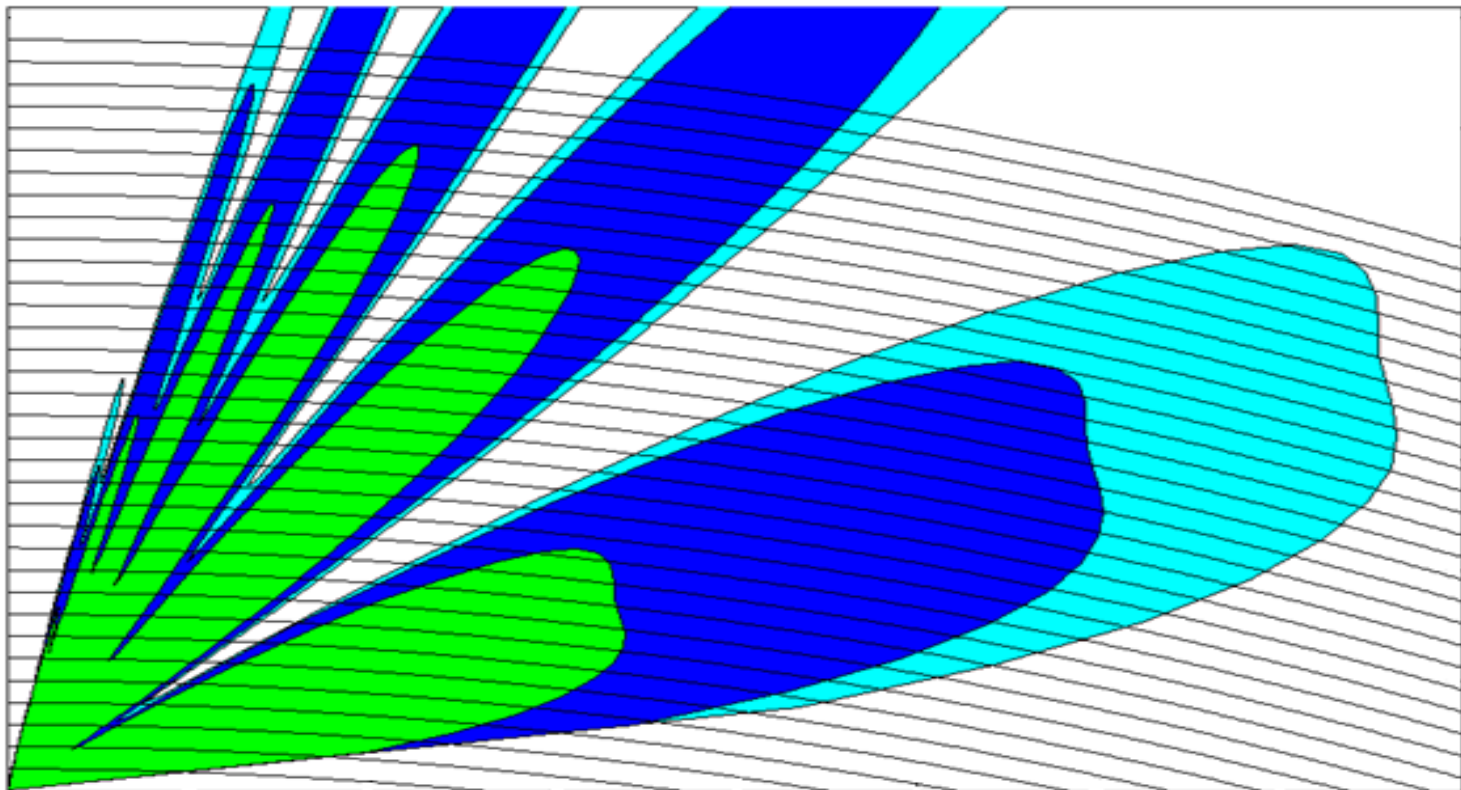
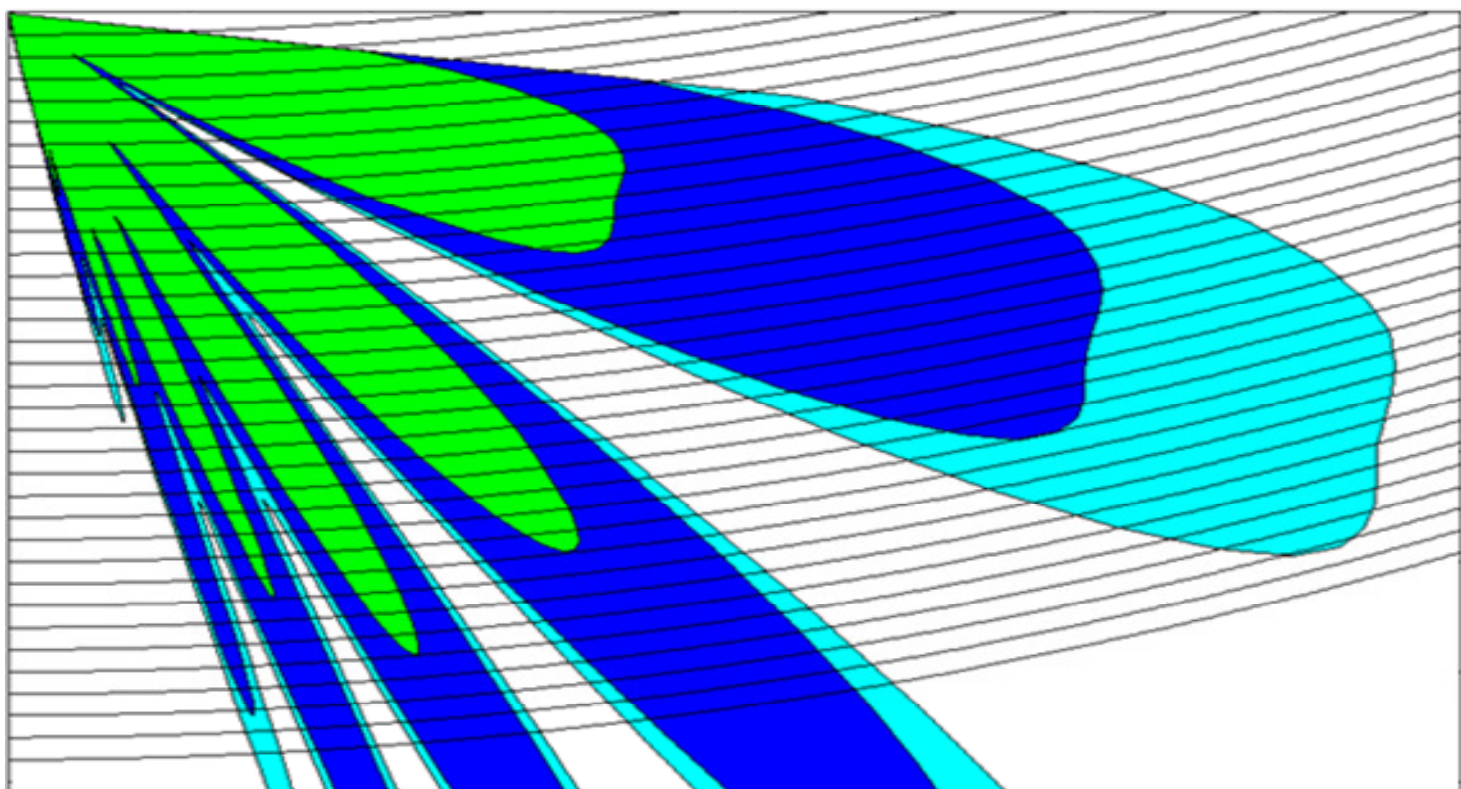




**ОТКРИВАНЕ И ОЦЕНЯВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ
НА ДВИЖЕЩИ СЕ ЦЕЛИ В УСЛОВИЯТА
НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА**

АВТОРЕФЕРАТ

доц. д-р инж. Любка Атанасова Дуковска



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

доц. д-р инж. Любка Атанасова Дуковска

ОТКРИВАНЕ И ОЦЕНЯВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ДВИЖЕЩИ СЕ ЦЕЛИ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

АВТОРЕФЕРАТ

за присъждане на научна степен

„Доктор на науките“

по научната специалност: 01.01.12 „Информатика“

професионално направление:

4.6 „Информатика и компютърни науки“

София

2016

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на секция „Интелигентни системи“ на Института по информационни и комуникационни технологии – БАН, с протокол № 35 от 15.11.2016 г.

Научна специалност: 01.01.12. „Информатика“

Професионално направление: 4.6 „Информатика и компютърни науки“

Данни за дисертационния труд: страници – 258, фигури – 110, таблици – 24, цитирани литературни източници – 170, публикации свързани с темата на дисертационния труд – 36, забелязани независими цитирания – 86.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на
от часа в зала 507 на ИИКТ – ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 2.
на открито заседание на научното жури в състав:

1. Акад. д-р Иван Попчев
2. Акад. д-р Васил Сгурев
3. Акад. д-р Кирил Боянов
4. Акад. д-р Минчо Хаджийски
5. Чл.-кор. д-р д-р Красимир Атанасов, ИБФБМИ–БАН
6. Проф. д-р Красимира Стоилова, ИИКТ–БАН
7. Проф. д-р Димитър Карастоянов, ИИКТ–БАН

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на ИИКТ–БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 25А, стая 215.

Автор: доц. д-р инж. Любка Атанасова Дуковска

Заглавие: *Откриване и оценяване на параметрите на движещи се цели в условията на интензивна шумова среда*

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Разработването на нови, високоефективни алгоритми за обработка на радиолокационната информация, които да притежават оптимални статистически характеристики и да са реализуеми за работа в реално време, е актуален научен проблем. Актуалността на проблема се обуславя от съвременните тенденции в проектирането на високоефективни и напълно автоматизирани системи за обработка на радиолокационната информация в условията на априорна неопределеност относно целите и смущенията. Тези тенденции се изразяват в стремежа на изследователите да използват най-новите достижения в областта на проектирането на високо ефективни и с повишена сложност алгоритми за обработка на радиолокационната информация в реално време. Съвременните алгоритми изискват обработката на големи потоци данни, използвайки цялата достъпна информация за наблюдаваната радиолокационна обстановка (целите и смущенията). На решаването на тази задача е посветен настоящият дисертационен труд.

Цел на дисертационния труд

Цел на настоящия дисертационен труд е да се синтезират и изследват различни подходи, методи и алгоритми за откриване и определяне на параметрите на движещи се цели, осигуряващи постоянна честота на лъжлива тревога в условията на интензивен поток от импулсни смущения, както и да бъде оценена ефективността на новополучените структури.

Задачи на дисертационния труд

За постигането на така формулираната цел, в дисертационния труд са решени следните задачи:

1. Да се разшири решението на статистическата задача за откриване на движещи се цели в единични и пакети радиолокационни импулси в условията на интензивна шумова среда, чрез синтез на нови алгоритми, ползващи цензуриращи техники. Новополучените структури на откриватели да осигуряват поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога, в условията на интензивна шумова среда.

2. Да се синтезират нови структури на откриватели, ползващи Хох трансформация, съвместно работещи с едномерни и двумерни сигнални процесори

и да се разработят процедури за пресмятане на статистическите им характеристики, в условията на интензивен поток от импулсни смущения. На новополучените структури за едновременно откриване на цел и на траекторията ѝ, да бъде извършен сравнителен анализ, с цел да се определи най-ефективната между тях.

3. Да се предложи подход и да се синтезират нови алгоритми за определяне на оценката на скоростта на движеща се цел с прилагане на Хох трансформация на приетите сигнали от целта, в условията на интензивна шумова среда. Получените резултати от анализа на предложения подход да се сравнят с използваните традиционни подходи в съвременните радарни и комуникационни системи.

4. Да се синтезират и изследват нови алгоритми за определяне на координатите на движеща се цел, ползващи многосензорно обединение на данни от радарни системи. Асоциацията на данните да се извършва в Хох параметричното пространство. Новополучените алгоритми да са приложими в *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* радарна система, работеща в условията на интензивна шумова среда.

5. Да се разработи програмна реализация на новополучените алгоритми и изследваните структури.

Методологията на изследванията в дисертацията ще включва използването на числен и симулационен подход. Численият подход ще бъде използван за оценка на ефективността на алгоритмите, посредством изчисляване в средата на MATLAB на вероятностните характеристики и средния праг на откриване. Симулационният подход ще бъде използван за реализиране на части от разработваните алгоритми и за оценка на ефективността на моделираните структури, в условията на интензивна шумова среда, с цел да се оцени качеството на действието им.

Получените резултати са представени в 36 публикации, от които една глава от книга, издадена в чужбина, 16 статии в списания с IF или SJR, две статии в списания без IF или SJR, 17 доклада на международни конференции в чужбина и в България.

II. КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ПЪРВА ГЛАВА: ОТКРИВАНЕ НА ДВИЖЕЩИ СЕ ЦЕЛИ В РАДАРНИ СИСТЕМИ РАБОТЕЩИ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

В първа глава е направен обзор на известните методи и алгоритми за откриване на движещи се цели, осигуряващи поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога (ПЧЛТ), в условията на интензивна шумова среда. Посочени са предимствата и недостатъците на разгледаните методи и алгоритми работещи в тези условия. Въз основа на направения литературен обзор е обоснована необходимостта от избор на подходяща структура на откривател на радиолокационни сигнали на фона на мощни и с висока честота на поява хаотични импулсни смущения. Избрани са инструментариумът за провежданото изследване и математическият модел на наблюдаваната цел, определени са критерии за оценка на ефективността на избраните алгоритми.

Проведен е и анализ на известните приложения на Хох трансформацията на сигналите в различните области на науката. Ограниченият брой публикации, показващи ефективността от прилагането на Хох трансформацията на радиолокационни сигнали в задачата на откриването, е ниша, която ще бъде доразвита от получените резултати в настоящия дисертационен труд. Обоснована е необходимостта от използването на различни комбинации на известни алгоритми за едновременно откриване на траектории и на сигнали от целите, ползващи Хох преобразуване, в условията на импулсни смущения. При синтеза и анализа на алгоритмите за обработка на сигнали ще бъде използван статистически подход.

1.9. ИЗВОДИ ПО ПЪРВА ГЛАВА

1. Проведен е обзор на известните методи и алгоритми за откриване на движещи се цели, осигуряващи поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога (ПЧЛТ), в условията на интензивна шумова среда. Посочени са предимствата и недостатъците на разгледаните методи и алгоритми работещи в тези условия.

2. Въз основа на направения литературен обзор е обоснована необходимостта от избор на подходяща структура на ПЧЛТ откривател на радиолокационни сигнали на фона на мощни и с висока честота на поява хаотични импулсни смущения.

3. Избрани са инструментариума за провежданото изследване, математическия модел на наблюдаваната цел, определени са критерии за оценка на ефективността на избраните алгоритми, избрано е съставно разпределение, получено от формулата за пълна вероятност, предложена от Акимов и Евстратов. Мощността и вероятността за поява на импулсните смущения са априорно известни.

4. Проведен е анализ на известните приложения на Хох трансформацията на сигналите в различните области на науката. Ограниченият брой публикации, показващи ефективността от прилагането на Хох трансформацията на радиолокационни сигнали в задачата на откриване на движещи се цели, посочва необходимостта от задълбочен анализ на областта.

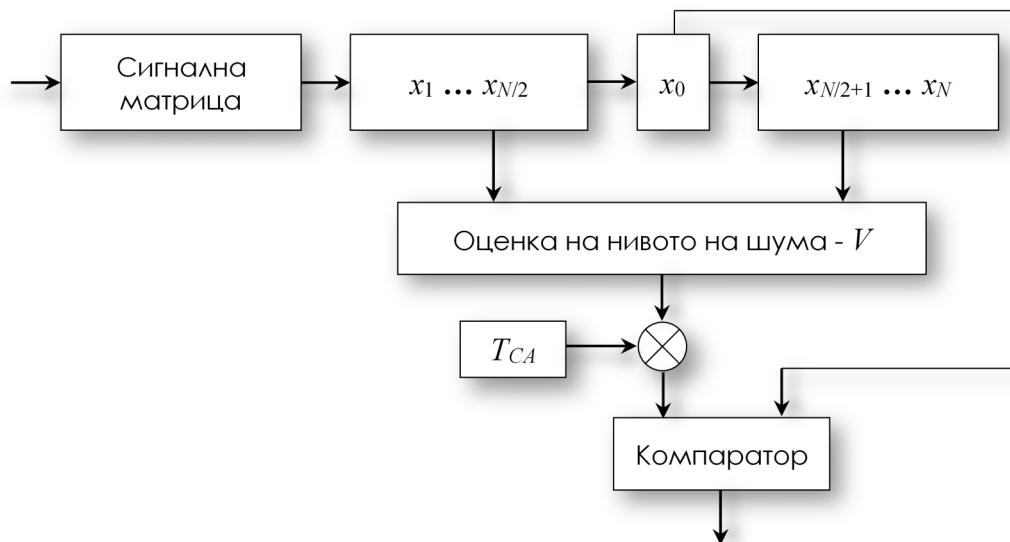
5. Обоснована е необходимостта от използването на различни комбинации на известни алгоритми за едновременно откриване на траектории и на сигнали от целите, ползващи Хох преобразование, в условията на импулсни смущения. При синтеза и анализа на алгоритмите за обработка на сигнали ще бъде използван статистически подход.

6. Изследвано е поведението на Хох откривател синтезиран за бял Гаусов шум, в условията на интензивен поток от случайно появяващи се импулсни смущения. В тази практически реална и неизследвана ситуация, той не поддържа вероятността за лъжлива тревога и влошава вероятността за правилно откриване на траектория. Това налага използването на различни видове сигнални процесори, които осигуряват поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога, преди използването на Хох трансформацията, в условията на импулсни смущения.

ВТОРА ГЛАВА: КОНВЕНЦИОНАЛНИ РАДАРНИ ОТКРИВАТЕЛИ НА ДВИЖЕЩИ СЕ ЦЕЛИ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

2.1. ОСРЕДНЯВАЩ РАДАРЕН ОТКРИВАТЕЛ, ПОДДЪРЖАЩ ПОСТОЯННА ЧЕСТОТА НА ЛЪЖЛИВА ТРЕВОГА В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

На фигура 2.1 е показана блоковата схема на осредняващ откривател, осигуряващ поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога (*Cell Averaging Constant False Alarm Rate – CA CFAR*).



Фигура 2.1 Блокова схема на осредняващ ПЧЛТ откривател

Прагът за откриване H_D се формира на базата на текущо оценяване на нивото на смущението в обучаващата извадка, както е представено в първа глава на настоящия дисертационен труд (фигура 1.6), като получената оценка на мощността на смущението V се умножава по предварително определен скаларен фактор T [74]. Скаларният фактор T_{CA} е функция на вероятността за лъжлива тревога, дължина на обучаващия прозорец и на шумовата среда, в която работи откривателя.

2.1.1. ВЕРОЯТНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕДНОМЕРЕН ОСРЕДНЯВАЩ ПЧЛТ ОТКРИВАТЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Вероятността за правилно откриване на осредняващ ПЧЛТ процесор за цел от типа Свърлинг II, в условията на Поасоново разпределени случайно появяващи се импулсни смущения е получена в [101] и има следния математически израз:

$$P_d = \sum_{i=1}^N C_N^i e_0^i (1-e_0)^{N-i} \left\{ \frac{e_0}{\left(1 + \frac{(1+r_j)T_{CA}}{1+r_j+s}\right)^i \left(1 + \frac{T_{CA}}{1+r_j+s}\right)^{N-i}} + \frac{1-e_0}{\left(1 + \frac{(1+r_j)T_{CA}}{1+s}\right)^i \left(1 + \frac{T_{CA}}{1+s}\right)^{N-i}} \right\}. \quad (2.17)$$

Полагайки отношението „сигнал/шум“ равно на нула ($s = 0$) в израза (2.17), се получава вероятността за лъжлива тревога на осредняващият ПЧЛТ процесор:

$$P_{fa} = \sum_{i=1}^N C_N^i e_0^i (1-e_0)^{N-i} \left\{ \frac{e_0}{(1+T_{CA})^i (1+(1+r_j)^{-1}T_{CA})^{N-i}} + \frac{1-e_0}{(1+(1+r_j)T_{CA})^i (1+T_{CA})^{N-i}} \right\}. \quad (2.18)$$

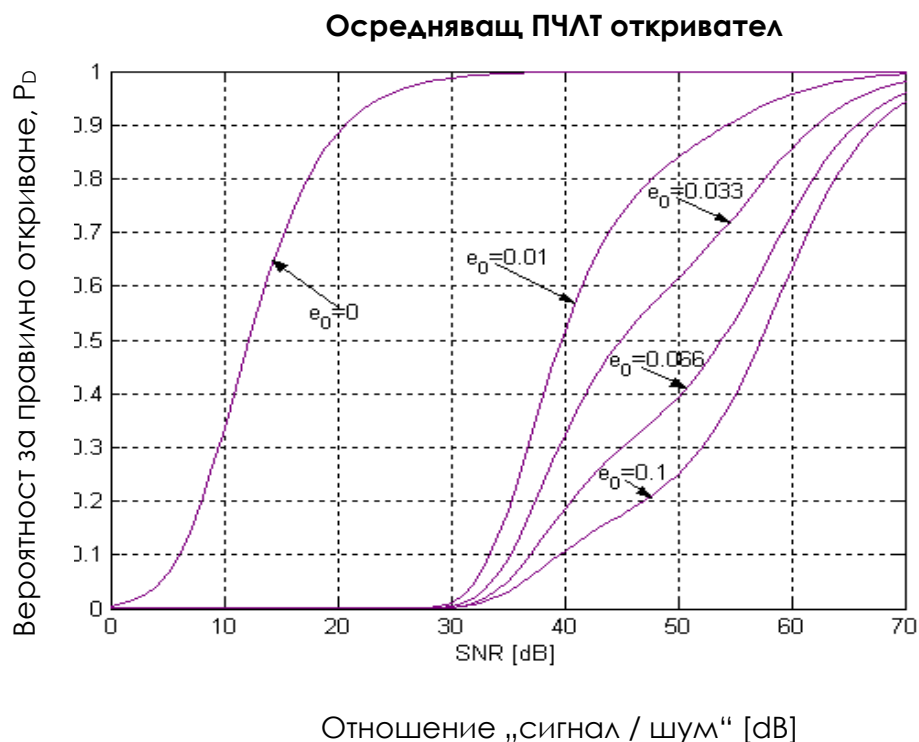
2.1.2. ЧИСЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА НА ВЕРОЯТНОСТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕДНОМЕРЕН ОСРЕДНЯВАЩ ПЧЛТ ОТКРИВАТЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

За целите на настоящия дисертационен труд са получени, в резултат на проведения статистически анализ, стойности на скаларния фактор, които са определени за големина на обучаващия прозорец $N = 16$ и $N = 32$, за стойности на вероятността за лъжлива тревога $P_{fa} = 10^{-4}$, 10^{-6} и 10^{-8} , за вътрешен шум на приемника със средна мощност $\lambda_0 = 1$ за стойности на вероятността за поява на импулсни смущения $e_0 = 0, 0.01, 0.033, 0.066, 0.1$ и за средна мощност на отношението „смущение/шум“ $INR = 10$ и 30 [dB].

Условието за поддържане на постоянна вероятност за лъжлива тревога в процесора, работещ самостоятелно като откривател, налага скаларният му фактор непрекъснато да се преизчислява при всяка промяна на параметрите на смущението. Получените резултати потвърждават известния от литературата факт, че

увеличаването на мощността и на вероятността за поява на импулсните смущения води до увеличаване на скаларния фактор.

Вероятността за правилно откриване на осредняващ ПЧЛТ откривател намалява при увеличаване на средната мощност на случайно появяващите се импулсни смущения, аналогично вероятността за правилно откриване на изследвания откривател се увеличава с нарастването на средната мощност на полезния сигнал. Интерес на настоящата работа представлява чувствителността на ПЧЛТ процесора към промяната на средата, в която се извършва откриването, т.е. на параметрите на случайно появяващите се импулсни смущения.



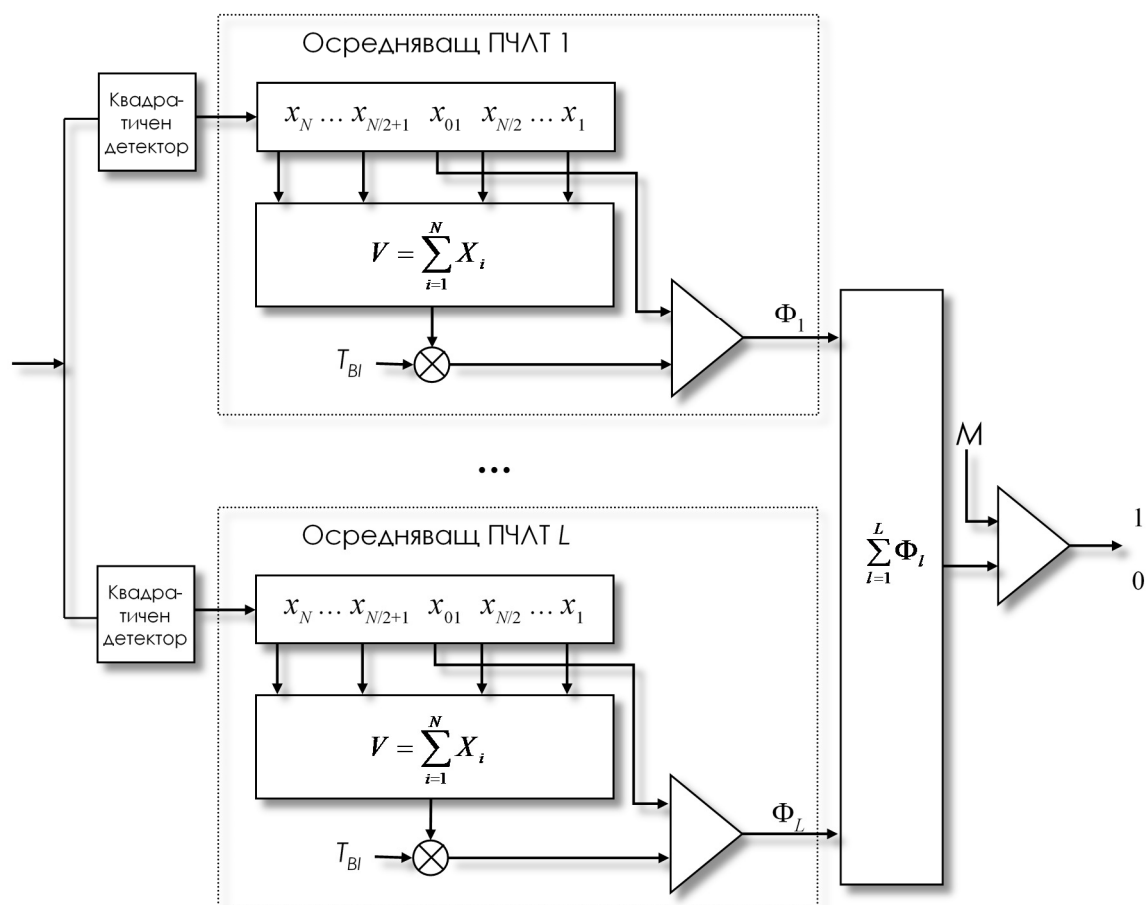
Фигура 2.2 *Вероятност за правилно откриване на осредняващ ПЧЛТ процесор в условие на случайно появяващи се импулсни смущения с променяща се интензивност*

Вероятността за правилно откриване се определя с помощта на уравнение (2.17). На фигура 2.2 са представени резултатите, получени за вероятността за правилно откриване на ПЧЛТ откривател с осредняване за стойности на средата $\lambda_0 = 1$, $N = 16$, $P_{fa} = 10^{-4}$, $INR = 30$ [dB] и вероятност за поява на импулсни смущения

$e_0 = 0, 0.01, 0.033, 0.066$ и 0.1 . Резултати от направените изследвания са публикувани в [5*, 15*].

2.1.3. ВЕРОЯТНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ДВУМЕРЕН ОСРЕДНЯВАЩ ПЧЛТ ОТКРИВАТЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

На фигура 2.4 е показана блоковата схема на двумерен осредняващ откривател (с бинарно натрупване), осигуряващ поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога (*Cell Averaging Constant False Alarm Rate with Binary Integration – CA CFAR BI*).



Фигура 2.4 Блокова схема на двумерен осредняващ ПЧЛТ откривател

Блоковата схема на един двумерен бинарен ПЧЛТ процесор (*CFAR BI*) е показана на фигура 2.4. Откривателят се състои от L едноканални ПЧЛТ процесори, работещи в паралел и бинарен интегратор (суматор).

Вероятността за правилно откриване на бинарния ПЧЛТ откривател се получава, като:

$$P_D = \sum_{l=M}^L C_L^l (P_d^*)^l (1 - P_d^*)^{L-l} \quad (2.27)$$

където P_d е вероятността за откриване на единичен импулс.

Вероятностните характеристики на бинарен ПЧЛТ откривател в условие на Поасонов поток от хаотични импулсни смущения са изследвани в [95]. Вероятността за правилно откриване се получава от (2.27) след заместване на P_d .

$$P_d = \sum_{i=1}^N C_N^i e_0^i (1 - e_0)^{N-i} \left\{ \frac{e_0}{\left(1 + \frac{(1+r_j)T_{BI}}{1+r_j+s}\right)^i \left(1 + \frac{T_{BI}}{1+r_j+s}\right)^{N-i}} + \frac{1-e_0}{\left(1 + \frac{(1+r_j)T_{BI}}{1+s}\right)^i \left(1 + \frac{T_{BI}}{1+s}\right)^{N-i}} \right\} \quad (2.28)$$

Полагайки отношението „сигнал/шум“ равно на нула ($s = 0$) в (2.28), се получава вероятността за лъжлива тревога на $CFAR BI$ откривателя.

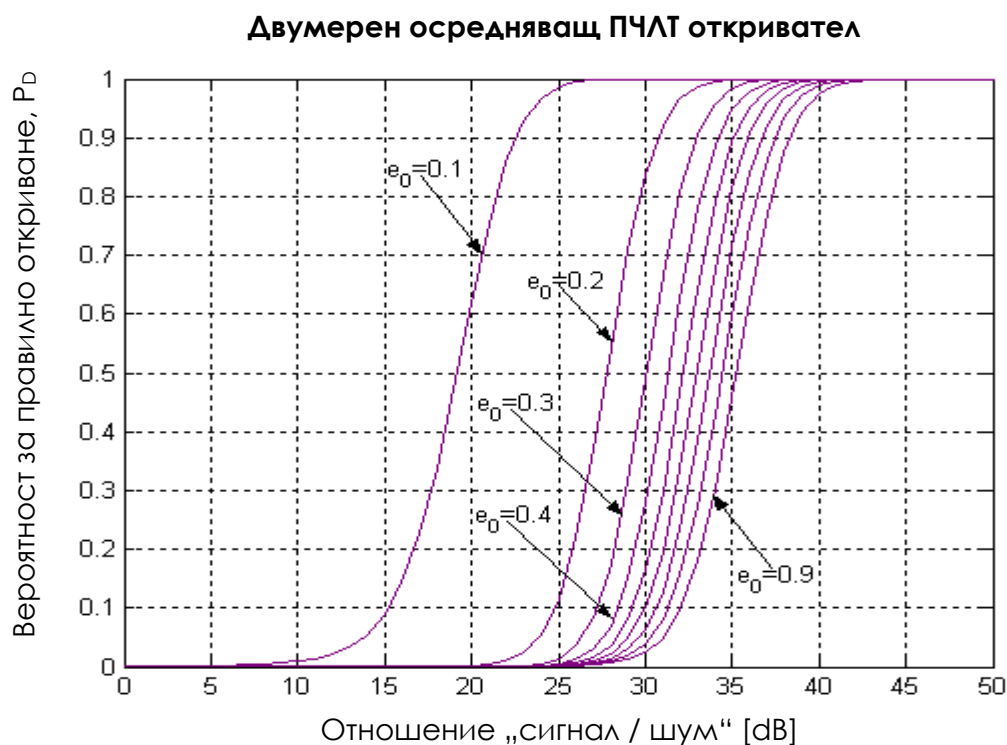
$$P_{FA} = \sum_{l=M}^L C_L^l (P_{fa})^l (1 - P_{fa})^{L-l}$$

$$P_{fa} = \sum_{i=1}^N C_N^i e_0^i (1 - e_0)^{N-i} \left\{ \frac{e_0}{(1+T_{BI})^i (1+(1+r_j)^{-1}T_{BI})^{N-i}} + \frac{1-e_0}{(1+(1+r_j)T_{BI})^i (1+T_{BI})^{N-i}} \right\}. \quad (2.29)$$

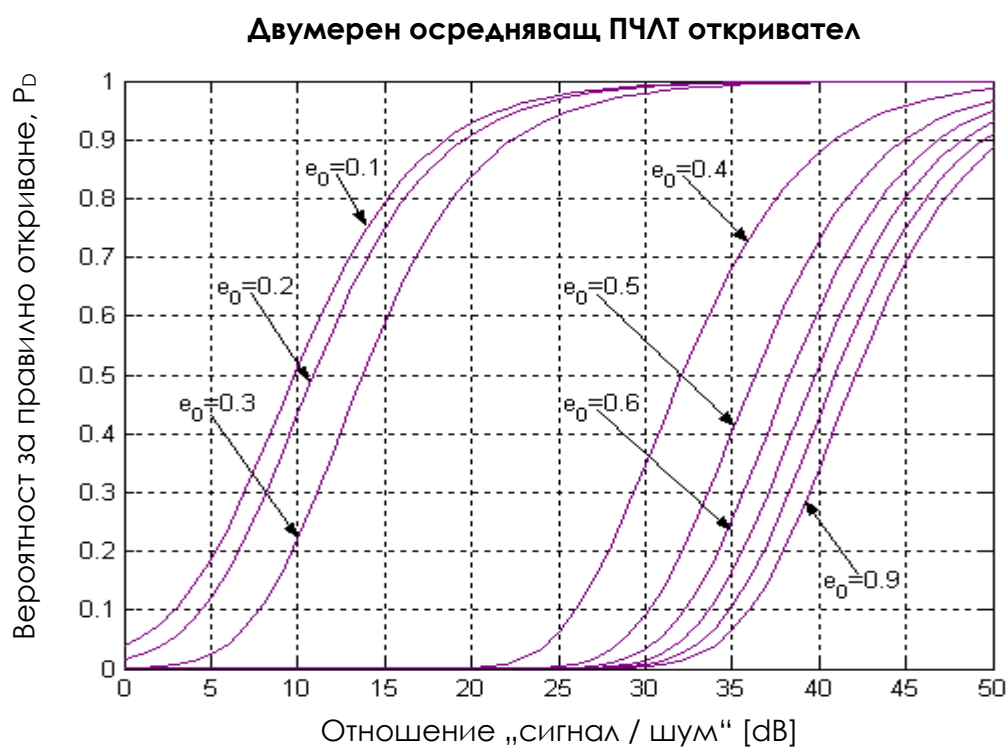
Скаларният фактор T_{BI} се определя от (2.29), така че вероятността за фалшива тревога да бъде постоянна.

2.1.4. ЧИСЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА НА ВЕРОЯТНОСТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ДВУМЕРЕН ОСРЕДНЯВАЩ ПЧЛТ ОТКРИВАТЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

На фигура 2.6 са представени резултатите от анализа на вероятността за правилно откриване на бинарния ПЧЛТ процесор, работещ в условията на биномен поток от случайно появяващи се импулсни смущения, при различни стойности на вероятността за появата им и за стойност на бинарния праг $M = 10$.



Фигура 2.6 Вероятностни характеристики на двумерен осредняващ ПЧЛТ откривател, в условията на биномно разпределени импулсни смущения



Фигура 2.7 Вероятностни характеристики на двумерен осредняващ ПЧЛТ откривател, в условията на биномно разпределени импулсни смущения

За представяне на действието на разглежданият откривател на фигура 2.7 са показани вероятностните характеристики на бинарния ПЧЛТ процесор, получени при друга стойност на бинарния праг, $M = 16$. Аналогично на представените по-горе резултати, и тук експериментът е проведен за стойност на вероятността за лъжлива тревога $P_{fa} = 10^{-4}$, за стойност на отношението „смушение/шум“ $r_j = 30$ [dB] и за обеми на извадките $N = 16$ и $L = 16$.

От представените резултати на фигурите се вижда, че при сравнително малки стойности на вероятността за поява на импулсни смушения, откривателят с бинарно правило $M/L = 16/16$ дава по-добри резултати от този, прилагащ бинарно решаващо правило $M/L = 10/16$.

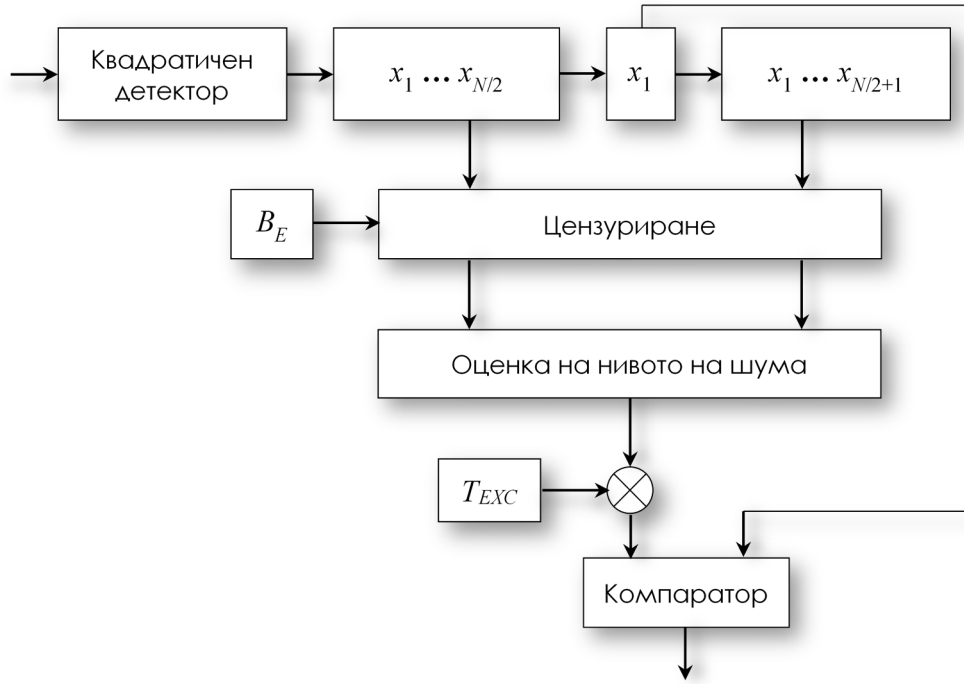
2.2. ЦЕНЗУРИРАЩ РАДАРЕН ОТКРИВАТЕЛ, ПОДДЪРЖАЩ ПОСТОЯННА ЧЕСТОТА НА ЛЪЖЛИВА ТРЕВОГА В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

2.2.1. ВЕРОЯТНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕДНОМЕРЕН ЦЕНЗУРИРАЩ ПЧЛТ ОТКРИВАТЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

На фигура 2.9 е показана блоковата схема на едномерен цензуриращ ПЧЛТ откривател, осигуряващ поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога (*Excision Constant False Alarm Rate – EXC CFAR*). Дължината на обучаващата извадка е N .

Така представеният алгоритъм е ефективен при наличие на импулсни смушения в обучаващата извадка. Стойностите на елементите от обучаващия прозорец $(x_1, \dots, x_N)$ се сравняват с един предварително определен праг, т.нар. праг на цензуриране, B_E . Елементите с по-голяма мощност, надхвърлящи цензуриращия праг, се нулират, а елементите с по-малка стойност от прага B_E запазват големината си. Резултатът от сравнението е показан с изрази:

$$y_i = \begin{cases} x_i, & \text{ако } x_i \leq B_E \\ 0, & \text{ако } x_i > B_E \end{cases}. \quad (2.32)$$



Фигура 2.9 Блокова схема на цензуриращ ПЧЛТ откривател

Останалите ненулеви стойности след цензурирането се сумират и формират оценката на нивото на шума в изследвания цензуриращ откривател:

$$V = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i, \quad (2.33)$$

където k е броят на нецензурираните елементи в обучаващия прозорец.

Вероятността за правилно откриване на цензуриращия ПЧЛТ откривател в условията на Поасоново разпределени хаотични импулсни смущения има вида:

$$P_d = \sum_{k=1}^N C_N^k P_E^k (1 - P_E)^{N-k} \left\{ (1 - e_0) M_v \left(\frac{T_{EXC}}{\lambda_0 (1 + s)}, k \right) + e_0 M_v \left(\frac{T_{EXC}}{\lambda_0 (1 + r_j + s)}, k \right) \right\}. \quad (2.42)$$

Полагайки отношението “сигнал/шум” равно на нула ($s=0$) в израза (2.44), се получава вероятността за лъжлива тревога на цензуриращия ПЧЛТ процесор:

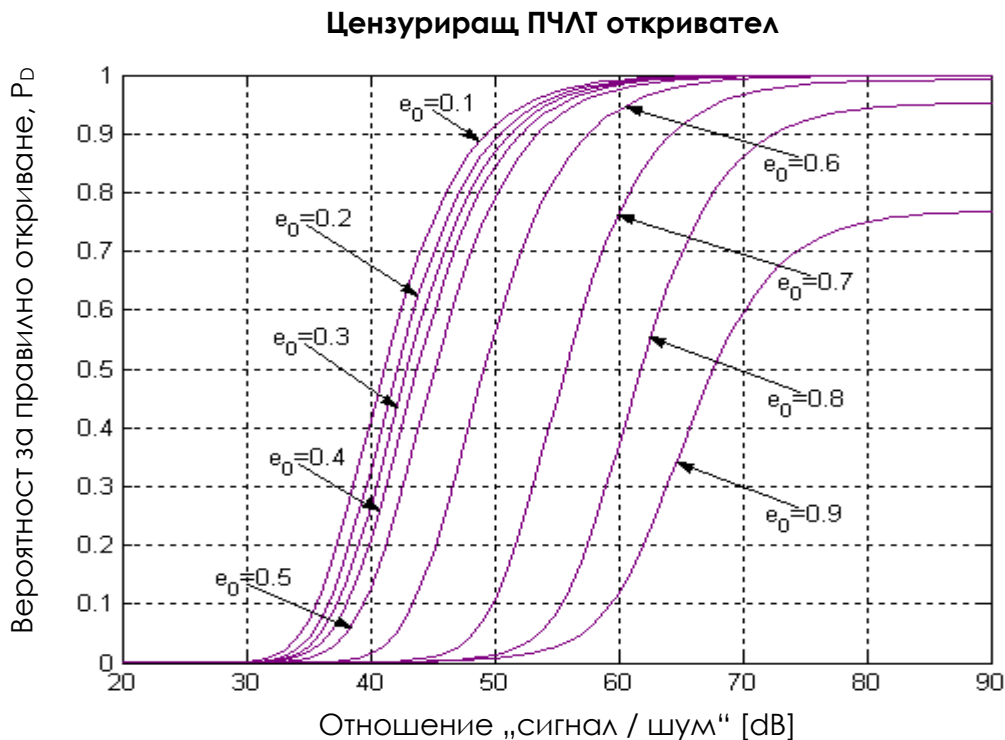
$$P_{fa} = \sum_{k=1}^N C_N^k P_E^k (1 - P_E)^{N-k} \left\{ (1 - e_0)^2 M_v \left(\frac{T_{EXC}}{\lambda_0}, k \right) + 2e_0 (1 - e_0) M_v \left(\frac{T_{EXC}}{\lambda_0 (1 + r_j)}, k \right) + e_0^2 M_v \left(\frac{T_{EXC}}{\lambda_0 (1 + 2r_j)}, k \right) \right\}, \quad (2.46)$$

където T_{EXC} е скаларен фактор, P_E е вероятността, че елемента x_i е останал след изпълнението на цензуриращата процедура и има следния вид:

$$P_E = 1 - (1 - e_0)^2 \exp \left(\frac{-B_E}{\lambda_0} \right) - 2e_0 (1 - e_0) \exp \left(\frac{-B_E}{\lambda_0 (1 + r_j)} \right) - e_0^2 \exp \left(\frac{-B_E}{\lambda_0 (1 + 2r_j)} \right). \quad (2.45)$$

2.2.2. ЧИСЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА НА ВЕРОЯТНОСТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕДНОМЕРЕН ЦЕНЗУРИРАЩ ПЧЛТ ОТКРИВАТЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

На фигура 2.10 са представени получените резултати за вероятността за правилно откриване на цензуриращ ПЧЛТ откривател, работещ в условията на случайно появяващи се импулсни смущения с променлива интензивност, при следните параметри $\lambda_0 = 1$, $P_{fa} = 10^{-4}$, $N = 16$.



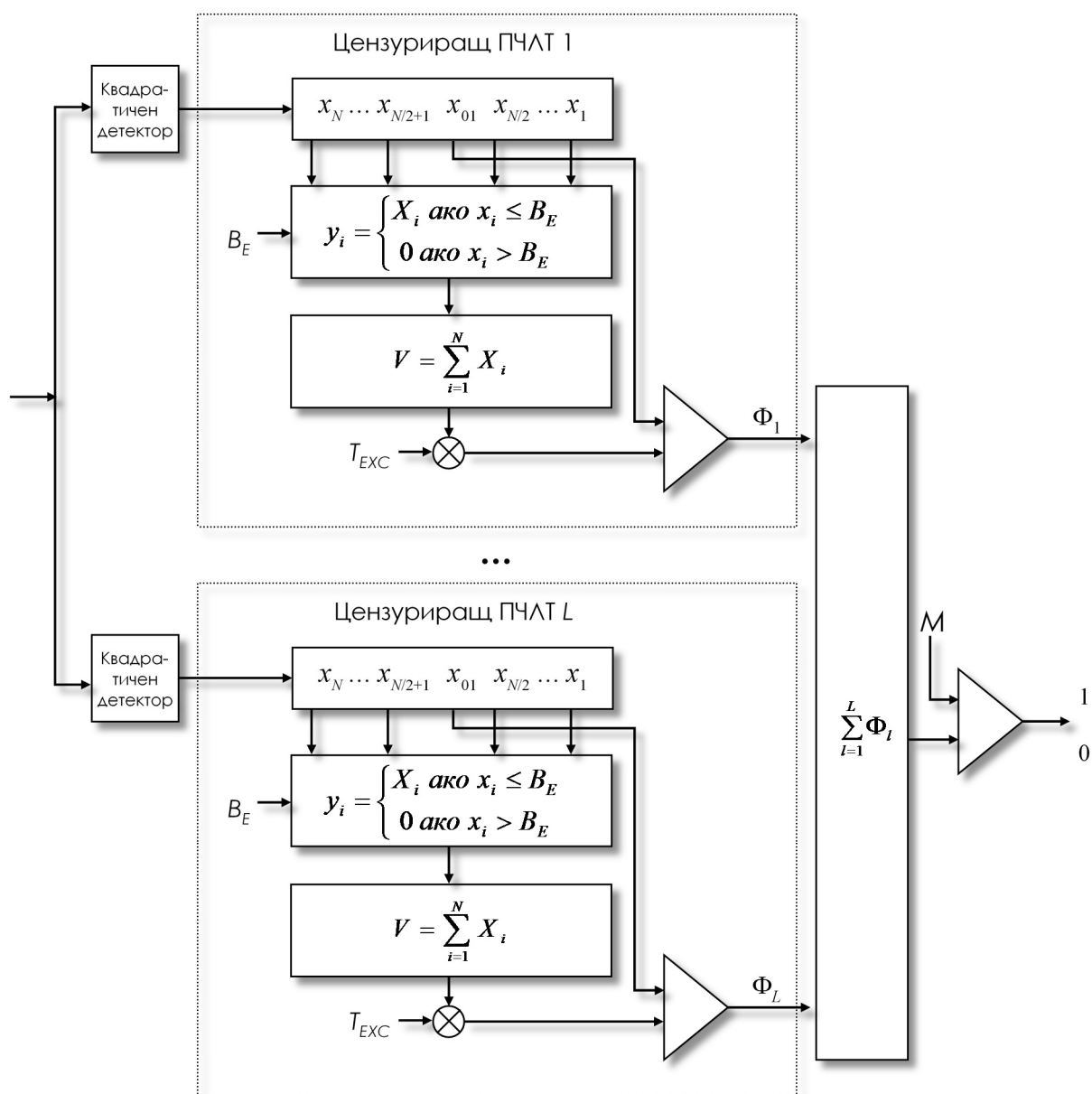
Фигура 2.10 Вероятност за правилно откриване на цензуриращ ПЧЛТ процесор в условие на случайно появяващи се импулсни смущения с променяща се интензивност

2.2.3. ВЕРОЯТНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ДВУМЕРЕН ЦЕНЗУРИРАЩ ПЧЛТ ОТКРИВАТЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Принципът на работа на цензуриращия ПЧЛТ откривател с бинарно натрупване (*EXC CFAR BI*) е подобен на осредняващия бинарен ПЧЛТ откривател (*CFAR BI*), изследван в предишния параграф, но разликата се състои в това, че за откриването на единичен импулс се използва едномерен цензуриращ ПЧЛТ процесор (*EXC CFAR*), във всеки от каналите по азимут. Откривателят се състои от

L на брой едноканални цензуриращи ПЧЛТ процесори, работещи в паралел, и бинарен интегратор на изхода [44].

Блоковата схема на двумерен цензуриращ ПЧЛТ откривател с бинарно натрупване (*Excision Constant False Alarm Rate with Binary Integration – EXC CFAR BI*) е показана на фигура 2.12.



Фигура 2.12 Блокова схема на цензуриращ бинарен ПЧЛТ откривател

В цензуриращия ПЧЛТ откривател с бинарно натрупване всички L тествани клетки се сравняват с праг, който е произведение на оценката на нивото на шума V_l от всеки канал по азимут със скаларен фактор T_{EXC} , гарантиращ поддържането на

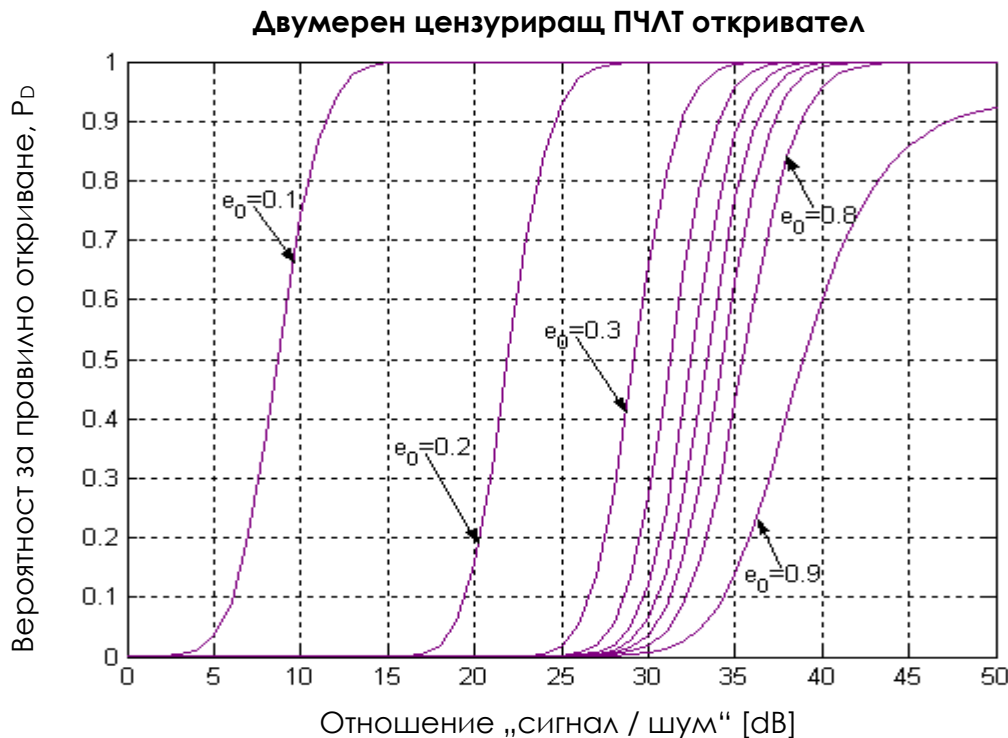
постоянно ниво на честотата на лъжлива тревога. Откриването на пакета радиолокационни импулси се извършва след бинарно натрупване на откритите импулси в L канала и сравнението им с постоянен бинарен праг M .

2.2.4. ЧИСЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА НА ВЕРОЯТНОСТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ДВУМЕРЕН ЦЕНЗУРИРАЩ ПЧЛТ ОТКРИВАТЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Вероятностните характеристики на правилно откриване на изследвания процесор са показани на фигура 2.13. Резултатите са получени при следните параметри на импулсните смущения: $INR = 30$ [dB] и $e_0 = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$ и 0.9 . Броят на каналите по азимут е $L = 16$, големината на обучаващия прозорец е $N = 16$ и откривателят поддържа вероятност за лъжлива тревога $P_{fa} = 10^{-4}$.

Вероятността за правилно откриване на цензуриращ бинарен ПЧЛТ процесор има следния математически израз:

$$P_d = \sum_{k=1}^N C_N^k P_E^k (1-P_E)^{N-k} \left\{ (1-e_0)^2 M_V \left(\frac{T_{EXC}}{\lambda_0(1+s)}, k \right) + 2e_0(1-e_0) M_V \left(\frac{T_{EXC}}{\lambda_0(1+r_j+s)}, k \right) + e_0^2 M_V \left(\frac{T_{EXC}}{\lambda_0(1+2r_j+s)}, k \right) \right\} \quad (2.53)$$

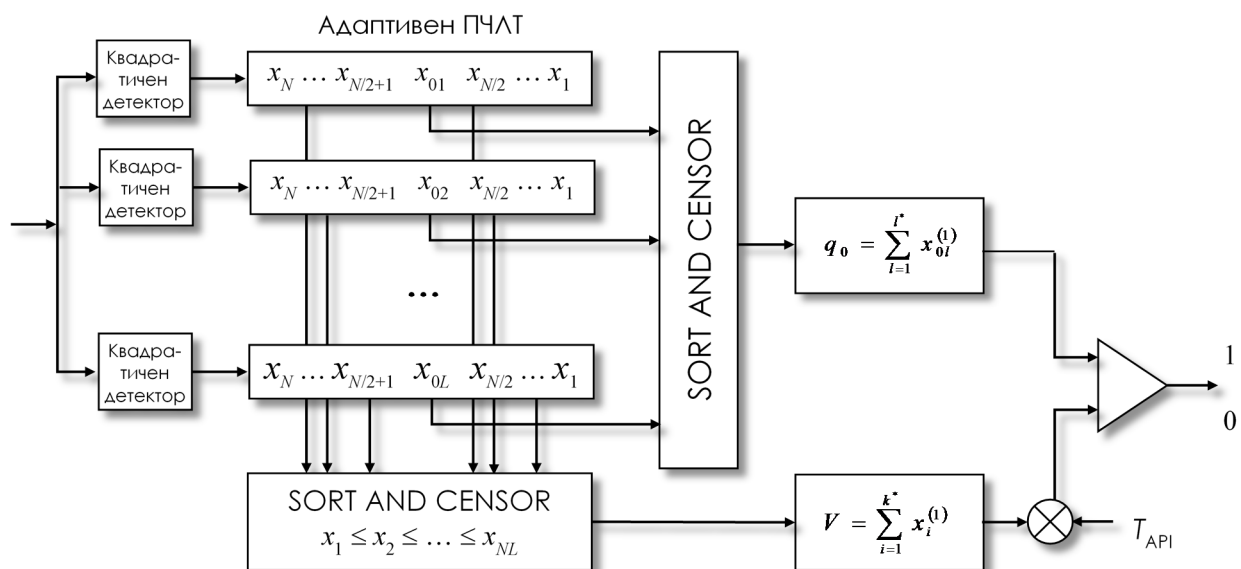


Фигури 2.13 Вероятност за правилно откриване на двумерен цензуриращ ПЧЛТ процесор с бинарно натрупване на сигнала

2.3. АДАПТИВЕН РАДАРЕН ОТКРИВАТЕЛ С НЕКОХЕРЕНТНО НАТРУПВАНЕ ПОДДЪРЖАЩ ПОСТОЯННА ЧЕСТОТА НА ЛЪЖЛИВА ТРЕВОГА В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

2.3.1. ВЕРОЯТНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АДАПТИВЕН ПЧЛТ ОТКРИВАТЕЛ С НЕКОХЕРЕНТНО НАТРУПВАНЕ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

На фигура 2.16 е показана блоковата схема на двумерен адаптивен откривател (с некохерентно натрупване), осигуряващ поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога (Adaptive Post detection Integration Constant False Alarm Rate – API CFAR).



Фигура 2.16 Адаптивен ПЧЛТ откривател с некохерентно натрупване на сигнала

Наличието на хаотични импулсни смущения, както в обучаващия прозорец, така и в тестваната извадка, влошава работата на ПЧЛТ откривателите. Премахването на влиянието на тези смущения е възможно, ако те не участват при формирането на нивото на шума и оценката на сигнала. Както беше показано в предишните параграфи, при наличие на допълнителна прагова обработка се подобрява работата на откривателите. В [96] Himonas и Barkat предлагат ПЧЛТ откривател с некохерентно натрупване да използва процедура за премахване (цензуриране) на клетките, съдържащи смущения при формирането на оценката на

смущението. В [2*, 3*] е предложено същата цензурираща процедура да се използва и за тествания прозорец.

$$\begin{aligned}
 P_D(s, r_j, e_0) = & \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} (1-e_0)^k e_0^{N-k} \sum_{l=1}^L \binom{L}{l} (1-e_0)^l e_0^{L-l} \sum_{i=0}^{l-1} \binom{k+i-1}{i} \frac{T_{API}^i (1+s)^k}{(T_{API} + 1 + s)^{k+i}} + \\
 & \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} (1-e_0)^k e_0^{N-k} e_0^L \sum_{i=0}^{L-1} \binom{k+i-1}{i} \frac{T_{API}^i (1+r_j+s)^k}{(T_{API} + 1 + r_j + s)^{k+i}} + \\
 & \sum_{l=1}^L \binom{L}{l} (1-e_0)^l e_0^{L-l} e_0^N \sum_{i=0}^{l-1} \binom{N+i-1}{i} \frac{T_{API}^i \left(\frac{1+s}{1+r_j} \right)^N}{\left(T_{API} + \frac{1+s}{1+r_j} \right)^{N+i}} + \\
 & e_0^N e_0^L \sum_{i=0}^{L-1} \binom{N+i-1}{i} \frac{T_{API}^i \left(\frac{1+r_j+s}{1+r_j} \right)^N}{\left(T_{API} + \frac{1+r_j+s}{1+r_j} \right)^{N+i}};
 \end{aligned} \tag{2.95}$$

В статия [3*] е получена вероятността за правилно откриване на адаптивен некохерентен ПЧЛТ процесор за цел от типа Свърлинг II в условията на Поасоново разпределени случайно появяващи се импулсни смущения, (2.95).

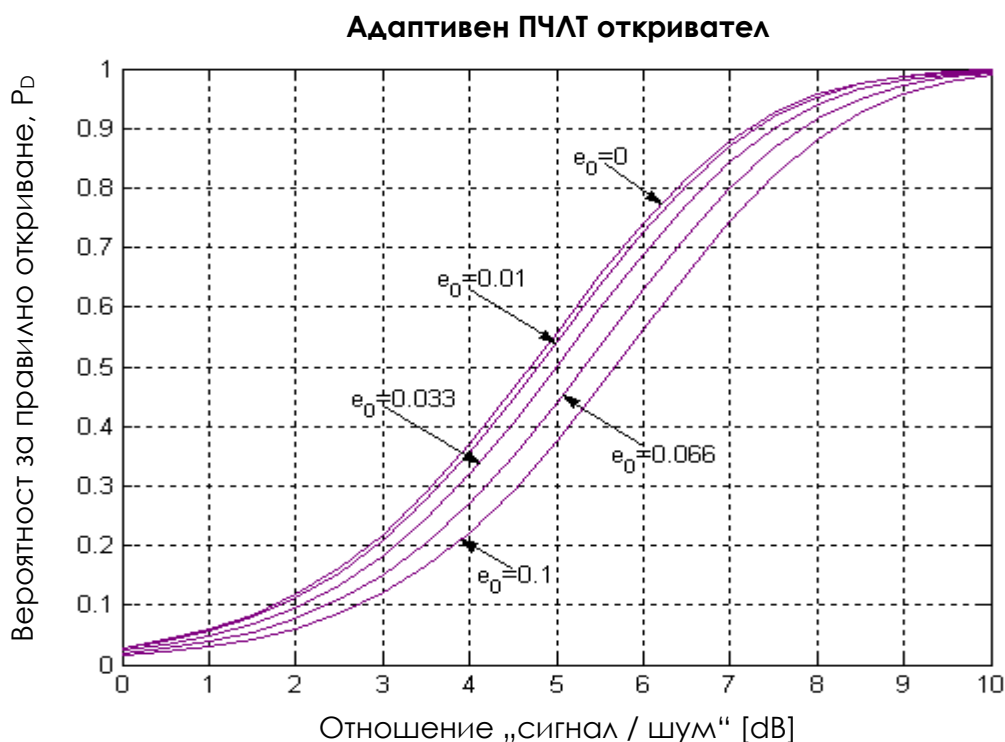
Полагайки отношението „сигнал/шум“ равно на нула ($s = 0$) в израза (2.95), се получава вероятността за лъжлива тревога на адаптивния некохерентен ПЧЛТ процесор:

$$\begin{aligned}
 P_{fa} = & \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} (1-e_0)^k e_0^{N-k} \sum_{l=1}^L \binom{L}{l} (1-e_0)^l e_0^{L-l} \sum_{i=0}^{l-1} \binom{k+i-1}{i} \frac{T_{API}^i}{(T_{API} + 1)^{k+i}} + \\
 & + \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} (1-e_0)^k e_0^{N-k} e_0^L \sum_{i=0}^{L-1} \binom{k+i-1}{i} \frac{T_{API}^i (1+r_j)^k}{(T_{API} + 1 + r_j)^{k+i}} + \\
 & + \sum_{l=1}^L \binom{L}{l} (1-e_0)^l e_0^{L-l} e_0^N \sum_{i=0}^{l-1} \binom{N+i-1}{i} \frac{T_{API}^i \left(\frac{1}{1+r_j} \right)^N}{\left(T_{API} + \frac{1}{1+r_j} \right)^{N+i}} + \\
 & + e_0^N e_0^L \sum_{i=0}^{L-1} \binom{N+i-1}{i} \frac{T_{API}^i}{(T_{API} + 1)^{N+i}}
 \end{aligned} \tag{2.96}$$

Скаларният фактор T_{API} на откривателя, поддържащ постоянна вероятността за лъжлива тревога, се получава при полагане на отношението „сигнал/шум“ равно на нула.

2.3.2. ЧИСЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА НА ВЕРОЯТНОСТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АДАПТИВЕН ПЧЛТ ОТКРИВАТЕЛ С НЕКОХЕРЕНТНО НАТРУПВАНЕ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

На фигура 2.17 са представени получените резултати от анализа на вероятността за правилно откриване на адаптивния некохерентен ПЧЛТ процесор, работещ като откривател, в условията на Поасоново разпределени случайно появяващи се импулсни смущения. Изследванията са проведени при следните условия на средата $\lambda_0 = 1$, $N = 16$, $L = 16$, $P_{fa} = 10^{-4}$, $INR = 30$ [dB] и вероятност за поява на импулсни смущения $e_0 = 0, 0.01, 0.033, 0.066$ и 0.1 .



Фигура 2.17 Вероятност за правилно откриване на адаптивен ПЧЛТ откривател с некохерентно натрупване на сигнала в условие на импулсни смущения с променяща се интензивност

Увеличаването на вероятността за поява на случайно появяващите се импулсни смущения, води до намаляване на вероятността за правилно откриване при фиксирана стойност на отношението „сигнал/шум“.

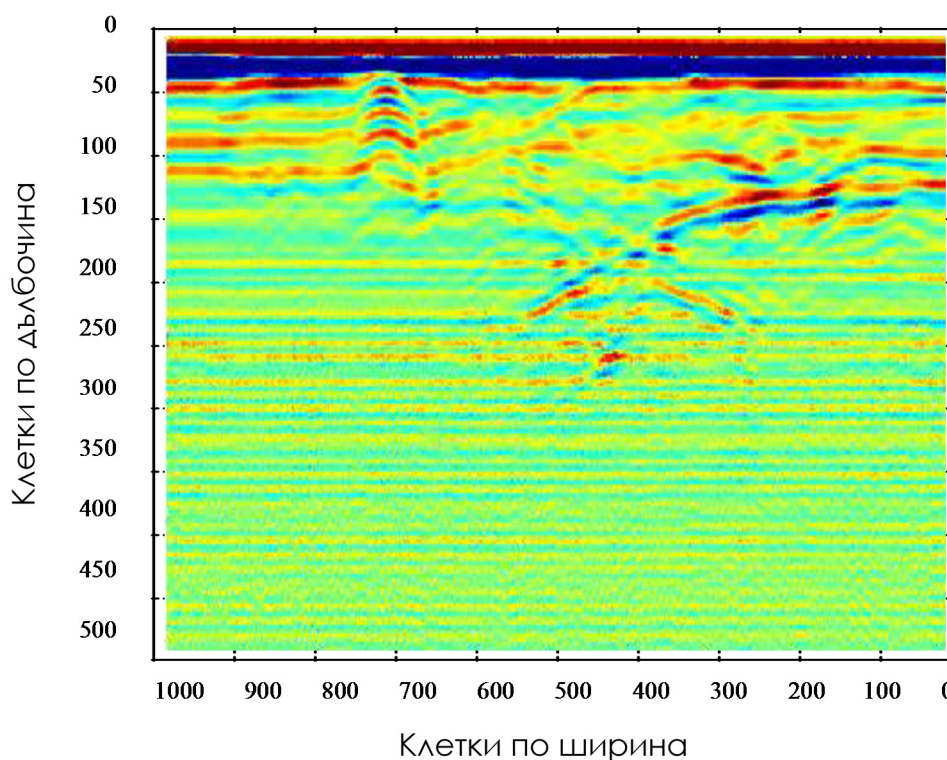
2.4. ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА РАЗГЛЕДАНИТЕ ТИПОВЕ ОТКРИВАТЕЛИ, РАБОТЕЩИ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Сравнителният анализ на тези откриватели е направен посредством средния праг на откриване на тези ПЧЛТ откриватели при работата им в условия на интензивни потоци от хаотични импулсни смущения. Резултатите от изследването са публикувани в [15*].

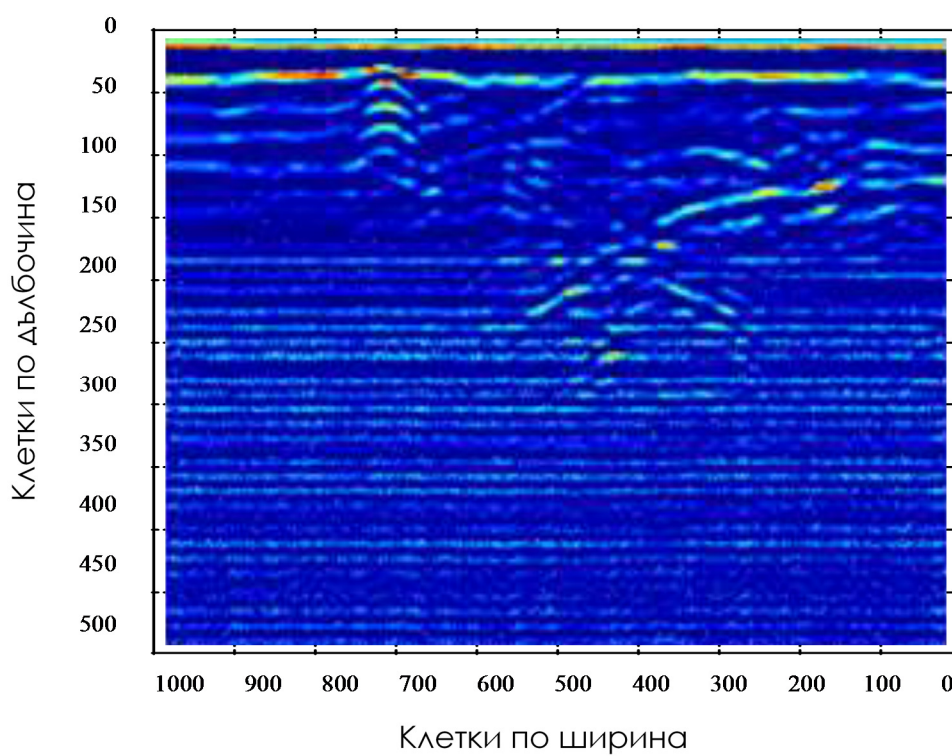
2.5. ПРИЛОЖЕНИЕ НА РАЗГЛЕДАНИТЕ ТИПОВЕ ОТКРИВАТЕЛИ, РАБОТЕЩИ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

В настоящата точка са представени изследвания, които са намерили приложение в работата по проект с Министерство на икономиката и енергетиката, на тема „Радар за подземно сондиране“ по конкурс на Националния иновационен фонд.

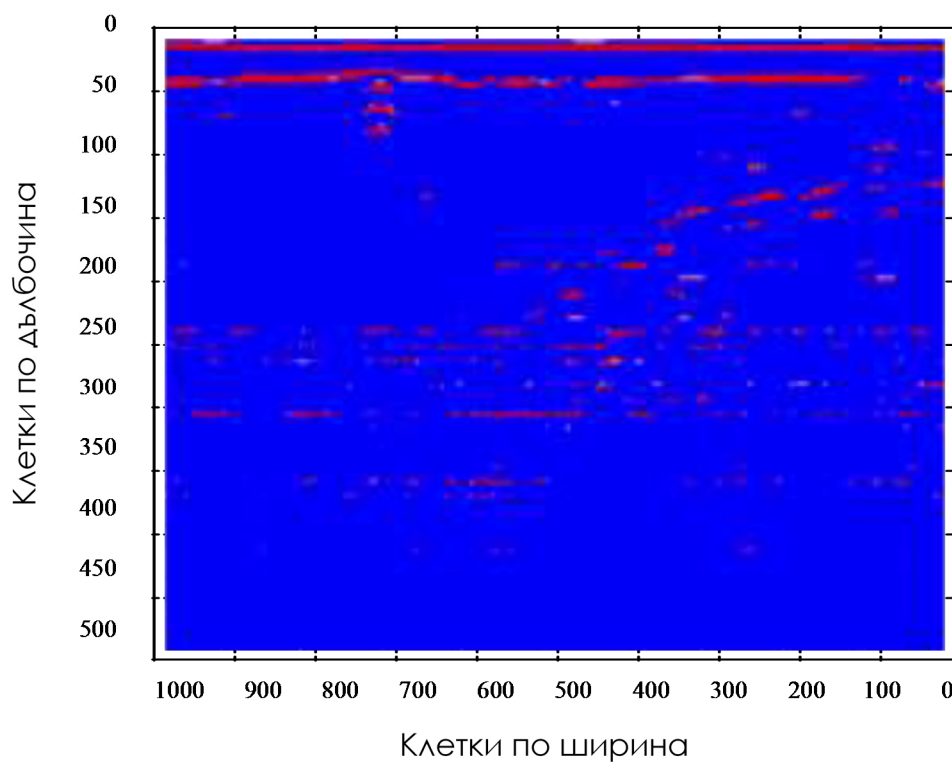
На фигура 2.21 е показан запис от радар за подземно сондиране. От радиограмата се виждат слоевете между различните видове почви и канализационна тръба и мина, намиращи се под тънък слой от мокър пясък.



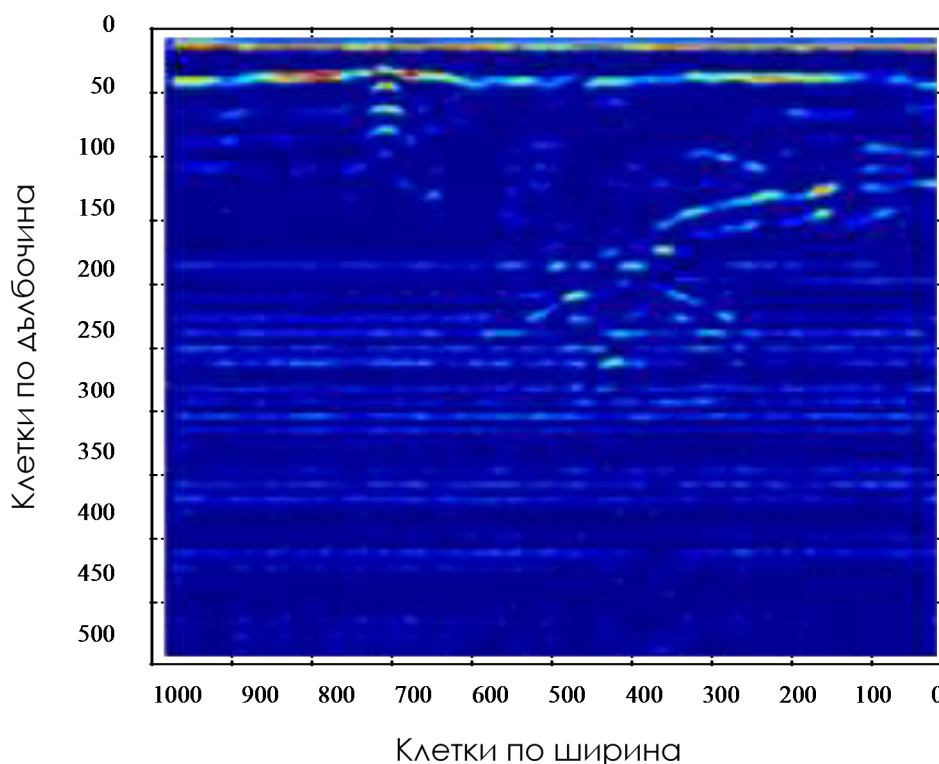
**Фигура 2.21 Радиограма на канализационна тръба
и противопехотна мина**



Фигура 2.22 Осредняваща ПЧЛТ филтрация на георадарен профил



Фигура 2.23 Двумерна осредняваща ПЧЛТ филтрация на георадарен профил



Фигура 2.24 Адаптивна ПЧЛТ филтрация на георадарен профил

В настоящия параграф са представени резултати от прилагането на различни структури на ПЧЛТ алгоритми за обработка на получените радарни записи, с цел откриване на границите между различните земни слоеве, [1*].

Хипотезата е, че след ПЧЛТ обработката на профила, ще се получи по-ясно и по-лесно за откриване изображение на подземните обекти. След прилагане на различни видове ПЧЛТ филтрация (обработка) на данните, от фигура 2.21 се получават резултатите, показани на фигури 2.22, 2.23 и 2.24. Представените резултати от проведените приложни изследвания потвърждават хипотезата за ефективността на ПЧЛТ откривателите, работещи в интензивна шумова среда и при различни физически постановки на експеримента.

Спецификата на процеса на получаване на изображения от радари за подземно сондиране (РПС) утвърждава директното локализиране на откритите подземни обекти. Това е една много актуална и недостатъчно добре решена задача.

2.6. ИЗВОДИ ПО ВТОРА ГЛАВА

1. Прието е моделът на отразения сигнал от целта да е флукутиращ по закона Сверлинг II, а потока от случайно появяващи се импулсни смущения да се описва с

Поасонов или биномен закон за разпределение на честотата на появата им. Избрана е честотата на разглежданите потоци да е със стойност 0.1, защото само тогава двата потока имат сходна сигнална структура.

2. Предлага се методика за оценка на ефективността на разглежданите сигнални откриватели, на база на използването на критерия за ефективност на ПЧЛТ откривателите, среден праг на откриване.

3. Изследвана е чувствителността на осредняващ едномерен и двумерен ПЧЛТ откривател, спрямо промяната на параметрите на Поасонов и биномен поток от случайно появяващи се импулсни смущения. Определени са загубите на откривателя, посредством средния праг на откриване.

4. Изследвана е чувствителността на цензуриращ едномерен и двумерен ПЧЛТ откривател, спрямо промяната на параметрите на биномен поток от случайно появяващи се импулсни смущения. Получени са загубите на откривателя, посредством средния му праг на откриване.

5. Изследвана е чувствителността на адаптивен ПЧЛТ откривател, спрямо промяната на параметрите на Поасонов поток от случайно появяващи се импулсни смущения. Получени са загубите на откривателя, посредством средния му праг на откриване.

6. Оценена е ефективността на откривателите, осигуряващи поддържане на постоянна вероятност за лъжлива тревога, посредством вероятностните характеристики, отношението „сигнал/шум“ и среден праг на откриване. Разгледана е задачата от няколко аспекта, като се търси близко до оптималното решение за фиксиран праг, предлагайки решения с адаптивен праг. Намерени са оптимални прагове за откриване в условията на Поасонов и биномен поток от случайно появяващи се импулсни смущения.

7. Показано е, че използването на цензуриращи и адаптивни към смущението техники, води до значително намаляване на загубите, изразени в отношението “сигнал/шум,,.

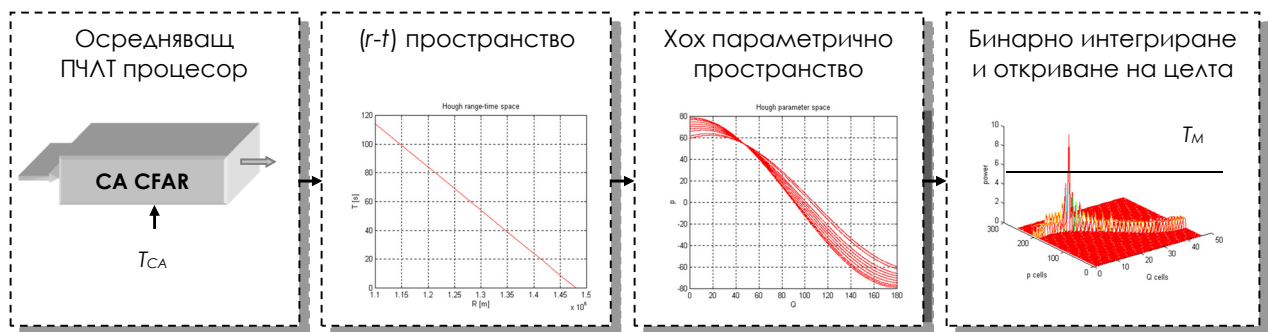
ТРЕТА ГЛАВА: ОТКРИВАТЕЛИ НА ДВИЖЕЩИ СЕ ЦЕЛИ, ПОЛЗВАЩИ МАТЕМАТИЧЕСКА ТРАНСФОРМАЦИЯ НА СИГНАЛИТЕ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

3.1. ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ОСРЕДНЯВАЩ СИГНАЛЕН ПРОЦЕСОР ПОДДЪРЖАЩ ПОСТОЯННА ЧЕСТОТА НА ЛЪЖЛИВА ТРЕВОГА В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

3.1.1. ВЕРОЯТНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ЕДНОМЕРЕН ОСРЕДНЯВАЩ ПЧЛТ ПРОЦЕСОР В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Изразите за вероятностните характеристики, необходими за провеждането на настоящото изследване са подробно описани в първа и втора глави на настоящия дисертационен труд. Тук са представени само основните математически изрази от проведения статистически анализ на Хох откривателя, според [52].

На фигура 3.1 е представена обобщена структурна схема на адаптивен Хох откривател с осредняващ ПЧЛТ процесор, поддържащ постоянна честота на лъжлива тревога в условията на интензивна шумова среда.



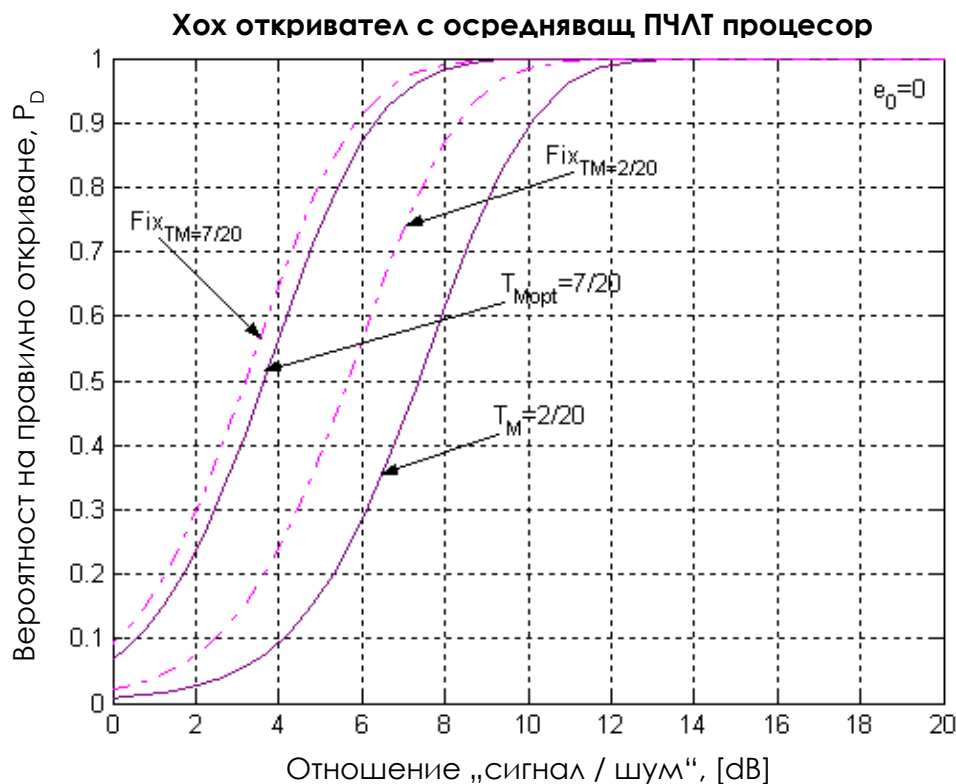
**Фигура 3.1 Обобщена структурна схема на адаптивен Хох откривател с
осредняващ ПЧЛТ процесор**

Вероятностните характеристики на Хох откривател с осредняващ ПЧЛТ процесор, работещ в условията на Поасоново разпределени случайно появяващи се импулсни смущения са публикувани в поредица от статии [4*, 8*, 18*, 20*, 29*, 32*, 36*].

3.1.2. ЧИСЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА НА ВЕРОЯТНОСТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ЕДНОМЕРЕН ОСРЕДНЯВАЩ ПЧЛТ ПРОЦЕСОР В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

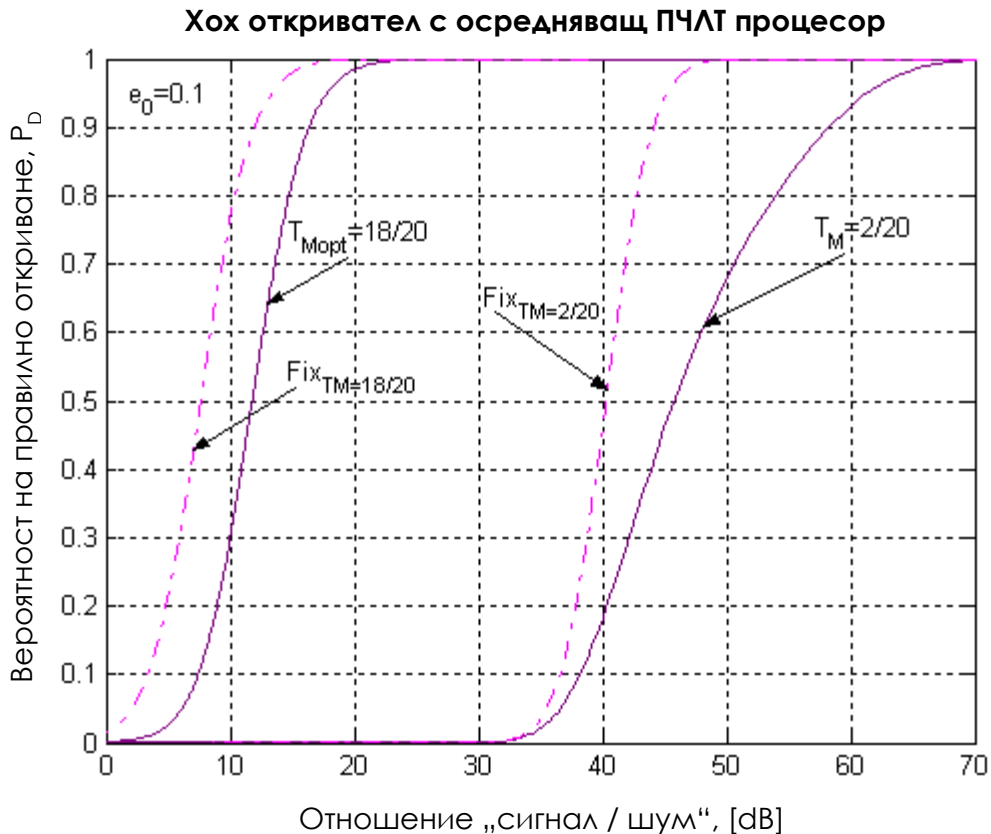
С помощта на числена итерационна процедура е определена стойността на скаларния фактор T_{CA} и така получените оптимални стойности на праговите константи за Хох параметричното пространство са използвани, за да се определят по числен път вероятностните характеристики на Хох откривател с осредняващ ПЧЛТ процесор, показани на фигури 3.3 и 3.4. Резултатите са получени за две стойности на вероятността за поява на импулсни смущения, $e_0 = 0$ и $e_0 = 0,1$.

На фигура 3.3 са показани вероятностите за правилно откриване при големина на обучаващия прозорец за Хох откривател с осредняващ ПЧЛТ процесор $N = 16$, за вътрешен шум на приемника със средна мощност $\lambda_0 = 1$, за стойност на вероятността за поява на импулсни смущения $e_0 = 0$ и за средна мощност на отношението „смущение/шум“ $INR = 30$ [dB].



Фигура 3.3 Вероятностни характеристики на Хох откривател с осредняващ ПЧЛТ процесор и с фиксиран праг за две стойности на праговата константа

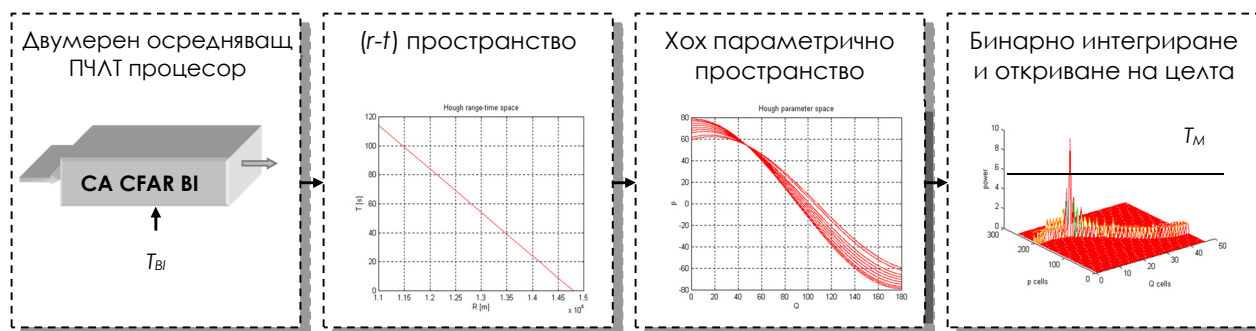
На фигура 3.4 са представени получените резултати за вероятността за правилно откриване при запазване на същите показатели на процеса на откриване, но при стойност на вероятността за поява на импулсните смущения $e_0 = 0.1$. И при двете шумови ситуации е осигурено поддържане на постоянна стойност на вероятността за лъжлива тревога със стойност $P_{FA} = 10^{-4}$.



Фигура 3.4 Вероятностни характеристики на Хох откривател с осредняващ ПЧЛТ процесор и с фиксиран праг за две стойности на праговата константа

3.1.3. ВЕРОЯТНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ДВУМЕРЕН ОСРЕДНЯВАЩ ПЧЛТ ПРОЦЕСОР В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

На фигура 3.5 е представена обобщена структурна схема на адаптивен Хох откривател с двумерен осредняващ ПЧЛТ процесор, осигуряващ поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога в условията на интензивна шумова среда.

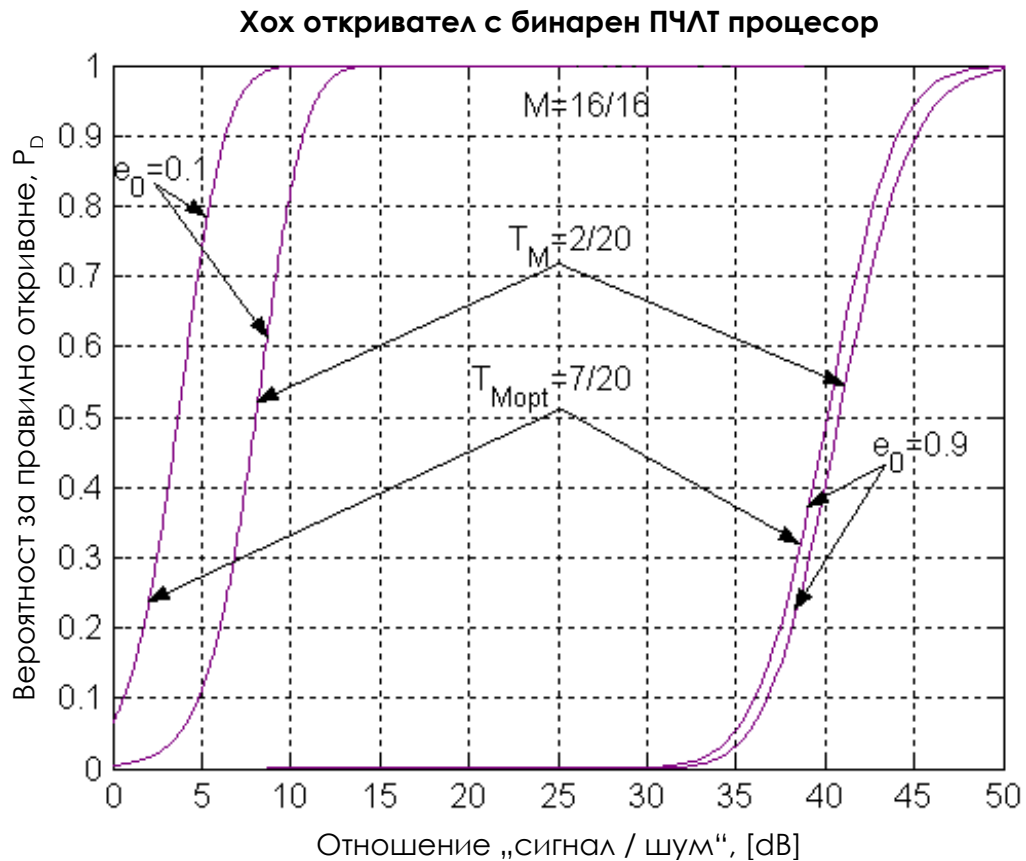


Фигура 3.5 *Обобщена структурна схема на адаптивен Хох откривател с двумерен осредняващ ПЧЛТ процесор*

3.1.4. ЧИСЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА НА ВЕРОЯТНОСТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ДВУМЕРЕН ОСРЕДНЯВАЩ ПЧЛТ ПРОЦЕСОР В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Най-често използваните алгоритми за автоматично откриване на пакети радиолокационни сигнали, отразени от цел, са алгоритмите с бинарно натрупване на входния сигнал [3, 44, 97, 109]. Откриването на радиолокационната цел в откривателя се маркира с единица при наличие на пакет от радиолокационни импулси, в които се съдържа тя. Разгледаните алгоритми за откриване на движещи се цели, които ползват бинарно натрупване на сигналите, са много ефективни при наличието на импулсни смущения в средата на откриване. Откриването на пачка, в която се съдържа целта, се осъществява с използване на логиката M от L , или целта е открита при наличие на M от възможни L на брой импулси. Откриването на единичните импулси, от друга страна, се извършва с помощта на разгледания в предишния параграф едномерен осредняващ ПЧЛТ процесор (CA CFAR). На този, т.нар. първи, етап се извършва адаптация на първия праг на откривателя към нивото на смущението, на втория етап се осъществява натрупване на пакет от откритите импулси и сравнението им с предварително зададен постоянен праг T_{BI} [42].

За разгледания тип Хох откривател с бинарен ПЧЛТ процесор в настоящото изследване е приета оптималната стойност за бинарното решаващо правило в Хох параметричното пространство, $T_M/N_S = 7/20$, предложено в [42, 52]. Аналогично на проведените по-горе изследвания, на фигура 3.6 са представени резултатите, получени и при една конвенционална стойност на това правило, $T_M/N_S = 2/20$.



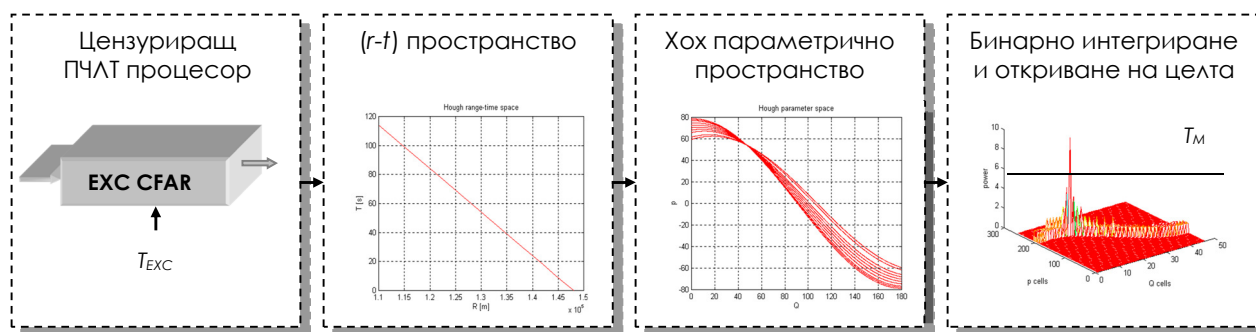
Фигура 3.6 Вероятност за правилно откриване на Хох откривател с бинарен ПЧЛТ процесор, при стойности за $M=10$ и 16 , и при $e_0=0.9$

3.2. ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ЦЕНЗУРИРАЩ СИГНАЛЕН ПРОЦЕСОР, ПОДДЪРЖАЩ ПОСТОЯННА ЧЕСТОТА НА ЛЪЖЛИВА ТРЕВОГА В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

3.2.1. ВЕРОЯТНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ЕДНОМЕРЕН ЦЕНЗУРИРАЩ ПЧЛТ ПРОЦЕСОР В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Вероятностните характеристики на Хох откривател с цензуриращ ПЧЛТ процесор, работещ в условията на биномно разпределени случайно появяващи се импулсни смущения, са публикувани в [8*, 12*, 13*, 28*, 29*, 32*].

На фигура 3.7 е представена обобщена структурна схема на адаптивен Хох откривател с едномерен цензуриращ ПЧЛТ процесор, осигуряващ поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога в условията на интензивна шумова среда.



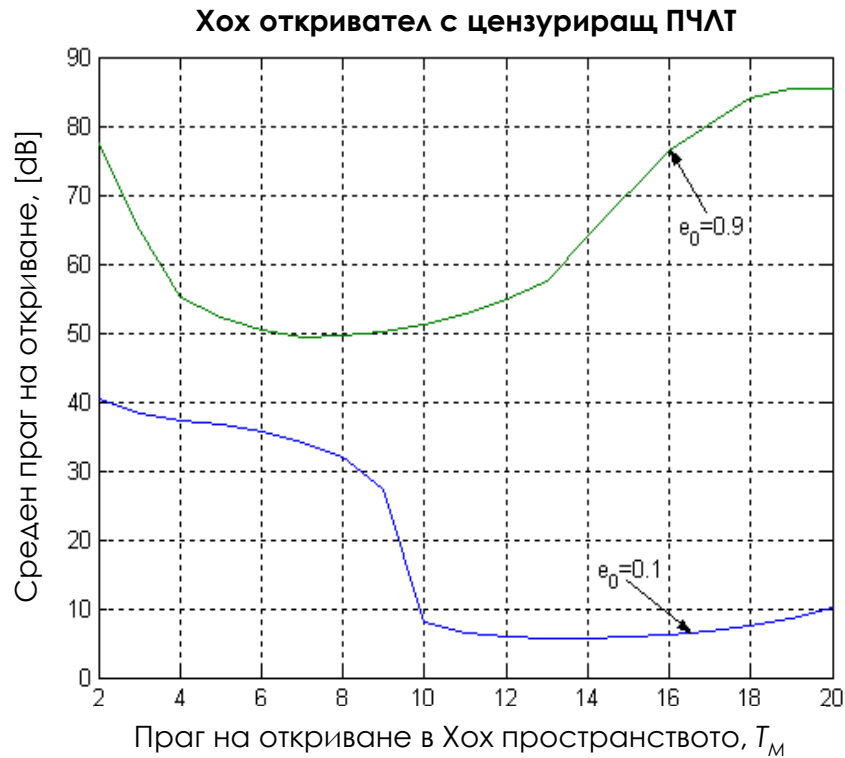
Фигура 3.7 Обобщена структурна схема на адаптивен Хох откривател с едномерен цензуриращ ПЧЛТ процесор

3.2.2. ЧИСЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА НА ВЕРОЯТНОСТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ЕДНОМЕРЕН ЦЕНЗУРИРАЩ ПЧЛТ ПРОЦЕСОР В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

С помощта на числена итерационна процедура е определена стойността на скаларният фактор T_{EXC} , изпълняващ условието за запазване на постоянна честотата на лъжлива тревога.

За да се осигури поддържане на постоянна вероятност за лъжлива тревога, в откривателя при промяна на входните параметри на смущението е необходимо скаларният фактор T_{EXC} да се адаптира към промяната на параметрите на шумовата среда. Стойността на скаларния фактор в цензуриращ ПЧЛТ откривател ($EXC CFAR$), зависи както от параметрите на смущението, така и от големината на цензуриращия праг. Правилният избор на цензуриращ праг в откривателя води до увеличаване на вероятността за правилно откриване. Подробен анализ на избора на стойността на цензуриращия праг е проведен в [44, 97]. Скаларният фактор T_{EXC} на цензуриращия ПЧЛТ процесор се определя от (2.32), така че условието $P_{FA} = const$ да бъде изпълнено.

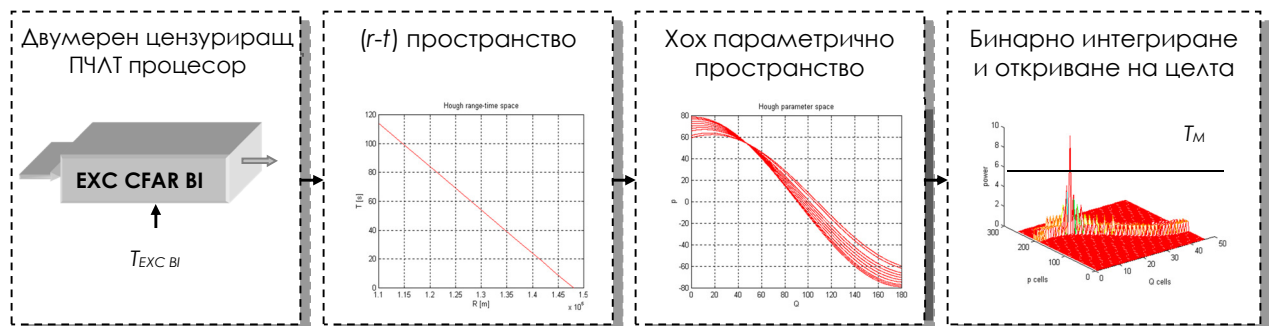
Представените резултати на фигура 3.9 ясно показват влиянието на интензивността на импулсните смущения върху работата на разглеждания тип откривател, както и необходимостта от определяне на оптимална стойност на праговата константа в Хох параметричното пространство, която да „компенсира“ това влияние и да доведе до подобряване на показателите на процеса на откриване.



Фигура 3.9 Вероятност за правилно откриване на Хох откривател с цензуриращ ПЧЛТ процесор, за две стойности на праговата константа в Хох параметричното пространство при $e_0 = 0.9$

3.2.3. ВЕРОЯТНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ДВУМЕРЕН ЦЕНЗУРИРАЩ ПЧЛТ ПРОЦЕСОР В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

На фигура 3.10 е представена обобщена структурна схема на адаптивен Хох откривател с двумерен цензуриращ ПЧЛТ процесор, осигуряващ поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога в условията на интензивна шумова среда.

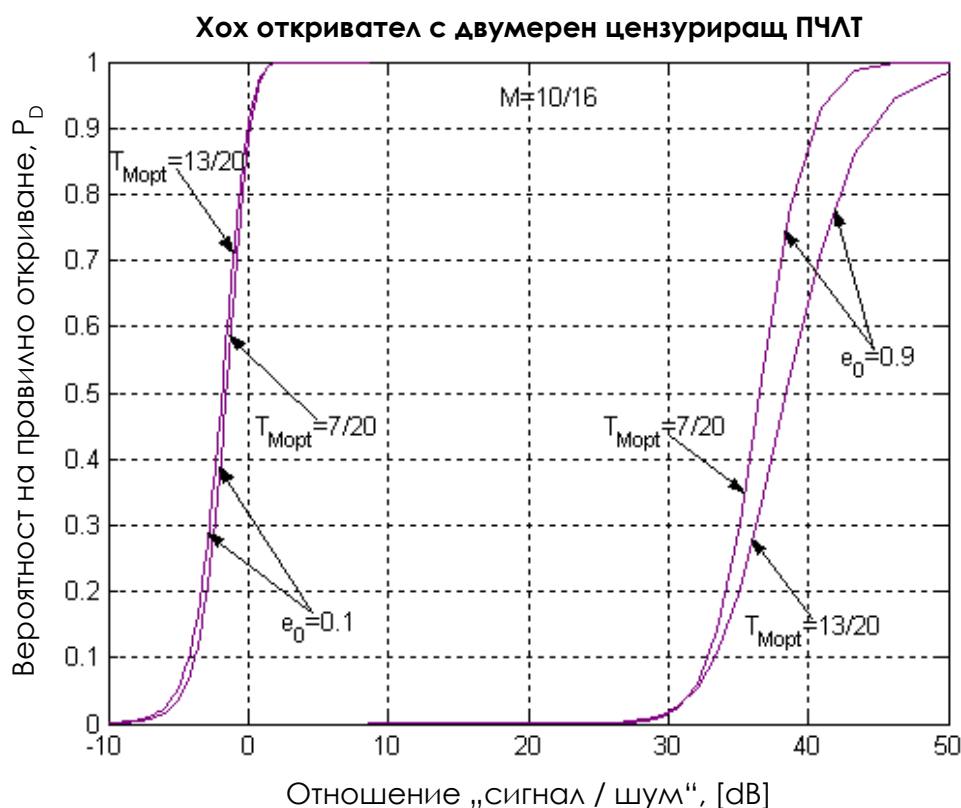


Фигура 3.10 Обобщена структурна схема на адаптивен Хох откривател с двумерен цензуриращ ПЧЛТ процесор

3.2.4. ЧИСЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА НА ВЕРОЯТНОСТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ДВУМЕРЕН ЦЕНЗУРИРАЩ ПЧЛТ ПРОЦЕСОР В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Акцентът на проведеното изследване отново е изборът на стойността на бинарното решаващо правило в Хох параметричното пространство. Позовавайки се на резултатите, получени за Хох откривател с едномерен цензуриращ ПЧЛТ процесор, се оказва удачно да се приемат за оптимални, стойностите $T_M = 7$ и $T_M = 13$. Получените резултати са публикувани в [9*, 13*, 32*, 34*].

На фигура 3.12 са представени получените резултати от проведения статистически анализ на вероятността за правилно откриване на Хох откривател с двумерен цензуриращ ПЧЛТ процесор.



Фигура 3.12 Вероятностни характеристики на Хох откривател с двумерен цензуриращ ПЧЛТ процесор и с фиксиран праг, за стойност на $M = 16$ и при вероятност за поява на импулсните смущения $e_0 = 0.1$

Експерименталните изследвания са проведени при стойност на бинарното решаващо правило за цензуриращия ПЧЛТ процесор $M = 10$ и при двете крайни за разглеждания поток от импулсни смущения стойности на вероятността за появата им $e_0 = 0.1$ и $e_0 = 0.9$. Резултатите са получени за двете оптимални стойности на

праговата константа в Хох параметричното пространство $T_M = 7$ и $T_M = 13$.

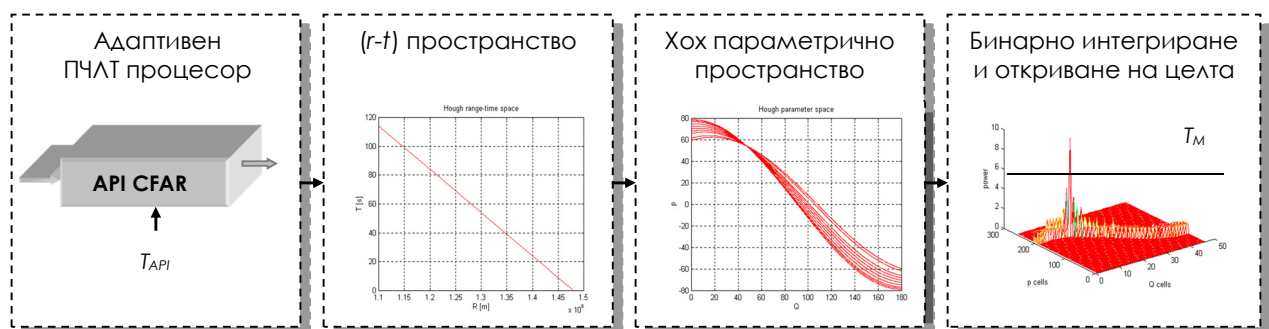
Интерес представлява поведението на Хох откривателя при промяна на бинарното правило $M/L = 16/16$ в цензуриращия ПЧЛТ процесор с бинарно натрупване. На фигура 3.12 са показани получените вероятности за правилно откриване на разглеждания тип Хох откривател, при една оптимална стойност на бинарното решаващо правило $T_M/N_S = 7/20$ и при една конвенционална стойност $T_M/N_S = 2/20$, вероятността за поява на импулсните смущения е $e_0 = 0.1$.

За да бъде проведенят симулационен анализ по-изчерпателен, на фигурата са представени и получените резултати от анализа на Хох откривател с фиксиран праг при същите условия на експеримента. Представените резултати ясно очертават предимствата от използването на цензуриращи техники в процеса на откриване на движеща се цел.

3.3. ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ДВУМЕРЕН АДАПТИВЕН ПЧЛТ ПРОЦЕСОР С НЕКОХЕРЕНТНО НАТРУПВАНЕ, ПОДДЪРЖАЩ ПОСТОЯННА ЧЕСТОТА НА ЛЪЖЛИВА ТРЕВОГА В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

3.3.1. ВЕРОЯТНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ДВУМЕРЕН АДАПТИВЕН ПЧЛТ ПРОЦЕСОР С НЕКОХЕРЕНТНО НАТРУПВАНЕ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

На фигура 3.13 е представена обобщена структурна схема на Хох откривател с двумерен адаптивен ПЧЛТ процесор с некохерентно натрупване, осигуряващ поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога в условията на интензивна шумова среда.

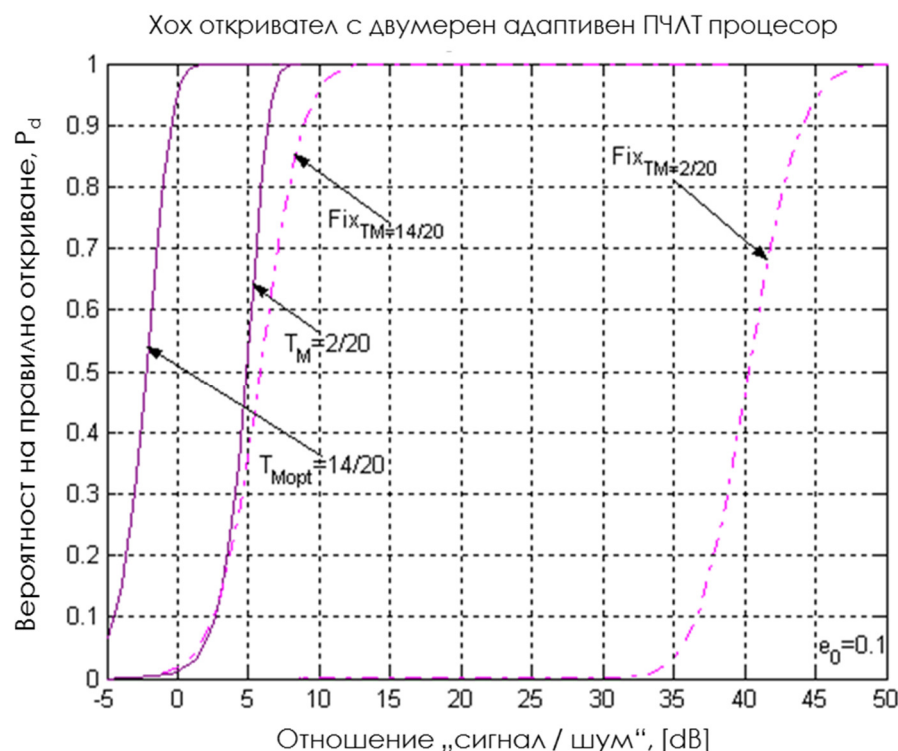


Фигура 3.13 Обобщена структурна схема на Хох откривател с двумерен адаптивен ПЧЛТ процесор с некохерентно натрупване

3.3.2. ЧИСЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА НА ВЕРОЯТНОСТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ХОХ ОТКРИВАТЕЛ С ДВУМЕРЕН АДАПТИВЕН ПЧЛТ ПРОЦЕСОР С НЕКОХЕРЕНТНО НАТРУПВАНЕ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Действието на цензуриращата процедура от алгоритъма на адаптивния ПЧЛТ откривател, работещ в условията на интензивни импулсни смущения, е подробно изследвано в [9*, 12*, 14*, 29*, 32*, 34*, 36*].

На фигура 3.17 са представени получените резултати от проведения статистически анализ на вероятността за правилно откриване на Хох откривател с двумерен адаптивен ПЧЛТ процесор. Резултатите са получени за двете оптимални стойности на праговата константа в Хох параметричното пространство, $T_M = 2$ и $T_M = 14$. И при двете шумови ситуации е осигурено поддържане на постоянна стойност на вероятността за лъжлива тревога $P_{FA} = 10^{-4}$.

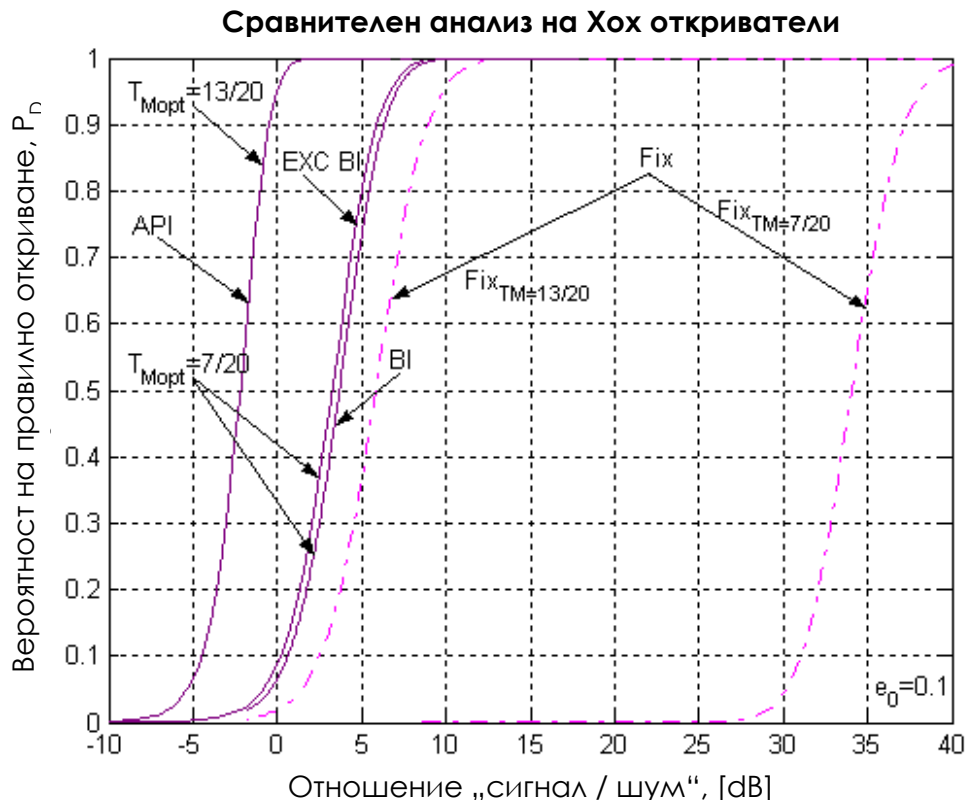


Фигура 3.17 Вероятностни характеристики на Хох откривател с двумерен адаптивен ПЧЛТ процесор и с фиксиран праг за две стойности на праговата константа в Хох параметричното пространство, при $e_0 = 0.1$

Представените от проведения анализ резултати показват близки стойности на средния праг на откриване при промяна на интензивността на импулсните смущения. Това означава, че разгледаният нов Хох откривател с двумерен адаптивен ПЧЛТ процесор с некохерентно натрупване гарантира устойчивост на процеса на откриване в интензивна шумова среда, което от своя страна потвърждава хипотезата, че използването на цензуриращи техники в процеса на откриване подобрява показателите му.

3.4. ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА РАЗГЛЕДАНИТЕ ТИПОВЕ ОТКРИВАТЕЛИ, РАБОТЕЩИ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Определените за оптимални стойности на праговите константи за различните видове Хох откриватели са използвани при получаването на вероятностните характеристики, показани отново с цел сравнителен анализ на фигура 3.20.



Фигура 3.20 Вероятностни характеристики на Хох откривател с двумерни ПЧЛТ процесори и с фиксиран праг за стойност на $M = 16$ и при вероятност за поява на импулсните смущения $e_0 = 0.1$

Получените резултати са публикувани в [7*, 8*, 9*, 11*, 32*, 36*]. Те показват, че наличието на импулсни смущения, както в обучаващия прозорец, така и в тестваната извадка влошава работата на откривателите. Премахването на влиянието на тези смущения е възможно, ако те не участват при формирането на нивото на шума и оценката на сигнала.

Както се вижда от показаните на фигурите резултати, по-удачно се оказва да се използват Хох откриватели, работещи с оптималните стойности на бинарните решаващи правила в Хох параметричното пространство. При тях печалбите, изразени с отношението „сигнал/шум“ са по-големи, в сравнение с Хох откривателя с фиксиран праг. Възможността за поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога е гарантирана при Хох откривателите с двумерни ПЧЛТ процесори. Това е един съществен аргумент в полза на прилагането на този тип Хох откриватели в средата на интензивно действащи импулсни смущения с променлив интензитет.

3.5. ИЗВОДИ ПО ТРЕТА ГЛАВА

1. Доразвита е задачата за съвместно откриване и оценяване на параметрите на движеща се цел с прилагане на Хох трансформация, използваща данни за единични или пакети отразени сигнали от радиолокационни цели, в условията на случайно появяващи се импулсни смущения.

2. Синтезирани са различни нови структури на Хох откриватели, съвместно работещи с едномерни и двумерни откриватели, осигуряващи поддържане на постоянна вероятност за лъжлива тревога, в условията на интензивни импулсни смущения. С помощта на метода за числено експериментиране са изследвани вероятностните характеристики на получените структури, в условията на случайно появяващи се импулсни смущения с Поасонов и биномен закон за поява и Релеевска флуктуация на амплитудите.

3. Изследвана е чувствителността на вероятностните характеристики на Хох откривател на траектории, работещ в условията на интензивен биномен поток от случайно появяващи се импулсни смущения, спрямо промяната на параметрите на смущението, при използването на осредняващ ПЧЛТ процесор с последващо

бинарно натрупване в тествания прозорец. Показано е, че използването на двумерен бинарен ПЧЛТ процесор, повишава съществено качеството на откриване.

4. Изследвана е ефективността на Хох откривател на траектории с бинарен ПЧЛТ процесор с цензурираща процедура в обучаващия прозорец. Потвърдена е предложената хипотезата в дисертационния труд, че използването на цензуриращи техники повишава ефективността на разгледаните откриватели с около 5 [dB], в условията на интензивен биномен поток от случайно появяващи се импулсни смущения.

5. Изследвана е зависимостта на вероятностните характеристики на Хох откривател на траектории с двумерен адаптивен ПЧЛТ процесор с некохерентно натрупване, извършващ цензуриране на обучаващия и на тествания прозорец, спрямо промяната на вероятността за поява на импулсните смущения. Доказано е, че тази структура е с най-висока ефективност за случая на Поасонов поток от случайно появяващи се импулсни смущения.

6. Проведен е сравнителен анализ на действието на различните структури на Хох откриватели на траектории и сигнали, които използват едномерни и двумерни ПЧЛТ процесори в алгоритъма си за откриване. Предложен е, като най-ефективен, за работа в средата на интензивни случайно появяващи се импулсни смущения, с Поасоново разпределение на честотата за поява, да бъде използван Хох откривател с двумерен адаптивен ПЧЛТ процесор с некохерентно натрупване. С висока вероятност се предполага, че той ще е най-ефективен и в условията на биномен поток от случайно появяващи се импулсни смущения.

ЧЕТВЪРТА ГЛАВА: ОТКРИВАТЕЛИ ОЦЕНЯВАЩИ ПАРАМЕТРИТЕ НА ДВИЖЕЩИ СЕ ЦЕЛИ, ПОЛЗВАЩИ МАТЕМАТИЧЕСКА ТРАНСФОРМАЦИЯ НА СИГНАЛИТЕ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

4.1. ХОХ ОТКРИВАТЕЛ, ПОДДЪРЖАЩ ПОСТОЯННА ЧЕСТОТА НА ЛЪЖЛИВА ТРЕВОГА – ОЦЕНИТЕЛ НА СКОРОСТТА НА ДВИЖЕЩА СЕ ЦЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

В този параграф от дисертационния труд се дефинира нов двуетапен алгоритъм за едновременно откриване на движеща се цел и определяне на скоростта ѝ, представен в статии [16*, 17*]. На първия етап целта се открива с помощта на Хох откривател, а на втория етап се определя радиалната скорост на целта в Хох параметричното пространство.

На фигура 4.1 са показани няколко информационни точки, които образуват линия в $(r-t)$ пространството. Линията може да бъде еднозначно дефинирана с помощта на два параметъра:

- θ – ъгълът между перпендикуляра от началото на координатната система на $(r-t)$ пространството до правата линия и оста на абсцисата;
- ρ – дължина на перпендикуляра, т.е. разстоянието от началото на координатната система на $(r-t)$ пространството до линията.

Преобразуването на Хох трансформира точките от $(r-t)$ информационното пространство в криви, в т.нар. $(\rho-\theta)$ пространство или още известно като Хох параметрично пространство. В тригонометрична форма имаме следния запис на Хох трансформацията:

$$\rho = \sqrt{r^2 + t^2} \sin\left(\theta + \arctg \frac{r}{t}\right), \quad (4.1)$$

където r и t са координатите в $(r-t)$ пространството.

Наклонът на траекторията, представена на фигура 4.1, определя еднозначно радиалната скорост на целта:

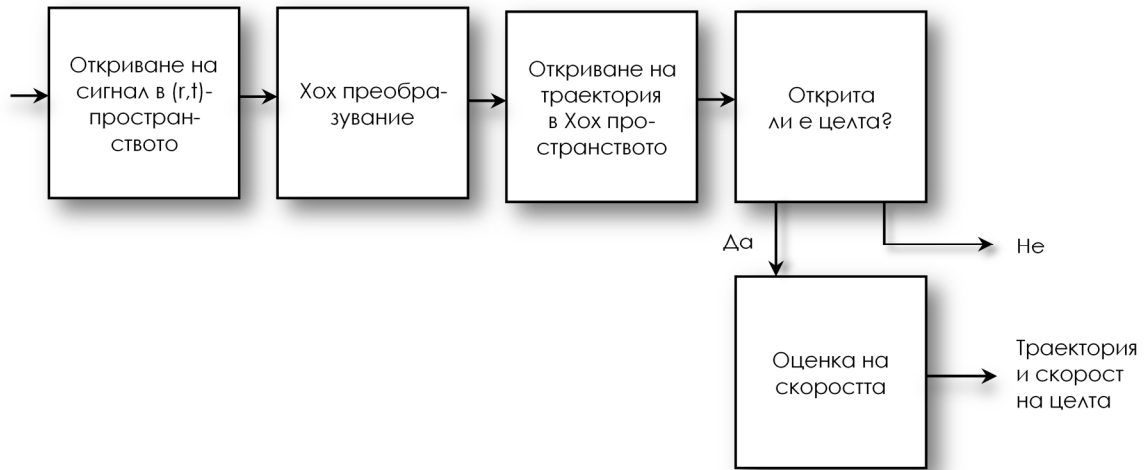
$$V = \frac{(j_2 - j_1) \delta R}{(i_2 - i_1) t_{sc}} = tg \theta \frac{\delta R}{t_{sc}}, \quad (4.2)$$

където $(i_1 \cdot \delta R, j_1 \cdot t_{sc})$ и $(i_2 \cdot \delta R, j_2 \cdot t_{sc})$ са координатите на две точки в $(r-t)$ пространството, които принадлежат на траекторията на целта, δR е клетката на разрешението по разстояние и t_{sc} е периодът на сканиране.

В съответствие с изрази (4.1) и (4.2), структурата на Хох откривател/оценител е представена на фигура 4.3.

Използвайки равенството (4.2), оценката на радиална скорост на целта може да бъде определена аналитично с изрази:

$$\hat{V} = \frac{\delta R}{t_{sc}} tg \hat{\theta}. \quad (4.3)$$



Фигура 4.3 Структурна схема на Хох откривател/оценител

4.2. АЛГОРИТЪМ ЗА ЕДНОВРЕМЕННО ОТКРИВАНЕ НА ДВИЖЕЩА СЕ ЦЕЛ И ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СКОРОСТТА Ў, ПОЛЗВАЩ ХОХ ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ПРИЕТИТЕ СИГНАЛИ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Ефективността на предлагания двуетапен алгоритъм за едновременно откриване на движеща се цел и определяне на скоростта ѝ може да бъде определена по отношение на два качествени параметъра – вероятност за правилно откриване и точност на оценката на скоростта. За да се определят статистически тези параметри, е разработен следният симулационен алгоритъм за предложени Хох откривател–оценител.

Вероятността за фалшива траектория в $(\rho-\theta)$ пространството се определя като:

$$\hat{P}_{FA} = \frac{1}{KLN_q} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L \{DetHo^q(i, j) / i \neq I, j \neq J\}. \quad (4.12)$$

Вероятността за правилно откриване на траектория в $(\rho-\theta)$ пространството се определя като:

$$\hat{P}_D = \max_{I, J} \sum_{l=1}^{N_q} DetHo^q(i, j). \quad (4.13)$$

На първия етап параметърът θ се дискретизира с по-голяма стъпка, т.е. $\Delta\theta \gg 1^\circ$. Оценката на скоростта $\hat{V}$ на този етап се определя в интервала $\hat{V} \in [V_1, V_2]$. На втория етап параметърът $\theta \in [\theta_1, \theta_2]$ се дискретизира прецизно с много малка

стъпка, т.е. $\Delta\theta \ll 1^\circ$. Диапазонът на изменение на параметъра θ съответства на диапазона на изменение на скоростта на целта $[V_1, V_2]$, определен на предишния етап:

$$\theta_1 = a \tan\left(\frac{V_1 \cdot t_{sc}}{\delta R}\right), \quad \theta_2 = a \tan\left(\frac{V_2 \cdot t_{sc}}{\delta R}\right). \quad (4.16)$$

На втория етап от оценката на скоростта на движение на целта се извършва прецизно оценяване на скоростта и стъпката на дискретизация $\Delta\theta$, която трябва да бъде избрана така, че да удовлетворява изискванията за точност на оценката.

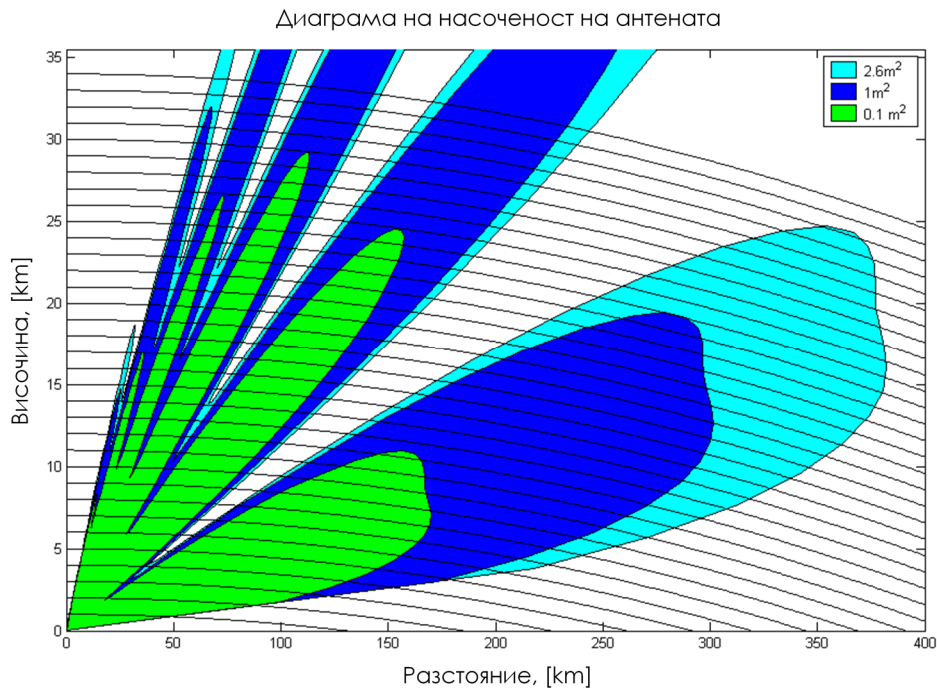
В заключение може да се каже, че в този параграф е представен нов алгоритъм за едновременно откриване на праволинейна траектория на движеща се цел и определяне на скоростта ѝ за един азимут. Проведен е Монте Карло симулационен анализ за проверка на предложения алгоритъм. Получените от анализа резултати показват силна зависимост на качествените показатели на процеса на откриване и оценяване с параметрите, както на $(r-t)$ пространството, така и на Хох параметричното пространство. Показано е, че оптималната дискретизация и на двете пространства е необходимо условие за постигане на добри резултати за вероятностните оценки и за точността на определяне на реалната скорост на движение на целта в интензивна шумова среда.

4.3. КОНВЕНЦИОНАЛЕН ОЦЕНИТЕЛ И ХОХ ОЦЕНИТЕЛ НА СКОРОСТТА НА ДВИЖЕЩА СЕ ЦЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

В статии [21*, 30*, 33*] са представени получените резултати при прилагането на две техники за оценка на скоростта на движеща се цел – с Доплеров оценител и с оценител, прилагащ Хох трансформация на приетите сигнали от целта. Получените сравнителни резултати чрез проведения Монте Карло симулационен анализ на двата оценителя показват, че определените скоростни оценки от тях са с еднаква точност. Показано е, че при оценката на радиална скорост на цел, движеща се със 100 [m/s], която е определена от 128-канален Доплеров оценител, се постига същата грешка ($\delta\hat{V} = 0.7\%$), както и при определянето на скоростта с използването на Хох откривател/оценител с пространствена двуградусова дискретизация. Установено е, че прилагането на Хох откривателя има известно предимство при

определянето на високи скорости на движение на целите в интензивен поток от случайно появяващи се импулсни смущения.

На фигура 4.11 е представена диаграмата на насоченост на използваната в проведените експерименти антена за три вида цели и с различни сечения: $0.1 \text{ [m}^2\text{]}$, $1 \text{ [m}^2\text{]}$, $2.6 \text{ [m}^2\text{]}$. От фигурата се вижда, че максималното разстояние, на което могат да бъдат открити и трите цели, е 400 [km] .



Фигура 4.11 Диаграма на насоченост на антената

4.3.1. ДОПЛЕРОВ ОЦЕНИТЕЛ НА СКОРОСТТА НА ДВИЖЕЩА СЕ ЦЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Принципната структурна схема на Доплеровия оценител е показана на фигура 4.12:



Фигура 4.12 Структурна схема на Доплеров откривател/оценител

Входният радиочестотен сигнал се демодулира до нулева централна честота преди да постъпи в модула за импулсна компресия и да бъде подложен на Доплерова филтрация. Тази последователност се налага от необходимостта за намаляване на изчислителната тежест, породена от количеството информация, което трябва да бъде съхранено за последваща обработка. Модулираният сигнал е в комплексна форма.

След компресията на импулсите, комплексната амплитуда на всички получени от целта импулси се подлага на Доплерова филтрация, с цел определяне на скоростта на целта. Изходящият максимален пик се сравнява с праговата стойност на откривателя, поддържащ постоянна честота на лъжлива тревога. Ако се надхвърли този праг, радиалната скорост на целта се определя посредством израза:

$$V_{targ} = \frac{\lambda F_{PRF}}{2N_{FFT}} n, \text{ като } F_{PRF} < \frac{c}{2R_{max}}, \quad (4.17)$$

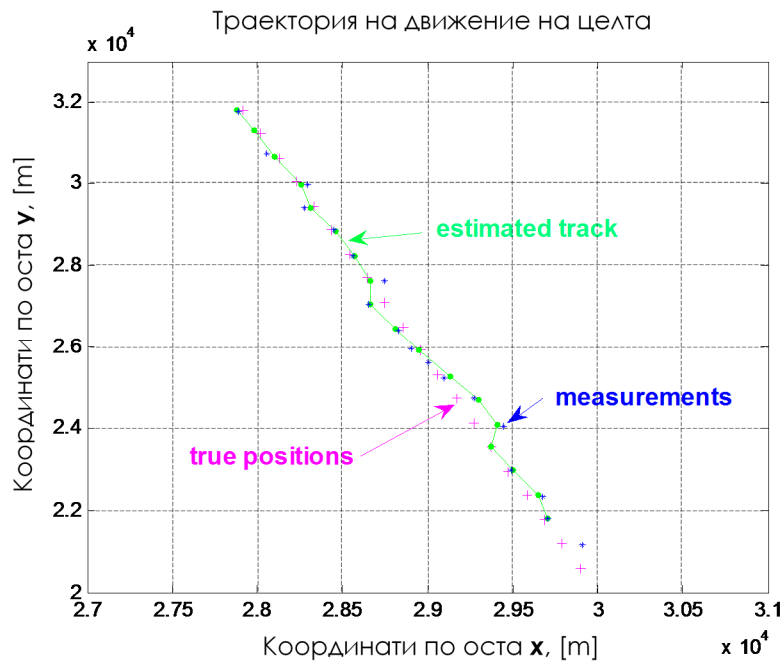
където F_{PRF} е честотата на повторение, λ е дължината на вълната, c е скоростта на светлината, R_{max} е максималното разстояние, N_{FFT} е размерността на Фурие преобразуването, n е броят на каналите, в които е надхвърлен първичния праг на откриване.

4.3.2. ЧИСЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ, ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА НА КОНВЕНЦИОНАЛЕН ОЦЕНИТЕЛ И ХОХ ОЦЕНИТЕЛ НА СКОРОСТТА НА ДВИЖЕЩА СЕ ЦЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Получените резултати показват, че повишаването на броя на каналите при Доплеровия оценител ($N_{FFT} > 256$) не води до повишаване на точността, защото в този случай вероятността за правилно откриване рязко спада. Също така е видно, че намаляването на стъпката на дискретизация в Хох параметричното пространство ($\Delta\theta < 1^\circ$) не води до повишаване на точността. Затова се налага да бъде извършван прецизен избор на параметъра $\Delta\theta$, така че да се гарантира необходимата точност в оценката на скоростта на движещата се цел. Видно е, че за дадени параметри на радарната система, Хох откривателят/оценител има някои предимства спрямо Доплеровия оценител, защото позволява оценка на скорости извън диапазона на оценка на Доплеровия оценител (200 [m/s]).

4.4. ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА РАЗГЛЕДАНИТЕ ТИПОВЕ ОЦЕНИТЕЛИ РАБОТЕЩИ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

Грешките от измерване са моделирани като Гаусови разпределени случайни величини с нулеви средни и стандартни отклонения по разстояние $\sigma_r = 100$ [m] и по азимут $\sigma_\beta = 0.15^\circ$. Избрана е стойност за дискретизацията параметър на Хох параметричното пространство $\Delta\theta = 1^\circ$. Интервалът на дискретизация на другия параметър от Хох пространството $\Delta\rho$ е променлив в зависимост от разстоянието на радара до целта. Симулацията на траекторията на наблюдаваната цел е представена на фигура 4.19, за скорост на движение на целта от 100 [m/s].



Фигура 4.19 *Резултати от симулационния анализ на траекторията на наблюдаваната цел*

Представеното изследване в този параграф обогатява съществуващите техники за оценка на скоростта на движеща се цел и позволява успешното прилагане на математическата Хох трансформация на отразените от целта сигнали в алгоритмите за откриване и оценяване на параметрите на целта, в условията на интензивна шумова среда.

4.5. ИНТЕРКРИТЕРИАЛЕН АНАЛИЗ НА ПРАГОВИТЕ КОНСТАНТИ НА РАЗГЛЕДАНИТЕ ТИПОВЕ ОТКРИВАТЕЛИ/ОЦЕНИТЕЛИ РАБОТЕЩИ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

В този параграф са представени резултати от проведения анализ чрез прилагане на оригинално разработения подход за интеркритериално взимане на решения (ИКВР), известен също като интеркритериален анализ, описанието на който е достъпно от [160]. Идеята му е да се създаде ново математическо средство за решаване на многокритериални оптимизационни задачи.

Праговият анализ на ПЧЛТ откривателите е проведен за три стойности на вероятността за фалшива тревога ($P_{FA} = 10^{-4}, 10^{-6}, 10^{-8}$), за две стойности на размера на обучаващия прозорец ($N = 16, 32$ и $L = 16, 32$), за две стойности на отношението „смущение/шум“ ($INR = 10, 30$ [dB]) и за пет стойности на вероятността за поява на импулсни смущения ($e_0 = 0, 0.01, 0.033, 0.066, 0.1$). Получените резултати са представени в таблица 4.4.

В настоящото изследване са използвани резултатите от проведения подробен анализ на Хох откривател с двумерен цензуриращ ПЧЛТ процесор, които са представени в статии [9*, 13*]. Поведението му е изследвано при различни стойности на праговите константи за различни вероятности за поява на импулсните смущения в Хох параметричното пространство. Експерименталните резултати са получени при следните входни параметри: средна мощност на смущението $\lambda_0 = 1$; средна стойност на отношението „смущение/шум“ $INR = 30$ [dB]; вероятност за поява на импулсни смущения в клетките на разрешение по разстояние от 0.1 до 0.9; обем на обучаващата извадка $N = 16$; обем на тестващата извадка $L = 16$; стойност на вероятността за фалшива тревога $P_{FA} = 10^{-4}$; праг на цензуриращата процедура $B_E = 2$; брой на сканиранията $N_s = 20$; оптимална стойност на прага в Хох параметричното пространство $T_M = 7, T_M = 13$ и бинарно решаващо правило $M/L = 10/16, M/L = 16/16$. В таблица 4.5 са представени получените резултати от проведения анализ за средния праг на откриване (*Adaptive Detection Threshold – ADT*) на Хох откривателя с двумерен цензуриращ ПЧЛТ процесор за две стойности на прага в Хох параметричното пространство.

	T_{EXCBI} $T_{M_{opt}} = 7 / 20$ $M/L=10/16$	ADT ₁	T_{EXCBI} $T_{M_{opt}} = 7 / 20$ $/L=16/16$	ADT ₂	T_{EXCBI} $T_{M_{opt}} = 13 / 20$ $/L=10/16$	ADT ₃	T_{EXCBI} $T_{M_{opt}} = 13 / 20$ $/L=16/16$	ADT ₄
T_{EXCBI} $T_{M_{opt}} = 7 / 20$ $M/L=10/16$	1.0000	0.9722	0.9722	0.9722	1.0000	0.9722	0.9167	0.9722
ADT ₁	0.9722	1.0000	0.9722	1.0000	0.9722	1.0000	0.9167	1.0000
T_{EXCBI} $T_{M_{opt}} = 7 / 20$ $M/L=16/16$	0.9722	0.9722	1.0000	0.9722	0.9722	0.9722	0.9444	0.9722
ADT ₂	0.9722	1.0000	0.9722	1.0000	0.9722	1.0000	0.9167	1.0000
T_{EXCBI} $T_{M_{opt}} = 13 / 20$ $M/L=10/16$	1.0000	0.9722	0.9722	0.9722	1.0000	0.9722	0.9167	0.9722
ADT ₃	0.9722	1.0000	0.9722	1.0000	0.9722	1.0000	0.9167	1.0000
T_{EXCBI} $T_{M_{opt}} = 13 / 20$ $M/L=16/16$	0.9167	0.9167	0.9444	0.9167	0.9167	0.9167	1.0000	0.9167
ADT ₄	0.9722	1.0000	0.9722	1.0000	0.9722	1.0000	0.9167	1.0000

Таблица 4.5 Резултати от анализа на средните прагове на откриване

Получените резултати показват ясно изразена зависимост между обема на тестваната извадка, прага на откриване и вероятността за поява на импулсните смущения. Този резултат потвърждава хипотезата, че прилагането на цензуриращи техники в алгоритъма за откриване повишава ефективността на процеса на откриване в интензивна шумова среда.

Резултатите получени от проведения интеркритериален анализ потвърждават известната максима, че ПЧЛТ откривателят се доближава по ефективност до оптималния откривател на Neyman–Pearson, когато обемът на обучаващата извадка е достатъчно голям [35*].

4.6. ИЗВОДИ ПО ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

1. Представен е подход за оценка на скоростта на движеща се цел в условията на интензивно действащи импулсни смущения. Показано е, че прилагането на математическа трансформация (Хох трансформация) на приетия от целта сигнал,

подобрява работата на оценителя на скоростта $\dot{y}$. За целите на анализа на предложения подход е проведен Монте Карло симулационен анализ. Получените числени резултати показват строга зависимост от параметрите на дискретизация върху точността на определяне на скоростта на наблюдаваната цел. Показано е също така, че за дискретизацията на двете пространства ($(r-t)$ пространството и Хох параметричното пространство), трябва да бъде използвана оптимизиционна процедура, която да осигури удовлетворяване на изискванията на двата качествени параметъра - вероятността за правилно откриване на траекторията на целта и точността на оценката на скоростта на целта.

2. Проведен е анализ на получените резултати от два метода за оценка на скоростта на движеща се цел – Доплеров оценител и Хох оценител на скоростта, показват близки резултати за оценката на точността им. Отново се налага извода за прецизност при избора на параметъра N_{FFT} , за Доплеровия оценител и на параметъра $\Delta\theta$, за Хох оценител на скорост, с цел постигане на желаната точност при определяне на оценката на скоростта на наблюдаваната цел. Отчетено е известно предимство при работата на Хох откривателя/оценителя за цели, които се движат със по-висока скорост, попадаща извън разрешението по скорост на радарната система.

3. Предложена е структура на двуетапен алгоритъм, с цел да се намали изчислителната тежест при реализацията на Хох откривателя/оценителя. На първия етап се извършва груба дискретизация на параметричното пространство, а на втория се прави прецизна дискретизация. Получените резултати показват подобряване на показателите за точност на предложения подход.

4. Представена е концепция за съвместно използване на Калманова филтрация и Хох трансформация, при оценка на скоростта на движеща се цел. Така предложението се основава на съвременната концепция - *Track-Before-Detect*, при която се извършва едновременно откриване на целта и на траекторията $\dot{y}$. Разглежда се възможността да бъде оценена и скоростта на целта. Получените резултати показват, че така предложението има редица предимства пред използваните традиционни подходи и може успешно да бъде прилаган в съвременните радарни и комуникационни системи.

5. Приложен е Интеркритериален анализ за определяне на важността на критериите, при избора на праговите константи на различни типове Хох

откриватели/оценители, работещи в условията на интензивна шумова среда. Получените резултати показват ясно изразена зависимост между обема на тестващата извадка, прага на откриване и вероятността за поява на импулсните смущения. Този резултат потвърждава хипотезата, че прилагането на цензуриращи техники в алгоритъма за откриване повишава ефективността на процеса на откриване в интензивна шумова среда. Резултатите получени от проведения Интеркритериален анализ потвърждават известната максима, че ПЧЛТ откривателя се доближава по ефективност до оптималния откривател на Neyman-Pearson, когато обема на обучаващата извадка е достатъчно голям.

ПЕТА ГЛАВА: ОТКРИВАНЕ И ОЦЕНЯВАНЕ НА КООРДИНАТИТЕ НА ЦЕЛИ В МРЕЖА ОТ РАДИОЛОКАЦИОННИ СЕНЗОРИ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

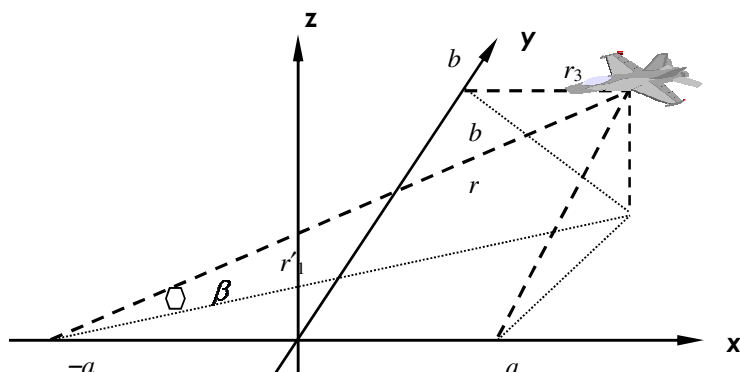
5.1. КОНВЕНЦИОНАЛНИ МУЛТИСЕНЗОРНИ ПОДХОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КООРДИНАТИТЕ НА ДВИЖЕЩА СЕ ЦЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

В този параграф за целите на анализа са сравнени два конвенционални мултисензорни подхода за определяне на височината на движеща се цел. Първият подход използва класически тримерен метод, описан от Caspers в [53]. При него височината се определя с помощта на три независими измервания на височината на целта. Вторият подход е интерферентен на многолъчево разпространение, описан от Chen [54]. Сравнителният анализ е проведен при еднакви условия на експеримента и със средствата на Монте Карло симулационния анализ.

Работната хипотеза се основава на твърдението, че ако използваме три антени (или триканална моноимпулсна система, Chen), разположени в една равнина, то би могло да се извърши сравнение на двата метода, както се отчетат и грешките породени от релефа на терена.

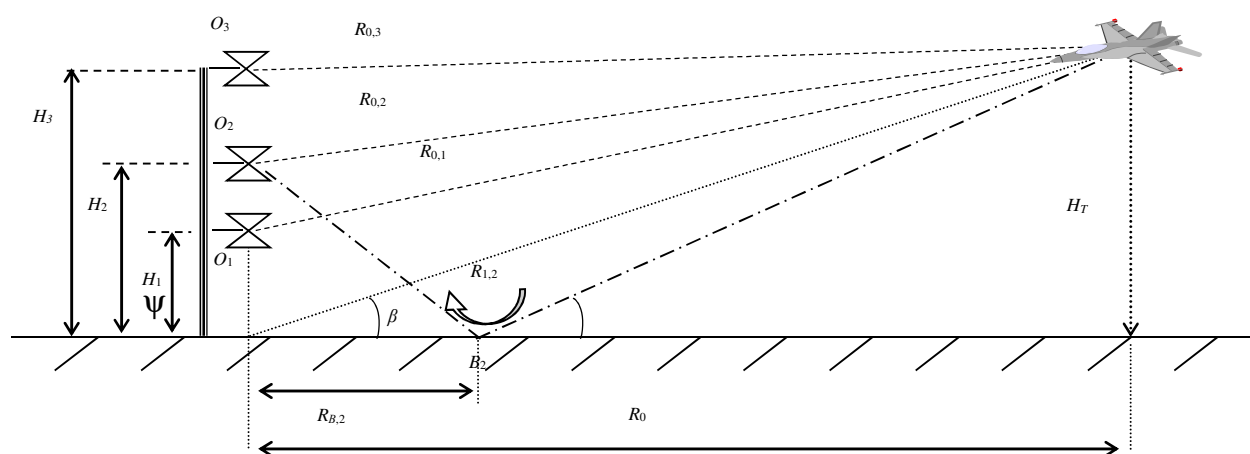
Моделирани са алгоритми за съвместно откриване и измерване на параметрите на целта в комуникационни и радиолокационни мрежи [19*, 22*, 23*, 24*, 26*, 31*].

На фигура 5.1 е представена графично обобщена трисензорна много-позиционна система, основана на триангулационния (ъглов) метод на Caspers за определяне на пространствените координати на движеща се цел.



Фигура 5.1 Триангулационен метод на Caspers

На фигура 5.2 е представена принципната схема на моноимпулсна радарна система от три антени, разположени една над друга, и наклонена земна повърхност.



Фигура 5.2 Моноимпулсен метод на Chen

Проведен е Монте Карло симулационен анализ за оценка на грешката при тази схема на определяне на височината на целта, посредством следния израз:

$$U_i(\beta) = (G_{i,j}(1, A)) \exp(jG_{i,j}(0, \phi)) \left[\exp\left(-j\frac{4\pi}{\lambda} R_{0,i}\right) + \Gamma \cdot \exp\left(-j\frac{4\pi}{\lambda} R_{1,i}\right) \right] + n_i(t), \quad (5.3)$$

$$i=1,2,3, \quad j=2,3, \quad j>i$$

където $(G_{i,j}(1, A))$ и $\exp(jG_{i,j}(0, \phi))$ са несъответствията между амплитудите и фазите, с независимо Гаусово разпределение, $n_i(t)$ е статистически независим бял Гаусов шум в трите канала.

В модела на симулационната система са използвани следните ограничения: за малките бази $a = 25$ [km], $b = 43.3$ [km], проекция на разстоянието до целта $R_0 = 28.8$ [km]; за средните бази $a = 50$ [km], $b = 86.6$ [km], проекция на разстоянието до целта $R_0 = 57.4$ [km]; за големите бази $a = 75$ [km], $b = 129.9$ [km], проекция на разстоянието до целта $R_0 = 86.6$ [km]. Другите параметри, които са използвани при симулацията, са: брой повторения – 100, стойност отношението „сигнал/шум“ – 22 [dB], средна стойност на грапавината на земната повърхност – 0,2 [m], средна стойност на несъответствието на фази и амплитуди – 4 %.

5.2. ХОХ ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ПРИЕТИТЕ СИГНАЛИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КООРДИНАТИТЕ НА ДВИЖЕЩА СЕ ЦЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

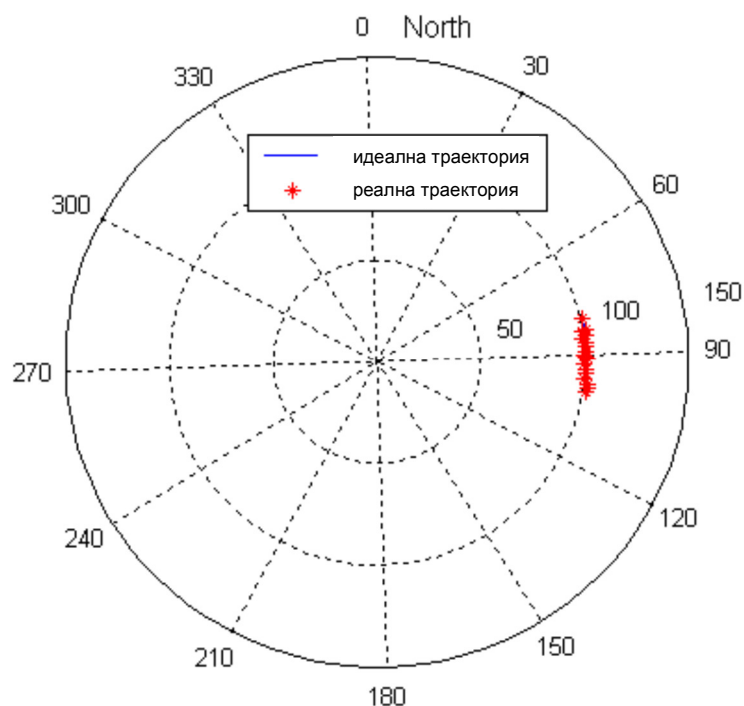
5.2.1. ПОЛЯРНА ХОХ ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ПРИЕТИТЕ СИГНАЛИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КООРДИНАТИТЕ НА ДВИЖЕЩА СЕ ЦЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

В радарните системи координатите на целите се получават в полярни координати (разстояние – r и азимут – a). За да бъде използван Хох откривателят, е необходимо полярните координати на целта да се трансформират в Декартови координати и след това да се приложи Хох преобразуването. Това действие затруднява сигналната обработка и в [10] е предложено да се използва полярна Хох трансформация, при която входните параметри на трансформацията съвпадат с изходните параметри на обзорните радари.

Полярната Хох трансформация се дефинира посредством разстоянието и азимута на целта (r, a):

$$\rho = r \cdot \cos(a - \theta), \quad 0 < (a - \theta) \leq \pi, \quad (5.6)$$

където r и a са полярните координати на целта (разстояние и азимут), като $r \in [0, r_{\max}]$ и $a \in [0, 360^\circ]$, θ е ъгълът, а ρ е най-малкото разстояние до траекторията от началото на координатната система.



Фигура 5.6 Полярна координатна система

При полярната Хох трансформация, всяка точка от $(r_i - a_i)$ пространството се представя като синусоида в $(\rho - \theta)$ пространството. Ако съществува линейна траектория в $(r - a)$ пространството, то тя ще се представи като пресечна точка на синусоиди в Хох параметричното пространство.

5.2.2. СИМУЛАЦИОННИ РЕЗУЛТАТИ ОТ АНАЛИЗА НА ПОЛЯРНА ХОХ ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ПРИЕТИТЕ СИГНАЛИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КООРДИНАТИТЕ НА ДВИЖЕЩА СЕ ЦЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

В практиката на реалните радарни системи е прието, че координатите на движещите се цели (разстояние и азимут) се определят с известна грешка. Наличието на тези грешки, $acc(r_n)$ и $acc(a_n)$, водят до намаляване на точността и влошаване на процеса на откриване в Хох параметричното пространство. Това се дължи на възможността синусоидата, която принадлежи на една линейна траектория, да пресече друга акумулаторна клетка и така да се достигне до намаляване на вероятността за правилно откриване.

В глава 5 се предлага нов алгоритъм за откриване в Хох параметричното пространство, който повишава вероятността за правилно откриване, когато

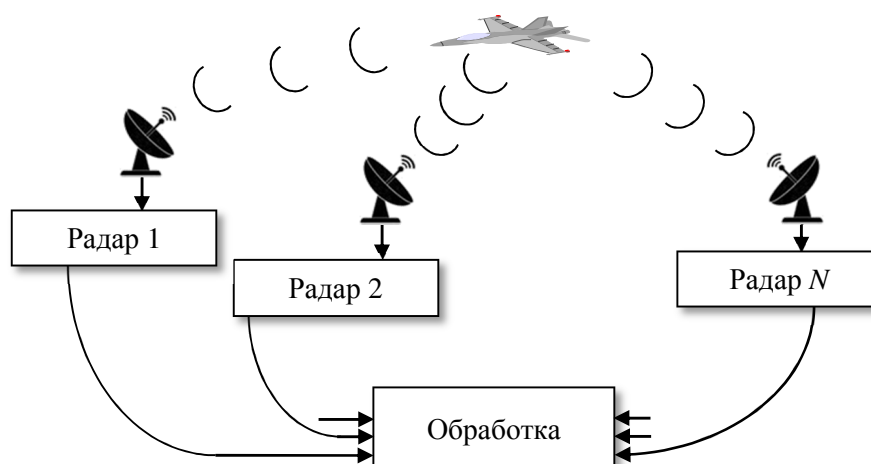
координатите на целта са определени с грешки. Представеният алгоритъм включва формиране на пълзящ прозорец в Хох параметричното пространство и бинарно натрупване на данни в него. Траекторията на целта се открива, когато бъде надхвърлен зададен определен праг на откриване. Така предложеният алгоритъм подобрява действието на Хох откривателя и повишава вероятността за правилно откриване.

В тази точка от дисертационния труд се предлага алгоритъм ползващ Хох трансформация на приетите от целта сигнали, който осигурява повишена вероятност за правилно откриване в случаите, когато параметрите на целта са измерени с грешки.

5.3. МУЛТИСЕНЗОРЕН ПОДХОД ПОЛЗВАЩ ХОХ ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ПРИЕТИТЕ СИГНАЛИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КООРДИНАТИТЕ НА ДВИЖЕЩА СЕ ЦЕЛ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

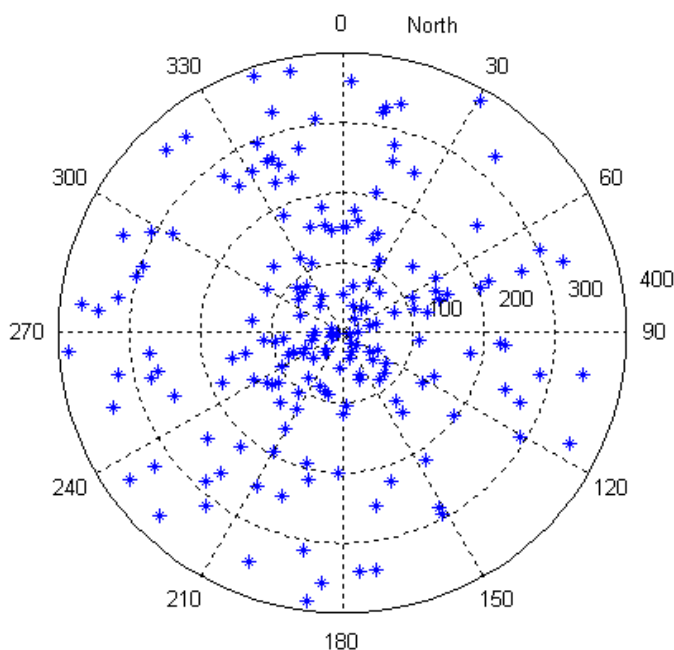
Предложен е нов подход за децентрализирано многосензорно обединение на данни от радарни системи, при който се използва полярна Хох трансформация на приетите сигнали. Системата е с децентрализирана структура. Асоциацията на данните се извършва от различни радари, измерващи параметрите на наблюдаваната цел с различна точност, като обединението им се осъществява в полярно Хох параметрично пространство. Изследвано е влиянието на броя на радарите и прага на Хох пространството спрямо вероятността за лъжлива тревога.

Мрежовите радарни системи подобряват сигналната обработка в процеса на откриване на движещи се цели в условията на импулсни смущения. На фигура 5.14 е представена структурна схема на мрежа от радари, наблюдаващи движението на летяща цел в условията на интензивна шумова среда.



Фигура 5.14 Структурна схема на мрежа от радари

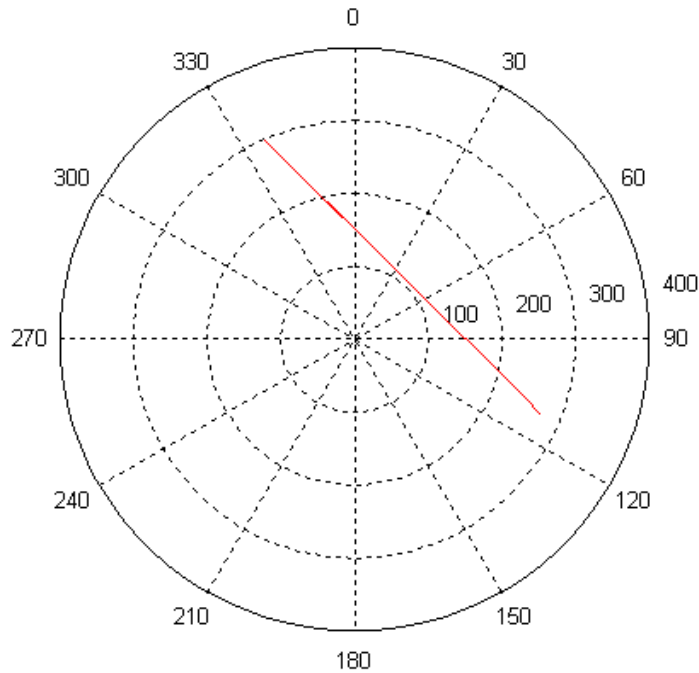
На фигура 5.16 са представени полярните координати от проведеното наблюдение на целта след 20 сканирания. От фигурата е видно, че откриването на траекторията е силно затруднено в условията на наличие на множество фалшиви тревоги.



Фигура 5.16 Наблюдение на целта след 20 сканирания

Синусоидите, получени чрез прилагане на математическата трансформация, се интегрират в Хох параметричното пространство. Ако акумулираните точки в дадена клетка от Хох параметричното пространство надхвърлят предварително определения праг на откриване, то се приема, че целта и нейната траектория са

едновременно открити. На фигура 5.19 е представена възстановената траектория на наблюдаваната цел.



Фигура 5.19 Възстановяване на траекторията на целта

В съответствие с разглежданата полярна Хох трансформация, ако съществува линейна траектория в $(r-a)$ пространството, то тя се дефинира еднозначно от пресечна точка на синусоиди в Хох пространството. Параметрите ρ и θ представят линейна траектория в Хох параметричното пространство. Като се приложи обратна Хох трансформация на данните се определя текущото разстояние до целта.

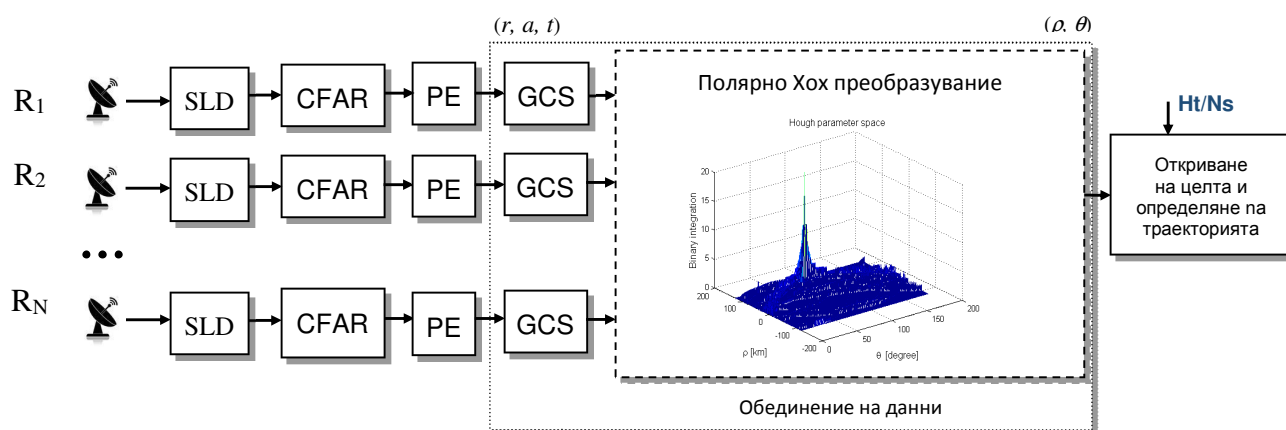
Вероятностните характеристики на многоканална радарна структура с обединяване на данните в Хох параметричното пространство, при използване на бинарен ПЧЛТ откривател (*CFAR BI*), в условията на интензивна шумова среда от случайно появяващи се импулсни смущения са изследвани и публикувани в [24*].

5.4. МУЛТИСЕНЗОРЕН ПОДХОД ПОЛЗВАЩ ХОХ ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ПРИЕТИТЕ СИГНАЛИ ЗА ОБЕДИНЕНИЕ НА ДАННИТЕ В МРЕЖА ОТ РАДАРИ В УСЛОВИЯТА НА ИНТЕНЗИВНА ШУМОВА СРЕДА

В тази точка е разгледано действието на нов алгоритъм за обединение на данните в мрежа от радари, ползващи полярна Хох трансформация. Предложеният алгоритъм е приложен в *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* радарна система.

Изследванията са проведени в условията на интензивна шумова среда от поток от случайно появяващи се импулсни смущения, като координатите на целта (разстояние и азимут) са определени със и без грешки. Анализът е проведен с използването на Монте Карло симулационен анализ.

Структурата на децентрализиран многоканален Хох откривател с обединяване на данните в Хох пространството е показана на фигура 5.22. Така представената топологична структурна схема на алгоритъма включва няколко предавателни и приемни станции. Сигналната обработка във всяка приемна станция включва оптимален линейен филтър, средно квадратичен откривател (*SLD*), ПЧЛТ (*CFAR*) откривател и плотекстрактор (*PE*).



Фигура 5.22 Децентрализиран многоканален откривател с обединяване на данните в Хох пространството

Влиянието на грешката на измерване по разстояние и азимут върху вероятността за правилно откриване при няколко стойности на бинарния праг в Хох параметричното пространство и дискретизацията на Хох параметричното пространство, във функция на вероятността за поява на импулсни смущения, са представени в [31*].

5.5. ИЗВОДИ ПО ПЕТА ГЛАВА

1. Задачата за откриването и оценяването на параметрите на сигнала, отразен от наблюдаваната цел (т.е. оценяването на пространствените координати на целта), е решена при различна статистическа неопределеност на параметрите на сигнала и смущенията, т.е. при различни видове сигнали и смущения.

2. Предложен е алгоритъм за определяне на координатите на движеща се цел в Хох параметричното пространство, който повишава вероятността за правилно откриване, когато координатите на целта са определени с грешки. Представеният алгоритъм включва формиране на пълзящ прозорец в Хох параметричното пространство и бинарно натрупване на данни в него.

3. Предложен е подход за борба със смущенията с различна пространствена ориентация, същността на който е прилагането на подхода за многосензорна радарна обработка в различни видове комуникационни и радарни мрежи. Приложените изследователски методи са статистическите и компютърно симулационните. При провежданите изследвания качеството на получените алгоритми е оценено на базата на статистически оценки (вероятност за правилно откриване, вероятност за лъжлива тревога, среден праг на откриване). Симулационният анализ е използван главно за реализирането на отделни детайли или части от разработваните алгоритми с цел да се оцени качеството им.

4. Изследвани са алгоритми за многосензорна обработка на сигнали и данни ползващи Хох трансформация. Предложен е алгоритъм за обединение на данните в мрежа от радари, ползващи полярна Хох трансформация. Представеният алгоритъм е приложен в Multiple Input Multiple Output (MIMO) радарна система, работеща в условията на интензивна шумова среда от поток на случайно появяващи се импулсни смущения. Получените нови алгоритми за многосензорна обработка на сигнали и данни са изследвани симулационно с помощта на подходите за математическото моделиране, като са използвани предварително разработени математически модели на различните видове сигнали и смущения.

5. Предложен е нов подход за децентрализирано многосензорно обединение на данни от радарни системи, при който се използва полярна Хох трансформация на приетите сигнали. Асоциацията на данните се извършва от различни радари, измерващи параметрите на наблюдаваната цел с различна точност, обединението им се осъществява в полярно Хох параметрично пространство. Изследвано е влиянието на броя на радарите и прага на Хох пространството спрямо вероятността за лъжлива тревога.

III. РЕЗЮМЕ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Дисертационният труд представя получените резултати от анализа на нови структури на откриватели/оценители на движещи се цели, работещи в условията на интензивна шумова среда. Приложението на алгоритми за извличане на информация за поведението на наблюдаваните цели чрез прилагането на математическа трансформация на приетите сигнали и получаването на оценки на параметрите на движещи се цели с изключително голяма точност при много динамична шумова среда е актуален научен проблем. Откриването на движещи се цели и определянето на параметрите им на движение се извършва по данни, получени в различни моменти от време и при неизвестен брой цели. Появата на целите е случаен процес, затова за откриването им е от значение използването на цялата информация, получена до текущия момент (амплитудни и фазови характеристики на сигналите, геометрични размери, координати на целите и други).

Настоящият дисертационен труд е структуриран в пет глави.

В първа глава е направен обзор на известните методи и алгоритми за откриване на движещи се цели, осигуряващи поддържане на постоянна честота на лъжлива тревога (ПЧЛТ) в условията на интензивна шумова среда. Посочени са предимствата и недостатъците на разгледаните методи и алгоритми, работещи в тези условия. Въз основа на направения литературен обзор е обоснована необходимостта от избор на подходяща структура на откривател на радиолокационни сигнали на фона на мощни хаотични импулсни смущения с висока честота на поява. Избрани са инструментариумът за провежданото изследване, математическият модел на наблюдаваната цел и са определени критерии за оценка на ефективността на избраните алгоритми.

Във втора глава се предлага методика за оценка на ефективността на разглежданите сигнални откриватели на база на използването на критерия за ефективност на откривателите – среден праг на откриване. Изследвана е чувствителността на различни структури откриватели – осредняващ едномерен и двумерен откривател, цензуриращ едномерен и двумерен откривател и на адаптивен откривател, спрямо промяната на параметрите на Поасонов и биномен поток от случайно появяващи се импулсни смущения. Определени са загубите на откривателя посредством средния праг на откриване.

В трета глава са изследвани и анализирани вероятностните характеристики на Хох откривател на траектории, работещ в условията на интензивен биномен поток от случайно появяващи се импулсни смущения спрямо промяната на параметрите на смущението при използването на различни видове сигнални процесори (*CA CFAR*, *EXC CFAR*, *BI CFAR*, *EXC CFAR BI*, *API CFAR*). Потвърдена е хипотезата на дисертационния труд, че използването на цензуриращи техники повишава ефективността на разгледаните откриватели в условията на интензивен биномен поток от случайно появяващи се импулсни смущения. Изследвана е зависимостта на вероятностните характеристики на Хох откривател на траектории спрямо промяната на вероятността за поява на импулсните смущения. Проведен е сравнителен анализ на действието на различните структури на Хох откриватели на траектории и сигнали, които използват едномерни и двумерни сигнални процесори в алгоритъма си за откриване. Предложено е, като най-ефективен за работа в средата на интензивни случайно появяващи се импулсни смущения с Поасоново разпределение на честотата за поява, да бъде използван Хох откривател с двумерен адаптивен сигнален процесор с некохерентно натрупване.

В четвърта глава е представен нов подход за оценка на скоростта на движеща се цел в условията на интензивно действащи импулсни смущения. Показано е, че прилагането на математическа Хох трансформация на приетия от целта сигнал, подобрява работата на оценителя на скоростта ѝ. За целите на анализа на предложения подход е проведен Монте Карло симулационен анализ. Получените числени резултати показват строга зависимост от параметрите на дискретизация върху точността на определяне на скоростта на наблюдаваната цел. Показано е също така, че за дискретизацията на двете пространства ($(r-t)$ пространството и Хох параметричното пространство), трябва да бъде използвана оптимизационна процедура, която да осигури удовлетворяване на изискванията на двата качествени параметъра – вероятността за правилно откриване на траекторията на целта и точността на оценката на скоростта на целта.

Пета глава е посветена на решаването на задачата за откриване и оценяване на параметрите на сигнала (т.е. оценяването на пространствените координати), което е една от фундаменталните задачи в радарните и комуникационните системи. Тя е решена при различна статистическа неопределеност на параметрите на сигнала и

смущенията, т.е. при различни видове сигнали и смущения. Един от новите подходи за борба със смущенията с различна пространствена ориентация и същност е прилагането на подхода за многосензорна радарна обработка в различни видове комуникационни и радарни мрежи. Предложен е алгоритъм за определяне на координатите на движеща се цел в Хох параметричното пространство, който повишава вероятността за правилно откриване, когато координатите на целта са определени с грешки. Представеният алгоритъм включва формиране на пълзящ прозорец в Хох параметричното пространство и бинарно натрупване на данни в него. Получените алгоритми за многосензорна обработка на сигнали и данни са изследвани симулационно с помощта на подходите за математическото моделиране, като се използват предварително разработени математически модели на различните видове сигнали и смущения.

В резултат на проведените изследвания представени в настоящия дисертационен труд, са постигнати следните научни, научно-приложни и приложни резултати:

1. Теоретично обобщено е използването на цензуриращи техники в алгоритмите за откриване на движещи се цели.
2. Теоретично обобщено е прилагането на Хох трансформация в процеса на откриване и оценяване на параметрите на движещи се цели.
3. Дефинирана и решена е статистическата задача за откриване на единични и пакети радиолокационни импулси в условията на интензивна шумова среда. Получени са нови резултати за вероятностните характеристики (вероятност на правилно откриване, вероятност на лъжлива тревога) за двумерен адаптивен откривател, осигуряващ поддържане на постоянна вероятност за лъжлива тревога. Получените нови математически зависимости отчитат влиянието на параметрите на смущението върху откриваемостта на целите в откривателя. Полученото решение на задачата с адаптивен праг е близко до оптималното такова за фиксиран праг в условията на интензивна шумова среда.
4. Синтезирани са нови структури на откриватели, ползващи Хох трансформация, съвместно работещи с едномерни и двумерни сигнални процесори. Посредством числено експериментиране са изследвани вероятностните характеристики на новополучените структури в условията на случайно появяващи

се импулсни смущения с Поасонов и биномен закон за поява и Релеевска флуктуация на амплитудите. В следствие на използваната методика са получени нови резултати за вероятностните характеристики, праговите константи, избор на праг в Хох параметричното пространство, при различни параметри на потока. Доразвита е задачата за съвместно откриване и оценяване на параметрите на движеща се цел с прилагане на Хох трансформация. Доказано е значително намаляване на загубите, изразени в отношението „сигнал/шум“, чрез използването на цензуриращи и адаптивни към смущението техники.

5. Представен е нов подход за оценка на скоростта на движеща се цел в условията на интензивна шумова среда. Показано е, че прилагането на математическата Хох трансформация на приетия от целта сигнал, подобрява работата на оценителя на скоростта ѝ. Установена е строга зависимост от параметрите на дискретизация върху точността на определяне на скоростта на наблюдаваната цел. Показано е, че дискретизацията на двете пространства ($(r-t)$ пространството и Хох параметричното пространство) влияе при определяне на вероятността за правилно откриване на траекторията на целта и точността на оценката на скоростта на целта.

6. Синтезирани и изследвани са алгоритми за определяне на координатите на движеща се цел, ползващи многосензорно обединение на данни от радарни системи. Предложен е нов алгоритъм за обединение на данните в мрежа от радари, ползващи полярна Хох трансформация. Показано е, че обединението на данните в Хох параметричното пространство, води до повишаване на вероятността за правилно откриване. Представеният алгоритъм е приложен в *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* радарна система, работеща в условията на интензивна шумова среда. Предложен е подход за децентрализирано обединение на данните от различни радари, измерващи параметрите на наблюдаваната цел с различна точност, при който се използва полярна Хох трансформация.

7. Създаден е пакет от програми за числено експериментиране в средата на MATLAB за аналитично определяне на вероятностните характеристики и средния праг на откриване в условия на интензивна шумова среда.

8. Разработен е пакет от програми за числено експериментиране, в средата на MATLAB за многосензорна обработка на сигнали и данни с помощта на подходите за математическо моделиране.

Получените в дисертацията резултати са приложими за решаването на по-широк кръг задачи в радиолокацията, комуникацията, медицината и други изследователски области, работещи с информация от инфрачервени, ултразвукови и други типове сензори.

Насоки за бъдещи изследвания

Получените нови подходи, методи и алгоритми за откриване и определяне на параметрите на движещи се цели, осигуряващи постоянна честота на лъжлива тревога в условията на интензивен поток от импулсни смущения, имат специфична изчислителна сложност, която не е оценена в проведените анализи. Това би могло да бъде насока за бъдещи изследвания, които ще доведат до обогатяване на изследваната научна област.

IV. ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

(в текста са отбелязани с *)

Глава от книга, издадена в чужбина:

Глава от книга, издадена в чужбина

1. Kabakchiev Chr., V. Behar, B. Vassileva, D. Angelova, K. Alexiev, V. Kyovtorov, I. Garvanov, L. Doukovska, Pl. Daskalov - UXO Signal Multi Sensor Detection and Estimation, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Unexploded Ordnance Detection and Mitigation, Springer, Book Series "NATO Science for Peace and Security Series", Subseries "NATO Science for Peace and Security", Series B: Physics and Biophysics, James Byrnes (Ed.), Approx. 330 p., Hardcover, ISBN 978-1-4020-9251-0, pp. 141-164, 2008.

Статии в списания

2. Behar V., Chr. Kabakchiev, L. Doukovska - Adaptive CA CFAR Integration Processors for Target Detection in Pulse Jamming, Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, vol. 51, №9-10, ISSN 1310-1331, pp. 45-48, 1998.
3. Behar V., Chr. Kabakchiev, L. Doukovska - Adaptive CA CFAR Processor for Radar Target Detection in Pulse Jamming, Journal of VLSI Signal Processing, vol. 26, №3, ISSN 0922-5773, pp. 383-396, 2000.

4. Behar V., Chr. Kabakchiev, L. Doukovska - Target Trajectory Detection in Monopulse Radar by Hough Transform, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, vol. 53, №8, ISSN 1310-1331, pp. 45-48, 2000.
5. Kabakchiev Chr., L. Doukovska, I. Garvanov - Comparative Analysis of Losses of CA CFAR Processors in Pulse Jamming, *Cybernetics and Information Technologies*, vol. 1, №1, Print ISSN 1311-9702, Online ISSN 1314-4081, pp. 21-35, 2001.
6. Behar V., L. Doukovska, Chr. Kabakchiev - Target Detection and Parameter Estimation using the Hough Transform, *Numerical Methods and Applications – NM&A*, Springer “Lectures Notes and Computer Science”, LNCS 4310, ISSN 0302-9743, pp. 525-532, 2007.
7. Doukovska L. - Hough Detector with Binary Integration Signal Processor, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, vol. 60, №5, ISSN 1310-1331, pp. 525-533, 2007.
8. Doukovska L. - Moving Target Hough Detector in Pulse Jamming, *Cybernetics and Information Technologies*, vol. 7, №1, Print ISSN 1311-9702, Online ISSN 1314-4081, pp. 67-76, 2007.
9. Doukovska L. - Moving Target Hough Detector in Randomly Arriving Impulse Interference, *Cybernetics and Information Technologies*, vol. 7, №3, Print ISSN 1311-9702, Online ISSN 1314-4081, pp. 55-72, 2007.
10. Doukovska L. - Hough Moving Target Detector with Fixed Threshold, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, vol. 61, №11, ISSN 1310-1331, pp. 1459-1466, 2008.
11. Doukovska L., I. Garvanov - Hough Detector Threshold Analysis in Presence of Randomly Arriving Impulse Interference, *Cybernetics and Information Technologies*, vol. 10, №1, Print ISSN 1311-9702, Online ISSN 1314-4081, pp. 37-48, 2010.
12. Doukovska L., D. Angelova - Detection improving techniques for Hough detector in presence of randomly arriving impulse interference, *SPW in Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2010*, Edited by Ryszard S. Romaniuk, Krzysztof S. Kulpa, *Proceedings of SPIE*, Bellingham, WA, USA, vol. 7745, Article CID Number 7745-45, ISSN 0277-786X, ISBN 9780819472358, 2010.

13. Doukovska L. - Detection Censoring Techniques for Hough Radar Detector Analysis, Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, vol. 63, №8, ISSN 1310-1331, pp. 1201-1210, 2010.
14. Doukovska L. - Adaptive Approach to Hough Radar Detector Analysis, Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, vol. 63, №11, ISSN 1310-1331, pp. 1643-1650, 2010.
15. Doukovska L. - Constant False Alarm Rate Detectors in Intensive Noise Environment Conditions, Cybernetics and Information Technologies, vol. 10, №3, Print ISSN 1311-9702, Online ISSN 1314-4081, pp. 31-48, 2010.
16. Doukovska L. - Alternative Approaches for Target Velocity Estimation using the Hough Transform in MIMO Radar Systems, Cybernetics and Information Technologies, vol. 11, №1, Print ISSN 1311-9702, Online ISSN 1314-4081, pp. 45-63, 2011.
17. Doukovska L. - Track-Before-Detect Procedure using Hough Velocity Estimation Technique, Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, vol. 68, № 9, ISSN 1310-1331, pp. 1153-1160, 2015.
18. Doukovska L., I. Garvanov, V. Kyovtorov - Comparative Analysis Between Hough Detector and CA CFAR Detector in Conditions of pulse Jamming, Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, ISSN 0204-9848, vol. 58, pp. 41-52, 2007.
19. Garvanov I., L. Doukovska, V. Kyovtorov, Chr. Kabakchiev - Comparative Analysis of CFAR Structures for GPS Signals in Conditions of Intensive Urban Pulse Interference, Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, ISSN 0204-9848, vol. 60, pp. 34-41, 2009.

Доклади публикувани в трудове на международни конференции

20. Doukovska L. - Hough Detector with One-dimensional CFAR Processors in Randomly Arriving Impulse Interference, Proceedings of the Distributed Computer and Communication Networks, International Workshop, Sofia, Bulgaria, ISBN 978-5-901158-09-8, pp. 241-254, 2006.
21. Behar V., L. Doukovska, Chr. Kabakchiev, H. Rohling - Comparison of Doppler and Hough Target Velocity Estimation Techniques, Proceedings of the International Radar Symposium – IRS'07, Cologne, Germany, ISBN 0885-8985, pp. 157-162, 2007.
22. Kabakchiev Chr., I. Garvanov, L. Doukovska, V. Kyovtorov, H. Rohling - Data Association Algorithm in TBD Multiradar System, Proceedings of the International

- Radar Symposium – IRS’07, Cologne, Germany, ISBN 0885-8985, pp. 521-525, 2007.
23. Kabakchiev Chr., I. Garvanov, L. Doukovska, V. Kyovtorov - Comparison between two three sensor fusion techniques for target height finding, Proceedings of the International Radar Symposium – IRS’07, Cologne, Germany, ISBN 0885-8985, pp. 809-813, 2007.
 24. Kabakchiev Chr., I. Garvanov, L. Doukovska, V. Kyovtorov, H. Rohling - Data Association Algorithm in Multiradar System, Proceedings of the IEEE RadarCon’08, Rome, Italy, ISSN 1097-5659, ISBN 1-4244-1593-X, pp. 1771-1778, 2008.
 25. Doukovska L., V. Behar, Chr. Kabakchiev - Hough Detector Analysis by means of Monte Carlo Simulation Approach, Proceedings of the International Radar Symposium – IRS’08, Wroclaw, Poland, ISBN 978-83-7207-757-8, pp. 103-106, 2008.
 26. Garvanov I., Chr. Kabakchiev, L. Doukovska, V. Kyovtorov, H. Rohling - Improvement in Radar Detection through Window Processing in the Hough Space, Proceedings of the International Radar Symposium – IRS’08, Wroclaw, Poland, ISBN 978-83-7207-757-8, pp. 139-142, 2008.
 27. Kyovtorov V., Chr. Kabakchiev, V. Behar, G. Kuzmanov, I. Garvanov, L. Doukovska - FPGA Implementation of Low-Frequency GPR Signal Algorithm using Frequency Stepped Chirp Signals in the Time Domain, Proceedings of the International Radar Symposium – IRS’08, Wroclaw, Poland, ISBN 978-83-7207-757-8, pp. 297-300, 2008.
 28. Doukovska L., Chr. Kabakchiev, V. Kyovtorov, I. Garvanov - Hough Detector with an OS CFAR Processor in Presence of Randomly Arriving Impulse Interference, Proceedings of the 5-th European Radar Conference – EuRAD’08, Amsterdam, Holland, ISBN 978-2-87487-009-5, pp. 332-335, 2008.
 29. Doukovska L. - Hough Target Detectors with Small Values of SNR, NATO Advanced Study Institute “Unexploded Ordnance Detection and Mitigation”, Il Ciocco, Italy, 2008, (<http://www.prometheus-inc.com/asi/uxo2008/lecturers.html>).
 30. Doukovska L. - Combined Doppler-Hough Method for Velocity Estimation, Proceedings of the International Radar Symposium – IRS’09, Hamburg, Germany, ISBN 0885-8985, pp. 677-682, 2009.

31. Kabakchiev Chr., Garvanov I., L. Doukovska, V. Kyovtorov - TBD Netted Radar System in Presence of Multi False Alarms, Proceedings of the 6-th European Radar Conference – EuRAD'09, Rome, Italy, ISBN 978-2-87487-014-9, pp. 509-512, 2009.
32. Doukovska L. - Adaptive Hough Detector Threshold Analysis in Presence of Randomly Arriving Impulse Interference, Proceedings of the International Radar Symposium – IRS'10, Vilnius, Lithuania, pp. 142-147, 2010.
33. Doukovska L., D. Angelova - Comparative Analysis of Two Techniques for Moving Target Velocity Estimation, Proceedings of the 7-th European Radar Conference – EuRAD'10, Paris, France, ISBN 978-2-87487-014-9, pp. 431-434, 2010.
34. Doukovska L. - Application of Mathematical Transform in Detection Algorithms, Proceedings of the First International Symposium on Business Modelling and Software Design – BMDS'11, Sofia, Bulgaria, ISBN 978-989-8425-68-3, pp. 161-167, 2011.
35. Doukovska L., V. Atanassova - InterCriteria Decision Making Approach in Radar Detection Threshold Analysis, Proc. of the International Conference on Intuitionistic Fuzzy Sets: Theory and Applications (ICIFSTA), Beni Mellal, Morocco, Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets (NIFS), ISSN 1310-4926, vol. 21, № 4, pp. 129-135, 2015.
36. Doukovska L. - Conventional Hough Detector in Presence of Randomly Arriving Impulse Interference, Proceedings of the International Radar Symposium – IRS'15, Dresden, Germany, vol. 1, ISBN 978-3-95404-853-3, pp. 487-492, 2015.

Научно-изследователски проекти по темата на дисертационния труд

1. Бехар В. и колектив. Проект по договор И-503/1995, между ФНИ–МОН и ИИТ–БАН, тема: „Паралелни алгоритми за обработка на сигнали и изображения в реално време“, 1995–1998.
2. Дуковска Л. и колектив. Проект по договор МУ-807/1998, между ФНИ–МОН и ИИТ–БАН, тема: „Хох откриватели на движещи се цели“, 1998–2000.

3. Кабакчиев Хр. и колектив. Проект по договор И-902/1999, между ФНИ–МОН и ИИТ–БАН, тема: „Процесори за стабилизация на честотата на лъжлива тревога“, 2000–2004.
4. Кабакчиев Хр. и колектив. Проект за научни изследвания по договор ИИТ-010044, в ИИТ–БАН, тема: „Адаптивна пространствено временна обработка на сигнали в реално време“, 2001–2003.
5. Кабакчиев Хр. и колектив. Проект по договор между МО и БАН, по темите за научни изследвания за 2002 г., тема №20 „Синтезиране на апаратура за откриване на радиолокационни сигнали на фона на силни активни и пасивни смущения“, 2002.
6. Кабакчиев Хр. и колектив. Проект по договор ТН-1305/2003, между ФНИ–МОН и ИИТ–БАН, тема: „Откриване на сигнали преотразени от подвижни цели на фона на смущения в комуникационни мрежи“, 2003–2006.
7. Кабакчиев Хр. и колектив. Проект за научни изследвания по договор ИИТ-010059, в ИИТ–БАН, тема: „Откриватели поддържащи постоянна вероятност на лъжлива тревога на фона на комплекс от смущения в комуникационни мрежи“, 2004–2006.
8. Бабалов Ст. и колектив. Проект предложение за високотехнологична модернизация на РЛС-П18 на тема: „Пасивен радарен приемник“, МПС ООД, Електрон, ИИТ-БАН, 2003.
9. Кабакчиев Хр. и колектив. Проект на тема: „Сигнална обработка за импулсно доплерови радары СТАР 99/04“, МПС ООД, 2004.
10. Кабакчиев Хр. и колектив. Проект на тема: „Цифров радар“, МПС ООД, 2005.
11. Даскалов Пл. и колектив. Проект ИФ-02-85, на тема: „Радар за подземно сондиране“, Национален иновационен фонд, МПС ООД, ИИТ–БАН и ИПОИ–БАН, 2005–2007.
12. Бехар В. и колектив. Проект по договор МИ-1506/2005, между ФНИ–МОН и ИПОИ–БАН, тема: „Методи и алгоритми за формиране, обработка и анализ на изображения и данни в многосензорни системи“, 2005–2008.
13. Кабакчиев Хр. и колектив. Проект за научни изследвания по договор ИИТ-010089, в ИИТ–БАН, тема: „Приложения на адаптивни откриватели на сигнали“, 2007–2009.

14. Ангелова Г. и колектив. Проект FP7-REGPOT-2012-2013-1, договор 316087, тема: „ASComIn: Съвременните пресмятания в полза на иновацията“, 2012–2016.
15. Атанасов Кр. и колектив. Проект по договор ДФНИ-И-02-5/2014, между ФНИ–МОН, ИБФБМИ–БАН, Университет „Проф. д-р Асен Златаров“, ИИКТ–БАН, тема: „Интеркритериален анализ – нов подход за вземане на решения“, 2014–2017.