

Тема 6. Активні та пасивні сенсори. Сенсорно-комп'ютерні системи

Увесь досвід розвитку людської цивілізації свідчить про те, що чим правильніше і краще люди розуміють світ, чим точніше, більше і глибше знають про нього, і чим у більшій згоді із законами природи діють, тим успішніше і краще облаштовують вони своє життя. У свою чергу, рівень, достовірність і глибина наших знань про світ багато в чому визначаються тим, за допомогою яких засобів сприймаємо ми цей світ, спостерігаємо за ним, стежимо за змінами, що відбуваються в нім, і явищами.

В період становлення людства наші пращури використали для цього тільки свої органи чуття, можливості яких обмежені. Але у міру розвитку технологій, техніки, науки люди стали все ширше застосовувати також і різноманітні технічні пристрої, які доповнюють або замінюють наші органи чуття.

Такі пристрої прийнято називати сенсорами (від латинських слів *sensus* - почуття і *sensorium* - орган чуття).

Можна сміливо стверджувати, що рівень розвитку цивілізації (разом з іншими найважливішими чинниками) характеризується рівнем розвитку сенсорів. Їх роль в забезпеченні нашої правильної орієнтації, в об'єктивнішому, точному і глибокому сприйнятті дійсності, в підвищенні якості і ефективності нашої діяльності важко переоцінити. Особливо це стосується біології, медицини, соціальної сфери, високотехнологічних галузей, де ми маємо справу з дуже складними об'єктами, оцінювати стан яких і процеси, в що них відбуваються, тільки "на око", за зовнішніми ознаками вже недостатньо.

Сенсори до того ж - це саме ті пристрої, в яких відбувається загадковий процес "народження інформації" і в яких фізико-хімічні зміни, що відбуваються в реальній дійсності, перетворюються на інформаційні сигнали, що служать основою для розумної поведінки, для формування і уточнення моделей цієї дійсності, наших уявлень про неї.

По великому рахунку, саме від сенсорів фактично і починається будь-яка розумна поведінка, всякий інтелект, уся інформатика.

Будь-яка розумна система, що виникла природним чином або створена іншою розумною системою, успішно функціонує і виживає у реальному світі лише тоді і доти, коли і доки вона отримує об'єктивну і якісну інформацію про нього.

Вражаюче швидке, можна сказати, "революційне", розвиток в останні десятиліття кібернетики, мікроелектронної і оптоелектронної елементної бази інформатики, так, власне, і самих прикладних галузей знань, зробило можливою побудову нового покоління "розумних" сенсорів. Такі сенсори стали називати "інтелектуальними" - від латинського слова *intellectualis*, яке окрім значення "розумовий" має також значення "Розсудливий, міркуючий, розумний".

Створення і усе більш широке застосування інтелектуальних сенсорів - це одна з ознак інформаційної стадії в розвитку суспільства.

Інтелектуальні сенсори - це вже не мрія, не окремі розрізнені досягнення сучасної техніки, що вони вже упевнено увійшли до нашого повсякденного життя. Їх розробка і виробництво стали самостійною важливою інноваційною підгалуззю приладобудування. Поки цей факт не завжди усвідомлюють навіть фахівці - розробники окремих інтелектуальних сенсорів.

Різні автори по-різному трактують поняття "сенсор". У одних - це "чутливий прилад", майстерно створений людиною "пильний сторож", у інших - "аналізатор", що розпізнає, дізнається потрібний об'єкт ("аналіт"), у третіх - "датчик" якоїсь фізичної величини (температури, тиску, кута повороту), у четвертих - орган чуття тварини або рослини і так далі.

Сенсори - це "пристрої, які доповнюють або замінюють наші органи чуття". І усе це частково правильно. Дійсно, усі сенсори щось "відчувають" (наприклад, зміна температури, наявність магнітного поля, зміна кислотності розчину і тому подібне); за чимось "пильно спостерігають"; щось "розпізнають" (напр., відхилення від вертикалі, поява в повітрі надлишку вуглекислого газу, наявність у воді збудника холери ...); "вимірюють" яку-небудь фізичну величину (напр., освітленість, прискорення, тиск ...). Усі вони, дійсно, замінюють або доповнюють наші органи чуття.

У понятті "датчик" акцент робиться на іншій важливій здатності сенсора - на тому, що він видає в зовнішній світ сигнали про те, що він "відчуває", "розпізнає", "вимірює". Щоб точніше визначити поняття "сенсор", потрібно відволіктися від деталей, від того, що саме "відчуває", "розпізнає", "вимірює" сенсор, з якою конкретною метою і як саме він це "робить", яким конкретно образом видає він сигнали в зовнішній світ.

Головне, загальне, що тоді залишається, - це те, що:

1. у сенсора є "об'єкт спостереження";
2. взаємодіючи з об'єктом спостереження, під його впливом сенсор міняє свій стан ("відчуває", "розпізнає", "вимірює") і якимсь чином видає сигнали про це ("сигналізує") "користувачеві".

Об'єктом спостереження є той матеріальний об'єкт, процес, та середовище, з якими взаємодіє сенсор, інформацію про які він "приставлений" збирати. Об'єктом спостереження може бути, зокрема, і усе середовище, що оточує сенсор.

Для рівня (ватерпаса), наприклад, об'єктом спостереження є плоска поверхня, на якій він встановлений; для радіоприймача об'єктом спостереження є те, що оточує його антену електромагнітне поле; для медичного градусника - тіло, що знаходиться в тепловому контакті з його кінцем, в якому знаходиться крапля ртуті.

"Користувачем", одержуючим, розуміючим і використовуючим сигнали від сенсора може бути людина, інша жива істота, автоматична система управління, регулювання або реєстрації, для яких сигнали від сенсора є "інформацією" про об'єкт спостереження. Таким чином, відволікаючись від частковостей, ми приходимо до наступного визначення поняття "сенсор".

Сенсор - це пристрій (прилад, орган, вузол), що перетворює фізичну (фізико-хімічне) зміну в об'єкті спостереження, його фізична дія в інформаційний сигнал для користувача.

Сенсор - ця сполучна ланка між реальним "фізичним" світом і світом інформаційних моделей, між матерією і інформацією.

Сенсори поставляють "користувачеві" найважливішу об'єктивну початкову інформацію, на основі якої тільки і можна передбачати події, розумно поводитися у світі, судити про те, наскільки створені і вживані користувачем інформаційні моделі адекватні реальним процесам і об'єктам, з якими він має справу.

Прості сенсори

Ще відносно нещодавно люди використали в основному прості сенсори, що дають тільки "сиру", первинну, необроблену інформацію про об'єкти і процеси, за якими ведеться спостереження.

Розшифровку, обробку цієї інформації, зіставлення її з іншими даними виконували самі люди, вони ж оцінювали її значущість і міру важливості.

Одними з перших простих сенсорів, напевно, були схили - для виявлення відхилень від вертикалі; згадані вже вище рівні - сенсори малих відхилень від горизонтального положення плоскої поверхні; флюгери, відстежуючі і показуючі напрям вітри; поплавці у вудках для лову риби; компаси - для точнішого орієнтування на місцевості і т. д.

Функціональна схема простого сенсора

Головними його складовими частинами є чутливий елемент і сигналізатор. Реагуючи на ту або іншу дію з боку об'єкту спостереження, чутливий елемент міняє свій стан, а сигналізатор видає про це якийсь зрозумілий користувачеві сигнал. Цей сигнал і є носієм інформації про об'єкт спостереження.

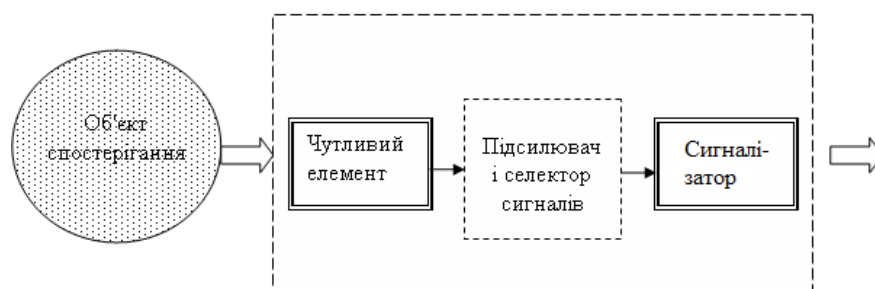


Рисунок 6.1 – Функціональна схема простого сенсора

Якщо зміни в стані чутливого елемента дуже незначні і вихідні сигнали виходять дуже слабкими або "зашумлені" якимись сторонніми впливами, то в сенсорі використовують також вузли посилення і/або селектори корисних сигналів. Проте вони не є обов'язковою складовою частиною сенсора і тому зображені штриховою лінією.

Розглянемо декілька прикладів. У простому сенсорі магнітного поля - в компасі - чутливим елементом є намагнічена тонка стрілка (смужка із заліза або з іншого феромагнетика або з їх сплаву), встановлена і урівноважена на вертикальній осі, навколо якої вона може вільно обертатися. Магніт завжди прагне обернутися своїм північним полюсом у напрямі магнітних силових ліній. Роль сигналізатора спільно виконують тут вістря стрілки і шкала з кутовими діленнями, що полегшує відлік кута між напрямом магнітної стрілки і заданим напрямом (напр., напрямом руху).

Якщо магнітна стрілка досить довга, то в посиленні сигналів немає необхідності. А ось механічні вібрації, особливо під час руху, викликають значні коливання, "рискання" стрілки, що утрудняє відлік напрямку. Для того, щоб зменшити "рискання", внутрішню порожнину компаса заповнюють рідиною з оптимально підбраною в'язкістю, яка, з одного боку, ефективно гасить швидкі хаотичні рискання стрілки, а з іншою, - не викликає значного запізнювання повороту стрілки при зміні напрямку руху. Ця рідина і виконує в компасі роль селектора корисних сигналів або, якщо хочете, частотного фільтру, що "відрізує" коливання з частотами вище приблизно 1 Гц.

У звичних медичних ртутних термометрах - сенсорах температури тіла - роль чутливого елемента грає невелика крапля ртуті, залита всередину скляної колби. Будучи приведена в тепловий контакт з нашим тілом, вона нагрівається до його температури. Чим вище температура тіла, тим більше теплове розширення ртуті. Роль підсилювача сигналу грає приєднаний до колби скляний капіляр, в якому невеликі зміни об'єму краплі ртуті трансформуються в помітне подовження ртутного стовпчика. Останній разом з приставленою до капіляра температурною шкалою і виконують роль сигналізатора.

У простому електрокардіографі - сенсорі змін електричних потенціалів в різних точках на поверхні грудної клітки - чутливими елементами є електроди з присосками, змочені електролітом для забезпечення електричного контакту з тілом. Оскільки первинні сигнали від них - невеликі електричні потенціали - дуже слабкі, то обов'язково використовують електронні підсилювачі. Як правило, щоб заглушити електромагнітні завади, застосовують також електричний фільтр частот вище приблизно 10 Гц. Роль сигналізатора виконує те або інший пристрій для візуалізації електрокардіограми.

Тільки разом, тільки в сукупності і у взаємодії чутливий елемент і сигналізатор можуть служити сенсором. Вони є обов'язковими, невід'ємними функціональними вузлами сенсора. З розвитком техніки і зростанням вимог з боку прикладних областей (промисловості, наукових досліджень, медицини, технології) в сенсорах також почали виконувати спочатку просту, а з часом усе більш складну обробку інформації. Функціональна схема такого сенсора приведена нижче на рис. 6.2.

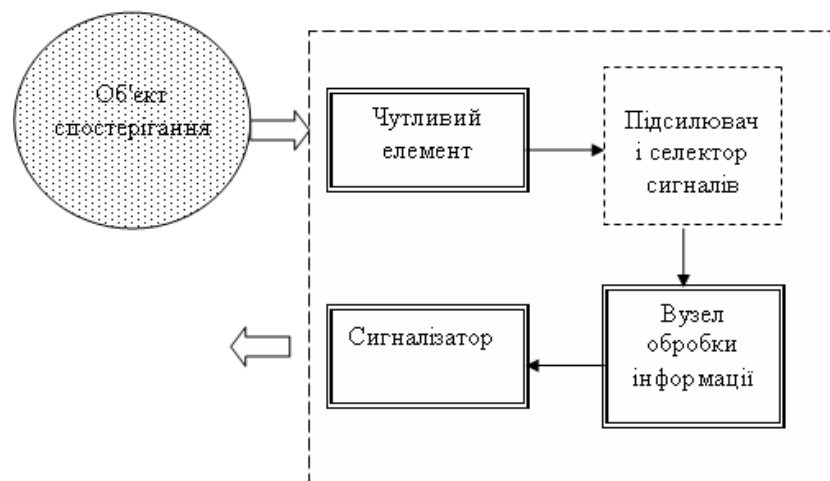


Рисунок 6.2 – Структура простого сенсора з обробкою інформації

Коли фахівцям з фізіології рослин стало необхідно визначати загальну кількість світла, що отримується рослинами за світловий день, був створений відповідний сенсор, в якому чутливим елементом є фотоприймач.

Під впливом зовнішнього освітлення він генерує фотострум, пропорційний світловому потоку, що падає.

Фотострум після посилення поступає в конденсатор, який і грає роль вузла обробки інформації, в даному випадку - роль інтегратора. Накопичений в нім за світловий день електричний заряд якраз і пропорційний кількості світла, отриманій рослинами ("світлосумі").

У психрометрі - сенсорі температури і відносної вологості повітря - роль вузла простої обробки інформації грає вбудована в нього психрометрична таблиця. У ній користувач, визначивши свідчення "сухого" і "вологого" термометрів, може знайти відповідне значення відносної вологості.

У деяких психрометрах є також таблиця залежності тиску або щільності насиченої водяної пари від температури. Тоді користувач дістає можливість, визначити не лише відносну, але і абсолютну вологість повітря.

На прикладі психрометра ми бачимо, що у сенсора можуть бути декілька чутливих елементів. В даному випадку в наявності 3 чутливі елементи: 2 колби з ртуттю, спиртом або іншою рідиною, що збільшує свій об'єм з підвищенням температури, і волога тканина, якою обмотана колба "вологого" термометра. Вона якраз і є чутливим елементом, що "відчуває" зміни вологості повітря.

У древньому пісочному годиннику - сенсорі часу - ніякої обробки інформації не було. А ось в механічному годиннику з'явилися зубчасті передачі, які і є в цьому сенсорі часу вузлом обробки інформації. Вони перераховують періоди коливань маятника в задані інтервали часу - хвилини і годинник.

На прикладі стрілочного механічного годинника ми бачимо, що сенсор може мати і декілька сигналізаторів. В даному випадку є 2 обов'язкові сигналізатори - хвилинна і годинна стрілки з циферблатом, і може бути навіть 3-ою - секундна стрілка.

Активні та пасивні сенсори

Досі розглядалися приклади простих сенсорів, які тільки реагують на вплив з боку об'єкту спостереження. Такі сенсори називають "пасивними".

На відміну від них "активні" сенсори самі якимсь спеціальним чином впливають на об'єкт спостереження (предмет або процес) і сприймають викликані цим зміни.

Одним з прикладів може бути тонометр - сенсор артеріального тиску крові. Вузлом дії на об'єкт є в ньому манжета, яка накладається на плече або на передпліччя пацієнта і створює усебічний тиск на біотканину і кровоносні судини.

За датчиком дії є надувна гумова "груша" або мініатюрний компресор. Чутливим елементом і одночасно підсилювачем сигналів служить стетоскоп, який приставляють до артерії, розташованої по напрямку потоку крові за манжетою.

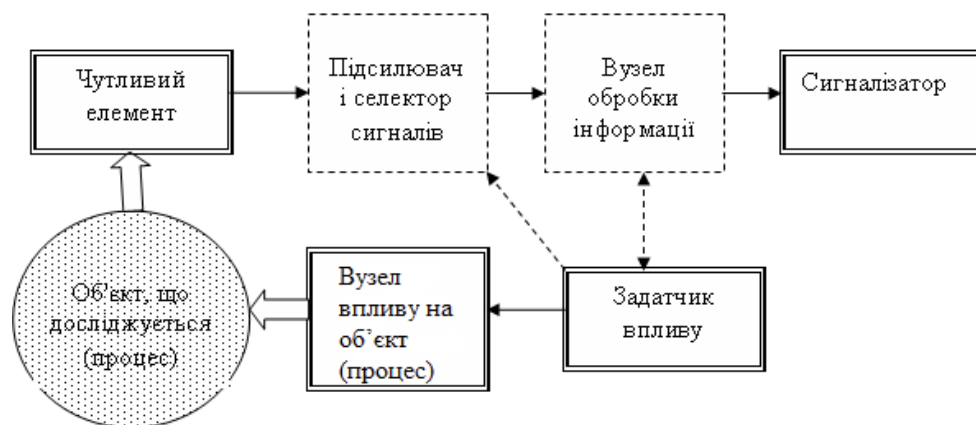


Рисунок 6.3 – Функціональна схема активних сенсорів

Поступово підбурюючи повітря і зменшуючи тим самим зовнішній тиск на артерії, лікар повинен уловити той момент, коли пульсація крові поновлюється. У цей момент тиск повітря в манжеті і її тиск ззовні на артерії приблизно дорівнюють систолічному артеріальному тиску крові усередині артерій.

При подальшому зниженні тиску в манжеті пульсові хвилі спочатку посилюються, а потім починають слабшати.

Коли тиск в манжеті порівнюється з артеріальним тиском діастоли і опускається нижче, то пульсові удари значно ослабляються.

Сигналізатором в цьому сенсорі є сполучений з манжетою манометр, на якому лікар прочитає значення систолічного (у момент відновлення пульсацій крові) і діастоли тиску (у момент значного послаблення пульсацій).

Вузла обробки інформації в простих тонометрах немає. Цю обробку виконує людина - лікар.

У тонометрі одночасно є присутніми і використовуються 2 чутливі елементи - мембрана, що приставляється до артерії, стетоскопа и манометр, що реагує на зміни тиску в манжеті. Одночасно використовуються і 2 сигналізатори - слухові виходи стетоскопа, які лікар вставляє у вуха, щоб прослуховувати биття пульсу, і стрільця манометра з відповідною шкалою.

Інший приклад "активного" сенсора наведемо знову з області фізіології рослин. Там свого часу з'явилася необхідність визначати об'ємний потік рідини крізь стебло або по гілках рослини і зміни цього потоку з часом. Вирішено це завдання була так. На стебло (гілку) в одному з місць встановлюють тонкий нагрівач, наприклад, вольфрамовий дріт, крізь який пропускається електричний струм. Нагріваючи гілку в місці свого розташування, нагрівач разом з нею нагріває і рідину, поточну по гілці, до фізіологічно допустимої температури, наприклад, до 39-40 С.

Нагрівач і є в даному випадку вузлом дії на об'єкт. Задатчиком дії служить регульоване джерело струму через нагрівач. Далі по ходу руху рідини уздовж стебла на відстані близько сантиметра встановлюють другий термочутливий елемент (термістор, термопару).

Сигнал від нього посилюють, фільтрують по частоті і подають в електронний вузол обробки інформації. Там визначається різниця температур гілки в місцях нагрівання і контролю.

Чим сильніше потік рідини, тим більше тепла переносить з собою рідина, і тим менше різниці температур.

Таким чином, по зміні різниці температур визначають зміни об'ємного потоку рідини усередині стебла (гілки).

Сенсорно-комп'ютерні системи

З появою в другій половині минулого століття електронних обчислювальних машин з'явилася і можливість виконувати досить складну обробку первинної інформації, що отримується від сенсора.

У зв'язку з цим інженери і учені почали створювати "розумні" сенсорно-комп'ютерні системи.

Сенсори тут грають роль зовнішніх "органів чуття" комп'ютера, поставляючи йому первинну інформацію.

Складну її обробку, підготовку до видачі отриманих результатів в найбільш зручній для користувача формі, її документування, систематизацію, упаковку і тривале зберігання виконує комп'ютер.

З появою в другій половині минулого століття електронних обчислювальних машин з'явилася і можливість виконувати досить складну обробку первинної інформації, що отримується від сенсора.

У зв'язку з цим інженери і учені почали створювати "розумні" сенсорно-комп'ютерні системи.

Сенсори тут грають роль зовнішніх "органів чуття" комп'ютера, поставляючи йому первинну інформацію.

Складну її обробку, підготовку до видачі отриманих результатів в найбільш зручній для користувача формі, її документування, систематизацію, упаковку і тривале зберігання виконує комп'ютер.

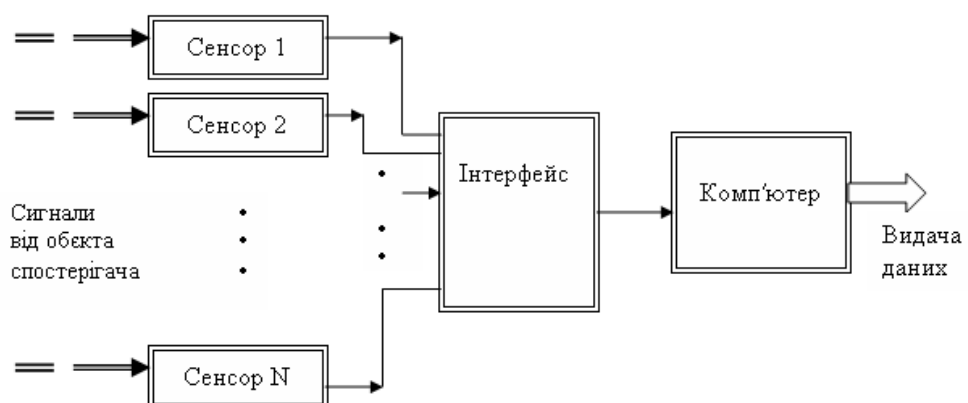


Рисунок 6.4 – Структура "пасивної" сенсорно-комп'ютерної системи

Наприклад, сучасні комп'ютеризовані електрокардіографи і електроенцефалографи.

У них від багатьох, встановлених в певних позиціях, електродів збираються, посилюються і обробляються слабкі змінні електричні сигнали, обумовлені роботою відповідно серця або головного мозку. А комп'ютер аналізує їх і видає в найбільш зручній формі лікарям.

У комп'ютерних електрокардіографах, наприклад, не лише обчислюються інтервали часу між "зубцями" кардіограми, що відповідають скороченням м'язів серця, і діапазон їх варіювання, середня частота пульсу і інші кількісні показники.

Шляхом зіставлення електрокардіограм, отриманих від різних точок грудної клітки, встановлюється орієнтація електричної осі серця, фіксуються екстрасистоли і інші порушення координації скорочень різних м'язів серця.

У комп'ютеризованій системі магнітокардіографії чутливими елементами є певним чином розташовані в просторі надпровідні квантові інтерферометри, які здатні з високою частотою і точністю сприймати мінімальні зміни магнітного потоку, пов'язані з роботою серця.

Окрім квантових інтерферометрів, використовують також до десятка чутливих електродів, які дозволяють паралельно знімати також електрокардіограму.

Інтерфейс складається з електронних схем посилення і попередньої аналогової обробки сигналів і з аналого-цифрових перетворювачів.

З виходу останніх інформація поступає в комп'ютер, який обробляє отримані дані відповідно до досить складних алгоритмів, видає результати аналізу на екран монітора у вигляді зрозумілих лікареві умовних зображень, цифрових і текстових даних і пропонує деякі діагностичні висновки.

Ще одним прикладом є пасивні комп'ютерні системи охорони і відеоспостереження. Чутливими елементами в них служать відеокамери і датчики наближення, присутності, зміни обстановки.

Сигнали від датчиків і отримані зображення передаються в комп'ютер, де вони маркуються вказівкою місця виявлення і поточного часу.

Далі вони обробляються, зіставляються між собою і із стандартними сигналами, зафіксованими в пам'яті. У разі виявлення тривожних змін комп'ютер фіксує їх у своїй довготривалій пам'яті і виробляє сигнали привертання уваги службовців, а на монітори виводиться поліекранна інформація.

Тут до складу системи входять також засоби дії на досліджуваній об'єкт або процес. Цими засобами управляє комп'ютер, який може автоматично змінювати динаміку, інтенсивність і склад дій залежно від тих, що поступають від сенсорів даних.

Одним з прикладів такої системи є комп'ютерні томографи.

Об'єктом дослідження для них є головний мозок або інша частина людського тіла. Як вузли дії використовуються точкові джерела рентгенівського випромінювання, місце розташування яких можна міняти відносно досліджуваній частині тіла.

В якості сенсорів використовують детектори рентгенівського випромінювання, розташовані в одній площині у різних напрямках і під різними кутами.

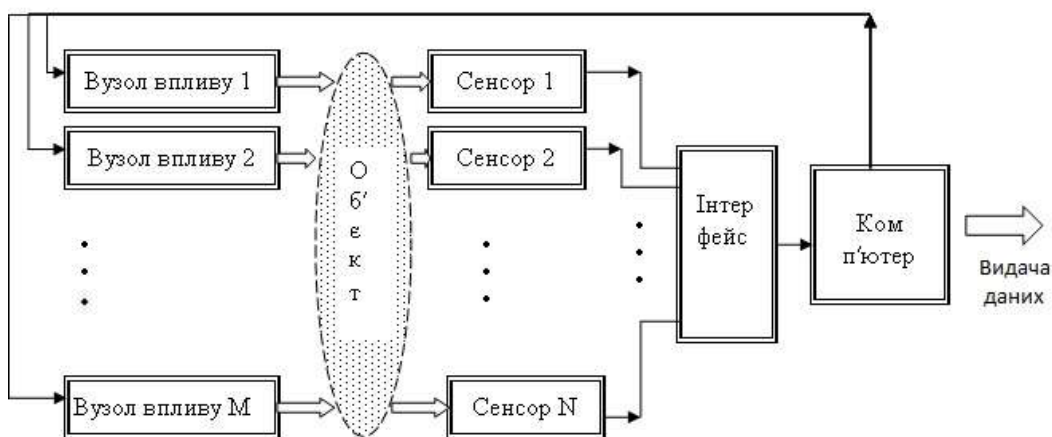


Рисунок 6.5 – Структура "активних" сенсорно-комп'ютерних систем

У сучасних томографах, які стали могутнім засобом діагностики захворювань, застосовують вже сотні таких детекторів одночасно. Високопродуктивний комп'ютер на основі великого масиву даних, отриманих багатьма детекторами під різними кутами, виконує складні обчислення, визначаючи за цими даними розподіл щільності живих тканин у відповідному перерізі тіла. Отримані зображення і вчислені показники видаються лікарям. За допомогою комп'ютера лікар, який проводить дослідження, залежно від мети може змінювати режими роботи, переміщати вузли дії і масиви сенсорів відносно людського тіла, отримуючи зображення його внутрішньої структури також і в інших перерізах, і так далі. Таким чином ("переріз за перерізом") може бути отримана 3-мірна картина внутрішньої будови досліджуваного органу. Одним із засобів дії може бути також введення в організм людини контрастних речовин, що істотно підвищують контрастність зображень і дозволяють досліджувати також і динаміку фізіологічних процесів.

У магніторезонансній томографії засобами дії на досліджуваний орган людини є постійне однорідне магнітне поле, послідовності радіочастотних електромагнітних імпульсів і додаткові слабкі градієнтні магнітні поля. Магнітні моменти атомних ядер з некомпенсованим напівцілим спіном (^1H , ^{13}C , ^{13}Na , ^{13}P , ...) орієнтуються уздовж постійного магнітного поля. А високочастотне електромагнітне поле збуджує їх прецесію навколо відповідного напрямку. При виключенні електромагнітного поля прецесія ще деякий час триває. Збуджені ядра випромінюють при цьому електромагнітні сигнали характерної частоти.

Це називають "спіною луною". Сенсорами є чутливі радіоприймачі, налаштовані на частоту ядерного магнітного резонансу, а селекторами - синхронні детектори відповідних імпульсних послідовностей. Амплітуда прийнятих сигналів пропорційна концентрації відповідних ядер в живих тканинах тіла.

Управління випромінюванням електромагнітних імпульсів і накладенням слабого градієнтного магнітного поля, а також математичну обробку сукупності отримуваних сигналів виконує комп'ютер. На відміну від рентгівської

комп'ютерної томографії магніторезонансне дослідження не супроводжується шкідливим опроміненням організму, яке у великих дозах може бути небезпечним.

Застосування комп'ютерів надало користувачам не лише можливість отримувати значно збільшені об'єми набагато краще обробленої і достовірнішої інформації про досліджувані об'єкти. Воно підняло сенсорику на принципово більш високий рівень - на рівень діагностики. Старогрецьке слово "diagnostikos" означає "здатний розпізнати".

За відсутності комп'ютера інтерпретацію отримуваних від сенсорів даних, виведення з них здатні були виконувати тільки фахівці.

Фізики на основі отримуваних даних робили висновки про внутрішню структуру, функціонування, поточний стан і властивості досліджуваних фізичних об'єктів, інженери - про стан відповідних машин, технічних систем, про хід технологічних процесів.

Лікарі визначали стан внутрішніх органів людини, причини, суть захворювань, оцінювали хід лікування. У сенсорно-комп'ютерних системах значну частину складної розумової роботи, накопичення баз даних, цінного досвіду, необхідних для високоякісної діагностики, вдалося вже перекласти на комп'ютер.