

МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ І АНАЛІЗУ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

© Тернова Т., 2011

Розглянуто методи моделювання і аналізу просторово-часових деформацій сенсорних мереж. Розглянуто властивості міри близькості отриманих від сенсорної мережі зображень при використанні методу компенсації інформаційних потоків дозволяють зменшити функціональне навантаження на підсистему класифікації.

Ключові слова: сенсорна мережа, деформації, метод компенсації інформаційних потоків.

In the article considered methods of modeling and analysis of spatial and temporary deforming the touch networks. Considered characteristics of measure of vicinity of expressing, when using a method to information flow compensations, allow to reduce a functional load to the categorization system.

Key words: touch network, deformation, method to information flow compensations.

Вступ

З розвитком науки та технологій відкрились нові перспективи у сфері збирання, передавання та обробки інформації. Зниження вартості напівпровідникових пристроїв та зменшення їх розмірів дають змогу використовувати технологію бездротових сенсорних мереж для побудови різних додатків із застосуванням сенсорів або датчиків, що вимірюють поля у фізичному світі. Сенсорні мережі можуть бути використані у багатьох сферах людського життя, починаючи з контролю за здоров'ям хворих і закінчуючи збирання інформації з величезних територій та важкодоступних місць. Останнім часом зростає роль інноваційних технологій для вирішення завдань моніторингу й контролю стану різних об'єктів.

Постановка проблеми

У задачах контролю за станом розподілених об'єктів постає проблема обробки і розпізнавання деформацій та переміщень в реальному масштабі часу. В багатьох задачах своєчасно зроблений висновок стосовно стану контрольованого об'єкта дає змогу уникнути аварійної або небезпечної ситуації. Великі потоки даних, отриманих від мотів сенсорних мереж, потребують розроблення та вдосконалення відповідних методів аналізу отриманої інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Бездротова сенсорна мережа – розподілена, самоорганізована, стійка до відмов елементів система, що складається з багатьох вузлів, так званих мотів, які пов'язані між собою за допомогою бездротової лінії зв'язку. Вузли мережі (моти) збирають інформацію, здійснюють її первинну обробку та передають до головного комп'ютера. На моті, розміри якого зазвичай не перевищують одного кубічного дюйма, розміщаються процесор, пам'ять: флеш і оперативна, цифро-аналогові й аналого-цифрові перетворювачі, радіочастотний приймач-передавач, невелике джерело живлення й датчики [1–3]. Датчики можуть бути найрізноманітнішими: від найпоширеніших, що вимірюють температуру, тиск, рівень освітленості, до спеціалізованих, що дають змогу вимірювати, наприклад, рівень радіаційного фону й вміст CO₂ [4]. Рівень інтеграції й мініатюризації напівпровідникових компонентів, досягнутий на певний момент, дає змогу створювати масштабні бездротові мережі датчиків, що відкривають нові можливості під час проведення наукових досліджень, побудови систем керування й контролю, систем безпеки, а також організації «інтелектуальних просторів».

Масштабні, легко розподілені й прості в обслуговуванні – от найзначиміші характеристики, що відрізняють бездротові сенсорні мережі від інших вимірювально-контрольних систем.

Однією із задач, розв'язуваних за допомогою сенсорних мереж, є задача контролю й аналізу просторово-часових деформацій спостережуваного об'єкта. Контроль і оцінювання просторово-часових деформацій зустрічаються в багатьох галузях науки й народного господарства [5, 6]. Створення ефективних методів оцінювання параметрів просторових деформацій, що змінюються, є однією з важливих проблем обробки послідовностей зображень. Така оцінка необхідна для розв'язання вирішенні практичних задач ідентифікації об'єктів, що змінюються, навігаційних задач відстеження курсу рухомого об'єкта в умовах обмеженої видимості, у разі суміщення багатозональних зображень при дистанційних дослідженнях Землі та у медичних дослідженнях.

Ціллю статті є аналіз, модифікація, вдосконалення та адаптація існуючих методів моделювання і оцінювання просторово-часових деформацій розподілених параметрів об'єктів, які отримують за допомогою сенсорних мереж.

Обґрунтування отриманих наукових результатів

Якщо представити сітку Ω_1 з мотами у кожному вузлі \bar{j} , то зсув кожного вузла \bar{j} сітки Ω_2 щодо його положення на Ω_1 може бути задано вектором $\overline{d_{i,j_1}}$, сукупність яких становить векторне випадкове поле деформацій:

$$\mathbf{D} = D\{\overline{d_{i,j_1}} \cdots \overline{d_{i,j_m}} \in \Omega\},$$

де $\overline{d_{i,j_1}} \cdots \overline{d_{i,j_m}}$ – деформація вузлів, які належать зображенню Ω ; n, m – розмірність сітки по горизонталі й вертикалі відповідно.

Можна розглядати кожний мот як вузол або точку на зображенні поверхні, що досліджується. Як інтенсивність параметрів кожної фіксованої точки зображення можна використати рівні різноманітних фізичних характеристик залежно від фізичної природи встановлених на мотах датчиків. Дані, які отримують від датчика мота, характеризують інтенсивність або яскравість конкретних вузлів зображення.

Деформації, що розглядаються в цій статті, можуть бути трьох видів.

1. Зміна положення мота всередині сенсорної мережі (безпосередньо деформація сенсорної мережі). Різновидом такої деформації може бути додавання нового мота або виключення вже існуючого.

2. Зміна рівня інтенсивності параметра, що вимірюється датчиком мота, за незмінного місцезнаходження самого мота.

3. Комбінована деформація. Тобто зміна одночасно як місцезнаходження мота, так і параметра, який він вимірює.

Система моделювання зображень, сформованих від датчиків сенсорної мережі, містить в загальному випадку вихідне зображення, середовище, фактори, що заважають, датчики й пристрій попередньої обробки зображення. Вихідне зображення є динамічним, тому одержувані за допомогою датчика зображення різних кадрів, мають взаємні зсуви, повороти, зміни масштабу тощо. Внесок у просторові деформації послідовностей зображень вносять також спотворення передавальних трактів, нестабільність датчиків, розташованих на мотах, дефекти їхнього виготовлення. Практично всі складові системи формування зображень можуть вносити просторові деформації зображення, які одержуються.

Розглянемо методи оцінювання деформацій зображень поля від сенсорної мережі. Для оцінювання просторово-часових деформацій можна застосувати чотири підходи:

- 1) зіставлення зображень (або їхніх локальних ділянок);
- 2) просторово-часову фільтрацію зображень;
- 3) аналіз візуального потоку (градієнтний підхід);
- 4) морфологічний аналіз зображень.

За першим підходом використовують зіставлення зображень або їхніх локальних областей. При цьому багато методів [7] засновано на виділенні невеликої множини ознак (яскраві й темні точки або їхні групи, контури, кути й т.д.). При переході від кадру до кадру встановлюється відповідність між цими ознаками. Наприклад, знаходять міжкадрові зсуви в декількох точках зображення. Далі з урахуванням фізичних властивостей спостережуваних об'єктів (наприклад, припущення про їхню твердість) значення міжкадрових зсувів інтерполюється на іншу частину зображення. Для застосування таких методів необхідні існування й стабільність обраних ознак, які можуть бути доволі слабо виражені або бути відсутніми.

Серед цих методів слід зазначити метод розкладання на множники, що доцільно вико ристовувати для 3-мірних зображень. Нерекурентний алгоритм реалізує цей метод узагальнено для випадку використання як моделі зображення конічних проєкцій, що враховує просторові спотворення за рахунок перспективи. На зображенні вибирають p характерних точок або локальних областей і оцінюють їхні координати на k кадрах зображень. За отриманою сукупністю даних відновлюється форма об'єкта й траєкторія деформації поля. Форма об'єкта вважається незмінною. Величина p , як правило, кілька десятків. Розв'язання пов'язане з обробкою матриць, розмір яких збільшується зі збільшенням числа кадрів. Час на відновлення форми пропорційний kr^2 . Наступний недолік – великі обчислювальні витрати й необхідність зберігання великого об'єму даних [8].

Існує рекурентна реалізація методу розкладання на множники. При цьому форму об'єкта й траєкторію деформації поля оцінюють у кожному кадрі. Обчислювальні витрати постійні й пропорційні r^2 . Послідовність кадрів теоретично можна обробляти в реальному масштабі часу. При обробці чергового кадру форма об'єкта уточнюється застосуванням ортогональних базисних функцій, які можуть бути отримані з використанням процедури Грамма–Шмидта [8]. Навіть у рекурентному варіанті методу розкладання на множники вимоги до обчислювальних ресурсів залишаються дуже високими і при сучасному розвитку обчислювальних засобів його реалізація в системах реального часу залишається проблемою.

Іншим різновидом методу являється кореляційно-екстремальний метод, вихідною проблемою якого є припущення, що характеристики зображень мають високу кореляцію на послідовності кадрів. Недолік – великі обчислювальні витрати у випадку оцінювання багатокomпонентного вектора параметрів просторових деформацій.

Оцінка просторових деформацій при просторово-часовій фільтрації зображень досягається за рахунок фільтрації зображень у просторових і часових областях. Для цього параметри фільтра підбудовуються за просторовими частотами. Цей підхід вимагає використання інформації про просторові деформації зображень, що знаходиться у всьому зображенні. Тому цей підхід застосовують переважно для оцінювання глобальних параметрів деформацій, характерних для всього зображення (параметр зрушення, поворот і т.д.)

За підходом, заснованим на використанні візуальних потоків, розглядається зміна яскравості у вузлах сітки відрахувань, тобто векторне поле швидкостей руху точок яскравості сцени або їхніх характеристик, наприклад, контрастності, градієнта, ентропії й т.д. Ці зміни зазвичай й називають оптичним потоком. Оптичний потік досить повно характеризує просторові деформації зображень послідовності кадрів. Для опису оптичного потоку зазвичай використовують диференціальні рівняння із частинними похідними. Причому яскравість, як правило, вважається незмінною у часі. Для обчислення оптичного потоку застосовуються методи регуляризації й методи, які засновані на обмеженнях. При використанні методів регуляризації оцінка оптичного потоку розглядається як некоректна задача, розв'язання якої виходить за рахунок лінеаризації деякого функціонала. Обмеження на гладкість цього функціонала звичайно ускладнюють знаходження розв'язання. Реалізація цих методів часто приводить до ітеративних процедур. При цьому для суміжних кадрів оцінюється зрушення кожної точки зображення, що відповідає вузлам сітки відрахувань. Недолік – великі обчислювальні витрати, що робить проблематичною їхню реалізацію в системах реального часу.

При стисненні відеоінформації часто використовують ту обставину, що параметри міжкадрових афінних перетворень у будь-якій точці трикутної або чотирикутної області можуть бути визначені за зсувами відповідно трьох (при білінійній інтерполяції) або чотирьох (при

перспективній інтерполяції) точок зображення, розташованих у вузлах відповідної сітки. Використання методів, заснованих на дослідженні оптичного потоку, може приводити до порушень зв'язності сітки. Наприклад, міжнародні стандарти стиску відеоінформації H.263 і MPEG використовують процедури оцінювання просторових деформацій, яким властивий зазначений недолік. Для зменшення погрішностей під час оцінювання зсувів вузлів сітки іноді використовується розширення локальної області. Однак це повністю не вирішує проблеми й веде до збільшення об'єму обчислень. Незалежне оцінювання зсувів кожного вузла небажане, тому що вектори можуть перетинатися, порушуючи зв'язність сітки. Тому при знаходженні векторів зсувів накладають обмеження, що зберігають зв'язність сітки. Використовуються різні види сіток: регулярна, ієрархічна, об'ємна, інтелектуальна й ін.

За підходом, що ґрунтується на морфологічному аналізі, використовують поняття форми зображення як його максимальний інваріант. Такий підхід дає змогу розв'язувати задачу оцінювання просторових деформацій, коли інші підходи не можна застосувати, наприклад, для випадку довільного функціонального перетворення яскравості.

У результаті просторових спотворень ті самі сцени на різних кадрах, що отримані від сенсорної мережі в різні моменти часу, мають різні координати. Геометрично цю ситуацію можна описати деформацією і рухом сітки відраховань у просторі при нерухомій сцені.

Якщо розглядати послідовність зображень із деформаціями, що змінюються, за наростанням або зменшенням для кожного виду деформацій, то отримаємо:

$$\mathbf{D} = D \left\{ \overline{d_{i,\bar{j}}^{(k)}} \dots \overline{d_{i_n,\bar{j}_m}^{(k)}} \in \Omega, \quad k \in T \right\}, \quad (1)$$

де k – номер зображення поля; T – кількість зображень.

Очевидно, що розмірність векторів $\overline{d_{i,\bar{j}}^{(k)}}$ збігається з розмірністю сітки Ω . У загальному випадку вузли зображення найпростіше представити у вигляді сітки відраховань і контролювати зміну положення вузлів сітки, в яких встановлені моти, щодо першого кадру або ідеального недеформованого зображення.

У випадку спостереження простору, що контролюється, коли вид деформації, а отже, вид міжкадрових просторових деформацій відомий, наприклад, коли виявлено зсув або поворот і йде контроль величини деформації, рівняння (1) можна записати в параметричному вигляді:

$$\overline{d_{i,\bar{j}}} = f(\bar{i}, \bar{j}, \bar{g}), \quad (2)$$

де \bar{g} – міра деформації за кожного виду деформації.

Необхідно враховувати, що зображення, отримане від мотів сенсорної мережі, містить завади, які викликані недосконалістю й неточністю датчиків. Практично всі складові системи формування зображення можуть вносити завади в отримане зображення. Тобто отримане для аналізу і обробки зображення має вигляд:

$$\{z_{i,\bar{j}}^{(k)}\} = \{\text{Im}_{i,\bar{j}}^{(k)} \cdot \mathcal{Y}_{i,\bar{j}}^{(k)} + q_{i,\bar{j}}^{(k)}\}, \quad (3)$$

де $\text{Im}_{i,\bar{j}}^{(k)}$ – не зашумлене завадами зображення k -го контрольованого об'єкта; k – номер зображення; $\mathcal{Y}_{i,\bar{j}}^{(k)}$ – мультиплікативна завада; $q_{i,\bar{j}}^{(k)}$ – адитивна завада.

Наступне зображення контрольованої ділянки зображення відрізняється від попереднього, якщо вид або ступінь деформації змінився, тобто зображення поля:

$$\mathbf{Im}^k = \{\text{Im}_{i,\bar{j}}^{(k)}\},$$

де $\text{Im}_{i,\bar{j}}^{(k)}$ – k -й кадр може бути отримане з $\mathbf{Im}^{k-1} = \{\text{Im}_{i,\bar{j}}^{(k-1)}\}$ за допомогою деякої функції

$$\text{Im}_{i,\bar{j}}^{(k)} = f_k(\text{Im}_{i,\bar{j}}^{(k-1)}, \bar{a}, \bar{i}, \bar{j})$$

відомою з точністю до параметрів \bar{a} .

Тоді формування послідовності кадрів зображень можна зобразити структурною схемою (рис.1). На цій схемі широкі лінії – матричні зв'язки, а мультиплікативна й адитивна завади $y_{i,j}^{(k)} = \|y_{i,j}^{(k)}\|$, $q_{i,j}^{(k)} = \|q_{i,j}^{(k)}\|$. Позначення \times – поелементне (а не пряме) множення матриць. При цьому спостерігачеві доступні кадри $z_{i,j}^{(1)}$, $z_{i,j}^{(2)}$, $z_{i,j}^{(3)}$, ... Параметри просторових деформацій \bar{a} можуть бути як випадковими, так і детермінованими.

Для аналізу міри близькості зображень контрольованого об'єкта, які отримані від сенсорної мережі в різні моменти часу, у випадку відсутності адаптації системи до припустимих спотворень, можна представити еталон у вигляді функції $z^{(0)}(\bar{i}, \bar{j})$, наступне зображення у вигляді функції $z^{(k)}(\bar{i}, \bar{j})$ й скористатися операцією згортки [9]:

$$g(\bar{i}, \bar{j}) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} z^{(0)}(\bar{i} - \bar{x}, \bar{j} - \bar{h}) \cdot z^{(k)}(x, h) dx dh, \quad (4)$$

де x, h – зсув зображень за відповідними напрямками.

Система, побудована на застосуванні цієї операції, буде лінійною і просторово інваріантною, що впливає із властивостей згортки.

При використанні методу компенсації інформаційних потоків [10, 11] можна сполучити функціонально та за часом процес отримання даних від мотив сенсорної мережі та зіставлення цих даних з еталоном або попередніми даними з урахуванням допустимих деформацій. Міра допустимих деформацій визначається залежно від фізичної природи параметрів об'єкта або процесу, що досліджується. Програма зіставлення еталону і отриманого зображення фізичних полів оброблює різницю інформаційних потоків $d = z^{(0)}(\bar{i}, \bar{j}) - z^{(k)}(\bar{i}, \bar{j})$, що за об'ємом істотно менша, а за відсутності деформацій близька до нуля. При обмежених реальних пропускних властивостях бездротових сенсорних мереж використання методу компенсації інформаційних потоків дасть змогу підвищити швидкість роботи систем спостереження та прийняття рішення.

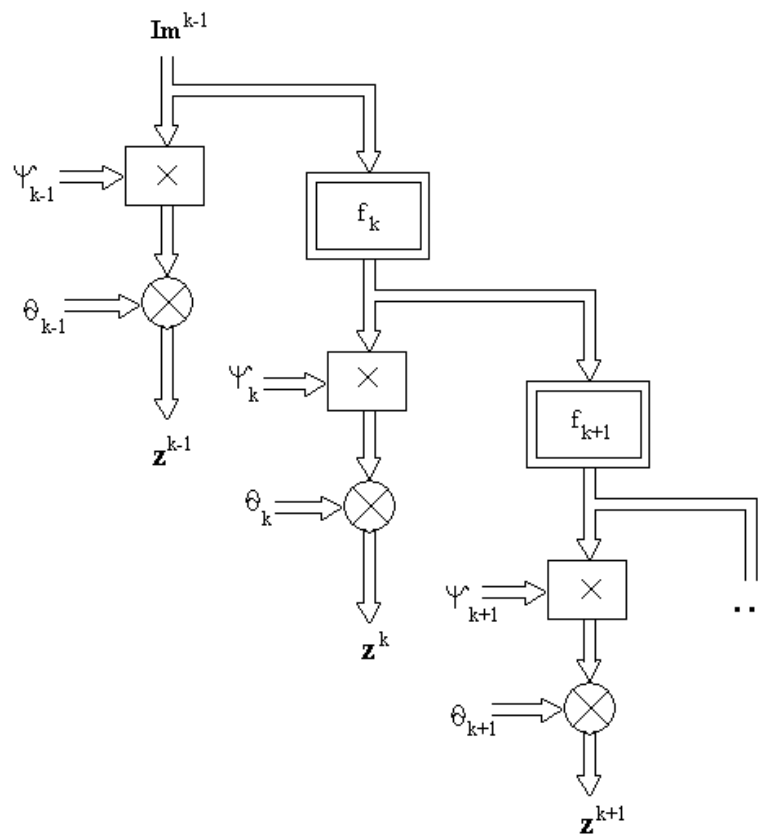


Рис.1. Послідовності зображень, отриманих від сенсорної мережі

При генерації еталона з урахуванням припустимих спотворень функція еталона набуде вигляду $z^{(0)}(\bar{i} \cdot \bar{u}_x + dx, \bar{j} \cdot \bar{u}_y + dy)$, де \bar{u}_x – вектор управління розгорненням еталона за координатою x , \bar{u}_y – вектор управління розгорненням еталона за координатою y , dx – зсув еталона щодо контрольованого зображення за координатою x і dy – зсув еталона щодо контрольованого зображення за координатою y . Суміщення з урахуванням припустимих деформацій можна проаналізувати на підставі формули (5):

$$g(\bar{i} \cdot \bar{u}_x + dx, \bar{j} \cdot \bar{u}_y + dy) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} z^{(0)}(\bar{i} \cdot \bar{u}_x + dx, \bar{j} \cdot \bar{u}_y + dy) \cdot z^{(k)}(x, h) dx dh. \quad (5)$$

Функція $g(\bar{i} \cdot \bar{u}_x + dx, \bar{j} \cdot \bar{u}_y + dy)$ показує, як система, побудована на операції згортки, змазує або розсіює зображення пвд час суміщення з еталомом. Ця функція подає інформацію про суміщення для будь-яких зображень, але у випадку контрастних інформаційних полів найефективніша.

Використання властивості комутативності:

$$z^{(0)}(\bar{i} \cdot \bar{u}_x + dx, \bar{j} \cdot \bar{u}_y + dy) \otimes z^{(k)}(\bar{i}, \bar{j}) = z^{(k)}(\bar{i}, \bar{j}) \otimes z^{(0)}(\bar{i} \cdot \bar{u}_x + dx, \bar{j} \cdot \bar{u}_y + dy) \quad (6)$$

дає змогу замінити управління генерацію спотворень еталона на управління скануванням контрольованого зображення.

Представимо образи спотворень у вигляді функцій мультиплікативної завади $y_{i,j}^{(k)}$ та адитивної завади $q_{i,j}^{(k)}$. Використання властивості асоціативності згортки, а саме:

$$\begin{aligned} & z^{(0)}(\bar{i} \cdot \bar{u}_x + dx, \bar{j} \cdot \bar{u}_y + dy) \otimes z^{(k)}(\bar{i}, \bar{j}) \otimes (y_{i,j}^{(k)} + q_{i,j}^{(k)}) = \\ & = z^{(0)}(\bar{i} \cdot \bar{u}_x + dx, \bar{j} \cdot \bar{u}_y + dy) \otimes (z^{(k)}(\bar{i}, \bar{j}) \otimes y_{i,j}^{(k)} + q_{i,j}^{(k)}), \end{aligned} \quad (7)$$

Дасть змогу надалі генерувати очікувані спотворення декількома способами (рис.2,а,б), що зробить систему, що розпізнає, ефективнішою.

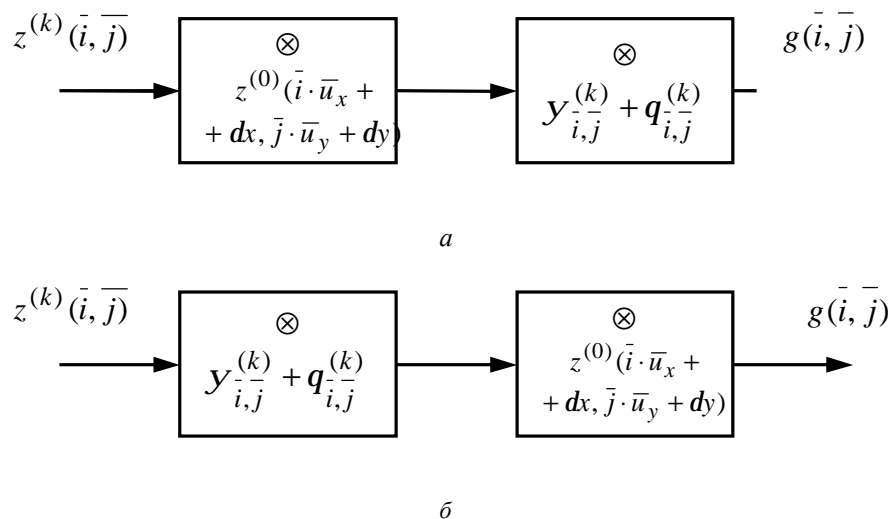


Рис. 2. Генерація очікуваних спотворень: а – з попередньою компенсацією можливих спотворень; б – з подальшою компенсацією можливих спотворень

Отже, введення в систему блоку генерації спотворень еталона на етапі суміщення його із зображенням, яке отримане від сенсорної мережі, підвищить швидкість розпізнавання.

Висновки

Аналіз існуючих методів моделювання й аналізу зображень, отриманих від сенсорної мережі, показує, що для контролю деформацій, що змінюються, найефективнішим є метод, що ґрунтується на комбінуванні підходів зіставлення зображень і просторово-часової фільтрації. Використання

компенсації інформаційних потоків та введення в систему генерацію образів спотворень на етапі суміщення зображення фізичних полів, яке отримане від сенсорної мережі, і еталона з урахуванням можливих спотворень підвищує швидкість розпізнавання.

Розглянуті властивості міри близькості отриманих від сенсорної мережі даних у різні моменти часу при використанні методу компенсації інформаційних потоків дають змогу зменшити функціональне навантаження на підсистему класифікації й звести до мінімуму витрати на її розроблення і фізичну реалізацію, що, своєю чергою, приведе до зниження вартості всієї системи загалом.

1. Кузнецов С. Д. *Сенсорные сети в борьбе с терроризмом* / С. Д. Кузнецов // *Открытые системы*. – 2004 – № 9. 2. М. Плуас, I. Mahgoub. «*Handbook of Sensor Networks*», CRC Press, 2004. 3. Сергеевский М.В. *Беспроводные сенсорные сети* / М.В. Сергеевский, С.Н. Сыроежки. – М.: КомпьютерПресс, 2008. – №.8 – С.127–129. 4. Mainwaring A., Culler D., Polastre J., et al. // *Proc. of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*. Atlanta. ACM, 2002. P. 88. 5. K.Martinez, J.K. Hart, R.Ong. *Environmental Sensor Networks*, Computer, 37 (8):50–56, 2004. 6. Ibarra-Pico, F.; Garcia-Crespi, F.; Cuenca-Asensi, S.A.; Morales-Benavente, J.J. *A DSP Implementation of an AOM and its Application to Defects Detection in Textile Material*. *Signal/Image Processing and Pattern Recognition. Proceedings*, Kyjiv, 2000 *UkrOBRAZ'2000*, pp.129-132. 7. Ташлинский А.Г. *Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений* / А.Г. Ташлинский. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 131с. 8. Morita T., Kanade T.A. *Sequential Factorization Method for Recovering Shape and Motion From Image Streams*// *IEEE Trans. On Image Processing*, vol.19, no 8, 1997. – Pp.858-867. 9. Хорн Б.К.П. *Зрение роботов: пер. с англ.* – М.: Мир, 1989. – 487 с. 10. Терновая Т.И. *Использование элементов искусственного интеллекта в автоматических системах распознавания* / Т.И. Терновая, А.М. Бражник // *Вестник Херсонского национального технического университета*. –2006. –№3(26). –С. 166–172. 11. Тернова Т.И. *Оброблення та розпізнавання сигналів сканування поверхні для визначення якісного стану об'єктів* / Т.И. Тернова // *Праці дев'ятої всеукраїнської міжнародної конференції “Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів” (UkrOBRAZ'2008)*. – К., 2008. – С. 115–117.