

# НАНОКОМУНИКАЦИОННИ УСТРОЙСТВА И МРЕЖИ

## Лекция 5. МОЛЕКУЛЯРНИ КОМУНИКАЦИИ


Доц. д-р инж. Галя Маринова  
2022 г.



## Молекулярни комуникации

- Дефиниция на молекулярните комуникации
- Видове молекулярните комуникации
- Предизвикателства
- Приложения

Sasitharan Balasubramaniam, Nano Communication Centre  
Department of Electronics and Communications, Engineering, Tampere University of Technology



## Развитие на комуникационните системи

Фиксирана телекомуникационна мрежа

- Ключови схеми
- Ключови пакети

Безжични мрежи

- Клетъчни
- Мобилни Ad Hoc

Мрежи от сензори

- E.g VAN

Молекулярни комуникации

**НОВА КОМУНИКАЦИОННА ПАРАДИГМА!!!**



Image from NSF Service-Oriented Network (SON) Project.

Image from Euso.com.

## Мрежи от сензори и молекулярни комуникации

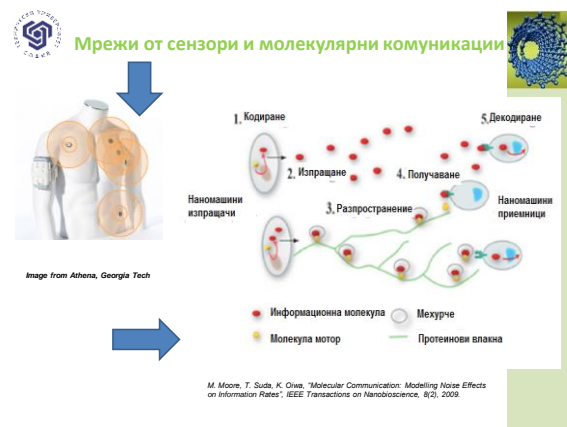


Image from Athena, Georgia Tech

1. Кодирание
2. Изпращане
3. Разпространение
4. Получаване
5. Декодирание

Наномашини изпращачи

Наномашини приемници


Информационна молекула

Молекула мотор

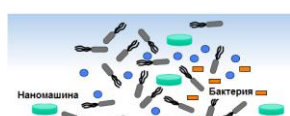
Мехурче

Протеинови влакна

M. Moore, Y. Suda, K. Ohno, "Molecular Communication: Modeling Noise Effects on Information Rates", IEEE Transactions on Nanobioscience, 8(2), 2009.




## Молекулярна комуникация



Изпращачите наномашини кодират информацията в информационни молекули (например ДНК, протеини, пептиди)

Информацията може да се предава чрез дифузия или активен транспорт

Възможност да се създадат комуникационни системи и мрежи с използване на биологични компоненти и процеси, които се развиват в природата



## Молекулярна комуникация чрез дифузия (1)

Комуникацията се осъществява чрез дифузия на молекули

- Информацията е вградена в молекулите
- В идеалния случай се реализира във флуидна среда

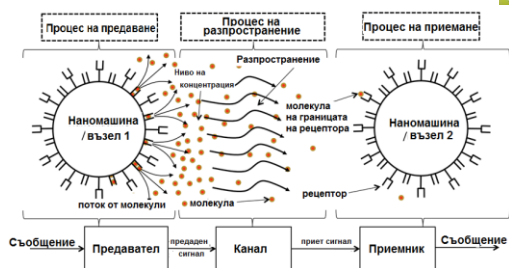


I. F. Akyildiz, J.M. Jornet, M. Pierobon, "Nanonetworks: A New Frontier in Communications," Communications of the ACM, vol. 54, no. 11, pp. 84-89, November 2011.





### Молекулярна комуникация чрез дифузия(2)



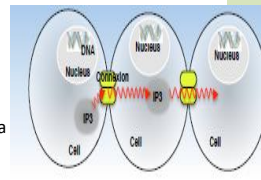
M. Piorobon, I.F. and Akyildiz, "A Physical End-to-End Model for Molecular Communication in Nanonetworks," IEEE JSAC (Journal of Selected Areas in Communications), vol. 28, no. 4, pp. 602-611, May 2010.



### Калциева сигнализация

Калциевата сигнализация се получава по естествен начин Като вид межклетъчна комуникация

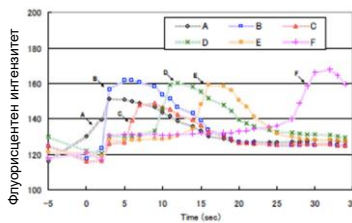
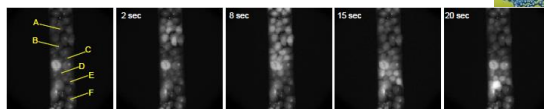
- на късо разстояние
- Многостъпален процес на Калциево-йонна стимулация
- Калциевият сигнал пътува от една клетка към друга клетка чрез свързване на празнина



Експериментите са проведени в Университета на Каролана, Ирвайн; NICT, Япония и Университета Осака



### Калциева сигнализация (2)



T. Nakano, T. Suda, Takako Koujin, Takuko Karaguchi, Yasushi Hiraoka, "Molecular Communication through Gap Junction Channels: System, Design, Experiment, and Modelling", Nanonets 2008



### Молекулярен мотор върху цитоскелетни влакна

Молекулярен моторен транспорт

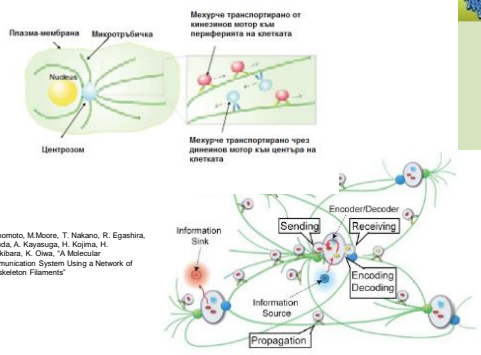
- Междуклетъчна комуникация
- Преобразуват енергията на АТР (аденозин трифосфат) в движение
- Движение на молекулярните мотори осъществено на цитоскелетни пътища

Цитоскелетът е създаден от микротръби или от актинови влакна

- Звездни или мрежовидни топологии
- Молекулярна комуникация чрез изкуствени релси създадени извън клетките
- Работи чрез самоорганизация на цитоскелетните пътища
- Топологията на пътя се променя, когато моторът се премества между 2 пътя



### Молекулярен мотор върху цитоскелетни влакна (1)



A. Enomoto, M. Moore, T. Nakano, R. Egashira, T. Suda, A. Kayanaga, H. Kojima, H. Sakakibara, K. Ohno, "A Molecular Communication System Using a Network of Cytoskeleton Filaments"



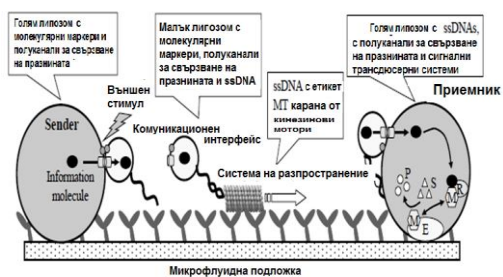
### Реверсивни Кинезинови мотори – NTT, DoCoMo (1)

Модел от край до край на молекулярната комуникация

- Информацията е опакована в мехурчета
- Защитена е срещу промени в температурата или pH
- Интерфейс между клетките и мехурчетата използвайки връзки над празнините
- Реверсивна геометрия на микротръби и кинезини
- Натоварването на информационния товар се осъществява чрез ДНК хибридация/обмяна на нишки
- Микротръбите съдържат ssDNA (еднинишкова ДНК)
- Тъй като микротръбите прекарват товара, товарът със ssDNA допълнителен към този в микротръбката се натовава селективно



### Модел от край до край на молекулярната комуникация



S. Hyama, Y. Moriaki, T. Suda, "A Biochemically Engineered Molecular Communication Systems" ICST Nano-nets, Boston 2008.



### Реверсивни Кинезинови мотори – NTT, DoCoMo (3)

Към мобилния телефон е включена молекулярна система за доставка, която пренася проби от потребителите (например пот и слюнка) за различни химически агенти за тестване



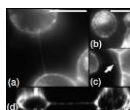
NTT Press Release – NTT DoCoMo demonstrates molecular delivery system for molecular communication (<http://www.nttdocomo.com/pr/2008/01/31st.html>)



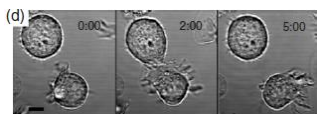
### Нанотръбна мембрана

Разстоянието между вътрешноклетъчните нанотръби

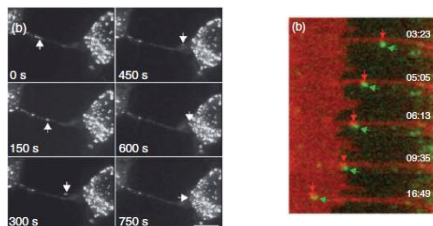
- Поддържа плъзгане
- Вирус (HIV)"
- Бактерия
- Формиране на нанотръби



Може да израсне от филоподийните структури по време на отделяне след близко контакти клетка до клетка



### Нанотръбна мембрана (1)



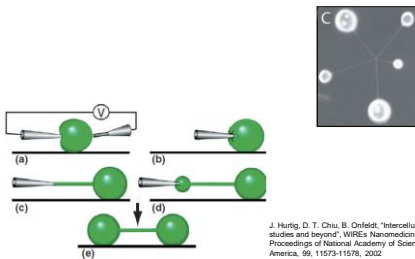
J. Hurlig, D. T. Chiu, B. Onfield, "Intercellular nanotubes: insight from imaging studies and beyond", WIREs Nanomedicine and Nanotechnology



### Мрежи от нанотръбни мехури

Мрежи от нанотръбни мехури (NVNs)"

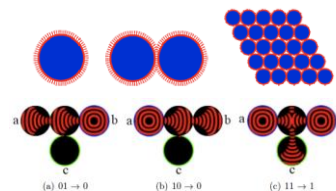
- Изкуствено създадени нанотръби
- На базата на фосфолипидни мембрани



J. Hurlig, D. T. Chiu, B. Onfield, "Intercellular nanotubes: insight from imaging studies and beyond", WIREs Nanomedicine and Nanotechnology Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America, 99, 11573-11578, 2002



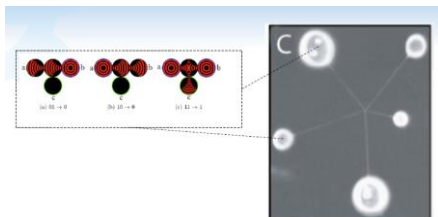
### Логически пресмятания в мехурчетата



(Andrew Adamatsky, UWE)  
 • Под-възбудена реакция на Белузов – Жаботински (BZ) reaction -> създава вълни



### Молекулярно пресмятане + Молекулярни комуникации



### Бактерии



<http://soils.usda.gov>

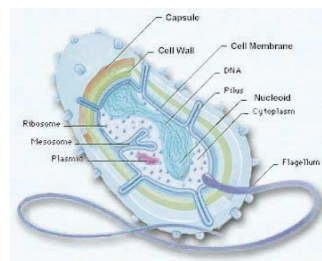
<http://www.newhealthguide.org>

<http://soils.usda.gov>



### Бактериални комуникационни мрежи

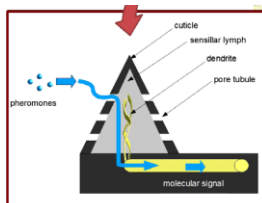
- Бактериите могат да държат генетична информация
- (плазмиди)
- Бактериите могат да плуват – възможна атракция [nsspo.com/p1/Bacteria.htm](http://nsspo.com/p1/Bacteria.htm)
- Чрез процеса химическо такси



L. C. Cobo-Rus, I. F. Akyildiz, "Bacteria-based Communication in Nanonetworks", Nano Communication Networks, vol. 1, no. 4, pp. 244-256, December 2010.



### Молекулярни комуникации на дълги разстояния



L. Paterina, I. F. Akyildiz, "Molecular Communication Options for Long Range Nanonetworks", Computer Networks Journal (Elsevier), vol. 53, no. 16, pp. 2763-2766, November, 2009.

Феромоните – химикали. Които се използват от някои видове за да обменят информация с други представители на същия вид.

- Молекулярна дифузия
- Прашец – лудра от зрънца при растенията. Обикновено включва репродуктивни клетки поддържащи възпроизводството



### Предизвикателства

Много бавно разпространение (Дифузия) и ненадеждно

Кодирането на информацията може да е предизвикателство

- ДНК кодирана информация
- Насочването на разпространението може да е трудно, което ще води до сложни проекти на протоколи
- Адресиране, достъп до средата

- Традиционните комуникационни технологии и подходи не са подходящи за молекулярната комуникация
- Конвенционалните комуникационни мрежи изпращат голям брой пакети, като всеки съдържа ограничена информация -> Молекулярната комуникация може да изпраща голям брой пакети, като всеки носи голям обем информация



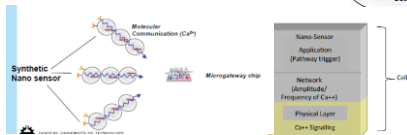


### Примерен протокол - Ca<sup>2+</sup> сигнализация

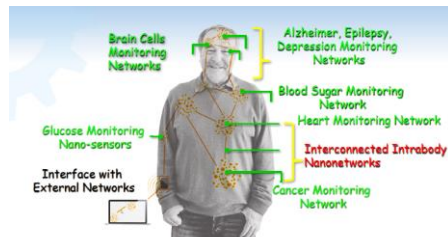
Изкуствени наносензори

Пътни тригери, които да реагират на външни стимули (приложение)

Адресирането може да се кодира в Честотата/амплитудата на сигналите на калция



### Дългосрочна визия: Молекулярни комуникации на нанониво



### Обобщение

Основите на молекулярната комуникация са:

- Молекулярна комуникация чрез дифузия
- Калциева сигнализация
- Молекулярни мотори
- Мембранни нанотръби
- Мрежи от нанотръбни мехури
- Бактериални наномрежи
- Предизвикателства

F. Akyildiz, F. Brunetti, and C. Blazquez, "Nanonetworks: A New Communication Paradigm," Computer Networks (Elsevier) Journal, June 2008.



### За упражнението Nanotube Modeler

- Нанотръби
- Наноконуси
- Бъкиболи
- Фулерени
- Вируси
- Масивите с нанодупки (NHAs)

Различни атоми, геометрия, усукване, огъване, затворени или не, едностенни, многостенни

Различни начини на представяне

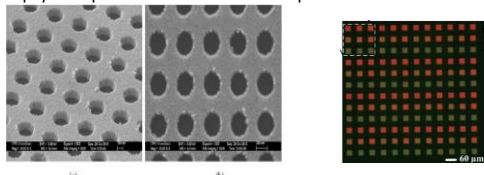
Геометрични изображения и координати на атомите в структурите.



### За упражнението Nanotube Modeler

#### Nanohole array

Масивите с нанодупки (NHAs) са клас наноструктуриран материал, състоящ се от наномасабни кухини, изработени върху повърхността на метален материал

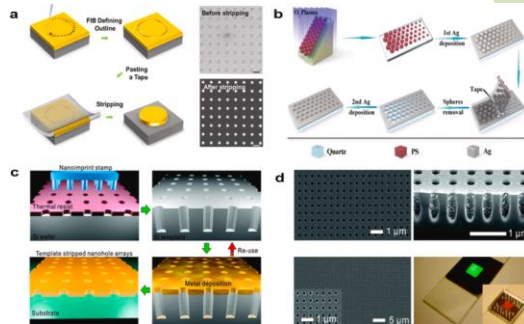


SEM изображения на nano-hole array в 100 nm златно фолио  
Използват се характеристиките на оптично предаване на масиви от нанодупки (NHAs) в златен филм за разделяне на смес от водни цветове в множество спектрални ленти.



### За упражнението Nanotube Modeler

Nanohole array plasmonic biosensors – плазмонни биосензори с масив от нанодупки





БЛАГОДАРИМ  
ЗА  
ВНИМАНИЕТО!

