβλεψη (*result2 template*).



Σχήμα 2: Η ροή εξαγωγής συμπεράσματος στο PASS

Οι κανόνες οργανώνονται σε κανόνες αρχικής πρόβλεψης, κανόνες ενδιάμεσης πρόβλεψης, κανόνες συνδυασμού των συντελεστών βεβαιότητας, κανόνες αρχικοποίησης και κανόνες εκτίμησης. Η ροή για την εξαγωγή συμπεράσματος στο PASS αντανακλά τη διαδικασία πρόβλεψης του σχήματος 1 και φαίνεται στο σχήμα 2.

### Διαχείριση της Αβεβαιότητας

Οι συντελεστές βεβαιότητας είναι αρκετά δημοφιλείς στους σχεδιαστές εμπείρων συστημάτων, γιατί σχετίζονται με ένα απλό υπολογιστικό μοντέλο που επιτρέπει τον καθορισμό εμπιστοσύνης στα συμπεράσματα που προκύπτουν. Πρωτοεμφανίστηκαν στο έμπειρο σύστημα MYCIN, ένα ιατρικό έμπειρο σύστημα (Shortliffe and Buchanan 1975). Στο PASS χρησιμοποιούνται θετικοί αριθμοί από το 0 (απολύτως ψευδές) ως το 1 (απολύτως αληθές). Κάθε τιμή CF μικρότερη από 0.5 δείχνει δυσπιστία, ενώ κάθε τιμή ίση ή μεγαλύτερη από 0.5 δείχνει πίστη στο συμπέρασμα. Με δεδομένο το ότι οι CFs είναι πάντα θετικοί η συνδυασμένη βεβαιότητα CF σύμφωνα με τη θεωρία του MYCIN, δίνεται από τη σχέση:

$$CF = CF1 + CF2 (1-CF1) = CF1 + CF2 - CF1 * CF2. \quad (1)$$

Ωστόσο, η σχέση αυτή δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στη προκειμένη περίπτωση. Έτσι, στο PASS χρησιμοποιούμε μια γενικευμένη εκδοχή της σχέσης (1):

$$CF = w1 * CF1 + w2 * CF2 + w * CF1 CF2 \quad (2)$$

Όπου τα  $w1$ ,  $w2$  και  $w$  είναι αριθμητικά βάρη, έτσι ώστε να ισχύει  $0 \leq CF \leq 1$ .

Οι  $CF1$  και  $CF2$  υπολογίζονται από στατιστικά δεδομένα από τη βάση δεδομένων των μαθητών. Τα ίδια στατιστικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν ως σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης για τον προσδιορισμό των  $w1$ ,  $w2$  και  $w$ . Αυτό έγινε με βάση την ακόλουθη διαδικασία προσδιορισμού βαρών:

1. Δώσε αρχικής τιμές στα  $w1$ ,  $w2$  και  $w$
2. Εφάρμοσε το έμπειρο σύστημα στα δεδομένα εκπαίδευσης
3. Εάν τα αποτελέσματα είναι δεν είναι ικανοποιητικά, άλλαξε (κάποιες) από τις τιμές των  $w1$ ,  $w2$  και  $w$  και πήγαινε στο βήμα 2.
4. Εάν τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, σταμάτα.

Αυτή είναι μια *ad hoc* διαδικασία προς το παρόν. Χρησιμοποιώντας μια μέθοδο δοκιμής-αλλαγής, έγινε προσπάθεια βελτιστοποίησης των αποτελεσμάτων του συστήματος. Βελτιστοποίηση σημαίνει για παράδειγμα, να υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στα 'σωστά' και 'λάθος' συμπεράσματα.

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Η Ανάλυση Λογιστικής Παλινδρόμησης (Logistic Regression Analysis) είναι μια στατιστική μέθοδος κατάλληλη για να προβλέπει τη τιμή μιας εξαρτημένης μεταβλητής  $y$  ως συνάρτηση των τιμών ανεξαρτήτων μεταβλητών  $x_1, x_2, \dots, x_k$ . Το αποτέλεσμα είναι η πιθανότητα να συμβεί το ένα (το θετικό) αποτέλεσμα, η επιτυχία του μαθητή στις εισαγωγικές εξετάσεις στη προκειμένη περίπτωση. Η μαθηματική εξίσωση για την πιθανότητα αυτή είναι:

$$E(y) = \frac{1}{1 + \exp[-(b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k)]} \quad (3)$$

όπου  $E(y)$  είναι η πιθανότητα του να είναι  $y =$  επιτυχία,  $x_1, x_2, \dots, x_k$  είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές από τις οποίες εξαρτάται η  $y$ ,  $b_0$  είναι η σταθερά της εξίσωσης και  $b_1, b_2, \dots, b_k$  είναι οι *συντελεστές παλινδρόμησης*. Για τον υπολογισμό της  $E(y)$  πρέπει να προσδιοριστούν πριν οι *συντελεστές παλινδρόμησης*. Αυτό έγινε χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των μαθητών από τη βάση δεδομένων και το λογισμικό στατιστικών αναλύσεων SPSS.

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Για την αξιολόγηση του PASS πραγματοποιήθηκε το ακόλουθο πείραμα: Από τις 201 εγγραφές της βάσης δεδομένων των μαθητών, οι 153 από αυτές (τυχαία επιλεγμένες) χρησιμοποιήθηκαν ως *σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης* (training set) για τον προσδιορισμό των βαρών της σχέσης (2). Για το ίδιο σύνολο δεδομένων προσδιορίστηκαν οι *συντελεστές παλινδρόμησης* (σχέση 3). Στη συνέχεια, οι υπόλοιπες 48 εγγραφές χρησιμοποιήθηκαν ως *σύνολο δεδομένων ελέγχου* (testing test) τόσο για το έμπειρο σύστημα όσο και για την λογιστική παλινδρόμηση. Τρία κλασσικά κριτήρια αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκαν: Η Ακρίβεια (*accuracy – Acc*), η Ευαισθησία (*sensitivity – Sen*) και η Ειδικότητα (*specificity – Spe*), οι οποίες ορίζονται ως εξής:

$$Acc = (a + d) / (a + b + c + d), \quad Sen = a / (a + b), \quad Spe = d / (c + d) \quad (4)$$

Όπου  $a$  είναι ο αριθμός των θετικών (επιτυχία) περιπτώσεων που προβλέφθηκαν σωστά,  $b$  είναι ο αριθμός των θετικών περιπτώσεων που προβλέφθηκαν ως αρνητικές (αποτυχία),  $c$  είναι ο αριθμός των αρνητικών περιπτώσεων που προβλέφθηκαν ως θετικές και  $d$  είναι ο αριθμός των αρνητικών περιπτώσεων που προβλέφθηκαν σωστά.

	Αρχική Πρόβλεψη		Τελική Πρόβλεψη	
	Λογιστική Παλινδρόμηση	PASS	Λογιστική Παλινδρόμηση	PASS
Ακρίβεια	0.71	0.75	0.79	0.75
Ευαισθησία	0.84	0.94	0.97	0.88
Ειδικότητα	0.44	0.38	0.44	0.50

**Πίνακας 2:** Αποτελέσματα πρόβλεψης

Από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, παρατηρούμε πως το PASS και η λογιστική παλινδρόμηση έχουν περίπου την ίδια ακρίβεια. Ωστόσο, η λογιστική παλινδρόμηση φαίνεται να είναι περισσότερο ισορροπημένη στην αρχική πρόβλεψη ενώ το PASS στην τελική. Η λογιστική παλινδρόμηση προβλέπει λάθος περισσότερες αποτυχίες παρά επιτυχίες, γεγονός το οποίο είναι ανεπιθύμητο. Είναι σαφώς παιδαγωγικά ωφελιμότερη η ψευδής πρόβλεψη της επιτυχίας παρά εκείνη της αποτυχίας. Επίσης ιδιαίτερο πρακτικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι οριακές περιπτώσεις ( $0.45 \leq CF \leq 0.55$  και  $0.45 \leq E(y) \leq 0.55$ ). Υπήρχαν τρεις οριακές περιπτώσεις στο PASS και πέντε στη λογιστική παλινδρόμηση.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την εργασία, παρουσιάζεται ένα έμπειρο σύστημα, το PASS (Predicting Ability of Student Success), το οποίο χρησιμοποιείται για να προβλέψει τη βεβαιότητα της επιτυχίας ενός μαθητή Τ.Ε.Ε. στις εισαγωγικές εξετάσεις για τα Α.Τ.Ε.Ι. Η πρόβλεψη γίνεται σε δυο χρονικές στιγμές. Η αρχική πρόβλεψη γίνεται μετά το δεύτερο έτος σπουδών και η τελική μετά το τέλος

του πρώτου τετραμήνου του τρίτου έτους σπουδών. Σκοπός είναι οι προβλέψεις από το σύστημα να βοηθήσουν τους μαθητές κατά την προετοιμασία τους για τις εισαγωγικές εξετάσεις.

Το PASS είναι ένα έμπειρο σύστημα βασισμένο σε κανόνες και χρησιμοποιεί συντελεστές βεβαιότητας. Μια γενικευμένη παραμετρική σχέση χρησιμοποιείται για το συνδυασμό των συντελεστών βεβαιότητας δυο κανόνων που καταλήγουν στο ίδιο συμπέρασμα. Η σχέση αυτή είναι ένας ζυγισμένος συνδυασμός του αθροίσματος και του γινομένου δυο συντελεστών βεβαιότητας. Τα βάρη στη σχέση αυτή προσδιορίζονται με 'εκπαίδευση' του συστήματος πριν τη χρήση του, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης. Πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι το PASS είναι συγκρίσιμο με τη λογιστική παλινδρόμησης. Ωστόσο, το PASS είναι πιο ευέλικτο και δίνει περισσότερο ισορροπημένα αποτελέσματα.

Παρόλο που τα αποτελέσματα του PASS είναι ικανοποιητικά, πιστεύουμε πως μια περισσότερο προηγμένη προσέγγιση απαιτείται, όπως αυτή των ασαφών κανόνων (Yager and Zadeh 1992), των νευρωνικών δικτύων (Medsker and Liebovich 1994, Cripps 1996, Walczak and Sincich 1999) των νευροκανόνων (Hatzilygeroudis and Prentzas 2004) ή των νευροασαφών κανόνων (Nauck et al 1997). Η χρήση τέτοιων προσεγγίσεων αποτελούν σκοπό της μελλοντικής μας εργασίας.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

CLIPS: <http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>.

Cripps A.: Using Artificial Neural Nets to Predict Academic Performance. *Proceedings of the 1996 ACM Symposium on Applied Computing (SAC'96)* (1996) 33-37.

Hatzilygeroudis I., Prentzas J.: Using a Hybrid Rule-Based Approach in Developing an Intelligent Tutoring System with Knowledge Acquisition and Update Capabilities. *Journal of Expert Systems with Applications* 26(4) (2004) 477-492.

Medsker L. R., Liebowitz J.: *Design and Development of Expert Systems and Neural Computing*. Macmillan College Publishing Company (1994).

Moore J. S.: An Expert System Approach to Graduate School Admission Decisions and Academic Performance Prediction. *Omega International Journal of Management Science* 26(5) (1998) 659-670.

Murray W. S., Le Blanc L. A.: A Decision Support System for Academic Advising. *Proceedings of the 1995 ACM Symposium on Applied Computing (SAC'95)* (1995) 22-26.

Nauck D., Klawonn F., Kruse R.: *Foundations of Neuro-Fuzzy Systems*. John Wiley & Sons (1997).

Shortliffe E. H., Buchanan B. G.: A model of inexact reasoning in medicine. *Mathematical Biosciences* (1975) 23(3/4) 351-379.

Walczak S., Sincich T.: A Comparative analysis of regression and neural networks for university admissions. *Information Sciences* 119 (1999) 1-20.

Yager R. R., Zadeh L. A. (Eds): *An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems*. Kluwer Academic Publishers (1992).