OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Research on Bionanosensor Networks for Target Detection and Tracking
Author(s)	岡家, 豊
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52030
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式3

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (岡家 豊)	
論文題名	Research on Bionanosensor Networks for Target Detection and Tracking (バイオナノセンサネットワークによる標的検出と追跡に関する研究)

論文内容の要旨

Recent decades have witnessed remarkable progress in research and development of *bionanosensors*, nano-to-microscale devices made of biomaterials. A bionanosensor implements a set of simple functionalities to manipulate molecules in the environment. Examples of bionanosensors include DNA molecules designed to perform logical operations, motor proteins reconstructed to transport molecules in an engineered environment, and genetically engineered cells capable of sensing biochemical conditions of the environment.

Since bionanosensors are made of biomaterials and operate based on chemical energy, applications in biomedical domains are highly anticipated. Due to their small size, however, individual bionanosensors are limited in operational ranges and functionalities; bionanosensors need to form a network to cover larger areas and to perform complex functionalities for specific applications. This gives birth to a new interdisciplinary research area, called *bionanosensor networks*.

The area of bionanosensor networks aims at establishing methodologies to form robust and functional networks from spatially distributed bionanosensors. It also aims at developing innovative applications of such networks that are not readily realizable with existing network technologies (e.g., wireless communication technologies).

In this thesis, we consider two major classes of problems in nanomedical applications of bionanosensor networks: *target detection* and *target tracking*. Targets in such applications can be disease sites or infectious microorganisms that represent potential threat to the environment, and timely detection of targets and tracking of targets are important to provide immediate treatments or further analysis of the environment. In this thesis, we design two types of bionanosensor networks: *static* and *dynamic* to attack the target detection or tracking problem. Here a static bionanosensor network consists of bionanosensors that are immobilized to perform application functionality, while a dynamic bionanosensor network consists of bionanosensors that autonomously migrate to perform application functionality.

This thesis consists of five chapters. In Chapter 1, we first describe the background of bionanosensor network research. We then introduce research challenges in bionanosensor networks and define objectives of this thesis. We also illustrate an architecture of bionanosensor networks and review related work to highlight contributions of this thesis.

In Chapter 2, we consider a static bionanosensor network for target detection application. In this type of bionanosensor network, bionanosensors are statically placed in the monitoring environment to detect targets that randomly walk in the environment. We formulate the target detection problem as an optimization problem to find a spatial distribution of bionanosensors that can minimize mean residence time of targets. We then mathematically analyze the problem under the condition that target arrival locations follow the uniform distribution. Furthermore, in a two-dimensional environment, we assume that target arrival locations follow the normal distribution and conduct simulation experiments to compare the performance of several placement schemes in terms of mean residence time.

In Chapter 3, we consider a dynamic bionanosensor network for target tracking. In this type of bionanosensor network, autonomous mobile bionanosensors use repellents and attractants to detect and track a moving target. Bionanosensors release repellents to spread over the monitoring environment in search of targets, while they release attractants to gather around a target location. We develop a mathematical model to describe the spatio-temporal dynamics of bionanosensors, repellents, and attractants, and demonstrate through numerical experiments that the dynamic bionanosensor network is able to locate and track a moving target under varieties of settings.

In Chapter 4, we investigate through in silico experiments the feasibility of using bacteria as bionanosensors to form a dynamic bionanosensor network. A bacterium is a microscale organism capable of sensing environmental conditions, producing chemical substances, and actively moving in the environment. Also, it can be genetically engineered to modify these functionalities. We first develop a mobility model of bacterium-based bionanosensors, and then evaluate the ability of bacterium-based bionanosensors to locate and track moving targets. Simulation results demonstrate that a group of bacterium-based bionanosensors is able to track a moving target when the combined use of attractants and repellents is employed, indicating that bacteria are promising materials to implement bionanosensors for target tracking. Finally, Chapter 5 discusses future research challenges to conclude this thesis.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　岡家　豊　）

		(職)	氏　名
論文審査担当者	主 査	教授	西尾　章治郎
	副 査	教授	下條　真司
	副 査	教授	藤原　融
	副 査	教授	鬼塚　真
	副 査	教授	薦田　憲久
	副 査	准教授	原　隆浩
	副 査	生命機能研究科・特任准教授	中野　賢

論文審査の結果の要旨

近年、バイオナノ技術の発展にともない、バイオナノマシンの研究開発が進展している。バイオナノマシンとは遺伝子改変細胞や人工細胞など、人工的に機能を変更、または追加した生物由来のデバイスである。バイオナノマシンは、ナノメートルからマイクロメートルのオーダーの大きさで、環境をセンシングする機能、特定分子の生成・分解・放出をする機能、および、機動性をもっている。また、生体内での動作が可能なため、医療分野への応用、いわゆる、ナノ医療への期待が高まっている。その中でも特に、生体内の環境にとって脅威となる病原体やウィルスといった標的の検出と追跡は、様々な応用を実現する上で基盤となる重要な機能である。しかし、バイオナノマシンは生物由来のデバイスであるため、機能的な限界がある。例えば、バイオナノマシンは物理的接触や化学反応に基づいて動作するため、非常に狭い範囲の標的を確率的にしか識別できない。また、生体内の環境への影響を考慮すると、単に複数のバイオナノマシンによって機能を実現するというアプローチは適用できない。そのため、標的の検出と追跡を実現するのは困難である。この問題に対し、本論文ではバイオナノマシンの機能的な限界を克服し、限られた数のバイオナノマシンで効率的に機能を実現する技術としてバイオナノセンサネットワークに着目し、高い精度を持つ標的検出の実現に向けたネットワークの設計法を提案している。また、標的を追跡する機能とその実現方式を提案し、実現可能性を示している。さらに、バクテリア由来のバイオナノマシンから構成されるバイオナノセンサネットワークにおいて、提案した追跡方式の実現可能性を検証している。本論文の主要な研究成果を要約すると次の通りである。

(1) ナノ医療の基本的な機能である標的検出のために、環境表面に吸着する機能をもつバイオナノマシンの空間的配置に着目したバイオナノセンサネットワークの設計法を提案している。提案方式により、高い精度を持つ標的検出が可能になった。

(2) ナノ医療の新しい応用技術として環境中を移動する標的を追跡する機能を提案している。また、環境中を自律的に移動できるバイオナノマシンを用いたバイオナノセンサネットワークにおいて、標的追跡を実現する方式も提案し、その実現可能性も示している。これらの提案により、ナノ医療の新しい可能性が広がった。

(3) バクテリア由来のバイオナノマシンから構成されるバイオナノセンサネットワークにおいて、提案した標的の追跡方式の実現可能性を検証するために、バイオナノマシン単体レベルでの詳細なモデル化を提案している。提案モデルにより、バクテリア由来のバイオナノマシンで標的を追跡するための設計パラメタが明らかになり、バイオナノセンサネットワークによる標的追跡の実現に近づいた。

以上のように、本論文はバイオナノセンサネットワークのナノ医療への応用を目指す上で重要な機能である標的の検出と追跡の実現に向けた先駆的な研究として、情報科学に寄与するところが大きい。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。