



НАНОКОМУНИКАЦИОННИ УСТРОЙСТВА И МРЕЖИ

Лекция 9.

Интернет на наночестота IoNT – Моделиране, протоколи и приложения

Доц. д-р инж. Галя Маринова
2022 г.




План

Взаимовръзката на наноустройствата със съществуващите комуникационни мрежи и особено с INTERPHET дефинира нова мрежова парадигма, която авторите Ian F. Akyildiz и Josep Miquel Jornet наричат **Internet of Nano-Things** – Интернет на наночестота.

В този контекст са разгледани:

- Преглед на електромагнитните комуникации между наноустройствата.

- Задълбочен преглед на теорията на информатиката и комуникациите, като са посочени и изследователските направления за нанокомуникациите:

- ✓ Моделиране на канала,
- ✓ Кодирание на информацията и
- ✓ Протоколи за наномрежи и Internet of Nano-Things (IoNT).

Проектът е финансиран от Националната научна фондация на САЩ (NSF)

- Приложения на IoNT в различни области

Ian F. Akyildiz and Josep Miquel Jornet, Georgia Institute of Technology, The INTERNET of nano-things, IEEE Wireless Communications, December 2010, pp.58-63



Въведение

В наноскалата, наномашината е базисната функционална единица, създадена от наноконпоненти и способна да изпълнява прости задачи като **сензор или актуатор**.

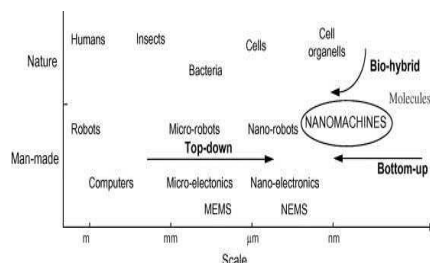
Координацията и обменът на информация между множество наномашини увеличава потенциала за приложение на индивидуалните устройства като сложност и като набор от действия.

Получените наномрежи могат да покрият по-големи области, да достигнат безпрецедентни местоположения по **неинвазивен** начин, и да извършват допълнителна вътрешномрежова обработка. Освен това връзката на наноустройствата с класическите мрежи и най-вече с Интернет дефинира новата мрежова парадигма, наречена **IoNT**.

Все още, обаче, не е съвсем ясно, как ще комуникират наномашините.



Биологични структури и наноустройства в наноскалата



Ebtessam Almazrouei/Raed Shubair/Raed Shubair/Fabrice Saffre/Fabrice Saffre, Internet of NanoThings: Concepts and Applications, September 2018
https://www.researchgate.net/publication/327858790_Internet_of_NanoThings_Concepts_and_Applications



Автоматизация и IoNT

Модерната автоматизация е силно свързана с наноустройствата, които комуникират помежду си и осигурява малък размер на системите. Тази интеграция позволява **иновации** във всички възможни области – автомобилната и здравната индустрии, домакинските уреди.

Електрониката на IoNT е много високотехнологична като проектиране и производство, но се изискват и качествени **корпуси**, за да се предпазят устройствата от нежелана **интерференция**.

Тя е особено предизвикателство защото наноустройствата комуникират безжично помежду си чрез електромагнитните методи. Видовете нанотехнологии интегрирани в системите за IoT са специфични за всяко приложение.

Read more: <https://statnano.com/news/66887/A-Glance-at-the-Internet-of-Nano-things-and-Its-Applications#ixzz6gbHKVgi4>



IoT и IoNT

В интелигентната фабрика IoNT, устройствата се използват за контрол на температурата, влажността, газовете изпарения, качеството на водата и въглеродните емисии на отработените газове.

Свързаните коли, които с помощта на миниатюрни сензори могат да предскажат близостта, заобикалящите условия и местоположението и да гарантират сигурност и точност на помощните системи в колата.

В интелигентните градове, приложението на свързани наноустройства е част от интегрирани технологии за мониторинг на **концентрациите на токсични газове или частици**, като устройствата се вграждат на различни места в града, за да се наблюдават **нивната на замърсяване**, за да се поддържа здравето и безопасността на жителите в района.

Read more: <https://statnano.com/news/66887/A-Glance-at-the-Internet-of-Nano-things-and-Its-Applications#ixzz6gbHKVgi4>





Молекулярни и ЕМ комуникации

Засега има 2 основни алтернативи за нанокомуникациите, молекулярни комуникации и нано-електромагнитни комуникации:

- **Молекулярни комуникации:** дефинирани са като предаване и приемане на информация кодирана в молекули. Очаква се молекулните предаватели да се интегрират лесно в нано-устройствата поради техния размер и област на действие. Тези предаватели са способни да реагират на специфични молекули, и да освобождават други в отговор на вътрешна команда или след прилагане на някакъв вид обработка.

- **Нано-електромагнитни комуникации:** дефинирани са като предаване и приемане на електромагнитно излъчване (ЕМ) от компоненти от **новите наноматериали**. Уникалните свойства на тези материали ще определят специфична лента на ЕМ излъчване, времезакъснението на излъчването, и големината на излъчената мощност за дадена входна енергия.



Акцент са ЕМ комуникации

Разгледани са основно ЕМ комуникации между наноустройствата.

Най-напред е предложена **референтна архитектура за Internet of Nano-Things**.

Мотивира се изучаването на **Терахерцовата лента** за нано-електромагнитните комуникации и се очертават основните насоки за изследване като **моделиране на канала, модулация на информацията и мрежови протоколи** за наноустройствата.



МРЕЖОВА АРХИТЕКТУРА

Нужни са нови мрежови архитектури.

Архитектура на **Internet of Nano-Things** с 2 различни приложения:

- за наномрежи вътре в тялото за отдалечени здравни грижи,
- и за бъдещ свързан офис:

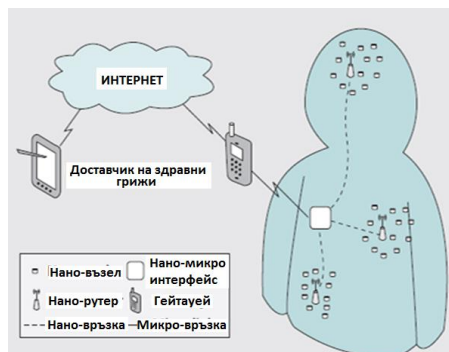
При мрежите вътре в тялото, наномашините като наносензори и наноактуатори, разположени в човешкото тяло **се управляват дистанционно от макроскалата и през Интернет** чрез външен потребител като доставчика на здравни грижи.

Наноскалата е естествена област за молекулите, протеините, ДНК, органелите и основните компоненти на клетките.

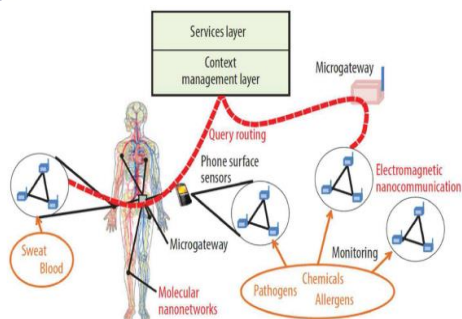
Съществуващите **биологични наносензори и наноактуатори осигуряват интерфейс** между биологичните феномени и електронните наноустройства, който може да се използва в новата мрежова парадигма.



Мрежова архитектура за Internet of Nano-Things: Мрежи вътре в тялото за приложение в здравните грижи



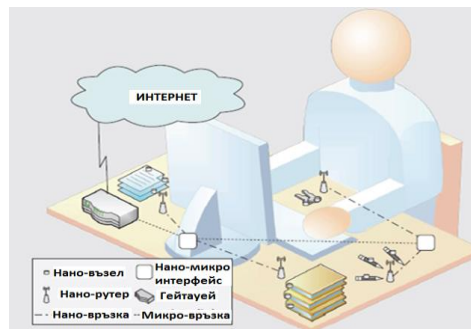
Мрежова архитектура за Internet of Nano-Things:



Ebtessam AlmazroueiRaed ShubairRaed Shubai/Fabrice SaffreFabrice Saffre, Internet of NanoThings: Concepts and Applications, September 2018
https://www.researchgate.net/publication/327858790_Internet_of_NanoThings_Concepts_and_Applications



Мрежова архитектура за Internet of Nano-Things: б) Свързан офис.





Свързан офис, получаване на енергия и ниска консумация

В свързания офис, всеки отделен елемент, който нормално се намира в офиса и даже вътрешните му компоненти са снабдени с **нанопредаватели**, които им позволяват да са свързани непрекъснато към Интернет. В резултат на това потребителят може да следи без усилие положението и състоянието на всичките си вещи. Удобно и почти невидимо разполагане на малки и ненападливи устройства.

Възможността за **получаване на енергия от вибрации, механична или дори ЕМ от околната среда**, ултра-ниската консумация на енергия и приемливите изчислителни възможности, мотивират **използването на новите наноматериали** при разполагането на тези устройства.



Компоненти на IoNT: Нано-възли и нано-рутери

Компоненти в мрежовата архитектура на Internet of Nano-Things:

•Нано-възли: това са най-малките и най-прости наномашини. Те могат да изпълняват прости изчисления, имат ограничена памет, и могат да предават само на много къси разстояния, основно заради **ограничената им енергия** и ограничените възможности за комуникация: Биологичните наносензорни възли вътре в човешкото тяло и наномашините с комуникационни възможности, интегрирани във всякакви предмети като книги, ключове, класъори са добри примери за нано-възли.

•Нано-рутери: тези нано-устройства имат сравнително по-големи изчислителни ресурси от нановъзлите и могат да натрупват информация, идваща от ограничените нано-машини. Могат да контролират поведението на нано-възлите чрез обмяна на **много прости контролни команди** (on/off, заспиване, четене на стойност, и др.). Тези по-големи възможности водят до **увеличаване на размера** им, и това прави тяхното разполагане **по-инвазивно**.



Компоненти на IoNT: Нано-микро интерфейс и Гейтауей

- Нано-микро интерфейсни устройства:** те са способни да **натрупват информация идваща от нанорутерите**, да я предават към микроскалата, и обратно. Те са хибридни устройства, способни да комуникират **в наноскалата** чрез нанокомуникационни техники и да използват класическите комуникационни парадигми на **конвенционалните комуникационни мрежи**.
- Гейтауей:** Това устройство позволява **дистанционен контрол** на цялата система чрез Интернет. Например, при мрежа вътре в тялото, **съвременните клетъчни телефони** могат да предават информацията, която получават **от нано-микро интерфейса в нашата китка** към доставчика на здравни услуги. В свързания офис - **модем-рутер**. Въпреки свързаността на устройствата на микро-ниво, разработването на гейтауей и на мрежово управление през Интернет все още са **отворени области**.



Комуникационни предизвикателства за ЕМ наномрежи

IoNT започва чрез свързването на няколко наномашини.

Наномрежата не е просто мрежа на по-нискоразмерна скала, но притежава произтичащи от наноскалата свойства, които изискват премисляне на добре установените мрежови концепции.

Основните предизвикателства от комуникационна гледна точка започват от проблемите на **физическата наноскала**, засягащи проста наномашина и нагоре към **наномрежовите протоколи**.

Последователността за разработване на наномрежи е показана на Фиг. 2.



Фиг.2. Подход отдолу нагоре при проектиране на наномрежи



Честотна лента на работа на електромагнитните нано-предаватели

Комуникационните възможности и предизвикателства на наноскалата са силно зависими от **честотната лента на работа** на бъдещите **нанопредаватели** и по-специално на **наноантените**.

Предложени са **графенови наноантени** за нанокомуникациите. Те не са обикновени умалени класически антени. Скоростта на разпространение на вълните в графена може да бъде **до 100 пъти под скоростта на светлината във вакуум**. В резултат на това **резонансната честота на наноантените от графен може да е с 2 порядъка под** тази на наноантените изградени от невъзглводни материали.

1 μm графенова нано-антена от графенова нанолента (GNR) или от графенова нанотръба (CNT) може да излъчва ефикасно **само в Терагерцовия обхват**.

Това съответства и на работната честота на графеновите RF транзистори.





Приложение на радиото от нанотръба

ЕМ вълни може да се **приемат и демодулират от единична въглеродна нанотръба**, която вибрира механично на честотата на вълната. В този случай **механичната антена е интегрирана в CNT**, на която единият край е свързан към много високоволтов източник, а другият е оставен плаващ. Когато нанотръбата е облъчена от ЕМ вълна, електроните от свободния връх вибрират. Ако честотата на ЕМ вълна съответства на **естествената резонансна честота на CNT**, тези вибрации стават значителни и нанотръбата е способна да демодулира входния сигнал.

1 μm дълга нанотръба може да вибрира механично на честоти около **няколко стотин MHz**.

Използването на ЕМ вълни в MHz обхват може в началото да е по-привлекателно от излъчване в THz обхват, защото **наномашините биха могли да комуникират на по-големи разстояния**.

Но **енергийната ефективност на процеса на механично генериране на ЕМ вълни в наноустройството е много ниска**. Освен това е необходим мощен захранващ източник за възбуждане на CNT.



Терагерцова лента

Технологично не изглежда възможно, ефективно да се излъчва на няколко микрометра чрез използване на механично вибрираща CNT и затова се предвижда бъдещите ЕМ наномрежи да работят в **Терагерцовата лента**. CNT нано-механичен приемник може да се използва за контрол на наномашините от макро- или микро-скалата.

Например, може да се използва конвенционален AM/FM предавател, за да активира и деактивира едновременно хиляди нано-устройства.

Фокусирайки се върху **THz лента**, трябва да се подчертае, че докато честотните области точно под и над тази лента (микровълновите и далечните инфрачервени, респективно) са изучени, това е най-слабо изследваната честотна област в ЕМ спектър.

Затова трябва да се разработят **нови модели на канала за THz лента**.



Моделиране на канала

Трябва да се разбере модела на Терагерцовия канал за близки разстояния, **доста под 1 m**. Моделът трябва да отчита **загубите по пътя, шума, честотната лента и капацитета на канала**.

• **Загуби по пътя** — загубите от разпространение и загубите от молекулярна абсорбция.

Загубите от разпространение зависят само от **честотата на сигнала и разстоянието на предаване**. Молекулярната абсорбция зависи от **концентрацията на специфична смес от молекули**, които се срещат по пътя. Различните видове молекули имат различни резонансни честоти и абсорбцията на всеки резонанс не е закована на една единствена резонансна честота, но се разпростира върху **набор от честоти**. В резултат на това Терагерцовият канал е силно **честотно-селективен**.

Освен това, разсейването на наночастиците и разпространението по много пътища може да засегнат силата на сигнала в приемника.



Шум, честотна лента и капацитет

- **Шум** — основно от **молекулярен шум**. Молекулярната абсорбция вкарва шум. Еквивалентният шум в приемника зависи от **броя и специфичната смес от молекули по пътя и от разстоянието на предаване**. **Не е бял, а цветен**. Поради различната резонансна честота на всеки вид молекули, спектралната плътност на мощността на шума има **няколко пика**. Шумът се появява **само при предаване, няма шум ако каналът не се използва**.
- **Честотна лента и капацитет на канала** — Молекулярната абсорбция определя използваемата лента в THz канал. Зависи от **молекулярния състав на канала и от разстоянието на предаване**. За много кратко разстояние може да се ползва цялата лента.

Ограничените способности на индивидуалните наномашини поставят под въпрос възпроизводството на тези резултати при реално приложение. **По-скоро наномашините ограничават капацитета, отколкото самия канал**.

Но могат да се приложат **нови модулационни техники и схеми за споделяне на канала, специално пригодни за прости наномашини**.



Модулация на информацията

Изискват се нови **прости** модулационни техники подходящи за ограничения хардуер на наномашините. В широката честотна лента на THz канал, е възможен обмен на **много къси импулси от няколко fs**. Може да се излъчат от **графенова наноантена**.

Чрез предаване на тези импулси разпределени във времето, вместо в пакет или в залпове, се намаляват изискванията към захранването на наномашините.

Това е в основата и на **Impulse Radio Ultra-Wide-Band (IRUWB) системите**. Времето между импулсите е **стотици ns**.

Поредици от ортогонални времеви отскоци се използват, за да се включват синхронно различните потребители.

За наномрежите, тези системи са **много сложни**.



Пакети

За простота се предлага, наномашините да предават импулс за логическа 1

И да остават тихи за логическа 0.

За да се **детектира нискоенергиен импулс** се изисква точно вземане на пробата и **синхронизация**.

За да се улесни процеса може да се излъчи залп от импулси.

Пакетът ще е съставен от фиксиран брой символи (импулси и тишина) **разположени във времето**, с време между символите много по-голямо от дължината на символа, поради много **ограничените възможности за захранване** на наномашините.





Протоколи за наномрежи

Споделяне на канала — Трябва да се дефинират различни **механизми за достъп** на наномашините до канала в зависимост от това, **как е кодирана информацията**. Например, детектиране на носещата честота на основата на **Medium Access Control (MAC) протоколи** (например CSMA и всички нейни вариации) не може да се използва в комуникациите основани на импулси защото няма носещ сигнал, който да се детектира. Постигането на синхронизация между няколко нано-машини също е слабо вероятно. За простите наномашини не могат да се прилагат и много сложни протоколи.

Предаването на много къси импулси **намалява рискът от колизия между няколко нано-устройства**, които предават едновременно през канала.



Medium Access Control (MAC) протоколи за наномрежите

- **Асинхронни MAC протоколи**, при които наноустройствата, които искат да изпратят пакет трябва само да го предадат и да чакат потвърждение.
- Наноустройството може да започне да изпраща **кодиран пакет импулси**, когато има нужда да предава. Възлите в предавателния обхват трябва да могат да **детектират първия импулс** с дадена вероятност. Ако **времето между импулсите и фиксирано и известно за всички членове на мрежата**, след детектирането на първия импулс, наноустройствата могат да предвидят, кога ще дойде следващия импулс.
- Междувременно може да си подадат своите пакети.
- Приемникът трябва да може да **уведоми предавателя** ако случайно се получи **колизия на τ импулси**.
- Информацията, която тези устройства ще си обменят **не е голяма**. Началната точка за разработването на **Medium Access Control (MAC) протоколи за наномрежите**.



Адресиране на наномашините

- **Адресиране на наномашините** — В **IoT**, всеки елемент на мрежата има **уникално ID**. При наномрежите и IoNT, не е лесно да се даде различен адрес на всеки нано-възел, защото това ще изисква **сложна синхронизация и координация** между наномашините.

Ще има нужда от **много дълги адреси**.

По-лесно е да се отчете йерархичната мрежова архитектура и само нано-възлите, координирани от един нано-рутер да имат различни адреси.

Например адрес то **{G8.I3.R1.N4}**, може да значи нано-възел 4, с домейн на нано-рутер 1, свързан с нано-микро интерфейс 3, свързан с гейтауей 8.



Други подходи за адресиране

Различни **типове наномашини** може да имат различни адреси.

Друг пример може да е в наносензорни мрежи.

Различните възли ще реагират еднакво в зависимост от информацията, която се детектира или от тяхното вътрешно състояние.

Тези концепции може да се използват за развитието на нови протоколи за наномашините за откриване на мрежи и за асоцииране с мрежата.



Маршрутизиране на информацията

- **Маршрутизиране на информацията** — Наномашините може да отговорят на **специфични запитвания** от командния център или да докладват за нови събития.
- Това изисква установяването на **маршрути**. Ако се използва комуникация с импулси, може да се приеме, че нано-възлите ще имат някакво **понятие за разстоянието между тях**. Може да се приложи подредба чрез координиран обмен на импулси между 2 възела. Нано-рутерът може да дава **по-ниски логически ID на възлите, които са близо до него**. Възли на еднакво разстояние от рутера може да имат еднакво ID.
- По-далечните възли получават по-високи IDs.
- **Маршрутизацията трябва да се проектира едновременно с откриването на мрежа и услугите за асоцииране**.



Надеждност на наномрежите

Надеждност на наномрежите от край до край за IoNT трябва да гарантира едновременно за съобщения **идващи от отдалечен команден център към нано-възлите**, както и за **пакети идващи от наномашините към общия поток**.

Надеждността на мрежата зависи едновременно от **дефектите в наномашините** и от **преходната молекулярна интерференция в канала**.

Извън неочакваните грешки в нано-възлите, внезапен залп от молекули може да създаде временно прекъсване на мрежата в различни точки.

Ако това е само **локален ефект** за някои наномашини, протоколът за маршрутизация може да определи **алтернативен път**.

Ако е засегната цялата мрежа, малко може да се направи.

Наивно може да се увеличи броят наномашини на една площ. Но това е проблем при достъпа до канала или при маршрутизацията на информацията в мрежата. Когато става дума за **преходна молекулярна интерференция**, се **изискват по-сложни решения**. Например абсорбирането на молекулите ще предизвика пикове на затихването, но някои **предавателни прозорци може все още да са използваеми**. Може да се мисли за **сензорни протоколи**, при които наномашините да **детектират** чрез химически наносензори, кои **прозорци са налични**.





Свързване с мрежа откриване на услуга

В IoT, всеки нановъзел се очаква безпроблемно да се свързва към мрежата и същевременно да информира другите устройства за своето присъствие. Голям брой нано-неща са включени в такава мрежа, нужни са нови решения за свързване към нова мрежа и откриване на услуга.

Мрежовата йерархия дефинирана по-горе, улеснява тази задача. При повечето приложения няма да е необходимо да се уведоми цялата мрежа, когато в системата има **нов нано-възел, а само най-близкия нано-рутер или най-много нано-микро интерфейс.**

Когато се минава от микро и макро- мрежите към наномрежите, реално **не се покрива по-голяма физическа площ**, а се получава повече информация за същия обект или единица, например за неговите компоненти или за неговото вътрешно състояние. От гледна точка на мрежата, различните начини за информизиране и контрол на нано-устройствата може да идват директно от макро-скалата.

Например, контролер за макро-мрежа може периодично да излъчва някаква мрежова информация и да контролира информацията на **специална фиксирана честота в Мегагерцовия обхват**, която може да се получава от наноустройствата в CNT-базирани механични приемници.



Предизвикателства към сигурността на IoT

IoT е уязвимо от всякакъв вид атаки, и физически и чрез безжични технологии, още повече, че за този вид устройства не е налична непрекъснатата бдителност ([Dressler y Fischer, 2015](#)).

Атаките може да доведат до присвоването на лични данни, посредством кражбата на сензори, чрез прекъсване на приложенията контролиращи използването на компютрите или да променят комуникационните връзки в нано-мрежите.

[Jorner y Akvildiz \(2012a\)](#) говори за 3 посоки, в които трябва да се проучва с цел намиране на по-голяма сигурност и защитеност в IoT:

Нови механизми за отантикация, гаранция за интегритета на данните и гаранция за конфиденциалността на потребителя.

[Dressler y Fischer \(2015\)](#) описва нови методи за защита при нано-комуникациите, специално на връзката между IoT и IoT. Аспекти на сигурността на нано ниво са: сигурност на нанокомуникациите, цели и механизми на сигурността за IoT системите. Целите на сигурността представляват серия от концепции, които гарантират сигурността на комуникационните системи ([Dressler y Kargl, 2012b](#)). Става дума за "Конфиденциалност, интегритет, и наличност" ([Dressler y Kargl, 2012a, p. 6184](#)).



Приложения на IoT (1)

Internet of Bio-NanoThings (IoBNT)

Новите изследвания са насочено към внедряване на наноустройства и нанотехнологии в биологичната област. Има повишен интерес към обединяването на средствата на **синтетичната биология и нанотехнологията с контрола, модификацията, възобновяването и повторното използване на биологичните клетки.**

Биологичната клетка, която се използва в IoT вградените изчислителни устройства се нарича **Bio-NanoThing (BNT)** и тя може ефективно да контролира, да използва многократно и да възобновява функциите на биологичните клетки като детектиране, активиране, обработка и комуникация. Концепцията за **Internet of Bio-NanoThing (IoBNT)**, където клетките са основани на биологични молекули, вместо на електрони.

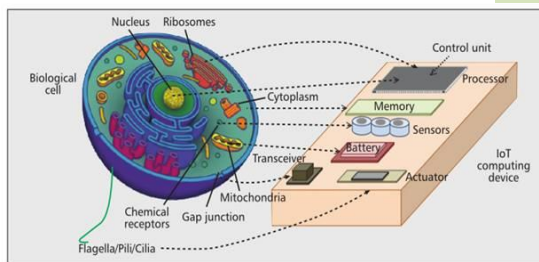
Приложения в биомедицината

IoBNT позволява съвместимост и стабилност на **био-молекулярно ниво**. Това позволява да се използва IoBNT за взаимовръзка с органи и тъкани.



Приложения на IoT (1.1)

Съответствие по аналогия между клетката и IoT изчислително устройство



Приложения на IoT (2)

Подкрепа на имунната система

IoBNT може да се използва за подпомагане на имунната система да идентифицира и да контролира **чужди и патогенни елементи** в човешкото тяло. Няколко наноустройствата като сензори и актуатори си сътрудничат помежду си в макро, микро и нано системи за защита на организма от болести. Внедряването на наноустройства може да усъвършенства медицината, като използва наноустройства **за прогнозиране**, откриване и премахване на определени процедури въз основа на **локализация на злонамерени агенти и клетки, като ракови клетки**. Това ще сведе до минимум риска от развитие на такова заболяване и ще се прилагат **по-малко агресивни и не-инвазивни лечения** в сравнение със съществуващите.

• Био-хибридни импланти

Наномрежите в IoBNT ще помогнат възможността да се **сменят органи, нервни връзки или повредени тъкани** от човешкото тяло. Могат да се разработят приятелски интерфейси между **био-хибридните импланти** и средите и да се възстановяват връзки с централната нервна система.



Приложения на IoT (3)

Системите от наноустройства за доставка на медикаменти в IoBNT могат да се използват като **регулаторни импланти** за компенсиране на **метаболични заболявания като диабета**. Интелигентни резервоари за глюкоза и наносензори си взаимодействат за поддържане на желаното ниво на глюкоза в организма. Може да се елиминират ефектите от **невродегенеративно** заболяване като се използва система за доставка на **невротрансмитери или на специални лекарства** за нервната система.

• Здравен мониторинг

Прилагането на наносензорни мрежи в човешкото тяло позволява здравен мониторинг за контрол на **кислорода, нивото на холестерола, хормоналните дисбаланси и позволява ранна диагноза**. Трябва да се поддържа добро ниво на свързаност между наномрежата и агентите, които могат да достигнат предадената здравна информация.

• Генно инженерство

Наномрежите в IoBNT ще разширят възможностите на генното инженерство. Наноустройствата ще позволят промяна, възобновяване (**re-engineering**) и манипулиране на наноструктурире на гените на молекулярните последователности.





Приложения на IoNT (4)

Индустриални приложения

Наномрежите ще се използват в приложенията за промишлени и потребителски стоки. Те ще подобрят производствените процеси, разработването на **нови материали** и процедурите за контрол на качеството.

• Контрол на качеството на храните и водата

Наномрежите може да се използват за наблюдение и контрол на качеството на храната и течностите. Наносензорът ще помогне да се **откриват токсичните компоненти и малки бактерии в храната и водата**, които не могат да бъдат открити с помощта на традиционните сензорни технологии. Съвременните **самопазещи се сензорни наномрежи** ще може дори да усетят малкото количество дефекти като химически или биологични агенти налични във водоснабдяването.

• Функционализирани материали и тъкани

Чрез използване на наномрежи може да се произведат нови усъвършенствани материали и тъкани с определени функционалности. Има разработени продукти като **антимикробен и отблъскващ петна текстил**, използващ **нанофункционализиран материал**. Наноактуаторите комуникират с наносензорите, за да контролират реакцията.



Приложения на IoNT (5)

Военни приложения

Обхватът на наномрежите е ограничен, следователно обхватът на наномрежите се определя съобразно приложение. Обхватът на наномрежите за наблюдение на войника е малък в рамките на човешкото тяло, докато за наблюдение на бойното поле е необходима **гъста и голяма мрежа**

• Ядрена, биологическа и химическа (NBC) защита

За голяма площ над бойното поле или целевите зони, защитната мрежа се състои от **наносензори и наноактуатори за откриване на агресивни химически и биологични агенти**. Освен това той координира отбранителния отговор. Наносензорните мрежи могат да се използват за откриване на неразрешено проникване на биологични, химически и радиологични материали, укрити в товарните контейнери.

• Нано-функционализирани екипировки

Наномрежите могат да усъвършенстват **камуфлажните и армейските униформи**, използвайки ново усъвършенствано военно оборудване, и с наномрежи може да се произведат усъвършенствани материали и оборудване. Тази технология ще даде възможност за **саморегулиране на температурата на тялото на войниците** под дрехите и ще може да открива и информира, че войникът е бил ранен.



Приложения на IoNT (6)

Опазване на околната среда

• Биоразграждане

Наномрежите могат да помогнат за решаването на нарастващия проблем с **боклука по света**, процесът на **биоразграждане в сметниците**. Наномрежите могат да се използват за засичане и маркиране на различни материали, след което се използват интелигентни наноактуатори за намиране и обработка и **биоразграждане** на тези материали.

• Контрол на животните и на биоразнообразието

Животински видове могат да се проследяват от наномрежи в естествена среда. Наномрежите може да **излъчват феромони или съобщения**, които да задействат определени поведения в животните. Възможно е контролирането на местоположението на някои животински видове в околната среда.

• Контрол на замърсяването на въздуха

Качеството на въздуха може да се управлява и контролира от наномрежи. Ще бъдат разработени усъвършенствани **нанофилтри** за **отстраняване на вредни вещества или химикали във въздуха**, което ще подобри качеството на въздуха. Също така, нанопилтрите могат да се използват за качество на **водата**.



Заклучение

Развитието на наномашините и възможностите им за връзка с микро- и макро-устройства ще направи възможен IoNT и IoBNT.

Новата мрежова парадигма ще има голям принос в почти всяка област на обществото, от здравеопазването до сигурността на дома и защита на околната среда.

Предложена е **референтна архитектура** за новата парадигма и е разгледано състоянието на научните изследвания на електромагнитните наномрежи.

Много учени са ангажирани с разработката на хардуер за бъдещите наномашини. Уникалните свойства на наноскалата и природата на наномрежите изискват **нови решения** за комуникациите, които да се намерят от специалистите по ИКТ.

Проекти на нови нано-антени, модели на канала на нанониво, информационно кодиране, модулации и протоколи за наномрежите са очаквани от ICT сектора.



БЛАГОДАРИМ
ЗА
ВНИМАНИЕТО!

