

PROTOKOLLE ZUR INTERNEN UHRENSYNCHRONISATION IN SICHERHEITSKRITISCHEN ECHTZEITSYSTEMEN

Horst F. Wedde, Wolfgang Freund

Informatik III

Universität Dortmund

44221 Dortmund

ZUSAMMENFASSUNG

Um verteilte Realzeitexperimente ausführen zu können, insbesondere für sicherheitskritische Anwendungen, wie sie in unserem MELODY Projekt untersucht werden, muß man eine Uhrensynchronisation mit einer Genauigkeit von ca. 100 µsec zwischen einer besonderen Uhr (hier *master* genannt) und irgendeiner anderen Uhr des Systems (hier *slave* genannt) gewährleisten.

Mit der Benutzung der "probabilistischen Methode zum Lesen einer entfernten Uhr", die unbegrenzte Kommunikationsverzögerungszeiten berücksichtigt, stellen wir drei neue verteilte Uhrensynchronisationsprotokolle vor. Es wird die "*masking technique*" verwendet, durch die Nachrichten mit "ungeeigneten" Verzögerungszeiten keine Wirkung haben.

Das erste Protokoll, das als *Real-Time Network Protocol (RTNP)* bezeichnet wird, basiert auf *unicast roundtrip* Nachrichten und wurde auf RS/6000 Maschinen unter AIX in einem *Token-Ring* Netzwerk implementiert. In RTNP synchronisieren die *slaves* ihre lokale Uhr, indem sie eine Nachricht zu dem *master* schicken. Gleich nachdem der *master* diese Nachricht empfangen hat, schickt er eine Rückmeldung mit seiner aktuellen Zeit. Wenn dann diese Nachricht beim *slave* innerhalb eines offline berechneten Zeitfensters ankommt, kann er seine lokale Uhr verstellen, sonst muß er diesen Vorgang wiederholen.

Bei nochmaliger Untersuchung von RTNP in unserem neuen experimentellen Netzwerk, das aus sieben *LINUX-PCs* mit einem 100 Mbps *Ethernet* besteht, ergab sich, dass dieses Protokoll nicht harmonisch war, das heißt, dass die Abweichung zwischen zwei *slaves* deutlich größer ist als die Abweichung zwischen dem *master* und einem *slave*. (Das ist bei allen auf *unicast* basierten Protokollen zu erwarten.) Nach ausführlicher Untersuchung dieses Phänomens entwarfen wir zwei neue Protokolle: Das *Real-Time Duplex Protocol (RTDP)* und das *Real-Time Burst Protocol (RTBP)*, die beide auf *broadcast* Nachrichten basieren. Im Gegensatz zu einer Sequenz von *unicast* Nachrichten werden *broadcast* Nachrichten im Idealfall von allen Knoten gleichzeitig empfangen. Durch die Verwendung angemessener *broadcast* Protokolle wird erwartet, dass geringere Uhrenunterschiede zwischen *master-slave* und *slave-slave* erreicht werden.

Obwohl RTDP und RTBP sehr verschiedene Ansätze zur Lösung des Problems benutzen, stellte es sich bei beiden heraus, dass sie bezüglich der *master-slave* Uhrenabweichung besser und stabiler als RTNP (und wahrscheinlich jedes andere auf *unicast* basierende Protokoll) sind. Das Wichtigste ist, dass wir mit diesen Verfahren eine harmonische Uhrenabweichungsstruktur erreichen, in der die Abweichung zwischen zwei *slaves* dieselbe ist wie zwischen dem *master* und einem *slave*.

Außerdem ist trotz der etwas größeren Übertragungszeiten von *broadcast* Nachrichten im Vergleich zu *unicast* Nachrichten die Genauigkeit für eine *master/slave* Synchronisation besser als die *unicast* Methode.

Wir diskutieren unsere experimentellen Ergebnisse und auch wie beide *broadcast* Protokolle sowohl die Realzeitanforderungen als auch die Anforderung an die Fehlertoleranz erfüllen.