

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΔΙΑΛΛΕΙΨΕΩΝ

- 1.1 Η έννοια του fading στις κινητές επικοινωνίες
- 1.2 Είδη fading
- 1.3 Fading Models
- 1.4 Multipath diversity and antenna diversity
- 1.5 Rayleigh fading tests , simulations and measurements
- 1.6 Μελετη fading μέσω εξομοίωσης

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : SIMULATION

- 2.1 Δημιουργία Rayleigh fading
- 2.2 Δημιουργία Rician fading
- 2.3 Δημιουργία Rayleigh και Rician flat fading στο Matlab .
- 2.4 Προσομοίωση για υπολογισμό του Outage probability .

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 : Κώδικας Προσομείωσης
- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 : Περιγραφή συναρτήσεων Matlab
- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 : Data sheet

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με αυτή την εργασία ο σκοπός μας είναι να μελετήσουμε μέσα από την προσομείωση την επίδραση του flat fading , λαμβάνοντας υπόψιν τις κατάλληλες ιδιότητες του ραδιοσήματος σε ένα κυψελλωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών . Με τη χρήση του Matlab κάναμε προσομείωση της Rayleigh και Rician διάλειψης , υπολογίσαμε το outage probability και τέλος παρουσιάζουμε μια σύγκριση ανάμεσα στα μοντέλα Rayleigh και Rician . Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Λιοδάκη Γεώργιο Καθηγητή Εφαρμογών του τμήματος Ηλεκτρονικής για την πολύτιμη βοήθειά του και την πολύ καλή συνεργασία μας για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας .

## **Abstract**

The receiver in a mobile communications environment should combine the multipath waves with randomly distributed amplitudes and phases in order to give a resultant signal that fluctuates in time and space . The short-term fluctuation in the signal amplitude caused by the local multipath is called small-scale fading . Small-scale fading can be classified as flat or frequency selective fading . In particular , a received signal is said to undergo flat fading if the mobile radio channel has a constant gain and a linear phase response over a bandwidth larger than the bandwidth of the transmitted signal .

The purpose of the thesis is to study through simulation the effect of flat fading taking into account the appropriate statistical properties of the radiofrequency signals in a mobile communication system . By the use of MATLAB software , simulation results of the received signal envelope , the outage probability , etc. are presented . Finally , a comparison between the Rayleigh and Rician fading models is carried out .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΔΙΑΛΕΙΨΕΩΝ

### 1.1 Η έννοια του Fading στις κινητές επικοινωνίες

Σε ένα κυψελωτό σύστημα Κινητών Επικοινωνιών , η συμπεριφορά του λαμβανόμενου από την κεραία του κινητού , σήματος καθορίζεται από το περιβάλλον μέσα στο οποίο διαδίδεται το σήμα , το οποίο χαρακτηρίζεται από τη μορφολογία του εδάφους και από τις ανθρώπινες κατασκευές που παρεμβάλλονται ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη . Καθώς ο δέκτης κινείται σε μια περιοχή , το λαμβανόμενο σήμα είναι η υπέρθεση πολλών κυμάτων που έχουν ανακλαστεί , διαθλαστεί και διαχυθεί από κτίρια , οχήματα ή δένδρα που περιβάλλουν το δέκτη και επομένως φθάνουν από διαφορετικά μονοπάτια (Multipath Propagation) (βλέπε σχήμα 1.1) . Τα κύματα αυτά , εξαιτίας των διαφορετικών εξασθενήσεων που έχουν υποστεί αλλά και των διαφορετικών δρόμων που έχουν ακολουθήσει , έχουν τυχαία πλάτη και τυχαίες φάσεις . Λόγω των τυχαίων φάσεων , καθώς ο δέκτης κινείται και επειδή το περιβάλλον γύρω του μεταβάλλεται , τα κύματα άλλες φορές προστίθενται και άλλες φορές αφαιρούνται με αποτέλεσμα το σήμα να υπόκειται σε διαλείψεις (fadings) .

Σχήμα 1. 1

### 1.2 Είδη Fading

Η περιβάλλουσα του ραδιοσήματος αποτελείται από ένα ταχείας διάλειψης σήμα (fast fading) , που υπερτίθεται σε ένα βραδείας διάλειψης

σήμα (slow fading) . Αυτά τα σήματα διαλείψεως είναι το αποτέλεσμα εμποδίων και ανακλάσεων και δίνουν ένα σήμα που είναι το άθροισμα του απευθείας σήματος (direct – line of sight) και διαφόρων ανακλώμενων σημάτων .

Το ταχείας διάλειψης σήμα προκύπτει όταν το κινητό μετακινείται ελάχιστα (10cm , 20cm κ.λ.π) και οφείλεται στο γεγονός ότι το λαμβανόμενο σήμα είναι η υπέρθεση πολλών κυμάτων (multipath propagation) που προέρχονται από διαφορετικές κατευθύνσεις και έχουν τυχαία πλάτη . Σε αυτήν την περίπτωση η στιγμιαία τιμή της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος μειώνεται δραματικά (30-40db) . Ονομάζεται fast fading διότι το λαμβανόμενο σήμα υφίσταται γρήγορες διακυμάνσεις . Αυτές οι γρήγορες μεταβολές του σήματος αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία με τους όρους fast fading , short-term fading ή multipath fading .

Το φαινόμενο της διακύμανσης του σήματος παρουσιάζει μια περιοδικότητα : οι ελάχιστες τιμές των βυθισμάτων του σήματος συμβαίνουν κατά μέσο όρο , κάθε  $0,5\lambda$  (όπου  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας) . Επειδή πρακτικά είναι αδύνατο να απομονώσουμε κάθε ένα «δρόμο» που ακολουθούν τα κύματα μέχρι να φτάσουν στο δέκτη είναι αναγκαίο να αναλύσουμε το σήμα στατιστικά . Η στατιστική ανάλυση του short-term fading είναι πολύπλοκη και σύμφωνα με το πιο διαδεδομένο μοντέλο , το σήμα ακολουθεί Rayleigh Distribution , με αποτέλεσμα οι όροι short-term fading και Rayleigh fading να είναι ταυτόσημοι στην διεθνή βιβλιογραφία .

Επιπλέον η ύπαρξη του multipath fading σχετίζεται με την εμφάνιση στο λαμβανόμενο σήμα των φαινομένων του delay spread και των επονομαζόμενων μετατοπίσεων κατά Doppler .

Το delay spread έχει να κάνει με την χρονική επέκταση ενός παλμού που στέλνεται από τον πομπό (Σ.Β) (βλέπε σχήμα 1.2) ως αποτέλεσμα των πολλαπλών διαδρομών διαφορετικού μήκους (συνεπώς και με διαφορετικούς χρόνους άφιξης στο δέκτη του κινητού) . Το φαινόμενο delay spread είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση που ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι υψηλός καθώς δημιουργείται η λεγόμενη ενδοσυμβολική παρεμβολή (Intersymbol Interference) , δηλαδή η αλληλοεπικάλυψη των διαφόρων παλμών στο πεδίο του χρόνου .

### Σχήμα 1. 2

Οι μετατοπίσεις κατά Doppler είναι αποτέλεσμα της κίνησης του δέκτη του κινητού και προκαλούν μετατόπιση συχνοτήτων στο φάσμα πυκνότητας ισχύος του λαμβανόμενου σήματος (βλέπε σχήμα 1.3) .Έτσι δημιουργείται κατά τυχαίο τρόπο μια διαμόρφωση συχνότητας που σχετίζεται με την ταχύτητα του κινητού και εξαρτάται από την συχνότητα εκπομπής .

### Σχήμα 1. 3

Μπορούμε να ταξινομήσουμε την γρήγορη διάλειαση σε επιπλέον κατηγορίες με βάση τα παραπάνω φαινόμενα του delay spread και του Doppler shift . Υπάρχουν δυο είδη fading που σχετίζονται με το delay spread . Αυτά είναι το flat fading και το frequency selective fading . Το λαμβανόμενο σήμα υφίσταται **flat fading** , όταν το ραδιο-κανάλι στο οποίο μεταδίδεται έχει σταθερό κέρδος και γραμμική φασική απόκριση σε ένα εύρος ζώνης μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης του εκπεμπόμενου σήματος . Υπό αυτές τις συνθήκες , το λαμβανόμενο σήμα παρουσιάζει διακυμάνσεις στο πλάτος του ως αποτέλεσμα των αλλαγών του κέρδους του καναλιού με τον χρόνο που προκαλείται από το multipath . Αντίθετα λέμε ότι ένα σήμα υφίσταται **frequency selective fading** όταν το ραδιο-κανάλι στο οποίο μεταδίδεται έχει σταθερό κέρδος και γραμμική φασική απόκριση σε ένα εύρος ζώνης μικρότερο από το εύρος ζώνης του εκπεμπόμενου σήματος . Σε αυτήν την περίπτωση , το λαμβανόμενο σήμα είναι παραμορφωμένο και διασκορπισμένο διότι αποτελείται από πολλά αντίγραφα του εκπεμπόμενου σήματος εξασθενημένα και με χρονική καθυστέρηση .

Όσον αφορά τις μετατοπίσεις Doppler , το fading διαχωρίζεται σε δυο κατηγορίες . Αυτές είναι το fast fading και το slow fading . Αν η μετατόπιση Doppler είναι ποσοτικά συγκρίσιμη με το εύρος ζώνης του εκπεμπόμενου σήματος , λέμε ότι το λαμβανόμενο σήμα υφίσταται **fast fading** . Αυτός ο τύπος fading συναντάται κυρίως στους χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων . Από την άλλη πλευρά , αν η μετατόπιση Doppler του καναλιού είναι πολύ μικρότερη από το εύρος ζώνης του σήματος , λέμε ότι το σήμα υφίσταται **slow fading** .

Σε συνδυασμό με το **short-term fading** που αναλύσαμε παραπάνω , υπάρχει επίσης μια δεύτερη πολύ πιο αργή μεταβολή του σήματος σαν αποτέλεσμα της σκιάς , των ανακλάσεων που οφείλονται στην μορφολογία του εδάφους και των διαφόρων εμποδίων διάδοσης κατασκευασμένων από τον άνθρωπο . Αυτές οι αργές μεταβολές (**slow fading**) συμβαίνουν όταν το κινητό διανύει μεγάλες αποστάσεις (100μ) και συχνά αναφέρονται σαν **location variability** ή **long-term fading** . Σε αντίθεση με το **short-term fading** του οποίου η κατανομή δεν είναι πάντοτε Rayleigh είναι γενικά αποδεκτό ότι αυτή η αργή συνιστώσα της διακύμανσης μπορεί να ακολουθήσει με ακρίβεια ένα μοντέλο που έχει κατανομή πιθανότητας log-normal . Αυτό σημαίνει ότι ο λογάριθμος της μέσης τιμής του σήματος μεταβάλλεται σύμφωνα με την κανονική (normal) κατανομή πιθανότητας (βλέπε σχήμα 1.4) .

Σχήμα 1. 4

### 1.3 Fading Models

Τα fading models (channels) είναι μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την επίδραση του μέσου διάδοσης πάνω στο εκπεμπόμενο σήμα . Αυτά είναι :

1) **Rayleigh** : Η κατανομή Rayleigh χρησιμοποιείται συχνά σε multipath fading μοντέλα **χωρίς LOS** , δηλαδή χωρίς απευθείας διαδρομή . Σε αυτή την περίπτωση το πλάτος του καναλιού διάλειτουργίας  $R$  είναι random variable με PDF (βλέπε σχήμα 1.5) :

$$f_R(\alpha, \Omega) = \frac{2\alpha}{\Omega} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{\Omega}\right), \quad \alpha \geq 0 \quad \text{όπου } \Omega = \mathbb{E}\{R^2\} = 2\sigma^2 \quad \text{δηλώνει τη}$$

μέση ισχύ της διαδρομής λήψης , που είναι το άθροισμα όλων των ανακλωμένων διαδρομών που φτάνουν με την ίδια καθυστέρηση . Επομένως το **στιγμιαίο SNR** ανά bit ,

$$\gamma_b = R^2 \frac{E_b}{N_0}$$

είναι τώρα μια **random variable** με PDF **chi-squared** που δίνεται από (σχήμα 1.6) :

$$p_{\gamma_b}(\gamma_b, \overline{\gamma_b}) = \frac{1}{\overline{\gamma_b}} \exp\left(-\frac{\gamma_b}{\overline{\gamma_b}}\right), \quad \gamma_b \geq 0$$

όπου

$$\overline{\gamma_b} = \frac{E_b}{N_0} \mathbb{E}\{R^2\} = \frac{E_b}{N_0} \Omega$$

δηλώνει το **μέσο (average) SNR** ανά bit για το κανάλι . Η κατανομή Rayleigh τυπικά συμφωνεί πολύ καλά με πειραματικές μετρήσεις σε κινητά κανάλια όπου δεν υπάρχει LOS διαδρομή ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη .



Σχήμα 1. 5

Σχήμα 1. 6

2) **Rice** : Η κατανομή Rice χρησιμοποιείται συχνά σε μοντέλα διαύλων που περιέχουν μια απεύθειας LOS διαδρομή και άλλες τυχαίες πιο αδύναμες διαδρομές . Το πλάτος της διάλειψης του καναλιού ακολουθεί την κατανομή :

$$p_R(a; \Omega, K) = \frac{2(1+K)e^{-K}a}{\Omega} \exp\left(-\frac{(1+K)a^2}{\Omega}\right) I_0\left(2Ka\sqrt{\frac{1+K}{\Omega}}\right), \quad a \geq 0$$

όπου  $K = \frac{\text{average direct power}}{\text{average scattered power}}$  είναι η παράμετρος Rice, η οποία παίρνει τιμές  $K \geq 0$ .

Το SNR ανά bit του καναλιού ,  $\gamma_b$  , είναι πάλι μια random variable με PDF :

$$p_{\gamma_b}(\gamma; \bar{\gamma}_b, K) = \frac{(1+K)e^{-K}}{\bar{\gamma}_b} \exp\left(-\frac{(1+K)\gamma}{\bar{\gamma}_b}\right) I_0\left(2K\sqrt{\frac{(1+K)\gamma}{\bar{\gamma}_b}}\right), \quad \gamma \geq 0$$

Η κατανομή Rice μεταβάλλεται από τη χειρότερη κατάσταση της Rayleigh , όταν  $K=0$  , μέχρι και καθόλου fading όταν  $K = \infty$  .

3) **Nakagami-m** : Η κατανομή Nakagami-m δίνεται από τη σχέση :

$$F_R(\alpha, \Omega, m) = \frac{2m^m \cdot \alpha^{2m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} \cdot \exp\left(-\frac{m\alpha^2}{\Omega}\right) , \quad \alpha \geq 0 \quad \text{όπου } \Gamma(m) \text{ είναι η}$$

συνάρτηση Gamma και m είναι η παράμετρος της Nakagami-m διάλειψης η οποία παίρνει τιμές από  $\frac{1}{2}$  έως  $\infty$  . Σε αυτή την περίπτωση το SNR ανά bit ,  $\gamma_b$  , κατανέμεται σύμφωνα με την κατανομή Gamma που δίνεται από τον τύπο :

$$P_{\gamma_b}(\gamma_b, m) = \frac{m^m \cdot \gamma_b^{m-1}}{\Gamma(m) \cdot \gamma_b^{m-1}} \exp\left(-\frac{m \cdot \gamma_b}{\gamma_b}\right) , \quad \gamma_b \geq 0$$

4) **Lognormal** : Το fading που συμβαίνει σε μεγάλες αποστάσεις προκαλεί τυχαίες διακυμάνσεις στη μέση ισχύ του σήματος . Έχει αποδειχθεί ότι οι διακυμάνσεις αυτές ακολουθούν την κανονική λογαριθμική κατανομή . Το εκπεμπόμενο σήμα υφίσταται πολλαπλές ανακλάσεις πριν φθάσει στο δέκτη . Τότε διαχωρίζεται σε έναν αριθμό διαδρομών οι οποίες συνδιάζονται στο δέκτη . Η κανονική λογαριθμική κατανομή δίνεται από τη σχέση :

$$f(r) = \frac{1}{r \cdot c \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln r - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) , \quad r \geq 0 \quad \text{όπου } \mu \text{ είναι η μέση τιμή του } \ln(r)$$

και  $\sigma^2$  είναι η απόκλιση του  $\ln(r)$  .

5) **Suzuki** : Αυτή η προσέγγιση που χρησιμοποιείται για να περιγράψει στατιστικά τις διακυμάνσεις του λαμβανομένου σήματος , συνδιάζει την **Rayleigh** και την **Lognormal** κατανομή σε ένα μοντέλο . Αυτή η κατανομή δίνεται από τον τύπο :

$$f(r) = \int_0^{\infty} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \frac{1}{\sigma \cdot \lambda \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln \sigma - \mu)^2}{2\lambda^2}\right) d\sigma \quad \text{όπου } \sigma \text{ είναι ο τρόπος}$$

ή η πιο πιθανή τιμή της Rayleigh κατανομής και  $\lambda$  είναι η σχηματική παράμετρος της lognormal κατανομής . Η παραπάνω εξίσωση είναι το ολοκλήρωμα της Rayleigh κατανομής για όλες τις πιθανές τιμές του  $\sigma$  . Ο σκοπός της είναι να μας παρέχει την μετάβαση από την τοπική στην παγκόσμια στατιστική .

Η κατανομή Nakagami-m διαθέτει μέσω της παραμέτρου  $m$  τη μεγαλύτερη ποικιλία στατιστικών διαλείψεων . Για παράδειγμα περιλαμβάνει τη μονόπλευρη Gaussian κατανομή για  $m=1/2$  και την κατανομή Rayleigh για  $m=1$  . Στο όριο όπου  $m \rightarrow +\infty$  , το κανάλι της Nakagami-m κατανομής τείνει προς ένα κανάλι χωρίς διαλείψεις . Τέλος όταν  $m > 1$  τότε προσεγγίζει ένα κανάλι με Rician κατανομή διάλειψης .

Το μοντέλο της multipath διάδοσης για το κανάλι το οποίο καταλήγει σε fading του σήματος , είναι πρωταρχικά ένα αποτέλεσμα των χρονικών μεταβολών των φάσεων των διαφόρων κυμάτων στην κεραία του δέκτη . Δηλαδή οι χρονικά μεταβαλλόμενες τυχαίες φάσεις που σχετίζονται με τα ανύσματα λήψης , συχνά καταλήγουν σε ανύσματα που προστίθενται με τρόπο **αναιρετικό** . Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο , το λαμβανόμενο σήμα που προκύπτει έχει μικρό πλάτος ή και πρακτικά μηδέν . Σε άλλες περιπτώσεις τα ανύσματα προστίθενται με τρόπο **ενισχυτικό** και έτσι το λαμβανόμενο σήμα είναι μεγάλο . Έτσι οι μεταβολές του πλάτους στο λαμβανόμενο σήμα αποτελούν το fading του σήματος και οφείλονται στα χρονικά μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά του multipath του καναλιού .

Όταν η απόκριση του καναλιού μοντελοποιείται ως μια μιγαδική Gaussian διαδικασία με μηδενική μέση τιμή , η περιβάλλουσα σε κάθε χρονική στιγμή ακολουθεί κατανομή Rayleigh . Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε ένα κανάλι με **Rayleigh fading** . Στην περίπτωση που υπάρχουν ακίνητοι σκεδαστές ή ανακλαστές του σήματος στο κανάλι , δηλαδή μια **Line of Sight (LOS)** διαδρομή , εκτός από τους τυχαία κινούμενους σκεδαστές , η απόκριση του καναλιού δεν μπορεί πλέον να μοντελοποιηθεί έχοντας μηδενική μέση τιμή . Σε αυτήν την περίπτωση η περιβάλλουσα ακολουθεί κατανομή Rice και έχουμε ένα κανάλι με **Rice fading** .

Κατά την μελέτη ασύρματων επικοινωνιών (wireless communications) χρησιμοποιούμε συνήθως τη στατιστική της περιβάλλουσας που ακολουθεί κατανομή Rayleigh , διότι το μοντέλο προσεγγίζει αρκετά τις πραγματικές συνθήκες μετάδοσης σε κυψελλωτά συστήματα .

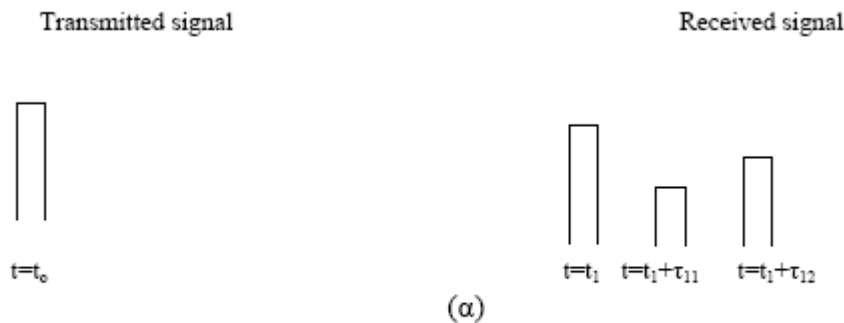
## 1.4 Multipath diversity and Antenna diversity

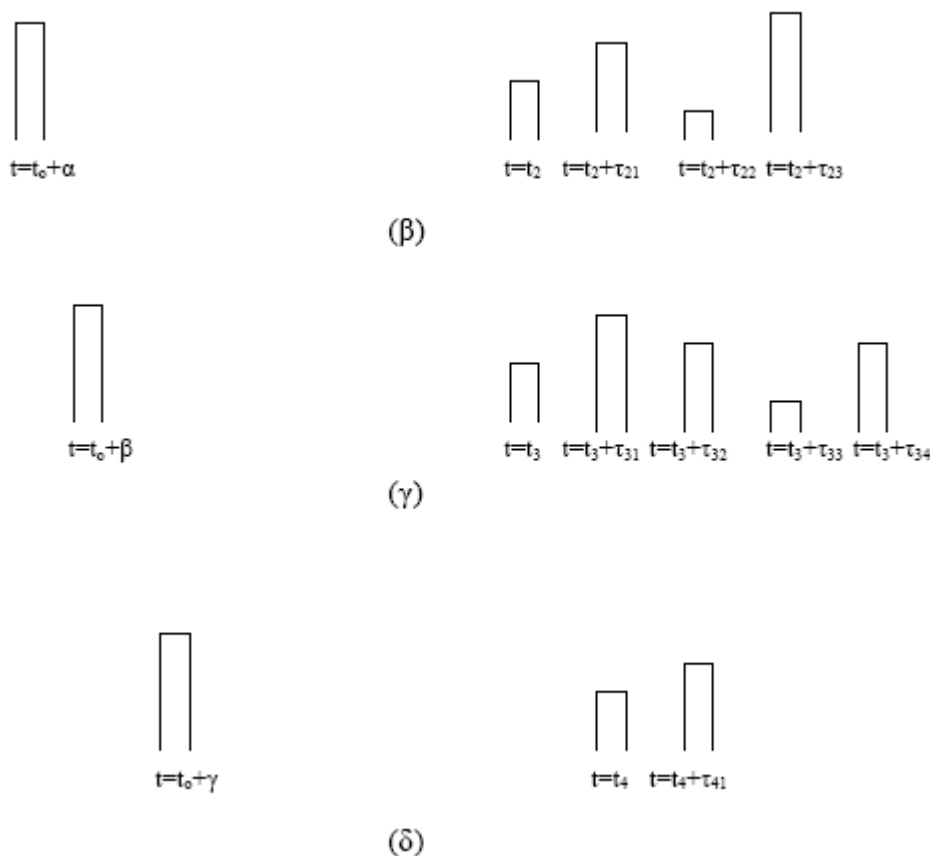
Το multipath fading παρουσιάζεται εξαιτίας του συνδιασμού των καθυστερημένων , ανακλωμένων , διαθλωμένων και σκεδασμένων αντιγράφων του ίδιου σήματος . Ανάλογα με τη φύση του περιβάλλοντος χώρου της μετάδοσης , υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα που περιγράφουν τη στατιστική συμπεριφορά της εξασθένισης . Επιπλέον , αν εκπέμπουμε έναν **εξαιρετικά στενό παλμό** (σήμα ευρέως φάσματος ή wideband) μέσα σε ένα χρονικά μεταβαλλόμενο κανάλι πολλαπλών διαδρομών (multipath channel) , το λαμβανόμενο σήμα στον δέκτη θα εμφανίζεται ως μια **διακριτή** ακολουθία παλμών , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.7 . Συνεπώς ένα επιπλέον χαρακτηριστικό του multipath μέσου μετάδοσης είναι η χρονική διασπορά που εμφανίζει το σήμα λήψης κατά τη μετάδοσή του στο κανάλι .

Ένα τρίτο χαρακτηριστικό που εμφανίζουν τα ασύρματα κανάλια , είναι οι χρονικές μεταβολές του μέσου διάδοσης . Λόγω αυτών των χρονικών

μεταβολών τα multipath μεταβάλλονται με το χρόνο . Δηλαδή εάν επαναλάβουμε το πείραμα της εκπομπής ενός παλμού , θα παρατηρήσουμε κάποιες αλλαγές στην ακολουθία των λαμβανομένων παλμών , η οποία θα περιλαμβάνει **αλλαγές στα πλάτη των παλμών λήψης , αλλαγές στις σχετικές καθυστερήσεις ανάμεσα στους πολλαπλούς παλμούς και αρκετά συχνά αλλαγές στο πλήθος των παλμών που αποτελούν την ακολουθία των παλμών λήψης , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.7 .**

Επομένως , παρατηρούμε ότι υπάρχουν διάφορες διαδρομές διάδοσης . Για κάθε διαδρομή (κανάλι) υπάρχει μια καθυστέρηση διάδοσης αλλά **και ένας συντελεστής εξασθένησης (λόγω του ότι μια διακριτή διαδρομή στην πραγματικότητα είναι το άθροισμα πολλών ταυτόχρονων συνιστωσών) .** Οι καθυστερήσεις στη διάδοση αλλά και οι συντελεστές εξασθένησης είναι χρονικά μεταβαλλόμενοι ως αποτέλεσμα των αλλαγών στη δομή του μέσου .





**Σχήμα 1.7 Απόκριση ενός χρονικά μεταβαλλόμενου καναλιού με διαλείψεις σε ένα πολύ στενό (wideband) παλμό εκπομπής .**

Τα διάφορα **διακριτά** αντίγραφα του καναλιού που φτάνουν στο δέκτη , αν χωριστούν μεταξύ τους , όπως γίνεται στα δίκτυα CDMA με τη χρήση τεχνικών spread spectrum , μπορούν να αποδιαμορφωθούν ανεξάρτητα και να συνδιαστούν κατάλληλα κατά την ανίχνευση του σήματος εκπομπής . Αυτό παρατηρείται σε wideband συστήματα μετάδοσης , όπως για παράδειγμα ο πολύ στενός παλμός του σχήματος 1.7 , με τα οποία μπορούμε να πάρουμε από το κινητό κανάλι **πολλαπλά διαχωρίσιμα μεταξύ τους αντίγραφα** του σήματος εκπομπής .

Σε narrowband συστήματα , συνήθως έχουμε flat fading , δηλαδή **μόνο μια διαδρομή λήψης** του σήματος που έχει συνήθως Rayleigh fading . Παρόλα αυτά , το ίδιο αποτέλεσμα , δηλαδή η ύπαρξη **πολλαπλών αντιγράφων** του σήματος εκπομπής , με το καθένα να έχει υποστεί ανεξάρτητο fading στο δέκτη , προκύπτει αν χρησιμοποιήσουμε **antenna**

**diversity** δέκτη . Σε αυτή την περίπτωση ο αριθμός των σημάτων λήψης είναι σταθερός και ίσος με τον αριθμό των κεραιών λήψης . Σε narrowband συστήματα , η τεχνική της **antenna diversity** χρησιμοποιείται ευρέως διότι η πιθανότητα ότι όλα τα σήματα λήψης είναι σε fade (μεγάλη εξασθένηση σήματος) ταυτόχρονα μικραίνει δραστικά με τον αριθμό των κεραιών στο δέκτη .

Τέλος υπάρχουν και οι τεχνικές συνδιασμού **antenna diversity με wideband spread spectrum συστήματα** οπότε έχουμε μεγαλύτερο συνδιασμό αντιγράφων κατά τη διαδικασία της ανίχνευσης του σήματος εκπομπής , διότι σε κάθε κεραία μπορούν να συνδιαστούν πολλαπλά διακριτά αντίγραφα του σήματος , τα οποία έχουν υποστεί ανεξάρτητο fading μεταξύ τους .

**Σχήμα 1.8 Μοντέλο Multipath Καναλιού Wideband συστήματος αλλά και μοντέλο δέκτη με antenna diversity**

## **1.5 Rayleigh Fade Tests , Simulators and Measurements**

Οι προσομοιωτές κινητών ραδιο-καναλιών είναι απαραίτητοι για επαναλαμβανόμενους ελέγχους συστημάτων στην ανάπτυξη , την σχεδίαση ή στον εργαστηριακό έλεγχο . Σε αυτήν την ενότητα θα περιγράψουμε τα βασικά διαγράμματα και τις απαιτήσεις για την χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών simulators με σκοπό την δημιουργία και μέτρηση Rayleigh fading .

Στο σχήμα 1.9 απεικονίζεται το block διάγραμμα ενός κυκλώματος Rayleigh field-propagation test environment . Ο ενισχυτής LNA παράγει

Gaussian θόρυβο . Γι αυτό το λόγο αναγράφεται κάτω από τον LNA (AWGN) δηλαδή additive white Gaussian noise . Ο **oscillator down** μετατρέπει το λαμβανόμενο ραδιοσήμα σε μια βολική ενδιάμεση συχνότητα (IF) . Η έξοδος του αποδιαμορφωτή περιέχει την επιθυμητή πληροφορία του σήματος ή αλλιώς “data out” .

Σχήμα 1.9

Για να έχουμε επαναλήψιμες μετρήσεις και ελέγχους σε εργαστηριακό περιβάλλον θα πρέπει οι κεραιές του πομπού και του δέκτη να μην είναι συνδεδεμένες . Το ενισχυμένο εκπεμπόμενο σήμα (Tx) υπόκειται σε εξασθένιση της τάξεως των 40 με 120 dB . Αυτός ο μεταβλητός εξασθενιτής προσομειώνει κατά μέσο όρο τις απώλειες διάδοσης και παρέχει τα κατάλληλα επίπεδα σήματος στην είσοδο του LNA . Σε ορισμένες περιπτώσεις ο θόρυβος που αναπαράγεται στην αρχή και στο τέλος του δέκτη δεν είναι επαρκής . Τότε επιπλέον AWGN μπορεί να προστεθεί στην βαθμίδα IF , όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.10 , ή στην βαθμίδα RF .

Σχήμα 1.10 Laboratory tests with a “hardwired RF connection” and AWGN

Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.11 , το εκπεμπόμενο RF σήμα συνδέεται μέσω ενός Rayleigh hardware simulator που είναι γνωστός ως «όργανο ελέγχου» . Το διαμορφωμένο εκπεμπόμενο σήμα “RF In” οδηγείται σε πολλαπλασιαστές με ολίσθηση 90 μοιρών . Τα baseband “BB control”



σήματα πολλαπλασιάζουν το «RF In» και το ολισθημένο κατά 90 μοίρες RF In σήμα με δύο ανεξάρτητα Gaussian-bandlimited σήματα , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.12 . Το δεύτερο ζωνοπερατό φίλτρο (BPF2) προστατεύει τον αποδιαμορφωτή από υπερβολικό εύρος ζώνης θορύβου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το φίλτρο που ρυθμίζει το εύρος ζώνης του θορύβου . Στην αρχή του σχήματος 1.11 προσομειώνεται πολλαπλασιαστική διάλειαση Rayleigh και επιπρόσθετος AWGN .

**Σχήμα 1.11 Laboratory RF tests with Rayleigh simulator and AWGN .**

**Σχήμα 1.12 Rayleigh Fade Simulator**

## **1.6 Μελέτη fading μέσω εξομοίωσης**

Ένας ακόμα πιο σύγχρονος τρόπος μελέτης και ανάλυσης του φαινομένου fading επιτυγχάνεται μέσα από την εξομοίωση ενός κινητού καναλιού επικοινωνιών .

Οι ειδικοί στην εξομοίωση ραδιο-καναλιών χρησιμοποιούν αρκετά μοντέλα . Δυο από αυτά είναι πρώτον το απλοποιημένο τριων διαδρομών (path) μοντέλο και το τριων ακτίνων διασκορπισμένο μοντέλο . Ένας

εξομοιωτής ραδιοκαναλιών θα πρέπει να είναι ικανός να προσαρμόζεται στα προαναφερθέντα μοντέλα καθώς και σε ένα πλήθος άλλων .

Ο εξομοιωτής μπορεί να δημιουργήσει ένα σήμα που ακολουθεί Rician κατανομή με δυο τρόπους . Μια μέθοδος είναι να χρησιμοποιήσει μια ενεργή διαδρομή ορισμένη με το μοντέλο Rician .

Οι RF εξομοιωτές υποστηρίζουν προγραμματιζόμενη line of sight άφιξη και k-factor γωνίες . Το k-factor είναι η σχέση ανάμεσα στις στάθμες ισχύος της απευθείας συνιστώσας (direct path) και των multipath συνιστωσών στη Rician διάλειαση .

Ένας εναλλακτικός τρόπος εξομοίωσης της διάδοσης του σήματος γίνεται σύμφωνα με τη διάλειαση Nakagami . Το κύριο χαρακτηριστικό της Nakagami διάλειασης είναι δυο ρυθμιζόμενες παράμετροι : η γωνία άφιξης της απευθείας διαδρομής και η τιμή M . Η τιμή M είναι ο λόγος της απευθείας συνιστώσας του σήματος προς τις multipath συνιστώσες . Παρέχει με αυτόν τον τρόπο ένα μέτρο συσχέτισης του πόσο «απευθείας» είναι οι λαμβανόμενες διαδρομές .

Για να προσομοιώσει την Nakagami διάλειαση ένας εξομοιωτής θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να αλλάξει τη θέση της απευθείας συνιστώσας σε σχέση με τις multipath συνιστώσες , ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στην προγραμματιζόμενη γωνία άφιξης . Αυτό επιτυγχάνεται βαθμονομώντας την στατική ολίσθηση Doppler της απευθείας συνιστώσας κατάλληλα .

Τέλος για να είναι αποδοτικός ένας εξομοιωτής διαλείψεων , θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει συνδιασμούς των χαρακτηριστικών ενός ραδιοκαναλιού .

Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 παρουσιάζουμε το μοντέλο ενός RF Channel Emulator όπως επίσης και το data sheet .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : SIMULATION

### 2.1 Δημιουργία Rayleigh Fading

Έστω ότι το σήμα εκπομπής , το οποίο στην περίπτωση που εξετάζουμε είναι ένα απλό ημιτονοειδές σήμα με συχνότητα  $\omega_c$  , φθάνει

στον δέκτη μέσω ενός αριθμού διαδρομών (paths) . Θεωρούμε ότι δεν υπάρχει απευθείας διαδρομή (LOS) οπότε το λαμβανόμενο σήμα θα είναι της μορφής :

$$s(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot \cos(\omega_c \cdot t + \phi_i) \quad (1)$$

όπου

$a_i$  είναι το πλάτος της  $i$ -th multipath συνιστώσας

$\phi_i$  είναι η φάση της  $i$ -th multipath συνιστώσας

$N$  είναι ο αριθμός των διαδρομών (paths)

Η φάση  $\phi_i$  εξαρτάται από τα μήκη των διαδρομών που διανύει το εκπεμπόμενο σήμα και μεταβάλλεται κατά  $2\pi$  όταν το μήκος της διαδρομής αλλάζει κατά ένα μήκος κύματος . Επίσης οι φάσεις έχουν ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα  $[0, 2\pi]$  .

Θεωρούμε ότι οι  $N$  συνιστώσες φτάνουν σχεδόν ταυτόχρονα , οπότε αυτό που παρατηρείται στο δέκτη είναι μόνο το συνισταμένο σήμα . Οι όροι  $a_i$  και  $\phi_i$  είναι τυχαίες μεταβλητές (random variables) . Στην περίπτωση που ο δέκτης κινείται η εξίσωση (1) θα γίνει :

$$s(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot \cos(\omega_c \cdot t + \omega_{di} \cdot t + \phi_i) \quad (2)$$

όπου

$$\omega_{di} = \frac{\omega_c \cdot u}{c} \cdot \cos\psi_i \quad \text{είναι η ολίσθηση Doppler}$$

όπου

$u$  είναι η ταχύτητα του κινητού σε m/s

$c$  είναι η ταχύτητα του φωτός  $3 \cdot 10^8$  m/s

$\psi_i$  είναι η γωνία που σχηματίζει το λαμβανόμενο σήμα με την κατεύθυνση της κίνησης της κεραίας του κινητού . Οι γωνίες  $\psi_i$  είναι ομοιόμορφα κατανομημένες στο διάστημα  $[0, 2\pi]$  .

Η παραπάνω έκφραση μπορεί να αναλυθεί στις δύο ορθογώνιες συνιστώσες (cos, sin) του φέροντος:

$$s(t) = \left\{ \left( \sum_{i=1}^N a_i \cdot \cos(\omega_{di} + \phi_i) \right) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t) - \left( \sum_{i=1}^N a_i \cdot \sin(\omega_{di} + \phi_i) \right) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t) \right\} \quad (3)$$

Αν εισάγουμε δυο τυχαίες διαδικασίες  $X_1(t)$  και  $X_2(t)$  μπορούμε να γράψουμε :

$$s(t) = (X_1(t) \cos(2\pi f_c t) - X_2(t) \sin(2\pi f_c t)) \quad (4)$$

Αν το  $N$  είναι αρκετά μεγάλο (μεγάλος αριθμός από scattered waves είναι παρόντα) και χρησιμοποιώντας το Central Limit Theorem , μπορούμε να προσεγγίσουμε τα  $X_1(t)$  και  $X_2(t)$  με Gaussian random variables με μηδενική μέση τιμή και απόκλιση  $\sigma^2$  .

Το μέτρο  $R(t)$  και η φάση  $\phi(t)$  του λαμβανόμενου σήματος δίνονται ως :

$$R(t) = \sqrt{X_1(t)^2 + X_2(t)^2} \quad (5)$$

$$\phi(t) = \tan^{-1}\left(\frac{X_2(t)}{X_1(t)}\right) \quad (6)$$

Αφού οι  $X_1(t)$  και  $X_2(t)$  είναι Gaussian random variables με μηδενική μέση τιμή, μπορεί ναδειχτεί ότι το  $R(t)$  είναι Rayleigh Distributed Random Variable με PDF :

$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad r \geq 0 \quad \text{όπου } \sigma^2 = \frac{E[r^2]}{2}, \quad \text{όπου } E[r^2] = 2\sigma^2 \text{ δηλώνει τη}$$

μέση ισχύ της διαδρομής λήψης που είναι το άθροισμα όλων των ανακλώμενων διαδρομών που φτάνουν με την ίδια καθυστέρηση .

## 2.2 Δημιουργία Rician Fading

Η Rician κατανομή παρατηρείται όταν υπάρχει μια απευθείας συνιστώσα (LOS), ανάμεσα στον εκπομπό και τον δέκτη, που προστίθεται στις multipath συνιστώσες. Με την παρουσία της απευθείας διαδρομής το εκπεμπόμενο σήμα που περιγράψαμε προηγουμένως στην εξίσωση (2) μπορεί να γραφεί ως :

$$s(t) = \sum_{i=1}^{N-1} a_i \cdot \cos(\omega_c \cdot t + \omega_{di} \cdot t + \phi_i) + k_d \cdot \cos(\omega_c \cdot t + \omega_d \cdot t) \quad (7)$$

όπου η σταθερά  $k_d$  είναι η δύναμη της απευθείας συνιστώσας,  $\omega_d$  είναι η ολίσθηση Doppler για την απευθείας διαδρομή και  $\omega_{di}$  είναι οι ολισθήσεις Doppler για τις multipath διαδρομές οι οποίες δίνονται από την εξίσωση :

$$\omega_{di} = \frac{\omega_c \cdot u}{c} \cdot \cos \psi_i$$

Το μέτρο σε αυτήν την περίπτωση έχει Rician pdf η οποία δίνεται από την εξίσωση :

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot \exp\left\{-\frac{r^2 + k_d^2}{2\sigma^2}\right\} \cdot I_0\left(\frac{r \cdot k_d}{\sigma^2}\right), \quad r \geq 0 \quad (8)$$

όπου  $I_0(\cdot)$  είναι μηδενικής τάξης συνάρτηση Bessel του πρώτου βαθμού

Η cumulative distribution function (cdf) της τυχαίας Rician μεταβλητής δίνεται από την εξίσωση :

$$F(r) = 1 - Q\left(\frac{k_d}{\sigma}, \frac{r}{\sigma}\right), \quad r \geq 0 \quad (9)$$

όπου  $Q(\cdot, \cdot)$  είναι η συνάρτηση Q του Marcum. Η Rician κατανομή συχνά περιγράφεται με τον όρο K, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος του απευθείας σήματος προς την ισχύ των multipath σημάτων. Το K συνήθως εκφράζεται σε decibels και δίνεται από τη σχέση :

$$K(\text{db}) = 10 \log_{10} \left( \frac{k_d^2}{2\sigma^2} \right) \quad (10)$$

Στην εξίσωση (10) αν το  $k_d$  γίνει μηδέν τότε το απευθείας σήμα χάνεται και η κατανομή του μέτρου γίνεται Rayleigh με  $K(\text{dB}) = -\infty$ .

### 2.3 Δημιουργία Rayleigh and Rician Flat Fading στο Matlab

Σε αυτή την ενότητα θα προσομοιώσουμε ένα multipath faded signal χρησιμοποιώντας το Matlab (με βάση την προηγούμενη ανάλυση) με σκοπό να κατανοήσουμε τη σχέση του αριθμού των **paths** και της **ολίσθησης Doppler** με το λαμβανόμενο σήμα. Τα βήματα που ακολουθήσαμε για αυτή την προσομείωση είναι :



Αρχικά η συχνότητα φέροντος ( $f_c$ ) που χρησιμοποιήσαμε είναι 900 MHz και στη συνέχεια 1800 MHz . Ο αριθμός (N) των διαδρομών (paths) που χρησιμοποιήσαμε κυμαίνεται από 4 έως 40 . Για κάθε τιμή του N η εξομείωση πραγματοποιήθηκε αρκετές φορές με σκοπό να έχουμε μια στατιστική εικόνα των αποτελεσμάτων . Η ταχύτητα  $v$  του κινητού κυμαίνεται από 0 έως  $25\text{ m/s}$  έτσι ώστε να μπορούμε να αντιληφθούμε την επίδραση της ταχύτητας στην εξασθένιση του σήματος . Για να εκφράσουμε το **Rayleigh faded signal** χρησιμοποιήσαμε την εξίσωση (2) , ενώ για το **Rician faded signal** χρησιμοποιήσαμε την εξίσωση (7) . Τα πλάτη  $a_i$  τα επιλέξαμε να είναι Weibull-distributed random variables και τα δημιουργήσαμε με την εντολή weibrnd από το Statistics Toolbox . Οι φάσεις  $\phi_i$  έχουν ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα  $[0,2\pi]$  και τις δημιουργήσαμε με την εντολή unifrnd από το Statistics Toolbox . Για να αποδιαμορφώσουμε το σήμα και να υπολογίσουμε τις ορθογώνιες συνιστώσες χρησιμοποιήσαμε την εντολή demod . Τέλος υπολογίσαμε το μέτρο R του λαμβανόμενου σήματος από την εξίσωση (5) . Ο κώδικας που δημιουργήσαμε υπάρχει στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 .

Παρακάτω παρουσιάζουμε τις κυματομορφές της προσομοίωσης που εκτελέσαμε , για τις διάφορες τιμές των παραμέτρων .

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=4$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=4$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=4$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=4$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=8$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=8$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=8$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=8$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=12$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=12$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=12$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=12$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=16$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=16$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=16$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=16$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=20$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=20$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=20$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=20$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=24$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=24$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=24$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=24$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=28$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=28$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=28$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=28$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=32$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=32$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=32$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=32$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=36$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=36$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=36$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=36$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=40$  και  $f = 900\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=40$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=40$  και  $f = 900\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=40$  και  $f = 900\text{MHz}$



Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=4$  και  $f = 900$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=4$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=4$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=4$  και  $f = 900$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=8$  και  $f = 900$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=8$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=8$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=8$  και  $f = 900$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=12$  και  $f = 900$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=12$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=12$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=12$  και  $f = 900$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 900$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 900$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=20$  και  $f = 900$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=20$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=20$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=20$  και  $f = 900$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=24$  και  $f = 900$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=24$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=24$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=24$  και  $f = 900$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 900$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 900$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=32$  και  $f = 900$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=32$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=32$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=32$  και  $f = 900$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=36$  και  $f = 900$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=36$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=36$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=36$  και  $f = 900$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=40$  και  $f = 900$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=40$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=40$  και  $f = 900$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=40$  και  $f = 900$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=4$  και  $f = 1800$ MHz

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=4$  και  $f = 1800$ MHz



Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=4$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=4$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=8$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=8$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=8$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=8$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=12$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=12$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=12$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=12$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=16$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=16$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=16$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal  $\gamma \alpha V=0$  ,  $N=16$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rayleigh faded signal  $\gamma \alpha V=0$  ,  $N=20$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rician faded signal  $\gamma \alpha V=0$  ,  $N=20$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal  $\gamma \alpha V=0$  ,  $N=20$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal  $\gamma \alpha V=0$  ,  $N=20$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rayleigh faded signal  $\gamma \alpha V=0$  ,  $N=24$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rician faded signal  $\gamma \alpha V=0$  ,  $N=24$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal  $\gamma_{\alpha} V=0$  ,  $N=24$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal  $\gamma_{\alpha} V=0$  ,  $N=24$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rayleigh faded signal  $\gamma_{\alpha} V=0$  ,  $N=28$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rician faded signal  $\gamma_{\alpha} V=0$  ,  $N=28$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal  $\gamma_{\alpha} V=0$  ,  $N=28$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal  $\gamma_{\alpha} V=0$  ,  $N=28$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rayleigh faded signal  $\gamma_{\alpha} V=0$  ,  $N=32$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=32$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=32$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=32$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=36$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=36$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=36$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=36$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=40$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=40$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=0$  ,  $N=40$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rician faded signal για  $V=0$  ,  $N=40$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=4$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=4$  και  $f = 1800\text{MHz}$

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=4$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=4$  και  $f = 1800$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=8$  και  $f = 1800$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=8$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=8$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=8$  και  $f = 1800$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=12$  και  $f = 1800$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=12$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=12$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=12$  και  $f = 1800$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 1800$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 1800$ MHz



Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 1800$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=20$  και  $f = 1800$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=20$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=20$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=20$  και  $f = 1800$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=24$  και  $f = 1800$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=24$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=24$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=24$  και  $f = 1800$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 1800$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 1800$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=32$  και  $f = 1800$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=32$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=32$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=32$  και  $f = 1800$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=36$  και  $f = 1800$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=36$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=36$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=36$  και  $f = 1800$ MHz

Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=40$  και  $f = 1800$ MHz

Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=40$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rayleigh faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=40$  και  $f = 1800$ MHz

Envelope of a Rician faded signal για  $V=25$  m/s ,  $N=40$  και  $f = 1800$ MHz

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

**1) Από τις παραπάνω κυματομορφές παρατηρούμε ότι το πλάτος του λαμβανομένου σήματος είναι δυνατόν να πέσει κάτω από τη μέση τιμή του που παριστάνεται με την διακεκομμένη γραμμή .**

**2) Μεταβάλλοντας τον αριθμό των διαδρομών  $N$  , διαπιστώνουμε ότι το μέτρο του εξασθενημένου σήματος χωρίς**

την παρουσία μιας απευθείας συνιστώσας LOS ακολουθεί Rayleigh κατανομή μόνο για 6 διαδρομές του σήματος .

3) Η διακύμανση στο μέτρο του σήματος στην περίπτωση της Rayleigh εξασθένισης είναι πιο συχνή από ότι στην Rician .

4) Παρατηρούμε ότι στις περιπτώσεις όπου η ταχύτητα του κινητού είναι 25 m/s , το μέτρο του σήματος πέφτει κάτω από το κατώφλι (διακεκομένη γραμμή) πιο συχνά από ότι στην περίπτωση κατά την οποία το κινητό δεν κινείται .

## 2.4 Προσομοίωση για υπολογισμό του Outage Probability

Εδώ υπολογίσαμε την **outage probability** του Rayleigh-faded signal και του Rician-faded signal αναλυτικά με βάση τη θεωρία αλλά και πειραματικά μέσα από την προσομοίωση που εκτελέσαμε . Με τον όρο outage probability εννοούμε την πιθανότητα να «πέσει» το λαμβανόμενο σήμα κάτω από μια ορισμένη στάθμη κατωφλίου . Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για να υπολογίσουμε την outage probability είναι η εξής :

1) Υπολογίσαμε την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος από την εξίσωση  $p(t) = I^2(t) + Q^2(t)$

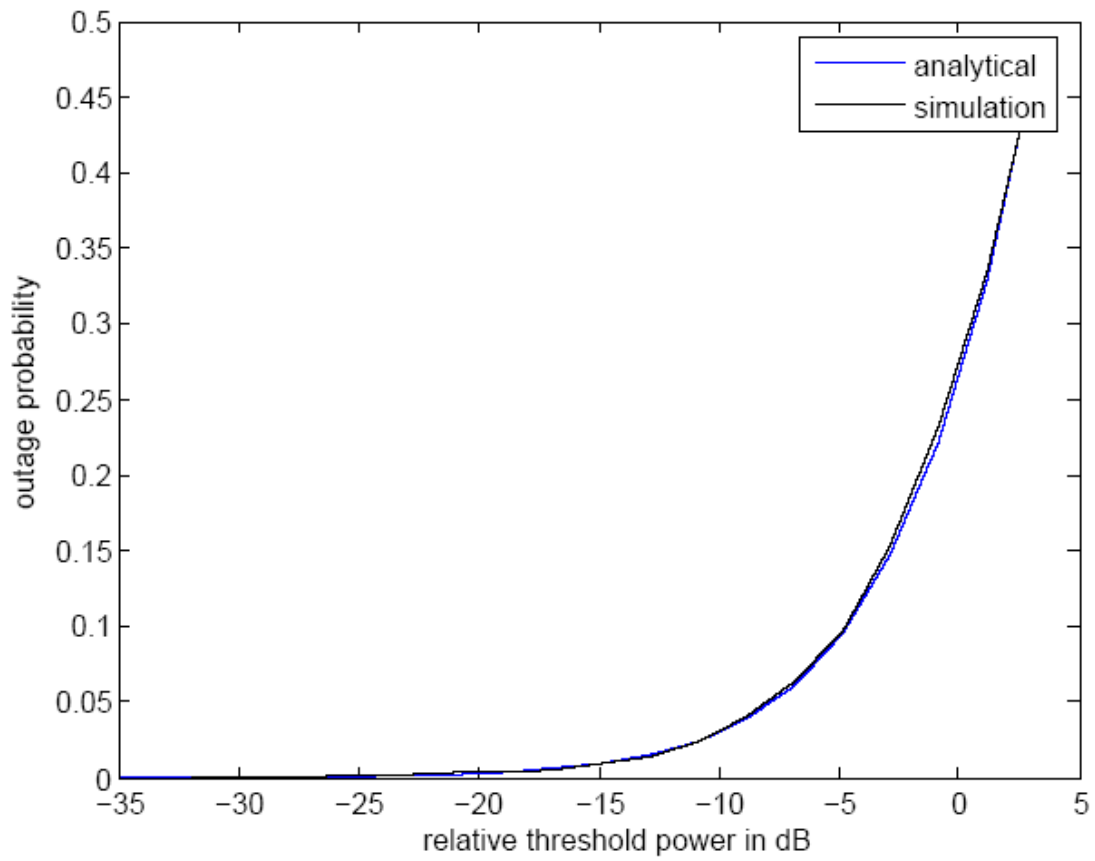
2) Ορίσαμε ένα κατώφλι ισχύος για το λαμβανόμενο σήμα σε σχέση με τη μέση τιμή της ισχύος του σήματος .

3) Μετρήσαμε τις φορές κατά τις οποίες η ισχύς του λαμβανομένου σήματος έχει τιμή μικρότερη από το κατώφλι

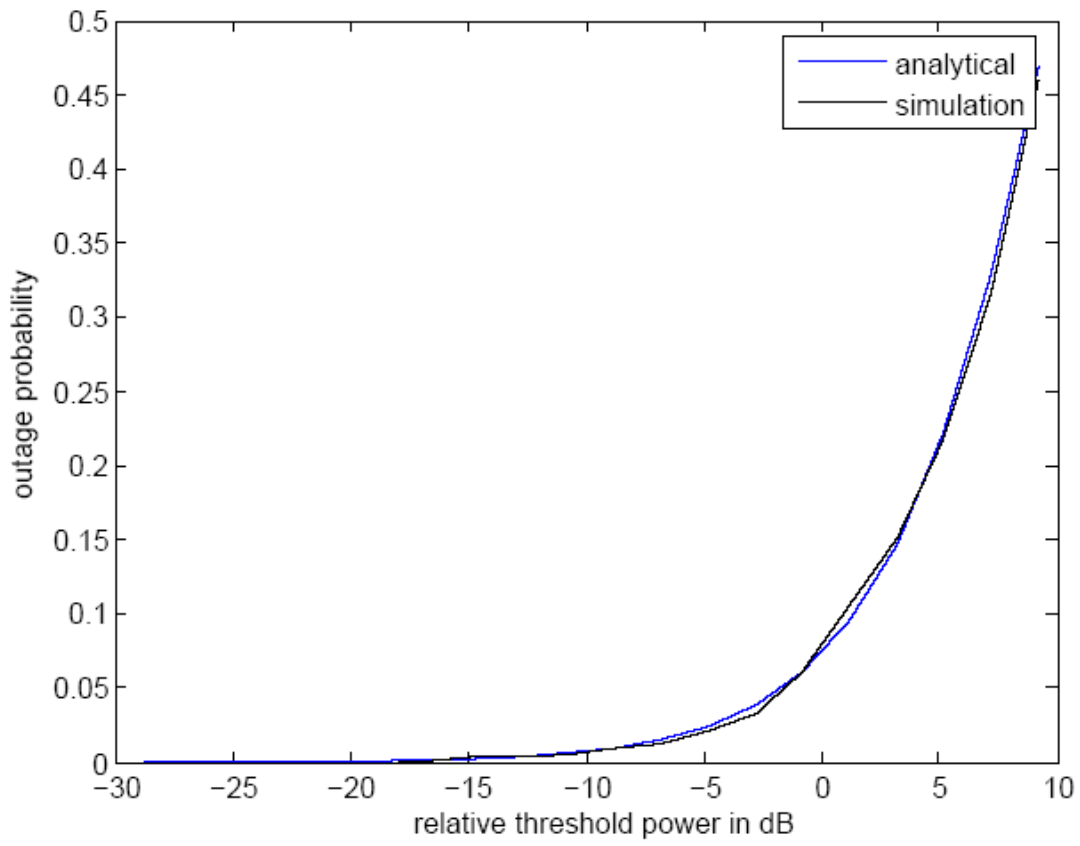
4) Υπολογίσαμε το outage probability χρησιμοποιώντας τη βασική ιδέα της πιθανότητας , παίρνοντας το λόγο των μετρήσεων του βήματος 3) προς τον ολικό αριθμό των δειγμάτων .

Ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε υπάρχει στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 .  
Παρακάτω παρουσιάζουμε τις κυματομορφές προσομοίωσης υπολογισμού του **outage probability** για τιμές του  $N$  που κυμαίνονται από 4 έως 40 και ταχύτητες 0 και 25 m/s .

Rayleigh Outage probability για  $V=0$  ,  $N=4$  και  $f = 900$  MHz

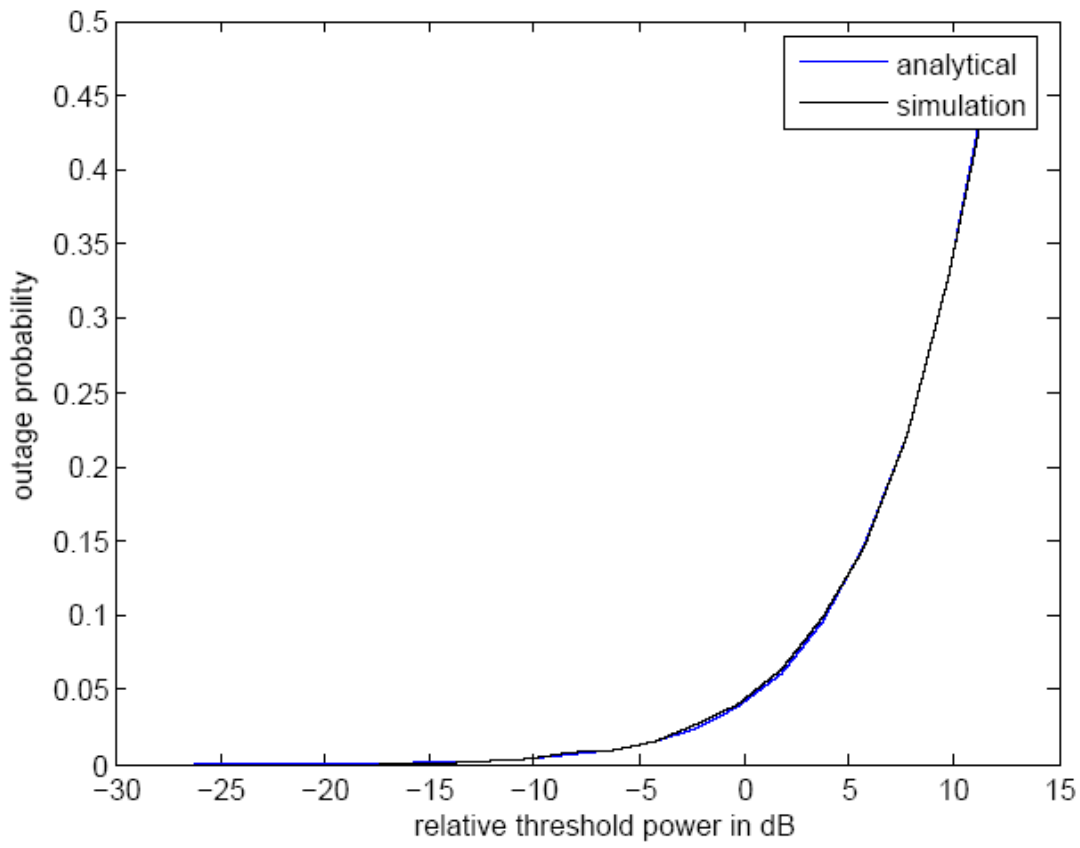


Rayleigh Outage probability  $\gamma \alpha V=0$  ,  $N=16$  και  $f = 900$  MHz

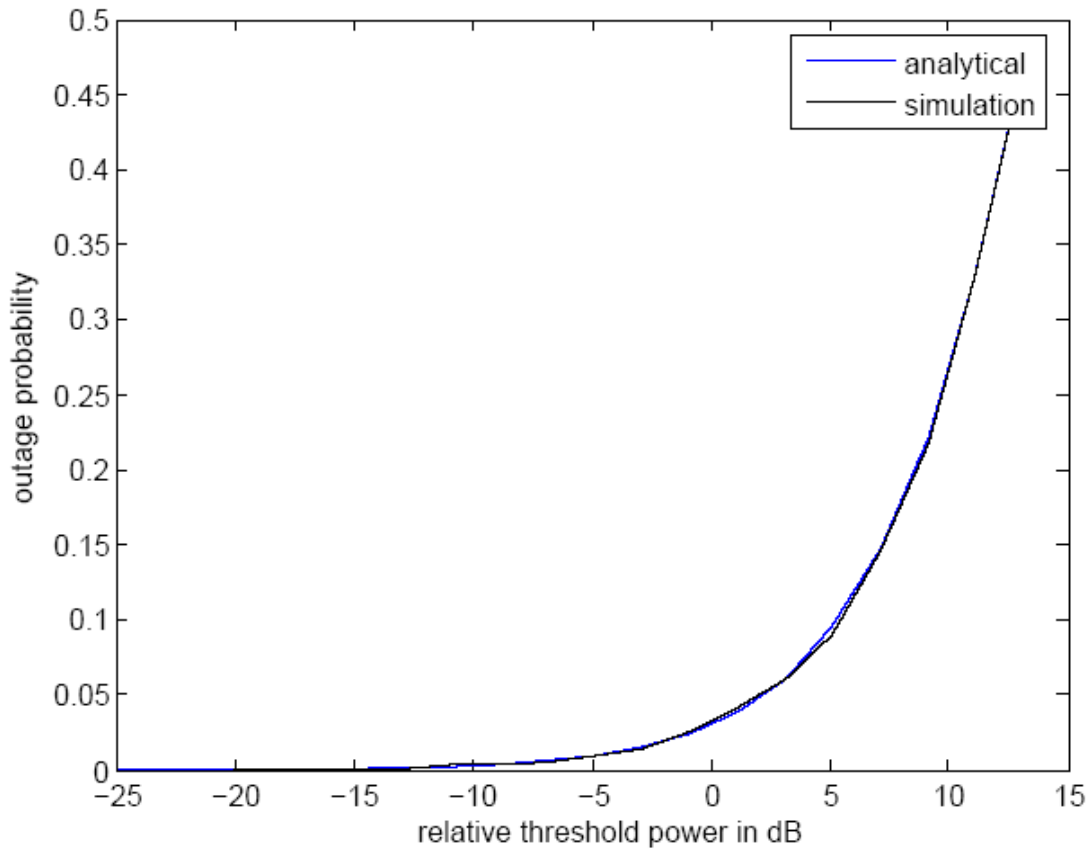


Rayleigh Outage probability  $\gamma \alpha V=0$  ,  $N=28$   $\kappa \alpha f = 900$  MHz

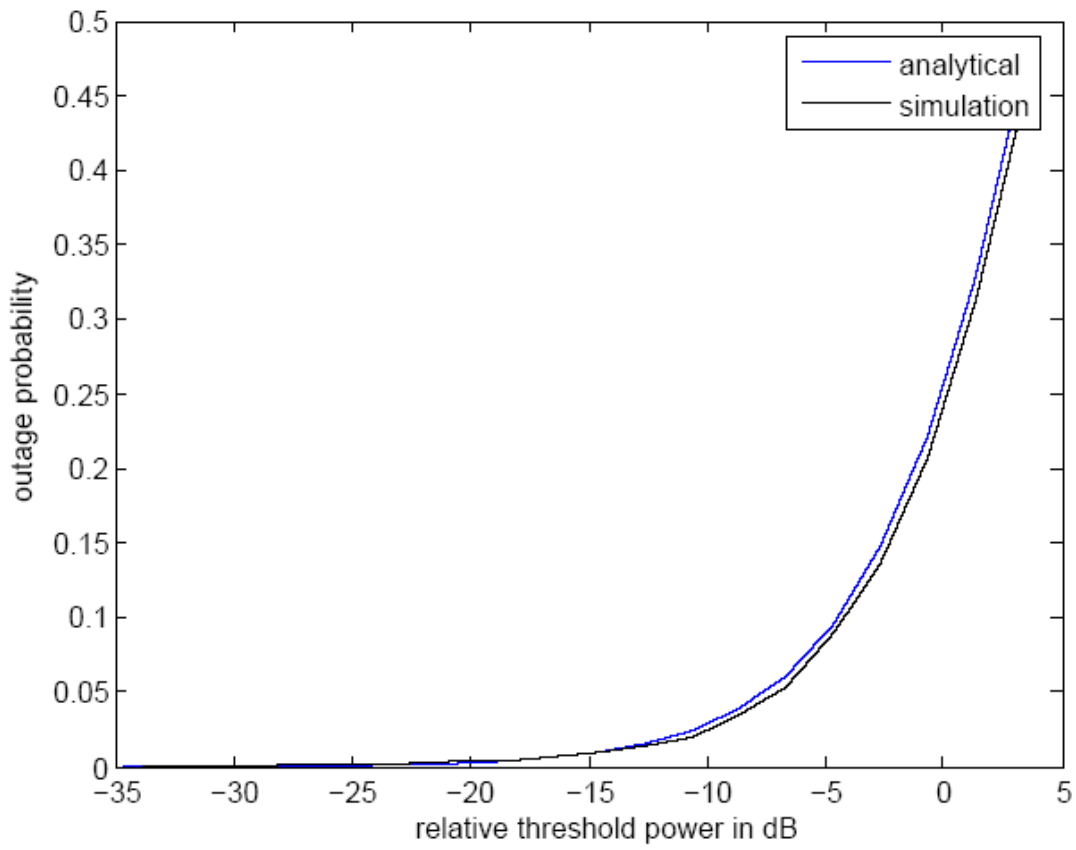




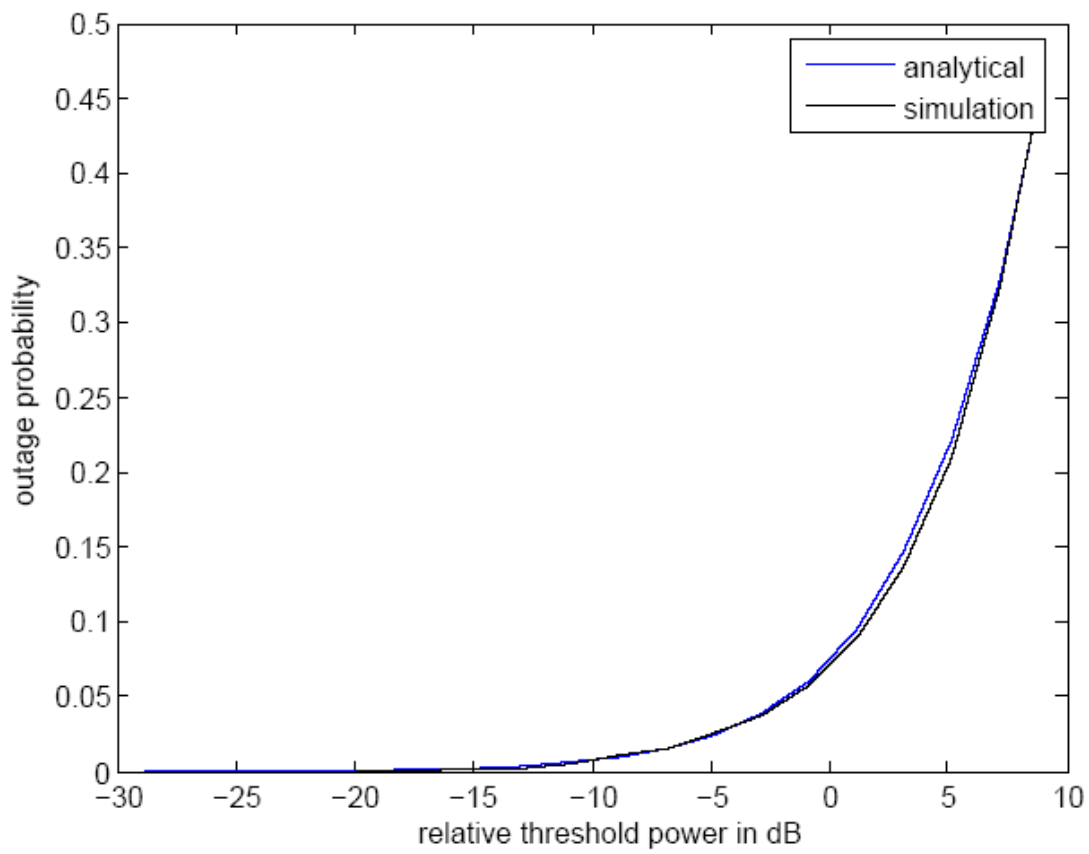
Rayleigh Outage probability  $\gamma \alpha V=0$  ,  $N=40$  και  $f=900$  MHz



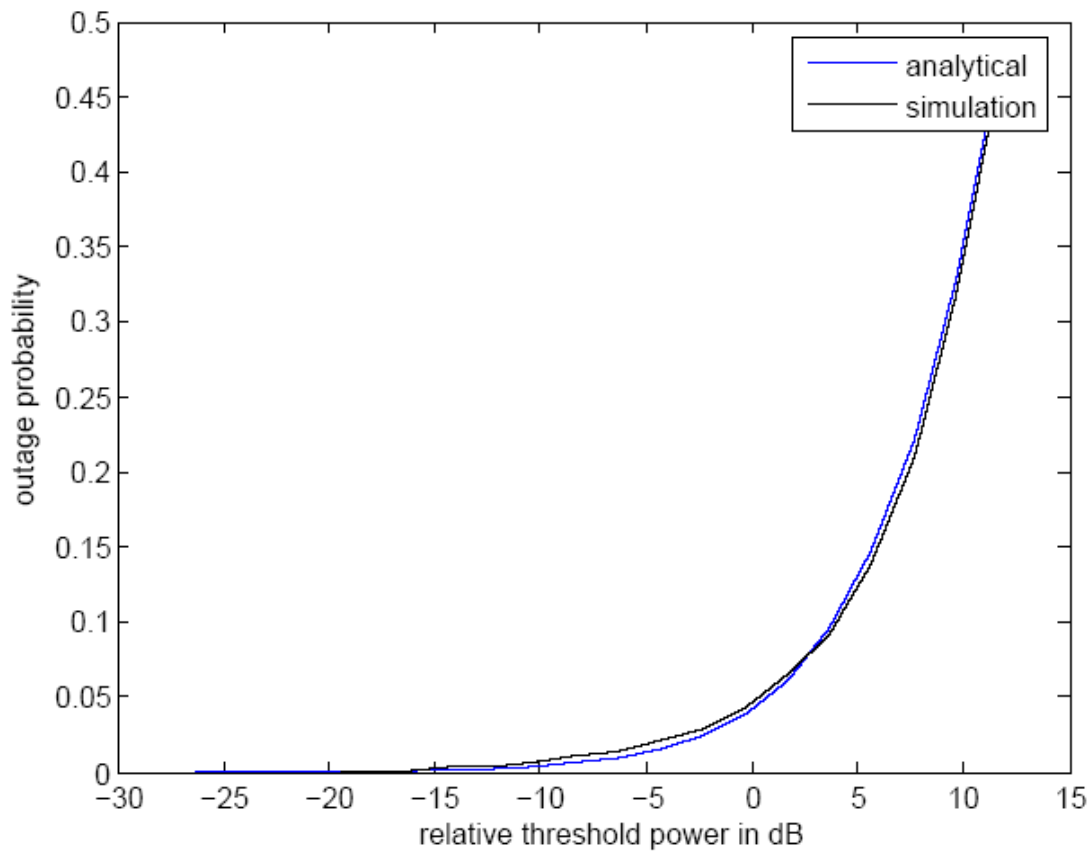
Rayleigh Outage probability  $\gamma \propto V=25$  m/s ,  $N=4$   $\kappa \propto f = 900$  MHz



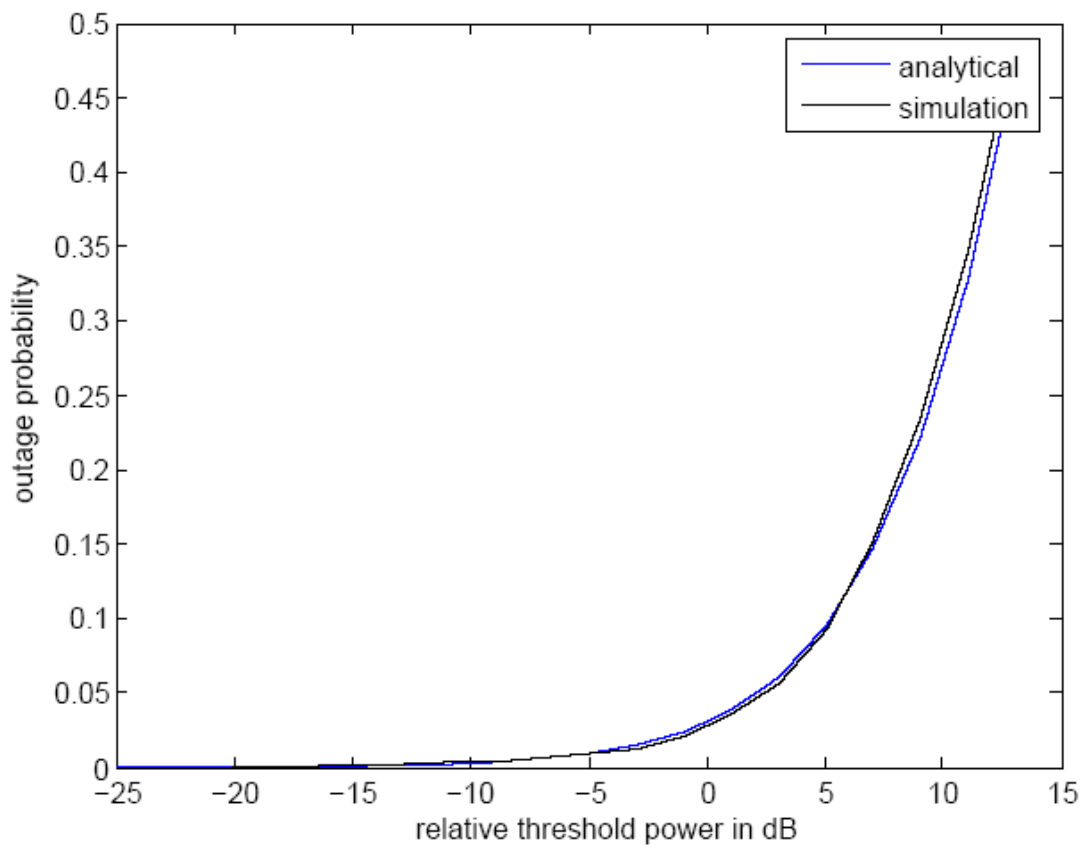
Rayleigh Outage probability για  $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f=900$  MHz



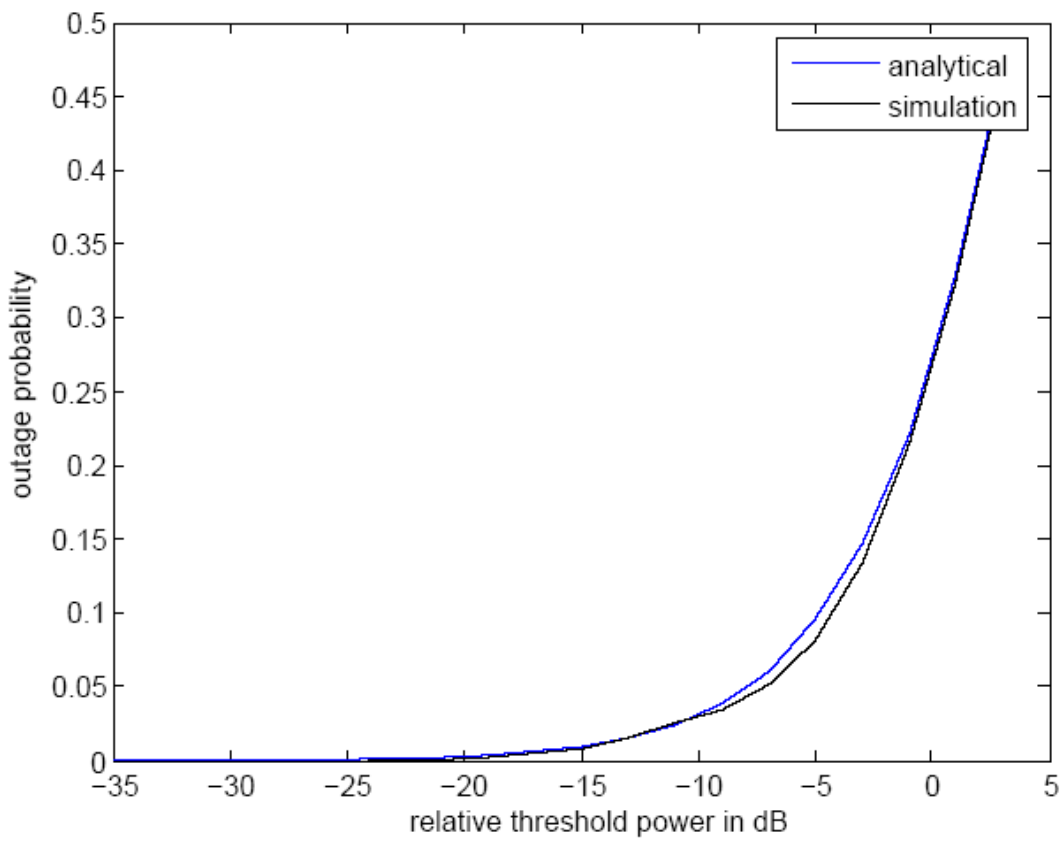
Rayleigh Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=25$  m/s ,  $N=28$   $\kappa \alpha$   $f = 900$  MHz



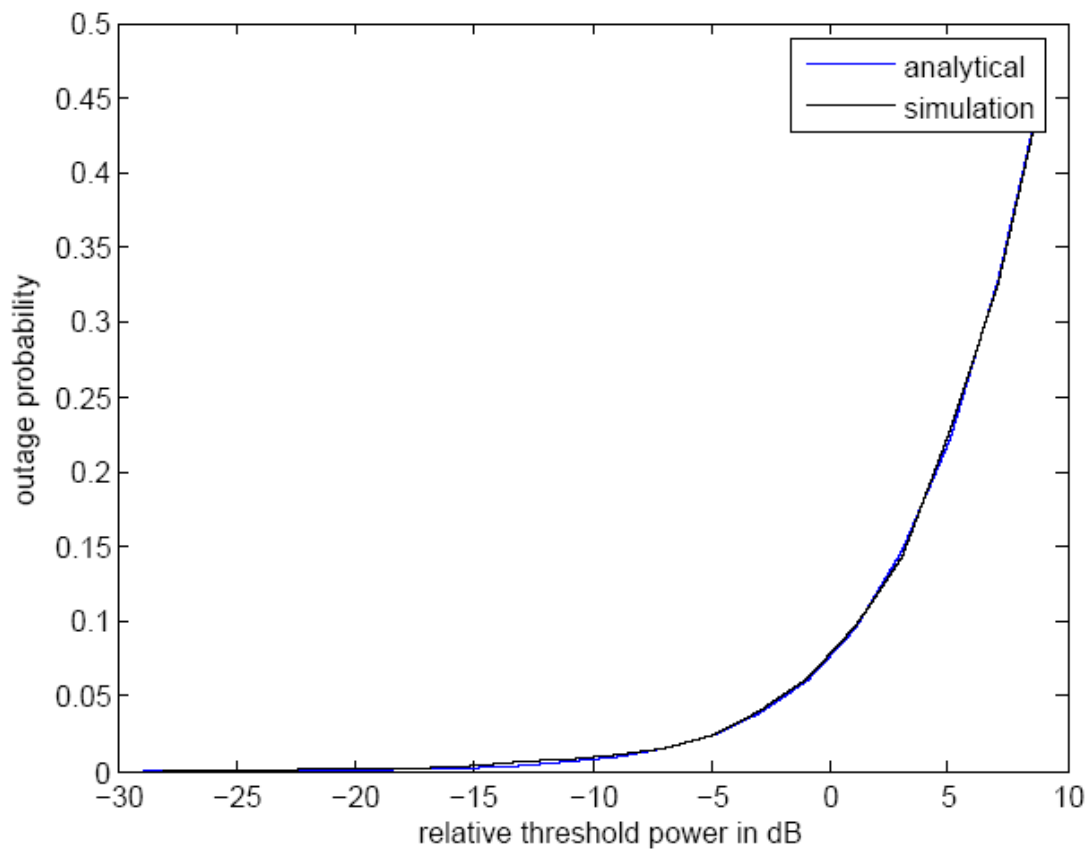
Rayleigh Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=25$  m/s ,  $N=40$   $\kappa \alpha$   $f = 900$  MHz



Rayleigh Outage probability για  $V=0$  m/s ,  $N=4$  και  $f = 1800$  MHz

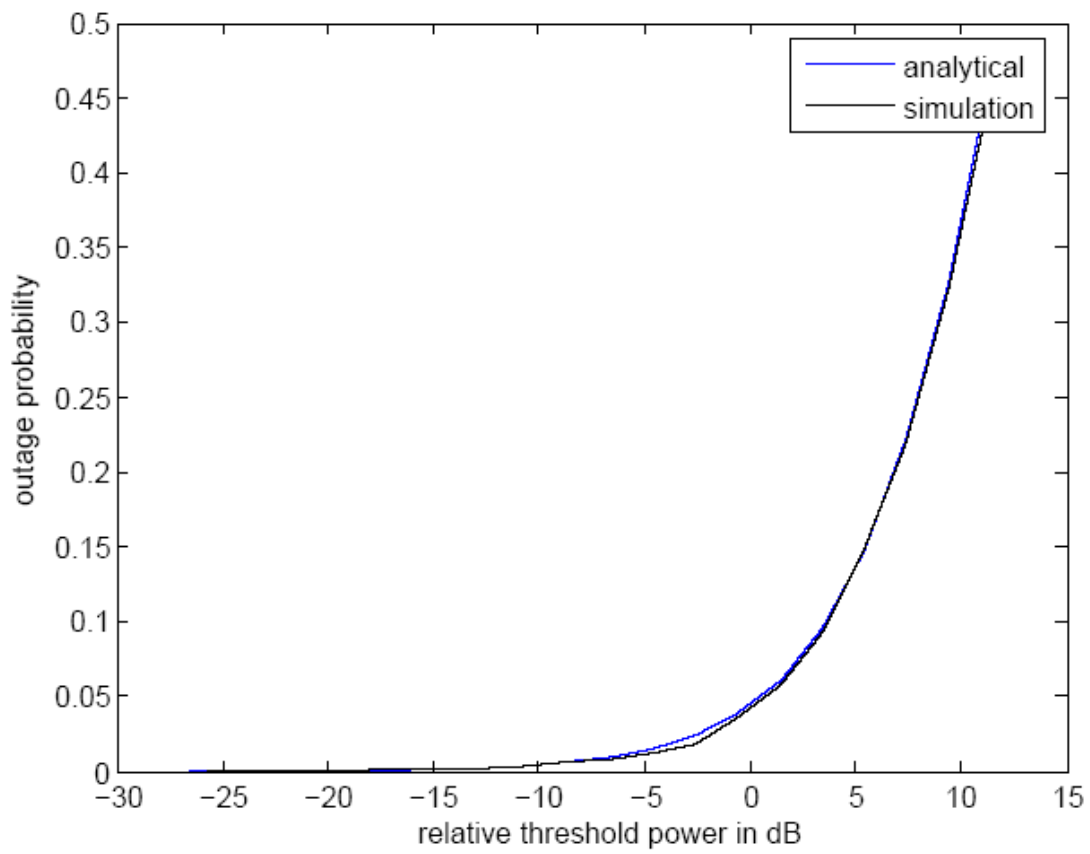


Rayleigh Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=0$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 1800$  MHz

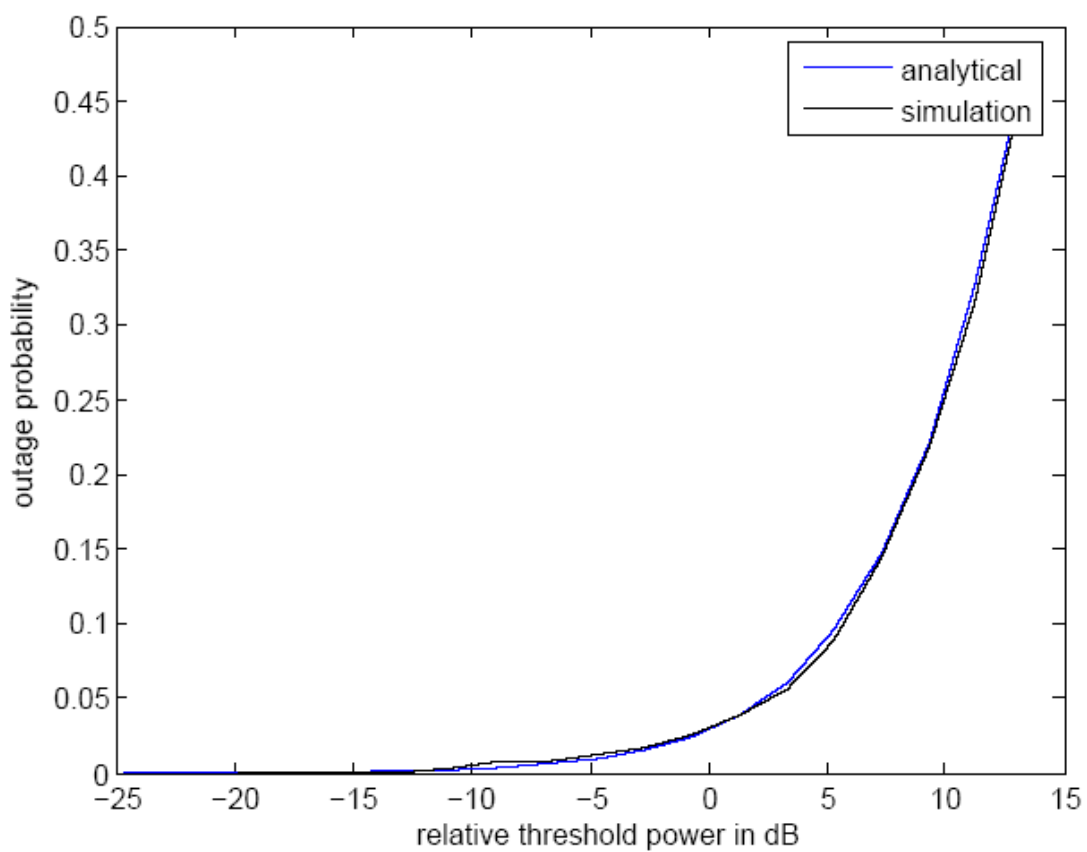


Rayleigh Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=0$  m/s ,  $N=28$   $\kappa \alpha$   $f = 1800$  MHz

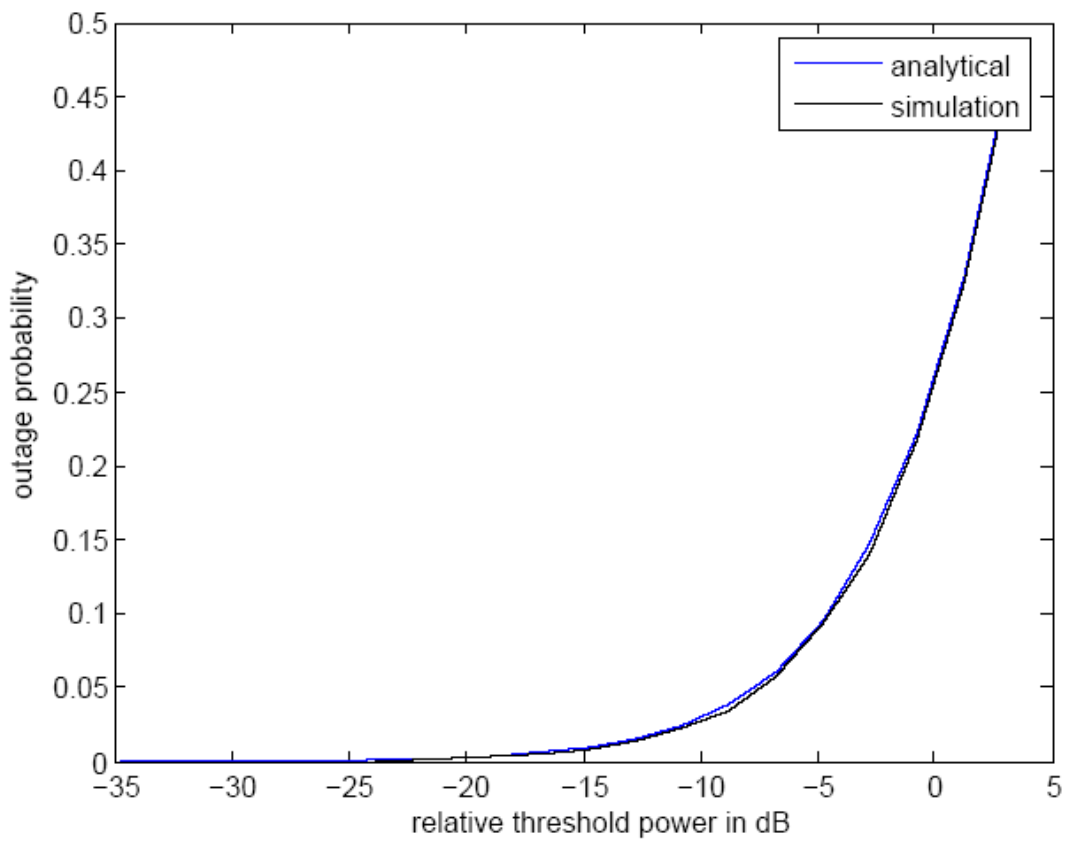




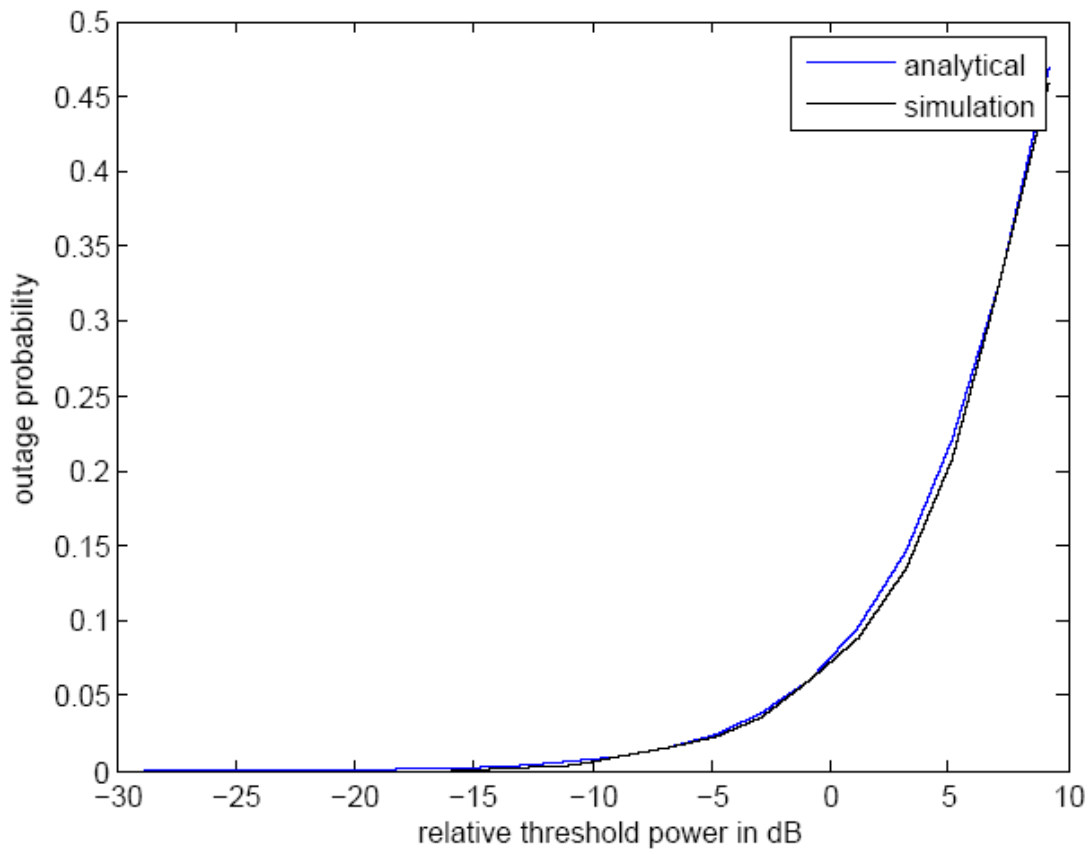
Rayleigh Outage probability  $\gamma$   $\alpha$   $V=0$  m/s ,  $N=40$  και  $f = 1800$  MHz



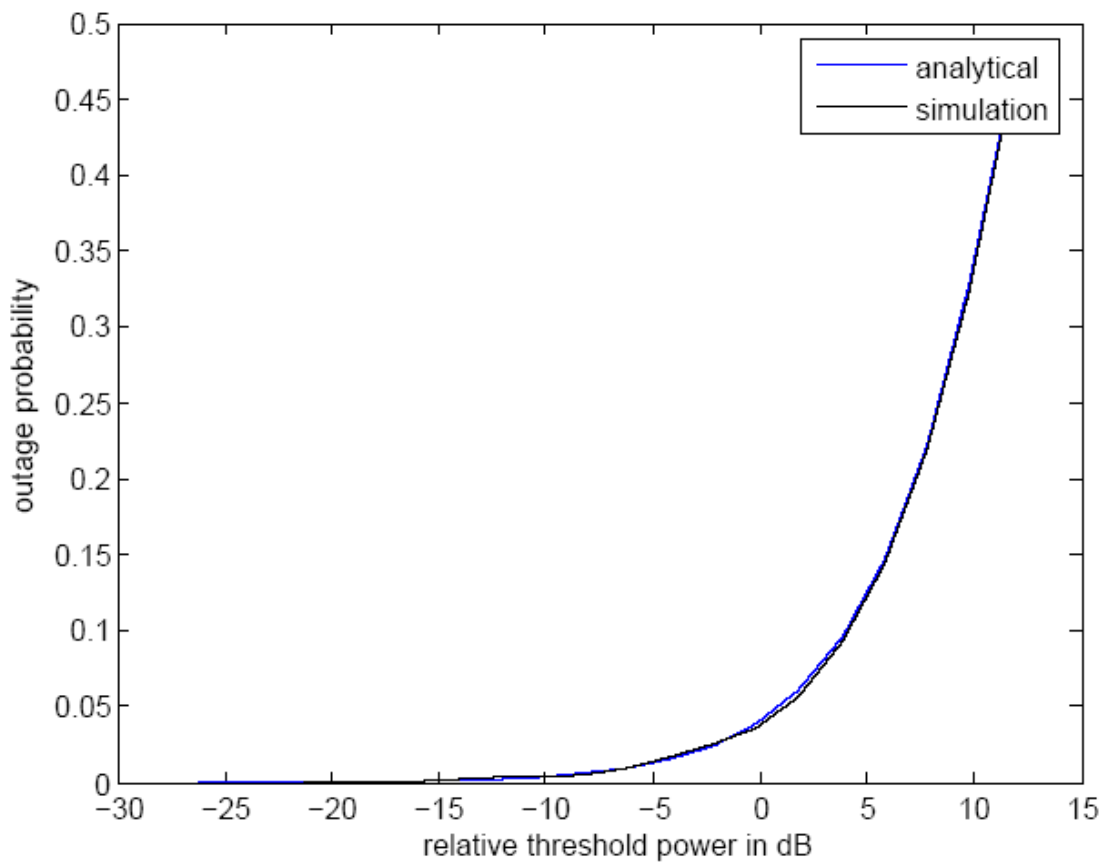
Rayleigh Outage probability  $\gamma \propto V=25$  m/s ,  $N=4$   $\kappa \propto f = 1800$  MHz



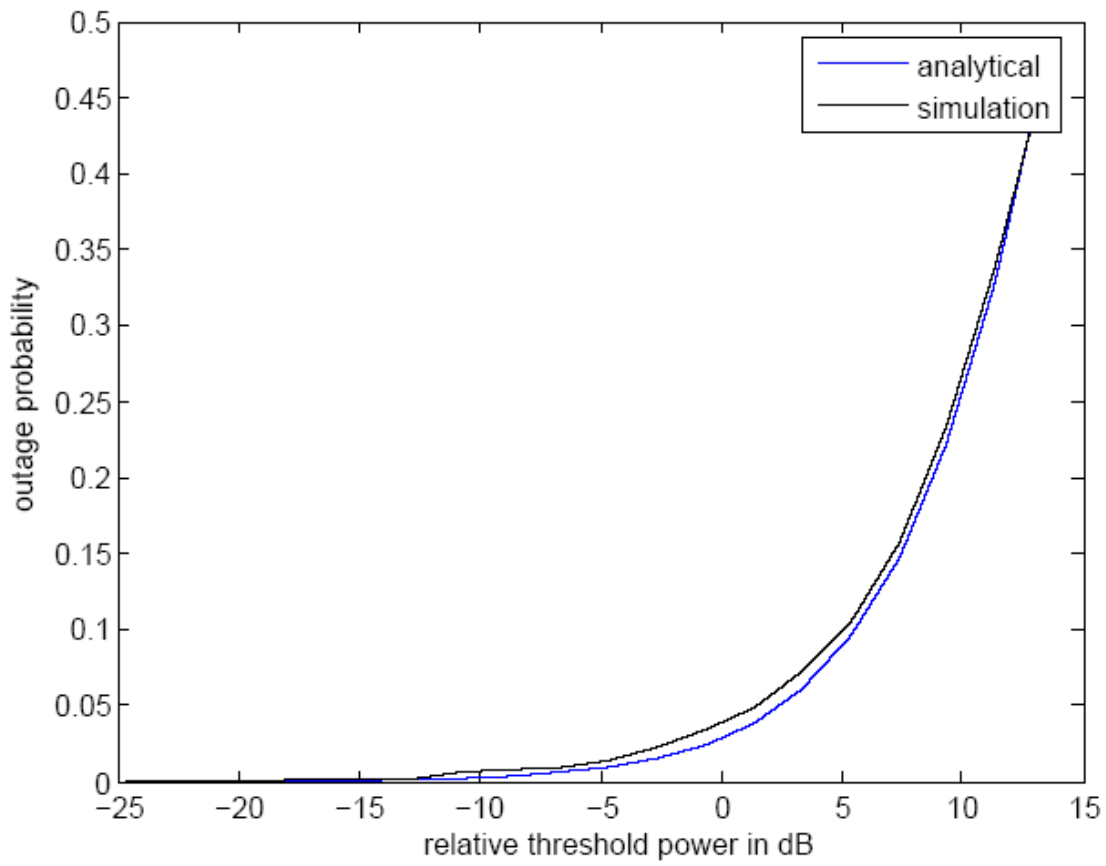
Rayleigh Outage probability για  $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 1800$  MHz



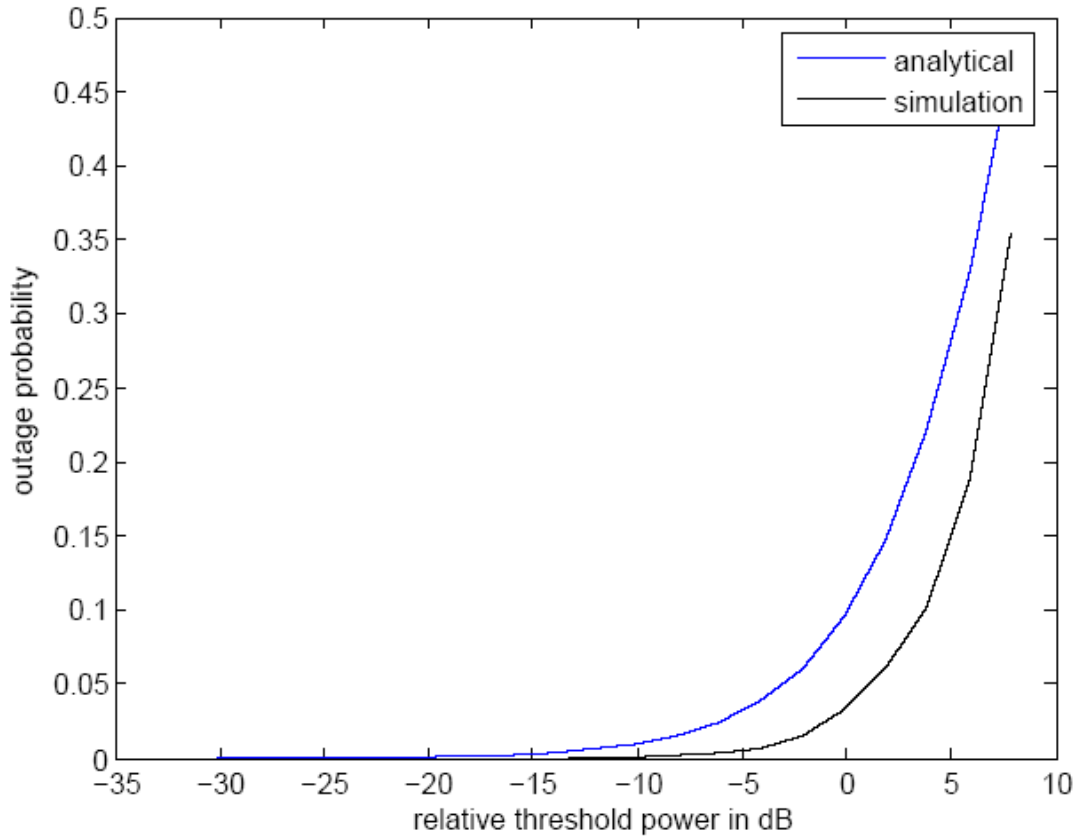
Rayleigh Outage probability  $\gamma$   $\alpha$   $V=25$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 1800$  MHz



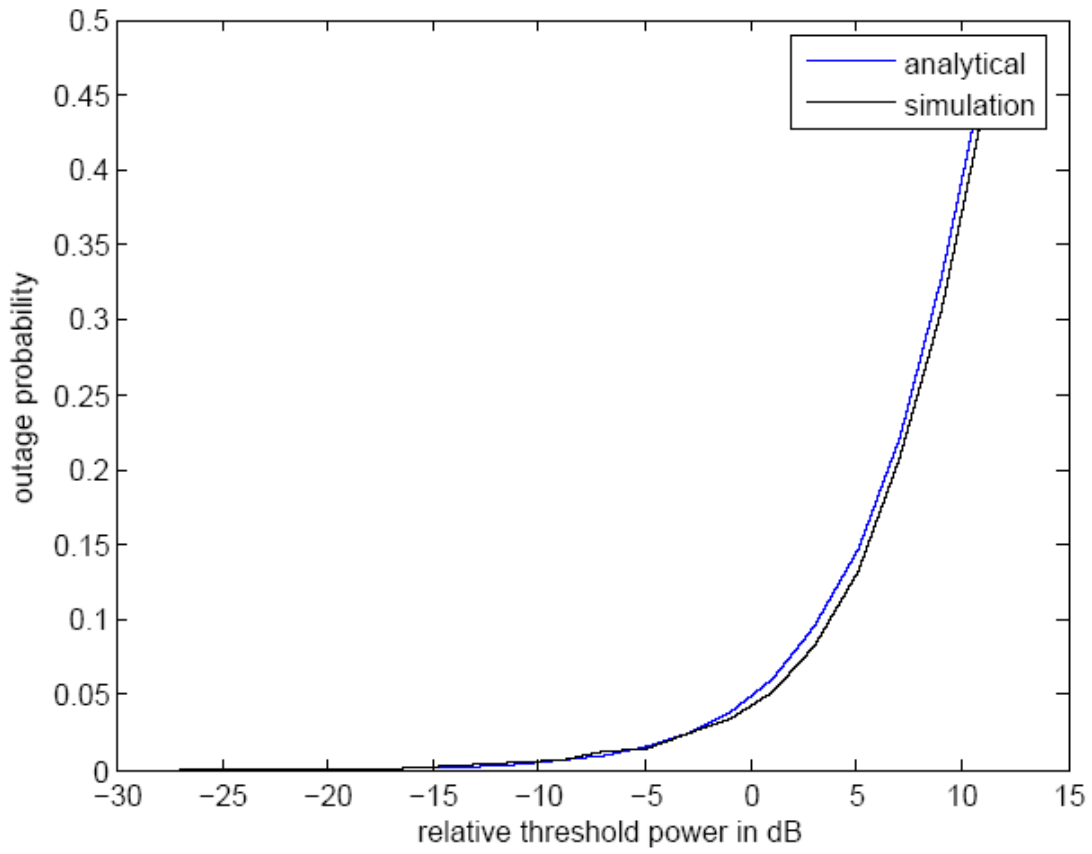
Rayleigh Outage probability για  $V=25$  m/s ,  $N=40$  και  $f = 1800$  MHz



Rician Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=0$  m/s ,  $N=4$  και  $f = 900$  MHz

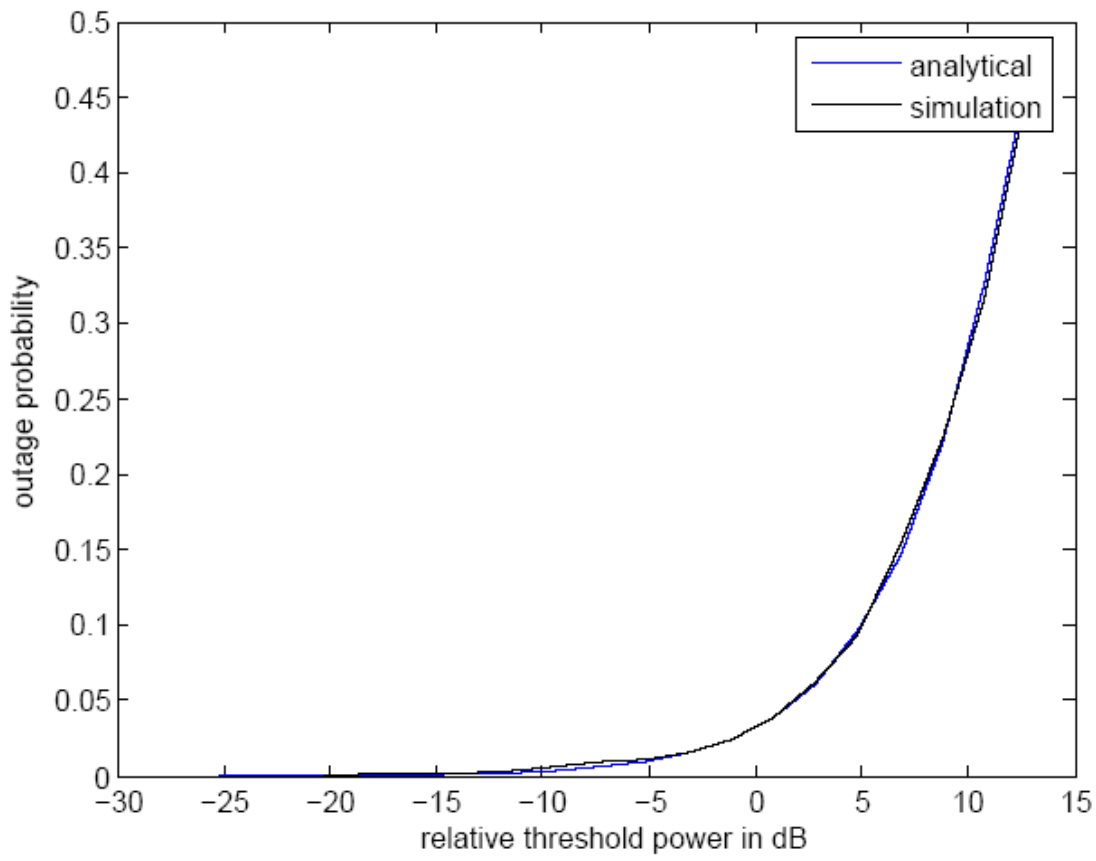


Rician Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=0$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 900$  MHz

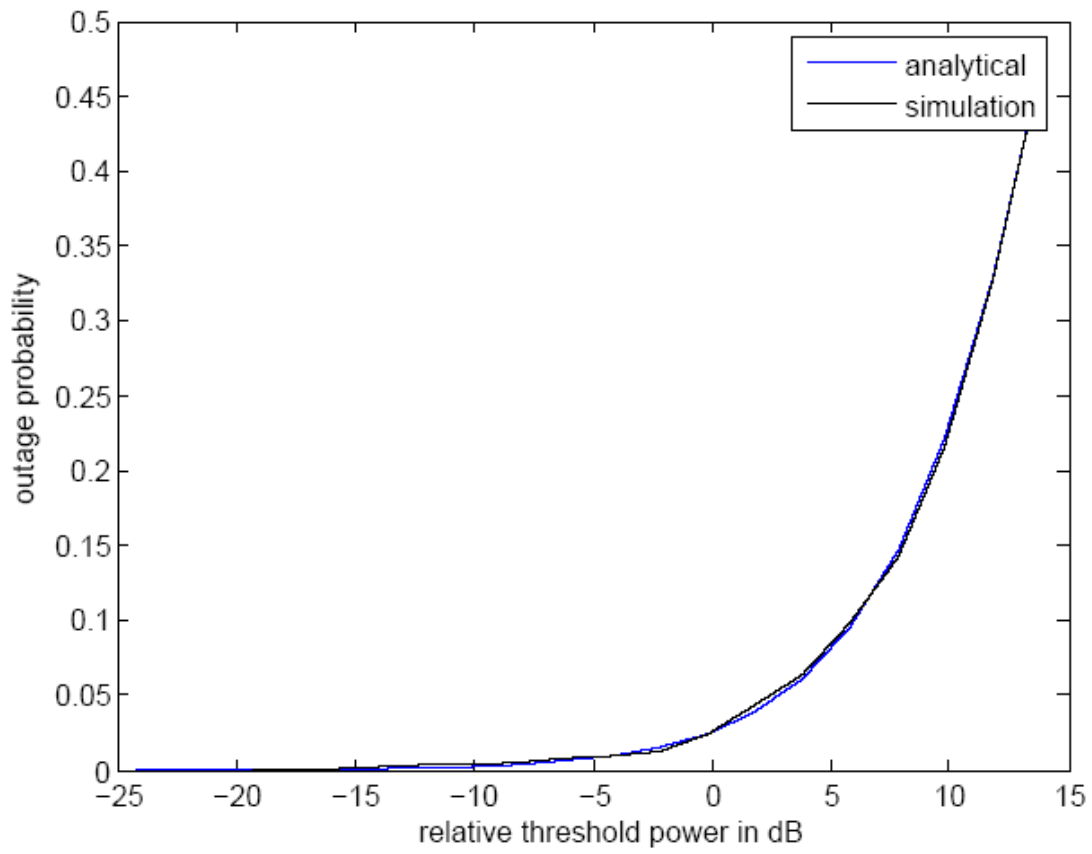


Rician Outage probability για  $V=0$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 900$  MHz

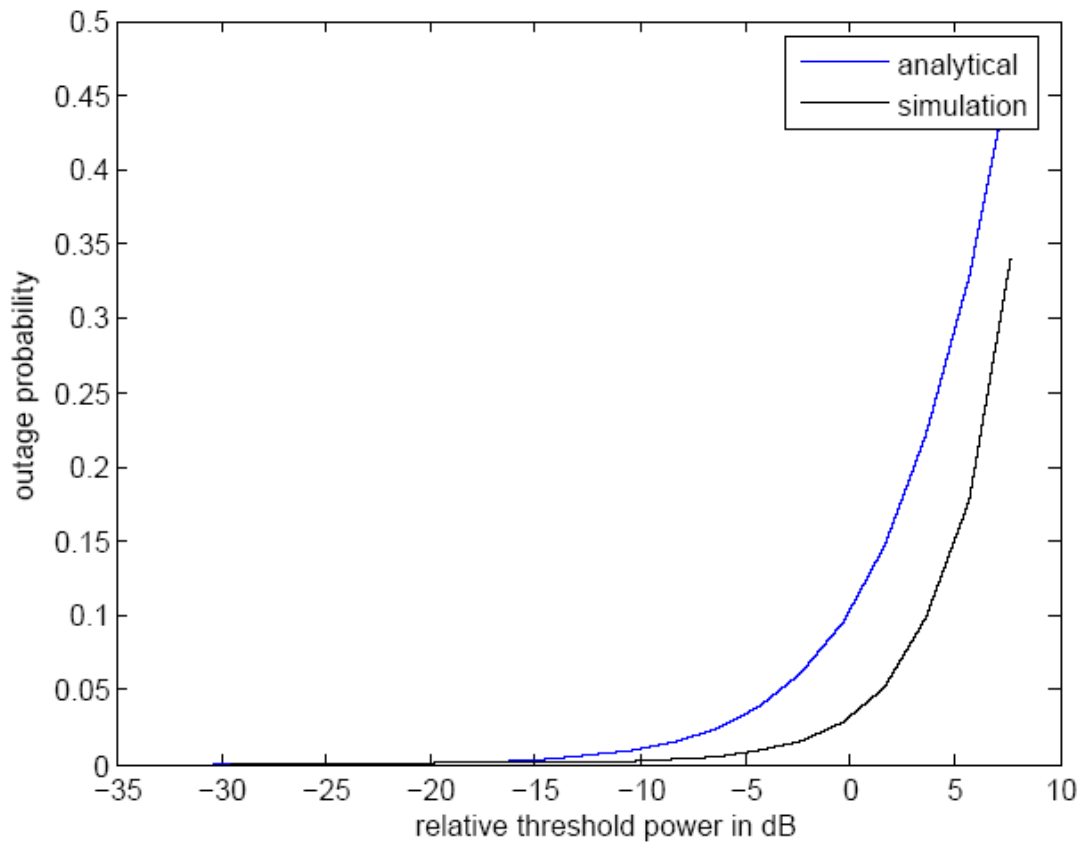




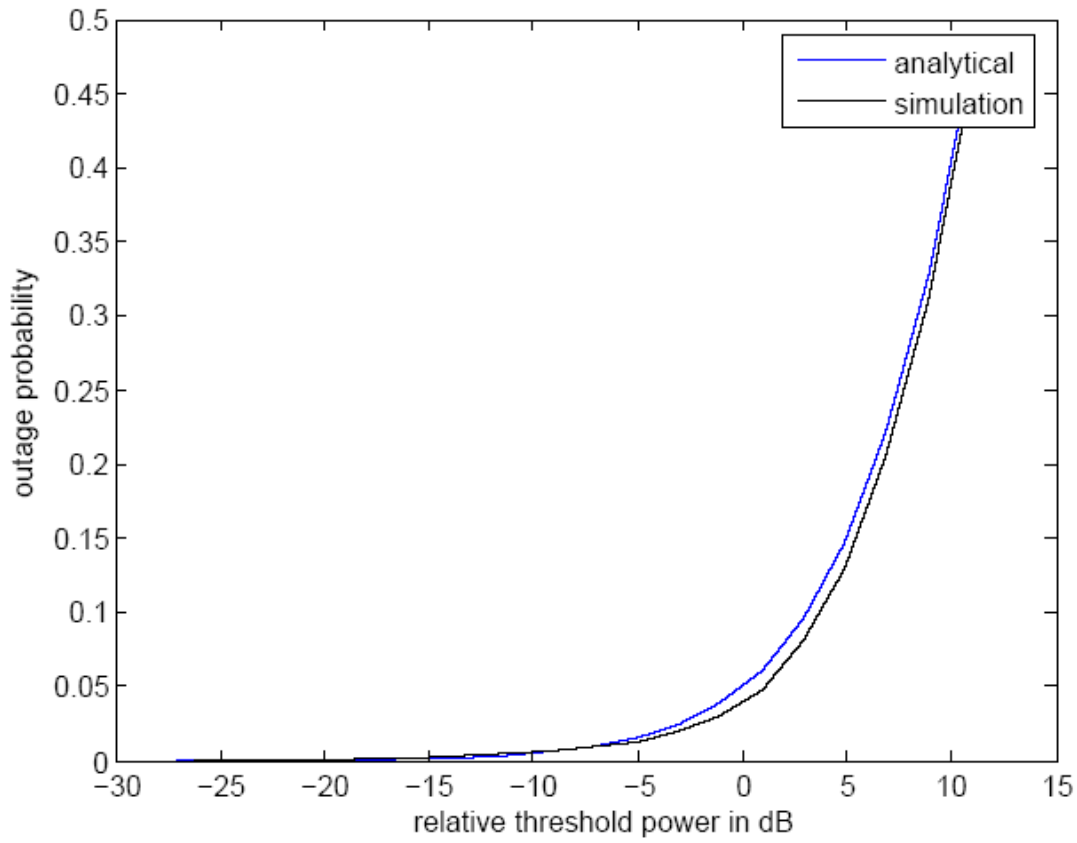
Rician Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=0$  m/s ,  $N=40$   $\kappa \alpha$   $f = 900$  MHz



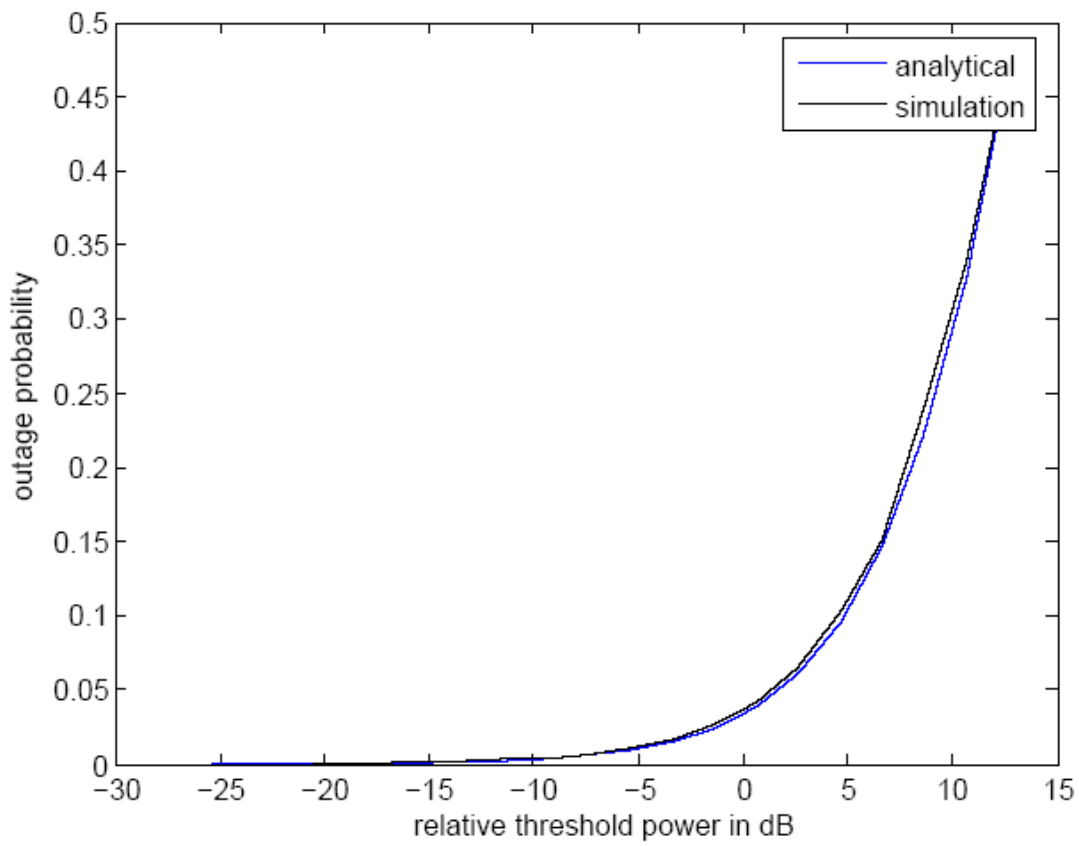
Rician Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=25$  m/s ,  $N=4$   $\kappa \alpha$   $f = 900$  MHz



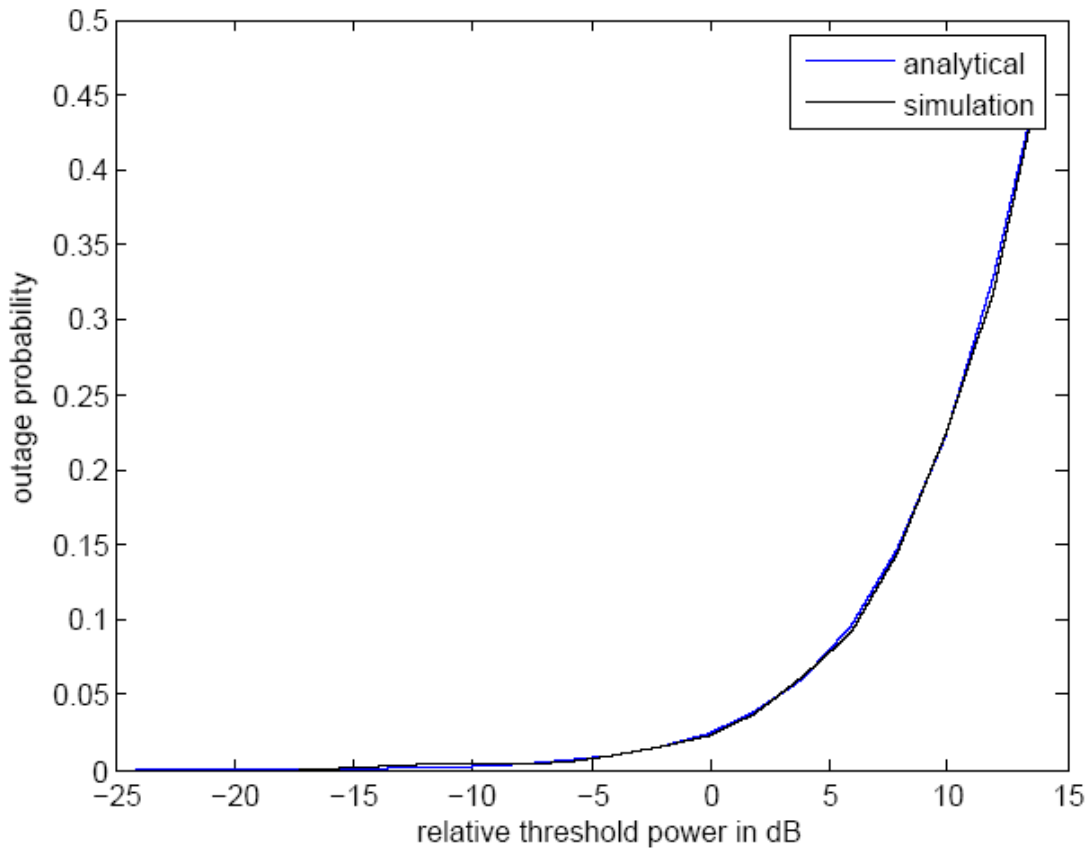
Rician Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 900$  MHz



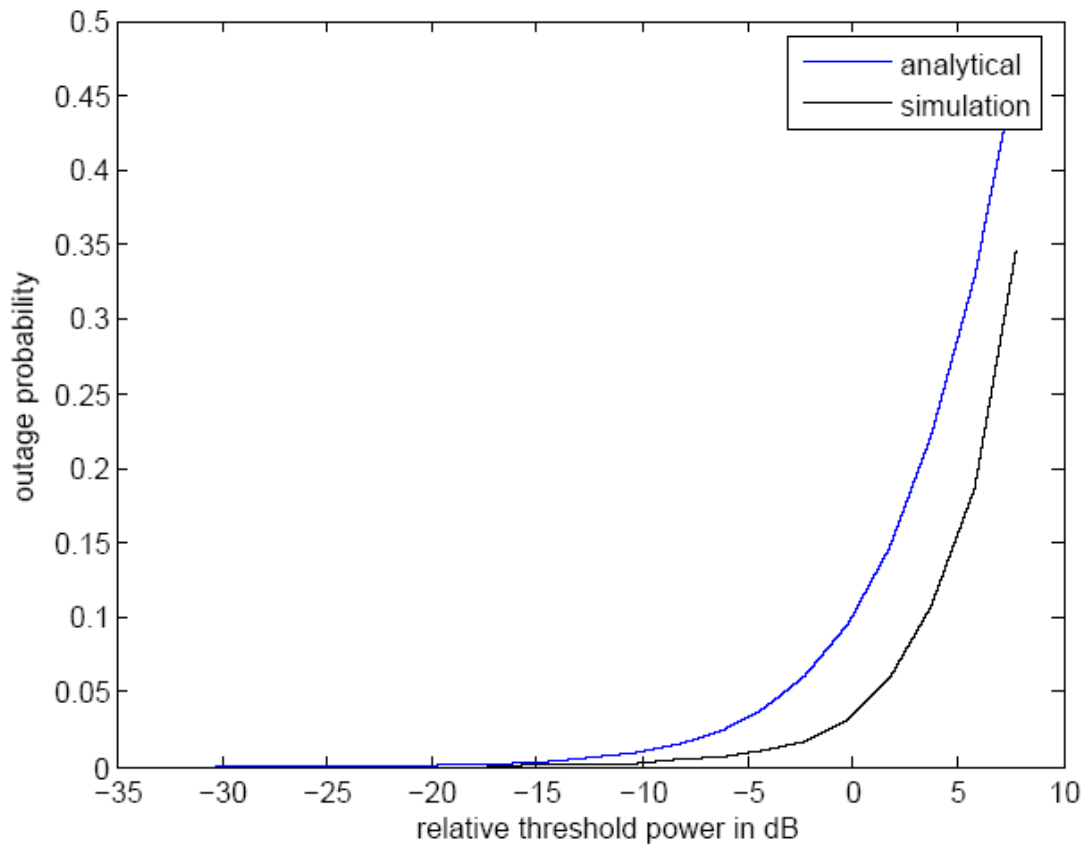
Rician Outage probability  $\gamma\alpha$   $V=25$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 900$  MHz



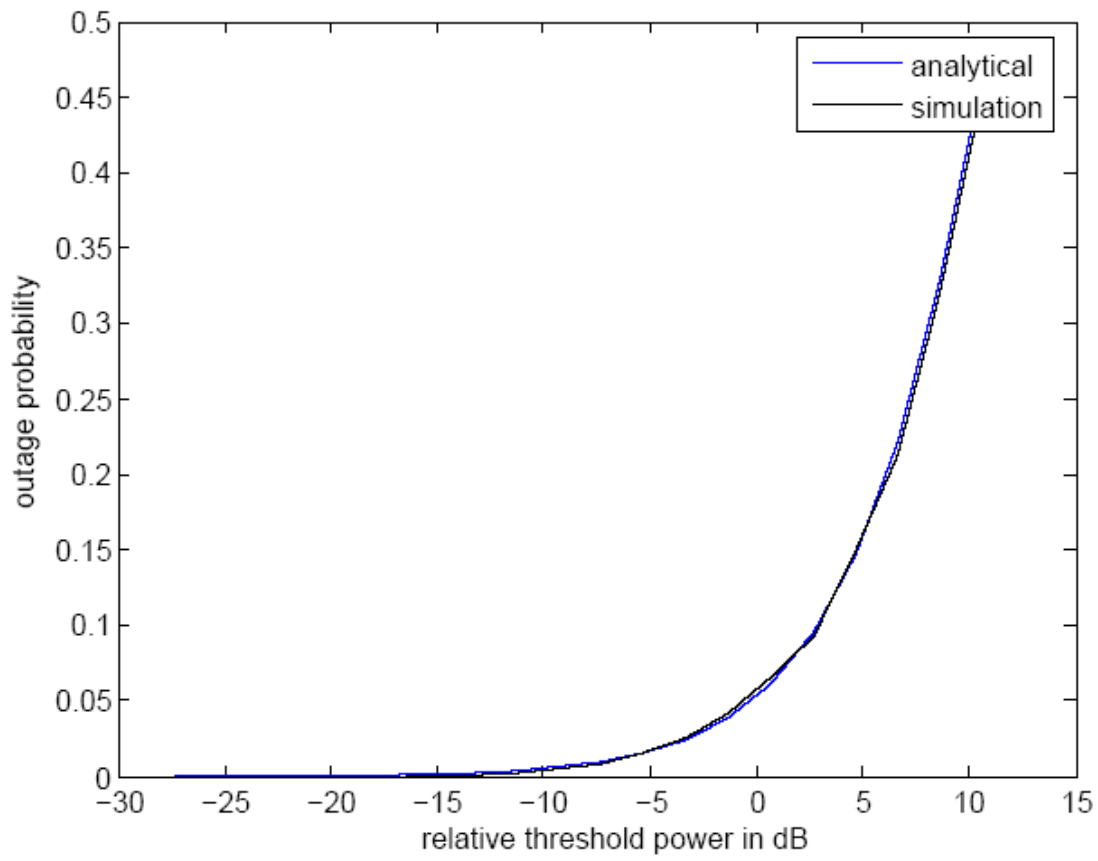
Rician Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=25$  m/s ,  $N=40$   $\kappa \alpha$   $f = 900$  MHz



Rician Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=0$  m/s ,  $N=4$   $\kappa \alpha$   $f = 1800$  MHz

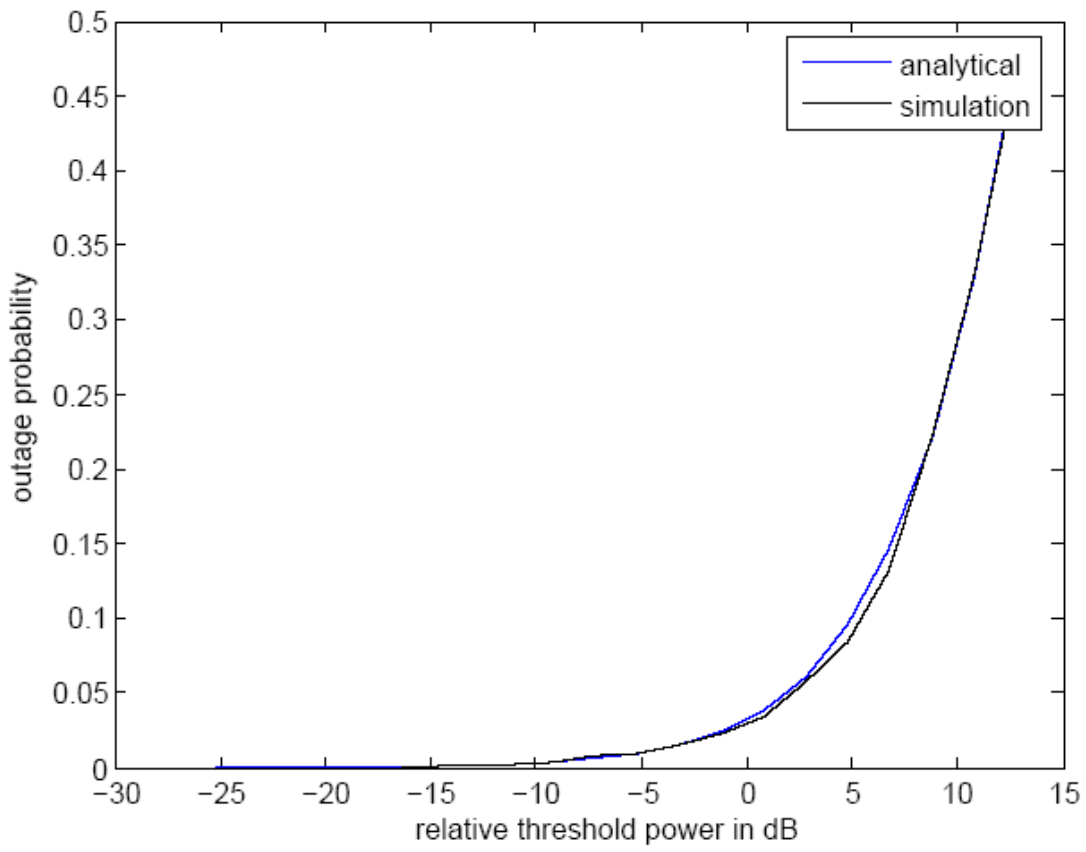


Rician Outage probability  $\gamma_{\alpha}$   $V=0$  m/s ,  $N=16$   $\kappa\alpha$   $f = 1800$  MHz

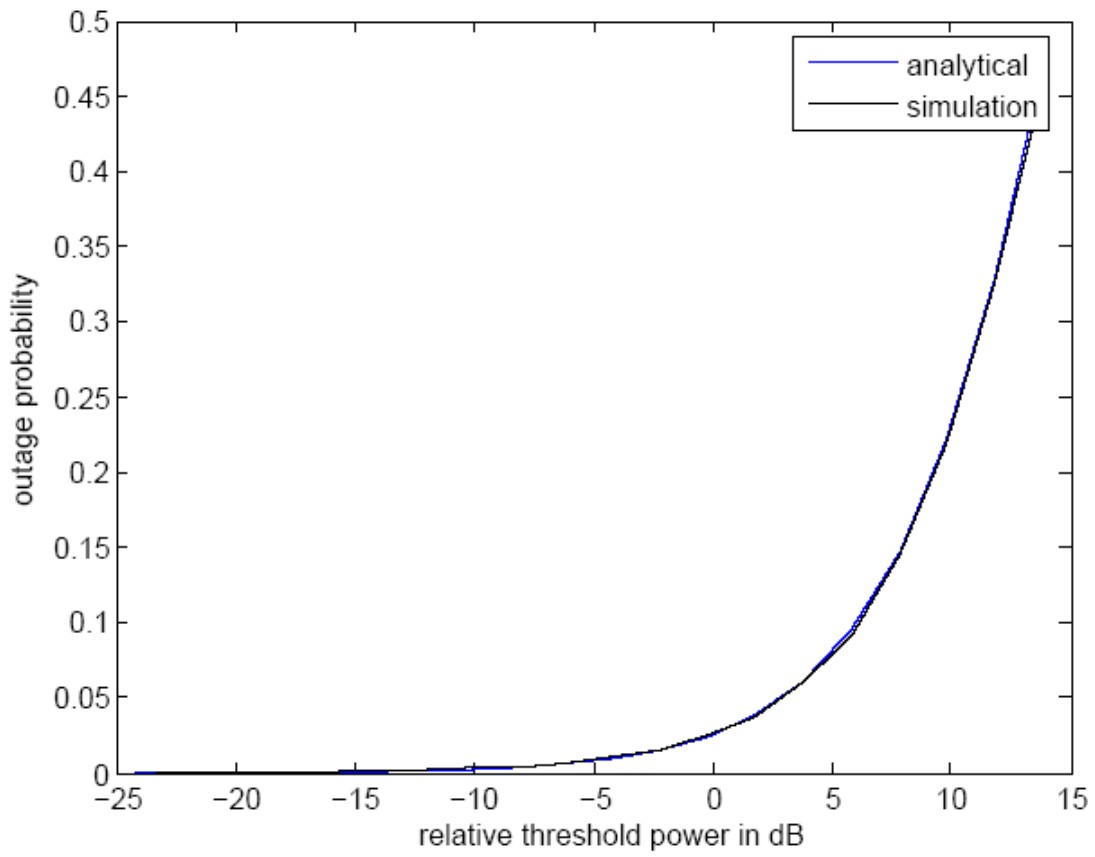


Rician Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=0$  m/s ,  $N=28$   $\kappa \alpha$   $f = 1800$  MHz

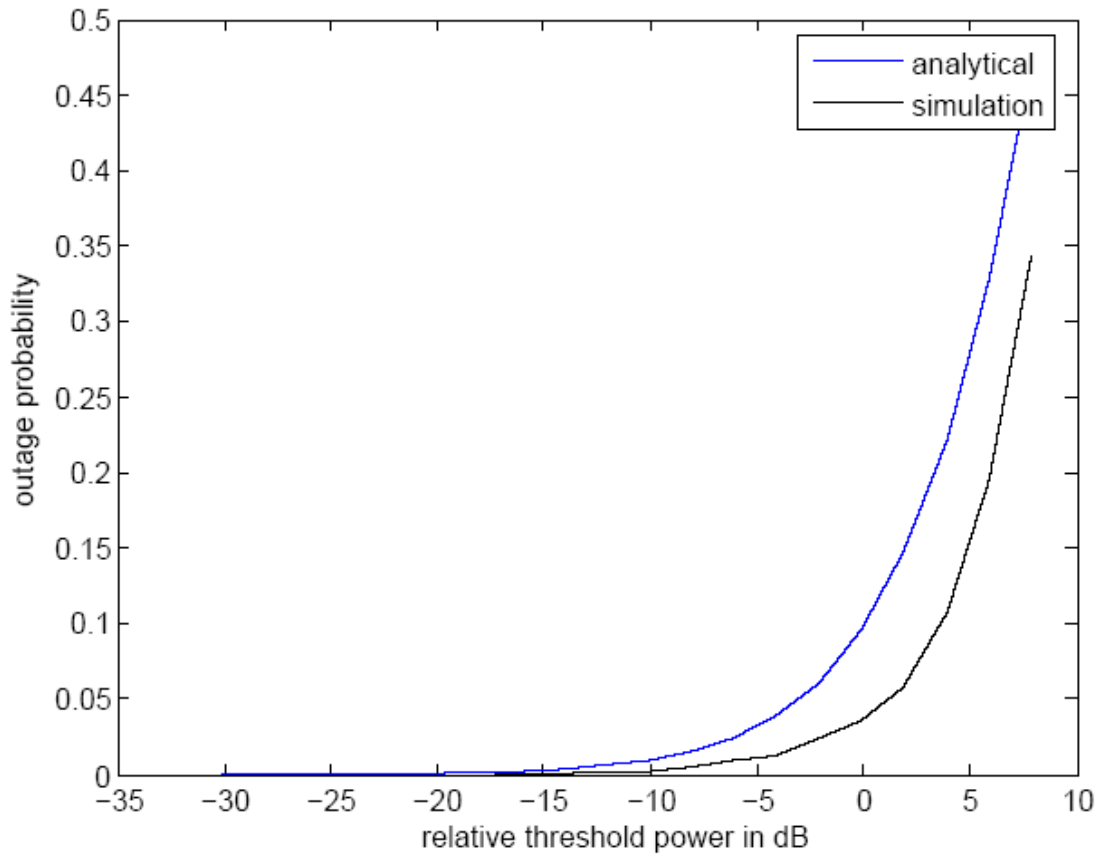




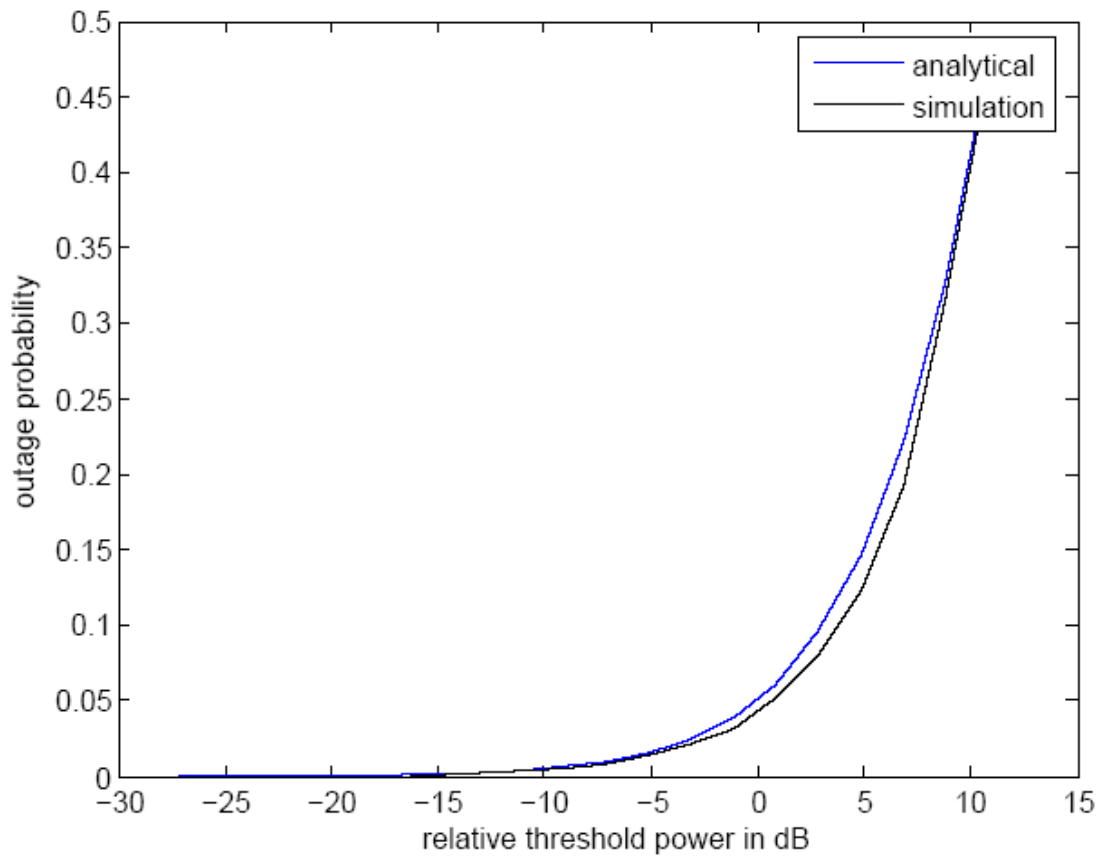
Rician Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=0$  m/s ,  $N=40$   $\kappa \alpha$   $f = 1800$  MHz



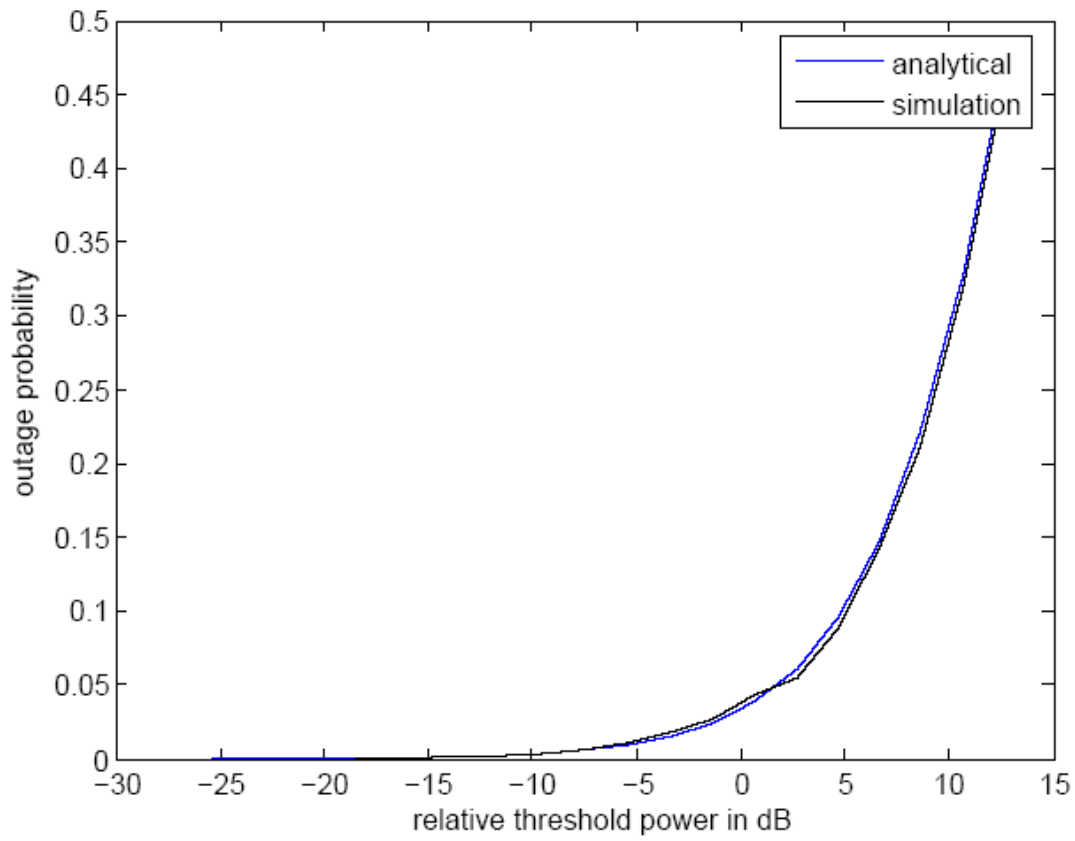
Rician Outage probability  $\gamma$   $\alpha$   $V=25$  m/s ,  $N=4$   $\kappa$   $\alpha$   $f = 1800$  MHz



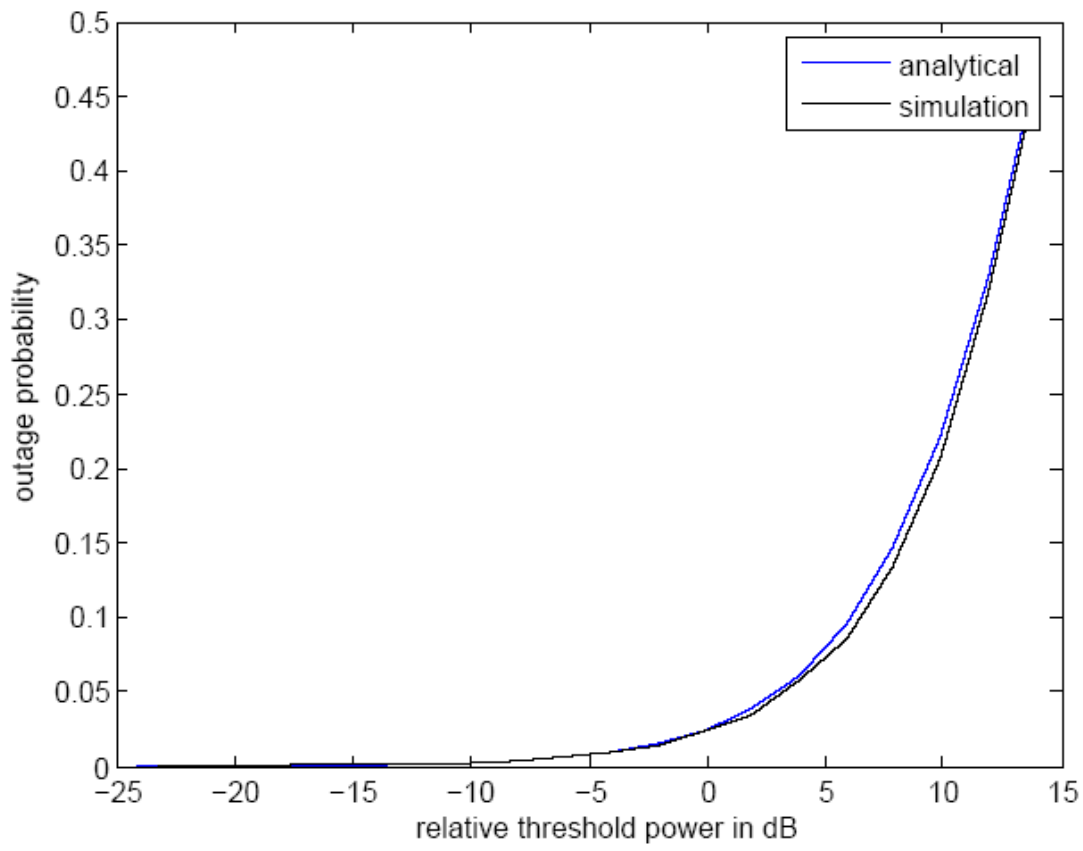
Rician Outage probability  $\gamma \alpha$   $V=25$  m/s ,  $N=16$  και  $f = 1800$  MHz



Rician Outage probability για  $V=25$  m/s ,  $N=28$  και  $f = 1800$  MHz



Rician Outage probability για  $V=25$  m/s ,  $N=40$  και  $f = 1800$  MHz



## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1) Η Outage probability σε ένα Rician ραδιοκανάλι είναι χαμηλότερη από ότι σε ένα Rayleigh ραδιοκανάλι , γεγονός που οφείλεται στην παρουσία LOS .

2) Επιπλέον η πιθανότητα απώλειας του σήματος αυξάνει με την αύξηση της ταχύτητας του κινητού που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ολίσθησης Doppler .

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1**

Εδώ παρουσιάζουμε τον κώδικα της προσομείωσης που εκτελέσαμε :

```

% Simulation of a Rayleigh-faded signal and a Rician-faded signal
v=input('MU speed in m/s....5, 15, 25 '); % speed of mobile
N = 10; %number of paths
Fc = 900e6; %carrier frequency
Fs = 4*Fc; %sampling frequency
Ts = 1/Fs; %sampling period
t = [0:Ts:2000*Ts]; %time array
wc = 2*pi*Fc; %radian frequency

```

```

sig = zeros(1,length(t)); %received signal

```

```

for i = 1:N
wd = 2*pi*v*Fc*cos(unifrnd(0,2*pi))/3e8;
a = weibrnd(1,4,1,length(t));
sig = sig + a.*cos((wc+wd)*t+unifrnd(0,2*pi,1,length(t)));
end;

```

```

[sign sigq] = demod(sig,Fc,Fs,'qam'); %demodulated signal
envsig = sqrt(sign.^2+sigq.^2); %envelope of received signal
mean(envsig)
subplot(2,2,1)
plot(t*1e9,sign)%plots the rf signal
xlabel('time (ns)')
ylabel('rf signal (volt)')
ylim([-10 10])
xlim([0 20])
subplot(2,2,3)
plot(t*1e9,envsig,t*1e9,mean(envsig))%plots the envelope
xlabel('time (ns)')
ylabel('envelope (volt)')
xlim([0 20])
ylim([0 10])

```

```

sign = zeros(1,length(t)); %received signal

```

```

for i = 1:N-1
wd = 2*pi*v*Fc*cos(unifrnd(0,2*pi))/3e8;

```



```

a = weibrnd(1,3,1,length(t));
sign = sign + a.*cos((wc+wd)*t+unifrnd(0,2*pi,1,length(t)));
end;

```

```

wd = 2*pi*v*Fc/3e8;
sign = sign + 2.6*cos((wc+wd)*t);

```

```

[signi signq] = demod(sign,Fc,Fs,'qam'); %demodulated signal
envsign = sqrt(signi.^2+signq.^2); %envelope of received signal
mean(envsign)
subplot(2,2,2)
plot(t*1e9,sign)%plots the rf signal
%title('rf signal')
xlabel('time (ns)')
ylabel('rf signal (volt)')
xlim([0 20])
ylim([-10 10])
subplot(2,2,4)
plot(t*1e9,envsign,t*1e9,mean(envsign))%plots the envelope
%title('envelope')
xlabel('time (ns)')
ylabel('envelope (volt)')
xlim([0 20])
ylim([0 10])

```

```

%computation of the outage probabilities
powersig=envsig.^2;
powerdB=10*log10(powersig);
meanpower=10*log10(mean(envsig.^2))
LN=length(envsig)
for r=1:20;
    pow(r)=meanpower-2*r; %threshold power
    rts=pow(r);
    ratio=10^(rts/10)/10^(meanpower/10);
    pout_th(r)=1-exp(-ratio);%theoretical outage
    count=0;
    for rt=1:LN;

```

```

power=powerdB(rt);%power in dB
if power <= rts
    count=count+1;
else
    end;
end;
pout_sim(r)=count/LN;%outage probability simulated

end;
figure
plot(pow,pout_th,'b',pow,pout_sim,'k');
xlabel('relative threshold power in dB')
ylabel('outage probability')
legend('analytical','simulation')

```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Σε αυτή την ενότητα γίνεται μια σύντομη περιγραφή των συναρτήσεων του Matlab που χρησιμοποιήσαμε στον κώδικα προσομείωσης .

## **WEIBRND Random arrays from the Weibull distribution.**

$R = \text{WEIBRND}(A,B)$  returns an array of random numbers chosen from the Weibull distribution with parameters  $A$  and  $B$ . The size of  $R$  is the common size of  $A$  and  $B$  if both are arrays. If either parameter is scalar, the size of  $R$  is the size of the other parameter.

$R = \text{WEIBRND}(A,B,M,N,\dots)$  or  $R = \text{WEIBRND}(A,B,[M,N,\dots])$   
returns an  
M-by-N-by-... array.

## **UNIFRND Random arrays from continuous uniform distribution.**

$R = \text{UNIFRND}(A,B)$  returns an array of random numbers chosen from the continuous uniform distribution on the interval from  $A$  to  $B$ . The size of  $R$  is the common size of  $A$  and  $B$  if both are arrays. If either parameter is a scalar, the size of  $R$  is the size of the other parameter.

$R = \text{UNIFRND}(A,B,M,N,\dots)$  or  $R = \text{UNIFRND}(A,B,[M,N,\dots])$   
returns an  
M-by-N-by-... array.

## **DEMODO Signal demodulation for communications simulations.**

$X = \text{DEMODO}(Y,F_c,F_s,\text{METHOD},\text{OPT})$  demodulates the carrier signal  $Y$  with a carrier frequency  $F_c$  and sampling frequency  $F_s$ , using the demodulation scheme in  $\text{METHOD}$ .  $\text{OPT}$  is an extra, sometimes optional, parameter whose purpose depends on the demodulation scheme you choose.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3**

Spirent's SR5500 Wireless Channel Emulator is the world's leading emulator of the air interface used in wireless communications technologies. Based on decades' worth of wireless experience, the SR5500 provides the industry's cleanest test channel and most accurate fading.

## APPLICATIONS

- Product development
- Design verification
- Conformance test
- Product evaluation
- System optimization
- System performance test
- EDGE, GSM, GPRS, CDMA2000 1X and EV-DO, WCDMA R99, HSDPA and HSUPA testing
- WiMAX fixed (802.16-2004) and mobile (802.16-2005) testing
- Wi-Fi (802.11a/b/g) testing
- Generic radio receiver testing

SR5500 emulates wideband radio channel characteristics such as time-varying multi-path delay spread, fast fading, slow shadow fading and channel loss. The instrument replicates real-world conditions, making it possible to isolate performance issues early in the development and design verification cycle. Optional AWGN and extended frequency ranges further enhance the real-world conditions emulated by the SR5500. Early optimization of performance accelerates time to market and minimizes post-deployment issues.

## BENEFITS

- *Efficient testing with fewer errors:* The SR5500 GUI is fast and intuitive while reducing operator errors.
- *More useful test results:* The industry's cleanest channel and most statistically accurate fading lead to the most trustworthy test results.
- *Reduced time to test:* Pre-loaded industry-standard fading models or custom configurations are ready to run at the click of a mouse. The real-time fading engine means no delays waiting for models to compile.
- *No scripts need be written, maintained, or debugged:* Software is controlled with an interface that was designed and tested with the engineer in mind. Testing doesn't turn into an exercise in code maintenance.



## TECHNICAL SPECIFICATIONS

The following specifications describe warranted performance over the temperature range 0 – 40° C and include a 30-minute warm-up time from ambient conditions.

Technical specifications are subject to change without notice.

<b>RF Channels:</b>	2	
<b>Bandwidth:</b>	26 MHz	
<b>RF Input:</b>	Frequency Range:	400 – 2700 MHz
	Level Range:	0 to -30 dBm
<b>RF Input (with 6-GHz Option):</b>	Frequency Range:	400 – 2700 MHz, 3350 – 3850 MHz, 4100 – 6000 MHz
	Level Range (0.1 dB resolution):	0 to -30 dBm @ 400 to 2700 MHz
		-10 to -30 dBm @ 3350 to 3850 MHz
		-10 to -30 dBm @ 4100 to 6000 MHz
<b>RF Output:</b>	Level Range (0.1 dB resolution):	-30 to -110 dBm
<b>RF Output (with 6-GHz Option):</b>	Level Range (0.1 dB resolution):	-30 to -110 dBm @ 400 to 2700 MHz
		-40 to -80 dBm @ 3350 to 3850 MHz
		-40 to -80 dBm @ 4100 to 6000 MHz
<b>Independent Paths:</b>	24	
<b>Relative Path Delay:</b>	0 – 2000 ms, 0.1 ns resolution	
<b>Relative Path Loss:</b>	0 – 32 dB	
<b>Dynamic Power Delay Profiles:</b>	Birth – death, sliding (moving propagation)	
<b>DEE-Controllable Parameters:</b>	State duration, channel output level, path delay, path status (on/off), relative path loss	
<b>Fading:</b>	Types:	Rayleigh, Rician, freq shift, phase shift
	Doppler Range:	0.01 – 2000 Hz, 0.01 Hz resolution
	Repetition Interval:	>1700 hours
	Relative Phase between Paths:	0 – 360 degrees, 0.1 degree resolution
	Rician K-factor:	-30 to +30 dB
<b>AWGN (optional):</b>	C/N Ratio:	-30 to +30 dB (dependent on O/P level)
	Bandwidth:	26, 13, 6.5, 3.25, 1.625 MHz
	Fidelity:	Meets or exceeds all 3GPP, 3GPP2 and WLAN requirements
	Sequence Duration:	>2 hours

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Σημειώσεις «Κινητών Επικοινωνιών» του κ. Λιοδάκη Γεώργιου .
- 2) J.F. Arnold and M.C. Cavernor , “A practical course in digital video communications based on MATLAB” IEEE Trans. Educ. , vol.39 , pp.127-136,May 1996
- 3) A. Papoulis , Probability , Random Variables , and Stochastic Processes , 3<sup>rd</sup> ed. New York:McGraw-Hill, 1991 .
- 4) H.Hashemi, “The indoor radio propagation channel” , Proc.IEEE,vol.81,pp.943-968,July 1993 .
- 5) M.Nakagami “The m-distribution . A general formula of intensity distribution of rapid fading in Statistical Methods in Radio Wave Propagation , W.C. Hoffman, Ed. New York:Pergamon, 1960 .
- 6) [www.spirentcom.com](http://www.spirentcom.com)
- 7) T.S. Rappaport , Wireless Communications , Principles and Practice . Upper Saddle River , NJ:Prentice-Hall, 1996
- 8) A.J.Coulson “ A statistical basis for lognormal shadowing effects in multipath fading channels” IEEE Trans.Commun. , vol 46,pp.494-502, April 1998 .
- 9) H. Suzuki “A statistical model for urban radio propagation” ,IEEE Trans.Commun. , vol.COM-25, no.7 , pp.673-680 , July 1977 .
- 10) W.C.Y.Lee “Estimate of local average power of a mobile radio” , IEEE Trans.Vehic.Tech. , vol VT-34 , no.1 , pp.22-27 , Feb 1985.