

Netwerken van meetstations voor waterkwaliteit: Het monEAU systeem

Peter A. Vanrolleghem en Leiv Rieger

modelEAU, Département de génie civil, Pavillon Pouliot,
Université Laval, Québec G1K 7P4, QC, Canada

e-mail: Peter.Vanrolleghem@modelEAU.org

Trefwoorden: afstandscontrole, foutdetectie, foutdiagnose, online sensoren, proactief onderhoud

Het ononderbroken toezicht op waterkwaliteit leidt tot reusachtige hoeveelheden gegevens en vereist daarom nieuwe concepten om een hoge gegevenskwaliteit te blijven waarborgen en het ontstaan van datakerkhoven te verhinderen. In de praktijk algemeen terug te vinden meetstations lijden vandaag aan ontoereikende flexibiliteit en een gebrek aan standaardisatie. Hoewel heel wat controletaken vergelijkbaar zijn, vinden we geen robuuste en krachtige platforms terug en zijn de meeste meetstations terug te leiden tot heel specifieke ontwikkelingen.

In deze bijdrage worden de onderliggende concepten van een nieuwe generatie meetstations beschreven. Eerst wordt een grondige probleemanalyse van de meetstations die tegenwoordig ingezet worden in rivieren, geschetst. Daarna wordt de monEAU (Fr: 'mijn water') visie van meetstations en –netwerken besproken, samen met een presentatie van een mogelijke systeemopstelling rond dit innovatieve concept waarin gegevensvaluatie een belangrijke rol speelt, met het oog op het bekomen van betrouwbare en dus nuttige data.

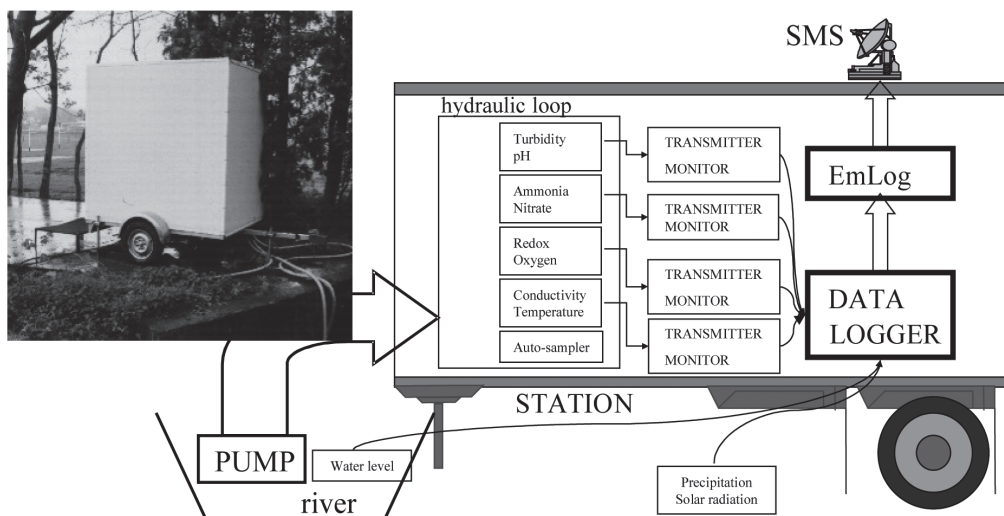
Met het stijgende gebruik van online sensoren voor de meting van waterkwaliteit kan een verschuiving worden vastgesteld van een gebrek aan gegevens (wegens de tijdrovende monsternamen en laboratoriumanalyse) naar een overvloed of zelfs een teveel aan gegevens. Terwijl de nauwkeurigheid van de laboratoriummetingen normaal volstaat, zijn de dringend nodige concepten voor het evalueren van de gegevenskwaliteit voor continue metingen niet beschikbaar of nog onvoldoende efficiënt voor dagdagelijkse inzet.

Verscheidene statistische data-evaluatiemethodes zijn echter ontwikkeld voor andere toepassingen, maar slechts onlangs heeft onderzoek hun toepasbaarheid bewezen in de water/afvalwatersector met zijn speciale eisen voor sensoren op het vlak van duurzaamheid en nauwkeurigheid (bv. Rosen et al., 2003; Lee & Vanrolleghem, 2003). Jammer genoeg werden totnogtoe slechts weinig van deze methodes geïmplementeerd in softwareplatforms voor praktisch gebruik en velen hebben hun potentieel nog niet kunnen bewijzen om meetfouten of andere apparatuurproblemen te ontdekken.

Het doel van de hier besproken studie is daarom deze methodes vanuit een academische omgeving naar de praktijk te transfereren. Deze transfer moet op een zo gebruiksvriendelijk mogelijke manier worden gedaan, maar tezelfdertijd dienen de methodes rigoreus te blijven in het ontdekken van potentiële gebreken, het kwantificeren van onzekerheden en tenslotte het definitief oplossen van de gedetecteerde problemen of het omgaan met de verkeerde of onzekere metingen.

Geïnitieerd door de missiegebaseerde wetgeving, (bv. de Kaderrichtlijn Water in de EU of de TMDL-benadering in de meetnetwerken van de V.S.) kan verwacht worden dat netwerken van meetstations essentiële hulpmiddelen zullen zijn om de aanwezigheid van verontreinigende stoffen te controleren, de aan de gang zijnde processen (beter) te begrijpen en, tot slot, de waterkwaliteit van onze waterlopen te verbeteren.

Terwijl alleenstaande meetstations op dit moment nog steeds de dienst uitmaken, concentreert het aan de gang zijnde onderzoek zich op de ontwik-



Figuur 1: Typisch automatisch meetstation (van Griensven et al., 2000).

keling van netwerken van meetstations die de informatie bekomen vanop verschillende plaatsen combineert in kennis over het gehele rivierbekken (Strobl et al., 2006). De ontwikkeling van netwerken van meetstations leidt echter tot nieuwe eisen op het vlak van tweerichtingsgegevensuitwisseling, (bv. diverse telemetrie-opties), beveiliging van de gegevens en toegankelijkheid van de meetstations.

In deze bijdrage beschrijven wij onze visie op de volgende generatie van netwerken van meetstations voor waterkwaliteit. Deze monEAU visie ('monitoring' van water, 'eau' in het Frans) wordt in een aan de gang zijnde project gerealiseerd dat onderzoeksteams, openbare organisaties en privé bedrijven van Noord-Amerika en Europa bijeenbrengt. Naast nadruk op de nieuwe methodes voor gegevensevaluatie, zal dit concept van netwerken van meetstations state-of-the-art technieken combineren met de hoogste mogelijke flexibiliteit in termen van aansluitbare sensoren, mogelijke meetlocaties en te meten variabelen.

PROBLEEMANALYSE

Hoewel meetstations en, recenter ook, netwerken van meetstations meer en meer zijn gebouwd in parallel met de ontwikkeling van continue meetinstrumenten (in situ: direct in de vloeistof: online: in een parallelle monsternamelij), lijden deze

meetstations bijna altijd aan de zelfde problemen. Om te beginnen met onze eigen ervaring in de loop van de afgelopen tien jaar, toont Figuur 1 een opstelling van een automatisch meetstation dat kan beschouwd worden als een typisch voorbeeld van vandaag gebruikte meetstations in rivieren. Een pomp voert de gehele opstelling met inbegrip van een filtratie-eenheid, in situ sensoren en een automatisch monsternamename-apparaat. Via een versterker met enkele visualisatiemogelijkheden worden de gegevens verzameld in een data-logger waarna ze aan een server worden doorgestuurd via SMS- tekstberichten.

Van Griensven et al. (2000) rapporteren onder meer dat de eerste betrouwbare datareeks slechts na één jaar beschikbaar kwam en schreven dit toe aan problemen met het vervuilen van de apparatuur (filter, buizen en membranen), pomp-problemen, de onjuiste plaatsing van de temperatuursensor, ontoereikende automatische reiniging. Niet alle problemen konden ooit worden verholpen en het aanklitten van slib en klei belemmerde de geplande werking van het meetstation ondanks het feit dat wekelijks onderhoud werd verricht door twee teamleden. Samengevat, van Griensven et al. (2000) verklaarden dat 'het kopen van een geautomatiseerd meetstation lijkt op het kopen van een nieuw huis: men zou er eerst een moeten gekocht hebben om de noodzakelijke ervaring op te doen om er dan effectief één te kopen'.

Een vergelijking met andere projecten leert dat de meeste automatische meetstations gelijkaardige problemen ondergingen (bv. Beck et al., 1998; Vandenberghe et al., 2005). Jammer genoeg komt veel van de informatie rond dergelijke problemen slechts beschikbaar via persoonlijke mededeling of moet het van "tussen de lijnen" van publicaties worden afgeleid. Vaak beperken drie belangrijke redenen het gebruik van dergelijke meetstations: i) het gebrek aan standaardisatie, ii) problemen rond de gegevenskwaliteit, die tot de eerder genoemde datakerkhoven leiden waarin de gewenste informatie verborgen blijft, iii) ontoereikende flexibiliteit van de geëvalueerde stations die leidt tot problemen wanneer nieuwe of betere sensoren zouden moeten worden aangesloten of wanneer de richting van het project verandert.

Terwijl het gebrek aan standaardisatie toe te schrijven zou kunnen zijn aan het feit dat het meten van waterkwaliteit nog vaak wordt gezien als een individuele uitdaging zonder behoefte aan een algemeen meetplatform, kan het probleem van de gegevenskwaliteit betrekking hebben op een gebrek aan adequate technieken voor foutenopsporing. Het gebrek aan flexibiliteit wordt vaak veroorzaakt door de typische ontwerpprocedure die begint met één of een paar zeer speciale doelstellingen, waaruit dan individuele ontwerpspecificaties worden afgeleid, waarna het zeer moeilijk wordt om mogelijk gewenste veranderingen in de doelstellingen, de sensorkeuze enz. te overwegen. Harmancioglu en Alpaslan (1994) presenteren een gestructureerde ontwerpprocedure die tot specifieke oplossingen leidt. Deze specifieke oplossingen waren waarschijnlijk noodzakelijk in het verleden, maar met de huidige stand van zaken zou er moeten gestreefd worden naar gestandaardiseerde platforms die gebaseerd zijn op de ervaring opgedaan met intussen honderden individuele meetstations. In onze overzichtsstudie leiden wij volgende typische redenen voor het ontoereikende ontwerp van meetstations af:

- beperkt budget (en nadruk op sensoren eerder dan op het meetstation zelf);
- gebrek aan kennis (datatransfer, databanken, automatisering...);
- ruwe werkingsomstandigheden (Waterzuivering;

vet, verstopping, elektrische interferenties; Rivieren: veranderende waterhoogte, overstroming, hitte/koude, vandalisme...);

- ongeschikte hardware (bv. pompen, filtratie-eenheden, datatransfer, bescherming tegen condensatie...);
- het niet-flexibel ontwerp met betrekking tot de selectie van sensoren (geen verandering mogelijk voor inbrengen van betere sensoren of andere meetdoelstellingen);
- eenzijdige nadruk op speciale meetdoelstellingen;
- gesloten/beschermde broncode en bijgevolg beperkte vrijheid om het systeem aan te passen aan wijzigende projectbehoeften (afwezigheid van modulariteit).

In situ sensoren zijn beduidend verbeterd tijdens de afgelopen vijf à tien jaar en vormen nu een echt alternatief voor automatische meting van de waterkwaliteit door hun combinatie van beperkt onderhoud met voldoende nauwkeurigheid (Vanrolleghem en Lee, 2003; Jeppsson et al., 2001). Het ontbreekt echter nog aan gestandaardiseerde protocollen voor datatransmissie die volledige toegang tot de sensorconfiguratie en meta-data verlenen. De toegang tot configuratiegegevens zou extra informatie geven aan de eindgebruiker over de sensor en hem/haar ook verstrekkende controle op die configuratie toelaten vanop afstand.

De meta-data (gegevens over gegevens) vereenvoudigt bovendien de extractie van bruikbare informatie uit een meetsignaal. Bijvoorbeeld, zonder de eenheid, de plaats waar gemeten wordt en een beschrijving van de gemeten variabele, verstrekt het signaal slechts een gegevenswaarde zonder enige context voor de eindgebruiker. Bovendien verstrekken sommige sensoren al zelfdiagnose of andere statusinformatie, die dus kan ingezet worden voor de evaluatie van de gegevenskwaliteit.

Noteer dat gelijkaardige moeilijkheden worden ervaren door SCADA-systeemleveranciers die geïnteresseerd zijn in de evaluatie van de gegevenskwaliteit maar hetzelfde gebrek aan informatie over de aangekoppelde sensoren vaststellen. Jammer genoeg staan de meeste sensorbedrijven geen volledige tweerichtingscommunicatie met

hun sensoren toe of zien zij hun controle-eenheid als laatste punt in de meetketen.

DE monEAU VISIE

Voor de ontwikkeling van nieuwe producten is een duidelijke visie noodzakelijk. De belangrijkste ontwerpelementen die voor de automatische meetstations van belang zijn, zijn volgens ons:

Een Flexibel Systeem:

Het doel is hier een systeem te creëren dat kan worden gebruikt:

- voor verschillende meet- en onderzoeksdoelstellingen.
- in verschillende locaties (bv. rivier, waterzuivering, riool of, waarom niet, gebruik voor verzameling van meteogegevens).
- met allerlei sensoren en bemonsteringsmethodes (on- en off-line, in situ)
- met alle standaard communicatieprotocollen voor sensoren (indien mogelijk, gebruik van tweerichtingscommunicatie).

Meer specifiek is het idee een meetstation te creëren dat voor meerdere doelstellingen ongeacht de plaats kan worden gebruikt (d.w.z. het zou gemakkelijk te transporteren moeten zijn en geschikt voor opstelling in een aanhangwagen of cabine voor gebruik in steden (vandalisme) of in WZIs). Op dezelfde manier zou het meetstation een automatische of minstens door een grafisch gebruikersinterface ondersteunde configuratieprocedure moeten omvatten.

Een Open en Modulair Systeem:

Om tot een modulair ontwerp te komen, wordt een robuust softwarekader met basisfunctionaliteit gecreëerd. De toevoeging van functionaliteit wordt verwezenlijkt met insteekmodules. Op deze wijze is het mogelijk om het systeem aan te passen aan speciale eisen en speciale eigenschappen gemakkelijk toe te voegen (bv. nieuwe technieken voor gegevensevaluatie, methoden voor gegevensvisualisatie) en tezelfdertijd om de integriteit van het softwarekader zelf te waarborgen. De modules kunnen in standaard softwaretalen worden geschreven en het zou voor eindgebruikers haalbaar moeten zijn de functionaliteit van het meetstation gemakkelijk uit te breiden.

Een Databank met Hoogstaande Prestaties:

Kritiek aan het meetstation is het databanksysteem dat instaat voor het opslaan van de grote datareeksen. De databankstructuur moet voldoende snelle toegang verlenen maar tevens voldoende flexibel zijn voor om het even welke taak toegewezen aan het meetstation en ook voor verdere ontwikkelingen van de functionaliteit van het station.

Gebruik op Afstand:

Meetstations kunnen niet altijd op geschikte plaatsen worden opgesteld en dus moet het ontwerp hier rekening mee houden:

- minder zware onderhoudseisen (bezoek aan de meetplaats maximaal tweemaal per maand).
- minimalisering van de energiebehoefte in combinatie met verschillende mogelijkheden voor energievoorziening (bv. zonne-energie).
- diverse telemetrie-opties (bv. telefoon of satelliet).
- toegang op afstand tot de sensoren (bv. voor diagnose, configuratie, kalibratie).
- toegang op afstand tot de werking van de meetstations (bv. backwash van filtratie-eenheden of reiniging van het materiaal).

Automatische Evaluatie van de Datakwaliteit:

De kwaliteitsbeoordeling van gegevens is essentieel maar zal worden gebaseerd op verschillende informatiebronnen die gegevens met redundantie in de tijd, ruimte en gemeten variabelen verstrekt:

- referentiemonsters (om te vergelijken met de sensordata).
- de sensorstatus/diagnosegegevens (bv. autokalibratiefactoren of zelfdiagnose)
- tijdreeksinformatie (voor gebruik in univariate en multivariate statistische analyse).

Gebruikersvriendelijk en Gebruikersgeoriënteerd Softwareconcept

Een gebruikersgebaseerd concept zou moeten waarborgen dat steeds de gewenste informatie wordt verstrekt en gevisualiseerd afhankelijk van het gebruikersniveau en de plaats van interactie. Bijvoorbeeld, de operator heeft bij het basisstation nood aan informatiecriteria voor onderhoud en herkalibratie, terwijl de expert die werkzaam is bij de centrale controle-eenheid van het meetnetwerk volledig toegang wil hebben tot de informatie van alle verbonden meetstations, wat hem dan toelaat

om, bijvoorbeeld, een kalibratie op afstand uit te voeren, veranderingen in werkinginstellingen door te voeren of zelfs over de verplaatsing van een basisstation te beslissen.

Proactief en Flexibel Onderhoud:

Gebaseerd op de beschikbare informatie, wordt het vereiste onderhoud bepaald en wordt een programma voor de operatoren verstrekt. Dit concept is gebaseerd op drie informatiebronnen met inbegrip van:

- sensorzelfdiagnose
- bedrijfs- of gebruikerservaring
- een proactieve set experimenten die door het meetstation zelf worden geïnitieerd (bv. evaluatie van verschillende reiningscycli).

HET monEAU SYSTEMEEM

Software

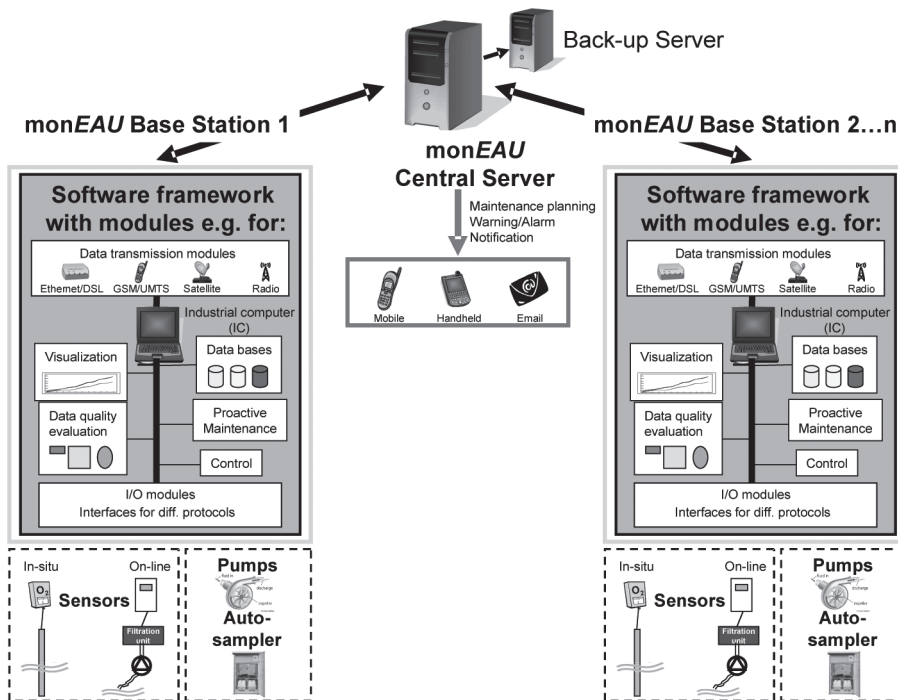
Het hart van het monEAU-systeem is een robuust softwarekader dat als ruggengraat van de meetstations en het errond opgebouwde netwerk fungeert en die een eenvoudige verbinding van diverse

modules toestaat door een gespecificeerde API (Application Programming Interface). Sommige modules zullen basisfunctionaliteit zoals gegevensinput of -output verstrekken maar de belangrijkste reden voor dit softwarekader is de capaciteit om nieuwe ontwikkelingen te integreren of modules geleverd door externe partijen op te nemen. Op deze wijze wordt de robuuste werking (het kader staat immers niet open voor wijzigingen door de eindgebruikers) gecombineerd met de vereiste flexibiliteit. Figuur 2 toont het monEAU concept.

Data transfer protocollen

Sensor ↔ basisstation:

Hoewel verscheidene communicatieprotocollen van belang zijn in meetsystemen voor waterkwaliteit (Profibus, HART, 4-20mA, USB...), is het gebruik van busprotocollen toch aangeraden teneinde alle beschikbare informatie die uit de sensor zelf komt ter beschikking te hebben (bv. sensor zelfdiagnose of andere metadata). Nochtans worden er ook 4-20 mA verbindingen voorzien waarop steeds kan teruggevallen worden.



Figuur 2: Opstelling van het netwerk van monEAU-metstations

Basisstation ↔ centrale server:

Verschillende telemetriemodules zullen beschikbaar zijn om de basisstations aan de centrale server te koppelen, zoals:

- telefoonlijnen, xDSL, televisiekabel
- GSM/UMTS (bv. SMS-tekstberichten als veilige en goedkope datatransmissiemethode)
- specifieke radioverbinding
- satellietverbinding

Databankstructuur en -beveiliging:

Om de leesbaarheid van de gegevens te waarborgen door verschillende softwareprogramma's en ook gegevensgebruik in de toekomst mogelijk te maken, is het IEEE 754 floating point standaardformaat gekozen voor intern gebruik. Verschillende uitvoerfuncties zullen gemakkelijke uitwisseling van gegevens met andere softwareplatforms toestaan.

Om gegevensbeveiliging te waarborgen, zijn verschillende veiligheidsmaatregelen geïntegreerd in de basisstations en de centrale server. Deze maatregelen omvatten RAID (redundant array of independent disks) en voldoende harde schijfruimte bij de basisstations om perioden met communicatieproblemen te overbruggen of meetgegevens op te slaan. Bij de centrale server, wordt een RAID niveau 5 voorzien.

Naast de ruwe gegevens, worden ook verwerkte (beoordeling van de datakwaliteit), gecondenseerde (gemiddelden) en/of afgeleide gegevens (bv. de slibbelasting, de slibverblijftijd, statistische indices) opgeslagen. De gegevensbeoordeling zal kwaliteitsinformatie aan de databank toevoegen. Voor alle verdere gegevensmanipulaties wordt steeds verwezen naar de ruwe gegevens die onaangeroerd blijven, zodat ze beschikbaar blijven voor andere verwerking indien de behoefte zich voordoet.

Beoordeling van de Datakwaliteit

Een belangrijk probleem wanneer een databeoordelingsconcept wordt ontwikkeld is dat het zoveel mogelijk informatie zou moeten gebruiken en tegelijkertijd nog flexibel is voor gebruik onder verschillende omstandigheden. Dergelijke problemen doen zich voor wanneer proces- of expertkennis, specifiek voor slechts één toepassing, geïntegreerd wordt. Het monEAU-systeem omvat een algemeen

concept maar omvat ook de mogelijkheid van verdere integratie van kennisgebaseerde benaderingen. Drie beoordelingsniveaus zullen worden geïntegreerd en door de gebruiker te kiezen:

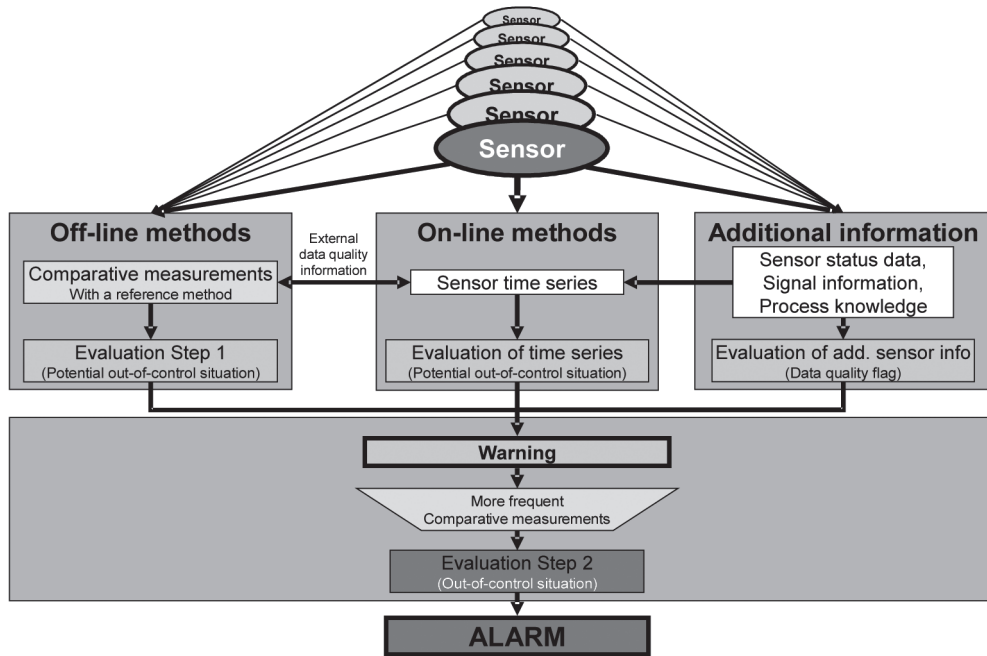
- niveau 1: basis datakwaliteitsbeoordeling die slechts gebruik maakt van univariate methodes (slechts één meetsignaal wordt gebruikt voor de evaluatie);
- niveau 2: multivariate analyse van tijdreeksen, maar zonder gebruik van expert- of proceskennis;
- niveau 3: geavanceerde datakwaliteitsbeoordeling met inbegrip van expert- en proceskennis (data-mining en controleacties zijn voorzien op dit beoordelingsniveau).

Ad. niveau 1:

Het basisconcept gebruikt drie onafhankelijke informatiebronnen (Figuur 3): i) vergelijkende metingen bekomen door off-line analyse van referentiemonsters die op dezelfde plaats werden genomen waarbij de sensordynamica wordt meegenomen zodat een juiste tijdscorrectie voor de vergelijking van de metingen kan gemaakt worden, ii) de informatie van de tijdreeks, iii) sensorstatus- of zelfdiagnosegegevens samen met proceskennis en informatie van het elektrisch signaal zelf (bv. frequentie, binnen/buiten de grenzen, enz.), ten einde extra informatie m.b.t. de datakwaliteit te bekomen.

In normale omstandigheden (i.e. er is geen waarschuwing verstuurd) zou om de twee weken een referentiemonster genomen moeten worden (afhankelijk van de variabiliteit van het meetstation). Deze frequentie is enkel voldoende indien tegelijkertijd on-line databeoordeling wordt doorgevoerd binnen het monEAU-systeem.

Voor off-line aanpakken die tegenwoordig algemeen worden toegepast (bv. ATV 2000; Thomann et al., 2002), wordt gesuggereerd dat één keer per week een referentiemonster wordt genomen en geanalyseerd. Elk afzonderlijk blok van het monEAU databeoordelingsconcept (Figuur 3) kan tot een waarschuwing leiden, waardoor frequentere referentieanalyses zullen nodig zijn. Een alarm wordt echter slechts gegeven indien de waarschuwing met deze bijkomende onafhankelijke



Figuur 3: Univariate/multivariate analyseconcept van de datakwaliteitsbeoordeling

metingen wordt bevestigd. Deze benadering zal meer inspanningen vergen, maar ook de hoge gegevenskwaliteit waarborgen die vereist wordt van het meetstelsel.

Ad. niveau 2:

Op dit niveau van datakwaliteitsbeoordeling zijn vooraf geconfigureerde grafische gebruikersinterfaces voorzien die de eindgebruiker toestaan om de meer geavanceerde, maar ook krachtiger multivariate analyse van de tijdreeks door te voeren. Deze statistische methodes (bv. PCA, ICA, zie Rosen et al., 2003; Yoo et al., 2004) gebruiken in principe verschillende signalen van één meetstation, maar de uitbreiding tot gebruik van gegevens die van andere basisstations komen, is ook voorzien. De training van de multivariate modellen kan volledig geautomatiseerd worden, nadat inleidende kwaliteitscontroles met referentiemonsters zijn uitgevoerd. Op deze wijze wordt immers gewaarborgd dat de reeks trainingsdata van voldoende kwaliteit is. Ook in niveau 2 is het resultaat van de databeoordeling een waarschuwing, die extra vergelijkende metingen zal vragen (zie Figuur 3).

Ad. niveau 3:

Het laatste niveau bestaat uit een geavanceerd databeoordelings- en controleconcept, waarin extra kennis over de specifieke meetlocatie en het meetnetwerk wordt uitgebuit. Deze kennis kan procesinzicht omvatten (bv. biologische processen in WZIs, aanvaarde snelheid van verandering van concentraties), bekende correlaties tussen verschillende metingen en ook informatie bekomen van andere meetplaatsen (bv. door massabalansen te berekenen of eenvoudiger: debiet stroomopwaarts < debiet stroomafwaarts) of redundantie in informatie. Indien voldoende gevalideerde ervaring beschikbaar is, zal de eindgebruiker de mogelijkheid hebben om de beschikbare informatie voor datamining te gebruiken en/of (later) voor procesregeling. Dit zou niet alleen de opsporing van potentiële falingen toelaten, maar ook de identificatie van de oorzaak van de fout. Gebaseerd op deze informatie, zouden maatregelen kunnen worden geïnitieerd om het probleem op te lossen of over te gaan naar een veilige mode van het gecontroleerde systeem (fouttolerante regeling, zie bv. Devisscher et al., 2000; Lardon et al., 2004).

Onderhoud op aanvraag

Om de onderhoudsinspanningen te verminderen is een goede onderhoudsplanning vereist. Naast statische onderhoudsintervallen (bv. vervangingsintervallen van chemische producten of reserve onderdelen), wordt een dynamisch controleconcept geïntegreerd (Thomann et al., 2002, Rieger et al., 2004) (het linkerdeel van Figuur 3).

Een nieuw proactief onderhoudsconcept werd ontworpen, waarin specifieke experimenten worden geïnitieerd om, bijvoorbeeld, het verstoppertje van de sensor vast te stellen (door de resultaten van opeenvolgende reinigingscycli te analyseren) of kalibraties door te voeren waarbij geautomatiseerde standaardtoevoegingen worden uitgevoerd. Het tijdschema voor onderhoud is gelokaliseerd op de centrale server, maar zal toegankelijk zijn vanuit elk meetstation van het netwerk. De onderhoudsacties zullen vooraf worden aangekondigd en door de operator moeten worden bevestigd.

Het doorsturen van waarschuwingen, alarmen en statusinformatie is een belangrijk kenmerk voor de meetstations en in het bijzonder voor stations in afgelegen gebieden. Een goed waarschuwingssysteem laat betere dienstverlening en langere onderhoudsintervallen toe met meer bescherming tegen niet herkende meetstationproblemen. Verschillende transmissietypes (bv. SMS, pager, e-mail) en gebruikersniveaus zullen instelbaar zijn.

Hardware

In de eerste stap van het project werden specificaties ontwikkeld die de hoogste normen nastreven wat betreft duurzaamheid, robuustheid en databeveiliging. Aangezien het monEAU-platform identiek zou moeten zijn voor alle plaatsen waar het wordt ingezet, moet de opstelling aan alle eisen voldoen wat betreft benodigde ruimte, energiebehoefte en omgevingsvoorwaarden onder dewelke het kan ingezet worden. Dit betekent dat de basis-eenheid (een box met computer en I/O modules) steeds dezelfde zal zijn, maar dat de energievoorziening, de datatransmissie en klimaatregeling kan variëren, zodat het meetstation zelf binnen een aanhangwagen kan worden gehuisvest of in een alleenstaande box kan worden geleverd, die direct met in situ sondes wordt verbonden.

Sensoren en Actuatoren:

De sensoren en actuatoren worden niet gezien als onderdeel van het monEAU-systeem. Ons concept bestaat erin dat het meetstation flexibel genoeg moet gebouwd worden zodat allerlei sensoren en communicatieprotocollen kunnen verbonden worden. De basisstations en ook de centrale server worden zo ontworpen dat het aansluiten van een nieuwe sensor een procedure opstart die opslagcapaciteit en een standaardvisualisatie van de meetdata voorziet.

Waar mogelijk, wordt meta-data van de sensor (sensorconfiguratie, afmeting, meetbereik, ...) gebruikt om de vereiste inspanningen voor de installatie van nieuwe sensoren te beperken. Aangezien 'plug-and-play' niet echt haalbaar is (gezien de nog bestaande standaardisatieproblemen), zal een lijst met voorgeconfigureerde sensoren ter beschikking worden gesteld om de koppeling van nieuwe apparaten te vergemakkelijken.

BESLUIT

Het monEAU-systeem zal een hoog niveau platform voorzien voor een brede waaier aan automatische meettaken, en zal de talrijke ontwerpfouten waarmee vroegere concepten geconfronteerd werden, elimineren. De flexibiliteit van dit nieuwe netwerkconcept van meetstations laat verschillende meettaken evenals verschillende meetplaatsen toe. Aangezien de meestal gebruikte transmissieprotocollen (tussen sensor en basisstation) worden voorzien, kan de gebruiker de meest geschikte sensor voor zijn toepassing kiezen, onafhankelijk van de specifieke mogelijkheden van het meetstation.

De softwarestructuur met aan vast kader als ruggraat en daaraan opgehangen modules (via de API interface) combineert robuuste werking met flexibiliteit waardoor nieuwe ontwikkelingen of individuele toepassingen gemakkelijk kunnen toegevoegd worden. De vrije toegang tot de instellingen van de interface staat gemakkelijke ontwikkeling en implementatie van gebruikersgespecificeerde modules toe, maar door sluiting van het softwarekader kan aan de gebruikers een robuuste basisfunctionaliteit gegarandeerd worden.

De hardware zal aan de hoogste eisen betreffende veiligheid, omgevingsvoorwaarden en robuustheid voldoen. Diverse telemetrie-opties, lage energiebe-

hoeft en proactieve onderhoudsconcepten laten toe netwerken van meetstations op afstand te ontwikkelen.

Toch is de belangrijkste stap voorwaarts in dit concept de geavanceerde datakwaliteitsbeoordeling, waardoor de metingen met de bestudeerde processen in verband kunnen gebracht worden en er niet langer gegist moet worden naar de betekenis van bepaalde data. De belangrijkste boodschap is dat dit evaluatieconcept het gevaar zal elimineren voor nog meer datakerkhoven. ■

DANKWOORD

De ideeën achter monEAU spruiten voort uit besprekingen met talrijke personen. Wij zouden vooral Stefan Winkler (TU Wenen), Kris Villez (BIOMATH, Universiteit Gent), Jens Alex/Mario Thron (ifak Magdeburg, Duitsland) en Lina Belia/John Copp (Primodal Inc., Canada) voor hun waardevolle input willen danken. Peter Vanrolleghem is Canada Research Chair on Water Quality Modelling.

REFERENTIES

ATV-DVWK (2000). Merkblatt ATV-DVWK (now DWA) M 269: Prozessanalysengeräte für N, P und C in Abwasseranlagen. Hennef: GFA-Verlag [in het Duits].

Beck M.B., Watts J.B. and Winkler S. (1998). An environmental process control laboratory: At the interface between instrumentation and model development. *Wat. Sci. Tech.*, 37(12), 353-362.

Devisscher M., Harmand J., Steyer J.-Ph. and Vanrolleghem P.A. (2000). Control design of an industrial equalization system - Handling system constraints, actuator faults and varying operating conditions. In: *Proc. IFAC 4th Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes*. Budapest, Hungary, June 14-16.

Harmancioglu N.B. and Alpaslan N. (1994). Basic approaches in design of water quality monitoring networks. *Wat. Sci. Tech.*, 30(10),49-56.

Jeppsson U., Alex J., Pons M.N., Spanjers H., Vanrolleghem P.A. (2001). Status and future trends of ICA in wastewater treatment - A European perspective. *Wat. Sci. Tech.* 45(4-5), 485-494.

Lardon L., Punal A. and Steyer J.Ph. (2004). On-line diagnosis and uncertainty management using evidence theory – experimental illustration to anaerobic digestion processes. *Journal of Process Control* 14, 747-763.

Lee D.S. and Vanrolleghem P.A. (2003). Monitoring of a sequencing batch reactor using adaptive multiblock principal component analysis. *Biotechnol. Bioeng.*, 82, 489-497.

Rieger L., Thomann M., Joss A., Gujer W. and Siegrist H. (2004): Computer aided monitoring and operation of continuous measuring devices. *Wat. Sci. Tech.*, 50(11), 31-39.

Rosen C., Röttorp J. and Jeppsson U. (2003). Multivariate on-line monitoring: Challenges and solutions for modern wastewater treatment operation. *Wat. Sci. Tech.* 47(2), 171-179.

Strobl, R.O., Robillard, P.D., Shannon, R.D., Day, R.L. and McDonnell, A.J. (2006). A water quality monitoring network design methodology for the selection of critical sampling points: Part I. *Env. Monit. Ass.* 112, 137–158.

Thomann M., Rieger L., Frommhold S., Siegrist H. and Gujer W. (2002). An efficient monitoring concept with control charts for on-line sensors. *Wat. Sci. Tech.* 46(4-5), 107-116.

Vandenberghe V., Goethals P.L.M., van Griensven A., Meirlaen J., De Pauw N., Vanrolleghem P.A. and Bauwens W. (2005). Application of automated measurement stations for continuous water quality monitoring of the Dender river in Flanders, BE. *Env. Monit. Ass.* 108(1-3), 85-98.

van Griensven A., Vandenberghe V., Bols J., De Pauw N., Goethals P., Meirlaen J., Vanrolleghem P.A., Van Vooren L. and Bauwens W. (2000). Experience and organisation of automated measuring stations for river water quality monitoring. *Proceedings 1st IWA World Water Congress, Paris, France, July 3-7 2000 (on CD-ROM).*

Vanrolleghem P.A. and Lee D.S. (2003). On-line monitoring equipment for wastewater treatment processes: state of the art. *Wat. Sci. Tech.* 47(2), 1-34.

Yoo C.K., Lee J.-M., Lee I.-B. and Vanrolleghem P.A. (2004) Dynamic monitoring system for full-scale wastewater treatment plants. *Wat. Sci. Tech.*, 50(11), 163-171.