

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2023)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия

выходит 4 раза в год _____

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://10.48081/BNAS6555>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., профессор

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

***Р. Т. Қасым¹, Б. Тұрдыбек², А. Т. Жетписбаева³,
А. Ж. Ерденев², Т. Г. Сериков²**

^{1,2}Логистика және көлік академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,

^{1,2,3,4,5}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

КЕҢ ЖОЛАҚТЫ СЫМСЫЗ ЧИПАРАЛЫҚ БАЙЛАНЫС АРНАСЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЖАҚСARTУ ҮШІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІН ҚҰРУ

Фаламтор заттары мен ақпараттық революцияның пайда болуымен жоғары өнімді есептеу жүйелеріне сұраныс артып келеді. Есептеу чиптеріндегі өзара мысты байланыстар компьютерлік желілер сияқты маршрутизаторлардан, коммутаторлардан, қайталағыштардан тұратын network on chip (NoC) деп аталатын күрделі өзара байланыс желісіне айналды. Чиптегі желі жоғары өнімді есептеу жүйелеріне арналған көп ядролы көп чипті жүйелер сияқты кең ауқымда жүзеге асырылған кезде, өзара байланыс ұзындығы артады, сонымен қатар қуатты тарату, өзара байланыстың кешігуі, сағатты синхрондау және электрлік кедергілер сияқты мәселелер туындайды. Бұл мақалада, сымсыз өзара байланыстар сымды өзара мысты байланыстарын ауыстыру ретінде таңдалады. Кері дискретті Фурье түрлендіруін қолдана отырып, жиілік аймағының деректерін уақыт аймағына түрлендіру үшін уақыт аймағының ажыратымдылығын екі есе арттырудың жаңа әдісі ұсынылды. Жолдағы шығындар коэффициенті жабық жағдай үшін 1,607-ге тең екендігі анықталды, ал энергия шағын масштабта логикалық үлестіруден кейін жүреді. Практикалық жағдайларды талдау негізінде арналардың модельдері жасалады және модельденеді. Сымсыз өзара байланыстар CMOS өндірісімен және чиптерді ораумен оңай интеграцияны қамтамасыз етеді. Миллиметрлік толқындардың лицензияланбаған диапазонында (57–64 ГГц) жұмыс істейтін сымсыз қосылымдарды қолдана отырып, жоғары жылдамдығына (Гбит/с) қол жеткізу шешімдері ұсынылады.

Кілтті сөздер: талшықты-оптикалық жүйе, интерфейс, нано антенна, математикалық модель, сымсыз чипаралық байланыс.

Кіріспе

Чиптің ішінде немесе чиптер арасында сымсыз қосылыстарды жүзеге асыратын сымсыз чип желісі (WCAN) сымсыз байланыстың дамуының жаңа бағыты болып табылады. WCAN-да бірегей ішкі және чип аралық сымсыз арналар бар. Бұл мақала компьютерлік корпусардағы чиптер арасындағы сымсыз байланыс арналарын түсінуге бағытталған. Алғаш рет зертханалық жұмыс үстеліндегі компьютер корпусының ішіндегі жиілік аймағында жүргізілген өлшеулер негізінде Чип аралық сымсыз байланыс арнасы сипатталады.

Кері дискретті Фурье түрлендіруін қолдана отырып, жиілік аймағының деректерін уақыт аймағына түрлендіру үшін уақыт аймағының ажыратымдылығын екі есе арттырудың жаңа әдісі ұсынылды. Жолдағы шығындар коэффициенті жабық жағдай үшін 1,607-ге тең екендігі анықталды, ал энергия шағын масштабта логикалық үлестіруден кейін жүреді. Практикалық жағдайларды талдау негізінде арналардың модельдері жасалады және модельденеді.

Intel зерттеушісі 1995 жылы жоғары өнімді есептеу жүйелерін тиімді енгізу металл өзара байланыстарға байланысты екенін атап өтті. Өзара байланыс металының шектеулерін ескере отырып, 2002 жылы компьютерлік желілерге негізделген өзара байланыс желілерін жүзеге асыратын жаңа өзара байланыс жүйесі ұсынылды. Коммутаторлар, маршрутизаторлар, хабтар және басқа желілік құрылғылар чипте Network-on-Chips (NoC) технологиясын қолдау үшін жасалған [3].

Деректерді берудің бірнеше ауысулары бар желілердегі ұзын мыс өзара байланыстары жоғары кідіріске және қуаттың жоғалуына әкеледі [5]. Сигналдың ұзақ қашықтыққа өтуіне мүмкіндік беру үшін қайталағыштар немесе буферлер енгізіледі, бұл өзара байланыс арасындағы кідірісті одан әрі арттырады. Сонымен қатар, чипте қайталағыштар есептеу құрылғыларына қарағанда көбірек орын алады [6].

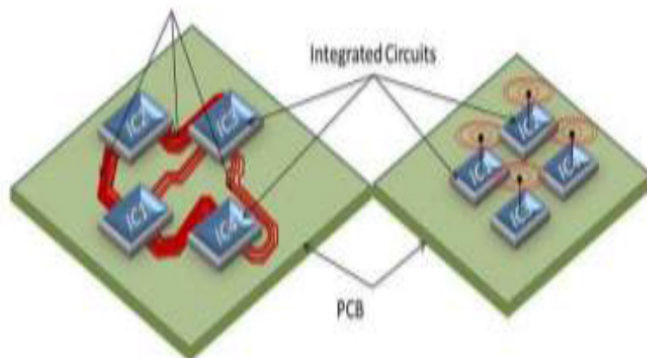
Екінші жағынан, соңғы жылдары радиожілік қосылыстары бойынша бірнеше зерттеулер жүргізілді [1, 2]. Жақында чиптегі желі (NoC) тұжырымдамасы пайда болды. Бұл желілік тәсіл тізбектер арасындағы сенімді байланыстарды қамтамасыз етеді. Қазіргі уақытта «NoC сымсыз қосылымы» [3] тұжырымдамасы қарастырылуда және біз оны интегралды микросхемалар арасындағы радиобайланысты қолданатын жағдайына бейімдеуді ұсынамыз. 1-ші суретте, біз бір схемада әртүрлі интегралды схемалар арасында байланыс орнатуға мүмкіндік беретін желіге сымды

және «сымсыз» тәсілдерді салыстыруды бейнелейтін схемалық көріністі ұсынамыз. Мысалы, іс1-іс4 схемалары сымды қосылыстарды қолданбай бір-бірімен әрекеттесе алады. UWB (ультра кең жолақты) байланысына байланысты FDMA (жиілікті бөлуге бірнеше қол жетімділік) немесе CDMA (кодты бөлуге бірнеше қол жетімділік) сияқты бірнеше қол жетімділік технологияларын қолдану қажет және үлкен өткізу қабілеттілігі антенналары мен трансиверлерін білдіреді [9].

Материалдар мен әдістер

Чипті мультипроцессорлардың пайда болуымен болашақ көп ядролы жүйелердің деректер жылдамдығына қойылатын талаптарды қанағаттандыру үшін энергияны үнемдейтін байланыс құрылымы қажет. «Чиптегі желі» (NoC) парадигмасы масштабталатын ядроларлық байланысты қамтамасыз ету үшін стандартты байланыс инфрақұрылымына айналуға алады. Алайда, зерттеулер көрсеткендей, металл байланыстары жоғары кідірісті тудырады және NoC архитектурасында артық энергияны тұтынады. Сияқты жаңа технологиялар кіріктірілген сымсыз қосылыстар дәстүрлі металл NoCs қуаты мен өткізу қабілеттілігі мәселелерін жеңілдетуі мүмкін [8].

Бұл мақалада біз WNoC-ты энергияны үнемдейтін сымсыз трансиверлерді пайдаланатын және әртүрлі ядролардың өткізу қабілеттілігіне қойылатын талаптарға жауап ретінде арналарды динамикалық қайта құру арқылы желінің өткізу қабілетін жақсартатын масштабталатын, бейімделетін сымсыз желі архитектурасы ретінде қарастырамыз. Жұмыс уақытында желімізде осындай бейімделуді жүзеге асыру үшін біз токенмен бірге фондық режимде жұмыс істейтін бейімделетін алгоритмді ұсынамыз ортақ пайдалану схемасы сымсыз өткізу қабілеттілігін толық және тиімді пайдалану үшін. Бірде-бір сымсыз NoC дизайны заманауи технологияларды қолдана отырып толық енгізілмегендіктен, біз соңғы технологияларды қолдана отырып, энергияны үнемдейтін сымсыз трансиверлерді дамытудың технологиялық тенденцияларын сипаттаймыз [10].



Сурет 1 – Тақтадағы классикалық желіні және тақтадағы сымсыз желіні (WNoC) салыстыратын архитектуралар [11]

Сымсыз байланыс-бұл жоғары өткізу қабілеттілігі мен төмен кідірісті қамтамасыз ете отырып, энергияны үнемдейтін байланысты қамтамасыз ете алатын әлеуетті шешім [9].

Сымсыз қосылыстардың бірегей артықшылықтары:

1) бір ауысымда ұзақ мерзімді байланыс үшін жоғары энергия тиімділігі;
2) толқын өткізгіштері немесе сымдары бар жүйелермен салыстырғанда күрделілігі аз және;

3) металл-оксид жартылай өткізгіш (МОЖӨ) сымсыз технологиясының қосымша конструкцияларымен үйлесімділік

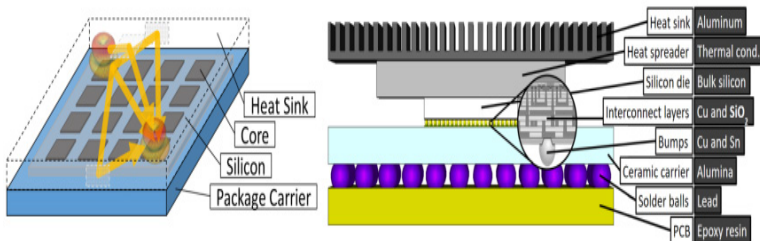
Сымсыз қосылымдар чиптің деректерін бір төмен қуат ауысуында тасымалдау үшін пайдаланылуы мүмкін. Алдыңғы кіріктірілген сымсыз / радиожилік технологиялары 0,33 Дж/бит [2], 1 Дж/бит [3], [4], 1,2 Дж/бит [5] және 4,5 Дж/бит [7] бағалау энергиясын көрсетті. Екінші жағынан, сымды өзара байланыстар чип арқылы беру үшін шамамен 3,2 ПДж/бит энергияға ие болуы мүмкін. Сонымен қатар, сымды өзара байланыстар көбінесе бірнеше аралық маршрутизаторларды қажет етеді кідірісті, сондай-ақ энергия шығынын арттырады. Сымсыз тасымалдау үшін толқын өткізгіштер мен сымдар қажет емес, бұл үстеме шығын аймағын және чиптің дизайнының күрделілігін азайтады. Сонымен қатар, сымсыз технология сымсыз желілерде, ұялы телефондарда және т.б. қолданыстағы қосымшалармен байланыстың таныс түрі болып табылады.

Сымсыз NoCs (WNoCs) салыстырмалы түрде жаңа сала болып табылады және алдыңғы жұмыстардың ешқайсысы NOC сымсыз байланысын толық

жүзеге асырған жоқ трансивер, архитектураны жобалау, сымсыз арнаны модельдеу және трансиверлерді енгізу кезінде бірнеше маңызды мәселелер бар (сурет 2). Архитектура деңгейінде мұндай қысқа сымсыз байланыс желілері деректердің қашықтыққа қарамастан бір сағат ішінде чип арқылы таралуына мүмкіндік береді. Ең дұрысы, желінің энергия тиімділігі мен жоғары өткізу қабілеттілігін қамтамасыз ету үшін чиптегі барлық байланыс сымсыз болуы керек. Дегенмен, сымсыз жиіліктердің шектеулі спектрінде пайдалануды азайту кезінде сымсыз арнаны барынша пайдалану маңызды болады. барлық кіріктірілген коммуникациялар үшін сымсыз арналар [5].

WNoC чипіндегі сымсыз желі әдетте сымды ұйқы режиміне сымсыз ішкі кристалды қосылымдарды енгізуді білдіреді. Сымсыз интерфейске кіретін, топтастырылған, модуляцияланған және антенна шығаратын пакет, біз 1-суретте көріп отырғанымыздай, радиотолқындар белгіленген бағыттарға жеткенше, сондай-ақ олар демодуляцияланған және топтастырылмаған пакетте болғанша жарық жылдамдығымен пакет арқылы беріледі.

Чиптің құрылымы және антеннаның орналасуы: стандартты чиптің стандартты қимасы оқшаулағышпен бөлінген және кремний субстратының үстіне қойылған 5-10 қабатты металл пакеттен тұрады. Содан кейін чиптер әдетте механикалық қорғауды қамтамасыз ететін және оларды басқа компоненттермен жұптастыруды жеңілдететін қаптамамен жабылады. Чипке бұралып, дәнекерлеу арқылы қосылатын жиналмалы чипсет пакеттері қазіргі уақытта кең таралған және сымды қосылымды қалайды. 2-суретте көрсетілгендей, чип жылу қабылдағышпен жанасатын металл радиатормен және үстінде бірнеше металл қабаттары бар орауыш тасымалдаушымен қоршалған.



Сурет 2 – Компьютер пакетінің ішіндегі сымсыз тарату (сол жақта) және жиналмалы чипі бар пакеттің әдеттегі көлденең қимасы (оң жақта)

Жиналмалы чип пакеті антенналар үшін көп орын қалдырмайды. Байланыстырушы түтіктердің болуына байланысты антенналарды енді бірінші металл қабатында енгізу мүмкін емес. Сонымен қатар, дизайнерлер

тік жалғыз өрістерді жүзеге асыру үшін кремнийге жақын металл қабаттарын қолдануға немесе TSV арқылы кремнийді бұрғылауға мәжбүр. Аймақтың өте қатаң шектеулеріне байланысты, сирек жағдайларды қоспағанда, бағытталған антенналар мен тімо торларына тыйым салынады.

Жиілік аймағындағы талдау. Толқындық шешуші өрістің таралуын, антеннаның пайда болуын және жиілік аймағындағы антенналар арасындағы байланысты алуға мүмкіндік береді. Содан кейін арнасының жиілік реакциясы антенналардың әр жұбы үшін келесідей бағаланады.

$$G_i G_j |H_{ij}(f)|^2 = \frac{|S_{ij}(f)|^2}{(1 - |S_{ii}(f)|^2 - |S_{jj}(f)|^2)}, \quad (1)$$

мұндағы G_i және G_j – таратқыш пен қабылдағыш антеннасының күшейту коэффициенттері, S_{ji} – i таратқыш пен j қабылдағыш арасындағы байланыс, ал S_i және S_j – екі ұшындағы шағылысу коэффициенттері [12]. N жиілік сипаттамаларының барлық матрицасы алынғаннан кейін, d қашықтықтағы әлсіреуді реттеу арқылы трактаттағы шығындарды талдауға болады

$$L = 10n \cdot \log_{10}(d/d_0) + L_0, \quad (2)$$

мұндағы L_0 – тірек қашықтықтағы жолдағы шығындар, d_0 ал n - жолдағы шығындар көрсеткіші [11]. Жолдағы шығындар коэффициенті бос кеңістікте шамамен 2, басқарылатын немесе жабық құрылымдарда 2-ден төмен және шығынды ортада 2-ден жоғары. Арнадағы шығындар трансвердің қуат тұтынуын анықтау үшін өте маңызды болғандықтан (V бөлімді қараңыз), біз ең нашар жағдайда максималды мән, AVG орташа мәні және N жолындағы шығын көрсеткіші бойынша жақсартулар туралы хабарлаймыз.

Уақыт аймағын талдау. Уақыт аймағында электромагниттік кедергілерді шешуші таратқыш антеннаның кірісінде $x(t)$ кіріс қозуын анықтауға мүмкіндік береді. Біз антенналарда $y(t)$ шығыс сигналын аламыз, оның ішінде таратқыш, сондықтан таратқыш пен j қабылдағышы арасындағы импульстік реакциясын классикалық тұжырымдау арқылы алуға болады.

$$y_j(t) = y_i(t) * y_{ij}(t), \quad (3)$$

мұндағы $*$ конволюция операторын білдіреді. Есептеуден кейін қуаттың кешігу профилін (КҚП) келесідей бағалау оңай

$$P_{ij}(\tau)^2 = |h_{jj}(t, \tau)|^2, \quad (4)$$

демек, біз ҚКП Р функциясының матрицасын аламыз, арнаның көп сәулелі қанықтылығын сипаттау үшін біз әр ҚКП-дің кідіріс дисперсиясының аламыз

$$\tau_{rms}^{(i,j)} = \sqrt{\frac{\int (\tau - \bar{\tau}_{i,j})^2 P_{ij}(\tau) d\tau}{\int P_{ij}(\tau) d\tau}}, \quad (5)$$

мұндағы $\bar{\tau}_{i,j} = \frac{\int \tau P_{ij}(\tau) d\tau}{\int P_{ij}(\tau) d\tau}$, арнаның орташа кідірісі.

Бұл жұмыста біз барлық сымсыз арналар таратылады деп болжаймыз, сондықтан олар барлық түйіндерде дұрыс декодтауды қамтамасыз ете отырып, ең төменгі жылдамдықта жұмыс істеуі керек. Нәтижесінде біз кідірістердің ең нашар таралуын шекті жағдай ретінде қабылдаймыз және оны когеренттік өткізу қабілеттілігін келесідей бағалау үшін қолданамыз

$$\tau_{rms} = \max_{i,j \neq i} \tau_{rms}^{(i,j)} \Rightarrow B_c = \frac{1}{\tau_{rms}}, \quad (6)$$

Арналарды жобалау. Біздің әдістеме пайдалылық көрсеткішін немесе біз барынша арттыруға тырысатын жарамдылық функциясын анықтайды. Мақсат жолдағы шығындар мен кідірістердің таралуын азайту болғандықтан, фитнес функциясы келесідей болады.

$$\phi_\omega = \frac{1}{PL\omega DS^{1-\omega}}, \quad (7)$$

берілген ω үшін біз өндіруші немесе сәулетші белгілеген шектерде жарамдылық функциясын барынша арттыратын T_s , T_h және f_s мәндерін табамыз. Бұл жұмыста біз үш негізгі дизайн параметрін қарастырғанымызбен, оңтайландыру антеннаны орналастыру, чиптің бүйірлік өлшемдері немесе қосымша материалдарды таңдау сияқты кез келген басқа дизайн шешіміне таралуы мүмкін екенін ескеріңіз.

Оңтайландыру мәселесін шешу үшін алдымен $\{T_s, T_h, f_s\}$ әрбір комбинациясы үшін φ_w алу үшін қажет толық толқынды модельдеу өте жоғары есептеу шығындарын қажет ететінін атап өткен жөн, әсіресе f_s ұлғайған сайын, бұл жан-жақты іздеуді практикалық емес етеді. Сонымен қатар, жолдағы шығындар мен дисперсия $\{T_s, T_h, f_s\}$ монотонды емес жолдармен байланысты және көбінесе қарама-қарсы тенденцияларды көрсетеді. Бұл φ_w функциясында жергілікті шыңдарды жасайды, осылайша жергілікті максимумдарда тұрып қалуға бейім градиент негізіндегі төбеге көтерілу сияқты әдістерді тастайды. Балама жергілікті шыңдардан аулақ болу және біртіндеп жаһандық оптимумға жақындау үшін ықтималдық әдісін қолданатын имитацияланған күйдіру (ИК) болуы мүмкін. ИК басқа электромагниттік есептерде қолданылған [7], [8] және кеңінен танымал, сондықтан қысқаша айтқанда, біз оның орындалуын егжей-тегжейлі сипаттамаймыз. Біз жай ғана арна сипаттамасының нәтижелері ИК-ны жаһандық оптимумдарға жылдам жақындату үшін тиісті эвристиканы (мысалы, үміткерлерді құру, салқындату кестесі) шығаруға көмектесетінін атап өтеміз.

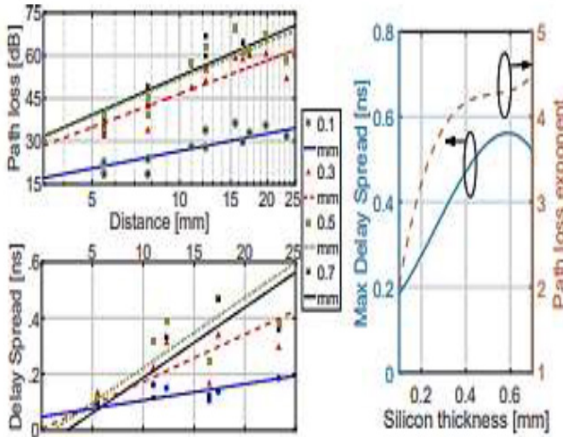
Нәтижелер мен талқылау

Мұнда біз T_s кремнийінің қалыңдығының, T_h жылу таратқышының қалыңдығының және f_s орталық жиілігінің трактінің жоғалуына және кідірістердің таралуына әсерін сандық түрде анықтаймыз. Егер басқаша көрсетілмесе, біз $f_s = 60$ Гц және стандартты чиптің өлшемдерін ($T_s = 0,7$ мм және $T_h = 0,2$ мм) әдепкі ретінде қабылдаймыз 3 (а) суретте кремнийге қатысты масштабтау тенденциялары көрсетілген.

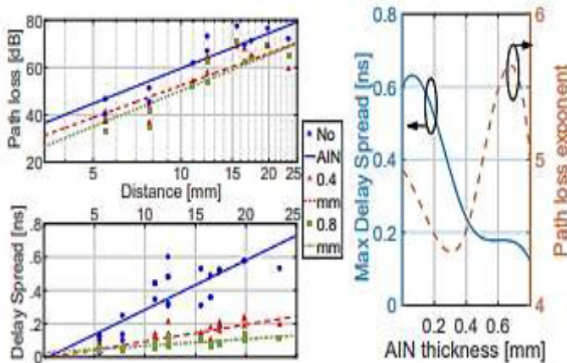
Қалыңдығы 100 мкм чиптің жолында максималды шығыны $L_{\max} = -36,29$ дБ және кідірісінің максималды таралуы $\tau_{rms} = 0,19$ нс болады. Стандартты чиппен салыстырғанда, азайтылған балама тракт шығындары бойынша 2,1 есе жақсы (39 дБ айырмашылық) және кідірістердің таралуы бойынша 2,73 есе жақсы (0,33 нс айырмашылық). Сонымен қатар, жолдағы шығындар көрсеткіші $N = 4,32$ -ден $n = 1,32$ -ге дейін төмендейді, бұл жоғалған ортадан ($N > 2$) жетекші ортаға ($N < 2$) өтуді растайды. Сондай-ақ, өнімділік кідірістердің таралуы тұрғысынан жақсарайды, көлбеуді 25,05-тен 5,83 PS / мм-ге дейін төмендетеді.

3 (b) – сурет T_h жылу таратқышының қалыңдығын өзгерту арқылы талдауды қайталайды. Электр қуатының төмен шығынын ескере отырып, бұл қабат жылудың таралуына ықпал етуі мүмкін, сондықтан оны қосу ұсынылады. Жылу таратқыштан шығатын күшті шағылысу кластерінің болуына байланысты кідірістің таралуы $3 \times (0,6$ -дан $0,2$ нс-ге дейін) артады. Жолдағы шығындарға келетін болсақ, мұнда келтірілген жағдай жолдағы шығындар тұрғысынан шектеулі әсерді көрсетеді (орташа 10 дБ жақсару),

өйткені энергияның көп бөлігі жылу таратқышқа жеткенге дейін қалыңдығы 0,7 мм кремний қабатына таралады. Кеңістіктің болмауына байланысты көрсетілмегенімен, АН-дің жолдағы шығындарға әсері сирек кездесетін кремний үшін әлдеқайда айқын, өйткені көрсеткіш $n = 4,01$ -ден (АН жоқ) 1,1-ге (0,8 мм) дейін төмендейді. Бұл жағдайда кідірістердің таралуы 0,2 мен 0,6 нс аралығында болады, кейде жолдың жоғалу тенденциясына қайшы келеді.



(а) кремнийдің қалыңдығы T_s ($T_h = 0,2$ мм)



(б) жылу таратқыштың қалыңдығы T_h ($T_s = 0,7$ мм) масштабтау

Сурет – 1 Сол жақта: қашықтыққа бөлінген траекторияның жоғалуы және кідіріс. Оң жақта: τ_{rms} кідірістерінің максималды таралуының масштабтау тенденциялары және N жолындағы шығындар көрсеткіші

Соңында, 3-суретте жиіліктің нәтижелері көрсетілген есептеу шектеулеріне байланысты біз 60-120 ГГц диапазонымен шектейтін масштабтау талдауы. Сонымен қатар, біз кремний мен жылу таратқыштың қалыңдығын жоғарыдағы дизайн нұсқауларына сәйкес сәйкесінше кіші және үлкен мәндерге орнатамыз.

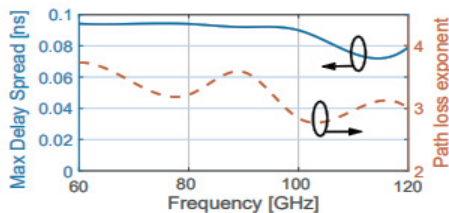


Fig. 6. Scaling of the maximum delay spread τ_{rms} and the path loss exponent n with respect to frequency ($T_s = 0.3$ mm and $T_h = 0.8$ mm).

Сурет 4 – Кідірістерінің максималды таралуын және N жолындағы шығын көрсеткішін жиілік бойынша масштабтау ($T_s = 0,3$ мм және $T_h = 0,8$ мм).

Біз дәл осы нұсқаны таңдадық ($T_s = 0,3$ мм және $T_h = 0,8$ мм), өйткені ол дисперсия тұрғысынан оңтайлы нүктеге жақын. Біз мұны табамыз $f_s = 110$ Гц кідірістердің таралуы тұрғысынан минимумға әкеледі, дегенмен жақсарту басқа жиіліктерге қатысты шектеулі [6]. Екінші жағынан, трактаттағы шығындарға әсер айтарлықтай, бірақ түйсікке қайшы келеді, өйткені трактаттағы шығындар экспонентте де, орташа мәнде де (10-20 дБ; кеңістікті үнемдеу мүддесінде көрсетілмеген) 60 ГГц-тен 100 ГГц-ке дейін айтарлықтай төмендейді.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды, AP14869840 – «Интерфейстер арасындағы ақпаратты ультра кең жолақты көп антенналық сымсыз тасымалдауды зерттеу және құру» жобасы аясында шығарылды.

Қорытынды

Сымсыз ішкі чип заманауи көп ядролы процессорлардың масштабталу мәселелеріне әлеуетті шешім ретінде ұсынылды. Дегенмен, біз осы саладағы жұмыстардың көпшілігі арнаға тым ілгермелі екенін көрсеттік, бұл көрсеткіштер стандартты чип пакеті үшін арналып жасалғандардан бір немесе екі есе жақсырақ деп есептейміз. Осы іргелмелі мәселені әрі қарай шешу және NoC әлеуетін растау үшін біз осы жаңа сымсыз зерттеулердің екі ерекше қасиетін қолданатын әдістемені ұсындық: оның монолитті

және статикалық сипаты. Біріншісі бізге арнаны жобалауға, яғни таратуды жақсарту үшін чип желілерінің пакетін өзгертуге мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **D. DiTomaso, A. Kodi, D. Matolak, S. Kaya, S. Laha, and W. Rayess**, «A-WiNoC: Adaptive Wireless Network-on-Chip Architecture for Chip Multiprocessors» // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 26, no. 12, O. 3289–3302, 2015.

2 **M. S. Shamim, N. Mansoor, R. S. Narde, V. Kothandapani, A. Ganguly, and J. Venkataraman**, «A wireless interconnection framework for seamless inter and intra-chip communication in multichip systems,» IEEE Transactions on Computers, vol. 66, no. 3, P. 389–402, 2017.

3 **R. S. Narde, N. Mansoor, A. Ganguly, and J. Venkataraman**, «On-Chip Antennas for Inter-Chip Wireless Interconnections: Challenges and Opportunities» // in Proceedings of the EuCAP '18, 2018.

4 **S. Laha, S. Kaya, D. W. Matolak, W. Rayess, D. DiTomaso, and A. Kodi**, «A new frontier in ultralow power wireless links: Network-on-chip and chip-to-chip interconnects,» IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, vol. 34, no. 2, P. 186–198, 2015.

5 **L. Benini, G. De Micheli**, «Networks on Chips: A New SOC Paradigm» Computer, Vol. 35, No.1, P. 70–78, Jan. (2002).

6 **J. Kim, K. Choi, and G. Loh**, «Exploiting new interconnect technologies in on-chip communication» // IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, 2012.

7 **Y. Chen and C. Han**, «Channel Modeling and Analysis for Wireless Networks-on-Chip Communications in the Millimeter Wave and Terahertz Bands» // in Proceedings of the INFOCOM WKSHPS '18, 2018.

8 **S. H. Gade and S. Deb**, «HyWin: Hybrid wireless NoC with sandboxed sub-networks for CPU/GPU architectures,» // IEEE Transactions on Computers, vol. 66, no. 7, pp. 1145–1158, 2017.

9 **J. Wu, A. Kodi, S. Kaya, A. Louri, and H. Xin**, «Monopoles Loaded with 3-D-Printed Dielectrics for Future Wireless Intra-Chip Communications,» // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 65, no. 12, P. 6838–6846, 2017.

10 **A. Mineo, M. Palesi, G. Ascia, and V. Catania**, «Runtime Tunable Transmitting Power Technique in mm-Wave WiNoC Architectures,» // IEEE Transactions on VLSI Systems, vol. 24, no. 4, P. 1535–1545, 2016.

11 **X. Yu, J. Baylon, P. Wettin, D. Heo, P. Pratim Pande, and S. Mirabbasi**, «Architecture and Design of Multi-Channel Millimeter-Wave Wireless Network-on-Chip,» // IEEE Design & Test, vol. 31, no. 6, P. 19–28, 2014.

REFERENCES

- 1 **D. DiTomaso, A. Kodi, D. Matolak, S. Kaya, S. Laha, and W. Rayess**, «A-WiNoC: Adaptive Wireless Network-on-Chip Architecture for Chip Multiprocessors» // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 26, no. 12, P. 3289–3302, 2015.
- 2 **M. S. Shamim, N. Mansoor, R. S. Narde, V. Kothandapani, A. Ganguly, and J. Venkataraman**, «A wireless interconnection framework for seamless inter and intra-chip communication in multichip systems,» IEEE Transactions on Computers, vol. 66, no. 3, P. 389–402, 2017.
- 3 **R. S. Narde, N. Mansoor, A. Ganguly, and J. Venkataraman**, «On-Chip Antennas for Inter-Chip Wireless Interconnections: Challenges and Opportunities» // in Proceedings of the EuCAP '18, 2018.
- 4 **S. Laha, S. Kaya, D. W. Matolak, W. Rayess, D. DiTomaso, and A. Kodi**, «A new frontier in ultralow power wireless links: Network-on-chip and chip-to-chip interconnects,» IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, vol. 34, no. 2, P. 186–198, 2015.
- 5 **L. Benini, G. De Micheli**, «Networks on Chips: A New SOC Paradigm» Computer, Vol. 35, No.1, pp. 70–78, Jan. (2002).
- 6 **J. Kim, K. Choi, and G. Loh**, «Exploiting new interconnect technologies in on-chip communication» // IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, 2012.
- 7 **Y. Chen and C. Han**, «Channel Modeling and Analysis for Wireless Networks-on-Chip Communications in the Millimeter Wave and Terahertz Bands» // in Proceedings of the INFOCOM WKSHPs '18, 2018.
- 8 **S. H. Gade and S. Deb**, «HyWin: Hybrid wireless NoC with sandboxed sub-networks for CPU/GPU architectures,» // IEEE Transactions on Computers, vol. 66, no. 7, P. 1145–1158, 2017.
- 9 **J. Wu, A. Kodi, S. Kaya, A. Louri, and H. Xin**, «Monopoles Loaded with 3-D-Printed Dielectrics for Future Wireless Intra-Chip Communications,» // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 65, no. 12, pp. 6838–6846, 2017.
- 10 **A. Mineo, M. Palesi, G. Ascia, and V. Catania**, «Runtime Tunable Transmitting Power Technique in mm-Wave WiNoC Architectures,» // IEEE Transactions on VLSI Systems, vol. 24, no. 4, pp. 1535–1545, 2016.
- 11 **X. Yu, J. Baylon, P. Wettin, D. Heo, P. Pratim Pande, and S. Mirabbasi**, «Architecture and Design of Multi-Channel Millimeter-Wave Wireless Network-on-Chip,» // IEEE Design & Test, vol. 31, no. 6, pp. 19–28, 2014.

Материал баспаға 13.03.23 түсті.

*Р. Т. Қасым^{1,2}, Б. Тұрдыбек^{1,2}, А. Т. Жетписбаева²,

А. Ж. Ерденов², Т. Г. Сериков²

¹Академия логистики и транспорта, Республика Казахстан, г. Алматы,

²Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,

Республика Казахстан, г. Астана,

Материал поступил в редакцию 13.03.23.

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОПОЛОСНОГО БЕСПРОВОДНОГО МЕЖЧИПОВОГО КАНАЛА СВЯЗИ

С появлением интернета вещей и информационной революции спрос на высокопроизводительные вычислительные системы растет. Взаимные медные соединения на вычислительных чипах превратились в сложную сеть взаимосвязей, называемую network on chip (NoC), состоящую из маршрутизаторов, коммутаторов, ретрансляторов, таких как компьютерные сети. Когда сеть на кристалле реализована в больших масштабах, таких как многоядерные многочиповые системы для высокопроизводительных вычислительных систем, длина соединения увеличивается, а также возникают такие проблемы, как распределение мощности, задержка связи, синхронизация часов и электрические помехи. В этой статье беспроводные межсоединения выбираются в качестве замены проводных межсоединений из меди. Был предложен новый метод удвоения разрешения временной области для преобразования данных частотной области во временную область с использованием обратного дискретного преобразования Фурье. Было обнаружено, что коэффициент потерь в пути равен 1,607 для закрытого случая, а энергия следует логическому распределению в небольшом масштабе. На основе анализа практических ситуаций разрабатываются и моделируются модели каналов. Беспроводные соединения обеспечивают простую интеграцию с производством CMOS и упаковкой микросхем. Предлагаются решения для достижения высокой скорости (Гбит/с) с использованием беспроводных соединений, работающих в нелицензированном диапазоне миллиметровых волн (57-64 ГГц).

Ключевые слова: волоконно-оптическая система, интерфейс, нано-антенна, математическая модель, беспроводная межчиповая связь.

*R. T. Kasym^{1,2}, B. Turdybek,^{1,2} A. T. Zhetpisbaeva²,
A. Zh. Erdenov², T. G. Serikov²

¹Academy of logistics and transport, Almaty, Republic of Kazakhstan,

²Kazakh agrotechnical university named after S.Seifullin,
Astana c., Republic of Kazakhstan

Material received on 13.03.23

CREATION OF A MATHEMATICAL MODEL TO IMPROVE THE PARAMETERS OF A BROADBAND WIRELESS INTERCHIP COMMUNICATION CHANNEL

With the advent of the Internet of Things and the information revolution, the demand for high-performance computing systems is growing. Mutual copper connections on computing chips have turned into a complex network of interconnections, called network on chip (NoC), consisting of routers, switches, repeaters, such as computer networks. When a network on a chip is implemented on a large scale, such as multi-core multi-chip systems for high-performance computing systems, the connection length increases, and problems such as power distribution, communication delay, clock synchronization and electrical interference also arise. In this article, wireless interconnects are selected as a replacement for wired copper interconnects. A new method of doubling the resolution of the time domain has been proposed for converting frequency domain data into a time domain using the inverse discrete Fourier transform. It was found that the path loss coefficient is 1.607 for the closed case, and the energy follows a logical distribution on a small scale. Based on the analysis of practical situations, channel models are developed and modeled. Wireless connections provide easy integration with CMOS manufacturing and chip packaging. Solutions are proposed to achieve high speed (Gbit/s) using wireless connections operating in the unlicensed millimeter wave range (57-64 GHz).

Keywords: fiber-optic system, interface, nano-antenna, mathematical model, wireless chip-to-chip communication.

Теруге 13.03.2023 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2023 ж. кол қойылды.

Электронды баспа

3,44 Мб RAM

Шартты баспа табағы 23.59. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4039

Сдано в набор 13.03.2023 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

3,44 Мб RAM

Усл. печ. л. 23.59. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4039

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz