

# IEEE 802.11a стандартын Тэмдэгтийн Хугацааны Синхрончлол

Э.Адъяабат, Б.Золбоо, М.Баярпүрэв

Монгол Улсын Их Сургууль, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль  
Электроник, Холбооны Инженерчлэлийн Тэнхим

Цахим шуудан: adiyabat.e@logarithm.edu.mn, zolboo@seas.num.edu.mn, bayarpurev@seas.num.edu.mn

*Хураангуй*—Энэхүү судалгааны ажлаар Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) WLAN системийн тэмдэгтийн хугацааны синхрончлолын асуудлыг шийдвэрлэхийг зорилго. OFDM систем нь синхрончлолын алдаанд маш мэдрэмтгий ба хугацааны офсет үнэлэлтийн нарийвчлалыг сайжруулснаар системийн ажиллагааг сайжруулахад туслах болно. Хэрэгжүүлэлт хийх арга нь нарийн төвөгтэй тооцооллыг багасгах бөгөөд хүлээн авагч дээр ерөнхийдөө автокорреляцийн аргаар харьцуулж үр дүнг гаргана. Хэрэгжүүлэлтийн арга нь дундаж магнитудын зөрүү функц (Average magnitude difference function) дээр суурилдаг. Дундаж магнитудын зөрүү функц арга, Шмидл-Кокс аргыг хэрэгжүүлэхдээ IEEE 802.11a стандартын богино преамбул цуваа болон Голомбын цувааг ашиглана. Симуляцийг Адаптив-Цагаан Гауссын Шуугиантай, Релейн замхралттай суваг дээр AMDF арга, Шмидл Коксын аргын хэрэгжүүлэлтийг МАТЛАБ програм дээр симуляци хийлээ. Мөн преамбул үүсгэх алгоритмаар сургалтын цувааг үүсгэн, хооронд нь харьцуулсан.

*Түлхүүр үгс*—OFDM, Тэмдэгтийн хугацааны синхрончлол, OFDM, WLAN, Преамбул цуваа, AMDF.

## I. УДИРТГАЛ

Утасгүй холбооны технологи нь хүн төрөлхтний хамгийн чухал нээлтүүдийн нэг билээ. Сүүлийн арван жилд гэхэд хүн бүрийн өдөр тутмын хэрэглээний зайлшгүй нэгэн хэсэг болж чадсан. 3G технологи нэвтэрснээс хойш текстэн болон яриан мэдээллээс гадна мультимедиа дохионууд дамжигдах шаардлагатай болсон. Энэ нь өгөгдөл дамжуулах хурд нөгөө талаас их хэмжээний зурвасын өргөн шаарддаг. Харамсалтай нь утасгүй холбоонд ашиглах зурвасын өргөн нь хязгаарлагдмал нөөц юм. Гэсэн хэдий ч тодорхой зурвасын өргөнөөр Олон оролт, Олон гаралттай OFDM системийг ашиглан өгөгдөл дамжуулан нь сувгийн ашиглалтыг сайжруулах боломжтой юм. Өөрөөр хэлбэл дамжуулагч болох хүлээн авагчийн антенны тоог ихэсгэсэнээр дохио шуугианы харьцаа сайжирдаг. OFDM WLANs системийн нэг том асуудал нь тэмдэгтийн хугацааны синхрончлол шийдэх юм. Тэмдэгтийн хугацааны синхрончлолыг шийдэж чадснаар бодит хугацаатай MIMO-OFDM системийг хэрэгжүүлэх бүрэн боломжтой юм.

Энэ асуудлыг шийдэх хэдэн төрлийн аргууд байдаг. Жишээ нь: P1-н арга, AMDF-н арга, Шмидл-Коксын арга гэх мэт.

## II. OFDM-Н ӨРӨНХИЙ ЗАРЧИМ

OFDM дохиог Quadrature amplitude modulated (QAM), Phase-shifted keyed (PSK) дэд тэмдэгтийн  $c_k = a_k + j * b_k$  Урвуу Хурдан Фурьегийн хувиргалт (IFFT) авч үндсэн дээр үүсгэнэ. Зурагт үзүүлснээр блок  $P/S$  нь параллелиас сериал руу хөрвүүлнэ. OFDM нь  $T$  байх ба өмнөх тус бүрийн тэмдэгт нь  $T_g$  урттай цикл префикс (Cyclic prefix) байна. Ийм болохоор сувгийн импульсийн респонс илүү урт болох бөгөөд intersymbol интерференц үүсэхгүй болно [?]. Комплекс экспоненциаль давтамжууд  $f_k = k/T$  ба  $2N + 1$  дэд зөөгчтэй OFDM тэмдэгт нь:

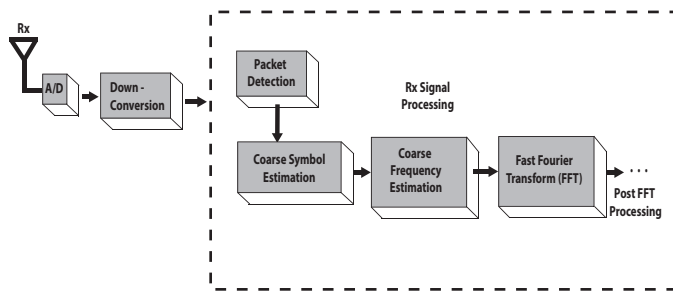
$$u(t) = \sum_{k=-N}^N c_k e^{i2\pi f_k t}, \quad 0 \leq t \leq T. \quad (1)$$

Үндсэн зурвасын дохио нь квадрат модуляци хийж, Радио давтамж руу дээд давтамж руу хөрвүүлэх ба үүний дараа сувгаар дамжуулна. Хүлээн авагч дээр дохионы давтамжийг доош нь буулган завсрын давтамж руу хөрвүүлэх ба квадрат демодуляци хийнэ.  $S/P$  блок нь сериалаас параллель рүү хөрвүүлнэ.  $\delta f$  зөөгч давтамжийн офсет нь  $2\pi t \delta f$  фаз эргүүлнэ. Хэрэв одон диаграммыг эргүүлэх аль аль шалгаан нь буруу байвал Адаптив Цагаан Гауссын Шуугиан төстэй одны цэгүүд нь тархсан байна. Тэмдэгтийн хугацааны алдаа нь урт түүвэр авбал бага нөлөө үзүүлэх бөгөөд түүвэрлэлт хийхдээ давтагдаж өргөтгөсөн OFDM тэмдэгтийн уртаар авна.

## III. ТЭМДЭГТИЙН ХУГАЦААНЫ СИНХРОНЧЛОЛ

Утасгүй хүлээн авагчийн чадамжийг амжилттай сэргээх, дамжуулагдаж байгаа мэдээллийг тайлах гэх мэт чадвараар нь хэмждэг. Утасгүй холбооны хүрээнд үндсэн зурвасын дохио боловсруулах алгоритмууд нь ерөнхийдөө синхрончлолыг сайжруулж байгаа гэж тооцож болно. Харин практикт хүлээн авагч дээрх синхрончлол нь маш чухал нөлөө үзүүлдэг бөгөөд нийт системийн чадамжид маш их үр нөлөөтэй юм. OFDM системд синхрончлол нь үндсэн бэрхшээлүүдийн нэг.

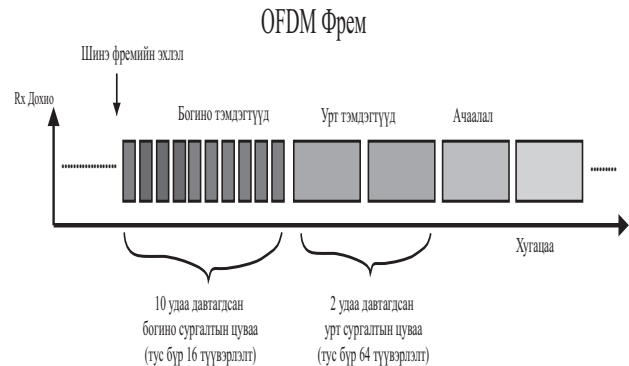
Хүлээн авсан дохиог декод хийх, бодитоор боловсруулалт хийхийн өмнө синхрончлолыг заавал хийх шаардлагатай. Хүлээн авагч дээрх дохио боловсруулалтын блок нь бага давтамж рүү буулгах(downstream)-с хамааралтай бөгөөд улмаар синхрончлол хийхэд алдаанд өртөмтгий байдаг. WLAN-н жишээ нь (For packet based burst mode communication systems), хүлээн авагч нь эхлээд пакет эсэхийг илрүүлэх бөгөөд өгөгдлийн эхлэлийг тодорхойлно. OFDM системийн хувьд хүлээн авагчийн дохио боловсруулах алгоритмыг давтамжийн домайн дээр хэрэгжүүлдэг. Тиймээс өгөгдлийн эхлэлийг тооцож, мөн адилхан байдлаар FFT цонхны эхлэл нь хүлээн авагчийн чадамж дээр шууд нөлөө үзүүлдэг. Үүнийг тэмдэгтийн хугацааг синхрончлох гэж нэрлэдэг. OFDM системийн давтамжийн оффсет утга нь мэдрэмтгий - ерөнхийдөө зөөгч давтамж тохирохгүй байх эсвэл дошлерын тархалтын улмаас шалтгаалдаг. Дамжуулсан дохионы бүтцийг ашиглан ихэнх OFDM хүлээн авагчийн архитектур нь Координат эргүүлэх тоон компьютер (CORDIC буюу Coordinate rotation digital computer) хэрэглэн тэмдэгтийн хугацааны синхрончлолын үр дүнг давтамжийн оффсет дээр тооцдог. Зураг 1-д нийтлэг OFDM WLAN хүлээн авагчийн функцийг гүйцэтгэлийг харуулав. Нэг удаа хүлээн авсан дохиог боловсруулалт хийхдээ аналогоос тоон рүү хөрвүүлж(analog-to-digital conversion), доод давтамж руу буулгалт хийж(downconversion), үндсэн зурвас дээр IQ(in-phase and quadrature-phase) түүвэрлэлт хийх боломжтой. Эхний ажил нь пакет эсэхийг илрүүлэх, FFT цонхны эхлэлийг тооцож олно. Холбооны



Зураг 1. Хүлээн авагчийн дохио боловсруулалт

системд преамбул дээр суурилсан аргуудыг хугацаа болон давтамжийн синхрончлолыг хийхэд ашигладаг. Нууц, өгөгдөл биш аргуудыг сПреамбул дээр суурилсан синхрончлол нь үнэн зөв, илүү хурдтайгаар найдвартай тооцоолол хийх, эхний нэг, хоёр хүлээн авсан тэмдэгтийн дотоор өгдөг. Зураг 2-т IEEE 802.11a стандартаар OFDM фремийн бүтэцийг харуулав. Дамжуулалтын эхлэл дээр дамжуулагч нь мэдэгдэж байгаа сургалтын цуваа болох өгөгдөл битүүдийг явуулна. Синхрончлолдоо хүлээн авагч дээр нөгөө мэдэгддэг преамбулын цуваагаа ашиглана. Хүлээн авагч нь богино сургалтын цувааг хэрэглэснээр илрүүлэх, автомат өсгөлтын удирдлага(AGC буюу Automatic gain control), тэмдэгтийн

хугацааны синхрончлол болон давтамжийн оффсетыг тооцоолно. Урт цуваа нь хугацаа, давтамжийг үнэлэлт хийхэд улам боловсронгуй болгох, түүнчлэн утасгүй сувгийг үнэлэхэд ашигладаг.



Зураг 2. IEEE 802.11a OFDM фрем

Зураг 1-г эргэж харахад бүдүүн симбол үнэлэх блок(Coarse symbol estimation block) нь корреляци дээр суурилсан аргыг(ерөнхийдөө автокорреляци) ашиглан пакетын эхлэлийг илрүүлдэг ба Хурдан Фурьегийн хувиргалтыг(Fast Fourier transform) хэрэглэн түүвэрлэлтийг заадаг. Их симболын үнэлэх блокын гаралт дээр үндэслэн CORDIC блокыг хүлээн авсан дохио дээрээ их давтамжийн офсетын утгыг олохын тулд ашигладаг. Ерөнхийдөө их үнэлэх блок(coarse estimation block) тодорхой хязгаарын дотор FFT цоны эхлэлийг олох төлөвтэй байна. Дараа нь нарийн үнэлэлт хийх блокууд нь үнэлэлтийг боловсронгуй болгохыг хичээдэг.

Олон практик шийдлүүдтэй үйл ажиллагааны дарааллыг дараах байдлаар тодорхойлно. Эхлээд Пакет илрүүлэгч нь пакет эсэхийг детект хийнэ. Үүнийг хийх нэг арга нь хүлээн авсан дохионы хүчийг ашиглах явдал юм. Дараа нь том тэмдэгтийн хугацааны үнэлэлт нь богино тэмдэгтийн эхлэлийн олж автокорреляци хийдэг. Корреляцийн үр дүнгийн дараа тодорхой босго утга татаж, харгалзах түүвэрийн индексийг их хугацааны үнэлэлт(coarse timing estimate) болгон өгдөг. Хүлээн авсан дохионы офсет давтамжийг ихээр үнэлэхдээ тооцоолол хийх ба давтамжийн алдааг засахдаа орж ирж буй дохиог хэрэглэдэг. Ижил хугацаанд нарийн хугацааны үнэлэлтийг тооцоолж триггер хийнэ. Ерөнхийдөө энэ нь бас хүлээн авсан дохион дээр цонхны автокорреляцийг гүйлгэх явдал, энэ хугацаанд хайлт хийх, байрлал(түүвэрийн индекс), урт тэмдэгтүүд байна. Энэ нарийн тэмдэгтүүдийн хугацааг үнэлэхдээ CORDIC блоктой хосмогыг хэрэглэнэ. Энэхүү нарийн тэмдэгтүүдийн хугацааны үнэлэхдээ давтамжийн офсетыг боловсронгуй болгох CORDIC блокыг хамтад нь ашигладаг. Хамгийн сүүлд давтамжийн офсет алдаа засагчийг хэрэглэсний дараа нь Хурдан Фурьегийн хувиргалтыг хийх, сувгийг үнэлэх, бусад дохио боловсруулалтыг

хийж болно.

Бид одоо их тэмдэгтийн хугацааны синхрончлолыг хэрэглэхдээ автокорреляцийн хэмжилтийн үед илүү ойр харж авна. Үнэлэлтийг тооцоолохдоо хүлээн авсан дохио дээр гүйдэг цонхны автокорреляцийг тооцоолох явдал юм. Математик томъёогоор норчлогдсон автокорреляцийн функц  $M(d)$ -г бичвэл[1].

$$M(d) = |P(d)^2/R(d)^2| \quad (2)$$

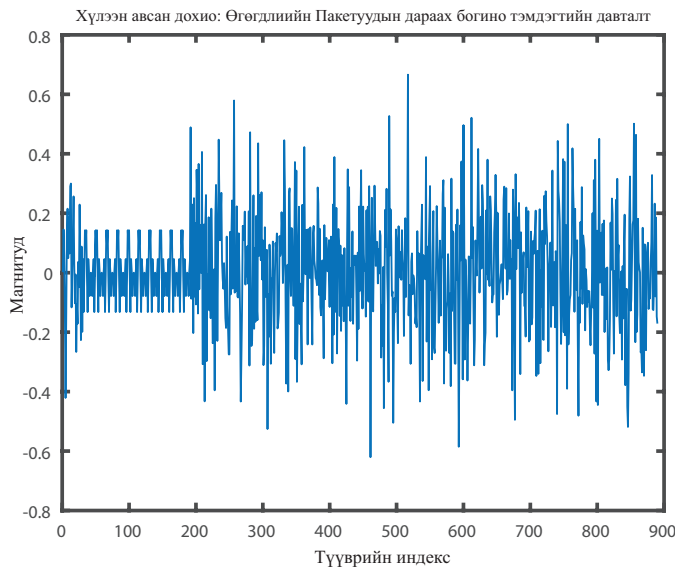
Эндээс  $P(d)$  болон  $R(d)$  олбол:

$$P(d) = \sum_{m=0}^{L-1} r^*(d+m)r(d+m+L) \quad (3)$$

ба

$$R(d) = \sum_{m=0}^{L-1} |r(d+m+L)|^2 \quad (4)$$

Дээрх тэгшитгэлд  $r(m)$  нь хүлээн авсан дохионы түүвэрлэлт,  $R(d)$  нь одоогоор корреляцийн блокын оролт болгон ашиглаж байгаа хүлээн авсан дохионы энерги юм. Мөн  $L$ -г цувааны уртаар тэмдэглэнэ:  $L=16$  бөгөөд богино цувааны урт юм. Зураг 2.6-г тэг-шуугиан нөхцөлд богино тэмдэгтийг давтан харуулж байна. Эндээс 16 урттай богино тэмдэгт 10 давтагдсан байгаа. Индекс=31 үед цуваа эхлэх ба индекс=190 үед төгсөнө. Метр функцийн хэлбэрийг харуулахын тулд 30 түүвэрийн офсет хугацааг нэврүүлэх ба пакет өгөгдлүүд нь богино тэмдэгтийн давталтын төгсгөл дээр нийлүүлнэ.



Зураг 3. Богино тэмдэгтийн давталт дээр суурилсан хүлээн авсан дохио

$M(d)$  хэмжигдэхүүнийг зураг -т харуулав. Хэмжигдэхүүн нь индекс 31 дээр 1 гэсэн хамгийн их утга авах

ба индекс 159 хүртэл хэвээр байна. Эдгээр индексүүдийн утгууд хоёр өөр корреляцийн цонх дээр дохио нь яг таарч байна. Индексийн гадна эхлэлээс эхэлж буурч улмаар корреляци нь маш бага болж буурна. Иймээс олон практик системд тэмдэгтийн хугацааны үнэлэлтэй адил дохионы тогтоосон босго утга илүү байх үед энхний удаа нэвтрэх цэгийг өгч байна. Тэгш өнцөгт хэлбэрийн олон замын сувгийн нөлөө нь тогтвортойгоор нэмдэг. Гэсэн хэдий ч энэ нь бас өндөр үнэлэлтийн вариаци дээр үр дүнтэй. Үнэлэлтийн вариацийг мэдэгддэг сургалтын цуваа эсвэл хэмжигдэхүүний тодорхойлолтын өөчлөн багасах бөгөөд сургалтын тэмдэгтийн эхэнд тодорхой өндөр утгууд байдаг. Жишээ нь[3],[4]: Энэхүү судалгааны ажил өмнө нь хийж байсан хүмүүсийн зорилго нь үнэлэлтийн вариацийг багасган өөрчилдөг преамбулын цувааг санал болгосон байсан.

#### A. Преамбул цуваа

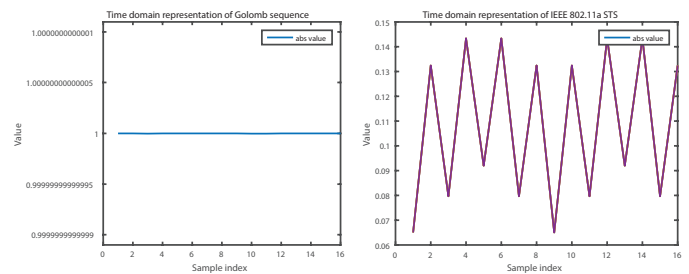
Преамбл цувааг бид хүлээн авагч дээр синхронзацийн хэрэгжүүлэлтэн дээр хэрэглэх бөгөөд Голомбийн цуваан дээр суурилсан богино хэмжээний преамбл цувааг ашигладаг[6]. Голомбийн цувааг  $L^t h$  үүдээс бүрдэх ба тэгшитгэл 5-д  $\alpha_k$  аар тодорхойлж өгсөн байна.

$$\alpha_k = \alpha^{\frac{(k-1)k}{2}} \quad (5)$$

ба

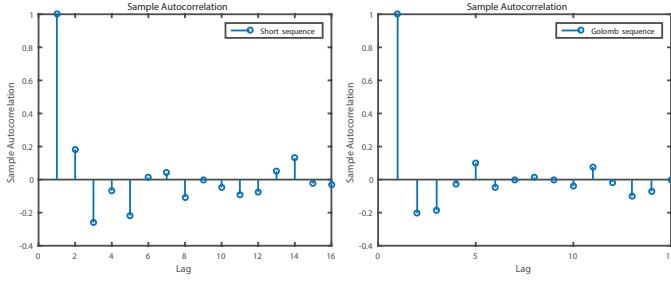
$$\alpha = e^{\frac{2\pi i}{L}} \quad (6)$$

Голомбийн цуваа нь 16 урттай байх ба IEEE 802.11a ийн богино хэмжээний тэмдэгт цуваа бөгөөд дохионы чадлыг тохируулахад далайцыг хувьсадаг. Зураг 4-т нэг OFDM тэмдэгтийг IEEE 802.11a ийн богино тэмдэгтийн цуваа болон Голомбийн цуваа давтагддагаар хугацааны орон зайд илэрхийлэв. Преамбл цуваа нь тогтмол хөвөөтэй байх бөгөөд чадлын хувьд хэмнэлттэй байдаг.



Зураг 4. Голомб цуваа (зүүн) болон IEEE 802.11a STS (баруун) дээр суурилсан Преамбул цуваа

Зураг 5-т хугацааны домэйн дэх автокорреляцийн функцийг түүвэр болон преамбл цувааг хамтад нь харуулав. Автокорреляцийн функцийг ажиллагаа нь 802.11a ийн богино цувааг харьцуулахад голомбийн цувааны хоцролт маш бага байна.



Зураг 5. Автокорреляцийн функц: IEEE 802.11a STS (зүүн) болон Голомб цуваа (баруун)

#### IV. ТЭМДЭГТИЙН ХУГАЦАА ҮНЭЛЭЛТИЙН АРГА

Өмнөх бүлэгт үзүүлснээр автокорреляци дээр суурилсан аргыг харьцуулах, Преамбул дээр суурилсан синхрончлолын шинэ хэмжигдэхүүнийг авч үзье. Хүлээн авсан дохио  $r(d)$  өгөгдснөөр хүлээн авагч нь дараах тэгшитгэлээр тооцоолон давталтын загварыг илрүүлнэ:

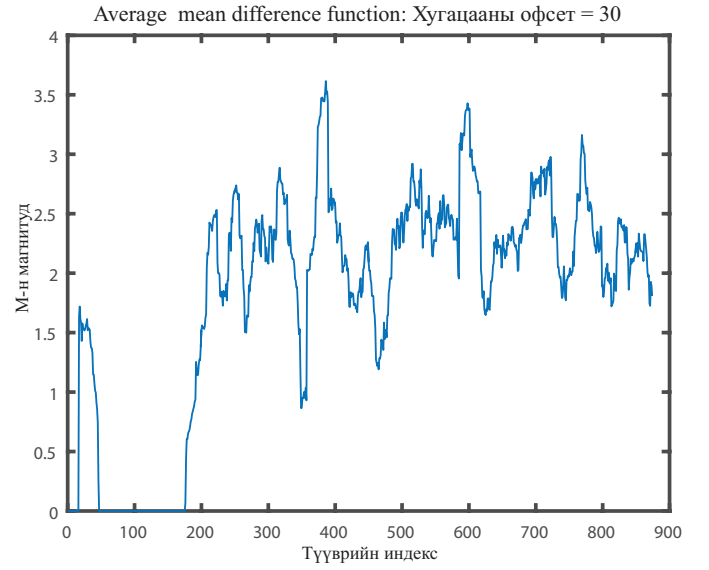
$$M(d) = \sum_{m=0}^{L-1} |r(d+m) - r(d+m+L)| \quad (7)$$

Энэ аргыг дундаж магнитудын зөрүү функц (Average magnitude difference function) гэж нэрлэдэг[5].  $M(d)$  нь хоёр цонх дээр хүлээн авсан дохионы хоорондын зөрүүг хэмжинэ. Төгс, шуугиангүй тохиолдолд хоёр цонх яг таарч хүлээн авсан дохиогоо түүвэрлэх үед дээрх тэгшитгэл тэг болно. Энэ тохиолдолд хүлээн авсан дохио нь  $L$  үетэй давталтын загвараас бүрддэг. Нөгөө талаас хүлээн авсан дохио нь бусад бүрэлдэхүүн хэсгээс бүрдэх үед зөрүү нь тэг биш болох бөгөөд зөрсөн түвшинг харуулах болно. Автокорреляци нь хоёр дохионы цонхнуудын хооронд ижил төстэйг хэмжинэ. Дээрх тэгшитгэл AMDF нь төсгүйг хэжинэ. Зураг 3-д өмнө нь үзүүлснээр хүлээн авсан дохионы тэгшилгэлийн хэлбэрийг харуулж байна. Зураг 6-т ижил дохионы нормчлогдсон корреляцийн зайг харьцууллаа.

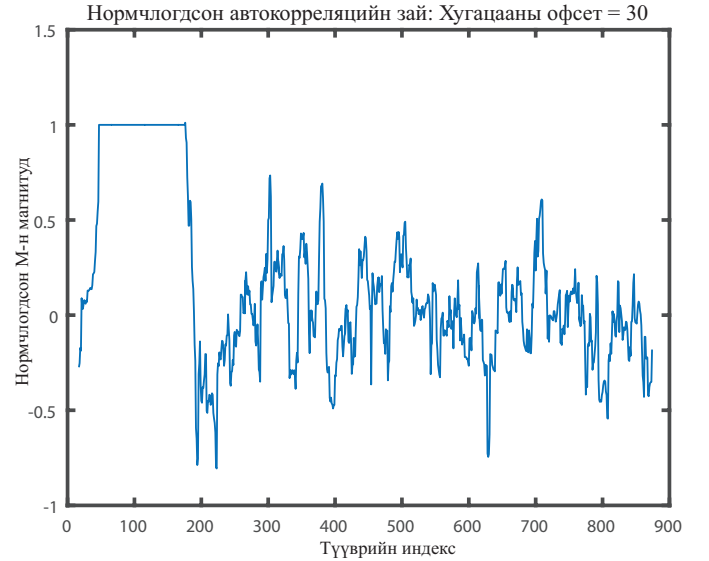
Тэгшитгэл 7 дээр зөрүүтэй бүтцийг ашиглах бөгөөд автокорреляци нь хязгаарлагдаж байдаг. Жишээ нь Схем нь кросс-корреляцийн аргыг хэрэглэнэ. Энэ арга нь тооцооллын хувьд төвөг багатай, үр ашигтай байж чаддаг. Бид дээрх зайны вариацийг дараах байдлаар харууллаа.

$$M(d) = \sum_{m=0}^{L-1} |r(d+m) - r(d+m+L)|^2 \quad (8)$$

Энэ квадрат язгуур операторыг арилгах ба хялбар техник хэрэгжүүлэлтийг өдөөж өгнө. Бид тэмдэгтийн хугацааны синхрончлолыг аргын ажиллагааны нөлөөг үнэлэх болно.



Зураг 6. 30 түүврийн хугацааны офсеттэй AMDF



Зураг 7. 30 түүврийн хугацааны утгатай нормчлогдсон корреляцийн зай

#### V. ЭЭДРЭЭ

Энэ аргын гол давуу тал нь ээдрээтэй тооцооллыг багасгах чухал ач холбогдолтой. Шмидл-Коксын аргаар тодорхойлсон нормчлогдсон автокорреляцийн функцийг дахин авч үзье[1]; зай нь хугацааны синхрончлолын блокын ихэнх хэрэгжүүлэлт дээр суурилдаг [7], [8], [9]:

$$M(d) = |p(d)^2|/R(d^2) \quad (9)$$

Эндээс  $P(d)$ -г олохдоо:

$$P(d) = \sum_{m=0}^{L-1} r^*(d+m)r(d+m+L) \quad (10)$$

ба

$$R(d) = \sum_{m=0}^{L-1} |r(d+m+L)|^2 \quad (11)$$

Энэ аргын гүйцэтгэлийг  $R_2(d)$ [10] өгөгдснөөр  $R(d)$ -н оронд сольж ихээр сайжруулж болно гэдгийг харуулж байна:

$$R_2(d) = \sum_{m=0}^{2L-1} |r(d+m)|^2 \quad (12)$$

Бид шинэ зайн хэмжигдэхүүнийг дараах байдлаар томъёолно:

$$M_2(d) = |P(d)^2|/R_2(d)^2 \quad (13)$$

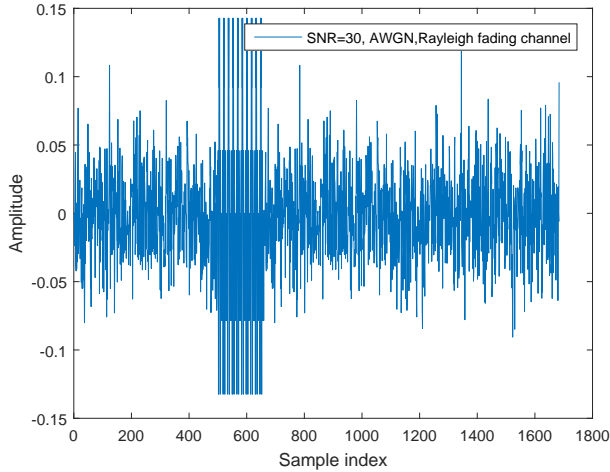
Мөн нормчлохгүйгээр автокорреляцийн зайг харвал:

$$M_3(d) = |P(d)^2| \quad (14)$$

Гурван зай хоорондын зөрүү нь  $M_1$  нь  $L$  түүвэр,  $M_2$  нь  $2 * L$  түүвэр ба  $M_3$  тэг түүвэрийг хэрэглэн нормчлох алхамын турш дохионы энергийг тооцоолдог.  $P_d$  автокорреляцийн функцийг тооцоолоход  $2 * L$  түүвэр байх хэрэгтэй гэдгийг анхаарах шаардлагатай.

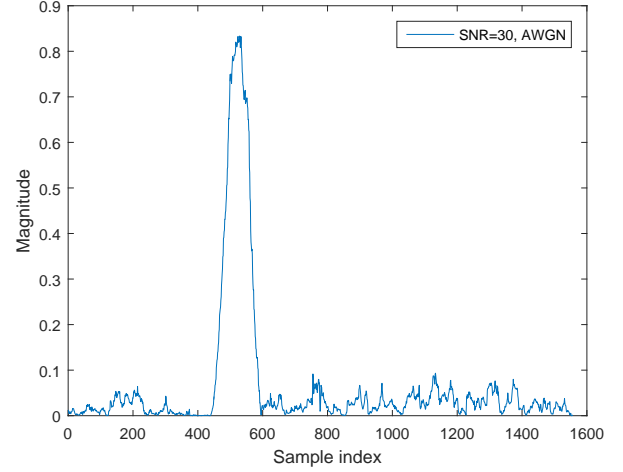
## VI. СИМУЛЯЦИЙН ҮР ДҮН

Энэ бүлэгт Шмидл-Коксын арга дээр хэрэглүүлэлт хийхийг зорьсон бөгөөд IEEE 802.11a стандарттай ижил параметруудыг ашиглан МАТЛАБ програм дээр симуляцийг хийсэн. OFDM тэмдэгтийн цуваа дээр богино тэмдэгтийн цувааг нэмж харвал:

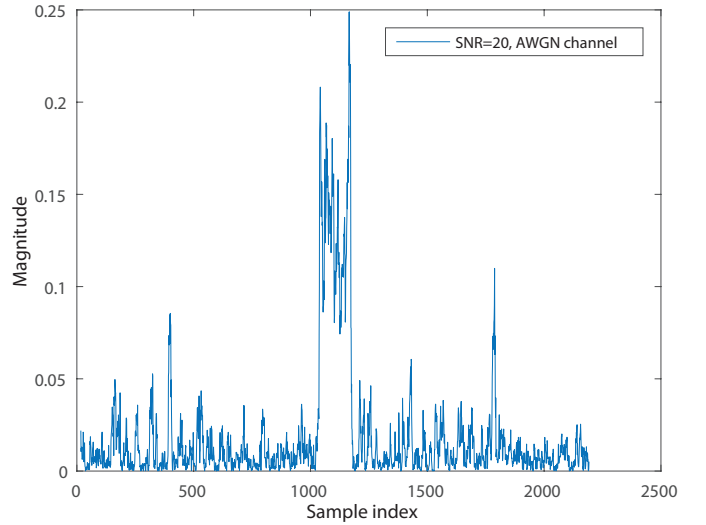


Зураг 8. OFDM тэмдэгтийн цуваа дээр богино тэмдэгтийн цуваа нэмсэн

Преамбул цувааг илрүүлэлтийн аргаас харахад AWGN сувгийн SNR нь 30dB байх үед зураг 9 дахь дараах үр дүн гарч байна. Эндээс алгоритмын давуу тал нь шуугианд тэсвэртэй. Өөрөөр хэлбэл Автокорреляцийн арга нь шуугианд тэсвэртэй болж байгаа юм.



Зураг 9. Преамбул цувааг илрүүлэлт(Шмидл-Кокс арга)



Зураг 10. Преамбул цувааг илрүүлэлт(Шмидл-Кокс арга)

## VII. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар OFDM WLAN системийн тэмдэгтийн хугацааны синхрончлолын аргууд болох AMDF арга, Шмидл-Кокс аргыг МАТЛАБ програм дээр дээр хэрэгжүүлжээ. Олон оролт, Олон гаралттай OFDM системийн хувьд real time-тай ажилладаг системийг хэрэгжүүлэхэд тэмдэгтийн хугацааны синхрончлолыг заавал хийх шаардлагатай юм. Иймээс тэмдэгтийн хугацааны синхрончлолын аргыг хэрэгжүүлснээр MIMO-OFDM системийг хэрэгжүүлэх том асуудлыг шийдвэрлэж буй хэрэг юм. Цаашид тэмдэгтийн хугацааны синхрончлолыг хийх алгоритмыг харьцуулах, мөн зөв танилт хийх магадлалыг үнэлэх шаардлага-

тай. Тэмдэгтийн хугацааны синхрончлолыг шийдэж чадснаар MIMO-OFDM системийг USRP B210 хавтанг ашиглан хэрэгжүүлэх бөгөөд ингэснээр илүү бодит хэмжилт хийхэд хэрэг болох болно.

#### НОМ ЗҮЙ

- [1] Schmidl, T.M., Cox, D.C., "Robust frequency and timing synchronization for OFDM,"IEEE Transactions on Communications, vol. 45, pp. 1613-1621, Dec 1997.
- [2] Manik Gadhiok and Joseph R.Cavallaro., "Preamble-based Symbol Timing Estimation,"Signal Processing, IEEE Transactions on, vol. 52, pp. 1791-1794, August. 2007.
- [3] Minn, H., Zeng, M., Bhargava, V.K., "On timing offset estimation for OFDM systems,"IEEE Communications Letters, vol. 4, pp. 242-244, Jul 2000.
- [4] Park, B., Cheon, H., Kang, C., Hong, D., "A novel timing estimation method for OFDM systems,"IEEE Communications Letters, vol. 7, pp. 239- 241, May 2003.
- [5] Chia-Horng Liu, "On the design of symbol timing recovery for WLAN OFDM systems,"in IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, pp. 184-188, Aug.-2 Sept. 2004.
- [6] N. Zhang, S.W. Golomb, "Polyphase sequence with low Autocorrelations", IEEE Transactions on Information Theory, Vol.39, Iss.3, pp:1085-1089, May 1993.
- [7] Speth, M., Fechtel, S.A., Fock, G., Meyr, H., "Optimum receiver design for wireless broad-band systems using OFDM:I,"IEEE Transactions on Communications, vol. 47, pp. 1668-1677, Nov 1999.
- [8] Speth, M., Fechtel, S., Fock, G., Meyr, H., "Optimum receiver design for OFDMbased broadband transmission:II. A case study,"IEEE Transactions on Communications, vel. 49, pp. 571-578, Apr 2001.
- [9] Van Zelst, A., Schenk, T.C.W., "Implementation of a MIMO OFDM-based wireless LAN system,"Signal Processing, IEEE Transactions on, vol. 52, pp. 483- 494, Feb. 2004.
- [10] Minn, H., Zeng, M., Bhargava, V.K., "On timing offset estimation for OFDM systems,"IEEE Communications Letters, vol. 4, pp. 242-244, Jul 2000.