

AGREGACE ZNALOSTÍ SENZORICKÉHO SYSTÉMU PRO ROBOTICKÉ ODMINOVÁNÍ

Ing. Jiří Kacer

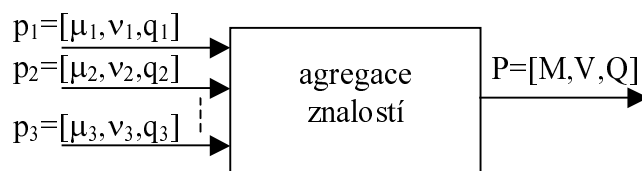
Katedra technické kybernetiky a vojenské robotiky
Vojenská akademie v Brně

Úvod

Tento článek seznamuje s jedním z možných způsobů agregace znalostí, který byl použit při návrhu sensorického podsystému odminovacího robota. Cílem agregace znalostí je zajistit rozhodnutí odminovacího multisenzoru (OMS) o přítomnosti miny v měřené části terénu (za část terénu lze považovat např. bod o souřadnicích x, y). Konečného rozhodnutí je dosaženo agregací dílčích znalostí od jednotlivých senzorů OMS.

1. Mechanismus agregace znalostí

Znalosti od jednotlivých senzorů jsou po předchozím převedení na jednotnou znalost přiváděny do bloku agregace znalostí. Každý sensor vyjádří svůj „názor“ na přítomnost miny ve zkoumané oblasti. Výsledkem bude tzv. μ -mapa míry výskytu min a zároveň ν -mapa věrohodností měření. Blokové schéma agregace je na obr. 1. Na něm jsou vidět příspěvky od jednotlivých senzorů v podobě funkce $p(\mathbf{d}, \mathbf{z}, \mathbf{q})$, kde \mathbf{d} je souřadnice bodu v terénu (ν rovině x, y), \mathbf{z} je znalost o terénu získaná zpracováním sensorické informace a vektor \mathbf{q} nese doplňkovou informaci.



Obr. 1 Blokové schéma agregace znalostí

Výstupem bloku agregace znalostí je celková hodnota míry výskytu miny M a celková hodnota věrohodnosti měření V . Zároveň se na výstupu bloku agregace objevuje doplňková informace Q , která zahrnuje zejména hodnoty lingvistické proměnné Q < tvar >, což je výpověď o typu miny a jejích vlastnostech. Existuje zde jistá analogie s bayesovským, resp. s kalmanovským přístupem, kdy je na každý sensor odminovacího multisenzoru pohlíženo

jako na člena týmu, který má svůj názor na přítomnost miny, a dále váhu tohoto názoru v týmu.

Z obr. 1 vyplývá, že pro jeden průchod agregace lze vytvořit tzv. agregační funkci, která má obecný tvar

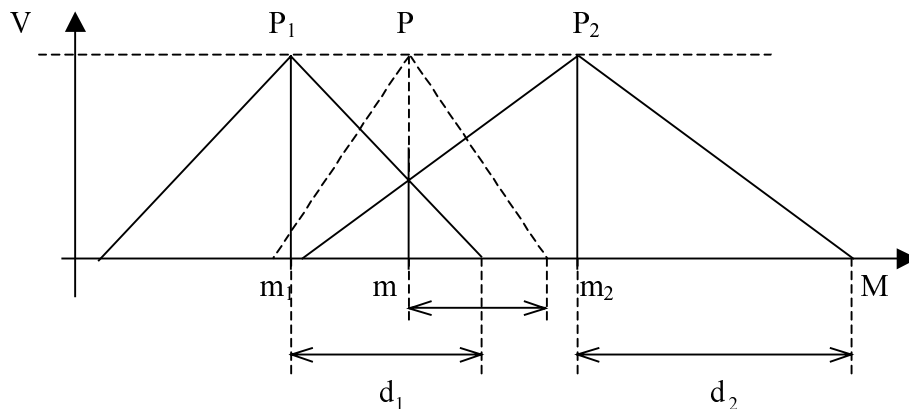
$$P=A[p_1, p_2, \dots, p_n], \quad (2)$$

kde $p_1 \dots p_n$ jsou příspěvky jednotlivých senzorů a P je výpověď multisenzoru, která je získána agregací těchto příspěvků.

Pro agregaci znalostí od jednotlivých senzorů jsem zvolil fuzzy logický systém. Výpovědi jednotlivých senzorů jsou reprezentovány fuzzy množinami $P_i \equiv \{m_i, d_i\}$ se symetrickou trojúhelníkovou funkcí příslušnosti nad univerzem M – tj. hodnotami míry výskytu miny. Střed m_i fuzzy množiny P_i odpovídá hodnotě výskytu miny. Velikost nosiče je $2d_i$, kde

$$d_i = \frac{1 - v_i}{v_i} \quad (3)$$

a v_i je věrohodnost měření i -tého senzoru.



Obr. 2 Fuzzy agregace znalostí senzorů

Popis vstupních veličin byl uveden v předchozích částech. Na obr. 2 je vidět princip agregace znalostí. Jsou na něm naznačeny příspěvky od dvou senzorů, jejichž míry výskytu miny jsou m_1 a m_2 , a jejichž věrohodnosti měření, resp. míry chyby měření jsou v_1 a v_2 , resp. d_1 a d_2 a výsledná množina $P \equiv \{m, d\}$, která reprezentuje agregovanou výpověď o výskytu miny.

Pro agregaci znalostí od dvou senzorů, viz obr. 2, jejichž výpovědi jsou dány fuzzy množinami P_1 a P_2 , platí následující vztahy, určující parametry výstupní fuzzy množiny

$P \equiv \{m, d\}$, tj. míru výskytu min m , míru chyby d , resp. věrohodnosti měření v fuzzy množiny P , která je agregovanou výpovědí obou senzorů:

$$m = A_m(m_1, m_2, d_1, d_2) = \frac{d_2}{d_1 + d_2} \cdot m_1 + \frac{d_1}{d_1 + d_2} \cdot m_2 \quad (3)$$

$$d = A_d(d_1, d_2) = \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \quad (4)$$

$$v = \frac{1}{d+1} = \frac{d_1 + d_2}{d_1 + d_1 d_2 + d_2} = \frac{v_1 - 2v_1 v_2 + v_2}{1 - v_1 v_2} \quad (5)$$

Podle rovnic (3), (4) a (5) probíhá výpočet tak, že je nejdříve určena hodnota míry výskytu miny a věrohodnosti měření pro dva senzory. Výsledné dvě veličiny jsou potom dále agregovány s hodnotami třetího senzoru. Celý proces se opakuje, dokud nejsou započítány znalosti od všech senzorů. Výsledkem agregace je celková hodnota míry výskytu miny a celková hodnota věrohodnosti měření.

Agregační funkce (1) dostane tvar

$$P = A[p_n, A[p_{n-1}, A[p_{n-2}, \dots, A[p_2, p_1] \dots]]]. \quad (6)$$

Vztahy 3 a 4 zaručují, že výsledná hodnota P nezávisí na pořadí zpracovávání jednotlivých dílčích výpovědí P_i .

Jak již bylo uvedeno dříve, naznačený postup je vztažen k jednomu bodu o konkrétních souřadnicích. Odminovací robot však musí postihnout větší oblasti terénu. Proto si každý senzor vytváří již zmiňovanou μ -mapu míry výskytu miny a v -mapu věrohodnosti měření. Při agregaci jsou vytvářeny výsledná μ -mapa a výsledná v -mapa. Ty obsahují znalosti OMS o terénu a jsou výsledkem agregace μ - a v -map jednotlivých senzorů. Jelikož pro operátora obsluhujícího odminovacího robota je důležitá pouze informace, zda v terénu jsou či nejsou přítomny miny, je vytvářena tzv. **π -mapa terénu s minami**, která přiřazuje každému bodu terénu hodnotu $p \in \{0, 1\}$ (mina není nebo je). Hodnota P je uvedena s uvážením prahových hodnot pro míru výskytu miny m_p a věrohodnost měření v_p . Po jejich překročení v obou mapách zároveň bude v daných souřadnicích označena přítomnost miny. Prahy budou nastaveny obsluhou a jejich hodnota bude vyvozena na základě zkušeností získaných prací s použitými senzory.

$$p = \begin{cases} 0 & m < m_p, v \geq v_p \\ 1 & m \geq m_p, v \geq v_p \end{cases} \quad (7)$$

Z výpočtu je vidět, že výsledná věrohodnost měření je přímo závislá na hodnotách věrohodnosti měření, které jsou apriorně, před počátkem měření, zadány operátorem. Zde

nabývá na důležitosti možnost zahrnutí *expertní znalosti*. Odmínovací multisenzor považujeme za otevřený systém, jelikož je schopen se v průběhu činnosti přizpůsobit a zahrnout nové poznatky a zkušenosti týkající se vlastností senzorů při detekci min.

Výhodou navrhovaného přístupu je *nezávislost na pořadí*, v jakém znalosti od senzorů přicházejí do bloku agregace. Je to důležité v případech, kdy některý ze senzorů nemůže změřit určitou oblast, případně nebylo měření dostatečně kvalitní a musí být vykonáno znovu.

2. Mechanismus víceprůchodové agregace znalostí

Vybrané senzory mají rozdílné fyzikální principy měření a z toho plynoucí vlastnosti. Z toho vyplývají také rozdílné schopnosti senzorů detekovat různé typy min v rozdílných podmínkách. Podmínky měření a tím také schopnosti daného senzoru detekovat určitou minu lze do mechanismu agregace znalostí zahrnout pomocí doplňkové znalosti Q . Dosud uváděný princip jednorůchodové agregace neumožňoval tuto doplňkovou znalost zahrnout proto jsem navrhl mechanismus tzv. *víceprůchodové agregace znalostí*. Princip víceprůchodové agregace je založen na myšlence využití znalosti získané jednou agregací pro upřesnění podmínek a provedení agregace nové, jejíž výsledek bude lepší ve smyslu dosažené věrohodnosti výsledného tvrzení. Mechanismus víceprůchodové agregace se spustí v okamžiku, když je v první agregaci zjištěna informace, která umožní upřesnit věrohodnost měření jednotlivých senzorů. Například je s dostatečnou věrohodností určen typ miny. To umožní korigovat věrohodnosti měření jednotlivých senzorů tak, aby odpovídaly již dříve experimentálně zjištěným hodnotám věrohodnosti pro dané prostředí a zjištěný typ miny. Dojde tak k tomu, že u některých senzorů je věrohodnost zvýšena, jelikož jsou schopny lépe detekovat daný typ miny, zatímco věrohodnost jiných je snížena, protože jejich detekční schopnosti pro daný typ miny a měřené prostředí jsou nízké.

Až dosud se každý senzor OMS choval jako individuum schopné se rozhodnout. Avšak v bloku agregace znalostí se chová jako člen týmu. Tento tým může být pětičlenný (v případě, že znalosti o měřené oblasti poskytnou všechny senzory), ale také třeba pouze tříčlenný (v případě, že dva senzory nemohou danou oblast změřit). Rozhodnutí pouze dvou senzorů nelze brát jako rozhodnutí týmu, a proto je potřeba oblast označit jako nezměřenou. Při víceprůchodové agregaci budeme vycházet ze vztahu 8

$$P[M, V, Q], \quad (8)$$

kde P je vektor rozhodující o přítomnosti miny, M je míra výskytu min, V je věrohodnost měření a Q je doplňková znalost. Zobecněná mapa výskytu min může být potom vyjádřena funkcí

$$p = (\boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}, \mathbf{q}), \quad (9)$$

kde $\boldsymbol{\mu}$ je matice míry výskytu miny v terénu, \mathbf{v} je matice věrohodnosti měření a vektor \mathbf{q} nese doplňkovou informaci o typu miny.

Potom lze pro různé druhy min a senzorů vytvořit následující tabulku, vyjadřující reprezentaci apriorní znalosti o věrohodnosti měření senzoru, která je základním způsobem zavedení expertní znalosti o minách a vlivu prostředí na detekci do procesu agregace znalostí.

Tab. 1

Senzor Q typ miny	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
A	V ₁₁	V ₁₂	V ₁₃	V ₁₄	V ₁₅
B	V ₂₁	V ₂₂	V ₂₃	V ₂₄	V ₂₅
C	V ₃₁	V ₃₂	V ₃₃	V ₃₄	V ₃₅
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
K	V _{k1}	V _{k2}	V _{k3}	V _{k4}	V _{k5}

V tab. 1 jsou ve sloupcích uvedeny hodnoty věrohodností měření senzorů S₁ až S₅ pro K-typů min v řádcích. Pro typ miny A jsou v řádku vyjádřeny obecné věrohodnosti senzorů. V následujících řádcích jsou podmíněné věrohodnosti měření senzorů (vzhledem k předpokladu výskytu miny typu i). Tabulka je zatím navržena pouze obecně, pro její vyplnění je třeba provést měření vybraných senzorů se zástupci typů min za různých podmínek (typ půdy, počasí, atd.).

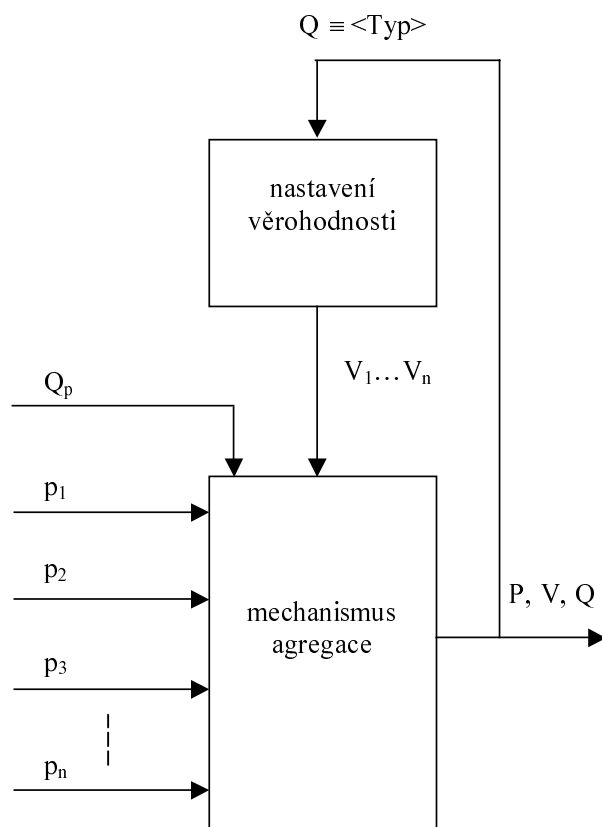
Na obr. 3 je znázorněn mechanismus víceprůchodové agregace znalostí. Z tohoto obrázku vyplývá, že při použití navrhované metody, by postup agregace znalostí byl následující.

1. průchod Tým senzorů (OMS) se dohodne na výsledku měření (μ -mapa terénu s minami) na základě obecné věrohodnosti měření senzorů daných tabulkou 2.

2. průchod Vyhodnocení m a v na základě, že $q=q_i$ (vyplývající z podmíněných věrohodností měření)

Další průchod by následoval v případě, že vznikne konflikt mezi senzory o q (dva senzory mohou určit různý typ miny q_i a q_k . V případě konfliktu je brána hodnota s větší výslednou věrohodností.

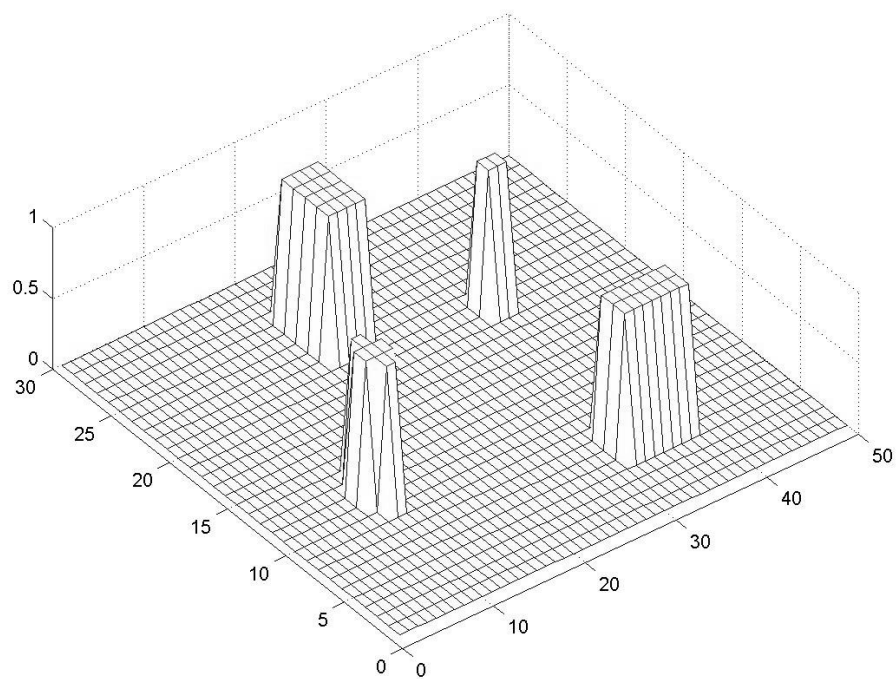
3. průchod Vytvoření výsledné μ - a v -mapy a přiřazení q minám.



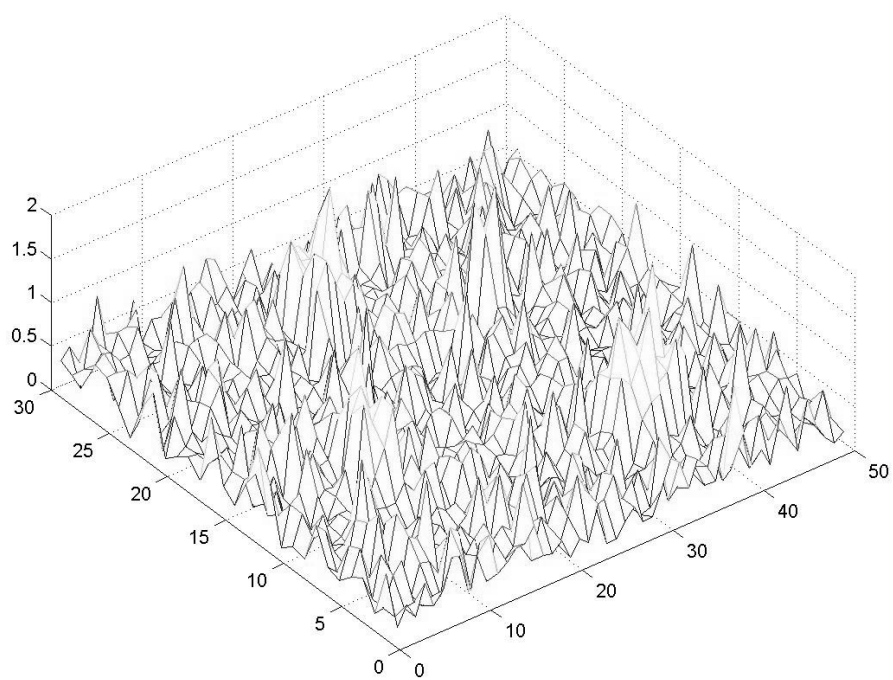
Obr. 3 Princip víceprůchodové agregace znalostí

Výhodou víceprůchodové agregace je možnost přesněji určit nejen přítomnost miny, ale zároveň, na základě doplňkové znalosti Q , také typ miny. Výsledná π -mapa terénu s minami potom může, ale nemusí (v případě nejednoznačného výsledku) nést tuto informaci. Tím, že se jedná pouze o programové záležitosti, dochází ke značným úsporám času, protože jsou použity již naměřené hodnoty. Pro vyplnění tab. 1 je nezbytné provést řadu měření, avšak její existence je podmínkou víceprůchodové agregace.

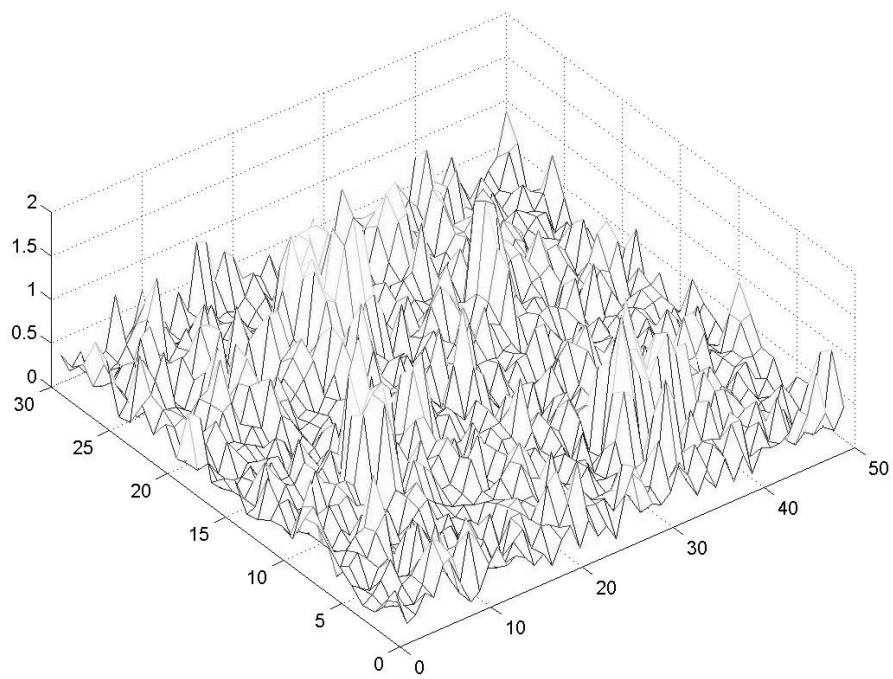
Pomocí experimentu mělo být ověřeno, zda je navrhované řešení schopno, z dostupných informací a znalostí od senzorů, rozhodnout o přítomnosti miny. Model terénu k tomuto účelu vytvořený obsahoval čtyři miny. Dvě z nich byly protitankové a dvě protipěchotní (obr. 4). Bylo předpokládáno, že miny budou mít různé fyzikální vlastnosti. Odmínovací multisenzor byl složen z pěti, dříve vybraných senzorů. Postup byl následující: Nejdříve byla každému senzoru přiřazena věrohodnost měření, která vycházela z tab. 1. Potom bylo postupně provedeno měření terénu jednotlivými senzory. Výsledkem měření senzoru bylo vytvoření μ -mapy o přítomnosti miny v terénu a v -mapy věrohodnosti měření. Ta je však pro daný senzor konstantní. Příklady μ -map jsou na obr. 5-7. Je na nich vidět, že výstup senzorů je „zašuměný“ (falešné poplachy) a senzor není schopen jednoznačně rozhodnout o přítomnosti miny.



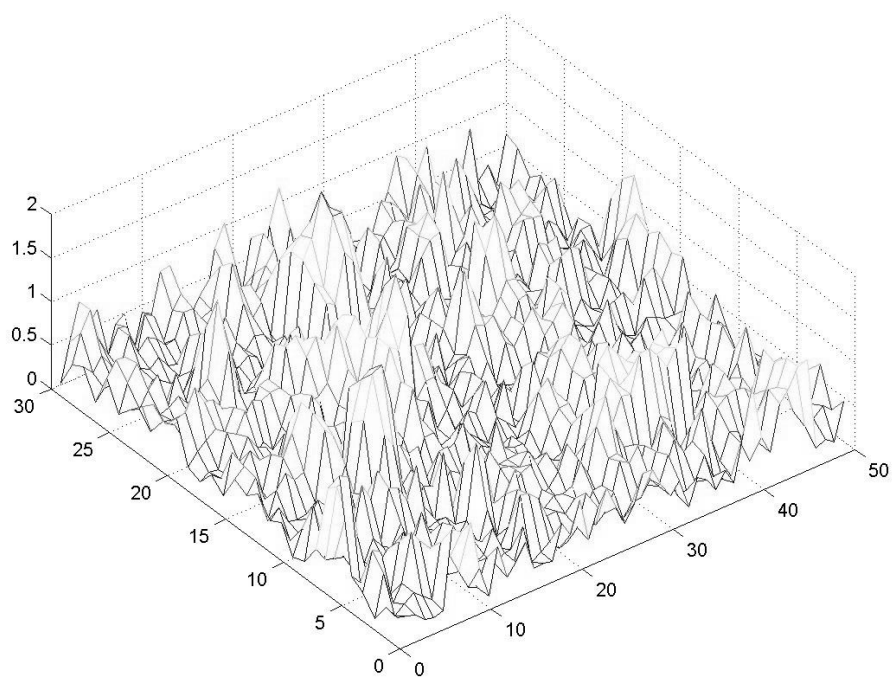
Obr. 4 Model terénu se čtyřmi minami.



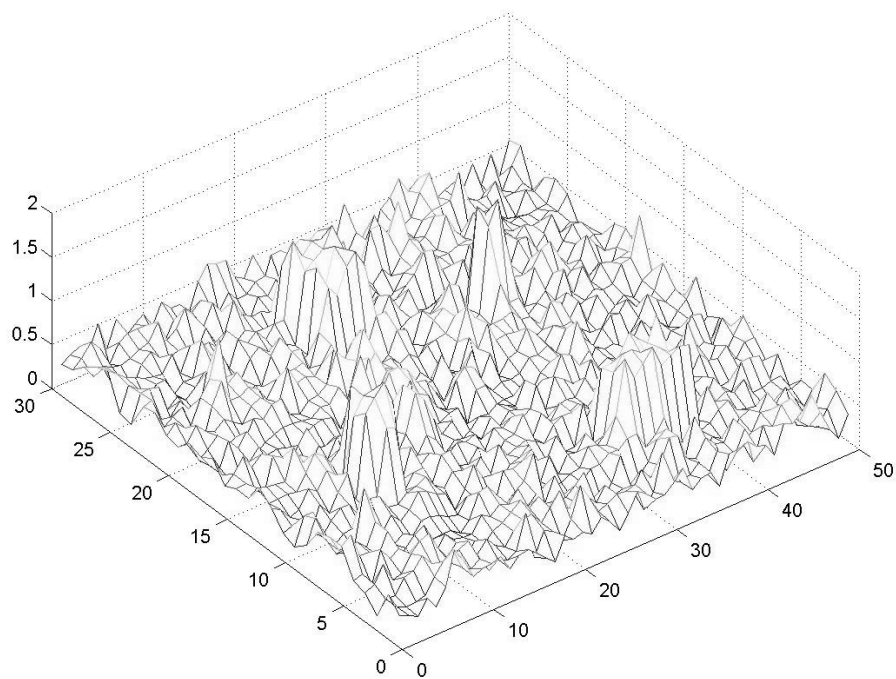
Obr. 5 μ -mapa výskytu min detektorů kovů



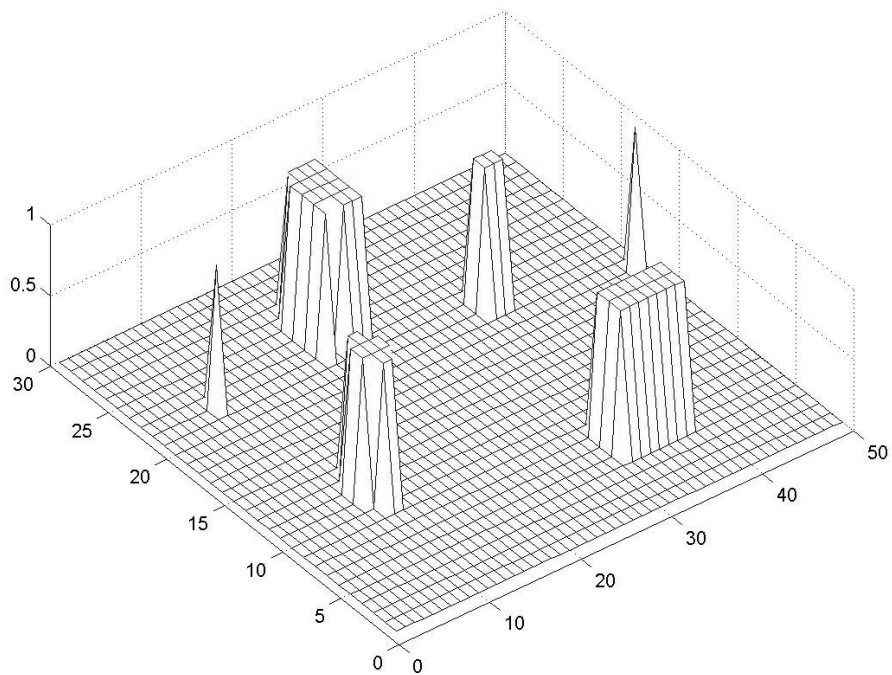
Obr. 6 μ -mapa výskytu min zemí pronikajícího radaru



Obr. 7 μ -mapa výskytu min bodce



Obr. 8 μ -mapa terénu s minami



Obr. 9 Výsledná π -mapa terénu s minami

Obr. 8 představuje výslednou μ –mapu terénu s minami po agregaci znalostí, vyjádřených v předchozích μ -mapách. Přítomnost min na této mapě je na první pohled

zřetelnější, než na předchozích μ -mapách senzorů, avšak ani zde nelze o minách jednoznačně rozhodnout. Proto je třeba hledat kritérium, které by bylo schopné toto rozhodnutí vykonat. Jako vhodné kritérium se jeví nastavení jisté prahové hodnoty jak pro výslednou μ –mapu terénu s minami, tak pro výslednou v -mapu věrohodnosti měření. Výsledkem je π -mapa terénu s minami (obr. 9). Na této mapě již lze jednoznačně určit počet min a jejich polohu. Navíc, kromě min, byly nalezeny také dvě falešné miny – tedy dva falešné poplachy, představované samostatně stojícími špičkami na obr. 9.

Závěr

Pomocí uvedeného mechanismu byla ověřena možnost spolupráce více senzorů s různými technickými parametry a fyzikálními způsoby detekce min. Byly navrženy modely těchto senzorů tak, aby byl vytvořen jednotný jazyk znalostí a bylo možné jednotné zpracování znalostí od nich. Navrhl jsem způsob zpracování znalostí od senzorů a výslednou agregaci znalostí. Tato agregace vychází ze zavedených veličin míry výskytu miny M a věrohodnosti měření V , resp. míry chyby měření D . Dále byl navržen způsob víceprůchodové agregace, který by oproti jednopřechodové agregaci, která může „pouze“ rozhodnout o přítomnosti miny, byla navíc schopna určit také typ miny. Výstupem administrativního multisenzoru je potom π -mapa terénu s minami. Dále byl vytvořen simulační program, ověřující činnost navrhovaného multisenzoru. V tomto programu byly použity neuronové sítě k rozpoznávání tvarů min, fuzzy logické systémy pro vytvoření mapy terénu s minami jednotlivých senzorů a agregaci znalostí, která zajišťovala vytvoření výsledné mapy terénu s minami. Po nastavení prahových hodnot míry výskytu miny na 0,5 a věrohodnosti měření na 0,5 byla vytvořena výsledná mapa terénu s minami, na níž lze určit polohu miny, a případně také typ miny.

Jiří Kacer

e-mail: Jerry@cs.vabo.cz

Vojenská akademie v Brně

tel.: 05/41183558

K308 – PS 13

Kounicova 65

612 00 Brno