

Wykład nr 4: 24-01-2005  
Temat: Sieci sensorowe

Poniższy wykład został opracowany na podstawie prac: [ASSC02, Xu, CCL03, HXG02, SRL02, nPWF03]

## 1 Motywacje

Podstawowe zastosowanie dla sieci sensorowych pojawia się, gdy znajdujemy się w sytuacji, gdy zamierzamy uzyskać informacje o stanie lub własnościach dużego, odległego obszaru, do którego dostęp jest trudny. Typowe przykłady takich obszarów to:

- obca planeta czy księżyc,
- terytorium wroga,
- obszar skażony atomowo, chemicznie lub biologicznie,
- dno oceanu.

Rozważa się też zastosowania na obszarach i dziedzinach bardziej dostępnych, np.

- badanie warunków meteorologicznych na terenie jakiegoś państwa (ciśnienia, temperatury, wilgotności itp.)
- badanie warunków hydrologicznych wzdłuż jakiejś rzeki (poziomu wody, składu chemicznego, temperatury itp.),
- badanie warunków produkcyjnych (temperatury procesów technologicznych, poziomu zanieczyszczenia chemikaliami itp.),
- badanie zachowań klientów w hipermarkecie (które półki są częściej odwiedzane, jakie towary mają w koszyku klienci przechodzący obok jakiejś półki itp.),
- badanie parametrów życiowych w mieszkaniu (temperatura, wilgotność, ruch, poziom hałasu itp.).

## 2 Co to takiego?

Główne cechy sieci sensorowych to:

- składają się z dużej liczby węzłów,
- węzły mają małą moc obliczeniową,
- węzły komunikują się za pomocą nośnika bezprzewodowego,
- węzły mają ograniczoną ilość energii do dyspozycji,
- węzły mają określone położenie w przestrzeni,
- węzły znajdują się w otoczeniu, gdzie mogą ulec uszkodzeniu,
- często węzły w ograniczonym zakresie mogą zmieniać położenie,
- często węzły nie mają globalnych identyfikatorów.

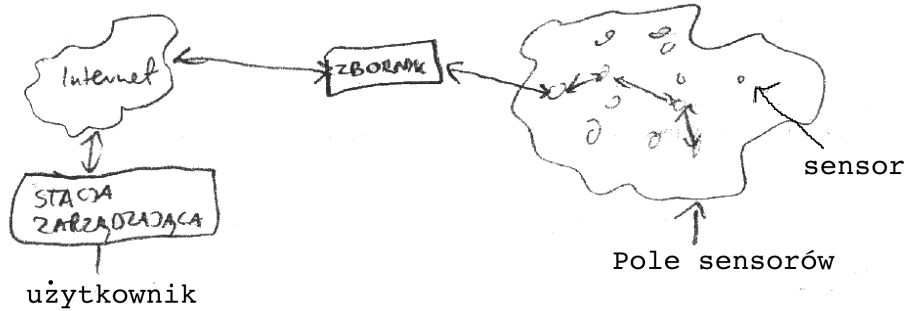
Podobieństwa do mobilnych sieci ad-hoc:

- mała moc obliczeniowa,
- komunikacja bezprzewodowa,
- ruchomość węzłów,
- dostępna węzłowi energia jest ograniczona.

Różnice w stosunku do mobilnych sieci ad-hoc:

- mniejszy stopień ruchomości,
- poważniejsze ograniczenia co do gospodarki energią,
- mniejsza moc obliczeniowa,
- większa liczba węzłów w sieci,
- homogeniczność sieci — wszystkie elementy takie same,
- możliwe gęstsze rozłożenie elementów,
- brak globalnych identyfikatorów,
- komunikacja raczej przez rozgłaszanie niż punkt-do-punktu.

### 3 Architektura sieci sensorowej

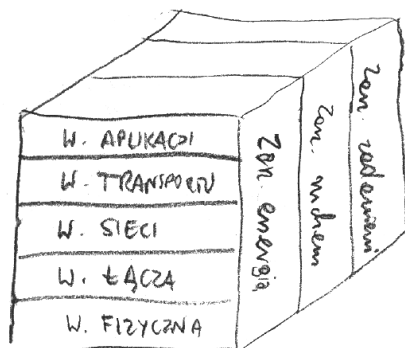


### 4 Kluczowe zagadnienia projektowe

Kluczowe zagadnienia projektowe przy projektowaniu sieci sensorowych to:

- tolerancja na uszkodzenia i błędy,
- skalowalność sieci,
- koszt produkcji węzła (znacznie poniżej 1\$),
- ograniczenia sprzętowe,
- topologia sieci,
- środowisko wdrożenia,
- pobór energii (<0,5Ah, 1,2V).

### 5 Stos protokołów



## 6 Warstwa fizyczna

Podstawowym ograniczeniem projektowym dla tej warstwy jest wzór opisujący moc potrzebną do transmisji:

$$c \cdot d^n,$$

gdzie

- $c$  — pewna stała wartość zależna od ośrodka,
- $d$  — odległość między nadajnikiem i odbiornikiem,
- $n$  — pewna stała z przedziału  $[2, 4)$ ;  $n$  jest bliskie 4 dla niskich anten i nadawania przy ziemi.

Powyższe ograniczenie powoduje, że dosyć atrakcyjna staje się komunikacja z wieloma pośrednikami: uzyskuje się w ten sposób oszczędność energii (globalnie w całej sieci). Przy okazji takie rozwiązanie pozwala na unikanie problemu *zacielenia* (czyli sytuacji, gdy jakieś węzły umieszczone w polu sensorów są nieaktywne ze względu na to, że jakiś obiekt blokuje komunikację).

Kolejne ograniczenie projektowe: w sieciach sensorowych nie opłaca się stosowanie transmisji z wieloma poziomami sygnałów (czyli transmisji takich jak MLT-3). Obwody potrzebne do nadawania i odbierania takich sygnałów wymagają dużo energii i w związku z tym bardziej opłaca się stosować modulację binarną.

## 7 Warstwa łącza

Warstwa łącza zapewnia:

- multipleksowanie strumieni danych,
- wykrywanie ramek z danymi,
- zapewnianie bezkonfliktowego korzystania z nośnika,
- korekcję błędów.

### 7.1 Dlaczego istniejące rozwiązania nie mogą być użyte?

- Telefony komórkowe używają stacji bazowych i optymalizowane są ze względu na inne cele:
  - jakość obsługi (ang. Quality of Service, QoS),
  - wykorzystanie pasma ważniejsze od oszczędzania energii,

- elastyczność rozwiązania ważniejsza od oszczędzania energii (użytkownik może zmienić/doładować baterię).
- Bluetooth oraz inne sieci MANET (ang. mobile ad-hoc networks) mają inne cele:
  - mobilność urządzeń ważniejsza od oszczędzania energii,
  - znacznie mniejsza gęstość urządzeń,
  - inaczej pojmowana tolerancja na uszkodzenia.

## 7.2 Dostęp do nośnika — rozwiązania specyficzne

W sieciach sensorowych stosuje się następujące rozwiązania pozwalające na uzyskiwanie dostępu do nośnika (ang. Medium Access Control).

### 7.2.1 SMACS i EAR

SMACS to *Self-Organizing Medium Access Control for Sensor Networks*. Jest to protokół działający na starcie sieci (lub gdy dołącza się do niej nowy element). Protokół ten działa tak:

- Dana para węzłów łączy się ze sobą po raz pierwszy.
- Węzły te ustalają, że będą się łączyć co ustalony globalnie okres  $T$  w określonym punkcie tego okresu.
- Przy tym rozwiązaniu zakłada się, że okres  $T$  i liczba węzłów są tak dobrane, że prawdopodobieństwo, iż różne pary węzłów nadają jednocześnie jest małe.

EAR to *Eavesdrop And Register*. Jest to protokół pozwalający, aby w sieci funkcjonowały elementy ruchome. Protokół ten działa tak:

- Węzeł ruchomy wylapuje w nośniku wysyłane przez nieruchome elementy komunikaty zapraszające do komunikacji (zakłada się, że mamy do czynienia ze SMACS z aktywnie wysyłanymi komunikatami zapraszającymi).
- Węzeł ruchomy decyduje o połączeniu i zgłasza się do węzła nieruchomego.
- Węzeł ruchomy decyduje także o odłączeniu od węzła nieruchomego.
- Węzeł ruchomy utrzymuje cały czas w pamięci zbiór węzłów, z którymi jest połączony oraz zbiór węzłów, z którymi jest w zasięgu — na tej podstawie określa do których węzłów powinien wysłać jakie komunikaty.

### 7.2.2 CSMA

Zastosowany mechanizm CSMA (ang. Carrier-Sense Multiple Access) ma następujące cechy:

- przy wysyłaniu stosuje się losowe oczekiwanie,
- mechanizm oczekiwania oparty na okresach działania aplikacji.

### 7.2.3 TDMA połączone z FDMA

Powyższe skróty oznaczają:

- TDMA — ang. Time Division Multiple Access, czyli dostęp wielu elementów przy wykorzystaniu podziału czasu,
- FDMA — ang. Frequency Division Multiple Access, czyli dostęp wielu elementów przy wykorzystaniu podziału pasma częstotliwości.

Zasada działania połączenia jest taka:

- pasmo częstotliwości dzielone jest na podpasma,
- dostęp do każdego podpasma jest dzielony na okna czasowe.

Ciekawostka: optymalny stosunek liczby okien w paśmie częstotliwości i liczby okien czasowych zależy od stosunku zużycia mocy przez nadajnik do zużycia mocy przez odbiornik — gdy przeważa moc nadajnika, lepiej jest mieć więcej slotów czasowych.

## 7.3 Oszczędzanie energii

Nie opłaca się zasypianie na krótko — wprowadza się minimalną długość czasu, przez jaki węzeł jest uśpiony.

## 7.4 Metody korekcji błędów

Nie opłaca się stosować retransmisji. Lepiej jest używać kodów korygujących błędy.

# 8 Warstwa sieci

## 8.1 Podstawowe zagadnienia pojawiające się przy projektowaniu

Podstawowe zagadnienia pojawiające się przy projektowaniu to:

- zarządzanie energią,
- kumulowanie danych,
- adresowanie i wyznaczanie tras na podstawie atrybutów.

## 8.2 Co można optymalizować na ścieżce komunikacyjnej?

Pojawia się przy projektowaniu wiele sprzecznych ze sobą celów optymalizacji:

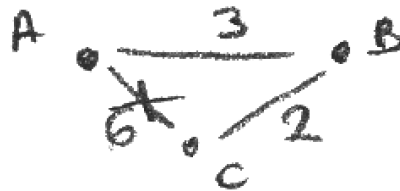
- prowadzenie ścieżki tak, aby sumarycznie dostępna była maksymalna moc,
- prowadzenie ścieżki tak, aby sumarycznie była użyta minimalna energia,
- prowadzenie ścieżki tak, aby sumarycznie była użyta minimalna liczba etapów,
- prowadzenie ścieżki tak, aby minimum dostępnej mocy było większe niż gdzie indziej.

## 8.3 Schematy trasowania

W ramach badań na temat sieci sensorowych pojawiło się wiele propozycji schematów trasowania. Oto kilka z nich.

### 8.3.1 SMECN

SMECN to skrót od ang. Small Minimum Energy Communication Network. W sieci tej wyrzuca się niektóre krawędzie o dużym koszcie komunikacyjnym, jak na poniższym rysunku:



Komunikacja odbywa się tylko po krawędziach, które nie są wyrzucone.

### 8.3.2 Zalewanie

Zalewanie to taka technika, w której komunikat wędruje po sieci w ten sposób, że w każdym węźle jest wysyłany do wszystkich węzłów sąsiednich. Każdy węzeł po odebraniu wiadomości decyduje, czy ją przesłać dalej, czy porzucić, gdyż już ją raz wysłał. Przy tego typu trasowaniu pojawiają się problemy z nakładaniem się komunikatów i zapychaniem pasma dostępnego dla sieci sensorowej.

### 8.3.3 Plotkowanie

Plotkowanie to taka technika, w której komunikat wędruje po sieci w ten sposób, że w każdym węźle jest wysyłany do losowo wybranego jednego z węzłów sąsiednich (chyba, że węzeł docelowy jest wśród sąsiadów). Każdy węzeł po odebraniu wiadomości decyduje, czy ją przesłać dalej, czy porzucić, gdyż już ją wysłał odpowiednio dużą liczbę razy. Przy tego typu trasowaniu pojawiają się problemy z powolną zbieżnością komunikacji (komunikat musi czasem przebyć bardzo długą i nieefektywną drogę, aby trafić do odbiorcy).

### 8.3.4 SPIN

SPIN to skrót od ang. Sensor Protocol for Information via Negotiation (protokół sensorowy uzyskiwania informacji przez negocjację). W tym protokole stosuje się zasadę

- najpierw za pomocą jakiegoś podstawowego sposobu przesyłamy małą informację o tym, co mamy,
- następnie, jeśli węzeł docelowy chce uzyskać tę informację, to żąda jej od nadawcy,
- informacja jest wysyłana.

Zakładamy, że przesyłane informacje są duże, więc opłaca się dodatkowa komunikacja tutaj wykorzystywana.

### 8.3.5 SAR

SAR to skrót od ang. Sequential Assignment Routing (trasowanie z sekwencyjnym przypisywaniem). Protokół działa tak:

- nadajnik każe sąsiadom zbudować drzewa rozpinające sieć (przy czym w drzewach tych pomijane są słabe węzły),
- nadajnik wybiera, którego drzewa ma użyć biorąc pod uwagę:
  - zużycie energii,
  - jakość obsługi na wynikającej z wyboru ścieżce.

### 8.3.6 LEACH

LEACH to skrót od ang. Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (niskoenergetyczna samoadaptująca się hierarchia grup). Protokół ten działa tak:

- okresowo ustalany jest podział na grupy,
- szef grupy zbiera informacje od członków i dopiero on przesyła je do odbiorców.

### 8.3.7 Directed Diffusion

Directed Diffusion oznacza po polsku *ukierunkowane rozchodzenie się*. Protokół ten to udoskonalenie plotkowania; działa on naśladując zachowanie mrówek. Mrówka wędrując, zaznacza swój szlak feromonami. Szlak zaznaczony wiele razy to szlak o silnym zapachu i jednocześnie szlak, który warto wybrać. Przekładając to na sieci sensorowe, dostajemy:

- odbiorca danych rozsyła informacje o zainteresowaniach,
- węzły zapisują je ustalając „siłę” zapisu,



- gdy pojawią się dane, nadawca wyśle je najsilniejszą ścieżką, co będzie silnie korelowało z dostarczeniem danych do zainteresowanych węzłów,
- odbiorca „poprawia” użytą przy komunikacji ścieżkę.

## 9 Warstwa transportowa

Pojawia się pytanie, czy jest ona w ogóle potrzebna.

## 10 Warstwa aplikacji

Wykonywane są tutaj następujące funkcje:

- zarządzanie sensorami,
- przypisywanie zadań,
- informacje o danych,
- języki zapytań.

## 11 Przykładowe systemy sieci sensorowych

SensoNet, WINS, SPINS, SINA, mAMPS, LEACH, SmartDust, SCADDS, PicoRadio, PAC-MAN, Dynamic Sensor Networks, Aware Home, COUGAR Device Database Project, Data-Space.

## Literatura

- [ASSC02] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. A survey on sensor networks. *IEEE Commun. Mag.*, 40(8):102–114, 2002.
- [CCL03] Imrich Chlamtac, Marco Conti, and Jennifer J.-N. Liu. Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges. *Ad Hoc Networks*, (1):13–64, 2003.
- [HXG02] Xiaoyan Hong, Kaixin Xu, and Mario Gerla. Scalable routing protocols for mobile ad hoc networks. *IEEE Network Magazine*, pages 11–21, July-August 2002.
- [nPWF03] X. Li nad P. Wan and O. Frieder. Coverage in wireless ad hoc sensor networks. *IEEE Transactions on Computers*, 52(6), June 2003.

- [SRL02] Chris Savarese, Jan M. Rabaey, and Koen Langendoen. Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks. In *Proceedings of the General Track: 2002 USENIX Annual Technical Conference*, pages 317–327. USENIX Association Berkeley, CA, USA, 2002.
- [Xu] Ning Xu. A survey of sensor network applications. url: <http://enl.usc.edu/~ningxu/papers/survey.pdf>.