

**5. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
15.-16. Oktober 2004 in
Saarbrücken**



**„Synchrone Langzeiterfassung von Biosignalen mit
verteilten Sensoren“**

M. Steffen, S. Leonhardt
Philips Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik, RWTH Aachen, Aachen,
Deutschland
E-Mail: steffen@hia.rwth-aachen.de

Band: „Tagungsband, Automed 2004“
Editors: W. I. Steudel
ISBN: 3-00-013509-X
Pages: 53-54

Synchrone Langzeiterfassung von Biosignalen mit verteilten Sensoren

M. STEFFEN, S. LEONHARDT

Philips Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik, RWTH Aachen
Pauwelsstraße 20, 52074 Aachen

E-Mail: steffen@hia.rwth-aachen.de

ABSTRACT

Sowohl beim Einsatz von Monitoring-Systemen in der Klinik als auch im Bereich *Personal Health Care* steigt die Anzahl der gleichzeitig zu erfassenden Biosignale kontinuierlich. Gleichzeitig werden Sensoren kleiner und näher am Patienten appliziert oder gar implantiert. Dadurch wird eine kontinuierliche Überwachung und Auswertung mehrerer Biosignale ermöglicht, und es können Rückschlüsse auf physiologische Zusammenhänge gezogen und auf einer großen Datenbasis validiert werden (z. B. Aktivität vs. Herzrate). Um bei steigendem Datenaufkommen und räumlicher Trennung Aussagen über Zeitverhalten und Reihenfolge annähernd gleichzeitiger Ereignisse zu erhalten (z. B. Pulswellenlaufzeit), ist eine Koppelung/Synchronisation der einzelnen Sensoren zwingend notwendig. Im Folgenden wird eine einfache Möglichkeit vorgestellt, verteilte Messsysteme über Synchronisationsimpulse zu koppeln und so die zeitliche Zuordnung von Ereignissen zu ermöglichen. Dabei bleibt der zeitliche Kontext in allen Verarbeitungsschritten, einschließlich Diagnose und Archivierung, erhalten. Gleichzeitig werden Probleme von Langzeitaufnahmen (z. B. Drift der Zeitbasis) adressiert.

Zielsetzung: Das Ziel besteht darin, verteilte Biosensoren zu synchronisieren, um eine multivariate Auswertung und Sensorfusion zu ermöglichen. Dies führt zu detaillierten Aussagen über Ablauf und Reihenfolge biologischer Ereignisse, von denen neue Informationen über pathologische Ereignisse und das Zusammenspiel von biologischen Regelungen erwartet werden. Die Ergebnisse sollen für Prophylaxe, Diagnose und Rehabilitation genutzt werden. Gleichzeitig soll der Aufwand gering gehalten werden, so dass eine Integration in tragbare Biosensoren technisch realisierbar und wirtschaftlich vertretbar wird.

LÖSUNGEN AUS ANDEREN BEREICHEN

In vielen technischen Bereichen müssen verteilte Geräte synchronisiert werden. Exemplarische Vertreter sind:

- **Kamera-Kopplung in analogen TV-Studios:** Über ein zusätzliches Kabel wird an alle Kameras ein Schwarz-Bild (in Farbe) verteilt, in welches diese die eigene Bildinformation einblenden. Zusätzlich wird der Farbträger vom Schwarzbild als Referenz für den Farbmodulator verwendet [van Wenzel1980].
- **Synchronisation von Midi-Instrumenten:** Timing und Timer-Nachrichten sind elementarer Bestandteil vom Midi-Protokoll. Neben einem relativen Zähler mit 24 Impulsen pro 1/4 Note stehen auch absolute Zeitstempel (hh,mm,ss,ff) zur Verfügung [Noll 1994].

Die erreichte Auflösung liegt bei ca. 10 ms.

ARTEN DER SYNCHRONISATION

Vor der Realisierung musste geklärt werden, welche Art von Synchronität angestrebt wird:

- **Synchrone A/D Wandlung:** Hierzu wird der A/D Wandler-Takt zentral vorgegeben. Aber der Vorteil einer gleichzeitigen Erfassung aller Messdaten wird durch hohe Anforderungen an den Synchronisations-Takt erkauft.
- **Isochrone A/D Wandlung:** Die A/D Wandler arbeiten mit lokalen Takten und die Zeitpunkte der Messungen werden mit Zeitstempeln markiert. Die Anforderungen an den Sync-Takt sind geringer, da er die Messdaten nicht beeinflusst. Dafür finden die Messungen nicht gleichzeitig statt (Abb. 1).

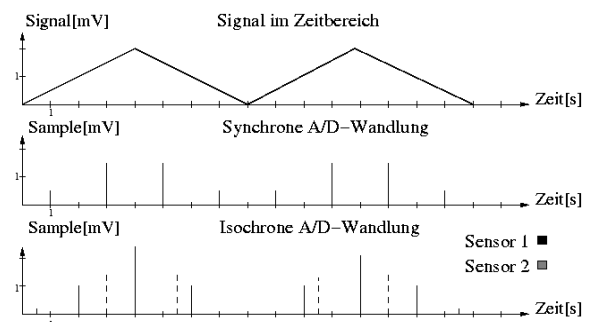


Abb. 1: Isochron vs. Synchron

Da weder ein zentraler Sync-Takt noch lokale Sample-Takte synchron zu den beobachteten Biosignalen sind, ist der Aufwand für eine synchrone A/D-Wandlung bei verteilten Systemen nicht gerechtfertigt, weshalb im Folgenden ein isochroner Ansatz verfolgt wird.

REALISIERUNG

Um die Synchronität der Messdaten zu erreichen und bis zur Archivierung zu erhalten, sind folgende drei Schritte notwendig:

- **Sync-Takt Verteilung:** Zunächst müssen alle Sensoren mit einem Sync-Takt versorgt werden. Prinzipiell eignen sich alle Verfahren, bei denen die Verzögerung zwischen Taktgenerator und Sensor bekannt und konstant ist. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit werden zunächst nur zwei Verfahren unterstützt:

Taktleitung: Alle beteiligten Sensoren werden über eine Taktleitung verbunden. Durch die Zusatzhardware werden nur minimale Softwareänderungen benötigt.

Sync-Frame: Über eine vorhandene Datenverbindung wird ein Synchronisations-Paket gleichzeitig an alle beteiligten Sensoren gesendet¹. Es wird keine getrennte Taktleitung benötigt, aber das Kommunikationsprotokoll muss angepasst werden.

- **Synchronisation im Sensor:** Im nächsten Schritt muss die Verbindung von Sync-Takt und Zeitpunkt der Messung erfolgen. Hierzu wird der lokale Takt mit dem Sync-Impuls verglichen und so der Zeitpunkt der Messungen bestimmt. Dabei erhält jeweils die Messung, welche auf den Sync-Impuls folgt, einen Zeitstempel, der sich aus dem Sync-Takt-Zähler ($n \cdot T_{sync}$) und der Zeit zwischen Sync-Impuls und Messung ($m \cdot \frac{1}{F_{osc}}$) zusammensetzt. Letztere wird aus dem Zählerstand des lokalen Taktgenerators (Timer) ermittelt (Abb. 2).

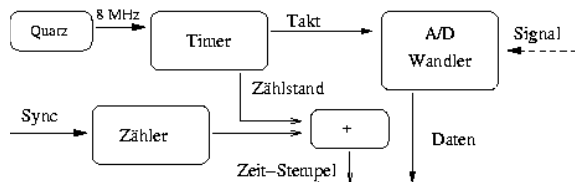


Abb. 2: Koppelung von Quarz- und Sync-Takt

- **Algorithmische Realisierung:** Im dritten Schritt muss sichergestellt werden, dass der zeitliche Zusammenhang zwischen den einzelnen Ereignissen nicht durch unterschiedliche Verzögerungen in der algorithmischen Verarbeitung verloren geht. Um den Aufwand für die Anpassung der Zeitstempel zu reduzieren, wurde eine Zeitstempel-Struktur entwickelt (Tab. 1):

Tab. 1: Zeitstempel-Struktur

Name	Funktion
TS-Tabelle	Liste der Zeitstempel und Sample-Nummern
Inkrement	Das Zeit-Inkrement zwischen 2 Samples (Sample-Rate) ⁻¹
Nr.-Samples	Sample-Anzahl im Datensatz

Für diese Zeitstempel existiert ein Satz von Methoden, der sowohl die Umrechnung von Zeit in Sample-Nummer als auch die Anpassung der Zeitstempel an die jeweiligen Algorithmen ermöglicht.

Dabei wird die Zeitstempelstruktur parallel zu den Messdaten verarbeitet. Existierende Algorithmen können nachgerüstet werden, indem Verzögerung und Verkürzung ermittelt und auf die Zeitstempel-Struktur angewendet werden, wie das Beispiel eines 3-Punkt-Moving-Average-Filters verdeutlicht (Abb. 3):

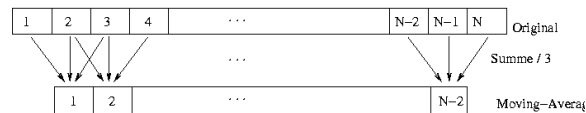


Abb. 3: Moving-Average (Delay = 1, Trunc = 2)

Sowohl für das erste als auch das letzte Sample lässt sich kein gültiger Mittelwert berechnen, was zu einer Verzögerung um ein T_{sample} und eine Verkürzung um zwei T_{sample} führt.

DISKUSSION

Problematische Algorithmen: Bei einigen Algorithmen (z. B. IIR-Filter) ist die Verzögerung datenabhängig oder zeitvariant, so dass kein konstanter Wert für die Verzögerung ermittelt werden kann. Die alternative Verwendung von Näherungs- und Mittelwerten ist jedoch immer fehlerbehaftet.

- **Langzeitanalyse:** Bei der Aufnahme über einen längeren Zeitraum werden die Datenmengen so groß, dass sie für die Verarbeitung in kleinere Blöcke aufgeteilt werden müssen. Eine Ermittlung der benötigten Überlappung und der jeweiligen Verzögerung ist bei verschachtelten oder adaptiven Algorithmen aufwändig und fehleranfällig. Die mitgeführten Zeitstempel lassen am Ergebnis erkennen, wieviel Überlappung benötigt wird und wo Blöcke ineinander übergehen. Die kontinuierliche Synchronisation verhindert zusätzlich einen Zeitversatz zwischen den Messdaten aufgrund von driftenden Takten.
- **Zeitverhalten:** Die vorgestellte Realisierung hat prinzipiell das Problem, dass sich die Zeitstempel aus Sync-Takt und lokalem Takt zusammensetzen. Setzt man einen Frequenzfehler von 50 ppm² und einen Sync-Takt von 10 Hz voraus, so ergibt sich daraus ein maximaler Fehler vom

$$\Delta t = 2 \cdot 100ms \cdot 50 \cdot 10^6 = 10\mu s^3,$$

was für die meisten Anwendungen vollkommen ausreicht.

FAZIT

Die Synchronisation und gemeinsame Auswertung von verteilten Sensoren wird unter Verwendung von Zeitstempeln mit geringem Aufwand realisiert. Die dazu benötigte Zeitreferenz kann über getrennte Taktleitungen oder Sync-Frames übertragen werden.

Durch das vorgestellte Verfahren bleibt die Synchronität durch alle Auswertungsschritte bis einschließlich zur Archivierung erhalten.

LITERATUR

- [Noll1994]
J. Noll, "Musik-Programmierung", Addison-Wesley GmbH, Bonn, 1994
- [van Wenzel1980]
R. van Wezel, "Video handbuch", Franzis-Druck GmbH, München, 1980

¹ Positiv: Sync-Impulse brauchen keine feste Frequenz

² Typischer Wert für Quarzoszillatoren

³ Andere Messungen sind auch nur Quarzgenau