

GNSS 시각 전송에서 윤초 적용 여부에 따른 GPS 시각과 GLONASS 시각의 오프셋 영향 연구

유동희^{1*} · 이영규² · 양성훈² · 이창복²

A Study of Effects on GPS and GLONASS Time offset according to leap seconds in GNSS time transfer

Dong-Hui Yu^{1*} · Young-Kyu Lee² · Sung-Hoon Yang² · Chang-Bok Lee²

^{1*}Department of Software, Catholic University of Pusan, Busan, 609-757, Korea

²Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340, Korea

요 약

BIPM에서는 세계협정시(UTC)를 유지하기 위해 GPS 시각 전송 기법을 이용해 왔다. 최근 GLONASS 위성 시스템이 전 세계적으로 서비스되면서 GLONASS 위성의 코드 신호를 이용한 시각 전송 기법에 대한 연구가 진행되었고 이에 GPS 와 GLONASS를 결합한 시각 전송 기법이 연구되고 있다.

본 논문에서는 GNSS 시간과 UTC, 윤초 등에 대해 소개하고 GLONASS 시각 전송에서 윤초의 적용 여부에 따른 시각 오프셋 영향에 대한 결과를 제시하고자 한다.

ABSTRACT

BIPM(International Bureau of Weights and Measures) uses GPS Time Transfer technique for UTC(Universal Time Coordinated). Recently, since GLONASS constellation started the service, studies on GLONASS time transfer and combination of GPS and GLONASS time transfer have been conducted.

This paper introduces GNSS time, UTC and leap seconds and proposes the time offset results for applicability of leap seconds in GLONASS time transfer.

키워드 : GLONASS time, GPS time, 세계협정시, 윤초

Key word : GLONASS time, GPS time, UTC, leap second

접수일자 : 2014. 10. 01 심사완료일자 : 2014. 10. 31 게재확정일자 : 2014. 11. 05

* **Corresponding Author** Dong-Hui Yu(E-mail:dhyu@cup.ac.kr, Tel:+82-51-510-0643)

Department of Software, Catholic University of Pusan, Busan, 609-757, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.11.2628>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

우리의 실생활에서 시각 동기(Time Synchronization)의 중요성은 일반인들에게는 다소 생소할 수 있으나, 통신 시스템, 전력선 그리드 시스템, 항공 및 선박 등의 항법 등의 기반 기술인 시각 동기 기술은 매우 중요하다.

상기 다양한 시스템들은 대부분 현재 GPS 위성 신호를 이용하여 전 세계 협정시인 UTC에 동기되고 있다. 최근 GLONASS 시스템이 전 세계적으로 서비스되면서 GPS 뿐만 아니라 GLONASS 시스템을 같이 활용하여 시각 동기를 할 수 있는 기법들에 대한 연구가 진행되고 있다[1-3].

이에 본 논문에서는 2장에서 시각동기와 관련한 다양한 시간의 종류에 대해 설명하고 GPS 시간과 GLONASS 시간과의 차이 요소인 윤초(Leap seconds)에 대해 설명한다. 3장에서는 GLONASS 위성 시간과 GPS 위성 시간이 윤초의 적용 여부에 따라 어떻게 차이가 나게 되는지 한국표준과학연구원의 관측 데이터와 미국의 JPL, 일본의 NICT 관측 데이터를 이용하여 분석하여 제시하고 4장에서 결론을 맺는다.

II. GNSS time

세계협정시(프랑스어: Temps Universel Coordonné, 영어: Coordinated Universal Time, UTC)는 1972년 1월 1일부터 시행된 국제 표준시이다[4]. UTC는 국제원자시와 윤초 보정을 기반으로 표준화되었다. 국제 전기통신 연합은 UTC에 대한 통일된 약자를 원했다. 그런데 영어권의 사람들과 프랑스어권의 사람들은 각각 자신의 언어로 된 약자인 CUT(Coordinated Universal Time)와 TUC(프랑스어: Temps Universel Coordonné)를 사용하길 원했다. 이 분쟁은 결국 두 언어 모두 C, T, U로 구성되어 있다는 것에 착안하여 UTC라는 약어를 탄생시켰다. UTC는 또한, 세계시(UT: Universal Time)와 그 변형 약어들("UT0", "UT1", "UT1R" 등)과 일관성을 유지할 수 있는 약어이기도 했다.

GMT(Greenwich Mean Time)는 과거 세계시간 표준을 영국의 그리니치 천문대를 기준으로 한 시계였으나, 이보다 훨씬 오차가 적은 원자시계가 나온 이후, 원자시계를 기반으로 한 협정시인 UTC가 현재 세계시의 표

준이 되었다.

UTC와 GMT는 1초 이내 즉, 초의 소수점 단위에서만 차이가 나기 때문에 일상에서는 혼용되어 사용된다. 현재 전 세계 시간의 기준은 UTC를 사용하고 있으며 군사 용어로는 줄루 타임(Z time)이 사용되기도 한다.

UTC는 그레고리력의 표기를 따른다. 율리우스 일을 함께 사용하기도 한다. 1일은 24시간으로 나뉘며, 1시간은 60분으로 나뉜다. 1분은 60초로 나뉘는 것이 보통이나 약간은 가변적이다. 협정 세계시의 하루는 보통 86,400 SI 초이다.

그러나 실제 태양시는 86,400초보다 약간 길기 때문에 UTC에서는 때때로 하루의 제일 마지막 1분을 61초로 계산한다. 이렇게 추가되는 초를 윤초(leap second)라 하고 필요에 따라서 1초 단위의 수정을 전 세계적으로 일제히 하도록 정하였다. 윤초를 실행하는 제1 우선일은 1월 1일과 7월 1일, 제2 우선일은 4월 1일과 10월 1일로 결정되어 각각 그날의 0시 0분 0초(한국은 09시 0분 0초) 직전에 실시한다. 윤초 수정에 관한 결정은 국제지구자전사업 (IERS: International Earth Rotation Service)이라는 기관이 한다[5].

GNSS(Global Navigation Satellite Systems)들은 항법 해를 구하기 위해 내부적인 연속적 참조 시각 원을 사용하고 있는데, 미국의 GPS time, 러시아의 GLONASS Time, 유럽연합의 Galileo System Time, 중국의 Beidou time 등이 그 예들이다. GNSS 시간들은 내부적으로 시스템들의 동기와 항법 해를 생산할 수 있도록 설계되어 구성되었으며 외부의 안정적인 하나의 참조 시각원에 동기가 되도록 조정된다. ITU(International Telecommunication Union)에서는 표준주파수와 시간 신호의 방출이 UTC를 따르도록 권고하고 있다[6]. 또한 15차 CGPM(General Conference on Weights and Measures)에서도 UTC가 도시 시간(civil time)의 기반으로 제공되고 대부분의 나라에서 법적 시간 근거로 사용됨을 공표했다[7].

이론적으로는 GNSS 시스템 시간들은 ITU와 CGPM의 권고를 따라야만 하고 윤초를 고려한 UTC에 동기되어야 하지만 윤초로 인해 발생하는 시간의 비연속성을 다루는 것은 매우 어려운 일이다. 이에, GPS 위성이 유지하는 GPS 시간은 윤초를 고려하지 않고 유지되고 있다. 유럽의 Galileo와 중국의 Beidou 시스템도 윤초는 고려하지 않고 GPS 시간과의 offset만 고려하고 있다.

반면에, GLONASS 위성 시스템의 시간은 윤초를 고려하여 운영되고 있으므로 연속적인 시간은 아니다[8-10].

GPS 시간은 1980년에 UTC와 0초 차이가 나는 것으로 설정되어 흘러와서 2011년에는 UTC 보다 15초 빠르고 가장 최근에 적용된 GPS 시간과 UTC 간의 윤초는 2012년 6월 30일과 7월 1일 사이 자정에 적용되어 현재까지 16초가 유지되고 있으며, GPS 시간이 UTC보다 16초 빠르다.

최근 UTC에 윤초를 적용하지 않아야 한다는 주장이 나오고 있다[11]. 윤초의 사용은 윤초의 관리 및 UTC에 동기하고 있는 모든 시스템의 윤초 처리를 위한 복잡도를 높일 뿐만 아니라 윤초의 잘못된 적용으로 인해 심각한 피해를 받을 수도 있기 때문이다.

그러나 현재 시각 동기 분야에서 정밀도나 정확도를 향상시키기 위해 GPS와 GLONASS를 연동한 시각 동기 기법들이 연구되어 발표되고 있으므로, 우리나라에서도 GPS와 GLONASS의 시간 전송 데이터에 대한 관측 데이터들을 활용한 시각 동기 기법들에 대한 기반 기술을 확보할 필요가 있으며 윤초의 영향 정도에 대해서도 우리나라의 관측 데이터를 기반으로 검증할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 GPS 시간과 GLONASS 시간의 차이인 윤초의 적용 여부에 따른 시각 오프셋에 대한 영향 정보를 파악하여 제시하고자 한다.

III. GLONASS 시간과 GPS 시간의 윤초의 영향

본 논문에서는 현재 전 세계적으로 GPS 및 GLONASS 위성을 이용한 시각 동기용 소프트웨어인 r2cggts 프로그램의 실행 결과를 바탕으로 윤초의 적용 여부에 따른 시각 정밀도와 안정도를 제시한다.

두 위성시스템의 비교 시각 원으로는 한국표준과학 연구원의 UTC(KRIS) 시간을 사용하였다. r2cggts 프로그램은 GPS 위성시간과 관측 연구실에서 조정하고 있는 UTC, 우리나라의 경우 UTC(KRIS)와의 시각오프셋을 추출하는 프로그램으로 최근 GLONASS 위성시간에 대해서도 관측 연구실의 UTC와의 시각오프셋 추출 기능이 추가되었고 윤초에 대해서는 따로 지정을 하도록 구성되어 있다.

검증에 사용된 데이터는 Septentrio사의 PolaRx 3eTR 수신기로 측정된 rinex 형식의 관측 파일과 항법

파일을 사용하였다. 측정 날짜는 2013년 12월 15일이며 GPS 시간이나 UTC(KRIS)는 매우 정밀하고 안정적으로 유지되고 있으므로 측정 날짜에 따른 윤초의 적용 영향은 거의 없다고 판단할 수 있다.

그림 1은 GPS 위성시간과 GLONASS 위성시간에 대해 윤초를 적용하지 않은 결과이고 그림 2는 윤초를 적용한 결과이다. 본 논문의 그림에서 y축의 시간 오프셋 값의 단위는 시각 오프셋 표준인 CGGTS 파일의 포맷에서 제시하는 0.1ns 단위로 표시하였고 x 축은 16분 단위로 계산되어 출력되는 RefSys 값을 위성들의 값들을 순서대로 표시한 것이다.

r2cggts 프로그램은 GPS 시간을 기준으로 하기 때문에 GLONASS 관측 데이터에 GPS 시간과의 윤초를 적용하지 않은 경우 -40us에서 +40us 사이의 시각 오프셋이 발생한 것을 확인할 수 있었다.

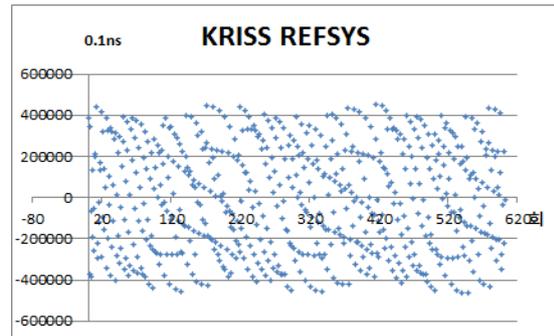


그림 1. 윤초 미적용 결과
Fig. 1 Results without leap seconds in GLONASS time transfer

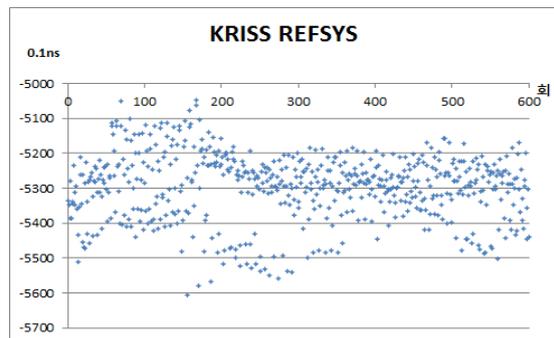


그림 2. 윤초 적용 결과
Fig. 2 Results with leap seconds in GLONASS time transfer

그림 2에서는 GPS 시간과 GLONASS 시간 사이의 윤초를 고려한 경우로 그림 1에 비해 거의 71분의 1 정도인 -560ns에서 -500ns 사이로 매우 정밀하고 안정적인 결과를 나타내고 있다.

윤초의 적용 여부가 항법 해에도 영향을 주기 때문에 우리나라 근교인 일본의 관측 데이터와 미국의 관측 데이터에 대해서도 윤초의 적용 여부에 따른 시각 오프셋을 구해 보았다. 전 세계 각국의 표준 시각을 관리하는 기관들의 다양한 GNSS 관련 관측 데이터들은 NASA에서 저장·관리하고 있고 본 논문에서는 임의로 2014년 1월 18일과 19일 데이터들에 대해 윤초의 적용 영향을 분석해 보았다[12].

일본의 NICT(National Institute of Information and Communications Technology)는 일본 표준시간을 결정하고 관리하는 책임을 지고 있는 국가 기관이다.

그림 3의 y축은 시각 오프셋 값으로 CGGTTS 양식대로 0.1ns 단위로 표시하였고 x 축은 2014년 1월 18일과 1월 19일을 MJD(Modified Julian Date)로 표시하였다. 2014년 1월 18일이 MJD로 56675 일이고 1월 19일은 56676일이다. 그림3의 첫 번째 그림은 윤초가 적용되지 않은 결과로 최소 약 -45 us에서 최대 약 +46us까지의 시각 오프셋 값을 나타내고 있고 두 번째 가운데 그림은 윤초가 적용된 결과로 윤초가 고려되지 않은 첫 번째 그림과 같이 y축 스케일로 표현한 것이다. 윤초가 고려되어야 정밀하고 안정적인 참조 시각원으로 사용될 수 있음을 확인할 수 있다. 세 번째 마지막 그림은 두 번째 그림을 좀 더 이해하기 쉽게 y축을 확대하여 표현한 그림으로 최소 약 -560ns에서 최대 약 -502ns의 변이를 나타내고 있다. 이는 현재 GPS 시간의 성능과 거의 유사한 현상을 보인다. 시각오프셋의 변화가 군데 군데 클러스터를 보이는 현상이 있는데, 이는 GLONASS 신호가 FDMA(Frequency Division Multiple Access)를 사용하기 때문인데, 이런 Inter Frequency Bias에 대한 보정을 수행하면 최종적으로 GPS와 연동하여 보다 안정적이고 정밀한 시각 원을 유지할 수 있게 된다. 향후 이에 대한 연구도 수행할 예정이다.

미국은 NASA의 JPL(Jet Propulsion Laboratory)의 데이터를 사용하여 윤초 적용 여부를 비교해 보았다. 한국과 일본의 경우 윤초를 고려하지 않은 시각 오프셋과 윤초를 고려한 시각 오프셋의 양상이 매우 비슷하여

GPS 시간과의 비교를 생략하였으나 미국 JPL의 경우 GLONASS 시각 오프셋 결과가 한국과 일본과 같은 양상을 보이지 않아 윤초 처리 결과의 타당성을 검증하기 위해 GPS 시간을 같이 제시하였다.

그림 4의 첫 번째 그림은 윤초를 고려하지 않은 GLONASS 시간과 JPL(UTC)와의 시각 오프셋 결과이다. KRISS와 NICT와 같게는 시각 오프셋의 편차가 매우 크고 참조 시각원으로는 부적합한 값들을 나타내었는데 두 기관과는 다르게 전체적으로 시각 오프셋들이 증가하는 양상을 보였다.

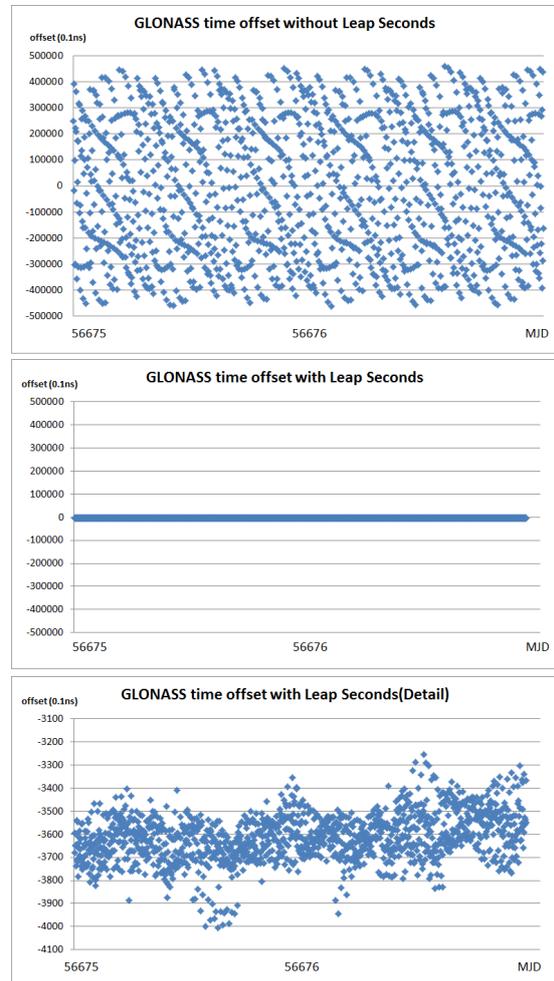


그림 3. 일본 NICT GLONASS 관측 데이터 처리 결과
 Fig. 3 Results of Observation data of GLONASS of NICT in Japan

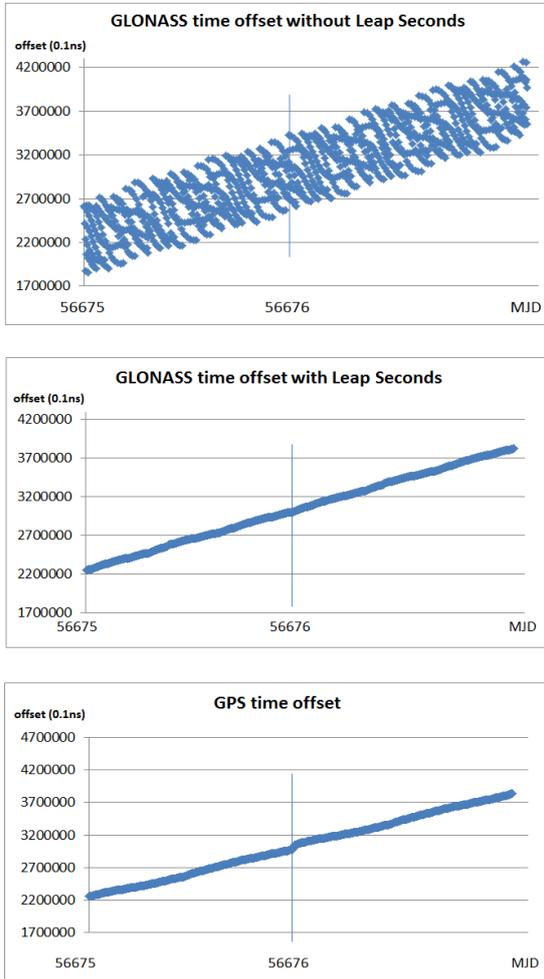


그림 4. 미국 NASA JPL의 GPS 및 GLONASS 관측 데이터 처리 결과

Fig. 4 Results of Observation data of GPS and GLONASS of JPL in USA

두 번째 그림은 윤초를 적용한 결과이다. 편차는 매우 줄었지만 여전히 시각 오프셋들이 증가하는 양상을 나타내었다. UTC(JPL)을 확실히 보이기 위해 GPS 시각과의 오프셋을 세 번째에 나타내었는데, 두 번째 GLONASS 시각 오프셋과 GPS 시각 오프셋이 같은 양상을 나타냄을 확인할 수 있었다. 이는 JPL의 시각 유지 상태에 의한 것이고 윤초 적용과는 무관한 것임을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 전 세계 통신 및 다양한 기반 시설의 근간이 되는 시각 동기 기법 중 GPS와 GLONASS 시간을 결합한 연구를 진행하기 위한 초기 단계로 두 항법 시스템이 유지하고 있는 내부 시각 원을 소개하고 이와 관련한 GNSS 시간 및 전 세계협정시, 윤초 등에 대해 소개하였다.

GPS를 참조 시각원으로 전 세계 시각 동기를 위해 사용되고 있는 r2cggts 프로그램을 통해, 최근 시각 동기를 위해 적용되고 있는 GLONASS 시간에서 윤초의 적용 여부에 따른 시각오프셋 결과를 우리나라, 일본, 미국의 표준 시각 원을 유지하는 연구실의 관측 데이터들을 활용하여 제시하였고 윤초의 적용 여부에 따라 수십 배의 오프셋 차이 및 시각 오프셋의 안정도에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

향후 GPS와 GLONASS 시각 전송 데이터들을 결합하여 보다 정확하고 정밀한 시각 동기를 위해 활용하기 위해서는 GLONASS 시스템의 Inter Frequency Bias에 대한 연구가 진행되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다

REFERENCES

- [1] A. Harmegnies, P. Defraigne and G. Petit, "Combining GPS and GLONASS in all-in-view for time transfer", *Metrologia*, vol. 50, pp.277-287, May, 2013.
- [2] Z.Jiang and W. Lewandowski, "Use of GLONASS for UTC Time transfer," *Metrologia*, vol. 49, pp.57-61, Nov. 2011.
- [3] P. Defraigne, Q. Baire and A. Harmegnies, "Time and Frequency Transfer Combining GLONASS and GPS DATA," in *proceedings of the 42nd Annual Precise Time and Time Interval(PTTI) Meeting, Reston, Vrginia*, pp. 263-274, 2010.

- [4] Coordinated Universal Time [Internet]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Coordinated_Universal_Time.
- [5] Leap Second [Internet]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Leap_second.
- [6] Recommendation ITU-R TF.460-5
- [7] 1975 Resolution 5 of the 15th meeting of the CGPM. Available : <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/15/5>. 1975.
- [8] W. Lewandowski and E.F. Arias, “GNSS times and UTC,” *Metrologia*, vol. 48, pp.S219-S224, July, 2011.
- [9] D. O’Dowd, “UTC Leap Seconds: The GPS Directorate Perspective”, in *2013 ITU/BIPM Workshop*, 2013.
- [10] Z. Jiang and W. Lewandowski, “Recent Study of GLONASS Time Transfer,” Application of Tsoft for the GLN calculations, BIPM Technical Memorandum TM136, 2005, <ftp://tai.bipm.org/TimeLink/LkC/VAR/Doc/GLN/>.
- [11] “Addition of Leap Second Highlights Campaign for Its Elimination,” www.insidegnss.org, July 4, 2012.
- [12] NASA GNSS data archive center. [Internet]. Available : <http://ftp://cdsis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily>



유동희(Dong-Hui Yu)

부산대학교 전자계산학과 이학사
 부산대학교 전자계산학과 이학석사
 부산대학교 전자계산학과 이학박사
 한국전자통신연구원 연구원
 현 부산가톨릭대학교 소프트웨어학과 교수
 ※ 관심분야: 정보통신, 시각동기, GNSS 항법 시스템, ICT융합



이영규(Young-Kyu Lee)

전북대학교 전자공학과 공학사
 광주과학기술원 공학석사
 광주과학기술원 공학박사
 현 한국표준과학연구원 기반표준부 선임연구원
 ※ 관심분야: 위성 응용 시각 비교 및 동기, 통신망동기, 유비쿼터스 측위



양성훈(Sung-Hoon Yang)

광운대학교 전자공학과 공학사
 충남대학교 전자공학과 공학석사
 충남대학교 전자공학과 공학박사
 현 한국표준과학연구원 시간센터 책임연구원
 ※ 관심분야: 시각동기



이창복(Chang-Bok Lee)

서강대학교 전자공학과 공학사
 서강대학교 전자공학과 공학석사
 서강대학교 전자공학과 공학박사
 현 한국표준과학연구원 시간센터 책임연구원
 ※ 관심분야: 시각동기