

Projektowanie samoorganizujących się sieci mobilnych czujników bezprzewodowych

Andrzej Sikora

Ewa Niewiadomska-Szynkiewicz

Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej
Politechnika Warszawska

Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa



[Plan prezentacji]

- Mobilne sieci czujników (MSN)
- Modelowanie mobilności w sieciach MSN
 - Klasyfikacja modeli mobilności
 - Model mobilności PFM
- Samoorganizująca się sieć mobilnych czujników
- Wyniki symulacji
- Podsumowanie

[Mobilna sieć czujników]

- Mobilna sieć czujników (*Mobile Sensor Network* - MSN) zbudowana jest z urządzeń pomiarowych wykorzystujących do komunikacji transmisję bezprzewodową.
- Czujniki zmieniają swoje położenie wraz z ruchem obiektów, które je transportują (np. pojazdów mechanicznych, robotów, ludzi, zwierząt itp.)
- MSN może dynamicznie zmieniać swoją topologię oraz wydajność transmisji danych (sieć *ad-hoc*).

Sieci typu MSN znajdują zastosowanie w wielu aplikacjach, np. akcjach ratunkowych lub militarnych.

[Modelowanie mobilności]

- Modelowanie mobilności węzłów odgrywa kluczową rolę w projektowaniu i wdrażaniu sieci mobilnych czujników.
- Wzorzec przemieszczania się węzła sieci ad-hoc wpływa na wydajność transmisji danych w sieci MSN.
- Modele mobilności mogą być wykorzystane do:
 - symulacji mobilnej sieci czujników,
 - sterowania ruchem węzłów sieci MSN.

[Modelowanie mobilności]

- Klasyczne modele mobilności (stosowane np. w przypadku sieci WLAN i sieci komórkowych) nie mogą być bezpośrednio stosowane do opisu trajektorii ruchu węzłów sieci ad-hoc.
- W rzeczywistych sieciach MSN na trajektorię ruchu węzła sieci wpływają ograniczenia związane z:
 - koniecznością zapewnienia komunikacji między sąsiadującymi węzłami,
 - ruchem innych obiektów mobilnych i położeniem przeszkód,
 - warunkami środowiska (np. wiatr, ukształtowanie terenu),
 - innymi cechami specyficznymi dla zastosowania sieci MSN, (np. komunikacja grupowa w sytuacjach kryzysowych).

Przeszkody i inne obiekty mogą być źródłem tłumienia i zakłóceń sygnału komunikacji bezprzewodowej.

Klasyfikacja modeli mobilności

- **Modele mobilności: statystyczne i analityczne.**
- **Modele analityczne:**
 - **Modele losowe** – węzły sieci poruszają się w sposób losowy.
 - **Modele z korelacją czasową** – aktualne parametry ruchu węzła zależą od poprzednio wyznaczonych parametrów ruchu.
 - **Modele z korelacją przestrzenną (tzw. grupowe)** – parametry ruchu różnych węzłów sieci powiązane są ze sobą poprzez wspólne dla grupy węzłów wartości (np. punkt odniesienia, cel podróży itp.).
 - **Modele z ograniczeniami przestrzennymi** – inne modele mobilności, w których trajektoria ruchu jest ograniczona przez np. siatkę ulic, umiejscowienie przeszkód itp.

Model mobilności PFM

PFM – *Potential Field Mobility model*

- Charakterystyka modelu mobilności:
 - dowolny zakres losowości,
 - uwzględnianie korelacji przestrzennej (możliwość modelowania przemieszczania się grupy węzłów),
 - uwzględnianie ograniczeń przestrzennych (np. przeszkód),
 - sterowanie orientacją obiektów mobilnych w przestrzeni.

- Założenia przyjęte przy wyznaczaniu położenia węzłów sieci MSN:
 - przyciąganie do celu czyli oczekiwanego położenia węzła,
 - odpychanie od przeszkód i zagrożeń.

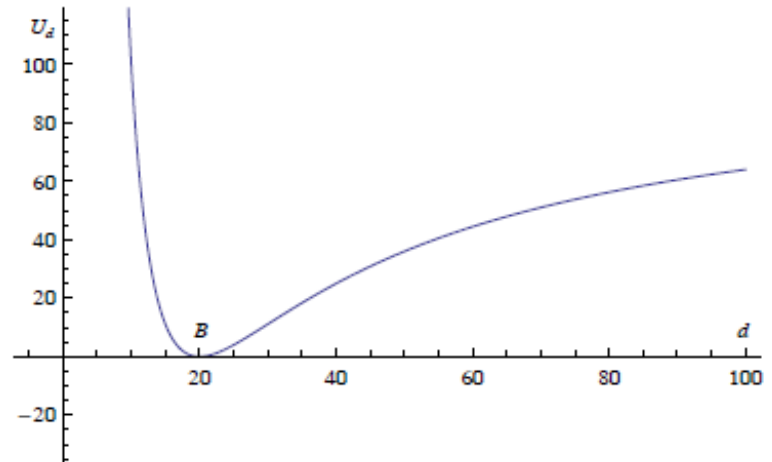
[Model mobilności PFM]

- Model PFM – inspiracja dynamiką molekularną:
 - model obiektu wzorowany na cząsteczce składającej się z atomów, rozważanych dalej jako punkty oddziaływania,
 - sztuczną funkcją potencjału (oddziaływania między atomami) wzorowana na potencjale Lennarda-Jonesa.
- Trajektoria ruchu mobilnego obiektu wyznaczana w wyniku rozwiązania zadania minimalizacji sztucznej funkcji potencjału oddziałującej na obiekt.
- Węzeł mobilny porusza się w kierunku minimum energii potencjalnej.

Sztuczna funkcja potencjału

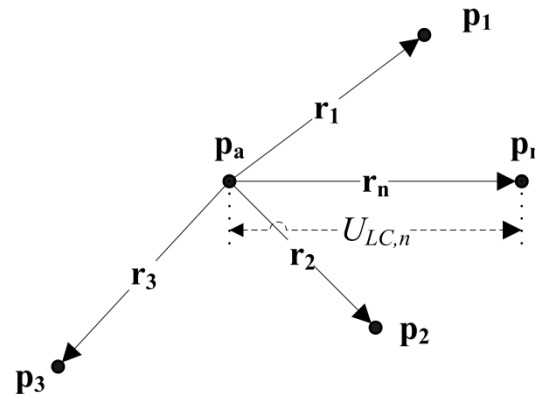
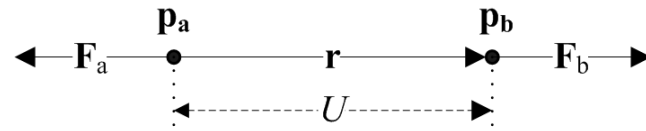
$$U_{ab}(|\mathbf{r}|) = \epsilon m_a m_b \left(\frac{B_{ab}}{|\mathbf{r}|} - 1 \right)^2$$

- Dla $|r| > B$ oddziaływanie przyciągające,
- Dla $|r| < B$ oddziaływanie odpychające



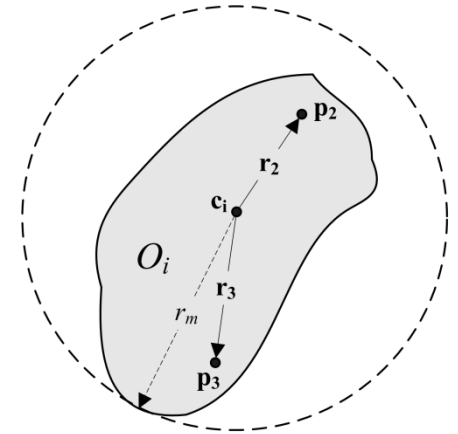
$$\mathbf{F}_a(|\mathbf{r}|) = -\nabla U_{ab}(|\mathbf{r}|)$$

$$\mathbf{F}_a = \sum_n \mathbf{F}_{a,n}(|\mathbf{r}_n|)$$



[Obiekt w modelu PFM]

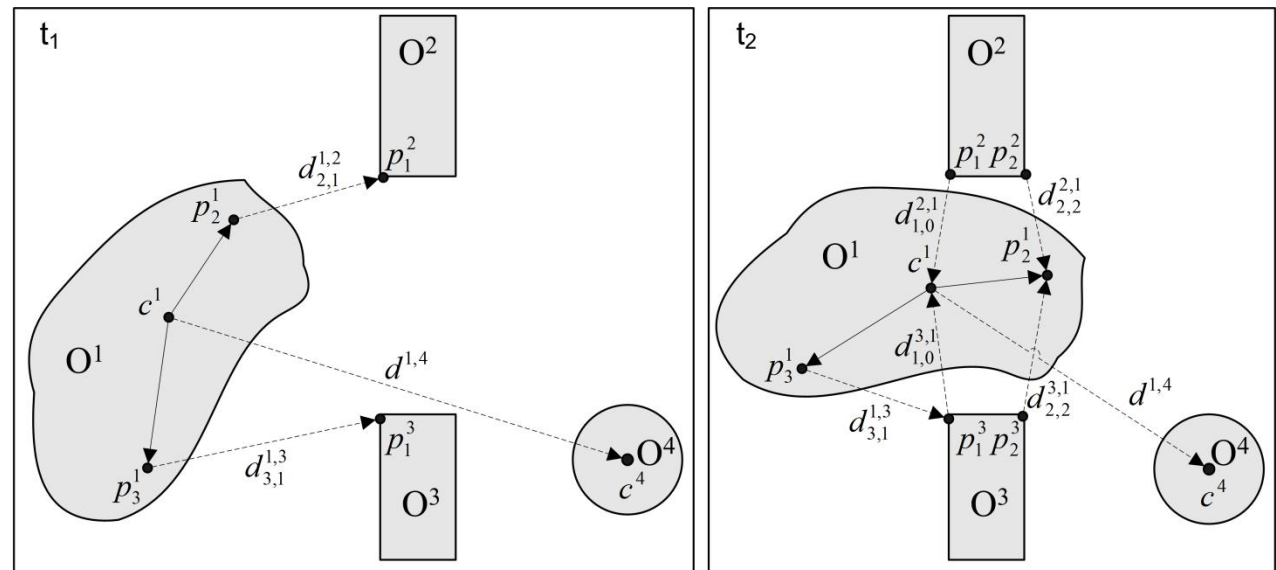
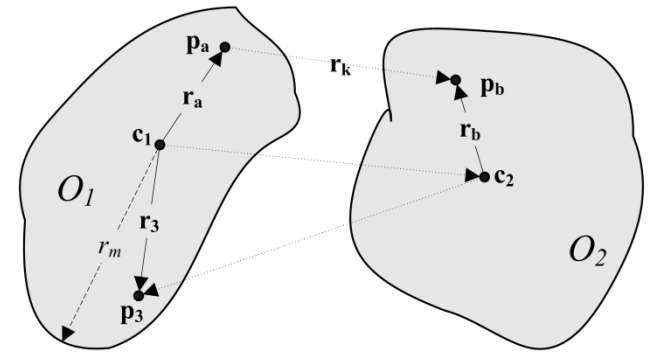
- Każdy obiekt (węzeł sieci, przeszkoda, itp.) składa się ze zbioru punktów opisanych za pomocą współrzędnych w przestrzeni trójwymiarowej nazywanych punktami oddziaływania.
- Wszystkie odległości pomiędzy punktami należącymi do obiektu są stałe (bryła sztywna).
- Uproszczenie: sztuczna funkcja potencjału powoduje oddziaływanie tylko pomiędzy wskazanymi punktami oddziaływania.



Oddziaływania w modelu PFM

Reprezentacja obiektów jako zbiorów przyciągających lub odpychających się punktów wprowadza m.in. możliwość:

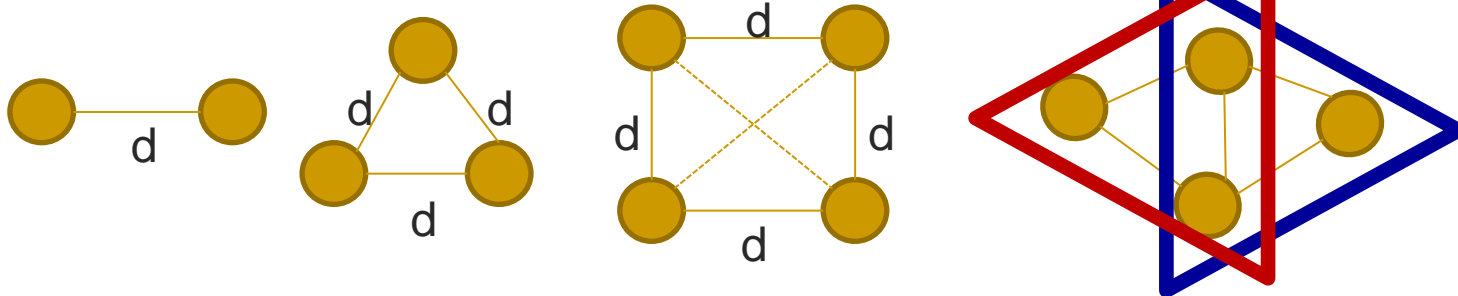
- rotacji obiektu,
- nawigacji,
- organizacji w grupy,
- omijania przeszkód.



Samorganizująca się sieć mobilnych czujników

- Zestaw czujników i urządzeń komunikacji bezprzewodowej zdolnych do współpracy w celu utworzenia sieci teleinformatycznej typu ad-hoc.
- Sterowanie położeniem węzłów sieci MSN pozwala na dynamiczne dostosowywanie się topologii sieci do zmieniających się lub nieznanymi warunków otoczenia oraz wymagań związanych z zastosowaniem sieci.
- **Zastosowania:**
 - Szybka organizacja sieci teleinformatycznej przy braku alternatywnej infrastruktury sieciowej.
 - Pokrycie maksymalnie dużego obszaru siecią czujników monitorujących wybrane wielkości.
 - Monitorowanie przemieszczającego się zagrożenia.

Formowanie sieci MSN



- Założenia dla algorytmu formowania sieci:
 - Oczekiwany maksymalny obszar pokrycia siecią.
 - Poruszające się węzły sieci unikają kolizji i omijają przeszkody.
 - Trajektoria ruchu węzłów sieci wyznaczana jest za pomocą modelu mobilności PFM.
 - Wszystkie obliczenia dotyczące algorytmu i modelu mobilności wykonywane są lokalnie dla każdego z węzłów sieci.

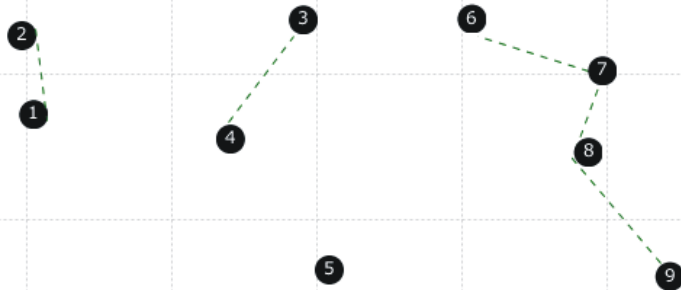
[Formowanie sieci MSN]

- Formowana sieć MSN składa się z predefiniowanych klastrów zawierających **dwa**, **trzy** lub **cztery** obiekty mobilne.
- Oczekiwana odległość pomiędzy węzłami sieci należącymi do jednego klastra wyznaczana jest lokalnie na podstawie statystyk na temat aktualnej odległości pomiędzy węzłami i wynikającego z niej spadku poziomu mocy odbieranego sygnału radiowego.
- Przyjęto, że preferowana odległość pomiędzy węzłami sieci należącymi do jednego klastra jest równa odległości, w której prawdopodobieństwo ustanowienia połączenia radiowego pomiędzy każdą parą węzłów w tym klastrze wynosi 99% lub więcej.

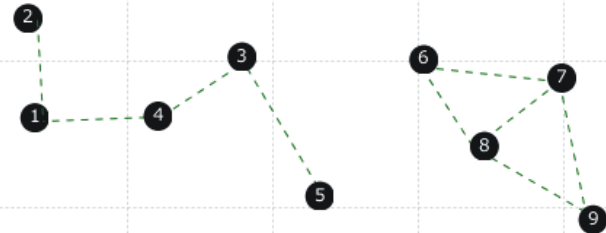
Formowanie sieci MSN

Każdy z węzłów sieci wysyła co określony interwał czasowy wiadomość typu broadcast z następującymi danymi:

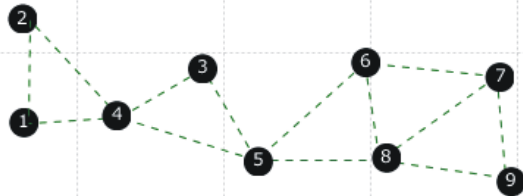
położenie węzła, aktualny poziom mocy nadajnika radiowego, identyfikator klastra, lista węzłów sąsiednich, preferowana odległość pomiędzy węzłami w klastrze.



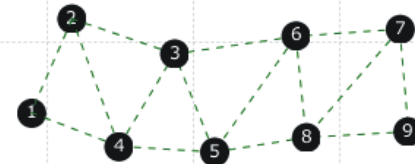
a) $T = 1$



b) $T = 5$

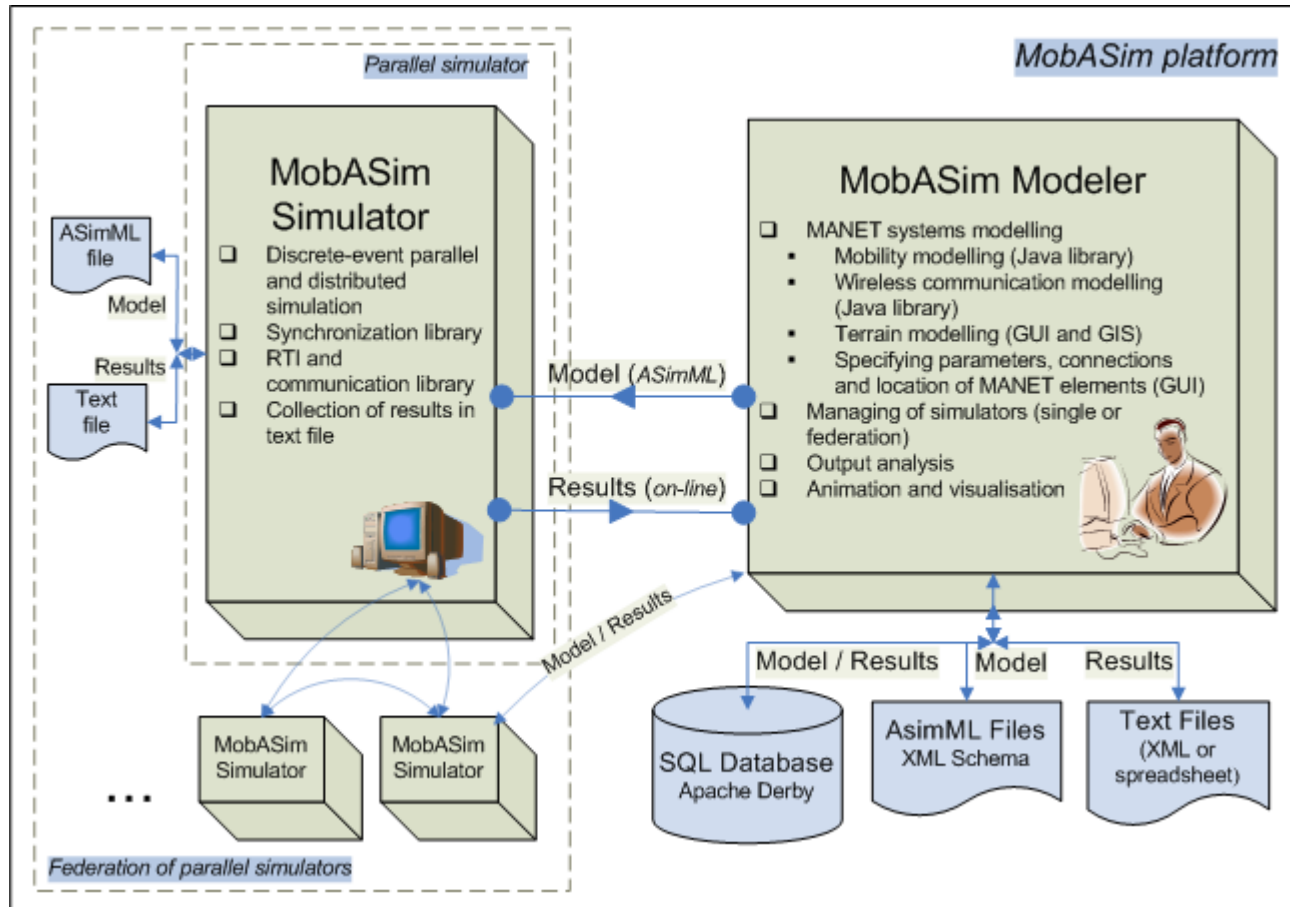


c) $T = 10$



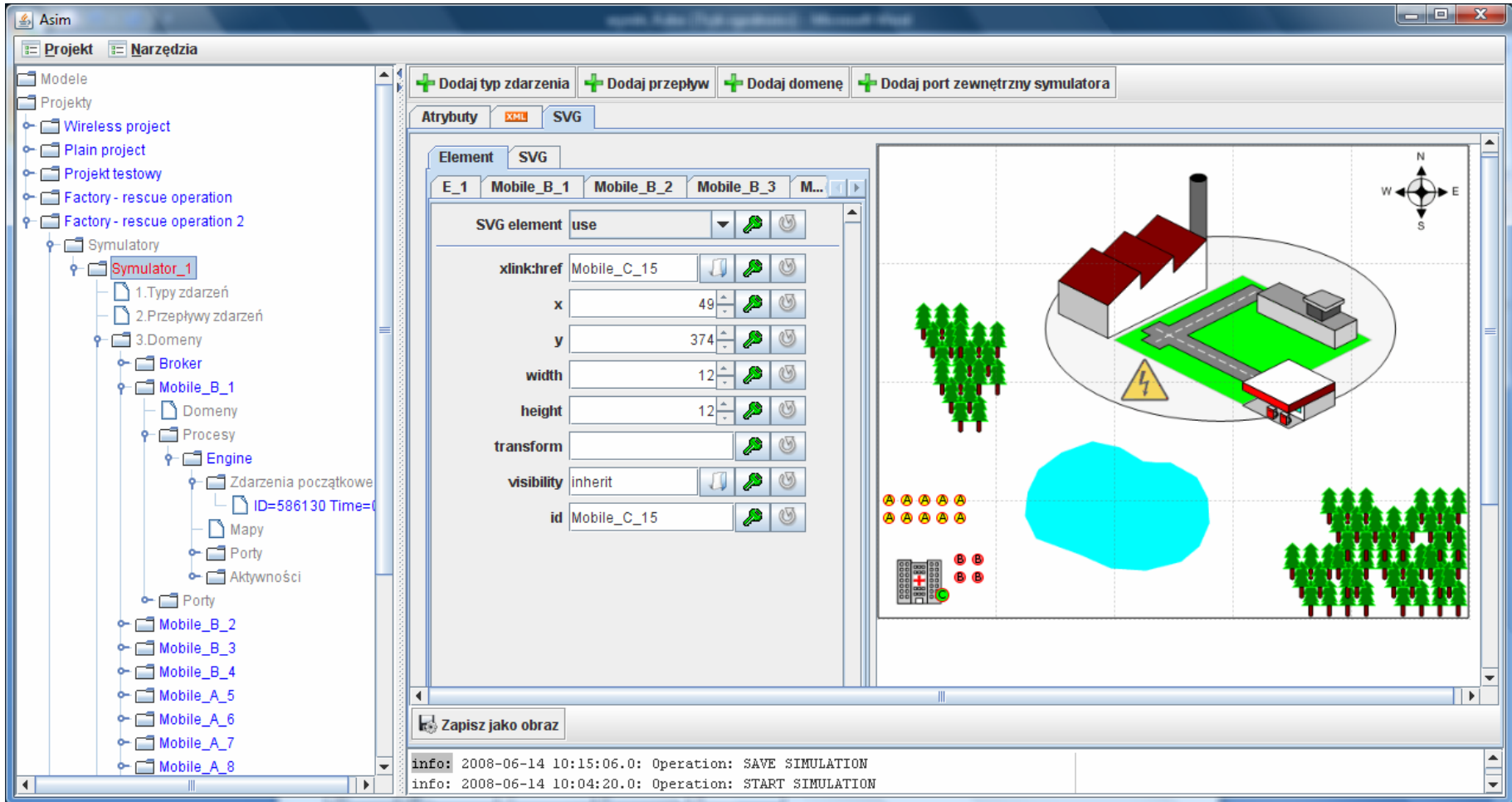
d) $T = 50$

Architektura systemu MobASim



- Symulator wspierający możliwość tworzenia federacji symulatorów rozproszonych.
- Technologia: język programowania Java, obliczenia rozproszone.
- Architektura modułowa.

MobASim GUI



Model komunikacji radiowej

Spadek poziomu mocy sygnału radiowego wraz z odległością d pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem

PL – „path loss”,

P_t – poziom mocy sygnału nadanego,

P_r – poziom mocy sygnału odebranego,

d_0 – odległość referencyjna (np. 1m),

n – wykładnik modelu („distance gradient”),

X_σ – zmienna losowa o rozkładzie log-normalnym i odchyleniu standardowym σ ,

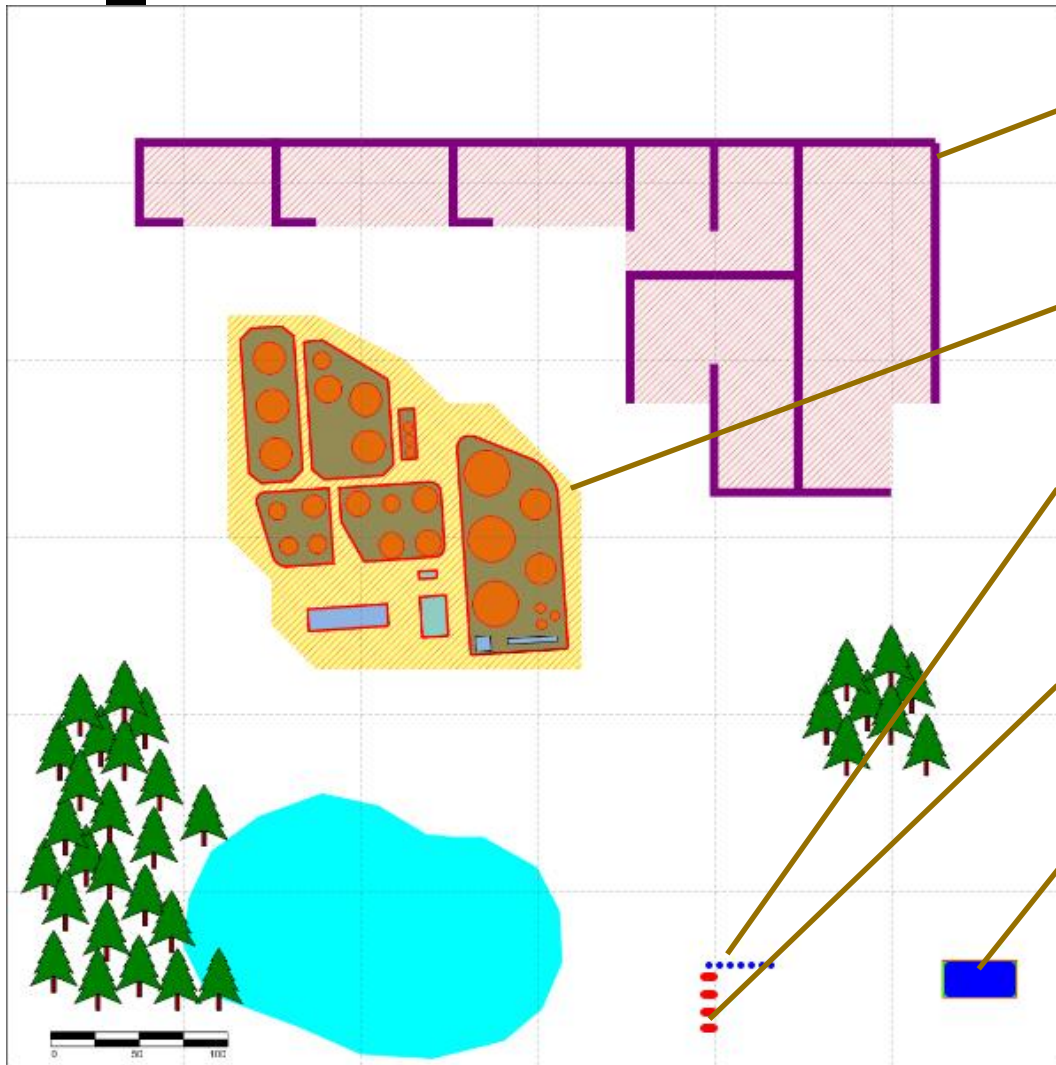
PAF – spadek mocy sygnału na ścianie budynku.

$$PL(d) = \frac{P_t}{P_r}$$

Log-normal shadowing model

$$PL(d)[dB] = PL(d_0)[dB] + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma + \sum PAF [dB]$$

MobASim: Wyniki symulacji



Pomieszczenia w budynku

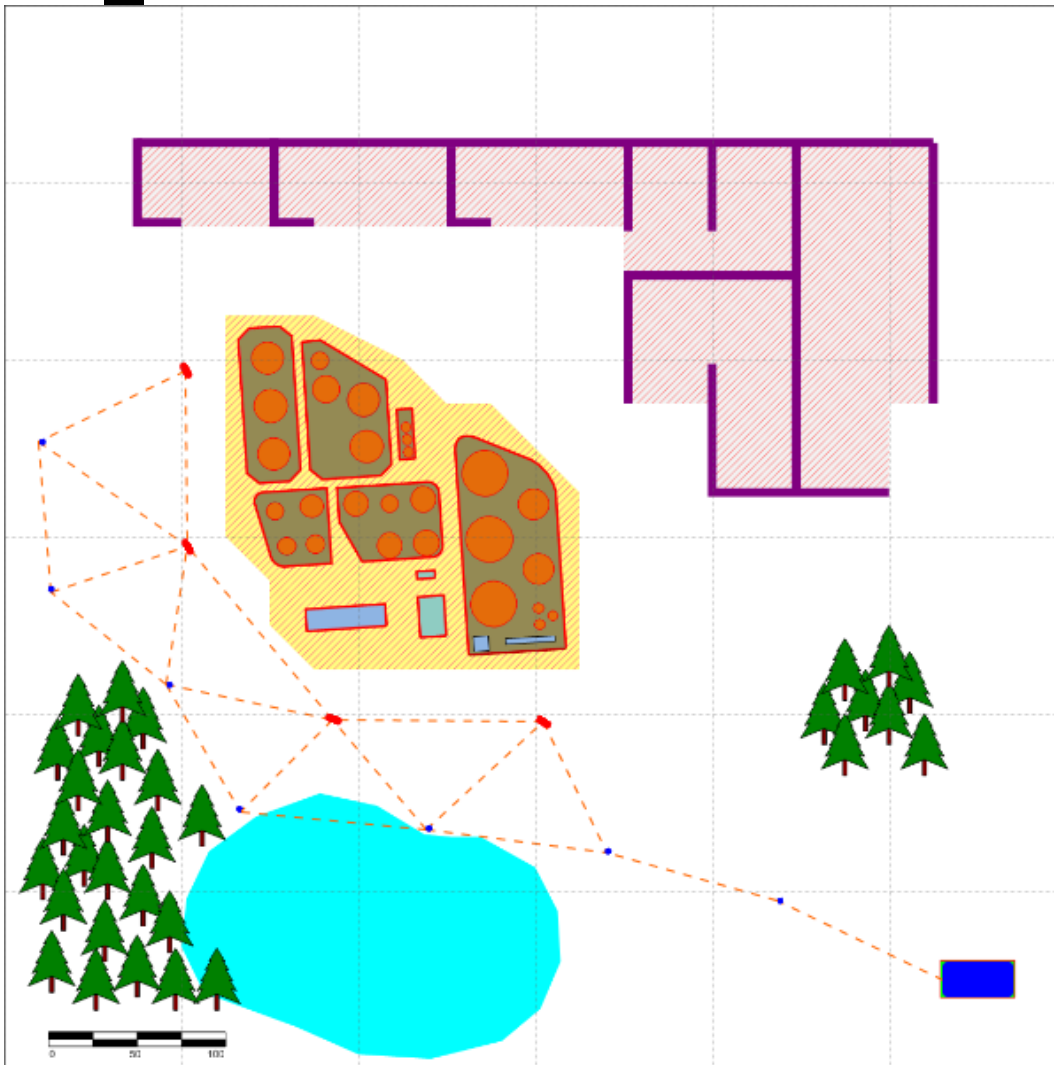
Obszar objęty katastrofą

7 jednostek sieciowych

4 jednostki ratunkowe

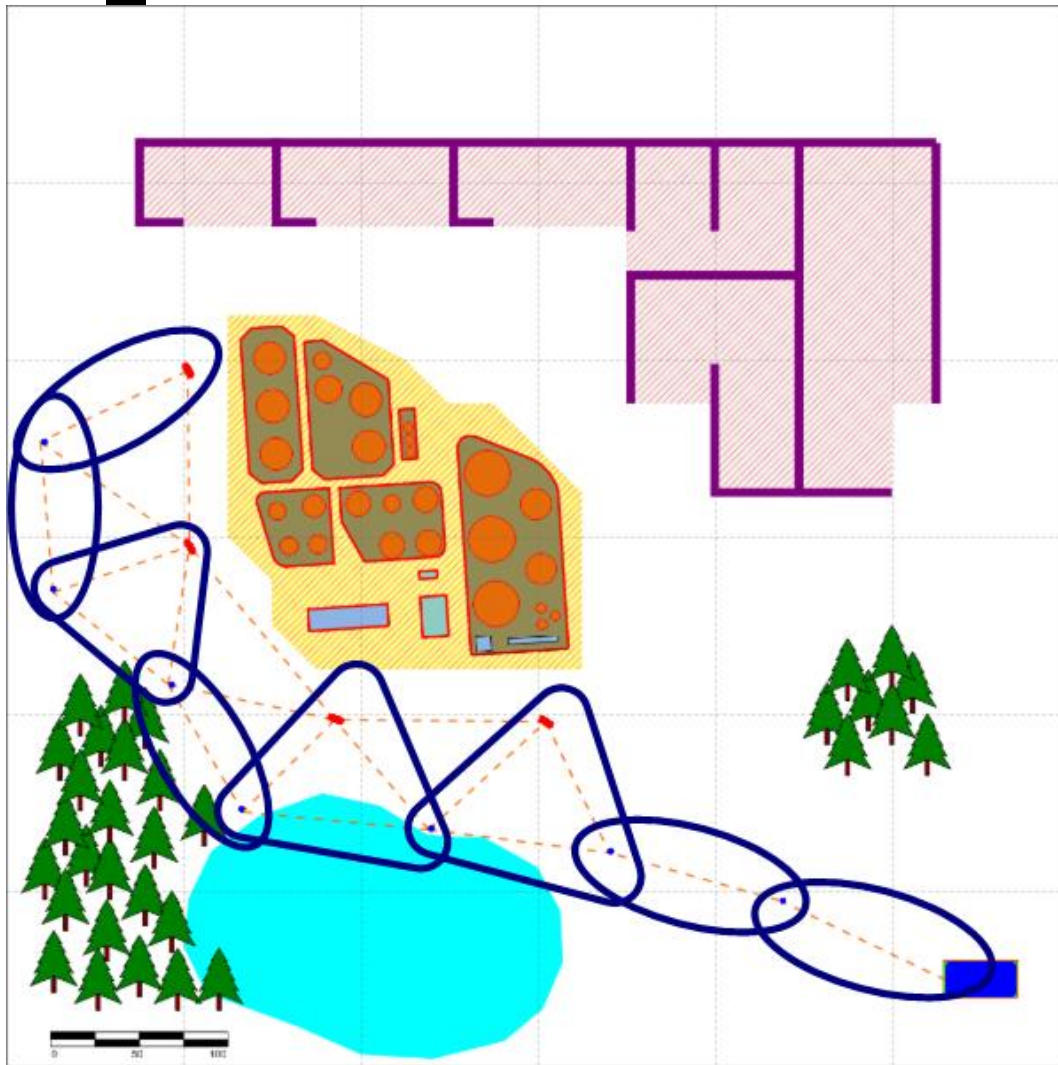
Centrum zarządzania

MobASim: Wyniki symulacji



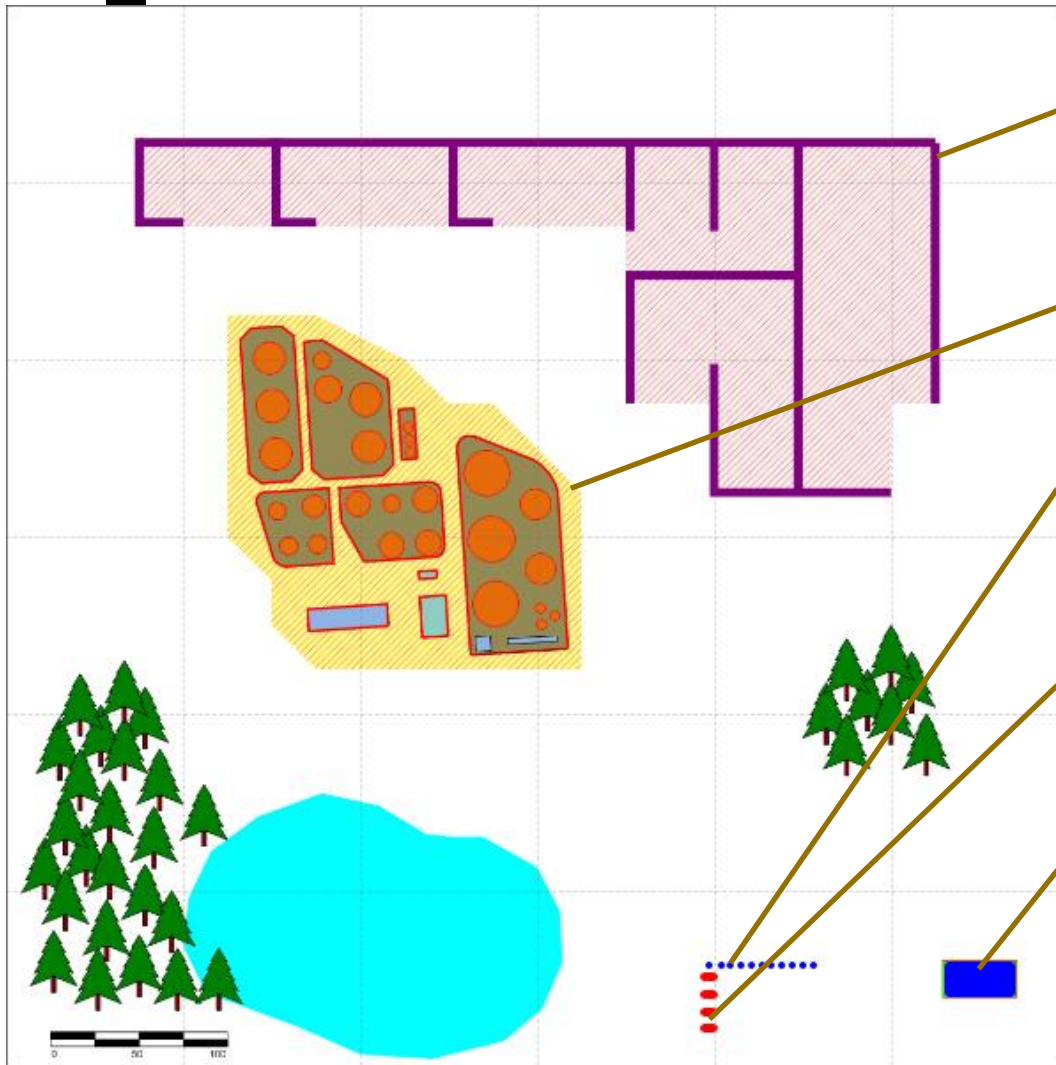
- Węzły sieci poruszające się w wolnej przestrzeni,
- Klastry o regularnych kształtach i odległościach pomiędzy węzłami sieci.

MobASim: Wyniki symulacji



- Węzły sieci poruszające się w wolnej przestrzeni,
- Klastry o regularnych kształtach i odległościach pomiędzy węzłami sieci.

MobASim: Wyniki symulacji



Pomieszczenia w budynku

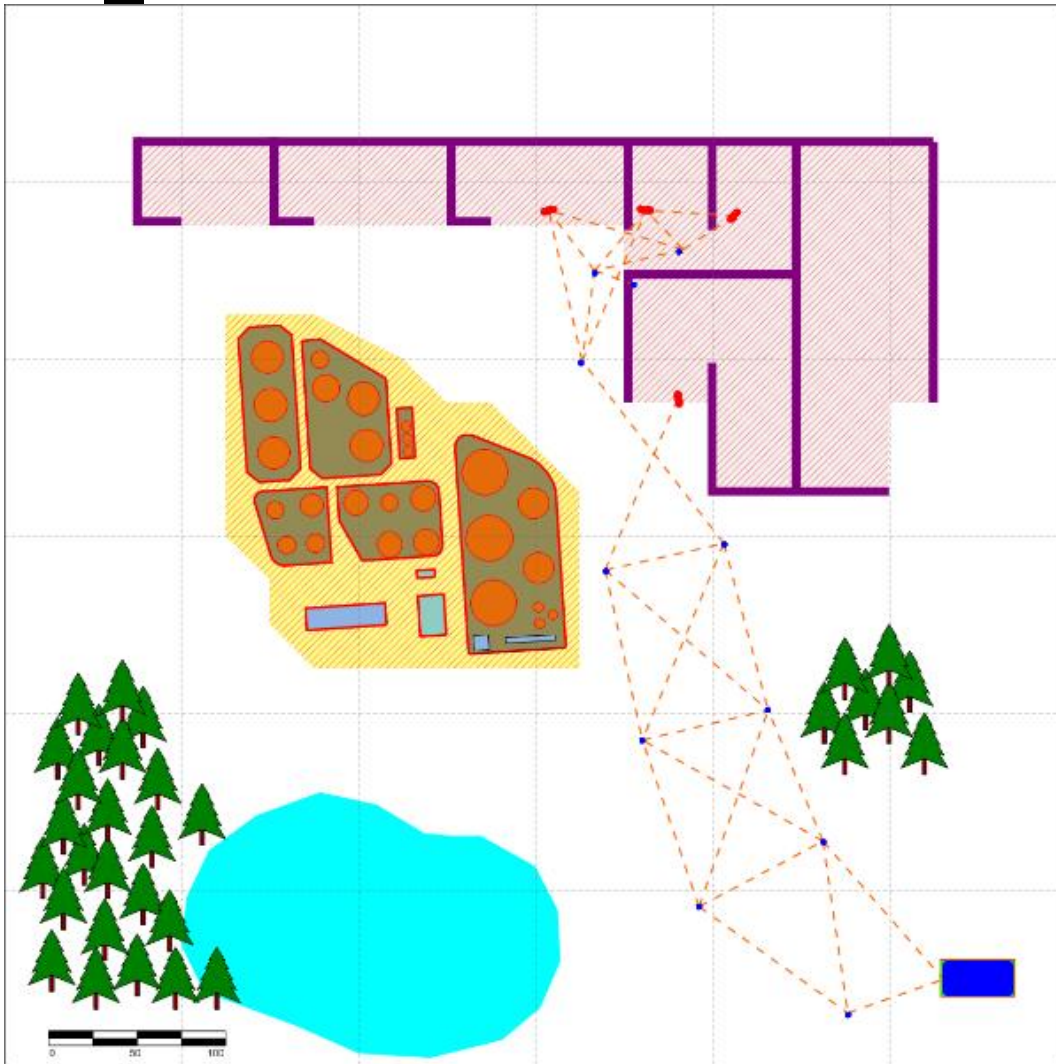
Obszar objęty katastrofą

11 jednostek sieciowych

4 jednostki ratunkowe

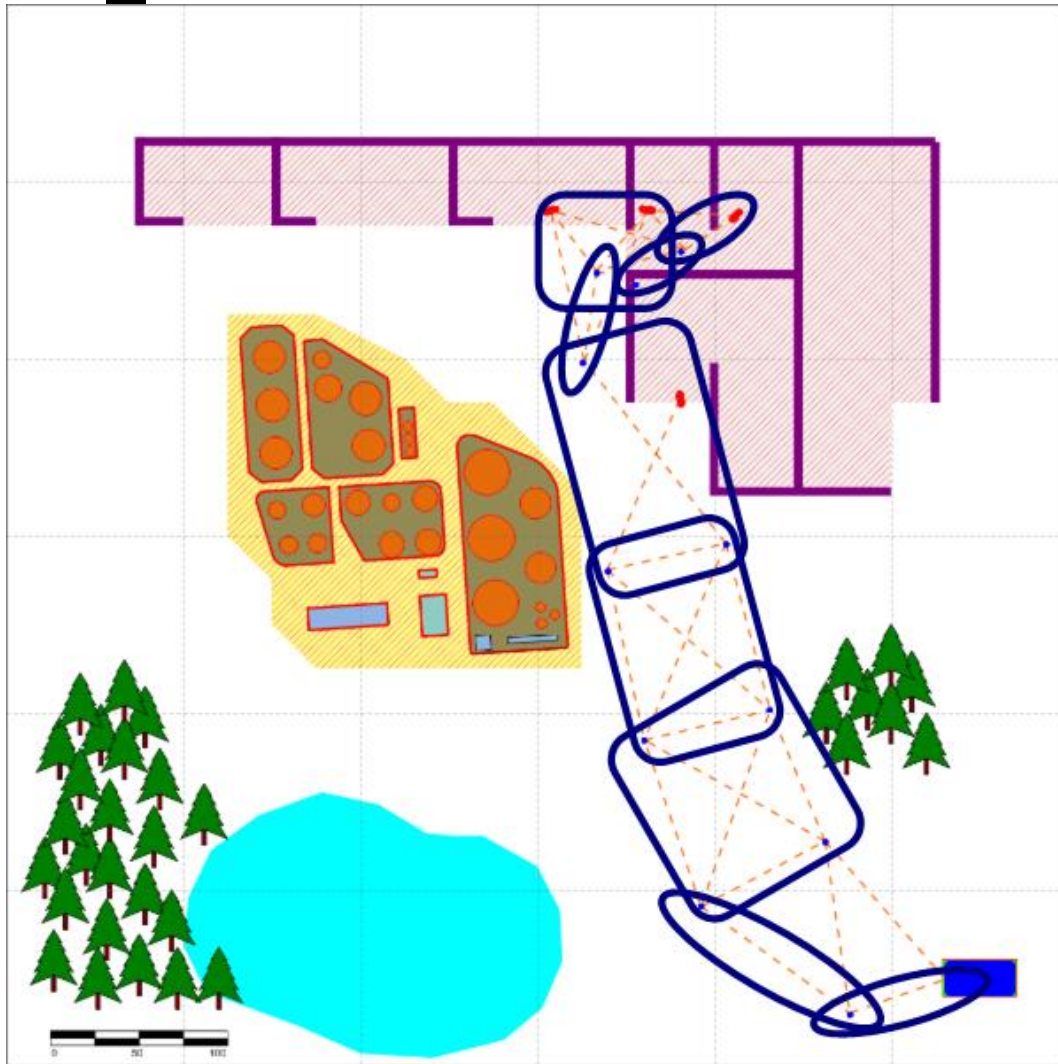
Centrum zarządzania

MobASim: Wyniki symulacji



- Węzły sieci poruszające się w wolnej przestrzeni i pomieszczeniach budynku,
- Klastry o nieregularnych kształtach i odległościach pomiędzy węzłami sieci.

MobASim: Wyniki symulacji



- Węzły sieci poruszające się w wolnej przestrzeni i pomieszczeniach budynku,
- Klastry o nieregularnych kształtach i odległościach pomiędzy węzłami sieci.

[Podsumowanie]

- Wiarygodne wyniki symulacji mobilnej sieci sensorów wymagają dobrze oddającego rzeczywistość modelu mobilności symulowanych obiektów.
- Zaproponowany model mobilności PFM można wykorzystać w symulacji i sterowaniu położeniem mobilnych węzłów sieci sensorów.
- Podstawowe cechy modelu PFM to uniwersalność i łatwość zastosowania w symulacjach różnorodnych scenariuszy wykorzystania sieci ad-hoc oraz możliwość wprowadzenia niestandardowych zależności pomiędzy węzłami sieci.
- Planowana jest weryfikacja przedstawionego algorytmu formowania mobilnej sieci czujników poprzez testy z wykorzystaniem robotów mobilnych.