

# 대규모 개발지역의 공간정보 구축을 위한 드론 라이다의 특징 비교

박준규<sup>1</sup>, 이근왕<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>서일대학교 토목공학과, <sup>2</sup>청운대학교 멀티미디어학과

## Comparison of Characteristics of Drone LiDAR for Construction of Geospatial Information in Large-scale Development Project Area

Joon-Kyu Park<sup>1</sup>, Keun-Wang Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Seoil University

<sup>2</sup>Department of the Multimedia Science, Chungwoon University

**요약** 국토자원의 합리적 이용과 관리를 위한 대규모 국토개발은 효율적인 사업관리를 위해 공간정보의 활용이 필수적이다. 최근 택지조성이나 노천광산과 같은 대규모 개발지역의 효과적인 공간정보 구축 방안으로 드론 LiDAR(Light Detection And Ranging)가 주목 받고 있다. 드론 LiDAR는 크게 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping) 기술이 적용된 방식과 GNSS(Global Navigation Satellite System)/IMU(Inertial Measurement Unit) 방식으로 구분할 수 있는데 드론 LiDAR의 적용이나 각 방식의 특징에 대한 분석적 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 SLAM 및 GNSS/IMU 방식의 드론 LiDAR를 이용한 데이터 취득, 처리 및 분석을 수행하고, 각각의 특징과 활용성을 평가하고자 하였다. 연구결과, 드론 LiDAR의 높이 방향 정확도는  $-0.052\sim 0.044\text{m}$ 로 지도제작을 위한 공간정보의 허용 정확도를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 데이터 취득 및 처리 과정의 비교를 통해 각각의 방법에 대한 특징을 제시하였다. 드론 LiDAR를 통해 구축된 공간정보는 거리, 면적, 경사의 측정 등 다양한 활용이 가능하며, 이러한 정보를 기반으로 대규모 개발지역의 안전도를 평가하는 것이 가능하기 때문에 향후 국토개발 현장에서 효과적인 공간정보 구축 방안으로 활용이 기대된다.

**Abstract** In large-scale land development for the rational use and management of national land resources, the use of geospatial information is essential for the efficient management of projects. Recently, drone LiDAR (Light Detection And Ranging) has attracted attention as an effective geospatial information construction technique for large-scale development areas, such as housing site construction and open-pit mines. Drone LiDAR can be classified into a method using SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) technology and a GNSS (Global Navigation Satellite System)/IMU (Inertial Measurement Unit) method. On the other hand, there is a lack of analytical research on the application of drone LiDAR or the characteristics of each method. Therefore, in this study, data acquisition, processing, and analysis using SLAM and GNSS/IMU type drone LiDAR were performed, and the characteristics and utilization of each were evaluated. As a result, the height direction accuracy of drone LiDAR was  $-0.052\sim 0.044\text{m}$ , which satisfies the allowable accuracy of geospatial information for mapping. In addition, the characteristics of each method were presented through a comparison of data acquisition and processing. Geospatial information constructed through drone LiDAR can be used in several ways, such as measuring the distance, area, and inclination. Based on such information, it is possible to evaluate the safety of large-scale development areas, and this method is expected to be utilized in the future.

**Keywords** : Drone, Geospatial Information, LiDAR, Open-pit Mine, Pointcloud

본 논문은 2019년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음.

\*Corresponding Author : Keun-Wang Lee(Korea National University of Transportation)

email: kwlee@chungwoon.ac.kr

Received December 2, 2019

Revised January 2, 2019

Accepted January 3, 2019

Published January 31, 2020

### 1. 서론

수자원개발, 택지조성, 노천광산 개발과 같은 국토의 대규모 개발사업은 국토자원의 합리적 이용과 관리를 기본으로 하고 있으며, 사회·경제적 발전과 과학기술의 향상에 따라 이용 가치가 증대되는 질적인 변화의 문제를 안고 있다[1]. 예를 들자면 과거 농경시대에는 별로 가치가 없던 지하자원이나 산악지역이 현대 에너지 자원이 되거나 관광자원으로 각광을 받는 것과 같은 것이라 할 수 있다[2]. 특히, 노천광산은 지표면 부근의 광물을 채굴하는 방식으로 운영되어 20m 정도 높이의 벤치를 만들어 가며 광물을 채굴하게 된다. 각 단은 광물을 채굴하는 장소이며, 생산된 광물을 운반하는 통로로도 이용된다[3]. 노천광산은 대부분 광산의 규모가 크고, 고지대에 위치하기 때문에 광산의 운영 및 관리를 위해 필수적인 공간정보 구축에 어려움이 많은 실정이다[4].

최근, 이러한 대규모 개발지역에 대한 공간정보 구축 방안으로 LiDAR가 주목받고 있다[5]. LiDAR는 수많은 레이저 펄스를 방출하여 대상물에 맞고 반사되는 시간과 강도를 측정하는 원리로 운영되며, 대규모 지역에 대한 데이터 취득을 위해 드론에 탑재할 수 있는 기술이 개발되었다[6].

드론 LiDAR는 크게 SLAM 기술이 적용된 방식과 GNSS/IMU를 이용하는 방식으로 구분할 수 있는데 드론 LiDAR의 적용이나 각 방식의 특징에 대한 분석적 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 SLAM 및 GNSS/IMU 방식의 드론 LiDAR를 이용한 데이터 취득, 처리 및 분석을 수행하고, 각각의 특징과 활용성을 평가하고자 한다. Fig. 1은 연구흐름도를 나타낸다.

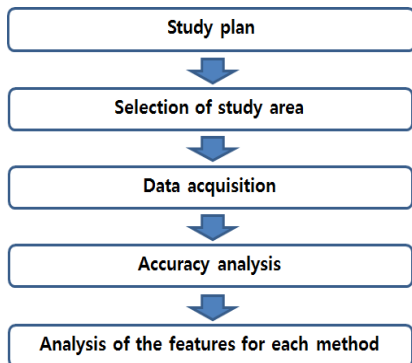


Fig. 1. Study flow

### 2. 드론 LiDAR의 데이터 취득 방식

드론 LiDAR의 데이터 취득 방식은 크게 SLAM 방식과 GNSS/IMU 방식으로 나눌 수 있다. SLAM 방식은 어떤 센서가 주변의 환경을 인식하여 해당 공간을 맵핑하며, 자신의 위치를 파악하는 기술이다[7]. GNSS의 운영이 어려운 실내에서 위치추적을 위한 방법으로 다양한 연구가 진행되고 있으며, 자율주행차나 로봇 청소기에도 적용되고 있다[8].

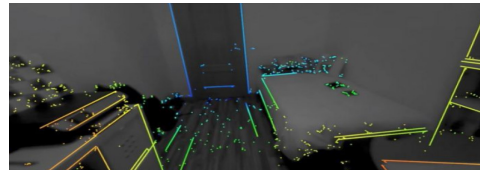


Fig. 2. Environmental recognition example using SLAM[9]

GNSS/IMU 방식은 위성측위로 센서의 위치를 특정하고, IMU를 이용해 센서의 자세와 가속도 등을 측정하는 방식이다[10]. 항공사진측량, 자율주행차 등 센서의 정밀한 위치와 자세를 필요로 하는 분야에 활용되고 있다. Fig. 3은 GNSS/IMU의 알고리즘을 나타낸다[11].

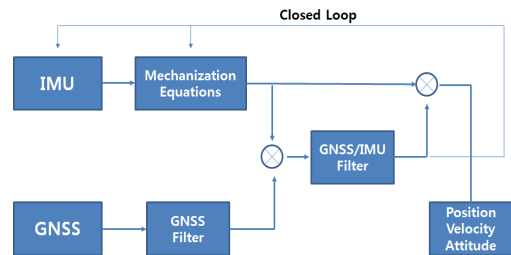


Fig. 3. Algorithm of GNSS/IMU

### 3. 데이터 취득

본 연구에서는 대규모 개발지역의 공간정보 구축을 위한 드론 LiDAR의 특징 비교를 위해 강원도 일원의 노천광산을 연구대상지로 선정하였다. Fig. 4는 연구 대상지를 나타낸다.



Fig. 4. Study area

데이터 취득을 위한 드론은 센서의 무게를 고려하여 산업용 드론인 D사의 M600 pro를 이용하였다. 드론 LiDAR는 SLAM 방식과 GNSS/IMU 방식이 적용된 센서를 각각 운용하였다. SLAM 방식은 G사의 GeoSLAM Horizon을 이용하였으며, GNSS/IMU 방식은 Y사의 SurveyorUltra를 이용하였다. Fig. 5와 Fig. 6은 각각 SLAM과 GNSS/IMU 방식 센서의 성능을 나타낸다.


	Range	100m
	Protection class	IP54
	Processing	Post
	Weight	3.7kg
	Scanner points per second	300,000
	Relative accuracy	1-3cm

Fig. 5. Specification of SLAM LiDAR[9]


	Range	120m
	Protection class	IP54
	Processing	Post
	Weight	1.7kg
	Scanner points per second	600,000
	Relative accuracy	5cm

Fig. 6. Specification of GNSS/IMU LiDAR[12]

드론의 운용시간을 고려해 연구대상지역 일부에 대해 데이터를 각각의 센서로 취득하였으며, 정확도 평가를 위해 검사점을 VRS(Virtual Reference System) 방식으로 측정하였다. 검사점은 벤치 상에 위치하며, 데이터 취득지역에 골고루 분포할 수 있도록 하였다. Fig. 7은 데이터 취득지역 및 검사점 위치이며, Table 1은 검사점 성과를 나타낸다.



Fig. 7. Data acquisition area

Table 1. Coordinate of check points

Check points of SLAM LiDAR			
No.	E(m)	N(m)	H(m)
1	216085.531	534206.250	160.073
2	216059.172	534132.500	158.936
3	216029.265	534051.021	154.876
4	216170.843	534071.625	225.341
5	216151.782	533991.875	228.634
6	216123.596	533932.809	228.257
7	216341.422	534176.813	278.304
8	216336.453	534075.938	281.716
9	216449.922	534155.938	298.817
10	216431.410	534032.137	302.798
Check points of GNSS/IMU LiDAR			
No.	E(m)	N(m)	H(m)
1	214973.690	534011.250	90.650
2	215102.650	533981.350	100.220
3	215280.230	533922.070	105.760
4	214986.430	533939.490	163.950
5	216096.930	533910.630	163.250
6	215276.070	533862.010	164.500
7	214936.250	533890.870	206.780
8	215057.670	533870.070	203.830
9	215152.830	533845.370	202.410
10	215295.050	533810.270	199.480

## 4. 데이터 처리 및 분석

### 4.1 데이터 처리

SLAM LiDAR의 데이터 처리는 포인트클라우드 생성과 Georeferencing 과정으로 수행되었다. 포인트클라우드

우드 생성은 GeoSLAM Hub 소프트웨어를 통해 \*.las 포맷으로 이루어졌다. 생성된 포인트클라우드의 Georeferencing은 지상기준점을 이용해 수행하였으며, Fig. 8은 SLAM LiDAR를 통해 생성된 포인트클라우드를 나타낸다.

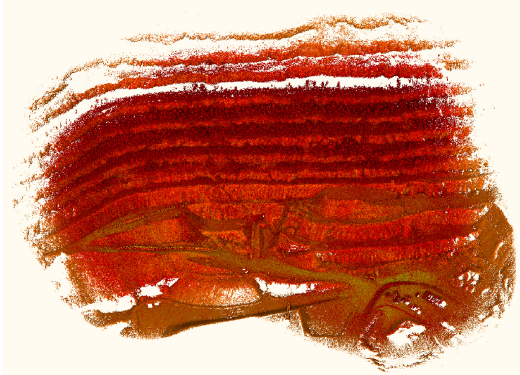


Fig. 8. Pointcloud of SLAM LiDAR

GNSS/IMU LiDAR의 데이터 처리는 꺾적처리와 포인트클라우드 과정으로 수행되었다. A사의 POSPAC 소프트웨어와 기준점 데이터를 이용하여 정밀한 꺾적을 산출하고, CloudStation 소프트웨어를 통해 \*.las 포맷의 포인트클라우드를 생성하였다. Fig. 9는 포인트클라우드를 나타낸다.

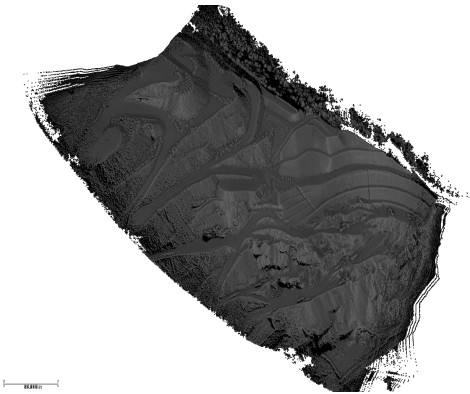


Fig. 9. Pointcloud of GNSS/IMU LiDAR

#### 4.2 정확도 평가

SLAM 및 GNSS/IMU LiDAR에 의해 공간정보는 검사점과 비교하여 높이 방향에 대한 정확도 평가를 수행하였다. 각각의 방법으로 생성된 공간정보와 검사점 간의 편차는 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다.

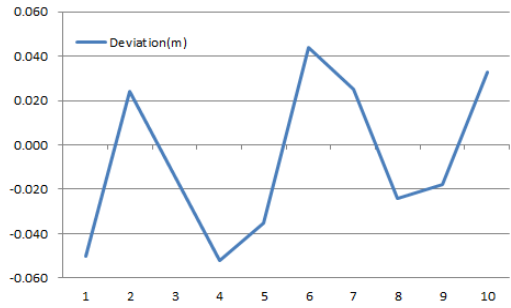


Fig. 10. Accuracy analysis of SLAM LiDAR

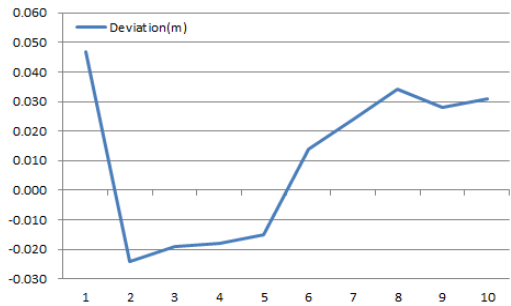


Fig. 11. Accuracy analysis of GNSS/IMU LiDAR

드론 LiDAR에 의해 생성된 대규모 개발지역 공간정보의 높이방향 정확도는 SLAM LiDAR의 경우 -0.052m ~0.044m로 나타났으며, GNSS/IMU LiDAR는 -0.024m ~0.034m를 보였다. 2가지 방법의 정확도는 거의 비슷한 경향을 나타내었으며, 이러한 결과는 탑재된 LiDAR 센서의 성능에 따른 것으로 향후 다른 성능의 LiDAR 센서에 대한 추가적인 비교 분석이 필요할 것으로 판단된다.

드론 LiDAR의 높이 방향 정확도는 지도제작을 위한 공간정보의 허용정확도를 만족하는 것으로 대규모 개발지역의 공간정보 구축에 드론 LiDAR를 활용하는 것이 충분히 가능할 것이다. Table 2는 축척 1:1,000 수치지형도의 허용정확도를 나타낸다[13].

Table 2. Permissible accuracy for 1:1,000 digital map

Maximum error(m)		
plane	Contour	Height
0.4	0.6	0.3

#### 4.3 드론 LiDAR의 특성 분석

본 연구에서는 SLAM 및 GNSS/IMU LiDAR의 데이

터 처리 과정을 비교하고, 공간정보 구축을 위한 특성을 분석하였다. Fig. 12는 각각의 방법에 대한 데이터 취득 및 처리 과정을 나타낸다.

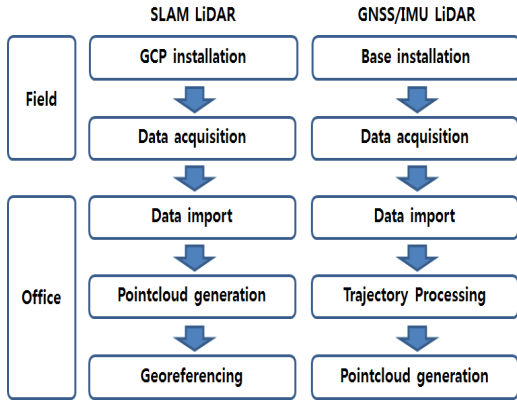


Fig. 12. Comparison of data acquisition and processing

Fig. 12에서 보는 것과 같이 SLAM LiDAR와 GNSS/IMU LiDAR는 공간정보 구축 과정이 상이하다. 특징적인 차이는 SLAM의 경우 Georeferencing을 위한 별도의 GCP가 필요하다는 것이다. 이는 SLAM 방식이 취득되는 데이터를 상대적으로 정합하는 방식이기 때문에 GCP의 설치가 어려운 상황에서 정확한 공간정보 구축을 위해서는 Georeferencing이 완료된 데이터를 기반으로 정합하는 것과 같은 방안이 필요하다. Georeferencing이 필요하지 않은 경우 SLAM LiDAR가 데이터 취득 및 처리 과정이 단순하기 때문에 GNSS/IMU에 비해 효과적일 것으로 판단된다.

드론 LiDAR를 통해 구축된 공간정보는 포인트클라우드 형태의 3차원 데이터이기 때문에 거리, 면적, 경사의 측정 등 다양한 활용이 가능하며, 이러한 정보를 기반으로 대규모 개발지역의 안전도를 평가하는 것이 가능할 것이다.

## 5. 결론

본 연구는 SLAM 및 GNSS/IMU 방식의 드론 LiDAR를 이용한 데이터 취득, 처리 및 분석을 수행하고, 각각의 특징과 활용성을 평가하고자 한 것으로 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 드론 LiDAR에 의해 생성된 대규모 개발지역 공간정보의 높이방향 정확도는 SLAM LiDAR의 경우 -0.052m ~0.044m, GNSS/IMU LiDAR는 -0.024m ~0.034m를 나타내었으며, 이러한 결과는 탑재된 LiDAR 센서의 성능에 따른 것으로 향후 다른 성능의 LiDAR 센서에 대한 추가적인 비교 분석이 필요할 것으로 판단된다.
2. 드론 LiDAR의 높이 방향 정확도는 지도제작을 위한 공간정보의 허용정확도를 만족하는 것으로 대규모 개발지역의 공간정보 구축에 드론 LiDAR를 활용하는 것이 충분히 가능할 것이다.
3. SLAM LiDAR는 GCP의 설치, Georeferencing이 완료된 데이터 기반 정합 등 Georeferencing을 위한 별도의 방안이 필요하지만 데이터 취득 및 처리 과정이 단순하다는 장점이 있어 경우에 따라서는 GNSS/IMU에 비해 효과적일 것으로 판단된다.
4. 드론 LiDAR를 통해 구축된 공간정보는 포인트클라우드 형태의 3차원 데이터이기 때문에 거리, 면적, 경사의 측정 등 다양한 활용이 가능하며, 이러한 정보를 기반으로 대규모 개발지역의 안전도를 평가하는 것이 가능하기 때문에 향후 국토개발 현장에서 효과적인 공간정보 구축 방안으로 활용이 기대된다.

## References

- [1] H. L. Park, J. W. Choi, J. H. oh, "Seasonal Effects Removal of Unsupervised Change Detection based Multitemporal Imagery", *Korean Society Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.36, No.2, pp. 51-58, 2018  
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2018.36.2.51>
- [2] S. H. Park, G. H. Lee, M. S. Chung, U. R. Chae, J. Y. Lee, "Solar ESS Peak-cut Simulation Model for Customer", *Journal of Digital Convergence*, Vol.17, No.7, pp. 131-138, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.14400/JDC.2019.17.7.13>
- [3] S. Y. Kim, J. H. Yu, Y. G. Yu, H. J. Lee, "Database Enhancement for Development of Open-pit Mine Monitoring System in Open Source Environments", *Korean Society Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.34, No.1, pp. 21-32, 2016.



DOI: <http://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2016.34.1.21>

- [4] H. K. Sung, K. S. Chong, C. N. Lee, "Accuracy Analysis of Low-cost UAV Photogrammetry for Road Sign Positioning", *Korean Society Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.37, No.4, pp. 243-251, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2019.37.4.243>
- [5] K. D. Lee, S. H. Jung, K. H. Lee, Y. S. Choi, M. S. Kim, "Mobile Mapping System Development Based on MEMS-INS for Measurement of Road Facility", *Korean Society Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.36, No.2, pp. 75-84, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2018.36.2.75>
- [6] S. K. Hong, H. J. Park, "Probabilistic Kinematic Analysis of Rock Slope Stability Using Terrestrial LiDAR", *Economic and Environmental Geology*, Vol.52, No.3, pp. 231-241, 2019.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.9719/EEG.2019.52.3.231>
- [7] H. D. Choi, "An Open-Source Benchmark for Scale-Aware Visual Odometry Algorithms", *International Journal of Fuzzy and Intelligent Systems*, Vol. 19, No.2, pp. 119-128, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.5391/IJFIS.2019.19.2.119>
- [8] Y. H. Choi, S. M. Yeon, H. J. Kim, D. Y. Lee, "Extreme Value Analysis of Statistically Independent Stochastic Variables", *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol.33, No.1, pp. 222-228, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.26748/KSOE.2018.093>
- [9] GeoSLAM, GeoSLAM Horizon, [Internet]. GeoSLAM. Available From: <https://geoslam.com/> (accessed December, 10, 2019)
- [10] M. K. Chung, C. J. Kim, K. H. Choi, D. K. Chung, Y. I. Kim, "Development of LiDAR Simulator for Backpack-mounted Mobile Indoor Mapping System", *Korean Society Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.35, No.2, pp. 91-102, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2017.35.2.91>
- [11] I. Skog, P. Händel, "In-Car Positioning and Navigation Technologies—A Survey", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.10, No.1, pp. 4-21, 2009  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2008.2011712>
- [12] YellowScan, SurveyorUltra, [Internet]. YellowScan. Available From: <https://www.yellowscan-lidar.com/> (accessed December, 10, 2019)
- [13] Regulation of Technology Service enterprise, [Internet]. National Law Information Center. Available From: <http://www.law.go.kr/> (accessed December, 13, 2019)

박 준 규(Joon-Kyu Park)

[중신회원]



- 2001년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>

지형공간정보공학

이 근 왕(Keun-Wang Lee)

[중신회원]



- 1993년 2월 : 한밭대학교 전자계산학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 멀티미디어학과 교수

<관심분야>

멀티미디어 통신, 멀티미디어 응용, 모바일 통신