



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ  
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

# ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## ΘΕΜΑ

**“ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΨΕΥΔΟΤΥΧΑΙΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΣΕ  
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ”**

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΜΠΛΑΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΛΙΟΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

ΧΑΝΙΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2002

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	σελ. 3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Τεχνολογία CDMA.....	σελ. 4
1.1.Ιστορική εισαγωγή.....	σελ.4
1.2.Περί διασποράς φάσματος.....	σελ.12
1.3Τεχνικές Direct Sequence και Frequency Hopping.....	σελ.17
1.3.1Direct Sequence.....	σελ.19
1.3.2.Frequency hopping.....	σελ.20
1.4.Τεχνολογία CDMA και νεότερες γενιές συστημάτων κινητών επικοινωνιών.....	σελ.23
1.4.1.Τεχνική Wideband.....	σελ.23
1.4.2.Ασύρματο σύστημα 3G.....	σελ.24
1.4.3.Βουτώντας στο κύμα των πολυμέσων.....	σελ.26
1.4.4.Τι είναι η 4G.....	σελ.29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Κετηγωρίες και παραγωγή κωδίκων.....	σελ.30
2.1.Γενικά περί κωδίκων σε εφαρμογές επικοινωνιών και ranging.....	σελ.30
2.2.Κώδικες τύπου maximal.....	σελ.32
2.3.Κώδικες τύπου linear.....	σελ.40
2.4.Autocorrelation and cross-correlation of codes.....	σελ.49
2.5.Composite codes.....	σελ.58
2.6.Chip rate and code length.....	σελ.66
2.7.Short code.....	σελ.69
2.8.Long code.....	σελ.69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Υλοποίηση κυκλώματος ψευδοτυχαίας ακολουθίαμέσο λογισμικού.....	σελ.71
3.1.Περιγραφή κυκλώματος γεννήτριας τυχαίου κώδικα.....	σελ.71
3.2.Πρόγραμμα Spice.....	σελ.74
3.3.Αποτελέσματα κυματομορφών.....	σελ.76
Παράρτημα I.....	σελ.83
Παράρτημα II.....	σελ.85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	σελ.86

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Μέσα από αυτόν τον πρόλογο θα ήθελα να εκφράσω κάποιες σκέψεις μου και ευχαριστίες σχετικά με τη διεκπεραίωση της πτυχιακής μου εργασίας. Το ενδιαφέρον μου για τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και λόγω που η τεχνολογία στο συγκεκριμένο τομέα έχει συνεχή και μεγάλη εξέλιξη τόσο εμπορικά όσο και τεχνολογικά, με οδήγησε στην ιδέα για την πραγματοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Έτσι μετά από συζητήσεις με τον κύριο Λιοδάκη Γεώργιο που είναι ο εισηγητής καθηγητής της εργασίας μου, καταλήξαμε να ασχοληθούμε με την CDMA τεχνολογία και ειδικότερα με τις χρησιμοποιούμενες ψευδοτυχαίες ακολουθίες.

Η εργασία μου αποτελείται από τρία κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τις αρχές της τεχνολογίας του CDMA, το δεύτερο κεφάλαιο τη θεωρία των διαφόρων τυπικών κωδίκων και των ιδιοτήτων τους και τέλος το τρίτο κεφάλαιο την υλοποίηση του κυκλώματος ψευδοτυχαίας ακολουθίας μέσω λογισμικού (όπου έγινε simulation του κυκλώματος με τη βοήθεια του προγράμματος Microcap 6).

Για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας χρειάστηκα έξι μήνες. Τα σημαντικότερα προβλήματα που συνάντησα ήταν ότι χρειάστηκε η εκμάθηση του προγράμματος Microcap και των δυνατοτήτων αυτού. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κύριο Τομαδάκη Ιωάννη, που μου πρόσφερε πολύτιμο χρόνο λόγω της εμπειρίας του. Επίσης δεν ήταν εύκολη η άντληση πληροφοριών για το αντικείμενο της εργασίας μου (ιδιαίτερα στην Ελληνική γλώσσα) και αναγκάστηκα να καταφύγω σε ξένη βιβλιογραφία, στο internet, κ.τ.λ..

Τέλος, θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου και την εκτίμηση μου για τον εισηγητή και τα μέλη της επιτροπής εξέτασης που με βοήθησαν στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ CDMA**

### 1.1.1. Ιστορική Εισαγωγή

Μια μεγάλη ηθοποιός της δεκαετίας του '50, η Hedy Lamarr, πέθανε σε ηλικία 87 ετών. Όσοι αγαπάτε τον κινηματογράφο θα την έχετε δει, ίσως, στην ταινία “Σαμψών και Δαλιδά” (1950) του Cecil de Mille. Η διάσημη ηθοποιός, που κάποτε είχε ανακηρυχθεί ως η ωραιότερη γυναίκα του Hollywood είχε συμβάλει ουσιαστικά, κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου, στην επινοήση και σχεδίαση του συστήματος ραδιοεπικοινωνιών με ανπήδηση συχνότητας (frequency hopping). Η ιδέα της χρησιμοποιείται σήμερα κατά κόρον στη τεχνολογία κυψελοειδών επικοινωνιών (κινητή τηλεφωνία), σε όλα τα συστήματα ασύρματων τοπικών δικτύων (Bluetooth, Home RF και IEEE 802.11) αλλά και στη ραδιοκαθοδήγηση των διηπειρωτικών βαλλιστικών πυραύλων τις δορυφορικές επικοινωνίες και την τηλεμετρία του απώτερου διαστήματος (deep space).

Το γεγονός ότι η ιδέα ξανα-εφευρέθηκε από τη πολύ γνωστή στους παλαιότερους, εταιρεία SYLVANIA, αμέσως μόλις έληξε η διάρκεια κατοχύρωσης της ευρεσιτεχνίας, είναι λεπτομέρεια. Η αναγνώριση για την ωραία LAMARR ήρθε το 1997, μετά από 55 χρόνια και έξι γάμους, όταν βραβεύθηκε για τη συνεισφορά της από το σημαντικό στην Αμερική ίδρυμα για την “Πρωτοπορία στα Ηλεκτρονικά” (Electronic Frontier Foundation).

Η ιδέα προτάθηκε στο αμερικάνικο ναυτικό ως ασφαλής τρόπος ραδιοκαθοδήγησης των τορπιλών (guided torpedoes) που συχνά έχαναν το στόχο τους, λόγω της χρήσης από το γερμανικό και ιαπωνικό ναυτικό κατάλληλων αντίμετρων (ραδιοπαρεμβολών). Οι αρμόδιοι του υπουργείου αγνόησαν την ιδέα και πρότειναν στην ωραία HEDY ένα καλύτερο, κατά τη γνώμη τους, τρόπο, για να συνεισφέρει στην κοινή πολεμική προσπάθεια. Θα χρέωνε 50.000\$ για κάθε φιλί της, και το συνολικό ποσό θα το έδινε στο πολεμικό ναυτικό! Η ιδέα αυτή απέδωσε στο αμερικάνικο δημόσιο περίπου 7 εκατομμύρια δολάρια που μάζεψε η LAMARR από τους συναδέλφους της στο Hollywood. Η άλλη ιδέα, όμως, έστω και καθυστερημένα χρησιμοποιήθηκε στη πυραυλική κρίση της Κούβας για τις ασφαλείς επικοινωνίες του αμερικάνικου στόλου. Μερικοί ιστορικοί υποστηρίζουν ότι λόγω της χρήσης αυτής της τεχνολογίας οι Σοβιετικοί δεν μπόρεσαν να παρακολουθήσουν τις συνεννοήσεις της αμερικάνικης πολεμικής μηχανής και δεν κλιμάκωσαν τη κρίση. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε στις διαστημικές επικοινωνίες και στην τηλεμετρία του απώτερου διαστήματος. Η κορύφωση όμως της

τεχνολογίας διάχυσης φάσματος είναι το αξίας 25 δις δολαρίων, σύστημα ελέγχου των διηπειρωτικών πυραύλων MILSTAR. Αυτό το δίκτυο επικοινωνιών και ραδιοπλοήγησης χρησιμοποιεί τεχνολογίες που μπροστά τους το StarWar φαίνεται πρωτόγονο. Η τελική καταξίωση για την ωραία Hedy ήρθε όταν το αμερικάνικο σύστημα κινητής τηλεφωνίας CDMA χρησιμοποίησε την ιδέα της. Βέβαια το σύστημα που προτάθηκε από τη Hedy Lamarr και η διάχυση φάσματος που χρησιμοποιείται στη κινητή τηλεφωνία.

Η ανάγκη για ανάπτυξη ραδιοζεύξεων με διασπορά φάσματος προέκυψε από τις στρατιωτικές ανάγκες του “ηλεκτρονικού πολέμου” που πιο εύστοχα ονομάζονται “ηλεκτρονικά αντίμετρα”. Ο ηλεκτρονικός πόλεμος συνίσταται στον εντοπισμό των συχνοτήτων επικοινωνίας του αντίπαλου και την ισχυρή εκπομπή –στις ίδιες συχνότητες- σημάτων παρεμβολής.

Οι ηλεκτρονικοί παρεμβολείς αποτελούν, ουσιαστικά, ένα σχεδόν πλήρες “κινούμενο” εργαστήριο ικανό να αναλύσει φασματικά τις συχνότητες, να ξεχωρίσει και να αποφασίσει ποιες είναι φιλικές και ποιες όχι και να παρεμβάλει ισχυρά τις τελευταίες. Όλα αυτά σε χρόνους της τάξεως των χιλιοστών του δευτερολέπτου. Οι διατάξεις διασποράς φάσματος προσπαθούν –και πετυχαίνουν- να εξουδετερώσουν αυτές τις παρεμβολές γι’αυτό και χαρακτηρίζονται ως “ηλεκτρονικά αντί-αντίμετρα”. Ήδη τέτοια πειράματα για τεχνολογίες διασποράς φάσματος είχαν αρχίσει από το 1940 στα εργαστήρια του αμερικάνικου στρατού. Όμως η ανώριμη ηλεκτρονική τεχνολογία εκείνης της εποχής και η πολυπλοκότητα αυτών των συστημάτων δεν επέτρεψε την ανάπτυξή τους στην δεκαετία του ’40. Μόνο στις αρχές της δεκαετίας του ’60 κατασκευάστηκαν τέτοια συστήματα επικοινωνιών, που, είπαμε, χρησιμοποιήθηκαν στη μεγάλη πυραυλική χρήση της Κούβας. Έκτοτε η ανάπτυξη τους είχε μείνει επτασφράγιστο στρατιωτικό μυστικό, ίδιας διαβάθμισης και σπουδαιότητας με τα πυρηνικά όπλα. Λίγοι γνώριζαν ή υποπτευόντουσαν την ύπαρξη τους.

Όλα αυτά μέχρι το 1985 περίπου, όταν μετά την άρση του απορρήτου που κάλυπτε τις σχετικές έρευνες άρχισαν να δημοσιεύονται οι λεπτομέρειες της τεχνολογίας. Ήδη νέες πιο προχωρημένες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται στις διαβαθμισμένες στρατιωτικές επικοινωνίες, για τις οποίες θα μάθουμε σε πέντε-δέκα χρόνια.

Σήμερα η τεχνολογία διασποράς φάσματος με τη μορφή του συστήματος κωδικής πολλαπλής πρόσβασης ή κωδικομεριστική

πολυπλεξίας (Code Division Multiple Access, CDMA) χρησιμοποιείται στην κινητή τηλεφωνία των ΗΠΑ της Ιαπωνίας, της Κορέας και της Κίνας, παράλληλα με το γνωστό μας σύστημα GSM. Αν και ακόμη υπολείπεται σε διάδοση, οι διάφορες παραλλαγές του (CDMA-One, CDMA-2000, W-CDMA) είναι τόσο προηγμένο τεχνολογικά που είναι βέβαιο ότι θα αποτελέσει το πρότυπο για την κινητή τηλεφωνία της τρίτης γενιάς. Χρησιμοποιείται ακόμη σε όλα τα πρότυπα ασύρματης δικτύωσης των ηλεκτρονικών συσκευών (τοπικά ασύρματα δίκτυα Bluetooth, και IEEE802.11), τα οποία θα μας κατακλύσουν στα επόμενα χρόνια. Επιλέον ποιος θα φανταζόταν, για παράδειγμα, ότι οι παλμοί χρονισμού στις μητρικές πλάκες των PCs έχουν υποστεί διασπορά φάσματος ώστε να μειωθεί το ενεργειακό περιεχόμενο της θεμελιώδους φασματικής συνιστώσας. Ο σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι η ελάττωση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών και η συμμόρφωση των συσκευών με τις απαιτήσεις περί ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας.

Ειδικότερα, οι σημαντικότερες εξελίξεις των τελευταίων ετών στην ανάπτυξη εμπορικών συστημάτων και εφαρμογών που κάνουν χρήση της τεχνολογίας CDMA έχουν ως ακολούθως:

**Nov 89:** First demonstration (San Diego)

**1993:** IS-95A standard complete

**Sept 95:** World's first commercial launch of IS-95a (Hutchison Telecom, Hong Kong)

**Dec 95:** 13 kbps vocoder for high quality voice developed by the CDMA Development Group (CDG)

**Mar 96:** First US launch of IS-95A cellular service (Bell Atlantic Mobile)

**Oct 96:** First US PCS IS-95A launch (PrimeCo Personal Communications)

**Dec 96:** First Latin America launch of IS-95A (Telefonica del Peru)

**Apr 97:** First Canadian launch of IS-95A cellular service (BC TEL Mobility)

**May 97:** First IS-95A WLL launch (MTNL, India)

**Jun 97:** IS-95B standard complete: includes 64 kbps data

**Jun 97:** cdmaOne brand name launched by CDG for IS-95 CDMA

**Oct 97:** First Canadian launch of cdmaOne (Bell Mobility and Clearnet Communications)

**Dec 97:** 7.8 million CDMA subscribers worldwide

**Mar 98:** LG Telecom (Korea) launches first CDMA data services

**Apr 98:** TIA endorses wideband cdmaOne (aka CDMA2000) for ITU 3G solution

**Apr 98:** Statement of need defined for CDMA2000 Phase 1 (aka CDMA2000 1X)

**Jun 98:** CDMA2000 submitted to ITU for IMT-2000

**Dec 23:** million CDMA subscribers worldwide

**Apr 99:** Operators across North America, Korea and Japan begin launching cdmaOne Internet and information services

**May 99:** Operators complete CDMA harmonization agreement for IMT-2000

**Jul 99:** Phase CDMA2000 standard complete and approved for publication

**Jul 99:** Korea Telecom Freetel launches world's first IS-95B network in Korea

**Aug 99:** LG Telecom and SK Telecom launch IS-95B networks in Korea

**Non 99:** ITU-R Task Group 8/1 endorses CDMA2000 standards (three modes) for IMT-2000

**Dec 99:** 50.1 million CDMA subscribers worldwide

**Jan 00:** IDO Corporation and DDI Cellular Group “PacketOne” packet transmission service for cellular phones with maximum-speed of 64kbps launches nationwide

**Feb 00:** Motorola and Sprint PCS achieve commercial wireless interoperability

**Mar 00:** First CDMA2000 1X voice calls successfully completed

**Apr 00:** Bell Mobility, Nortel Networks, QUALCOMM, Samsung and Sprint PCS successfully complete a series of 3G wireless calls using CDMA2000 1X technology

**Apr 00:** TIA approves CDMA SIM standard for publication

**Jun 00:** Telstra and Nortel complete first 3G CDMA2000 1X data transmission

**Jun 00:** CDMA2000 1Xev introduced to global marketplace by the CDG

**Oct 00:** First ever CDMA-GSM interoperable SIM card introduced to the global market

**Oct 00:** SK Telecom and LG Telecom (Korea) launch world’s first 3G commercial services using CDMA2000

**Dec 00:** 80.4 million CDMA subscribers worldwide

**Mar 01:** CDMA2000 1Xev-DV successfully demonstrated in labs

**Mar 01:** KDDI announces completion of CDMA2000 1Xev-DO calls

**Apr 01:** KT Freetel (Korea) launches CDMA2000 1X



**Jun 01:** CDMA2001 1Xev-DO recognized as part of the 3G IMT-2000 standard

**Jun 01:** Western Wireless (US) deploys CDMA2000 1X selected markets

**Aug 01:** 1 million commercial CDMA2000 1X subscribers

**Dec 01:** Leap (UP), Telemobil (Romania) and Telesp Celular (Brazil) launch commercial CDMA2000 1X service

**Jan 02:** Telefonica Moviles del Peru launches region's first IS-95B network

**Jan 02:** China Unicom launches cdmaOne network

**Jan 02:** Verizon Wireless (US) launches commercial commercial CDMA2000 1X service

**Jan 02:** SK Telecom (Korea) launches world's first CDMA200 1Xev-DO network

**Feb 02:** Bell Mobility (Canada) and MetroPCS (US) launch commercial CDMA2000 1X service

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η τεχνολογία CDMA αποτελεί μια ριζικά νέα εφαρμογή στις ασύρματες εμπορικές επικοινωνίες. Το CDMA είναι μια φόρμα της spread spectrum οικογένειας των ψηφιακών τηλεπικοινωνιακών τεχνικών που έχουν χρησιμοποιηθεί στις στρατιωτικές εφαρμογές για πολλά έτη και όπου η αναφορά ως spread spectrum υπονοεί ότι το εύρος ζώνης είναι πολύ ευρύτερο από το απαιτούμενο για μια point-to-point επικοινωνία στον ίδιο ρυθμό μετάδοσης(data rate). Αρχικά στο πεδίο των στρατιωτικών εφαρμογών υπήρχαν δύο μοτίβα: είτε να αποτραπεί στον εχθρό να κάνει παρεμβολή στους επικοινωνίες, είτε να αποκρυβεί το γεγονός ότι υφίσταται επικοινωνία (αποκαλούμενη ως χαμηλή πιθανότητα παρεμβολής(Low Probability of Intercept-LPI). Εμπορικές εφαρμογές αναπτύχθηκαν εξαιτίας δυο επαναστατικών εξελίξεων: η μια ήταν η διαθεσιμότητα σε πολύ χαμηλό κόστος και με υψηλής ευαισθησία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, που μειώνουν το μέγεθος το βάρος και το κόστος των διακριτών σταθμών σε αποδεκτό επίπεδο. Η άλλη

ήταν ότι η επιθυμητή πολλαπλής πρόσβασης επικοινωνία ήταν εφικτή καθώς οι σταθμοί καθορίζουνε την ισχύ εκπομπής τους στο χαμηλότερο που θα τους εξασφαλίσει να πετύχουν την απαιτούμενη ποιότητα του σήματος. Οι CDMA δέκτες χρησιμοποιούν την ίδια μπάντα συχνότητας αλλά χωρίζουνε τα κανάλια επικοινωνίας σε στοιχεία ψευδοτυχαίας διαμόρφωσης τα οποία εφαρμόζονται και αφαιρούνται στο ψηφιακό πεδίο και όχι στη βάση στους συχνότητας.

Το CDMA αλλάζει το πρόσωπο, στους κυψελοειδούς και προσωπικής επικοινωνίας με:

- δραματική αύξηση της τηλεφωνικής χωρητικότητας (Erlang)
- δραματική αύξηση της ποιότητας της φωνής που μειώνει τους πολλαπλούς δρόμους εξασθένισης
- μειώνει την πιθανότητα πτώση της κλήσης όταν δεν σημειώνεται το handoff
- προβάλλει ένα αξιόπιστο μηχανισμό μεταφοράς για επικοινωνίες δεδομένων, στους παρόμοια είναι και η κίνηση στο internet
- μειώνει των αριθμό των περιοχών που χρειάζονται για να υποστηρίξουνε μια δοθείσα ποσότητα κυκλοφορίας απλοποιώντας την επιλογή της περιοχής
- μειώνει το κόστος λειτουργίας γιατί χρειάζονται λιγότερες κυψελοτές περιοχές
- μειώνει το επίπεδο της εκπεμπόμενης ισχύς
- μειώνει τον παρεμβολή (interference) στις ηλεκτρονικές συσκευές
- μειώνει τους πιθανούς κινδύνους στην υγεία

Τα σήματα στενής ζώνης που προέρχονται από τους επιμέρους χρήστες διευρύνονται, με τη χρήση τους ακολουθίας διεύρυνσης, με συνεχεί και ομαλό τρόπο ώστε η ενέργεια τους να κατανεμηθεί σε μεγάλο εύρος ζώνης, που στη περίπτωση του CDMA προτύπου IS-95 είναι 1.244MHz. Όλοι χρήστες χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. το δε άπλωμα γίνεται με μετατροπή του φασματικά καθορισμένου σήματος σε θόρυβο με την ανάμιξη του με μια ψευδοτυχαία ψηφιακή ακολουθία PN(κώδικας). Ο κώδικας τους είναι γνωστός μόνο στον πομπό και στον δέκτη και παράγεται από μια εξεργετικά πολύπλοκη διαδικασία.

Η μεγάλη υπόσχεση της CDMA τεχνολογίας από την αρχή ήταν η μεγάλη αύξηση της χωρητικότητας πάνω στη στενή μπάντα πολλαπλής πρόσβαση. Πολλά μοντέλα εκτιμούν ότι η αύξηση στη χωρητικότητας μπορεί να είναι και μεγαλύτερη από 20 φορές από τα υπάρχον στενού τα εύρους κυψελωτά στάνταρτ, (όπως το AMPS στη

Βόρεια Αμερική, το NMT στη Σκανδιναβία, και το TACS στο Ηνωμένο Βασίλειο). Ιστορικά η χωρητικότητα υπολογιζότανε με τη χρήση απλών υποθέσεων η πραγματικότητα όμως είναι πιο περίπλοκη από τα εξιδικευμένα μοντέλα. Οι πραγματικές περιοχές κάληψης των κελιών είναι υψηλά ανομοιογενείς και όχι τα κανονικά εξάγωνα που προτείνονται στη θεωρία. Το φορτίο του κάθε καναλιού δεν είναι ομοιογενές και αλλάζει δραματικά κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Το CDMA, λοιπόν προσφέρει μια απάντηση στο πρόβλημα της χωρητικότητας. Το κλειδί σε αυτή την αυξημένη χωρητικότητα είναι η χρήση του θορύβου σαν φέρον κύμα κάτι που προτάθηκε δεκαετίες πριν από την CLAUDE SHANNON. Αντί του χωρισμού του φάσματος ή του χρόνου σε θυρίδες, κάθε χρήστης παρουσιάζεται με μία διαφορετική περίπτωση του 'φέροντος θορύβου'.

Η τεχνολογία του CDMA που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στη κινητή τηλεφωνία, ήδη έχει ξεπεράσει τα πολλά προβλήματα στους πρώτης φάσης και έχει φτάσει σε τέτοιο επίπεδο ωριμότητας που είναι να απορεί κανείς ποσο γρήγορα τόσο προωθημένες τεχνολογίες έφτασαν στα χέρια του καταναλωτικού κοινού.

Ένας από τους κύριους σχεδιαστές της τεχνολογίας CDMA είναι η αμερικάνικη εταιρία Qualcomm η οποία διατηρεί 750 από τους 1500 περίπου πατέντες που αφορούν τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα και οι αλγόριθμοι επεξεργασίας του σήματος (QCELP) που έχει σχεδιάσει η εταιρεία είναι τόσο προηγμένα που εύκολα μπορεί να πιστέψεις ότι ανήκουν στην σφαίρα στους επιστημονικής φαντασίας.

Πέρα από την αυξημένη χωρητικότητας που προσφέρει η μέθοδος πολλαπλής προσπέλασης CDMA σε ένα κυψελωτό σύστημα επικοινωνιών, έχει επιπλέον και πλεονεκτήματα όπως είναι τα παρακάτω:

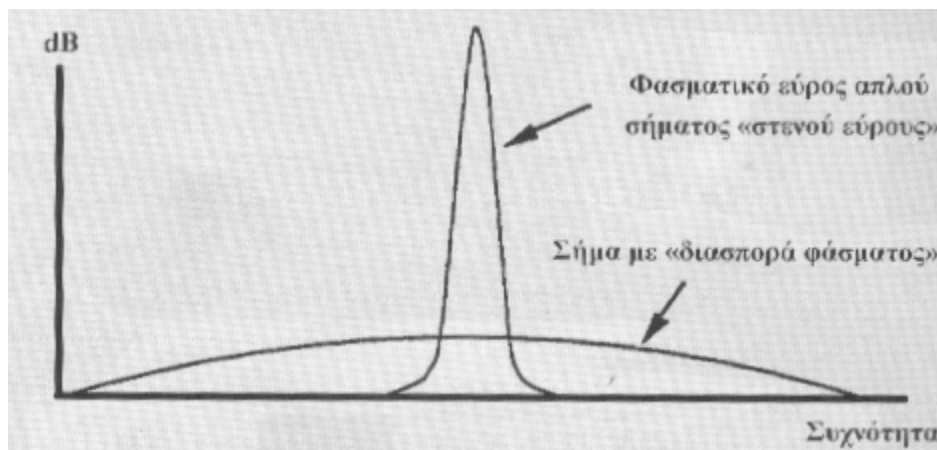
- Δεν απαιτείται ιδιαίτερος σχεδιασμός του συστήματος για τη διάθεση των συχνοτήτων στους εφαρμογή στους αρχής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, αφού όλοι οι ενεργοί συνδρομητές καταλαμβάνουν το ίδιο φάσμα με τη χρησιμοποίηση των διαφορετικών κωδικών.
- Αποτελέσματα μετρήσεων έδειξαν ότι η μετάδοση σημάτων ευρέως φάσματος αντιμετωπίζει καλύτερα τα προβλήματα διαλείψεων.
- Είναι κατάλληλη για αξιοποίηση σε μικροψελωτά συστήματα (microcellular systems), όπου η ακτίνα είναι της τάξης των λίγων εκατοντάδων μέτρων, καθώς και σε συστήματα που

- λειτουργούν σε εσωτερικούς χώρους (οπού το σήμα εμφανίζει πολλαπλές ανακλάσεις).
- Παρουσιάζει το λεγόμενο πλεονέκτημα του soft capacity, δηλαδή ότι η ένταση νέου συνδρομητή σε μια κυψέλη είναι πάντοτε εφικτή (κάτι που δεν συνέβαινε αν δεν διαθέταμε ελεύθερο κανάλι).
  - Δεν έχουμε την εμφάνιση του λεγόμενου hard handover που δημιουργεί προβλήματα στην επικοινωνία λόγω αλλαγής καναλιών κατά την διαδικασία εναλλαγής κυψέλης

## 1.2. Περί Διασποράς Φάσματος

Το φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων είναι ένας ιδιαίτερα πολύτιμος φυσικός πόρος όπως το νερό ή το πετρέλαιο. Πωλείται σε τιμές (δείτε για παράδειγμα το κόστος των αδειών κινητής τηλεφωνίας) και η χρήση του παραχωρείται με μεγάλη φειδώ. Οι απαιτήσεις, δε για τη χρήση του ούτως ή άλλως περιορισμένου ραδιοφάσματος συνεχώς αυξάνονται.

Πράγματι πριν λίγα χρόνια το μικρότερο εύρος καναλιού ήταν 50KHz, ενώ σήμερα έχει μειωθεί σε 12.5KHz. Ήδη όλες οι επικοινωνίες της πολιτικής αεροπορίας θα χρησιμοποιούν εύρος φάσματος 7.33KHz και όσες αεροπορικές εταιρείες δεν κάνουν τις απαραίτητες αλλαγές δεν θα μπορούν από το καλοκαίρι να χρησιμοποιούν τα αεροδρόμια της Κεντρικής Ευρώπης. Όμως η κίνηση προς όλο και μικρότερο φασματικό εύρος ανά εκπομπή είναι ατελέσφορη και περιορισμένου ορίζοντα απόδοσης. Ποία είναι, όντως η λύση για όλο και περισσότερους σταθμούς εμπορικούς ανά ζώνη συχνοτήτων; Προφανώς η απόδοση σε κάθε πομπό όλου του διαθέσιμου φασματικού εύρους! (βλέπε σχήμα 1.2.1.).



### Σχήμα 1.2.1

Παρατηρήστε ότι καθώς η ενέργεια του σήματος απλώνεται, η μέγιστη ισχύς του μειώνεται σε τέτοιο βαθμό ώστε πολλές φορές να γίνεται μικρότερη ακόμη και από το κατώφλι θορύβου. Ακόμα όμως και αν τα σήματα χαθούν μέσα στο θόρυβο μπορούν να αναδυθούν μέσα από αυτόν με τη βοήθεια μιας μαθηματικής διαδικασίας συσχέτισης του κώδικα ο οποίος έχει εγγραφεί στο σήμα πριν από την εκπομπή του. Με τον τρόπο αυτό τα σήματα γίνονται “αόρατα” από τα κοινά συστήματα ηλεκτρονικής παρακολούθησης.

Η έννοια, βέβαια, του διευρυμένου φάσματος είναι σχετική. Ένα σήμα που μεταφέρει πληροφορία με ρυθμό διαμεταγωγής  $R=100\text{Mbits/sec}$  απαιτεί εύρος φάσματος  $B=100\text{MHz}$  και φυσικά δεν μπορεί να θεωρηθεί σήμα διασποράς φάσματος. Αντίθετα σήμα που μεταφέρει πληροφορία με ρυθμό  $R=100\text{bits/sec}$  και απαιτεί ελάχιστο εύρος ζώνης, αν απλωθεί σε εύρος  $B=100\text{MHz}$ , τότε είναι προφανώς σήμα διασποράς φάσματος και μάλιστα το οριζόμενο ως (processing gain) μέγεθος είναι της τάξεως  $B/R = 10^6$ , ή 60dB.

Υπάρχουν τρεις τρόποι για να πετύχουμε διασπορά φάσματος. Ο πρώτος είναι απλός: μεταβάλλουμε συνεχώς, μεταξύ δυο ορίων, τη συχνότητα του φέροντος. Είναι τα γνωστά σήματα chirp (από τον ήχο τιτιβίσματος που ακούγεται στον δέκτη), που στην εποχή του ψυχρού πολέμου χρησιμοποιήθηκαν στα ραντάρ μεγάλης εμβέλειας για την έγκαιρη προειδοποίηση πυρηνικής επίθεσης. Ένα ισχυρότατο τέτοιο σήμα ανιχνευόταν παλαιότερα και στην Ελλάδα καθώς προερχόταν από το τεράστιο ισχύος ραντάρ επιτήρησης της Δυτικής Ευρώπης που είχαν οι Σοβιετικοί στα Ουράλια Όρη.

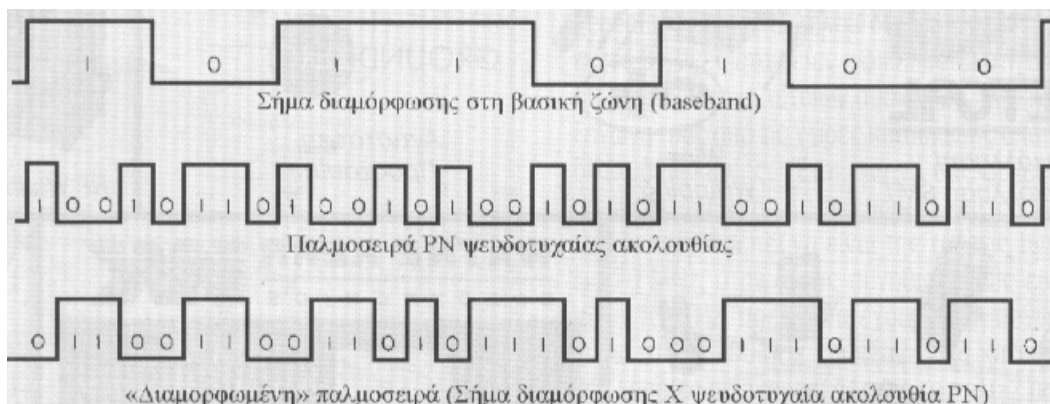
Ο δεύτερος τρόπος διεύρυνσης του φάσματος είναι η ασυνεχής μεταβολή με άλματα, της συχνότητας του φέροντος. Οι αναπηδήσεις συχνότητας Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS), όπως λέμε. Η συχνότητα του φέροντος μεταβάλλεται πολλές φορές (εκατοντάδες ή και χιλιάδες φορές μέσα σε ένα δευτερόλεπτο), με βάση ένα προκαθορισμένο πρόγραμμα. Με το ίδιο ρυθμό μεταβάλλεται και η συχνότητα λήψεως του δέκτη. Το σύστημα χρησιμοποιείται ευρύτατα στις στρατιωτικές επικοινωνίες και τώρα πλέον έχει επεκταθεί και στις εμπορικές εφαρμογές. Μάλιστα τα νέα πρότυπα ασύρματης διασύνδεσης των ηλεκτρονικών συσκευών (Bluetooth, HomeRF και IEEE 802.11) εφαρμόζουν αυτό τον τρόπο επικοινωνίας για να αποφύγουν τις παρεμβολές. Το δύσκολο σημείο της υπόθεσης είναι ο συγχρονισμός. Απαιτείται ακρίβεια στο χρονισμό της διαδικασίας μεταβολών και τα ηλεκτρονικά κυκλώματα

ήταν πολύπλοκα και ακριβά. Τώρα πια βέβαια όλα υπάρχουν μέσα σε ένα μικρό ολοκληρωμένο κύκλωμα.

Σε ραδιοπεριβάλλον που υπάρχει επιλεκτική διάλειψη συχνότητας, (selective frequency fading) -πρόκειται για μεγάλο εχθρό των ραδιοεπικοινωνιών- το πλεονέκτημα της αλλαγής συχνότητας μπορεί να διασφαλίσει ότι σπάνια το σήμα θα παραμείνει σε κατάσταση επιλεκτικής διάλειψης για παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Οι αναπηδήσεις συχνότητας είναι πιο αποτελεσματικές εάν χρησιμοποιηθεί ταχύτατος ρυθμός πραγματοποίησης των αλμάτων συχνότητας, ώστε η επικοινωνία να μην αλλοιώνεται λόγω εξασθένησης ή παρεμβολής. Αυτό όμως δημιουργεί προβλήματα στη σχεδίαση των synthesizers ταχείας μεταγωγής και των ενισχυτών ευρείας ζώνης.

Εφαρμογή της αναπήδησης συχνότητας έχουμε και στο σύστημα κινητής τηλεφωνίας GSM όπου χρησιμοποιείται ευρύτατα η αλλαγή συχνότητας με αναπηδήσεις, σε επίπεδο χρονοπλαισίων. Το κίνητρο για την προσθήκη επιπλέον κυκλωμάτων στο ήδη απεμπιστικά πολύπλοκο πρότυπο GSM είναι διπλό. Πρώτον, το εύρος ζώνης των καναλιών (200KHz) δεν είναι αρκετό για να διασφαλιστεί ότι θα είναι πάντοτε επαρκές ώστε να μην αλλοιώνεται η επικοινωνία λόγω διάλειψης στενής ζώνης που συχνότατα εμφανίζεται στις συχνότητες των 900MHz. Κατά δεύτερο λόγο, εάν υπάρχει μια ισχυρή πηγή παρεμβολής σε κάποια συχνότητα, η διαδικασία των αλμάτων εξασφαλίζει ότι τα πλαίσια θα αλλοιώνονται αποκλειστικά σε παροδική βάση.

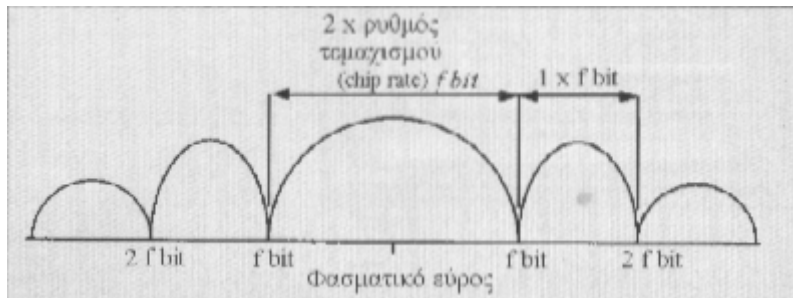
Η τρίτη μέθοδος διεύρυνσης του φάσματος είναι η επονομαζόμενη ως Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS). Το φέρον διαμορφώνεται (πολλαπλασιάζεται) με ένα ψηφιακό σήμα-κώδικα (ψηφιοσειρά ψευδοθορύβου-pseudonoise-PN) που παράγεται από μια γεννήτρια ψευδοτυχαίας ακολουθίας.



### Σχήμα 1.2.2.

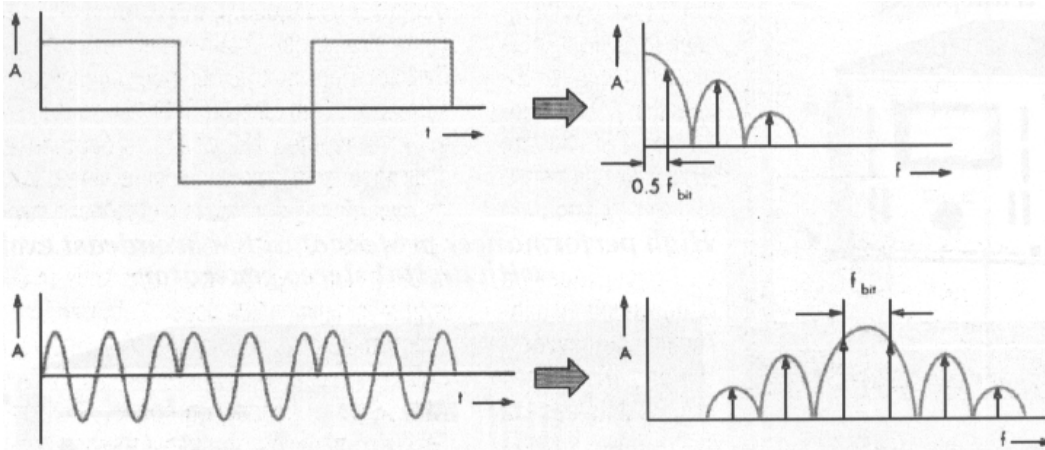
Στο σχήμα 1.2.2. βλέπουμε το σχηματισμό της “διαμορφωμένης PN παλμοσειράς”. Το σήμα διαμόρφωσης βασικής ζώνης προστίθεται λογικά με την “ακολουθία διεύρυνσης” δηλαδή με την ψηφιοσειρά ψευδοθορύβου που παράγεται από τη γεννήτρια ψευδοτυχαίας ακολουθίας. Η συχνότητα ωρολογίου της ακολουθίας διεύρυνσης είναι εξαιρετικά υψηλή και ονομάζεται chipping rate. Η παλμοσειρά που προκύπτει διαμορφώνει το φέρον σήμα κατά BPSK ή QPSK (διαμόρφωση διπλής ή τετραπλής φάσεως).

Μπορεί να αποδειχθεί μαθηματικά ότι το φάσμα εκπομπής “διαχέεται”, εξαπλώνεται τόσο περισσότερο, όσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός της ψηφιακής γεννήτριας (βλέπε σχήματα 1.2.3. και 1.2.4.).



### Σχήμα 1.2.3.

Ειδικότερα στο σχήμα 1.2.3. βλέπουμε τη θεωρητική φασματική κατανομή ενός DSSS σήματος. Είναι ουσιαστικά, το φάσμα της “ακολουθίας διεύρυνσης” PN, διπλασιασμένο γύρω από άξονα συμμετρίας της φέρουσας συχνότητας, όπως είναι γνωστό από τη θεμελιώδη θεωρία σημάτων. Παραπλήσιο είναι και το φάσμα της διαμορφωμένης παλμοσειράς PN που “φορτώνεται” στο φέρον σήμα με chip rate  $f_{bit}$ . Παρατηρούμε ότι το βασικό φασματικό εύρος του σήματος είναι διπλάσιο από το  $f_{bit}$  επομένως όσο υψηλότερη η συχνότητα ρολογιού, τόσο πιο εκτεταμένο το φάσμα.



Σχήμα 1.2.4.

Στη λήψη, το σήμα υφίσταται αποδιεύρυνση (de-spreading), έτσι ώστε να ανακτηθεί η αρχική διαμόρφωση στενής ζώνης. Αυτό επιτυγχάνεται με πολλαπλασιασμό του λαμβανόμενου σήματος με την ίδια ακριβώς συγχρονισμένη ψευδοτυχαία ακολουθία. Η διαδικασία συσχέτισης προκαλεί την εξουδετέρωση της διεύρυνσης που έγινε κατά την εκπομπή. Η αποδιεύρυνση θα συμβεί όμως μόνον εάν χρησιμοποιηθεί η σωστή ακολουθία διεύρυνσης στα δυο άκρα της ζεύξης και οι ακολουθίες είναι χρονικά ευθυγραμμισμένες.

Η πρόσβαση στο ίδιο κανάλι από πολλούς χρήστες (πολλαπλή πρόσβαση, multiple access) επιτυγχάνεται εκχωρώντας σε κάθε χρήστη ένα διαφορετικό κώδικα διεύρυνσης. Στο δέκτη θα ανιχνευθεί μόνον η ενέργεια που έχει διασπαρθεί από το συγκεκριμένο κώδικα διεύρυνσης ή διαφορετικό χρονισμό με το ίδιο κώδικα. Επομένως πολλοί χρήστες μπορούν να συνυπάρχουν ταυτόχρονα και στο ίδιο εύρος μέσα στο τηλεπικοινωνιακό κανάλι. Εάν υπάρχει κάποια συσχέτιση ανάμεσα στους κώδικες διεύρυνσης θα υπάρχει μικρή συνεισφορά από τα άλλα διευρυμένα σήματα στο αποδιευρυμένο σήμα κάθε χρήστη. Το φαινόμενο αυτό θέτει τελικά, ένα άνω όριο στο ταυτόχρονο αριθμό των χρηστών που μπορούν να συνυπάρχουν ταυτόχρονα στο ίδιο τμήμα του φάσματος, ώστε να μη δημιουργηθούν σφάλματα από την ανεπιθύμητη αποδιευρυμένη ενέργεια των σημάτων των γειτονικών χρηστών. Αυτός ο παράγοντας παρεμβολής δημιουργεί αυστηρή απαίτηση για έλεγχο ισχύος, καθώς και φανερό ότι αυτή η αμοιβαία παρεμβολή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί για κάθε χρήστη μόνον εάν οι χρήστες λειτουργούν έτσι, ώστε ο σταθμός βάσης να λαμβάνει από όλους την ίδια ισχύ. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί το πιο δυσεπίλυτο πρόβλημα στις



επικοινωνίες διασποράς φάσματος και αναφέρεται ως near-far problem. Επί πολλά χρόνια εμπόδιζε την ανάπτυξη της τεχνολογίας spread spectrum. Λύθηκε τα τελευταία χρόνια μετά από εντατική έρευνά της εταιρίας QUALCOMM που καθιέρωσε και διέδωσε τη διασπορά φάσματος σε εμπορικές εφαρμογές.

Η τεχνολογία με διασπορά φάσματος DSSS χρησιμοποιείται από το στρατό κυρίως για στρατηγικούς σκοπούς (ραδιοκαθοδήγηση πυραύλων και επικοινωνίες μέσω δορυφόρων). Το ραδιομόντεμ USC-28 της MAGNAVOX που έχει όγκο περίπου όσο μια ντουλάπα και μπορεί να λειτουργήσει με ψευδοτυχαίες ακολουθίες με συχνότητες από 100bit/sec έως 64kbits/sec και εύρος φάσματος 60MHz, είναι κλασικό και βρίσκεται στην ενεργό υπηρεσία εδώ και μια δεκαετία. Σχεδόν όλες οι επικοινωνίες μέσω δορυφόρων γίνονται με αυτή τη συσκευή. Για τις “απλές” τακτικές ανάγκες επικοινωνίας των στρατιωτικών μονάδων χρησιμοποιείται η τεχνολογία διασποράς φάσματος με αναπήδησεις συχνότητας. Ήδη χρησιμοποιούνται ευρύτατα από τις χώρες του NATO οι ασύρματοι αναπήδησης συχνοτήτων SINCGARS (Signal Channel Ground and Airborne Radio System). Πρόκειται για φορητούς ασύρματους που λειτουργούν στη ζώνη 30-88MHz και αλλάζουν συχνότητα περίπου 130 φορές το δευτερόλεπτο. Στην αεροπορία χρησιμοποιούνται για τις τακτικές επικοινωνίες τα συστήματα αναπήδησης συχνοτήτων HAVEQUICK II που λειτουργούν στη ζώνη 220-400MHz και μπορούν να μεταβάλουν τη συχνότητα τους περίπου 200 φορές το δευτερόλεπτο. Η χρήση τους έγινε καθολική μετά τον πόλεμο του Κόλπου και όλες οι επικοινωνίες των ιπτάμενων AWACS με τα αεροσκάφη που περιπολούν στις “θερμές” περιοχές του πλανήτη χρησιμοποιούν αυτές τις συσκευές.

### 1.3. Τεχνικές Direct Sequence Και Frequency Hopping

Οι spread spectrum εκπομπή χρησιμοποιεί παρόμοια μεταδιδόμενα επίπεδα ισχύος με της στενής μπάντας εκπομπή αλλά τα spread spectrum σήματα είναι τόσο πλατιά που μπορεί να μεταδοθούν με πολύ χαμηλή φασματική πυκνότητα ισχύος (μετρούμενη σε Watt/Hz) από ότι στενού εύρους εκπομπή. Εφόσον το spread spectrum σήμα μεταδίδεται με χαμηλή ισχύ αλλά με ευρύ εύρος ζώνης ένα spread spectrum σήμα και ένα στενής μπάντας σήμα μπορεί να λειτουργήσουν την ίδια μπάντα με ελάχιστη ή καθόλου αλληλοπαρεμβολή (βλέπε σχήμα 1.3.). Για να προσδιοριστεί ένα σήμα σαν spread spectrum πρέπει να το μεταδιδόμενο εύρος ζώνης

του σήματος να είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από ότι το εύρος ζώνης της πληροφορίας. Πολλά spread spectrum συστήματα μεταδίδουν σήματα ραδιοσυχνότητας με εύρος ζώνης πλατύτερο 20 έως 254 φορές από το εύρος ζώνης που στέλνεται. Μερικά spread spectrum συστήματα έχουν 1000 φορές μεγαλύτερο εύρος ζώνης από της πληροφορίας. Η εκπληρωμένη αύξηση για φαρδιές μπάντες συστήματα αναφέρετε σαν διαδικασία κέρδους. Αυτό χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ευκρίνεια του λαμβανόμενου σήματος που κερδίζεται από το εύρος ζώνης. Το αριθμητικό πλεονέκτημα αποκτεείται από την εξίσωση που περιγράφει τη χωρητικότητα του καναλιού.

$$C = W \log (1 + S / N )$$

Όπου C=χωρητικότητα του καναλιού

W=εύρος ζώνης

S=το σήμα ισχύος

N=ισχύς θορύβου

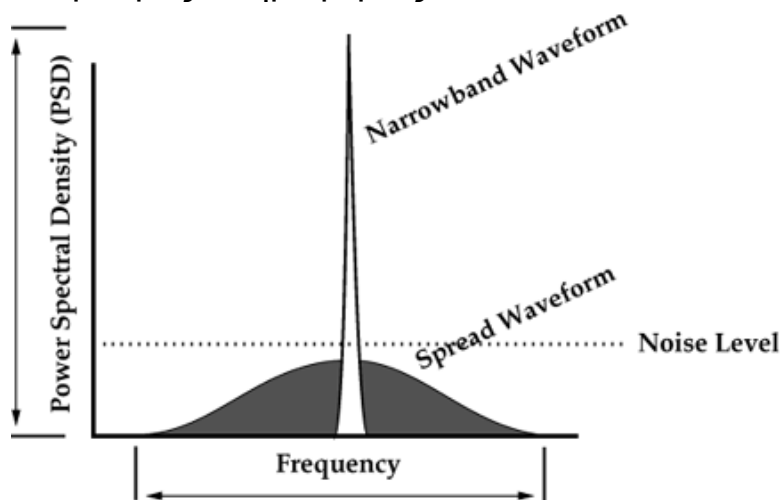
Από αυτή την εξίσωση το αποτέλεσμα της αύξησης του εύρους ζώνης γίνεται ορατό. Αυξάνοντα το W το S/N πρέπει να μειωθεί χωρίς μείωση της εκτέλεσης.

Η διαδικασία κέρδους είναι ότι ουσιαστικά προβάλλεται μια αύξηση στην εκτέλεση του συστήματος χωρίς ένα απαιτούμενο αυξημένο S/N. Αυτή παρουσιάζεται μαθηματικά σαν:

$$GP = BWRF / RINFO$$

Όπου BWRF=το εύρος ζώνης της ραδιοσυχνότητας

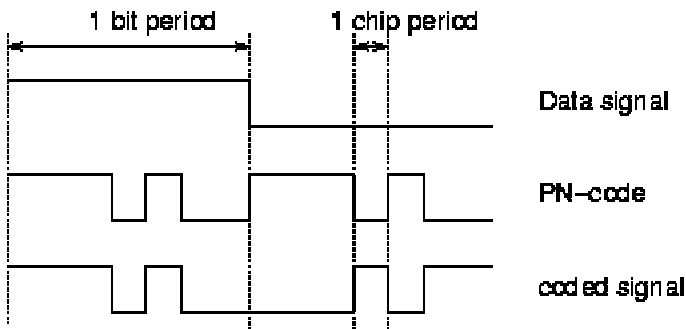
RINFO= ρυθμός πληροφορίας



Σχήμα 1.3.

### 1.3.1. Direct Sequence

Τα συστήματα direct sequence είναι τα καλύτερα και ευρύτερα χρησιμοποιούνται σε spread spectrum systems. Αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας το radio frequency carrier με το pseudo noise. Ο pseudo noise (PN-code) είναι δυαδικό σήμα που παράγεται σε πολύ υψηλή συχνότητα (βλέπε σχήμα 1.3.1.1).



Σχήμα 1.3.1.1.

Όπως θα δείτε και παρακάτω το Direct Sequence έχει 3 σημαντικά πλεονεκτήματα:

#### α) Χαμηλή πυκνότητα ισχύος στον αέρα

Η εκπομπή DSSS είναι συνεχής (δεν υπάρχουν hops) και η διασπορά (Spreading) του σήματος είναι και στο φάσμα (πλάτος καναλιού) και στην ισχύ (τα 100mW διαχέονται σε μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων άρα η ισχύς ανά Hertz είναι τελικά πολύ χαμηλότερη από 100mW). Στην ουσία το συνολικό εμβαδόν μιας εκπομπής Direct Sequence και το αντίστοιχο μιας εκπομπής Frequency Hopping είναι ακριβώς ίσα (αφού και η ισχύς εκπομπής είναι πάντα 100mW). Απλά η Direct Sequence καταλαμβάνει μεγαλύτερο πλάτος (επομένως και μικρότερο ύψος). Με λίγα λόγια η εκπομπή βρίσκεται πολύ κοντά στο επίπεδο του θορύβου περιβάλλοντος. Επομένως με τέτοια χαμηλή πυκνότητα ανά εκπομπή είναι πολύ πιο εύκολο να χρησιμοποιηθούν πολλά DSSS συστήματα στην ίδια περιοχή.

#### β) Απόρριψη παρεμβολών

Σε αντίθεση με το Frequency Hopping όταν μια παρεμβολή καταλάβει μέρος του καναλιού το Direct Sequence δεν επηρεάζεται. Όταν πολλαπλασιάζουμε το σήμα με τον τυχαίο θόρυβο (Spreading Code) τότε έχουμε διαμόρφωση Direct Sequence. Για να επιτύχουμε

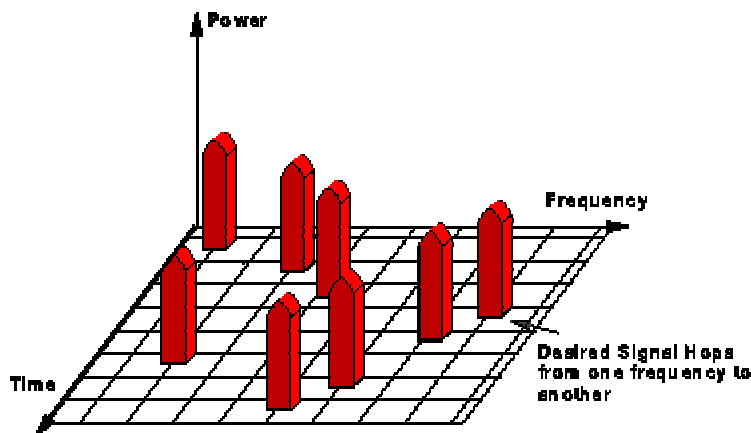
αποδιαμόρφωση, πρέπει ο δέκτης να κάνει ακριβώς τον ίδιο πολλαπλασιασμό δηλαδή να πολλαπλασιάσει το διαμορφωμένο σήμα με τον ίδιο ακριβώς τυχαίο θόρυβο. Όταν υπάρχει παρεμβολή, ο δέκτης θα πολλαπλασιάσει και την παρεμβολή (η οποία όμως δεν είναι ήδη διαμορφωμένη με τον αρχικό τυχαίο θόρυβο). Μετά από τον πολλαπλασιασμό στον δέκτη αυτό που επιτυγχάνεται είναι να αποδιαμορφωθεί το επιθυμητό σήμα και να διαμορφωθεί κατά Direct Sequence η παρεμβολή (με άλλα λόγια διαχέεται και εξασθενεί η ισχύς).

#### γ) Παράλληλη χρήση του ίδιου καναλιού (πολλαπλη πρόσβαση)

Όπως προαναφέραμε όταν πολλαπλασιάζουμε το σήμα με τον τυχαίο θόρυβο (Spreading Code) τότε έχουμε διαμόρφωση Direct Sequence. Για να επιτύχουμε αποδιαμόρφωση πρέπει ο δέκτης να κάνει ακριβώς το ίδιο πολλαπλασιασμό δηλαδή να πολλαπλασιάσει το διαμορφωμένο σήμα με το ίδιο ακριβώς τυχαίο θόρυβο. Αν ο δέκτης δεν έχει αποθηκευμένο τον ίδιο τυχαίο θόρυβο τότε αυτό που θα επιτύχει θα είναι να διασπείρει ακόμα περισσότερο το λαμβανόμενο σήμα (στην ουσία δηλαδή θα το ξαναδιαμορφώσει άρα θα το εξασθενήσει ακόμα περισσότερο). Με βάση αυτή την ιδιαιτερότητα μπορούμε σε κάθε κανάλι να βάζουμε συστήματα με διαφορετικά Spreading Code χωρίς να υπάρχει σημαντική επιρροή.

### 1.3.2. Frequency Hopping

Ο μόνος τρόπος να ληφθεί η μετάδοση είναι να υπάρξει ο ίδιος κώδικας που ξέρει ποια συχνότητα θα πηδήσει έπειτα. Το frequency hopping rate είναι πολύ υψηλό. Το σήμα θα έμνε στη συχνότητα για λιγότερο από 10 ms (βλέπε σχήμα 1.3.2.1.)

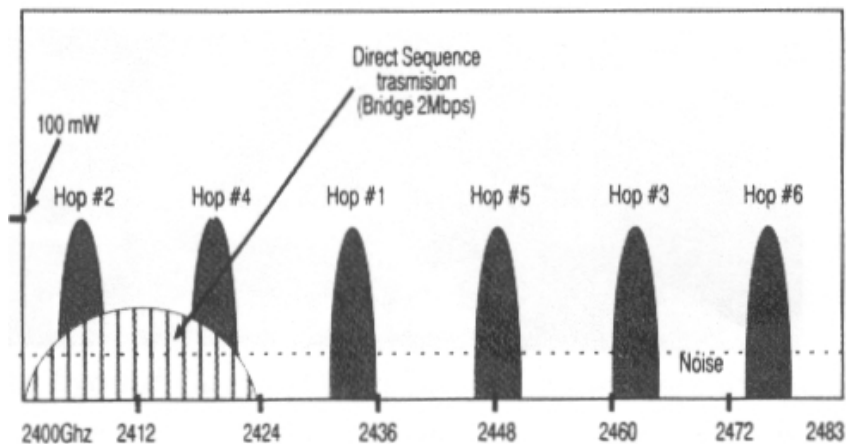


### Σχήμα 1.3.2.1.

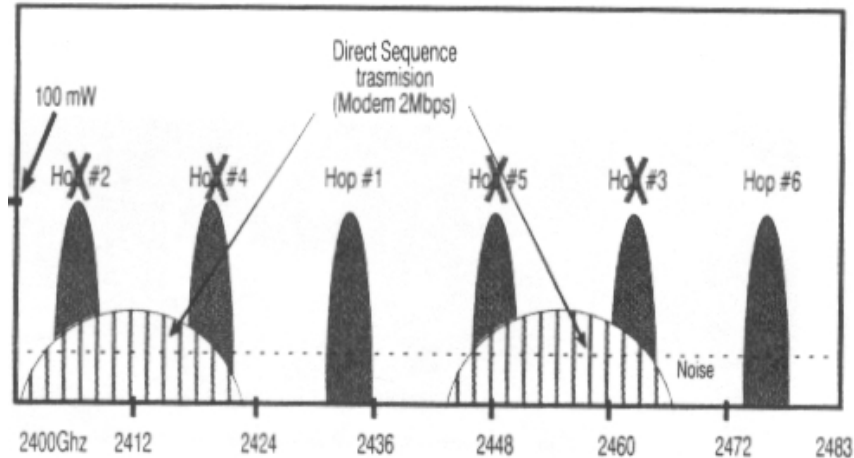
Στο frequency hopping υπάρχει μόνο ένα κανάλι εκπομπής (με 79 θέσεις στις οποίες μπορεί να μετακινείται το σήμα) το οποίο καταλαμβάνει όλη τη ζώνη spread spectrum μέσα στο οποίο υπάρχουν 79 θέσεις μετακίνησης του σήματος. Το γεγονός ότι τα φυλλάδια των εταιρειών αναφέρουν ότι υπάρχουν 79 channels δεν σημαίνει σε καμία περίπτωση ότι μπορείς να βάλεις 79 συστήματα στον ίδιο πυλώνα. Στο frequency hopping, η λέξη κανάλι έχει τελείως διαφορετική έννοια από ότι στα άλλα ασύρματα συστήματα. Πρόκειται για 79 θέσεις μέσα στην ζώνη spread spectrum (2400-2483 MHz) στις οποίες επιτρέπεται να μετακινηθεί ένα σήμα πλάτους 1MHz (δηλαδή το σήμα εκπομπής) κατά την διάρκεια της διαδικασίας hopping. Συνήθως μάλιστα τα συστήματα Frequency Hopping εκτελούν 79-80 hops to sec (δηλαδή το σήμα περνάει και από τις 79 θέσεις με βάση την προκαθορισμένη ακολουθία που λέγεται Hopping Sequence). Επί πλέον, το Frequency Hopping είναι πολύ ευπαθές (ακόμα και στις μικρότερες παρεμβολές) με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται 2 ειδών προβλήματα:

1. αν μπει δεύτερος πομποδέκτης FH σε κοντινό σημείο, θα υπάρχει σύμπτωση (τυχαία) σε μερικά hops με αποτέλεσμα μείωση του data rate. Το ποσοστό της μείωσης είναι απολύτως τυχαίο και εξαρτάται από το hopping pattern (ή hopping sequence όπως αλλιώς λέγεται) του κάθε συστήματος. Επιπλέον είναι αυτονόητο ότι όσο αυξάνονται τα συστήματα Frequency Hopping σε μία περιοχή τόσο πιο έντονα προβλήματα θα υπάρχουν. Πρακτικά ο μέγιστος αριθμός συστημάτων Frequency Hopping που μπορούν να λειτουργούν στο ίδιο σημείο είναι 4. Ακόμα και όταν είναι 4 θα υπάρχει σοβαρή επίπτωση στο data rate του καθενός. Από τα 4 και μετά η καλύτερη πιθανή περίπτωση είναι ότι θα συνεχίσει να λειτουργεί το 1 και θα σταματήσουν τα υπόλοιπα. Ειδάλλως θα σταματήσουν όλα.
2. αν μπει κάποιος άλλος πομποδέκτης σε κοντινό σημείο (direct sequence, τηλεοπτικό link, μικροκυματικό link κοκ), θα μπλοκάρει μόνιμα ένα μέρος της ζώνης Spread Spectrum με αποτέλεσμα το Frequency Hopping να χάνει μόνιμα ένα μέρος της πληροφορίας. Το μέγεθος της απώλειας εξαρτάται από την προέλευση της παρεμβολής:

- αν προέρχεται από bridge direct sequency 2Mbps θα έχει απώλεια 33% του data rate τουλάχιστον (διότι τόσο χώρο καταλαμβάνει το κανάλι 2Mbps του bridge). Όπως θα δείτε στο παρακάτω σχήμα στο hop 1 θα σταλούν X πακέτα στο hop 2 κανένα πακέτο, στο hop 3 θα γίνει επαναποστολή των πακέτων του 2, στο hop 4 δεν θα σταλεί τίποτα, στο hop 5 θα γίνει επαναποστολή των πακέτων του 4 και στο 6 θα έχουμε άλλα X νέα πακέτα. Επομένως θα εκπνευθούν μόνο 4 στα 6 πακέτα και αυτά με επαναποστολή (πρόσθετη καθυστέρηση).
- αν η παρεμβολή προέρχεται από bridge direct sequence 4 Mbps θα έχει απώλεια 55% του data rate τουλάχιστον.
- αν προέρχεται από Direct Sequence modem 2Mbps (τύπου Harris, Cylink) θα έχει απώλεια 70% του data rate τουλάχιστον.
- Αν προέρχεται από τηλεοπτικό ή μικροκυματικό link τότε θα σταματήσει να υπάρχει ζεύξη.



Σήμα 1.3.2.2.



Σχήμα 1.3.2.3.

## 1.4. Τεχνολογία CDMA Και Νεότερες Γενιές Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών

### 1.4.1. Τεχνική Wideband

Η πρώτη γενιά περιλάμβανε τα analog-based συστήματα (AMPS and TACS), η δεύτερη γενιά περιλάμβανε την διαδικασία των δικτύων να γίνουν ψηφιακά ώστε να βελτιώσουν την χωριτηκότητα των (CDMA, TDMA and GSM), και η Τρίτη γενιά (3G) είναι το επόμενο βήμα στην ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων ώστε να παρέχουν μεγάλη ταχύτητα υπηρεσίες όπως:

- fast mobile internet access
- mobile videoconferencing
- location-based concierge services and directional services
- M-commerce applications such as mobile banking
- Streaming video

Η μεγάλη ζώνη συχνοτήτων CDMA (WCDMA) είναι μια προέκταση της CDMA αρχιτεκτονικής η οποία χρησιμοποιεί ένα σημαντικό ποσό του φάσματος συχνότητας για να επιτρέψει γρηγορότερη μεταφορά μεγάλων ποσοστών δεδομένων. Τυπικά η WCDMA χρησιμοποιεί μια ποικιλία συχνοτήτων των 5 MHz ή περισσότερο, πολύ μεγαλύτερη από 1.25MHz ή ακόμη τα 2.5 MHz (1.25 uplink + 1.25 downlink) που περιγράφουν για 2.5G(IS-95). Επέκταση της φασματικής ζώνης συχνοτήτων παρέχει data transfer rate από 144Kb/s σε 384Kb/s με πιθανότητα peak rate 2Mb/s κάτω από τις καλύτερες συνθήκες. WCDMA έχει επιλεγθεί ως το πιο πολλαπλό πρόγραμμα πρόσβασης για τα κυριότερα στανταρντς της νέας 3<sup>ης</sup> γενιάς.

Η WCDMA έχει επιλεγεί ως η βασική τεχνολογία για JMT-2000 (international mobile telephone system 2000), UMTS (universal mobile telecommunication system), και για τα standard Japanese association of radio industry businesses (ARIB).

Τα κύρια περιχικά στάνταρντς σωμάτων έχουν ήδη αποφασίσει την προτιμώμενη τεχνολογία για JMT-2000. η γρήγορη ανάπτυξη των τελευταίων χρόνων έχει γίνει λόγω της πρωτοβουλίας των Γιαπωνέζων. Στην αρχή του 1997, ο association for radio industry and business (ARIB), ένα καθιερωμένο σώμα υπεύθυνο για την Γιαπωνέζικη ασύρματη καθιέρωση, αποφάσισε να προχωρήσει με λεπτομερή καθιέρωση της μεγάλης ζώνης συχνοτήτων CDMA. Η τεχνολογία σπρώχνεται απο την Γιαπωνέζικη επιταχυνόμενη καθιέρωση στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ. Κατά την περίοδο του 1997 ενωμένες παράμετροι για τις προτάσεις της Γιαπωνέζικης και Ευρωπαϊκής ζώνης συχνοτήτων CDMA συμφωνήθηκαν. Η επιλογή του WCDMA υποστηρίχθηκε επίσης απο τους Ασιάτες και Αμερικάνους GSM χρήστες.

Μέχρι τώρα οι υπηρεσίες 3G έχουν αποδειχθεί πολύ πιο αργές στην ανάπτυξη και στη χρήση απο ότι αναμένονταν αρχικά. Αν και πολλοί αρχικά οι 3G να ήταν διαθέσιμες κατά το 2000, φαίνεται ότι η αγορά δεν είναι ακόμη πλήρης αναπτυγμένη και λίγες εταιρίες αναβαθμίζουν τα δικτυά τους σε 3G αυτή τη στιγμή. Αντί αυτού, πολλοί προμηθευτές υπηρεσιών κινούνται τώρα στις πρόσφατα ονομασμένες "2.5G" τεχνολογίες που του επιτρέπουν να κερδίσουν μερικές ικανότητες γρηγορότερης μεταφοράς δεδομένων με μια πολυ μικροτέρη επένδυση. Η 2.5 G παρέχει data rate 64Kb/s σε 144Kb/s χρησιμοποιώντας προσαυξημένο TDMA (EDGE and GPRS) και CDMA(IS-95B). Αναμένεται τώρα ότι η χρήση 3G WCDMA θα είναι ευρέως διαθέσιμη περίπου το 2004.

#### 1.4.2. Ασύρματο Σύστημα 3G

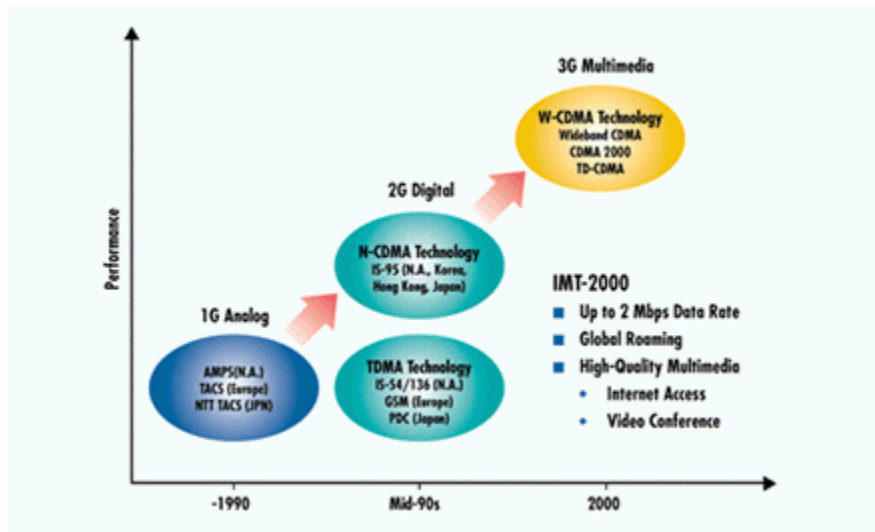
Τα κινητά επικοινωνιακά συστήματα έχουν περάσει εδώ και γενιές. Το σημερινό σύστημα δεύτερης (2G) παρέχει circuit-switched voice και υπηρεσίες δεδομένων. Το σύστημα 2,5G γενιάς θα παρέχει low-rate υπηρεσία πακέτο-εναλλασσόμενων δεδομένων σε 64Kbps. Παρ'όλα αυτά, φωνή και χαμηλής-τιμής υπηρεσίες δεδομένων είναι ανεπαρκή σε ένα κόσμο όπου η γρήγορη πρόσβαση στο internet θεωρείται δεδομένη. Η τάση είναι μπροστά στα πραγματικά δίκτυα πληροφοριών που προσφέρουν ελαστικές υπηρεσίες πληροφοριών από πολυμέσα στους χρήστες που βρίσκονται οπουδήποτε και



οποιασδήποτε στιγμή. Για να υποστηρίξει τις νέες απαιτήσεις, το σύστημα κινητής επικοινωνίας πρέπει να εξελιχθεί σε τρίτη γενιά (3G). Η τρίτη γενιά 3G θα παρέχει μια υψηλότερο data rate σε 2 Mbps, ενώ παράλληλα κάνει πιο αποδοτική χρήση του αριθμού συχνοτήτων.

Ένα σύστημα κινητής επικοινωνίας μπορεί να χωριστεί σε 2 τμήματα: ένα δίκτυο ασύρματης πρόσβασης που χρησιμοποιεί λειτουργίες μετατροπέα αέρα και ένα κεντρικό δίκτυο που χρησιμοποιεί εναλλασώμενες λειτουργίες και μετατροπείς σε εξωτερικά δίκτυα όπως το internet ή ένα δίκτυο δημοσίου εναλλασσόμενου τηλεφώνου (PSTN) (όπως δείχνει το σχ. 2). Η εξέλιξη σε επόμενη γενιά τεχνολογίας λαμβάνει χώρα τόσο στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης όσο και στο κεντρικό δίκτυο. Τα νέα στάνταρτς του μετατροπέα περιλαμβάνουν W-CDMA και cdma2000-1X. Τα αντίστοιχα ασύρματα δίκτυα είναι UMTS και cdma2000.

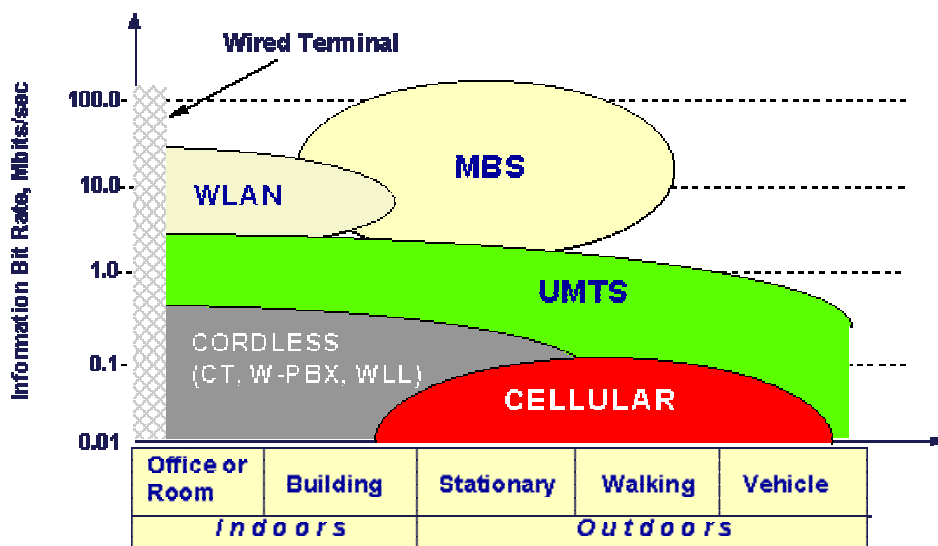
Η χαρακτηριστική λειτουργία ενός δικτύου πρόσβασης είναι να φέρει εις πέρας τη διαδικασία σήματος βάσης συχνότητας για αποτελεσματική επικοινωνία πάνω από τον αέρα. Ένα δίκτυο κινητής πρόσβασης απαιτεί μια υψηλή ικανότητα επεξεργασίας σήματος, και νέες τεχνικές ικανότητας συνεχώς ενσωματώνονται. Προγραμματισμένο hard-ware είναι η καλύτερη επιλογή να κατευθύνεις την υψηλή απαίτηση του αριθμού συχνοτήτων, δυναμική αγορά και εξελισσόμενη τεχνολογία. Της Altera η υψηλής πυκνότητας προγραμματισμένες λογικές συσκευές (PLDs) μπορούν να εκπληρώσουν αυτές τις απαιτήσεις με το να επιτρέπουν στους σχεδιαστές να εφαρμόζουν παράλληλη αρχιτεκτονική/σχεδίασης. Η γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός μεγάλου χαρτοφυλακίου (portfolio) από DSP and TELECOM διανοητικής ικανότητας κέντρα που παρέχουν από την Altera και τους συνεργάτες της. Με τους Excalibur ενσωματωμένους επεξεργαστές, οι πολύπλοκοι αλγόριθμοι και οι λειτουργίες ελέγχου μπορούν να εφαρμοστούν αποδοτικά μέσα σε μια προγραμματισμένη λογική συσκευή. Η Altera επίσης παρέχει κάλυψη προγραμματισμένης λογικής συσκευής (HardCopy devices) λύσεων για χαμηλού κόστους migration.



Σχήμα 1.4.2.1.

### 1.4.3. Βουτώντας Στο Κύμα Των Πολυμέσων

UMTS(Universal Mobile Telecommunication System) είναι μια ονομασία “Τρίτη-γενιά 3G” μεγάλης ζώνης συχνοτήτων σε πακέτο μετάδοση του περιεχομένου ψηφιακή φωνή, video και πολυμέσα για τιμές δεδομένων ίσες και πιθανά υψηλότερες από 2 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbps), προσφέροντας ένα ομογενές σύστημα υπηρεσιών στους χρήστες κινητών υπολογιστών και τηλεφώνων ανεξάρτητα που βρίσκονται στον κόσμο. Βασισμένο στο GSM επικοινωνιακά στάνταρντς, το UMTS, εγκεκριμένο από μεγάλα σωματεία στάνταρντς και κατασκευές είναι το σχεδιασμένο στάνταρντ για τους χρήστες κινητών σε όλο τον κόσμο μέχρι το 2002. Από τη στιγμή που το UMTS θα είναι πλήρως εφαρμοσμένο οι χρήστες υπολογιστών και τηλεφώνων μπορούν συνεχώς να είναι προσκολλημένοι στο internet καθώς ταξιδεύουν και λόγω της υπηρεσίας roaming να έχουν το ίδιο σετ δυνατοτήτων οπουδήποτε και αν ταξιδεύουν. Οι χρήστες θα έχουν πρόσβαση μέσω ενός συνδυασμού γήινου ασύρματου και δορυφορικών μεταδόσεων. Μέχρι το UMTS να εφαρμοστεί πλήρως, οι χρήστες μπορούν να έχουν συσκευές πολλαπλών-τρόπων που εναλλάσσονται στην τωρινή διαθέσιμη τεχνολογία (όπως είναι οι Gprs and Edge) όπου το UMTS δεν είναι ακόμα διαθέσιμο.



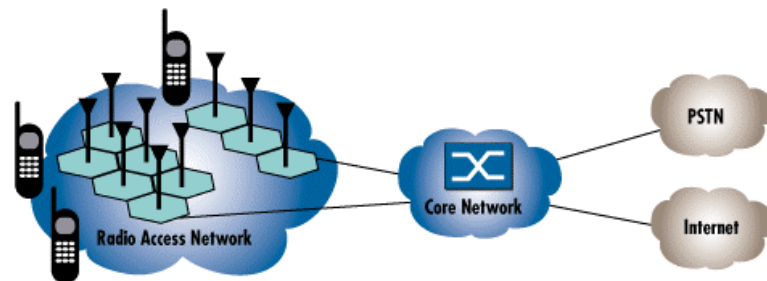
Σήμα 1.4.3.1.

Τα σημερινά συστήματα κυτταρικών τηλεφώνων είναι κυρίως εναλλασσόμενα-κυκλώματα με συνδέσεις που πάντα βασίζονται σε διαθεσιμότητα του κυκλώματος. Εναλλασσόμενο-πακέτο σύνδεσης που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο του internet σημαίνει ότι μια πραγματική σύνδεση είναι πάντα διαθέσιμη για κάθε τελικό σημείο του δικτύου. Θα το έκανε επίσης πιθανό να παρέχει νέες υπηρεσίες όπως είναι οι εναλλακτικές μέθοδοι λογαριασμών (pay-per-bit, pay-per-session, flat rate, asymmetric bandwidth και άλλα). Η υψηλότερη ζώνη συχνοτήτων του UMTS επίσης υπόσχεται νέες υπηρεσίες, όπως είναι η βιντεοσυνεδρίαση. Το UMTS υπόσχεται να πραγματοποιήσει την πραγματική ψυχαγωγία από το σπίτι, κατά την οποία ένας χρήστης της υπηρεσίας roaming μπορεί να έχει τις ίδιες υπηρεσίες στις οποίες είναι συνηθισμένος όταν βρίσκεται στο σπίτι ή στο γραφείο του. Το UMTS είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από δύο κύρια στοιχεία που είναι συνδεδεμένα σε ένα στάνταρντ interface που ονομάζεται Iu. Αυτά τα δύο στοιχεία είναι:

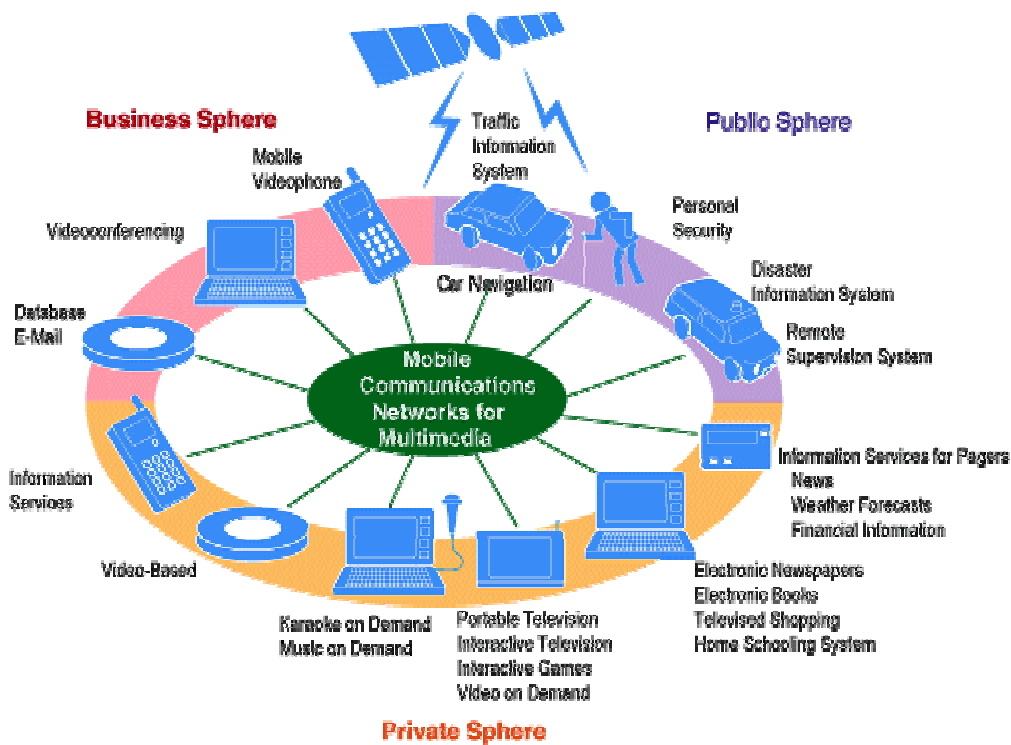
- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Αυτό συνθέτεται από τον Node (κόμβος) B που είναι ίσος με το GSM BTS και το Radio Network Controller (RNC) που είναι ίσο με το GSM BSC. Μια καινοτομία με την UTRAN είναι η ύπαρξη ενός νέου διαμορφωμένου σχεδίου: το Frequency Division Duplex (FDD) και W-CDMA. Αυτός ο τρόπος προσφέρει την υψηλότερη αποδοτικότητα μέσα σε ένα

μοναδικό σύστημα όποιες και αν είναι οι συνθήκες – μεγάλης περιοχής, αστική, εσωτερικό κάλυμμα από εξωτερικό, εσωτερικό και λοιπά. Ένας carrier χρησιμοποιεί 5Mhz.

- το κεντρικό δίκτυο. Αυτό είναι το ίσο του GSM NSS. Υπάρχουν δύο επιλογές για την εφαρμογή της τρίτης γενιάς και την εξέλιξη του GSM κεντρικού δικτύου.(α)Η αρχιτεκτονική βασισμένη σε ATM: αυτή η R'99 αρχιτεκτονική ίσως ξαναχρησιμοποιεί σε μερικές περιπτώσεις τις δύο κύριες αρχιτεκτονικές του GSM/GPRS με:lu-PS (Packet Switched) interface αντί για Gb στο κύριο πακέτο.lu-CS (Circuit Switched) interface αντί για A στο κύριο κύκλωμα.(β)Ανεξάρτητης μεταφοράς και πολυμέσων αρχιτεκτονική: αυτή η R'00 αρχιτεκτονική είναι σε αρμονία με την αρχιτεκτονική επόμενης γενιάς δίκτυα και παρουσιάζει διαχωρισμό στα επίπεδα ελέγχου και χρήσης. Επίσης ενοποιεί τις δυνατότητες των πολυμέσων.
- Χρήση συχνότητας
- Διαφορά μεταξύ κανονικού CDMA και W-CDMA
- Spectrum aspect
- W-CDMA κάνει πιθανό ένα κόσμο κινητών πολυμέσων



Σχήμα 1.4.3.2.



Σχήμα 1.4.3.3.

#### 1.4.4. Τι Είναι η 4G

Είναι κάποιες πολλές και διαφορετικές προετοιμασίες στην αγορά για το τι ακριβώς είναι η 4G τεχνολογίες. Παρουσιάζουμε εδώ διαφορετικές αναπτύξεις που θα προστεθούν μαζί με τη UMTS. Το επόμενο βήμα στην ανάπτυξη προς τις 4G τεχνολογίες θα είναι ο διαχωρισμός ανάμεσα στις τεχνολογίες uplink και downlink. Η εταιρία AT& T έχει από τώρα κάποια test για ένα σύστημα με ένα EDGE uplink και για wideband OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) για down link. Άλλες πιθανές τεχνολογίες συνδυάζουν το GPRS και το UMTS για το uplink και το WLAN (ασύρματη τοπική πρόσβαση στο δίκτυο) τεχνολογία για το downlink. Τα ψηφιακά συστήματα που καταλαμβάνουν ένα ευρύ χώρο όπως το DAP and DPV, έρχονται επίσης περισσότερο relevant) σαν εναλλακτικό

downlink. Ανάμεσα στις τεχνολογίες διαμόρφωσης η οποία κρατά των κυρίαρχο ρόλο για την τεχνολογία της 4G είναι η OFDMA η οποία αναπτύσσεται από την FLARION τεχνολογίες. Το κύριο εύρος εκτιμάτε ότι θα είναι υψηλό ως 100MBPS για την aggregator χωρητικότητα ενός καναλιού. Η Nortel networks πρόκειται να παρέχει 20 KBPS για κάθε χρήση σε ένα πολυφέρον (multi carrier) OFDM. Μερικές εταιρίες πηγαίνουν τόσο μακριά όσο ένα θεωρητικά peak rates (το κομμάτι που δίνει στο χρήστη), οι εταιρίες είναι Wi-LAN Ltd και HiperLAN Standards).

Διαφορετικές μεγάλες τηλεπικοινωνιακές εταιρίες όπως η ERICSSON, NTT DoCoMo και η Lucent έχουν εκτεταμένες αναφορές πάνω στην ανάπτυξη της 4G συστημάτων. Εστιάζονται στη δημιουργία ενός δικτύου το οποίο προσφέρει ίδια IP σύνδεση πάνω από διάφορα ραδιοφωνικά interfaces (WLAN OFDM W-CDMA) και ενσύρματα με υψηλό data rate. Εφαρμογές όπως το κινητό βίντεο θα είναι πραγματικές.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΩΔΙΚΩΝ**

#### 2.1. Γενικά Περί Κωδίκων Σε Εφαρμογές Επικοινωνιών Και Ranging

Οι κώδικες διόρθωσης λαθών έχουν ως αποστολή την διόρθωση λανθασμένων bit ή λέξεων σε ένα σύστημα μετάδοσης. Αντίθετα οι ακολουθίες (sequences) των κωδικών που ενδιαφερόμαστε είναι πολύ μεγαλύτερες σε διάρκεια απ'αυτές που συναντούμε στις συνηθισμένες περιοχές κωδικοποίησης μεταφοράς πληροφοριών, αφού αυτές αποσκοπούν στην εξάπλωση του εύρους φάσματος και όχι για την απευθείας μετάδοση των πληροφοριών.

Σε άλλους τύπους κωδικών, ειδικά αυτοί από την κατηγορία των μη γραμμικών, δίνεται μόνο ελάχιστη προσοχή, όχι λόγω της έλλειψης σημασίας τους αλλά εξαιτίας της έλλειψης απαιτήσεων στη χρήση τους όταν επιθυμείται λιγότερη ασφάλεια στο αληθές μήνυμα. Πρέπει να τονιστεί πάντως, ότι ακόμα και αν οι γραμμικοί κώδικες είναι κατάλληλοι για αποφυγή παρεμβολής, εφαρμογές ranging, και άλλες spread spectrum εφαρμογές, δεν είναι χρήσιμοι να ασφαλίσουν ένα σύστημα μεταφορών. Οι γραμμικοί κώδικες εύκολα μπορούν να αποκρυπτογραφηθούν όταν γνωρίζουμε ένα μικρό σειριακό σύνολο από chips  $(2n+1)$  από την ακολουθία (sequence). Αυτό έχει ανακαλυφθεί από τους Birdsall and Ristenbatt, μεταξύ άλλων. Το

Appendix 5 περιγράφει μια απλή προσέγγιση στο breaking linear codes.

Οι κώδικες που αναφέρονται ως maximal linear code sequences (m-sequences ή pn codes) είναι ανυπέρβλητες για ευρεία χρήση σε επικοινωνίες και ranging. Αξίζει επίσης να σημειώσουμε εδώ ότι τα πιο εξελιγμένα συστήματα που έχουν ποτέ κατασκευαστεί κάνουν χρήση γραμμικών κωδίκων.

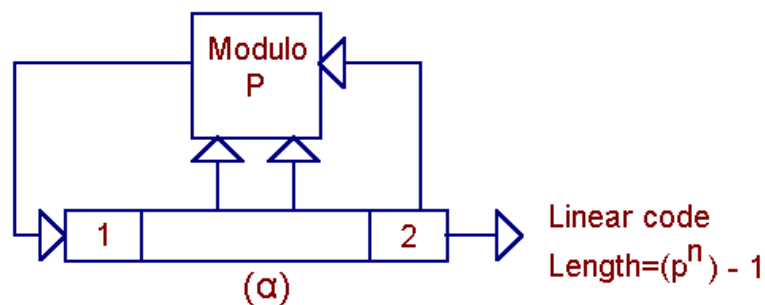
Το σχήμα 3.1.1 παρουσιάζει γενιές γραμμικών και μη γραμμικών κωδίκων. Θα πρέπει να γίνει κατανοητό στο σημείο αυτό ότι ένα spread spectrum σύστημα δεν είναι ασφαλές, εκτός και εάν οι κώδικες που χρησιμοποιούνται κρυπτογραφούνται.

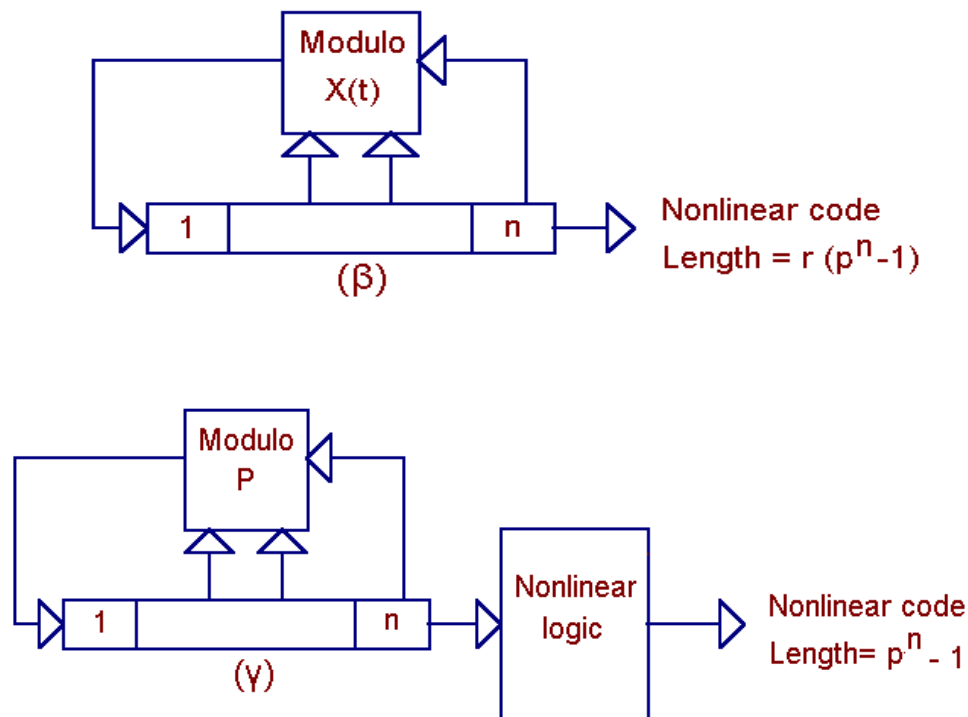
Έχοντας απομακρύνει τις όποιες παρανοήσεις γύρω απ'την ασφάλεια, ας διευκρινίσουμε τις αρχές που χρησιμοποιούνται στην κωδικοποίηση για μη ασφαλή spread spectrum συστήματα. Είναι πάντως αναγκαίο να σημειώσουμε ότι, γενικά τα μη ασφαλή spread spectrum συστήματα γίνονται ασφαλή απλά με αντικατάσταση της μη ασφαλούς ακολουθίας (sequence) κωδικών τους με μια ασφαλή ακολουθία κωδικών.

Συνοψίζοντας, οι ιδιότητες των κωδικών που χρησιμοποιούνται στα spread spectrum συστήματα, θα πρέπει να παρέχουν τα ακόλουθα:

- Protection against interference: Η κωδικοποίηση ενεργοποιεί ένα “bandwidth trade” μεταξύ processing gain και παρεμβαλλόμενων σημάτων.

- Noise-effect reduction: Κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης λαθών μπορούν να ελαχιστοποιούν τις επιδράσεις θορύβου και παρεμβολών.





Σχήμα 2.1.1.

## 2.2. Κώδικες Τύπου Maximal

Οι maximal codes, είναι εξ'ορισμού οι μακρύτεροι κώδικες που μπορούν να παραχθούν από δεδομένο shift register ή ένα delay element δεδομένου μήκους. Στις δυαδικές γεννήτριες ακολουθιών shift register, οι οποίες είναι οι μόνες που μελετούνται εδώ, η μέγιστη σε μήκος ακολουθία είναι  $2^n - 1$  chips, όπου  $(n)$  είναι ο αριθμός βαθμίδων στη shift register. Μια shift register γεννήτρια ακολουθιών αποτελείται από ένα shift register σε σύνδεση με κατάλληλη λογική, η οποία ανατροφοδοτεί ένα λογικό συνδυασμό της κατάστασης δυο ή περισσότερων βαθμίδων στην είσοδό της. Η έξοδος της γεννήτριας ακολουθιών και το περιεχόμενο των βαθμίδων σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή είναι συνάρτηση των εξόδων των βαθμίδων ανατροφοδοτημένες στο προηγούμενο δείγμα χρόνου. Συνδέσεις ανατροφοδότησης έχουν ταξινομηθεί για maximal code γεννήτριες με αριθμό βαθμίδων από 3 έως 100, έτσι ώστε να προκύπτουν ακολουθίες οποιουδήποτε μήκους (από 7 ακόμα ενός και  $2^{36} - 1$  chips). Μερικές συνδέσεις ανατροφοδότησης ταξινομούνται στο πίνακα 2.6.2. Οι ιδιότητες που έχουν όλες οι ακολουθίες maximal code είναι:



1. Το πλήθος των άσσων σε μια ακολουθία είναι ίσος με το πλήθος των μηδενικών. Για παράδειγμα σε έναν 1023-chip κώδικα έχουμε 512 άσσους και 511 μηδενικά. Θεωρήστε μια υλοποίηση κώδικα στην οποία ένας άσσος αναπαρίσταται με θετική τάση(+V) και ένα μηδενικό με αρνητική τάση(-V).
2. Η στατιστική διανομή των άσσων και των μηδενικών είναι καλά ορισμένη και πάντα η ίδια. Οι σχετικές θέσεις των runs αλλάζουν από ακολουθία σε ακολουθία κωδικών, αλλά όχι ο αριθμός του μήκους του κάθε run.
3. Η αυτοσυσχέτιση ενός maximal linear code είναι τέτοια ώστε για κάθε τιμή μετατόπισης φάσης η τιμή της συσχέτισης είναι  $-1$ , εκτός για τη  $0 \pm 1$  chip περιοχή στην οποία η συσχέτιση ποικίλει γραμμικά από την τιμή  $-1$  στην τιμή  $2^n - 1$  (το μήκος της ακολουθίας). Ένας 1023-chip maximal code ( $2^{10} - 1$ ), επομένως, έχει ένα peak στην ελάχιστη τιμή αυτοσυσχέτισης του 1024, στην περιοχή των 30,1dB. (Πρέπει να γίνει κατανοητό πάντως, ότι αυτή η τιμή αυτοσυσχέτισης ισχύει μόνο όταν ολοκληρώσουμε σε ολόκληρο το μήκος της ακολουθίας.)
4. Μια modulo-2 πρόσθεση ενός maximal linear code με μετατοπισμένο χρονικά αντίγραφο του εαυτού του, καταλήγει σε άλλο αντίγραφο με άλλη φάση (διαφορετική από οποιαδήποτε από τις αρχικές).
5. Κάθε πιθανή κατάσταση, ή n-άδα, μιας δεδομένης n-βαθμίδων γεννήτριας υπάρχει μερικές φορές κατά τη διάρκεια παραγωγής ενός ολοκληρωμένου κύκλου κώδικα. Κάθε κατάσταση υπάρχει για ένα και μόνο ένα clock διάστημα. Η εξαίρεση είναι ότι η κατάσταση όλα μηδέν δε συναντάται φυσιολογικά και δεν μπορεί να της επιτραπεί να συμβεί.

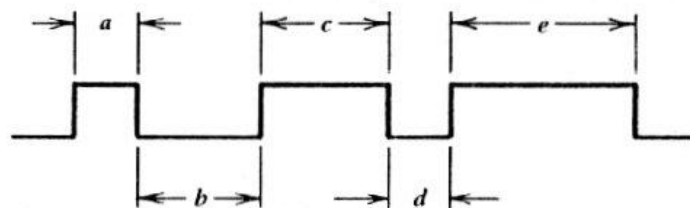
Κάθε μια από αυτές τις ιδιότητες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε ένα σύστημα επικοινωνιών ή ranging.

Το γεγονός ότι υπάρχει ένας περίπου ίδιος αριθμός άσσων και μηδενικών σε κάθε maximal linear code είναι σημαντικό στο ότι επιτρέπει τη συνιστώσα DC σε ένα κώδικα ή σε ένα σήμα διαμορφωμένου κώδικα να αμελείται. [Σημειώνεται ότι είτε ένας κώδικας είναι  $2^3 - 1$  (από μια τριών βαθμίδων γεννήτρια) είτε  $2^{99} - 1$  (από μια 99-βαθμίδων γεννήτρια) ο συνολικός αριθμός των άσσων πάντα ξεπερνάει το συνολικό αριθμό των μηδενικών κατά 1] Για να είμαστε ακριβείς ο αριθμός των άσσων σε κάθε maximal linear code είναι:

$$2^n / 2 = \text{αριθμός άσσων} = 2^{(n-1)}$$

και ο αριθμός των μηδενικών είναι  $(2^n / 2) - 1 = \text{αριθμός μηδενικών} = 2^{(n-1)} - 1$  όπου (n) είναι, ως συνήθως, ο αριθμός των βαθμίδων της γεννήτριας κωδικών και το μήκος κώδικα είναι  $2^n - 1$  chips.

Ο Freymodsson έδειξε ότι υπάρχουν ακριβώς  $2^{n-(p+2)}$  runs μήκους p για άσσους ή μηδενικά σε κάθε maximal code ακολουθία (υπάρχει μόνο ένα run που περιέχει n άσσους και ένα που περιέχει n-1 μηδενικά ενώ δεν υπάρχουν runs μηδενικών μήκους n ή άσσοι μήκους n-1). Ένα run ορίζεται ως σειρά άσσω και μηδενικών ταξινομημένα συνεχόμενα βλέπε(σχήμα 2.2.1).



- a Run of length one one
- b Run of length two zeros
- c Run of length two ones
- d Run of length one zero
- e Run of length three ones

Illustration of runs.

Σχήμα 2.2.1.

Πίνακας 2.2.1.

Run Length(Chips)	Number of Runs		Number of Chips Included
	Ones	Zeros	
1	16	16	32
2	8	8	32
3	4	4	24
4	2	2	16
5	1	1	10
6	0	1	6
7	1	0	7
			127 Total

Ένα Παράδειγμα της κατανομής των  $run$  φαίνεται στον πίνακα 2.1.1. για  $2^7 - 1$  chip  $m$ -sequences. Το δείγμα που παρουσιάζεται εδώ είναι τυπικό όλων των  $m$ -sequences: ο αριθμός των  $run$  κάθε μήκους αυξάνεται ανά δύο καθώς το μήκος του  $run$  αυξάνεται. Επομένως ο αριθμός των  $run$  μήκους  $p$  είναι ίσος στο σύνολο του αριθμού των  $run$  όλων των μηκών  $p+r$ , όπου  $1 \leq r \leq n-p$ . Γιαυτό το λόγο, η αναμονή για ένα  $run$  μήκους  $p$  είναι διπλάσια από ένα  $run$  μήκους  $p+1$  και αυτό είναι το ίδιο με μια αληθή τυχαία ακολουθία.

Συγκρίνοντας τη δομή των  $m$ -sequences με τυχαίο θόρυβο, ο White επιβεβαιώνει τη θεωρία του Tausworthe ότι για  $r$ -άδες όπου  $r \leq n$ , παίρνονται ως δείγμα από την output ακολουθία μιας γεννήτριας πλήρως συνδεδεμένη, η διανομή των chip είναι στατιστικά ανεξάρτητη. Αυτό έγινε συγκρίνοντας την πραγματική διανομή των άσπων σε δείγματα μήκους  $r \leq n$  με τη διωνυμική πιθανότητα της ύπαρξης των άσπων που θα μπορούσαν να αποδειχθούν από μια αληθή τυχαία συνεχή ροή. Γιαυτό το λόγο έχει δειχθεί ότι για περιόδους μικρότερες από  $n \cdot R_c$  η έξοδος μιας maximal linear γεννήτριας είναι τυχαία για πρακτικούς λόγους. Όταν η τυχειότητα είναι το κύριο στάνταρ σύγκρισης θα πρέπει να αυξήσουμε το μήκος της γεννήτριας (και επομένως το μήκος του κώδικα).

Ακόμα και αν διαμέσω των ιδιοτήτων της τυχειότητας μπορούν να περιγραφούν, οι maximal linear ακολουθίες είναι ντετερμινιστικές. (Βέβαια, απόδειξη δεν απαιτείται επειδή οι  $m$ -sequences επαναλαμβάνονται σε διαστήματα των  $2^n - 1$  chip.) Κάθε επανάληψη περιέχει την ίδια ένα-μηδέν διανομή. Καθώς το μέγεθος του δείγματος αυξάνεται, η ένα-μηδέν κατανομή γίνεται ολοένα και λιγότερο τυχαία. Τελικά όταν το μέγεθος του δείγματος εξισώνεται με  $2^n - 1$ , ο αριθμός των άσπων ανά δείγμα είναι  $2^n / 2$  και ο αριθμός των μηδενικών είναι  $(2^n / 2) - 1$ .

Η αυτοσυσχέτιση εδώ αναφέρεται στο βαθμό της αντιστοιχίας μεταξύ ενός κώδικα και μιας αλλαγής φάσης αυτού. Τα διαγράμματα της αυτοσυσχέτισης δείχνουν τον αριθμό συμφωνιών μείον τον αριθμό των διαφωνιών μεταξύ δύο κωδικών που συγκρίνονται, (του αρχικού και αυτού μετατοπισμένο στο χρόνο). Τέτοιο διάγραμμα μπορεί εύκολα να εξαχθεί από ένα ζευγάρι γεννητριών κωδικών ή μέσω simulation με H/Y.

Το διάγραμμα συσχετισμών κωδικού για τις maximal linear ακολουθίες έχει δύο τιμές, με ένα peak μόνο στο σημείο αλλαγής μηδέν. Αυτή είναι πολύ σημαντική ιδιότητα επειδή επιτρέπει στο δέκτη να διακρίνει μεταξύ σημάτων σε μια 'yes-no' βάση, κάτι

ιδιαίτερα επιθυμητό σε ένα σύστημα επικοινωνιών. Για να διευκρινίσουμε τη διαφορά μεταξύ αυτοσυσχέτισης ενός κώδικα και της διασταυρωμένης συσχέτισης δύο διαφορετικών κωδικών, ας δούμε το παρακάτω παράδειγμα (βλέπε πίνακα 2.2.2 και 2.2.3). Δίνεται ένας γραμμικός maximal code 1110100 μήκους  $2^3 - 1$ , θα τον συγκρίνουμε με τον εαυτό του για όλες τις πιθανές αλλαγές, παίρνοντας τον αριθμό των συμφωνιών μείον τον αριθμό των διαφωνιών σε κάθε αλλαγή.

Πίνακας 2.2.2.

Shift	Code/shift code	A – D
0	1110100 1110100	7
1	1110100 0111010	-1
2	1110100 0011101	-1
3	1110100 1001110	-1
4	1110100 0100111	-1
5	1110100 1010011	-1
6	1110100 1101001	-1
7	1110100 1110100	7

Τώρα ας συγκρίνουμε αυτόν τον κώδικα με έναν άλλο κώδικα στην ίδια βάση, όπου ο δεύτερος κώδικας είναι 1110010

Πίνακας 2.2.3.

Shift	Code 1/shifted code 2	A – D
0	1110100 1110010	3
1	1110100 0111001	-1
2	1110100 1011100	3

3	1110100 0101110	-1
4	1110100 0010111	-1
5	1110100 1001011	-5
6	1110100 1100101	3
7	1110100 1110010	3

Είναι εύκολο να δούμε τη διαφορά στην αυτοσυσχετιση του πρώτου κώδικα με τον εαυτό του (υπάρχουν μόνο δύο τιμές και οι τιμές είναι  $2^n - 1 = 7$  και  $-1$ ) και της τιμές της διασταυρωμένης συσχέτισης δύο διαφορετικών κωδικών. Οι τιμές της διασταυρωμένης συσχέτισης είναι  $3, -1$  και  $-5$  και αυτές οι τιμές μπορούν να προκαλέσουν στον δέκτη λανθασμένο συγχρονισμό.

Η Cross-correlation δύο κωδικών είναι αντίστοιχης σημασίας. Η cross-correlation ιδιαίτερα, είναι ο 'μετρητής' συμφωνιών ανάμεσα σε δύο διαφορετικούς κώδικες. Πάλι, είναι σχεδιασμένο σε μια λειτουργία αλλαγής φάσης. Δυστυχώς, η cross-correlation δε συμπεριφέρεται τόσο καλά όσο η αυτοσυσχέτιση και όταν μεγάλοι αριθμοί πομπών χρησιμοποιούν διαφορετικούς κώδικες και μοιράζονται μια περιοχή συχνοτήτων, οι ακολουθίες των κωδικών πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά για αποφυγή παρεμβολής μεταξύ δυο χρηστών.

Μια χειρότερη πιθανή συνέπεια λανθασμένα επιλεγμένων κωδικών με υψηλή cross-correlation είναι ότι μια συσκευή παρεμβολής παρασίτων jammer μπορεί μεταδώσει έναν κώδικα από το set που χρησιμοποιείται για επικοινωνία. Από την άλλη αυτό μπορεί να προκαλέσει σε κάθε δέκτη (μέσα στην εμβέλεια της συσκευής παρεμβολής παρασίτων) false synchronization.

Οι maximal linear code ακολουθίες κατέχουν μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα συνδυαστική ιδιότητα. Αυτή η ιδιότητα, η οποία επιτρέπει τη κατασκευή οποιασδήποτε επιθυμητής φάσης κώδικα (π.χ. 500 chip delay ή οποιαδήποτε άλλη επιθυμητή delay μέχρι  $2^n - 1$  chip), είναι πολύτιμη κάθε φορά που απαιτείται να έχουμε διαφορετική φάση κώδικα. Μια από τις χρήσεις της είναι στην περίπτωση πολλαπλών συσχετιστών με αποτέλεσμα την ελάτωση

του χρόνου συγχρονισμού. Αυτό είναι πιθανό εξαιτίας της καλά ορισμένης αυτοσυσχέτισης. Ένα παράδειγμα τυπικού συστήματος που χρησιμοποιεί τον ίδιο κώδικα για διαμόρφωση, από όλους τους πομπούς, είναι το παγκόσμιο σύστημα θέσης (GPS Global Positioning System). Στο GPS, κάθε πομπός στέλνει τον ίδιο P κώδικα (ο μεγαλύτερος κώδικας έχει περίοδο 266 ημερών), αλλά το σήμα κάθε πομπού είναι μετατοπισμένο κατά μια εβδομάδα από κάθε άλλον πομπό, ο οποίος εμποδίζει έναν δέκτη να συγχρονιστεί με πάνω από ένα σήμα ταυτόχρονα. Η αυτοσυσχέτιση του κώδικα είναι χρήσιμη σε αυτή τη περίπτωση έτσι ώστε να έχουμε μεγάλη ορθογωνικότητα σήματος.

Άλλη πολύτιμη ιδιότητα των m-sequence είναι ο τρόπος με τον οποίο δύο (ή περισσότερες) ακολουθίες προστίθενται. Όταν δύο m-sequence διαφορετικού μήκους (ας πούμε μήκους  $2^n - 1$  και  $2^p - 1$  αντίστοιχα προστίθενται κατά (modulo-2) γραμμικά, το αποτέλεσμα είναι μια σύνθετη ακολουθία με μήκος  $(2^n - 1) * (2^p - 1)$ . Η σύνθετη αυτή ακολουθία δεν είναι maximal αλλά μπορεί να γίνει ένα τμήμα μιας μακρύτερης maximal ακολουθίας. Οι βασικές εφαρμογές αυτών των σύνθετων ακολουθιών υπάρχουν στην JPL ranging τεχνική και στα GPS συστήματα.

Πιθανό η πιο πολύτιμη προσθετική γραμμική ιδιότητα είναι ότι η πρόσθεση δυο m-sequence (κάθε μια μήκους r) παράγει μια σύνθετη ακολουθία επίσης μήκους r αλλά όχι maximal. Η ίδια σύνθετη ακολουθία πάντως, είναι διαφορετική για κάθε συνδυασμό καθυστέρησης μεταξύ των δύο m-sequence. Αν συνδυάσουμε δύο ακολουθίες ίδιου μήκους, modulo-2, έχουμε (βλέπε πίνακα 2.2.4.)

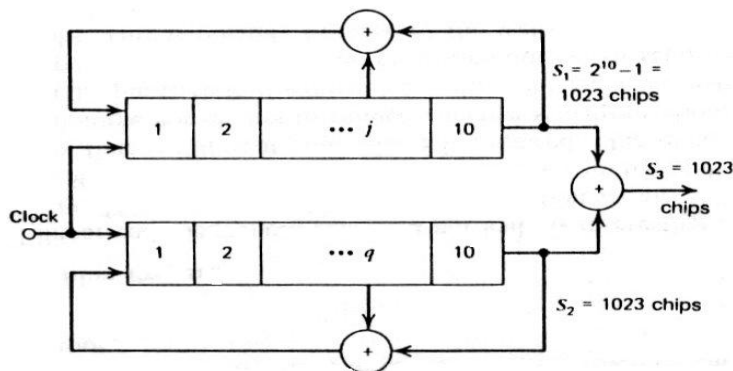
Πίνακας 2.2.4.

Shift	Code 1 / Code 2	Resulting Code
0	1110100 1110010	0000110
1	1110100 0111001	1001101
2	1110100 1011100	0101000
3	1110100 0101110	1011010
4	1110100 0010111	1100011

5	1110100 1001011	0111111
6	1110100 1100101	0010001
7	1110100 1110010	0000110

Παρατηρούμε ότι το σύνολο modulo-2 των δύο κωδικών είναι διαφορετικό για κάθε αλλαγή (έχουμε διαφορετικό κώδικα σε κάθε αλλαγή), το οποίο σημαίνει ότι αυτή η μέθοδος μπορεί να μας δώσει ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών ακολουθιών κωδικών. Δηλαδή ένα ζευγάρι γεννητριών ακολουθιών μήκους  $r$  μπορούν να παράγουν  $r$  μη maximal γραμμικούς κώδικες, ο καθένας μήκους  $r$  chip. Επιπλέον αν οι δύο  $m$ -sequence που συνθέτονται έχουν επιλεγεί σωστά, το σύνολο των  $r$  σύνθετων ακολουθιών θα έχει χαμηλή και εντός κάποιων ορίων αυτοσυσχέτιση: για παράδειγμα, ένα ζευγάρι γεννητριών 10 βαθμίδων shift register (βλέπε σχήμα 2.2.2.) θα ήταν ικανές να παράγουν 1023 διαφορετικούς 1023-chip μη maximal γραμμικούς κώδικες με προσθήκη στους δύο βασικούς γραμμικούς maximal κώδικες. Για κάθε αλλαγή στη λογική ανάδραση σε κάθε από τις δύο shift register ένα νέο σύνολο από 1023 κώδικες θα παράγεται.

Ένα μειονέκτημα αυτής της shift and add ιδιότητας είναι ότι οι γραμμικοί maximal κώδικες είναι επίσης προβλέψιμοι από οποιονδήποτε ξέρει τη τρέχουσα περιοχή κωδικών, έτσι ώστε μελλοντική λειτουργία μπορεί να προβλεφθεί.



Σχήμα 2.2.2.

Πίνακας 2.2.5

State		4-Tuple		Base-10 Equivalent	
1	1	1	1	1	15
2	0	1	1	1	7
3	0	0	1	1	3
4	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	8
6	0	1	0	0	4
7	0	0	1	0	2
8	1	0	0	1	9
9	1	1	0	0	12
10	0	1	1	0	6
11	1	0	1	1	11
12	0	1	0	1	5
13	1	0	1	0	10
14	1	1	0	1	13
15	1	1	1	0	14
1	1	1	1	1	15

### 2.3. Κώδικες Τύπου Linear

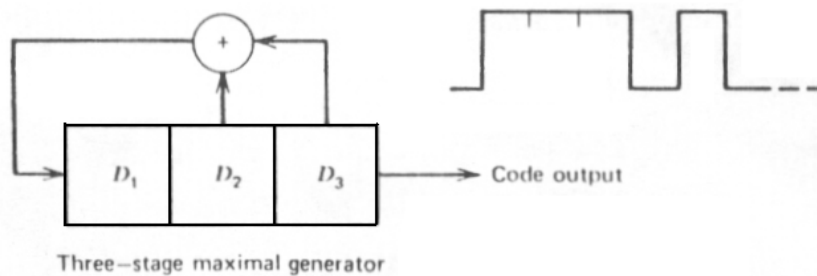
Μια γεννήτρια ακολουθιών γραμμικών κωδικών μπορεί να κατασκευαστεί από οποιοδήποτε σύνολο στοιχείων καθυστέρησης σε συνύπαρξη με συνδυασμό γραμμικών στοιχείων σε μια διαδρομή ανάδρασης έτσι ώστε ο αριθμός των καταστάσεων που η γεννήτρια μπορεί να έχει να εξαρτάται από τον αριθμό των στοιχείων καθυστέρησης (συνολική καθυστέρηση) και τον ειδικό συνδυασμό ανάδρασης. Τυπικές υλοποιήσεις γεννητριών ακολουθιών κωδικών χρησιμοποιούν συχνά γραμμές καθυστέρησης ή ακόμα κομμάτια από ομοαξονικό καλώδιο, αλλά η πιο συνηθισμένη σύγχρονη τεχνική χρησιμοποιεί ψηφιακά κυκλώματα (flip-flops) σε ένα shift register σχηματισμό.

Το σχήμα 2.3.1 δείχνει εμφανώς τη γενική μορφή μιας απλής γραμμικής γεννήτριας. Οι έξοδοι από την τελευταία βαθμίδα delay  $D_n$  και μια μεσαία βαθμίδα  $D_j$  είναι ενωμένες με ένα modulo-2 αθροιστή και έχουν υποστεί ανάδραση στην είσοδο του πρώτου στοιχείου καθυστέρησης. Ο πίνακας αλήθειας 2.2.5. δείχνει εμφανώς τη δράση της ανάδρασης για παραγωγή όλων των πιθανών καταστάσεων ενός καταχωρητή. Σε αυτή την ειδική περίπτωση η κωδική ακολουθία που παράγεται, 1110010, είναι κυκλική (επαναληπτική) με μια ολική

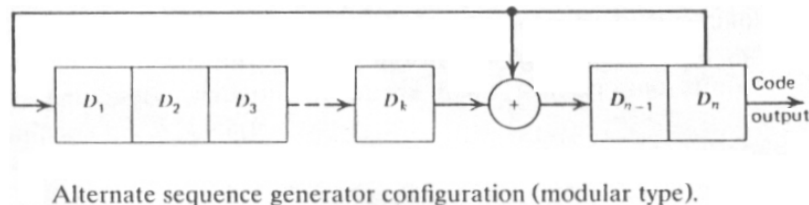


περίοδο  $2^n - 1$  φορές την περίοδο ενός απλού στοιχείου καθυστέρησης. Αυτή είναι η μακρύτερη ακολουθία κώδικα που μπορεί να παραχθεί από δεδομένο αριθμό βαθμίδων καθυστέρησης: αυτό είναι, για  $n$  βαθμίδες καθυστέρησης η μακρύτερη ακολουθία που μπορεί να παραχθεί είναι  $2^n - 1$  και αυτή η ακολουθία ονομάζεται "maximal" ή να είμαστε πιο σαφείς "linear maximal" όταν η γεννήτρια είναι γραμμική.

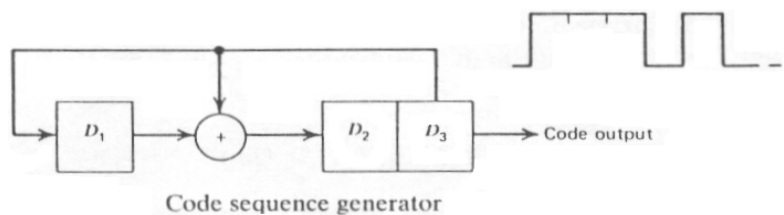
Ένας ισοδύναμος και περισσότερο προτιμητέος σχηματισμός γεννήτριας ακολουθιών τοποθετεί τις προσθήκες ανάδρασης μεταξύ των βαθμίδων, όπως στο σχήμα 2.3.2. Αυτή η ίδια ακολουθία κώδικα μπορεί να παραχθεί με τον ίδιο αριθμό βαθμίδων καθυστέρησης και αθροιστές modulo-2, όπως στην απλή γεννήτρια, φαίνεται στο σχήμα 2.3.3..



Σχήμα 2.3.1.



Σχήμα 2.3.2



Σχήμα 2.3.3.

Συχνά ένας μεγάλος αριθμός ακολουθιών κωδικών χρειάζεται για εφαρμογές όπως για πολλαπλή προσπέλαση μέσω κωδικών (CDMA). Σε μια τέτοια περίπτωση πολλαπλά σημεία ανάδρασης είναι αναγκαία, αφού ο μέγιστος αριθμός κωδικών οποιοδήποτε μήκους διαθέσιμοι από ένα σύνολο στοιχείων καθυστέρησης που χρησιμοποιούν single-tap ανάδραση θα είναι μόνο  $n-1$  ή ένα λιγότερο από τον αριθμό των στοιχείων καθυστέρησης. Δυστυχώς, πολλοί από τους  $n-1$  κώδικες μπορεί να είναι πολύ μικρού μήκους κυκλικές ακολουθίες, ή η γεννήτρια μπορεί να σταματάει την λειτουργία εντελώς (εισάγοντας μηδενικά σε όλα τα στοιχεία σε μερικούς σχηματισμούς).

Χρησιμοποιώντας όλους τους πιθανούς συνδυασμούς μέσω την tap ανάδρασης για ένα  $n$  βαθμίδων register, υπάρχουν  $[\phi(2^n - 1)]/n$  τον αριθμό maximal ακολουθίες που μπορούν να παραχθούν.  $[\phi(2^n - 1)]$  είναι ένας αριθμός του Euler – ο αριθμός των θετικών ακεραίων που περιέχουν το 1 που είναι πρώτοι αριθμοί και μικρότεροι του  $2^n - 1$ . Σαν παράδειγμα της χρήσης αυτού του τύπου, ας παρατηρήσουμε ένα register 5 βαθμίδων, για το οποίο  $2^n - 1$  είναι 31. Επειδή το 31 είναι από μόνο του πρώτος αριθμός, όλοι οι θετικοί ακεραίοι μικρότεροι του 31 είναι σχετικά αρχικά πρώτοι σ'αυτόν. Τότε το register 5 βαθμίδων έχει διαθέσιμες:

$$\frac{\Phi(2^n - 1)}{n} = \frac{30}{5} = 6$$

Ο πίνακας 2.3.1. έχει σε λίστα τον αριθμό των Linear Maximal codes που είναι διαθέσιμοι για πολλά μήκη register 2-89. Κώδικες των οποίων το μήκος,  $2^n - 1$ , είναι πρώτος αριθμός (όπως παραπάνω) ονομάζονται “Mersenne prime”. Αν το μήκος τους δεν είναι κύριο πάντως, ο αριθμός των κωδικών που μπορεί να παραχθεί είναι

Πίνακας 2.3.1.

n	Number of Codes	Prime Factors of $2^n - 1$
3	2	7
4	4	3;5
5	6	31
6	4	3;3;7
7	18	127
8	16	3;5;17

9	48	7;73
10	60	3;11;31
11	176	23;89
12	96	3;3;5;7;13
13	630	8,191
14	756	3;43;127
15	1,800	7;31;151
16	2,048	3;5;17;257
17	7,710	131,071
18	1,728	3;3;3;719;73
19	27,594	524,287
20	19,200	3;5;5;11;31;41
21	72,576	7;7;127;137
22	120,032	3;23;89;683
23	356,960	47;178,481
24	184,320	3;3;5;7;13;17;241
25	1,296,000	31;601;1,801
26	1,719,900	3;2,731;8,191
27	4,260,864	7;73;262,657
28	4,741,632	3;5;29;43;113;127
29	18,407,808	233;1,103;2,089
30	11,880,000	3;3;7;11;31;151;331
31	69,273,666	2,147,483,647
61	31,800,705,069,076,960	2,305,843,009,213,693,951
89	6,954,719,320,827,979,072,466,990	618,970,019,642,690,137,449,562,111

$$\frac{(2^n - 1) \left(1 - \frac{1}{pf_1}\right) \left(1 - \frac{1}{pf_2}\right) \dots \left(1 - \frac{1}{pf_n}\right)}{n}$$

όπου pf<sub>1</sub>, pf<sub>2</sub>... είναι οι κύριοι παράγοντες του 2<sup>n</sup> - 1 και n είναι το μήκος της γεννήτριας. Για παράδειγμα αν n=10, τότε 2<sup>n</sup> - 1 = 1023 και ο αριθμός των linear maximal codes μήκους 1023 είναι

$$\frac{(2^{10} - 1) \left(1 - \frac{1}{3}\right) \left(1 - \frac{1}{11}\right) \dots \left(1 - \frac{1}{31}\right)}{10} = \frac{1023 \times \frac{2}{3} \times \frac{10}{11} \times \frac{30}{31}}{10} = \frac{600}{10} = 60$$

Μπορούμε επίσης εύκολα να δείξουμε ότι ο αριθμός των κωδικών είναι

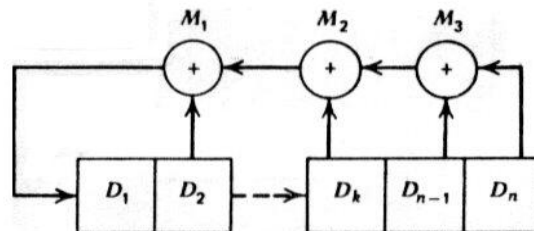
$$\frac{(pf_1 - 1)(pf_2 - 1)(pf_3 - 1) \dots}{n}$$

Κάτι που δεν είναι τόσο φανερό είναι το γεγονός ότι οι μισοί εξ'αυτών των κωδικών είναι ο καθρεφτισμός (στο χρόνο) των άλλων μισών. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν πραγματικά μόνο

$$\frac{(pf_1 - 1)(pf_2 - 1)(pf_3 - 1) \dots}{2n}$$

μοναδικοί κώδικες μήκους  $2^n - 1$ .

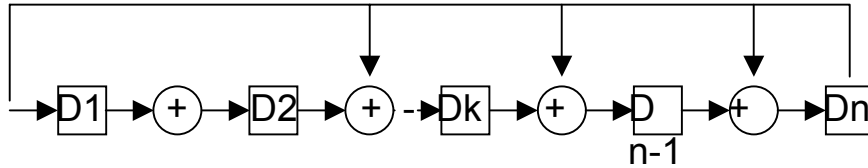
Όταν χρησιμοποιούνται πάνω από ένα σημεία ανάδρασης, ο σχεδιασμός του σχήματος 2.3.2 είναι ο προτιμότερος. Θεωρήστε το σχήμα 2.3.4. το οποίο δείχνει μια multitar γεννήτρια ακολουθιών απλού τύπου.



Multiple-tap simple sequence generator (SSRG).

Σχήμα 2.3.4.

Σε αυτό το σχεδιασμό, το έμφυτο στοιχείο καθυστέρησης στο βρόχο ανάδρασης είναι προσθήκη και αποτελεί το άθροισμα όλων των καθυστερήσεων διάδοσης στη διαδρομή από τη τελευταία βαθμίδα στη πρώτη. Το σχήμα 2.3.5. επεκτίνει την ιδέα του σχήμα 2.3.2 για να δείξει καλύτερα μια γεννήτρια ακολουθιών με έναν αθροιστή modulo-2 ανάμεσα από κάθε βαθμίδα καθυστέρησης και στη γειτονική της.

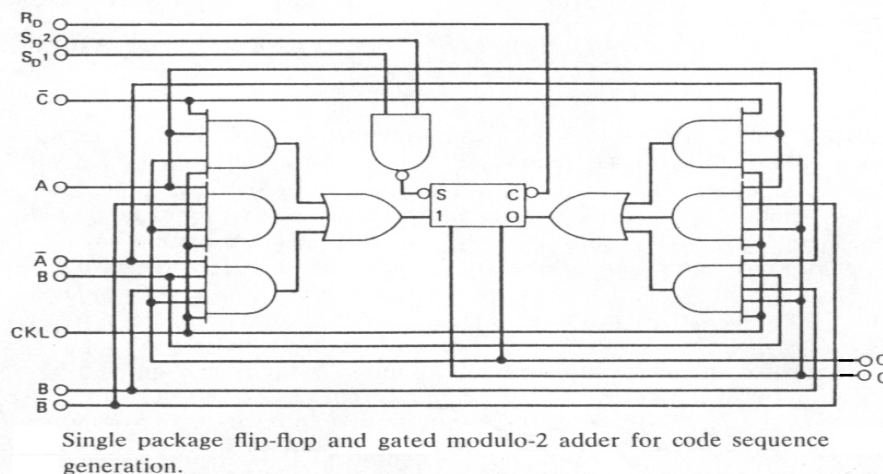


Modular multiple-tap sequence generator (MSRG)

Σχήμα 2.3.5.

Αυτός ο σχεδιασμός ελαττώνει τα έμφυτα delay στη διαδρομή ανάδρασης έτσι ώστε η ολική delay να είναι πάντα μικρότερη από αυτή μιας single-tap γεννήτριας ακολουθιών. Άλλη σημαντική, αν και λιγότερο φανερή, ιδιότητα του σχεδιασμού του σχήματος 2.3.5. είναι ότι υλοποιείται πιο εύκολα, αφού είναι άμεσα διαιρετό σε μονάδες που κατέχουν από ένα στοιχείο καθυστέρησης (flip-flop) και έναν αθροιστή modulo-2. Γιαυτό το λόγο γεννήτριες ακολουθιών αυτού του τύπου έχουν ονομαστεί “modular” και γεννήτριες ακολουθιών shift register που έχουν φτιαχτεί με αυτό τον τρόπο ονομάζονται “modular shift register generators” ή MSRGS.

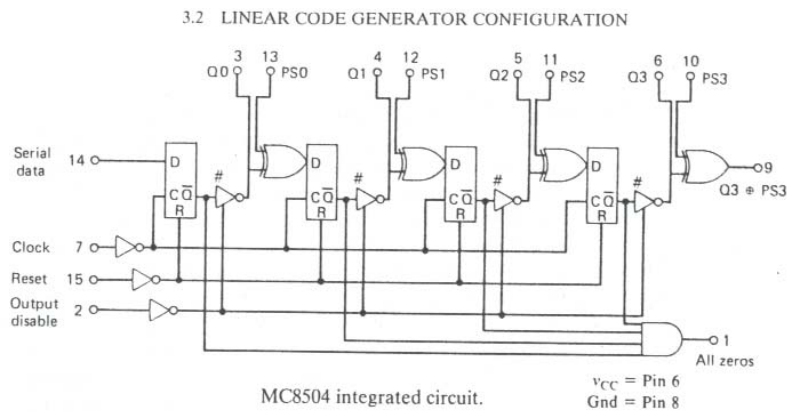
Τα τελευταία χρόνια, πρώτα με την εποχή των transistors υψηλής ταχύτητας μεταγωγής και μετά τα ολοκληρωμένα κυκλώματα (IC's), έχει γίνει προοδευτικά απλούστερος ο σχεδιασμός γεννητριών κωδικών με μεγάλο chip rate. Ένα ειδικό TTL ολοκληρωμένο κύκλωμα, του οποίου το διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα 2.3.6, μπορεί να φτάσει τα 20 Mcps.



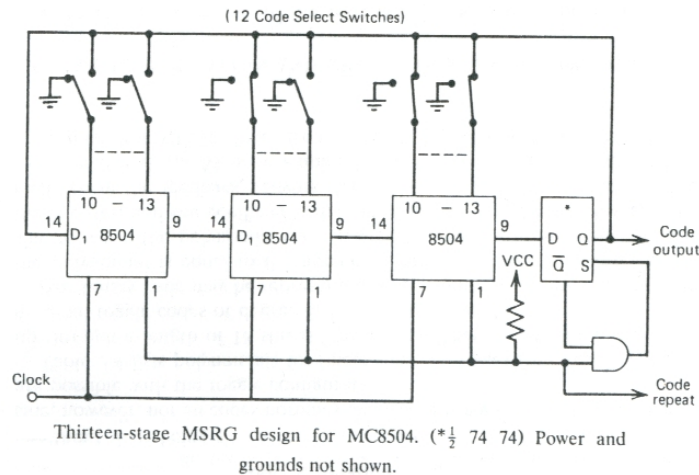
Σχήμα 2.3.6.

Ένα ιδιαίτερα χρήσιμο ολοκληρωμένο κύκλωμα, ικανό να ενεργεί σαν MSRGS είναι το MC8504, κατασκευασμένο από τη MOTOROLA. Αυτό το IC περιλαμβάνει 4 D flip-flops και 4 modulo-2 αθροιστές, καθώς επίσης και μια πύλη που μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για να ανιχνεύει τις μη επιτρεπτές μηδενικές συνθήκες. Για μεγαλύτερες γεννήτριες πολλά MC8504 συνδεδεμένα διδοχικά μπορούν να επιτύχουν 17 Mcps. Το σχήμα 2.3.7 είναι ένα διάγραμμα του MC8504 και το σχήμα 2.3.8, δείχνει μια τυπική 13 βαθμίδων MSRГ γεννήτρια που έχει κατασκευαστεί με αυτές τα κυκλώματα.



Σχήμα 2.3.7.



Σχήμα 2.3.8.

Μία διάταξη shift register που αξίζει να αναφερθεί είναι αυτή που δίνει τις λεγόμενες “toggle” shift register γεννήτριες κωδίκων. Ο toggle SRГ είναι ένας ειδικός τύπος γεννήτριας η οποία εκμεταλεύεται τη λογική που είναι ενσωματωμένη στο ευρέως διαθέσιμο ολοκληρωμένο J-K flip-flop κύκλωμα. Στην περίπτωση αυτή ο toggle type sequence generator δεν χρησιμοποιεί τους modulo-2 αθροιστές οι οποίοι χωριστά από τις βαθμίδες του shift register.

Αυτός ο συνδιασμός έχει το πλεονέκτημα ότι δίνει γεννήτριες κωδίκων με chip rate τις υψηλότερες τιμές όπου τα flip-flops είναι ικανά να λειτουργήσουν χωρίς να επηρεάζονται από το εξωτερικό λογισμικό. Από την αρνητική πλευρά όμως δεν είναι όλο το πλήθος των κωδίκων που φυσιολογικά είναι διαθέσιμοι για ένα δεδομένο μήκος shift register.

Ο πίνακας 2.3.2. παρουσιάζει πολυώνυμα για γραμμικούς maximal codes, από toggle registers μέχρι μήκους 18 βαθμίδων. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα linear maximal toggle codes με βαθμούς 8,12,13,14,16 ή 19.

Κάθε δυαδικός κώδικας μπορεί να αντιπροσωπεύεται από ένα πολυώνυμο όπου ο βαθμός του πολυωνύμου, είναι ίσος με τον αριθμό των βαθμίδων του καταχωρητή που παράγει τον κώδικα. Οι όροι του πολυωνύμου πχ:

$$X, X^2, X^4, \dots, X^n$$

αντιπροσωπεύουν τις βαθμίδες του register και οι συντελεστές (που είναι 0 ή 1) καθορίζουν ποιες βαθμίδες περιλαμβάνονται στο κύκλωμα ανάδρασης. (το 1 πάντα περιλαμβάνεται στην βαθμίδα με συντελεστή 1). Σαν παράδειγμα

$$1 + X + X^2 + X^4 + X^7$$

είναι μια 7 βαθμίδων code generator με ανάδραση από τις βαθμίδες 1,2 και 4 και φυσικά 7.

Πίνακας 2.3.2.

Stages	Number of Toggles	Associated Polynomial
3	1	$1+x+x^3$
3	2	$1+x^2+x^3$
4	1	$1+x+x^4$
5	2	$1+x^2+x^5$
5	3	$1+x+x^2+x^3+x^5$
6	1	$1+x+x^6$
6	5	$1+x+x^4+x^5+x^6$
7	1	$1+x+x^7$
7	3	$1+x+x^2+x^3+x^7$
7	4	$1+x^4+x^7$
7	6	$1+x^2+x^4+x^6+x^7$

9	4	$1+x^4+x^9$
9	5	$1+x+x^4+x^5+x^9$
10	7	$1+x^2+x^3+x^4+x^5+x^6+x^7+x^{10}$
11	2	$1+x^2+x^{11}$
15	1	$1+x+x^{15}$
15	4	$1+x^4+x^{15}$
15	8	$1+x^8+x^{15}$
15	11	$1+x+x^2+x^3+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{15}$
17	3	$1+x+x^2+x^3+x^{17}$
17	5	$1+x+x^4+x^5+x^{17}$
17	6	$1+x^2+x^4+x^6+x^{17}$
17	11	$1+x+x^2+x^3+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{17}$
17	12	$1+x^4+x^8+x^{12}+x^{17}$
17	14	$1+x^2+x^4+x^6+x^8+x^{10}+x^{12}+x^{14}+x^{17}$
18	11	$1+x+x^2+x^3+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{18}$

#### 2.4. Autocorrelation and cross-correlation of codes

Οι ιδιότητες της correlation code sequences χρησιμοποιούνται σε spread spectrum επικοινωνίες που εξαρτώνται από το τύπο του κωδικού, το μήκος, το chip rate και ακόμα την chip-by-chip δομή ενός συγκεκριμένου κωδικού που χρησιμοποιείται. Τόσο η αυτόματη σύνδεση όσο και η αντίθετη αντίστοιχη σύνδεση έχουν ενδιαφέρον στο σχεδιασμό επικοινωνιακού συστήματος. Η αυτόματη σύσδεση καθορίζεται σαν την εξίσωση:

$$\psi(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)f(t-\tau)dt$$

Η οποία αποτελεί μέτρο για την ομοιότητα μεταξύ ενός σήματος και ένα αντίγραφο αλλαγής φάσης του ίδιου. Μια λειτουργία αυτόματης σύνδεσης είναι ένα σχέδιο αυτόματης σύνδεσης πάνω σε



όλες τις αλλαγές φάσεις (t-r) ενός σήματος όπου Δt είναι one-chip διάστημα.

Η αυτόματη σύνδεση έχει μεγάλο ενδιαφέρον στην επιλογή code sequences που δίνει την λιγότερη πιθανότητα για λάθος συγχρονισμού. Σε ένα επικοινωνιακό σύστημα σχεδιασμένο για μέγιστη ευαισθησία, δεν έχει νόημα η ενέργεια να κάνεις προκατελημένο διαχωρισμό μεταξύ των άκρων σύνδεσης ενός άσχημα επιλεγμένου κωδικού. Γιαυτό το λόγο ο σχεδιαστής πρέπει να ερευνά προσεκτικά τον κωδικό που χρησιμοποιεί, ακόμη και αν αυτός ο κωδικός είναι μια από τις σχετικά ασφαλής m-sequences. Η cross-correlation έχει μεγάλο ενδιαφέρον σε πολλά θέματα όπως

(a) CDMA συστήματα

(b) Λειτουργικά συστήματα που πρέπει να θέσουν σε λειτουργία κωδικούς με υπερβολικά χαμηλή cross-correlation σύνδεση καθώς επίσης και σαφή αυτόματη σύνδεση

Η cross-correlation είναι το μέτρο για την ομοιότητα μεταξύ δυο διαφορετικών code sequences. Η μοναδική διαφορά μεταξύ της cross-correlation και της autocorrelation είναι ότι στη γενική πολύπλοκη εξίσωση της autocorrelation ένας διαφορετικός όρος αντικαθίσταται.

$$\psi_{(cross)} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t-r)dt$$

Η αντίστοιχη για διαφορετικές code sequences μπορεί να καταταχθεί σε πίνακα με την διμηνουργία ενός συγκριτικού πίνακα και καμπύλες των συμφωνιών μην των διαφοριών, όπως ακριβώς στην autocorrelation.

Θα ήταν χρήσιμο σε αυτό το σημείο να παρουσιάσουμε έναν όρο για την ιδιότητα μιας code sequence, ζεύγος sequences ή μιας sequence και κάποιο άλλο σήμα που καθορίζει την ικανότητα του δέκτη να αναγνωρίζει το κατάλληλο σημείο του κωδικού συγχρονισμού. Αυτή η ιδιότητα ονομάζεται index discrimination (ID) και δίνει τη διαφορά στη σύνδεση μεταξύ του πλήρως συνδεδεμένου (τέλεια συγχρονισμένου) κωδικού και το peak της αρνητικής αυτόματης σύνδεσης ή των crosscorrelation. Ένας συγκεκριμένος κώδικας θα έχει τότε ξεχωριστές ID αξίες για αυτόματη σύνδεση και αντίθετη σύνδεση με μη κωδικοποιημένα σήματα. Όσο λιγότερο είναι η ID αξία τόσο καλύτερος είναι ο κωδικός. Η autocorrelation code sequence και αντίθετης εκφράζονται ως ο αριθμός των συμφωνιών

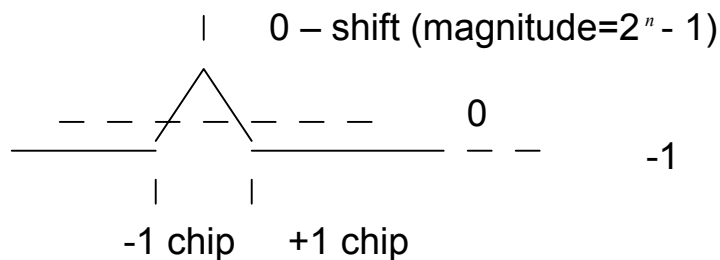
μείον τον αριθμό των διαφωνιών όταν ο κωδικός ή οι κωδικοί συγκρίνονται chip to chip.

$$S = S_1 S_2 S_3, S_3 \oplus S_2 \rightarrow S_1, L(S) \rightarrow R(S).$$

Πίνακας 2.4.1.

Shift	Sequence	Agreements(A)	Disagreements(D)	A - D
1	0111001	3	4	-1
2	1011100	3	4	-1
3	0101110	3	4	-1
4	0010111	3	4	-1
5	1001011	3	4	-1
6	1100101	3	4	-1
0	1110010	7	0	7

Στην περιοχή μεταξή του μηδέν και τις θετικές ή αρνητικές αλλαγές ενός chip, η σύνδεση αυξάνει γραμμικά έτσι ώστε η λειτουργία αυτόματης σύνδεσης για μια m-sequence είναι τριγωνική όπως δείχνει το σχήμα 2.4.1.



m-sequence autocorrelation function

Σχήμα 2.4.1.

Αυτή η χαρακτηριστική αυτόματης σύνδεσης χρησιμοποιείται σαν μεγάλο πλεονέκτημα στα επικοινωνιακά και γραμμικά συστήματα. Δύο πληροφοριοδότες μπορεί να λειτουργούν ταυτόχρονα για παράδειγμα αν οι κωδικοί τους έχουν phase shifted περισσότερο από ένα chip. Σε ένα γραμμικό σύστημα μια τάξη

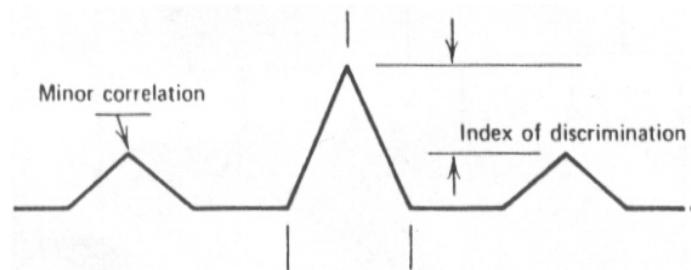
μέτρησης αξασφαλίζει την εγκυρότητά της μέσα σε ένα chip με τη χρήση του peak της σύνδεσης σαν δείκτης της μέτρησης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί θέτοντας τον ανιχνευτή της σύνδεσης κατά τέτοιο τρόπο που να αναγνωρίζει το επίπεδο που συνδέεται με το +-1 chip συγχρονισμό και δεν αναγνωρίζει χαμηλότερο επίπεδο.

Όταν χρησιμοποιούνται κωδικοί άλλων m-sequences οι ιδιότητες της αυτόματης σύνδεσης τους μπορεί να είναι εμφανώς διαφορετικές από εκείνες των m-sequences. Το σχήμα 2.4.2 παρουσιάζει μια τυπική λειτουργία αυτόματης σύνδεσης για έναν nonmaximal code. Τα χαμηλά άκρα της σύνδεσης εξαρτώνται από τον πραγματικό κωδικό που χρησιμοποιείται και παράγονται από τις εν μέρει συνδέσεις του κωδικού με ένα αντίγραφο phase-shifter του ίδιου.

Για λόγους παρουσίασης ας σκεφτούμε των 5-φάσεων shift register γεννήτριας που φαίνεται στο σχήμα 2.4.2. Εάν οι πληροφορίες πέρνονται από τα στάδια 5 και 3 η σειρά του κωδικού που παράγεται είναι

...11111000110111010100000100101100... (31 chips).

Η αυτόματη σύνδεση αυτής της sequence παρουσιάζεται είναι  $2^n - 1 = 31$  και της  $l_{\text{auto}} = 32$ . Αυτή η ID αξία όπως αναμένεται είναι τυπική μιας linear maximal sequences (της οποίας αυτό είναι παράδειγμα) για την οποία  $l_{\text{auto}}$  είναι πάντα ίση με  $2^n$ .



Σχήμα 2.4.2.

Τώρα αν τροποποιήσουμε τις πληροφορίες που προκύπτουν από τα στάδια 5 και 4 μια πιθανή output sequences που θα προκύψει είναι μόνο 21 chips μήκους.

...111110000100011001010...

Αυτό είναι παράδειγμα μιας nonmaximal linear sequences που είναι μικρότερη από  $2^n - 1$  μήκους. Υπάρχουν επίσης άλλες δύο nonmaximal linear sequences που είναι διαθέσιμες από το ίδιο περίγραμμα πληροφοριών του οποίου τα μήκη είναι 7 και 3 chips:

...1001110... and ...101...

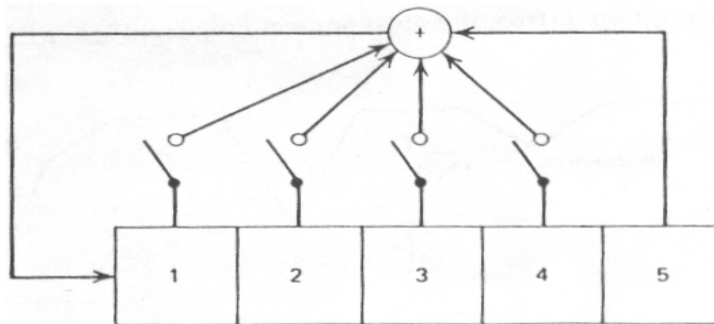
Η αρχική ποσότητα διαγράμματος που περιέχεται στον register καθορίζει ποια από τις sequences παράγεται. Για αυτό το λόγο μεγαλύτερη προστασία είναι απαραίτητη όταν χρησιμοποιούνται nonmaximal sequences. Τόσο για να εξασφαλίσει ότι η αρχική ποσότητα διαγράμματος είναι σωστή όσο ότι ο θόρυβος δεν αναγκάζει τον register να πάει σε κάποια θέση εκτός αυτών που έχουμε καθορίσει.

Τα τρία set της sequence generator sequence generator για τις διαθέσιμες nonmaximal sequences είναι:

Πίνακας 2.4.2.

	Set 1 Q <sub>1</sub> Q <sub>2</sub> Q <sub>3</sub> Q <sub>4</sub> Q <sub>5</sub>	Set 2 Q <sub>1</sub> Q <sub>2</sub> Q <sub>3</sub> Q <sub>4</sub> Q <sub>5</sub>	Set 3 Q <sub>1</sub> Q <sub>2</sub> Q <sub>3</sub> Q <sub>4</sub> Q <sub>5</sub>
Initial condition	11111	11001	01101
Next states	01111	11100	10110
	00111	01110	11011
			-----
	00011	10111	01101 (3-chip cycle)
	00001	01011	
	10000	00101	
	01000	10010	
		-----	
	00100	11001 (7-chip cycle)	
	00010		
	10001		
	11000		
	01100		
	00110		
	10011		
	01001		
	10100		
	01010		
	10101		
	11010		
11101			
11110			
	-----		

Starting point (21-chip cycle)	11111		
-----------------------------------	-------	--	--



Variable tap five-stage SRG.

Σχήμα 2.4.3.

Λάβε υπόψιν ότι ένα σύνολο set μόνο  $31(2^5 - 1)$  θέσεων υπάρχει σε όλες αυτές τις nonmaximal sequences-ο ίδιος αριθμός που υπάρχει σε μια μοναχική maximal sequence. Είναι τυπικό των linear sequences generator το γεγονός ότι για κάθε πληροφορία που παράγει ένα υποσέτ μήκους  $(2^n - 1)$ -κ υπάρχουν μια ή περισσότερες συνδέσεις πληροφοριών nonmaximal των οποίων τα υποσέτ (σε συνδιασμό με το αρχικό set) έχουν συνολικό μήκος  $(2^n - 1)$ . Nonmaximal sequences έχουν συχνά πολύ χαμηλά peak αυτόματης σύνδεσης. Για αυτό το λόγο η χρήση nonmaximal codes ή ακόμα τομείς maximal codes για επικοινωνίες πρέπει να προσεγγίζονται με προσοχή.

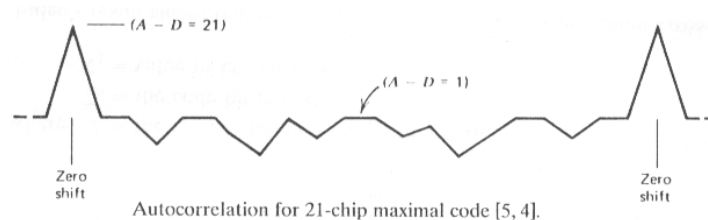
Διαθέσιμες code sequences από τη γεννήτρια 5-σταδίων του σχ. 2.4.3 είναι οι ακόλουθες:

Πίνακας 2.4.3.

Feedback	Sequence	Length
[5,3]	...111110001101110101000010010 1100...	31
[5,2]	...111110011010010000101011101 1000...	31
[5,4,3,2]	...111110010011000010110101000 1110...	31
[5,3,2,1]	...111110111000101011010000110 0100...	31

[5,4,3,1]	...111110100010010101100001110 0110...	31
[5,4,2,1]	...111110110011100001101010010 0010...	31
[5,4]	...111110000100011001010...	21
[5,1]	...111110101001100010000...	21
[5,4]	...1101001...	7
[5,1]	...1001011...	7
[5,4]	...011...	3
[5,4]	...011...	3

Έξι από αυτές τις μακριές sequences είναι maximal ( $2^5 - 1$ ) σε μήκος όπου έξι είναι nonmaximal. Παρατήρηση των ζευγαριών ([5,4,3,2],[5,3,2,1]), ([5,4,3,1],[5,4,2,1]), και ([5,4],[5,1]) θα δείξει ότι είναι αντίστροφα ζευγαρομένα. Κανένας από αυτούς τους κώδικες είναι χρήσιμος διότι το φάσμα διασκορπιά στοιχεία για ένα συγκεκριμένο σύστημα λόγω του ότι έχουν μικρό μήκος αλλά καταγράφονται εδώ για να παρέχουν μοντέλα. Ας εξετάσουμε λοιπόν αυτές τις sequences για τις ιδιότητες της autocorrelation και cross-correlation: η autocorrelation όλων των 6 maximal code είναι η ίδια (π.χ. ίση με  $-1$  για όλες εκτός της  $0+-1$  chip shift). Η zero shift παράγει αξία autocorrelation 31 για όλες.

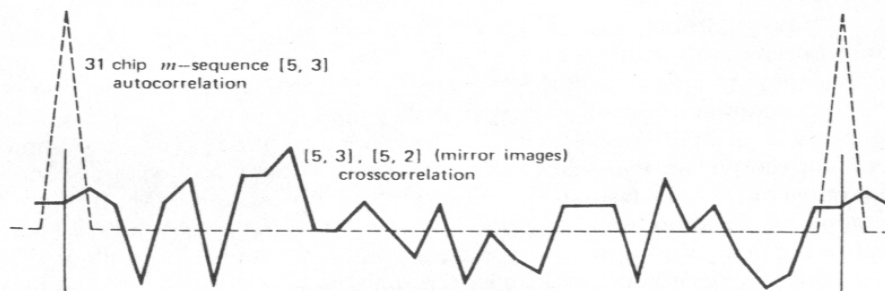


Σχήμα 2.4.4.

Autocorrelation ενός από τα 21-chip nonmaximals παρουσιάζεται στο σχ. 2.4.4. (για τη sequence [5,4]), που είναι επίσης τυπικό για την υπόλοιπη sequence 21-chip (αν και κινείται προς τα πίσω). Η IDauto αξία για τις 21-chip sequence είναι 19 η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει μείωση παραπάνω από 40% στην ικανότητα συγχρονισμού ενός δέκτη χαμηλότερα από εκείνη για 31-chip maximal code.

Ακόμα και οι linear maximal sequences δεν μένουν απροσβλητες από τα προβλήματα της cross-correlation όμως στο γενικότερο πλαίσιο είναι οι μόνες διαθέσιμες. Είναι επίσης ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι ακόμα και όταν οι κωδικοί χρησιμοποιήσουν εξαιρετικές ιδιότητες cross-correlation όταν κυμάνθηκαν πάνω από το συνολικό μήκος εκείνες οι βραχυπρόθεσμες cross-correlation που είναι αρκετά αποτελεσματικές στο να διακόπτουν επικοινωνίες, μπορούν (και το κάνουν) να λάβουν χώρα.

Τα σχ. 2.4.5, 2.4.6 δίνονται σαν απεικονήσεις cross-correlation και autocorrelation για maximal sequences. Η καμπύλη autocorrelation του κώδικα [5,3] δείχνει μια zero-shift αξία σύνδεσης του 31. Για τους κωδικούς [5,3] και [5,2] cross-correlated όμως η τιμή του peak είναι 11 το οποίο δίνει ID ίση με 20, ή 35% μικρότερη από την τιμή autocorrelation. Οι κωδικοί [5,3] και [5,2] είναι είδωλα, αυτό σημαίνει ότι ο ένας είναι ίδιος με των άλλο, αλλά έχουν παραχθεί με αντίθετη φορά. Αντίστοιχη σύνδεση κωδικών [5,3] και [5,4,3,2] κωδικών είναι χαμηλότερη από εκείνη των ειδώλων κωδικών, αλλά είναι ακόμα τέτοια ώστε το peak της τιμής της αντίστοιχης σύνδεσης είναι 7, μια τιμή που λαμβάνει χώρα σε 10 διαφορετικές εναλλασώμενες θέσεις.



Σχήμα 2.4.5.  
Πίνακας 2.4.3.

Shift	Agreements	Disagreements(D)	A - D
0 17	17 15	14 16	3 -1
1 18	18 13	13 18	5 -5
2 19	17 12	14 19	3 -7
3 20	11 17	20 14	-9 3

4	21	17	17	14	14	3	3
5	22	19	17	12	14	7	3
6	23	11	11	20	20	-9	-9
7	24	19	19	12	12	7	7
8	25	19	15	12	16	7	-1
9	26	21	17	10	14	11	3
10	27	15	13	16	18	-1	-5
11	28	15	11	16	20	-1	-9
12	29	17	12	14	19	3	-7
13	30	15	17	16	14	-1	3
14	31	13	17	18	14	-5	3
15		17		14		3	
16		11		20		-9	

Το σημαντικό σημείο είναι ότι αυτά τα συγκεκριμένα ζευγάρια των code sequences δεν είναι ικανά να λειτουργήσουν στην ίδια ένωση εάν η μεταφερόμενη ενέργεια είτε από τον πομπό ξεπερνά κατά πολύ την άλλη, ώστε να αυξήσει το peak της αντίθετης σύνδεσης σε τιμή κοντά στο peak της autocorrelation. Φυσικά τόσο μικροί κωδικοί δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται, αλλά η σύγκριση είναι λογικά αντιπροσωπευτική λειτουργίας ακόμη και με πολύ μακριές sequences που χρησιμοποιούνται στην CDMA ή σε άλλες εφαρμογές πολλαπλής πρόσβασης.

Judge (κριτής, εισηγητής ) έχει υπολογίσει την code division multiplexing χρησιμοποιώντας “σχεδόν ορθογώνιες δυαδικές λειτουργίες” (linear maximal sequences) και δηλώνει ότι 2 ίσης ισχύς σήματα ενωμένα μαζί έχουν signal-to-noise ίσο με:

$$\frac{S}{N_{(2)}} = \frac{S}{\left( K_1^2 + \frac{T_0}{T} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

Πίνακας 2.4.4

Shift	Agreements	Disagreements(D)	A - D	
0	17	15 15	16 16	-1 -1
1	18	19 11	12 20	7 -9
2	19	15 11	16 20	-1 -9
3	20	11 11	20 20	-9 -9
4	21	19 19	12 12	7 7



5	22	15	11	16	20	-1	-9
6	23	19	15	12	16	7	-1
7	24	15	19	16	12	-1	7
8	25	15	19	16	12	-1	7
9	26	15	15	16	16	-1	-1
10	27	15	15	16	16	-1	-1
11	28	19	15	12	16	7	-1
12	29	19	15	12	16	7	-1
13	30	15	19	16	12	-1	7
14	31	15	15	16	16	-1	-1
15		19		12		7	
16		15		26		-1	

$$\frac{S}{N^{(b)}} = \frac{S}{\left[ b \left( K_i^2 + \frac{T_0}{T} \right) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

Το Judge τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μερικές αρχικές Mersenne sequences παρουσιάζουν τιμές αντίστοιχης σύνδεσης ανώτερες από τις άλλες, κάποιες φορές και για όχι αρχικές σειρές μακρύτερες από τις αρχικές.

Οι σύνθετες code sequences που έχουν ήδη αναφερθεί έχουν μεγάλη χρησιμότητα όταν η autocorrelation είναι η πρώτη σκέψη. Το πραγματικό τους υπάρχει στο γεγονός ότι για κάθε κωδικό σε ένα set από  $2^n - 1$  κωδικούς, κάθε ένα από τα μήκη  $2^n - 1$  οι τιμές autocorrelation ορίζονται καλά και ένα σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί για να λειτουργεί μέσα σε αυτόν τον ορισμό. Αν δεν χρησιμοποιηθούν κάποια προγράμματα κωδικών κάθε κωδικός που χρησιμοποιείται πρέπει να αναλύεται ξεχωριστά με σεβασμό για τους υπόλοιπους κωδικούς για να εξασφαλίσει λειτουργία χωρίς προβλήματα.

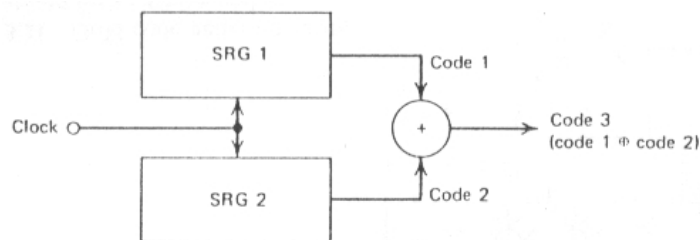
## 2.5 Composite codes

Όσο σταθερός και αν είναι ο ισχυρισμός ότι για επικοινωνίες και διατάξει maximal linear sequences δεν μπορεί να είναι καλύτερες, πρέπει να παραδεχθούμε ότι οι code sequences που παράγονται από το συνδιασμό των linear maximal sequences πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν. Οι composite codes που κατασκευάζονται κατά αυτόν τον τρόπο έχουν ειδικές ιδιότητες που είναι πολύ χρήσιμες

κάτω από κατάλληλες συνθήκες, για παράδειγμα, οι JPL ranging codes και οι gold codes, αν και έχουν κατασκευαστεί από maximal sequences, δεν είναι maximal. Οι JPL linear codes έχουν ειδικές ιδιότητες σύνδεσης που επιτρέπουν γρήγορο συγχρονισμό, ενώ οι gold codes επιτρέπουν κατασκευή οικογενιών  $2^n - 1$  κωδικών από ζευγάρια n-stage shift register όπου όλοι οι κωδικοί έχουν καλά ορισμένα χαρακτηριστικά σύνδεσης .

Gold code sequence generators (see appendix 7)

Οι gold code sequence generators είναι χρήσιμες λόγω του μεγάλου αριθμού κωδικών που παρέχουν αν και απαιτούν μόνο ένα ζευγάρι set πληροφοριών tap. Ένα πλεονέκτημα που αποδίδεται στην χρήση αυτών των κωδικών είναι ότι λίγα set πηγών πληροφοριών χρειάζονται. Για αυτό το λόγο η πιθανότητα χρήσης ενός ζεύγους με μια πηγή πληροφοριών του απλού SRG ενώ παραμένει η δυνατότητα να παραχθεί ένας μεγάλος αριθμός κωδικών είναι άμεση. Η μόνη πηγή του SRG είναι ο γρηγορότερος πιθανός συνδυασμός. Για αυτό το λόγο οι Gold code sequences είναι πιθανός διαθέσιμες σε τιμές ίσες με την ικανότητα του γρήγορου απλού SRG. Οι Gold code παράγονται από το modulo-2 αθροιστή ενός ζευγαριού maximal linear sequences όπως δείχνει το σχ. 2.5.1. Οι code sequences προστίθενται chip με chip με ρύθμιση συγχρονισμού. Οι ίδιοι οι κωδικοί έχουν το ίδιο μήκος. Για αυτό το λόγο οι γεννήτριες δύο κωδικών διατηρούν την ίδια φάση σχέσης και οι κωδικοί που παράγονται έχουν το ίδιο μήκος όπως οι βασικοί κωδικοί που προστίθενται μαζί, αλλά δεν είναι nonmaximal. Το σχ.2.5.1 είναι ένα συγκεκριμένο παράδειγμα.



Gold code sequence generator configuration.

σχήμα 2.5.1

Η ιδιότητα shift-and-add των maximal sequences δηλώνει ότι οποιαδήποτε maximal sequence που προστίθεται σε ένα αντίγραφο

phase-shifted της ίδιας παράγει μια διαφορετική phase shift σαν αποτέλεσμα. Εδώ η ίδια λειτουργία εκτελείται με την νέα sequence να έχει το ίδιο μήκος όπως εκείνες που προστέθηκαν και nonmaximal. Για να δείξουμε αυτό το πλεονέκτημα βλέπε το επόμενο παράδειγμα. Δίνεται μια 5-stage sequence generator που εμείς επιλέγουμε ένα set πηγών πληροφοριών από τον παρακάτω πίνακα. Λάβε υπόψιν ότι μόνο 6 set πληροφοριών είναι διαθέσιμα για τον 5-stage register και τα μισά είναι είδωλα των άλλων μισών. Εάν χρειάζονται περισσότερα από 6 κωδικούς 31-chip δεν μπορούμε να τους πάρουμε από τον δικό μας 5-stage register.

Η λύση όπως έχει λεχθεί είναι να χρησιμοποιήσουμε δύο sequences generation 5-stage συνδεδεμένα με τον Gold συνδυασμό, όπως φαίνεται στο σχ. 2.5.2. Το σχ. δείχνει επίσης τους modulo-2 συνδυασμούς Gold code που παράγονται από τον συνδυασμό των δύο maximal code που προκύπτουν με διαφορετικές αρχικές αντιθέσεις. Αυτό σημαίνει ότι οι γεννήτριες δύο κωδικών μπαίνουν σε λειτουργία με αντίθετες αρχικές συνθήκες από ποικίλες ποσότητες ώστε να δώσουν διαφορετικά αποτελέσματα κωδικών. Όλος ο μεταφορέας τοποθετείται και στους δύο register σαν αρχική συνθήκη. Επιπλέον οι 1 και 5 chip shifter (από όλο τον μεταφορέα) επίσης δείχνονται σε αρχικές συνθήκες:

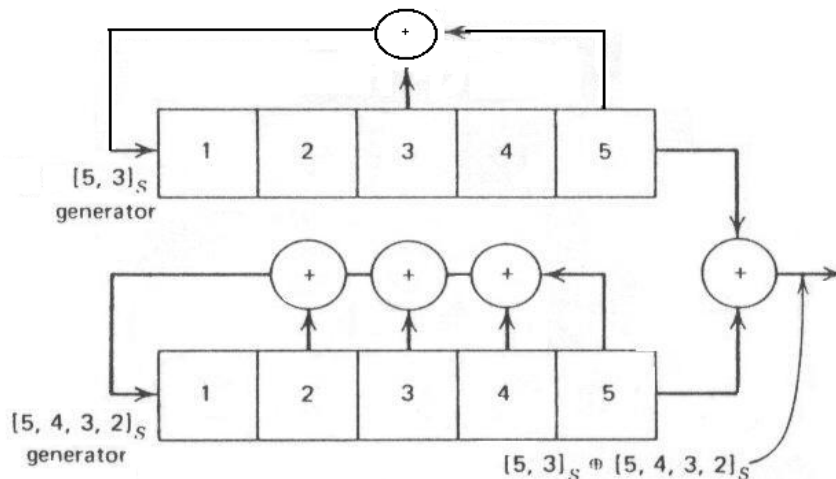


Illustration of Gold code generation with  $[5, 3]_S$  and  $[5, 4, 3, 2]_S$  generators.

Σχήμα 2.5.2

Zero-shift combination:

1111100011011101010000100101100  
1111100100110000101101010001110  
0000000111101101111101110100010

One-chip-shift combinatio:

1111100011011101010000100101100  
1111001001100001011010100011101  
0000101010111100001010000110001

Five-chip-shift combination:

1111100011011101010000100101100  
0010011000010110101000111011111  
1101111011001011111000011110011

Όποια αλλαγή στις αρχικές συνθήκες από 0 έως 30 chip μπορούν να χρησιμοποιηθούν. (Μια 31-chip shift είναι ίδια με την zero shift). Για αυτό το λόγο από αυτή την Gold sequence generator είναι διαθέσιμοι 33 maximal-length codes. Επεκτείνοντας αυτή την ένδειξη μπορούμε να δείξουμε ότι οποιαδήποτε γεννήτρια 2-register gold code μήκους (n) μπορεί να παράγει  $2^n - 1$  maximal-length sequences (μήκους  $2^n - 1$ ) και επιπλέον τις δυο 2 maximal base sequences. Μια multiple-register Gold code generator μπορεί να παράγει  $(2^n - 1)^r$  nonmaximalsequences μήκους  $2^n - 1$  και απιπλέον (r) maximal sequences του ίδιου μήκους όπου (r) είναι ο αριθμός των registers και (n) είναι ο register length.

Επιπλέον του πλεονεκτήματός τους να παράγουν μεγάλο αριθμό κωδικών, οι Gold code μπορεί να επιλεγθούν έτσι ώστε για πάνω από ένα διαθέσιμο set κωδικών από μια δοσμένη γεννήτρια η αντίστοιχη σύνδεση μεταξύ των κωδικών είναι ενοποιημένη και δεμένη. Για αυτό το λόγο οι Gold code είναι προσιτοί για εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιείται ένας αριθμός από signals code-division-multiplexed. Η ίδια εγγύηση για δεμένη αντίστοιχη σύνδεση είναι πιθανή για maximal sequences του ίδιου μήκους.

Ο Gold έχει παρουσιάσει μια μέθοδος για την επιλογή linear maximal codes που χρησιμοποιούνται σαν εξαρτήματα στις Gold sequences για να δώσουν ένα set sequences κάθε ένα μέλος του οποίου έχει

$$|\theta(r)| \leq 2^{(n+1)/2} - 1$$

πλευρικές προεξοχές αντίστοιχης και αυτόματης σύνδεσης δεμένες με  
για (n) πιθανότητα και με

$$|\theta(r)| \leq 2^{(n+2)/2} - 1$$

για (n) πιθανότητα.

Ένα ίσο αποτέλεσμα δίνεται από τον Anderson για τους Gold κωδικούς, αυτό συμφέρει ότι η έκφραση του Anderson για τον δεσμό

$$|\theta(\tau)|_G \leq \left( \frac{\sqrt{2} \sqrt{1 + 1/L} + 1/\sqrt{2}}{\sqrt{L}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

της αντίστοιχης σύνδεσης είναι

Είναι προφανές από αυτή την ανισότητα ότι καθώς  $L \rightarrow \infty$  το

$$|\mathcal{A}(\tau)| \rightarrow \sqrt{2}/\sqrt{L}$$

Η σύγκλιση είναι επαρκώς γρήγορη αφού για κάθε σειρά κωδικού το μήκος του ποσοστού ενδιαφέροντος είναι

$$|\mathcal{A}(\tau)| = \sqrt{2}/\sqrt{L}$$

Λάβε υπόψιν ότι η μια έκφραση δίνει αντίστοιχη σύνδεση σε chip, ενώ η άλλη δίνει ένα ποσοστό μέγιστης σύνδεσης. Καθιστώντας κανονική τη μέγιστη σύνδεση σε

$$1, 2^{(n+1)/2} + 1 \approx \sqrt{2L} / \sqrt{L}$$

για μέγιστο L.

Ο Anderson επίσης δηλώνει ότι η λειτουργία αντίστοιχης σύνδεσης για σειρές μεγάλης πιθανότητας δίνεται από

$$|\theta(\tau)| \leq \left( \frac{1 + 1/L - 1/L^2}{L} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Τώρα καθώς  $L \rightarrow \infty$ ,

$$|\mathcal{A}(\tau)| \rightarrow 1/\sqrt{L}$$

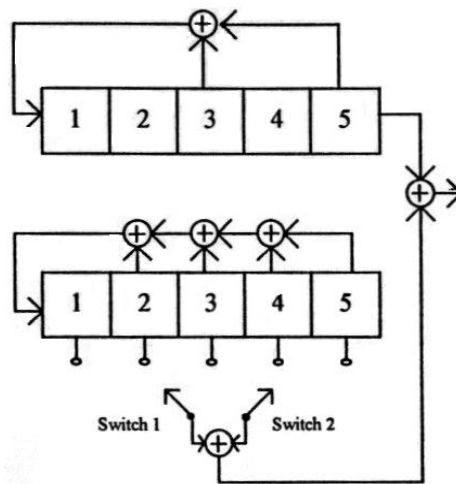
Για μια δοσμένη αξία L οι Gold κωδικοί εκθέτουν αντίστοιχη σύνδεση που είναι

$$\left(\sqrt{2} / \sqrt{L}\right) / \left(1 / \sqrt{L}\right) = \sqrt{2}$$

μεγαλύτερη από τις maximal length sequences.

Μια εύκολη μέθοδος για επιλογή του Gold code στο hardware είναι εκείνη που χρησιμοποιεί το Global Positioning System (GPS) για την μετατροπή από ένα C/A κωδικό σε άλλο. Αυτή η μέθοδος κάνει χρήση της shift-and-add ιδιότητα των linear maximal codes με ένα διαφορετικό τρόπο και είναι εικονογραφημένο στο σχήμα 2.5.3. (Η Gold code generator του σχ.2.5.2 χρησιμοποιείται σαν εικονογράφιμα). Και οι δύο γεννήτριες που παρουσιάζονται μπορούν να μπούν σε λειτουργία τοποθετώντας τες σε όλο το vector. Η χαμηλή απόδοση της γεννήτριας αλλάζει καθώς το modulo-2 προσθέτει επιλεγμένες αποδόσεις παρέα. Εδώ ο αριθμός των επιλεγμένων κωδικών από τις 2 αλλαγές που παρουσιάζονται είναι:

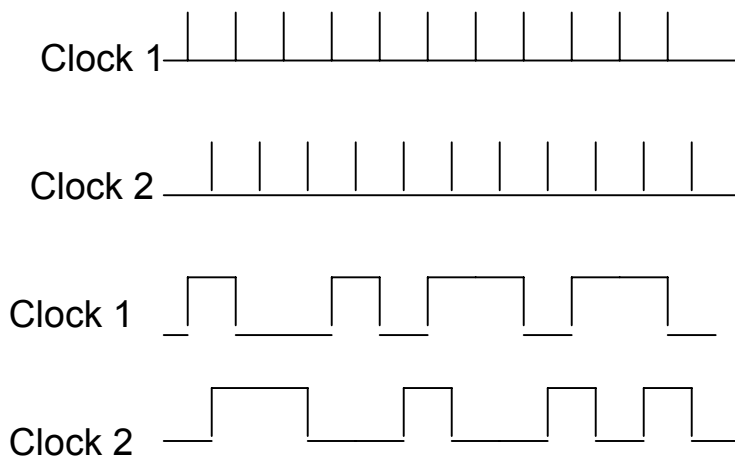
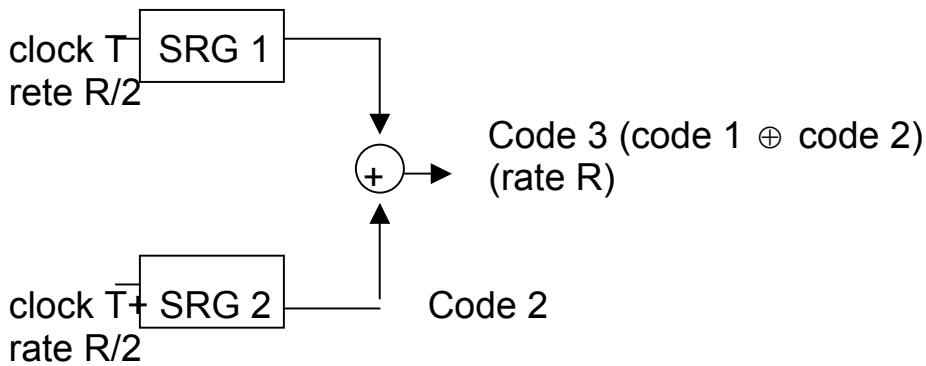
$$5 + \binom{2}{5} = 15$$

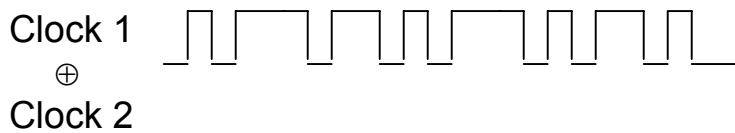


Σχήμα 2.5.3

Μια τεχνική που ενώνει 2 ή περισσότερες slower generators για την παραγωγή high-rate sequences χρησιμοποιήθηκε σε πολύπλοκη μορφή νωρίς το 1958 από τον H.G.Posthumus. Η μέθοδος είναι παρόμοια με εκείνη που χρησιμοποιείται στις Gold code sequences generators όπου 2 separate sequences modulo-2 προστίθενται για να παράγουν ένα μικτό αποτέλεσμα. Η διαφορά υπάρχει στο γεγονός

ότι χωριστά ρολόγια , αλλαγής φάσης σε  $360/P$  βαθμούς/μοίρες κάθε μια σε rate  $R/P$  χρησιμοποιούνται. (Εδώ το  $R$  είναι η επιθυμητή output code chop rate και το  $P$  είναι ο αριθμός registers που χρησιμοποιούνται ή η επιθυμητή rate μείωσης). Το σχ. 2.5.4 δείχνει μια two-register generator του δυνατού τύπου που θα μπορούσε να επιτρέψει την μείωση της τιμής του ρολογιού από έναν παράγοντα 2. Ο χρόνος για αυτή τη code generator επίσης πασουςιάζεται. Λάβε υπόψιν ότι το chip rate του code 1 (+) code 3 είναι διπλάσια από εκείνη είτε του code 1 ή του code 2 πριν τον συνδιασμό τους.





Block diagram of syncopated code generator for clock rate reduction by a factor of 2

#### Σχήμα 2.5.4.

Οι codes που παράγονται από την ενοποίηση υπόκεινται στις ίδιες απαιτήσεις σύνδεσης όπως οι άλλοι που χρησιμοποιούνται για επικοινωνίες. Δυστυχώς η εργασία σε αυτή τη συγκεκριμένη περιοχή είναι άγνωστη, εάν υπάρχει έτσι ώστε ο σχεδιαστής που πρέπει να καταφεύγει στις τεχνικές ενοποίησης θα πρέπει επίσης να ξοδεύει κάποιο στην ανάλυση κωδικού των ιδιοτήτων της σύνδεσης.

Δεν υπάρχει δυσκολία στο να επεκταθεί η τεχνική της ενοποίησης. Πέντε register για παράδειγμα ο καθένας λειτουργεί στα 50 Mcps μπορούν να χρησιμοποιηθούν να παράγει μια 250 Mcps code sequence με five-phase clock. Θεωρητικά η ενοποιημένη τεχνική θα μπορούσε να επιτύχει όση πολλαπλάσια τιμή επιθύμούσε. Η γρήγορη αύξηση της ανάγκης για hardware θέτει ένα όριο στο τι είναι πρακτικό παρολο αυτά. Το συνολικό μήκος οποιουδήποτε αριθμού ενοποιημένων codes είναι το προιών των μηκών όλων των σύνθετων κωδικών, για παράδειγμα, ένα ζευγάρι κωδικών ( $2^r - 1$ ) και ( $2^s - 1$ ) chips μήκους, παράγει έναν σύνθετο κωδικό  $(2^r - 1)(2^s - 1)$  chips στο συνολικό μήκος. Υποθέτουμε ότι εδώ το  $r \neq s$ . Όταν  $r=s$  ο σύνθετος code είναι  $2^r - 1$  chips μακρής.

Οι τεχνικές ενοποίησης αν και είναι χρήσιμες για την αύξηση της ταχύτητας των περιθωριακών σχεδίων (π.χ. αυξάνουν τη χαμηλή ταχύτητα MOS μεγάλης κλίμακας ακέραιων κυκλωμάτων για να δώσουν αποδοτικές 10-Mcps ή υψηλότερης παραγωγής ταχύτητες) πιθανότητα να βρουν λιγότερη χρήση στο κοντινό μέλλον λόγω της ικανότητας για μεγάλη ταχύτητα των νέων ακέραιων κυκλωμάτων τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν άμεσα σε λογικές τιμές πράγμα που στο παρελθόν μόνο τεχνικές όπως της ενοποίησης μπορούσαν να προσεγγίσουν.

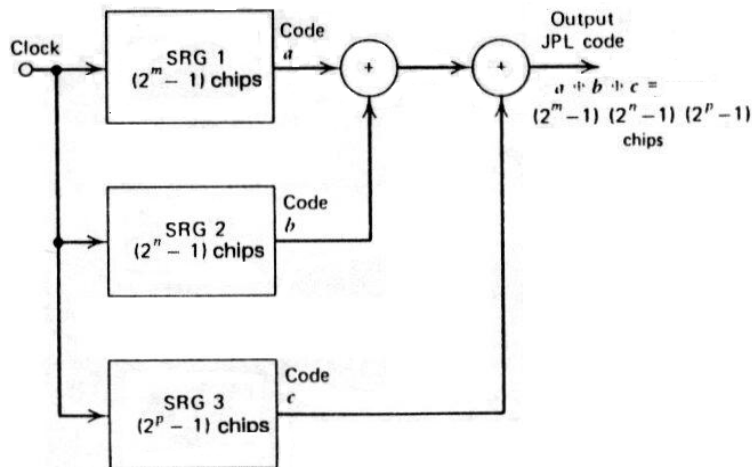
Οι JPL (Jet Propulsion Laboratory) ranging codes κατασκευάζονται από τη modulo-2 προσθήκη 2 ή περισσότερων maximal linear sequence των οποίων τα μήκη είναι σχετικά βασικά το ένα για το άλλο. Συχνά ένας όρος clock προστίθεται με modulo-2



προσθήκη στις άλλες sequences (το clock είναι από μόνο του μια μικρή maximal sequence). Υπάρχουν μερικά πλεονεκτήματα για αυτή την τεχνική:

1. πολλοί μακροί codes, χρήσιμοι για συγκεκριμένη ranging σε μακριές ranges είναι διαθέσιμες
2. αυτοί οι long codes παράγονται από ένα σχετικά μικρό αριθμό σταδίων shift register
3. ο συγχρονισμός ενός δέκτη μπορεί να επιτευχθεί από χωριστές λειτουργίες των συνιστώμενων κωδικών. Αυτό μπορεί να μειώσει σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για συγχρονισμό.

Το σχ. 2.4.5. δείχνει μια τυπική σύνθεση JPL code generator η οποία έχει 3 basic maximal-length shift register generator κάθε μια με διαφορετικό αριθμό stages. Αυτή η σύνθεση είναι ιδανική για Gold και ενοποιημένες code generators εκτός από τις διαφορές στα ατομικά μήκη κωδικού.



Typical JPL code sequence generator configuration.

Σχήμα 2.5.5.

## 2.6. Chip rate and code length

Οι code chip rates σε συστήματα spread spectrum απηρεάζουν τα συστήματα τους με πολλούς τρόπους. Το πιο προφανές είναι σε ένα BPSK direct sequence σύστημα, στο οποίο η μετάδοση του bandwidth είναι μια direct λειτουργία του code chip rate (π.χ. το κύριο lobe null-null RF bandwidth είναι το διπλάσιο του code chip rate). Η επανάληψη του code rate είναι επίσης μια λειτουργία της chip rate, αυτό σημαίνει ότι η επανάληψη του code rate είναι:

$$R_{rep} = \frac{\text{clock rate in chips per second}}{\text{code length in chips}}$$

Ένα κριτήριο για την επιλογή επανάληψης του code rate είναι ότι η περίοδος του code πρέπει να ξεπερνά το μήκος οποιασδήποτε αποστολής στην οποία θα χρησιμοποιηθεί. Στα περισσότερα αεροσκάφη για παράδειγμα, μια περίοδος 8-ωρών code θα ξεπερνούσε τη δυνατότητα πτήσης. Ο πίνακας περιλαμβάνει τα διάφορα μήκη κωδικών για 1Mcps chip rate ώστε να κάνει γνωστό στον αναγνώστη την ποικιλία των code lengths. Άλλες σκέψεις που είναι σχετικές με την επιλογή του code rate και του length είναι η σχέση της επανάληψης του rate με το baseband και τη χρήση για ranging.

Πίνακας 2.6.1.

Register Length n	Sequence Length	Sequence Period
7 <sup>a</sup>	127	1,27x10 <sup>-4</sup> sec
8	255	2,55x10 <sup>-4</sup> sec
9	511	5,11x10 <sup>-4</sup> sec
10	1023	1,023x10 <sup>-3</sup> sec
11	2047	2,047x10 <sup>-3</sup> sec
12	4095	4,095x10 <sup>-3</sup> sec
13 <sup>a</sup>	8191	9,191x10 <sup>-3</sup> sec
17 <sup>a</sup>	131071	1,31x10 <sup>-1</sup> sec
19 <sup>a</sup>	524287	5,24x10 <sup>-1</sup> sec
23	8388607	8,388 sec
27	134217727	13,421 sec
31 <sup>a</sup>	2147483647	35,8 min
43	879609302207	101,7 days
61 <sup>a</sup>	2305843009213693951	7,3x10 <sup>4</sup> yr
89 <sup>a</sup>	61897001964269013744956211	1,95x10 <sup>9</sup> yr
	1	

Πίνακας 2.6.2

Basic Accuracy	Nautical Miles	Statute Miles
0,1 mile	1,61875 Mcps (608ft/chip)	1,86333 Mcps (528ft/chip)
0,05 mile	3,23750 Mcps (304ft/chip)	3,72666 Mcps

			(264ft/chip)	
0,02 mile	8,09375 (121,6ft/chip)	Mcps	9,19665 (105,6ft/chip)	Mcps

Είναι άξιο συμβουλής ότι η προσαρμογή μιας επανάληψης rate ενός συστήματος code direct sequence θα ήταν καλύτερο να γίνει με την επιλογή ενός ικανοποιητικού code length έτσι ώστε να μην κινείται στη band πληροφοριών. Διφορετικά, μη απαραίτητος θόρυβος θα περάσει στους απόδιαμορφωτές πληροφοριών, ειδικά κάτω από παραγμένες συνθήκες. Σε συστήματα Frequency Hopping το αντίστοιχο που να έχεις μια code rate επανάληψης που πέφτει μέσα στη baseband είναι να έχεις ένα chip που πέφτει εκεί. Και οι δύο συνθήκες πρέπει να αποφεύγονται όταν αυτό είναι δυνατό.

Οι code chip rate συχνά υφίστανται μια ολοκληρωτική σχέση στις πληροφορίες που στέλλονται, αυτό σημαίνει ότι 1 to p frequency chips στέλνονται για κάθε τμήμα των εσώκλειστων πληροφοριών. Το να στέλνεις πολλαπλά τμήματα πληροφοριών σε μια μόνο συχνότητα είναι πιο αγώγιμο σε σφάλματα από την μετάδοση πολλαπλών chip/bit αν και μια μικρότερη frequency hopping rate είναι πιθανή και η σύνθεση ίσως να είναι ευκολότερο να φτιαχτεί.

Όταν το ranging είναι σημαντική μια κατάλληλα επιλεγμένη code rate μπορεί να διευκολύνει το πρόβλημα μέτρησης και μερικές φορές να βελτιώσει τη λύση. Εάν το chip rate είναι επιλεγμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε ένας ολοκληρωτικός αριθμός code chips είναι συγκεντρωμένος για κάθε mile καθυστέρησης (χρόνος αναπαραγωγής), μια απλή μέτρηση της μετατόπισης κωδικού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει τη γραμμή χωρίς δύσκολη διόρθωση. Τα clock rates που είναι ολοκληρωτικά πολλαπλασια του 161,875Hz παράγουν code σε rate ολοκληρωτικά σχετικά με την τιμή αναπαραγωγής του RF σήματος. Αυτή η σχέση μπορεί να προκύψει ως εξής:

$$c = 2.997926 \times 10^8 \text{ m / sec}$$

Εδώ υπάρχουν  $1.852 \times 10^3$  m/nautical mile: για αυτό το λόγο, για 1-chip per mile το clock rate πρέπει να είναι (θέτοντας clock wavelength=1 n mi):

$$\frac{c}{R} = \frac{2.997925 \times 10^8}{1.852 \times 10^3} = 161,875 \text{ Hz}$$

## 2.7.Short code

Ο short code είναι ένα ζευγάρι των ακολουθιών περιόδου  $2^{15}$  που χρησιμοποιούνται για τη διάδοση του καναλιού CDMA (forward). Χρησιμοποιούνται επίσης από κοινού με το Long code για τη διάδοση του αντίστροφου καναλιού CDMA. Και οι δύο προέρχονται από την περίοδο  $2^{15} - 1$  ακολουθίες LFSR, που αυξάνονται με ένα πρόσθετο μηδέν bit για να φέρουν το μήκος σε μια ομαλή δύναμη δύο. Ο short code LFSR είναι για πολυώνυμα I-ακολουθίας:

$$P_I(X) = X^{15} + X^{13} + X^9 + X^8 + X^7 + X^5 + 1$$

και για Q-ακολουθίες:

$$P_Q(X) = X^{15} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^6 + X^5 + X^4 + X^3 + 1$$

Το πρόσθετο bit μηδέν παρεμβάλλεται σε κάθε ακολουθία αμέσως μετά το περιστατικό 14 διαδοχικών μηδενικών από τον (generator register). Αυτό εμφανίζεται μια φορά ανά περίοδο. Στο spreading rate 1.228MHz η περίοδος του short code είναι  $80/3=26.666\dots\text{ms}$ .

## 2.8.Long code

Ο Long code είναι μια περίοδος  $2^{42} - 1$  LFSR ακολουθίας που χρησιμοποιείται για τη διάδοση της αντίστροφης σύνδεσης. Υπάρχει μόνο μια Long code ακολουθία. Οι διαφορετικοί σταθμοί διακρίνονται όχι από την ίδια την ακολουθία αλλά από τη σχετική φάση. (Το γεγονός ότι ο Long code προστίθεται σε κάθε ένα από τα δύο (I and Q) short code ακολουθίες οι ακολουθίες εξασφαλίζουν ότι οι

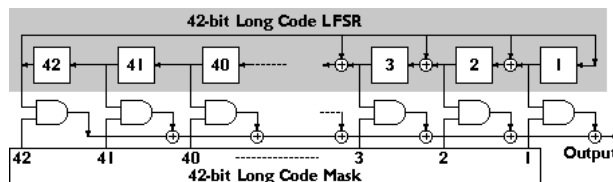
$$G(X) = X^{42} + X^{35} + X^{33} + X^{31} + X^{27} + X^{26} + X^{25} + X^{22} + X^{21} + X^{19} + X^{18} + X^{17}$$

διαγώνιοι συσχετισμοί μεταξύ των σημάτων από τους ευδιάκριτους σταθμούς είναι πάντα μικρός).

$$+ X^{16} + X^{10} + X^7 + X^6 + X^5 + X^3 + X^2 + X^1 + 1$$

Το πολυώνυμο του Long code LFSR είναι οι διαφορετικές φάσεις του Long code που παράγονται μέσω μιας από τις γνωστές

ιδιότητες των ακολουθιών LFSR. Οποιοδήποτε modulo-2 sum των διαφορετικών φάσεων μιας ακολουθίας LFSR δίνει μια τρίτη φάση εκείνης της ίδιας ακολουθίας. Το πόρισμα αυτής της ιδιοκτησίας είναι το γεγονός ότι όλοι οι εσωτερικοί κόμβοί της γεννήτριας LFSR τρέχουν επίσης μέσω της ίδιας ακολουθίας με την έξοδο γεννητριών, αλλά με τις διαφορετικές φάσεις. Αυτή η ιδιοκτησία προσθηκών των ακολουθιών LFSR αξιοποιείται στη παραγωγή Long code για την αντίστροφη. Το 42-bit της Long code Mask χρησιμοποιείται για να επιλέξει ιδιαίτερα bit της 42-bit Long code generation register. Η Long code mask είναι ένας αριθμός 42-bit που χρησιμεύει ως μια λογική διεύθυνση για τους.



### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΨΕΥΔΟΤΥΧΑΙΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΜΕΣΩ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

#### 3.1. Περιγραφή Κυκλώματος Γεννήτριας Τυχαίου Κώδικα

Στη παρούσα ενότητα είναι μια γεννήτρια ενός πραγματικά τυχαίου κώδικα, η οποία λειτουργεί από μια μόνο πηγή τάσης (σχήμα 3.1.1.). Το κύκλωμα επιτρέπει την λειτουργία από μια μόνο πηγή 5V με μια ελάχιστη ρύθμιση. Το κύκλωμα παράγει τυχαία άσσους και μηδενικά συγκρίνοντας το επίπεδο τυχαίου θορύβου που παράγεται σε μια δίοδο ZENER με μια τάση αναφοράς. Αν η τάση κατωφλίου είναι επιλεγμένη σωστά και η χρονική περίοδος είναι αρκετά μεγάλη, τότε ο θόρυβος θα αποτελείται από έναν τυχαίο αλλά ίσο αριθμό δειγμάτων με τιμές πάνω και κάτω από την τάση αυτή κατωφλίου.

Ο βέλτιστα παραγόμενος θόρυβος αποκτάται από μια δίοδο ZENER 1N753 της οποίας η χαρακτηριστική I-V έχει ένα γόνατο στα 6,2V. Η δίοδος χρησιμοποιείται με σκοπό να παράγει τυχαίο θόρυβο.

Απαιτώντας την λειτουργία μιας διόδου ZENER 6,2V από μια πηγή 5V χρειάζεται κάποια σκέψη, δεδομένου ότι κάποια διάταξη

ανύψωσης τάσης (booster) χρειαζόταν ώστε να δοθούν στη δίοδο τα 8V ή και περισσότερα τα οποία αυτή απαιτεί σε αυτό το κύκλωμα.

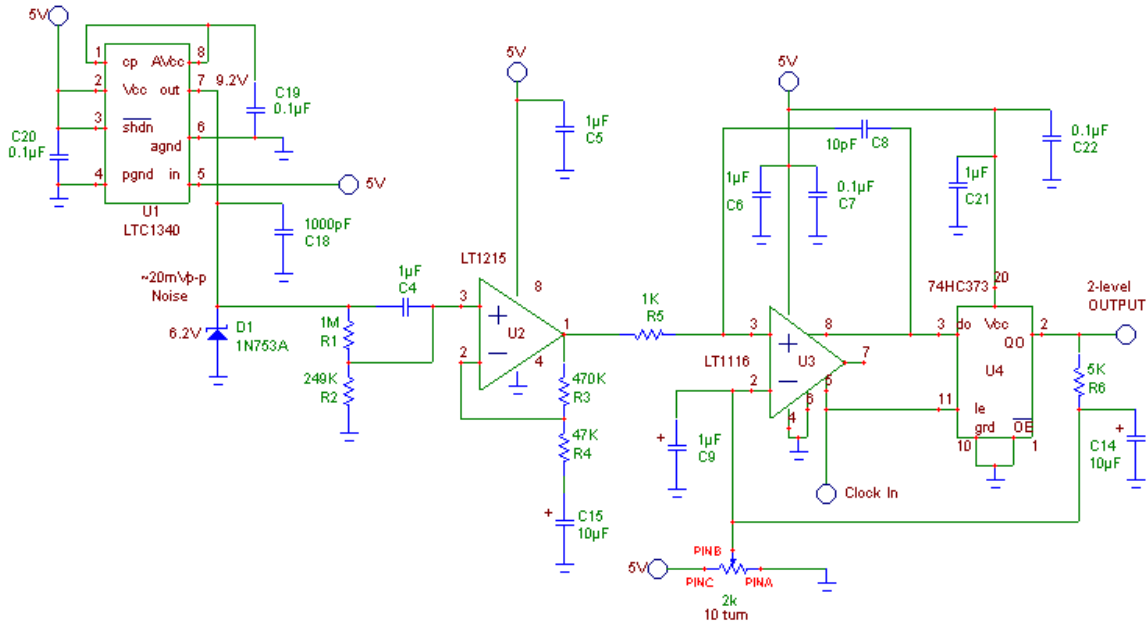
Το κύκλωμα U1 LTC 1340 παρέχει 9,2V στα 20μΑ από μια είσοδο των 5V. Αυτό δίνει τη βέλτιστη τιμή ρεύματος της ZENER για παραγωγή θόρυβου (στα 20μΑ η έξοδος βρίσκεται περίπου στα 20mVp-p).

Οι 1M και 249K αντιστάσεις πολώνουν την είσοδο στην είσοδο του τελεστικού ενισχυτή U2. Ο πυκνωτής 1μF παρέχει ένα μονοπάτι για την ac συνηστώσα θορύβου. Θα πρέπει να σημειώσουμε που θα τοποθετήσουμε ενδεχομένως οποιουσδήποτε επιπρόσθετους πυκνωτές σε αυτό το σημείο, ειδάλως ο θόρυβος ίσως αθέλητα αποκοπεί, κάτι που στην περίπτωσή μας δεν είναι επιθυμητό.

Το κύκλωμα U2 είναι ένας LT1215 23MHz,50V/μs τελεστικός ενισχυτής και μπορεί να λειτουργήσει από μια μόνο πηγή τάσης. Χρησιμοποιείται ως ένας ευρίας ζώνης ενισχυτής και έχει κέρδος για να ενισχύσει το θόρυβο που παράγεται από τη δίοδο ZENER.

Το κύκλωμα U3 είναι ένας LT1116 μεγάλης ταχύτητας που αισθάνεται το θόρυβο στο θετικό του πόλο, στον αρνητικό πόλο και η έξοδος ρυθμίζεται διαμέσου του potentiometer 2K για ένα ίσο αριθμό άσων και μηδενικών. Η αντίσταση 5K και ο πυκνωτής 10μF παρέχει περιορισμένη χωρητικότητα.

Το κύκλωμα U4 74HC373 (κύκλωμα συγκράτησης latch) διασφαλίζει ότι η έξοδος παραμένει κλειδωμένη για μια περίοδο του clock. Η έξοδος του κυκλώματος παίρνεται από την έξοδο του Q0 του U4.



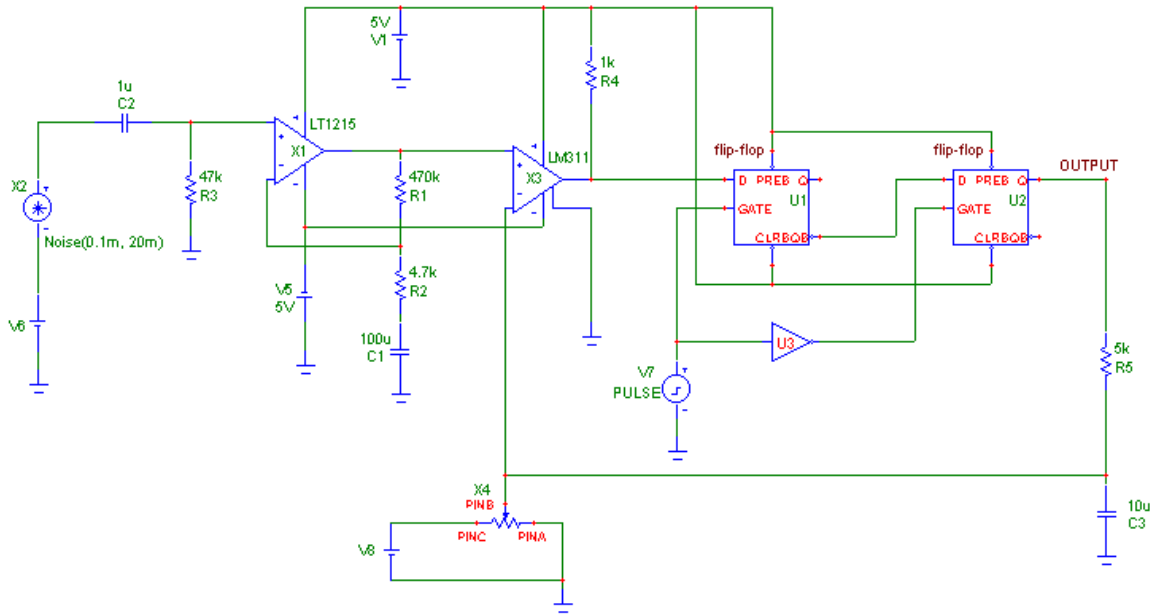
Σχήμα 3.1.1.

Αρχικά η υλοποίηση του κυκλώματος (βλέπε σχήμα 3.1.1.) ήταν να γίνει με hardware. Έτσι έψαξα και βρήκα την εταιρία που προμηθεύει τα ολοκληρωμένα κυκλώματα και συγκεκριμένα είναι η Linear technology. Τότε εγώ και ο κύριο Λιοδάκη Γεώργιο τηλεφωνίσαμε στην εταιρία και στήλαμε e-mail, δύο και τρεις φορές, αλλά δυστοχώς δεν είχαμε καμία απολύτως απάντηση. Έτσι αποφασίσαμε να υλοποιήσουμε το κύκλωμα μέσω λογισμικού προγράμματος και συγκεκριμένα με το Micro-Cap 6. Δεν σταμάτησαν όμως εκεί τα προβλήματα. Στην προσπάθειά μου να κάνω simulation του κυκλώματος (βλέπε σχήμα 3.1.1.), χρειαζόμουν τις βιβλιοθήκες από τα εξαρτήματα ώστε να τις προσθέσω στο πρόγραμμα και να γίνει το simulation. Για κακή μου τύχη όμως ούτε τις βιβλιοθήκες μπόρεσα να βρώ. Τότε με τη βοήθεια του κύριου Τομαδάκη Ιωάννη δημιουργίσαμε ένα αντίστοιχο κύκλωμα (βλέπε σχήμα 3.1.2.) που η έξοδος του είναι η ίδια με το παλιό κύκλωμα.

Βρήκα λοιπόν αντίστοιχα εξαρτήματα με τις βιβλιοθήκες τους (βλέπε παράρτημα 1) και το κύκλωμα τροποποιήθηκε όπως φαίνετε στο σχήμα 3.1.2., χωρίς βέβαια να αλλάξει η λειτουργία του νέου κυκλώματος σε σχέση με το παλιό.

Οι αλλαγές είναι οι εξής (βλέπε σχήμα 3.1.2.): η παραγωγή του τυχαίου θορύβου γίνεται με μια γεννήτρια θορύβου τροφοδοτημένη με dc τάση 6,1V αντικαθιστώντας τη δίοδο Zener και το ολοκληρωμένο LTC1340 (μαζί με τους πυκνωτές που είναι συνδεδεμένοι στο LTC 1340). Επίσης το ολοκληρωμένο LT1116 έχει

αντικαθυσταθεί από το αντιστοιχο LM311 τροφοδοτημένο και αυτό με dc τάση 5V. Τέλος, έχω χρησιμοποιήσει δύο flip-flop και μια πύλη NOT στη θέση του ολοκληρωμένου 74HC373 και των πυκνωτών που είναι συνδεδεμένοι πάνω στο 74HC373.



Σχήμα 3.1.2.

Στο σχήμα 3.1.2. λοιπόν βλέπουμε επίσης μια γεννήτρια ενός πραγματικά τυχαίου κώδικα. Ο θόρυβος παράγεται από τη γεννήτρια θορύβου X2 (βλέπε σχήμα 3.1.2), στη X2 εισάγω κάποιους παραμέτρους για τη σωστή λειτουργία του κυκλώματος (βλέπε παράρτημα I). Για παράδειγμα Noise parameters( $t_s=0.1\text{ms}$ ,  $v_s=20\text{m}$ ), που σημαίνει ότι για  $0.1\text{ms}=10\text{KHz}$  η γεννήτρια θα παίρνει τυχαίες τιμές θορύβου από 0-20m. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα LT1215 (βλέπε σχήμα 3.1.2) κάνει ενίσχυση του θορύβου. Επίσης το ολοκληρωμένο κύκλωμα LM311 μετατρέπει τον θόρυβο σε παλμούς. Στο LM311 έρχονται κάποιοι 1 και 0, αυτά τα συγκρίνει με την έξοδο του κυκλώματος μέσω της ανάδρασης. Έτσι, αν οι 1 στην έξοδο είναι λίγοι και τα 0 είναι πολλά, τότε με τη βοήθεια του ποτεσιόμετρου X4 (βλέπε σχήμα 3.1.2.) που δημιουργείται ένας διαιρέτης τάσης, αυξάνεται η τάση στο (-) του LM311, με αποτέλεσμα να υπάρξει ισαριθμία στους 1 και στα 0.



Οι γραφικές παραστάσεις V8 και V1 (βλέπε σχήμα 3.3.1.) είναι η παραγωγή του θορύβου και η ενισχυσή του αντίστοιχα. Η γραφική παράσταση V11 (βλέπε σχήμα 3.3.1.) που προκύπτει από την clock generator (βλέπε σχήμα 3.1.2), στο αναίβασμα για να σχηματιστεί ο άσσος και κατά τη διάρκεια του άσσου, ότι έχει η γραφική παράσταση V10 (βλέπε σχήμα 3.3.1.) η οποία είναι ο θόρυβος μετατραμμένος σε παλμούς μέσω του ολοκληρωμένου κυκλώματος LM311 (βλέπε σχήμα 3.1.2), παίρνει στην έξοδο του πρώτου flip-flop ανεστραμμένη και είναι η D13 (βλέπε σχήμα 3.3.1.). Η V11 κατά τη διάρκεια του μηδέν της, παίρνει στην D13 την τελευταία τιμή που είχε στον άσσο της η V11 από την V10. Η V11 στο μηδέν της βγάζει στο D13 ένα σταθερό αποτέλεσμα είτε 1, είτε 0.

Βλέπουμε ότι η έξοδος του πρώτου flip-flop D13 (βλέπε σχήμα 3.3.1.) η περίοδος των 1 και των 0 δεν είναι σταθερή, κάτι που δεν είναι επιθυμητό. Οπότε δημιουργώ αναστροφή του clock μέσω της πύλης NOT (βλέπε σχήμα 3.1.2.) και σχηματίζεται η γραφική παράσταση D14 (βλέπε σχήμα 3.3.1.). Έτσι σε κάθε αναίβασμα της περιόδου του clock (D14) ότι έχει η D13 βγαίνει στην D15 (έξοδος του κυκλώματος βλέπε σχήμα 3.1.2.) και το κρατάει για μια περίοδο της D14. Τέλος, από την γραφική παράσταση D15 βλέπουμε ότι έχουν σχηματιστεί 1 και 0 με σταθερή περίοδο (η οποία καθορίζεται από την περίοδο του clock).

### 3.2. Πρόγραμμα Spice

Το SPICE αναπτύχθηκε με σκοπό να χρησιμοποιηθεί σαν ένα εργαλείο-εφόδιο για τους σχεδιαστές ηλεκτρονικών εφαρμογών. Σήμερα όμως, έχοντας γνωρίσει την αποδοχή του ευρύτερου κοινού, κάθε άλλο παρά σαν εξειδικευμένο εργαλείο μπορεί να θεωρηθεί. Αναζητώντας το, θα το βρείτε οπουδήποτε γίνονται αναφορές σε ηλεκτρονικά κυκλώματα και κυρίως εκεί όπου διδάσκεται η λειτουργία τους αφού εκτός των άλλων έχει αποδειχθεί πολύτιμο εκπαιδευτικό πακέτο. Χρησιμοποιώντας το, μπορεί ο σπουδαστής, ο μηχανικός ή ο ερασιτέχνης ηλεκτρονικός, αξιοποιώντας απλώς τον υπολογιστή που ήδη διαθέτει, να αποκτήσει όλη εκείνη την εμπειρία που θα αποκτούσε αν καθόταν μπροστά στον πάγκο ενός πλήρως εξοπλισμένου εργαστηρίου. Αν θέλαμε να συγκρίνουμε τα πλεονεκτήματα της χρήσης του προγράμματος προσομοίωσης με τα πλεονεκτήματα ενός πραγματικού πάγκου εργασίας θα μπορούσαμε να επισημάνουμε τα εξής:

- Μεγάλη ταχύτητα στη συναρμολόγηση, την τροποποίηση και τον έλεγχο κυκλωμάτων
- Απεριόριστη παρακαταθήκη εξαρτημάτων κάθε τύπου και τιμής
- Αντοχή των εξαρτημάτων σε οποιαδήποτε καταστροφική ενέργεια
- Απεριόριστος αριθμός “οργάνων μέτρησης” (παλμογράφων, γεννητριών, κ.τ.λ.)
- Ακριβής χρονισμός των συμβάντων
- Επιβράδυνση των λειτουργιών του προσομοιούμενου κυκλώματος, ώστε να μπορεί ο χρήστης να καταγράφει τη συμπεριφορά του
- Δυνατότητα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων των διαφόρων ελέγχων

Όλα τα προγράμματα προσομοίωσης που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά βασίζονται μόν στο SPICE, διαφέρουν όμως στους τρόπους που εισάγεται η πληροφορία μέσα σε αυτά, στους τρόπους που αναλύουν τα δεδομένα εισόδου και φυσικά στους τρόπους που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα. Ένα τέτοιο πρόγραμμα είναι το Micro-Cap 6 (έκδοση Ιουνίου 1999), που παρέχει προσομοίωση τόσο αναλογικών όσο και ψηφιακών κυκλωμάτων . Η πρώτη του έκδοση το 1982 εμπλουτίστηκε με τις μεταγενέστερες εκδόσεις, και τελικά η έκτη γενιά του λογισμικού παρέχει :

- Φιλική γραφική επαφή χρήστη-λογισμικού σε περιβάλλον Windows
- Μια βιβλιοθήκη εξαρτημάτων που φτάνει τον αριθμό 1200, με χρήση μοντέλων που χρησιμοποιούνται στα προγράμματα SPICE και PSPICE
- On-line προσομοίωση μέσα από των 500 μυνημάτων τύπου warning και διάφορες λειτουργίες για post-analysis

Για περισσότερες και αναλυτικές δυνατότητες του Micro-Cap 6 ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο παράρτημα { 1 }.

Το Micro-Cap αποτελεί προϊόν της εταιρίας Sprectrum Software που ιδρύθηκε το Φεβρουάριο του 1980 για να παρέχει λογισμικό για προσωπικούς υπολογιστές (αρχικά επικεντρώθηκε σε Apple 2 συστήματα). Ένα από τα πρώτα της προϊόντα ήταν ο Logic Designe and Simulator (Ιούνιος 1980), που παρέχει ένα περιβάλλον δημιουργίας και προσομοίωσης ψηφιακών κυκλωμάτων.

Το Σεπτέμβριο του 1982 παρουσιάστηκε η πρώτη έκδοση του Micro-Cap για να επακολουθήσουν νεώτερες εκδόσεις με βελτιωμένες δυνατότητες, όπως οι Micro-cap 2, Version 2.0, 3.0 και 4.0 (τα έτη 1984, 1985, 1986, 1987, αντίστοιχα).

Το Micro-Cap 3 παρουσιάστηκε τον Δεκέμβριο του 1988, παρέχοντας λειτουργία βασισμένη σε παραθυρικό περιβάλλον και χρήση mouse. Αν και ο προσομοιωτής της έκδοσης αυτής δεν ήταν 100% συμβατός με το Spice, ήταν αρκετά κοντά στο μοντέλο Spice 2G του UC Berkeley (περιέχει το Gummel-Poon μοντέλο για διπολικά τρανζίστορ, μοντέλο για JFET και MOSFET τρανζίστορ, ανάλυση μέσω Monte Carlo προσομοίωσης κ.τ.λ.).

Τον Αύγουστο 1995 η Spectrum παρουσίασε την πρώτη έκδοση του λογισμικού που λειτουργούσε πλήρως σε περιβάλλον Windows (Micro-Cap V), ενώ του Ιουνίου του 1997 παρουσιάστηκε το Micro-Cap V2.0 (που παρέχει πλήρη MOSFET BSIM μοντέλα, 3D plotting, έκανε χρήση animation, κ.τ.λ.)

### 3.3. Αποτελέσματα Κυματομορφών

Σε αυτή την παράγραφο θα δούμε κάποιες γραφικές παραστάσεις που προκύπτουν από το simulation του κυκλώματος του σχήματος 3.1.2., με τη βοήθεια του προγράμματος Micro-cap 6.

Οι κυματομορφές του σχήματος 3.3.1. έχουν προκύψει σύμφωνα με τα παρακάτω δεδομένα, που έχω εισάγει στην γεννήτρια θορύβου (Noise), στην clock generator (Pulse), στο ποντεσιόμετρο (Pot), στο Time Rang, και στο Maxim Time Step.

Noise (0.1m,20m) (βλέπε παράρτημα 1).

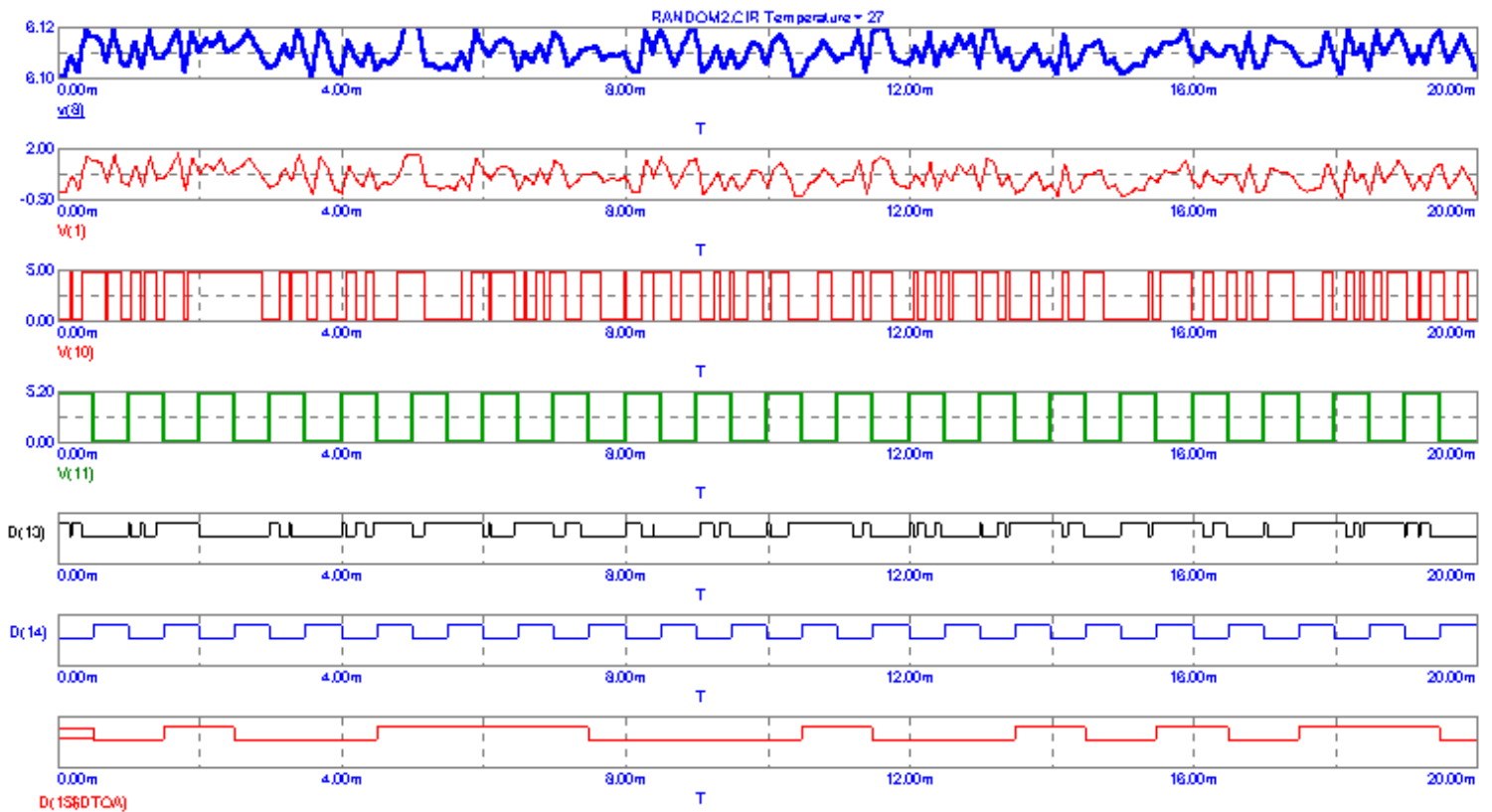
Pulse : VZERO=0, VONE=5, P1=0, P2=10N, P3=500U, P4=500.01U, P5=1M. (βλέπε παράρτημα I).

Pot (2k,10) (βλέπε παράρτημα I).

Time Range=20m (είναι το μέγεθος της κυματομορφής).

Maxim Time Step=20u (είναι το max βήμα για να σχηματιστεί η κυματομορφή).





Σχήμα 3.3.1.

Στο σχήμα 3.3.1. βλέπουμε ότι τα δεδομένα που εισάγαμε είναι τα πιο σωστά ώστε να έχουμε στην έξοδό μας D15 ισάριθμους 1 και 0.

Οι κυματομορφές του σχήματος 3.3.2. έχουν προκύψει σύμφωνα με τα παρακάτω δεδομένα, που έχω εισάγει στην γεννήτρια θορύβου (Noise), στην clock generator (Pulse), στο ποντεσιόμετρο (Pot), στο Time Rang, και στο Maxim Time Step.

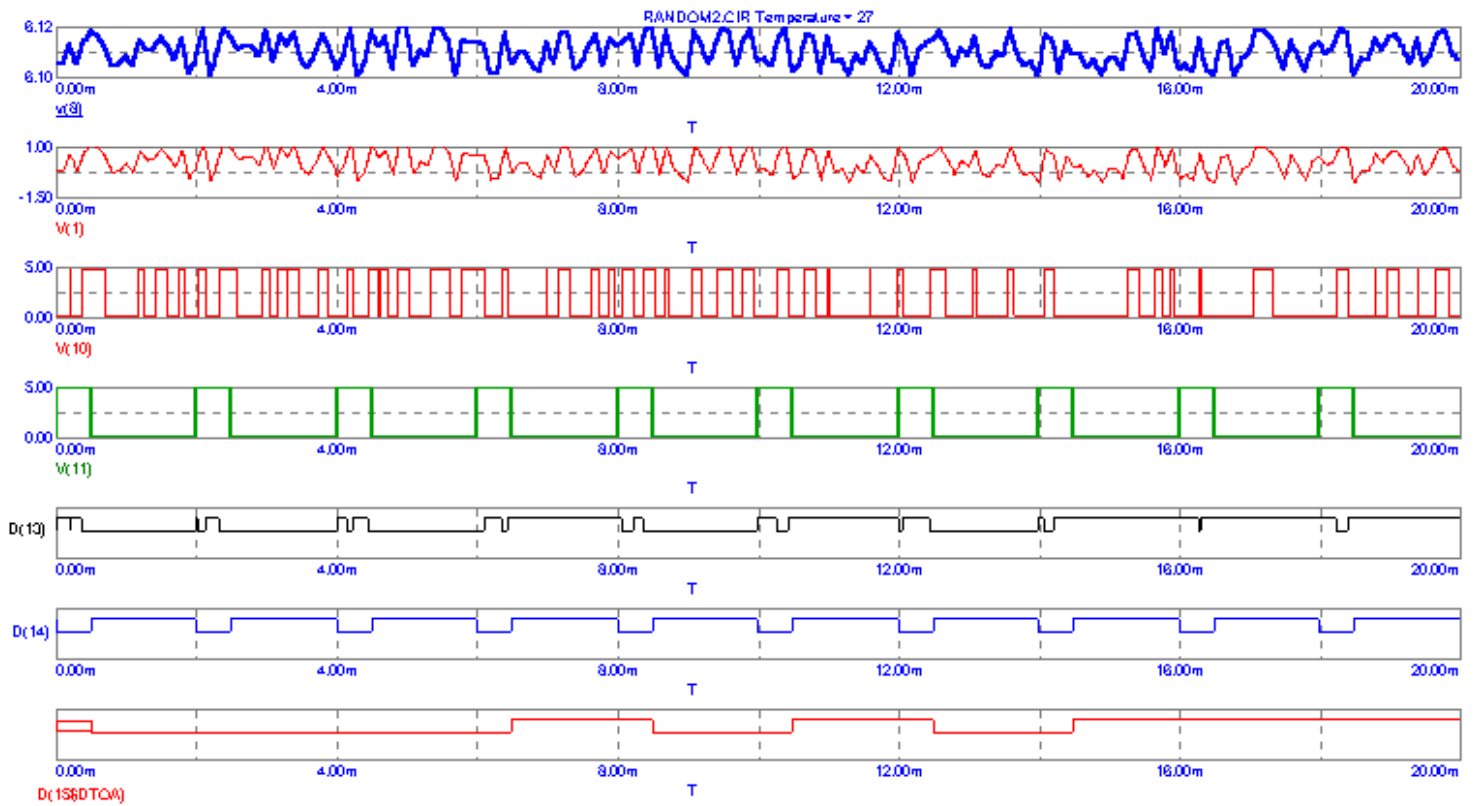
Noise (0.1m,20m) (βλέπε παράρτημα 1).

Pulse : VZERO=0, VONE=5, P1=0, P2=10N, P3=500U, P4=500.01U, P5=2M. (βλέπε παράρτημα I).

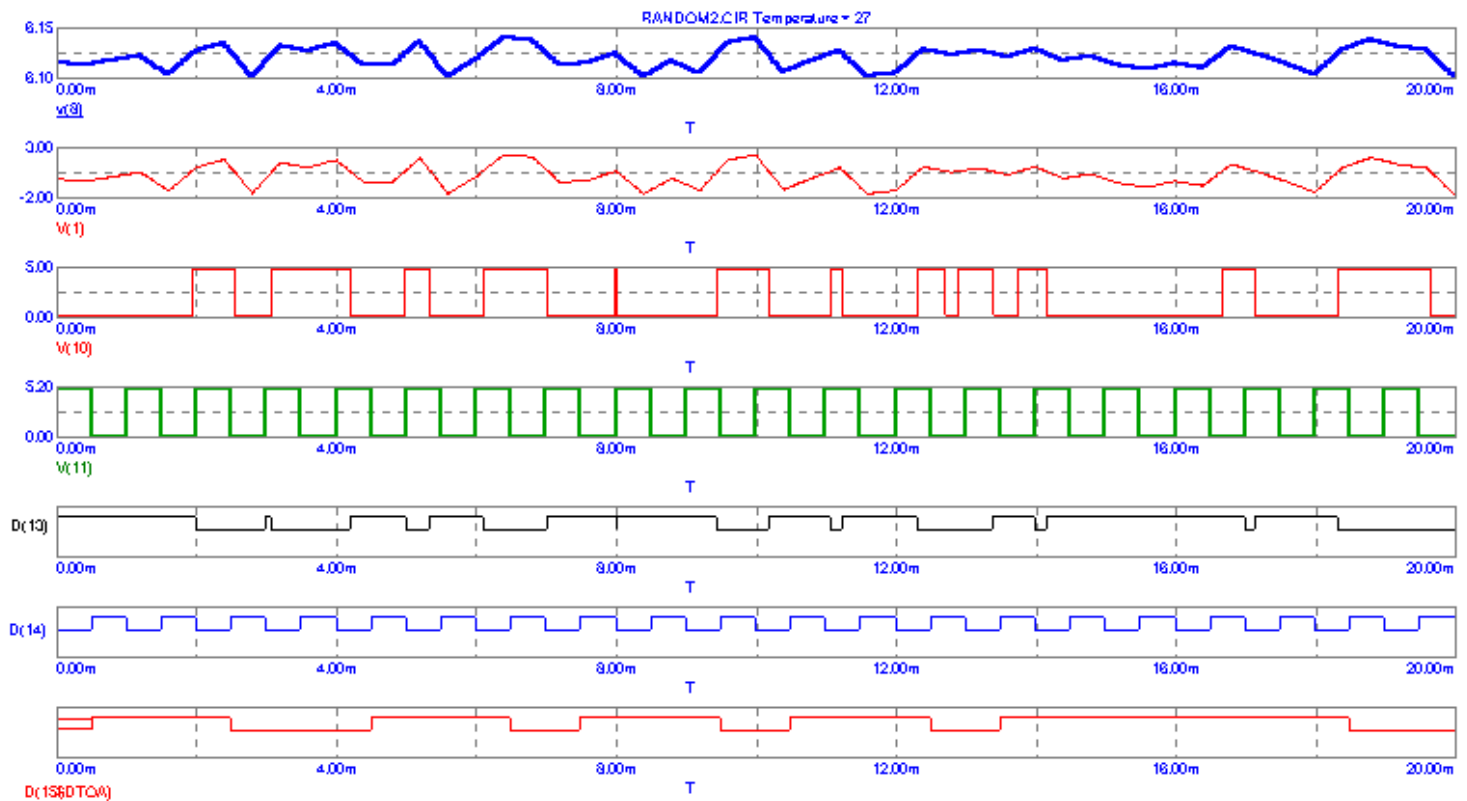
Pot (2k,10) (βλέπε παράρτημα I).

Time Range=20m (είναι το μέγεθος της κυματομορφής).

Maxim Time Step=20u (είναι το max βήμα για να σχηματιστεί η κυματομορφή).



Σχήμα 3.3.2.  
 Στο σχήμα 3.3.2. βλέπουμε ότι μεταβάλλοντας την περίοδο του clock μεταβάλλουμε και την περίοδο της εξόδου μας.



Σχήμα 3.3.3.

Οι κυματομορφές του σχήματος 3.3.3. έχουν προκύψει σύμφωνα με τα παρακάτω δεδομένα, που έχω εισάγει στην γεννήτρια θορύβου (Noise), στην clock generator (Pulse), στο ποντεσιόμετρο (Pot), στο Time Rang, και στο Maxim Time Step.

Noise (0.4m,40m) (βλέπε παράρτημα 1).

Pulse : VZERO=0, VONE=5, P1=0, P2=10N, P3=500U, P4=500.01U, P5=1M. (βλέπε παράρτημα I).

Pot (2k,10) (βλέπε παράρτημα I).

Time Range=20m (είναι το μέγεθος της κυματομορφής).  
Maxim Time Step=20u (είναι το max βήμα για να σχηματιστεί η κυματομορφή).

Στο σχήμα 3.3.3. βλέπουμε ότι έχει αλλάξει το βήμα που δειγματοληπτούμε το θόρυβο.

Οι κυματομορφές του σχήματος 3.3.4. έχουν προκύψει σύμφωνα με τα παρακάτω δεδομένα, που έχω εισάγει στην γεννήτρια θορύβου (Noise), στην clock generator (Pulse), στο ποντεσιόμετρο (Pot), στο Time Rang, και στο Maxim Time Step.

Noise (0.1m,20m) (βλέπε παράρτημα 1).

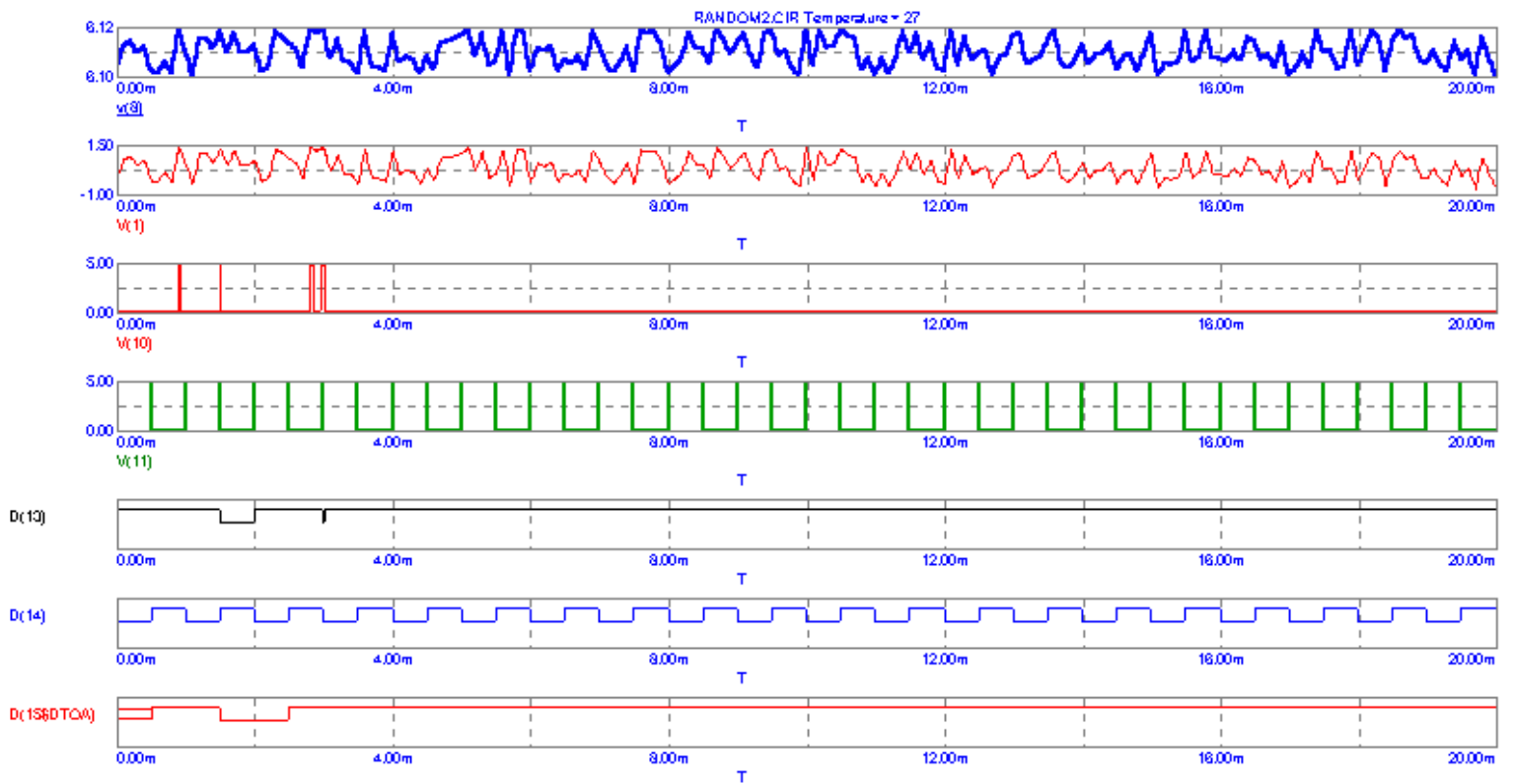
Pulse : VZERO=0, VONE=5, P1=0, P2=10N, P3=500U, P4=500.01U, P5=1M. (βλέπε παράρτημα I).

Pot (2k,25) (βλέπε παράρτημα I).

Time Range=20m (είναι το μέγεθος της κυματομορφής).

Maxim Time Step=20u (είναι το max βήμα για να σχηματιστεί η κυματομορφή).





Σχήμα 3.3.4.

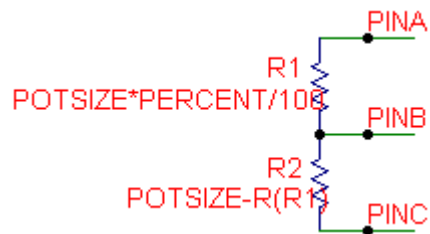
Στο σχήμα 3.3.4. βλέπουμε ότι με αλλαγή της τιμής του ποντεσιόμετρου δεν έχουμε στην έξοδό μας ισάριθμους 1 και 0.

- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**

Ηλεκτρονικά Στοιχεία της Βιβλιοθήκης Του Micro-Cap

### 1. POT MACRO

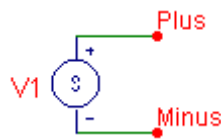
Called by other circuits. Not intended for stand alone analysis. When this macro is placed in a schematic, the two parameters will determine the initial pot setting. Percent is in % so 70% would be given as 70 and not. 70 . To step this macro, go to stepping and choose to step MACROPARTINAME.R1 VALUE (ie; X1.R1 VALUE).The stepping will override the percent parameter. See POTDEMO.CIR for an example.



PARAMETERS (POTSIZ,PERCENT)

### 2. NOISE MACRO

Called by other circuits. Not intended for stand alone analysis. The noise source is random value generator. It will produce a new random value every TS seconds. The value will be in the range from  $VS*(0<X<1)$ .

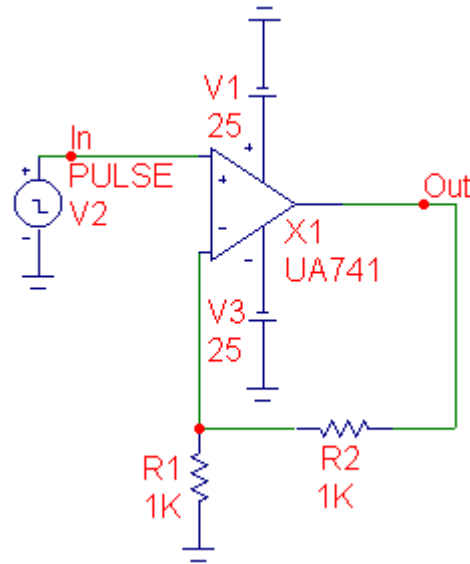


PWL TIME\_SCALE\_FACTOR=ts VALUE\_SCALE\_FACTOR=vs  
0,{rnd} REPEAT FOREVER 1,{rnd} ENDREPEAT

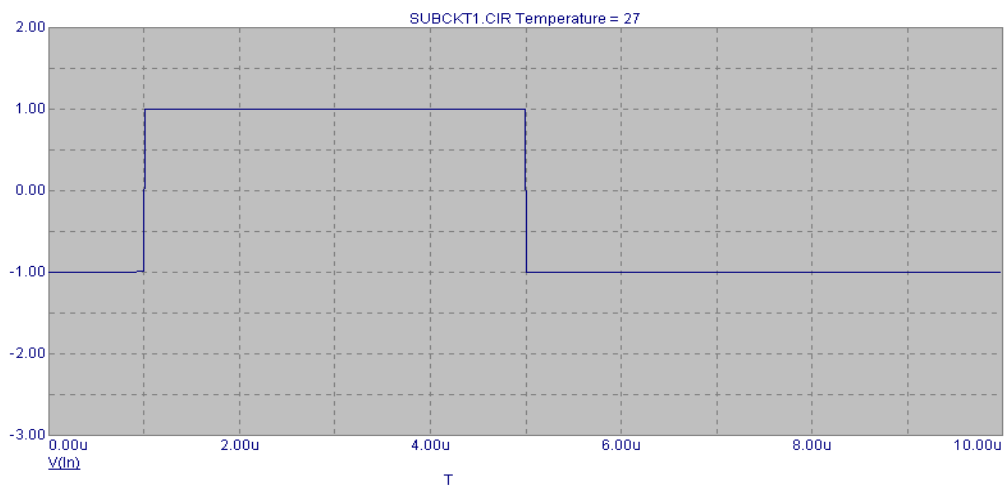
Parameters(ts,vs)

### 3. SUBCKT SAMPLE CIRCUIT

This circuit uses the UA741. Mod spice subckt text file



MODEL PULSE PUL (VZERO= -1 VONE=1 p1=1u p2=1.01u p3=5u  
p4=5.01u p5=10u)



- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**

Χαρακτηριστικά του λογισμικού προσομοίωσης Micro-Cap 6.

In July of 1999 Micro-Cap 6 was released. Its major new features were:

**Active and passive filter designer**

An active and passive filter circuit design function was added that allowed rapid creation of butterworth, Chebyshev, elliptic, Bessel, or inverse-Chebyshev filters, using a variety of circuit implementations ranging from Sallen-Key to Tow-Thomas. Filter could be created in circuit or macro form, and represented by either circuitry or Laplace transfer functions.

**PCB netlist interface**

A netlist interface to popular PCB tools was introduced for rapid translation of circuit schematics or SPICE netlists to particular PCB packages.

**New BSIM3 3.2 MOSFET model**

The latest version of Berkeley's BSIM3 model was introduced.

**Dynamic DC operating point analysis mode**

The on-schematic display of DC operating point voltages and digital states was expanded to include dynamic DC response to any circuit edits. The new version supported animated battery voltage controls, on screen device currents, node voltages, device stored, generated, and dissipated power terms, and condition display (Sat, On, Off).

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- «SPREAD SPECTRUM SYSTEMS WITH COMMERCAL APPLICATIONS» (Robert C. Dixon)
- «ELECTRONIC DESIGN» FEBRUARY 23, 1998 (ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ)
- LINKS  
[http://www.altera.com/solutions/wireless/3g\\_mobile/wir-gn.html](http://www.altera.com/solutions/wireless/3g_mobile/wir-gn.html)  
[http://www.3g-generation.com/what\\_is.htm](http://www.3g-generation.com/what_is.htm)  
<http://csd.newcastle.edu.au/users/staff/eemf/ELEC351/SProjects/Morris/project.htm>  
<http://cas.et.tudelft.nl/~glas/ssc/techn/techniques.html>  
<http://csd.newcastle.edu.au/users/staff/eemf/ELEC351/SProjects/Morris/types.htm>  
<http://www.e-insite.net/tmworld/>  
<http://www.tsp.ece.mcgill.ca/wireless/cdma.html>  
<http://people.deas.harvard.edu/~jones/cscie129/lectures/lecture7/cdma/cdma.html>  
[http://www.cdg.org/tech/a\\_ross/Principles.asp](http://www.cdg.org/tech/a_ross/Principles.asp)  
[http://www.3g-generation.com/cdma\\_principle.htm](http://www.3g-generation.com/cdma_principle.htm)
- «ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΛΟΓΗ» ΤΕΥΧΟΣ 402 (ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ)
- «CELLULAR MOBILE SYSTEMS ENGINEERING» (Seleh Farueue)
- «SPREAD SPECTRUM COMMUNICATIONS HADBOOK» (Marvin k. Simon)
- ΤΗΛΑΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (Α.ΤΖΙΛΑΣ)

